LATVIJAS
VALSTS CEĻI

PĒTĪJUMA UN ROKASGRĀMATAS IZSTRĀDE ĢEOSINTĒTISKO MATERIĀLU UN TIEM RADNIECĪGO IZSTRĀDĀJUMU PIELIETOŠANAI AUTOCEĻU KONSTRUKCIJĀS

Rīga, 2024

	Pētījums	Pētījuma un rokasgrāmatas izstrāde ģeosintētisko materiālu un tiem radniecīgo izstrādājumu pielietošanai autoceļu konstrukcijās
	Izpildītājs	SIA “Ceļu eksperts”
	Reģistrācijas numurs	40003876635
	Juridiskā adrese	Aveņu iela 1, Ikšķile, Ogres novads, LV-5052
	Tālrunis	+371 67255696
	E-pasts	celueksperts@celueksperts.lv
	Darba vadītājs	Aigars Strežs
	Pasūtītājs	VSIA “Latvijas Valsts ceļi”
	Reģistrācijas numurs	40003344207
	Juridiskā adrese	Emīlijas Benjamiņas iela 3, Rīga, LV-1051
	Tālrunis	+371 67028169
	E-pasts	lvceli@lvceli.lv
	Partneri	Rīgas Tehniskā universitāte
	Reģistrācijas numurs	90000068977
	Juridiskā adrese	Kaļķu iela 1, Rīga, LV-1658
	Tālrunis	+371 6708933
	E-pasts	info@rtu.lv

Pētījuma nosaukums: Pētījuma un rokasgrāmatas izstrāde ģeosintētisko materiālu un tiem radniecīgo izstrādājumu pielietošanai autoceļu konstrukcijās	
Līguma numurs	LVC2022/1.8/AC/267
Līguma slēgšanas datums	16.05.2022.
Pētniecības projekta stadija	Nobeiguma ziņojums
Starpziņojumu kopējais skaits	3
Ziņojuma nodošanas datums	28.09.2023.
Pētniecības projekta stadijas izstrādes periods	11.05.2023. – 28.09.2023.
Lappušu skaits	553
Pētniecības projekta izpildītāji	**Zinātniskais grāds, vārds, uzvārds**
Pētniecības projekta vadītājs	Mg. sc. ing. / Mg. B. A. Aigars Strežs
Pētnieks	Expl. Mg. sc. ing. / Mg. sc. geol. Pēteris Šķēls
Pētnieks	Prof. Ph. Dr. sc. ing. Atis Zariņš
Pētnieks	Ph. Dr. sc. ing. Endijs Virsis
Pētnieks	Doc. Ph. Dr. sc. ing. Andris Paeglītis
Pētnieks	Bc. sc. ing. / Bc. oec. Juris Indāns
Pētnieks	Mg. sc. ing. Oskars Mednis
Pētnieks	Assist. scient. Bc. sc. ing. Mārtiņš Sīpols
Pētnieks	Bc. sc. ing. Jānis Melnis
Pētnieks	Bc. sc. ing. Jānis Kivilands
Pētnieks	Bc. sc. ing. Romans Pumpass
Projektu finansē	VSIA "Latvijas Valsts ceļi" / Satiksmes ministrija
Izpildītājs	SIA "Ceļu eksperts"
Partneri	Rīgas Tehniskā universitāte
Apraksts Pētījumā apkopota ģeosintētisko materiālu lietošanas pieredze un analizēta Latvijas un ārvalstu prakse, izstrādātas vienotas vadlīnijas projektēšanai, definēti nosacījumi būvdarbu veikšanai, kā arī kvalitātes uzraudzībai un novērtēšanai. Apkopota un analizēta pieredze metāla režģu izmantošanai ceļu konstrukciju nesaistītajās kārtās. Veikts izvērtējums un sniegti ieteikumi par nepieciešamo kvalifikāciju speciālistiem, kuri veic aprēķinus ar iekļautiem ģeosintētiskajiem materiāliem.	
Lietojums / pētījuma sfēra	Autoceļu konstrukcijas
Papildus izstrādātie materiāli	Rokasgrāmata. Labojumi un izmaiņas Autoceļu būvdarbu specifikācijās

Kopsavilkums

Pasaulē arvien populārākas kļūst alternatīvo materiālu izmantošana autoceļu būvniecībā. Viena no alternatīvām ierastajiem materiāliem un metodēm ir ģeosintētisko materiālu grupa. Šādu materiālu lietošanai ir vairākas priekšrocības un izmantošanas iespējas, kā piemēram, iespējams samazināt ceļu konstrukcijā nepieciešamo kārtu biezumu vai pilnībā aizstāt to funkcionalitāti, vai pastiprināt zemas nestspējas slāņus ceļa segā, izbūvēt stāvas nogāzes ierobežotas teritorijas apstākļos, aizturēt reflektējošo plaisu veidošanos seguma atjaunošanas būvobjektos, atdalīt materiālu kārtas nepieļaujot to sajaukšanos, aizstāt drenējošo kārtu.

Daudzu pētījumu rezultāti demonstrējuši ģeosintētisko materiālu lietošanas priekšrocības, bet šo pētījumu rezultāti nav veicinājuši plašāku ekonomiski pamatotu šo materiālu lietošanu ceļu būvdarbos Latvijā.

Šī pētījuma ietvaros apkopota un analizēta ārvalstu prakse, apkopota ģeosintētisko materiālu lietošanas pieredze un izstrādātas vienotas vadlīnijas projektēšanai, lai projektos piedāvātajiem risinājumiem un tajos paredzētajiem ģeosintētiskajiem materiāliem izvirzītās prasības būtu pamatotas ar nepārprotamiem, atkārtojamiem un tehniskiem aprēķiniem vai paņēmieniem, kā arī tiktu nodrošināta līdzīgas izpratnes veidošanās būvprojektu autoru un pasūtītāju vidū par ģeosintētisko materiālu lietošanas iespējām, ierobežojumiem un tiem izvirzāmām tehniskām prasībām.

Ģeosintētiskie materiāli klasificēti atbilstoši to lietošanas veidam, pakārtoti arī materiāliem un funkcijām. Identificētas ģeosintētisko materiālu izmantošanas priekšrocības un trūkumi.

Apkopota Latvijas pieredze, kas gūta izbūvējot objektus, kuros kā risinājums izmantoti ģeosintētiskie materiāli – veicot objektu apsekošanu, būvprojekta risinājumu analīzi un ietekmējošo faktoru izpēti, sniedzot problēmu iespējamos iemeslus objektos, kuros konstatēti kādi defekti.

Izstrādāta Rokasgrāmata “Ģeosintētisko materiālu un tiem radniecīgo izstrādājumu lietošana autoceļu konstrukcijās”, kurā apkopoti ģeosintētisko materiālu lietojumu veidi autoceļu būvdarbos un iekļautas vadlīnijas šādu risinājumu projektēšanai, katram ģeosintētisko materiālu lietošanas veidam izstrādāti būvprojekta piemēri, aprakstot katru projektēšanas soli, un ir veikts piemēru tehniski ekonomiskais un ietekmes uz vidi salīdzinājums. Dzīves cikla novērtējuma cenu aprēķiniem izmantota LVC apkopotā informācija par autoceļu būvniecības darba veidu vienības izcenojumiem 2022. gadā. Darbu un materiālu pozīcijām, kuras nebija šajos LVC izcenojumos, aprēķinātas vidējās

cenas no pētījuma darba grupas dalībniekiem pieejamajām konkrēto darbu un materiālu vienības cenām.

Izstrādāta autoceļu būvdarbu specifikācija “Ģeosintētiskie materiāli”, apkopojot visu ģeosintētisko materiālu lietošanas veidus vienā specifikācijā.

Veikts izvērtējums un sniegti ieteikumi par nepieciešamo kvalifikāciju speciālistiem, kuri veic aprēķinus ar iekļautiem ģeosintētiskajiem materiāliem.

Par pamatu izmantojot ES pētījumu programmas REFLEX “Reinforcement of flexible road structures with steel fabrics to prolong service life” rezultātus un turpmāko faktisko izmantošanas praksi, ir apkopota un analizēta pieredze metāla režģu izmantošanai ceļu konstrukciju nesaistītajās kārtā, definējot nosacījumus un svarīgākos raksturlielumus.

Pētījuma autori cer, ka pētījuma rezultāti atvieglos un paplašinās ģeosintētisko materiālu lietošanu autoceļu būvniecības un atjaunošanas procesos.

Summary

The use of alternative materials in road construction is becoming more and more popular in the world. One alternative to conventional materials and methods is the group of geosynthetics. The use of such materials has several advantages and possibilities of use, for example, it is possible to reduce the thickness of the layers required in road construction or to completely replace their functionality, or to strengthen the layers of low load-bearing capacity in the road pavement, to build steep slopes in conditions of a limited available space, to prevent the formation of reflective cracks in resurfacing, to separate layers of materials without permitting them to mix, replace the draining layer.

The results of many studies have demonstrated the advantages of using geosynthetic materials, but the results of these studies have not contributed to a wider economically justified use of these materials in road construction works in Latvia.

In the framework of this study, foreign practices were collected and analyzed, focusing on the use of geosynthetic materials. The research included compiling experiences and developing unified guidelines for design. These guidelines ensure that the proposed solutions and requirements for geosynthetic materials are based on unambiguous, repeatable, and technical calculations or techniques. Furthermore, the guidelines aim to foster a consistent understanding among designers and customers regarding the application possibilities, limitations, and technical requirements of geosynthetic materials in construction project.

Geosynthetic materials are classified based on their use, material composition, and functions. The advantages and disadvantages of using geosynthetic materials have been identified.

Latvia's experience gained in the construction sites in which geosynthetic materials were used as a solution has been collected - by conducting site survey, analysis of construction project solutions and research of influencing factors, providing possible causes of problems in sites in which any defects have been found.

The Manual "Application of geosynthetic materials and related products in highway constructions" has been developed, which summarizes the types of applications of geosynthetic materials in road construction works and includes guidelines for the design of such solutions – Construction project examples have been developed for each type of application of geosynthetic materials, describing each design step. A technical, economic, and environmental impact analysis of the examples has been carried out.

The road construction work specification "Geosynthetic materials" has been developed, summarizing the ways of using all geosynthetic materials in one specification.

An assessment was made, and recommendations were developed regarding the necessary qualifications for specialists who perform calculations with included geosynthetic materials.

Using the results of the EU research program REFLEX "Reinforcement of flexible road structures with steel fabrics to prolong service life" as a basis and the subsequent actual use practice, the experience of using metal grids in the unrelated layers of road structures has been collected and analyzed, defining the conditions and important characteristics.

The authors of the study hope that the results of the study will facilitate and expand the use of geosynthetic materials in road construction and renovation processes.

Satura rādītājs

Kopsavilkums **4**

Summary **6**

Satura rādītājs **8**

Termini un definīcijas **11**

Apzīmējumi un saīsinājumi **13**

1 Vispārīgi **15**

1.1 Pielietojuma jomas un standarti *17*

1.2 Kvalitāti apliecinošie dokumenti *19*

1.3 Ģeosintētisko materiālu klasifikācija pēc izstrādājuma tipa *20*

1.4 Ģeosintētisko materiālu kvalitāte un kontrole būvobjektā *89*

1.5 Dzīves cikla novērtējums *91*

2 Zemes klātnes pastiprināšana **96**

2.1 Lietošanas lietderība Latvijas apstākļos *97*

2.2 Priekšrocības un trūkumi *97*

2.3 Projektēšanas principi *98*

2.4 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības *129*

2.5 Iestrādes tehnoloģija *130*

2.6 Būvprojektēšanas piemēri *137*

2.7 Lietošanas un labās prakses piemēri *159*

3 Nesaistīto ceļa segas kārtu pastiprināšana **188**

3.1 Projektēšanas principi *188*

3.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības *209*

3.3 Iestrādes tehnoloģija *211*

3.4 Būvprojektēšanas piemēri *214*

3.5 Lietošanas un labās prakses piemēri *225*

4 Ceļa konstruktīvo kārtu atdalīšana un filtrēšana **248**

4.1 Lietošanas lietderība Latvijas apstākļos *248*

4.2 Priekšrocības un trūkumi *251*

4.3 Projektēšanas principi *252*

4.4 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības *268*

4.5 Iestrādes tehnoloģija *271*

4.6 Būvprojektēšanas piemēri *277*

4.7 Lietošanas un labās prakses piemēri *285*

5 Zemes klātnes nogāžu iekšējās noturības nodrošināšana **297**

5.1 Projektēšanas principi *297*

5.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības 315
5.3 Iestrādes tehnoloģija 316
5.4 Būvprojektēšanas piemēri 319
5.5 Lietošanas un labās prakses piemēri 352

6 Asfalta kārtu pastiprināšana 364
6.1 Projektēšanas principi 364
6.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības 379
6.3 Iestrādes tehnoloģija 380
6.4 Būvprojektēšanas piemēri 386
6.5 Lietošanas un labās prakses piemēri 395

7 Ceļa konstrukcijas drenāžas risinājumi 408
7.1 Lietošanas lietderība Latvijas apstākļos 408
7.2 Priekšrocības un trūkumi 410
7.3 Projektēšanas principi 410
7.4 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības 426
7.5 Iestrādes tehnoloģija 427
7.6 Būvprojektēšanas piemēri 435
7.7 Lietošanas un labās prakses piemēri 446

8 Preterozijas risinājumi 455
8.1 Kritēriji un nosacījumi lietošanai 456
8.2 Lietošanas lietderība Latvijas apstākļos 463
8.3 Priekšrocības un trūkumi 465
8.4 Projektēšanas principi 466
8.5 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības 491
8.6 Iestrādes tehnoloģija 493
8.7 Būvprojektēšanas piemēri 507
8.8 Lietošanas un labās prakses piemēri 518

9 REFLEX pētījums 1999 – 2002 (Zviedrija, Somija) 528

10 Ieteikumi izmaiņām un papildinājumiem Autoceļu būvdarbu specifikācijās 533

11 Ieteikumi ģeosintētisko materiālu projektēšanas personāla kvalifikācijai 534
11.1 Uzdevums 534
11.2 Esošā situācija 534
11.3 Situācijas, kurās nepieciešami specifiski (ģeotehniski) risinājumi 535
11.4 Ieteikumi kvalifikācijas prasību noteikšanai speciālistiem sarežģītu ģeotehnisko risinājumu izstrādei 536
11.5 Kvalifikācijas prasības 538
11.6 Prakse un citi kompetences apliecināšanas veidi 539
11.7 Ieteikumi 540

12 Ieteikumi turpmākiem pētījumiem 543

Izmantotā literatūra 544

Pielikumi 553

Termini un definīcijas

Aizsardzība	Ģeosintētiskā materiāla funkcija, kas novērš vai ierobežo noteikta būvizstrādājuma lokālus bojājumus.
Apbērums	Grunts materiāla kārta, ar ko ir pārklāts ģeosintētiskais materiāls.
Apgrieztais filtrs	Hidrotehniskās būves ietaise filtrācijas deformāciju novēršanai gruntī ar divām vai vairākām dažāda rupjuma ūdenscaurlaidīgas grunts kārtām, kuras sakārtotas grunts daļiņu izmēru pieaugošā secībā filtrācijas plūsmas virzienā.
Atdalīšana	Ģeosintētiskā materiāla funkcija, kas novērš blakusesošo un atšķirīgo grunšu sajaukšanos.
Atspriegošana	Ģeosintētiskā materiāla funkcija, kas aizkavē vai aptur plaisu veidošanos asfalta segumā, pieļaujot vieglas diferenciālas kustības starp diviem slāņiem.
Barjera	Ģeosintētiskā materiāla funkcija, kas novērš vai ierobežo ūdens un/vai citu šķidrumu pārvietošanos starp blakusesošiem grunts vai cita materiāla slāņiem.
Ceļa seguma pārklājkārta/ pārklājkārta	Atjaunojamajam segumam uzklājama jauna bituminēta seguma augšējā papildkārta (vai kārtas). Pārklājkārtu (angļu val. – *Overlay*) var izbūvēt, lai atjaunotu segas nestspēju, novērstu esošā seguma defektus vai uzlabotu tā ekspluatācijas īpašības. [1]
Drenāža	Ģeosintētiskā materiāla funkcija, kas nodrošina ūdens un/vai citu šķidrumu savākšanu un novirzīšanu pa ģeosintētisko materiālu.
Filtrācija	Ģeosintētiskā materiāla funkcija, kas ierobežo hidrodinamisko spēku radītas nekontrolētas grunts daļiņu pārvietošanos, vienlaikus ļaujot ūdenim plūst pa vai cauri ģeosintētiskajam materiālam.
Ģeokompozīts	Rūpnieciski ražots materiāls, ko veido vismaz divi ģeosintētiski produkti.
Ģeomembrāna	Rūpnieciski ražots ģeosintētisks materiāls, kas nodrošina barjeras funkciju.
Ģerežģis	Ekstrudēts, metināts vai austs polimēru materiāls ar vienāda izmēra acu struktūru, kuru veido materiāla stiepes elementi (ribas) un savienojošie elementi (mezgli).
Ģeosintētiskais materiāls	Lokšņu, ruļļu, plakanas vai telpiskas formas būvizstrādājums, kurā vismaz viena no sastāvdaļām ir sintētisks vai dabīgs polimērs. Ģeosintētikos materiālus izmanto saskarē ar grunti vai citiem materiāliem ģeotehniskajos risinājumos un inženierbūvēs.
Ģeošūnas	Telpisks, šūnveida, ūdenscaurlaidīgs materiāls, kas ražots no sintētiska vai dabīga polimēra.
Ģeotekstils	Ūdenscaurlaidīgs neausts, adīts vai austs polimēru (sintētisks vai dabīgs) tekstilmateriāls, kuru izmanto saskarē ar grunti un/vai kopā ar citiem materiāliem ģeotehniskajos risinājumos un inženierbūvēs.

Ģeotīkls	Rūpnieciski ražots ģeosintētisks materiāls ar paralēliem ribu komplektiem, kuri ir savstarpēji savienoti dažādos leņķos.
Hidrauliskais slīpums	Ūdens līmeņa izmaiņas uz attāluma vienību maksimālā augstuma samazināšanās virzienā. Angļu val. – *hydraulic gradient*.
Ilgtermiņa stiepes stiprība	Stiepes stiprība, kuru aprēķina uz noteiktu konstrukcijas kalpošanas laiku, dalot īstermiņa stiepes stiprību ar redukcijas koeficientiem
Integritāte	Materiāla (piemēram, asfaltbetona) viengabalainība.
Mehāniskā stabilizācija	Ģeosintētiskā materiāla funkcija, kas ar vienu vai vairākiem ģeosintētiskā materiāla slāņiem uzlabo nesaistītā minerālmateriāla kārtas mehāniskās īpašības un samazina deformācijas zem pieliktās slodzes, ierobežojot minerālmateriāla daļiņu kustību.
Nominālā (deklarētā) vērtība	Materiāla raksturlieluma vērtība, kuru deklarējis (nevis izmērījis) materiāla ražotājs vai piegādātājs.
Pārklājums	Uz ģeosintētiskā izstrādājuma ražošanas laikā uzklāts papildu polimērs vai kāds cits materiāls, kas uzlabo izstrādājuma īpašības.
Preterozijas ģeopaklājs	No polimēru šķiedrām un/vai citiem elementiem (sintētiskiem vai dabīgiem) ražots ūdenscaurlaidīgs materiāls, kas novērš vai samazina virsmas eroziju.
Stiegrošana (armēšana)	Ģeosintētiskā materiāla funkcija, kas uzlabo grunts vai citu būvmateriālu mehāniskās īpašības, izmantojot ģeosintētiskā materiāla stiprības parametrus.
Stiepes stiprība (īstermiņa stiepes stiprība)	Stiepes spēks uz platuma vienību, ko spēj uzņemt ģeosintētiskā materiāla paraugs stiepes testa jebkurā laika momentā. Ražotāja deklarētā stiepes stiprība.
Vieglsvara ģeotekstils	Ģeotekstils, kura svars nepārsniedz ≈ 20–25 g/m^2.
Vieglsvara minerālmateriāls	Minerālmateriāls vai tamlīdzīgs izstrādājums, kura svars nepārsniedz ≈ 600 kg/m^3.
Virsmas erozijas kontrole	Ģeosintētiskā materiāla funkcija, kas novērš vai ierobežo augsnes vai citu daļiņu pārvietošanos uz nogāzes virsmas.
Zemas nestspējas grunts	Grunts, kuras īpašības nav atbilstošas (ir zemākas) tam, lai tā varētu tikt izmantota konkrētajā autoceļa konstrukcijā bez tās nomaiņas, pastiprināšanas vai papildu risinājumu pielietošanas. Katrā gadījumā šie zemas nestpējas grunšu veidi un/vai īpašību robežvērtības var atšķirties atkarībā no konkrētās konstrukcijas, tās paredzētās funkcionalitātes un citiem apstākļiem.

Apzīmējumi un saīsinājumi

ABS		Autoceļu būvdarbu specifikācijas. [2]
AR	Aramīds	Saīsināta aromātiskā poliamīda forma ar karstumizturīgu un spēcīgu sintētisko šķiedru klasi.
ASS	Latv. val. – asfaltu stiegrojošs starpslānis	
BBA	Angļu val. – *British Board of Agreement*	Lielbritānijas vienošanās padome
BS	Angļu val. – *British Standard*	Lielbritānijas standarts
CBR	Statiskais caurdures tests ģeotekstiliem	
CMD	Angļu val. – *Cross machine direction* (CMD)	Šķērsvirziens (ŠV) – ģeosintētiskā materiāla virziens perpendikulāri ražošanas virzienam.
COS	Angļu val. – *Characteristic opening size*	Ģeotekstila raksturīgais poru izmērs saskaņā ar EN ISO 12956.
CPR	Angļu val. – *Certificate of Conformity of the Factory Production Control*	Ražošanas procesa kontroles atbilstības sertifikāts.
EĪD	Ekspluatācijas īpašību deklarācija	Būvizstrādājuma atbilstību apliecinošs dokuments, kurā norāda būvizstrādājuma ekspluatācijas īpašības attiecībā uz šo izstrādājumu būtiskiem raksturlielumiem atbilstoši attiecīgajām tehniskajām specifikācijām.
EN	Angļu val. – *European Norm*	Eiropas normas
HDPE	Angļu val. – *High density polyethylene*. Augsta blīvuma polietilēns	Termoplastisks polimērs, kas ražots no etilēna monomēra ar augstu stiprības un blīvuma attiecību.
ICP.CS		Ieteikumi ceļu projektēšanai. Ceļa sega [3]
IGS	Angļu val. – *International Geosynthetics Society*	Starptautiskā Ģeosintētikas biedrība
LCA	Angļu val. – *Life Cycle Assessment*	Dzīves cikla novērtējums
MD	Angļu val. – *Machine direction* (MD)	Garenvirziens (GV) – ģeosintētiskā izstrādājuma ražošanas virziens
MSE	Angļu val. – *Mechanically stabilized earth*. Mehāniski stiegrota (armēta) grunts	Grunts atbalstsienas konstrukcija, kuru veido no grunts sablīvēti slāņi un stiegroti slāņi (piemēram, ģeosintētisks materiāls), kas ir vai nav savienoti ar fasādes konstrukciju

PA	Poliamīds	Polimērs ar atkārtotām vienībām, kas savienotas ar amīda saitēm.
PE	Polietilēns	Termoplastisks polimērs, ko iegūst, polimerizējot etilēnu. Parasti tā blīvums ir mazāks par ūdens blīvumu un ir iespējama liela kristalizācijas pakāpe.
PET	Poliesters	Polimērs, kas satur estera funkcionālo grupu katrā savas ķēdes vienībā. Kā īpašs materiāls, tas visbiežāk attiecas uz veidu, ko sauc par polietilēntereftalātu.
PP	Polipropilēns	Termoplastisks polimērs, kas pieder pie poliolefīnu grupas un ir daļēji kristālisks un nepolārs. Tas ir balts, mehāniski izturīgs materiāls, kā arī tam ir augsta ķīmiskā izturība.
PVA	Polivinilalkohols	Ūdenī šķīstošs sintētisks polimērs, bez krāsas un smaržas.
PVC	Polivinilhlorīds	Termoplastisks polimērs, vinilhlorīda polimerizācijas produkts, ķīmiski izturīgs, nav degtspējīgs. Tīrs polivinilhlorīds ir amorfs un balts, ļoti ciets, ar augstu elastības moduli.
PVD	Angļu val. – *Prefabricated vertical drains*	Vertikālās drenas
SLS	Angļu val. – *Serviceability limit state*	Lietojamības robežstāvoklis
ULS	Angļu val. – *Ultimate limit state*	Nestspējas robežstāvoklis
UV		Ultravioletais starojums

1 Vispārīgi

Pēdējo sešdesmit gadu laikā ģeosintētiskie izstrādājumi ir tikuši nepārtraukti attīstīti un pilnveidoti, paplašinot produktu klāstu un to izmantošanu. Pateicoties savām unikālām īpašībām un funkcijām, ģeosintētiskie materiāli šobrīd tiek klasificēti kā inženiertehniskie būvizstrādājumi, tāpat kā koks, tērauds vai dzelzsbetons. Ģeosintētisko materiālu īpašības un iespējamās priekšrocības tiek pārbaudītas dažādās laboratorijās, pētījumos un lauka testos, iesaistot gan neatkarīgus pētniekus, gan nozares pārstāvjus.

Termins "ģeosintētika" sastāv no divām daļām, kur pirmā "ģeo" raksturo izstrādājumu izmantošanu un otrā “sintētika” attiecas uz izcelsmi un ražošanu. Ģeosintētiskie materiāli uzlabo grunts īpašības, ļauj samazināt minerālmateriāla kārtas biezumu, izkliedējot transporta slodzes uz lielāku laukumu, novērš dažādu grunšu sajaukšanos un esošās grunts nomaiņas nepieciešamību, ka arī nodrošina nepieciešamo ūdens novadi un samazina erozijas riskus. Ģeosintētiskie materiāli ir rūpnieciski izstrādājumi ar noteiktām kvalitātes prasībām. [4]

Viens no senākajiem piemēriem vēsturē, kad ceļu būvē izmantoti auduma tipa materiāli, bija romiešu ceļi. Ar šādu paņēmienu, kas līdzinās mūsdienu ģeosintētisko materiālu izmantošanai, senie romieši nostiprināja un atdalīja purvainās vietas ar austiem niedru paklājiem, nosedzot tos ar akmeņiem. [5]

Kā divus senākos grunts stiegrošanas piemērus atbalstsienās jāmin Agar-Quf zikurāts, kas tika veidots no ķieģeļiem un pastiprināts ar austiem niedru paklājiem un pītām niedru virvēm ar diametru līdz 100 mm. Šīs celtnes vecums tiek pieņemts ap 3000 gadu. Otrs piemērs ir lielais Ķīnas mūris, kas tika pabeigs 200 gadus pirms mūsu ēras un pamatā esošā grunts konstrukcija tika veidota no māla un grants maisījumiem, kas pastiprināti ar tamariska zariem [2] (Attēls 1-1).

Attēls 1-1. a) Agar-Quf zikurāts [3], b) Lielais Ķīnas mūris [4]

Mūsdienu ģeosintētisko materiālu izmantošana infrastruktūras projektos ir sastopama kopš pagājušā gadsimta piecdesmitiem gadiem, kad tos izmantoja kā filtrus un stiegrošanas produktus. 20. gadsimta 50. gadu beigās Terzagi izmantoja auduma konteinerus, kurus piepildīja ar cementa javu un tādējādi izveidoja ūdensnecaurlaidīgu slāni starp tērauda rievsienu un klints balstiem. Šāds risinājums tika izmantots dambja būvniecībā (no angļu valodas Mission Dam, tagad Terzagi dambis) Britu Kolumbijā, Kanādā. [5]

PVC lentes tipa austais ģeotekstils pirmo reizi tika izmantots 1958. gadā dambju būvniecībā Floridā, ASV, kur ģeotekstilu izmantoja uz dambja nogāzēm, nosedzot to ar akmeņiem. [5]

Par pirmo publicēto darbu tiek uzskatīts Ageršou ziņojums 1961. gadā ASV [6], kurā aprakstīta austa ģeotekstila izmantošana, lai aizsargātu piekrastes konstrukcijas no daļiņu izskalošanās un iespējamiem konstrukciju sabrukšanas riskiem. 70. gadu sākumā piekrastes būvdarbos Dienvidaustrumāzijā izmantoja Japānā ražotus ģeotekstila izstrādājumus. [5] Paralēli ģeosintētisko materiālu ražošana attīstījās arī Eiropā. Tādi ražošanas uzņēmumi kā Huesker un Naue Vācijā sāka izmantot augstas stiprības austus un biezus neaustus izstrādājums grunts pastiprināšanai. Augstas stiprības austie ģeotekstili tika virzīti tirgū arī no Enka/AKZO un TenCate/ Nicolon puses. [7] 70. gadu vidū ICI – Apvienotajā Karalistē, Rhone Poulence – Francijā, Chemie Linz – Austrijā un DuPont – ASV sāka veicināt neausto ģeotekstilmateriālu izmantošanu. [5]

70. gados ģeotekstilu sāka izmantot kā filtrējošu materiālu ceļa nomales drenāžai [8], uzbēruma pastiprināšanai [9] un kā stiegrojuma elementu grunts atbalstsienās. [10] [5]

Pirmie ģeokompozīti tika izmantoti kā ceļa nomales drenāža, vēlāk tos izmantoja arī kā vertikālās drenas grunts konsolidācijas paātrināšanai. [5]

Ģeotīklus izgudroja F. B. Mersers Apvienotajā Karalistē 1958. gadā. 70. gadu beigās Netlon Ltd Apvienotajā Karalistē izstrādāja polimēru ģeorežģus, kurus izmantoja grunts stiegrošanai. Ģeošūnas erozijas kontrolei un ceļa konstrukcijas pastiprināšanai tika izstrādātas Francijā 1980. gadā. [11] Pirmā konference par ģeosintētiku notika Parīzē 1977. gadā, pēc kuras 1983. gadā tika nodibināta Starptautiskā Ģeosintētikas biedrība (IGS). [5]

Pateicoties plašam izstrādājumu lietojumam infrastruktūras, vides, hidrotehniskajos un civilās būvniecības projektos nozare turpina attīstīties arī šobrīd. Ģeosintētisko materiālu izmantošana ļauj ietaupīt būvniecības un uzturēšanas izmaksas,

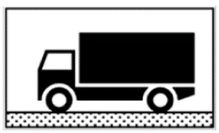
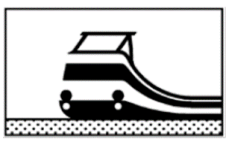
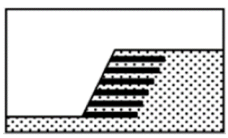
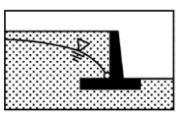
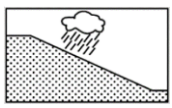
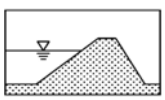
nesamazinot konstrukcijas kalpošanas laiku, kā arī dod iespēju izmantot videi draudzīgākus risinājumus, salīdzinājumā ar tradicionālajiem būvmateriāliem.

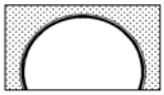
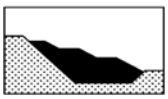
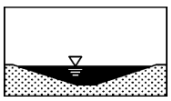
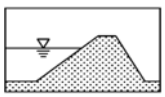
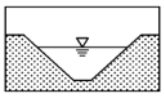
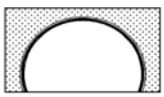
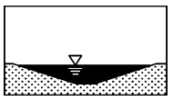
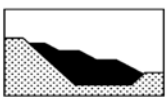
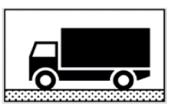
Sakarā ar plašu ģeosintētisko materiālu sortimentu var rasties pārpratumi par noteikta izstrādājuma lietojumu, funkcijām vai ekvivalences noteikšanu, kas apgrūtina darbu visām projekta īstenošanā iesaistītajām pusēm. Šādus pārpratumus parasti izdodas ievērojami samazināt, izstrādājot vadlīnijas, saskaņā ar kurām būvprojektos nosaka skaidras ģeosintētisko materiālu specifikācijas.

1.1 Pielietojuma jomas un standarti

Galvenās ģeosintētisko materiālu pielietojuma jomas ir noteiktas Eiropas saskaņotajos (harmonizētajos) standartos (Tabula 1-1). Šie standarti nosaka būtiskos raksturlielumus atbilstoši ģeosintētiskā materiāla funkcijai (vai funkcijām).

Tabula 1-1. Ģeosintētisko materiālu saskaņotie Eiropas standarti pēc pielietojuma

Standarta numurs	Piktogramma	Nosaukums
LVS EN 13249		Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Nepieciešamie raksturojumi to lietošanai ceļu un citu satiksmes platību būvniecībā (izņemot dzelzceļus un asfalta segumus).
LVS EN 13250		Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai dzelzceļu būvniecībā.
LVS EN 13251		Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai zemes darbos, pamatu un balsta konstrukciju būvniecībā.
LVS EN 13252		Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai drenāžas sistēmās.
LVS EN 13253		Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai zemes erozijas regulēšanai (piekrastes aizsardzībai, krastu nostiprināšanai).
LVS EN 13254		Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai ūdenskrātuvju un dambju būvniecībā.

Standarta numurs	Piktogramma	Nosaukums
LVS EN 13255		Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai kanālu būvniecībā.
LVS EN 13256		Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai tuneļu un pazemes būvju būvniecībā.
LVS EN 13257		Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai cieto atkritumu novietņu būvniecībā.
LVS EN 13265		Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Nepieciešamie raksturlielumi to lietošanai šķidro atkritumu norobežojošās būvēs.
LVS EN 13361		Ģeosintētiskās barjeras. Nepieciešamie raksturlielumi rezervuāru un dambju būvniecībā.
LVS EN 13362		Ģeosintētiskās barjeras. Nepieciešamie raksturlielumi kanālu būvniecībā.
LVS EN 13491		Ģeosintētiskās barjeras. Nepieciešamie raksturlielumi tuneļu un ar tiem saistītu pazemes būvju būvniecībā.
LVS EN 13492		Ģeosintētiskās barjeras. Nepieciešamie raksturlielumi šķidro atkritumu glabātuvju, pārkraušanas punktu vai sekundāro norobežojumu būvniecībā.
LVS EN 13493		Ģeosintētiskās barjeras. Nepieciešamie raksturlielumi cieto atkritumu uzglabāšanas vietu un apglabāšanas poligonu būvniecībā.
LVS EN 15381		Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai ceļa un asfalta segām.
LVS EN 15382		Ģeosintētiskās barjeras. Nepieciešamie raksturlielumi transporta infrastruktūrā.

Ģeosintētiskā materiāla tehnisko raksturlielumu saraksts (saskaņotās tehniskās specifikācijas) atbilstoši pielietojumam ir iekļauts saskaņoto standartu ZA pielikumos. Minētie raksturlielumi, izņemot ilgizturību, tiek izteikti kā vidējās (nominālās) vērtības

un pielaides vērtības, kas atbilst 95% ticamības līmenim. Deklarētās vērtības var pārbaudīt saskaņā ar standartā minēto kārtību, piemēram, EN 13249 5.5. apakšpunktā.

95 % ticamības līmenis atbilst vidējai (nominālajai) vērtībai mīnus (vai plus) pielaides vērtība. Ražotāja noteiktā vidējā (nominālā) vērtība un pielaides vērtība raksturo izstrādājuma veiktspēju saistībā ar attiecīgo raksturlielumu.

1.2 Kvalitāti apliecinošie dokumenti

Ģeosintētiskajiem materiāliem, kas ražoti saskaņā ar harmonizētiem Eiropas standartiem, jānodrošina atbilstības novērtēšanas sistēma 2+ vai 4 saskaņā ar Regulas (ES) 305/2011 V pielikumu:

- ja izstrādājums atbilst 2+ sistēmai, ražotājs izdod deklarāciju par būvizstrādājuma būtisko raksturlielumu ekspluatācijas īpašībām un paziņotā ražošanas kontroles sertifikācijas iestāde izdod ražošanas procesa kontroles atbilstības sertifikātu CPR;
- ja izstrādājums atbilst 4 sistēmai, ražotājs izdod deklarāciju par būvizstrādājuma būtisko raksturlielumu ekspluatācijas īpašībām. Šajā gadījumā paziņotās ražošanas kontroles sertifikācijas iestādes sertifikāts nav nepieciešams.

Ģeosintētiskajiem materiāliem, uz kuriem ir attiecināmas saskaņotās tehniskās specifikācijas (reglamentēta sfēra), jābūt nodrošinātiem ar materiāla ražotāja tehnisko datu lapu un objektā piegādātā materiāla ražotāja Ekspluatācijas īpašību deklarāciju. Saskaņā ar Eiropas Savienības Regulas (ES) 305/2011 6. pantu un III pielikumā pievienoto modeli EĪD jāietver šāda informācija:

- atsauce uz izstrādājuma, kuram ekspluatācijas īpašību deklarācija izstrādāta, tipu;
- ģeosintētiskā materiāla ekspluatācijas īpašību novērtējuma un pārbaudes sistēma;
- saskaņotā standarta numurs un izdošanas datums, kas izmantots katra būtiskā raksturlieluma novērtējumā;
- materiāla paredzētais pielietojums atbilstoši piemērojamajai saskaņotajai tehniskajai specifikācijai;
- saraksts ar būtiskiem raksturlielumiem, kas noteikti saskaņotajā tehniskajā specifikācijā attiecībā uz deklarēto paredzēto pielietojumu;
- ja nepieciešams – izmantotās speciālās tehniskās dokumentācijas atsauces numurs un prasības, kurām – atbilstoši ražotāja paziņotajam – materiāls atbilst.

EĪD nav jābūt norādītai informācijai par piegādes adresi, pavadzīmes (vai rēķina) numuru, piegādātāju, pasūtītāju u. tml.

Ģeosintētisko materiālu atbilstību būvprojekta specifikāciju prasībām un to ekvivalenci izvērtē saskaņā ar harmonizētajos standartos minētajiem raksturlielumiem. Gadījumā, ja būvprojekta specifikācijās ir izvirzītas papildu pamatotas prasības raksturlielumiem, kuri nav minēti harmonizētajos standartos, ģeosintētisko materiālu atbilstība prasībām var tikt pamatota ar citiem dokumentiem (testēšanas pārskatiem, tehnisko datu lapu, pētījumiem u. c.). Papildu prasības raksturlielumiem nevar tikt pieprasītas uzrādīt EĪD, jo tās nav saistošas visiem ražotājiem, kuri spēj nodrošināt ekvivalentus izstrādājumus. Norādot EĪD noteiktu materiāla funkciju, ražotājam ir nepieciešams deklarēt tikai minimālo raksturlielumu skaitu atbilstoši saskaņoto standartu specifikācijām.

Ģeosintētiskajiem materiāliem, uz kuriem nav attiecināmas saskaņotās tehniskās specifikācijas (nereglamentēta sfēra), piemēram, preterozijas ģeopaklājiem, saskaņā ar MK noteikumu Nr. 156 IV[2] daļas 30.[8] 2. apakšpunktu jābūt nodrošinātiem ar produkta tehnisko pasi, instrukciju vai cita veida dokumentu, kurā norādīta vismaz šāda informācija:

- ražotāja nosaukums, reģistrētais komercnosaukums vai reģistrētā preču zīme un kontaktadrese;
- būvizstrādājuma identifikācijas elements;
- tehniskie noteikumi, kuriem būvizstrādājums atbilst, ja tādi ir;
- garantētās tehniskās un fizikālās īpašības;
- paredzētais lietojums.

Saskaņā ar Regulu 305/2011 ar CE zīmi drīkst marķēt tikai tos būvizstrādājumus, uz kuriem attiecas saskaņotais standarts vai kuri atbilst Eiropas tehniskajam novērtējumam.

Eiropas tehnisko novērtējumu ražotāji var pieprasīt gadījumos, kad uz izstrādājumu neattiecas vai tikai daļēji attiecas kāds no saskaņotajiem standartiem.

Ar CE marķējumu preci drīkst marķēt tikai ražotājs vai tā pilnvarotais pārstāvis. Uzliekot CE marķējumu, ražotājs uzņemas pilnu atbildību par preces atbilstību visām piemērojamām prasībām.

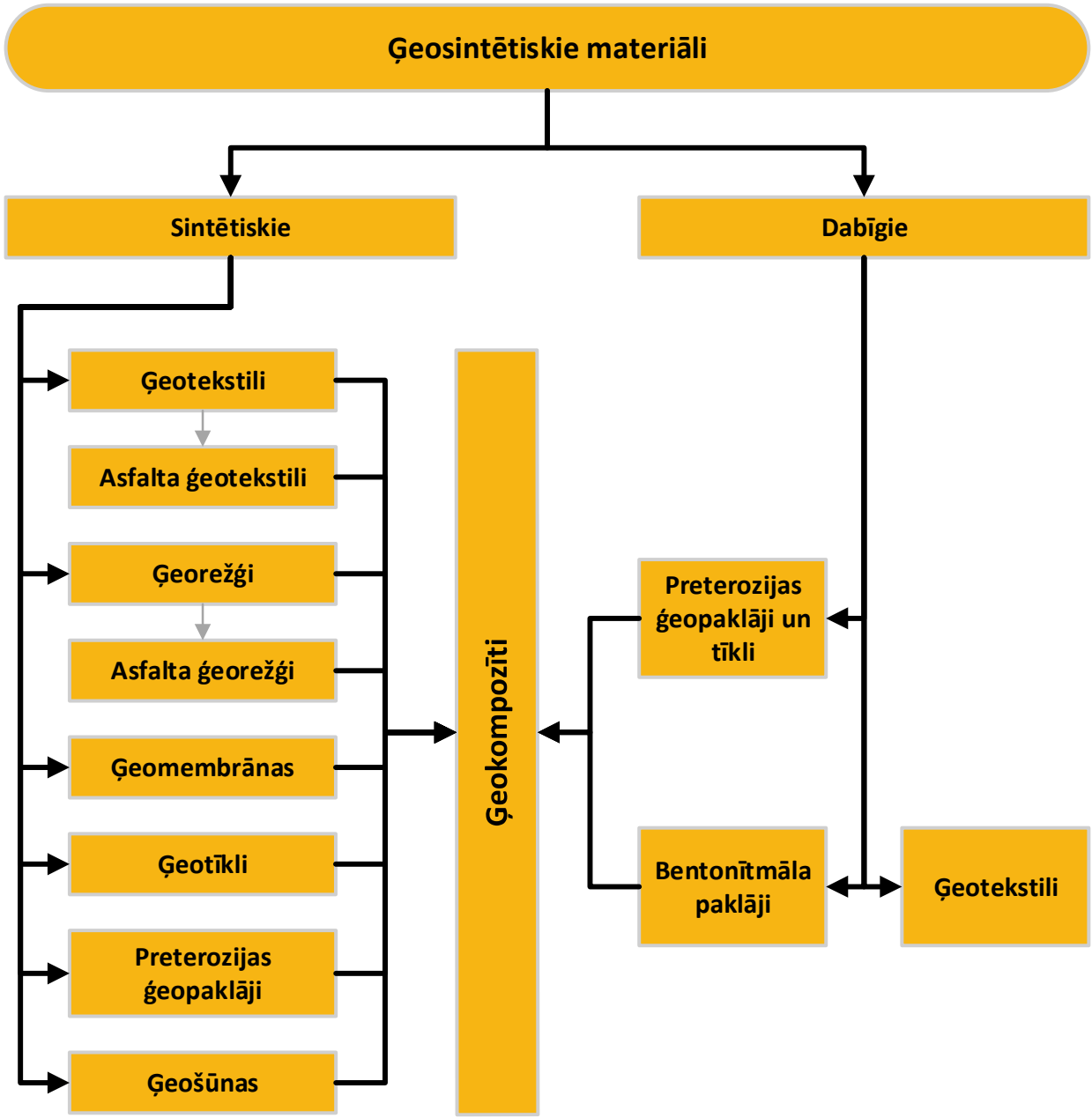
CE marķējuma simbolam jāatbilst vispārējiem principiem, kas aprakstīti Regulas (ES) 765/2008 30. pantā. Tam jābūt redzami, salasāmi un neizdzēšami izvietotam uz ģeosintētiskā materiāla, vai iepakojuma (uzlīme, birka), vai uz ģeosintētiskā materiāla pavaddokumentiem.

1.3 Ģeosintētisko materiālu klasifikācija pēc izstrādājuma tipa

Pēc ražošanas izejvielām ģeosintētiskos materiālus iedala sintētiskajos un dabīgajos (Attēls 1-2), kas attiecīgi veido lielas izstrādājumu grupas, piemēram, ģeotekstilus vai

preterozijas ģeopaklājus, kā arī dažādas šo izstrādājumu kombinācijas, ko sauc par ģeokompozītiem.

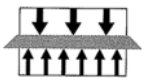
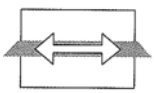
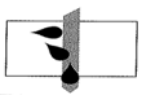
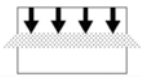
Attēls 1-2. Ģeosintētisko materiālu klasifikācija pēc izstrādājuma tipa.



Izstrādājumu ražošanā galvenokārt izmanto sintētiskos polimērus, kurus iegūst no jēlnaftas, tomēr ir arī ģeosintētiskie materiāli, kuru ražošanā tiek izmantota gumija, stiklašķiedra vai dabīgie polimēri. Izstrādājumiem, kas izgatavoti no dabīgām šķiedrām, piemēram, džutas vai kokosšķiedras, ir īss kalpošanas laiks, salīdzinājumā ar sintētiskiem izstrādājumiem, jo apkārtējās vides iedarbības rezultātā izstrādājumi noārdās. Ceļu būvniecībā tos parasti izmanto kā pagaidu risinājumu virsmas erozijas kontrolei. No dabīgām izejvielām ražo arī ģeotekstilu grupas izstrādājumus, arī to ilgmūžība ir ierobežota, un parasti nepārsniedz 20 gadus.

Saskaņā ar standartiem pēc pielietojuma katrs ģeosintētiskais materiāls veic vienu vai vairākas funkcijas (Tabula 1-2). Ģeokompozīti veic visas zemāk tabulā norādītās funkcijas, jo to kombinācijas ir ļoti dažādas. Piemēram, ģeotekstila un grunts ģeorežģa kompozītmateriāls pildīs stiegrošanas, atdalīšanas un filtrācijas funkcijas. Ģeotekstila un ģeotīkla kompozītmateriāls veiks drenāžas, atdalīšanas, filtrācijas un aizsardzības funkcijas. Šajā pētījumā netiks apskatīti lietojuma veidi, kur ģeotekstili veic aizsardzības funkciju un hidroizolācijas materiāli – barjeras funkciju.

Tabula 1-2. Ģeosintētisko materiālu funkcijas atbilstoši Eiropas saskaņotajām specifikācijām

Funkcija	**Standarti pēc pielietojuma**	**Ģeosintētisko materiālu grupa**						
		Ģeotekstili	**Asfalta ģeotekstili**	**Ģeorežģi, asfalta ģeorežģi**	**Ģeomembrānas, bentonītmāla paklāji**	**Ģeošūnas**	**Ģeotīkli (sintētiskie)**	**Ģeokompozīti**
Atdalīšana 	EN 13249; EN 13250; EN 13251; EN 13252; EN 13253; EN 13254; EN 13255; EN 13257	v						v
Filtrācija	EN 13249; EN 13250; EN 13251;EN 13252; EN 13253; EN 13254; EN 13255; EN 13257; EN 13265	v						v
Stiegrošana 	EN 13249; EN 13250; EN 13251; EN 13253; EN 13254; EN 13255; EN 13257; EN 13265; EN 15381	v		v		v		v
Drenāža 	EN 13252	v					v	v
Barjera	EN 15381; EN 13361; EN 13362; EN 13491; EN 13492; EN 13493; EN 15382				v			v
Aizsardzība 	EN 13256; EN 13257; EN 13265	v						v
Atspriegošana	EN 15381		v					v

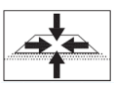
Papildus iepriekš minētajām ģeosintētisko materiālu funkcijām (Tabula 1-2), standartā EN ISO 10318 "Ģeosintētiskie izstrādājumi. Termini un definīcijas" ir definētas arī virsmas

erozijas kontroles un mehāniskās stabilizācijas funkcijas. Taču šīs funkcijas nav iekļautas saskaņotajos Eiropas standartos pēc pielietojuma, jo abām funkcijām nav definēti ģeosintētisko izstrādājumu minimālie raksturlielumi un to testēšanas standarti saskaņā ar ZA pielikumiem.

Funkcijas, ar funkcijām saistītie raksturlielumi un lietojamās testa metodes [12]

Raksturlielumi	**Testa metodes**	**Funkcijas**		
		Filtrācija	**Atdalīšana**	**Stiegrošana**
Stiepes stiprība	EN ISO 10319	A	A	A
Pagarinājums pie maksimālās slodzes	EN ISO 10319	A	A	A
Stingums pie 2%, 5% un 10%	EN ISO 10319	-	-	S
Šuvju un savienojumu stiepju izturība	EN ISO 10321	S	S	S
Statiskā caurdures pretestība (CBR tests)	EN ISO 12236	S	A	A
Dinamiskā caursišanas pretestība (krītošā konusa tests)	EN ISO 13433	A	A	A
Berze	EN ISO 12957-1; EN ISO 12957-2	S	S	S
Stiepes slīde	EN ISO 13431	-	-	S
Izturība pret bojājumiem uzstādīšanas laikā	EN ISO 10722	S	S	S
Raksturīgais atvēruma izmērs	EN ISO 12956	A	A	-
Ūdens caurlaidība normāla plaknei (ātruma indekss)	EN ISO 11058	A	A	S
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	A	A	A
Kodu atbilstība: A: attiecas uz visiem lietošanas apstākļiem S: attiecas uz konkrētiem lietošanas apstākļiem "-": neattiecas uz šo funkciju.				

Ģeosintētiskais materiāls, kas veic mehāniskās stabilizācijas un virsmas erozijas kontroles funkcijas:

- ∇  mehāniskā stabilizācija – ģeorežģi un ģeošūnas;
- ∇ virsmas erozijas kontrole – preterozijas paklāji un ģeošūnas.

Stabilizācijas funkcija sākotnēji tika definēta ģeorežģim, kura acs forma atšķīrās no citiem ģeorežģiem, un uz to, pēc ražotāja uzskatiem, nevarēja attiecināt saskaņotajos

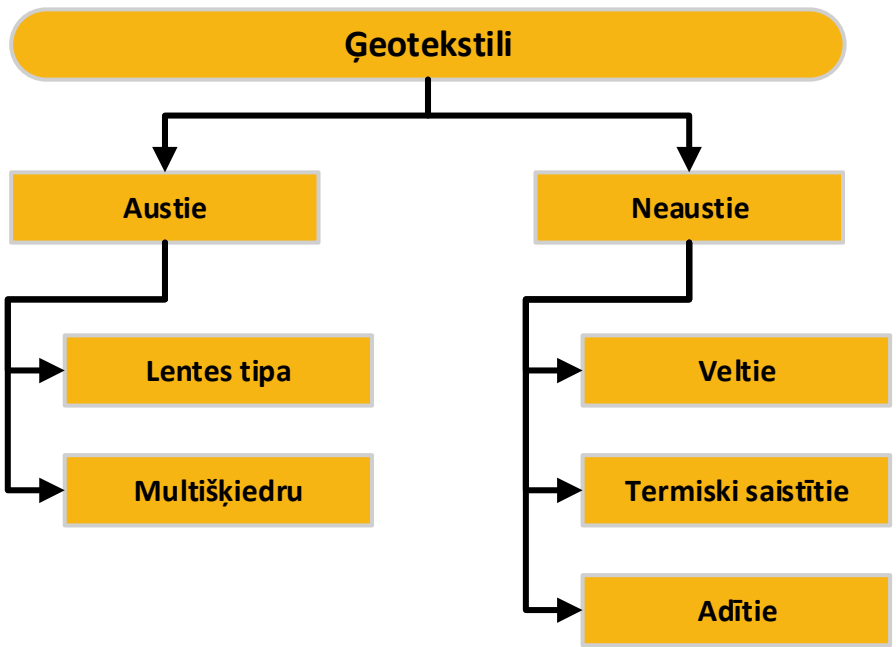
standartos esošās funkcijas. Ražotājs izmantoja Eiropas tehniskā novērtējuma sertifikācijas procesu (EOTA ziņojuma numurs TR 041 no angļu val. - EOTA Technical report TR 041 "Non-reinforcing hexagonal geogrid for the stabilization of unbound granular layers by way of interlock with the aggregate" /Nestiegrojošs sešstūra ģeorežģis nesaistīto kārtu stabilizēšanai, saķīlējoties ar minerālmateriālu pildvielu). Tā kā ziņojums TR041 tika veikts deklarējot jaunu ģeorežģa funkciju, arī raksturlielumi tika izmantoti vadoties pēc ražotāja definētām īpašībām, nevis standartiem pēc pielietojuma. Izejot tehniskā novērtējuma procesu izstrādājumam EĪD tika apstiprināta funkcija "Stabilizācija". Vēlāk stabilizācijas funkcijas definīcija tika iekļauta EN ISO 10318 "Termini un definīcijas", tomēr tās raksturlielumi nav atspoguļoti saskaņotajos standartos.

Pētījuma izstrādes brīdī autoriem nav informācijas, ka kāds no ražotājiem būtu sertificējis ģeošūnas ar stabilizācijas funkciju.

1.3.1. Ģeotekstili

Ģeotekstils ir ūdenscaurlaidīgs tekstilmateriāls, kuru galvenokārt ražo no PP, PET, PE vai PA šķiedrām. Ģeotekstilu iedalījums pēc ražošanas veidiem parādīts attēlā (Attēls 1-3).

Attēls 1-3. Ģeotekstilu iedalījums pēc ražošanas veidiem



Ģeotekstilu izmantošana būvniecībā pēdējo trīsdesmit gadu laikā ir nepārtraukti palielinājusies, un šobrīd tieši ģeotekstili ir visplašāk lietotie ģeosintētiskie materiāli.

Attēls 1-4. Atdalīšana ar ģeotekstilu [13]

Ģeotekstila ražošanas process ietver divus posmus. Pirmais ir lineāru elementu izgatavošana, piemēram, šķiedras un dzijas, otrais – lineāro elementu apvienošana, tā lai izveidotu plakanu struktūru, ko parasti sauc par audumu. [5]

Ģeotekstilus pēc ražošanas veida iedala divās lielās grupās: neaustajos un austajos. Neaustos ģeotekstilus iedala trīs ģeotekstilu veidos: termiski saistītie, veltie un adītie (Attēls 1-4), kurus pārsvarā ražo no PP un PET izejvielām. Viena no izplatītākajām neaustā ģeotekstila ražošanas metodēm ir caurduršana ar adatām. Ar šādu metodi ražo veltā tipa neaustos ģeotekstilus, kad lielu daudzumu īso šķiedru vienmērīgi izklāj noteiktā biezumā un, lai šķiedras savienotu savā starpā, tās caurdur ar adatām, veidojot viendabīgu audumu.

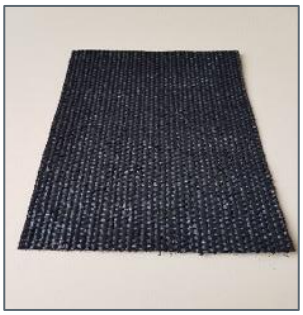
Otrs neausto ģeotekstilu veids ir termiski saistītie. Nosaukums tieši atspoguļo ģeotekstilu ražošanas veidu, kur polimēru šķiedras savieno termiskās apstrādes rezultātā.

Adītos ģeotekstilus ražo līdzīgi kā austos, savstarpēji savienojot pavedienu cilpas, lietojot adīšanas un aušanas iekārtas. Šāda tipa ģeotekstilu izmantošana ceļu būvē ir retums.

Austos ģeotekstilus ražo uz tekstilizstrādājumiem paredzētajām aušanas iekārtam. Ražošanas process ietver pavedienu savstarpēju saaušanu, veidojot viendabīgu audumu. Atkarībā no šķiedras struktūras austos ģeotekstilu materiālus iedala: lentes tipa un multišķiedru.

Tabulā (Tabula 1-3) aprakstīti faktori, kas jāņem vērā, izvēloties ģeotekstila veidu.

Tabula 1-3. Austo un neausto ģeotekstilu faktoru salīdzinājums

Faktori	Austais ģeotekstils	Neaustais ģeotekstils
		
Minimālais nosedzošās kārtas biezums	200 mm (lai samazinātu ģeotekstila bojājumus būvniecības laikā)	
Stiprības parametri	Raksturīga augsta stiepes stiprība pie salīdzinoši maziem pagarinājumiem. Ģeotekstilu stiprības parametrus atdalīšanai salīdzināt pēc enerģijas absorbcijas indeksa (skatīt formulu [1.1.]).	Raksturīgs salīdzinoši liels pagarinājums, kas kompensē stiepes stiprību, veicot atdalīšanas funkciju. Ģeotekstilu stiprības parametrus salīdzināt pēc enerģijas absorbcijas indeksa (skatīt formulu [1.1.]).
Hidrauliskie parametri	Zema ūdenscaurlaidība. Salīdzinoši liels raksturīgā atvēruma izmērs, kas samazina grunts atdalīšanas efektivitāti.	Augsta ūdenscaurlaidība. Salīdzinoši mazs raksturīgā atvēruma izmērs, kas novērš atdalāmās grunts daļiņu pārvietošanos. Adītajiem ģeotekstiliem pārsvarā ir salīdzinoši liels raksturīgā atvēruma izmērs.
Ilgizturība	Mazāk jutīgi pret UV salīdzinājumā ar neaustajiem ģeotekstiliem. Izmantojot UV absorbētājus, ir augsta ilgizturība. Ģeotekstiliem no pirmreizējās izejvielas kalpošanas laiks ir virs 100 gadiem gruntīs ar 4 < pH < 9 un grunts temperatūrā < 25 °C.	Jutīgi pret UV ietekmi; ja nav paredzēts nosegt ~2 nedēļu laikā, nepieciešams izmantot UV absorbētājus. Ģeotekstiliem no pirmreizējās izejvielas kalpošanas laiks ir virs 100 gadiem gruntīs ar 4 < pH < 9 un grunts temperatūrā < 25 °C.
Lietojums pēc funkcijas	Grunts atdalīšanai, filtrācijai un stiegrošanai.	Grunts atdalīšanai, filtrācijai, drenāžai un aizsardzībai.

Ģeotekstila projektēšanas principus atdalīšanai un filtrācijai skatīt 4.3. nodaļā Projektēšanas principi, savukārt stiegrošanai – 2.3. nodaļā Projektēšanas principi.

1.3.1.1 Ģeotekstila funkcijas

Ģeotekstils veic šādas funkcijas:

- ∇ atdalīšana;
- ∇ filtrācija;
- ∇ stiegrošana;
- ∇ drenāža;
- ∇ aizsardzība.

Atdalīšanas funkcija (Attēls 1-5) novērš dažādu konstrukcijas kārtu sajaukšanos un pamatnes grunts smalko daļiņu pārvietošanos starp kārtām, šādā veidā pagarinot ceļa konstrukcijas kalpošanas laiku. Grunts daļiņu iekļūšana ceļa konstrukcijā samazina attiecīgās kārtas bīdes pretestību, kā rezultātā samazinās ceļa konstrukcijas nestspēja. Šāda pārvietošanās starp ceļa konstrukcijas kārtām pastiprināti notiek satiksmes dinamisko slodžu iedarbības rezultātā.

Attēls 1-5. Atdalīšana ar ģeotekstilu [14]

Lai efektīvi veiktu atdalīšanas funkciju, ģeotekstilam jāsasniedz noteikta stiprība pie noteikta pagarinājuma bez bojājumiem. Šo divu stiprības parametru kopējo darbu sauc par ģeotekstila vidējo enerģijas absorbcijas indeksu R_a, kuru aprēķina pēc formulas:

$$\boldsymbol{R_a = \frac{1}{2} \times F_a \times \varepsilon_a} \quad [1.1.]$$

$$\boldsymbol{F_a = \frac{1}{2} \times (F_{MD} + F_{CMD})} \quad [1.2.]$$

$$\boldsymbol{\varepsilon_a = \frac{1}{2} \times (\varepsilon_{MD} + \varepsilon_{CMD})} \quad [1.3.]$$

kur:
R_a – vidējais enerģijas absorbcijas indekss;
F_a – vidējā stiepes stiprība;
$_a$ – vidējais maksimālais pagarinājums, procentos;
F_{MD} – nominālā stiepes stiprība garenvirzienā;
F_{CMD} – nominālā stiepes stiprība šķērsvirzienā;
$_{MD}$ – nominālais maksimālais pagarinājums garenvirzienā, procentos;
$_{CMD}$ – nominālais maksimālais pagarinājums šķērsvirzienā, procentos.

Lielākie ģeotekstila bojājumi var rasties būvniecības laikā, tāpēc nepieciešams izvēlēties atbilstošu ģeotekstila klasi, atkarībā no nosedzošā materiāla granulometriskā sastāva un esošās grunts nestspējas.

Filtrācijas funkcija nodrošina brīvu ūdens plūsmu caur materiālu un tā ir cieši saistīta ar atdalīšanas funkciju. Ģeotekstilu, kā filtra materiālu izmanto drenāžas sistēmām (Attēls 1-6), atdalot drenāžas tranšeju vai cauruli no apkārtējās grunts.

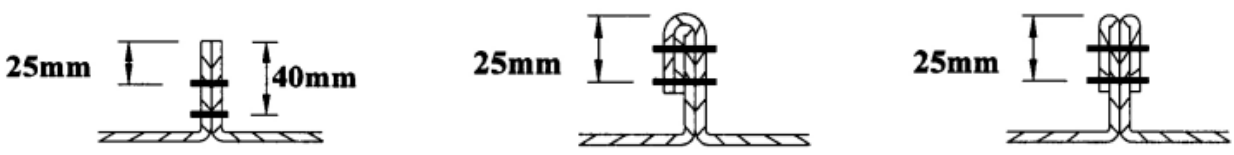
Attēls 1-6. Ģeotekstila filtrācijas funkcija [14]

Izvēloties filtra materiālu nepieciešams ievērot sekojošus nosacījumus: [15]

- ja ģeotekstila raksturīgā atvēruma izmērs ir mazāks par lielākajām grunts daļiņām, tad filtrs aiztur grunts daļiņas, kurām ir tendence pārvietoties;
- ja raksturīgā atvēruma izmērs ir pietiekami liels, tad smalkās grunts daļiņas iziet cauri filtram un ģeotekstils neveido barjeru;
- ģeotekstilam ir jābūt pietiekami porainam (neaustie ģeotekstili), ar labiem caurlaidības parametriem, lai nodrošinātu ūdens plūsmu pat tad, ja daļa atvērumu aizsērēs.

Stiegrošanas funkciju ģeotekstils nodrošina, izmantojot berzes īpašības starp izstrādājuma virsmu, grunti un nosedzošo materiālu. Ieklājot ģeotekstilu, uzmanība jāpievērš pārlaiduma vietām (starp ģeotekstila loksnēm), kur starp divām ģeotekstila virsmām veidojas berze. Ieteicamais ģeotekstila pārlaiduma platums ir atkarīgs no zemes klātnes nestspējas, bet pārsvarā tas ir robežās no 0,5 m līdz 1,0 m.
Pārlaiduma platumu var samazināt, aizstājot to ar ģeotekstila lokšņu sašūšanu. Šuvju stiepes stiprību pārbauda saskaņā ar EN ISO 10321. Šuvju veidi ir parādīti attēlā turpmāk (Attēls 1-7).

Attēls 1-7. Ģeotekstila šuvju veidi [15]



a) plakanā šuve b) J-veida šuve c) tauriņveida šuve

Šūšana parasti ir ekonomiski izdevīga gadījumos, kad jāveido ≥ 1 m ģeotekstila pārlaiduma platums. Lauka apstākļos ģeotekstila šūšanai parasti izmanto plakano vai "J" veida šuves, savukārt kvalitatīvu tauriņveida šuvi lielākoties var nodrošināt tikai rūpnīcas apstākļos.

Pareizas šuves nodrošina slodžu sadali starp blakus esošajām ģeotekstila sloksnēm, tomēr ir vairāki apsvērumi, kas jāņem vērā:

- ∇ kvalitatīvas šuves stiprība parasti sasniedz 50-80 % no ģeotekstila stiepes stiprības, jo šujot ģeotekstils tiek bojāts adatas caurduršanas vietās;
- ∇ šobrīd rūpnīcas apstākļos ir iespējams sasniegt 200 kN/m šuves stiprību, izmantojot ģeotekstilu ar stiepes stiprību 330 kN/m;
- ∇ šuves stiprība lauka apstākļos, visticamāk, būs zemāka nekā rūpnīcas apstākļos;
- ∇ šuvju iziršanu novērš izmantojot augstākas kvalitātes aprīkojumu, pareizi izvēloties adatas, diegu un šuves veidu;
- ∇ ģeotekstila ieklāšanas laikā nepieciešams rūpīgi pārbaudīt visas šuves

Ģeotekstils veic arī drenāžas funkciju, novirzot noteiktu ūdens daudzumu pa ģeotekstila plakni, taču šis apjoms, salīdzinot ar drenāžas ģeokompozītiem, ir samērā niecīgs (drenāžas risinājumus skatīt 7. nodaļā Ceļa konstrukcijas drenāžas risinājumi).

Aizsardzības funkciju ģeotekstils veic tikai kombinācijā ar citiem ģeosintētiskajiem materiāliem, piemēram, ģeomembrānām. Šeit nav iekļautas ģeotekstila aizsardzības un drenāžas funkcijas. Ceļa konstrukcijā ģeotekstilu pārsvarā izmanto atdalīšanai, filtrācijai un stiegrošanai.

1.3.1.2 Ģeotekstilu tehniskie parametri un testi

Ģeotekstila tehniskie parametri, to saistība ar lietošanas apstākļiem un izmantojamās testa metodes ir ietvertas standartā EN 13249. Turpmāk norādīti būtiskākie raksturlielumi un testa metodes.

Tabula 1-4. Ģeotekstila tehniskie parametri un testa metodes

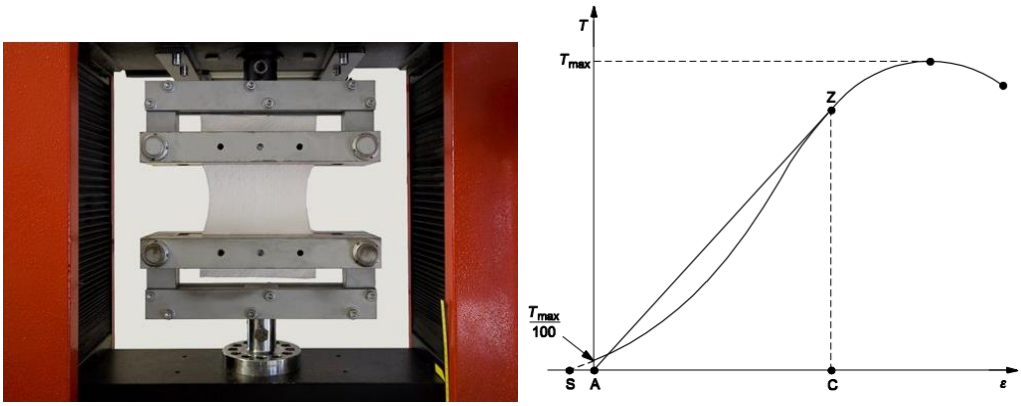
Raksturlielumi	**Mērv.**	**Testa metode (standarts)**
Stiepes stiprība, MD/CMD	kN/m	EN ISO 10319
Pagarinājums, MD/CMD	%	EN ISO 10319
Statiskā caurduršanas stiprība, CBR	kN	EN ISO 12236
Konusa tests	mm	EN ISO 13433
Ūdenscaurlaidība perpendikulāri plaknei	$l/m^2 \cdot s$	EN ISO 11058
Raksturīgā atvēruma izmērs	µm	EN ISO 12956
Svars	g/m^2	EN ISO 9864
Ilgizturība	gadi	Saskaņā ar EN 13249 B pielikumu

Ģeotekstilu īpašības iedala fizikālās, mehāniskās, ilgmūžības un hidrauliskās. Katrai īpašībai ir savs raksturlielumu kopums, kas nosaka ģeotekstila spēju veikt noteiktu funkciju.

Fizikālās īpašības raksturo materiāla biezums, svars uz vienu kvadrātmetru, saskaņā ar EN ISO 9864, un izejvielas.

Ģeotekstila mehāniskie raksturlielumi ir stiepes stiprība, pagarinājums, statiskā caurduršanas stiprība un konusa tests. Stiepes stiprību un pagarinājumu nosaka saskaņā ar EN ISO 10319 platjoslas stiepes testu (Attēls 1-8).

Attēls 1-8. Ģeotekstila platjoslas stiepes tests un stiepes deformācijas līknes piemērs

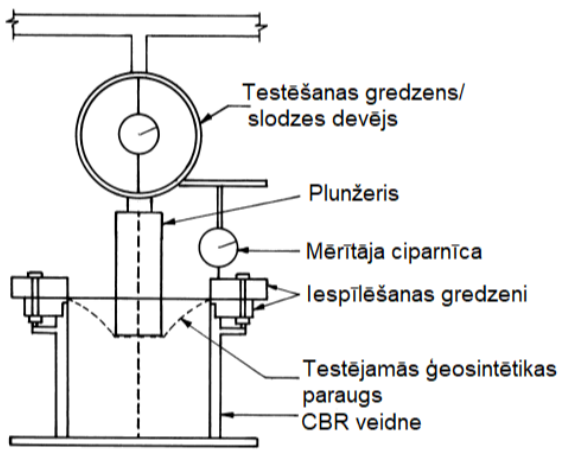


Paraugu visā testēšanas platumā nostiprina stiepes testēšanas iekārtā, tad ar konstantu ātrumu stiepj, līdz tas sabrūk. Testu veic gan materiāla garenvirzienā, gan šķērsvirzienā. Testā nosaka sekojošo raksturlielumu vērtības:

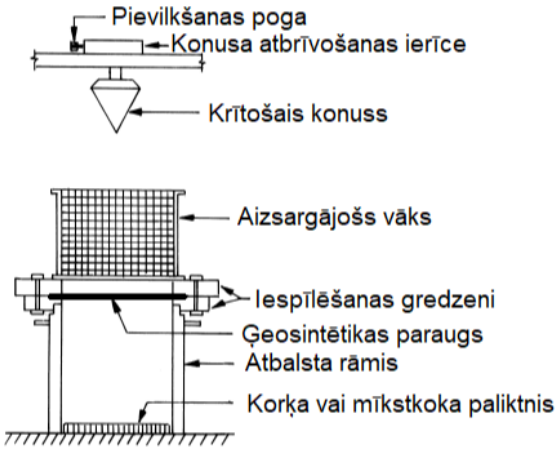
- maksimālo izstrādājuma stiepes stiprību;
- stiepes stiprību pie 2%, 5% un 10% pagarinājuma;
- maksimālo pagarinājumu procentos.

Statiskais (CBR) un dinamiskais (konusa) caurduršanas tests (Attēls 1-9) nosaka ģeotekstila spēju uzņemt spēkus, kas iedarbojās uz izstrādājumu būvniecības un ekspluatācijas laikā. Testus veic saskaņā ar EN ISO 12236 un EN ISO 13433.

Attēls 1-9. Ģeotekstila statiskais un dinamiskais caurduršanas tests



a) statiskais caurduršanas tests



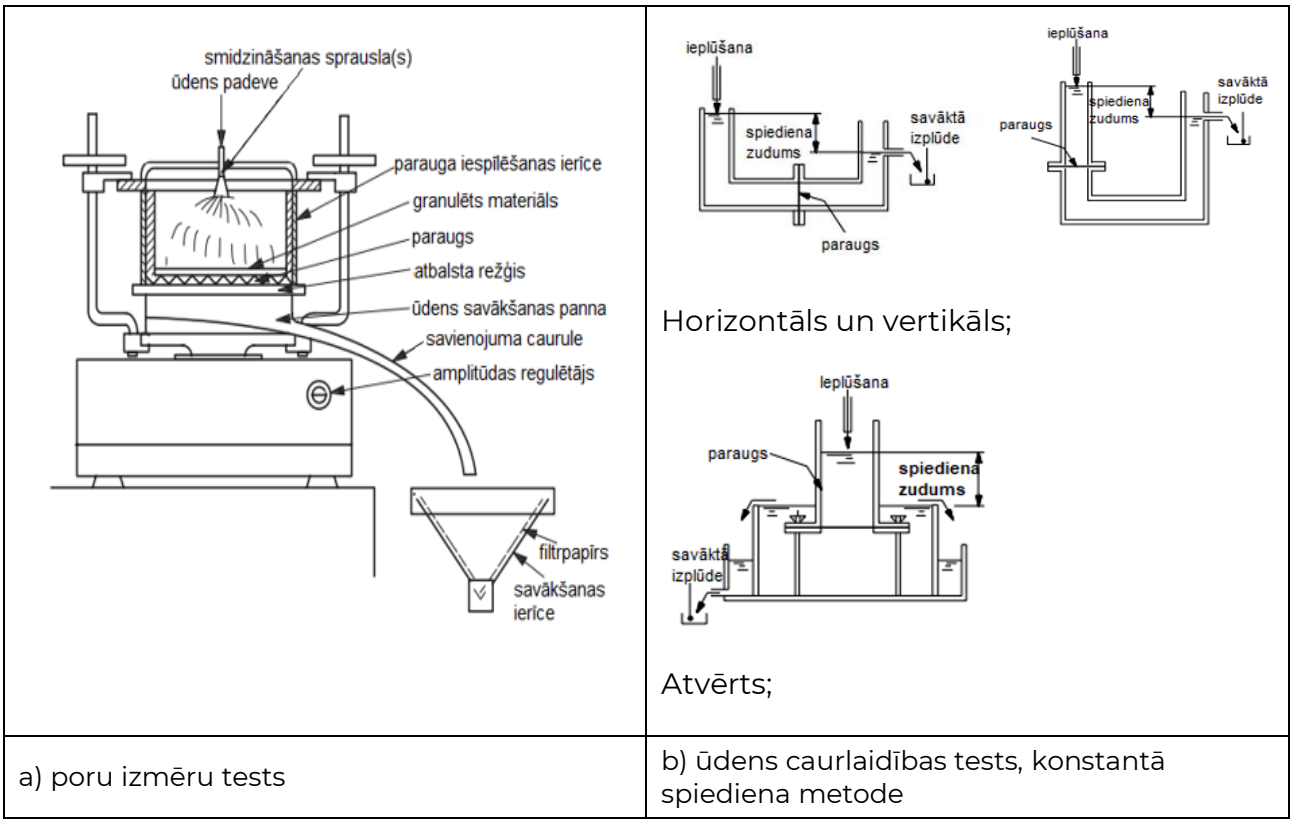
b) krītošā konusa tests

Statiskās caurduršanas testā paraugu iespīlē starp diviem tērauda gredzeniem un perpendikulāri tiem pārvieto virzuli ar konstantu ātrumu parauga centrā. Tad veic mērījumus ar kādu spēku virzulis caurspiež ģeotekstila paraugu.

Krītošā konusa testā paraugu iespīlē horizontāli starp diviem tērauda gredzeniem. Nerūsējošā tērauda konusu ar smailo galu pa priekšu nomet parauga centrā no 500mm augstuma. Veic ģeotekstila parauga cauruma diametra mērījumu, ko izveido konuss caurdurot paraugu.

Ģeotekstilu hidrauliskās īpašības galvenokārt ietekmē materiāla spēju darboties kā filtram. Raksturīgie parametri ir porainība, jeb atvērtā laukuma procentuālais daudzums, un ūdens caurlaidība perpendikulāri plaknei. Poru izmēru nosaka saskaņā ar EN ISO 12956 (Attēls 1-10a). Vispirms nosaka sausā ģeotekstila un minerālmateriāla svaru, tad ģeotekstilu samitrina un nostiprina testēšanas iekārtā. Minerālmateriālu izsijā uz parauga, virsū izsmidzinot ūdeni. Minerālmateriāla daļa, kas iziet cauri ģeotekstila paraugam, tiek savākta ar filtrpapīra palīdzību. Paraugu kopā ar minerālmateriālu, kas paliek uz ģeotekstila virsmas, noņem un izžāvē, nosakot to svaru. Saskaņā ar EN ISO 12956 aprēķina minerālmateriāla zudumus un atlikumus. Nobeigumā veic poras izmēra aprēķinus. Minerālmateriāla prasības noteiktas standarta 5.2. apakšpunktā.

Attēls 1-10. Ģeotekstila statiskais un dinamiskais caurduršanas tests



a) poru izmēru tests	b) ūdens caurlaidības tests, konstantā spiediena metode

Ūdens caurlaidību perpendikulari plaknei nosaka saskaņā ar EN ISO 11058. Testu veic ar pastāvīga spiediena vai spiediena krituma metodēm, atkarībā no iekārtas. Pēc konstantā spiediena metodes vispirms paraugu vispirms samitrina un izvada visus gaisa burbuļus. Tad to ievieto testēšanas iekārtā (Attēls 1-10b) un uzpilda ar ūdeni līdz brīdim, kamēr izveidojas spiediena starpība. Lai sasniegtu spiediena zudumu, noregulē ūdens plūsmu vai to nosaka pēc tilpuma, tad iegūto plūsmas vērtību reģistrē. Nobeigumā veic rezultātu apkopojumu un aprēķinu saskaņā ar standartā norādīto.

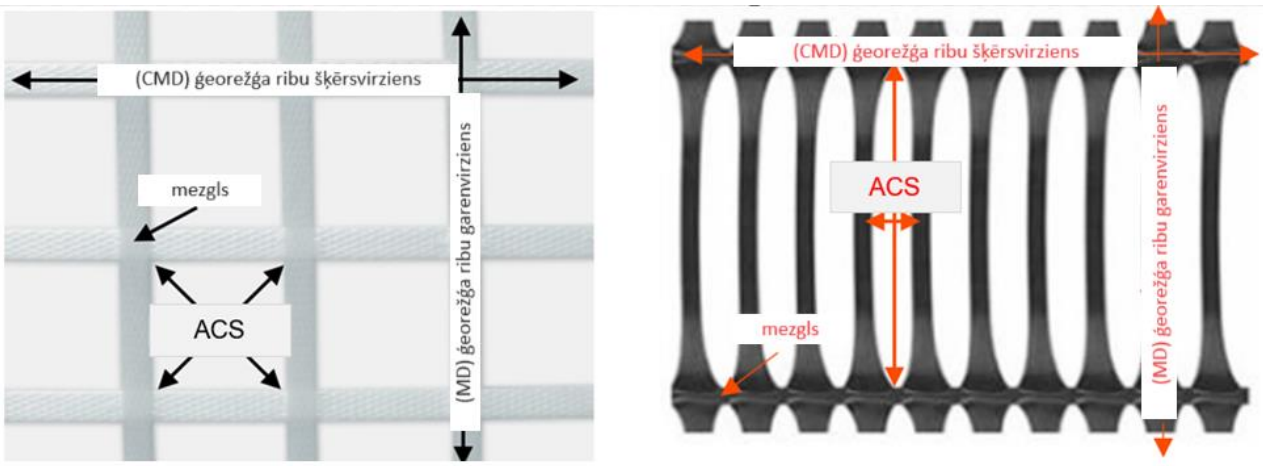
Ģeotekstila izturību nosaka saskaņā ar EN 13249 B pielikumu.

Ģeotekstila parametru skaitliskās vērtības skatīt nodaļā 4.3. Projektēšanas principi.

1.3.2 Ģeorežģi

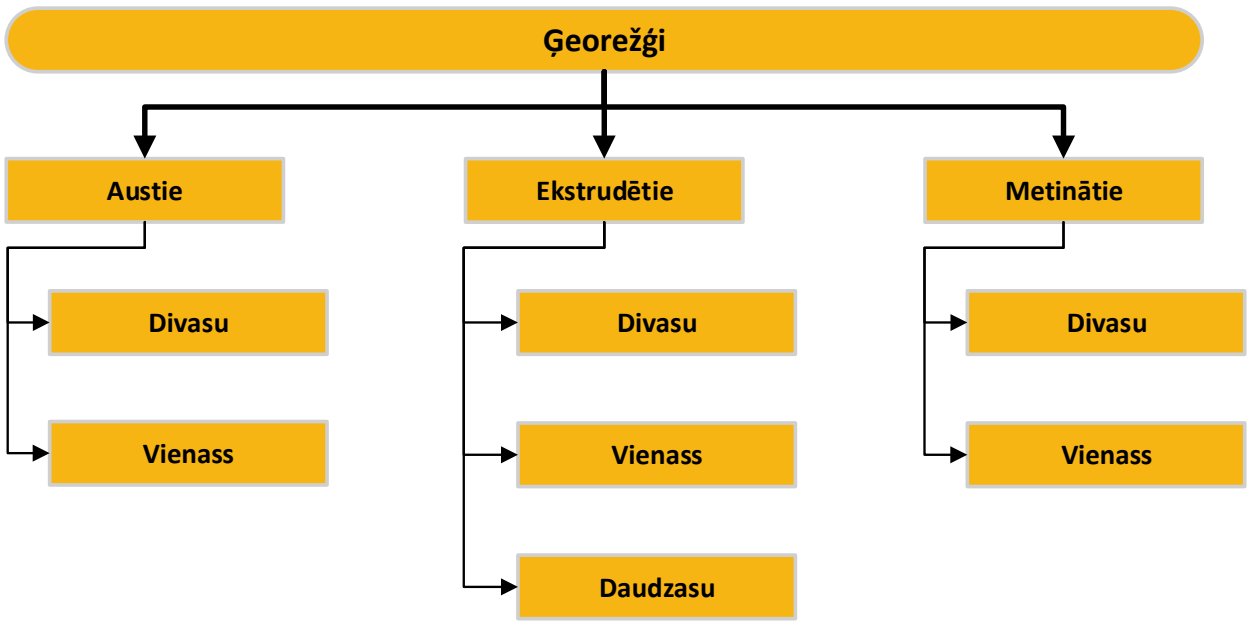
Ģeorežģi ir polimērmateriāli, kas tiek ražoti, savienojot izstrādājuma nesošos elementus noteiktā attālumā, tādējādi veidojot atvērumus pēc režģa principa. Nesošos elementus sauc par ribām, to krustošanās punktus sauc par mezgliem, bet atvērumus starp ribām sauc par acīm (Attēls 1-11).

Attēls 1-11. Ģeorežģa elementi [16]



Pēc ražošanas veida ģeorežģu iedalījums parādīts attēlā (Attēls 1-12).

Attēls 1-12. Ģeorežģu iedalījums pēc ražošanas veidiem



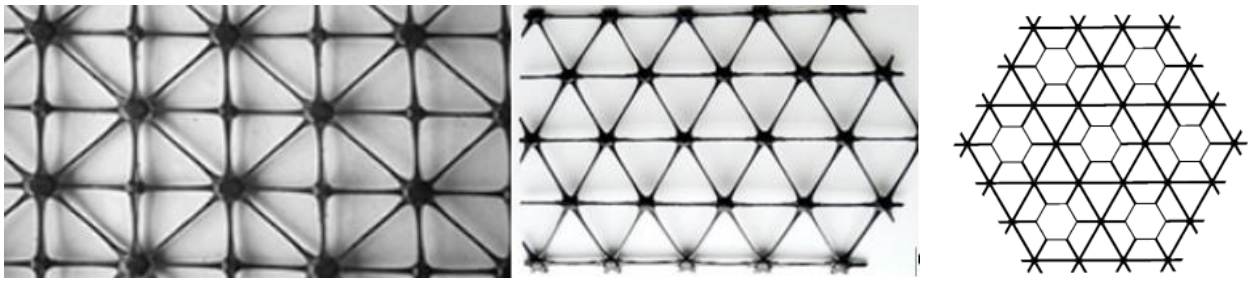
Katram ražošanas veidam (austs, ekstrudēts, metināts) papildus izdala vienass vai divasu ģeorežģus, ko nosaka ģeorežģa garenvirziena un šķērsvirziena stiepes stiprības vērtību attiecība. Divasu ģeorežģus ražo tā, lai abi virzieni spētu uzņemt vienādus (vai līdzīgus) stiepes spēkus, tātad garenvirziena un šķērsvirziena stiepes stiprības vērtības būs identiskas. Šāda tipa ģeorežģus parasti izmanto nesaistīto kārtu stiegrošanā, lai palielinātu minerālmateriāla bīdes pretestību no satiksmes slodžu radītajām deformācijām. Tos sauc arī par “balansētiem” ģeorežģiem.

Vienass ģeorežģiem viens no virzieniem (parasti tas ir garenvirziens) spēj uzņemt ievērojami lielākus stiepes spēkus nekā otrs. Stiepes stiprības vērtību atšķirībai starp garenvirzienu un šķērsvirzienu nav noteiktas robežas, tomēr var apgalvot, ka tā sastāda vismaz 50%. Šķērsvirziena stiepes stiprības vērtībai nav būtiskas nozīmes no

konstrukcijas stabilitātes viedokļa, tā ir saistīta ar konkrēta ģeorežģa ražošanas specifiku. Vienasu ģeorežģus izmanto, piemēram, grunts atbalstsienās.

Tirgū ir pieejami arī ģeorežģi ar ribām, kuru virziens plaknē var būt dažādos leņķos. Šādi ģeorežģi ir zināmi arī kā "trīsasu", "četrasu" vai "daudzasu" (Attēls 1-13). Saskaņā ar EN ISO 10319 ģeorežģu stiepes stiprības vērtības, neatkarīgi no ribu skaita un to virziena, tiek noteiktas divos virzienos: garenvirzienā un šķērsvirzienā.

Attēls 1-13. Ģeorežģu piemēri ar vairākām ribām. [17] [18] [19]



Daudzasu (trīsasu, četrasu) tipa ģeorežģi tiek izmantoti nesaistīto kārtu stiegrošanā. Stiepes stiprības vērtības garenvirzienā un šķērsvirzienā šādiem ģeorežģiem, tāpat kā divasu, ir praktiski identiskas abos virzienos. Saskaņā ar EN ISO 10319, ģeorežģu stiepes stiprības vērtības tiek noteiktas divos virzienos: garenvirzienā un šķērsvirzienā, neatkarīgi no ribu skaita un to virziena.

Austos ģeorežģus ražo līdzīgi kā austos ģeotekstilus, izmantojot aušanas iekārtas. Tos ražo no augstas izturības polimēru šķiedrām, savstarpēji savijot pavedienus krustojuma punktos, šādi veidojot režģa struktūru ar noteiktu acs izmēru. Ražošanā pārsvarā tiek izmantotas PET, PVA vai AR šķiedras. Austie ģeorežģi tiek ražoti izmantojot arī papildus pārklājumu, piemēram, PVC, kas nodrošina aizsardzību pret ieklāšanas bojājumiem un/vai vides ietekmes.

Ekstrudētie ģeorežģi tiek ražoti, izmantojot divas metodes:

1. metode: ražošanā tiek izmantota HDPE membrāna vienasu ģeorežģiem un PP membrāna divasu (trīsasu, četrasu) ģeorežģiem, parasti tā ir ap 4-6mm bieza. Membrānā noteiktā rakstā izdur caurumus un temperatūras ietekmē tā tiek vienmērīgi izstiepta, veidojot režģa struktūru. Šo ražošanas metodi sauc arī par "perforēto-stiepto", un tā bija pirmā metode, saskaņā ar kuru ģeorežģis kā produkts tika izgudrots un saražots. Atkarībā no sākotnējā membrānas biezuma ģeorežģis iegūst attiecīgo stiepes stiprību. Tā kā membrānas ražošanas biezums ir ierobežots, attiecīgi arī stiepes stiprībai ir maksimālās vērtības. Piemēram, ekstrudētiem divasu ģeorežģiem maksimālā stiepes stiprība nepārsniedz 40-45kN/m. Trīsasu vai četrasu ģeorežģu viena no ražošanas

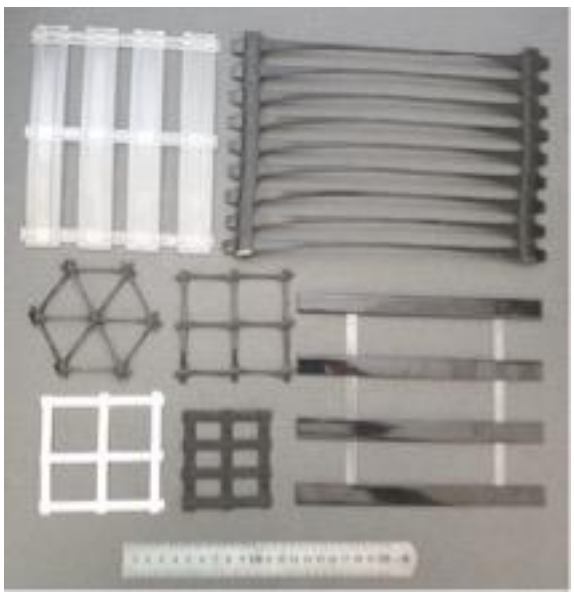
atšķirībām ar divasu ģeorežģiem ir caurumu raksts, kas tiek veidots perforējot membrānu;

2. metode: ražošanā izmanto PP (vai PE) granulas, kuras izspiež caur ekstrūderi, izveidojot tīklam līdzīgu struktūru. Vēlāk tīklu pārgriež un temperatūras ietekmē vienmērīgi izstiepj. Salīdzinot ar pirmo metodi galvenā atšķirība ir tā, ka polimēru molekulārās ķēdes netiek pārrautas, kā tas notiek membrānas perforācijas laikā. Tāpēc ekstrūzijas procesā ražotiem ģeorežģiem ribas veidojas ar mazliet noapaļotām malām, salīdzinot ar taisnām ribu malām ģeorežģiem, kas tiek ražotas pēc "perforētās-stieptās" metodes.

Metināto ģeorežģu ražošanas procesā vispirms tiek ražotas atsevišķas polipropilēna vai poliestera lentas. Tās var būt gludas vai ar atsevišķu tekstūru, tādējādi uzlabojot grunts un ģeorežģa berzes mijiedarbību. Pēc tam lentas tiek nospriegotas un, izveidojot režģa struktūru, ar lāzera vai ultraskaņas palīdzību tiek sametināti to krustošanās mezgli.

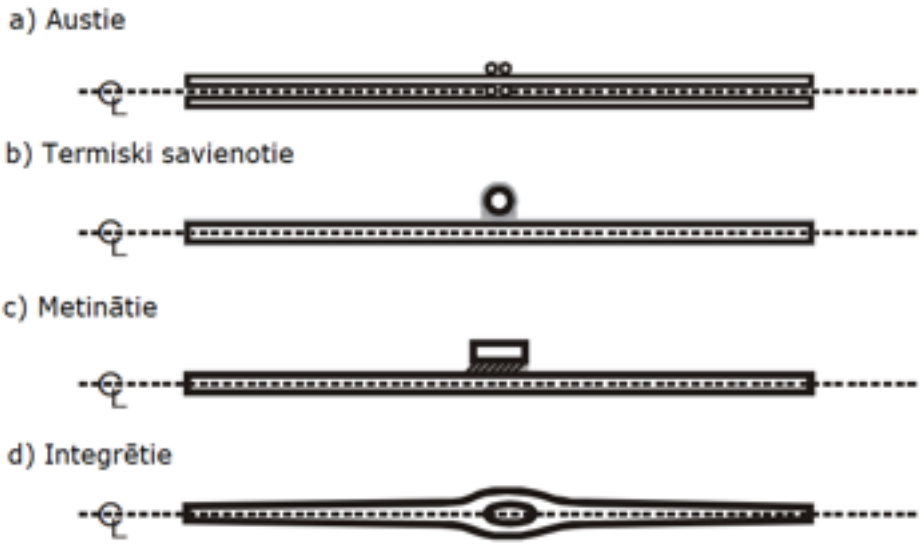
Atkarībā no ražošanas veida ģeorežģiem var atšķirties acs izmēri un/vai forma. Vairums ģeorežģu tiek ražoti ar taisnstūra vai kvadrātveida acs formu, taču ir pieejami arī ģeorežģi ar, piemēram, izstieptās elipses (vienasu ekstrudētiem ģeorežģiem) vai trīsstūra acs formām. (Attēls 1-14).

Attēls 1-14. Ģeorežģu acs formu piemēri



Visu veidu ģeorežģu mezgli nodrošina acs ģeometrisko stabilitāti ieklāšanas laikā. Ģeorežģu mezglu veidi un to šķērsgriezumi ir parādīti attēlā zemāk (Attēls 1-15). [20]

Attēls 1-15. Ģeorežģu mezglu šķērsgriezumi [20]



Tabulā (Tabula 1-5) ir aprakstīti faktori, kas jāņem vērā, izvēloties kādu no ģeorežģa veidiem.

Tabula 1-5. Ģeorežģu faktoru salīdzinājums

Faktori	**Austs ģeorežģis**	**Ekstrudēts ģeorežģis**	**Metināts ģeorežģis**
Minimālais nosedzošās kārtas biezums	200 mm (lai samazinātu ģeorežģa bojājumus būvniecības laikā)		
Maksimālais nosedzošās kārtas biezums	Nesaistīto kārtu stiegrošanai ≤ 300 mm, lai saglabātu ieķīlēšanas efektu. Stiegrotās grunts konstrukcijās (zemes klātnes stiegrošanai un nogāžu iekšējās noturības nodrošināšanai) maks. solis starp stiegrojuma slāņiem ir atkarīgs no grunts īpašībām un tiek noteikts pēc aprēķina.		
Stiprības parametri	Nesaistīto kārtu stiegrošanai: stingums pie 2% pagarinājuma. Stiegrotās grunts konstrukcijās: ilgtermiņa stiepes stiprība (maksimālā vai pie noteiktā pagarinājuma).		
Mezglu veidi	Austie vai termiski savienotie	Integrētie	Metinātie
Piepūles nodošana no garenvirziena ribām uz šķērsribām nesaistīto kārtu stiegrošanā	Nav	Ir	Ir

Faktori	Austs ģeorežģis	Ekstrudēts ģeorežģis	Metināts ģeorežģis
Mijiedarbības mehānisms starp ģeorežģi ar grunti, kas uzlabo grunts īpašības	Nesaistīto kārtu stiegrošanā – berze. Stiegrotās grunts konstrukcijās – berze.	Nesaistīto kārtu stiegrošanā – ieķīlēšanas efekts un berze. Stiegrotās grunts konstrukcijās – berze.	Nesaistīto kārtu stiegrošanā – ieķīlēšanas efekts un berze. Stiegrotās grunts konstrukcijās – berze un ribu rotācija.
Optimālais acs izmērs ieķīlēšanas efektam	24–45 mm, maisījumiem no 0/32 mm līdz 0/63 mm.		
Ilgizturība	100 gadi gruntīs ar 4 < pH < 9 pie grunts temperatūras < 25 ℃.		
Lietojums pēc ģeorežģa galvenā stiprības virziena	Nesaistīto kārtu stiegrošanā – divasu. Zemes klātnes stiegrošanai – vienass un divasu. Nogāžu iekšējās noturības nodrošināšanai – vienass.	Nesaistīto kārtu stiegrošanā – divasu, daudzasu. Zemes klātnes stiegrošanai – vienass un divasu. Nogāžu iekšējās noturības nodrošināšanai – vienass.	Nesaistīto kārtu stiegrošanā – divasu. Zemes klātnes stiegrošanai – vienass un divasu. Nogāžu iekšējās noturības nodrošināšanai – vienass.

Grunts stiegrošanas ģeokompozīti apvieno ģeorežģu un ģeotekstilu funkcijas. To ražošanas process atšķiras atkarībā no ģeorežģu veida, piemēram, ekstrudētos ģeorežģus un neausto ģeotekstilu savieno termiski vai ar līmes palīdzību, austo ģeorežģi ar ģeotekstilu cauršuj, savukārt metinātiem ģeorežģiem ģeotekstilu integrē starp ribām. Savienošanas mezglu stiprībai starp ģeorežģi un ģeotekstilu nav būtiskās nozīmes, bet tai jābūt tik augstai, lai ģeokompozīta ieklāšanas bojājumu riski būtu pēc iespējas mazāki. Grunts stiegrošanas ģeokompozītu var aizstāt ar atsevišķu ģeorežģi un ģeotekstilu, kas atbilst stiprības un hidrauliskajiem raksturlielumiem.

Ģeorežģu projektēšanas principus nesaistīto kārtu stiegrošanai skatīt 3.1. nodaļā Projektēšanas principi.

Ģeorežģu projektēšanas principus stiegrotās grunts konstrukcijām skatīt 2.3. nodaļā Projektēšanas principi un 5.1. nodaļā Projektēšanas principi.

1.3.2.1 Ģeorežģu funkcija

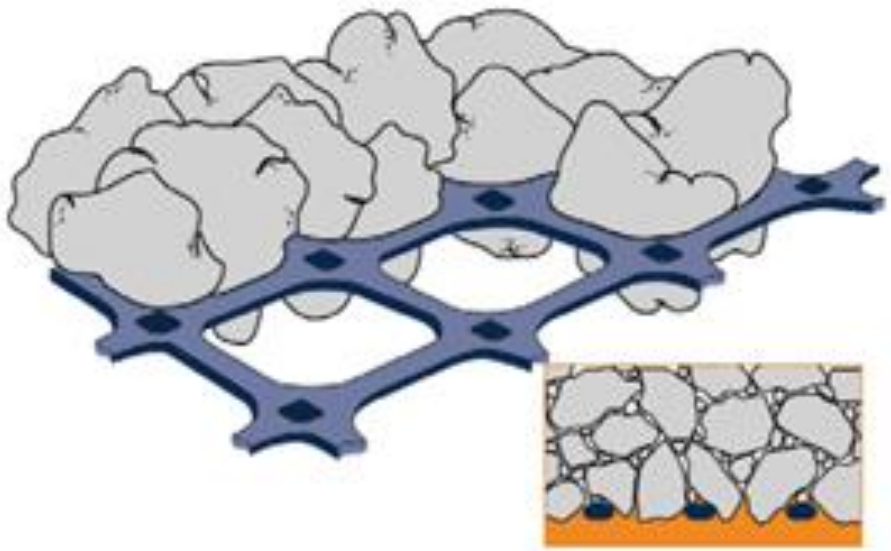
Grunts ģeorežģi veic stiegrošanas funkciju un atkarībā no izmantošanas to var iedalīt divās grupās:

- nesaistīto kārtu stiegrošana;

- ∇ zemes klātnes stiegrošana un nogāžu iekšējās noturības nodrošināšana (konstrukcijas ar ilgtermiņa slodzēm uz ģeorežģi).

Ģeorežģu izmantošana nesaistīto kārtu stiegrošanā uzlabo minerālmateriālu konstrukcijas mehāniskās īpašības, palielinot tās bīdes pretestību. Daļiņu pārvietojumi, kurus izraisa vertikālās satiksmes slodzes, tiek ierobežotas ar ieķīlēšanas (Attēls 1-16) un berzes efektiem atkarībā no ģeorežģa veida.

Attēls 1-16. Ieķīlēšanas efekts [21]



Nesaistīto kārtu daļiņu pārvietojumu ierobežošana ir efektīva pie mazām ģeorežģu deformācijām, kad ģeorežģis tiek ieklāts uz sablīvētas kārtas ar salīdzinoši labu nestspēju, piemēram, virs drenējošās kārtas. Šādās konstrukcijās ģeorežģu deformācijas parasti ir mazākas par 1%, bet ir iespējamas arī līdz 2%. [22]

Ģeorežģa stiepes stiprības un pagarinājuma parametri ir noteicošie mehāniskie raksturlielumi. Īstermiņa sekantes stingumu (vai stiepes moduli) *J* pie noteiktā pagarinājuma aprēķina pēc formulas:

$$J = \frac{F \times c \times 100}{\varepsilon} \quad [1.4.]$$

kur:

$c = N_m / n_s$ – *vienass, divasu un ģeorežģiem ar trīsstūra acs formu;* [1.5.]

vai $c = 1/B$ – *ģeorežģiem ar trīsstūra acs formu un citai ģeosintētika;* [1.6.]

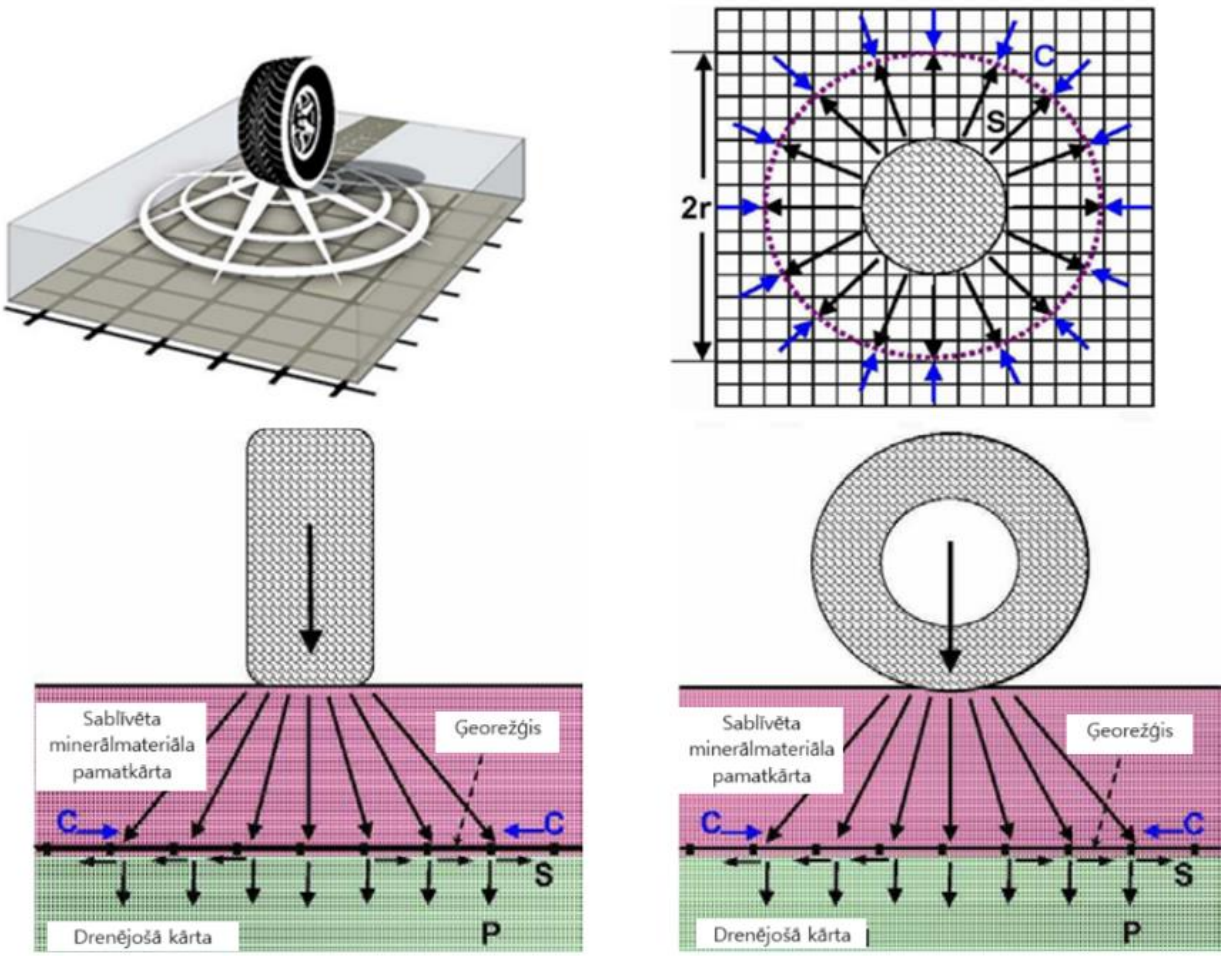
J – sekantes stingums vai stiepes modulis (kN/m);
F – noteiktais spēks ar deformāciju ε (kN);
ε – konkrētā deformācija procentos;
c – attiecība, kas iegūta no formulas [1.5.] vai formulas [1.6.];
N_m – stiepes elementu vidējais skaits testējamā izstrādājuma 1 m platumā;
n_s – stiepes elementu skaits testa paraugā;
B – parauga nominālais platums (m).

Par nesaistīto kārtu stiegrošanu ar ģeorežģiem ir veikti daudzi pētījumi, no kuriem nozīmīgākie ir [23] un [24]. Abos pētījumos ģeorežģu stingums tika atzīts par galveno raksturlielumu, lai ģeorežģis efektīvāk ierobežotu daļiņu pārvietojumus. [25]

Saskaņā ar EN 13249 stinguma vērtību izstrādājumiem, kas veic stiegrošanas funkciju, nosaka pie 2 %, 5 % un 10 %, bet tā kā daļiņu pārvietojumu ierobežošanas gadījumā ģeorežģa pagarinājums nepārsniegs 2 %, turpmāk ģeorežģu efektivitātes salīdzināšanai ieteikts izmantot tieši šo raksturlieluma vērtību.

Riteņa slodzes iedarbību uz ceļa pamatkārtu var raksturot kā vienmērīgu piepūļu konusu, kas rada spiedienu P uz mīkstāku drenējošās kārtas materiālu un izraisa bīdes spēkus S (Attēls 1-17). Ģeorežģa izmantošana zem pamatkārtas rada pretspēku C, kas ierobežo daļiņu pārvietojumus apļveida zonā ar rādiusu r. Riņķa iekšienē visas ģeorežģa ribas tiek nostieptas ar tādu spēku, kura vērtība ir tieši proporcionāla relatīvajam ģeorežģa pagarinājumam [25] un izstrādājuma stinguma vērtībai, ko nosaka Huka likums [1.7] elastīgam deformācijām:

Attēls 1-17. Riteņa slodzes uz ceļa konstrukciju [21]



$$F = J * \varepsilon; \quad [1.7]$$

F- spēks, kN;
J- stinguma modulis, kN/m;
ε- relatīvais pagarinājums, m.

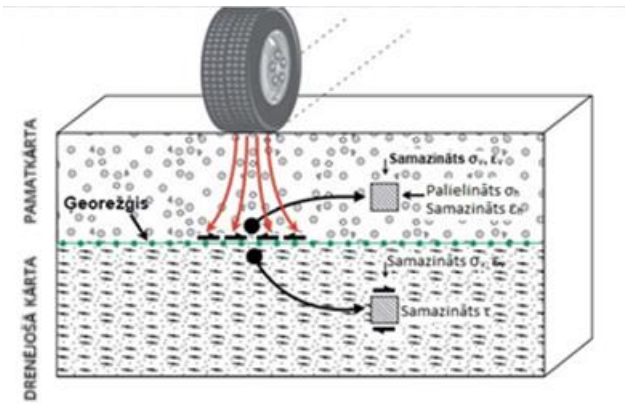
Ir noteikti trīs mehānismi pamatkārtu stiegrošanai ar ģeorežģiem:

- ∇ pārvietojumu ierobežošana;
- ∇ nestspējas palielināšana;
- ∇ balsta membrānas efekts;

Pārvietojumu ierobežošanas mehānisms:

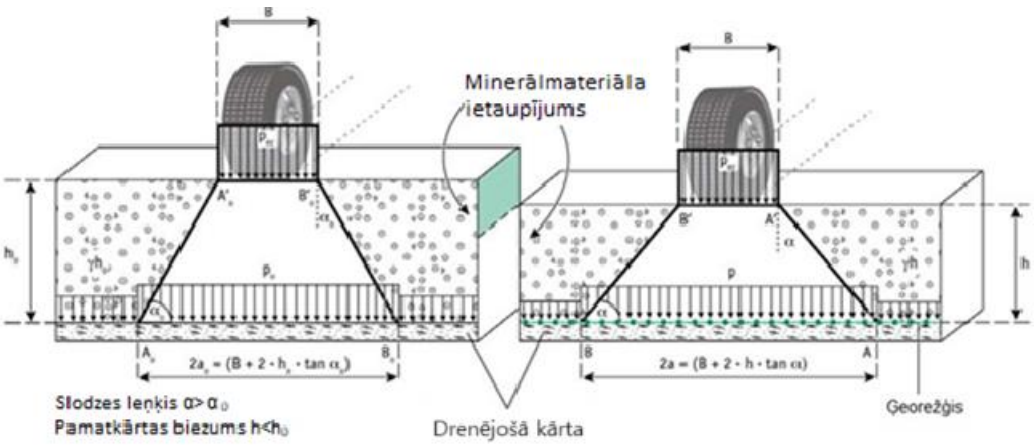
- ∇ samazina vertikālos spriegumus un deformācijas pamatkārtā, izkliedējot satiksmes slodzi uz lielāku laukumu;
- ∇ palielina pamatkārtas stingumu, samazinot horizontālās deformācijas;
- ∇ samazina vertikālos spriegums un deformācijas drenējošajā kārtā;
- ∇ samazina bīdes spriegums τ drenējošajā kārtā (Attēls 1-18).

Attēls 1-18. Pārvietojumu ierobežošanas mehānisms nesaistītajās kārtās [26]



Ģeorežģu izmantošana nesaistītajās kārtās samazina vertikālās deformācijas, izkliedējot satiksmes slodzes uz lielāku laukumu. (Attēls 1-19). Tas attiecīgi pagarina ceļa konstrukcijas kalpošanas laiku, salīdzinot ar ceļa konstrukciju bez ģeorežģa, vai dod iespēju samazināt pamatkārtas biezumu. Ja pamatkārtas biezums netiek samazināts, var uzskatīt, ka ģeorežģis palielina pamatkārtas nestspēju.

Attēls 1-19. Satiksmes slodzes leņķis ar un bez ģeorežģa [27]



Minerālmateriāla ieķīlēšanās efektivitāte ģeorežģa acīs (materiāla daļiņu ierobežošana) ir atkarīga no frakcijas un ģeorežģa acs izmēra, kā arī no ģeorežģa nosedzošā materiāla kārtas (vai slāņa) biezuma. To pierāda arī vairāki pētījumi ar tiešās bīdes testiem, piemēram [28] veica pētījumu par dzelzceļa balasta bīdes pretestības palielinājumu, uz kuru atsaucās arī [29].

No augstāk minētājiem pētījumiem ieķīlēšanas efektu atkarībā no ģeorežģa acs izmēra var iedalīt trīs kategorijās:

- ∇ vājš ieķīlēšanas efekts, kad ģeorežģa atvēruma izmērs ir mazāks par D_{50}×0,95;
- ∇ optimāls ieķīlēšanas efekts, kad ģeorežģa acs izmērs ir no D_{50}×0,95 līdz D_{50} × 3,5;
- ∇ Samazinošs ieķīlēšanas efekts, kad ģeorežģa acs izmērs ir lielāks par D_{50}×3,5.

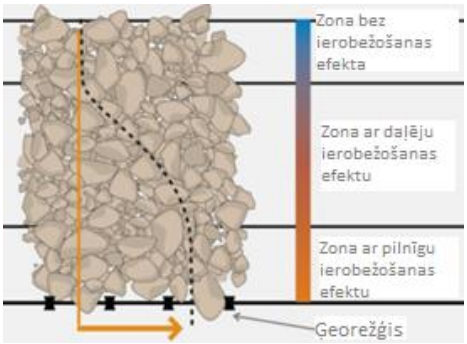
** D_{50} - grunts daļiņu izmērs, par kuru 50% daļiņas ir ar mazāku izmēru.*

Ģeorežģa acs minimālais izmērs nodrošina efektīvu savstarpēju daļiņu bloķēšanu, savukārt maksimālais izmērs nepieļauj to, ka vienā acī ir pārāk daudz daļiņu, jo to brīvie pārvietojumi samazina materiāla bīdes pretestību. [29]

Sakarā ar to, ka nav noteikta viena optimālā izmēru attiecība, ieteicamais ģeorežģu acs izmērs minerālmateriāla maisījumiem no 0-32 mm līdz 0-63 mm efektīvai nesaistīto kārtu ieķīlēšanai būtu robežās no 25 mm līdz 45 mm.

Pētījumos [30] un [31] apskatīts frakcionēta materiāla pārvietojumu ierobežojošais efekts, atkarībā no nosedzošā materiāla slāņa biezuma, kāds ir efekta samazinājums, palielinoties attālumam no ģeorežģa (Attēls 1-20).

Attēls 1-20. Hipotētiskās pārvietojumu ierobežošanas zonas [32]

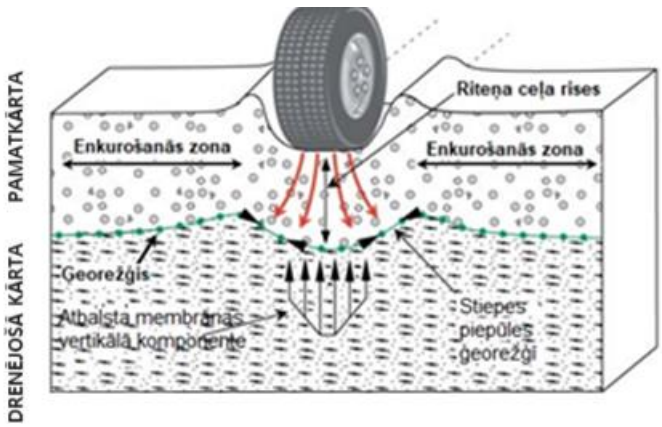


Abos pētījumos ir noteikts, ka ģeorežģis ievērojami palielina nosedzošā materiāla bīdes pretestību. Lielākā bīdes pretestības vērtība virs ģeorežģa tiek sasniegta no ≈ 50 mm līdz 150 mm un tā saglabājas līdz ≈ 250 mm.

Ieteiktais minimālais kārtas (vai slāņa) biezums virs ģeorežģiem ir 200 mm, kas ir saistīts ar ģeorežģu ieklāšanas bojājumu samazināšanu. Savukārt maksimālais kārtas (vai slāņa) biezums ir 300 mm.

Veicot pētījumus [33] par nesaistīto kārtu stiegrošanu ar ģeorežģiem tika novērots, ka stiegrotām ceļu konstrukcijām rises dziļums progresē lēnāk, ne tikai līdz brīdim kamēr pastāv ieķīlēšanas efekts, bet arī līdz ģeorežģa sabrukumam. Šādu mehānismu nosauca par atbalsta membrānas efektu (Attēls 1-21).

Attēls 1-21. Atbalsta membrānas efekts [26]



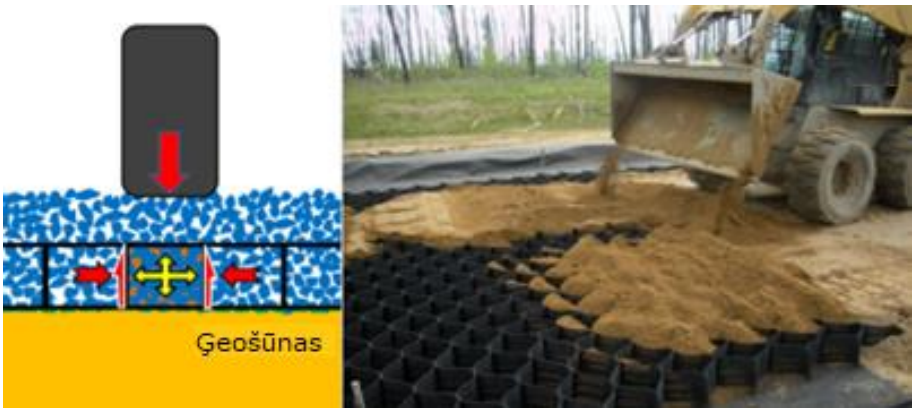
Atbalsta membrānas efekts, izmantojot ģeorežģi, veidojas vertikālo deformāciju rezultātā. Deformācijas līmenim jābūt pietiekami lielam, lai ģeorežģis iegūtu izliektu formu un abās rises pusēs veidotos ģeorežģa enkurošanas zonas. Tiek uzskatīts, ka šādas deformācijas ir iespējams sasniegt, ja grunts nestspēja zem ģeorežģa nepārsniedz vērtību CBR = 3 %. [34] Šāds mehānisms parasti veidojas uz grants ceļiem, vai vietās, kur ir pieļaujamas lielākas ceļa konstruktīvo kārtu deformācijas.

Nesaistīto kārtu stiegrošanas efektivitāte ar ģeorežģiem ir atkarīga no šādiem raksturlielumiem:

- ģeorežģa stingums pie 2% pagarinājuma;
- ģeorežģa acs un nosedzošā, drupināta materiāla frakcijas izmērs;
- nosedzošā materiāla kārtas biezums;
- ģeorežģa ieklāšanas bojājumu koeficients;
- drenējošās kārtas un pamatkārtas sablīvējums.

Ceļa nesaistīto kārtu stiegrošanai var izmantot arī ģeošūnas, kuras nodrošina mehāniskās stabilizācijas efektu, ar ģeošūnu sieniņām ierobežojot nosedzošā materiāla horizontālus pārvietojumus. Satiksmes slodzes rada apļveida stiepes deformācijas šūnas sieniņā kopā ar pretspēku, kas tiek nodrošināts ar apkārt esošo pildījuma materiālu un šūnu sieniņu berzes spēkiem (Attēls 1-22). [35] Ģeošūnu stiegrošanas funkcijas definētas EN 13249.

Attēls 1-22. Ģeošūnu mehāniskā stabilizācija [36]



Konstrukcija darbojas kā plātne, kas spēj uzņemt un izkliedēt satiksmes slodzes, tādējādi samazinot zemāk esošās grunts deformācijas. Pilnīga daļiņu pārvietošanās ierobežojuma zona ir vienāda ar ģeošūnu augstumu. Lai palielinātu materiāla bīdes pretestību lietderīgi izmantot perforētas ģeošūnas, kas nodrošina labāku daļiņu bloķēšanu caur šūnu sieniņām perforācijas zonā. [36] Ģeošūnu ierobežojošie faktori ir savienojumu (metinājumu) stiprība un sarežģīta ieklāšana virs gruntīm ar nepietiekamu nestspēju. [35] Ģeošūnas veic stiegrošanas funkciju pēc EN 13249.

Ģeošūnu aprakstu skatīt nodaļā 1.3.5 Preterozijas ģeosintētiskie materiāli.

Ģeorežģu stiegrošanas funkcija tiek izmantota arī grunts konstrukcijās, piemēram, nogāzes iekšējās noturības nodrošināšanā vai zemes klātnes pastiprināšanā. Stiegrotas grunts konstrukcijas stabilitāte ir atkarīga no ģeorežģa un grunts īpašībām, gruntsūdeņu, nokrišņu savākšanas un novadīšanas risinājumiem, ģeorežģa novietojuma, enkurošanas, stiegrotās konstrukcijas ģeometrijas, pamatnes stabilitātes un būvniecības apstākļiem. Viena no būtiskākām atšķirībām starp nesaistīto kārtu

stiegrošanu ir tāda, ka grunts konstrukcijās pastāv ilgtermiņa slodzes, kas nepārtraukti iedarbojas uz ģeorežģi.

Stiegrošana veicina nogāzes stabilitāti divos veidos. Pirmkārt, stiegrojums tieši uzlabo grunts bīdes pretestību, otrkārt, stiegrotā zona notur zonu bez stiegrojuma līdzsvara stāvoklī nepārslogojot pamatnes gruntis. [5]

Ģeorežģa raksturlielums, kas nodrošina stiegrotās grunts konstrukcijas stabilitāti, ir ilgtermiņa stiepes stiprība. To aprēķina, samazinot īstermiņa stiepes stiprību ar redukcijas koeficientiem. Ģeorežģu redukcijas koeficientu noteikšanai veic atsevišķus testus, bet to rezultātus atspoguļo sertifikātos. Piemēram, BBA HAPAS sertifikātos, kurus izdot Lielbritānijas vienošanās padome.

Ģeorežģa projektēšanas principus ar ilgtermiņa slodzēm skatīt nodaļās 2 Zemes klātnes pastiprināšana un 5 Zemes klātnes nogāžu iekšējās noturības nodrošināšana.

Ģeorežģu ieklāšanas ieteikumus skatīt nodaļās 2.5 Iestrādes tehnoloģija, 3.3 Iestrādes tehnoloģija un 5.3 Iestrādes tehnoloģija.

1.3.2.2 Ģeorežģu tehniskie parametri un testi

Ģeorežģa tehniskie parametri, to saistība ar lietošanas apstākļiem un izmantojamās testa metodes ir aprakstītas EN 13249. Turpmāk norādīti būtiskākie raksturlielumi un testa metodes.

Tabula 1-6. Ģeorežģa raksturlielumi un testa metodes

Raksturlielumi	Mērv.	Testa metode
Stiepes stiprība, MD/CMD	kN/m	EN ISO 10319
Pagarinājums, MD/CMD	%	EN ISO 10319
Ilgizturība	gadi	Saskaņā ar EN 13249 B pielikumu
Bīdes spēks starp ģeosintētisko materiālu un grunti	kN	EN ISO 12957-1
Berzes spēks starp grunti un ģeosintētisko materiālu	kN	EN ISO 12957-2
Ieklāšanas bojājumu koeficients	-	EN ISO 10722; BS-8006; EBGEO
Šļūdes koeficients	-	EN ISO 13431; ISO/TR 20432
Noturība pret mikrobioloģisko iedarbību	-	EN 12225
Noturība pret hidrolīzi	-	EN 12447
Noturība pret oksidāciju	-	EN ISO 13438
Noturība pret skābes un sārmus saturošiem	-	EN ISO 12960

Raksturlielumi	Mērv.	Testa metode
šķidrumiem		
Noturība pret atmosfēras apstākļu iedarbību	-	EN 12224

Ģeorežģis parasti neuzrāda būtiskus stiprības zudumus atmosfēras apstākļu iedarbībā, ieskaitot ultravioleto starojumu, ja izstrādājuma nosegšanas laiks nepārsniedz vienu mēnesi. Atmosfēras apstākļu iedarbība tiek pārbaudīta saskaņā ar EN 12224.

Ģeorežģu fizikālās īpašības, piemēram, ribu un acs izmēru, var izmērīt tieši un samērā vienkārši. Citas īpašības ir masa uz laukuma vienību un atklāts ģeorežģa laukums, kas parasti ir robežās no 40 % līdz 95 %.

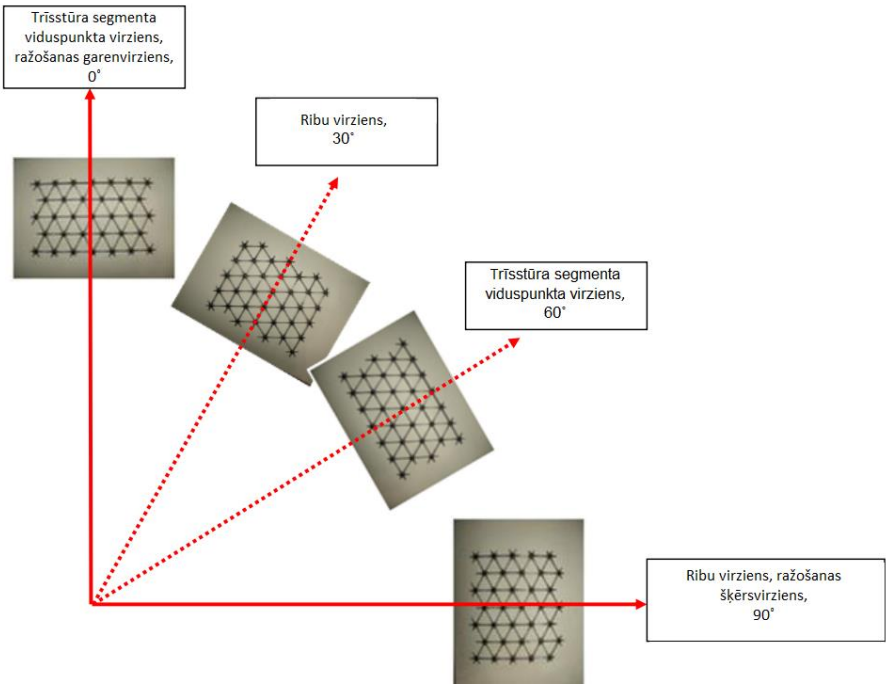
Ģeorežģi spēj uzņemt lielus stiepes spēkus, uzlabojot grunts parametrus, tāpēc tieši stiepes stiprības un materiāla pagarinājuma parametri ir noteicošie mehāniskie īstermiņa un ilgtermiņa raksturlielumi. Tos nosaka saskaņā ar EN ISO 10319 platjoslas stiepes testu (Attēls 1-8). Testa laikā nosaka arī parauga maksimālo pagarinājumu un no grafika nolasa ģeorežģa stiepes stiprības pie noteikta pagarinājuma. Standarts nosaka trīs nolasīšanas vērtības: pie 2 %, 5 % un 10 %, ja tas ir iespējams. Sakarā ar to, ka platjoslas stiepes tests ir gan ģeotekstiliem, gan ģeorežģiem, 10 % pagarinājuma nolasīšana ģeorežģiem pārsvarā nav nepieciešama, jo pie šāda pagarinājuma paraugs jau pārsniedz maksimālo vērtību (tas ir atkarīgs no ģeorežģa veida). Šīs vērtības, kā būtiskos raksturlielumus, kas svarīgi specifiskiem lietošanas nosacījumiem nosaka standarts EN 13249. Vērtību nolasīšana dod iespēju noteikt materiāla vidējo īstermiņa sekantes stingumu (vai stiepes moduli) J pēc formulas [1.4].

Saskaņā ar EN 13249 stiegrošanas materiāliem definē arī izturību pie noteiktiem apstākļiem. Ceļu konstrukcijās ģeorežģu minimālo kalpošanas laiku nosaka gados, parasti, dabīgās gruntīs $4 < pH < 9$ un grunts temperatūrā < 25 ℃.

Atsevišķais platjoslas stiepes tests ģeorežģim ar trīsstūra acs formu tika aprakstīts izstrādājot ziņojumu TR 041 (no angļu val. - EOTA Technical report TR 041 “Non-reinforcing hexagonal geogrid for the stabilization of unbound granular layers by way of interlock with the aggregate” / Nestiegrojošs sešstūra ģeorežģis nesaistīto kārtu stabilizēšanai, saķīlējoties ar minerālmateriālu pildvielu.). Ziņojumā platjoslas stiepes testi tika veikti pamatojoties uz standartu EN ISO 10319, modificējot parauga izmērus un veicot testēšanu četros virzienos 0°, 30°; 60° un 90° (Attēls 1-23):

- ∇ trīsstūra segmenta viduspunkta virziens – 0° un 60°;
- ∇ ribu virziens – 30° un 90°.

Attēls 1-23. EOTA TR 041 testēšanas virzieni trīsstūra acs formas ģeorežģim [37]



Ziņojumā definētie parametri ģeorežģim ar trīsstūra acs formu:

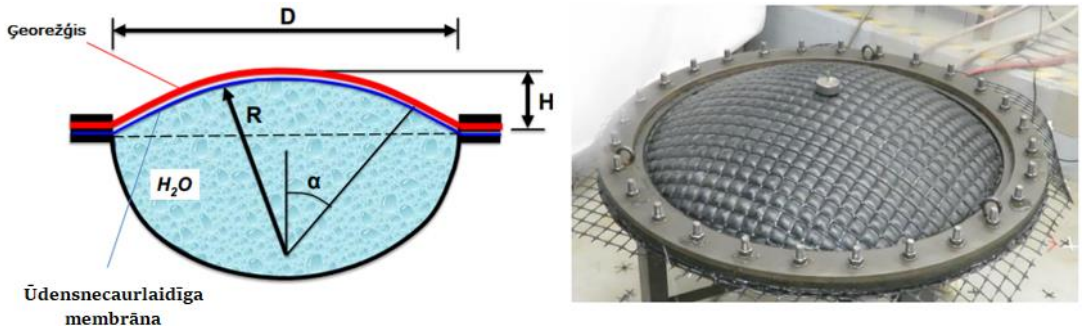
- radiālās sekantes stingums pie 0,5 % pagarinājuma katram virzienam;
- vidējais radiālās sekantes stingums pie 0,5 % pagarinājuma;
- radiālās sekantes stinguma attiecība pie 0,5 %;
- vidējais radiālās sekantes stingums pie 2 %.

Papildus ģeorežģa sekantes stinguma noteikšanai tika aprakstītas arī ģeorežģa mezglu stiprības, svara un acs izmēru testēšana.

Ziņojumā TR 041 ir aprakstīta tikai trīsstūra acs formas ģeorežģu testēšanas kārtība, kas nav tieši piemērojama četrstūra acs formas ģeorežģiem, lai noteiktu un salīdzinātu ģeorežģu veiktspēju. Savukārt standarts EN ISO 10319 paredz gan trīsstūra, gan četrstūra acs formas ģeorežģu testēšanas kārtību, tāpēc turpmāk ir ieteikts salīdzināt ģeorežģu stinguma vērtību pie 2 % pagarinājuma pēc EN ISO 10319, aprēķinot stingumu pēc formulas [1.4.].

Dažādu ģeorežģu stingumu pie noteiktās deformācijas visos virzienos var pārbaudīt un salīdzināt arī saskaņā ar ģeomembrānas pārraušanas stiprības noteikšanas testu pēc DIN 61551 ar testējamā parauga diametru 1000 mm vai ASTM D5617 ar 600mm. (Attēls 1-24). Ģeorežģu testēšanai ieteikts izmantot lielāko diametru. [38]

Attēls 1-24. Pārraušanas tests divasu ģeorežģim [38]



Parauga stingumu visos virzienos aprēķina pēc formulas:

$$J_{multi} = \frac{T_{multi}}{\varepsilon}; \quad [1.8]$$

$$T_{multi} = \frac{p * R}{2}; \quad [1.9]$$

$$\varepsilon = 100 * \left(\frac{2R * \alpha}{D} - 1\right); \quad [1.10]$$

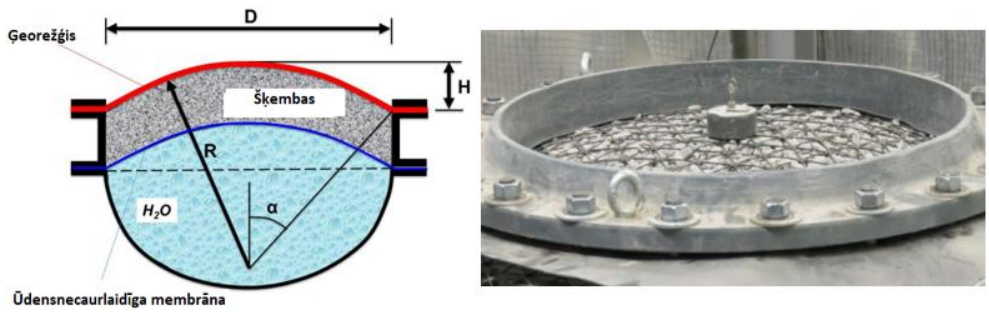
$$\alpha = \arctan\left[\frac{D}{2(R-H)}\right]; \quad [1.11]$$

$$R = \frac{H}{2} + \frac{D^2}{8H}; \quad [1.12]$$

kur:
J_{multi} – stingums visos virzienos;
T_{multi} – stiepes stiprība visos virzienos;
p – spiediens;
R – sfēriskās deformācijas rādiuss;
ε – lineārais pagarinājums;
α –loka leņķis;
H – sfēriskās deformācijas augstums;
D – iekšējais gredzena diametrs.

Testu pēc DIN 61551 ir iespējams modificēt arī izmantojot minerālmateriālu (Attēls 1-25).

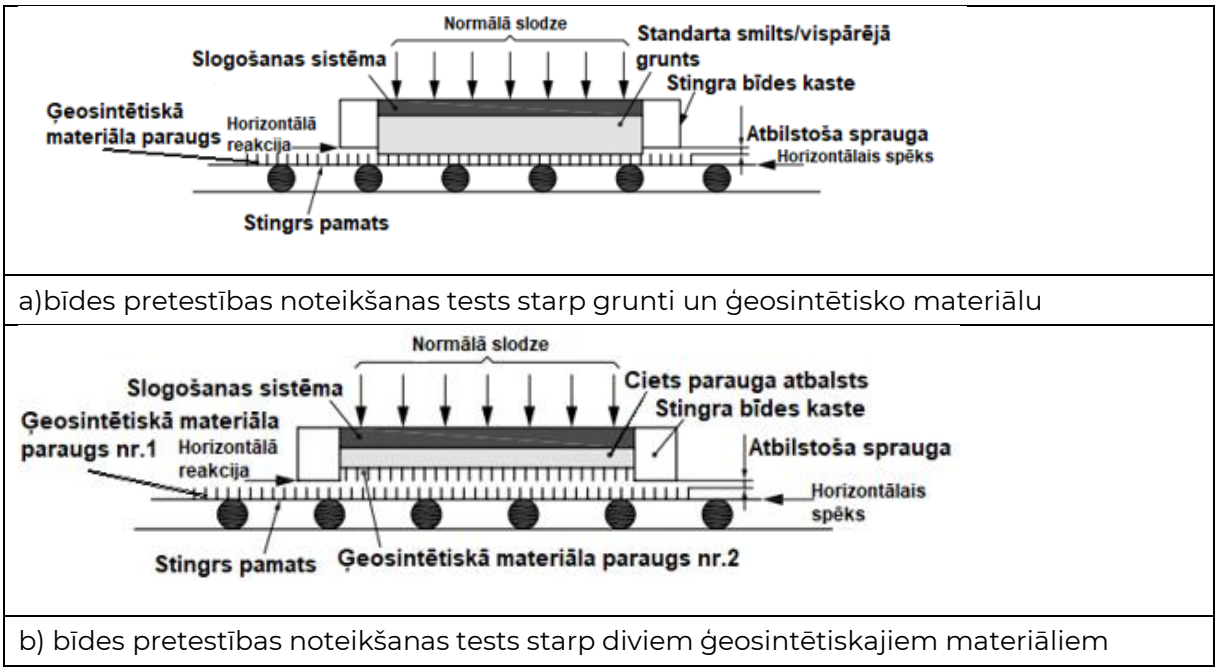
Attēls 1-25. Ģeorežģa modificētais pārraušanas tests ar šķembu kārtu [38]



Kā tika aprakstīts iepriekš (nodaļā 1.3.2.1 Ģeorežģu funkcija), satiksmes slodzes rada vienmērīgu piepūļu konusu uz ceļa konstrukciju un pārvietojas no centra visos virzienos vienlaicīgi. Pēc DIN 61551 paraugs vienmērīgi tiek noslogots visos virzienos, palielinoties ūdens spiedienam, kas attēlo transporta slodzes ietekmi uz ģeorežģa stiepes elementiem.

Bīdes spēkus starp ģeosintētiskajiem materiāliem un/vai grunti ar specificētu blīvumu un mitruma saturu, nosaka pēc standarta EN ISO 12957-1 (Attēls 1-26). Tiešās bīdes testēšanas iekārtu konstantā ātrumā pārvieto tā, lai starp testējamo paraugu kontaktvirsmu laukumiem darbojas tikai berzes spēki.

Attēls 1-26. Bīdes pretestības testi

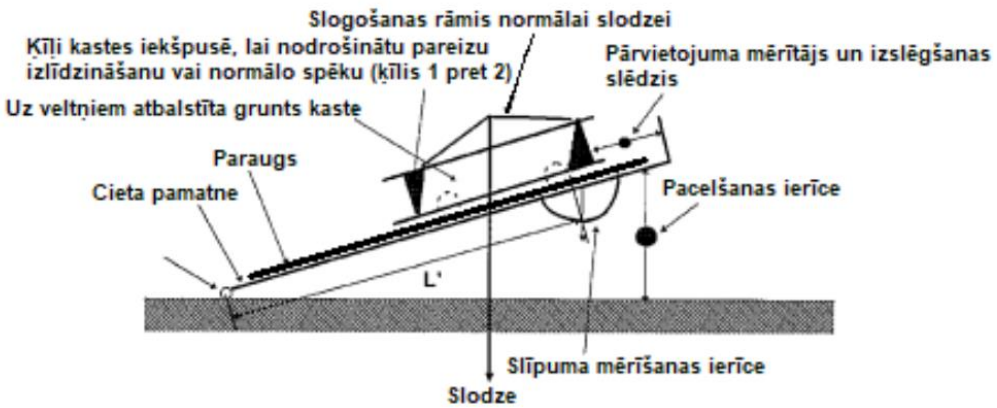


a)bīdes pretestības noteikšanas tests starp grunti un ģeosintētisko materiālu

b) bīdes pretestības noteikšanas tests starp diviem ģeosintētiskajiem materiāliem

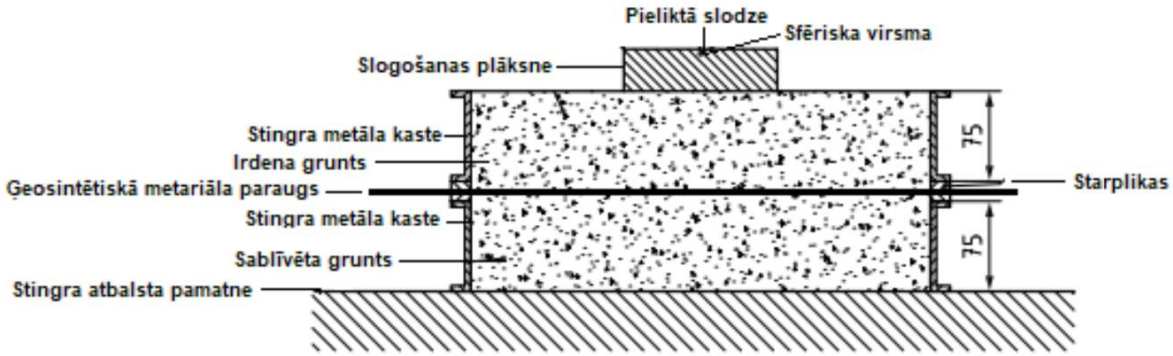
Pēc EN ISO 12957-2 veic berzes spēku noteikšanu starp grunti un ģeosintētisko materiālu, izmantojot slīpās plaknes testu (Attēls 1-27).

Attēls 1-27. Slīpās plaknes tests



Ģeosintētisko materiālu ieklāšanas bojājumus nosaka saskaņā ar EN ISO 10722 (Attēls 1-28) vai veicot pilnā mēroga pārbaudi atbilstoši EBGEO vai BS-8006 ieteikumiem. Procentuālo parauga stiprības samazinājumu nosaka veicot aprēķinus.

Attēls 1-28. Ģeosintētisko materiālu ieklāšanas bojājumu tests.

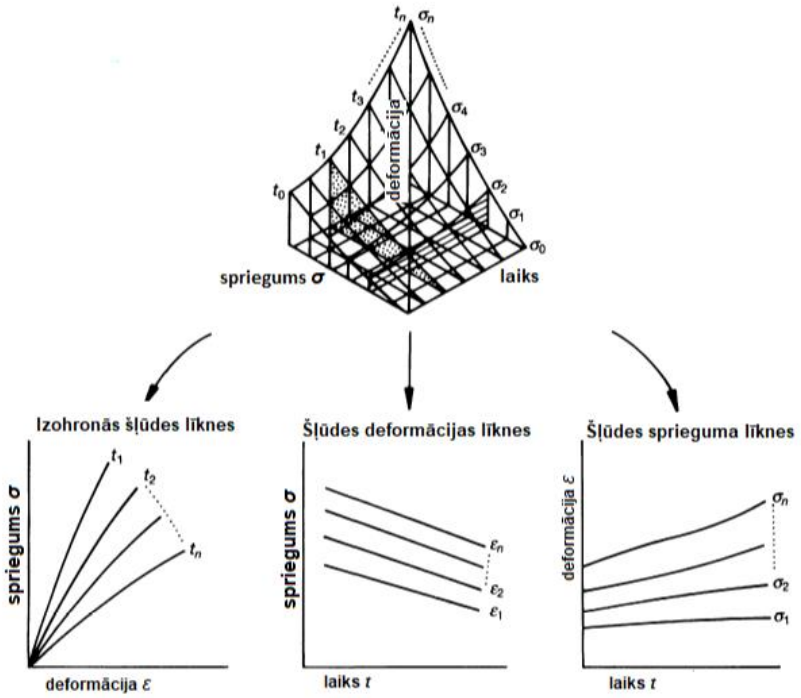


Polimēru materiāliem ilgtermiņa slodžu iedarbība (piemēram, grunts atbalstsienu konstrukcijās) izraisa spēju lēni un nepārtraukti plastiski deformēties. Tas rada konstruktīvi nozīmīgas sekas, samazinās stiprība un palielinās deformāciju līmenis, izraisot konstrukcijas neatgriezeniskas deformācijas vai pat sabrukumu. Plūstamības koeficienta lielums ir mainīgs, tas ir atkarīgs no polimēra veida (Tabula 1-7), stiepes spriegumu līmeņa, slodzes ilguma un temperatūras.

Konstantā temperatūrā spriegumu relatīvās deformācijas laika raksturlielumu stiegrojošiem materiāliem var vizualizēt telpiskā grafikā ar trīs asīm: spriegums, deformācija un laiks (Attēls 1-29). Projicējot katru plakni iegūst trīs līkņu kopas, kuras izmanto, lai aprakstītu šļūdes uzvedību:

- izohronās šļūdes līknes, projicētas uz spriegumu un deformācijas plakni;
- šļūdes deformāciju līknes, projicētas uz spriegumu un laika plakni;
- šļūdes spriegumu līknes, projicētas uz deformācijas un laika plakni. [39]

Attēls 1-29. Šļūdes līknes [39]



Izohronās šļūdes līknes attēlo materiāla spriegumu un deformācijas līknes izmaiņas dažādos laika punktos. Šļūdes deformāciju līknes attēlo materiāla nestspējas izmaiņas dažādos laika un deformācijas punktos. Šļūdes pārrāvuma līkni izmanto, lai noteiktu materiāla paredzamo kalpošanas laiku. Tā attēlo laiku līdz materiāla sabrukumam, kad tas tiek noslogots dažādos sprieguma līmeņos. Šļūdes spriegumu līknes attēlo materiāla deformācijas izmaiņas dažādos laika un spriegumu punktos, kas attiecās uz lietojamības robežstāvokļa analīzi. [39]

Tabula 1-7. Šļūdes koeficienta lielumi atkarībā no izejmateriāla

Materiāls	**Šļūdes koeficienta lielumi**	
	no	**līdz**
Aramīds AR	1,5	2,0
Poliamīds PA	1,5	2,0
Polietilēns PE	2,0	3,5
Poliesteris PET	1,5	2,5
Polipropilēns PP	2,5	4,0
Polivinilalkohols PVA	1,5	2,5

Konkrētā ģeorežģa šļūdes koeficienti var būt atšķirīgi no tabulā (Tabula 1-7) minētājiem, tie ir atkarīgi ne tikai no ģeorežģa izejvielām, bet arī no ražošanas procesa un materiāla pārklājumiem. Ražotāji tos parasti nosaka atsevišķos testos, piemēram, pēc EN ISO 13431 vai ISO/TR 20432.

Attēls 1-30. Vienass ģeorežģa šļūdes tests [40]

Saskaņā ar BBA HAPAS sertifikātiem ģeorežģa šļūdes testu (Attēls 1-30) veic pēc ISO/TR 20432. Izstrādājuma pārrāvuma līnijas grafiku sastāda, izmantojot ilgtermiņa šļūdes testa datus (līdz 107000 h) un laika nobīdes pakāpeniskās izotermiskās metodes (SIM) testa datus (līdz 249 × 106 h) pie temperatūras 20 ℃.

Ģeorežģa izturību pret bioloģisko un ķīmisko iedarbību testē saskaņā ar standartiem:

- EN 12225 “Ģeosintētiskie materiāli. Mikrobioloģiskās izturības noteikšanas metode ar grunts aprakšanas testu.”;
- EN 12447 “Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Skrīninga testa metode pretestības hidrolīzei ūdenī noteikšana.”;
- EN 13438 “Ģeosintētiskie materiāli. Skrīninga testa metode ģeotekstilu un tiem radniecīgu izstrādājumu oksidācijas pretestības noteikšanai.”;
- EN ISO 12960 "Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Skrīninga testa metode izturības noteikšanai pret skābes un sārmus saturošiem šķidrumiem.".

Ģeorežģi parasti neuzrāda būtiskus stiprības zudumus atmosfēras apstākļu iedarbībā, ieskaitot ultravioleto starojumu, ja ieklāšanas un apbēršanas laiks nepārsniedz vienu mēnesi. Atmosfēras apstākļu iedarbība tiek pārbaudīta saskaņā ar EN 12224 “Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi – Noturība pret atmosfēras apstākļu iedarbību.”

Ģeorežģa izturību nosaka saskaņā ar EN 13249 B pielikumu.

Ģeorežģa parametru skaitliskās vērtības skatīt nodaļās 2.4 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības, 3.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības un 5.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības.

1.3.3 Asfalta stiegrošanas starpslāņi

Asfalta plaisāšana ir viens no galvenajiem ceļu stāvokļa pasliktināšanās cēloņiem, kas ļauj virsmas ūdeņiem iekļūt asfalta segumā. Plaisu ierobežošana sistemātiski prasa lielus ieguldījumus ceļu uzturēšanas un atjaunošanas darbos, tāpēc nepārtraukti tiek veikti pētījumi par dažādu materiālu izmantošanu, kas spēj nodrošināt ilgu ceļa kalpošanas laiku, samazināt uzturēšanas izmaksas un atstāt pēc iespējas mazāku ietekmi uz apkārtējo vidi. Viena no šādām metodēm ir ģeosintētisko materiālu vai metāla sietu izmantošana. Šādus izstrādājumus sauc arī par asfalta stiegrošanas starpslāņiem (turpmāk ASS), kas tiek izmantoti un pētīti jau vairāk nekā 30 gadus. ASS galvenais uzdevums ir samazināt vai novērst plaisu veidošanos jaunajā asfalta kārtā, ieklājot ASS izstrādājumu starp divām asfalta kārtām, kas ir savienotas ar bitumena saistvielu (Attēls 1-31).

Attēls 1-31. Asfalta stiegrošana ar ģeokompozītu [41]

Asfalta segumu kalpošanas laiku ietekmē laika apstākļi, satiksmes slodze un citi ārējie apstākļi. Visi šie faktori izraisa dažādas asfalta seguma deformācijas: rises, izdrupumus un plaisas, kas pasliktina braukšanas kvalitāti un var būt par cēloņiem nopietniem ceļu satiksmes negadījumiem.

Asfalta plaisas iedala:

- atstarojošās plaisās (Attēls 1-32);

- šķērsplaisās vai termoplaisās (Attēls 1-33);
- noguruma plaisās (Attēls 1-36).

Plaisas vietā asfalta pretestība horizontālajiem spriegumiem ir vienāda ar "0", jo spriegumi netiek pārnesti vai sadalīti, līdz ar to satiksmes slodžu ietekmes rezultātā asfalta segumiem ar plaisām veidojas daudz lielākas deformācijas. Pārklājot plaisas vietu ar jaunu asfalta kārtu – pārklājkārtu, viss spriegums, kas koncentrējas plaisas vietā ir jāuzņem pārklājkārtai. Šis spriegums ietekmē pārklājkārtas saites, kuras pēc noteikta laika sabrūk tieši virs plaisas, kopējot to pārklājkārtā. Šādas plaisas sauc par atstarojošām, un parādību par plaisu izplatīšanos (progresēšanu). Atstarojošo plaisu attīstības ātrums pārklājkārtā ir atkarīgs no sekojošiem faktoriem: [42]

- satiksmes slodzes izraisītiem spriegumiem;
- temperatūras izmaiņu izraisītiem spriegumiem;
- jaunās asfalta kārtas biezuma un stinguma.

Attēls 1-32. Atstarojošās plaisas [43]

Pēc pārklājkārtas ieklāšanas atstarojošās plaisas uzrāda zināmu aktivitāti atkarībā no plaisu "uzvedības" pirms pārklājkārtas ieklāšanas un pārklājkārtas īpašībām. Plaisu aktivitātes raksturs ir būtisks esošā seguma stāvokļa novērtēšanai un, projektējot jaunu asfalta segumu, plaisu aktivitāte ir jāvērtē kontekstā ar paredzamo pārklājkārtas izturību pret paaugstinātajiem spriegumiem virs plaisām. [42] Metode, lai novērstu vai samazinātu atstarojošo plaisu ietekmi uz pārklājkārtu, ietver plaisu vai visas esošās segas daļas stiegrošanu ar ASS.

Termoplaisas var sākt veidoties saistīto kārtu augšējā un/vai apakšējā virsmā, atkarībā no līmeņa (no segas elementa), no kura temperatūra pazeminās, uz kārtas virsmas (augšējās un/vai apakšējās) veidojas stiepes spriegums. Tas iespējams divos dažādos veidos: [42]

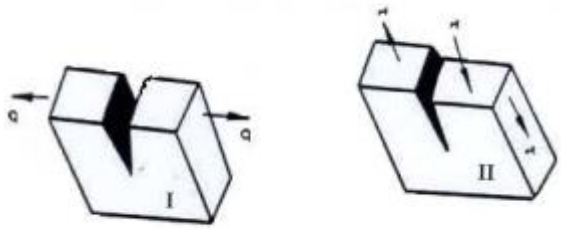
1. veids. Ierobežota saraušanās pārklājkārtā rada horizontālus šķērsvirziena un garenvirziena stiepes spriegumus. Šie spriegumi sasniedz maksimālo vērtību uz seguma virsmas, galvenokārt tāpēc, ka tur pastāv lielākās temperatūras starpības, un saites ar citām kārtām nekompensē šos spriegumus. Ņemot vērā arī to, ka uz virsmas notiek bitumena noārdīšanās, ir skaidrs, ka šajā gadījumā termoplaisas sākas un izplatās no virsmas uz leju. Un parasti tās ir orientētas mazākās horizontālās pretestības virzienā, pa īsāko trajektoriju, t.i. perpendikulāri brauktuvei. [42]

2. veids. Gadījumā, ja esošā plaisa tieši zem pārklājkārtas tiek pakļauta temperatūras izmaiņām, tas izraisa stiepes spriegumus šajā kārtā, kuru rezultātā esošā plaisa izplatās no apakšas uz augšu. Temperatūras izmaiņas pastāvīgi ietekmē plaisas progresēšanas ātrumu, jo stiepes spriegumi turpina pastāvēt plaisas galā, kad tā izplatās uz augšu. Termiskā izplešanās un saraušanās apakšā esošajā ar cementu saistītajā kārtā arī var izraisīt pietiekami lielus spriegumus asfalta segumā virs plaisām, kā arī stingās pamatnes vērpes deformācija (piemēram betona plātnē) var veicināt atstarojošu plaisāšanu virzienā uz augšu. [42]

Attēls 1-33. Termoplaisas [44]

Satiksmes izraisītu atstarojošo plaisāšanu rada cikliski mainīgie spriegumi asfalta segumā, kuri veicina materiāla relatīvā kustība abās plaisas pusēs. Šīs kustības rada I vai II režīma plaisāšanu (Attēls 1-34), kas atspoguļo horizontālās un vertikālās deformācijas starp divām plaisas malām. [42]

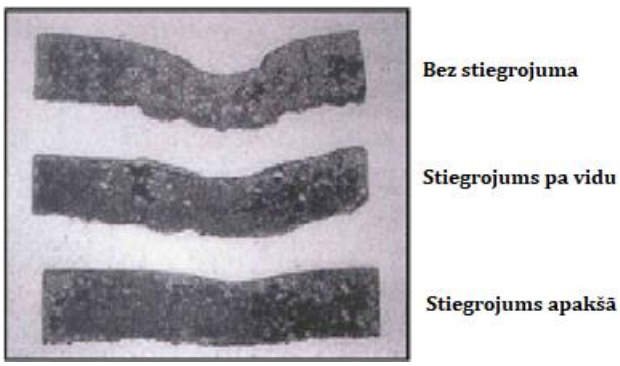
Attēls 1-34. Plaisas aktivitātes formas [42]



Asfalta pastiprināšana ar ASS būtībā nozīmē noturēt abas plaisas malas, samazinot spriegumus, kas pastāv plaisas galā. Tā rezultātā tiek ierobežots plaisas izplatīšanās ātrums asfalta segumā.

Pētījumi un pieredze liecina, ka ASS izmantošana ir efektīva, ja ģeorežģis tiek iebūvēts pareizajā līmenī (dziļumā). Gadījumos, kad ģeorežģis nav novietots pareizajā līmenī, tas visticamāk būs neefektīvs, un tam būs maza vai pat negatīva ietekme seguma pastiprināšanai pret plaisāšanu, rises veidošanos un cita veida seguma bojājumiem, ieskaitot pat strukturālu sabrukumu. Zemāk attēlā (Attēls 1-35) parādīti trīs asfalta kārtu paraugi ar un bez stiegrojuma dažādos dziļumos. [42]

Attēls 1-35. Stiegrojuma ietekme uz rises veidošanos [42]



Negatīva ietekme stiegrojumam var parādīties situācijās, kad tas atrodas pārāk tuvu seguma virsmai (nav ievērots minimālais asfalta kārtas biezums virs ģeorežģa), ir nepietiekama sasaiste starp stiegrojumu un asfalta kārtām vai/un nav novērsta ūdens iekļūšana starpslānī. Asfalta stiegrojuma efektivitāte ir atkarīga galvenokārt no sekojošiem faktoriem:

- stiegrojuma spējas sasaistīties ar asfalta materiālu;
- stiegrojuma mehāniskajām īpašībām;
- stiegrojuma novietojuma segas konstrukcijā.

Pēdējais faktors nosaka lietderīgo slodzi, ko stiegrojums spēj uzņemt. Jo lielāks ir slodzes moments, t.i. attālums no slodzes pielikšanas vietas, jo stiegrojuma lietderība ir augstāka. Tādējādi esošā seguma pastiprināšanai, efektīvākā stiegrojuma novietošanas vieta ir tieši virs saplaisājušā seguma, kur plaisas radītais slodzes moments ir vislielākais. Šeit ir jāpievērš uzmanība ASS ieklāšanas instrukcijai, jo iebūves nosacījumi var mainīties atkarībā no konkrētā izstrādājuma.

Attēls 1-36. Noguruma plaisas [45]

ASS ietekme uz ceļa segas nestspēju nav tik plaši pētīta kā, piemēram, grunts stiegrošanas izstrādājumu izmantošanas lietderība. Pētījumā par grants ceļu nestspējas uzlabošanu Giroud et al [46] ir apskatīta ģeotekstila ietekme, ko rada izstrādājuma iebūve nesaistīta materiāla zem segas konstrukcijas. Pētījumā parādīts, ka ģeotekstils, kas tiek izmantots kā atdalošais slānis starp nesaistītu rupju segas pamata materiālu un vāju zemes klātnes grunti, ierobežo šo grunti un uzlabo satiksmes slodzes izkliedēšanu, kas palīdz kontrolēt nosedzošā materiāla bīdes pretestību un tādējādi uzlabo konstrukcijas nestspēju. Ceļiem ar asfalta segumu, situācija ir atšķirīga, jo pieļaujamās deformācijas šādai konstrukcijai ir ievērojami mazākas. Maksimālās horizontālās ģeotekstila deformācijas, kuras ir pieļaujamas zem nesaistītas segas konstrukcijas var būt no 5 līdz 15 %, savukārt zem asfalta segas šīs deformācijas var būt no 0,04 līdz 0,08 %. Līdz ar to, ja asfalta seguma sabrukšanas iemesls ir zemes klātnes nestspējas zudums, tad ASS izmantošana nebūs piemērots risinājums, jo problēma ir zemes klātnes gruntī, nevis asfaltā, tāpēc šajā pētījumā netiek aplūkota ASS izmantošana ceļa segas nestspējas palielināšanai. [42]

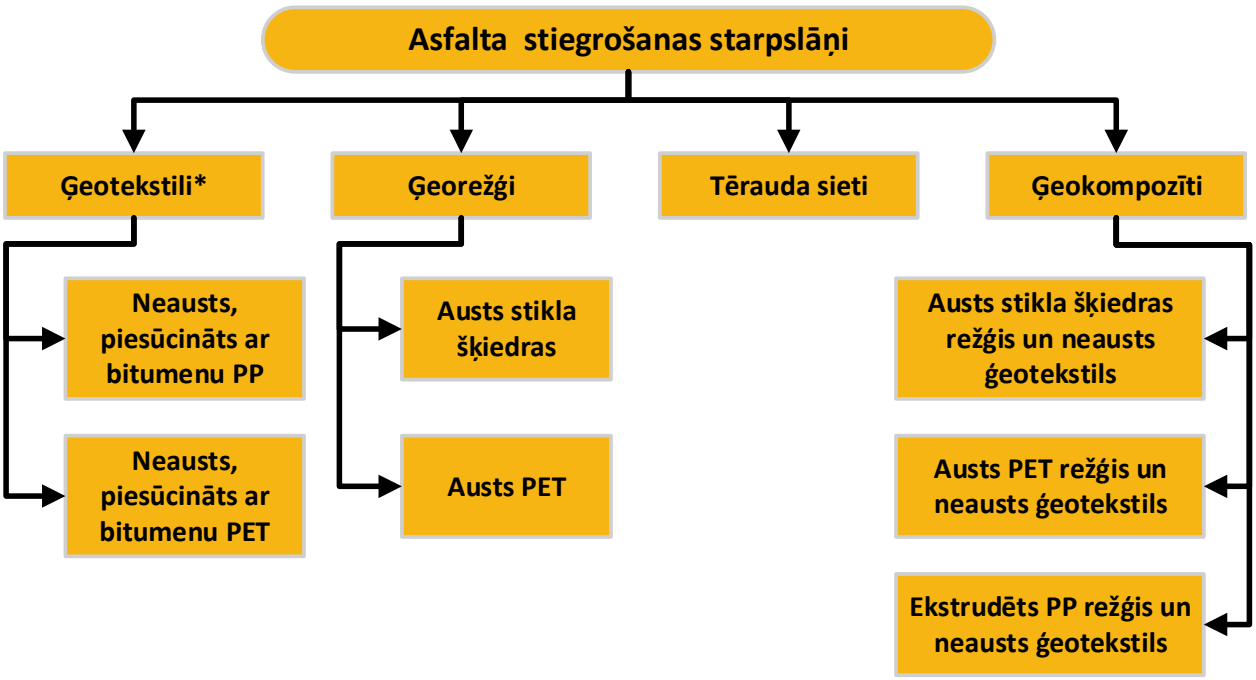
ASS aprēķinu metodikas skatīt nodaļā 6.1.5.2 Projektēšanas principi.

Ģeosintētisko materiālu klāsts asfalta segumu pastiprināšanai ir pietiekami liels. Tas iekļauj neaustos PP vai PET ģeotekstilus, austos PET, AR, PVA, stiklašķiedras ģeorežģus,

ekstrudētos PP un vītos tērauda sietus, kā arī dažādus to ģeokompozītus. Asfalta ģeorežģu grupā ietilpst arī ģeokompozīti ar vieglsvara ģeotekstilu (pārsvarā PP), kas paredzēts tikai izstrādājuma ieklāšanas kvalitātes nodrošināšanai.

ASS iedalījums pēc ražošanas veidiem:

Attēls 1-37. ASS iedalījums pēc ražošanas veidiem



** asfalta ģeotekstili turpmāk nav apskatīti. Ieklāšanas principus un minimālo emulsijas absorbcijas daudzumu skatīt ražotāju rekomendācijās.*

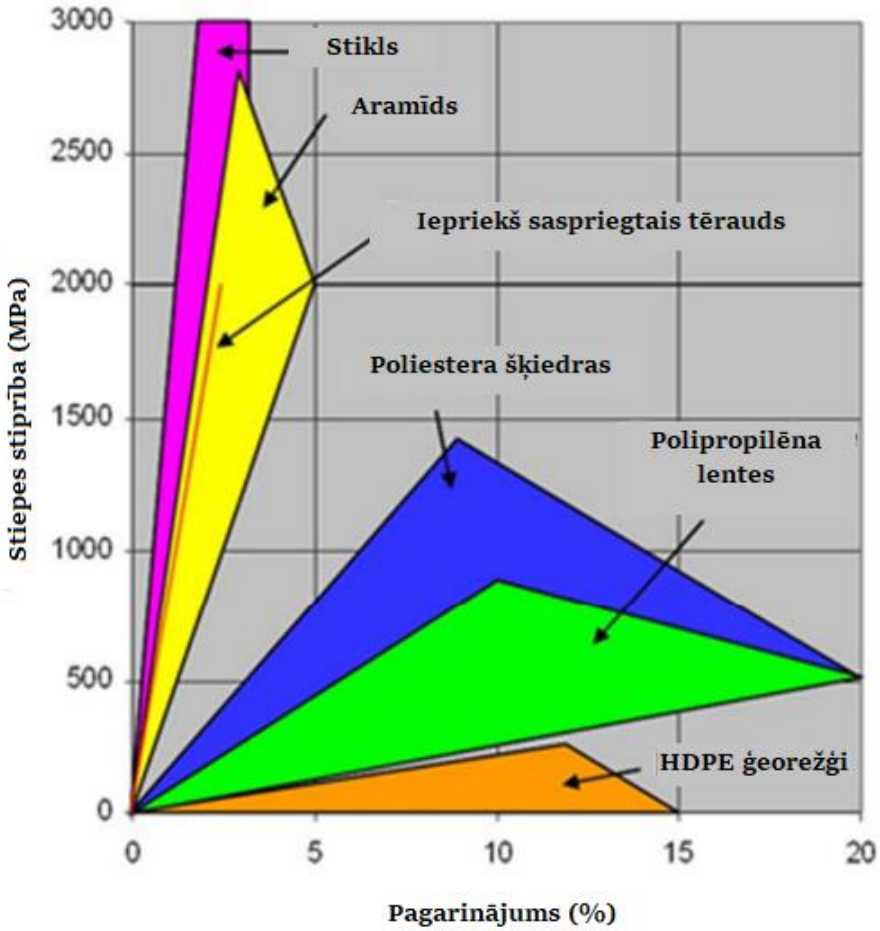
Asfalta ģeotekstila un ģeorežģa ražošanas process ir identisks grunts stiegrošanas ģeorežģa un ģeotekstila ražošanai (ģeotekstila ražošanas metodes skatīt nodaļā 1.3.1 Ģeotekstili, ģeorežģa ražošanas metodes skatīt nodaļā 1.3.2 Ģeorežģi). Asfalta ģeorežģi un/vai ģeotekstilu pārklāj (piesūcina) ar bitumena vai cita veida polimēru pārklājumu izstrādājuma ražošanas laikā, lai palielinātu saisti starp izstrādājumu un asfalta kārtām. Saiste būs zemāka starp asfaltu un PP vai PET ģeorežģa ribu virsmām bez bitumena pārklājuma, salīdzinot ar pārklātiem ģeorežģiem. Izstrādājumu termiskā izplēšanās un saraušanās asfalta ieklāšanas laikā var ietekmēt ceļa kvalitāti ģeorežģa spriegumu samazināšanās un/vai stiprības zuduma dēļ. [47]

Tērauda sietu ražo saskaņā ar EN 10223-3 no dubultvīta tērauda sieta ar šķērsstieņiem, izmantojot attiecīgā diametra stiepli, parasti tās biezums ir 2,2 mm; 2,4 mm vai 2,7 mm. Sieta atvērumu izmērs ir 80mm x100 mm, pretkorozijas pārklājums Zn vai Zn+Al.

ASS ģeokompozītu ražošanā tiek izmantoti asfalta ģeorežģi un ģeotekstili, kas tiek šūti, līmēti vai kā citādi termiski vai mehāniski savienoti.

Stiegrojuma stiprības parametri un izejvielas ietekmē ASS stiegrošanas efektivitāti. Attēlā (Attēls 1-38) parādīta dažādu ASS izejvielu sprieguma–deformācijas attiecība. Jo stāvākā ir līkne, jo lielākus spriegumus ASS spēj uzņemt pie mazākām deformācijām (stiegrošanas efektivitāte palielinās). Papildus jānovērtē ASS novietojums segas konstrukcijā.

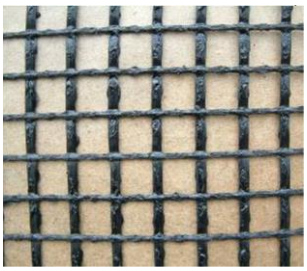
Attēls 1-38. Dažādu izejvielu stiepes stiprības un pagarinājuma attiecība [48]



ASS izmantošana nav lietderīga gadījumos, kad ceļa konstrukcijai ir novērojamas ceļa segas nepietiekamas nestspējas deformācijas kā kūkumošana, iesēdumi vai citas strukturālas nestabilitātes pazīmes.

Tabulās (Tabula 1-8 un Tabula 1-9) ir norādīti faktori, kas jāņem vērā, izvēloties kādu no ASS veidiem.

Tabula 1-8. ASS ģeorežģi un metāla sietu faktoru salīdzinājums [48]

Faktori	Stikla šķiedras ģeorežģi*	Poliestera ģeorežģi**	Tērauda sieti***
			
Minimālais nosedzošās kārtas biezums	40 mm	50 mm	70 mm
Spriegumu absorbcijas spēja	Augsts ģeorežģa stingums spēj uzņemt un izkliedēt virs plaisas akumulēto stiepes spriegumu. Samazina deformācijas.	Paaugstina pārklājkārtas stiepes pretestību. Samazina asfalta noguruma deformācijas un rises dziļumu.	Samazina maksimālos stiepes spriegumus. Uzlabo asfalta noguruma pretestību. Ierobežo plaisu izplatību. Samazina rises dziļumu.
Stiegrošanas starpslāņu sasaiste ar asfaltu	Ar polimēriem modificētu bitumenu apstrādāts ģeorežģis labi saistās ar asfaltu vai virsmas apstrādi.	Ar polimēriem modificētu bitumenu apstrādāts ģeorežģis labi saistās ar asfaltu vai virsmas apstrādi.	Augsta saķere (bloķēšana) ar asfalta pildvielu. Praktiski nesamazina bīdes pretestību starp asfalta kārtām. Ieklāšanas laikā jānostiepj un vienādos intervālos jāstiprina pie pamatnes.
Ilgizturība un/vai korozija	Izturīgi pret eļļu un citiem naftas produktiem, UV starojumu un vides ietekmi. Kušanas temperatūra – 1000 ℃.	Izturīgi pret eļļu un citiem naftas produktiem. Poliestera karstumizturība – līdz 210 ℃.	Izturīgi pret eļļu un citiem naftas produktiem. Tērauda sietu pēc ieklāšanas noklāj ar emulsētu sīkšķembu maisījumu (slurry seal). Sietam jābūt ar Zn vai Zn+Al pārklājumu (ilgmūžība).
Frēzēšana un otrreizēja pārstrāde	Vienkāršs frēzēšanas process, reciklējams materiāls.	Vienkāršs frēzēšanas process, izmantot frēzi ar kalta zobiem, reciklējams materiāls.	Asfaltu frēzē nedaudz virs sieta, tad sietu mehāniski norauj no virsmas.
Lietojums pēc apstākļiem	Izmantot uz izlīdzinošās asfalta kārtas. Atjaunojot asfalta virskārtu.	Izmantot uz izlīdzinošās asfalta kārtas. Atjaunojot asfalta virskārtu.	Izmantot uz izlīdzinošās asfalta kārtas vai frēzētas virsmas. Frēzētas virmas rievas

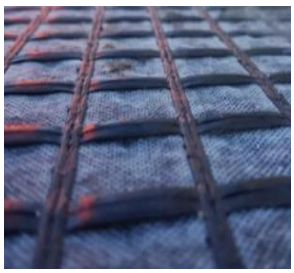
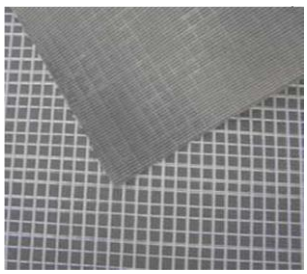
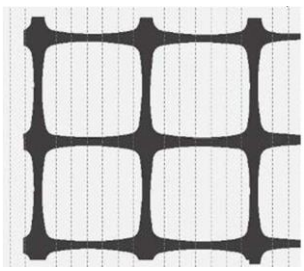
Faktori	Stikla šķiedras ģeorežģi*	Poliestera ģeorežģi**	Tērauda sieti***
	Ceļa paplašinājumos, ieskrējiena vai bremzēšanas joslās un autobusu pieturvietās.	Ceļa paplašinājumos, ieskrējiena vai bremzēšanas joslās un autobusu pieturvietās.	dziļums: ≤ 10 mm. Starp kārtām ar atšķirīgiem termiskās izplešanās koeficientiem. Atjaunojot asfalta virskārtu. Ceļa paplašinājumos, ieskrējiena vai bremzēšanas joslās un autobusu pieturvietās.

** daudzšķiedru austie stikla šķiedras ģeorežģi.*

*** daudzšķiedru austie vai adītie poliestera ģeorežģi.*

**** vītie tērauda sieti ar sešstūra atvērumu, cinkoti (vai ar Zn+AL pārklājumu), pastiprināti ar tērauda šķērsstieņiem.*

Tabula 1-9. ASS ģeokompozītu faktoru salīdzinājums (modificēts) [48]

Faktori	Stikla šķiedras ģeokompozīti*	Poliestera ģeokompozīti**	Polipropilēna (ekstrudētie) ģeokompozīti***
			
Minimālais nosedzošās kārtas biezums	Atkarīgs no ģeotekstila svara (bitumena emulsijas daudzuma). Ar vieglsvara ģeotekstilu – 40 mm, ar ģeotekstila svaru 130 g/m^2 – 70 mm.	Atkarīgs no ģeotekstila svara (bitumena emulsijas daudzuma). Ar vieglsvara ģeotekstilu – 50 mm, ar ģeotekstila svaru 130 g/m^2 – 70 mm.	70 mm
Spriegumu absorbcijas spēja	Uzņem un izkliedē virs plaisas akumulēto stiepes spriegumu. Samazina asfalta deformācijas, kas saistītas ar noguruma pretestības zudumu.		Uzņem un izkliedē virs plaisas akumulēto stiepes spriegumu. Samazina deformācijas un rises dziļumu. Polipropilēnam ir zema šļūdes pretestība.
Stiegrošanas starpslāņu sasaiste ar asfaltu	Ar polimēriem modificētu bitumenu apstrādāts ģeorežģis labi saistās ar asfaltu vai virsmas apstrādi. Ar bitumenu piesūcināts ģeotekstils nodrošina labu saisti ar asfalta kārtām. Piesūcinātais ģeotekstils nodrošina hidroizolāciju.		Ieklāšanas laikā jānostiepj un vienādos intervālos jāstiprina pie pamatnes. Veidojas asfalta pildvielas bloķēšana. Ar bitumenu piesūcināts ģeotekstils nodrošina labu saisti ar

Faktori	Stikla šķiedras ģeokompozīti*	Poliestera ģeokompozīti**	Polipropilēna (ekstrudētie) ģeokompozīti***
			asfalta kārtām. Piesūcinātais ģeotekstils nodrošina hidroizolāciju
Ilgizturība	Izturīgi pret eļļu un citiem naftas produktiem. Karstumizturība: stikla šķiedras ģeorežģis 1000 ℃, polipropilēna ģeotekstili ir jutīgi jau pie temperatūras > 145 ℃.	Izturīgi pret eļļu un citiem naftas produktiem. Karstumizturība: poliestera ģeorežģis 210 ℃, polipropilēna ģeotekstili ir jutīgi jau pie temperatūras > 145 ℃.	Izturīgi pret eļļu un citiem naftas produktiem. Karstumizturība: polipropilēna ģeorežģis 165 ℃, polipropilēna ģeotekstili ir jutīgi jau pie temperatūras > 145 ℃.
Frēzēšana un otrreizēja pārstrāde	Viegli frēzējams un pārstrādājams. Frēzējot pievērst uzmanību ģeorežģa un ģeotekstila atšķirīgai uzvedībai. Neaustie ģeotekstili ar svaru ≥ 130 g/m^2 var apgrūtināt frēzēšanu. Frēzēšanas ātruma diapazons: 2–4 m/min. Stikla šķiedras ir viegli iestrādājamas pārstrādājamajā asfaltā.		Frēzēšana var būt apgrūtināta ekstrudēto stiegru dēļ. Neaustie ģeotekstili ar svaru ≥ 130 g/m^2 var apgrūtināt frēzēšanu. Atkārtota izmantošana ir maz iespējama, jo asfalta piesārņojums ir vērtējams kā augsts.
Lietojums pēc apstākļiem	Jāizmanto uz izlīdzinošās asfalta kārtas vai frēzētas virsmas. Frēzētas virmas rievas dziļums: ≤ 10 mm. Starp kārtām ar atšķirīgiem termiskās izplēšanas koeficientiem, jānovērtē maksimālais pārvietojums. Atjaunojot asfalta virskārtu. Ceļa paplašinājumos, ieskrējiena vai bremzēšanas joslās un autobusu pieturvietās.	Jāizmanto uz izlīdzinošās asfalta kārtas vai frēzētas virsmas. Frēzētas virmas rievas dziļums: maks. 10 mm. Starp kārtām ar atšķirīgiem termiskās izplešanās koeficientiem. Atjaunojot asfalta virskārtu. Ceļa paplašinājumos, ieskrējiena vai bremzēšanas joslās un autobusu pieturvietās.	Jāizmanto uz izlīdzinošās asfalta kārtas vai frēzētas virsmas. Frēzētas virmas rievas dziļums: ≤ 10 mm. Starp kārtām ar atšķirīgiem termiskās izplešanās koeficientiem. Atjaunojot asfalta virskārtu. Ceļa paplašinājumos, ieskrējiena vai bremzēšanas joslās un autobusu pieturvietās.

** stikla šķiedras un neausta ģeotekstila ģeokompozīti.*

*** poliestera ģeorežģa un neausta ģeotekstila ģeokompozīti.*

**** ekstrudēta polipropilēna ģeorežģa un neausta ģeotekstila ģeokompozīts.*

ASS projektēšanas principus skatīt nodaļā 6.1 Projektēšanas principi.

1.3.3.1 ASS funkcijas

Saskaņā ar EN 15381 ASS veic šādas funkcijas:

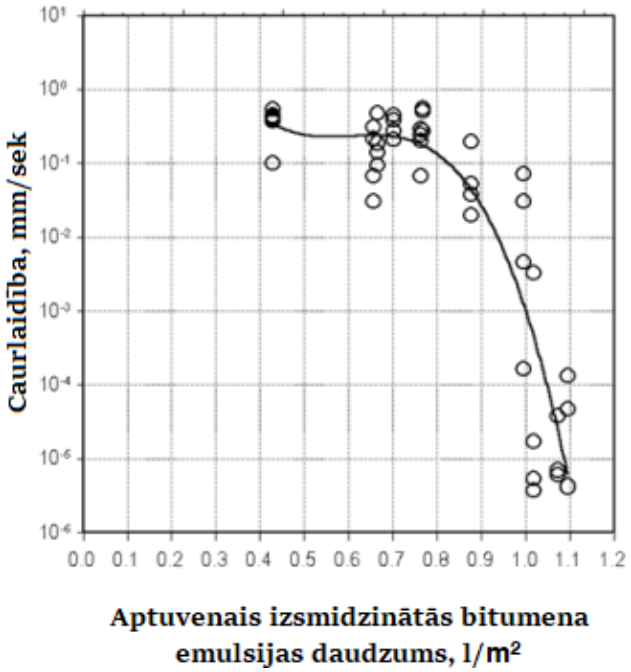
- stiegrošana;
- atspriegošana;
- barjera.

Atkarībā no ASS ražošanas veida izstrādājums veic vienu vai vairākas funkcijas vienlaicīgi.

ASS ģeotekstils spēj ilgstoši uzglabāt un noturēt uzklāto bitumenu, kā arī nodrošināt vienmērīgu slāņa biezumu. Saistviela jāuzklāj pareizā apjomā un kvalitātē, nodrošinot nepieciešamo saisti starp asfalta kārtām. Stiepes spriegumi, ko rada atšķirīgās bīdes deformācijas starp kārtām, lielākoties novērš ASS, turklāt starpslāņu šķiedru struktūra palīdz izvairīties no pārklājkārtas "slīdēšanas", vienlaikus samazinot stiepes spriegumus. Atspriegošanas funkciju nodrošina ar saistvielu piesūcināts neausts ģeotekstils vai ģeokompozīts, kas pieļauj nelielus pārvietojumus starp asfalta kārtām, tādējādi, samazinot spriegumus, kā arī aizkavē vai aptur atstarojošo plaisu izplatīšanos augšējās asfalta kārtās. [49]

ASS barjera ir slānis, kas novērš šķidrumu (piemēram, ūdens) un gāzu (piemēram, skābekļa) iekļūšanu ceļa konstrukcijas saistītajās un nesaistītajās kārtās zem barjeras. Iekļūšana notiek caur asfalta porām, mikroplaisām un plaisām, izraisot seguma bojājumus. Efektīva metode, kā novērst ūdens un skābekļa iekļūšanu ceļa konstrukcijā, ir uzstādīt necaurlaidīgu barjeras slāni, piesūcinot ar bituma emulsiju ģeotekstilu vai ģeokompozītu. Izstrādājuma piesūcināšana ar emulsiju notiek ievērojot ieklāšanas instrukciju, daļēji ģeotekstils var būt jau piesūcināts ražošanas laikā. Lai izveidotu pietiekami zemas caurlaidības barjeru, samazinot seguma novecošanos un plaisāšanu, nepieciešams noteikts bitumena daudzums, kas ģeotekstilam ir jāabsorbē (Attēls 1-39). [49]

Attēls 1-39. Ģeotekstila ūdens caurlaidībā atkarībā no absorbētā bitumena emulsijas daudzuma [50]



Šobrīd standartā EN 15381 vai citā literatūrā nav informācijas par pieļaujamo ūdens caurlaidības vērtību, pie kuras asfalta ģeotekstils vai ģeokompozīts veic barjeras funkciju. Asfalta ģeotekstila vai ģeokompozīta bitumena emulsijas absorbcijas daudzums galvenokārt ir saistīts ar izstrādājuma ieklāšanas tehnoloģiju. To apstiprina arī EN 15381 ZA pielikums par barjeras funkciju, kur absorbcijas daudzums nav minēts kā saistošs raksturlielums.

Saskaņā ar EN 15381 C pielikumu ieteicamais bitumena emulsijas absorbcijas daudzums ģeotekstiliem ir 0,9 l/m². Šādu emulsijas daudzumu parasti spēj absorbēt neaustie ģeotekstili ar svaru ≥ 130 g/m². Šobrīd tirgū ir pieejami dažādi asfalta ģeokompozīti ar ģeotekstila svaru mazāku par 130 g/m², kas veic barjeras funkciju un ir attiecīgi sertificēti. Izsmidzināmais emulsijas daudzums ir atkarīgs no izstrādājuma veida un virsmas, uz kuras izstrādājums tiek ieklāts. Piemēram, virs jaunām asfalta kārtām var izmantot stiklašķiedras asfalta ģeokompozītu ar ģeotekstila svaru 40 g/m², kura ģeotekstila bitumena emulsijas absorbcijas vērtība ir mazāka par 0,9 l/m². Šajā gadījumā minimālais asfalta kārtas biezums virs ģeokompozīta būs 4 cm un ģeotekstila bitumena emulsijas absorbcijas daudzums 0,1-0,2 l/m².

Projekta specifikāciju prasību 0,9 l/m² ieteicams lietot, ja asfalta ģeotekstilu vai ģeokompozītu paredzēts ieklāt uz frēzētas virsmas. Tad asfalta ģeotekstilu vai ģeokompozītu ar ģeotekstila svaru 130 g/m² jānosedz vismaz ar 7 cm asfalta kārtu. Šāds minimālais kārtas biezums samazina asfalta slīdēšanu virs ieklāta ģeotekstila vai ģeokompozīta un novērš bitumena emulsijas izsvīdumu veidošanos.

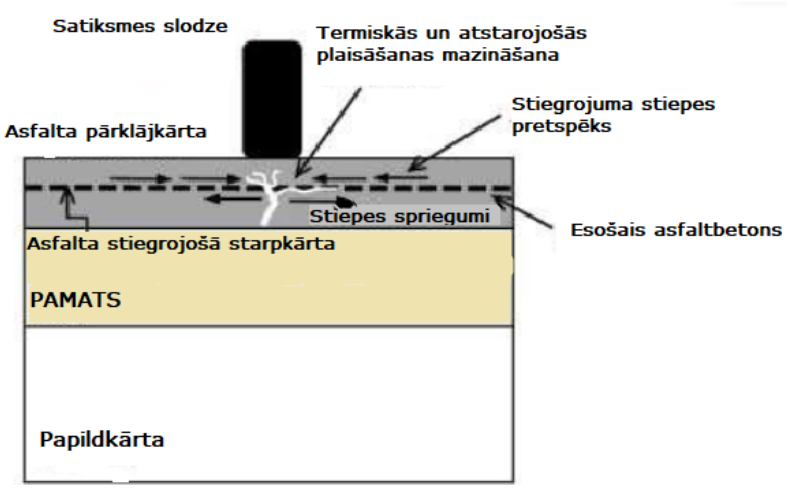
Projektējot pastiprinātu asfalta segumu, jāizvērtē adhēziju starp asfalta kārtām. Jo lielāks ir ASS ģeotekstila svars, jo adhēzijas vērtība būs mazāka. Papildus jāņem vērā arī iespējamie sarežģījumi asfalta frēzēšanas un pārstrādes darbos ceļa posmos, kas tika pastiprināti ar ģeokompozītu vai ģeotekstilu ar svaru ≥ 130 g/m^2.

ASS barjeras funkcijas priekšrocības:

- ∇ nodrošina ceļa konstrukcijas strukturālo stabilitāti un uzlabo nestspēju ilgākā laika periodā;
- ∇ uzlabo salizturību un samazina ūdens sasalšanas radītos bojājumus saistītajās un nesaistītajās kārtās;
- ∇ samazina saistvielas novecošanos, ko izraisa oksidācijas process, zonā virs un zem ASS;
- ∇ aizkavē mikro plaisu veidošanos zem ASS, ko izraisa oksidācijas process.

ASS stiegrošanas veiktspēju galvenokārt nodrošina izstrādājuma stiprība/stingums un to sasaiste ar asfaltu (Attēls 1-40).

Attēls 1-40. ASS stiegrošanas funkcija



Asfalta seguma stiegrošanai starp asfalta kārtām tiek izmantoti ģeorežģi, ģeokompozīti un metāla sieti. Lai izstrādājumi spētu veiksmīgi absorbēt stiepes spēkus un samazināt atstarojošo plaisu progresēšanu, ASS ir jānoenkuro. Tas tiek panākts, izmantojot asfalta un ASS berzes pretestību. Enkurošanas garumus ir atkarīgs no konkrētā izstrādājuma un to veida, bet parasti ieteicamais minimālais garums ir 0,5 m katrā plaisas pusē. Turklāt, ja stiegrojuma novietojums atrodas stiepes zonā, tas uzlabo augšējās asfalta kārtas stingumu un palielina asfalta noguruma pretestību, salīdzinot ar konstrukciju bez ASS pie vienādiem asfalta kārtu biezumiem.

ASS veic stiegrošanas funkciju (absorbē stiepes spēkus un samazina atstarojošo plaisāšanu), ja:

- ir saiste starp asfalta pārklājkārtu un ASS. Saisti nodrošina ASS virsmas laukums (struktūra) un ASS pārklājuma savietojamība ar izsmidzināto emulsiju;
- ir pietiekams enkurošanas garums. Enkurošanu nodrošina berzes spēki starp asfaltu un ASS.

Saistītajās kārtās ieķīlēšanas efekts starp asfalta kārtu un ģeorežģa struktūru ir sekundārs, jo tas tiek nodrošināts tikai kombinācijā ar saistes un berzes spēkiem. [49] Asfalta pildvielas daļiņas tiek iespiestas ģeorežģa struktūrā, tādējādi mehāniski sasaistoties ar izstrādājumu. Šī kontakta zona kavē daļiņu pārvietošanos, kas var nodrošināt labāku asfalta sablīvēšanos. Tā kā asfalts, sablīvējot, iegūst spiedes izturību, ģeorežģa vai tērauda sieta izmantošana var attiecīgi uzlabot asfalta pārklājkārtas nestspēju un samazināt deformācijas.

Lai ASS varētu pildīt paredzēto funkciju ilgtermiņā, pirms izstrādājuma iebūves nepieciešams rūpīgi iepazīties ar konkrētā produkta ieklāšanas specifiku, kas parasti ir aprakstīta ražotāju instrukcijās. ASS ieklāšana ieteikumus skatīt nodaļā 6.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības.

1.3.3.2. Asfalta stiegrošanas starpslāņu tehniskie parametri un testi

ASS tehniskie parametri, to saistība ar lietošanas apstākļiem un izmantojamās testa metodes ir aprakstītas standartā EN 15381. Turpmāk tabulās (Tabula 1-10, Tabula 1-11 un Tabula 1-12) norādīti dažādu ASS veidu raksturlielumi un testa metodes.

Tabula 1-10. Asfalta ģeorežģu tehniskie parametri

Raksturlielumi	Mērv.	Testa metode (standarts)
Stiepes stiprība, MD/CMD	kN/m	EN ISO 10319
Pagarinājums pie maksimālās slodzes MD/CMD	%	EN ISO 10319
Kušanas punkts*	℃	EN ISO 3146
Noturība pret laikapstākļiem**	%	EN 12224
Sārma pretestība***	%	EN ISO 12960

Tabula 1-11. Tērauda sietu tehniskie parametri

Raksturlielumi	Mērv.	Testa metode (standarts)
Stiepes stiprība, MD/CMD	kN/m	EN 10223-3

Raksturlielumi	Mērv.	Testa metode (standarts)
Tērauda sieta veids	-	EN 10223-3
Stieples diametrs	mm	EN 10218-2
Sieta virsmas pārklājums	-	EN 10244-2

Tabula 1-12. Asfalta ģeokompozītu tehniskie parametri

Raksturlielumi	Mērv.	Testa metode (standarts)
Ģeorežģa stiepes stiprība, MD/CMD	kN/m	EN ISO 10319
Ģeorežģa pagarinājums pie maksimālās slodzes MD/CMD	%	EN ISO 10319
Ģeotekstila svars****	g/m²	EN ISO 9864
Statiskā caurduršanas stiprība, CBR	kN	EN ISO 12236
Konusa tests (dinamiskā caursišana)	mm	EN ISO 13433
Ģeotekstila bitumena absorbcija****	kg/m²	EN 15381, pielikums C
Kušanas punkts*	℃	EN ISO 3146
Noturība pret laikapstākļiem**	%	EN 12224
Sārma pretestība***	%	EN ISO 12960

** plānojot augstāku asfalta ieklāšanas temperatūru, jālieto ģeorežģis ar augstāku kušanas punktu.*

*** saskaņā ar EN 15381 B.1. punktu "Laikapstākļu ietekme". Dati par noturību pret laikapstākļu ietekmi ir nepieciešami, ja izstrādājums ieklāšanas dienā netiek nosegts ar asfalta kārtu.*

**** dati par noturību pret sārmu ietekmi ir nepieciešami visām funkcijām, ja izstrādājums ir jāizmanto tiešā saskarē ar neaizsargātu betona vai cementa stabilizētu virsmu.*

***** jāizpilda viena vai otra prasība. Ja ģeotekstila materiāls ir piesūcināts ar saistvielu (ceļu bitumens), tad jāizdala atsevišķi saistvielas svars un ģeotekstila svars. Saistvielas daudzumam jābūt deklarētam vai tam jābūt aprēķināmam no dotās informācijas.*

Prasības, kas regulē ASS ieklāšanas bojājumus, šobrīd nav noteiktas. Tomēr, lai ierobežotu zemas kvalitātes izstrādājumu izmantošanu, identifikācijas nolūkos pārbaudi var veikt saskaņā ar EN ISO 10722. [51] Ieteicams piemērot minimālo atlikušās stiprības vērtību 70% apmērā no parauga sākotnējās stiprības.

ASS tehniskie parametri, to saistība ar lietošanas apstākļiem un izmantojamas testa metodes ir aprakstītās standartā EN 15381.

ASS (izņemot tērauda sietu) stiepes stiprību un garinājumu nosaka saskaņā ar EN ISO 10319. Statiskās un dinamiskās caurduršanas pretestību nosaka attiecīgi pēc EN ISO 12236 un EN ISO 13433. Testu aprakstus skatīt nodaļā 1.3.1.2 Ģeotekstilu tehniskie parametri un testi.

Bitumena absorbcijas testu veic saskaņā ar EN 15381 C pielikumu. Vispirms nosver tīru ASS paraugu, pārbauda tā izmērus un uzsilda bitumenu līdz 135 ℃. Tad paraugu iegremdē bitumenā un ievieto krāsnī 135 ℃ uz 30 min. Pēc tam paraugu izņem un žāvē

(Attēls 1-41), nogriežot lieko bitumenu. Testa beigās paraugu ar piesūcināto bitumenu nosver un aprēķina ģeotekstila absorbciju pēc standartā noteiktās formulas.

Attēls 1-41. ASS parauga žāvēšana pēc iegremdēšanas bitumenā [50]

ASS kušanas punktu nosaka saskaņā ar EN ISO 3146. Pēc pirmās metodes testējamo paraugu karsē ar kontrolētu ātrumu un temperatūru mēra pie pirmajām redzamajām parauga formas izmaiņām un atkārtoti, kad pazūd pēdējās kristāliskās fāzes paliekas. Pirmo temperatūru uzskata par parauga kušanas temperatūru, savukārt starpība starp abām temperatūrām raksturo tā kušanas diapazonu. Šo metodi izmanto nekristāliskiem materiāliem. [52]

Saskaņā ar otro testa metodi paraugu karsē ar kontrolētu ātrumu, novietojot to starp mikroskopa diska polarizatoru un vāciņa analizatoru. Temperatūra, pie kuras polimēra kristāliskā fāze zaudē savu optisko anizotropiju, tiek uzskatīta par kušanas temperatūru. [52]

ASS svaru nosaka pēc EN ISO 9864, noturību pret laikapstākļiem pēc EN 12224 un sārma pretestību pēc EN ISO 12960.

Standarts EN 10223-3 nosaka tērauda sietu prasības attiecībā uz acs izmēriem, stieples biezumiem un pārklājumiem, atkarībā no kalpošanas laika un vides agresivitātes. Tērauda sieta stieples diametru ar dažādiem pārklājumiem un to pielaides nosaka saskaņā ar EN 10218-2. Tērauda sieta pārklājuma svaru, cinka un cinka sakausējuma pārklājumu testēšanu nosaka saskaņā ar EN 10244-2.

ASS parametru skaitliskās vērtības skatīt nodaļā 6.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības.

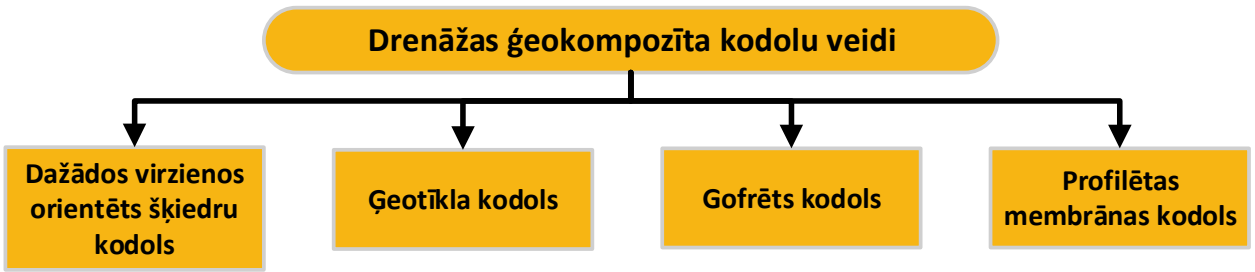
1.3.4 Drenāžas ģeokompozīti

Drenāžas ģeokompozīts ir materiāls, ko veido divu vai vairāk savā starpā saistītu materiālu kombinācijas. Pamatā ir drenāžas kanāls vai kodols (HDPE, PP vai PA), kuru no vienas vai divām pusēm pārklāj filtrējošs ģeotekstils (īpašos gadījumos var būt arī cits materiāls, piemēram, ģeomembrāna).

Lai ģeosintētiskais materiāls aizstātu ceļa segas drenējošo kārtu un tas efektīvi pildītu savu funkciju, nepieciešams materiāls ar pietiekamu ūdens caurlaidību un spiedes pretestību. Saskaņā ar [53] pētījumu tika pierādīts, ka drenāžai izmantotā ģeosintētiskā materiāla ūdens caurlaidībai jābūt no 0,00035 līdz 0,001 m^2/sec, lai nodrošinātu pilnīgu ceļa segas nosusināšanu divu stundu laikā. Vertikālais spēks, ko uz ģeosintētisko materiālu rada satiksmes slodzes var būt līdz 600kPa atkarībā no tā, kur ceļa segas konstrukcijā atrodas ģeosintētiskais materiāls. Šos rādītājus ir grūti sasniegt ar ģeotekstiliem, tāpēc drenāžas funkcijas nodrošināšanai parasti tiek izmantoti drenāžas ģeokompozīti. [5]

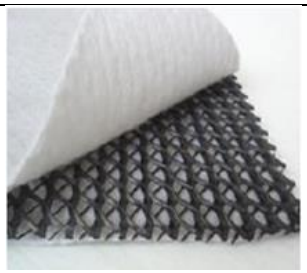
Drenāžas ģeokompozītus izmanto, lai uztvertu un novadītu ceļa segā nokļuvušo ūdeni pa ģeosintētiskā materiāla plakni un apturētu kapilārā ūdens plūsmu vertikālā virzienā. Pateicoties kodola tukšumu struktūrai drenāžas ģeokompozīti spēj ātrāk novadīt ūdeni. Piemēram, 6 mm biezs drenāžas ģeokompozīts var novadīt tādu pašu ūdens plūsmu kā 300 mm biezs drenējošais slānis. [54] Attēlā (Attēls 1-42) parādīts drenāžas ģeokompozītu iedalījums pēc kodolu ražošanas veidiem.

Attēls 1-42. Drenāžas ģeokompozītu kodolu veidi

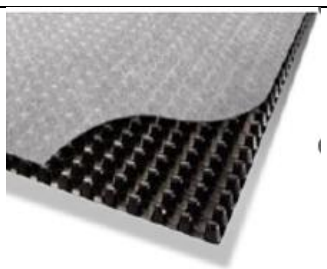


Tabulās (Tabula 1-13 un Tabula 1-14) ir norādīti faktori, kas jāņem vērā, izvēloties kodola veidu.

Tabula 1-13. Drenāžas ģeokompozītu kodolu salīdzinājums

Faktori	Dažādos virzienos orientēts šķiedru kodols	Ģeotīkla kodols
		
Minimālais nosedzošās kārtas biezums	200 mm (lai samazinātu kodola bojājumus būvniecības laikā)	
Kodola sabrukšanas punkts	Kodolam nav noteikta sabrukšanas punkta. Pie noteiktas slodzes kodols saspiežas vairāk nekā cita veida kodoli.	Kodols nesabrūk un praktiski nesaspiežas.
Ieklāšanas virziena ievērošana attiecībā pret ūdens plūsmas virzienu	Ieklāšanas virziens nav svarīgs, jo tas nesamazina ūdens plūsmas apjomu.	Svarīgi ievērot noteiktu ieklāšanas virzienu.
Ūdens plūsmas apjoma samazinājums pēc ģeotekstila iespiešanas starp kodola ribām	Nav ģeotekstila iespiešanas.	Ir būtisks samazinājums, salīdzinot ar citu kodola veidu. Nepieciešams pārbaudīt ūdens plūsmas apjoma samazinājumu ilgtermiņā noteiktā robežstāvoklī pie noteiktās slodzes.

Tabula 1-14. Drenāžas ģeokompozītu kodolu salīdzinājums

Faktori	Gofrēts kodols	Profilētas membrānas kodols
		
Minimālais nosedzošās kārtas biezums	200 mm (lai samazinātu kodola bojājumus būvniecības laikā)	
Kodola sabrukšanas punkts	Kodolam nav noteikta sabrukšanas punkta. Kodols saspiežas pie noteiktas slodzes.	Kodolam ir noteikts sabrukšanas punkts. Sabrukšana notiek momentāni.
Ieklāšanas virziena ievērošana attiecībā pret ūdens plūsmas virzienu	Svarīgi ievērot noteiktu ieklāšanas virzienu.	Ieklāšanas virziens nav svarīgs, jo tas nesamazina ūdens plūsmas apjomu.

Faktori	Gofrēts kodols	Profilētas membrānas kodols
Ūdens plūsmas apjoma samazinājums pēc ģeotekstila iespiešanas starp kodola ribām	Nav ģeotekstila iespiešanas.	Nav ģeotekstila iespiešanas.

Ģeokompozītu drenāžas kapacitāte ir tieši proporcionāla kodola biezumam, tāpēc ūdens plūsmas vērtība drenāžas ģeokompozītiem jānosaka tikai tad, kad tie ir noslogoti, kā arī ir sasniegts līdzsvara stāvoklis (nenotiek tālāka biezuma samazināšanās). [55]

Plūsmas ātrums plaknē konkrētajam drenāžas ģeokompozītam ir atkarīgs no sekojošiem faktoriem:

- drenāžas kodola īpašībām;
- ģeotekstila filtra īpašībām (hidrauliskie un stiprības parametri);
- materiāla, kas saskaras ar ģeokompozīta abām virsmām (materiālus iedala cietajos un mīkstajos);
- pieliktajām slodzēm;
- pieliktās slodzes ilguma (laiks vienāds ar nepieciešamo kalpošanas laiku);
- hidrauliskā slīpuma.

Tabulā (Tabula 1-15) ir parādītas drenāžas ģeokompozītu izmantošanas iespējas ceļu būvniecībā.

Tabula 1-15. Drenāžas ģeokompozītu iedalījums pēc lietojuma

Nosaukums	Apraksts	
Uzbēruma horizontālā drenāža, kapilārā barjera		∇ Ceļa konstrukcijas drenējošo kārtu no minerālmateriāla aizstāj ar drenāžas ģeokompozītu; ∇ Ceļa konstrukcijas biezuma samazināšanas gadījumā jāņem vērā sasalšanas dziļuma robeža.

Nosaukums	Apraksts	
Vertikālā (pāļveida) drenāža		∇ Izmanto, lai paātrinātu grunts konsolidāciju laiku, nodrošinot augstāku ūdens filtrācijas spēju; ∇ Uzstādīšanai nepieciešama speciāla tehnika un iekārtas.
Ceļa nomales drenāža		∇ Drenāžas tranšejas vai grāvjus aizstāj ar ceļa nomales drenāžas ģeokompozītu; ∇ Vertikāli novietots drenāžas ģeokompozīts akumulē ienākošo ūdeni; ∇ Ūdeni novada drenāžas caurule, kas izvietota zem segas pamata atzīmes.
Drenāža ap būvēm		∇ Novada ūdeni no būvēs daļām, kas saskaras ar grunti; ∇ Samazina hidrostatisko spiedienu uz būvi un tās hidroizolācijas sistēmu; ∇ Nodrošina hidroizolācijas papildu aizsardzību no iespējamiem bojājumiem grunts aizbēršanas un blietēšanas laikā.

Drenāžas ģeokompozītu projektēšanas principus skatīt nodaļā 7.3 Projektēšanas principi.

1.3.4.1 Drenāžas ģeokompozīta funkcija

Drenāžas ģeokompozīts veic drenāžas funkciju, kas ietver ūdens vai citu šķidrumu savākšanu un pārvietošanu.

Drenāžas ģeokompozīta papildu funkcijas:

- ∇ atdalīšanas un filtrācijas funkciju veic drenāžas ģeokompozīta ģeotekstils;
- ∇ aizsardzības funkciju drenāžas ģeokompozīts veic gadījumos, kad to iebūvē virs hidroizolācijas;
- ∇ barjeras funkciju drenāžas ģeokompozīts veic gadījumā, kad izstrādājuma kodols tiek ražots no ūdensnecaurlaidīga materiāla, piemēram, profilētas membrānas.

Lai drenāžas ģeokompozīts veiktu savu funkciju, jāņem vērā šādi apsvērumi:

- ∇ drenāžas ģeokompozītam jābūt pietiekami izturīgam pret noteiktām satiksmes slodzēm un grunts spiedienu;
- ∇ ūdens plūsmas ātrums pa drenāžas ģeokompozīta plakni pie noteiktām slodzēm ir atkarīgs no hidrauliskā slīpuma;
- ∇ drenāžas ģeokompozīta ūdens plūsmas apjoms, kas tiek novadīts pa plakni, ilgtermiņā samazinās. Tas ir atkarīgs no izstrādājuma spiedes pretestības un citiem ūdens plūsmu reducējošiem faktoriem. Drenāžas ģeokompozītiem ir raksturīga spiedes šļūde, kuras rezultātā samazinās izstrādājuma ūdens plūsmas apjoms;
- ∇ drenāžas ģeokompozīta slānis parasti ir ļoti plāns (no 10 mm līdz 50 mm), salīdzinot ar drenējošās smilts kārtu, tāpēc drenāžas ģeokompozīta veiktspēju ilgtermiņā ietekmē tā iebūves kvalitāte (pieļautie bojājumi būvniecības laikā).

1.3.4.2. Drenāžas ģeokompozītu tehniskie parametri un testi

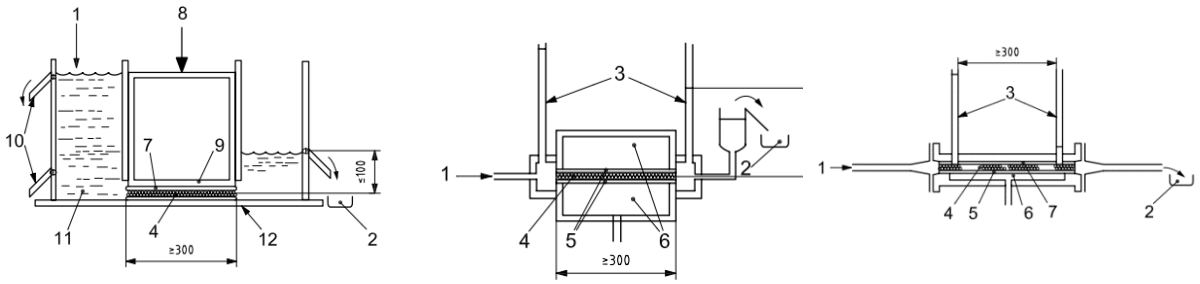
Turpmāk norādīti drenāžas ģeokompozītu būtiskākie raksturlielumi un testa metodes.

Tabula 1-16. Drenāžas ģeokompozīta raksturlielumi un testa metodes

Raksturlielumi	**Mērv.**	**Testa metode (standarts)**
Ūdenscaurlaidība plaknē (plūsmas kapacitāte)	m^2/s	LVS EN ISO 12958
Stiepes stiprība, MD/CMD	kN/m	EN ISO 10319
Pagarinājums, MD/CMD	%	EN ISO 10319
Statiskā caurduršanas stiprība, CBR	kN	EN ISO 12236
Konusa tests	mm	EN ISO 13433
Ūdenscaurlaidība perpendikulāri plaknei	$l/m^2 \cdot s$	EN ISO 11058
Raksturīgā atvēruma izmērs	µm	EN ISO 12956
Ilgizturība	gadi	Saskaņā ar EN 13249 B pielikumu

Galvenais drenāžas kompozīta veiktspējas parametrs ir ūdens caurlaidība plaknē, kas tiek testēts laboratorijā atbilstoši LVS EN ISO 12958. Testēšanas iekārtas (Attēls 1-43). Paraugu novieto zem nemainīga spiediena un mēra ūdens plūsmu konstantā slīpumā. Lai izveidotu drenāžas ģeokompozīta ūdens caurlaidības diagrammu veic vairākus testus pie dažādiem spiedieniem un hidrauliskajiem slīpumiem. Testa rezultātu atspoguļo litros sekundē uz platuma vienību (l/m·s). Viens no testa galvenajiem parametriem ir spiediens, kas tiek piemērots ģeokompozīta paraugam. Testa metodes ļauj izmantot gan cietās, gan mīkstās plāksnes, tādējādi nodrošinot precīzākus drenāžas ģeokompozīta izmantošanas nosacījumus.

Attēls 1-43. Testēšanas iekārtas ūdens plūsmai plaknē [56]



kur: 1 – ūdens apgāde; 2 – ūdens savākšana; 3 – manometri; 4 – testējamais paraugs; 5 – membrāna; 6 – spiediena šūna; 7 – putas; 8 – slodze; 9 – slogošanas plātne; 10 – pārplūdes aizsprosti pie slīpumiem i = 0,1 un 1,0 (i = sinβ); 11 – ūdens rezervuārs; 12 – pamatne.

Stiepes stiprību un pagarinājumu nosaka pēc EN ISO 10319, statiskās caurduršanas testu pēc EN ISO 12236, konusa testu pēc EN ISO 13433, raksturīgā atvēruma izmēru pēc EN ISO 12956, ūdens caurlaidības testu perpendikulāri plaknei pēc EN ISO 11058 un drenāžas ģeokompozīta izturību nosaka saskaņā ar EN 13249 B pielikumu. Testu aprakstus skatīt nodaļa: 1.3.1.2 Ģeotekstilu tehniskie parametri un testi.

Drenāžas ģeokompozītu parametru skaitliskās vērtības skatīt nodaļā 7.4 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības.

1.3.5 Preterozijas ģeosintētiskie materiāli

Preterozijas ģeosintētiskie materiāli tiek ražoti no polimēru šķiedrām un/vai citiem elementiem (sintētiskiem vai dabīgiem). To mērķis ir samazināt nogāžu virskārtas noārdīšanos nokrišņu laikā, aizsargāt kanālu (upju) krastus un inženierbūvju elementus no izskalojumiem uz nenoteiktu laiku vai līdz brīdim, kamēr izveidosies un nostiprināsies veģetācija (Attēls 1-44).

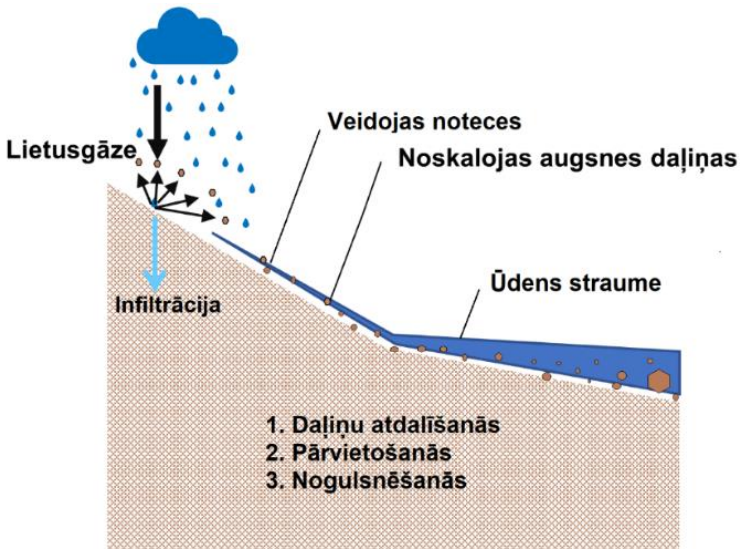
Attēls 1-44. Dabīgs preterozijas paklājs

Erozija ir dabisks process, kura rezultātā notiek nogāzes virskārtas noārdīšanās, atdalot un pārvietojot augsnes daļiņas uz nogulsnēšanās vietām. Pēc izcelsmes augsnes eroziju var iedalīt divos veidos: dabiskajā (ģeoloģiskajā) un paātrinātajā. Dabiskos apstākļos tiek izveidots līdzsvars starp vietējo klimatu un veģetāciju, kas kavē augsnes daļiņu pārvietojumus un darbojas kā aizsargslānis pret straujiem un pārmērīgiem erozijas procesiem. Paātrināta erozija notiek tad, kad tiek izjaukts dabiskais līdzsvars starp augsni, veģetāciju un klimatu. Šādos apstākļos virszemes augsnes daļiņu pārvietošana, dabisko faktoru ietekmē, notiek paātrinātā režīmā. Erozijas riski palielinās gadījumos, kad augsnes virsma ir uzārdīta, kas pārsvarā ir saistīts ar cilvēku saimniecisku darbību vai citām aktivitātēm, piemēram, koku izciršanu, lauksaimniecību, būvdarbiem u.t.t. [57]

Saskaņā ar grunts noārdīšanas cēloņiem izdala sekojošos erozijas veidus:

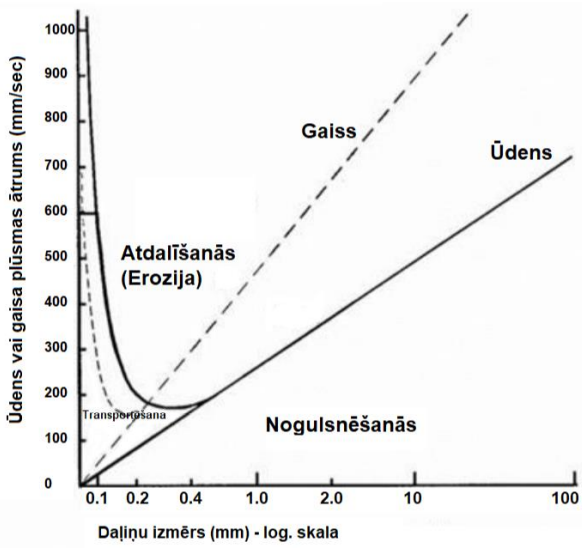
- ∇ vēja erozija ir novērojama sausās un plaši atklātās vietās ar ierobežotu nokrišņu daudzumu, kad vēju spēku ietekmē daļiņas var tikt pārvietotas suspensijas veidā, saltācijas rezultātā (daļiņām veicot nelielus lēcienus) vai bīdot lielākās daļiņas pa esošo virsmu;
- ∇ tehnogēnā erozija ir augsnes noārdīšana ar tehniskiem līdzekļiem, piemēram, karjeru ierīkošana;
- ∇ jūras krasta līnijas erozija ir krasta līnijas atkāpšanās un smilšu kāpu nogulumu pārvietošana, izmantojot viļņu enerģiju un jūras straumes;
- ∇ ūdens erozija ir grunts daļiņu atdalīšana un to pārvietošana ar ūdens plūsmu uz zemākām akumulācijas vietām (Attēls 1-45).

Attēls 1-45. Ūdens erozija [57]



Salīdzinot erozijas iespējamas sekas atkarībā no ūdens vai vēja plūsmas ātruma un grunts daļiņu izmēriem, zemāk attēlā (Attēls 1-46) redzams, ka noteikts ūdens plūsmas ātrums spēj pārvietot lielāka izmēra daļiņas nekā tāds pats vēja plūsmas ātrums (M.Koerner, 2005). Tādēļ potenciālais ūdens erozijas postījums pie vienādiem plūsmas ātrumiem būs lielāks un risinājumi, kas novērš vai samazina ūdens erozijas ietekmi, būs efektīvi arī vēja erozijas kontroles gadījumā.

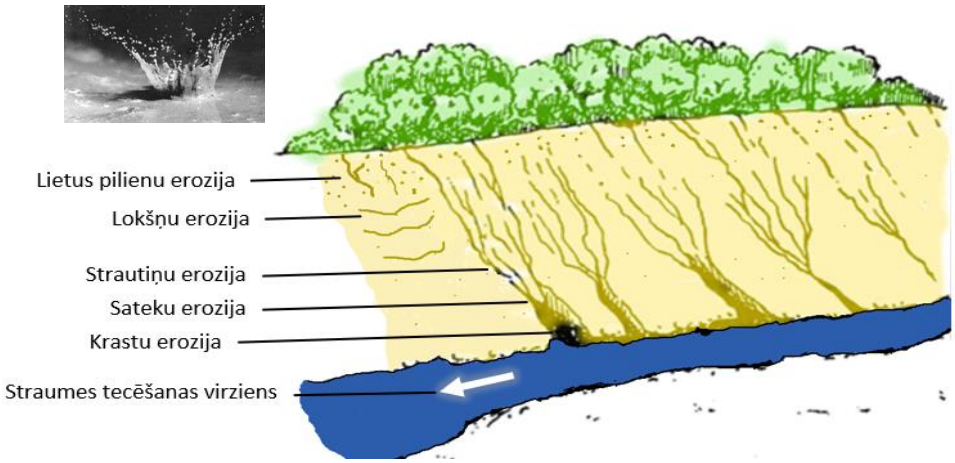
Attēls 1-46. Ar vēja un ūdens plūsmu izraisīto erozijas procesu salīdzinājums [58]



Ūdens eroziju klasifikācija atkarībā no nogāzes bojājumu veidiem (Attēls 1-47):

- pilienu erozija (no angļu val. - splash erosion) ir augsnes daļiņu atdalīšana un pārvietošana lietus pilienu triecienu rezultātā;
- lokšņu erozija (no angļu val. - sheet erosion) ir plāna un vienmērīga grunts slāņa noārdīšana ar lietus pilienu triecieniem un seklu virsmas ūdens plūsmu;
- strautiņu erozija (no angļu val. - rill erosion) ir mazi un pārsvarā taisni kanāli, kas veidojās lietus ūdens noteces rezultātā;
- sateku erozija (no angļu val. - gully erosion) ir izteiktāks erozijas veids (salīdzinot ar strautiņu eroziju), kad spēcīgas lietusgāzes izraisa dziļus (no 15 līdz 30 cm) "U" vai "V" formas grāvjus ar stāvām nogāzēm;
- kanālu (upju) krastu erozija, jeb straumes erozija (no angļu val. - stream bank erosion) ir virsmas pakāpeniska noārdīšana un pārvietošana uz akumulācijas vietām ar pastāvīgu straumes spēku. [59]

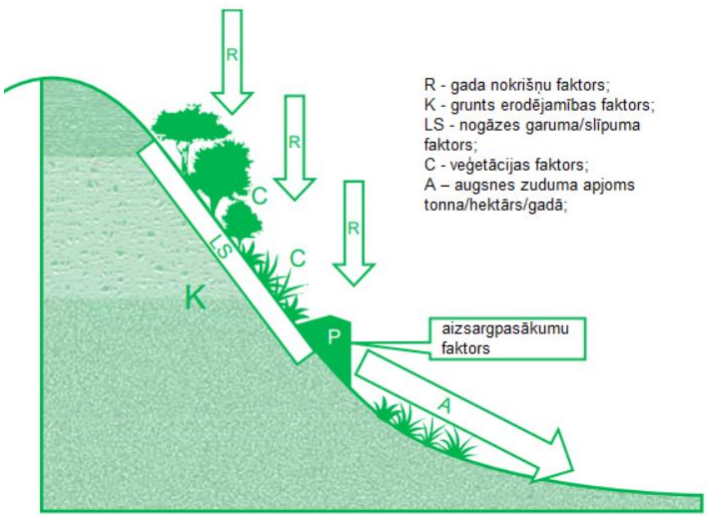
Attēls 1-47. Ūdens eroziju veidi [59]



Ūdens erozijas veidi, izņemot kanālu (upju) krastu eroziju, tiek skatīti pēc sausās nogāzes principiem, t.i. bez pastāvīgas ūdens plūsmas ietekmes, savukārt kanālu (upju) krastu erozija - pēc slapjās nogāzes principiem.

Lai izprastu iespējamās erozijas sekas un izveidotu aprēķinu modeli, jāņem vērā liels nosacījumu skaits, kas modeļa izstrādi padara par laikietilpīgu un komplicētu procesu. Turklāt šie modeļi nav lineāri, tādēļ ir sarežģīti precīzi prognozēt augsnes zudumus atsevišķās teritorijās. Lai modeļu izstrādē izmantotu vienotu pieeju, nogāzēm bez patstāvīgas ūdens plūsmas (sausās nogāzes) tika pieņemti faktori, kas potenciāli ietekmē ar nokrišņiem saistītos erozijas procesus (Attēls 1-48).

Attēls 1-48. Faktori, kas ietekmē nogāžu eroziju [60]



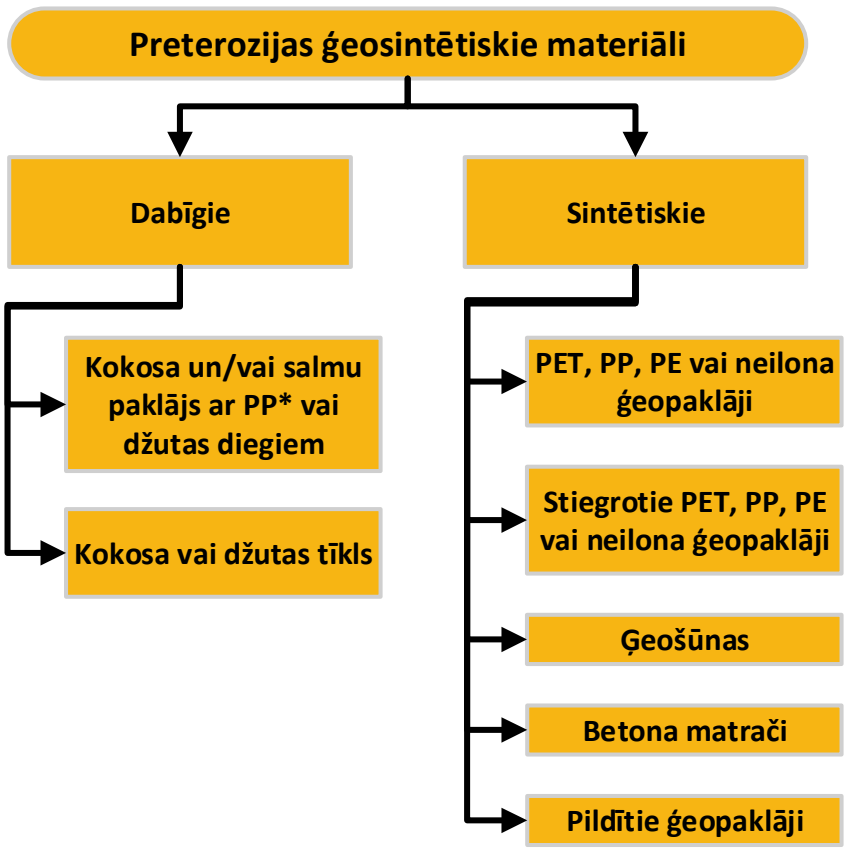
Nokrišņi (R-faktors) ir viens no galvenajiem faktoriem, kas ietekmē augsnes (grunts) zudumus, to apjoms un intensitāte palielina daļiņu atdalīšanās un pārvietošanās ātrumu atkarībā no grunts sastāva (K-faktors) un nogāzes parametriem (LS-faktors). Erozijas potenciāla mazinošie faktori ir veģetācija (C-faktors) un būves (P-faktors), kas

aiztur lejup plūstošo ūdeni ar augsnes (grunts) daļiņām, piemēram, pāļu sienas un aizsargvaļņi. [60] Pareizā ģeosintētisko preterozijas materiālu izmantošana uzlabo veģetācijas C-faktoru no 20 līdz 100 reizēm, salīdzinājumā ar neaizsargātu nogāzes virsmu. [61]

Upju un kanālu krastu erozija (slapjā nogāze) veidojas no straumes radītiem bīdes spēkiem, kas ir tieši proporcionāli ūdens dziļumam un ātrumam. Ar ūdens plūsmu pakāpeniski noārdītās un pārvietotās grunts daļiņas izraisa nogāzes vai gultnes izskalojumus. [62]

Preterozijas ģeosintētisko materiālu iedalījums pēc ražošanas veidiem parādīts attēlā zemāk (Attēls 1-49).

Attēls 1-49. Preterozijas ģeosintētisko materiālu veidi



** PP diegi nav dabīgs materiāls un nesadalās kopā ar paklāja kokosa un/vai salmu šķiedrām.*

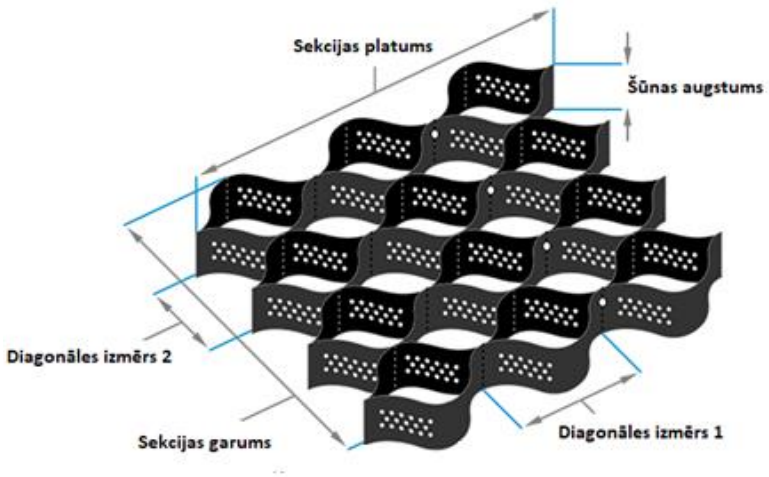
Dabīgus preterozijas materiālus ražo no 100 % kokosšķiedras, 50 % kokosa un 50 % salmu maisījuma, vai no 100 % salmiem. Paklāji tiek cauršūti ar džutas diegiem vai PP diegiem. Dabīgus preterozijas materiālus ražo arī kā austo kokosšķiedras vai džutas diegu tīklu ar dažādiem acs izmēriem.

Sintētiskos preterozijas ģeopaklājus ražo no mākslīgās izejvielas (PET, PP, PE vai neilona) pavedieniem vai tīkliem, kas savīti kopā un veido no 10 līdz 20 mm biezu,

deformatīvu slāni ar augstu porainību, vidēji vairāk nekā 90 %. Stiegrotus preterozijas ģeopaklājus ražo savienojot sintētisku preterozijas paklāju ar ģeorežģi vai metāla sietu.

Ģeošūnas ir telpiskie šūnveida paklāji, kurus pārsvarā ražo no HDPE ģeomembrānas. Ģeomembrānu sagriež noteiktā platuma un garuma lentās un pamīšus sametina savā starpā ar ultraskaņu tā, lai izstiepjot sekciju veidojās šūnveida struktūra. Pirms metināšanas lentas var attiecīgi saperforēt. Ar metināšanas soli (attālumu starp metinājuma vietām) nosaka atsevišķas šūnas izmērus (diagonāles) izstieptā veidā (Attēls 1-50).

Attēls 1-50. Ģeošūnas sekcija



Betona matračus ražo no diviem austa ģeotekstila slāņiem, kas savā starpā ir savienoti ar pavedieniem, ievērojot noteiktus attālumus tā, lai pildot ar betona javu matracis sasniedz attiecīgu biezumu.

Preterozijas materiālus, kuru ražošanā izmanto ģeosintētisku materiālu kopā ar pildvielu sauc par pildītajiem ģeopaklājiem. Piemēram, ģeosintētisku paklāju rūpnieciski pilda ar bitumena un sīkšķembu maisījumu. Šāds materiāls ir ūdenscaurlaidīgs un nodrošina tūlītēju erozijas aizsardzību pēc ieklāšanas, vienlaicīgi neradot šķēršļus veģetācijas augšanai un neļaujot izskaloties grunts daļiņām. Pildītie preterozijas ģeopaklāji var būt arī ūdensnecaurlaidīgie, kurus sauc arī par ģeosintētiskajiem cementa kompozītpaklājiem. (no angļu val. Geosynthetic cementitious composite mats). Tos ražo savienojot kopā vairākus ģeosintētiskos materiālus: austo ģeotekstilu kā augšējo slāni, telpisko šķiedru paklāju kā kodolu, kuru piepilda ar cementu, un membrānu kā apakšējo slāni. Ģeopaklājs cementa hidratācijas laikā sacietē un veido plānu, izturīgu un ūdensnecaurlaidīgu slāni. Cementa

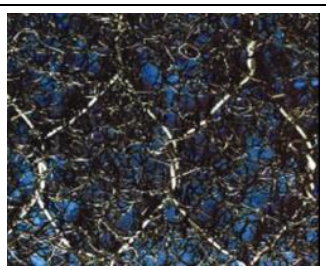
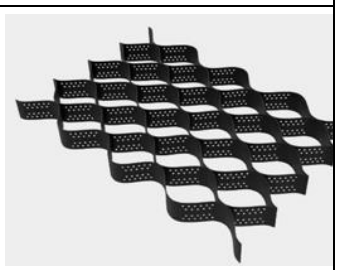
kompozītpaklājus izmanto nogāžu un kanālu krastu aizsardzībai, caurteku oderēšanai un citur.

Tabulās (Tabula 1-17, Tabula 1-18 un Tabula 1-19) norādīti faktori, kas jāņem vērā, izvēloties preterozijas ģeosintētisko materiālu veidu.

Tabula 1-17. Dabīgo preterozijas ģeosintētisko materiālu salīdzinājums

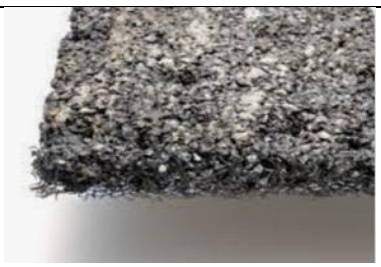
Faktori	Kokosa un/vai salmu paklājs ar PP vai džutas diegiem	Kokosa vai džutas tīkls
Izstrādājuma sastāvs	100% kokosa šķiedra. 50% kokoss un 50% salmi. 100% salmi	100% kokosa šķiedra. 100% džuta.
Svars	≥ 350 g/m^2	≥ 400 g/m^2
Izstrādājuma noārdīšanās laiks	Kokosa šķiedra – līdz 5 gadiem. Salmi – 2–3 mēneši	Kokosa šķiedra – līdz 5 gadiem. Džuta – līdz 5 gadiem
Lietojums pēc funkcijas	Nogāzes virsmas erozijas kontrole.	
Lietošanas apstākļi	Sausā nogāzē. Nogāzes slīpums 1:1,5. Nogāzes garums ≤ 5 m. PP diegi var nodarīt kaitējumus rāpuļiem. Nedrīkst izmantot vietās ar pastāvīgu ūdens plūsmu. Veģetācija attīstās lēnāk.	Sausā nogāzē. Nogāzes slīpums 1:1,5. Nogāzes garums ≤ 5 m. Var veidoties lokāli izskalojumi. Nedrīkst izmantot vietās ar pastāvīgu ūdens plūsmu. Veģetācija attīstās ātrāk.

Tabula 1-18. Sintētisko preterozijas ģeosintētisko materiālu salīdzinājums

Faktori	Ģeopaklāji	Stiegrotie ģeopaklāji	Ģeošūnas
			
Biezums	≥ 17 mm	Ja tiks pārklāts ar augsnes slāni ≥ 17 mm	50 mm, 75 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 300 mm
Svars	≥ 400 g/m^2	≥ 400 g/m^2 bez	Nav būtisks

Faktori	Ģeopaklāji	Stiegrotie ģeopaklāji	Ģeošūnas
		stiegrojuma	
Būtiskie stiprības raksturlie-lumi	Stiepes stiprība MD (≈ 1 kN/m) nav būtiska	Stiepes stiprība MD	Stiepes stiprība MD un CMD, metinājuma vietas stiprība un atsevišķu paneļu savienojuma stiprība
Noturība pret UV starojumu	Jābūt augstai izturībai pret ultravioleto starojumu		
Lietojums pēc funkcijas	Nogāzes virsmas erozijas kontrole. Kanālu (upju) krastu erozijas novēršanai ar zemu straumes ātrumu virs vidējā ūdens līmeņa atzīmes.	Garu un stāvu nogāžu virsmas erozijas kontrole. Kanālu un krastu aizsardzībai ar salīdzinoši zemu straumes ātrumu un virs vidējā ūdens līmeņa atzīmes. Atkarībā no risinājuma ģeopaklāju var izmantot komplektā ar grunts enkuriem.	Nogāzes virsmas erozijas kontrole. Kanālu (upju) krastu erozijas novēršanai ar zemu straumes ātrumu virs vidējā ūdens līmeņa atzīmes.
Lietošanas apstākļi	Sausā nogāzē. Nogāzes slīpums 1:1,5 un garums ≤ 30 m. Nogāzes slīpums 1:1 un garumu ≤ 10 m. Stipru nokrišņu laikā var veidoties lokāli izskalojumi.	Sausā nogāzē. Nogāzes slīpums 1:1. Nogāzes garums – nav ierobežojumu. Stipru nokrišņu laikā var veidoties lokāli izskalojumi.	Sausā nogāzē. Nogāzes slīpums 3:1. Nogāzes garums – nav ierobežojumu. Stipru nokrišņu laikā var veidoties lokāli izskalojumi. Papildu aizsardzībai var paredzēt uzklāt dabīgo paklāju.

Tabula 1-19. Betona matraču un pildīto preterozijas ģeosintētisko materiālu salīdzinājums

Faktori	Betona matrači	Pildītie ģeopaklāji
		
Pildījums	Betona java.	Bitumena un sīkšķembu maisījums. Cementa kompozītmateriāls.
Ūdenscaurlaidība	Ūdensnecaurlaidīgs vai ūdenscaurlaidīgs matracis ar filtrācijas punktiem.	Bitumena un sīkšķembu maisījums – ūdenscaurlaidīgs. Cementa kompozītmateriāls – ūdensnecaurlaidīgs.

Faktori	Betona matrači	Pildītie ģeopaklāji
Lietošanas apstākļi	Slapjā nogāzē. Vietās ar patstāvīgu ūdens plūsmu. Straumes ātrums līdz 6 m/s.	Slapjā nogāzē. Vietās ar patstāvīgu ūdens plūsmu. Straumes ātrums līdz 6 m/s. Bitumena un sīkšķembu maisījums nerada šķēršļus veģetācijas augšanai un nepieļauj grunts daļiņu izskalošanu.

Preterozijas ģeosintētisko materiālu projektēšanas principus skatīt 8.4. nodaļā Projektēšanas principi.

1.3.5.1 Preterozijas ģeosintētisko materiālu funkcijas

Preterozijas ģeosintētisko materiālu funkcija ir novērst vai ierobežot augsnes (grunts daļiņu) pārvietošanos, ko izraisa nokrišņi vai pastāvīga ūdens plūsma. Preterozijas izstrādājumi pieder pie nereglamentētas sfēras. Harmonizētājos standartos, piemēram, EN 13253 "Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai zemes erozijas regulēšanai (piekrastes aizsardzībai, krastu nostiprināšanai) ir definētas prasības ģeotekstiliem, kas tiek izmantoti krastu aizsardzībai ar atdalīšanas un filtrācijas funkcijām, nevis preterozijas izstrādājumiem. Līdz ar to preterozijas funkcijai nav noteikti ar to saistītie raksturlielumi un attiecīgās testa metodes.

Preterozijas funkcijas galvenie uzdevumi:

- nodrošināt vai samazināt augsnes virskārtas zudumus, kamēr nav izveidojusies un nostiprinājusies veģetācija;
- palielināt sakņu sistēmas bīdes pretestību;
- izveidot tūlītēju aizsardzību, samazinot vai novēršot grunts daļiņu izskalošanos un pārvietošanos ar pastāvīgu ūdens plūsmu (straumes erozija).

Lai preterozijas ģeosintētiskie materiāli pienācīgi veiktu savu funkciju nepieciešams uzmanīgi izvēlēties attiecīgo izstrādājumu, kā arī ievērot tā iebūves principus.

1.3.5.2 Preterozijas ģeosintētisko materiālu tehniskie parametri un testi

Turpmāk tabulās (Tabula 1-20, Tabula 1-21, Tabula 1-22, Tabula 1-23, Tabula 1-24 un Tabula 1-25) norādīti būtiskākie preterozijas ģeosintētisko materiālu raksturlielumi un testa metodes.

Preterozijas ģeosintētiskajiem materiāliem (izņemot ģeošūnas) nav piemērojamas saskaņotās tehniskās specifikācijas (nereglamentēta sfēra – nav EĪD).

Tabula 1-20. Dabīgā preterozijas materiāla raksturlielumi un testa metodes

Raksturlielumi	Mērv.	Testa metode (standarts)
Izejmateriāls	-	-
Svars	g/m^2	EN ISO 9864
Cauršūšanas diegu materiāls (paklājam)	-	-

Tabula 1-21. Sintētiskā preterozijas ģeopaklāja raksturlielumi un testa metodes

Raksturlielumi	Mērv.	Testa metode (standarts)
Svars	g/m^2	EN ISO 9864
Biezums	mm	EN ISO 9863-1
Stiepes stiprība garenvirzienā	kN/m	EN ISO 10319
UV pretestība	-	-

Tabula 1-22. Stiegrota sintētiskā preterozijas ģeopaklāja raksturlielumi un testa metodes

Raksturlielumi	Mērv.	Testa metode (standarts)
Svars	g/m^2	EN ISO 9864
Biezums	mm	EN ISO 9863-1
Stiepes stiprība garenvirzienā	kN/m	EN ISO 10319
UV pretestība	-	-

Tabula 1-23. Ģeošūnu raksturlielumi un testa metodes

Raksturlielumi	Mērv.	Testa metode (standarts)
Šūnas augstums	mm	-
Attālums starp metinājumu mezgliem	mm	-
Perforētas lentes stiepes stiprība	kN/m	EN ISO 10319
Pagarinājums pie maks. slodzes	%	EN ISO 10319
Savienojuma pārrāvuma pretestība	kN	EN ISO 13426-1
UV pretestība	-	-
Ilgizturība	gadi	Saskaņā ar EN ISO 13249 B pielikumu

Tabula 1-24. Betona matrača raksturlielumi un testa metodes

Raksturlielumi	Mērv.	Testa metode (standarts)
Maksimālais biezums pēc aizpildīšanas	mm	-
Ūdenscaurlaidība perpendikulāri plaknei	l/m^{2}s	EN ISO 11058

Tabula 1-25. Pildītā preterozijas ģeopaklāja raksturlielumi un testa metodes

Raksturlielumi	Mērv.	Testa metode (standarts)
Pildījuma veids	-	-
Svars	g/m^2 kg/m^2	EN 9864 EN 1849-2

Dabīgiem erozijas kontroles materiāliem sastāvs un svars tieši ietekmē kalpošanas laiku, kas ir nepieciešams veģetācijas izveidošanai un nostiprināšanai. Šo parametru vērtības ir vienkārši un viegli pārbaudāmas būvniecības apstākļos, tāpēc specifiskie testi un standarti lielākoties netiek izmantoti.

Dabīgiem erozijas kontroles materiāliem mehānisko īpašību noteikšana nav nepieciešama. Tādi parametri, kā stiepes stiprība un pagarinājums nav būtiski, jo paklājs vai tīkls tiek uzklāts virs augsnes un piestiprināts ar noteiktu enkuru daudzumu. Ražotāja (vai izplatītāja) ieklāšanas instrukcijā ir noteikts nepieciešamais enkuru daudzums uz kvadrātmetru katram erozijas kontroles materiālam atkarībā no nogāzes slīpuma un garuma, tāpēc stiprības parametru vērtības neietekmē dabīgā erozijas kontroles materiāla veiktspēju. Turklāt jāņem vērā, ka dabīgie materiāli ir bioloģiski noārdāmi un veic pagaidu erozijas kontroles funkciju.

Sintētiskiem preterozijas ģeopaklājiem fizikālās īpašības ir biezums, svars un UV izturība. Biezuma parametrs nosaka augšējā augsnes slāņa augstumu, kuru ģeopaklājs pasargā no izskalošanās, novēršot daļiņu atdalīšanu un pārvietošanu nokrišņu laikā. Svars ir nepieciešams, lai kontrolētu telpiskā paklāja blīvumu, jo tukšumi, vai pārāk lieli atvērumi, samazina ģeopaklāja veiktspējas efektivitāti. Sintētiskajiem preterozijas ģeopaklājiem jābūt izturīgiem pret UV starojumu visu kalpošanas laiku. Intensīvu nokrišņu laikā augsnes slānis, kurš nosedz ģeopaklāju (1-2 cm) var tikt daļēji noskalots, tādejādi pakļaujot ģeopaklāju UV starojuma iedarbībai. Sintētiskie preterozijas paklāji palielina sakņu sistēmas izturību pret bīdes spēkiem un pilda šo funkciju visu kalpošanas laiku, tāpēc vieno no parametriem var specificēt maksimālo MD stiepes stiprību, kas pārsvarā nepārsniedz 2 kN/m pēc EN ISO 10319 (testu skatīt nodaļā 1.3.1.2 Ģeotekstilu tehniskie parametri un testi). Šāda vērtība ir pietiekama, lai sintētiskais preterozijas ģeopaklājs varētu efektīvi veikt savu funkciju. CMD stiepes stiprības parametrs un pagarinājuma vērtības abos virzienos ir maznozīmīgas. Sintētiskiem preterozijas ģeopaklājiem atsevišķi netiek definēts ilgmūžības parametrs. Šādu materiālu kalpošanas laiks dabīgās gruntīs (4 < pH < 9) lielākoties pārsniedz 50 gadus.

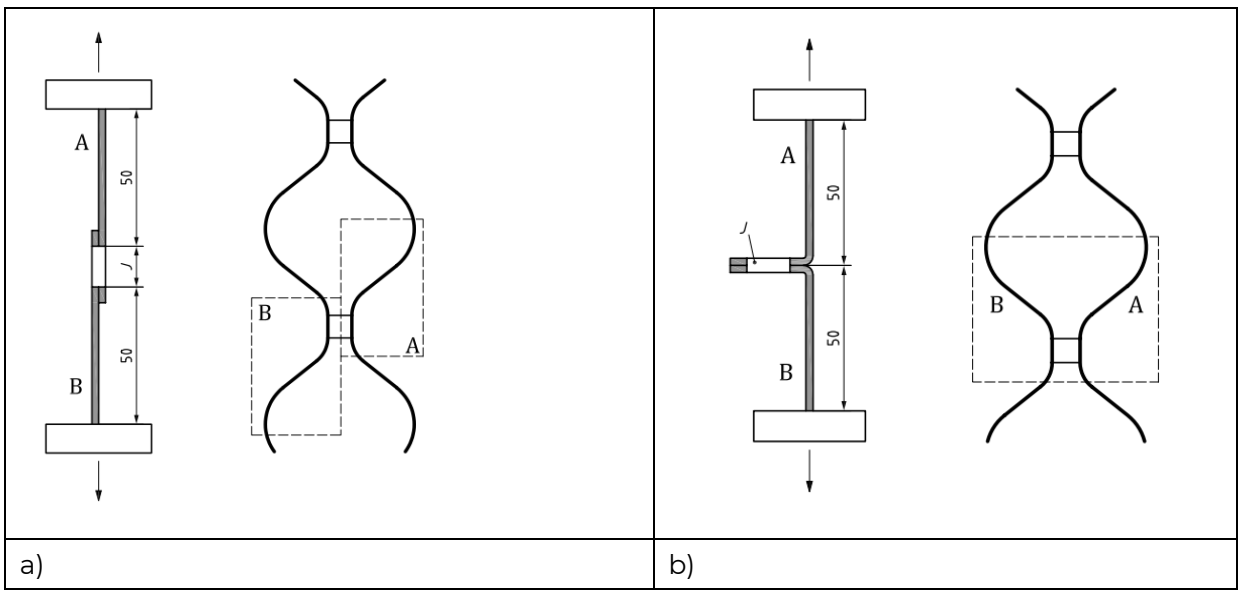
Stiegrotiem preterozijas ģeopaklājiem definē maksimālās stiepes stiprības vērtības abos virzienos saskaņā ar EN ISO 10319, sintētiskā paklāja biezumu, svaru un UV starojuma izturību.

Ģeošūnu būtiskās fizikālās īpašības ir šūnas augstums un attālums starp metinājuma vietām. Stiepes stiprību un pagarinājumu nosaka pēc EN ISO 10319. Ģeošūnas sertificē arī saskaņā ar EN ISO 13249 stiegrošanas funkcijai, tad papildus mehāniskām īpašībām EĪD nosaka arī ilgmūžības vērtību saskaņā ar B pielikumu.

Ģeošūnu metinājumu stiprību pārbada saskaņā ar EN ISO 13426-1 " četros veidos:

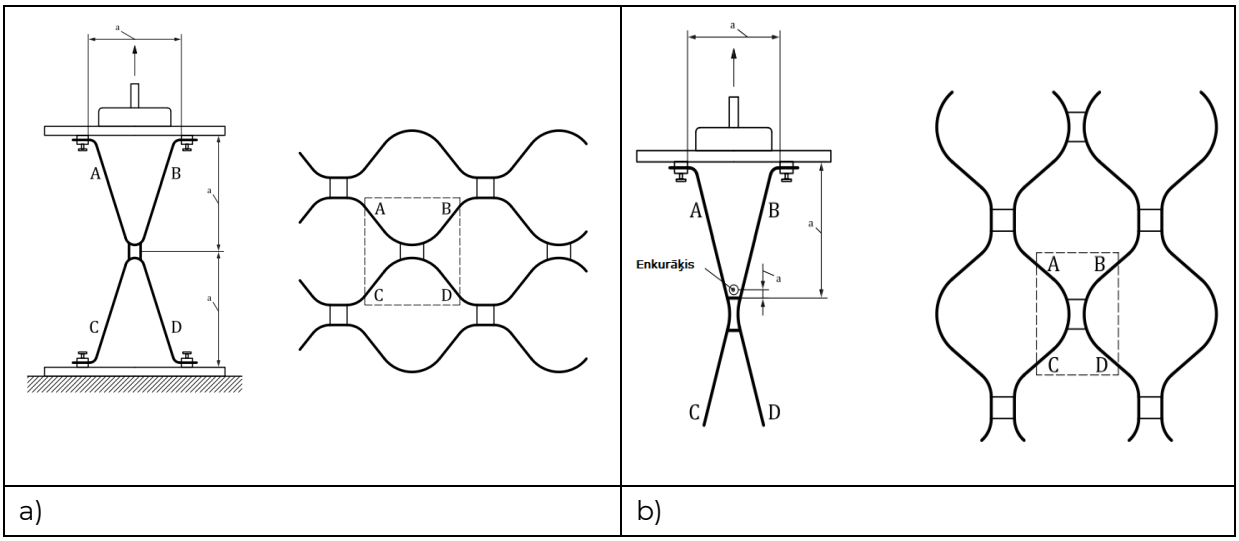
- ar bīdes spēku (Attēls 1-51a), kad atteici izraisa spēks, kas ir paralēls metinājumam;
- ar lobīšanos vai atslāņošanos (Attēls 1-51b), kad atteici izraisa spēks, kas atdala ģeošūnas lentas no viena metinājuma gala;
- ar atdalīšanos (Attēls 1-52a), kad atteici izraisa spēks, kas stiepj divas blakus esošo šūnu metinājuma vietu;
- ar lokālu pārslodzi (Attēls 1-52b), kad enkurošanas elements (enkurāķis) pārmērīgi noslogo metinājumu, izraisot saspiešanas, bīdes vai lobīšanās bojājumus. [63]

Attēls 1-51. Metinājuma stiprības pārbaude izmantojot bīdes spēku (a) un atslāņošanos (b) [63]



a) b)

Attēls 1-52. Metinājuma stiprības pārbaude izmantojot atdalīšanu (a) un pārslogošanu (b) [63]



a) b)

Betona matraču būtiskie parametri ir ģeotekstila stiepes stiprība, pagarinājums un matrača biezums pēc uzpildīšanas. Ūdenscaurlaidīgiem betona matračiem nosaka arī hidrauliskās īpašības: ūdens caurlaidību perpendikulari plaknei pēc EN ISO 11058 un poru izmēru pēc EN ISO 12956.

Pildītiem preterozijas ģeopaklājiem būtiskie parametri ir svars un pildījuma veids, var būt definētas stiepes stiprības vērtības pēc EN ISO 10319 un specifiskie parametri atkarībā no pildījuma.

Preterozijas ģeosintētisko materiālu parametru skaitliskās vērtības skatīt nodaļā 8.5 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības.

1.3.6 Nostiprinājumi ar ģeotekstila maisiem

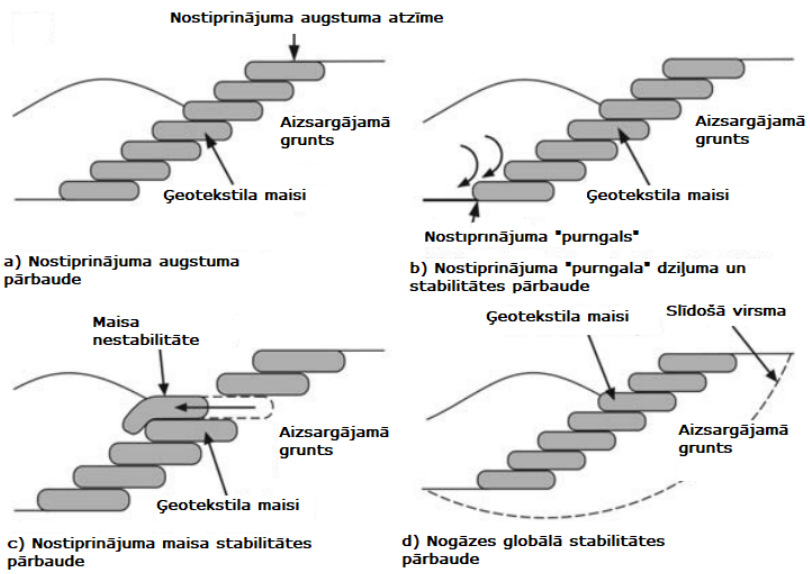
Ģeotekstila maisus izmanto preterozijas risinājumiem, piemēram, jūras krasta nostiprinājumiem vai tiltu balstu aizsardzībai pret izskalojumiem. Šādās konstrukcijās maisi darbojas kā primārā aizsardzība, un to stabilitāti nodrošina maisu svars un to izvietojums. Attēlā zemāk (Attēls 1-53) parādīts ģeotekstila maisu konstrukcija jūras krastu nostiprinājumam, kur ir noteikts maisu izkārtojums, lai palielinātu konstrukcijas stabilitāti.

Ģeotekstila maisu konstrukciju priekšrocība ir tā, ka tie nenodara kaitējumu (traumas) cilvēkiem, atšķirībā no akmens bērumiem un tādējādi tos var izmantot pludmales krastu nostiprinājumiem, bet lielākie trūkumi ir saistīti ar vandalisma riskiem.

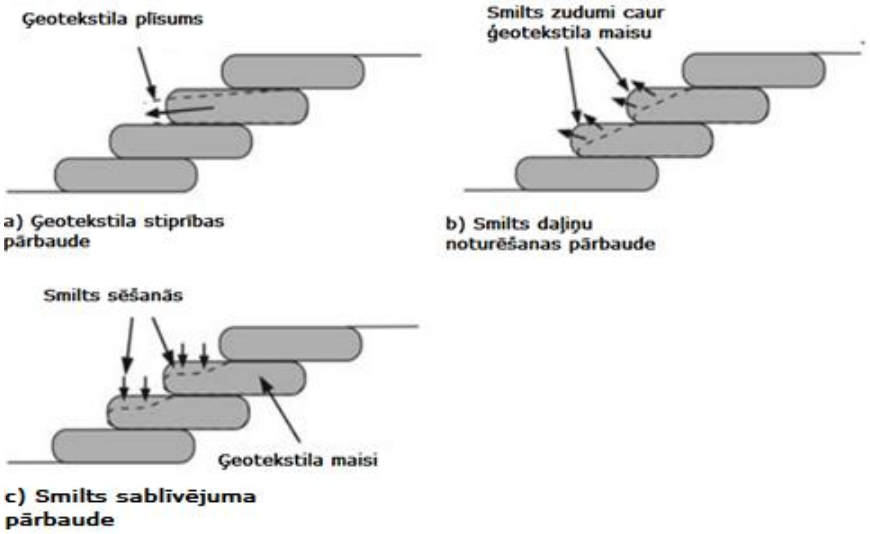
Attēls 1-53. Krasta nostiprinājums ar ģeotekstila maisiem [64]

Ģeotekstila maisu nostiprinājumiem, tā pat kā akmeņu bērumiem, jāizmanto ģeotekstila filtru, kas novietots uz aizsargājamās grunts virsmas. Attēlā parādīti potenciālie atteices režīmi, kas jāpārbauda ģeotekstila maisu konstrukcijām. Tie attiecas uz ārējo stabilitāti (Attēls 1-54), iekšējo stabilitāti (Attēls 1-55) un izturību (Attēls 1-56).

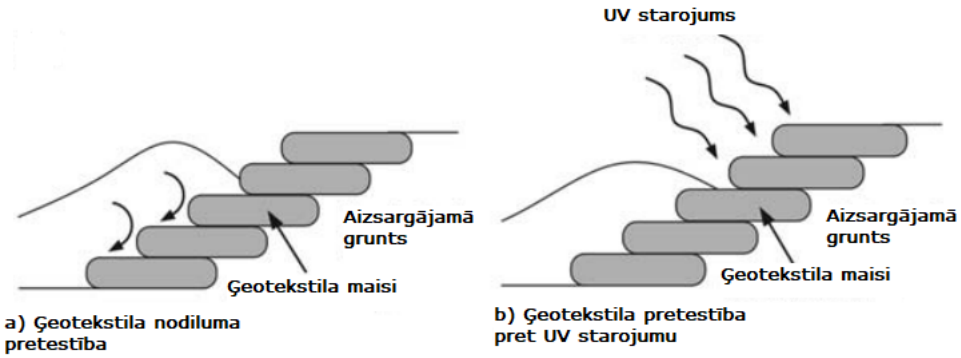
Attēls 1-54. Nostiprinājuma ārējās stabilitātes pārbaudes [64]



Attēls 1-55. Nostiprinājuma iekšējās stabilitātes pārbaudes [64]



Attēls 1-56. Ģeotekstila izturības pārbaudes [64]



Maisu nostiprinājuma ārējai stabilitātei jāpārbauda nostiprinājuma augstums (virs ūdens līmeņa), pirmā maisa, nostiprinājuma "purngala" (no angļu valodas – "toe") dziļums un stabilitāte, nostiprinājuma maisa stabilitāte (atsevišķa elementa) un globālā nogāzes stabilitāte.

Maisu nostiprinājuma iekšējai stabilitātei jāpārbauda nepieciešamā ģeotekstila stiprība (lai novērstu ģeotekstila plīsumu), smilts daļiņu zudumus caur ģeotekstilu (raksturīgais atvērumu izmērs) un smilts sēšanās (smilts sablīvējums).

Ģeotekstila maisu izturība jāpārbauda vērtējot ārējo faktoru ietekmi uz izstrādājumu, tādus kā nodilumu un UV starojumu. [64]

1.3.7 Nostiprinājumi ar ģeocaurulēm

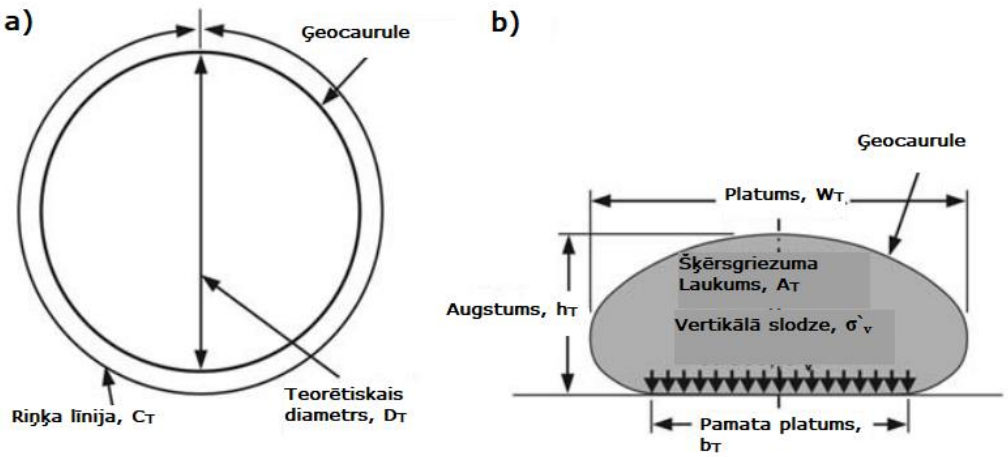
Ģeotekstila caurules (turpmāk ģeocaurules, no angļu valodas – geotubes vai geotextile tubes) tiek izmantotas krastu nostiprinājuma konstrukcijās (Attēls 1-57). Atkarībā no vajadzīgā nostiprinājuma augstuma var izmantot vienu vai vairākas ģeocaurules.

Attēls 1-57. Krasta nostiprinājums ar ģeocauruli [65]

Krastu nostiprinājumi izmantojot ģeocaurules tiek veidoti līdzīgi kā ģeotekstila maisu nostiprinājumi, vērtējot iespējamos atteices režīmus (Attēls 1-54, Attēls 1-55 un Attēls 1-56). Ģeocaurules tiek izmantotas gan atklātiem, gan iegremdētiem nostiprinājumiem.

Lai nodrošinātu maksimālu stabilitāti, ģeotekstila caurulei jābūt piepildītai līdz maksimālajam augstumam. Attēlā zemāk (Attēls 1-58) ir norādīti tukšas un pilnas ģeocaurules parametru apzīmējumi, bet tabulā (Tabula 1-26) ir norādīti ģeocaurules parametri, kad tā ir piepildīta līdz maksimālajam augstumam. Tā rezultātā tiek iegūts blīvs pildījums visā ģeocaurules garumā un nodrošināta konstrukcijas stabilitāte.

Attēls 1-58. Ģeocaurules parametri [64]



Tabula 1-26. Aptuvenā parametru attiecības starp tukšo un piepildīto ģeocauruli pie maksimālā uzpildes augstuma [64]

Parametrs	**Attiecība saistībā ar ģeocaurules teorētisko diametru, D_T**	**Attiecība saistībā ar ģeocaurules riņķa līniju, C_T**
Maksimālais augstums, h_T	$h_T \approx 0{,}5D_T$	$h_T \approx 0{,}16C_T$
Platums, W_T	$W_T \approx 1{,}6D_T$	$W_T \approx 0{,}5C_T$

Parametrs	Attiecība saistībā ar ģeocaurules teorētisko diametru, D_T	Attiecība saistībā ar ģeocaurules riņķa līniju, C_T
Pamata platums, b_T	$b_T \approx 1{,}1D_T$	$b_T \approx 0{,}35C_T$
Šķērsgriezuma laukums, A_T	$A_T \approx 0{,}57D^2_T$	$A_T \approx 0{,}06C^2_T$
Vertikālā slodze, $\sigma`_V$	$\sigma`_V \approx 0{,}6gD_T$	$\sigma`_V \approx 0{,}19gC_T$

Lai nodrošinātu ilgstošu konstrukcijas darbību un samazinātu vandalisma riskus, ģeocaurules var nosegt ar akmeņiem vai citu nosedzošo materiālu.

1.4 Ģeosintētisko materiālu kvalitāte un kontrole būvobjektā

Saskaņā ar LVS CEN/TR 15019 ģeosintētiskā materiāla kvalitātes kontroli būvlaukumā var veidot viena vai vairākas pārbaudes:

- ∇ piegādātās preces atbilstības novērtējums saskaņā ar projekta specifikācijām;
- ∇ piegādātā izstrādājuma objekta apstākļu atbilstības novērtējums;
- ∇ ģeosintētisko materiālu uzglabāšanas apstākļu pārbaude;
- ∇ ģeosintētisko materiālu ieklāšanas pārbaude;
- ∇ paraugu ņemšana būvprojekta specifikācijas atbilstības novērtēšanai;
- ∇ kontrolparaugu ieklāšana un atrakšana ieklāšanas bojājumu pārbaudei;
- ∇ kontrolparaugu ieklāšana, veicot ģeosintētisko materiālu veiktspējas pārbaudi noteiktā laika posmā.

Pēc ģeosintētisko materiālu piegādes būvuzņēmējam jāpārbauda:

- ∇ vai būvizstrādājumu marķējums atbilst EN ISO 10320;
- ∇ vai ir CE identifikācijas marķējums;
- ∇ vai piegādātā prece atbilst pasūtījumam un rēķinam;
- ∇ vai ģeosintētisko materiālu parametru vērtības (EĪD, būvizstrādājuma tehniskā datu lapa, tehniskā pase u. c.) atbilst projekta specifikācijai;
- ∇ vai piegādātā ģeosintētiskā materiāla, kas ir ražots saskaņā ar 2+ sistēmu, identifikācijas marķējuma informācija sakrīt ar EĪD un CPR norādīto.

Uz katra piegādātā ruļļa iepakojuma ir jābūt identifikācijas marķējumam ar informāciju par ražotāja (vai piegādātāja) nosaukumu, produkta nosaukumu un veidu, unikālo ruļļa numuru, ruļļa izmēru un svaru (Attēls 1-59).

Attēls 1-59. Ģeosintētisko materiālu identifikācija un marķējums

a) ģeotekstila identifikācijas uzlīmes

b) ģeorežģa identifikācijas uzlīmes

c) preterozijas identifikācijas uzlīmes

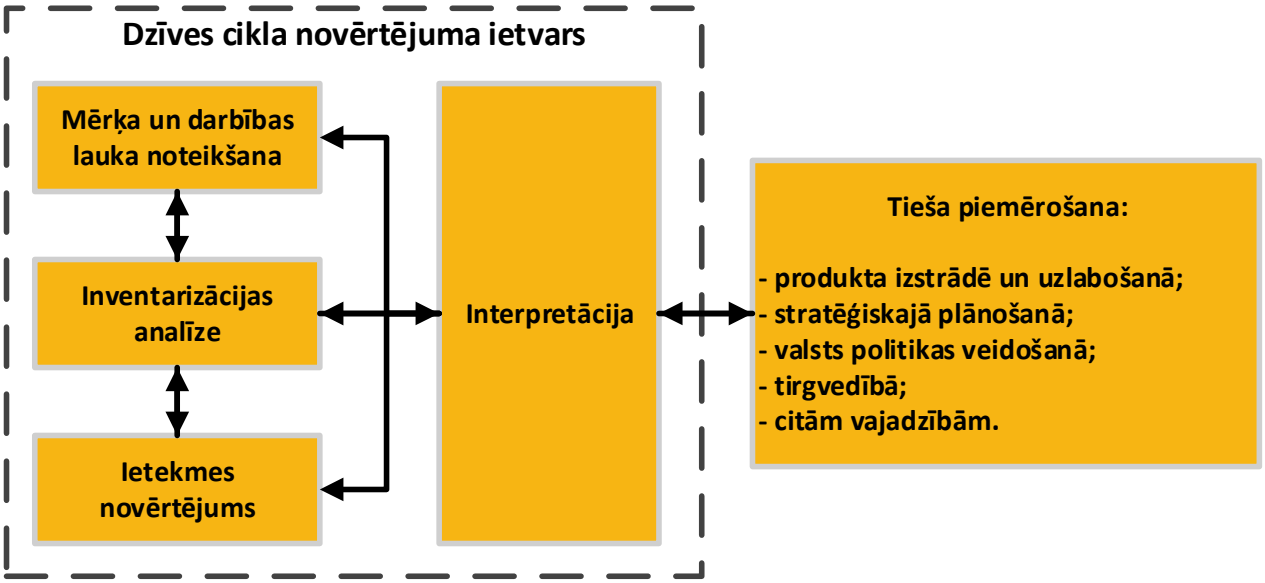
Ja rodas šaubas par piegādātā materiāla un pavaddokumentu atbilstību, ģeosintētisko materiālu raksturlielumus ir iespējams pārbaudīt akreditētā laboratorijā. Paraugu ņemšana jāveic saskaņā ar LVS EN ISO 9862.

1.5 Dzīves cikla novērtējums

Saskaņā ar EN ISO 14040 dzīves cikla novērtējums (angļu val. – *Life Cycle Assessment*; turpmāk tekstā – LCA) ietver visu produkta dzīves ciklu: izejmateriālu iegūšanu, ražošanu, izmantošanu (ekspluatāciju) un utilizāciju.

LCA veido četri soļi (Attēls 1-60), kuros atkarībā no pētījuma mērķa tiek noteikta un salīdzināta iespējamā ietekme uz vidi, izmantojot dažādus produktus vai risinājumus.

Attēls 1-60. LCA soļi (atsauce EN ISO 14040)



1.5.1 Mērķis un tvērums

LCA izmantošanas mērķis ir salīdzināt siltumnīcefekta gāzu emisiju daudzumus, kas izteikti kā CO_2 ekvivalenti, izmantojot risinājumus ar un bez ģeosintētiskajiem materiāliem. Katram ģeosintētisko materiālu pielietošanas veidam ir izstrādāti LCA aprēķina piemēri, kas atrodami attiecīgajās pētījuma nodaļās. Šie aprēķinu piemēri izstrādāti ar norādītajiem pieņēmumiem.

Izmantojot pētījumā izstrādāto pieeju, iespējams veikt LCA aprēķinus arī citiem risinājumiem, atbilstoši nepieciešamībai pielāgojot veicamo darbu un izmantojamo materiālu daudzumus, kā arī ieviešot kādus papildu kritērijus vai modificējot datu detalizāciju, attiecīgi konkrētajai situācijai aprēķinot CO_2 ekvivalentus izmešu daudzumus.

Pētījuma ietvaros LCA aprēķina tvēruma robežas gan ar, gan bez ģeosintētiskajiem materiāliem ir no "šūpuļa līdz ceļam" (angļu val. – *cradle-to-site*), iekļaujot ģeosintētisko materiālu ražošanu, transportēšanu uz objektu un iebūvi, vai attiecīgi minerālmateriālu ieguvi, transportēšanu uz objektu un iebūvi.

Pētījuma LCA aprēķina piemēros nav ietverts CO_2 ekvivalents izmešu daudzums no materiālu (arī ģeosintētisko materiālu) utilizācijas vai pārstrādes.

LCA funkcionālā vienība galvenokārt ir pieņemta 100 m garumā (piemēram – ceļa konstrukcija, atbalsta siena). Platums vai citi pieņemtie saistošie parametri norādīti konkrētajos aprēķinu piemēros. Šāda funkcionālā vienība izvēlēta tāpēc, ka risinājumus ar ģeosintētiskajiem materiāliem pārsvarā pielieto neliela garuma posmos. Veicot aprēķinus konkrētām situācijām, risinājumi jāsalīdzina, ietverot to faktiskos apjomus.

Saskaņā ar standartu LVS EN ISO 14040 atsauces plūsmai ceļa konstrukcijas materiālu apjomi pieņemti kilogramos diviem līdzvērtīgiem (pēc nestspējas un/vai funkcionalitātes) risinājumiem ar un bez ģeosintētiskajiem materiāliem. CO_2 ekvivalents aprēķināts tikai atšķirīgajām projekta risinājuma pozīcijām. Ceļa konstrukcijas materiāliem, kuriem aplūkotajos salīdzināmajos risinājumos ir vienāda izcelsme un apjoms, CO_2 ekvivalents netika rēķināts.

1.5.2 Dzīves cikla inventarizācijas analīze

Inventarizācijas analīze ietver datu apkopošanu un aprēķina veikšanu, lai kvantitatīvi noteiktu produktu būtiskās ievades un izvades. Atkarībā no LCA mērķa un apjoma iegūtos datus var izmantot interpretācijai, savukārt šie dati tiek izmantoti kā pamats dzīves cikla ietekmes novērtējumam.

Lai salīdzinātu ģeosintētisko materiālu ražošanas procesā radīto CO_2 ekvivalentu, katram ģeosintētisko materiālu funkcionālajam pielietojumam apskatīti vismaz divi (vai atbilstoši datu pieejamībai) ekvivalenti ģeosintētiskie materiāli un, izmantojot ģeosintētisko materiālu produkta vides deklarācijas datus (angļu val. – *Environmental Product Declaration* (EPD)), tiek aprēķināta šo materiālu vidējā CO_2 ekvivalentu vērtība.

Ģeosintētiskajiem materiāliem transportēšanas CO_2 ekvivalentu izmešu daudzums tiek aprēķināts, kā vidējais attālums no konkrētām ražošanas vietām. Piemēram, drenāžas ģeosintētisko materiālu transportēšanas attāluma noteikšanai, apskatot trīs iespējamās ražotnes Eiropā ar materiāla piegādi Rīga – Itālija (2170 km), Rīga – Vācija (1590 km) un Rīga – Lielbritānija (2496 km), aprēķinātais vidējais attālums ir 2085 km. Līdzīgi attālumi iegūti arī attiecībā uz citu ģeosintētisko materiālu piegādi. Līdz ar to pieņemtais ģeosintētisko materiālu transportēšanas attālums no ražotnes līdz objektam Rīgas apkārtnē ir 2000 km.

Kā transportlīdzeklis ģeosintētisko materiālu pārvadāšanai tiek pieņemts kravas automobilis ar puspiekabi, ar 24 t kravnesību un 30 litru degvielas patēriņu uz 100 km. Aprēķinos pieņemts, ka ģeosintētiskie materiāli tiek vesti pilnās kravās. Katrā aprēķina piemērā ir norādīts ģeosintētiskā materiāla apjoms, kādu var iekraut iepriekš minētajā transportlīdzeklī.

Lai aprēķinātu minerālmateriālu transportēšanas CO_2 ekvivalentu izmešu daudzumu, katrā aprēķina piemērā pieņemts gan transportēšanas attālums, gan piegādes ilgums.

Materiāla tilpumsvars pieņemts saskaņā ar turpmāk pieejamo tabulu (Tabula 1-27), lai izteiktu nepieciešamo materiāla daudzumu svara vienībās un izmantotu atbilstošo daudzumu, aprēķinot būvniecības tehnikas produktivitāti.

Tabula 1-27. Pieņemtais materiālu tilpumsvars

Materiāla nosaukums	Materiāla tilpumsvars, t/m3
Asfalts	2,4
Minerālmateriālu maisījums 0/45, grants, smilts	2,0
Augu zeme, grunts	1,6

Minerālmateriālu kārtu būvniecībai izmantoti attiecīgo darbu izpildei nepieciešamās tehnikas produktivitātes un CO_2 ekvivalentu dati (skatīt pievienotajos Excel failos). Ģeosintētisko materiālu ieklāšanai tika pieņemts tikai roku darbs.

1.5.3 Ietekmes novērtējums

LCA ietekmes novērtējuma mērķis ir izprast iespējamās ietekmes uz vidi nozīmīgumu, izmantojot inventarizācijas rezultātus.

Katrā nodaļā ir salīdzināts CO_2 ekvivalentu daudzums risinājumiem ar un bez ģeosintētiskajiem materiāliem un veikti attiecīgi secinājumi. Pētījumā nav noteiktas ietekmes kategorijas, kategoriju rādītāji un nav veikta raksturojuma modeļu izvēle.

1.5.4 Interpretācija

Interpretācija ir LCA beigu posms, kas sasaista inventarizācijas datu analīzes un novērtējuma rezultātus atbilstoši norādītajam mērķim un tvērumam, skaidrojot ierobežojumus un sniedzot ieteikumus. Šajā pētījumā interpretācija nav veikta.

1.5.5 Datu aprēķins

Materiāla svars vai ģeosintētiskā izstrādājuma svars:

$$Materiāla\ vai\ ģeosintētiskā\ izstrādājuma\ kopējais\ svars\ (kg) = projekta\ daudzums\ (m^3 vai\ m^2) \times materiāla\ vai\ ģeosintētiskā\ izstrādājuma\ vienības\ svars\ (\frac{kg}{m^3} vai \frac{kg}{m^2})$$

Ģeosintētiskā materiāla transportēšana:

$$CO_2\ ekv.(kg)\ uz\ viena\ ģeosintētiskā\ izstrādājuma\ kg = \frac{transportēšanas\ ceļš\ (km)}{100\ (km)} \times 30\ (l) \times 3{,}24\ (CO_2\ ekv.kg/l)/ģeosintētiskais\ izstrādājums\ pilnā\ kravā\ (kg)$$

Minerālmateriālu transportēšana:

$$CO_2\ ekv.(kg)\ uz\ viena\ materiāla\ kg = \frac{1\ (kg)}{kravas\ auto\ ražīgums\ (kg)} \times vienas\ piegādes\ laiks\ (h) \times devielas\ patēriņš\ \left(\frac{l}{h}\right) \times\ 3{,}24\ (CO_2 ekv.kg/l)$$

Materiāla iebūve:

$$CO_2 ekv.\,(kg)\ uz\ viena\ materiāla\ kg = \frac{1\ (kg)}{b\bar{u}vtehnikas\ ražīgums\ (\frac{t}{h})} \times devielas\ patēriņš\ (\frac{l}{h}) \times 3{,}24\ (CO_2 ekv.\,kg/l)$$

Algoritmi CO_2 ekvivalentu aprēķinu veikšanai ir izstrādāti Excel vidē. Attiecīgos Excel failus skatīt pētījuma pielikumā.

2 Zemes klātnes pastiprināšana

Zemes klātni veido uzbērums vai ierakums dabīgajās gruntīs. Ceļa konstrukcijas nestspēju un lietojamību nosaka zemes klātnē esošo grunšu fizikālās un mehāniskās īpašības, uzbēruma augstums (ieskaitot ceļa segu) un transporta vai cita veida slodzes. Ieteikumos "Ieteikumi ceļu projektēšanai. Ceļa sega. Rīga, 2020" (ICP.CS) [3], kā arī Autoceļu būvniecības specifikācijās (ABS) [2], ir norādīti konkrēti zemes klātnes nestspējas parametri, kādi jāsasniedz, projektējot un būvējot ceļa segu.

ABS definētās vērtības var tikt uzskatītas tikai par kvalitātes kontroles rādītājiem un, ja zemes klātni veido zemas nestspējas un viegli saspiežamas gruntis, nepieciešams veikt uzbēruma nogāzes stabilitātes un sēšanās aprēķinu. Gadījumā, ja netiek izpildītas nestspējas un/vai lietojamības prasības, nepieciešams veikt grunts apmaiņu vai pastiprināt zemes klātni. [66] Ja autoceļa nogāžu stabilitāte tiek nodrošināta un ekspluatācijā prognozējamās kopējās un nevienmērīgās sēšanās vērtības nepārsniedz būvprojektā definētās, zemes klātni pastiprināt un izmantot ģeosintētiskos materiālus zemes klātnes stiegrošanai nav nepieciešams, pat tad, ja tajā identificētas zemas nestspējas gruntis. Šajā pētījuma nodaļā par zemes klātnes stiegrošanu galvenais grunšu mehāniskais parametrs zemes klātnes raksturošanā ir tās nedrenētā bīdes pretestība – c_u. Zemes klātnes nestspēja tiek pieņemta kā zema, ja $c_u < 40$ kPa, bet ļoti zema, ja $c_u < 20$ kPa.

Ģeosintētiskie materiāli var tikt lietoti gan atsevišķi, gan kombinācijā ar kādu no grunšu pastiprināšanas risinājumiem. Ģeosintētisko materiālu pielietojums zemes klātnes pastiprināšanai var būt arī plašāks, nodrošinot ne tikai stiegrošanas, bet vienlaicīgi arī drenāžas un atdalīšanas/filtrācijas funkciju. Ģeosintētisko materiālu stiegrojums paaugstina nogāzes noturību gan būvniecības laikā, gan būves ekspluatācijas laikā, kā arī ļauj būvēt stāvākas nogāzes, nekā tas būtu iespējams bez stiegrojuma. Stiegrojums nodrošina lietojamību ceļa segai virs zemes klātnes, kurā iespējami tukšumi vai cita veida lokālas zemas nestspējas vietas. Drenāžas funkcija ir svarīga gadījumos, kad tiek veikta zemes klātnes konsolidācija laikā. Ģeosintētiskais materiāls šajā gadījumā neļauj paaugstināties papildus poru spiedienam gruntī tieši zem uzbēruma. Atdalīšanas funkcija ierobežo ceļa segas konstruktīvajās kārtās izmantotā minerālmateriāla sajaukšanos ar zemes klātnes grunti.

Ģeosintētiskajiem materiāliem, kas tiek izmantoti ceļa zemes klātnes stiegrošanā, jābūt ar augstu stiepes stiprību, mazu relatīvo pagarinājumu, zemu šļūdi un augstu mehānisko izturību. Vispiemērotākie šim pielietojumam ir augstas stiprības ģeorežģi

un austie ģeotekstili. Var tikt izmantoti arī ģeokompozīti, kas nodrošina gan stiegrošanas, gan filtrācijas un atdalīšanas funkciju.

2.1 Lietošanas lietderība Latvijas apstākļos

Latvijā dažādas nozīmes autoceļi galvenokārt būvēti Padomju Savienības laikā. Padomju laikos būvētie autoceļi Latvijā tika uzbūvēti dažādos laika posmos, sākot no 20. gadsimta vidus līdz padomju sistēmas sabrukumam 1991. gadā. Precīzi datumi būvniecības sākumam un beigām var atšķirties atkarībā no katras konkrētās autoceļa daļas un tā nozīmes. Tomēr vairums no šiem autoceļiem tika uzbūvēti un attīstīti 1960., 1970. un 1980. gados.

Šajā laikā būvniecības tehnoloģijas, kvalitātes kontrole un pārbaudes bija ierobežotas un, gadījumā, ja autoceļa trase šķērsoja vietas, kur zemes klātnē identificētas zemas nestspējas gruntis, parasti tika paredzēta pilnīga vai daļēja grunts apmaiņa. Mūsdienās šajās vietās bieži novērotas autoceļu lietojamības problēmas – pārmērīgas kopējās un nevienmērīgās sēšanās. Tādēļ Latvijā efektīvi var tikt izmantoti visi iepriekš apskatītie lietošanas viedi zemes klātnes stiegrošanā. Visus risinājumus nepieciešams pamatot ar aprēķinu – tie apskatīti nākamajās nodaļās.

2.2 Priekšrocības un trūkumi

Ģeosintētiskais materiāls zemes klātnes stiegrošanai parasti tiek paredzēts ar salīdzinoši augstu stiepes stiprību un stingumu atbilstoši konkrētā risinājuma vajadzībām. Šim materiālam ir gan priekšrocības, gan arī daži trūkumi.

Priekšrocības ģeosintētiskā materiāla izmantošanai autoceļu uzbērumos:

- izturība un ilgmūžība: ģeosintētiskie materiāli var nodrošināt augstu stiprību un ļoti noturīgi pret bojājumiem.
- stiegrošana: tie spēj uzlabot autoceļa uzbēruma nogāzes stabilitāti un ierobežot nevienmērīgās deformācijas.
- ūdens caurlaidība: ģeosintētiskie materiāli bieži ir ūdens caurlaidīgi, kas palīdz novērst ūdens uzkrāšanos un ceļa deformāciju. Risinājumos iespējams izmantot arī ģeokompozītus, kuri apvieno gan stiegrošanas, gan drenāžas funkciju.
- samazina būvniecības laiku un izmaksas: tie var samazināt nepieciešamo būvniecības laiku un darbaspēka izmaksas, jo iespējams izvairīties no grunts apmaiņas veikšanas.

Trūkumi ģeosintētiskā materiāla izmantošanai:

- izmaksas: sākotnējā iegāde un uzstādīšana var būt dārga salīdzinājumā ar citiem materiāliem.
- nepieciešamā pieredze un zināšanas: nepieciešama specifiska pieredze un zināšanas, lai pareizi izvēlētos un uzstādītu šos materiālus, lai tie būtu efektīvi un izturīgi.

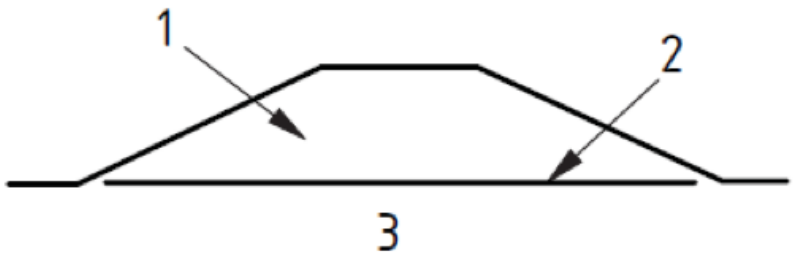
Katram ceļa būvētājam jāņem vērā šie faktori, lai izvēlētos labāko risinājumu atkarībā no konkrētā projekta prasībām un vides apstākļiem.

2.3 Projektēšanas principi

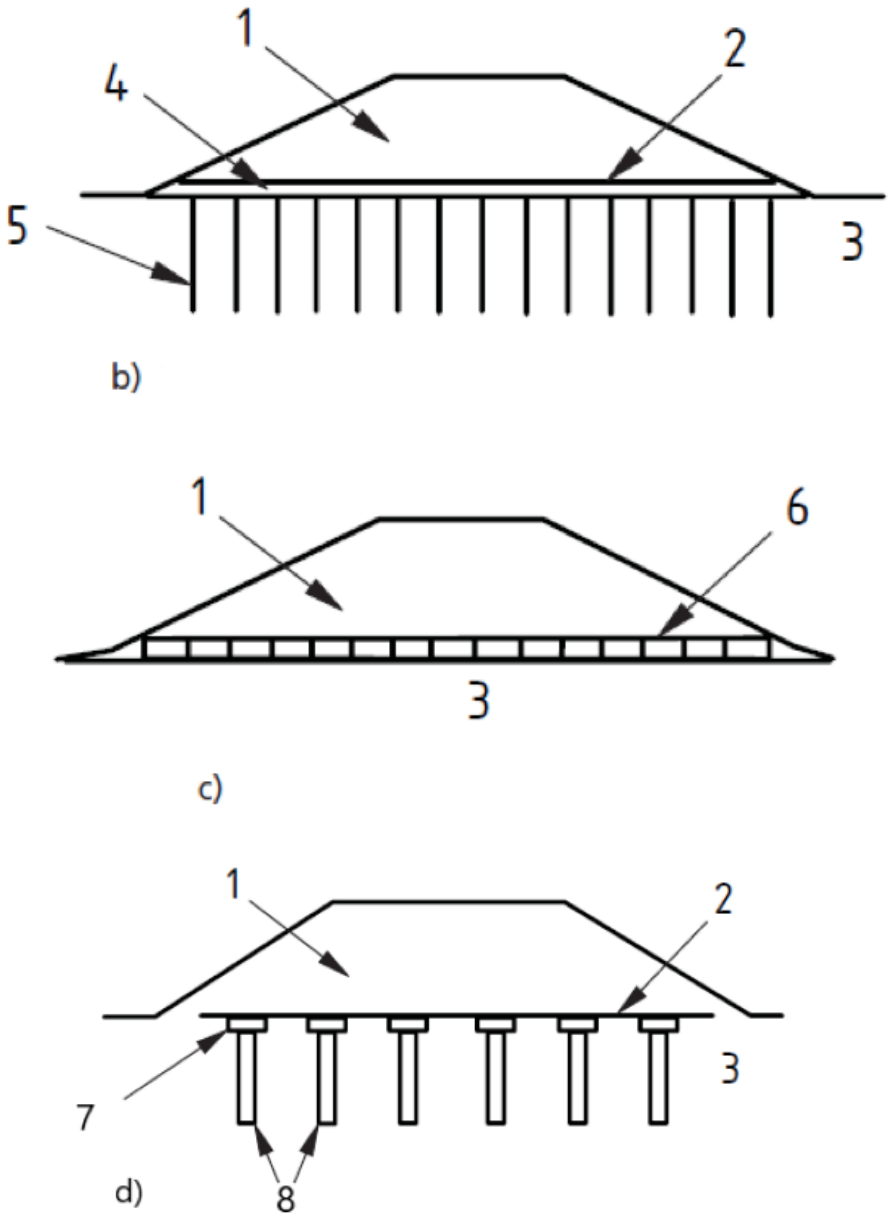
Šajā pētījumā zemes klātnes stiegrošanai apskatīti trīs galvenie ģeosintētiskā materiāla lietošanas veidi. Tie ir – zemes klātnes stiegrošana bez pastiprinājumiem (Attēls 2-1 a)), ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju ("matraci") (Attēls 2-1 c)) un kopā ar papildu pastiprinājumiem, kas ierobežo vertikālo deformāciju (Attēls 2-1 d)). Bieži zemas nestspējas gruntis tiek konsolidētas, lai ierobežotu deformācijas konstrukcijas ekspluatācijas periodā.

Vertikālās drenas ievērojami paātrina konsolidēšanās laiku un tādēļ tiek izdalīts arī atsevišķs ģeosintētiskā materiāla stiegrošanas veids kopā ar vertikālajām drenām (Attēls 2-1 b)). Šajā pētījumā šis īpašais gadījums netiek apskatīts. Aprēķini tiek veikti tāpat, kā zemes klātnes stiegrošanā bez pastiprinājumiem, bet, pieņemot grunšu mehāniskās īpašības konkrētajā konsolidācijas pakāpē, konsolidācijas laikā tās tiek uzlabotas. [66]

Attēls 2-1. Ģeosintētiskā materiāla lietošana zemes klātnes stiegrošanā [67]



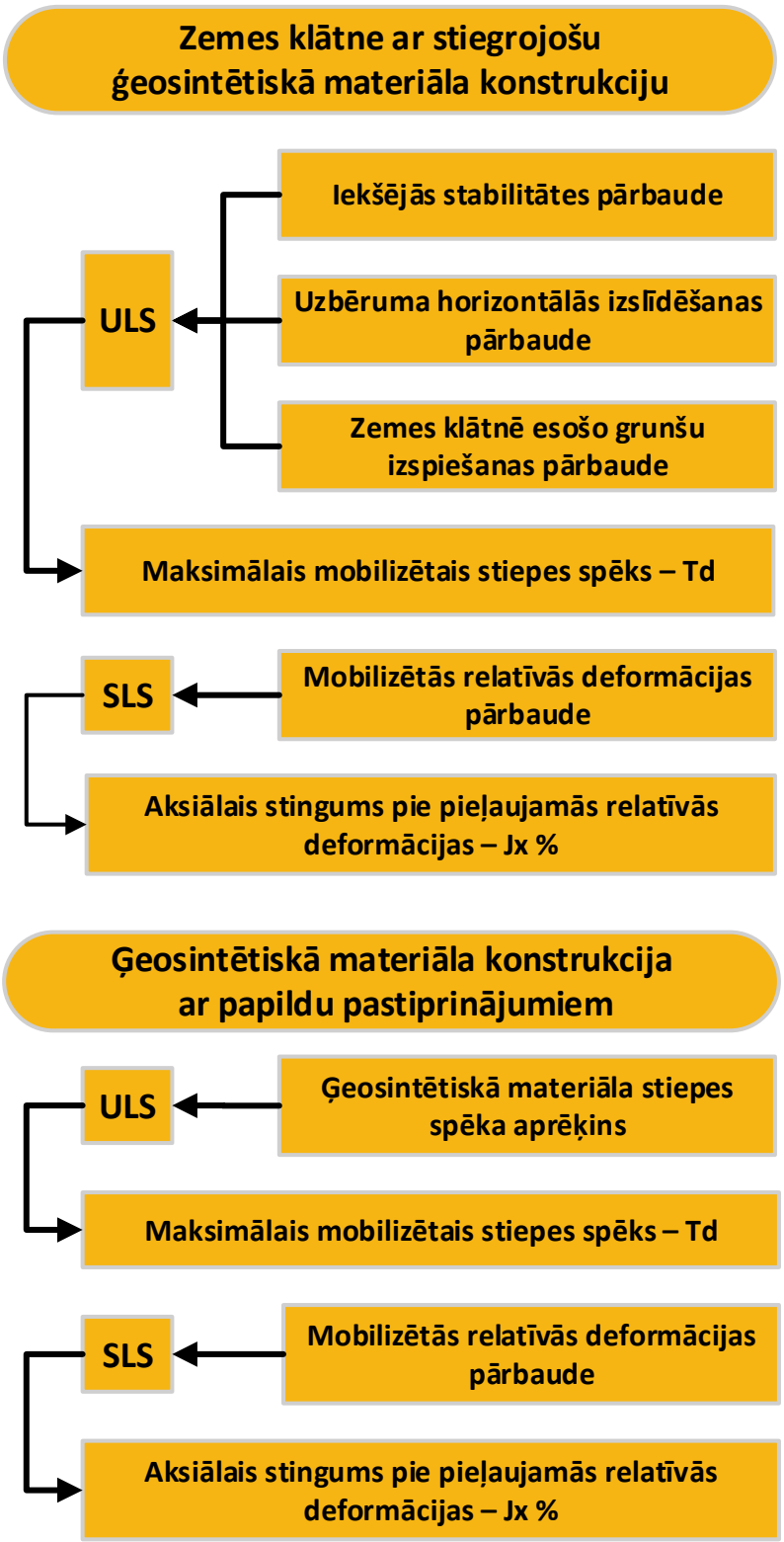
a)



1 – uzbērums; 2 – ģeosintētiskais stiegrojums; 3 – zemas nestspējas grunts slānis; 4 – drenējošais slānis; 5 – vertikālās drenas; 6 – ģeosintētiskā materiāla konstrukcija; 7 – režģogs; 8 – grunšu pastiprinājums.

Blokshēmā turpmāk apskatīti divi zemes klātnes stiegrošanas gadījumi – ģeosintētiskā materiāla konstrukcija bez papildu pastiprinājumiem un ar papildu pastiprinājumiem. Šie risinājumi apskatīti arī aprēķina piemēros. Abos zemes klātnes stiegrošanas aprēķinos ģeosintētisko materiālu nepieciešams izvērtēt gan nestspējas robežstāvoklī (ULS), gan lietojamības robežstāvoklī (SLS), gan noteikt aprēķina vērtības maksimālajam mobilizētajam stiepes spēkam *Td* un aksiālajam stingumam *Jx*.

Attēls 2-2. Blokshēma zemes klātnes stiegrošanā ar ģeosintētiskajiem materiāliem



2.3.1 Grunts un ģeosintētiskā materiāla mijiedarbība

Ne tikai svarīgas ir pašu grunšu un ģeosintētiskā materiāla īpašības, bet arī to mijiedarbības īpašības. Parasti tiek apskatīti divas grunts – ģeosintētiskā materiāla mijiedarbības veidi:

- ∇ Tiešā slīdēšana (no angļu val. - direct sliding) – grunts bloka slīdēšana pa ģeosintētiskā materiāla virsmu;
- ∇ Ģeosintētiskā materiāla izraušana no grunts uzbēruma(no angļu val. – pull-out)

Pirmajā gadījumā bīdes spēks pārsniedz stiegrotās grunts konstrukcijas un ģeorežģa kontaktvirsmas berzes pretestību, bet otrajā gadījumā sabrukšana notiek no ģeorežģa izraušanas (vai pārraušanas). [68]

Tiešās slīdēšanas koeficientu $\boldsymbol{a'}$ *jeb* $\boldsymbol{f_{ds}}$ iespējams noteikt atbilstoši izteiksmei zemāk:

$$a' = f_{ds} = a_s \frac{tan\delta}{tan\varphi'} + (1 - a_s) \qquad [2.13]$$

kur,
δ – grunts berzes leņķis pret ģeorežģa plakni;
φ' – grunts iekšējās berzes leņķis.

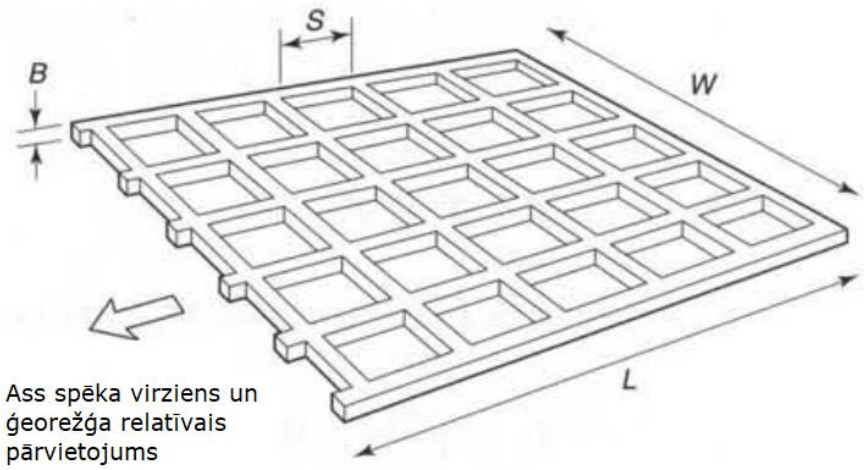
Grunts un ģeosintētiskā materiāla mijiedarbības berzi un ģeorežģa efektīvais laukums nepieciešams noteikt atbilstoši katra konkrētā materiāla BBA sertifikātam [69], bet parasti $0,60 \leq f_{ds} \leq 1,00$. [70]

Grunts saķeres koeficients teorētiski var tikt aprēķināts atbilstoši sekojošai izteiksmei:

$$f_b = a_s \frac{tan\delta}{tan\varphi'} + \frac{\sigma'_p}{\sigma'_n} \times \frac{a_b B}{S} \times \frac{1}{2tan\varphi'} \qquad [2.14]$$

kur:
S – attālums starp ģeorežģa ribām;
B – ģeorežģa ribu biezums;
σ'_p – efektīvais spriegums ģeorežģa ribās.
σ'_n – efektīvais vertikālais spriegums uz ģeorežģa;
a_b – daļa no ģeorežģa platuma, kas darbojas kā atbalsta laukums.

Attēls 2-3. Stiegrojuma izmēru apzīmējums



Austajiem un neaustajiem tekstiliem var pieņemt, ka $a_s = 1$ un $a_b = 0$, tātad arī saķeres koeficients ir vienāds ar grunts un ģeosintētiskā materiāla berzi:

$$f_b = f_{ds} = \frac{tan\delta}{tan\varphi'} \quad [2.15]$$

Šiem materiāliem tiešās slīdēšanas un saķeres koeficienti sakrīt.

Ģeorezģiem saķeres koeficients jāaprēķina pilnās izteiksmes, kura apskatīta iepriekš. Projektēšanas nolūkos spriegumu attiecību noteikšanai nesaistītās gruntīs ir ieteicams izmantot sekojošu izteiksmi:

$$\frac{\sigma'_p}{\sigma'_n} = tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2}\right) e^{[(\frac{\pi}{2})+\varphi']tan\varphi'} \quad [2.16]$$

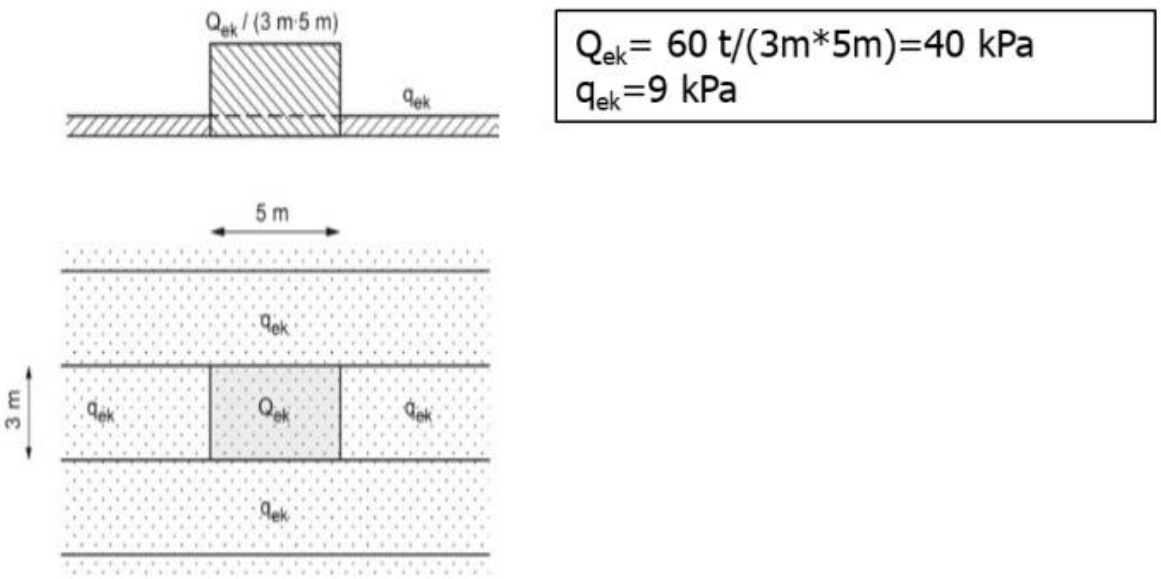
kur,
σ'_p – efektīvais spriegums ģeorežģa ribās;
σ'_n – efektīvais vertikālais spriegums uz ģeorežģa;
φ' – grunts iekšējās berzes leņķis.

Smalkas zemas nestspējas grunts pamatnes stiegrošanas gadījumā, pārbaudot pamatnes izspiešanu, nepieciešams izmantot smalkas grunts un ģeosintētiskā materiāla savstarpējās iedarbības adhēzijas koeficientu a_{bc} , kuru var noteikt tikai liela izmēra stiegrota un nestiegrota parauga nekonsolidētā nedrenētā trīsasu testā. Tā kā šī koeficienta vērtības nav dotas BS 8006-1 un gadījumā, ja nav pieejamu tiešo mērījumu, var pieņemt, ka $a_{bc} = 0,5$. [71]

2.3.2 Transporta slodze

Transporta slodze pieņemta atbilstoši slodzes modelim LM 1 (LVS EN 1991-2). [72]

Attēls 2-4. LM1 slodzes modelis atbilstoši LVS EN 1991-2



Atbilstoši praktiskam lietojumam iespējams pāriet uz vienmērīgi izkliedētu slodzi visā brauktuves platumā. [73] Nepieciešams izdalīt primāro un sekundāro vienmērīgi izkliedētas slodzes modeli.

1. Primārais vienmērīgi izkliedētas slodzes modelis tiek izmantots gadījumos, kad aprēķina modelis automātiski pieņem slodzes pārdalīšanos uzbērumā. Šajā gadījumā ekvivalentā transporta slodzes vērtība, kuru pieliek brauktuves platumā un līmenī, var tikt aprēķināta pēc sekojošas izteiksmes:

$$\mathbf{p = p_1 + p_2 \cdot \frac{B_q}{B}} \qquad [2.17]$$

kur:

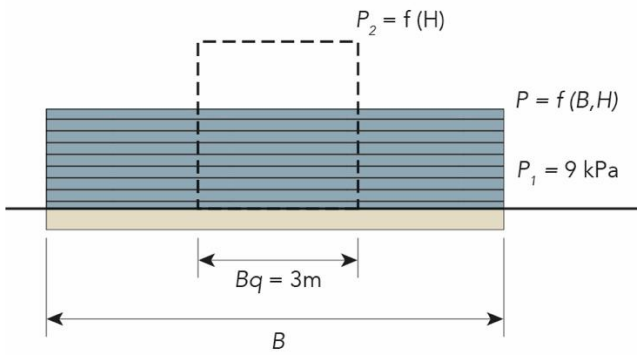
$\boldsymbol{p_1 = 9\ kPa}$*;*

$\boldsymbol{p_2}$ *– ekvivalentā transporta slodzes vērtība, kas atkarīga no uzbēruma augstuma;*

$\boldsymbol{B_q}$ *– koncentrētās slodzes pielikšanas platums (3 m);*

$\boldsymbol{B}$ *– brauktuves platums.*

Attēls 2-5. Ekvivalentās transporta slodzes modelis atbilstoši primārajam vienmērīgi izkliedētas slodzes modelim



Praktiskiem nolūkiem var pieņemt, ka $\boldsymbol{p = 25\ kPa}$.

2. Sekundārais vienmērīgi izkliedētas slodzes modelis jāizmanto gadījumos, kad aprēķins neņem vērā slodzes pārdalīšanos uzbērumā. Tas attiecas uz lielāko daļu analītiskajiem aprēķiniem uzbērumiem ar pastiprinājumiem un zemes klātnes stiegrošanas aprēķinos (gadījumā ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju), kā arī, piemēram, aksiāli-simetriskos galīgo elementu aprēķinos. Šajā gadījumā ekvivalentā vienmērīgi izkliedētā slodze uzbēruma apakšā var tikt aprēķināta pēc sekojošas izteiksmes:

$$\mathbf{p_H = p_1 \cdot \frac{B}{B + H} + p_2 \cdot \frac{B_q}{B_q + H}} \qquad [2.18]$$

kur:

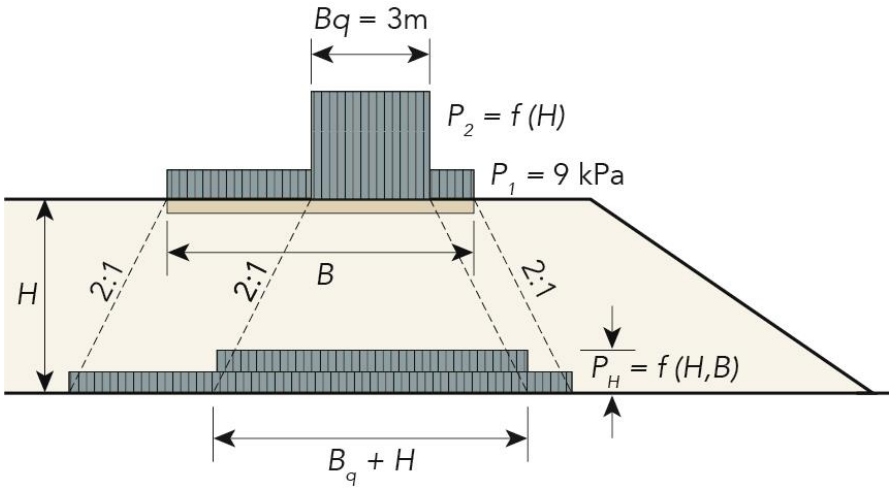
$\boldsymbol{p_1 = 9\ kPa}$*;*

$\boldsymbol{p_2}$ *– ekvivalentā transporta slodzes vērtība, kas atkarīga no uzbēruma augstuma;*

$\boldsymbol{B_q}$ – *koncentrētās slodzes pielikšanas platums (3 m);*

$\boldsymbol{B}$ – *brauktuves platums.*

Attēls 2-6. Ekvivalentās transporta slodzes modelis atbilstoši sekundārajam vienmērīgi izkliedētas slodzes modelim



Šajā gadījumā ekvivalentās transporta slodzes vērtības ir atkarīgas no uzbēruma augstuma un apkopotas tabulā zemāk.

Tabula 2-1. Ekvivalentās transporta slodzes p_H vērtības sekundārajam modelim kā funkcija no uzbēruma augstuma H

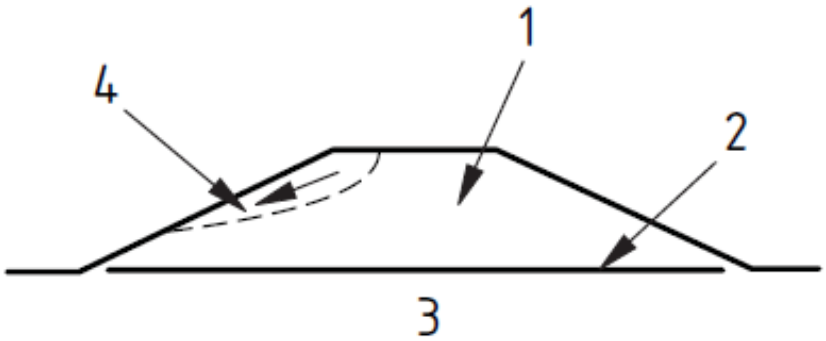
H [m]	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
P_H [kPa]	40	35.0	31.0	27.5	24.4	21.7	19.4	17.4	15.6
H [m]	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0	9.0	10.0
P_H [kPa]	14.2	13.0	11.9	11.0	10.2	9.5	8.4	7.5	6.8

2.3.3 Zemes klātnes stiegrošana bez pastiprinājumiem

Projektējot ģeosintētiskos materiālus zemes klātnes stiegrošanā, tiek veiktas nogāzes stabilitātes, uzbēruma horizontālā izslīdēšanas un zemes klātnē esošās zemas nestspējas grunts izspiešanas pārbaudes. Atbilstoši BS 8006-1 (8.3.2.2. nodaļa), nepieciešams veikt šādas nestspējas pārbaudes: [67]

- uzbēruma lokālā stabilitāte;

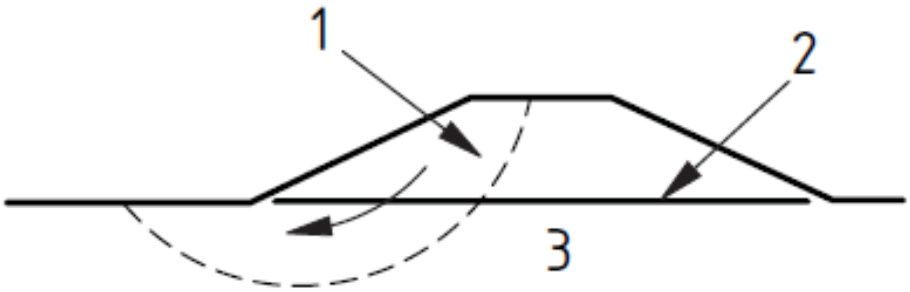
Attēls 2-7. Lokālā uzbēruma stabilitātes shēma



1 – uzbērums; 2 – ģeosintētiskais stiegrojums; 3 – zemas nestspējas grunts slānis; 4 – slīdvirsma uzbēruma iekšienē.

- uzbēruma iekšējā stabilitāte;

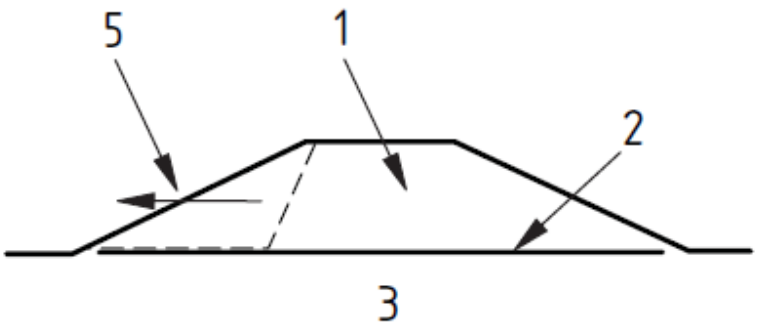
Attēls 2-8. Uzbēruma iekšējās stabilitātes shēma



1 – uzbērums; 2 – ģeosintētiskais stiegrojums; 3 – zemas nestspējas grunts slānis.

- uzbēruma horizontālā izslīdēšana;

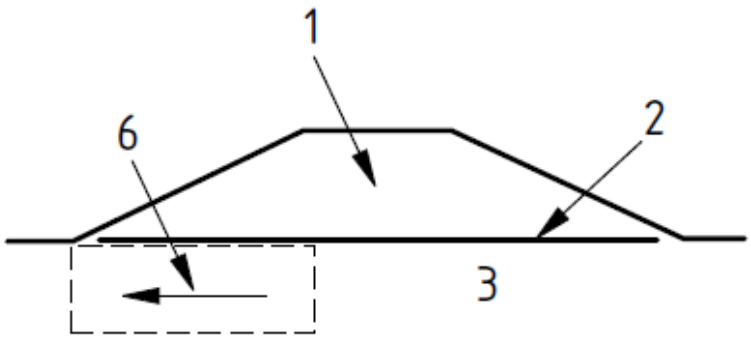
Attēls 2-9. Uzbēruma horizontālās izslīdēšanas shēma



1 – uzbērums; 2 – ģeosintētiskais stiegrojums; 3 – zemas nestspējas grunts slānis; 5 – horizontāla uzbēruma izslīdēšana.

- zemes klātnē esošās zemas nestspējas grunts izspiešana;

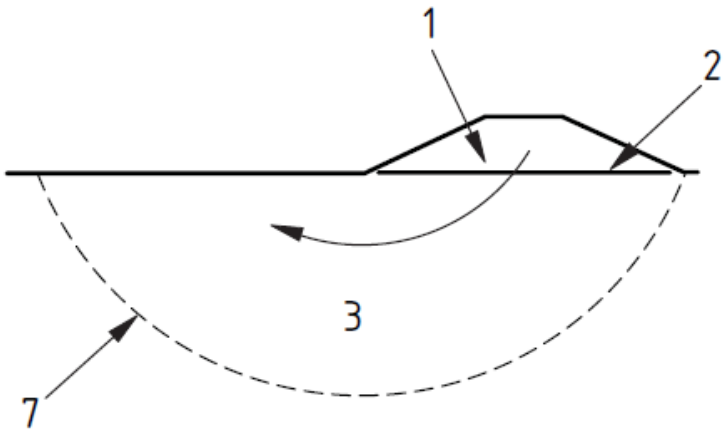
Attēls 2-10. Uzbēruma horizontālās izslīdēšanas shēma



1 – uzbērums; 2 – ģeosintētiskais stiegrojums; 3 – zemas nestspējas grunts slānis; 6 – zemes klātnē esošās zemas nestspējas grunts izspiešana.

- uzbēruma kopējā stabilitāte un lietojamības robežstāvokļu pārbaudes;

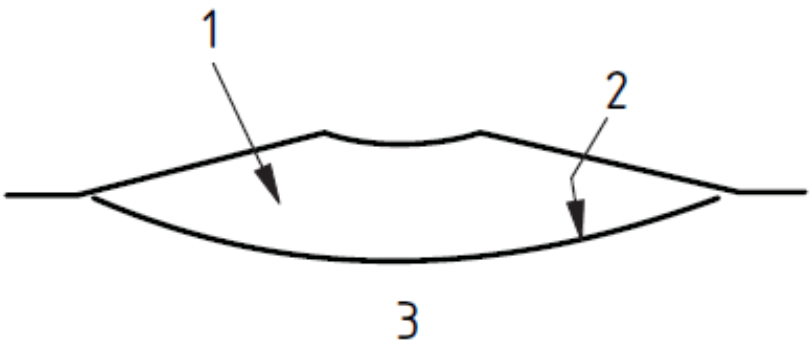
Attēls 2-11. Uzbēruma horizontālās izslīdēšanas shēma



1 – uzbērums; 2 – ģeosintētiskais stiegrojums; 3 – zemas nestspējas grunts slānis; 7 – dziļa slīdvirsma zem uzbēruma.

- relatīvās deformācijas pārbaude ģeosintētiskajā materiālā;

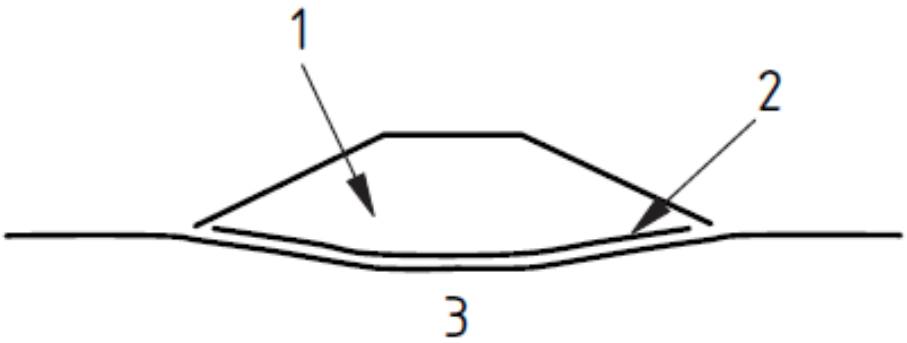
Attēls 2-12. Relatīvā deformācija ģeosintētiskajā materiālā



1 – uzbērums; 2 – ģeosintētiskais stiegrojums; 3 – zemas nestspējas grunts slānis.

- pamatnes deformācijas.

Attēls 2-13. Deformācijas zemes klātnē



1 – uzbērums; 2 – ģeosintētiskais stiegrojums; 3 – zemas nestspējas grunts slānis.

Lai noteiktu zemes klātnes stiegrojošā ģeosintētiskā materiāla mobilizēto stiepes stiprību un relatīvo deformāciju atbilstoši BS 8006-1, ULS un SLS robežstāvokļus nepieciešams pārbaudīt pie šāda slodzes kritērija:

$$\boldsymbol{T_r = T_{ro}} \text{ vai } \boldsymbol{T_r = T_{ds} + T_{rf}} \qquad [2.19.]$$

kur:

$\boldsymbol{T_r}$*– maksimālais stiepes spēks, kas mobilizēts ģeosintētiskajā materiālā;*

$\boldsymbol{T_{ro}}$*– maksimālais mobilizētais stiepes spēks uzbēruma iekšējās stabilitātes pārbaudē;*

$\boldsymbol{T_{ds}}$*– mobilizētais stiepes spēks uzbēruma horizontālās izslīdēšanas pārbaudē;*

$\boldsymbol{T_{rf}}$ *– mobilizētais stiepes spēks zemes klātnē esošās zemas nestspējas grunts izspiešanas pārbaudē.*

Piezīme:

Gadījumā, ja uzbēruma pēdā tiek veikta grunts apmaiņa vai ja zemas nestspējas grunts slāņi atrodas noteiktā dziļumā no zemes virsmas atzīmes, zemas nestspējas grunts izspiešana nebūt nav raksturīgs grunts nestspējas robežstāvoklis. Šajā gadījumā nepieciešams apskatīt dziļākus grunts noturības zuduma mehānismus – uzbēruma iekšējās stabilitātes pārbaude nosaka maksimālo mobilizēto stiepes spēku ģeosintētiskajā materiālā (Williams and Sanders, 1985).

Nestspējas robežstāvoklī (visā paredzētajā kalpošanas laikā) nepieciešams veikt šādu pārbaudi:

$$\frac{\boldsymbol{T_d}}{\boldsymbol{f_n}} \geq \boldsymbol{T_r} \qquad [2.20.]$$

kur:

$\boldsymbol{T_d}$ *– stiegrojuma aprēķina stiprība;*

$\boldsymbol{f_n}$*– parciālais faktors atbilstoši seku kategorijai.*

Tabula 2-2. Parciālie faktori atkarībā no seku kategorijas

Kategorija	fn	Piemēri būvēm
1 (zema)	1,0 (ja tiek veikti aprēķini)	Atbalstsienas un nogāzes, kas zemākas par 1,5 m, kuru bojājumi neradītu būtiskus riskus.
2 (vidēja)	1,0	Uzbērumi un būves, kuru bojājumi radītu vidēji lielus bojājumus uz zaudējumus.
3 (augsta)	1,1	Gala balsti, būves, kas tiešā veidā balsta autoceļus, dzelzceļus un citas kritiskas nozīmes būves (dambjus, ēkas, piestātnes u. c.).

Atbilstoši BS 8006-1:2000 ģeosintētiskā materiāla aprēķina stiprība:

$$T_d = T_{cr}/f_m \quad [2.21.]$$

kur:

T_{cr} *– ilglaicīgā stiegrojuma stiepes pretestība noteiktam kalpošanas laikam un projektētajai temperatūrai.*

$$T_{cr} = T_{char}/RF_{cr} \quad [2.22.]$$

kur:

T_{char} *– īslaicīgā stiegrojuma stiepes pretestība;*

RF_{cr} *– šļūdes redukcijas koeficients;*

f_m *– materiāla parciālais faktors, kas iekļauj izbūves, vides un ķīmiskās iedarbības, kā arī datu apstrādes kļūdas.*

$$f_m = RF_{id} \cdot RF_w \cdot RF_{ch} \cdot f_s \quad [2.23.]$$

kur:

RF_{id} *– izbūves redukcijas faktors;*

RF_w *– vides iedarbības (ieskaitot UV iedarbību) redukcijas faktors;*

RF_{ch} *– ķīmiskās iedarbības redukcijas faktors;*

f_s *– datu apstrādes parciālais faktors.*

Iepriekš minētos parciālos faktorus katram konkrētajam produktam iespējams iegūt no BBA sertifikātiem. [69] Ja materiālam nav pieejams BBA sertifikāts, tad jāizmanto šādas vērtības:

Tabula 2-3. Redukcijas faktori dažādiem ģeosintētiskajiem materiāliem

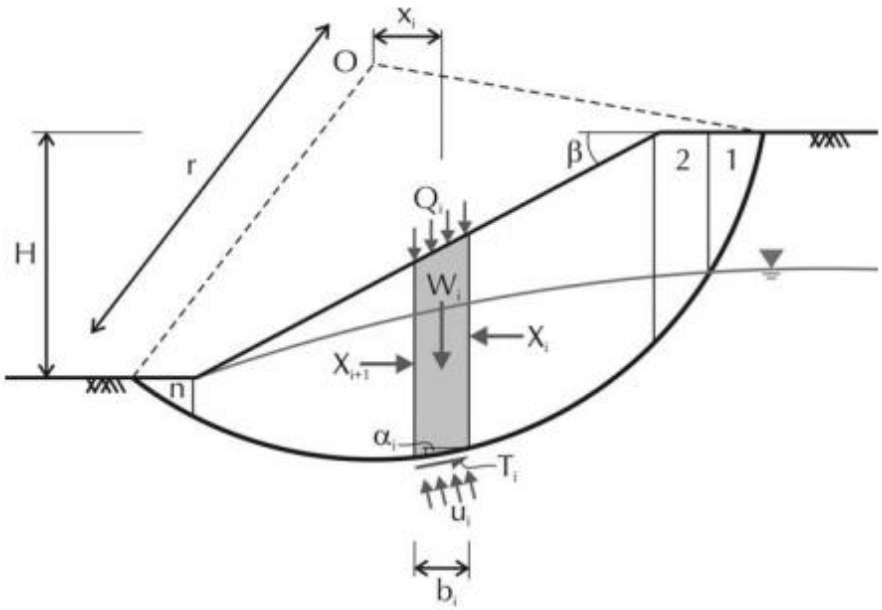
Materiāls	Materiāla apzīmējums	RF_{CR}	RF_{ID}	RF_W	RF_{CH}	f_s
Aramīds	AR	1,5	1,5	1	1	1,1
Poliamīds	PA	1,5	1,5	1	1	1,1
Polietilēns	PE (HDPE)	2,0	1,5	1	1	1,1
Poliesteris	PET	1,5	1,5	1	1	1,1
Polipropilēns	PP	2,5	1,5	1	1	1,1

2.3.3.1 Mobilizētais stiepes spēks uzbēruma iekšējās stabilitātes pārbaudē T_{ro}

Uzbēruma rotācijas stabilitāti parasti nosaka, izmantojot dažādas aprēķinu metodes, kas balstītas uz līdzsvara vienādojumiem (analītiskās metodes) vai matemātisko modelēšanu (galīgo elementu metodes). Visbiežāk pārbaudes tiek veiktas, izmantojot līdzsvara vienādojumus. Aprēķinus nepieciešams veikt gan nedrenētam (īslaicīgam), gan drenētam (ilglaicīgam) gadījumam. Papildu aprēķins nepieciešams, ja būvniecības laikā paredzēti papildu etapi, piemēram, pieslogošanas uzbēruma vai pagaidu ierakuma izbūve.

Kā piemērs turpmāk apskatīts analītiskais aprēķins atbilstoši Bišopa vienkāršotajai metodei, nedrenētam (īslaicīgam) gadījumam smalkās gruntīs.

Attēls 2-14. Nogāzes noturības aprēķins, izmantojot rotācijas tipa virsmu atbilstoši Bišopa vienkāršotajai metodei [74]



Nogāžu noturības aprēķinā, apskatot rotācijas tipa slīdvirsmu, slīdēšanas veicinošajam momentam M_{Ed} piemīt slodzes efekts, bet slīdēšanas noturošajam momentam M_{Rd} piemīt pretestības efekts. LVS EN 1997-1 nosaka, ka nogāzes līdzsvara vienādojums nedrenētā aprēķinā ir šāds:

$$\mu_{\max} = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{\sum_i \{(W_{d,i} + Q_{d,i}) \cdot \sin \alpha_i\}}{\sum_i \{c_{ud,i} \cdot l_i\}} \leq 1$$

jeb: [2.24.]

$$\mu_{\max} = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

kur:
$W_{d,i}$ – katra elementa aprēķina pašsvars;
$Q_{d,i}$ – jebkāda aprēķina slodze uz katru elementu;
$c_{ud,i}$ – aprēķina nedrenētā saiste katra elementa apakšā, kPa;
α_i – leņķis starp cilindriskās virsmas pieskari un horizontālo asi, °;
μ_{max} – maksimālā izmantošanas pakāpe.

Aprēķina ievades parametri ir saiste, iekšējās berzes leņķis (drenētā aprēķinā) un nedrenētā grunts pretestība (nedrenētā aprēķinā), kā arī grunts tilpumsvars.

2.3.3.2 Mobilizētais stiepes spēks uzbēruma horizontālās izslīdēšanas pārbaudē T_{ds}

Uzbēruma horizontālā izslīdēšanas pārbaudei jāapskata potenciālās slīdēšanas virsmas starp uzbērumu un zemes klātnes stiegrojošā ģeosintētiskā materiāla augšējo virsmu.

Šim stiegrojumam jāpretojas uzbēruma un virs uzbēruma esošo slodžu radītajam horizontālajam spēkam.

Maksimālais stiepes spēks ģeosintētiskajā materiālā var tikt pieņemts uzbēruma nogāzes augšējā punktā:

$$T_{ds} = 0.5 \cdot K_a \cdot H \cdot (f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + 2 \cdot f_q \cdot w_s) \quad [2.25.]$$

kur:

K_a *– grunts aktīvā spiediena koeficients;*

H *– uzbēruma augstums;*

γ *– uzbēruma grunts tilpumsvars;*

w_s *– slodze virs uzbēruma (transporta slodze);*

f_{fs} *– grunts pašsvara parciālais faktors;*

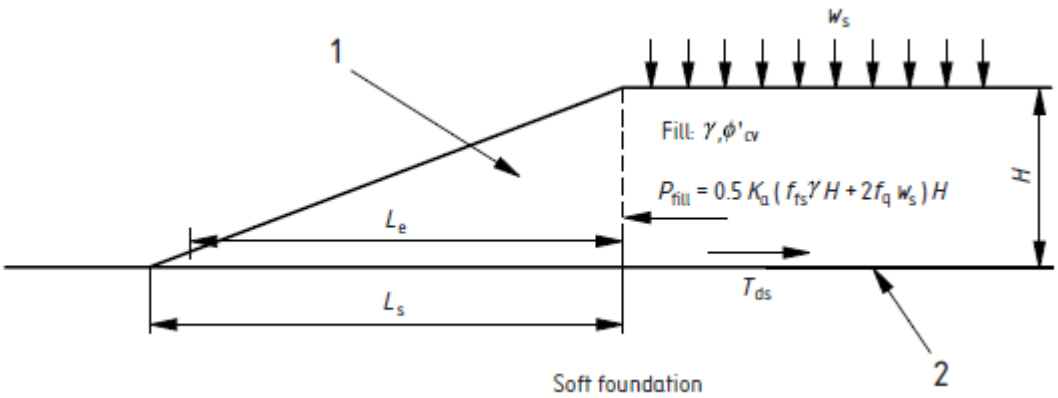
f_q *– slodzes parciālais faktors.*

$$K_a = tan^2(45^\circ - \frac{\varphi'_{cv}}{2}) \quad [2.26.]$$

kur:

φ'_{cv} *– efektīvais iekšējās berzes leņķis pie nemainīga tilpuma nosacījumiem (lielas relatīvās deformācijas apstākļos).*

Attēls 2-15. Mobilizētais stiepes spēks uzbēruma horizontālās izslīdēšanas pārbaudē; 1 – uzbērums; 2 – zemes klātnes stiegrojums



Lai uzbērums neizslīdētu, nepieciešams nodrošināt ģeosintētiskā materiāla enkurošanās garumu:

$$L_e \geq \frac{T_{ds} \cdot f_s \cdot f_n}{\gamma \cdot h \cdot \frac{a' \cdot tan\varphi'_{cv}}{f_{ms}}} \quad [2.27.]$$

kur:

f_s *– stiegrojuma izslīdēšanas parciālais faktors;*

f_n *– parciālais faktors atbilstoši konsekvences kategorijai;*

h *– vidējais uzbēruma augstums virs enkurojuma garuma* L_e*;*

a' *– uzbēruma grunts un stiegrojuma tiešās slīdēšanas koeficients;*

f_{ms} *– iekšējas berzes leņķa samazinošais parciālais faktors.*

Tabula 2-4. Parciālie faktori atbilstoši BS8006-1

	Parciālais faktors	**Nestspējas robežstāvoklis**	**Lietojamības robežstāvoklis**
Slodzes faktori	Grunts tilpumsvars	$f_{fs} = 1,3$	$f_{fs} = 1,0$

	Parciālais faktors	Nestspējas robežstāvoklis	Lietojamības robežstāvoklis
	Ārējās pastāvīgās slodzes	$f_f = 1,2$	$f_f = 1,0$
	Ārējās mainīgās slodzes	$f_q = 1,3$	$f_q = 1,0$
Grunts materiāla faktori	Iekšējās berzes leņķis	$f_{ms} = 1,0$	$f_{ms} = 1,0$
	Efektīvā saiste	$f_{ms} = 1,6$	$f_{ms} = 1,0$
	Nedrenētā saiste	$f_{ms} = 1,0$	$f_{ms} = 1,0$
Grunts/stiegrojuma iedarbības faktori	Slīdēšana	$f_s = 1,3$	$f_s = 1,0$
	Izraušana	$f_p = 1,3$	$f_p = 1,0$

Nepieciešama šāda enkurošanās garuma pārbaude:

$$L_e \geq L_s \qquad [2.28.]$$

kur:

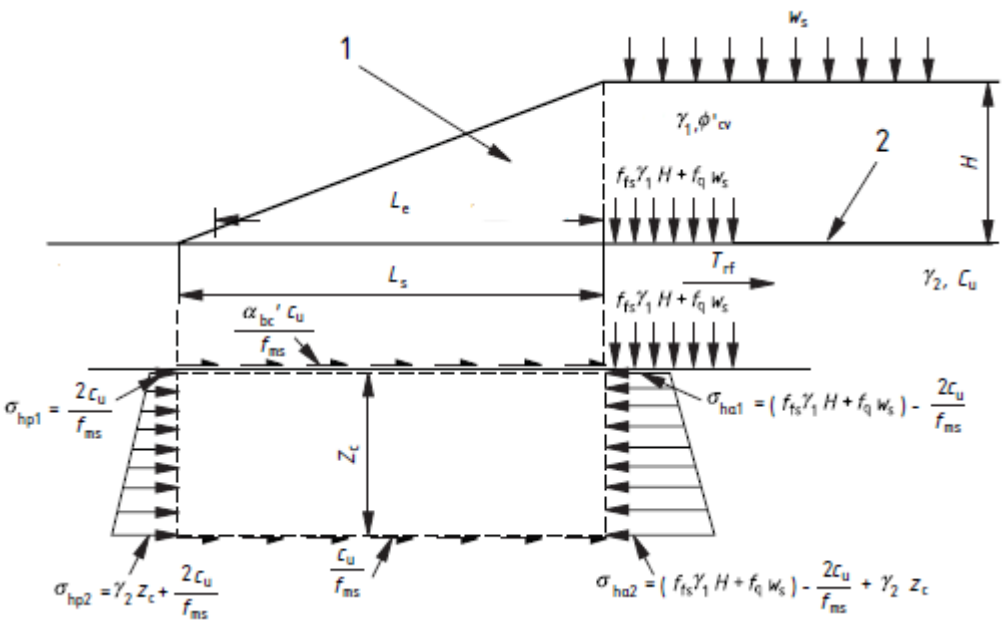
L_s *– uzbēruma nogāzes horizontālās projekcijas garums.*

Ja šī pārbaude neizpildās, nepieciešams mainīt uzbēruma ģeometriju vai nodrošināt ģeosintētiskā materiāla aptīšanu, tādā veidā palielinot enkurojuma garumu.

2.3.3.3 Mobilizētais stiepes spēks zemes klātnē esošās zemas nestspējas grunts izspiešanas pārbaudē T_{rf}

Gadījumos, kad uzbērums uzbūvēts tieši virs zemas nestspējas grunts vai zemas nestspējas grunts slānis atrodas nelielā dziļumā, nepieciešams veikt izspiešanas pārbaudi gruntij tieši zem zemes klātnes stiegrojošā ģeosintētiskā materiāla.

Attēls 2-16. Mobilizētais stiepes spēks zemes klātnē esošās zemas nestspējas grunts izspiešanas pārbaudē,



kur: 1 – uzbērums; 2 – zemes klātnes stiegrojums.

Lai izpildītu šo nosacījumu, nepieciešams noteikts minimālais nogāzes horizontālās projekcijas garums L_s. Beznosacījums parasti tiek definēts kā $z_c \leq 2 \cdot H$. Nedrenēts aprēķins nogāzes horizontālās projekcijas garumam tiek izdalīts gadījumam, kad nedrenētā grunts pretestība ir nemainīga dziļumā:

$$L_s = \frac{(f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + f_q \cdot w_s - \frac{4 \cdot c_u}{f_{ms}}) \cdot z_c}{\frac{(1 + a'_{bc}) \cdot c_u}{f_{ms}}} \quad [2.29.]$$

kur:

c_u *– nedrenētā grunts pretestība;*

f_{ms} *– nedrenētās grunts parciālais faktors;*

z_c *– zemas nestspējas grunts grunts dziļums ar nemainīgu* c_u*;*

a'_{bc} *– grunts un stiegrojuma adhēzijas koeficients.*

Līdzīgi tiek veikts nedrenēts aprēķins nogāzes horizontālās projekcijas garumam gadījumam, kad nedrenētā grunts pretestība lineāri pieaug dziļumā z_c. Šajā gadījumā pārbaude tiek veikta kritiskajā dziļumā:

$$z_c = \sqrt{\frac{(1 + a'_{bc}) \cdot c_u \cdot n \cdot H}{2 \cdot \rho}} \quad [2.30.]$$

kur:

n *– nogāzes garums;*

ρ *– grunts nedrenētās pretestības pieauguma gradients.*

Minimālais nogāzes horizontālās projekcijas garums:

$$L_s = \frac{(f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + f_q \cdot w_s - \frac{(2 \cdot c_u + z_c \cdot \rho) \cdot 2}{f_{ms}}) \cdot z_c}{\frac{(1 + a'_{bc}) \cdot c_u + \rho \cdot z_c}{f_{ms}}} \quad [2.31.]$$

kur:

z_c *– kritiskais dziļums.*

Ja uzbēruma būvēšana tieši virs zemas nestspējas grunts ir iespējama un tā ģeometrija ir korekta (simetriska), tad var tikt aprēķināts mobilizētais stiepes spēks:

$$T_{rf} = \frac{a'_{bc} \cdot c_u \cdot L_e}{f_{ms}} \quad [2.32.]$$

kur:

L_e *– nepieciešamais enkurošanās garums.*

Svarīgi ievērtēt relatīvās deformācijas attiecībā uz izvēlēto adhēzijas vērtību, jo tā ir atkarīga ne tikai no stiegrojuma un grunts kontaktvirsmas īpašībām, bet arī no relatīvajām deformācijām, kas attīstās ģeosintētiskā materiālā un gruntī. Lai

nodrošinātu maksimāli labu kontaktvirsmu, šīm relatīvajām deformācijām jābūt pēc iespējas līdzīgām. Tas īpaši svarīgi zemas nestspējas gruntīs, kur relatīvās deformācijas ģeosintētiskajā stiegrojumā (lietojamības robežstāvoklī) nedrīkst pārsniegt relatīvās deformācijas, pie kurām tiek sasniegta maksimālā nedrenētā bīdes pretestība gruntī.

2.3.3.4 Mobilizētā relatīvā deformācija uzbēruma izslīdēšanas un zemes klātnes izspiešanas (ja attiecināms) gadījumā

Nepieciešams veikt arī lietojamības robežstāvokļa (SLS) pārbaudes. Atbilstoši BS 8006-1 8.3.2.11. nodaļā maksimālās relatīvās deformācijas parasti ir 5–10% robežās. [67] Savukārt, ja zemes klātni veido zemas nestspējas gruntis vai jutīgas gruntis, tad pieļaujamo relatīvo deformāciju var ierobežot līdz 3%. Šajā gadījumā relatīvo deformāciju lietojamības robežstāvoklī iespējams noteikt šādi:

$$\boldsymbol{\varepsilon = \frac{T_{ds} + T_{rf}}{J}} \qquad [2.33.]$$

kur:

$\boldsymbol{J}$ *– ģeosintētiskā materiāla nominālais aksiālais stingums.*

Ģeosintētiskā materiāla nominālo aksiālo stingumu iespējams noteikt šādi:

$$\boldsymbol{J = \frac{T_{d\,(x\%)}}{\varepsilon_{x\%}}} \qquad [2.34.]$$

kur:

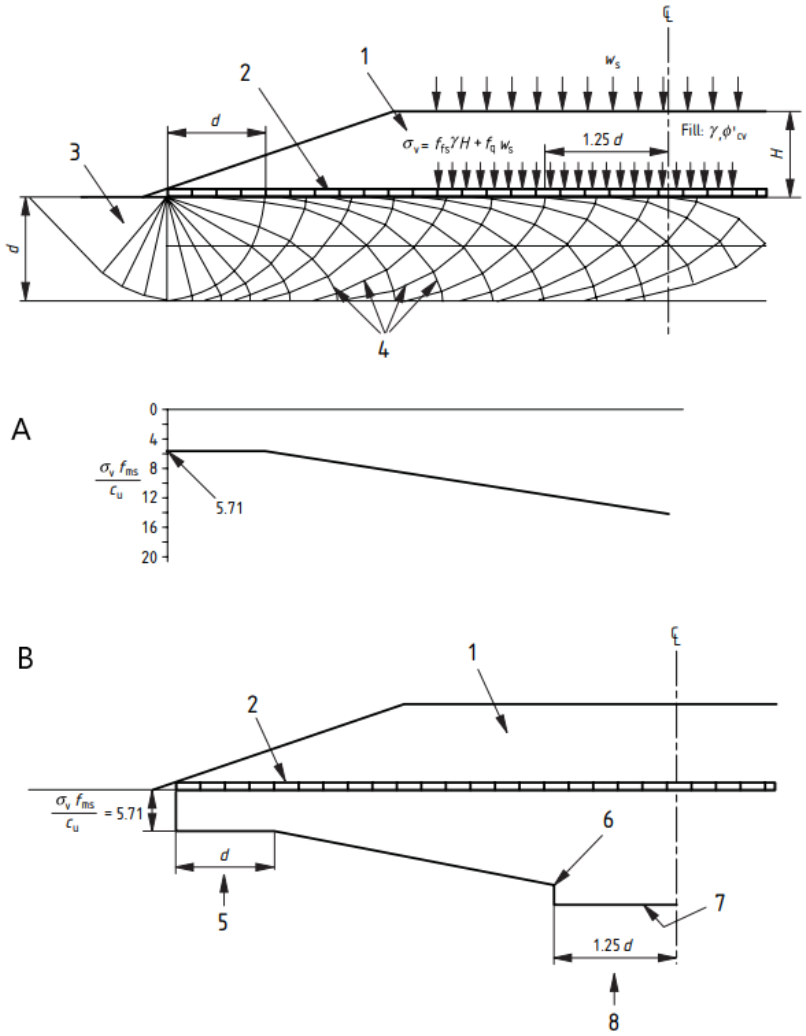
$\boldsymbol{T_{d(x\%)}}$ *– ilglaicīgā stiegrojuma stiepes pretestība noteiktam kalpošanas laikam un projektētajai temperatūrai pie noteikta relatīvā pagarinājuma (parasti 5%);*

$\boldsymbol{\varepsilon_{x\%}}$ *– relatīvā deformācija (parasti 5%).*

2.3.4 Zemes klātnes stiegrošana ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju (“matracis”) bez pastiprinājumiem

Zemes klātnes stiegrošanā var tikt izmantota arī ģeosintētiskā materiāla konstrukcija (“matracis”), kas var tikt veidota no savā starpā saistītām šūnām, kurām ir piešķirts noteikts augstums. Šāda veida konstrukcija parasti tiek izbūvēta uz ģeosintētiskā materiāla stiegrojuma, šūnas piepildot ar minerālmateriālu. Šāda konstrukcija shematiski attēlota attēlā (Attēls 2-17).

Attēls 2-17. Ģeosintētiskā stiegrojuma konstrukcijas shēma



kur: 1 – uzbērums; 2 – ģeosintētiskā materiāla konstrukcija; 3 – zemas nestspējas grunts; 4 – slīdvirsmas; 5 – slīdvirsmas zona; 6 – slīdvirsmas zona; 7 – vidējais spriegums stingajā daļā; 8 – slīdvirsmas zona. A – kritiskā slīdvirsmas vērtība zem ģeosintētiskā materiāla konstrukcijas; B – ģeosintētiskā materiāla konstrukcijas nestspējas spriegums.

Šāda konstrukcija nodrošina starpslāni starp uzbērumu un zemas nestspējas grunts slāni, palielinot adhēziju un izveidojot salīdzinoši stingu platformu slodzes un attiecīgo kontaktspriegumu izlīdzināšanai virs zemes klātnes. Tas nodrošina maksimālu bīdes pretestības un nestspējas mobilizāciju, kā arī samazina uzbēruma nevienmērīgās deformācijas.

Aprēķins var tikt veikts līdzīgi kā aprakstīts 2.1.3. nodaļā, bet parasti piemērotāka ir empīriska aprēķinu pieeja atbilstoši attēlā (Attēls 2-17) sniegtajām shēmām. Zemes klātnes zemas nestspējas slānī tiek apskatītas plastiskās deformācijas, izmantojot slīdvirsmas un nestspējas rādītājus. Nepieciešams salīdzināt spriegumus, kas iedarbojas uz zemes klātni ar tās nestspēju atbilstoši sniegtajai shēmai.

2.3.5 Ģeosintētiskais materiāls darba platformas stiegrošanā

Lai nodrošinātu piekļuvi smagajai un speciālajai būvtehnikai (piemēram, smagā traktortehnika, speciālo darbu iekārtas, pāļu urbšanas mašīnas u. c.) vietās, kur jāšķērso zemas nestspējas gruntis, nepieciešams paredzēt pagaidu darba platformu.

Viena no aprēķinu metodēm ir BR470 vadlīnijas: *Working platforms for tracked plant: good practice guide to the design, installation, maintenance and repair of ground-supported working platforms.* [75]

Aprēķinu metode ir balstīta uz Meijerhofa modeli seklo pamatu nestspējīga slāņa caurspiešanai caur zemas nestspējas grunts slāni. Šī metode ir vienkāršota un daļēji-empīriska – gadījumos, kad zemes klātnē zemas nestspējas gruntis ir slāņotas un nevienmērīgas, kā arī sastopamas gruntis ar ļoti zemu nestspēju ($\boldsymbol{c_u < 20kPa}$), nepieciešams izmantot sarežģītākas aprēķina pieejas.

Aprēķinā tiek pielikta transporta slodze atbilstoši LVS EN 16228-1+A1:2022. [76] Slodze tiek sadalīta kā vienmērīgi izliedēta ekvivalentā slodze. Tiek apskatīti divi dažādi slogošanas gadījumi:

- 1. slogošanas gadījums (S1), kad iekārtas operatoram nepastāv iespēja tūlītēji izvairīties no tās sabrukuma. Šim slogošanas gadījumam atbilst, piemēram, šādas darbības – stāvēšana, pārvietošanās, smagumu celšana un pārvietošana;
- 2. slogošanas gadījums (S2), kad iekārtas operatoram ir iespēja kontrolēt slogojumu uz darba platformas, piemēram, urbjot, izvelkot urbi, pārvietojoties ar pāļu urbšanas iekārtu, kurai ir iespēja slodzi pārnest uz papildu atbalsta punktiem.

Raksturīgā slodze $\boldsymbol{q_{1k}}$ un $\boldsymbol{q_{1k}}$ katram no slogošanas gadījumiem tiek pieņemta atbilstoši EN 996:1996. Katram slogošanas gadījumam tiek izdalītas situācijas – darba platforma ir vai nav vajadzīga atkarībā no platformas nestspējas. Aprēķina slodzes vērtības tiek noteiktas, izmantojot parciālos faktorus:

$$\boldsymbol{q_{1d} = \gamma_q \cdot q_{1k}} \quad [2.35.]$$

$$\boldsymbol{q_{2d} = \gamma_q \cdot q_{2k}} \quad [2.36.]$$

kur:

$\boldsymbol{q_{1d}}$ *– aprēķina slodze 1. slogošanas gadījumam;*

$\boldsymbol{q_{2d}}$ *– aprēķina slodze 2. slogošanas gadījumam;*

$\boldsymbol{\gamma_q}$ *– parciālie faktori atbilstoši tabulai (Tabula 2-5).*

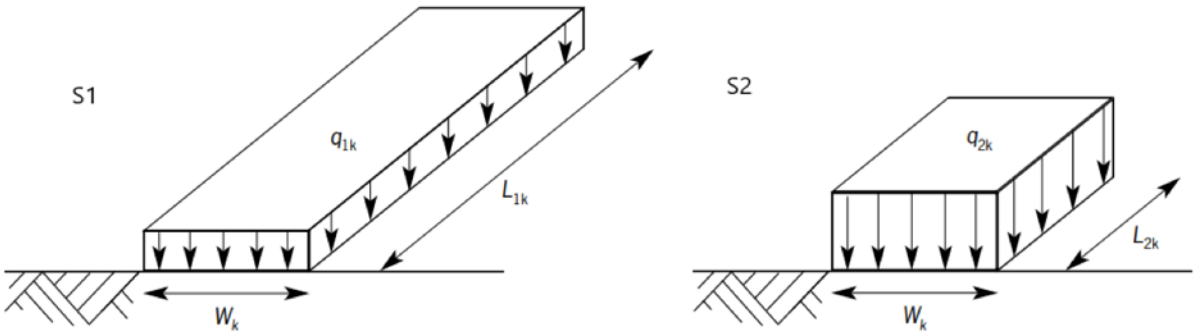
Tabula 2-5. Parciālie faktori slogošanas gadījumiem S1 un S2

Slogošanas gadījums	Platforma nav nepieciešama	Platforma ir nepieciešama
S1	$\gamma_q = 2,0$	$\gamma_q = 1,6$
S2	$\gamma_q = 1,5$	$\gamma_q = 1,2$

Parciālie faktori ir zemāki situācijā ar darba platformu, jo darba platformas materiāla īpašības ir labāk kontrolējamas.

Raksturīgās slodzes vērtības nepieciešams pielikt noteiktam platumam $\boldsymbol{W}$ un garumam $\boldsymbol{L}$ abiem slogošanas gadījumiem. Slogojuma izmēri tiek pielikti kā raksturīgie.

Attēls 2-18. Aprēķina shēma darba platformai



Aprēķins apskatīts smalkām un rupjām gruntīm. Grunšu klasifikācija smalkās un rupjās gruntīs apskatīts ceļa zemes klātnes grunts nestspējas nodrošināšanas risinājumu izstrādes rokasgrāmatā. [66]

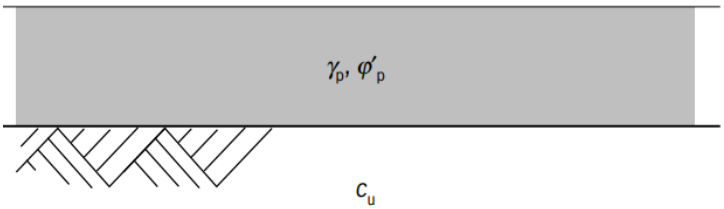
2.3.5.1 Aprēķins smalkās gruntīs

Aprēķins smalkās gruntīs tiek apskatīts, kad zemas nestspējas grunts nedrenētā bīdes pretestība $\boldsymbol{20kPa < c_u < 80kPa}$:

- gadījumā, kad $\boldsymbol{c_u < 20kPa}$, grunts ir ar tik zemu nestspēju, ka nepieciešami papildu pasākumi, lai izveidotu darba platformu, kā arī nepieciešams izmantot sarežģītākas aprēķina metodikas;
- gadījumā, kad $\boldsymbol{c_u > 80kPa}$, zemes klātnes grunts nestspēja būs pietiekama un darba platforma būtu vajadzīga tikai, lai atdalītu zemes klātni no braucamās daļas.

Turpmāk sniegts aprēķina modelis.

Attēls 2-19. Aprēķina shēma darba platformai uz smalkām gruntīm



γ_p– darba platformas materiāla tilpumsvars; φ'_p– darba platformas materiāla iekšējās berzes leņķis; c_u– zemās nestspējas grunts nedrenētā bīdes pretestība.

Aprēķinā nepieciešams izmantot darba platformas nestspējas faktoru:

$$N_\gamma = 2 \cdot tan\varphi'_p \cdot ((1 + e^{\pi \cdot tan\varphi'_p}) \cdot tan^2(45° + \frac{\varphi'_p}{2})) \quad [2.37.]$$

kur:

N_γ – grunts nestspējas faktors rupjām gruntīm;

φ'_p – darba platformas materiāla iekšējās berzes leņķis.

Nestspējas faktors smalkgraudainai zemes klātnes gruntij:

$$N_c = 2 + \pi \quad [2.38.]$$

kur:

N_c – grunts nestspējas faktors smalkām gruntīm.

Aprēķinos jāņem vērā formas faktori:

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot W/L \quad [2.39.]$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot W/L \quad [2.40.]$$

$$s_p = 1 + W/L \quad [2.41.]$$

kur:

W – slodzes pielikšanas platums;

L – slodzes pielikšanas garums.

Savukārt pasīvais grunts spiediena koeficients tiek noteikts šādi:

$$K_p = \frac{1 + sin\varphi'_p}{1 - sin\varphi'_p} \quad [2.42.]$$

kur:

K_p – grunts pasīvā spiediena koeficients;

φ'_p – darba platformas materiāla iekšējās berzes leņķis.

A. sākotnēji nepieciešams pārbaudīt zemes klātnes nestspēju bez darba platformas:

$$R_d(zemes\ klātne) = c_u \cdot N_c \cdot s_c \quad [2.43.]$$

kur:
R_d *– zemes klātnes nestspēja bez darba platformas;*
c_u *– grunts nedrenētā bīdes pretestība;*
N_c *– grunts nestspējas faktors smalkām gruntīm;*
s_c *– slodzes formas faktors smalkām gruntīm.*

Ja $q_{1d} < R_d$ un $q_{2d} < R_d$, tad darba platforma nav nepieciešama. Pretējā gadījumā darba platforma ir nepieciešama.

B. Nepieciešams pārbaudīt, vai darba platformas materiāls var nodrošināt nepieciešamo nestspēju:

$$R_d(darba\ platforma) = 0,5 \cdot \gamma_p \cdot W_d \cdot N_{\gamma p} \cdot s_\gamma \quad [2.44.]$$

kur:
$R_d(darba\ platforma)$ *– darba platformas nestspēja;*
γ_p *– darba platformas materiāla tilpumsvars;*
W_d *– slodzes pielikšanas platums;*
N_γ *– grunts nestspējas faktors rupjām gruntīm;*
s_γ *– slodzes formas faktors rupjām gruntīm.*

Nepieciešams izpildīties $q_{1d} < R_d$ un $q_{2d} < R_d$. Ja pārbaude neizpildās, nepieciešams izmantot augstāka nestspējas darba platformas materiālu. Darba platformai jābūt lielākai nestspējai nekā zemes klātnei, tādēļ jāizpildās arī šādai pārbaudei: $R_d(darba\ platforma) > R_d(zemes\ klātne)$.

A. Ja iepriekšējās pārbaudes izpildās, tad nepieciešams noteikt darba platformas biezumu:

$$D_1 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{1d} - c_u \cdot N_c \cdot s_c)}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p}} \quad [2.45.]$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{2d} - c_u \cdot N_c \cdot s_c)}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p}} \quad [2.46.]$$

kur:
D_1 *– platformas biezums S1 slogojumam;*
D_2 *– platformas biezums S2 slogojumam.*

Platformas biezums jāpieņem kā lielākais no aprēķinātajiem biezumiem, bet ne mazāks par minimālo no 0,5 W un 300 mm. Darba platformas biezumu var samazināt, izmantojot augstākas nestspējas minerālmateriālu vai arī ģeosintētisko materiālu.

B. Darba platformas nestspēja, izmantojot ģeosintētisko materiālu, var tikt aprēķināta šādi:

$$R_d = c_u \cdot N_c \cdot s_c + \frac{D^2}{W} \cdot \gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p + \frac{2 \cdot T_d}{W} \quad [2.47.]$$

kur:

T_d – *ģeosintētiskā materiāla aprēķina stiepes stiprība.*

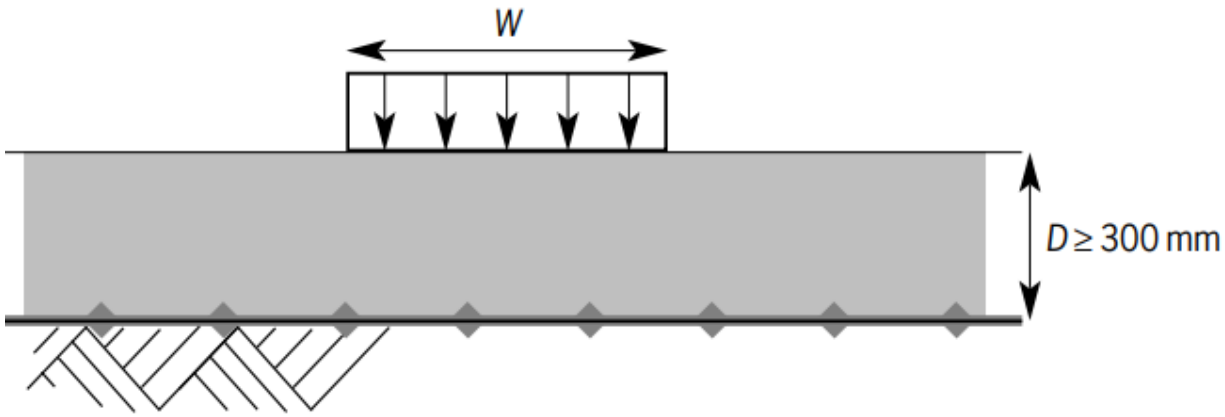
$$T_d = T_{char}/2 \quad [2.48.]$$

kur:

T_{char} – *ģeosintētiskā materiāla raksturīgā stiepes stiprība.*

Pieņemot, ka kopējais drošības faktors ir 2, bet gadījumos, kad tiek izmantots austais ģeotekstils, nepieciešams pieņemt T_{char} pie 5% pagarinājuma.

Attēls 2-20. Aprēķina shēma darba platformai uz smalkgraudainām gruntīm ar ģeosintētisko materiālu



Platformas biezums, izmantojot ģeosintētiskos materiālus, var tikt aprēķināts šādi:

$$D_1 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{1d} - c_u \cdot N_c \cdot s_c - \frac{2 \cdot T_d}{W})}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\,(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p) \cdot s_p}} \quad [2.49.]$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{2d} - c_u \cdot N_c \cdot s_c - \frac{2 \cdot T_d}{W})}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\,(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p) \cdot s_p}} \quad [2.50.]$$

kur:

D_1 – *platformas biezums slogojumam S1;*

D_2 – *platformas biezums slogojumam S2.*

Šis aprēķins ir izmantojams tikai, ja *D1* un *D2* nepārsniedz *W*. Var būt nepieciešams vairāk nekā viens ģeosintētiskā materiāla slānis, bet parasti tiek izmantots tikai viens slānis, kas nodrošina nepieciešamo platformas biezumu.

Nepieciešams arī papildus pārbaudīt, vai izpildās šādas sakarības:

$$c_u \cdot N_c \cdot s_c + \frac{D^2}{W} \cdot \gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p > 1,25 \cdot q_{1k} \quad [2.51.]$$

$$c_u \cdot N_c \cdot s_c + \frac{D^2}{W} \cdot \gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p > 1,05 \cdot q_{2k} \quad [2.52.]$$

2.3.5.2 Aprēķins rupjās gruntīs

Ja darba platforma tiek projektēta uz rupjām gruntīm, tad nepieciešams izvērtēt zemes klātnē esošās grunts efektīvo tilpumsvaru – γ'_s. Ja gruntsūdens līmenis ir augstāks par 2 W, tad:

$$\gamma'_s = \gamma_s - \gamma_w \quad [2.53.]$$

kur:
γ_s *– zemes klātnes grunts tilpumsvars;*
γ_w *– ūdens tilpumsvars.*

- ∇ sākotnēji nepieciešams pārbaudīt zemes klātnes nestspēju bez darba platformas:

$$R_d(zemes\ klātne) = 0,5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma \quad [2.54.]$$

kur:
$R_d(zemes\ klātne)$ *– zemes klātnes nestspēja;*
γ_s *– zemes klātnes grunts tilpumsvars;*
W_d *– slodzes pielikšanas platums;*
N_γ *– grunts nestspējas faktors rupjām gruntīm;*
s_γ *– slodzes formas faktors rupjām gruntīm.*

Ja $q_{1d} < R_d$ un $q_{2d} < R_d$, tad darba platforma nav nepieciešama. Pretējā gadījumā darba platforma ir nepieciešama.

- ∇ Nepieciešams pārbaudīt, vai darba platformas materiāls var nodrošināt nepieciešamo nestspēju:

$$R_d(darba\ platforma) = 0,5 \cdot \gamma_p \cdot W_d \cdot N_{\gamma p} \cdot s_\gamma \quad [2.55.]$$

kur:
$R_d(darba\ platforma)$ *– darba platformas nestspēja;*
γ_p *– darba platformas materiāla tilpumsvars;*

W_d – *slodzes pielikšanas platums;*
N_γ – *grunts nestspējas faktors rupjām gruntīm;*
s_γ – *slodzes formas faktors rupjām gruntīm.*

Nepieciešams izpildīties $q_{1d} < R_d$ un $q_{2d} < R_d$. Ja pārbaude neizpildās, nepieciešams izmantot augstākas nestspējas darba platformas materiālu. Darba platformai jābūt ar lielāku nestspēju nekā zemes klātnei, tādēļ jāizpildās arī šādai pārbaudei: $R_d(\boldsymbol{darba\ platforma}) > R_d(\boldsymbol{zemes\ klātne})$.

- Ja iepriekšējās pārbaudes izpildās, tad nepieciešams noteikt darba platformas biezumu:

$$D_1 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{1d} - 0,5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma)}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p}} \qquad [2.56.]$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{2d} - 0.5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma)}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p}} \qquad [2.57]$$

kur:
D_1 – *platformas biezums S1 slogojumam;*
D_2 – *platformas biezums S2 slogojumam.*

Platformas biezums jāpieņem kā lielākais no aprēķinātajiem biezumiem, bet ne mazāks par minimālo no 0,5 W un 300 mm. Darba platformas biezumu var samazināt, izmantojot augstākas nestspējas minerālmateriālu vai arī ģeosintētisko materiālu.

- Darba platformas nestspēja, izmantojot ģeosintētisko materiālu, var tikt aprēķināta šādi:

$$R_d = 0,5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma + \frac{D^2}{W} \cdot \gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p + \frac{2 \cdot T_d}{W} \qquad [2.58.]$$

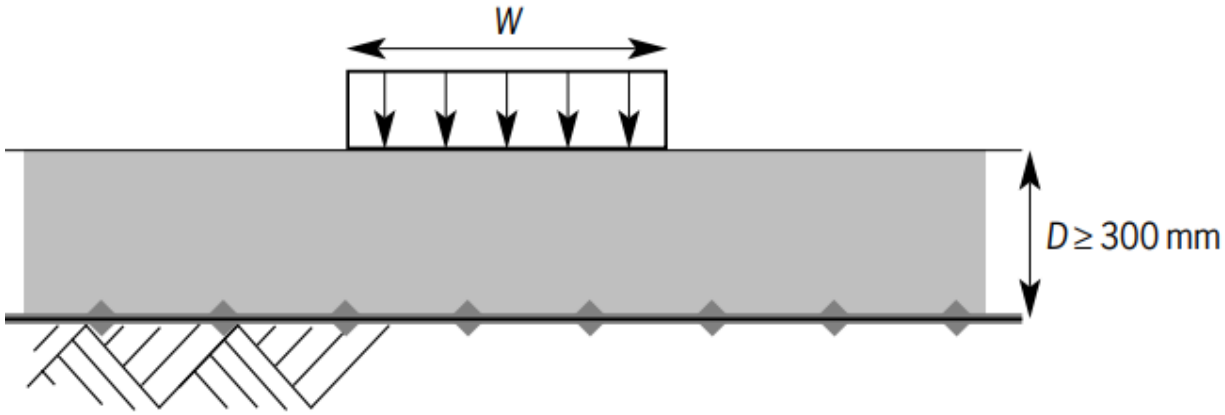
kur:
T_d – *ģeosintētiskā materiāla aprēķina stiepes stiprība.*

$$T_d = T_{char}/2 \qquad [2.59.]$$

kur:
T_{char} – *ģeosintētiskā materiāla raksturīgā stiepes stiprība.*

Pieņemot, ka kopējais drošības faktors ir 2, bet gadījumos, kad tiek izmantots austais ģeotekstils, nepieciešams pieņemt T_{char} pie 5% pagarinājuma.

Attēls 2-21. Aprēķina shēma darba platformai uz rupjām gruntīm ar ģeosintētisko materiālu



Platformas biezums, izmantojot ģeosintētiskos materiālus, var tikt aprēķināts šādi:

$$D_1 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{1d} - 0,5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma - \frac{2 \cdot T_d}{W})}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\,(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p) \cdot s_p}} \quad [2.60.]$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{2d} - 0,5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma - \frac{2 \cdot T_d}{W})}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\,(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p) \cdot s_p}} \quad [2.61.]$$

kur:
D_1 *– platformas biezums slogojumam S1;*
D_2 *– platformas biezums slogojumam S2.*

Šis aprēķins ir izmantojams tikai, ja *D1* un *D2* nepārsniedz *W*. Var būt nepieciešams vairāk nekā viens ģeosintētiskā materiāla slānis, bet parasti tiek izmantots tikai viens slānis, kas nodrošina nepieciešamo platformas biezumu.

Papildus nepieciešams pārbaudīt, vai izpildās šādas sakarības:

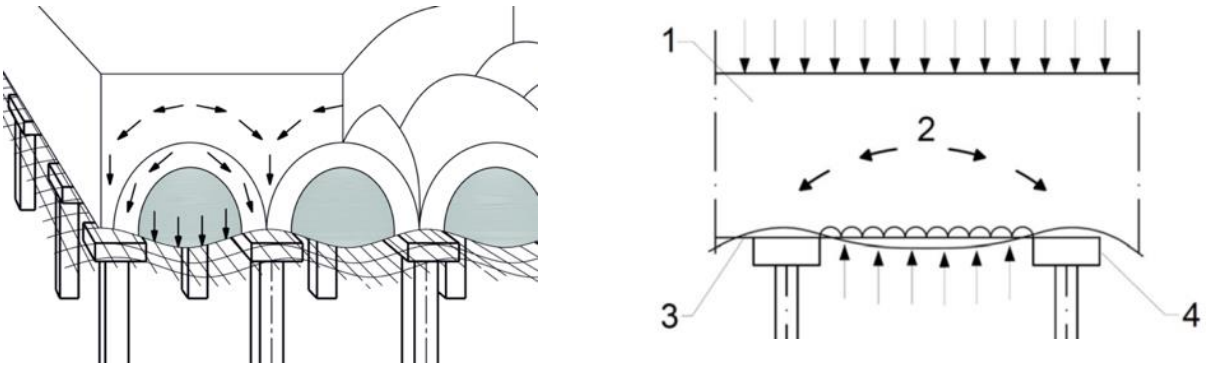
$$0,5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma + \frac{D^2}{W} \cdot \gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p > 1,25 \cdot q_{1k} \quad [2.62.]$$

$$0,5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma + \frac{D^2}{W} \cdot \gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p > 1,05 \cdot q_{2k} \quad [2.63.]$$

2.3.6 Zemes klātnes pastiprināšana ar papildu pastiprinājumiem vertikālo deformāciju ierobežošanai

Ģeosintētiskā materiāla stiegrojums nodrošina slodzes pārnesi no uzbēruma uz dažāda veida pastiprinājumiem. Shematisks slodzes pārneses koncepts virs stingajiem pastiprinājumiem sniegts attēlā (Attēls 2-22).

Attēls 2-22. Slodzes pārneses platformas darbības mehānisms



kur: 1 – uzbērums/slodzes pārneses platforma; 2 – arkas efekts; 3 – ģeosintētiskais materiālas (ja nepieciešams); 4 – režģogs virs stingā pastiprinājuma (ja nepieciešams).

Slodzes, kas iedarbojas uz ģeosintētisko materiālu no uzbēruma pašsvara un transporta slodzes, tiek noteiktas atbilstoši dažādām analītiskajām aprēķinu metodēm.

Lai nodrošinātu vienmērīgu slodzes pārnesi uz pastiprinājumiem un arkas mehānisma attīstīšanos, tiek rekomendēts sekot noteiktai sakarībai starp uzbēruma augstumu un pastiprinājumu soli:

$$\boldsymbol{H \geq 0,7 \cdot (s - a)} \qquad [2.64.]$$

kur:
$\boldsymbol{H}$ *– uzbēruma augstums;*
$\boldsymbol{s}$ *– pastiprinājumu solis;*
$\boldsymbol{a}$ *– stingā pastiprinājuma vai režģoga izmērs (vai ekvivalentais izmērs).*

Ja tiek izmantots apaļš pastiprinājums vai apaļš režģogs, tad nepieciešams veikt pārrēķinu un izmantot ekvivalento izmēru:

$$\boldsymbol{a_{equ} = \sqrt{\frac{\pi \cdot D^2}{4}}} \qquad [2.65.]$$

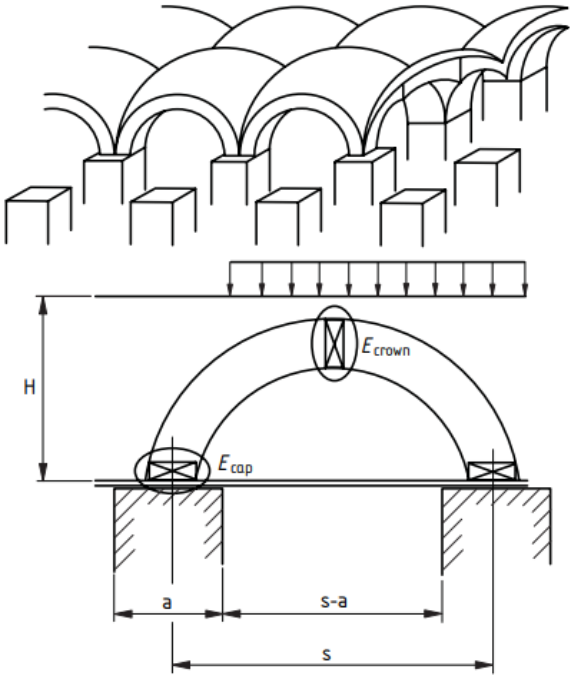
kur:
$\boldsymbol{D}$ *– pastiprinājuma vai režģoga diametrs.*

2.3.6.1 Hjūleta un Randolfa metode atbilstoši BS 8006-1 [67]

Atbilstoši Hjūleta un Randolfa metodei [67] uzbēruma un transporta slodzes starp pastiprinājumiem sadalās pilnībā vienmērīgi.

Šī teorija nosaka arkas efektivitāti $\boldsymbol{E}$ kā proporciju no slodzes, kuru uzņem pastiprinājumi – tādā veidā tiek pieņemts, ka ģeosintētiskais materiāls proporcionāli uzņem $\mathbf{1} - \boldsymbol{E}$ no slodzes. Šajā metodē netiek apskatīta grunts starp pastiprinājumiem – tiek pieņemts, ka tā slodzi neuzņem. Tāpat tiek pieņemts, ka slodzes pārneses sistēmā ir divas kritiskās vietas – arkas viduspunkts $\boldsymbol{E_{crown}}$ un arkas pēda $\boldsymbol{E_{cap}}$.

Attēls 2-23. Arkas efektivitātes pārbaudes shēma



kur: H – uzbēruma augstums; s – attālums starp pastiprinājumiem; a – ekvivalentais pastiprinājuma izmērs.

Zemiem uzbērumiem (relatīvi pret pastiprinājumu izvietojumu) kritiskāka ir arkas efektivitātes pārbaude ($\boldsymbol{E_{crown}}$), bet, uzbēruma augstumam pieaugot, kritiskāka var kļūt pastiprinājuma kontakta efektivitātes pārbaude ($\boldsymbol{E_{cap}}$).

Uzbēruma pašsvara slodzes proporcija, kas tiek balstīta uz pāļiem, var tikt aprēķināta šādi:

$$\boldsymbol{E_{crown} = 1 - \frac{(s^2 - a^2)}{s^2 \cdot \gamma \cdot H} \cdot (\sigma_i + \gamma \cdot \frac{s - a}{\sqrt{2}})} \qquad [2.66.]$$

kur:
$\boldsymbol{s}$ *– attālums starp pastiprinājumiem;*
$\boldsymbol{\sigma_i}$ *– spriegums, kas iedarbojas zem arkas virsmas;*
$\boldsymbol{\gamma \cdot \frac{s-a}{\sqrt{2}}}$ *– slodzes zem arkas tilpuma;*
$\boldsymbol{\gamma}$ *– grunts tilpumsvars;*
$\boldsymbol{H}$ *– uzbēruma augstums;*
$\boldsymbol{a}$ *– stingā pastiprinājuma vai režģoga izmērs (vai ekvivalents izmērs).*

Tādēļ $\boldsymbol{E_{crown}}$ var tikt aprēķināts šādi:

$$E_{crown} = 1 - (1 - \left(\frac{a}{s}\right)^2) \cdot (A - AB + C) \quad [2.67.]$$

kur:

$$A = 1 - \left(\frac{a}{s}\right)^{2(K_p - 1)} \quad [2.68.]$$

$$B = \frac{s}{\sqrt{2} \cdot H} \cdot \frac{2K_p - 2}{2K_p - 3} \quad [2.69.]$$

$$C = \frac{s - a}{\sqrt{2} \cdot H} \cdot \frac{2K_p - 2}{2K_p - 3} \quad [2.70.]$$

kur pasīvā spiediena koeficients K_p:

$$K_p = \frac{1 + sin\,(\varphi'_p)}{1 - sin\,(\varphi'_p)} \quad [2.71.]$$

Savukārt $\mathbf{E}_{cap}$ var tikt noteikts šādi:

$$E_{cap} = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad [2.72.]$$

kur:

$$\beta = \frac{2 \cdot K_p}{\left(K_p + 1\right)\left(1 + \frac{a}{s}\right)} \left(\left(1 - \frac{a}{s}\right)^{-K_p} - \left(1 + K_p \frac{a}{s}\right)\right) \quad [2.73.]$$

Lai iegūtu maksimālo slodzi W_T, kas tiek pārnesta uz ģeosintētisko materiālu, aprēķinā jāizmanto $E_{min} = \mathbf{min}\,(E_{crown};\, E_{cap})$:

$$W_T = \frac{s \cdot (f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + f_q \cdot w_{s)}}{s^2 - a^2} (1 - E_{min}) \cdot s^2 \quad [2.74.]$$

Tā kā neeksistē precīza teorija, kas aprakstītu arkas veidošanos un slodzes pārnesi, piemēram, ir labi dokumentēta šļūdes relatīvo deformāciju un papildu relatīvo deformāciju attīstība cikliskas slodzes iedarbībā. Šāda veida efekts varētu palielināt slodzi uz ģeosintētisko materiālu un samazināt to daļu, kas tiek pārnesta uz pastiprinājumiem. Tas ir novērots lauka testos ciklisko slodžu gadījumā. [77]

Šī un citu potenciālo efektu ietekmes dēļ, tiek pieņemts, ka ģeosintētiskais materiāls uzņem vismaz 15% no uzbēruma slogojuma:

$$W_{Tmin} = 15\% \cdot s \cdot (f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + f_q \cdot w_s) \quad [2.75.]$$

Kad noteikta slodze, kas iedarbojas uz ģeosintētisko materiālu, var tikt noteikts stiepes spēks, kas attīstās ģeosintētiskajā materiālā:

$$T_{rp} = \frac{W_T(s-a)}{2a}\sqrt{1+\frac{1}{6\varepsilon}} \quad [2.76.]$$

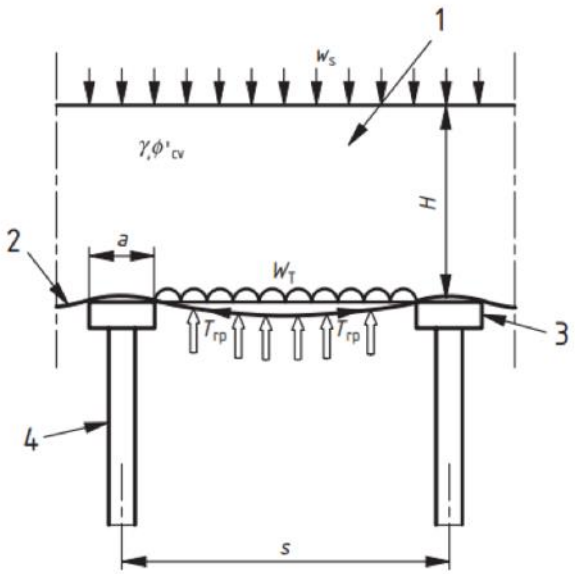
kur:

T_{rp} *– stiepes spēks ģeosintētiskajā materiālā;*

ε *– relatīvā deformācija ģeosintētiskajā materiālā.*

Šī izteiksme var tikt atrisināta, pieņemot maksimālo pieļaujamo relatīvo deformācijas vērtību.

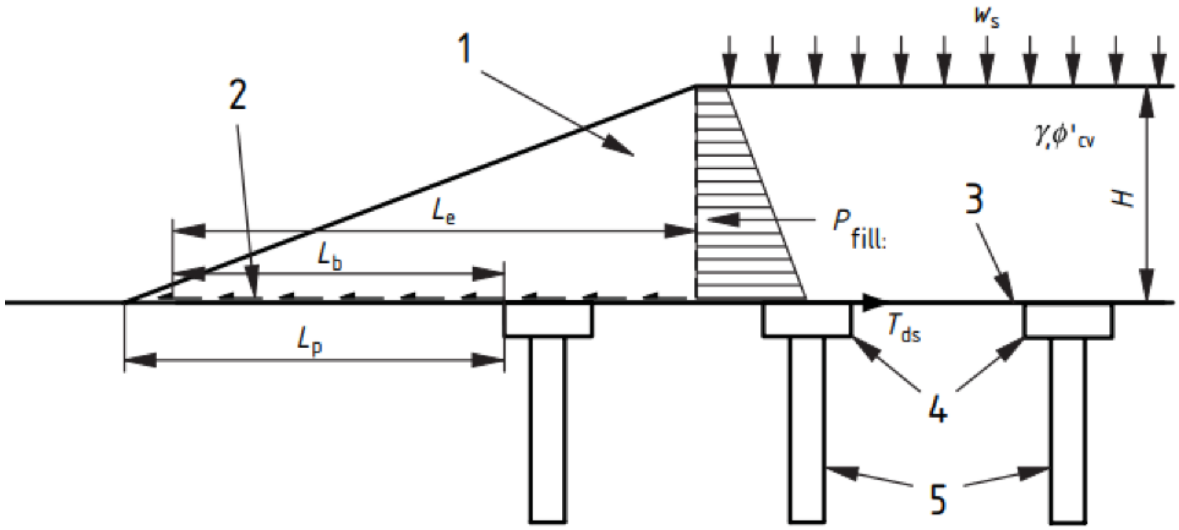
Attēls 2-24. Ģeosintētiskā stiegrojuma darbības shēma starp stingajiem pastiprinājumiem



kur: H – uzbēruma augstums; s – attālums starp pastiprinājumiem; a – ekvivalents pastiprinājuma izmērs; W_T – slodze uz ģeosintētiskā stiegrojuma; γ – grunts tilpumsvars; φ'cv – nemainīga tilpuma efektīvais iekšējās berzes leņķis; Ws – transporta slodze. 1 – uzbērums; 2 – ģeosintētiskais stiegrojums; 3 – režģogs; 4 – stingais pastiprinājums.

Ģeosintētiskajam stiegrojumam nepieciešams arī noturēt horizontālo spēku, kas veidojas uzbēruma malās.

Attēls 2-25. Ģeosintētiskā stiegrojuma darbības shēma stingo pastiprinājumu malā



Stiegrojuma stiepes spēkam jāatbilst noteiktai relatīvajai deformācijai, kas ierobežo malējo pāļu kustību, tādējādi samazinot slīpu pāļu vajadzību. Stiepes spēks, kas jāuzņem no uzbēruma spēka horizontālās komponentes, ir šāds:

$$T_{ds} = 0,5 \cdot K_a \cdot (f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + 2 \cdot f_q \cdot w_s) \cdot H \qquad [2.77.]$$

kur:

T_{ds} – *stiepes spēks ģeosintētiskajā materiālā;*

K_a – *aktīvais grunts spiediena koeficients* $[= tan^2(45° - \varphi_{cv}/2)]$;

H – *uzbēruma augstums;*

γ – *grunts tilpumsvars;*

w_s – *slodze virs uzbēruma;*

f_{fs} – *grunts tilpumsvara parciālais faktors;*

f_q – *ārējās slodzes parciālais faktors.*

Lai attīstītu stiepes spēku ģeosintētiskajā materiālā, nepieciešams noturēt uzbēruma grunti no izslīdēšanas. Tieši tādēļ jānodrošina minimālais enkurošanās garums:

$$L_e \geq \frac{0,5 \cdot K_a \cdot (f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + 2 \cdot f_q \cdot w_s) \cdot H \cdot f_s \cdot f_n}{\gamma \cdot h \cdot \frac{a' \cdot tan\varphi'_{cv}}{f_{ms}}} \qquad [2.78.]$$

kur:

f_s – *ģeosintētiskā materiāla izslīdēšanas pārbaudes parciālais faktors;*

f_n – *konsekvences klases parciālais faktors (skatīt 2.2.2. nodaļu);*

h – *vidējais uzbēruma grunts augstums virs stiegrojuma* L_e *zonā;*

a' – *grunts/stiegrojuma adhēzijas koeficients;*

φ'_{cv} – *nemainīga tilpuma efektīvais iekšējās berzes leņķis;*

f_{ms} – *grunts iekšējās berzes leņķa parciālais faktors.*

Svarīgi arī pārbaudīt pāļu grupas pēdējās pāļu rindas attālumu no uzbēruma pēdas:

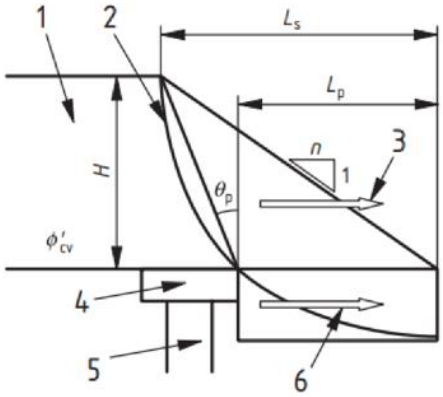
$$L_p \leq H \cdot (n - tan^2(45° - \varphi_{cv}/2)) \qquad [2.79.]$$

kur:

H – *uzbēruma augstums;*

n – *uzbēruma nogāzes slīpums.*

Attēls 2-26. Ģeosintētiskā stiegrojuma darbības shēma stingo pastiprinājumu malā



Ģeosintētiskā materiāla stiegrojumam jānodrošina arī pietiekams enkurojuma garums, lai starp ārējām divām pastiprinājumu rindām tiktu attīstīts maksimālais stiepes spēks:

$$L_b \geq \frac{f_p \cdot f_n (T_{rp} + T_{ds})}{\gamma \cdot h \cdot \left(\frac{a'_1 \cdot tan\varphi'_{cv}}{f_{ms}} + \frac{a'_2 \cdot tan\varphi'_{cv}}{f_{ms}}\right)} \qquad [2.80.]$$

kur:

f_p *– ģeosintētiskā materiāla izraušanas pārbaudes parciālais faktors;*

f_n *– konsekvences klases parciālais faktors (skatīt 2.2.2. nodaļu);*

h *– vidējais uzbēruma grunts augstums virs stiegrojuma* L_e *zonā;*

a'_1 *– grunts/stiegrojuma adhēzijas koeficients stiegrojuma augšā;*

a'_2 *– grunts/stiegrojuma adhēzijas koeficients stiegrojuma apakšā;*

φ'_{cv} *– nemainīga tilpuma efektīvais iekšējās berzes leņķis;*

f_{ms} *– grunts iekšējās berzes leņķa parciālais faktors.*

Lai nodrošinātu to, ka uz uzbēruma virmas neveidojas nevienmērīgas deformācijas un ģeosintētiskā stiegrojuma relatīvās deformācijas būtu samērojamas ar pieļaujamajām pāļu deformācijām, nepieciešams ierobežot relatīvo pieļaujamo deformāciju ģeosintētiskajā stiegrojumā. Relatīvā deformācija $\varepsilon_{max} \leq 6\%$ tiek pieņemta kā augšējā robeža, bet parasti tiek ierobežota līdz $\varepsilon_{max} \leq 3\%$. Šis kritērijs ļauj līdz minimumam ierobežot uzbēruma virsmas relatīvās deformācijas. Šis kritērijs arī netieši norāda, ka būtiska ir ne tikai ģeosintētiskā materiāla stiepes stiprība, bet arī aksiālais stingums. Aksiālais stingums, iespējams, ir pat būtiskāks parametrs, pieņemot, ka materiāls ar augstāku stingumu nodrošina relatīvās deformācijas kritēriju pat ar iespējams zemāku maksimālo stiepes stiprību.

2.3.6.2 EBGEO metode

Atbilstoši EBGEO metodei [78] slodze uz slodzes pārneses platformu tiek pieņemta trīsstūrveida formas, nevis vienmērīgi izkliedēta, kā tas apskatīts atbilstoši BS 8006-1.

2.3.6.3 Koncentrisku arku metode atbilstoši CUR 226

Atbilstoši koncentriskas arkas metodei [79] slodze uz slodzes pārneses platformu tiek pieņemta kā apgriezta trīsstūrveida formas vai vienmērīgi izkliedēta, atkarībā no uzbēruma augstuma un zemes klātnes īpašībām.

2.4 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības

Tabulās turpmāk ir norādītas specifikāciju prasības ģeotekstiliem atkarībā no paredzētās lietošanas nestspējas robežstāvoklim (ULS) un lietojamības robežstāvoklim (SLS) (Tabula 2-6 un Tabula 2-7).

Tabula 2-6. Specifikāciju prasības zemes klātnes stiegrošanai nestspējas robežstāvoklī (ULS).

Paredzētā izmantošana: stiegrošana (R) saskaņā ar LVS EN ISO 13249			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība*** **
Ilgtermiņa aprēķina stiepes stiprība*	N/A	kN/m	≥ ...
Dinamiskā caursišanas pretestība**	EN ISO 13433	mm	≥ ...
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	gadi	≥ 25, 50 vai 100
Bīstamās vielas	Mazāk nekā noteikts ES dalībvalstu noteikumos		

** aprēķins atbilstoši 2.1. nodaļai.*

*** tikai austajam augstas stiprības ģeotekstilam un ģeokompozītam.*

**** definē būvprojektā.*

Tabula 2-7. Specifikāciju prasības zemes klātnes stiegrošanai lietojamības robežstāvoklī (SLS).

Paredzētā izmantošana: stiegrošana (R) saskaņā ar LVS EN ISO 13249			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība*** **
Ilgtermiņa aprēķina stingums pie noteiktā pagarinājuma*	N/A	kN/m	≥ ...
Dinamiskā caursišanas pretestība**	EN ISO 13433	mm	≥ ...
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	gadi	≥ 25, 50 vai 100
Bīstamās vielas	Mazāk nekā noteikts ES dalībvalstu noteikumos		

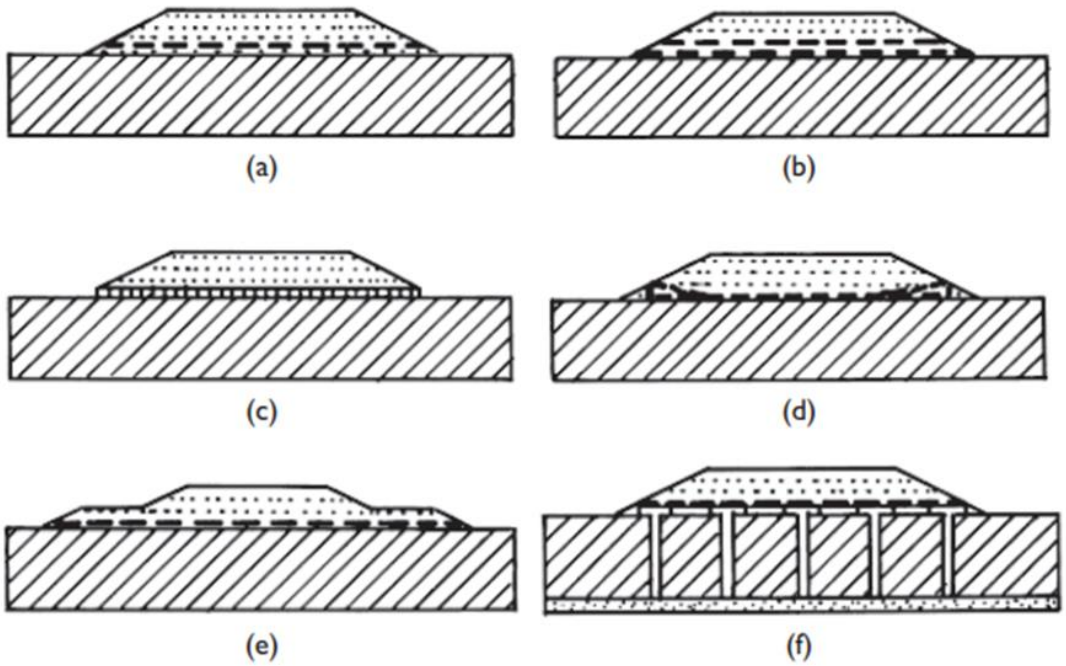
** aprēķins atbilstoši 2.1. nodaļai.*

*** tikai austajam augstas stiprības ģeotekstilam un ģeokompozītam.*
**** definē būvprojektā.*

2.5 Iestrādes tehnoloģija

Lai izvairītos no uzbēruma nogāžu stabilitātes problēmām, ģeosintētiskā materiāla bojājumiem, nevienmērīgas sēšanās u. c., nepieciešams ievērot noteiktu būvniecības secību. Ģeosintētiskie materiāli ceļa zemes klātnes stiegrošanai var tikt iebūvēti dažādos veidos – skatīt attēlu turpmāk.

Attēls 2-27. Ģeosintētisko materiālu iebūve



(a) ģeosintētiskais materiāls iebūvēts uzbērumā;
(b) uzbērumā iebūvēti vairāki ģeosintētiskā materiāla slāņi uzbērumā;
(c) ģeošūnas;
(d) ģeosintētiskais materiāls virs ceļa zemes klātnes ar paceltiem (ietītiem) galiem;
(e) ģeosintētiskie materiāli kombinācijā ar bermām;
(f) ģeosintētiskais materiāls slodzes pārneses platformā virs stingajiem pastiprinājumiem [68]

Uzbērumā iebūvēts ģeosintētiskais materiāls ir visbiežāk lietotais zemes klātnes stiegrošanas risinājums. Vairāku ģeosintētisko materiāla slāņu izmantošana nodrošina stingāku masīvu, ierobežojot nevienmērīgu deformāciju veidošanos. Līdzīgu efektu var nodrošināt arī ģeošūnas. Lai nodrošinātu ģeosintētiskā materiāla labāku enkurošanos, var tikt pacelti (ietīti) gali un/vai veidotas bermas. Ja nepieciešams ierobežot kopējās deformācijas, tad iespējams izmanot grunti pastiprinošus elementus, piemēram, betona pāļus, grunts pāļus, dziļās grunts stabilizācijas pāļus u. c. Šādā gadījumā ģeosintētiskie materiāli nodrošina slodzes pārneses funkciju.

Zemes klātnes stiegrojošā ģeosintētiskā materiāla iebūves metode atkarīga no zemes klātnes ģeotehniskajiem apstākļiem, tādēļ ģeotehniskās izpētes laikā svarīgi noteikt

grunšu ģeotehniskās īpašības, tās pareizi identificēt un klasificēt, kā arī noteikt gruntsūdens līmeni un identificēt applūstošas teritorijas, ja tās skar būvniecības vietu.

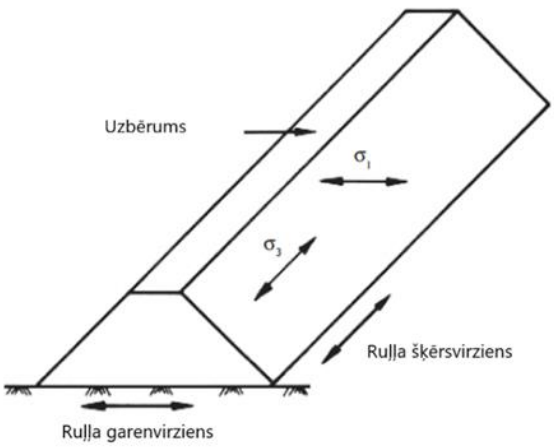
Ja konkrētajā vietā ir piekļuves problēmas un nav iespējams pārvietoties ar būvtehniku, nepieciešams uzbūvēt pagaidu pievedceļus. Vietai, kur paredzēts ieklāt ģeosintētisko materiālu, jānodrošina stabila, sausa un tīra darba platforma. Darba platformas projektēšanas vadlīnijas sniegtas 2.2.3. nodaļā. Jāparedz vieta, kur tiks glabāti būvmateriāli un būvtehnika, tai skaitā ģeosintētiskie materiāli. Ģeosintētiskais materiāls jāglabā ruļļos vai salocītās loksnēs sausā vietā, kā arī jānodrošina, lai tiem nepiekļūst saules gaisma. Ja ģeosintētiskais materiāls tiek pasargāts ar ultravioletā starojama drošu iepakojumu, cita papildu aizsardzība nav nepieciešama.

Vēlams ģeosintētiskā materiāla stiegrojumu slodzes uzņemšanas virzienā ieklāt vienā gabalā bez šuvēm. Tomēr no pārlaidumiem paralēli uzbērumam nav iespējams izvairīties, tādēļ tas jāņem vērā pie darbu izpildes – nepieciešams nodrošināt uzbēruma stabilitāti abos virzienos.

Ģeosintētiskais materiāls ceļa zemes klātnes pastiprināšanai parasti tiek iebūvēts ar stiprāko virzienu (MD virziens) perpendikulāri ceļa asij. Ja ieklāšanas laikā veidojas viļņi, ģeosintētisko materiālu nepieciešams nostiept. Lai izvairītos no iespējas, ka ģeosintētisko materiālu paceļ vējš, ieteicams izmantot pieslogošanu (smilšu maisi, akmeņi u. c.).

Šuves nav ieteicams veidot galveno principiālo spriegumu veidošanās virzienā, t. i., paralēli ceļa asij. Īpašos gadījumos ģeotekstilu iespējams sašūt. Tas ir ieteicams gadījumā, ja spriegumu veidošanās galveno virzienu ir grūti identificēt (skatīt 1.3.2.2. nodaļu).

Attēls 2-28. Ģeosintētisko materiālu ieklāšanas virzieni [4]



Pastāv dažādi savienojumi un to sistēmas. Vietās, kur paredzēta slodzes pārnese, ģeotekstila pārlaidumus ieteicams sašūt.

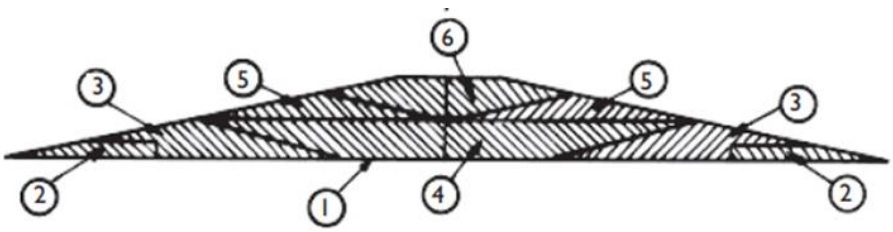
Atbilstoši LVS EN 14475 [80] ģeosintētisko materiālu nepieciešams ieklāt pareizā virzienā – tas ir īpaši svarīgi, ja ģeosintētiskajam materiālam definētas dažādas nominālās mehāniskās īpašības dažādos virzienos. Ieklāšanas laikā mehāniskā iedarbība nedrīkst pārsniegt projektēšanas nosacījumus. Parasti tas nozīmē, ka ar smago būvtehniku pārvietoties tieši pa ģeosintētisko materiālu nav atļauts. Jānodrošina, lai ģeosintētiskais materiāls ieklāšanas laikā būtu vienmērīgi nostieps/nospriegots, pirms tas tiek pārklāts ar uzbēruma grunti, tādējādi mobilizējot stiepes spēkus. Ģeosintētiskie materiāli (pārsvarā ģeotekstili) ultravioletā starojuma ietekmē var zaudēt savas mehāniskās īpašības, ja vien tiem nav speciāla aizsardzība, tādēļ tos nepieciešams pēc iespējams ātrāk pārklāt ar grunti. Ja pārklāšanas laiks nav precīzi definēts, tad ģeotekstils jānosedz ne vēlāk kā 24 stundu laikā pēc ieklāšanas.

Ģeosintētiskos materiālus iebūvējot uzbērumā, ieteicams izmantot būvtehniku ar zemu kontaktspiedienu uz virsmu. Ģeosintētiskā materiāla nelīdzenumus vai "viļņus" nepieciešams izlīdzināt manuāli.

Pirmos dažus uzbēruma slāņus (0,5–1,0 m) ieteicams būvēt no labi drenējoša materiāla, kas nodrošina labāku berzi starp grunti un ģeosintētisko materiālu, kā arī šāds ģeotekstila-grunts slānis nodrošina labāku filtrācijas funkciju, kas izslēdz papildu poru spiediena veidošanos zonā starp ceļa zemes klātni un uzbērumu. Katru slāni nepieciešams sablīvēt līdz nepieciešamajam blīvumam.

Ieklājot ģeosintētisko materiālu uz ļoti zemas nestspējas grunts (c_u < 10 kPa), gadījumos, kad grunts zem ģeosintētiskā materiāla ieklāšanas laikā "šūpojas", ieteicamā uzbēruma būvēšanas secība sniegta shēmā turpmāk.

Attēls 2-29. Ieteicamā uzbēruma būvēšanas secība [4]



Papildus iespējams uzbūvēt arī perimetra bermas, kas nostiprina malas un novērš grunts izspiedumu veidošanos.

Pirmo slāni ieteicams blīvēt tikai ar būvtehnikas transporta slodzi. Tad, kad izveidota vismaz 60 cm kārta, var sākt izmantot veltņus. Transporta kustībai, būvējot pirmo kārtu, jābūt paralēlai ceļa asij.

Ja būvprojekts paredz izmantot novērošanas metodi un ģeotehnisko monitoringu, tad jābūt definētiem kritērijiem, mērījumu biežumam, robežvērtībām un prasībām attiecībā uz pārskata sagatavošanu. Ģeotehniskās izpētes atskaitei jānodrošina informācija, kas ļauj veikt būvdarbus atbilstoši būvprojekta risinājumiem. Informācijai jābūt pietiekamai, lai būvdarbu veicējs var izstrādāt darba veikšanas projektu (zemes darbi, visu veidu speciālie ģeotehniskie darbi, darba platformas izbūve u. c.).

Lai nodrošinātu konstrukcijas drošību un kvalitāti, jāņem vērā sekojošais:

- ∇ būvdarbi un veikto darbu kvalitāte ir jāuzrauga;
- ∇ konstrukcijas darbība ir jānovēro gan būvdarbu izpildes laikā, gan pēc to pabeigšanas;
- ∇ uzbūvētā konstrukcija ir atbilstoši jāuztur.

Būvdarbu kontrolei ir jābūt nepārtrauktai, bet kontroles rezultāti ir jādokumentē. Dokumentācijai jāiekļauj:

būtiski grunts un gruntsūdens apstākļi;

- ∇ darbu secība;
- ∇ materiālu kvalitāte;
- ∇ atkāpes no būvprojekta;
- ∇ būvdarbu izpildrasējumi;
- ∇ mērījumu un to interpretācijas rezultāti;
- ∇ apkārtējās vides apstākļu novērojumi;
- ∇ neparedzēti gadījumi.

Pārbaudes un kontroles rezultātiem ir jābūt pieejamiem projekta autoram pirms lēmuma pieņemšanas par jebkura veida izmaiņām. Būvdarbu metodes un darbu secības piemērotība ir jāpārskata atkarībā no būvobjektā konstatētajiem ģeotehniskajiem apstākļiem; paredzētā konstrukcijas darbība ir jāsalīdzina ar novēroto. Projekts ir jānovērtē, pamatojoties uz pārbaudes un būvniecības gaitas uzraudzības rezultātiem.

Monitorings jāveic, lai:

- ∇ pārbaudītu projektā paredzētās darbības pamatotību;
- ∇ pārliecinātos, ka pēc būvdarbu pabeigšanas konstrukcija nodrošinās paredzēto funkcionalitāti.

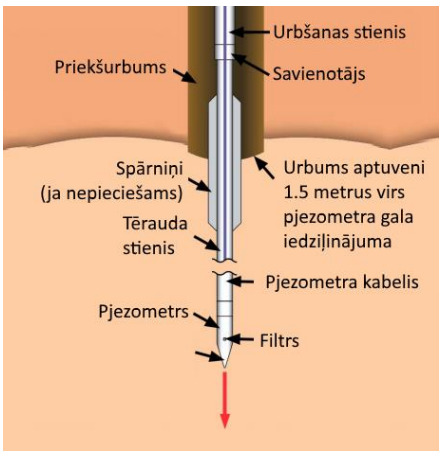
Novērojumos jāiekļauj šādi mērījumi:

- konstrukcijas izraisītas grunts pamatnes deformācijas;
- iedarbju lielumi;
- kontaktspiediena lielums starp konstrukciju un pamatni;
- poru ūdens spiediens;
- spēki un nobīdes (vertikāli vai horizontāli pārvietojumi, pagriešanās vai deformācijas) konstrukcijas elementos.

Lai veiktu novērojumus, tiek paredzētas monitoringa iekārtas, tādas kā, pjezometri, sēšanās monitoringa plātnes, inklinometri, profilogrāfi, tiltmetri un ekstensiometri, kas nodrošina projektēšanas pieņēmumu verificēšanu, kā arī kvalitātes kontroli.

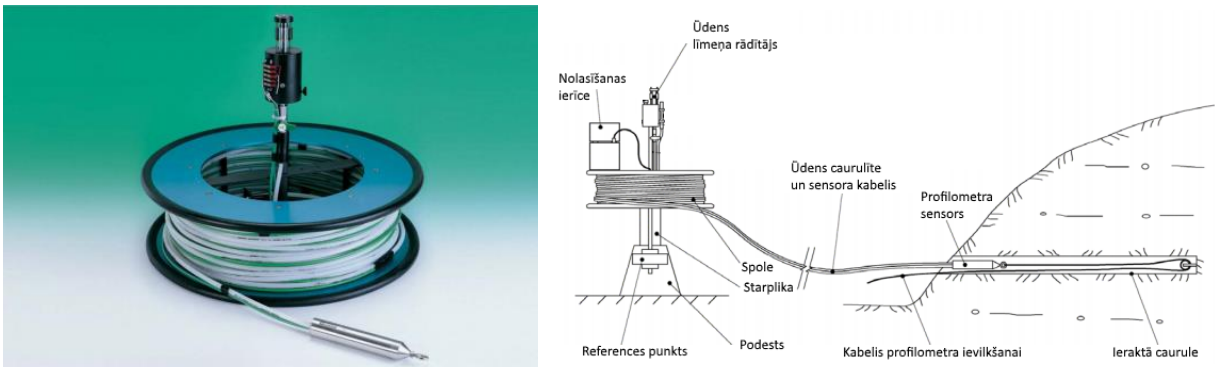
Pjezometri mēra poru spiedienu gruntī un var nodrošināt mērījumus līdz noteiktajai drošajai vērtībai, ja tiek paredzēts uzbērumu būvēt vairākās fāzēs vai arī, ja tiek paredzēta zemes klātnes konsolidācija ar vai bez vertikālajām drenām.

Attēls 2-30. Pjezometra instrumentācijas shēma



Sēšanās monitoringa plātnes un profilogrāfi nodrošina vertikālo deformāciju mērījumus būvniecības un pēc-būvniecības laikā.

Attēls 2-31. Profilogrāfa instrumentācijas shēma



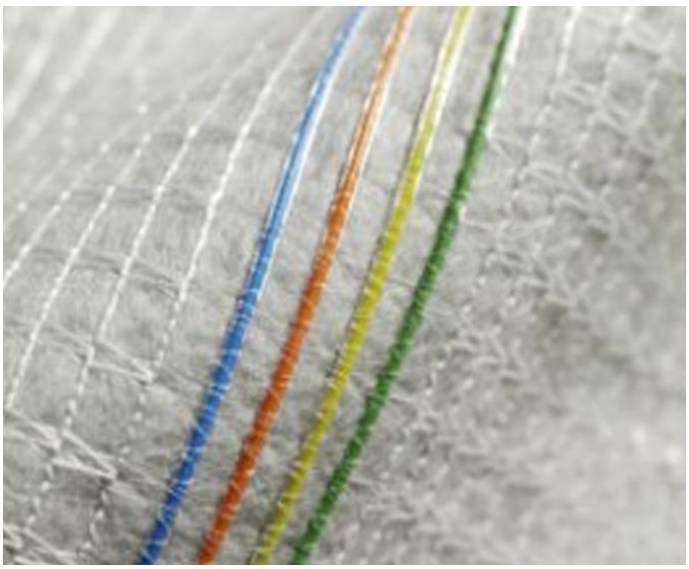
Attēls 2-32. Sēšanās plātnes instrumentācijas shēma

Inklinometri nodrošina uzbēruma horizontālo deformāciju mērījumus uzbēruma pēdā.

Attēls 2-33. Inklinometrs un mērīšanai paredzētās caurules

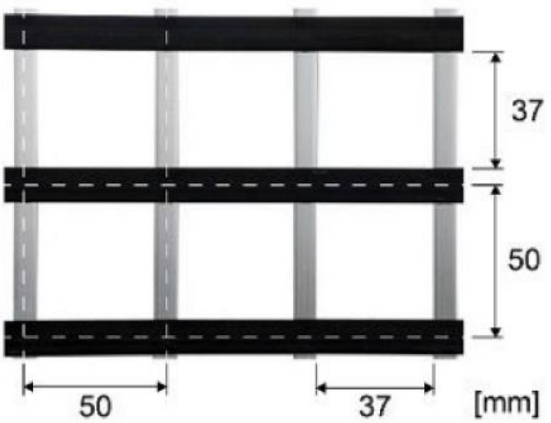
Viens no galvenajiem parametriem, kurš tiek apskatīts zemes klātnes stiegrojošajā ģeosintētiskā materiāla aprēķinā ir relatīvā deformācija. Mērot relatīvo deformāciju iespējams arī noteikt attiecīgo stiepes spēku, kurš attīstījies pie noteiktās slodzes konkrētajā būvniecības vai arī pēc-būvniecības periodā. Mūsdienās pieejami sensori, kuri iebūvēti pašā ģeosintētiskajā materiālā, piemēram, materiāls "GeoDetect", kas tiek ražots TenCate Geosynthetics.

Attēls 2-34. Ģeosintētiskajā materiālā iebūvētie sensori [81]



Ar šāda veida sensoriem iespējams nomērīt reālās relatīvās deformācijas, kuras attīstās ģeosintētiskajā materiālā. Pie ģeosintētiskā materiāla iespējams piestiprināt arī cita veida mehāniskos sensorus – skat. attēlā zemāk.

Attēls 2-35. Pie ģeosintētiskā materiālā piestiprināts relatīvo deformāciju sensors



Kvalitātes kontroles parametri un prasības gadījumiem, kad tiek izmantoti ģeosintētiskie materiāli zemes klātnes stiegrošanai, apkopoti tabulā zemāk.

Tabula 2-8. Kvalitātes kontroles parametri un prasības

Kontroles kritērijs	Apraksts
Materiāla kvalitātes pārbaude	Uzbēruma grunts atbilstība: fizikāli mehāniskās īpašības, sablīvējums u.c.
	Ģeosintētiskā materiāla īpašības atbilstoši būvprojekta prasībām, pieņemšana, pārvietošana un uzglabāšana būvlaukumā, bojājumi uzstādīšanas laikā, ģeosintētiskā materiāla stiepes tests, ja nepieciešams
	Jebkāda veida monitoringa un testēšanas prasības un instrumentācija atbilstoši būvprojektam
Darbu kvalitātes pārbaude	Būvlaukuma sagatavošana: topogrāfija, ģeotehniskā informācija, ierakumu un uzbērumu ģeometrija
	Drenāžas nodrošināšana – pamatnes slīpums, drenējošo slāņu atbilstība būvprojektam (to izbūve), citas drenāžas sistēma
	Uzbēruma un ierakuma izbūves pārbaude – slāņu sablīvējums, izbūves augstums
Sasniedzamā rezultāta pārbaude	Ģeotehniskā monitoringa rezultātu atbilstība būvprojektam – būvprojekta validācija
	Ģeosintētiskā materiāla monitoringa rezultātu atbilstība būvprojektam – būvprojekta validācija (ja tiek mērītas relatīvās deformācijas ģeosintētiskajā materiālā)

2.6 Būvprojektēšanas piemēri

Šajos piemēros iekļauti esoša autoceļa pārbūves risinājumi un arī darba platformas, kur zemes klātnē identificētas zemas nestspējas grunts – kūdra.

Lai varētu izveidot grunšu modeli ģeotehniskajiem aprēķiniem, nepieciešams veikt ģeotehnisko izpēti. Ģeotehniskā izpēte jāveic atbilstoši projektēšanas uzdevumam, LVS EN 1997-1 un LVS EN 1997-2 prasībām, kā arī citiem saistošiem standartiem. Ģeotehniskās izpētes laikā jāiegūst nepieciešamie dati par zemes klātnē esošajām gruntīm.

2.6.1 Pirmais piemērs ģeosintētisko materiālu lietošanai

Esoša autoceļa pārbūves gadījumā var gadīties, ka zemes klātnē tiek identificēts neliels zemas nestspējas grunts slānis, kas nepārsniedz 1 m biezumu. Šajā gadījumā nepieciešams veikt ģeotehniskos aprēķinus un izvērtēt iespējamos risinājumus, lai nodrošinātu autoceļa uzbēruma stabilitāti un lietojamību – nepieciešams veikt uzbēruma nogāzes stabilitātes un sēšanās aprēķinus. Ģeosintētiskie materiāli var būtiski paaugstināt nogāzes stabilitāti, bet kopējo sēšanos nesamazina.

2.6.1.1 Būvobjekta apraksts un problemātika

Izvēlētajā piemērā zemes klātnē autoceļa šķērsprofilā identificēta kūdra – 0,7 m; 0,7 m; 0,6 m biezumā attiecīgi kreisajā pēdā, zem uzbēruma un labajā pēdā (Attēls 2-36).

Ģeosintētiskais materiāls nepieciešams, lai nodrošinātu nogāzes noturību, ierobežotu uzbēruma izslīdēšanu un zemas nestspējas grunts slāņa horizontālo izspiešanos zemes klātnē. Pamatdati, kas nepieciešami aprēķinam konkrētajā šķērsprofilā, sniegti tabulā turpmāk.

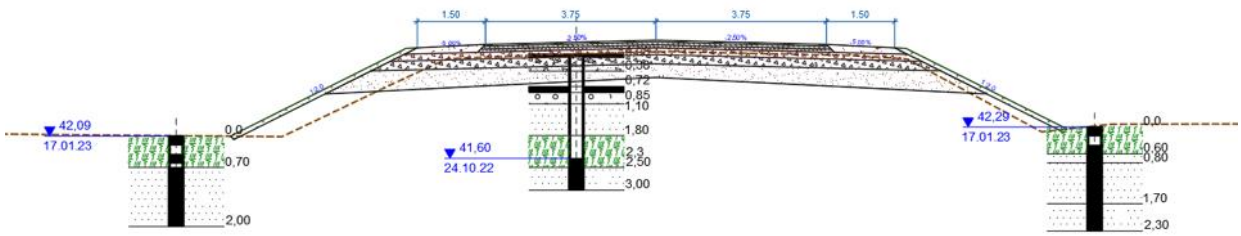
Zemas nestspējas gruntij svarīgākais parametrs ir nedrenētā bīdes pretestības c_u, kas sniegta tabulā turpmāk. Šis piemērs ir vienkāršots – parasti visiem ģeotehniskajiem elementiem, kas veido grunts modeli, nepieciešams noteikt visas fizikālās un mehāniskās grunts īpašības gan nogāzes stabilitātes aprēķinam (grunšu stiprības parametri), gan sēšanās aprēķinam (grunšu saspiežamības parametri).

Tabula 2-9. Sākotnējie dati ģeosintētiskā materiāla aprēķinam

Parametrs	Apz.	Vērtība	Mērv.	Atsauce
Uzbēruma augstums	H	2,12	m	
Uzbēruma grunts tilpumsvars	γ'	20	kN/m3	
Uzbēruma grunts iekšējās berzes leņķis	ϕcv	37	°	
Grunts aktīvā spiediena koeficients	Ka	0,248	-	[2.26.]
Transporta slodze	ws	25	kPa	
Uzbēruma grunts/stiegrojuma tiešās slīdēšanas koeficients	a'	0,8*	-	
Kūdras slāņa nedrenētā grunts pretestība	cu	10	kPa	

** nepieciešams aprēķināt katram konkrētajam materiālam atbilstoši tā BBA sertifikātam un 2.1.2. nodaļā dotajām vadlīnijām.*

Attēls 2-36. Autoceļa šķērsprofils, kas izmantots pirmajam aprēķina piemēram



Būvprojekta piemērā tiek salīdzināti divi risinājumi – grunts apmaiņa un zemes klātnes stiegrošana ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju ("matraci").

Piezīme:

Ja nogāžu stabilitāte tiek nodrošināta un pēcbūvniecības prognozējamās kopējās un nevienmērīgās sēšanās vērtības nepārsniedz būvprojektā definētās, zemes klātni pastiprināt nav nepieciešams pat tad, ja tajā identificētas zemas nestspējas gruntis.

2.6.1.2 Risinājums bez ģeosintētiskā materiāla

Kā zemas nestspējas grunts slāņa aizvietotāju var paredzēt gan dabīgus minerālas izcelsmes materiālus (smilts, šķembas), gan reciklētus materiālus, kas atbilst šādām prasībām: [82]

- organisko vielu saturs nepārsniedz 2% viena metra dziļumā no grunts klātnes virsmas un 6% zemākos slāņos;
- grunts deformatīvās īpašības atbilst LVS 190-5 5.2. p. prasībām par minimālās nestspējas nodrošināšanu un sablīvējuma pakāpi;
- plastiskuma rādītājs $Ip < 7$.

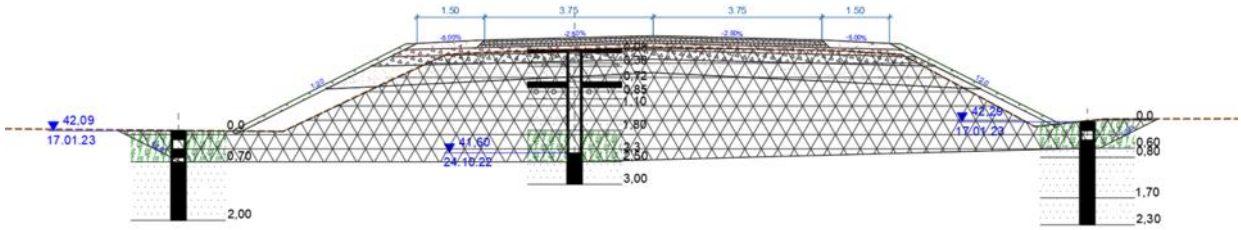
Aizpildāmā minerālmateriāla augšējās kārtas nestspējai, saskaņā ar LVS 190-5, ir ieteicams nodrošināt vismaz 45 MPa lielu nestspēju visu ceļa konstrukcijas kalpošanas laiku, tomēr pastiprināšanas gadījumos, ja šādas prasības nodrošināšana nav ekonomiski izdevīga, minerālmateriāla nestspēja var būt zemāka par 45 MPa – ar nosacījumu, ka tas tiek kompensēts ar ceļa segas konstrukciju. Zemāk esošām uzbēruma kārtām ir jānodrošina vismaz 25 MPa liela nestspēja.

Grunts atrakšana ir būtiska grunts apmaiņas procesa daļa, kurā jāapzina un jānodrošina vairāki būtiski aspekti: [66]

- apmaināmās grunts slāņu aizvākšana jāveic pēc iespējas mazākā apjomā, nepasliktinot pietiekamas nestspējas zemāko grunts slāņu kondīciju;
- darbu gaitā jānodrošina būvbedres nogāžu stabilitāte;
- savlaicīgi jāaizvāc izraktā grunts, kā arī jāplāno grunts apmaiņai izmantojamā materiāla piegādes grafiks;
- ar iepriekšēju pārbaužu palīdzību jānosaka esošais gruntsūdens līmenis un tā potenciālās izmaiņas, lai nepieciešamības gadījumā laikus veiktu gruntsūdens līmeņa pazemināšanas pasākumus.

Ja teritorija pie apmaināmās grunts laukuma nav ierobežota, ieteicams grunti atrakt ar malu slīpumu robežās no 1:4 līdz 1:2 – atkarībā no grunts parametriem un ierakuma dziļuma. Ja teritorija pie apmaināmās grunts laukuma ir ierobežota, nepieciešams izmantot pagaidu atbalstsienas, tās kombinējot ar spraišļu konstrukciju.

Attēls 2-37. Grunts apmaiņas apjoms izvēlētajā šķērsprofilā



Pieņemot 100 m garu posmu, kopējais grunts apjoms, ko nepieciešams izrakt, veido 3731,47 m^3, savukārt grunts apjoms, kuru nepieciešams izrakt zem autoceļa segas konstrukcijas, veido 3002,81 m^3 – šo var pieņemt par apmaināmās grunts apjomu, kas attiecināms uz šo risinājumu.

Vienības cenas norādītas tabulā turpmāk.

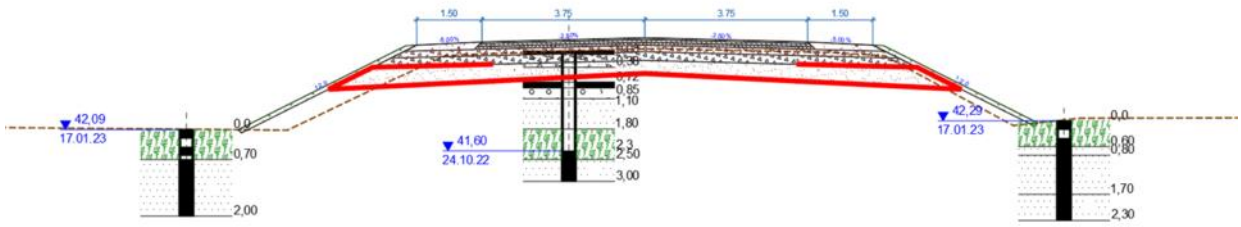
Tabula 2-10. Zemes klātnes būvniecības vienības izmaksas

Zemes klātnes būvniecība	Mērv.	EUR
Zemes klātnes uzbēruma būvniecība	m^3	10,54
Zemes klātnes ierakuma būvniecība	m^3	5,73

2.6.1.3 Risinājums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu

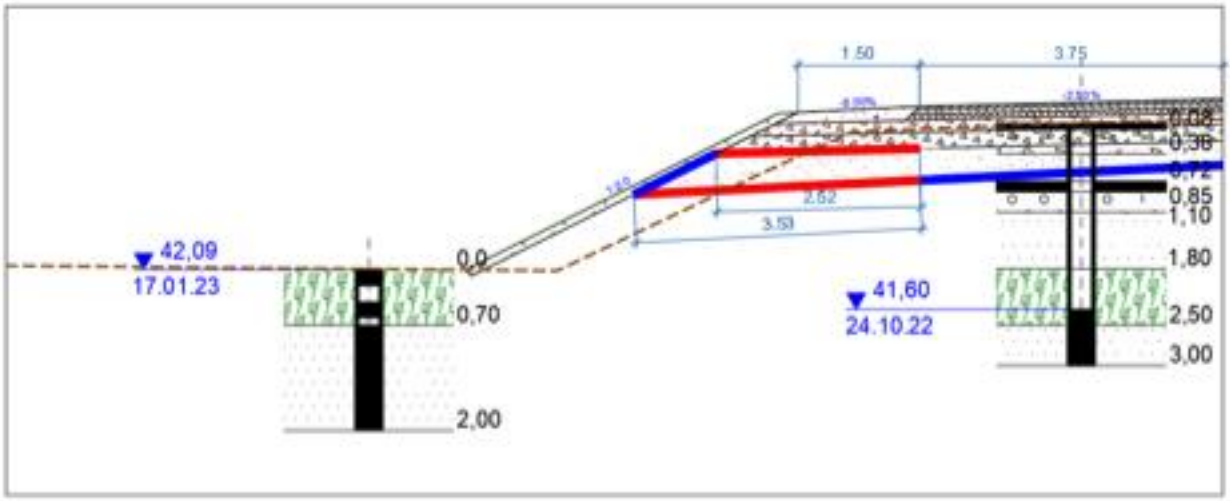
Zemes klātni iespējams stiegrot ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju. Šajā gadījumā nav nepieciešams veikt pilnu grunts apmaiņu.

Attēls 2-38. Autoceļa šķērsprofils ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju



Aprēķins jāveic atbilstoši 2.1. nodaļas vadlīnijām. Aprēķinu shēma attēlota turpmāk.

Attēls 2-39. Autoceļa šķērsprofils ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju



A. Nestspējas robežstāvokļa (ULS) aprēķins

A.1. Horizontālā uzbēruma izslīdēšana

Parametrs	Apz.	Vērtība	Mērv.	Atsauce
Uzbēruma augstums	H	2,12	m	
Uzbēruma grunts tilpumsvars	γ'	20	kN/m3	
Uzbēruma grunts iekšējās berzes leņķis	ϕ_{cv}	37	deg	
Grunts aktīvā spiediena koeficients	K_a	0,248	-	[2.26.]
Transportslodze	w_s	25	kPa	
Grunts tilpumsvara parciālais faktors	ff_s	1,3	-	Tabula 2-4
Slodzes parciālais faktors	f_q	1,3	-	Tabula 2-4
Stiepes spēks horizontālās uzbēruma izslīdēšanas pretestībai	T_{ds}	31,65	kN/m	[2.25.]
Minimālais stiegrojuma enkurošanās garums	L_e	2,86	m	[2.27.]
Izslīdēšanas parciālais faktors	f_s	1,3		Tabula 2-4
Seku klases parciālais faktors	f_n	1,1		Tabula 2-2
Vidējais uzbēruma augstums virs enkurojuma garuma	h	1,06	m	H/2
Uzbēruma grunts/stiegrojuma tiešās slīdēšanas koeficients	a'	0,8*		
Parciālais faktors kūdrai	f_{ms}	1		Tabula 2-4

** nepieciešams aprēķināt katram konkrētajam materiālam atbilstoši tā BBA sertifikātam un 2.1.2. nodaļā dotajām vadlīnijām.*

A.2. Zemas nestspējas slāņa izspiešanās pārbaude

Uzbēruma grunts/stiegrojuma adhēzijas koeficients	a'	0,5		
Nedrenētā grunts pretestība kūdrai	c_u	10	kPa	
Nepieciešamais ģeosintētiskā materiāla enkurojums	L_e	3,67	m	[2.27.]
Nedrenētās pretestības parciālais faktors gruntij	f_{ms}	1		Tabula 2-4
Stiepes spēks zemas nestspējas slāņā izspiešanas pretestībai	Trf	14,30	kN/m	[2.32.]

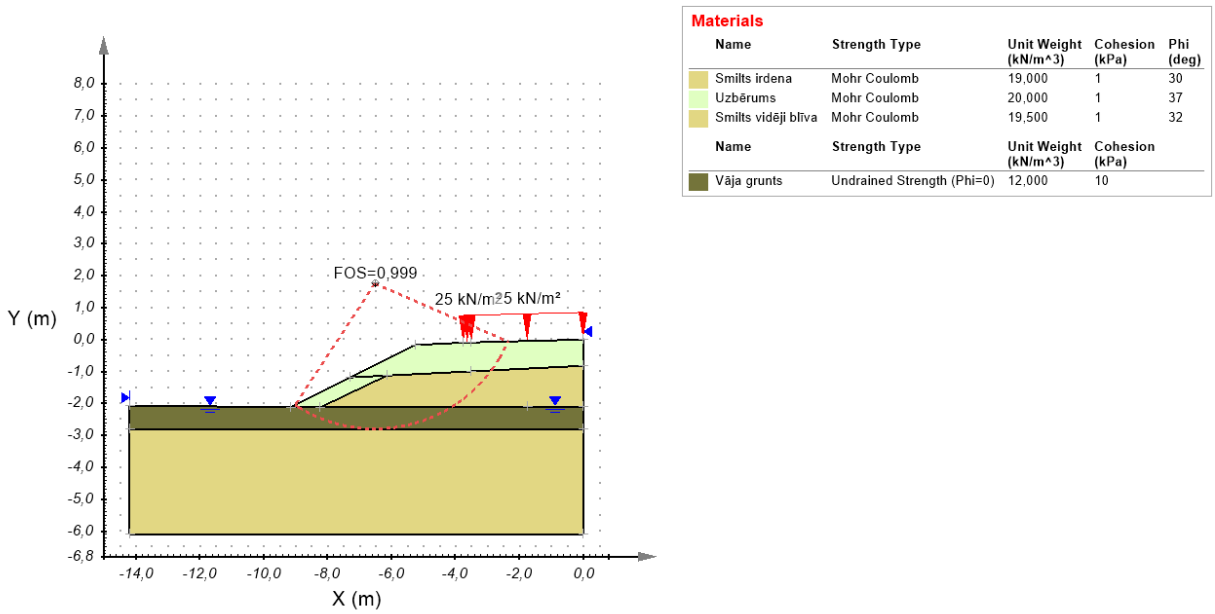
Maksimālā nepieciešamā ģeosintētiskā materiāla stiepes pretestība	Tds+Trf	45,95	kN/m

A.3. Nogāzes stabilitātes aprēķins

Nogāzes stabilitātes aprēķins bez un ar (ja nepieciešams) ģeosintētisko materiāli, veikts aprēķinu programmā, izmantojot līdzsvara vienādojumus atbilstoši globālajai līdzsvara vienādojumu (GLE) metodei (iespējams izmantot arī citas metodes):

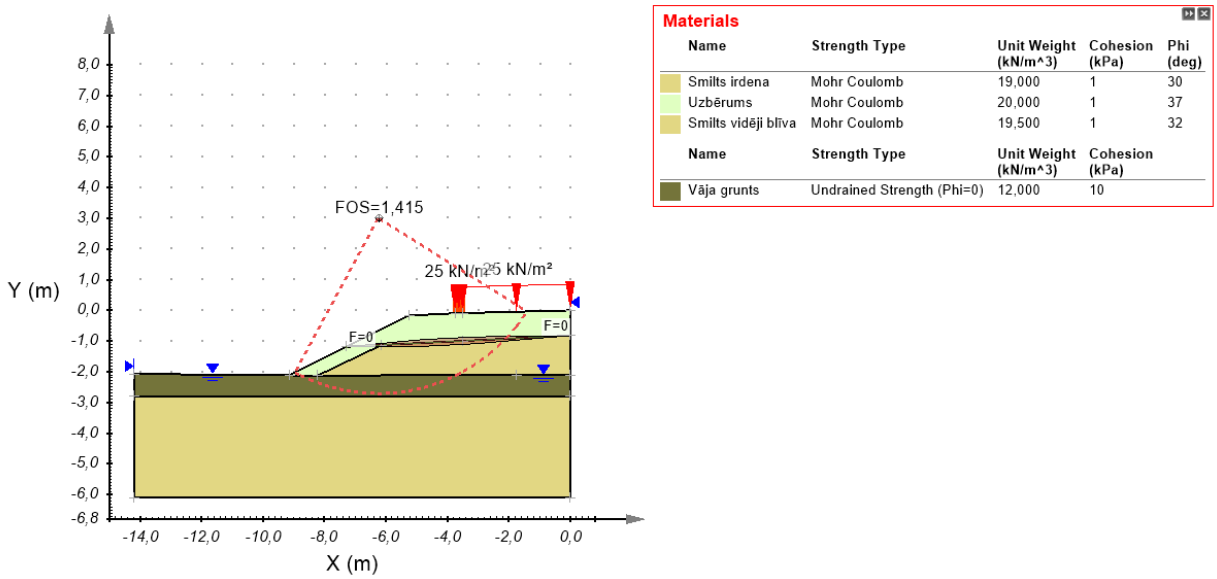
- nepieciešams izveidot grunts modeli – šķērsprofila ģeometrija, ģeotehniskie elementi un to biezumi atbilstoši ģeotehniskajai izpētei, transporta slodze;
- nepieciešams katram ģeotehniskajam elementam identificēt grunšu fizikālās (tilpumsvars) un mehāniskās (efektīvā saiste un iekšējās berzes leņķis, kā arī nedrenētā bīdes pretestība īslaicīgam aprēķinam, nedrenētam aprēķinam) īpašības;
- nepieciešams veikt aprēķinu atbilstoši LVS EN 1997-1 prasībām un aprēķina pieejai, izvērtējot gan nedrenētu, gan drenētu situāciju.

Attēls 2-40. Nogāzes stabilitātes aprēķins bez ģeosintētiskā materiāla konstrukcijas (izdruka no aprēķina programmas)



Ja nogāzes stabilitātes drošības faktors FOS < 1, tātad nepieciešams pārbaudīt, vai tā tiek nodrošināta ar ģeosintētisko materiālu ar 55 kN/m aprēķina stiepes stiprību. Lai gan katras aprēķinu programmas datu ievades logs var atšķirties, aprēķinā nepieciešams definēt ģeosintētiskā materiāla aprēķina stiepes stiprību, nostiprinājuma veidu un grunts-ģeosintētiskā materiāla berzes faktoru (a' = 0,8).

Attēls 2-41. Nogāzes stabilitātes aprēķins ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju (izdruka no aprēķina programmas)



Ja nogāzes stabilitātes drošības faktors *FOS* > 1, tātad ULS robežstāvoklis tiek nodrošināts ar ģeosintētisko materiālu, kura aprēķinu stiepes pretestība *Td* > 54,53 kN/m.

B. Lietojamības robežstāvokļa (SLS) aprēķins

Lietojamības robežstāvokļa (SLS) pārbaudē nepieciešams noteikt ģeosintētiskā materiāla stingumu, kas pie noteiktas slodzes var ierobežot relatīvo deformāciju pieņemtajā līmenī. Šajā gadījumā, atbilstoši BS 8006-1 vadlīnijām, relatīvā deformācija tiek ierobežota 5 % līmenī. [67]

B.1. Uzbēruma horizontālā izslīdēšana

Parametrs	Apz.	Vērtība	Mērv.	Atsauce
Uzbēruma augstums	H	2,12	m	
Uzbēruma grunts tilpumsvars	γ'	20	kN/m3	
Uzbēruma grunts iekšējās berzes leņķis	ϕ_{cv}	37	°	
Grunts aktīvā spiediena koeficients	K_a	0,248		[2.26.]
Transportslodze	w_s	25	kPa	
Grunts tilpumsvara parciālais faktors	f_{fs}	1		Tabula 2-4
Slodzes parciālais faktors	f_q	1		Tabula 2-4
Stiepes spēks horizontālās uzbēruma izslīdēšanas pretestībai	T_{ds}	18,65	kN/m	[2.25.]
Minimālais stiegrojuma enkurošanās garums	L_e	1,98	m	[2.27.]
Izslīdēšanas parciālais faktors	f_s	1		Tabula 2-4
Seku klases parciālais faktors	f_n	1		Tabula 2-2
Vidējais uzbēruma augstums virs enkurojuma garuma	h	1,06	m	
Uzbēruma grunts/stiegrojuma berzes attiecībā pret tan fi'cv	a'	0,8		
Parciālais faktors kūdrai	f_{ms}	1		Tabula 2-4

B.2. Zemas nestspējas slāņa izspiešanās pārbaude

Uzbēruma grunts/stiegrojuma adhēzijas koeficients	a'	0,5		
Nedrenētā grunts pretestība zemas nestspējas grunts slānim	c_u	10	kPa	
Nepieciešamais ģeosintētiskā materiāla enkurojums	L_e	1,34	m	[2.27.]
Nedrenētās pretestības parciālais faktors gruntij	f_{ms}	1		Tabula 2-4
Stiepes spēks zemas nestspējas slāņā izspiešanas pretestībai	Trf	6,73	kN/m	[2.32.]

Maksimālā nepieciešamā ģeosintētiskā materiāla stiepes pretestība	Tds+Trf	25,38	kN/m

Lai ierobežotu relatīvo deformāciju 5% līmenī, jānosaka minimālais nepieciešamais ģeosintētiskā materiāla aprēķina stingums.

Ģeosintētiskā materiāla aprēķina stingums	J	508	kN/m	[2.34.]

C. Ģeosintētiskā materiāla specifikācija

Tabula 2-11. Specifikāciju prasības zemes klātnes stiegrošanai nestspējas robežstāvoklī (ULS).

Paredzētā izmantošana: stiegrošana (R) saskaņā ar LVS EN ISO 13249			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība:**
Ilgtermiņa aprēķina stiepes stiprība	N/A	kN/m	≥ 46
Dinamiskā caursišanas pretestība**	EN ISO 13433	mm	≥ 27
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	gadi	≥ 100
Bīstamās vielas	Mazāk nekā noteikts ES dalībvalstu noteikumos		

*** tikai austajam augstas stiprības ģeotekstilam un ģeokompozītam.*

Tabula 2-12. Specifikāciju prasības zemes klātnes stiegrošanai lietojamības robežstāvoklī (SLS).

Paredzētā izmantošana: stiegrošana (R) saskaņā ar LVS EN ISO 13249			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība:**
Ilgtermiņa aprēķina stingums pie noteiktā pagarinājuma 5 %	N/A	kN/m	≥ 508
Dinamiskā caursišanas pretestība**	EN ISO 13433	mm	≥ 27
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	gadi	≥ 100
Bīstamās vielas	Mazāk nekā noteikts ES dalībvalstu noteikumos		

*** tikai austajam augstas stiprības ģeotekstilam un ģeokompozītam.*

Tiek apskatīti divi materiāli – Geolon (augstas stiprības austais ģeotekstils) un Secugrid/Combigrid (kombinētais ģerežģis ar tekstilu).

I. Combigrid 80/80 atbilstoši BBA sertifikātam:

$RF_{ID} = 1,0$
$RF_{CH} = 1,0$
$RF_{CR} = 1,39$
$f_s = 1,05$

$$T_{CR} = \frac{T_{char}}{RF_{CR}} = 80kN/m/1,39 = 58kN/m$$

$$T_D = \frac{T_{CR}}{f_m} = 58kN/m/1,0/1,0/1,05 = 55kN/m$$

$$J_{5\%} = \frac{T_D}{7\%} \sim \frac{T_{D5\%}}{5\%} = 785kN/m$$

II. Geolon PET 200/50 atbilstoši BBA sertifikātam:

$RF_{ID} = 1,66$
$RF_{CH} = 1,02$
$RF_{CR} = 1,46$
$f_s = 1,04$

$$T_{CR} = \frac{T_{char}}{RF_{CR}} = 200kN/m/1,46 = 137kN/m$$

$$T_D = \frac{T_{CR}}{f_m} = 137kN/m/1,02/1,04/1,66 = 78kN/m$$

$$J_{5\%} = \frac{T_D}{10\%} \sim \frac{T_{D5\%}}{5\%} = 780kN/m$$

Cena abiem materiāliem pieņemta vienāda – skatīt tabulu turpmāk.

Tabula 2-13. Zemes klātnes būvniecības izmaksas

Zemes klātnes būvniecība	Mērv.	EUR
Zemes klātnes uzbēruma būvniecība ar ģeosintētiskā materiāla stiegrošanu	m²	6,5

2.6.2 Izstrādāto pirmā piemēra risinājumu tehniski ekonomiskais un ietekmes uz vidi salīdzinājums

Cenu salīdzinājums veikts 100 m garam ceļa posmam, pieņemot, ka ģeosintētiskā materiāla kopējais garums šķērsvirzienā ir 22,40 m.

Tabula 2-14. Izmaksas projekta risinājumam ar grunts apmaiņu

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Zemes klātnes ierakuma būvniecība	m³	3002,81	5,73	17 203,07
Zemes klātnes uzbēruma būvniecība	m³	3002,81	10,54	31 644,04
			KOPĀ:	48 847,11

Tabula 2-15. Izmaksas projekta risinājumam ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Stiegrojošā ģeosintētiskā materiāla izbūve	m^2	2240	6,5	14 560,00

Risinājums ar ģeosintētisko materiālu ir pat 3,35 reizes lētāks. Risinājumu ar ģeosintētisko materiālu var veikt ātrāk.

Ietekmes uz vidi novērtējumā izmantotas ģeosintētikas ražotāju sniegtās izstrādājumu vides deklarācijas, pētījuma "Inventory of Carbon and Energy (ICE)" [83] un pētījuma 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

2.6.2.1 Mērķis

Aprēķina piemēra LCA mērķis ir salīdzināt divu līdzvērtīgu (pēc nestspējas un/vai funkcionalitātes) konstrukciju (aprēķiniem pieņemtās konstrukcijas skatīt iepriekš) būvniecības procesa CO_2 ekvivalenta radītās emisijas, lai kopsakarībā ar šo risinājumu potenciālajām izmaksām pamatotu projektam piemērotāko risinājumu.

2.6.2.2 Funkcionālā vienība

100 m garš posms, ceļa platums 10,5 metri, ar vienu joslu katrā virzienā. Tiek pieņemts, ka konstrukciju nestspēja un kalpošanas laiks ir vienāds attiecīgi uzrādītajiem tehniskajiem risinājumiem.

2.6.2.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

2.6.2.4 Dzīves cikla inventarizācija (LCI)

Dati par ģeosintētisko materiālu ražošanu un iebūvi iegūti no materiālu vides deklarācijām. Tiek apskatītas divu dažādu ražotāju deklarācijas (Nr. EPD-HUESKER-098-EN un EPD-Naue-066/2-EN). Dati par ražošanu pieejami abās vides deklarācijās; turpmākam aprēķinam tiek izmantota lielākā vērtība 3,81 kg CO_2 ekvivalents uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu (GWP). Dati par iebūvi pieejami tikai vienā no apskatītajām vides deklarācijām. Izmanto sekojošu vērtību – 0,343 kg CO_2 ekvivalents uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu (GWP).

Par ģeosintētisko materiālu transportēšanas attālumu, atbilstoši 1.5. nodaļā aprakstītajam, pieņemti 2000 km. Pieņemts, ka ģeosintētiskos materiālus ved pilnās kravās un pilnā kravā var iekraut 10 t. Degvielas patēriņš 30 l/100 km.

Pieņemts, ka minerālmateriālu zemes klātnes būvniecībai nepieciešams vest no atradnes 25 km attālumā no būvobjekta. Lai aprēķinātu minerālmateriāla piegādes CO_2 ekvivalentu, pieņemts, ka vienas piegādes ilgums ir 1,5 h.

Tiek uzskatīts, ka ģeosintētiskie materiāli tiks iebūvēti ar rokām.

Salīdzinot ietekmi uz vidi (siltumnīcefekta gāzu emisijām) 100 m garam posmam grunts apmaiņas risinājumam un risinājumam ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju, atšķirība ir vēl lielāka – attiecīgi 97,2 t CO_2 ekvivalents un 1,5 t CO_2 ekvivalents. Tātad ieguvums pārsniedz 90 reizes. Šajā aprēķinā ģeosintētiskajam materiāla tiek lietota EPD-Naue-066/2-EN produkta deklarācija, kas apraksta Naue GmbH & Co. KG produktu Combigrid 80/80 Q6 R 156 C – kompozīta ģeosintētisko materiālu. Tā kā materiāla iestrāde netiek deklarēta, tad tā tiek pieņemta 10% no ražošanas CO_2 ekvivalenta.

Tabula 2-16. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam bez ģeosintētikas

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Vienas grunts kravas transportēšanas laiks (h)	1,5	Pieņemta vērtība (50 km kopējam attālumam, turp un atpakaļ)
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,0052	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Grunts tilpumsvars (kg/m³)	2000	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
Grunts apmaiņas apjoms (m^3)	3002,81	Noteikts izstrādājot risinājumu
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 2-17. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam bez ģeosintētikas

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana no/uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO_2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Zemes klātnes ierakuma būvniecība	6005620	0,0052	31229,224	0,00535	32106,045	0	0,000	63335
ekskavators				0,000486				
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00486				
Zemes klātnes uzbēruma būvniecība	6005620	0,0052	31229,224	0,00535	32106,045	0,0008964	5383,438	68719
ekskavators				0,00049				
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00486				
buldozers						0,0005184		
greideris						0,00027		
veltnis						0,000108		
							PAVISAM KOPĀ:	**132054**

Tabula 2-18. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam ar ģeosintētiku

Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļai
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	4500	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
Ģeosintētiskā materiāla svars (kg/m²)	0,78	Pieņemta vērtība
Ģeosintētiskā materiāla iebūve (m²)	2240	Noteikts izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	3,81	Materiāla vides deklarācija Nr. EPD-HUESKER-098-EN
Iebūves CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,343	Materiāla vides deklarācija Nr. EPD-HUESKER-098-EN
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 2-19. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam ar ģeosintētiku

Darba pozīcija	**Daudzums (kg)**	**Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana**		**Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu**		**Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā**	
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	**Kopā**	**CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg**	**Kopā**	**CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg**	**Kopā**
Stiegrojošā ģeosintētiskā materiāla izbūve	1747,2	3,81	6656,832	0,432	754,790	0,343	599,290
						PAVISAM KOPĀ:	

2.6.2.5 Ietekmes novērtējums

Saskaņā ar veiktajiem aprēķiniem risinājumam bez ģeosintētikas CO_2 ekv. = 132 054 kg/100 m, bet risinājumam ar ģeosintētiku CO_2 ekv. = 8011 kg/100 m.

Salīdzinot aprēķinātās CO_2 ekv. Kg/100 m vērtības, var secināt, ka grunšu pastiprināšana ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju rada 16,5 reizes mazāku ietekmi. Var uzskatīt, ka grunšu pastiprināšanas risinājums ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju atstāj ievērojami mazāku ietekmi uz vidi, salīdzinot ar pilno grunts apmaiņas risinājumu.

2.6.3 Otrais piemērs ģeosintētisko materiālu lietošanai

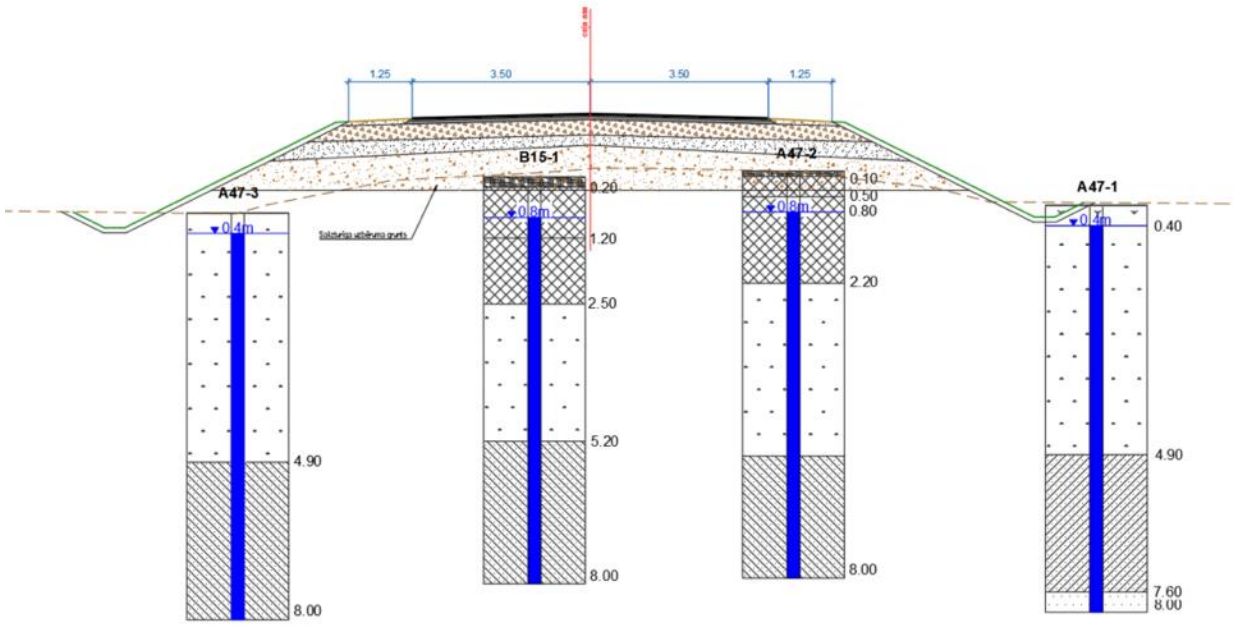
Esoša autoceļa pārbūves gadījumā zemes klātnē dažkārt tiek identificēts biezs zemas nestspējas grunts slānis, kura biezums pārsniedz 3 m. Šādā gadījumā nepieciešams veikt ģeotehniskos aprēķinus un izvērtēt iespējamos risinājumus, lai nodrošinātu autoceļa uzbēruma stabilitāti un lietojamību – nepieciešams veikt uzbēruma nogāzes stabilitātes un sēšanās aprēķinus. Ģeosintētiskie materiāli var būtiski paaugstināt nogāzes stabilitāti, bet kopējo sēšanos var ierobežot ar dažāda veida grunšu pastiprināšanu. Arī grunšu pastiprināšanas risinājumu gadījumā tiek izmantoti ģeosintētiskie materiāli, nodrošinot slodzes pārnesi.

2.6.3.1 Būvobjekta apraksts un problemātika

Būvprojekta piemērā apskatīts gadījums, kad zemes klātnē ir biezs zemas nestspējas grunts (kūdra) slānis, kas rada gan nestspējas, gan lietojamības problēmas. Nepieciešams ierobežot sēšanos. Lai to paveiktu, jāveic grunšu pastiprināšana. Ģeosintētiskais materiāls nepieciešams, lai nodrošinātu slodzes pārnesi no uzbēruma uz pastiprinājumiem, kā arī pārdalītu horizontālo spiedienu no uzbēruma grunts. Izvēlētajā piemērā zemes klātnē autoceļa šķērsprofilā identificēta kūdra – aptuveni 5 m biezumā (Attēls 2-42).

Šis aprēķins neņem vērā zemes klātnes nespēju un aprēķinā atbilstoši BS8006-1 grunšu parametri netiek definēti. Apskatītais aprēķins ir būtiski vienkāršots un neapskata pašu pastiprinājumu aprēķinu – tas nav iekļauts šajā pētījumā.

Attēls 2-42. Autoceļa šķērsprofils, kas izmantots otrajam aprēķina piemēram

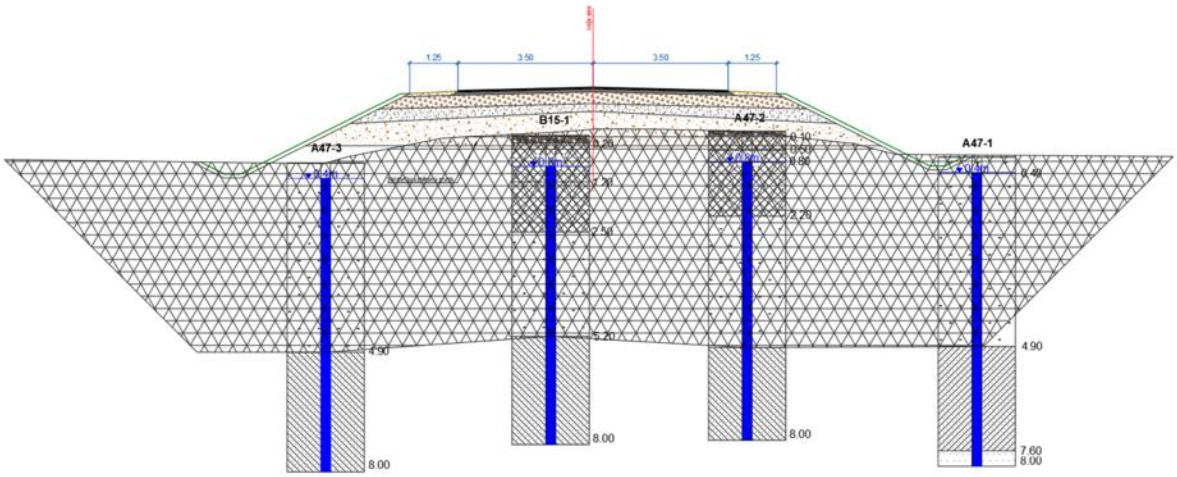


Šajā piemērā tiek salīdzināti divi risinājumi – grunts apmaiņa un grunšu pastiprināšana ar betona stingajiem pastiprinājumiem un ģeosintētisko materiālu slodzes pārneses platformā.

2.6.3.2 Risinājums bez ģeosintētiskā materiāla

Līdzīgi kā iepriekšējā piemērā, ja teritorija pie apmaināmās grunts laukuma nav ierobežota, ieteicams grunti atrakt ar malu slīpumu robežās no 1:4 līdz 1:2 – atkarībā no grunts parametriem un ierakuma dziļuma. Ja teritorija pie apmaināmās grunts laukuma ir ierobežota, nepieciešams izmantot pagaidu atbalstsienas, tās kombinējot ar spraišļu konstrukciju.

Attēls 2-43. Grunts apmaiņas apjoms izvēlētajam šķērsprofilam



Grunts apjoms, ko nepieciešams izrakt zem autoceļa segas konstrukcijas, veido 12 751,44 m³ (pieņemot 100 m garu posmu) – šo var pieņemt par apmaināmās grunts apjomu, kas attiecināms uz šo risinājumu.

Zemes klātnes būvniecības vienības izmaksas norādītas turpmāk.

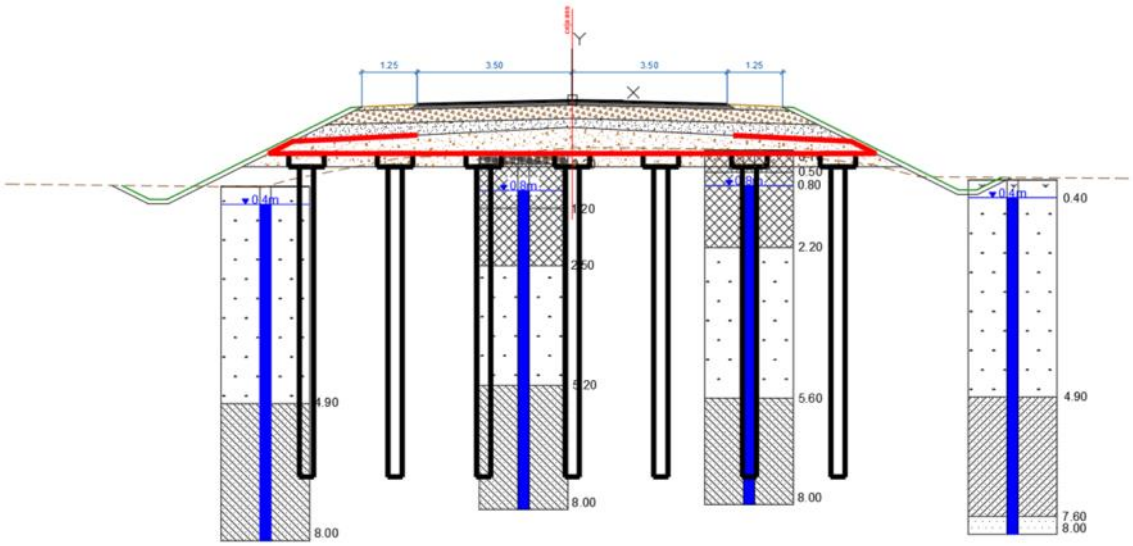
Tabula 2-20. Zemes klātnes būvniecības vienības izmaksas

Zemes klātnes būvniecība	Mērv.	EUR
Zemes klātnes uzbēruma būvniecība	m³	10,54
Zemes klātnes ierakuma būvniecība	m³	5,73

2.6.3.3 Risinājums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu

Zemes klātni iespējams pastiprināt ar betona stingajiem pastiprinājumiem un ģeosintētiskā materiāla konstrukciju. Šajā gadījumā nav nepieciešams veikt pilnu grunts apmaiņu.

Attēls 2-44. Izvēlētais šķērsprofils grunšu pastiprināšanas risinājumam



Pastiprinājumi izvietoti ar 2 x 2 m soli (kopā 7 pastiprinājumi vienā rindā), to garums ir 7 m un diametrs D = 0,32 m, iedziļinoties nestspējīgajā gruntī > 1 m.

Aprēķins jāveic atbilstoši 2.1. nodaļas vadlīnijām.

A. Ievadītie dati

Parametrs	Apz.	Vērtība	Mērv.
Atļautā slodze uz pāli	F_p =	254,8	kN
Režģoga izmērs (kvadrāts)	a =	0,80	m
Attālums starp pāļiem	s =	2,00	m
Nemainīga tilpuma iekšējais berzes leņķis	φ'_{cv1} =	38	°
Maksimālais iekšējais berzes leņķis	φ'_{peak} =	38	°
Berzes leņķis zem ģeosintētiskā materiāla	φ'_{cv2} =	32	°
Uzbēruma tilpumsvars	γ =	20	kN/m^3
Uzbēruma augstums	H =	1,20	m
Transporta slodze	w_s =	25	kN/m^2
Vidējais augstums, izslīdēšanai	h_s =	0,60	m
Vidējais augstums šķērsvirzienā	h =	0,60	m
Vidējais augstums garenvirzienā	h_a =	1,20	m
Berzes (tiešās slīdēšanas) faktors	α' =	0,8*	
Berzes faktors ģeosintētiskā materiāla augšā	α'_1 =	0,8*	
Berzes faktors ģeosintētiskā materiāla apakšā	α'_2 =	0,8*	
Stiegrojuma rel. deformācija	ε =	6,0	%

Parciālie faktori		ULS	SLS	Atsauce
Slodzes faktors: uzbēruma pašsvars	f_{fs} =	1,30	1,10	Tabula 2-4
Slodzes faktors: pastāvīgās slodzes	f_t =	1,20	1,00	Tabula 2-4
Slodzes faktors: mainīgās slodzes	f_q =	1,30	1,00	Tabula 2-4
Parciālais faktors: izraušana	f_p =	1,30	1,00	Tabula 2-4
Parciālais faktors: izslīdēšana	f_s =	1,30	1,00	Tabula 2-4
Parciālais faktors: $\tan\varphi'_{cv}$	f_{ms} =	1,00	1,00	Tabula 2-4
Konsekvences klases parciālais faktors	f_n =	1,10	1,10	Tabula 2-2
Parciālais faktors: šļūde	f_{cr} =	1,40	1,00	Tabula 2-4

** nepieciešams aprēķināt katram konkrētajam materiālam atbilstoši tā BBA sertifikātam un 2.1.2. nodaļā dotajām vadlīnijām*

Ģeometrijas pārbaude		
0,7 (s-a) < H 0,7 (2 m–0,8 m) < 1,2 m 0,84 m < 1,2 m	OK	[2.64.]

B. Aprēķins atbilstoši BS8006-1 [67]

	ULS		SLS	
E_{crown} – uzbēruma pašsvara daļa tieši uz pastiprinājumiem				
$K_p = (1+\sin\varphi_p)/(1-\sin\varphi_p)$	4,20		4,20	
$A = [1-(a/s)]^{2(Kp-1)}$	0,04		0,04	
$B = [s/\sqrt{2}\cdot H][(2K_p-2)/(2K_p-3)]$	1,40		1,40	
$C = [(s-a)/\sqrt{2}\cdot H][(2K_p-2)/(2K_p-3)]$	0,84		0,84	
$E_{crown} = 1-[1-(a/s)^2](A-AB+C)$	0,31		0,31	
E_{pile} – arkas efektivitāte režģoga līmenī				
$\beta= [2K_p/((K_p+1)(1+a/s))][(1-a/s)^{-Kp}-(1+K_pa/s)]$	6,79		6,79	
$E_{pile} = \beta/(1+\beta)$	0,87		0,87	
$E_{min} = \min\{E_{crown}, E_{pile}\}$	0,31		0,31	
$W_T = ((f_{fs}\gamma H+f_qw_s)/2(s-a))(1-E_{min})s^2$	73,38	kN	59,21	kN
$W_{T,min} = 0,15s(f_{fs}\gamma H+f_qw_s)$	19,11	kN	15,42	kN
$W_T = \text{Max}\{W_T, W_{T,min}\}$	73,38	kN	59,21	kN
Vidējais stiepes spēks ģeosintētiskajā materiālā				
$T_{rp} =[W_T(s-a)/2a]\cdot\sqrt{(1+1/6\varepsilon)}$	T_{rp} =	125,10	kN/m	100,94	kN/m
Horizontālās izslīdēšanas pretestība				
$K_a = \tan^2(45° - \varphi_{cvl}/2)$	Ka =	0,24		0,24	
$T_{ds} = 0,5\ K_a[f_{fs}\gamma H+2(f_qw_s)]H$	Tds =	13,73	kN/m	10,90	kN/m
Stiepes pretestība, kas nodrošina 6% rel.	SCS* =	46,5	%		

			ULS		SLS	
deformāciju (% ULS)						
Raksturīgā stiepes pretestība ⊥ perpendikulāri	$T_{tot} = T_{rp} + T_{ds}$	T_{tot} =	138,83	kN/m	111,85	kN/m
$T_{ult} = T_D$/SCS perpendikulāri	⊥	T_{CR} =	298,56	kN/m		
$T_{ult} = T_D$/SCS paralēli	//	T_{CR} =	269,03	kN/m		
$T_{ult} = T_D \cdot f_m \cdot f_{cr} \cdot f_n$	⊥ perpendikulāri			T_{CR} =	123,03	kN/m
$T_{ult} = T_D \cdot f_m \cdot f_{cr} \cdot f_n$	// paralēli			T_{CR} =	111,04	kN/m
T_{ult} perpendikulāri	⊥	T_{ult} =	298,56	kN/m	T_{ult} = 123,03	kN/m
T_{ult} paralēli	//	T_{ult} =	269,03	kN/m	T_{ult} = 111,04	kN/m
Horizontālā izslīdēšana	$L_e > [0,5K_aH(f_{fs}\gamma H + 2f_q w_s)f_s f_n]/[(\gamma h_s a' \tan\varphi'_{cv1})/f_{ms}]$				2,62	m
Šķērsām uzbērumam	$L_b > [f_n f_p (T_{rp}+T_{ds})]/[\gamma h(a'_1 \tan\varphi'_{cv1}/f_{ms} + a'_2 \tan\varphi'_{cv2}/f_{ms})]$				14,71	m
Paralēli uzbērumam	$L_b > [f_n f_p T_{rp}]/[\gamma h_a(a'_1 \tan\varphi'_{cv1}/f_{ms} + a'_2 \tan\varphi'_{cv2}/f_{ms})]$				6,63	m

** SCS jānolasa no materiāla BBA sertifikāta [69] – stiepes pretestība pie 6% pagarinājuma.*

Lai ierobežotu relatīvo deformāciju 6% līmenī, tiek noteikts minimālais nepieciešamais ģeosintētiskā materiāla aprēķina stingums.

Ģeosintētiskā materiāla aprēķina stingums	J	2050,55	kN/m

C. Ģeosintētiskā materiāla specifikācija

Tabula 2-21. Specifikāciju prasības zemes klātnes stiegrošanai nestspējas robežstāvoklī (ULS).

Paredzētā izmantošana: stiegrošana (R) saskaņā ar LVS EN ISO 13249			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība:**
Ilgtermiņa aprēķina stiepes stiprība	N/A	kN/m	≥ 300
Dinamiskā caursišanas pretestība**	EN ISO 13433	mm	≥ 27
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	gadi	≥ 100
Bīstamās vielas	Mazāk nekā noteikts ES dalībvalstu noteikumos		

*** tikai austajam augstas stiprības ģeotekstilam un ģeokompozītam.*

Tabula 2-22. Specifikāciju prasības zemes klātnes stiegrošanai lietojamības robežstāvoklī (SLS).

Paredzētā izmantošana: stiegrošana (R) saskaņā ar LVS EN ISO 13249			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība:**
Ilgtermiņa aprēķina stingums pie noteiktā pagarinājuma 6%	N/A	kN/m	≥ 2050
Dinamiskā caursišanas pretestība**	EN ISO 13433	mm	≥ 27
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	gadi	≥ 100
Bīstamās vielas	Mazāk nekā noteikts ES dalībvalstu noteikumos		

*** tikai austajam augstas stiprības ģeotekstilam un ģeokompozītam.*

Tiek apskatīti divi materiāli – Stabilenka (augstas stiprības austais ģeotekstils) un Secugrid HS (kombinētais ģeorežģis ar tekstilu).

I. Secugrid HS 400/100 atbilstoši BBA sertifikātam divos slāņos, kas veido 475 kN/m kopējo stiprību, pieņemot, ka otrs slānis mobilizē 75% no stiprības:

$$\boldsymbol{RF_{ID} = 1,0}$$
$$\boldsymbol{RF_{CH} = 1,0}$$
$$\boldsymbol{RF_{CR} = 1,5}$$
$$\boldsymbol{f_s = 1,04}$$

$$\boldsymbol{T_{CR} = \frac{T_{char}}{RF_{CR}} = 475\ kN/m/1,5 = 317kN/m}$$

$$\boldsymbol{T_D = \frac{T_{CR}}{f_m} = 317kN/m/1,0/1,0/1,04 = 305kN/m}$$

$$\boldsymbol{J_{6\%} = \frac{T_D}{10\%} \sim \frac{T_{D6\%}}{6\%} = 3050kN/m}$$

II. Stabilenka 600/50 atbilstoši BBA sertifikātam divos slāņos, kas veido 637,5 kN/m:

$$\boldsymbol{RF_{ID} = 1,1}$$
$$\boldsymbol{RF_{CH} = 1,01}$$
$$\boldsymbol{RF_{CR} = 1,5}$$
$$\boldsymbol{f_s = 1,02}$$

$$\boldsymbol{T_{CR} = \frac{T_{char}}{RF_{CR}} = 637,5kN/m/1,5 = 425kN/m}$$

$$\boldsymbol{T_D = \frac{T_{CR}}{f_m} = 425kN/m/1,01/1,02/1,1 = 375kN/m}$$

$$J = \frac{T_{D10\%}}{10\%} \sim \frac{T_{D6\%}}{6\%} = 3750kN/m$$

Cena abiem materiāliem pieņemta vienāda – skatīt tabulā turpmāk.

Tabula 2-23. Izmaksas zemes klātnes stiegrošanai ar ģeosintētisko materiālu

Zemes klātnes būvniecība	Mērv.	EUR
Zemes klātnes uzbēruma būvniecība ar ģeosintētiskā materiāla stiegrošanu	m²	6,5

2.6.4 Izstrādāto otrā piemēra risinājumu tehniski ekonomiskais un ietekmes uz vidi salīdzinājums

Cenu salīdzinājums veikts 100 m garam ceļa posmam.

Tabula 2-24. Izmaksas projekta risinājumam ar grunts apmaiņu

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Zemes klātnes ierakuma būvniecība	m³	12 751,44	5,73	73 065,75
Zemes klātnes uzbēruma būvniecība	m³	12 751,44	10,54	134 400,18
			KOPĀ:	207 465,93

Tabula 2-25. Izmaksas projekta risinājumam ar grunšu pastiprināšanu

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Stiegrojošā ģeosintētiskā materiāla izbūve	m²	4078,68	6,5	26 511,42
Pāļu izbūve (L = 7 m; D = 0,32 m)*	m³	200,98	808,21	162 434,05
Pāļu režģogu izbūve (0,8 x 0,8 x 0,3 m)**	m³	68,54	677,08	46 410,00
			KOPĀ:	235 355,47
** Pāļu izmaksas – 65 EUR/m* *** Pāļu režģoga izmaksas – 130 EUR/gab*				

Risinājums ar betona pastiprinājumiem un ģeosintētisko materiālu ir par 13% dārgāks.

Ietekmes uz vidi novērtējumā izmantotas ģeosintētikas ražotāju sniegtās izstrādājumu vides deklarācijas, pētījuma "Inventory of Carbon and Energy (ICE)" [83] un pētījuma 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

2.6.4.1 Mērķis

Aprēķina piemēra LCA mērķis ir salīdzināt divu līdzvērtīgu (pēc nestspējas un/vai funkcionalitātes) konstrukciju (aprēķiniem pieņemtās konstrukcijas skatīt iepriekš) būvniecības procesa CO_2 ekvivalenta radītās emisijas, lai kopsakarībā ar šo risinājumu potenciālajām izmaksām pamatotu projektam piemērotāko risinājumu.

2.6.4.2 Funkcionālā vienība

100 m garš posms, ceļa platums 10,5 metri, ar vienu joslu katrā virzienā. Tiek pieņemts, ka konstrukciju nestspēja un kalpošanas laiks ir vienāds attiecīgi uzrādītajiem tehniskajiem risinājumiem.

2.6.4.3 Tvērums

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)*, iekļaujot šādus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

2.6.4.4 Dzīves cikla inventarizācija (LCI)

Dati par ģeosintētisko materiālu ražošanu un iebūvi iegūti no materiālu vides deklarācijām. Tiek apskatītas divu dažādu ražotāju deklarācijas (Nr. EPD-HUESKER-098-EN un EPD-Naue-066/2-EN). Dati par ražošanu pieejami abās vides deklarācijās; turpmākam aprēķinam tiek izmantota lielākā vērtība 3,81 kg CO_2 ekvivalents uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu (GWP). Dati par iebūvi pieejami tikai vienā no apskatītajām vides deklarācijām. Izmanto sekojošu vērtību – 0,343 kg CO_2 ekvivalents uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu (GWP).

Par ģeosintētisko materiālu transportēšanas attālumu, atbilstoši 1.5. nodaļā aprakstītajam, pieņemti 2000 km. Pieņemts, ka ģeosintētiskos materiālus ved pilnās kravās un pilnā kravā var iekraut 10 t. Degvielas patēriņš 30 l/100 km.

Pieņemts, ka minerālmateriālu zemes klātnes būvniecībai nepieciešams vest no atradnes 25 km attālumā no būvobjekta. Lai aprēķinātu minerālmateriāla piegādes CO_2 ekvivalentu, pieņemts, ka vienas piegādes ilgums ir 1,5 h.

Pieņemts, ka betonu zemes klātnes būvniecībai nepieciešams vest no atradnes 25 km attālumā no būvobjekta. Lai aprēķinātu minerālmateriāla piegādes CO_2 ekvivalentu, pieņemts, ka vienas piegādes ilgums ir 1,5 h.

Tiek uzskatīts, ka ģeosintētiskie materiāli tiks iebūvēti ar rokām. Betona pastiprinājumi izvietoti ar 2 x 2 m soli (kopā 7 pastiprinājumi vienā rindā), to garums ir 7 m un diametrs D = 0,32 m, iedziļinoties nestspējīgajā gruntī > 1 m. Virs pastiprinājumiem izbūvēti 0,8 x 0,8 x 0,3 m betona režģogi.

Tabula 2-26. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam bez ģeosintētikas

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Vienas grunts kravas transportēšanas laiks (h)	1,5	Pieņemta vērtība (50 km kopējam attālumam, turp un atpakaļ)
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,0052	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Grunts tilpumsvars (kg/m³)	2000	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
Grunts apmaiņas apjoms (m³)	12751	Noteikts izstrādājot risinājumu
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 2-27. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam bez ģeosintētikas

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana no/uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO_2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Zemes klātnes ierakuma būvniecība	25502000	0,0052	132610,400	0,00535	136333,692	0	0,000	268944
ekskavators				0,000486				
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00486				
Zemes klātnes uzbēruma būvniecība	25502000	0,0052	132610,4	0,00535	136333,692	0,0008964	22859,993	291804
ekskavators				0,00049				
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00486				
buldozers						0,0005184		
greideris						0,00027		
veltnis						0,000108		
							PAVISAM KOPĀ:	**560748**

Tabula 2-28. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam ar drenāžas ģeosintētiku

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Vienas betona kravas transportēšanas laiks (h)	1,5	Pieņemta vērtība (50 km kopējam attālumam, turp un atpakaļ)
Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļai
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	4500	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
Ģeosintētiskā materiāla svars (kg/m²)	0,78	Pieņemta vērtība
Ģeosintētiskā materiāla iebūve (m²)	4080	Noteikts izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	3,81	Materiāla vides deklarācija Nr. EPD-HUESKER-098-EN
Iebūves CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,343	Materiāla vides deklarācija Nr. EPD-HUESKER-098-EN
Betons CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,09	Hertz, K. D., & Halding, P. S. (2020). CO2 emissions from building lifecycles. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering. BYG Report No. R-439
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 2-29. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam ar drenāžas ģeosintētiku

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Stiegrojošā ģeosintētiskā materiāla izbūve	3182,4	3,81	12124,944	0,432	1374,797	0,343	1091,563	14591
Betona režģogi	157651,2	0,09	14188,608	0,00486	766,185	0,101	15962,184	30917
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00486				
ekskavators						0,020		
Betona pāļi	462257,5	0,09	41603,172	0,00486	2246,571	0,081	37442,854	81293
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00486				
pāļu mašīna						0,041		
betona sūknis						0,020		
ekskavators						0,020		
							PAVISAM KOPĀ:	**126801**

2.6.4.5 Ietekmes novērtējums

Saskaņā ar veiktajiem aprēķiniem risinājumam bez ģeosintētikas CO_2 ekvivalents = 560 748 kg/100 m, bet risinājumam ar ģeosintētiku un grunts pastiprināšanu CO_2 ekvivalents = 126 801 kg/100 m.

Salīdzinot aprēķinātās CO_2 ekvivalenta kg/100 m vērtības, var secināt, ka grunšu pastiprināšana ar betona pastiprinājumiem un ģeosintētiskā materiāla konstrukciju rada 4,4 reizes mazāku ietekmi. Var uzskatīt, ka grunšu pastiprināšanas risinājums ar betona pastiprinājumiem un ģeosintētiskā materiāla konstrukciju atstāj ievērojami mazāku ietekmi uz vidi, salīdzinājumā ar pilno grunts apmaiņas risinājumu.

2.7 Lietošanas un labās prakses piemēri

2.7.1 Objekts A13 Krievijas robeža (Grebņeva) – Rēzekne – Daugavpils – Lietuvas robeža (Medumi) km 53,223-53,410

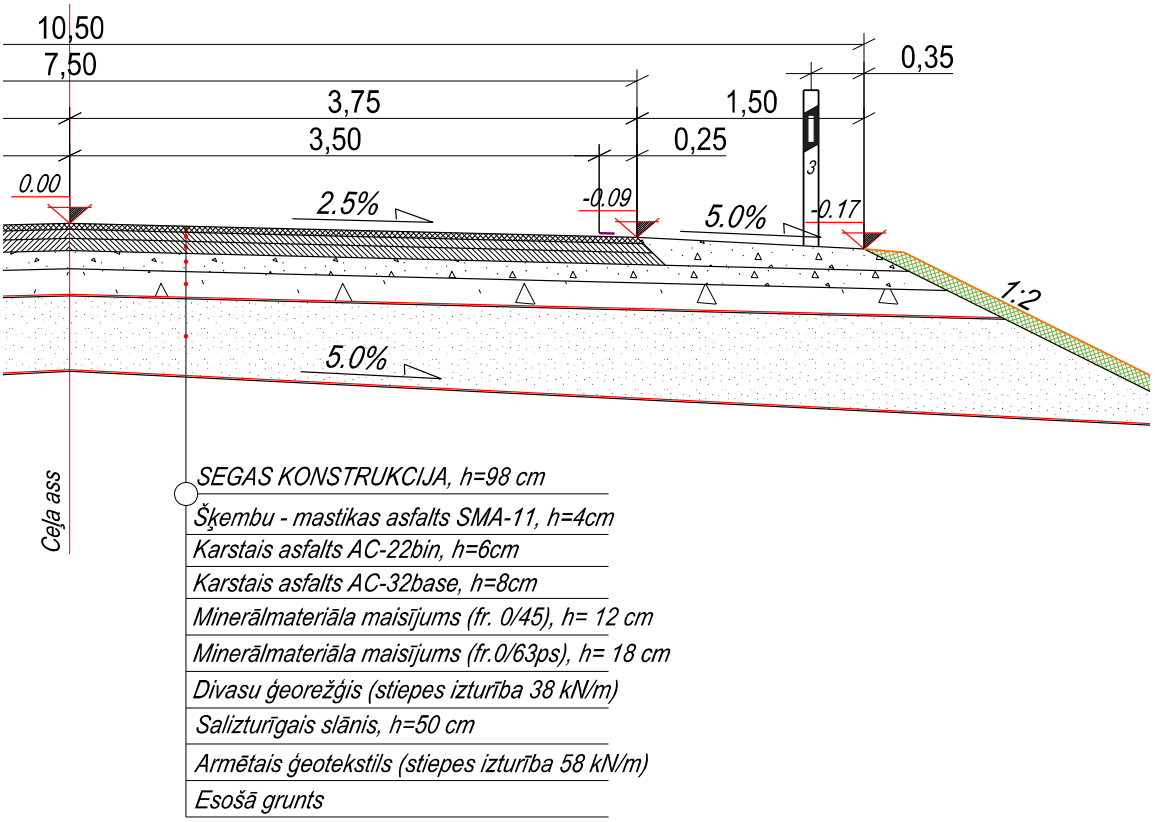
Objekts A13 Krievijas robeža (Grebņeva) – Rēzekne – Daugavpils – Lietuvas robeža (Medumi) km 53,223-53,410 uzbūvēts apmēram 2014 gadā.

2.7.1.1 Būvprojekta dati

Objektā posmā no Pk 533+40 līdz Pk 534+10 ceļa segas pastiprināšanai lietoti ģeorežģi:

- starp zemes klātni un ceļa segas salizturīgo kārtu lietots divasu ģeorežģis ar nominālo stiprību Tchar = 38k N/m;
- starp ceļa segas salizturīgo kārtu un nesaistītu minerālmateriālu nesošo kārtu lietots divasu ģeorežģis ar nominālo stiprību T char = 58k N/m.

Attēls 2-45. Ceļa šķērsprofils



2.7.1.2 Objekta apsekošana

Šī pētījuma ietvaros 2022. gada 13. jūlijā tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu uzbūvētā ceļa segas pastiprinājuma risinājuma tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieki J. Melnis, A. Zariņš, A. Paeglītis, A. Strežs, J. Kivilands.

Brauktuves kreisajā joslā 53,3 km konstatētas asfalta seguma garenplaisas un iesēdums.

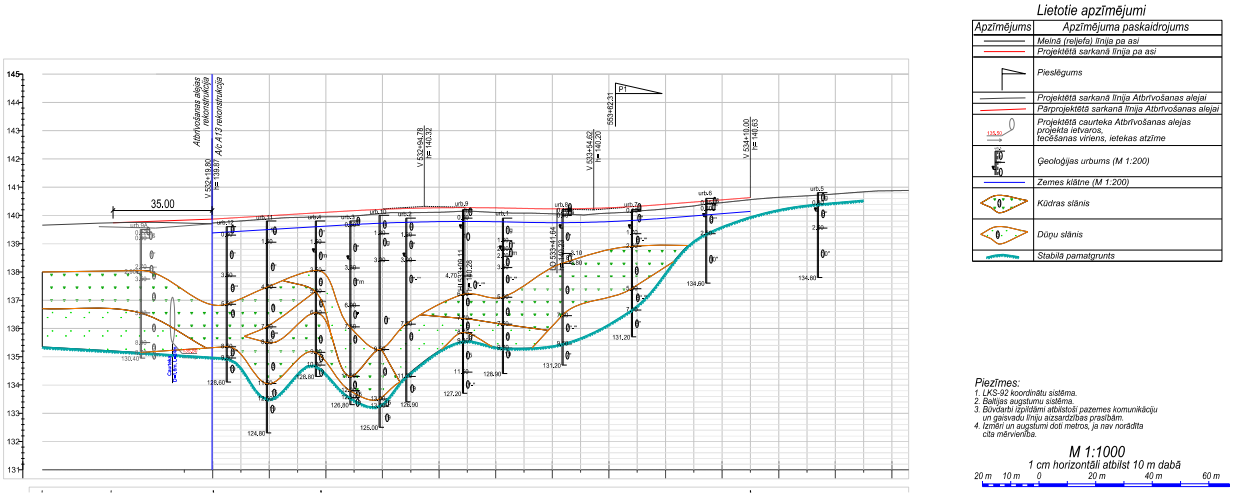
Attēls 2-46. Deformācija A13 pie Rēzeknes, kreisā josla

Attēls 2-47. Deformācija A13 pie Rēzeknes, kreisā josla

2.7.1.3 Risinājumu un ietekmējošo faktoru analīze

Garenplaisas un iesēdums asfalta segumā izveidojies zemes klātnē esošo grunšu sēšanās dēļ. Visā projektētā autoceļa garumā zemes klātnē identificēta kūdra un dūņas.

Attēls 2-48. Būvprojekta rasējums – ceļu daļa, garenprofils



Konstatēts, ka būvprojektā nav veikti aprēķini zemes klātnes risinājumam ar ģeosintētiskajiem materiāliem. Nepieciešamie aprēķini doti šī pētījuma 2.3. nodaļā. Ja netiek veikti ģeosintētiskā materiāla aprēķini nestspējas robežstāvoklī un lietojamības robežstāvoklī, pastāv iespēja, ka ģeosintētiskais materiāls var tikt pārrauts. Ja zemes klātnē netiek ierobežotas vertikālās un horizontālās deformācijas, var veidoties iesēdumi.

2.7.1.4 Secinājumi un ieteikumi

Būvprojektā ir jāapskata visus robežstāvokļus, veicot atbilstošus aprēķinus. Aprēķinus nepieciešams veikt atbilstoši ģeotehniskās izpētes datiem. Ģeotehniskajai izpētei gan pēc izmeklējumu apjoma, gan veicamās testēšanas, jāatbilst konkrētā būvprojekta specifikai. Izpēte jāveic šķērsprofilos ik pēc 20-200 m.

Ģeosintētiskie materiāli jālieto tikai atbilstoši to funkcijai. Jāņem vērā, ka ģeosintētiskie materiāli var samazināt nevienmērīgas deformācijas, bet kopējās deformācijas netiks ierobežotas. Kopējās vertikālās deformācijas iespējams samazināt ar grunšu pastiprināšanas metodēm vai arī uzbēruma būvēšanai izmantojot vieglsvara materiālus.

2.7.2 Objekts A9 Rīga (Skulte) – Liepāja km 95,41-95,43 (Brocēnos)

Objekta A9 Rīga (Skulte) – Liepāja posms km 95,41-95,43 (Brocēnos) uzbūvēts 2012. gadā.

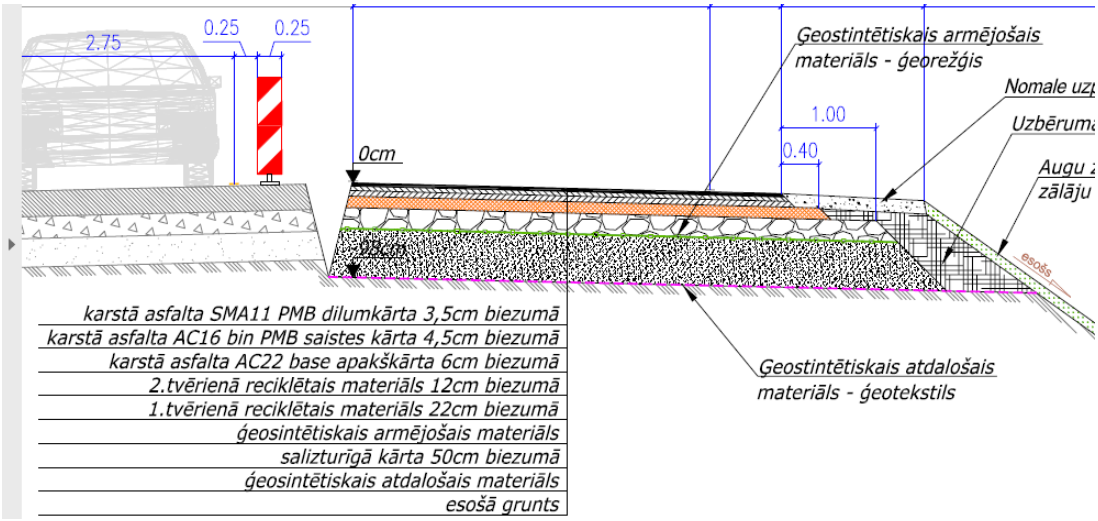
2.7.2.1 Būvprojekta dati

Objektā posmā no 95,41 km līdz 95,43 km ceļa segas pastiprināšanai lietoti ģeomateriāli:

- ∇ atdalošais ģeotekstils starp zemes klātni un ceļa segas salizturīgo kārtu;

- ģeorežģis starp ceļa segas salizturīgo kārtu un nesaistītu minerālmateriālu nesošo kārtu.

Attēls 2-49. Būvprojektā paredzētā segas konstrukcija posmā km 95,41-95,43



2.7.2.2 Objekta apsekošana

Šī pētījuma ietvaros 2022. gada 18. jūlijā tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu uzbūvētās ceļa segas risinājuma tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieki A. Strežs un J. Kivilands.

Konstatēts pastāvīgi progresējošs zemes klātnes noslīdējums. Apsekošanas brīdī redzams, ka noslīdējums ir kreisajā joslā apmēram 50 m garā posmā. Ir veikti remontdarbi, tomēr noslīdēšanas process turpinās.

Attēls 2-50. Noslīdējums

Zemes klātnes apakšējā daļā konstatēts paaugstināts mitruma daudzums.

2.7.2.3 Risinājumu un ietekmējošo faktoru analīze

Defektu rašanās cēloņu noskaidrošanai 2023. gada maijā, lai novērtētu zemes klātnes gruntis, to mitrumu, gruntsūdens līmeni, pētījuma ietvaros ir veikta ģeotehniskā izpēte gan zemes klātnes uzbēruma apakšā – pie zemes klātnes pēdas, gan uz ceļa nomales. Ģeotehnisko izpēti veica AS "Ceļuprojekts".

Ģeotehniskās izpētes mērķis – sniegt detalizētu informāciju par autoceļa uzbēruma sastāvu un dabīgās pamatnes gruntīm, tai skaitā grunts slāņu litoloģisko sastāvu, īpašībām un slāņu izplatību kā griezumā, tā vērsumā, lai noskaidrotu autoceļa konstrukcijā novērojamo deformāciju cēloni.

Grunts izpēte veikta atbilstoši LVS EN 1997-2 "7. Eirokodekss. Ģeotehniskā projektēšana. 2. daļa: Pamatnes grunts izpēte un testēšana". [84] Grunšu klasificēšana veikta atbilstoši LVS EN ISO 14688-2 "Ģeotehniskā izpēte un testēšana - Augsnes identificēšana un klasificēšana - 2.daļa: Klasificēšanas principi". [85]

Mehāniskās urbšanas darbi izpildīti saskaņā ar LVS EN ISO 22475-1 „Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Paraugošanas metodes un gruntsūdens līmeņa mērīšana. 1. daļa: Izpildes tehniskie principi" [86] lietojot vibrourbšanas metodi ar iedzenamajiem gruntstveriem Ø 60-80 mm (paraugošanas kategorija – "B"). Izpētes darbu precizitāte noteikta atbilstoši lietojamā urbšanas instrumenta specifikai, t.i. ± 0.1 m.

Statiskās zondēšanas darbi izpildīti saskaņā ar LVS EN ISO 22476-1 „Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka izmēģinājumi. 1. daļa: Penetrācijas testi ar elektrisko un pjezokonusu". [87]

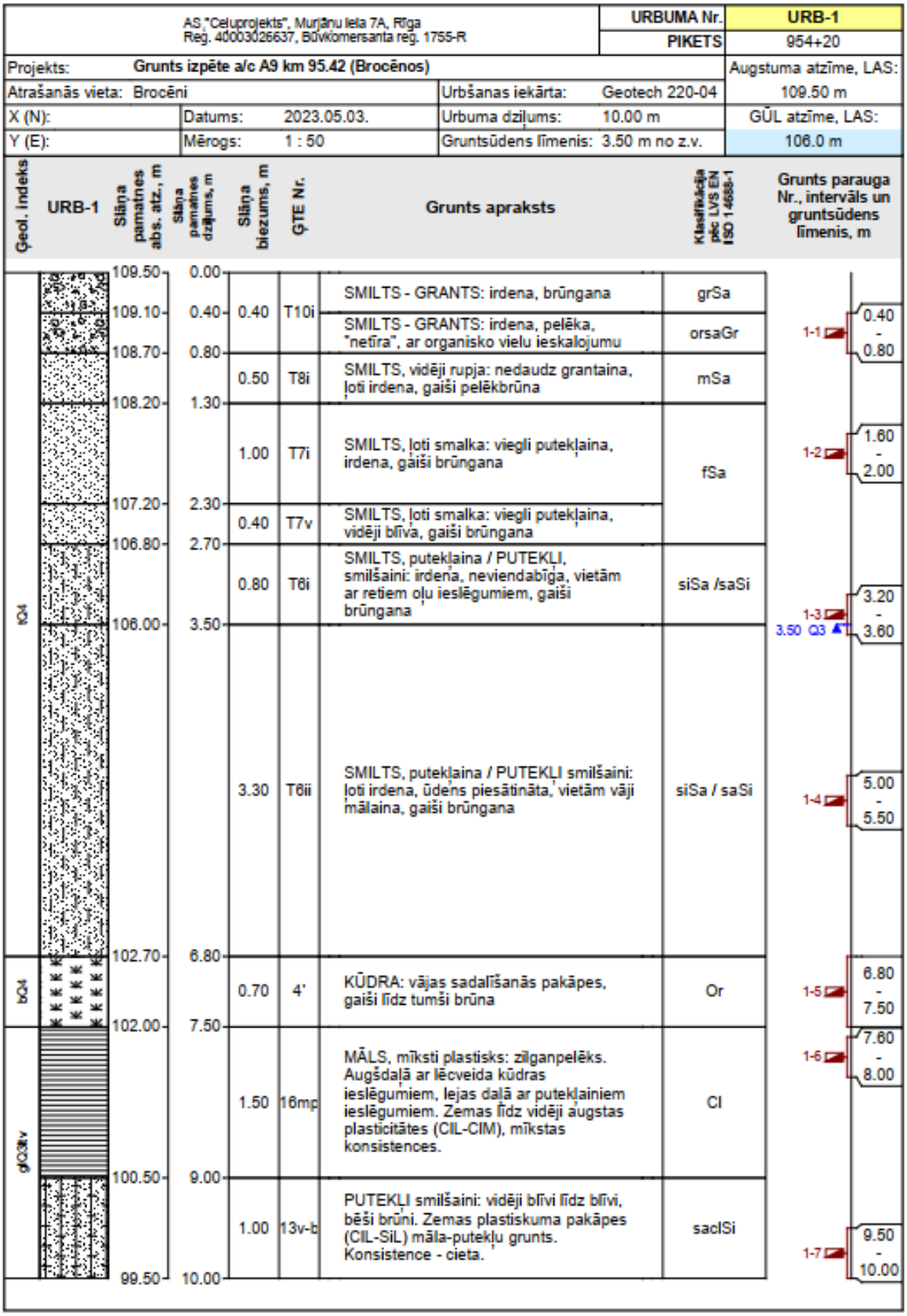
Lauka spārniņgriezes (FVT) testēšanas darbi izpildīti saskaņā ar LVS ES ISO 22476-9 standarta "Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka izmēģinājumi. 9. daļa: Tests ar lauka spārniņgriezes ierīci" [88] prasībām, izmantojot Geonor H-70 spārniņgriezes ierīci ar 60x120 mm konusveida lāpstiņu.

2.7.2.4 Teritorijas ģeoloģiskie apstākļi

Pēc fizioģeogrāfiskā dabas apvidu iedalījuma izpētes objekts atrodas Austrumkursas augstienes Saldus pauguraināē. Ģeomorfoloģiski tas atrodas glaciolimnisko putekļaino un mālaino nogulumu līdzenumā (glQ3ltv), ko vietām saposmo glaciofluviālo nogulumu (gfQ3ltv) veidotās reljefa formas. Lai arī Brocēnu un Saldus apkārtnē kopējais kvartāra nogulumu segas biezums visbiežāk nepārsniedz 10,0 m, izpētes objekts iespējams atrodas virs subglaciālās iegulas, kurā izvietojies arī tiešā tuvumā esošais

Cieceres ezers. Izpētes teritorijā līdz izpētes dziļumam (10,0 m no dabīgā zemes virsmas līmeņa) konstatēti arī purva nogulumi (bQ4), kas uzguļ mālainiem un putekļainiem ledāju kušanas ūdeņu baseina nogulumiem (glQ3ltv). Abu urbumu apraksti doti zemāk.

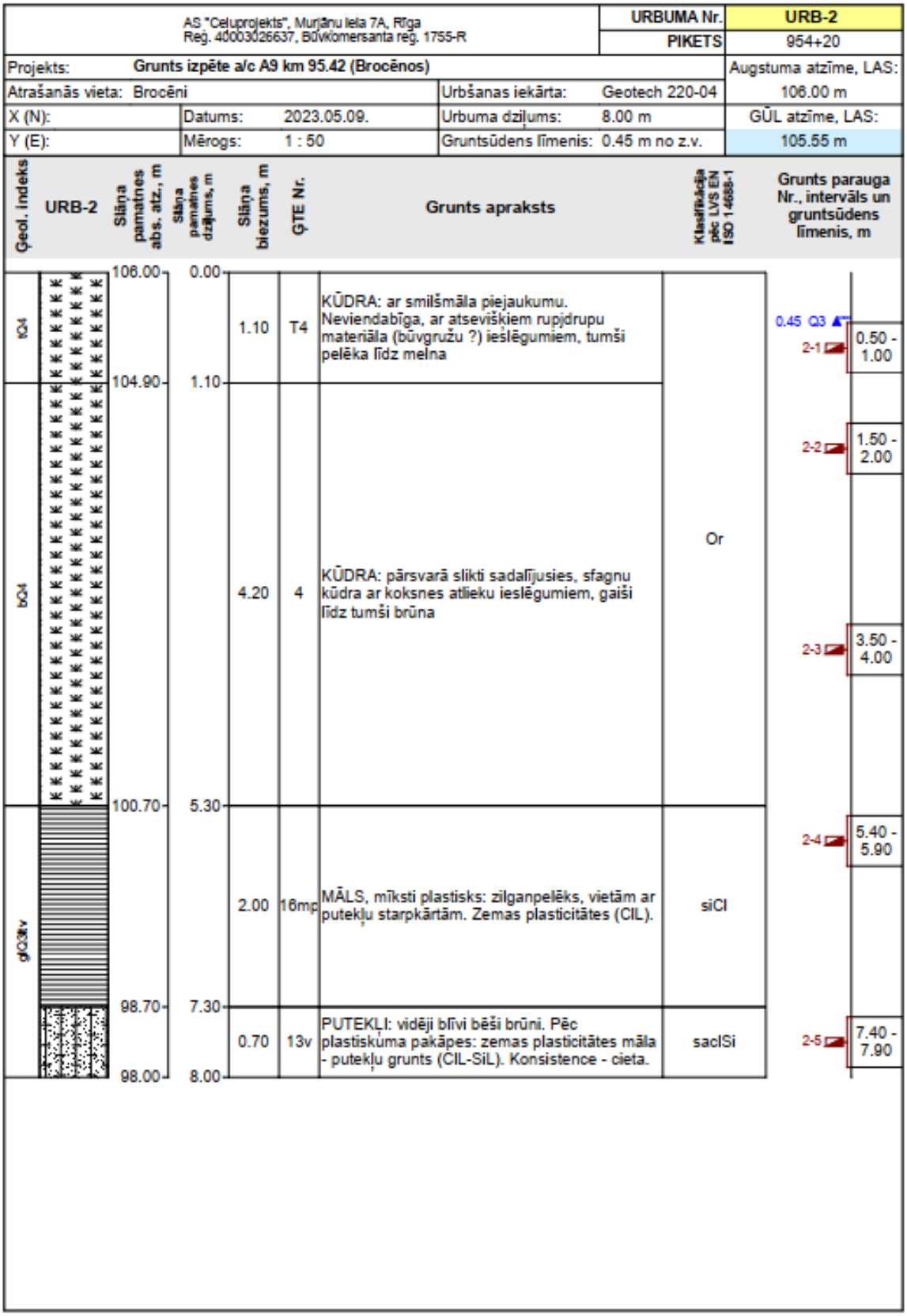
Attēls 2-51. Urbuma URB-1 apraksts



AS "Ceļuprojekts", Murjāņu ielā 7A, Rīga Reg. 40003026637, Būvkomersanta reģ. 1755-R				URBUMA Nr.	URB-1
				PIKETS	954+20
Projekts:	Grunts izpēte a/c A9 km 95.42 (Brocēnos)				Augstuma atzīme, LAS:
Atrašanās vieta:	Brocēni		Urbšanas iekārta:	Geotech 220-04	109.50 m
X (N):	Datums:	2023.05.03.	Urbuma dziļums:	10.00 m	ĢŪL atzīme, LAS:
Y (E):	Mērogs:	1 : 50	Gruntsūdens līmenis:	3.50 m no z.v.	106.0 m

Ģeol. indeks	URB-1	Slāņa pamatnes abs. atz., m	Slāņa pamatnes dziļums, m	Slāņa biezums, m	ĢTE Nr.	Grunts apraksts	Klasifikācija pēc LVS EN ISO 14688-1	Grunts parauga Nr., intervāls un gruntsūdens līmenis, m
tQ4		109.50	0.00					
		109.10	0.40	0.40	T10i	SMILTS - GRANTS: irdena, brūngana	grSa	
			0.80			SMILTS - GRANTS: irdena, pelēka, "netīra", ar organisko vielu ieskalojumu	orsaGr	1-1 0.40 - 0.80
		108.70		0.50	T8i	SMILTS, vidēji rupja: nedaudz grantaina, ļoti irdena, gaiši pelēkbrūna	mSa	
		108.20	1.30	1.00	T7i	SMILTS, ļoti smalka: viegli putekļaina, irdena, gaiši brūngana	fSa	1-2 1.60 - 2.00
		107.20	2.30	0.40	T7v	SMILTS, ļoti smalka: viegli putekļaina, vidēji blīva, gaiši brūngana		
		106.80	2.70	0.80	T6i	SMILTS, putekļaina / PUTEKĻI, smilšaini: irdena, neviendabīga, vietām ar retiem oļu ieslēgumiem, gaiši brūngana	siSa /saSi	1-3 3.20 - 3.60
		106.00	3.50					3.50 Q3
				3.30	T6ii	SMILTS, putekļaina / PUTEKĻI smilšaini: ļoti irdena, ūdens piesātināta, vietām vāji mālaina, gaiši brūngana	siSa / saSi	1-4 5.00 - 5.50
bQ4		102.70	6.80	0.70	4'	KŪDRA: vājas sadalīšanās pakāpes, gaiši līdz tumši brūna	Or	1-5 6.80 - 7.50
gQ3lv		102.00	7.50	1.50	16mp	MĀLS, mīksti plastisks: zilganpelēks. Augšdaļā ar lēcveida kūdras ieslēgumiem, lejas daļā ar putekļainiem ieslēgumiem. Zemas līdz vidēji augstas plasticitātes (CIL-CIM), mīkstas konsistences.	Cl	1-6 7.60 - 8.00
		100.50	9.00	1.00	13v-b	PUTEKĻI smilšaini: vidēji blīvi līdz blīvi, bēši brūni. Zemas plastiskuma pakāpes (CIL-SiL) māla-putekļu grunts. Konsistence - cieta.	saclSi	1-7 9.50 - 10.00
		99.50	10.00					

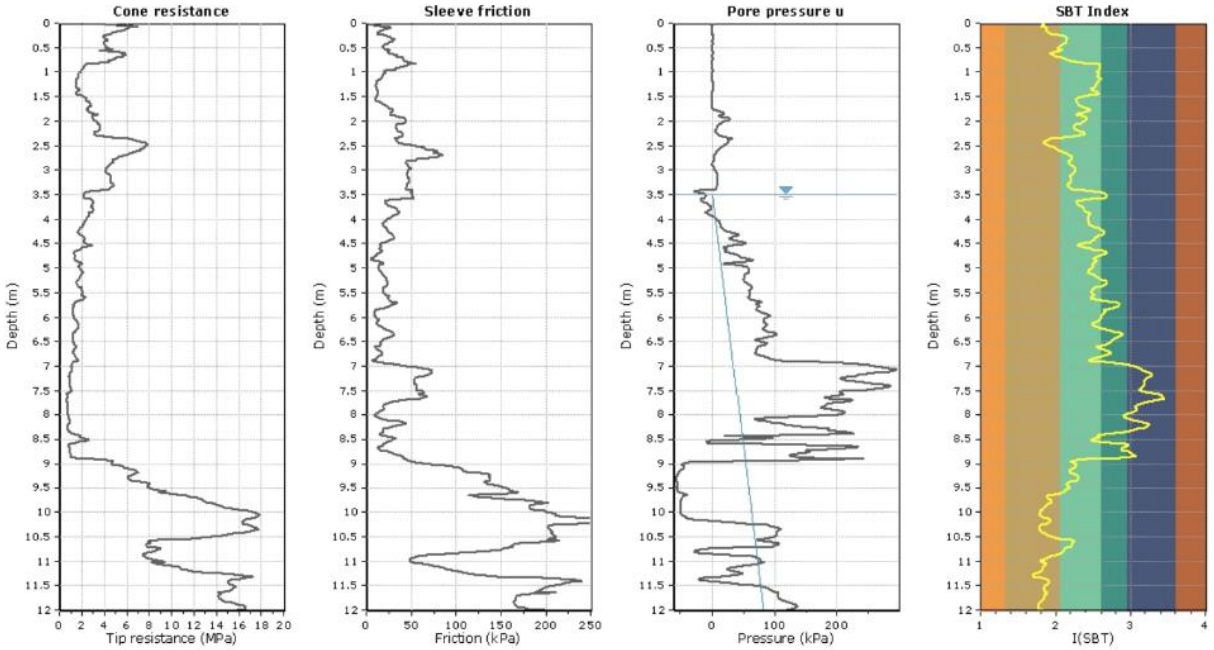
Attēls 2-52. Urbuma URB-2 apraksts



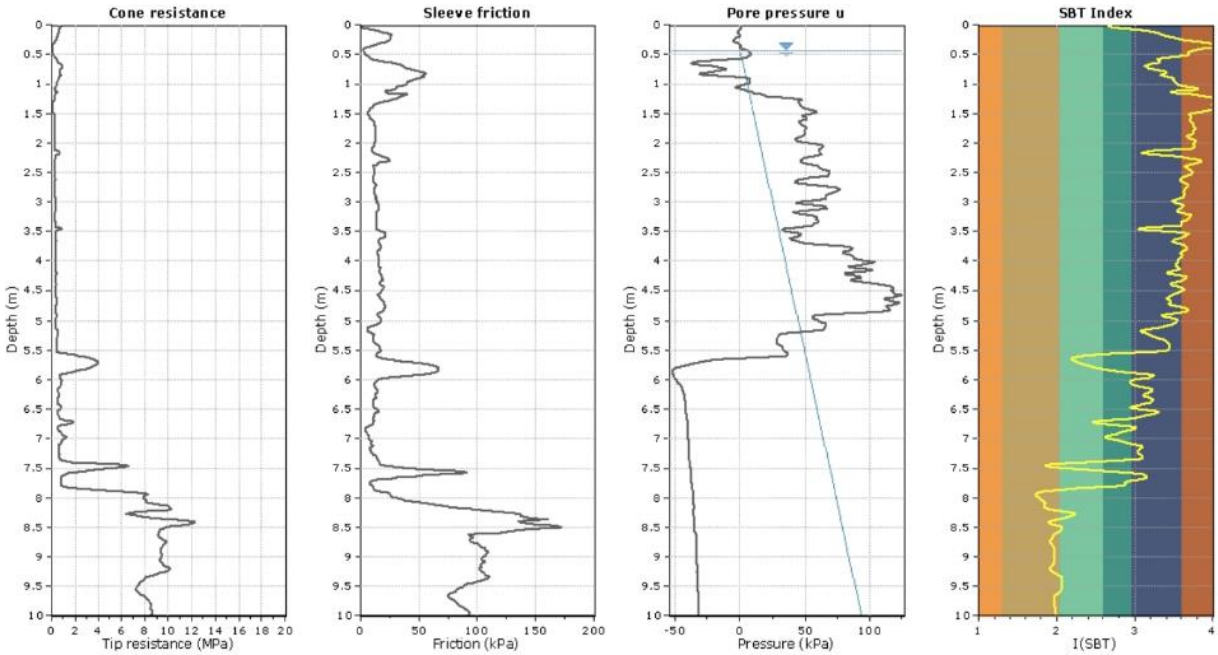
Gruntsūdens ģeotehniskās izpētes laikā pirmajā urbumā tika piemērīts 3,50 m dziļumā no zemes virsmas, savukārt 2. urbumā – 0,45 m dziļumā kas atbilst aptuveni 105,6...160,0 m absolūtā augstuma atzīmēm LAS.

Statiskās zondāža (CPTU) ar porūdens spiediena mērīšanu veikta blakus abiem urbumiem un to izdrukas dotas attēlos zemāk.

Attēls 2-53. Statiskās zondāžas punkta CPT-1 grafiki

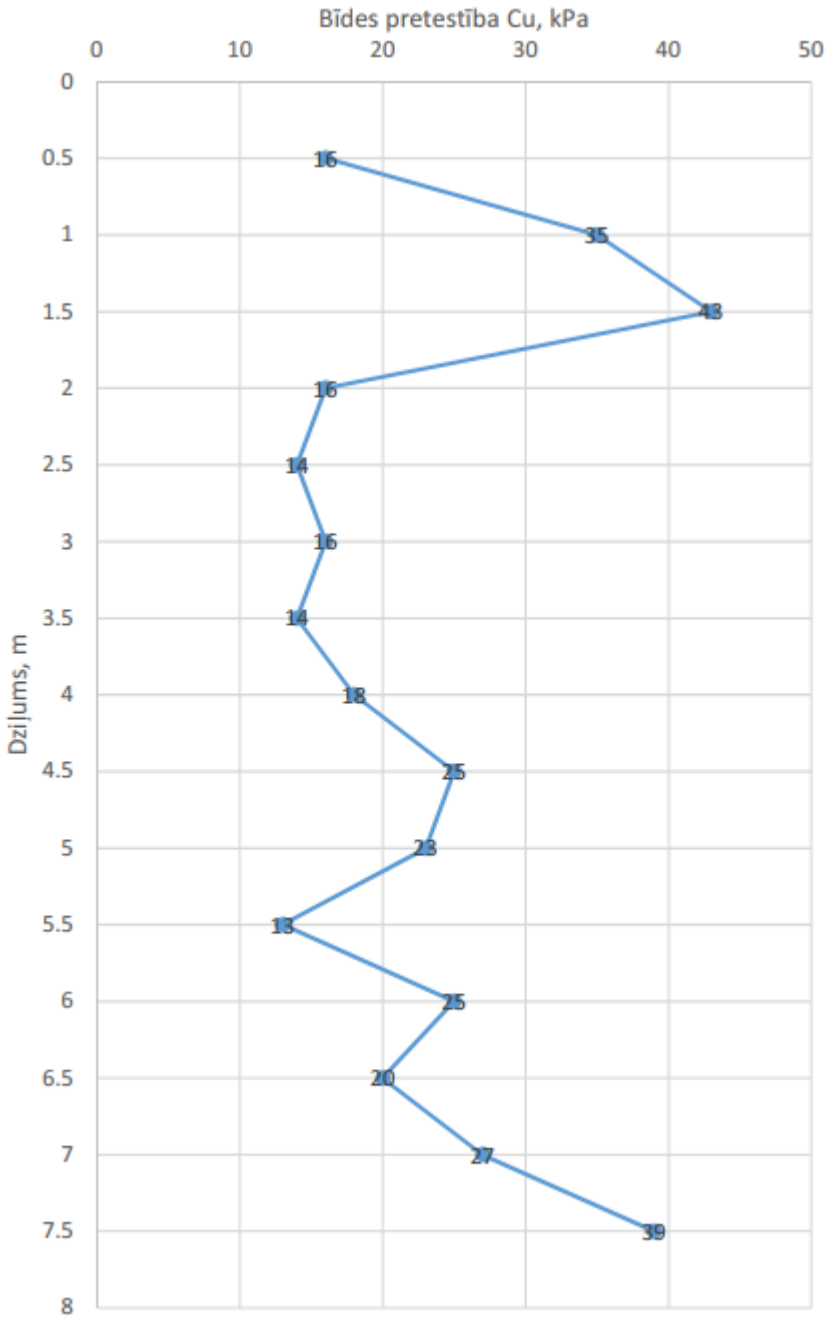


Attēls 2-54. Statiskās zondāžas punkta CPT-2 grafiki



Otrajā izpētes punktā veikts spārniņgriezes tests līdz 7,5 m dziļumam.

Attēls 2-55. Spārniņgriezes profils pie URB-2



Trīs kūdras paraugiem veikta detalizēta analīze un identifikācijas testi, kas apkopoti tabulās zemāk. Viens no kūdras raksturīgajiem parametriem ir organisko vielu saturs, dabiskais mitrums, kūdras sadalīšanās pakāpe.

Tabula 2-30. *Kūdras testēšanas pārskati*

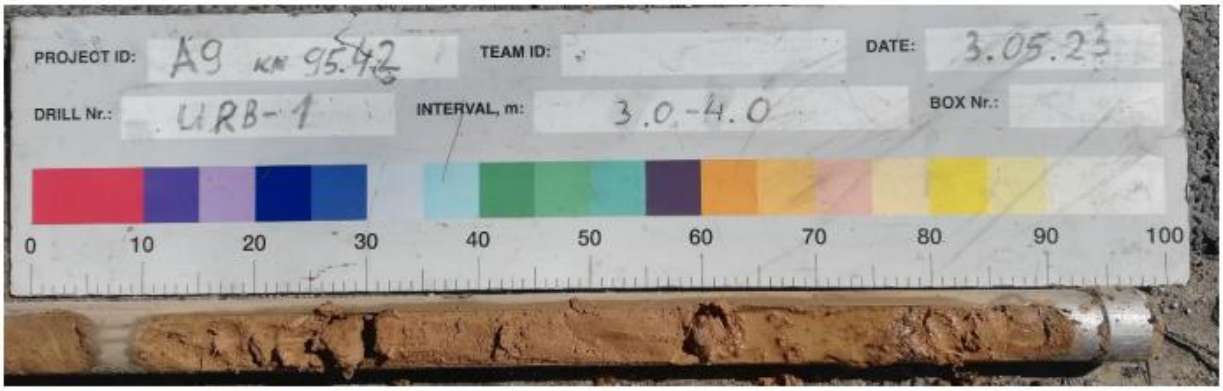
Nr.	Parauga Nr.	Urbuma Nr.	Dziļuma intervāls, m	Testēts dabisks (D) vai pēc slapjās metodes (S)	Grunts vizuālais raksturojums	Dabiskais mitrums W (%)	Dabiskais mitrums 0.425 mm W (%)	K < 0.425 mm %	Plūstamības robeža W_L(%)	Plastiskuma robeža W_P(%)	Plastiskuma indekss I_P	Plūstamības indekss I_L	Māls, Putekļi %	Smilts %	Grants %	Organisko vielu saturs	Plastiskuma pakāpe (LVS EN ISO 14688-2:2018 4.4.p.)	Konsistence (LVS EN ISO 14688-2:2018 5.5.p.)	Grunts simbols
7.	***P1-3***	***URB-1***	3.2-3.6	D	Mālsmilts, sīksta līdz mīksta	18.5	19.8	93.5	21.8	17.4	4.4	0.26	50.4	48.2	1.4	-	CIL-SiL	sīksta	saCIL-SiL
8.	***P1-4***	***URB-1***	5.0-5.5	D	Putekļi smilšaini	23.6	23.6	100.0	22.6	17.3	5.3	1.17	59.0	40.2	0.8	-	CIL-SiL	ļoti mīksta	saCIL-SiL
9.	***P1-5***	***URB-1***	7.0-7.6	-	Kūdra	379.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	86.1%	-	-	-
10.	***P1-6***	***URB-1***	7.6-8.0	D	Māls smilšains mīksts	28.8	28.8	100.0	34.8	16.9	17.9	0.67	85.5	14.5	-	-	CIL/CIM	mīksta	saCIL/saCIM

Nr.	Parauga Nr.	Urbuma Nr.	Dziļuma intervāls, m	Testēts dabisks (D) vai pēc slapjās metodes (S)	Grunts vizuālais raksturojums	Dabiskais mitrums W (%)	Dabiskais mitrums 0.425 mm W (%)	K < 0.425 mm %	Plūstamības robeža W_L(%)	Plastiskuma robeža W_P(%)	Plastiskuma indekss I_P	Plūstamības indekss I_L	Māls, Putekļi %	Smilts %	Grants %	Organisko vielu saturs	Plastiskuma pakāpe (LVS EN ISO 14688-2:2018 4.4.p.)	Konsistence (LVS EN ISO 14688-2:2018 5.5.p.)	Grunts simbols
11.	***P1-7***	***URB-1***	9.0-10.0	D	Māls putekļains ciets līdz sīksts	19.0	19.0	100.0	24.7	18.6	6.1	0.08	89.8	10.2	-	-	CIL-SiL	cieta	saCIL-SiL
12.	***P2-1***	***URB-2***	0.5-1.0	-	Dūņains māls	219.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44.4%	-	-	-
13.	***P2-2***	***URB-2***	1.5-2.0	-	Kūdra	653.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90.8%	-	-	-
14.	***P2-3***	***URB-2***	3.5-4.0	-	Kūdra	742.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	94.8%	-	-	-

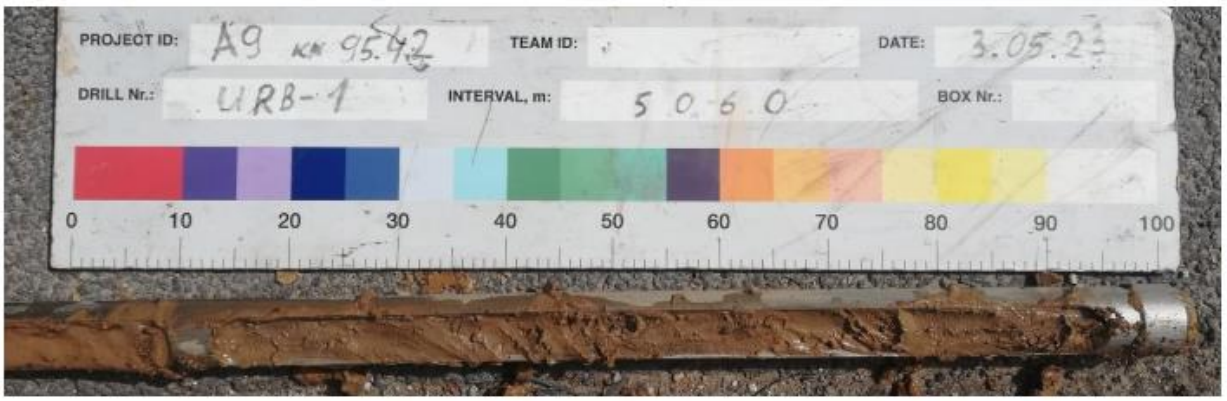
Nr. p.k.	Lab. Nr.	Urbuma Nr.	Parauga Nr.	Parauga ņemšanas dziļums, m	Testēšanas rādītāji			
					Sadal. pakāpe, %	Kūdras veids (augu saturs, %)		
1.	*443 - 1*	**URB - 1**	**P1-5**	7,0 – 7,6	**25**	*Sph.fuscum* 20 *Sph.angustifolium* 25 *Sph.teres* 10 *Erioph. vaginatum* 15 *Dryopteris* 10 *Sīkkrūmi* 10 *Hipnu sūnas* 10		Pārejas tipa zāļu - sfagnu kūdra
2.	*443 - 2*	**URB - 2**	**P2-2**	1,5 – 2,0	**35**	*Pinus* 20 *Sph.fuscum* 15 *Sph.magellanicum* 25 *Erioph. vaginatum* 25 *Carex lasiocarpa* 10 *C.teretiuscula* 5		Pārejas tipa koku - sfagnu kūdra
3.	*443 - 3*	**URB - 2**	**P2-3**	3,5 – 4,0	**36**	*Pinus* 20 *Sph.fuscum* 10 *Sph.angustifolium* 15 *Erioph. vaginatum* 20 *Carex lasiocarpa* 15 *C.teretiuscula* 10 *Dryopteris* 10		Pārejas tipa koku - zāļu kūdra
TESTĒŠANAS METODES					"GOST 28245 - 89", p.4	"GOST 28245 - 89", p.3		"GOST 21123 - 85" "Торф. Термины и определения"

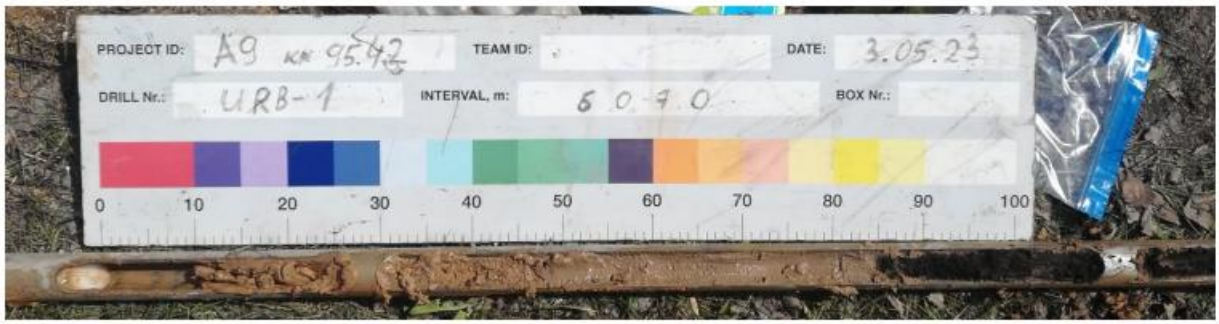
Mehāniskās urbšanas darbi izpildīti saskaņā ar LVS EN ISO 22475-1 „Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Paraugošanas metodes un gruntsūdens līmeņa mērīšana. 1. daļa: Izpildes tehniskie principi." lietojot vibrourbšanas metodi ar iedzenamajiem gruntstveriem Ø 60-80 mm (paraugošanas kategorija – "B"). Katram urbumam veikta foto fiksācija – skat. fotoattēlos zemāk.

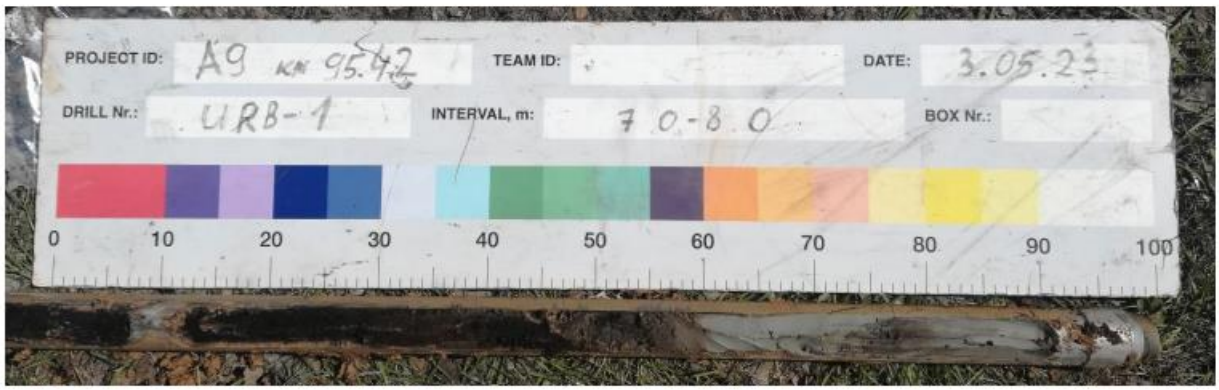
Attēls 2-56. Foto fiksācija URB-1

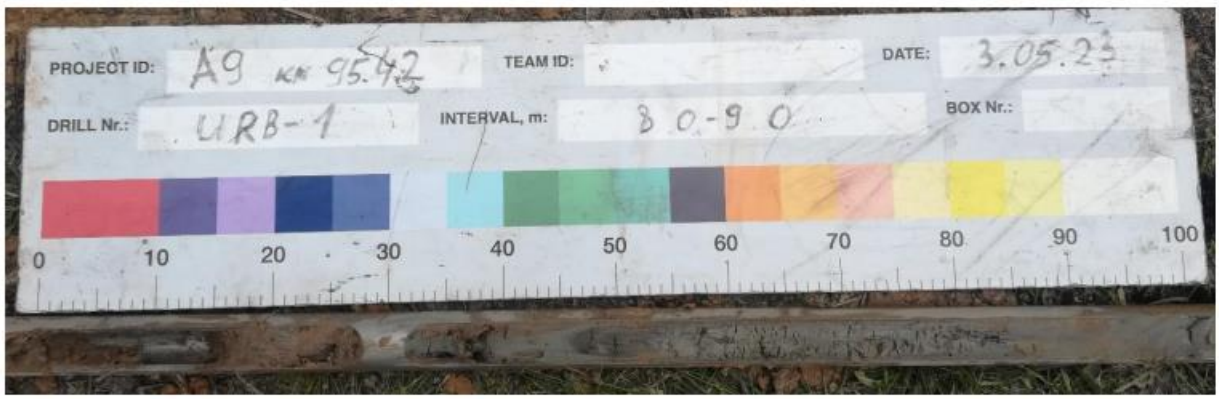

PROJECT ID: A9 km 95.42
TEAM ID:
DATE: 3.05.2
DRILL Nr.: URB-1
INTERVAL, m: 3.0-4.0
BOX Nr.:
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

PROJECT ID: A9 km 95.42
TEAM ID:
DATE: 3.05.2
DRILL Nr.: URB-1
INTERVAL, m: 4.0-5.0
BOX Nr.:
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100


PROJECT ID: A9 km 95.42
TEAM ID:
DATE: 3.05.2
DRILL Nr.: URB-1
INTERVAL, m: 5.0-6.0
BOX Nr.:
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

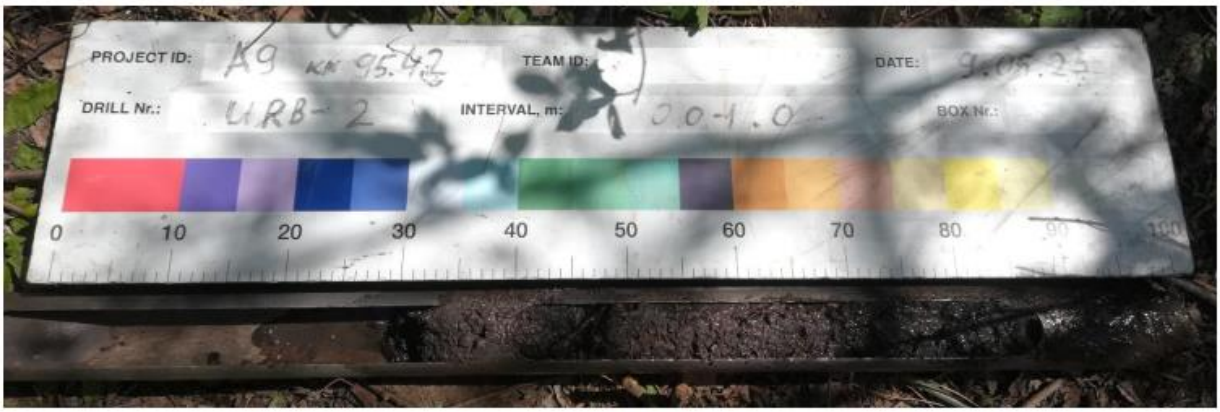

PROJECT ID: A9 km 95.42
TEAM ID:
DATE: 3.05.23
DRILL Nr.: URB-1
INTERVAL, m: 6.0-7.0
BOX Nr.:
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

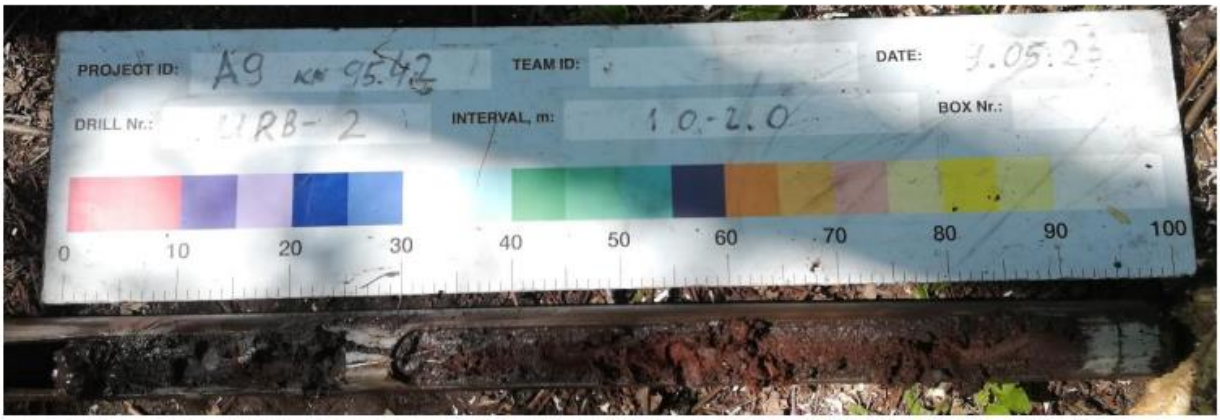

PROJECT ID: A9 km 95.42
TEAM ID:
DATE: 3.05.23
DRILL Nr.: URB-1
INTERVAL, m: 7.0-8.0
BOX Nr.:
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

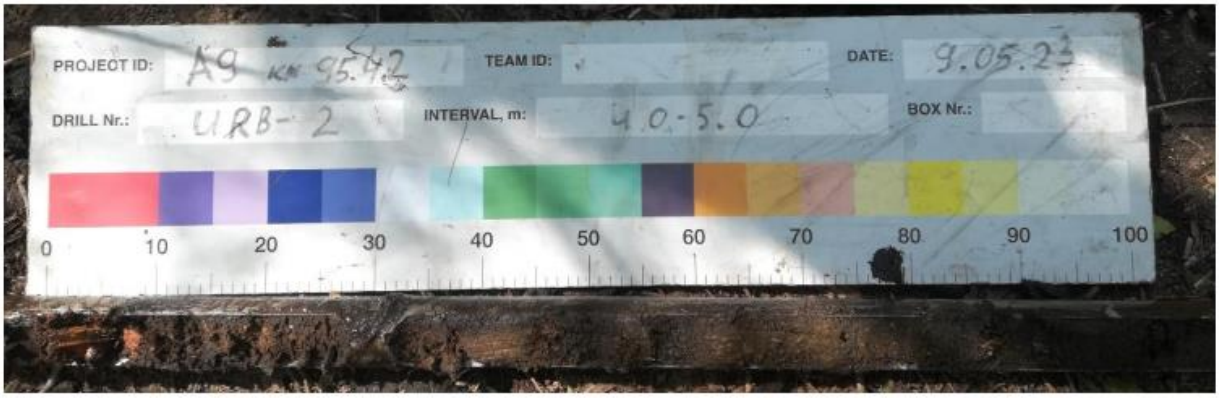

PROJECT ID: A9 km 95.42
TEAM ID:
DATE: 3.05.23
DRILL Nr.: URB-1
INTERVAL, m: 8.0-9.0
BOX Nr.:
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

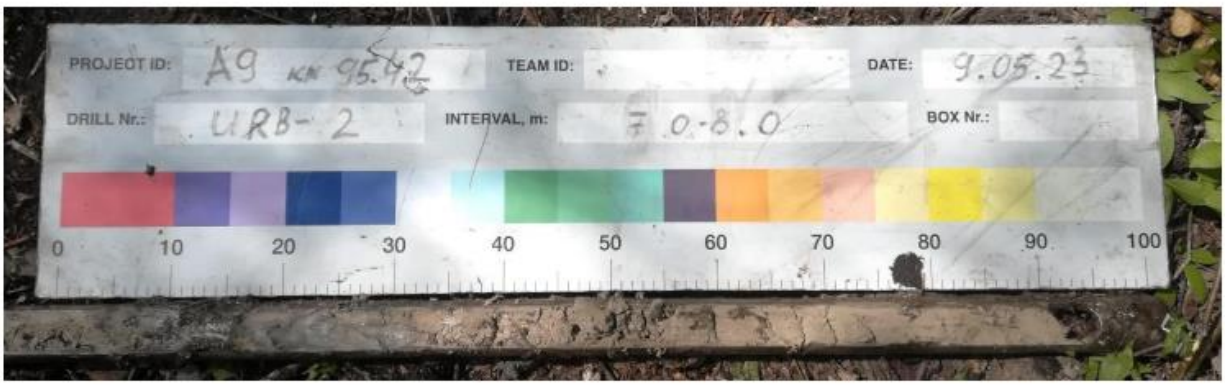
PROJECT ID: A9 km 95.42
TEAM ID:
DATE: 3.05.23
DRILL Nr.: URB-1
INTERVAL, m: 9.0-10.0
BOX Nr.:
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Attēls 2-57. Foto fiksācija URB-2









2.7.2.5 Rezultāti

Ceļa klātnes kreisajā pusē esošais noslīdējums veidojies , jo uzbēruma pēdā augšējos 7,3 m veido vājas nestspējas grunts ar ļoti zemu (13-25kPa) nedrenēto bīdes pretestību.

Kūdra ir vāja grunts, kuru raksturo zema nestspēja un liela saspiežamība, pie tam tai piemīt arī būtiskas šļūdes deformējamības īpašības, kas nozīme, ka kūdra var deformēties pie nemainīgas slodzes līmeņa.

2.7.2.6 Secinājumi un ieteikumi

Būvprojektā ir jāapskata visus robežstāvokļus, veicot atbilstošus aprēķinus. Aprēķinus nepieciešams veikt atbilstoši ģeotehniskās izpētes datiem. Ģeotehniskajai izpētei gan pēc izmeklējumu apjoma, gan veicamās testēšanas, jāatbilst konkrētā būvprojekta specifikai. Izpēte jāveic šķērsprofilos ik pēc 20-200 m. Veiktā izpēte šī pētījuma ietvaros ir piemērs, kuram sekot līdzīgos gadījumos.

Ģeosintētiskie materiāli jālieto tikai atbilstoši to funkcijai. Jāņem vērā, ka ģeosintētiskie materiāli var samazināt nevienmērīgas deformācijas, bet kopējās deformācijas netiks ierobežotas. Kopējās vertikālās deformācijas iespējams samazināt ar grunšu pastiprināšanas metodēm vai arī uzbēruma būvēšanai izmantojot vieglsvara materiālus.

Šajā gadījumā nepieciešams veikt ģeotehniskos aprēķinus ar dažādiem risinājumiem bez un ar grunšu pastiprināšanas risinājumiem atbilstoši 2.2 nodaļas vadlīnijām. Būtiski apskatīt horizontālo deformācijas aprēķinu, ja uzbēruma pēdā ieguļ biezi vājas grunts slāņi. Pat ja nogāzes stabilitāte tiek nodrošināta, horizontālās deformācijas var radīt lietojamības problēmas ceļa segā.

2.7.3 Objekts A13 Krievijas robeža (Grebņeva) – Rēzekne – Daugavpils – Lietuvas robeža (Medumi) posma km 53,40-57,80 pārbūve

Objekts A13 Krievijas robeža (Grebņeva) – Rēzekne – Daugavpils – Lietuvas robeža (Medumi) posms km 53,40-57,80 uzbūvēts 2021. gadā.

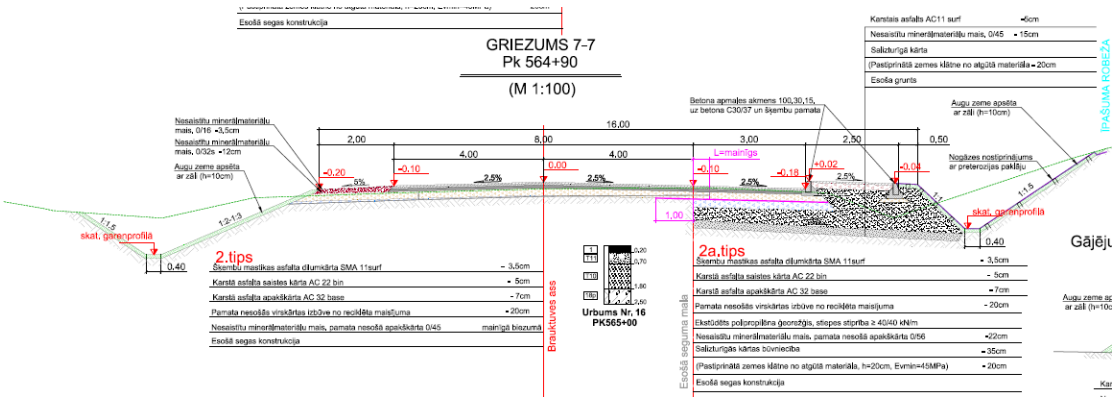
2.7.3.1 Būvprojekta dati

Saskaņā ar būvprojekta risinājumiem objektā paredzēta ģeosintētisko materiālu izmantošana sekojošās konstrukcijās:

- zemes klātnes pastiprināšanai;
- nesaistīto ceļa segas kārtu pastiprināšanai;
- nogāžu iekšējās noturības nodrošināšanai;
- drenāžas risinājumiem.

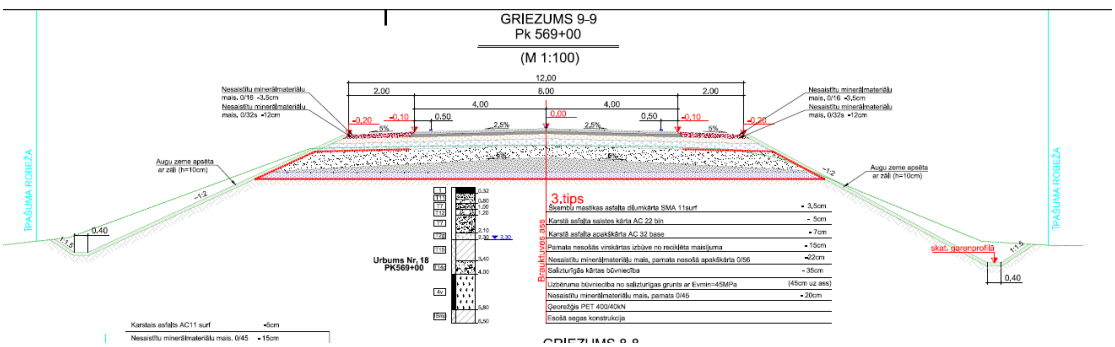
Attēls 2-58. Būvprojekta risinājumu piemēri

2a.tips	
Šķembu mastikas asfalta dilumkārta SMA 11surf	- 3,5cm
Karstā asfalta saistes kārta AC 22 bin	- 5cm
Karstā asfalta apakškārta AC 32 base	- 7cm
Pamata nesošās virskārtas izbūve no reciklēta maisījuma	- 20cm
Ekstūdēts polipropilēna ģeorežģis, stiepes stiprība ≥ 40/40 kN/m	
Nesaistītu minerālmateriālu mais. pamata nesošā apakškārta 0/56	-22cm
Salizturīgās kārtas būvniecība	- 35cm
(Pastiprinātā zemes klātne no atgūtā materiāla, h=20cm, Evmin=45MPa)	- 20cm
Esošā segas konstrukcija	



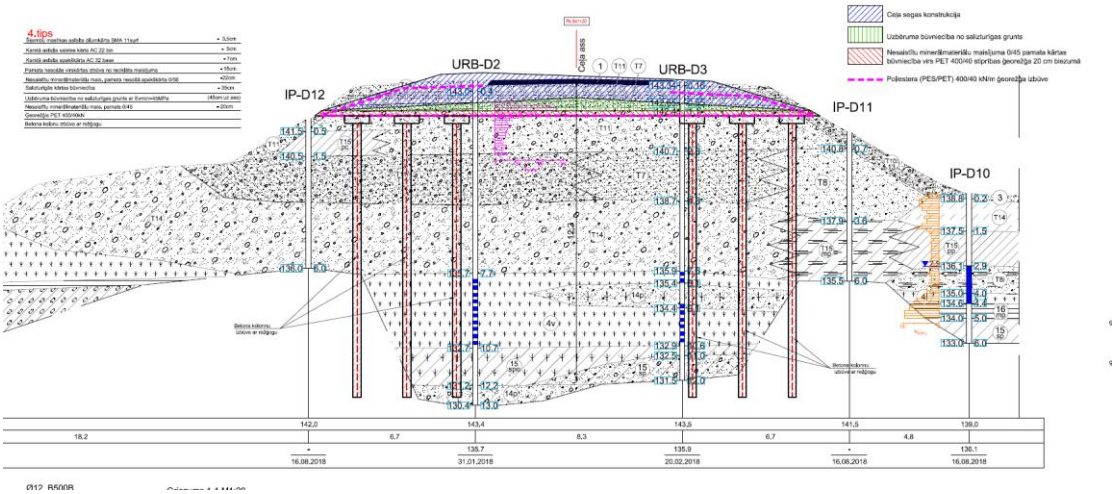
3.tips	
Šķembu mastikas asfalta dilumkārta SMA 11surf	- 3.5cm
Karstā asfalta saistes kārta AC 22 bin	- 5cm
Karstā asfalta apakškārta AC 32 base	- 7cm
Pamata nesošās virskārtas izbūve no reciklēta maisījuma	- 15cm
Nesaistītu minerālmateriālu mais. pamata nesošā apakškārta 0/56	-22cm
Salizturīgās kārtas būvniecība	- 35cm
Uzbēruma būvniecība no salizturīgas grunts ar Evmin=45MPa	(45cm uz ass)
Nesaistītu minerālmateriālu mais. pamats 0/45	- 20cm
Ģeorežģis PET 400/40kN	
Esošā segas konstrukcija	

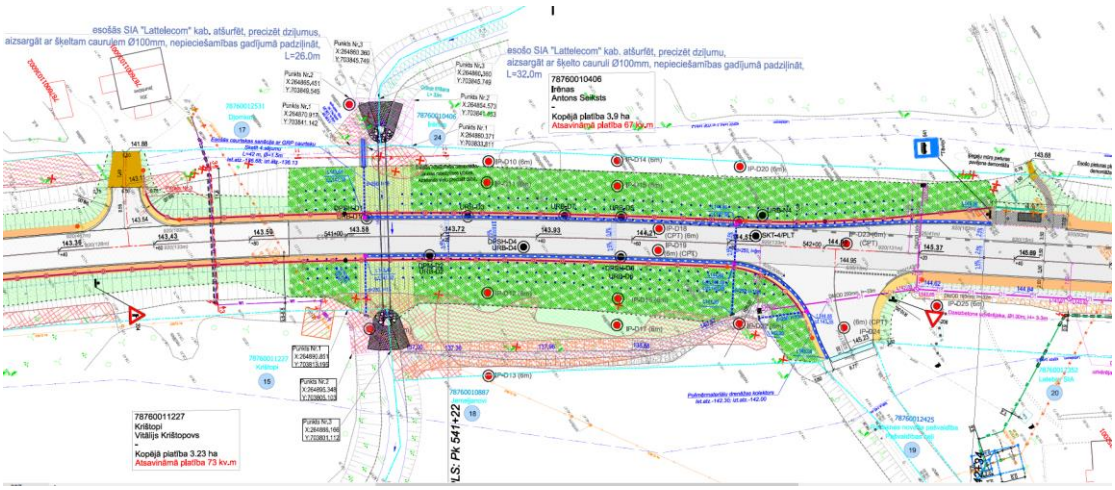
Braukuves ass

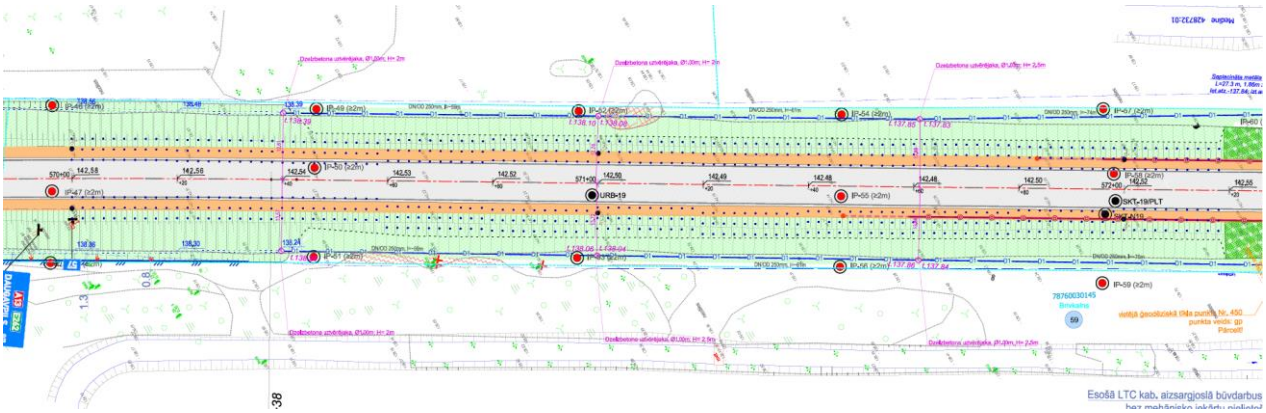


4.tips

Šķembu mastikas asfalta dilumkārta SMA 11surf	- 3.5cm
Karstā asfalta saistes kārta AC 22 bin	- 5cm
Karstā asfalta apakškārta AC 32 base	- 7cm
Pamata nesošās virskārtas izbūve no reciklēta maisījuma	- 15cm
Nesaistītu minerālmateriālu mais. pamata nesošā apakškārta 0/56	-22cm
Salizturīgās kārtas būvniecība	- 35cm
Uzbēruma būvniecība no salizturīgas grunts ar Evmin=45MPa	(45cm uz ass)
Nesaistītu minerālmateriālu mais. pamats 0/45	- 20cm
Ģeorežģis PET 400/40kN	
Betona kolonu izbūve ar režģogu	







2.7.3.2 Objekta apsekošana

Šī pētījuma ietvaros 2023. gada 25. aprīlī tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu risinājumu ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieks A. Strežs.

Objekta apsekošanas rezultātā nekādi defekti netika konstatēti.

Attēls 2-59. A/c A13 km 56,4 labā puse

Attēls 2-60. A/c A13 km 56,4 kreisā puse

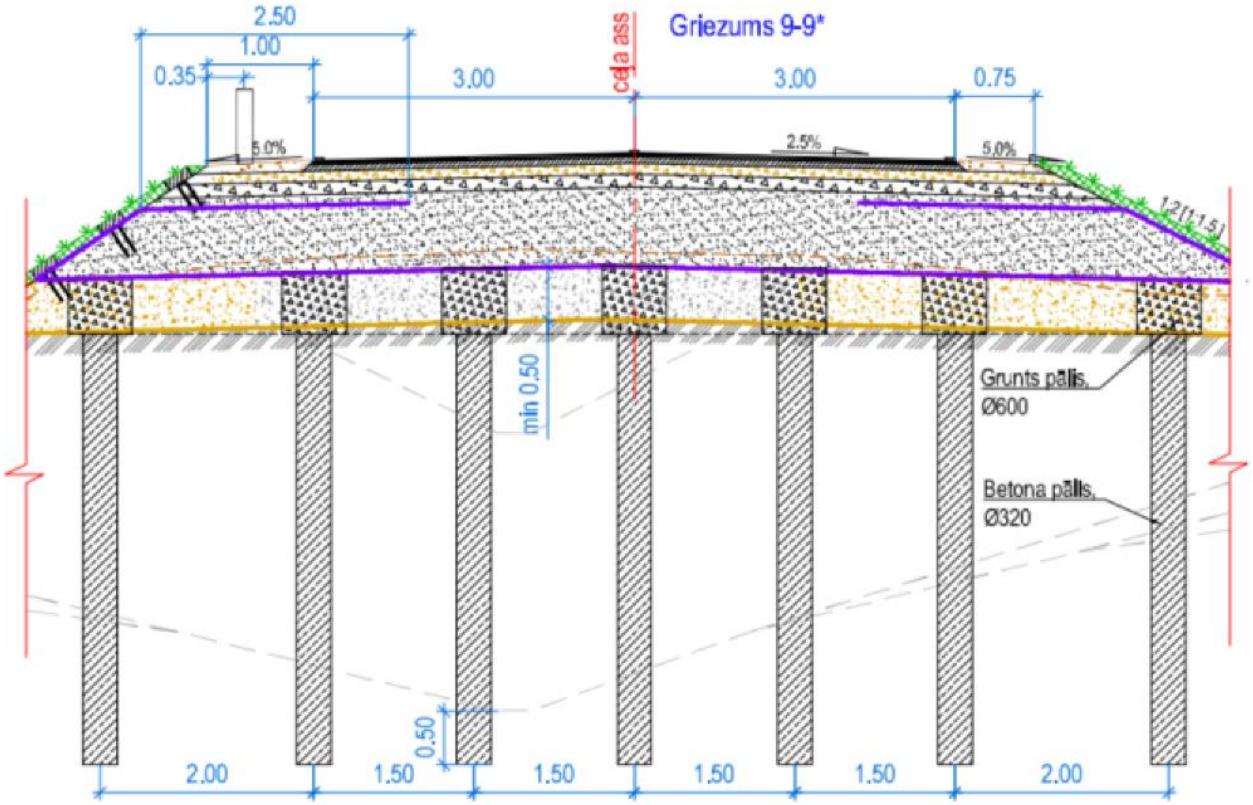
2.7.3.3 Risinājumu un ietekmējošo faktoru analīze

Nekādi defekti objektā netika konstatēti. Izstrādātie un realizētie risinājumi uz šo brīdi ir vērtējami kā veiksmīgi un efektīvi.

2.7.4 Valsts vietējā autoceļa V10 Babītes stacija – Vārnukrogs posma km 0,852 – 4,030 pārbūves projekts

Valsts vietējā autoceļa V10 Babītes stacija – Vārnukrogs posma km 0,852 – 4,030 pārbūves projekts uzbūvēts 2022. gadā. Posmā no Pk 33+96 līdz Pk 38+50 (454 m posms) izbūvēti kombinēti betona stingie pastiprinājumi un grunts pāļi – skat. šķērsprofilu zemāk.

Attēls 2-61. Ceļa šķērsprofils – griezums 9-9*



2.7.4.1 Būvprojekta dati

Pirms pāļu izbūves paredzēta darba platformas izbūve, kas šajā gadījumā bija ļoti būtiska, lai nodrošinātu speciālās tehnikas pārvietošanos un kvalitatīvu darbu izpildi.

Jānodrošina stabila virsma, pa kuru var pavietoties smagā tehnika (līdz pat 250 kPa spiediens uz pamatni). Izpildītājam precīzi jādefinē pāļu ierīkošanas robežas saskaņā ar Būvprojektu.

Darbi veicami piesardzīgi, lai izvairītos no esošajās konstrukcijas sēšanās vai bojāšanas, esošā uzbēruma destabilizācijas.

Parasti darba platformas frontei būtu jābūt vismaz 50 cm virs gruntsūdens līmeņa.

Nogāzes smagās tehnikas iebraukšanai būvlaukumā nedrīkst būt stāvākas par 20°.

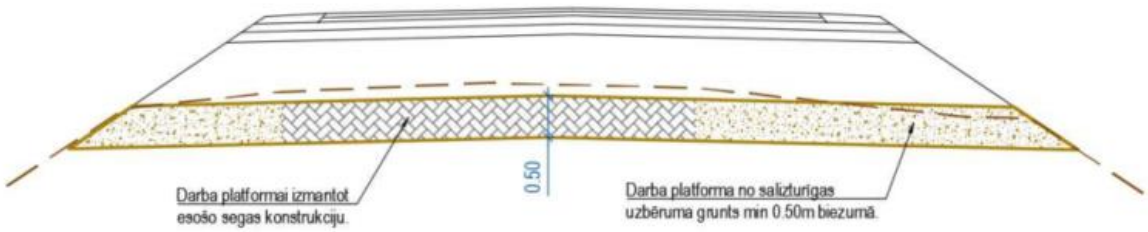
Būvdarbu veicējs ir atbildīgs par visiem pagaidu risinājumiem nogāžu stabilitātes nodrošināšanai.

Būvdarbu veicējs darbus veic piesardzīgi un ņem vērā pagaidu nestabilitāti, ko var izraisīt zemes klātnes pastiprināšana, līdz brīdim, kad zemes klātnes pastiprināšana ir veikta pilnībā un tā tiek nosegta ar konstruktīvajām kārtām.

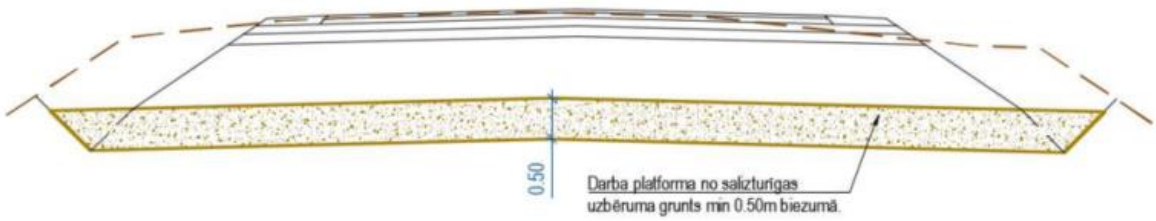
Pirms darba platformas izbūves Būvdarbu veicējs sagatavo pamatni un noņem visus traucējošos materiālus, piemēram, koku saknes. Darba platformas augša jāveido segas

konstrukcijas gultnes līmenī. Darba platformai drīkst izmantot (saglabāt) esošā ceļa segas konstrukciju, demontējot esošo asfalta kārtu vai to pārstrādājot uz vietas.

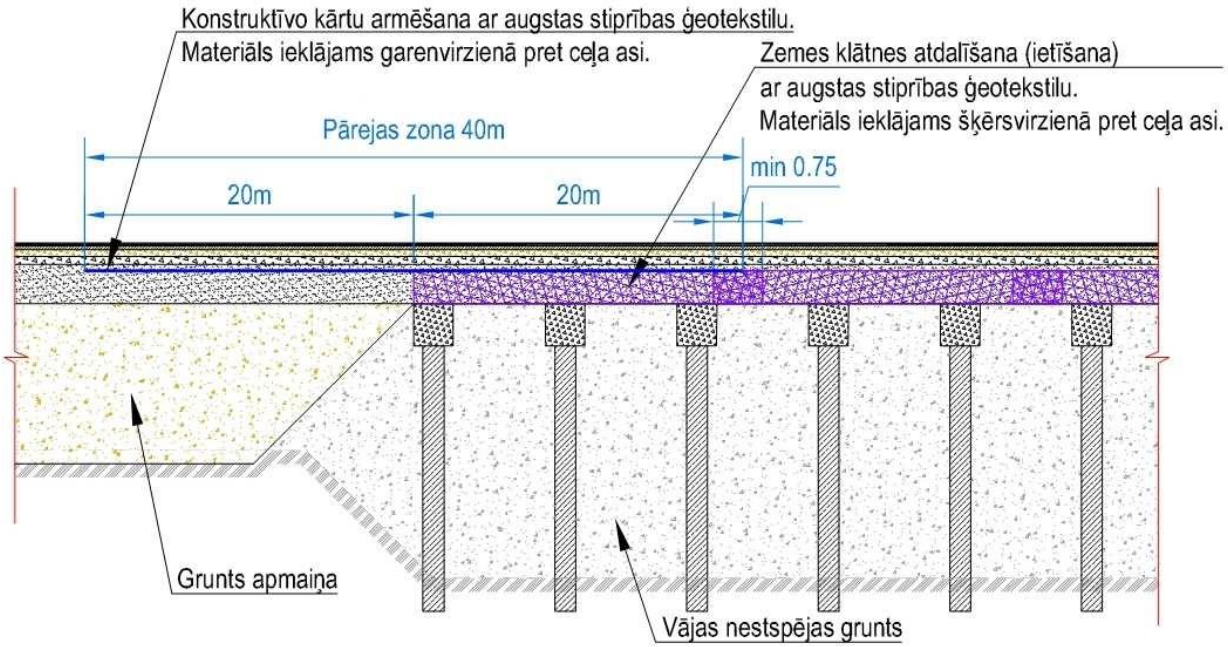
Attēls 2-62. Darba platforma uzbēruma zonā



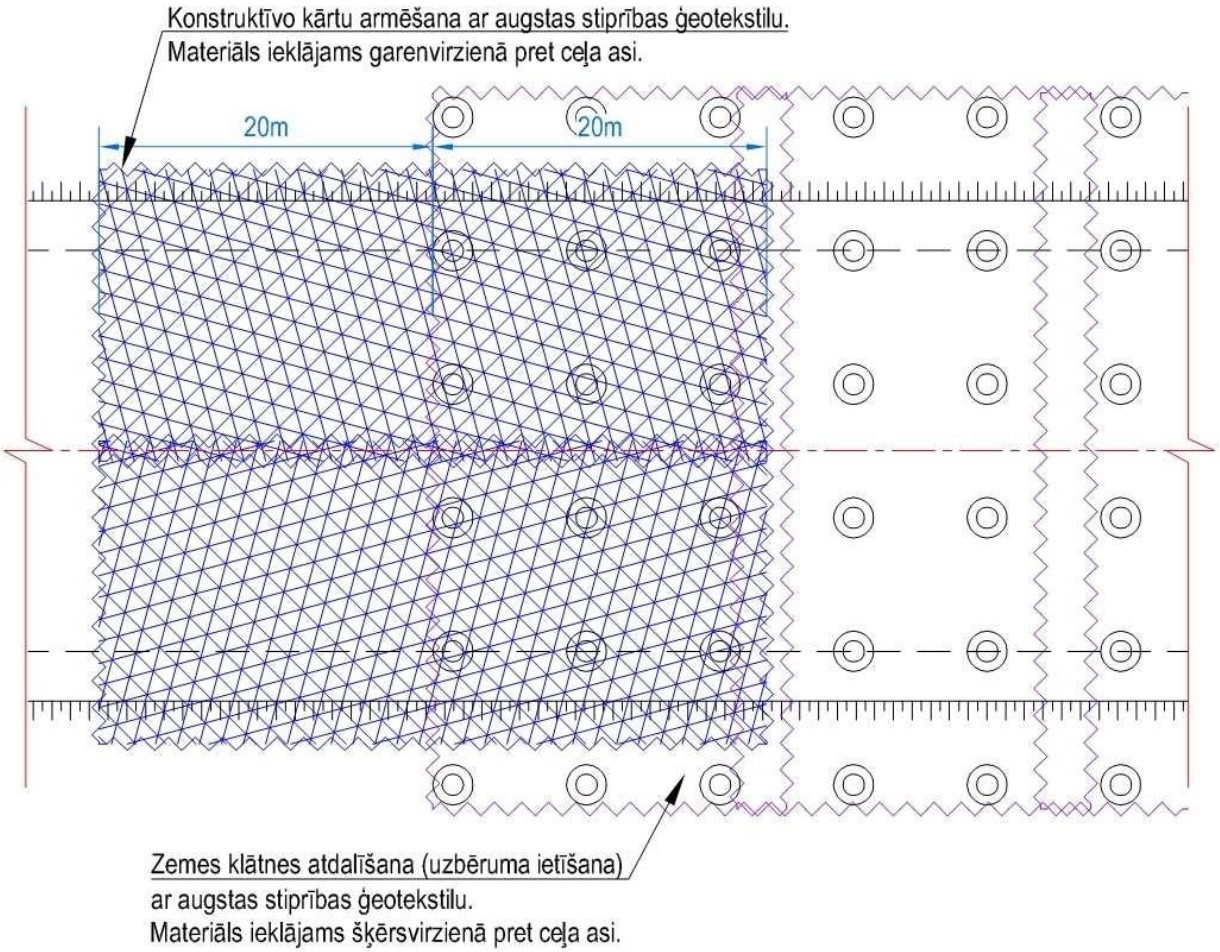
Attēls 2-63. Darba platforma ierakuma zonā



Attēls 2-64. Pārejas zona starp grunts apmaiņu un zemes klātnes pastiprināšanu garengriezumā



Attēls 2-65. Pārejas zona starp grunts apmaiņu un zemes klātnes pastiprināšanu plānā



Ģeosintētiskos materiālus ieklāj uz esošās grunts vai starp konstruktīvajiem slāņiem. Pirms ģeosintētisko materiālu klāšanas virsma ir jānolīdzina, jāsablīvē, no tās jānovāc priekšmeti, kas varētu pārplēst ģeosintētisko materiālu. Ģeotekstila savienošanu var veikt ar pārklāšanu – ar pārlaidumu vismaz 0,75 m.

Atdalīšanai ģeotekstilu izbūvēt šķērsvirzienā pret ceļa asi. Ietīšana h=max 0,5 m. Ģeotekstils ielocīts atpakaļ starp grunts kārtām 1/3 no klātnes platuma – 2,5 m. Nav pieļaujama ģeotekstila ieklāšana šķērsvirzienā no vairākiem posmiem - ģeotekstils šķērsvirzienā jāieklāj bez šuvēm vai pārlaidumiem.

Armēšanai ģeotekstilu izbūvēt garenvirzienā pret ceļa asi.

Ceļa klātnes armēšanu paredzēt ~20 m pirms un 20 m pēc vietas, kur mainās zemes klātnes pastiprināšanas risinājums.

Transporta līdzekļu un mehānismu kustība pa ieklāto ģeotekstilu nav vēlama. Blīvēšanu var uzsākt, ja uz ģeotekstila uzklāts minerālmateriāla slānis vismaz 0,2 m biezumā, bet uz vājām gruntīm – vismaz 0,4 m biezumā (ja ražotāja specifikācijās nav teikts savādāk).

Darbu veikšanai Būvdarbu veicējam jānodrošina sausa būvbedre.

Ģeosintētiskais materiāls specificēts zemāk.

Tabula 2-31. Specifikāciju prasības zemes klātnes stiegrošanai nestspējas robežstāvoklī (ULS).

Raksturlielums	Mērvienība	Rezultāts(1)	Testa metode
Maksimālā stiepes stiprība	kN/m	GV ≥ 200 / ŠV ≥ 50	ISO 10319
Pagarinājums pie maksimālās stiprības (GV 200 / ŠV 50 kN) (1)	%	GV ≤ 10 / ŠV ≤ 10	ISO 10319
Stiepes stiprība pie 5% pagarinājuma	kN/m	GV ≥ 80 / ŠV ≥ 20	ISO 10319
Statiskās caurduršanas (CBR) tests	kN	≥ 8	ISO 12236
Ūdens caurlaidība (VH50)	ms-1	≥ 0,005	ISO 12956

2.7.4.2 Objekta apsekošana

Objekts tika apsekots būvniecības laikā, kad tika izbūvēti betona stingie un grunts pāļi – skat. attēlos zemāk.

Attēls 2-66. Darba platforma

Attēls 2-67. Betona pastiprinājumu un grunts pāļu izbūve

2.7.5 Valsts reģionālā autoceļa P8 Inciems - Sigulda – Ķegums posma km 21,00 – 21,40 pārbūves projekts

Valsts reģionālā autoceļa P8 Inciems - Sigulda – Ķegums posma km 21,00 – 21,40 pārbūves projekts uzbūvēts 2020. gadā. Posmā no pk. 211+60 – 213+00 (140m posms) izbūvēti betona stingie pastiprinājumi ar betona režģogu– skat. šķērsprofilus zemāk.

2.7.5.1 Būvprojekta dati

Virs betona stingajiem pastiprinājumiem (virs to režģogiem) paredzēts augstas stiprības austais ģeotekstils.

Stiegrojošajiem materiāliem jādefinē norādītās deklarējamās īpašības – skat. tabulā zemāk.

Armēšanas ģeosintētisko materiālu īpašību skaitliskās robežvērtības tiek noteiktas F ≥ 100/50 kN/m, ε ≤ 10/10 %, ilgizturība 50 gadi, atbilstoši pāļu izbūvei un segas konstrukcijai. Var lietot augstākas stiprības ģeosintētiskos materiālus. Ģeosintētiskajam materiālam ir jāspēj noturēt tajā ieklāto minerālmateriālu.

Attēls 2-68. Specifikāciju prasības zemes klātnes stiegrošanai nestspējas robežstāvoklī (ULS).

Raksturlielums	Mērvienība	Rezultāts	Testa metode
Maksimālā stiepes stiprība	kN/m	GV ≥ 100 / ŠV ≥ 50	ISO 10319
Pagarinājums pie maksimālās stiprības (GV 200 / ŠV 50 kN) (1)	%	GV ≤ 10 / ŠV ≤ 10	ISO 10319
Ilgizturība	gadi	50	LVS EN 13249, B.

Raksturlielums	Mērvienība	Rezultāts	Testa metode
			pielikums

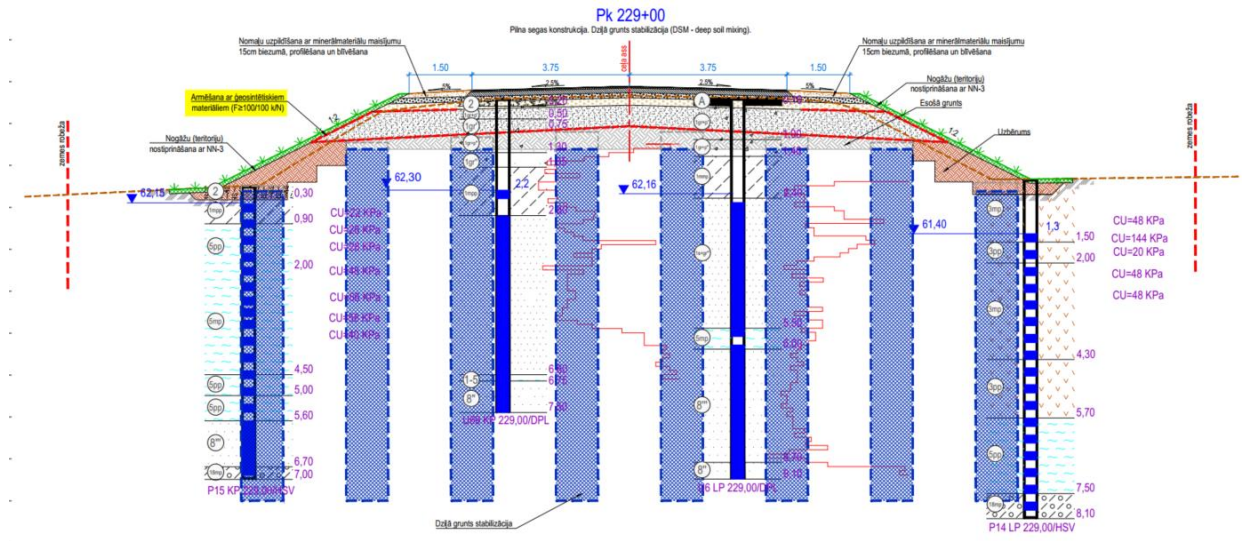
2.7.5.2 Objekta apsekošana

Objektā defekti nav konstatēti.

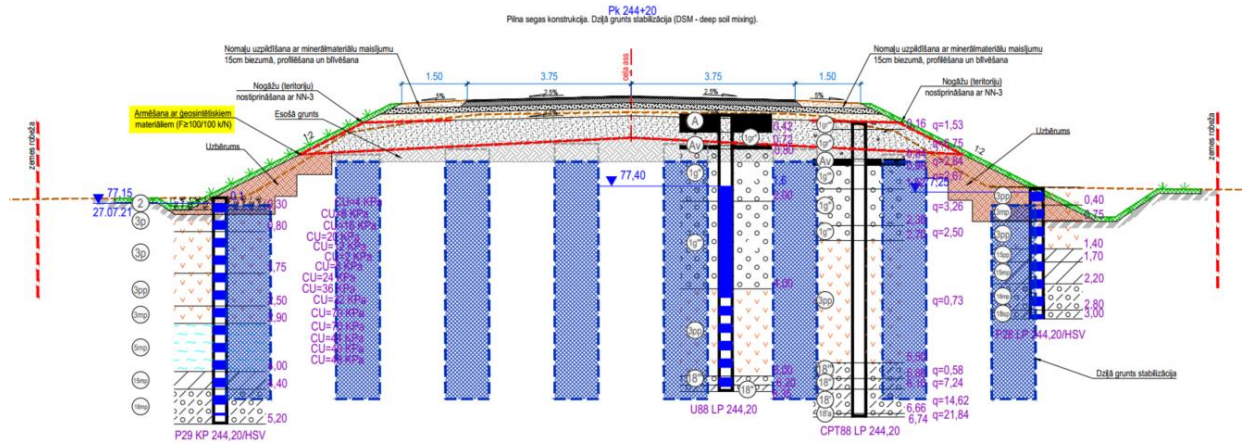
2.7.6 Valsts reģionālā autoceļa P14 Umurga - Cēsis – Līvi posma km 21,99 - 34,92 pārbūves projekts

Valsts reģionālā autoceļa P14 Umurga - Cēsis – Līvi posma km 21,99-34,92 pārbūve tiek būvēts 2023. gadā. Posmos no pk. 228+20 – 229+70 (150 m posms) un pk. 243+90 – 244+90 (100 m posms) un izbūvēti dziļas grunts stabilizācijas kolonnas – skat. šķērsprofilus zemāk.

Attēls 2-69. Ceļa šķērsprofils dziļās grunts stabilizācijas pastiprinājumu posmā I



Attēls 2-70. Ceļa šķērsprofils dziļās grunts stabilizācijas pastiprinājumu posmā II



2.7.6.1 Būvprojekta dati

Virs dziļās stabilizācijas pastiprinājumiem paredzēts augstas stiprības austais ģeotekstils. Stiegrojošais materiāliem jādefinē norādītās deklarējamās īpašības – skat. tabulā zemāk.

Tabula 2-32. Specifikāciju prasības zemes klātnes stiegrošanai nestspējas robežstāvoklī (ULS).

Raksturlielums	Mērvienība	Rezultāts	Testa metode
Maksimālā stiepes stiprība	kN/m	GV ≥ 100 / ŠV ≥ 100	ISO 10319
Pagarinājums pie maksimālās stiprības (GV 200 / ŠV 50 kN) (1)	%	GV ≤ 14 / ŠV ≤ 14	ISO 10319
Ilgizturība	gadi	100	LVS EN 13249, B. pielikums

2.7.6.2 Objekta apsekošana

Objekts apsekots būvniecības laikā 2023. gadā – skat. attēlu zemāk. Redzams, ka kreisajā brauktuves pusē zemes klātnes pastiprināšanas darbi jau pabeigti un ieklāts augstas stiprības austais ģeotekstils.

Attēls 2-71. Grunts dziļās stabilizācijas kolonnu izbūve 2023. gadā

3 Nesaistīto ceļa segas kārtu pastiprināšana

Ģeosintētiskie materiāli, piemēram, ģeorežģi, gadu desmitiem tiek plaši izmantoti ceļa konstrukcijās (nesošajās kārtās un papildkārtās). Satiksmes slodzes apstākļos ģeosintētika, ko parasti iebūvē ceļa segas pamatkārtā vai tās apakšā, var nodrošināt ceļa segas slāņu sānveida kustību ierobežošanu, gan arī tos vertikāli balstīt, minerālmateriāliem ieķīlējoties ģeorežģa atverēs. Kopumā ģeosintētika var:

- ∇ paaugstināt pamatnes nestspēju;
- ∇ nodrošināt nesaistītās ceļa segas kārtas ieķīlēšanos;
- ∇ radīt vertikāli nospriegotu membrānas atbalstu seguma slāņiem relatīvi lielas vertikālās deformācijas apstākļos. [89]

Autoceļa konstrukcijas pastiprināšanā nesaistīto ceļa segas kārtu strukturālo stabilitāti ievērojami uzlabo ģeosintētiskā materiāla stiepes izturība. Tas ir līdzīgi kā armējot betonu ar tēraudu. Tā kā betonam ir vāja stiepes stiprība, tā pastiprināšanai tiek izmantots armatūras tērauds. Ģeosintētiskie materiāli darbojas līdzīgi kā armatūras tērauds, bet nodrošinot nesaistītas minerālmateriālu kārtas bīdes stiprību, kas uzlabo konstrukcijas kopējo stabilitāti.

Nestingās ceļa segas konstrukcijās, kuras tiek izmantotas kā pastāvīgas brauktuves drošai, efektīvai un ekonomiskai pasažieru un preču pārvadāšanai, parasti nav pieļaujamas rises, kuru dziļums pārsniedz 25 mm. Lai novērstu risu veidošanos un attīstību, ceļa konstrukcijas nesaistītajās kārtās iespējams iebūvēt ģeosintētiskos materiālus. Viens no galvenajiem mehānismiem, kas notiek pēc ģeosintētisko materiālu iestrādes segumā, ir pamata kārtas materiāla daļiņu sānu kustības samazināšanās. Tā rezultātā tiek novērstas/samazinātas minerālmateriāla bīdes deformācijas un to attīstība. [90]

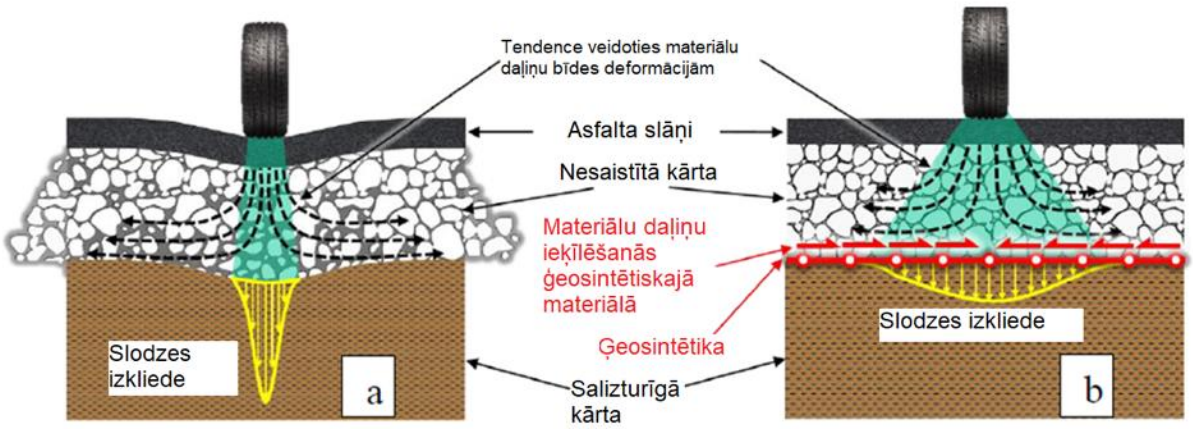
3.1 Projektēšanas principi

Ģeosintētika ceļa segas pamata pastiprināšanai tiek izmantota, lai nodrošinātu pamatkārtu stingumu. Stingums ir galvenā funkcija, kas samazina sānu nobīdi (un palielina daļiņu ieķīlēšanos) minerālmateriāla un ģeosintētiskā materiāla saskares virsmā. Lai gan ģeosintētisko materiālu var iebūvēt jebkurā vietā pamatkārtā, visbiežāk tas tiek paredzēts saskares virsmā starp dažādām konstruktīvajām kārtām.

Nesaistītu pamatkārtu daļiņu sānu pārvietošanās, kas notiek cikliskas satiksmes slodzes ietekmē, samazina materiāla mehāniskās īpašības. Šāda materiālu daļiņu pārvietošanās ir īpaši izteikta pamatkārtas apakšējā daļā, tieši zem riteņa trajektorijas,

kur bīdes spriegumi attīstās visvairāk. Attēls 3-1 (a) ilustrē sānu pārvietojumus, kas var veidoties pamata slānī segas konstrukcijai bez ģeosintētisko materiālu izmantošanas. Pārvietojumi samazina konstruktīvā slāņa sānu spriegumus (t. i., samazina ieķīlēšanos), būtiski ietekmējot materiāla deformācijas (elastības) moduli. Daudzslāņu segumu sistēmā pamatkārtas galvenā īpašība ir tās salīdzinoši augstais deformācijas (elastības) modulis, kas paplašina/izkliedē vertikālo slodžu sadalījumu un samazina maksimālos vertikālos spriegumus, kas iedarbojas uz kārtu saskares virsmu. Satiksmes cikliskās slodzes izraisītā sākotnējā materiāla elastības moduļa degradācija palielina saskares virsmas spiedienu un palielina risu dziļumu brauktuves konstrukcijā.

Attēls 3-1. Ģeosintētikas izmantošana ceļu pamatu pastiprināšanai



(a) brauktuve projektēta bez ģeosintētikas;
(b) brauktuve projektēta ar ģeosintētiku.

Attēls 3-1 (b) ilustrē sānu pārvietojuma ierobežošanu, ko nodrošina ģeosintētiskais materiāls. Pamatkārtas un ģeosintētiskā materiāla mijiedarbības rezultātā bīdes spriegumi no pamatkārtas materiāla tiek pārnesti uz stiepes spriegumiem ģeosintētiskajā materiālā. Lai panāktu nesaistītas pamatkārtas pastiprināšanu, nepieciešama ģeosintētika ar salīdzinoši augstu stingumu. Pamatkārtas sānu pārvietojuma samazinājums, ko nodrošina ģeosintētiskais materiāls, izraisa vidējo spriegumu pieaugumu, kā rezultātā palielinās arī konstruktīvās kārtas bīdes izturība. Berze un materiāla daļiņu ieķīlēšanās raksturlielumi saskares virsmai starp nesaistīta materiāla kārtu un ģeosintētisko materiālu veicina sānu pārvietojuma ierobežošanu. Tāpēc, ja ceļa pamata pastiprināšanai izmanto ģeorežģus, jāsaskaņo ģeorežģa acs atvēruma un pamatkārtas materiāla daļiņu izmēri.

Attēls 3-1 (b) parāda, ka salīdzinoši augstāks ar ģeosintētisko materiālu pastiprinātās kārtas elastības modulis, vertikālo satiksmes slodzi izkliedē uz lielāku laukumu, kā rezultātā uz kārtu saskares virsmas rodas mazāki vertikālie spriegumi. [91]

Lai ģeosintētiskais materiāls efektīvāk mijiedarbotos ar pamatkārtu, tam ir jābūt šādām mehāniskām īpašībām:

- augsts stiepes modulis, lai izturētu stiepšanos zem slodzes;
- izmēru stabilitāte, lai izturētu radiālos spriegumus bez deformācijas, vērpšanās vai stiepšanās;
- elastīga reakcija pie dinamiskas slodzes;
- izturība pret plastiskām deformācijām atkārtotas slodzes ietekmē;
- materiāla inertums un stingums.

Ģeorežģus nesaistīto kārtu pastiprināšanai var izmantot dažādiem projekta apstākļiem, taču tie ir visrentablākie vietās, kur pieļaujamās seguma virsmas atzīmes un esošie drenāžas risinājumi ietekmē ceļa konstrukciju. Piemēroti lietojumi ietver:

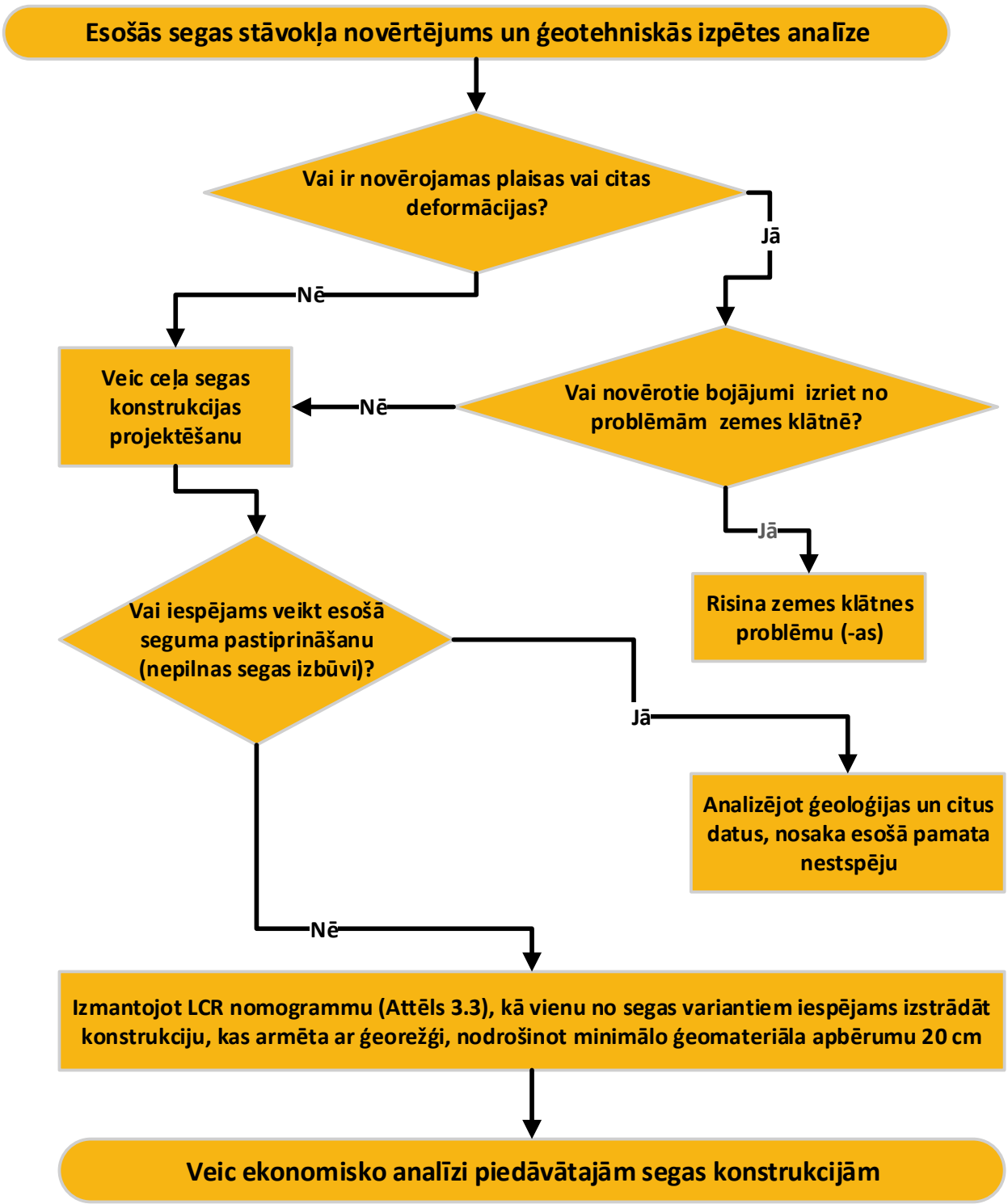
- ierobežotas seguma virsmas atzīmes apstākļos – vietējās drenāžas tīklu vai vertikālā gabarīta dēļ. Ģeorežģis var nodrošināt mazāku nesaistītās kārtas un līdz ar to segas konstrukcijas biezumu, nodrošinot nestspēju, kas ir līdzvērtīga segumam ar biezāku nesaistīto kārtu;
- vietās, kur nepieciešams paātrināt būvniecību. Mazāks konstruktīvās kārtas biezums samazinās būvniecības laiku, jo būs nepieciešams pievest mazāk materiālu. Daudzos gadījumos ģeorežģis nodrošina arī ātrāku kārtas sablīvēšanu;
- lai palielinātu segas konstrukcijas nestspēju un ekspluatācijas ilgumu, stiegrojot segas konstrukciju, kuras nestspēja nodrošināta arī bez ģeomateriāla;
- vietās, kur zemes klātnes virsējos slāņos konstatētas zemas nestspējas gruntis ar mazu kopējo slāņa biezumu. Ģeorežģi var samazināt apmaināmo materiālu daudzumu.

Ģeorežģu izmantošana nesaistītajās kārtās parasti nav piemērota šādos apstākļos:

- zonās, kur zemes klātnes nestspēja pārsniedz 90 MPa. Ģeorežģu pastiprināšanas efekts būs salīdzinoši neliels un neekonomisks;
- zemes klātne stabilizēta ar kaļķi vai cementu. Stabilizētā pamatne būs salīdzinoši stinga, savukārt ģeorežģa pastiprināšanas efekts būs salīdzinoši neliels un neekonomisks;
- zemes klātnē konstatēti vājas nestspējas grunts slāņi, līdz ar to jāveic grunts apmaiņa vai zemes klātnes pastiprināšana.

Nesaistīto ceļa segas kārtu pastiprināšanas projektēšanas procedūra parādīta attēlā (Attēls 3-2).

Attēls 3-2. Nesaistīto ceļa segas kārtu pastiprināšanas projektēšanas procedūra



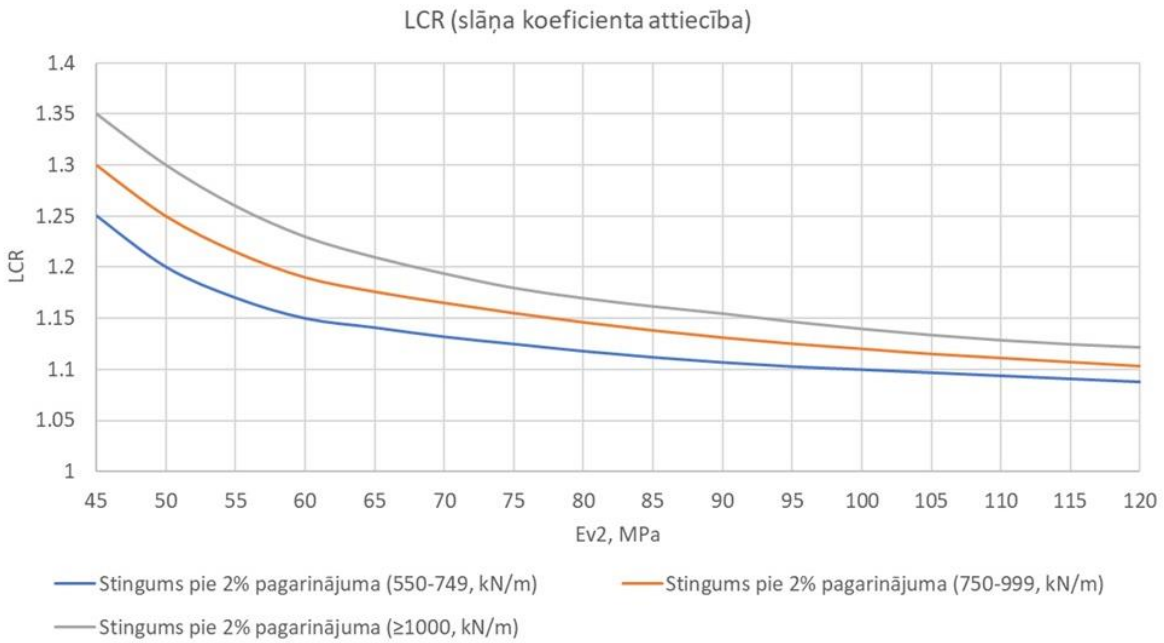
3.1.1 Pētījuma ietvaros izstrādātais LCR grafiks/nomogramma

Ģeorežģu projektēšana ceļiem ar asfalta segumu un ceļiem ar nesaistītu segumu tiek veikta ar empīrisku projektēšanas metodi, kas balstīta uz nestspējas teoriju.

Seguma sistēmas uzlabojumi, ko nodrošina pastiprināšana ar ģeosintētiku, ir novērtēti, izmantojot pamatslāņa koeficienta attiecību LCR.

LCR tiek definēts kā pamatkārtas biezuma procentuālais samazinājums, ko nodrošina ģeosintētiskā stiegrojuma pievienošana attiecībā pret elastīgā seguma biezumu ar tiem pašiem materiāliem, bet bez pastiprinājuma, lai sasniegtu noteikto deformāciju stāvokli. Pētījuma "Pētījuma un rokasgrāmatas izstrāde ģeosintētisko materiālu un tiem radniecīgo izstrādājumu pielietošanai autoceļu konstrukcijās" ietvaros izstrādāts neatkarīgs LCR koeficienta grafiks, ar kura palīdzību, ņemot vērā pamata jeb kārtas nestspēju, zem ģeorežģa, iespējams noteikt ģeorežģa pielietošanas efektivitāti, skatīt attēlu (Attēls 3-3).

Attēls 3-3. LCR pret E_{V2}



3.1.2 Lietošanas lietderība Latvijas apstākļos

Latvijas teritorijā plaši izplatītas zemas nestspējas gruntis. Lielākā daļa no mūsu valsts ceļu tīkla ir izbūvēta uz šāda tipa gruntīm. Veicot ceļu projektēšanu un ģeotehniskās izpētes laikā konstatējot zemas nestspējas gruntis būvinženierim var rasties daudz dažādu problēmu, kas var aizkavēt projekta izstrādes procesu.

Uz Latvijas autoceļiem bieži tiek novērota situācija, kad zemes klātnes virsējos slāņos tiek konstatētas mīkstas gruntis vai gruntis ar organisko vielu klātbūtni, kuru slāņu biezums ir neliels, organikas procentuālais daudzums nedaudz virs 6% un grunts slānis netiek klasificēts kā zemas nestspējas. Ņemot vērā iepriekš aprakstītos kritērijus un nosacījumus nesaistītas pamata kārtas pastiprināšanai šādās situācijās ar ģeorežģa palīdzību var samazināt vai likvidēt noņemamo materiālu daudzumu, līdz ar to

samazināt būvniecības laiku, konstruktīvo risinājumu izmaksas un novērst iespējamo deformāciju attīstību.

Pastāv iespēja ģeorežģi lietot, lai palielinātu konstrukcijas ekspluatācijas laiku (palielinātu pieļaujamo pārbraucienu skaitu) vai samazinātu minerālmateriālu kārtas biezumu saglabājot konstrukcijas nestspēju. Līdz ar to, ceļa segas nesaistītajās kārtās izbūvējot ģeosintētisko materiālu, var tikt samazinātas būvniecības izmaksas un uzlabota ceļa kalpotspēja.

3.1.3 Priekšrocības un trūkumi

Ir veikti daudzi laboratorijas un lauka testi, lai kvantitatīvi noteiktu ģeosintētikas priekšrocības. [92] [93] [94] [95] [96] [97] Tajos tika noteikts, ka nesaistīto kārtu pastiprināšana ar ģeosintētiku palielināja vertikālā sprieguma laukumu un tādējādi samazināja slodzi uz zemas nestspējas pamatni to pasargājot no deformācijām. Attiecīgi tika ievērojami samazināta vājās pamatnes paliekošā deformācija. Papildus vertikālo spriegumu samazināšanai ģeosintētika palielināja radiālos spriegumus nesaistītās kārtas ietvaros. Ģeomateriāla lietošanai nesaistīto materiālu kārtās svarīgas ir ne tikai paša ģeosintētiskā materiāla īpašības, bet arī atbilstoši izvēlēta pildvielas frakcija, granulometriskais sastāvs un kārtas biezums. . [89]

Ģeosintētiskā stiegrojuma izmantošanas priekšrocības ietver pamata kārtas biezuma samazināšanu un seguma nestspējas/kalpotspējas uzlabošanu.

Ģeosintētiskie materiāli tiek izmantoti kā ceļa konstrukcijas pastiprināšanas elements, lai uzlabotu segas kalpotspēju, balstoties uz trim mehānismiem:

- sānu ierobežošana (lielāks ierobežojums/daļiņu ieķīlēšana);
- palielināta nestspēja (palielināts slodzes sadalījuma laukums);
- spriegojuma membrānas efekts.

Ģeosintētiskie materiāli, kas novietoti vai nu starp konstruktīvajām kārtām vai tās iekšpusē, palielina stingumu un ierobežo nesaistīto materiāla slāņu pārvietošanos/deformācijas atkārtotas slodzes ietekmē. Salikto savienojumu, kas sastāv no ģeorežģa un pamata kārtas, bieži dēvē par mehāniski pastiprinātu slāni. Ģeosintētisko materiālu pastiprinājuma mērķis nestingās ceļa konstrukcijās ir:

- samazināt konstrukcijas biezumu;
- pagarināt seguma kalpošanas laiku;

- ļaut būvēt ar samazinātu pamata/apakškārtas materiāla daudzumu, nezaudējot seguma nestspēju;
- kalpo kā palīglīdzeklis būvniecībai virs zemas nestspējas pamatnes;
- iespēja izmantot zemākas kvalitātes vietējos materiālus, veidojot seguma pamatni;
- nodrošināt nepieciešamo konstrukcijas nestspēju. [98]

Neraugoties uz daudziem veiksmīgiem projektiem un pētījumiem, ir atzīts, ka ģeorežģa izmantošana nestingas ceļa konstrukcijas nesaistītās pamata kārtās ir salīdzinoši ierobežota salīdzinājumā ar citiem ģeosintētikas lietojumiem. Noteikti galvenie iemesli relatīvi ierobežotai ģeorežģu izmantošanai nesaistītas pamata kārtas pastiprināšanai:

- trūkst atzītas projektēšanas metodes. Pašlaik nesaistītas pamata kārtas pastiprināšanas izmantošana balstās uz iepriekšējo pieredzi un empīriski pamatotām projektēšanas pieejām, kas aprobežojas ar saistīto eksperimentu nosacījumiem;
- esošie skaitliskie aprēķinu modeļi segas konstrukcijas projektēšanai bez ģeosintētikas ir sarežģīti, un tiek uzskatīts, ka ģeosintētikas iekļaušana tos vēl vairāk sarežģīs;
- tikai dažos pētījumos ir sniegts salīdzinājums visiem pieejamajiem ģeorežģu veidiem (t.i., austs vai ekstrudēts, atšķirīgs materiāla stingums/stabilitāte utt.), un daži ģeorežģu veidi ir pētīti biežāk nekā citi;
- ģeorežģi (un ģeosintētika kopumā) tiek uztverti kā specifisks materiāls, par kuru izmantošanu tiek domāts tikai tad, ja nepieciešams atrisināt konstruktīvas problēmas;
- vienotas metodes trūkums izmaksu un ieguvumu analīzei. [99]

3.1.4 Projektēšanas nosacījumi

Ģeorežģa stiegrojums tiek izmantots ceļiem ar asfalta segumu divās galvenajās lietošanas jomās – ceļa segas pamata un zemes klātnes pastiprināšanā. Ceļa segas pamata pastiprināšanai ģeorežģis tiek iebūvēts starp nesaistītām pamata kārtām vai konstruktīvās kārtas apakšā, lai paaugstinātu ceļa segas nestspēju un samazinātu seguma virsmas deformāciju attīstību cikliskas satiksmes slodzes ietekmē.

Ģeorežģu projektēšana ceļiem ar asfalta segumu un ceļiem ar nesaistītu segumu tiek veikta ar empīriskām projektēšanas metodēm, kas balstītas uz nestspējas teoriju. Ģeorežģi tiek plaši lietoti ceļa segas pastiprināšanai, tomēr to izmantošanu ierobežo tas, ka nav izstrādāta metodika ģeorežģu ietveršanai ceļa segas konstrukcijas aprēķinā. [99]

Ģeosintētikas izmantošana ceļa konstrukcijas projektēšanā un būvniecībā ir uzrādījusi labus rezultātus, lai risinātu atdalīšanas, filtrēšanas, sānu drenāžas, blīvēšanas un pastiprināšanas funkcijas. Izmantojot ģeosintētisko stiegrojumu, var panākt ievērojamu kalpotspējas un nestspējas pieaugumu. Satiksmes ieguvuma koeficients (SIK), kurš tiek izmantots AASHTO, atspoguļo ceļa posma, ar ģeosintētisko materiālu, slodzes ciklu skaita palielinājumu attiecība pret slodzes ciklu skaitu nepastiprinātā posmā ar tādu pašu brauktuves ģeometriju un segas konstrukciju, līdz tiek sasniegts tāds pats nestspējas zudums. Satiksmes ieguvuma koeficientu dažreiz sauc par satiksmes uzlabošanas faktoru. Pamata kārtas samazinājums, izmantojot vienādus konstruktīvos materiālus, ir pastiprināta pamata biezuma procentuālais samazinājums salīdzinājumā ar nepastiprinātas kārtas biezumu, lai sasniegtu tādu pašu nestspēju. [12]

Ir veikti daudzi pētījumi, lai noteiktu ģeosintētikas priekšrocības grunts pastiprināšanā uzbērumos, atbalsta sienās, autoceļa brauktuvēs utt. [100] [101] [102] [103] [104] Pētnieki ir izstrādājuši analītiskus aprēķinu modeļus un projektēšanas metodes, lai prognozētu ar ģeosintētisko materiālu pastiprinātu ceļu kalpotspēju. Piemēram, ir izstrādāts analītiskais modelis ar ģeosintētiskiem materiāliem pastiprinātiem nesaistītiem materiāliem triaksiālās slodzes apstākļos, kurā tiek aprēķinātas paliekošās deformācijas, pamatojoties uz MEPDG (Mechanistic-empirical pavement design guide) pieņemto grunts deformāciju modeli. ASV, Vašingtonā nacionālās kooperatīvās autoceļu pētniecības programmas pētījuma ietvaros izstrādāta ar ģeosintētiskiem materiāliem pastiprinātu ceļu konstrukciju projektēšanas metode, kuras pamatā ir galīgo elementu analīzes metode. Tomēr galīgo elementu analīze ir daudz sarežģītāka un laikietilpīgāka nekā analītisks aprēķina risinājums, kas balstīts uz slāņu elastības teoriju elastīgo reakciju aprēķināšanā. Galīgo elementu metodes rezultāti atkarīgi no izejas datu apjoma un to kvalitātes. [89]

3.1.5 AASHTO metode

Amerikas Valsts autoceļu un transporta amatpersonu asociācijas (AASHTO) rokasgrāmata segumu konstrukciju projektēšanai ir viena no visplašāk izmantotajām metodēm elastīgai segumu projektēšanai Ziemeļamerikā (AASHTO 1993). AASHTO metode izmanto empīriskus vienādojumus, kas izstrādāti no AASHO ceļu testiem, kas tika veikti 1950. gadu beigās. Metodes ietvaros tiek pieņemts, ka segums ir daudzslāņu

elastīga sistēma ar kopējo strukturālo skaitli (SN), kas atspoguļo kopējo seguma biezumu un tā noturību pret atkārtotu satiksmes slodzi. Nepieciešamais SN projektam tiek izvēlēts tā, lai segums izturētu paredzēto satiksmes slodzi un neradītu ekspluatācijas bojājumus, kas lielāki par projekta prasībās noteiktajām. SN nosaka, izmantojot diagrammu, kas atrisina šādu vienādojumu:

$$logW_{18} = Z_R \times S_O + 9.36 \times log(SN+1) - 0.2 + \frac{log\frac{\Delta PSI}{2.7}}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + +2.32 log M_R - 8.07 \quad [3.81]$$

kur:
W18 – prognozētā, kumulatīvā 18-kip (80kN) ekvivalentā vienas ass slodzes pārbraucienu skaits (ESAL) projektētajā seguma kalpošanas laikā;
Z_R – uzticamības līmeņa standarta normālā novirze;
S_O – ir kopējā standartnovirze;
ΔPSI – pieļaujamais servisa līmeņa zudums;
M_R – zemes klātnes elastības modulis (stingums).

Kad ir noteikts nepieciešamais kopējais SN, atsevišķos slāņus var aprēķināt, izmantojot virkni iterāciju, izmantojot šādu vienādojumu:

$$SN = (a \times d)_{hma} + (a \times d \times m)_{base} + (a \times d \times m)_{subbase}, \quad [3.82]$$

kur:
a – relatīvās stiprības koeficients;
d – katra slāņa biezums (collās);
m – koeficients, kas ievērtē seguma mitruma īpašības.

Sākotnējās projektēšanas pieejas, ar ģeosintētiskajiem materiāliem pastiprinātiem elastīgiem segumiem, bija vērstas uz [3.81] un [3.82] vienādojuma modificēšanu, lai atspoguļotu ieguvumus, kas gūti, pievienojot ģeosintētiku. Šie seguma sistēmas uzlabojumi, ko nodrošina ģeosintētiskā pastiprināšana, ir novērtēti, izmantojot satiksmes ieguvumu attiecību (TBR) un pamata kārtas biezuma samazinājumu (BCR).

TBR ir attiecība starp slodzes ciklu skaitu pastiprinātā posmā (N_R), lai sasniegtu noteiktu deformācijas stāvokli (noteiktu risu veidošanās dziļumu), un slodzes ciklu skaitu nepastiprinātā posmā (N_U) ar tādu pašu ģeometriju un segas materiālu kārtām, kas sasniedz to pašu definēto deformācijas stāvokli. TBR var izteikt kā:

$$TBR = \frac{N_R}{N_U} \quad [3.83]$$

TBR izmantošana seguma projektēšanā nodrošina pagarinātu seguma kalpošanas laiku, ko nosaka:

$$\boldsymbol{W_{18}(reinforced = TBR \times W_{18}(unreinforced)} \quad [3.84]$$

TBR dažkārt dēvē par satiksmes uzlabošanas faktoru (TIF). TBR var izmantot, lai aprēķinātu pārbraucienu skaitu, ko ar ģeosintētiskajiem materiāliem pastiprināts segums var izturēt salīdzinājumā ar nepastiprinātu segumu pie definēta risu dziļuma. Lielākajai daļai ģeotekstilu TBR vērtība svārstās no 1,5 līdz 10, bet ģeorežģiem no 1,5 līdz 70.

BCR tiek definēts kā pamata kārtas biezuma procentuālais samazinājums, ko nodrošina ģeosintētiskā stiegrojuma (T_R) pievienošana attiecībā pret elastīgā seguma biezumu ar tiem pašiem materiāliem, bet bez pastiprinājuma (T_U), lai sasniegtu noteikto deformāciju stāvokli. BCR ir definēts šādi:

$$\boldsymbol{BCR = \frac{T_R}{T_U}} \quad [3.85]$$

BCR dažreiz sauc par slāņa koeficienta attiecību (LCR). Koeficientu var lietot seguma SN noteikšanai:

$$\boldsymbol{SN = (a \times d)_{hma} + BCR(a \times d \times m)_{base} + (a \times d \times m)_{subbase}} \quad [3.86]$$

Projektējot segumu izmantojot BCR, pamata kārtas biezuma samazinājumu var novērtēt šādi:

$$\boldsymbol{d_{base,(R)} = \frac{SN_u - (a \times d)_{hma} - (a \times d \times m)_{subbase}}{BCR(a \times m)_{base}}}, \quad [3.87]$$

kur:
$d_{base,(R)}$ – pamata kārtas biezums, kas samazināts ievērtējot ģeosintētisko pastiprinājumu;
SN_u – nepastiprināta seguma konstrukcijas skaitlis, kas atbilst ekvivalentam W18.

AASHTO projektēšanas metode pēc būtības ir empīriska, un tajā nav tieši ņemta vērā seguma struktūras mehānika, klimata ietekme vai satiksmes slodžu un materiālu īpašību izmaiņas seguma projektēšanas laikā. Šīs projektēšanas metodikas izmantošana veicot modelēšanu ar ģeosintētiskajiem materiāliem pastiprinātiem segumiem ir ierobežota, attiecinot to uz konkrētiem produktiem, materiāliem, ģeometriju, atteices kritērijiem un slodzēm, kas izmantoti testa posmos, lai noteiktu to

vērtības. Tādējādi šai pieejai trūkst vēlamās vispārības, jo pieredzi nav iespējams viegli pārnest no vienas lokācijas uz citu. [105]

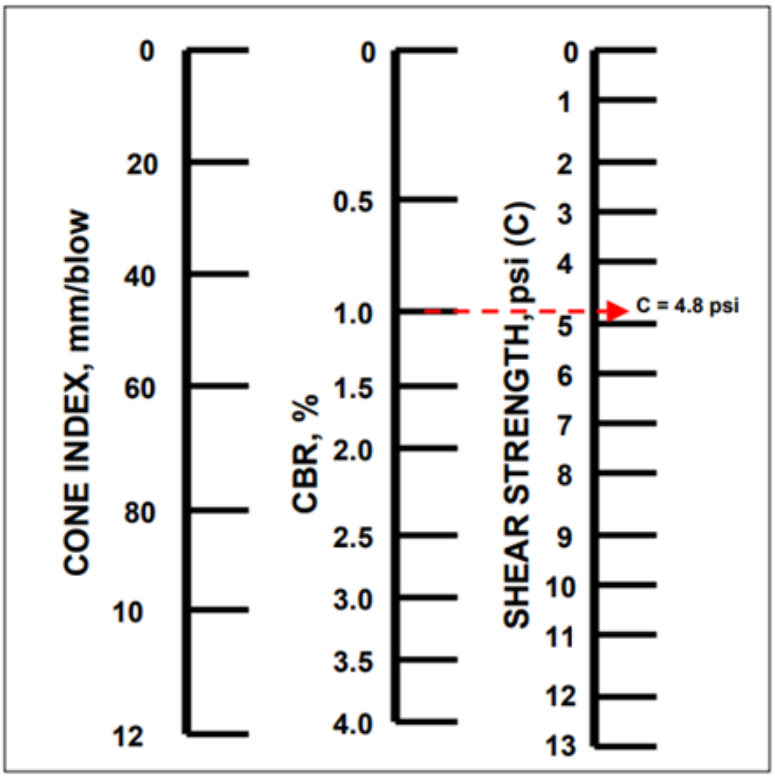
3.1.6 ASV armijas inženieru korpuss (2003)

ASV armijas inženieru korpuss (USACE) izstrādāja metodiku ar ģeosintētiskajiem materiāliem pastiprinātai seguma projektēšanai un elastīga seguma projektēšanai. Šī metodika balstīta uz empīriskiem datiem, kas iegūti no pilnas segas konstrukcijas testa posmiem, kas pārbaudīti ASV armijas inženieru pētniecības un attīstības centrā. Elastīgā seguma projektēšanas procedūra sastāv no pamatnes nestspējas un paredzamā smagākā transportlīdzekļa riteņu slodzes noteikšanas. Kad ir izvēlēti šie divi konstrukcijas parametri, nepieciešamais pamata kārtas biezums tiek noteikts no dažādām diagrammām/nomogrammām atkarībā no ass slodzes konfigurācijas, izmantojot pamatnes bīdes izturību, kas reizināta ar koeficientu, kas atbilst ģeosintētikas veidam un paredzamajai riteņu slodzei. Metodikas galvenie lietojumi:

- zemes klātnei ar CBR < 0,5 (E_{v2} < 5 MPa) to lieto zemes klātnes pastiprināšanai;
- zemes klātnei ar 0,5 (E_{v2} < 5 MPa) < CBR ≤ 4,0 (E_{v2} ≤ 20 MPa) to lieto zemes klātnes un pamata kārtu pastiprināšanai;
- zemes klātnei ar CBR > 4,0 (E_{v2} > 20 MPa) to lieto pamata kārtu pastiprināšanai.

Pirmais solis efektīva pastiprināta seguma sistēmas projektēšanā ir noteikt zemes klātnes īpašības, tostarp granulometriskā sastāva sadalījumu, Aterberga robežas un grunts slāņu bīdes pretestību vai grunts slāņa nestspēju. Bīdes pretestību var izmērīt tieši, izmantojot spārniņgriezes testu (FVT), vai netieši, izmantojot nestspējas korelācijas no CBR vai dinamiskā konusa penetrometra (DCP) testiem. Projektētā zemes klātnes stiprība tiek definēta kā 75 % no zemes klātnes stiprības vērtības augšējās 18 collās (46 centimetros). 75 procentu stiprība ir vērtība, pie kuras 75 procenti no reģistrētajiem zemes klātnes stiprības rādījumiem ir augstāki par šo vērtību. Attēlu (Attēls 3-4) var izmantot, lai pārveidotu konstrukcijas stiprības no konusa indeksa vērtībām un CBR vērtībām uz bīdes pretestību (C) psi (1 [psi] = 6,895 [kPa]).

Attēls 3-4. Saikne starp konusa indeksu, CBR un bīdes pretestību (C)



Kad ir noteikti projektētās zemes klātnes apstākļi, ir jāveic ģeosintētikas lietojamības novērtējums atkarībā no zemes klātnes CBR vērtībām.

Nākamais solis ir noteikt satiksmes intensitāti. Plānotā satiksmes intensitāte ir jānosaka saskaņā ar TM 5-822-5 (Pavement Design For Roads, Streets, Walks, And Open Storage Areas), kā rezultātā tiek iegūts projektēšanas indekss (DI). Projektēšanas indekss apvieno transportlīdzekļa ass slodzi un prognozēto satiksmes intensitātes ietekmi, kas izteikta ceļu klasifikācijā. Projektēšanas indekss mainās robežās no 1 līdz 10, lai ievērtētu satiksmes slodzi un skaitu. Projektēšanas indekss tiek izvēlēts, izmantojot tabulu (Tabula 3-1).

Tabula 3-1. Seguma projektēšanas indekss (iegūts no TM 5-822-5 3. 1. tabulas)1

Satiksmes kategorija[2]	**Segu projektēšanas indekss pēc ceļu/ielu klases[3]**					
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
I	2	2	2	1	1	1
II	3	2	2	2	2	1
III	4	4	4	3	3	2
IV	5	5	5	4	4	3

Satiksmes kategorija[2]	Segu projektēšanas indekss pēc ceļu/ielu klases[3]					
	A	B	C	D	E	F
IVA	6	6	6	5	5	4
V (60 (kip) kāpurķēžu transportlīdzekļi vai 15 (kip) iekrāvēji)						
500/dienā	7	7	7	7	7	--[4]
200/dienā	6	6	6	6	6	--[4]
100/dienā	6	6	6	6	6	6
40/dienā	6	6	6	5	5	5
10/dienā	5	5	5	5	5	5
4/dienā	5	5	5	5	4	4
1/dienā	5	5	5	4	4	4
VI (90 (kip) kāpurķēžu transportlīdzekļi vai 25 (kip) iekrāvēji)						
200/dienā	9	9	9	9	9	--4
100/dienā	8	8	8	8	8	8
40/dienā	7	7	7	7	7	7
10/dienā	6	6	6	6	6	6
4/dienā	6	6	6	6	6	6
1/dienā	5	5	5	5	5	5
1/nedēļā	5	5	5	4	4	4
VII (120 (kip) kāpurķēžu transportlīdzekļi						
100/dienā	10	10	10	10	10	10
40/dienā	9	9	9	9	9	9
10/dienā	8	8	8	8	8	8
4/dienā	7	7	7	7	7	7
1/dienā	6	6	6	6	6	6

Satiksmes kategorija[2]	Segu projektēšanas indekss pēc ceļu/ielu klases[3]					
	A	B	C	D	E	F
1/nedēļā	5	5	5	5	5	5

[1] – *tabula 1-1 iegūta no TM 5-822-5;*

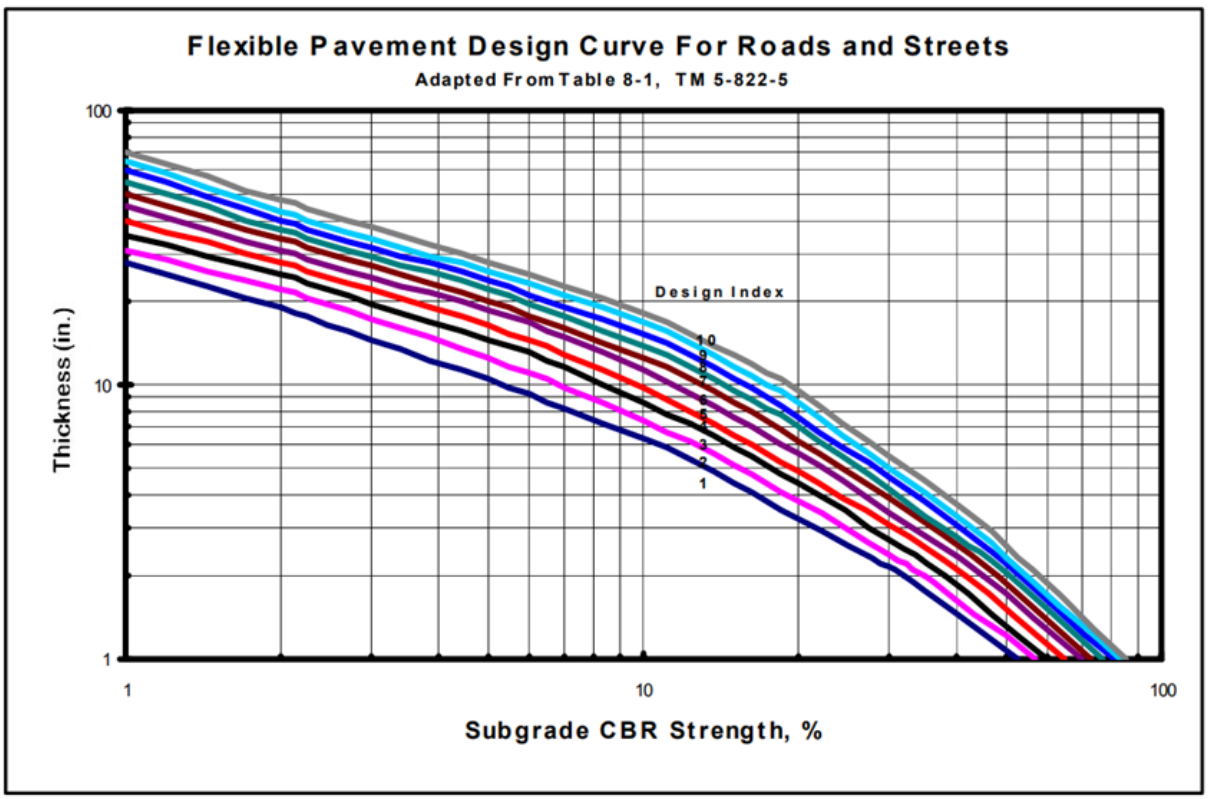
[2] – *satiksmes kategorija, kas noteikta saskaņā ar TM 5-822-5, 3. nodaļu;*

[3] – *ceļa/ielas klase, kas noteikta saskaņā ar TM 5-822-2, 5. nodaļu;*

[4] – *satiksme ierobežota līdz 100 transportlīdzekļiem dienā.*

Nākamais solis ir nepastiprināta elastīga seguma projektēšana pie projektētajiem zemes klātnes apstākļiem. Izmantojot attēlu (Attēls 3-5) nosaka nepieciešamo seguma biezumu ņemot vērā projektā definēto konstruktīvās kārtas un zemes klātnes nestspēju (1 colla [in.] = 2,54 centimetri [cm]; E_{V2} = 7,5 $CBR^{0,75}$). Asfalta un pamata kārtu minimālās biezuma vērtības ir norādītas tabulā (Tabula 3-2).

Attēls 3-5. Elastīgas segas projektēšanas indeksa līknes ceļiem un ielām



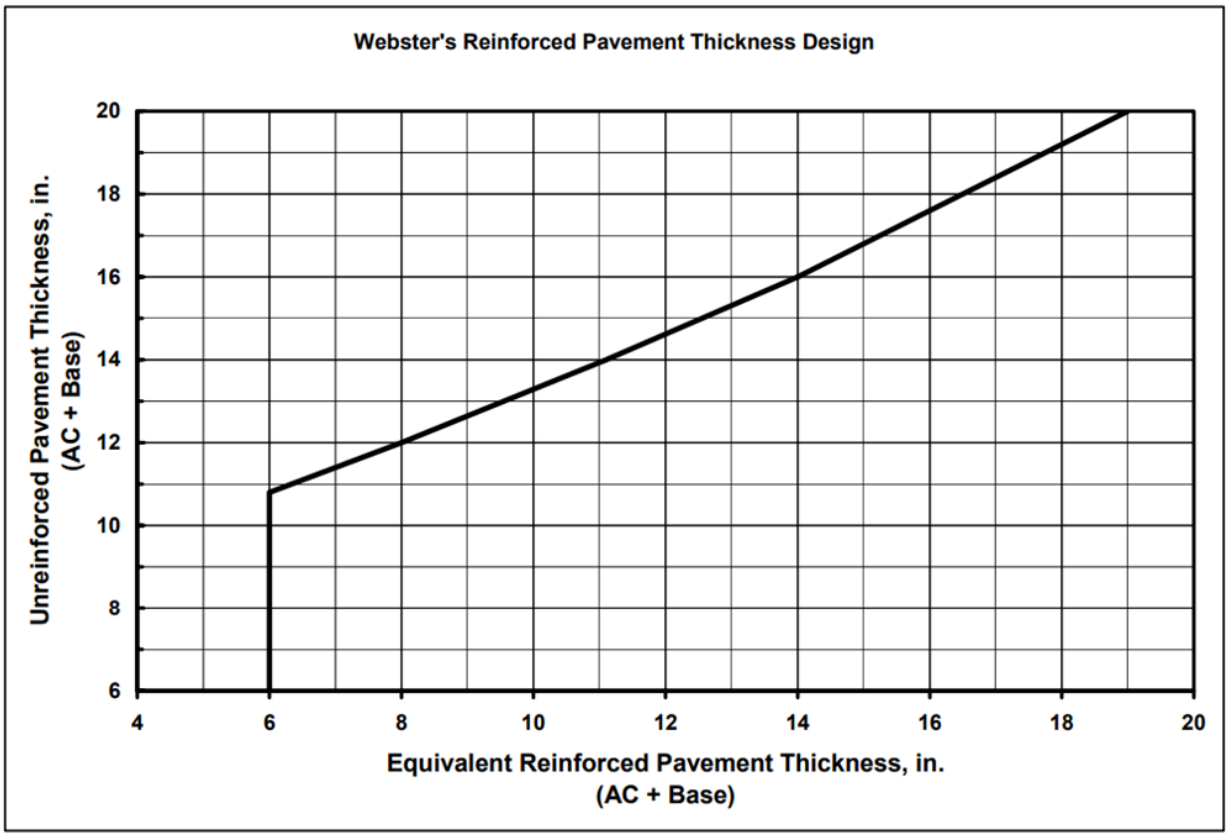
Ceļa segas minimālo asfalta kārtu biezumu nosaka, izmantojot tabulu (Tabula 3-2). Starpība starp kopējo nepieciešamo seguma biezumu virs konstruktīvās kārtas (noteikts no Attēls 3-4) uz kuras ieklāj ģeosintētisko materiālu un minimālā asfaltbetona slāņu biezuma ir projektētā elastīgā seguma pamata kārtas kopējais biezums.

Tabula 3-2. Minimālais seguma slāņu biezums

Nestspējas prasības uz pamata virskārtas									
	240 MPa			180 MPa			140MPa		
Projektē-šanas indekss	**Asfalta kārtas(cm)**	**Pamata kārta (cm)**	**Kopā (cm)**	**Asfalta kārtas (cm)**	**Pamata kārta (cm)**	**Kopā (cm)**	**Asfalta kārtas (cm)**	**Pamata kārta (cm)**	**Kopā (cm)**
1	Virsmas apstrāde	10	11,5	vairākkārtu virsmas apstrāde	10	11,5	5,0	10	15,0
2	vairākkārtu virsmas apstrāde	10	12,5	4,0	10	14,0	6,5	10	16,5
3	4,0	10	14,0	4,0	10	14,0	6,5	10	16,5
4	4,0	10	14,0	5,0	10	15,0	8,0	10	18,0
5	5,0	10	15,0	6,5	10	16,5	9,0	10	19,0
6	6,5	10	16,5	8,0	10	18,0	10,0	10	20,0
7	6,5	10	16,5	8,0	10	18,0	10,0	10	20,0
8	8,0	10	18,0	9,0	10	19,0	11,5	10	21,5
9	8,0	10	18,0	9,0	10	19,0	11,5	10	21,5
10	9,0	10	19,0	10,0	10	20,0	13,0	10	23,0

Ar ģeosintētisko materiālu pastiprinātās pamata kārtas biezums tiek noteikts, izmantojot (Webster) pastiprinātā seguma biezuma ekvivalences diagrammu, kas parādīta attēlā (Attēls 3-6). Pastiprinātās pamata kārtas biezumu nosaka no diagrammā noteiktā ar ģeosintētiku pastiprinātā elastīgā seguma biezuma atņemot minimālo asfaltbetona slāņu biezumu, kas noteikti ar tabulas (Tabula 3-2) palīdzību.

Attēls 3-6. Webster ar ģeosintētiku pastiprinātā seguma biezuma ekvivalences diagramma



3.1.7 FHWA NHI-07-092 rokasgrāmata

FHWA NHI-07-092 projektēšanas rokasgrāmata ietver divu veidu metodes ar ģeosintētisko materiālu pastiprinātu pamatkārtu projektēšanai nestingām ceļa konstrukcijām. Pirmkārt, ieteikts ar ģeosintētisko materiālu pastiprinātas pamata kārtas slāņus projektēt saskaņā ar AASHTO PP 46-01 vadlīnijām (iepriekšēja AASHTO R50-09 versija) ar deviņiem soļiem, šādi:

- 1. solis. Veikt sākotnējo ģeosintētiskā materiāla lietojamības novērtējumu. Novērtējumā jānosaka zemes klātnes nestspēja, pamata biezums, kas nepieciešams nepastiprinātai segas konstrukcijai, pamata kārtas materiālu raksturlielumus, sezonālās mitruma līmeņa izmaiņas, pastiprinošos mehānismus un ģeosintētikas pievienoto vērtību;
- 2. solis. Veikt ceļa konstrukcijas projektēšanu. Seguma posmam bez ģeosintētikas nosaka konstruktīvo slāņu biezumus un materiālu veidu;
- 3. solis. Izpētīt iespējamos ieguvumus no ģeosintētikas stiegrojuma izmantošanas. Tam nepieciešams pārskatīt pieejamos satiksmes intensitātes, ģeoloģijas un citus datus, lai noteiktu potenciālos ieguvumus konkrētajam

projektam. Nosacījumi ģeosintētisko materiālu izmantošanas veidam ir apkopoti tabulā (Tabula 3-3);

- 4. solis. Definēt pastiprināšanas priekšrocības TBR (satiksmes ieguvumu attiecība) vai BCR (pamata kārtas biezuma samazinājums) faktora izteiksmē. Tam nepieciešams pārskatīt veiksmīgos projektus, lauka pētījumus un laboratorijas testu rezultātus;
- 5. solis. Izmantojot TBR, tiek projektēts pastiprināts seguma posms, pamatojoties uz AASHTO projektēšanas rokasgrāmatu;
- 6. solis. Veikt izmaksu un ieguvumu analīzi, lai novērtētu ieguvumus. Lai attaisnotu ģeosintētikas izmantošanu, atkarībā no lietotāja prioritātēm var izmantot sākotnējo būvniecības izmaksu samazinājumu vai dzīves cikla izmaksu samazinājumu;
- 7.–8. solis. Izstrādāt specifikācijas, konstrukcijas rasējumus un citus dokumentus;
- 9. solis. Uzraudzīt būvniecību un atbilstību projektam.

Tabula 3-3. Ģeosintētiskā materiāla lietošanas potenciāla kvalitatīvs pārskats nestingiem pastāvīgi izmantojamiem ceļiem

Ceļa konstrukcijas parametri		Ģeosintētikas veids					
Zemes klātnes nestspēja	Pamata kārtas biezums (mm)	Ģeotekstils		Ģeorežģis		Ģeokompozīts	
		Neausts	Austs	Ekstrudēts	Adīts, austs vai metināts	Pamatnē frakcionēts materiāls	Pamatnē min.mat. maisījums
Zema nestspēja Ev2<25 MPa	150 – 300	●	●	●	❑	●	❍
	> 300	●	●	◗	◗	◗	❍
Vidēja - augsta nestspēja 25<Ev2<45MPa	150 – 300	❍	◗	●	❑	●	❍
	> 300	❍	❍	❍	❍	❍	❍

● — Parasti var lietot ◗ — Pielietojams noteiktiem gadījumiem
❍ — Parasti netiek lietots ❑ — Nepietiekama informācija

Otrā projektēšanas metode, ko iesaka FHWA NHI-07-092 projektēšanas rokasgrāmata izmanto mehāniski empīrisku (M-E) metodi seguma konstrukcijas projektēšanai. Sākotnēji mehāniski empīriskajā seguma projektēšanas rokasgrāmatā ģeosintētiskie materiāli netika iekļauti, taču ģeosintētikas ražotāji veicot pētījumus apstiprināja, ka izmantojot M-E koncepciju iespējams, optimizēt ceļa konstrukciju. FHWA NHI-07-092 projektēšanas rokasgrāmata iepazīstināja ar sākotnējiem pētniecības projektiem, kas izstrādāti, lai definētu un kvantificētu ģeosintētikas priekšrocības mehāniski empīriskās

projektēšanas ietvaros. Ar ģeosintētiskajiem materiāliem pastiprinātu segumu skaitliskā modelēšana un projektēšana ir aprakstīta nākamajās metodē. [16]

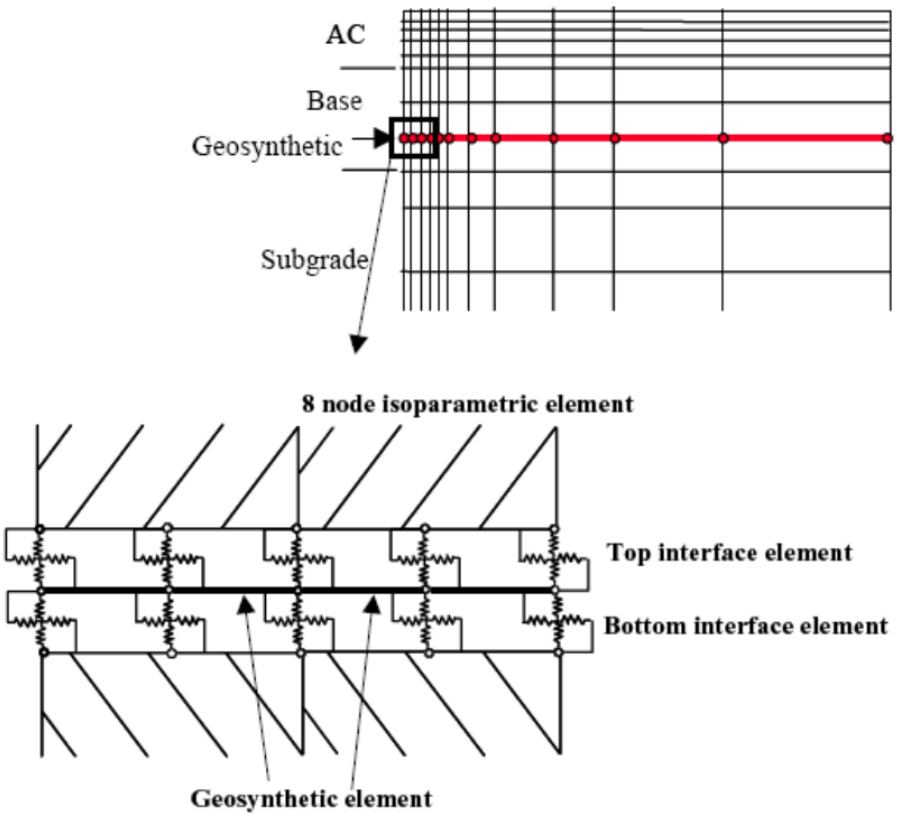
3.1.8 Ar ģeosintētiskajiem materiāliem pastiprinātu elastīgu segumu skaitliskā modelēšana

Daudzslāņu sistēmas seguma konstrukcijas veiktspēju parasti uzlabo, pastiprinot pamata kārtas ar ģeorežģi vai augstas stiprības ģeotekstilu. Ģeosintētisko materiālu un ceļa konstrukcijas kārtu mijiedarbības mehāniskai seguma analīzei un pastiprināšanas efekta raksturošanai parasti izmanto galīgo elementu metodes (GEM) un diskrēto elementu metodes (DEM).

3.1.8.1 Galīgo elementu metode – ar ģeosintētiskajiem materiāliem pastiprināta seguma analīze.

GEM pieeja analizē ar ģeosintētiskajiem materiāliem pastiprinātus elastīgus segumus kā grunts-ģeosintētikas-materiāla daļiņu sistēmas. Perkins (2001) izmantoja ABAQUSTM kontakta modeli, lai modelētu ģeorežģa kontaktvirsmas uzvedību un secināja, ka noteiktās seguma reakcijas, kas iegūtas no 3D analīzēm, tika ievērojami ietekmētas kontakta virsmas berzes modeļa elastīgās slīdēšanas dēļ. Eiksunds u.c. (2002), izmantojot programmu ABAQUSTM, izstrādāja 2D asimetrijas modeli ar ģeorežģi pastiprinātiem elastīgiem segumiem. Saskares virsmas berze tika izmantota, lai modelētu grunts / materiāla daļiņu un ģeosintētisko materiālu saskares virsmu. Kwon et al. (2005) izstrādāja 2D asimetrijas modeli, pamatojoties uz GT-PAVE galīgo elementu programmu, lai analizētu ar ģeorežģi pastiprinātu elastīgu segumu. Ceļa segas konstruktīvajām kārtām un zemes klātnei, GEM analīzē tika izmantoti astoņu mezglu asimetriskie elementi. Ģeosintētikai tika izmantoti trīs mezglu asimetriskie membrānas elementi, lai modelētu ģeosintētikas iekļaušanu. Membrānas elementi uzņem tikai stiepi, bet ne spiedi radiālajā un tangenciālajā virzienā. Turklāt grunts/materiāla daļiņu – ģeosintētiskā materiāla saskares virsma tika modelēta, savienojot membrānas elementus ar blakus esošajiem nepārtrauktības elementiem caur sešu mezglu saskares virsmas elementiem, kā parādīts attēlā (Attēls 3-7). Atsperes elementi, kas novietoti starp blakus esošajiem nepārtrauktības un membrānas elementiem, nodrošināja relatīvās kustības, kas mainījās atkarībā no atsperes bīdes un normālā stinguma. Izmantojot galīgo elementu modeli, Kwon un Tutumluer (2009) tālāk pētīja atbilstošo ģeosintētisko materiālu īpašību piešķiršanu, tostarp ģeorežģa moduli, spriegumu samazinājumu.

Attēls 3-7. Galīgo elementu sastāvs grunts/materiāla daļiņu un ģeosintētiskā materiāla mijiedarbības asimetriskam mehāniskajam modelim



3.1.8.2 Diskrētu elementu metode – ar ģeosintētiskiem materiāliem stabilizēta seguma analīze

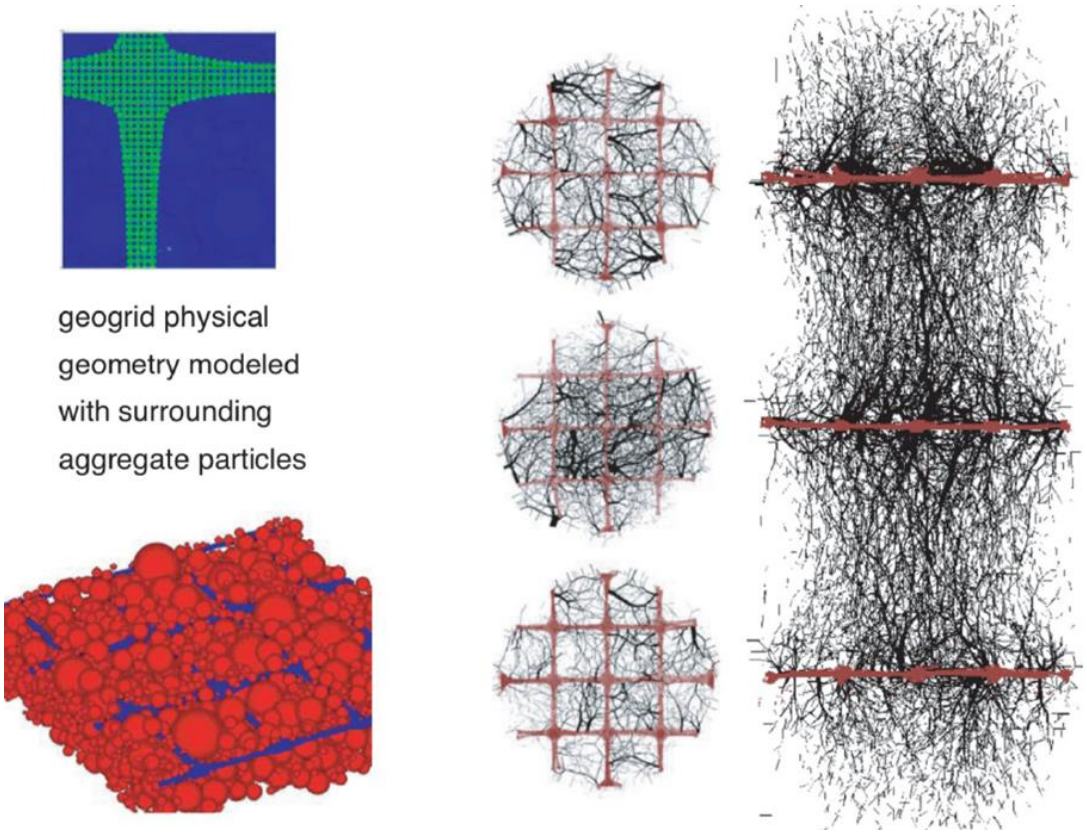
Atšķirībā no GEM pieejām, kas modelē ģeosintētisko materiālu kā mijiedarbību starp nepārtrauktiem elementiem, DEM pieeja, pēta stinguma efektu ģeosintētikas tuvumā, ņemot vērā reālistisku ģeosintētiskā materiāla ģeometriju, piemēram, ģeorežģi un materiāla daļiņu ieķīlēšanos. Šī mikro mēroga skaitliskās simulācijas pieeja pilnībā spēj modelēt reālistiskāko grunts un materiāla daļiņu mijiedarbību, kas galvenokārt ir ģeorežģa un materiāla daļiņu savstarpējā bloķēšana (ieķīlēšanās).

Jau sen tika identificēti svarīgie grunts un ģeorežģa mijiedarbības mehānismi, izmantojot bīdes testus, kas veikti lielās kastēs. Tika pārbaudīti septiņi nesaistītu materiālu frakciju veidi, kas saistīti ar divasu ģeorežģi ar atveres platumu 17,3 mm. Tiešie bīdes testi dažādām grunts frakcijām liecināja, ka materiālu daļiņu izmērs un granulometriskais sastāvs salīdzinājumā ar ģeorežģa atveres izmēru ietekmēja bīdes zonas lielumu.

Specifiska datorprogramma, kurā iespējams modelēt nesaistītas kārtas materiāla daļiņas, kā trīsdimensiju elementus, PFC3D datorprogramma, tika izmantota, lai izpētītu materiāla daļiņu un ģeorežģa mijiedarbību un modelētu daļiņu

kustības/pārvietojumu ierobežošanas efektus. DEM sistēmā var modelēt vairākus savstarpēji mijiedarbīgus ķermeņus, kuros notiek lielas dinamiskas kustības, aprēķinot to kustību un savienojuma kopējo uzvedību. DEM modelēšanas pētījumu rezultāti tika izdarīti secinājumi par mijiedarbību starp ģeorežģi un apkārtējo grunti–materiāla daļiņām, slodzes pārneses mehānismiem, deformāciju, daļiņu pārkārtošanos utt. Ķīlēšanos starp daļiņām un ģeorežģi pēc slodzes noņemšanas var simulēt atbilstoši attēlam (Attēls 3-8).

Attēls 3-8. Kontaktspēka sadalījumi ar ģeorežģi pastiprinātās grunts daļiņās pēc daļējas horizontālās un vertikālās slodzes noņemšanas



Papildus materiāla granulometriskajam sastāvam, arī agregāta formas īpašības, leņķa indekss (AI) un virsmas tekstūra (ST), ir galvenie rādītāji, ko kvantitatīvi var noteikt Ilinoisas Universitātes uzlabotais daļiņu attēlu analizators (E- UIAIA).

Ilinoisas Universitātē izstrādātā DEM simulācijas pieeja izmanto reālas daudzskaldņu daļiņas un spēj radīt faktiskas agregātu daļiņas kā 3D daudzskaldņu elementus ar vienādu daļiņu izmēru sadalījumu un veidot kvantitatīvās vidējās formas attēlus un leņķus. Šī DEM pieeja tika kalibrēta balstoties uz lielu skaitu laboratorijas tiešās bīdes testa rezultātiem balasta izmēra minerālmateriāla frakcijas lietošanai un tā ir veiksmīgi izmantota, lai modelētu sarežģītu balasta uzvedību. Ilinoisas Universitātē notiekošie pētījumi, veicot lielu skaitu trīsasu laboratorijas testus, veiksmīgi kvantitatīvi novērtēja ar ģeorežģi stabilizētu balasta agregātu priekšrocības attiecībā uz bīdes izturību un

paliekošo deformācijas attīstību. Pateicoties iespējai izveidot faktiskas balasta konstrukcijas materiāla daļiņas kā 3D daudzskaldņu elementus DEM simulācijas spēja pietiekami precīzi uztvert balasta uzvedību ar un bez ģeorežģiem.

3.1.9 Mehāniski empīriskā projektēšanas pieeja

Divu Mehāniski empīrisku ceļa konstrukcijas projektēšanas rokasgrāmatu (MEPDG) vai AASHTO metodes sastāvdaļa ir mehānisks modelis, kas aprēķina sistēmas kritiskās reakcijas un nosaka empīrisku seguma kalpotspēju vai bojājumu modeli, kas saistīts ar kritiskajām reakcijām ņemot vērā uzkrātās deformācijas.

Lai izstrādātu uz mehānisma principiem balstītas projektēšanas pieejas, kas ievērtē ceļa konstrukcijas pamata pastiprināšanas efektu izmantojot ģeosintētiskos materiālus ir un tiek veikti vairāki pētījumi. [106], [107] Daļiņu bloķēšanas/ieķīlēšanas ietekme starp pamata kārtu un ģeorežģi tika simulēta, ņemot vērā bloķētos, horizontālos, paliekošos spriegumus nesaistīta materiāla pamatnē. Šīs metodes ietvaros tiek ņemta vērā pamata kārtas un zemes klātnes nelineāro sprieguma atkarība, paliekošie spriegumi no sablīvēšanās un pamata kārtas izotropā un anizotropā uzvedība. Palielinoties norobežojumam (daļiņu bloķēšanai), tika novērots stinguma efekts virs un zem ģeorežģa stiegrojuma, un prognozētās nestspējas moduļa vērtības ievērojami palielinājās ģeorežģa zonā.

Ilinoisas Universitātes (UIUC) pētnieku grupa izstrādājusi mehāniskās reakcijas modeli, kas ņem vērā ģeorežģa pastiprinājuma efektu elastīgās ceļa segas konstrukcijās. Tika veikti mēģinājumi apstiprināt UIUC mehānisko galīgo elementu modeļa rezultātus, izmantojot iegūtās seguma reakcijas un noteikto slodzes ietekmi veicot seguma testēšanu. Ilinoisas Universitātē veiktajā testā galvenā uzmanība tika pievērsta ģeorežģu efektivitātes novērtēšanai attiecībā uz elastīgu segumu reakciju un veiktspēju, ceļiem kas uzbūvēti uz zemas nestspējas zemes klātnes, t.i., CBR = 4 % (E_{V2} = 20 MPa). Tika projektēti un uzbūvēti deviņi seguma testa posmi, kuros tika mērītas seguma reakcijas un uzraudzīta seguma nestspēja. Šajos seguma posmos tika iestrādāti sensori ar spiediena šūnām, lineāriem mainīgiem diferenciālajiem transformatoriem un deformācijas mērītājiem, lai testēšanas laikā izmērītu seguma reakciju uz kustīgu riteņa slodzi.

Veikto mērījumu analīze liecināja, ka kontroles posmos (segas konstrukcija bez ģeorežģa) bija augstākas stiepes deformācijas, kas izmērītas zem asfalta kārtām, lielāks vertikālais spiediens un elastīga deformācija uz zemes klātnes virsmas un ievērojami lielākas sānu deformācijas pamata kārtās, īpaši satiksmes virzienā, salīdzinot ar

posmiem, kur tika veikta pamata pastiprināšana ar ģeosintētiskajiem materiāliem. Šo novērojumu vēl vairāk apstiprināja izmērītās virsmas risu dziļums. Nesaistītu materiāla daļiņu-ģeorežģa bloķēšana samazināja gan sānu deformāciju pamata kārtā, gan seguma virsmas vertikālo deformāciju. Pēc satiksmes slodzes pielikšanas kontroles posmos bez ģeorežģa bija izteiktākas seguma problēmas, tostarp lielākas virsmas rises zemes klātnes bīdes bojājuma dēļ, kā arī pamata kārtas sānu kustība.

Ieguvumus no ģeorežģu lietošanas seguma konstrukcijā var veiksmīgi modelēt, ņemot vērā paliekošo sprieguma koncentrāciju, kas rodas ģeorežģa-materiāla daļiņu tuvumā. Ģeorežģa tuvumā paliekošie spriegumi ievērojami palielināja modelētā seguma posma pamata un zemes klātnes prognozētos elastīgos moduļus. Tas izraisīja mazāku vertikālo spiedienu uz pamatnes, mazākas vertikālās deformācijas zemes klātnes augšdaļā un mazākas materiāla daļiņu garenvirziena deformācijas ar ģeorežģi pastiprinātu pamata kārtu posmos. Turklāt aprēķinu prognozes ļoti precīzi atbilda izmērītajām reakcijām, kas tika noteiktas testa posmos.

Lai noteiktu ģeosintētikas izmantošanas efektu seguma projektēšanā un analīzē, izstrādāta datora apakšprogramma, kura iekļauta seguma mehāniski empīriskās projektēšanas programmatūrā un ar tās palīdzību tiek prognozēta seguma nestspēja ar ģeosintētiku. Modelī jāievada nepastiprinātās, nesaistītās pamatkārtas materiāla īpašības, izvēlētā ģeosintētika, ģeosintētikas novietojums, ģeosintētiskā materiāla stingums, kas mērīts pie zemiem deformācijas līmeņiem (apmēram CBR = 1 % (E_{V2} = 7 MPa)), un bīdes mijiedarbības koeficients, kas noteikts laboratorijas testos. Modelis pārveido divas atsevišķas materiāla īpašību kopas par pastiprināta pamata kompozītmateriāla īpašībām. Pieejama datorprogramma “AASHTOWare Pavement ME Design”.

3.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības

Ģeosintētiskā materiāla veidam un tā mehāniskajām īpašībām ir būtiska ietekme uz pastiprinājuma efektu nestingās konstrukcijās. Būtiskākie materiālu parametri, kas ietekmē pastiprinājuma efektu, ir apkopoti tabulā (Tabula 3-4).

Tabula 3-4. Ģeorežģa īpašības, kas ietekmē pastiprināšanas efektus

Ģeosintētiskā materiāla parametrs	**Raksturlielums, kurā pastiprinājums sniedz vislielāko efektu**
Materiāla struktūra	Stings ģeorežģis (ekstrudēts un metināts) uzlabo risinājuma veiktspēju salīdzinājumā ar elastīgiem ģeorežģiem (austiem un adītiem).
Stiepes stiprība (Nesaistīto kārtu pastiprināšanai visbūtiskākā ir stiepes	Augstāka stiepes stiprība uzlabo

Ģeosintētiskā materiāla parametrs	Raksturlielums, kurā pastiprinājums sniedz vislielāko efektu
stiprība pie 2 % pagarinājuma)	pastiprinājuma efektu.
Stiepes elastības modulis, jeb sekantes stingums	Materiāli ar lielāku sekantes stinguma vērtību sniegs lielāku pastiprinājuma efektu pie vienāda slodzes apmēra.
Materiāla virsma	Ģeorežģis ar raupju virsmu rada augstāku bīdes pretestību salīdzinājumā ar ģeorežģi ar gludu virsmu. Raupja virsa īpaši uzlabo berzes mijiedarbības koeficientu ar smalkgraudainiem nesaistītas/salizturīgas kārtas materiāliem.
Acs atvēruma izmērs	> D50 no aizbēruma materiāla granulometrijas.
Ģeorežģa plaknes vērpes stiprība/stingums	Stings ģeorežģis salīdzinājuma ar elastīgu ģeorežģi uzlabo risinājuma veiktspēju.

Ģeosintētiskās stiegrojuma galvenās mehāniskās īpašības, kas uzlabo nestingo segumu nestspēju, ir saistītas ar ģeorežģa struktūru, virsmas raupjumu, ģeorežģa acs atvērumu izmēru, sekantes stingumu.

Ņemot vērā, ka autoceļa konstrukcijā nav pieļaujama deformāciju attīstība ģeorežģī, kas tiek iebūvēts nesaistītās pamatkārtās, tipiski tiek sasniegtas deformācijas 0,5 % līdz 2 % apmērā. Tas nozīmē, ka ģeorežģa stiepes deformāciju pretestība diapazonā līdz 2 % ir svarīgāka par maksimālo stiepes stiprību. Lai varētu kvantitatīvi noteikt ģeorežģa izstrādājuma pretestību (stiepes stiprību) pie vēlamā deformācijas apmēra, kā raksturlielumu var izmantot sekantes stinguma vērtību. Ģeorežģa sekantes stingumu nosaka, pamatojoties uz liela parauga platuma stiepes testu saskaņā ar EN ISO 10319/ASTM D 6637, pēc kura iespējams iegūt sprieguma-deformācijas līkni. Izmantojot liela parauga platuma stiepes testa datus, sekantes stingumu *J* aprēķina, izmantojot [3.88.] formulu:

$$J_{a-b} = \frac{F_a - F_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b} \qquad [3.88.]$$

kur:

J_{a-b} – raksturīgais sekantes stingums, ņemot vērā deformācijas apmēru Ɛa un Ɛb (kN/m);

F – stiepes stiprība pie noteiktās deformācijas Ɛ (kN/m);

Ɛ – deformācijas apjoms (%).

Augstākas sekantes stinguma vērtības nodrošina mazākas nesaistītās pamatkārtas grunts daļiņu deformācijas, uzlabojot konstrukcijas nestspēju, jo tiek samazināts pamatkārtas stinguma zudums. Šis efekts nodrošina konstrukcijas mazākas risu deformācijas, mazāku uzturēšanas darbu apjomu un ilgāku ceļa kalpošanas laiku.

Nesaistīto ceļa segas kārtu stiegrošanai ieteicams lietot ģeorežģus (austos, metinātos, ekstrudētos). Stiegrošanas materiāliem jādefinē tabulā (Tabula 3-5) norādītās deklarējamās minimālās īpašības. Stiegrošanas ģeosintētisko materiālu īpašību skaitliskās robežvērtības jānosaka būvprojektā.

Tabula 3-5. Prasības nesaistīto ceļa segas kārtu stiegrošanai

Paredzētā izmantošana: stiegrošana (R) saskaņā ar EN ISO 13249			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība***
Stingums pie 2% pagarinājuma	EN ISO 10319	kN/m	≥ ...
Acs izmērs	N/A	mm	25–45
Ilgizturība	EN ISO 13249 B pielikums	gadi	≥ 25, 50 vai 100
Bīstamās vielas	Ne vairāk kā noteikts ES dalībvalstu noteikumos		

** definē būvprojektā.*

3.3 Iestrādes tehnoloģija

Veiksmīgs ģeosintētisko materiālu pielietojums ceļa segas konstrukcijās būs iespējams, precīzi ievērojot ģeosintētisko materiālu iebūves tehnoloģiju un būvdarbu izpildes secību. Lai gan iebūves metodes nav sarežģītas, lielākā daļa problēmu, kas saistīta ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu, ir nepareizu vai neprecīzu būvniecības metožu rezultāts.

Ja būvdarbu laikā ģeosintētika tiek saplēsta vai caurdurta, tā nedarbosies atbilstoši paredzētajam. Ja ģeorežģis ir iebūvēts ar krokām vai ielocēm, tas nebūs nospriegots un līdz ar to nevarēs nodrošināt paredzēto pastiprināšanu. Dažkārt problēmas rada nepietiekamais ģeorežģu savienojumu pārklājums, izveidojušās un neaizpildītās rises pirms ģeosintētisko materiālu ieklāšanas un biezi uzbēruma slāņi, kas pārsniedz grunts nestspēju.

Būvdarbu izpildei jāievēro šāda procedūra, kā arī rūpīgi jāseko, lai viss būvniecības process norit atbilstoši paredzētajam:

- ∇ veicot grunts rakšanas/izlīdzināšanas darbus, jāuzmanās, lai netiktu pārmērīgi bojāta esošā pamatne. Tam var būt nepieciešams izmantot pēc iespējas vieglāku tehniku (buldozerus, greiderus u. c.);
- ∇ kad ir sagatavota pamatne, ģeorežģis jāieklāj atbilstoši paredzētajam novietojumam. Ģeosintētiku nedrīkst vilkt pa pamatni. Viss rullis jānovieto un

jāizrullē pēc iespējas gludāk. Ģeorežģa nelīdzenumi un krokas, ja nepieciešams, jānovērš, izstiepjot materiālu;

- ģeorežģu paralēlie ruļļi ir jāpārklāj, jāsašuj vai jāsavieno atbilstoši paredzētajam;
- līknēs/pagriezienos ģeorežģi ir jāsagriež un jāpārklāj pagrieziena virzienā;
- kad ģeorežģis krustojas ar esošā seguma zonu, ģeosintētikai jāsniedzas līdz vecās konstrukcijas malai. Lai paplašinātu vai šķērsotu esošos ceļus, kur izmantoti ģeorežģi, jāapsver iespēja ģeorežģi noenkurot pie brauktuves malas. Ieteicams brauktuves malu atrakt līdz esošajai ģeosintētikai, savukārt esošo ģeosintētiku mehāniski savienot ar jauno ģeosintētiku (t. i., mehāniski savienot ar ģeorežģi). Var izmantot arī pārklājumus, skavas un tapas;
- pirms ģeosintētisko materiālu apbēršanas būvinženierim jāpārbauda ģeorežģa stāvoklis, vai netiek konstatēti pārmērīgi bojājumi (t. i., caurumi, pārrāvumi, plīsumi utt.). Ja tiek konstatēti defekti, ģeosintētikas daļa, kurā ir defekts, ir jālabo, uzliekot jaunu ģeosintētikas slāni virs bojātās vietas. Minimālajam pārklājumam, kas nepieciešama paralēliem ruļļiem, visos virzienos jāpārsniedz defekta zona. Kā alternatīva ieteicama bojāto daļu pilnīga nomaiņa;
- pamatkārtas materiālu (apberot ģeosintētisko materiālu) jāuzber uz iepriekš uzbērta un izlīdzināta materiāla (nav pieļaujams materiālu bērt tieši uz ģeosintētiskā materiāla). Ļoti mīkstām pamatnēm (pamatnēm, kurām slodzes ietekmē vizuāli novērojamas deformācijas) izbērtās kaudzes augstums ir jāierobežo, lai novērstu iespējamu pamatnes bojājumu. Maksimālais kaudzes augstums posmos ar šādām gruntīm nedrīkst pārsniegt ceļa segas projektēto kopējo biezumu;
- uzbērtā materiāla biezums virs ģeosintētiskā materiāla ieteicams vismaz 30 cm, bet ne mazāk kā 20 cm, vai tam jāatbilst projektētajam. Nedrīkst pieļaut satiksmes kustību pa nesablīvētu minerālmateriāla slāni, kas uzbērts virs ģeosintētikas;
- veicot pirmā apbēruma būvniecību virs ģeosintētiskā materiāla, jāizslēdz tehnikas pagriešanās un apgriešanās virs tā. Ieteicams blakus esošajās platībās ierīkot apgriešanās jeb manevru laukumus;
- pirmā ģeosintētiskā materiāla apbēruma kārta vispirms jāblīvē ar buldozeru, pēc tam, lai iegūtu paredzēto sablīvējumu, ar gludo valču vibroveltni. Sablīvējumam jāatbilst prasībām. Ja pamatnē ir zemas nestspējas gruntis, pirmajai apbēruma

kārtai sasniedzamo sablīvējumu var nenorādīt, vai arī var samazināt prasības sablīvējumam, piemēram, -5%;

- ja ģeorežģis paredzēts ļoti mīkstu pamatu (pamatnēm, kurām slodzes ietekmē vizuāli novērojamas deformācijas) pastiprināšanai, jāapsver ģeosintētikas iepriekšēja nospriegošana. Lai veiktu iepriekšēju nospriegošanu, vieta ir jāpārbauda ar smagi noslogotu transportlīdzekli, piemēram, piekrautu pašizgāzēju. Riteņu slodzei jāatbilst maksimālajai riteņa slodzei, kas sagaidāma objektā. Transportlīdzeklim ir jāveic vismaz četri pārbraucieni virs pirmās ģeosintētikas materiālu apbēruma kārtas. Alternatīvi, pirms seguma būvēšanas, kad projektētais ģeosintētiskais materiāls un tā apbērums ir uzbūvēts, pa brauktuvi ģeosintētikas nospriegošanai organizē satiksmes kustību;
- rises, kas veidojas būvniecības laikā, jāaizpilda, lai nodrošinātu paredzēto slāņa biezumu virs ģeorežģa. Rises nedrīkst izlīdzināt, jo tas samazina kārtas biezumu.

Ar ģeosintētiskajiem materiāliem pastiprinātu nesaistītu pamata kārtu pastiprinājuma efektu var būtiski ietekmēt būvniecības kvalitāte un citi faktori:

- būvniecības laikā būvuzraugam un/vai citai uzraugošajai personai nepieciešams pārliecināties, vai būvdarbu veicēja piedāvātais materiāls atbilst specifikācijās definētajām prasībām. Jebkādas atkāpes no specifikāciju prasībām var būtiski ietekmēt projektā paredzētā risinājuma kalpotspēju;
- kad ģeosintētika tiek piegādāta uz vietas objektā, jāpārbauda ruļļi, lai pārliecinātos, ka tie ir pareizi uzglabāti un transportēti; jāpārliecinās, vai nav bojājumu;
- jāpārbauda ruļļu un partiju numuri, lai pārbaudītu, vai tie atbilst sertifikācijas dokumentiem;
- jāpārbauda materiāls katrā rullī, lai pārliecinātos, ka tie ir vienādi. Nepieciešams novērtēt, vai ruļļos nav defektu un nevienmērības;
- veicot materiāla iebūvi, nepieciešams sekot līdzi darba izpildei, pārliecinoties, ka tiek ievērotas ražotāja sniegtās ieklāšanas/izbūves norādes. Jebkādas atkāpes no izbūves secības vai prasībām var ietekmēt ģeomateriāla struktūru un līdz ar to samazināt tā fizikāli–mehāniskās īpašības;
- nepieciešams kontrolēt, lai materiāls tiktu atbilstoši nostiepts, lai neveidojas rievas, krokas un citi nelīdzenumi, kas var samazināt nesaistītās minerālmateriālu kārtas un ģeosintētiskā materiāla kopējo stingumu;

- lai pārliecinātos, ka ģeosintētiskais materiāls atbilst datu lapās sertificētajām īpašībām/parametriem, ieteicams veikt materiāla paraugu testus neatkarīgā laboratorijā;
- ja iespējams, jāpārbauda, vai ģeosintētiskais materiāls pēc nesaistītās kārtas izbūves nav bojāts. To var izdarīt, uzbūvējot izmēģinājuma posmu, vai arī pēc kārtas izlīdzināšanas un sablīvēšanas, atrokot minerālmateriālu un vizuāli novērtējot ģeosintētisko materiālu. Ja ir konstatētas plaisas, plīsumi vai citi bojājumi, sazinoties ar būvprojekta autoru, jānovērtē bojājumu pakāpe un, ja nepieciešams, jāveic attiecīgi pasākumi bojājumu novēršanai.

3.4 Būvprojektēšanas piemēri

3.4.1 Pirmais piemērs, izmantojot slāņa koeficienta attiecību (LCR)

Seguma konstrukcijās daudzslāņu sistēmas un transporta slodzes apstākļu sarežģītības dēļ nav vienkāršu projektēšanas metožu, lai identificētu ģeorežģa īpašības, kā tiešus konstrukcijas parametrus pastiprinātām segas konstrukciju sistēmām. Lai novērtētu ģeorežģa pastiprinājuma efektivitāti segas konstrukcijās, jāveic virkne uz kalpotspēju vērstu testu, no kuriem iespējams iegūt projektēšanai nepieciešamos parametrus, kā arī tos iekļaut segas projektēšanas metodikā.

Lai atspoguļotu ģeosintētisko materiālu ieguvumus, nestingu segas konstrukciju projektēšanas metodika ir jāmodificē, iekļaujot pastiprināšanas terminu “LCR” (slāņa koeficienta attiecība). LCR ir koeficients, kas tiek piemērots nesaistītām pamatkārtām un atspoguļo ar ģeorežģi pastiprinātas konstruktīvās kārtas nestspējas palielinājumu. Šī vērtība ir aprēķināta iepriekš minētā pētījuma ietvaros, pamatojoties uz pieļaujamo slodzes ciklu skaita palielinājumu pastiprinātai ceļa segas konstrukcijai, salīdzinot ar nepastiprinātu konstrukciju. Slāņu koeficienta attiecības jēdziens tika ieviests pirms vairāk nekā divdesmit gadiem [108] [109], lai noteiktu ģeorežģa pastiprinājuma efektu nestingā segumā. Šī koncepcija tika izstrādāta, pamatojoties uz stiegrojuma mehānismu, ka ģeorežģis nodrošina pamatkārtas materiāla sānu norobežojumu, līdz ar to uzlabojot pastiprinātās pamatkārtas nestspēju.

LCR vērtība tiek noteikta, pamatojoties uz rezultātiem, kas iegūti no laboratorijas un plašiem lauku testiem, salīdzinot segas konstrukcijas ar un bez ģeorežģa. Slāņa koeficientu attiecība (LCR) ir modifikators, kas tiek piemērots nesaistītas kārtas noteiktajam biezumam.

3.4.1.1 Projektēšanas soļi

Projektēšanas procedūru veido divas daļas:

1. daļa – Nepastiprinātas segas konstrukcijas noteikšana.

2. daļa – Pastiprinātas segas konstrukcijas projektēšana.

1. solis. Zemes klātnes nestspējas (*CBR* vai E_{V2}) un projektētās satiksmes slodzes noteikšana.

2. solis. Nepastiprinātas segas konstrukcijas projektēšana.

3. solis. Nestspējas (CBR vai E_{V2}) noteikšana uz konstruktīvās kārtas, virs kuras tiks ieklāts ģeorežģis.

4. solis. Slāņa koeficienta attiecības (LCR) vērtības noteikšana atbilstoši konstruktīvā slāņa nestspējai un LCR ģeorežģa grafikam.

5. solis. Pastiprinātas segas konstrukcijas noteikšana, samazinot nesaistītās konstruktīvās kārtas biezumu, izmantojot LCR koeficientu.

3.4.1.2 Risinājums bez ģeosintētiskā materiāla

Izstrādāts nepastiprinātas segas konstrukcijas biezums.

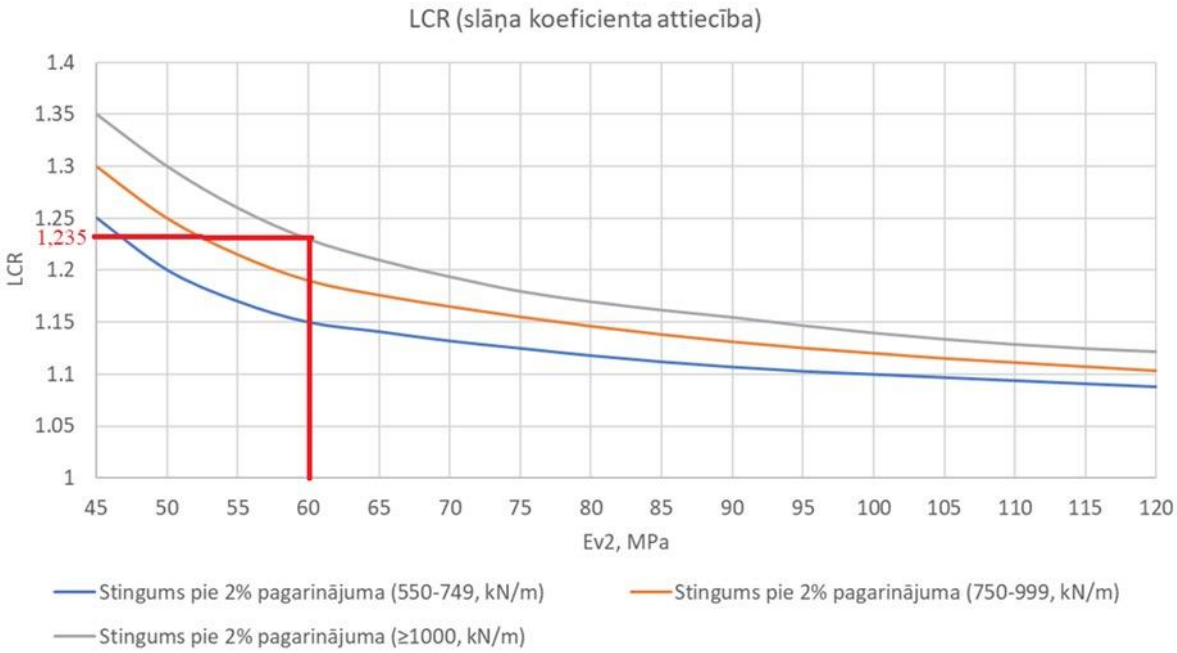
Tabula 3-6. Nepastiprinātas segas konstrukcija

Nr. p. k.	**Materiāla nosaukums**	**Slāņa biez. h, cm**	**E pie 10 ℃, MPa**	**Braucoša aut. D**	**h/D**	**$E_{apakšk}$/ E_{mat}**	**E_{ekv}/ E_{mat}**	**E_{ekv} 100 kN, MPa**
1	Asfaltbetons AC 11 surf	4	2950	37	0,108	0,0515	0,0573	168,92
2	Asfaltbetons AC 22 base	6	1900	37	0,162	0,0631	0,0799	151,84
3	Nesaistīts minerālmateriālu maisījums	25	260	37	0,6757	0,238	0,461	119,87
4	Smilts	40	75	37	1,081	0,600	0,825	61,87
5	Pamatnes grunts							45

3.4.1.3 Risinājums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu

Ģeorežģi paredzēts ieklāt zem nesaistīta minerālmateriālu maisījuma kārtas. Saskaņā ar ICP.CS metodiku $E_{V2} \geq E_{ekv}$, līdz ar to pieņemts, ka $E_{ekv} \approx E_{V2} = 60$ MPa.

Attēls 3-9. LCR pret E_{V2}



Ņemot vērā noteikto LCR koeficientu, iespējams noteikt pastiprinātas segas konstrukciju.

Tabula 3-7. Pastiprinātas segas konstrukcija

Nr. p. k.	Materiāla nosaukums	Slāņa biezums h, cm
1	Asfaltbetons AC 11 surf	4
2	Asfaltbetons AC 22 base	6
3	Nesaistīts minerālmateriālu maisījums	20 (25/1,235 = 20,24 → 20 cm)
4	Smilts	40
5	Zemes klātne	

3.4.2 Izstrādāto pirmā piemēra risinājumu tehniski ekonomiskais un ietekmes uz vidi salīdzinājums

Cenu salīdzinājums veikts 100 m garam ceļa posmam.

Tabula 3-8. Izmaksas projekta risinājumam ar nepastiprinātu segas konstrukciju

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Nesaistītu minerālmateriālu 0/45 pamata nesošās kārtas būvniecība	m^3	250	45,42	11 355
			KOPĀ:	11 355

Tabula 3-9. Izmaksas projekta risinājumam ar pastiprinātu segas konstrukciju

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Nesaistītu minerālmateriālu 0/45 pamata nesošās kārtas būvniecība	m^3	200	45,42	9084
Stiegrojošā ģeosintētiskā materiāla izbūve	m^2	1000	2,5	2500
			KOPĀ:	11 584

Risinājums ar ģeosintētisko materiālu ir par 2% dārgāks, tomēr, ņemot vērā cenu nemitīgo mainību, var uzskatīt, ka izmaksu ziņā starp abiem variantiem būtisku atšķirību nav. Ģeosintētiskais materiāls uzreiz pēc izbūves mobilizē būvniecības tehnikas izraisīto slodzi, tādējādi samazinot ietekmi uz esošo zemes klātni.

Ietekmes uz vidi novērtējumā izmantotas ģeosintētikas ražotāju sniegtās izstrādājumu vides deklarācijas, pētījuma "Inventory of Carbon and Energy (ICE)" [83] un pētījuma 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

3.4.2.1 Mērķis

Aprēķina piemēra LCA mērķis ir salīdzināt divu līdzvērtīgu (pēc nestspējas un/vai funkcionalitātes) konstrukciju (aprēķiniem pieņemtās konstrukcijas skatīt iepriekš) būvniecības procesa CO_2 ekvivalenta radītās emisijas, lai kopsakarībā ar šo risinājumu potenciālajām izmaksām pamatotu projektam piemērotāko risinājumu.

3.4.2.2 Funkcionālā vienība

100 m garš posms, ceļa platums 10,5 metri, ar vienu joslu katrā virzienā. Tiek pieņemts, ka konstrukciju nestspēja un kalpošanas laiks ir vienāds attiecīgi uzrādītajiem tehniskajiem risinājumiem.

3.4.2.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)*, iekļaujot šādus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

3.4.2.4 Dzīves cikla inventarizācija (LCI)

Dati par ģeosintētisko materiālu ražošanu un iebūvi iegūti no materiālu vides deklarācijām. Tiek apskatītas trīs dažādu ražotāju deklarācijas (Nr. EPD-Naue-069/2-EN, EPD-HUESKER-097-EN un EPD-TENSAR-161-EN (Rev.1_20.05.2022)). Dati par ražošanu pieejami visās vides deklarācijās; turpmākam aprēķinam tiek izmantota lielākā vērtība 3,80 kg CO_2 ekvivalents uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu (GWP). Dati par

iebūvi pieejami tikai divās no apskatītajām vides deklarācijām. Izmanto sekojošu vērtību – 0,528 kg CO_2 ekvivalents uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu (GWP).

Par ģeosintētisko materiālu transportēšanas attālumu, atbilstoši 1.5. nodaļā aprakstītajam, pieņemti 2000 km. Pieņemts, ka ģeosintētiskos materiālus ved pilnās kravās un pilnā kravā var iekraut 10 t. Degvielas patēriņš 30 l/100 km.

Pieņemts, ka minerālmateriālu zemes klātnes būvniecībai nepieciešams vest no atradnes 25 km attālumā no būvobjekta. Lai aprēķinātu minerālmateriāla piegādes CO_2 ekvivalentu, pieņemts, ka vienas piegādes ilgums ir 1,5 h.

Tiek uzskatīts, ka ģeosintētiskie materiāli tiks iebūvēti ar rokām.

Tabula 3-10. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam bez ģeosintētikas

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Vienas grunts kravas transportēšanas laiks (h)	1,5	Pieņemta vērtība (50 km kopējam attālumam, turp un atpakaļ)
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,0052	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Grunts tilpumsvars (kg/m³)	2000	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
Nesaistītu minerālmateriālu pamata nesošās kārtas būvniecība (m³)	250	Noteikts izstrādājot risinājumu
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 3-11. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam bez ģeosintētikas

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana no/uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO_2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Nesaistītu minerālmateriālu pamata nesošās kārtas būvniecība	500000	0,0052	2600	0,00535	2673,000	0,0008964	448,200	5721
ekskavators				0,00049				
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00486				
buldozers						0,0005184		
greideris						0,00027		
veltnis						0,000108		
							PAVISAM KOPĀ:	**5721**

Tabula 3-12. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam ar ģeosintētiku

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Vienas grunts kravas transportēšanas laiks (h)	1,5	Pieņemta vērtība (50 km kopējam attālumam, turp un atpakaļ)
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,0052	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Grunts tilpumsvars (kg/m³)	2000	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
Nesaistītu minerālmateriālu pamata nesošās kārtas būvniecība (m^3)	200	Noteikts izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļai
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	10000	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
Ģeosintētiskā materiāla svars (kg/m^2)	0,24	Atbilstoši materiāla deklerācijai
Ģeosintētiskā materiāla iebūve (m^2)	1000	Noteikts izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	3,8	Materiāla vides deklarācija Nr. EPD-HUESKER-098-EN
Iebūves CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,528	Materiāla vides deklarācija Nr. EPD-HUESKER-098-EN
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 3-13. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam ar drenāžas ģeosintētiku

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Stiegrojošā ģeosintētiskā materiāla izbūve	240	3,8	912,000	0,1944	46,656	0,528	126,720	1085
Nesaistītu minerālmateriālu pamata nesošās kārtas būvniecība	400000	0,0052	2080	0,00535	2138,400	0,0008964	358,560	4577
ekskavators				0,00049				
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00486				
buldozers						0,0005184		
greideris						0,00027		
veltnis						0,000108		
							PAVISAM KOPĀ:	**5662**

3.4.2.5 Ietekmes novērtējums

Saskaņā ar veiktajiem aprēķiniem risinājumam bez ģeosintētikas CO_2 ekv. = 5721 kg/100 m, bet risinājumam ar ģeosintētiku CO_2 ekv. = 5662 kg/100 m.

Salīdzinot aprēķinātās CO_2 ekv. kg/100 m vērtības, var secināt, ka nesaistītu kārtu pastiprināšana ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju rada par 2 % mazāku ietekmi, kura vērtējama kā nenozīmīga un šajā gadījumā nav izšķiroša.

3.4.3 Otrais piemērs, izmantojot slāņa koeficienta attiecību (LCR)

Autoceļu būvprojektos bieži tiek veikta esošā pamata pastiprināšana, neveicot pilnu segas konstrukcijas pārbūvi. Viens no iespējamajiem pastiprināšanas risinājumiem ir veikt esošā ceļa pamata pastiprināšanu, izmantojot ģeosintētisko materiālu, virs kura izbūvēta jauna nesaistītu minerālmateriālu pamatkārta.

3.4.3.1 Projektēšanas soļi

Projektēšanas procedūrai ir divas daļas:

1. daļa. Nepastiprinātās segas konstrukcijas noteikšana.

2. daļa. Pastiprinātas segas konstrukcijas projektēšana.

1. solis. Esošā ceļa pamata nestspējas (CBR vai E_{V2}) noteikšana.

2. solis. Nepastiprinātas, nepilnas ceļa konstrukcijas projektēšana.

3. solis. Slāņa koeficienta attiecības (LCR) vērtības noteikšana atbilstoši esošā pamata nestspējai un LCR ģeorežģa grafikam.

4. solis. Pastiprinātas segas konstrukcijas noteikšana, samazinot nesaistītās konstruktīvās kārtas biezumu, izmantojot LCR koeficientu.

3.4.3.2 Risinājums bez ģeosintētiskā materiāla

Izstrādāts nepastiprinātas segas konstrukcijas biezums.

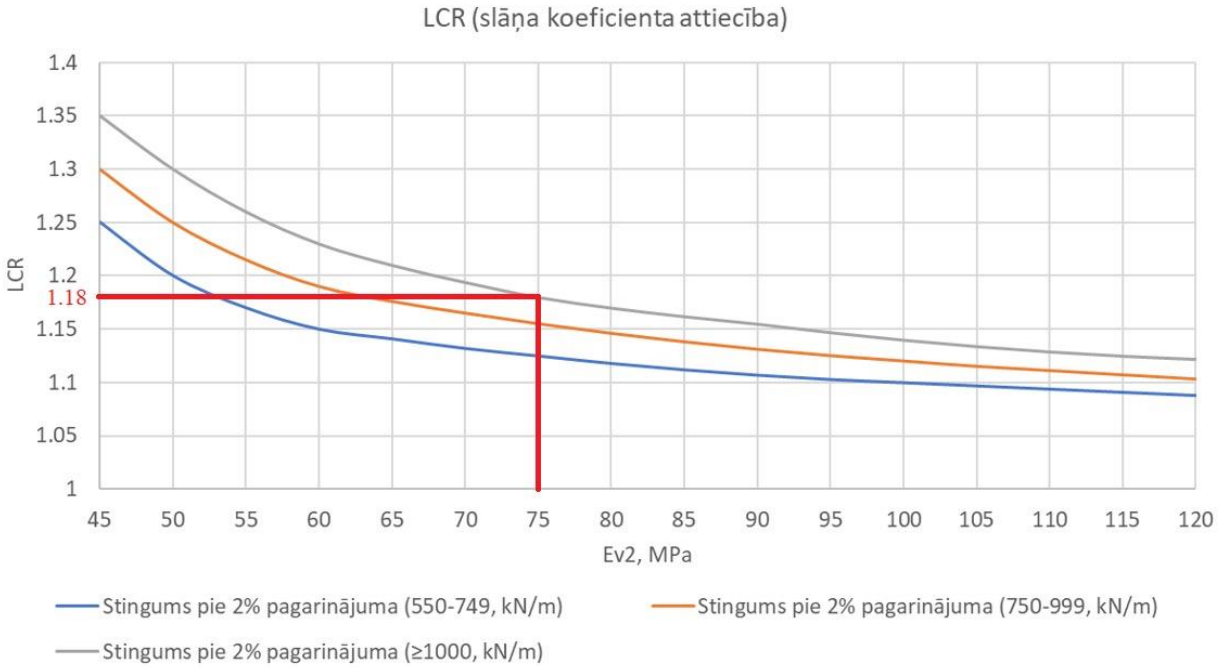
Tabula 3-14. Nepastiprinātas segas konstrukcija

Nr. p. k.	**Materiāla nosaukums**	**Slāņa biez. h, cm**	**E pie 10°C, MPa**	**Braucoša aut. D**	**h/D**	**$E_{apakšk}/E_{mat}$**	**E_{ekv}/E_{mat}**	**E_{ekv} 100 kN, MPa**
1	Asfaltbetons AC 11 surf	4	2950	37	0,108	0,0698	0,0784	231,42
2	Asfaltbetons AC 22 base	8	1900	37	0,216	0,0763	0,1084	205,96
3	Nesaistīts minerālmateriāla maisījums	30	260	37	0,811	0,288	0,5575	144,96
4	Esošais ceļa pamats							75

3.4.3.3 Risinājums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu

Ģeorežģi paredzēts ieklāt zem nesaistīta minerālmateriālu maisījuma kārtas. Kā redzams aprēķinā, tad $E_{ekv} \approx E_{V2}$ = 75 MPa.

Attēls 3-10. LCR pret EV2



Ņemot vērā noteikto LCR koeficientu, iespējams noteikt pastiprinātas segas konstrukciju.

Tabula 3-15. Pastiprinātas segas konstrukcija

Nr. p. k.	Materiāla nosaukums	Slāņa biezums h, cm
1	Asfaltbetons AC 11 surf	4
2	Asfaltbetons AC 22 base	8
3	Nesaistīts minerālmateriālu maisījums	25 (30/1,18 = 25,42 → 25 cm)
4	Esošais ceļa pamats	

3.4.4 Izstrādāto otrā piemēra risinājumu tehniski ekonomiskais un ietekmes uz vidi salīdzinājums

Cenu salīdzinājums veikts 100 m garam ceļa posmam.

Tabula 3-16. Izmaksas projekta risinājumam ar nepastiprinātu segas konstrukciju

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Nesaistītu minerālmateriālu 0/45 pamata nesošās kārtas būvniecība	m^3	300	45,42	13 626
			KOPĀ:	13 626

Tabula 3-17. Izmaksas projekta risinājumam ar pastiprinātu segas konstrukciju

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Nesaistītu minerālmateriālu 0/45 pamata nesošās kārtas būvniecība	m^3	250	45,42	11 355
Stiegrojošā ģeosintētiskā materiāla izbūve	m^2	1000	2,5	2500
			KOPĀ:	13 855

Risinājums ar ģeosintētisko materiālu ir par 2% dārgāks, tomēr, ņemot vērā cenu nemitīgo mainību, var uzskatīt, ka izmaksu ziņā starp abiem variantiem būtisku atšķirību nav. Ģeosintētiskais materiāls uzreiz pēc iebūves akumulē būvniecības tehnikas izraisīto slodzi, tādējādi samazinot ietekmi uz zemes klātni.

Ietekmes uz vidi novērtējumā izmantotas ģeosintētikas ražotāju sniegtās izstrādājumu vides deklarācijas, pētījuma "Inventory of Carbon and Energy (ICE)" [83] un pētījuma 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

3.4.4.1 Mērķis

Aprēķina piemēra LCA mērķis ir salīdzināt divu līdzvērtīgu (pēc nestspējas un/vai funkcionalitātes) konstrukciju (aprēķiniem pieņemtās konstrukcijas skatīt iepriekš) būvniecības procesa CO_2 ekvivalenta radītās emisijas, lai kopsakarībā ar šo risinājumu potenciālajām izmaksām pamatotu projektam piemērotāko risinājumu.

3.4.4.2 Funkcionālā vienība

100 m garš posms, ceļa platums 10,5 metri, ar vienu joslu katrā virzienā. Tiek pieņemts, ka konstrukciju nestspēja un kalpošanas laiks ir vienāds attiecīgi uzrādītajiem tehniskajiem risinājumiem.

3.4.4.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

3.4.4.4 Dzīves cikla inventarizācija (LCI)

Dati par ģeosintētisko materiālu ražošanu un iebūvi iegūti no materiālu vides deklarācijām. Tiek apskatītas trīs dažādu ražotāju deklarācijas (Nr. EPD-Naue-069/2-EN, EPD-HUESKER-097-EN un EPD-TENSAR-161-EN (Rev.1_20.05.2022)). Dati par ražošanu pieejami visās vides deklarācijās; turpmākam aprēķinam tiek izmantota lielākā vērtība 3,80 kg CO_2 ekvivalents uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu (GWP). Dati par

iebūvi pieejami tikai divās no apskatītajām vides deklarācijām. Izmanto sekojošu vērtību – 0,528 kg CO_2 ekvivalents uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu (GWP).

Par ģeosintētisko materiālu transportēšanas attālumu, atbilstoši 1.5. nodaļā aprakstītajam, pieņemti 2000 km. Pieņemts, ka ģeosintētiskos materiālus ved pilnās kravās un pilnā kravā var iekraut 10 t. Degvielas patēriņš 30 l/100 km.

Pieņemts, ka minerālmateriālu zemes klātnes būvniecībai nepieciešams vest no atradnes 25 km attālumā no būvobjekta. Lai aprēķinātu minerālmateriāla piegādes CO_2 ekvivalentu, pieņemts, ka vienas piegādes ilgums ir 1,5 h.

Tiek uzskatīts, ka ģeosintētiskie materiāli tiks iebūvēti ar rokām.

Tabula 3-18. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam bez ģeosintētikas

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Vienas grunts kravas transportēšanas laiks (h)	1,5	Pieņemta vērtība (50 km kopējam attālumam, turp un atpakaļ)
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,0052	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Grunts tilpumsvars (kg/m³)	2000	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
Nesaistītu minerālmateriālu pamata nesošās kārtas būvniecība (m³)	300	Noteikts izstrādājot risinājumu
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 3-19. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam bez ģeosintētikas

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana no/uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO_2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Nesaistītu minerālmateriālu pamata nesošās kārtas būvniecība	600000	0,0052	3120	0,00535	3207,600	0,0008964	537,840	6865
ekskavators				0,00049				
autotransports (iettilpība 25 t)				0,00486				
buldozers						0,0005184		
greideris						0,00027		
veltnis						0,000108		
							PAVISAM KOPĀ:	**6865**

Tabula 3-20. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam ar ģeosintētiku

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Vienas grunts kravas transportēšanas laiks (h)	1,5	Pieņemta vērtība (50 km kopējam attālumam, turp un atpakaļ)
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1kg)	0,0052	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Grunts tilpumsvars (kg/m³)	2000	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
Nesaistītu minerālmateriālu pamata nesošās kārtas būvniecība (m³)	250	Noteikts izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļai
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	10000	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
Ģeosintētiskā materiāla svars (kg/m²)	0,24	Atbilstoši materiāla deklerācijai
Ģeosintētiskā materiāla iebūve (m²)	1000	Noteikts izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	3,8	Materiāla vides deklarācija Nr. EPD-HUESKER-098-EN
Iebūves CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,528	Materiāla vides deklarācija Nr. EPD-HUESKER-098-EN
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 3-21. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam ar ģeosintētiku

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Stiegrojošā ģeosintētiskā materiāla izbūve	240	3,8	912,000	0,1944	46,656	0,528	126,720	1085
Nesaistītu minerālmateriālu pamata nesošās kārtas būvniecība	500000	0,0052	2600	0,00535	2673,000	0,0008964	448,200	5721
ekskavators				0,00049				
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00486				
buldozers						0,0005184		
greideris						0,00027		
veltnis					```	0,000108		
							PAVISAM KOPĀ:	**6807**

3.4.4.5 Ietekmes novērtējums

Veiktais salīdzinājums parāda, ka konstrukcijai ar stiegrojumu ir mazāka siltumnīcas efekta gāzu emisija, bet atšķirība vērtējam kā nenozīmīga.

Atbilstoši apskatītajiem piemēriem redzams, ka ģeorežģa izmantošana konstrukcijas nesaistīto pamatu kārtās nesniedz tūlītēju ekonomisku efektu. Lai varētu novērtēt ilgtermiņa finansiālo ieguvumu/izdevumu samazinājumu, ko sniedz pastiprināta nesaistītā pamatkārta, nepieciešams veikt un projekta dokumentācijai pievienot dzīves cikla un izmaksu salīdzinājumu pastiprinātai un nepastiprinātai konstrukcijai.

3.5 Lietošanas un labās prakses piemēri

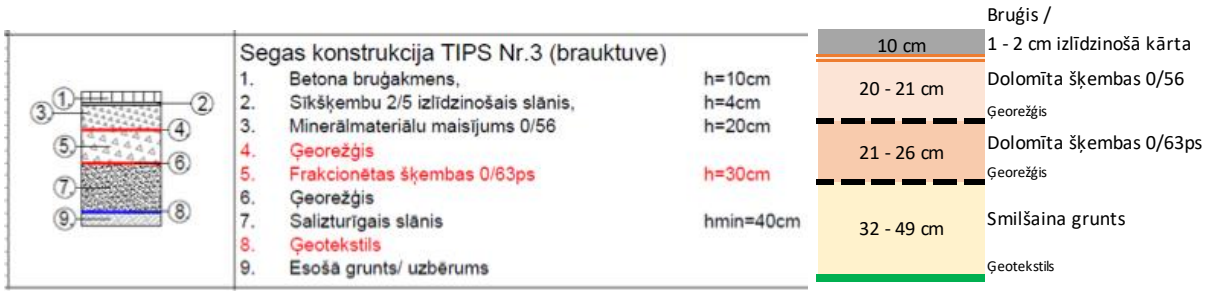
3.5.1 Objekts – Loģistikas centrs Ķekavā

Loģistikas centrs Ķekavā uzbūvēts laika periodā no 2018. līdz 2020. gadam.

Sākotnējais projekta risinājums paredzēja laukuma segas pastiprināšanu ar ģeosintētiskajiem materiāliem:

- ∇ atdalošais ģeotekstils starp zemes klātni un ceļa segas salizturīgo kārtu;
- ∇ ģeorežģis starp ceļa segas salizturīgo kārtu un nesaistītu minerālmateriālu maisījuma 0/63ps nesošo apakškārtu;
- ∇ ģeorežģis starp ceļa segas nesaistītu minerālmateriālu maisījuma 0/63ps nesošo apakškārtu un minerālmateriālu maisījuma 0/56 nesošo virskārtu.

Attēls 3-11. Projektētā un faktiskā segas konstrukcija



Sākotnējais projekta risinājums paredzēja arī drenāžas ierīkošanu, kuru pasūtītājs atcēla.

3.5.1.1 Objekta apsekošana

Šī pētījuma ietvaros 2022. gada 18. jūlijā tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu uzbūvētā laukuma segas konstrukcijas risinājuma tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieki A. Strežs un J. Kivilands

Konstatēts, ka daļā laukuma segā ir iebrauktas dziļas rises, kuru lielākais dziļums ir pie izbraukšanas kontrolpunkta, kur piekrautas automašīnas uz brīdi apstājas.

Konstatēts, ka daļā laukuma 2021. gadā ir veikta daļēja segas pārbūve, jo daudzviet sākotnēji uzbūvētā bruģa segas konstrukcija transporta slodžu iedarbībā tika sagrauta. Vispirms tika nojaukts bruģa segums, sīkšķembas un minerālmateriālu maisījuma 0/56 kārta līdz ģeorežģim. Tad no jauna uzbūvējot jaunu nesaistītu minerālmateriālu maisījuma 0/45 nesošo virskārtu un jaunu karstā asfalta segumu. Papildus tika uzbūvēta virsūdens savākšanas sistēma. Apsekošanas brīdī 18.07.2022. pārbūvētās segas defekti netika konstatēti, bet pārbūvētā sega no pārbūves brīža faktiski arī nav ekspluatēta.

3.5.1.2 Defektu iepriekšējo izmeklējumu dati

Uzbūvētajā laukuma segas konstrukcijas daļā jau pirmajā laukuma ekspluatācijas gadā tika iebrauktas dziļas 5-10 cm rises. Bruģa virspusē pa bruģa šuvēm tika izspiesta dolomīta putekļu/ūdens "putra". Lielākie defekti bija tur, kur intensīvāka smagā satiksme – pa laukuma kopceļa daļu.

Drīz pēc defektu parādīšanās 2019. gada pavasarī ir tikusi testēta nestspēja (E_{v2}) uz nesošās kārtas virsmas. Konstatētie rezultāti no 90 MPa līdz 181 MPa. Zemākās E_{v2} vērtības nomērītas, kur zemes klātnē un salizturīgajā kārtā konstatēts gruntsūdens. Kā arī tika testēts zemes klātnes augšējās daļas grunts CBR tās optimālajā mitrumā. Iegūtie CBR rezultāti no 17 % līdz 24 %.

Ekspertīzes laikā skatrakumos tika konstatēta pārmitrināta zemes klātne un daļēji arī smilts slānis.

Attēls 3-12. Iebrauktas dziļas rises bruģa segumā pie kontrolpunkta (18.07.2022.)

Attēls 3-13. Atlūzumi no bruģa elementu malām plastisko deformāciju rezultātā (18.07.2022)

3.5.1.3 Risinājumu un ietekmējošo faktoru analīze

Veikto nestspējas mērījumu, ekspertīzes un CBR testēšanas dati liecina, ka gruntis pašas par sevi (pie optimāla sablīvējuma un mitruma) nevarētu radīt tik ievērojamu defektu veidošanos, kas apliecina gruntsūdens un lielas intensitātes smagā transporta kombinācijas graujošo iedarbību, respektīvi, galvenais seguma deformāciju cēlonis ir pārāk augsts gruntsūdens līmenis (gruntsūdens segas konstrukcijā), kurš izraisīja laukuma ceļa segas un zemes klātnes pārmitrinājumu, kā rezultātā pamatnes nestspēja kritiski samazinājās, kas arī izraisīja īpaši dziļas rises segumā.

Lietojot nepiemērotu materiālu izlīdzinošajai kārtai zem bruģa – sīkšķembas slodžu iedarbībā tika saberztas putekļos, virsmas ūdens caur bruģa segumu brīvi iesūcās sīkšķembās, savukārt sablīvētā nesaistītu minerālmateriālu 0/45 kārta darbojās kā ūdens barjera un ūdens nespēja drenēties dziļāk, kā rezultātā smagais transports šos dolomīta putekļu/ūdens "putru" izspieda uz bruģa virsmas.

3.5.1.4 Secinājumi un ieteikumi

Ģeosintētiskie materiāli šajā objektā nav palīdzējuši nodrošināt laukuma segas konstrukciju pret sabrukšanu.

Šajā gadījumā, visticamāk, lai nodrošinātu laukuma segas konstrukcijas pietiekamu nestspēju, būtu pieticis, ja būtu tikusi realizēta būvprojekta sākotnējos risinājumos paredzētā drenāžas sistēmas ierīkošana.

Ir pienācīgi jānovērtē augstāko iespējamo gruntsūdens līmeni, un nepieciešamības gadījumā jāparedz risinājumi tā pazemināšanai.

3.5.2 Objekts P37 Pļaviņas (Gostiņi) – Madona – Gulbene 0,120 – 7,370 km

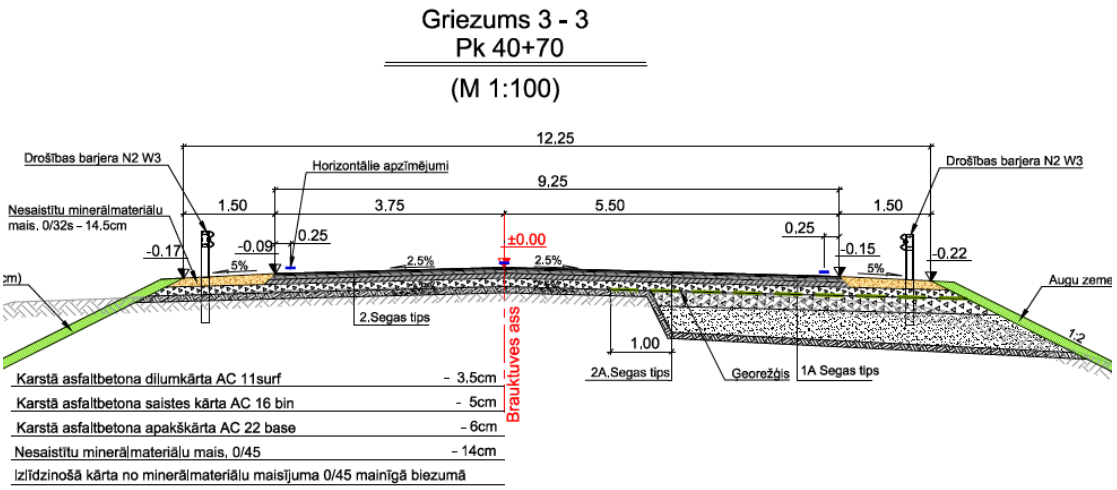
Objekts P37 Pļaviņas (Gostiņi) – Madona – Gulbene 0,120 – 7,370 km uzbūvēts 2020. gadā.

3.5.2.1 Būvprojekta dati

Būvprojekta risinājums paredz ceļa segas armēšanu ar ģeorežģi (stiprība min. 40/40 kN/m; pagarinājums ≤ 8 %) – 32,9 tk.m².

Ģeorežģis izmantots praktiski visā posmā gan ceļa paplašinājumu vietās mainīgās ceļa pusēs, gan autobusu pieturvietu paplašinājumos, gan ceļa brauktuvei pilnā ceļa segas konstrukcijas platumā.

Attēls 3-14. Būvprojekta risinājumu piemēri



Segas konstrukcija pamatceļam
(Segas konstrukcijas tips 2A)

	Karstā asfalta dilumkārtas AC11 surf ar būvniecība 3.5 cm biezumā
	Karstā asfalta saistes kārta AC 16 base/bin būvniecība 5 cm biezumā
	Karstā asfalta apakškārtas AC22 base/bin būvniecība 6 cm biezumā
	Pamata nesošās virskārtas izbūve no minerālmateriālu maisījuma 0/45, h-14cm biezumā (Kopējais deformācijas modulis EV2 paredzēts ≥ 150)
	Ģeorežģis
	Izlīdzinošā kārta no minerālmateriālu maisījuma 0/45 mainīgā biezumā

Segas konstrukcija pamatceļam
(Segas konstrukcijas tips 3)

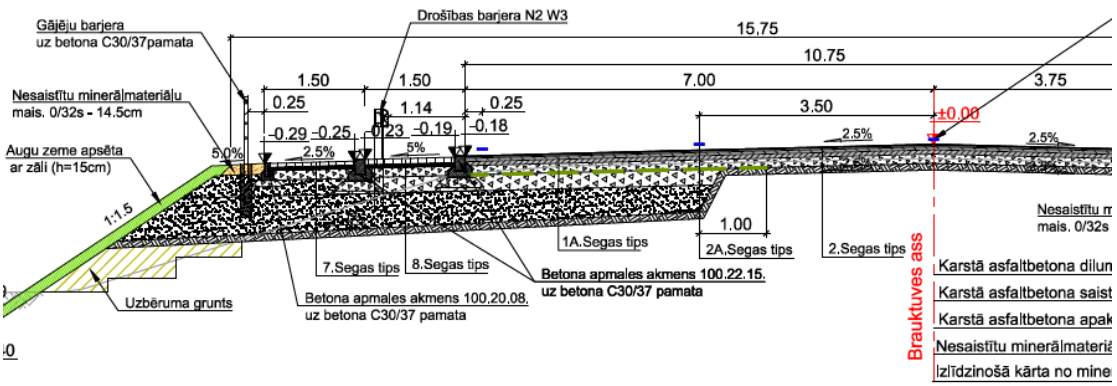
	Karstā asfalta dilumkārtas AC11 surf ar būvniecība 3.5 cm biezumā
	Karstā asfalta saistes kārta AC 16 base/bin būvniecība 5 cm biezumā
	Karstā asfalta apakškārtas AC22 base/bin būvniecība 6 cm biezumā
	Pamata nesošās virskārtas izbūve no minerālmateriālu maisījuma 0/45, h-14cm biezumā (Kopējais deformācijas modulis EV2 paredzēts ≥ 150)
	Ģeorežģis
	Pamata nesošās apakškārtas izbūve no minerālmateriālu maisījuma 0/45 vai 0/56, h-15cm biezumā
	Izlīdzinošā kārta no minerālmateriālu maisījuma 0/45 mainīgā biezumā

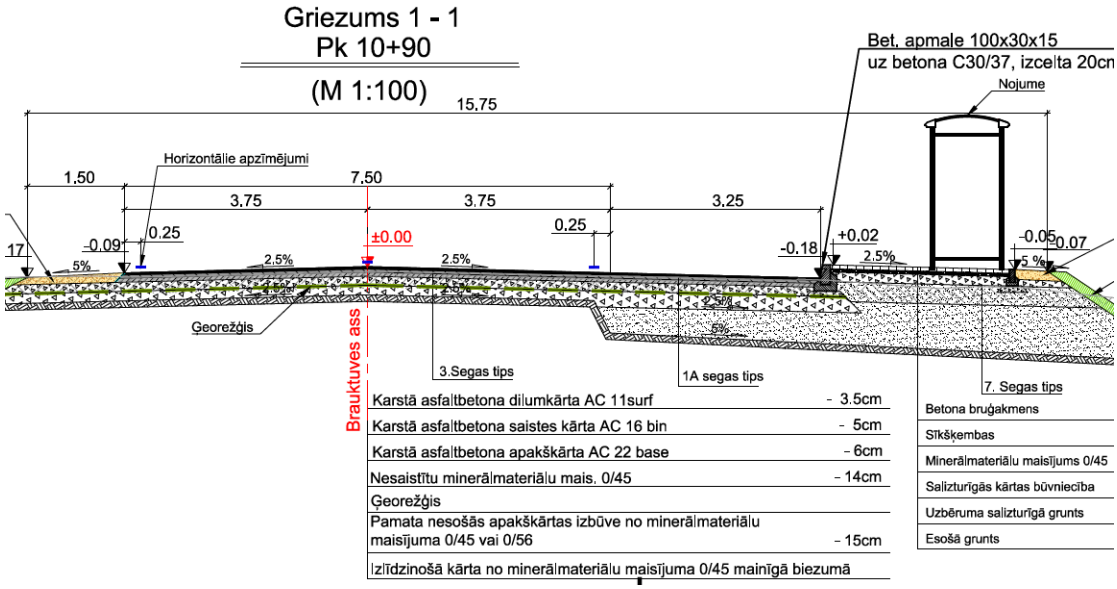
Segas konstrukcija pamatceļam
(Segas konstrukcijas tips 1A)

	Karstā asfalta dilumkārtas AC11 surf ar būvniecība 3.5 cm biezumā
	Karstā asfalta saistes kārta AC 16 base/bin būvniecība 5 cm biezumā
	Karstā asfalta apakškārtas AC22 base/bin būvniecība 6 cm biezumā
	Pamata nesošās virskārtas izbūve no minerālmateriālu maisījuma 0/45, h-14cm biezumā (Kopējais deformācijas modulis EV2 paredzēts ≥ 150)
	Ģeorežģis
	Pamata nesošās apakškārtas izbūve no minerālmateriālu maisījuma 0/56 vai 0/63, h-24cm biezumā
	Salizturīga smilts grants maisījuma kārtas būvniecība, hmin-40cm biezumā (Kopējais deformācijas modulis EV2 paredzēts ≥ 70)
	Zemes klātnes grunts pastiprināšana no salizturīga smilts grants maisījuma, h-10cm (Kopējais deformācijas modulis EV2 paredzēts ≥ 45)
	Uzbēruma/esošā grunts

GRIEZUMS 4-4 AR IETVI
Pk 43+70

(M 1:100)





3.5.2.2 Objekta apsekošana

Šī pētījuma ietvaros 2023. gada 25. aprīlī tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu ar ģeosintētiskajiem materiāliem pastiprinātās ceļa segas risinājuma tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieks A. Strežs.

Objekta apsekošanas laikā vizuāli defekti netika konstatēti.

Attēls 3-15. A/c P37 pie upes Veseta

3.5.2.3 Risinājumu un ietekmējošo faktoru analīze

Ģeosintētiskā materiāla izmantošanas efektivitāti izvērtēt nav iespējams, jo nav salīdzināmu kritēriju šādu secinājumu izdarīšanai. Konstruktīvais risinājums un tā izpildījums objektā šobrīd uzskatāmi par veiksmīgiem, jo vizuāli defekti netika konstatēti.

3.5.2.4 Secinājumi un ieteikumi

Pamatot ģeosintētisko materiālu izmantošanas nepieciešamību, vajadzības gadījumā tos lietot.

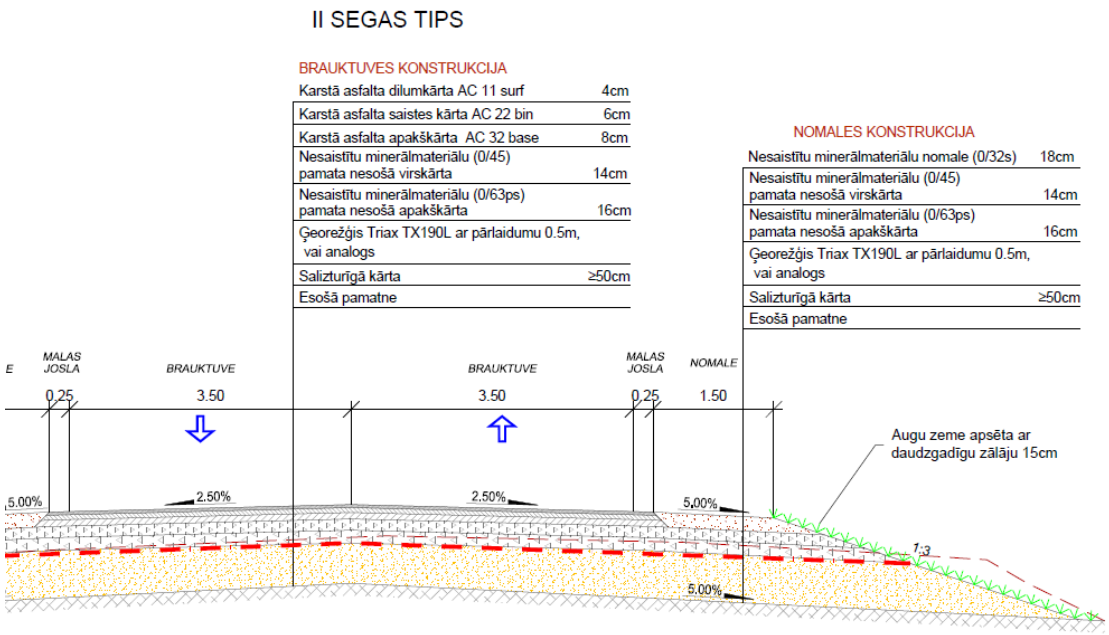
3.5.3 Objekts P37 Pļaviņas- Madona- Gulbene km 80,430-90,400

Objekts P37 Pļaviņas – Madona – Gulbene km 80,430-90,400 uzbūvēts 2017. gadā.

3.5.3.1 Būvprojekta dati

Būvprojektā paredzēts ģeorežģis stabilizācijai (ar pārlaidumiem 0,50 m) – 24,4 tk.m² platībā. Ģeorežģis izmantots pilnā ceļa klātnes platumā no Pk 822+60 līdz Pk 836+20 un no Pk 854+00 līdz Pk 855+80.

Attēls 3-16. Būvprojekta risinājumu piemēri



SIA Vertex projekti veica papildus pieejamās dokumentācijas izpēti, analizējot 1973. gada izstrādāto autoceļa Pļaviņas – Madona – Gulbene – Līzespasts (km 82-102) tehnisko projektu (projekta autors "LATGIPRODORTRANS"), saskaņā ar kuru 1977. gadā tika veikta autoceļa zemes klātnes un ceļa segas konstrukcijas būvniecība.

Projektā norādīti trīs posmi ar kūdru:

- Pk 824+00 – Pk 836+00 kūdras dziļums līdz 8,0 m;
- Pk 854+80 – Pk 855+60 kūdras dziļums līdz 5,0 m;
- Pk 898+00 – Pk 900+00 kūdras dziļums līdz 2,2 m.

Zemes klātnes konstrukcijas būvniecība tika veikta atkūdrošanas līdz 4,0 m dziļumam, atlikušo kūdru izspiežot būvējot uzbērumu. Pk 824+00 – Pk 836+00 un Pk 854+80 – 855+60 projektā paredzēta ceļa segas konstrukcijas pastiprināšana ar ģeorežģi Triax TX190L vai analogu.

3.5.3.2 Objekta apsekošana

Šī pētījuma ietvaros 2023. gada 25. aprīlī tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu risinājumu ar ģeosintētiskajiem materiāliem tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieks A. Strežs.

Apsekojot objektu dažviet konstatētas plaisas: km 88,7 – atsevišķas plaisiņas krustojumā uz ražotni; km 85,53 LJ – plaisa starp risām (foto); km 83,1 – nelielas plaisas LJ; km 83,4 – nelielas plaisas KJ; km 82,8 – nelielas plaisas brauktuves vidū (foto); citviet objektā pa kādai retai plaisiņai, pārsvarā pāris krustojumos ar smagāku noslodzi.

Atsevišķas, līdzīga rakstura kā pārējā posmā, plaisas novērotas arī posmos ar ģeosintētisko materiālu lietošanu.

Plaisu izcelsme nav identificējama.

Attēls 3-17. Km 85,53 LJ, plaisa starp risām

Attēls 3-18. Km 82,8, nelielas plaisas brauktuves vidū

3.5.3.3 Risinājumu un ietekmējošo faktoru analīze

Objektā konstatēts nedaudz nelielu plaisu, pārsvarā smagāk noslogotos krustojumos, bet tādas pašas kā citviet, konstatētas pāris plaisiņas arī divos posmos, kur lietoti ģeosintētiskie materiāli.

Novērtēt ģeosintētisko materiālu lietderību un pamatotību nav iespējams.

3.5.3.4 Secinājumi un ieteikumi

Pamatot ģeosintētisko materiālu izmantošanas nepieciešamību, vajadzības gadījumā tos lietot.

3.5.4 Objekts A3 km km 60,20 – 79,45 (Valmiera)

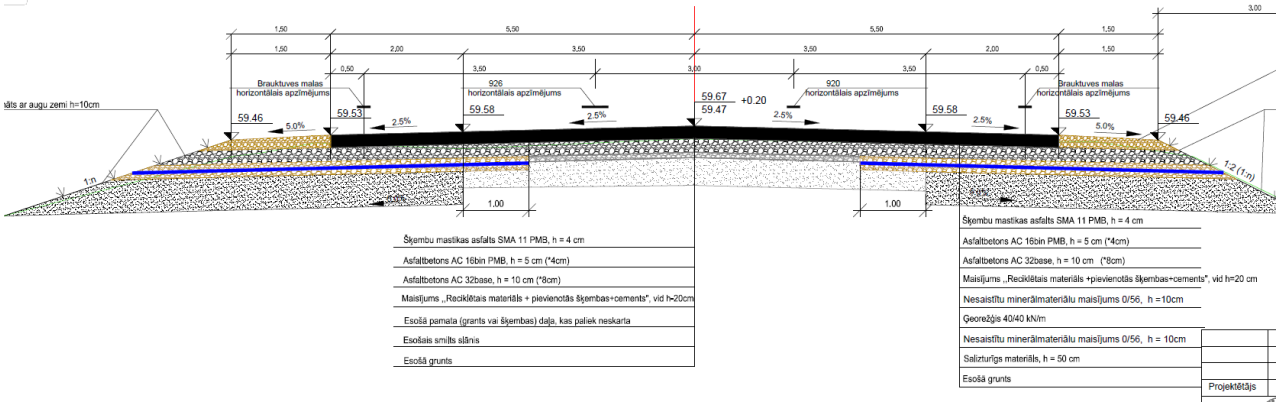
Objekts A3 km km 60,20 – 79,45 uzbūvēts 2016.-2017. gadā.

3.5.4.1 Būvprojekta dati

Saskaņā ar būvprojekta risinājumiem objektā paredzēta sekojošu ģeomateriālu izmantošana:

- armēšana ar kombinēto ģeorežģi 40/40 ar ģeotekstilu 22,6 tk.m² starp šķembu kārtām pieturvietu paplašinājumos un brauktuves paplašinājumos;
- nogāžu nostiprināšana ar šūnveida ģeorežģi, h=10 cm, kas pildīts ar šķembām un augu zemi 1,6 tk.m², pie Jumaras un Āžkalna strauta caurtekām;
- nogāžu nostiprināšana ar kokosa ģeopaklāju 11,6 tk.m².

Attēls 3-19. Ceļa segas pastiprinājuma risinājums ar ģeorežģi



3.5.4.2 Objekta apsekošana

Šī pētījuma ietvaros 2022. gada 28. septembrī tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu nostiprināto nogāžu un ceļa segas pastiprinājumu ar ģeosintētiskajiem materiāliem risinājumu tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieks J. Kivilands.

Tika apsekoti ap 10 brauktuves paplašinājumi un 10 pieturvietu paplašinājumi. Defekti netika konstatēti. Ir aizlieta garenšuve asfaltā, kam, visdrīzāk, nav saistības ar ģeokompozīta lietošanu;

Tika apsekots Jumaras upītes caurtekas nogāžu nostiprinājums ar ģeošūnām, kuras aizpildītas ar šķembām un melnzemi. Nogāzes ir stāvas 1:1-1:1,5 un līdz 8m garas. Defekti netika konstatēti. Zāle ir iesakņojusies un vietām jau aug arī kociņi.

Arī citviet nogāžu defekti netika konstatēti. Vizuāli nav identificējams konkrētās vietas, kur nogāžu nostiprinājumam lietots kokosa paklājs.

3.5.4.3 Risinājumu un ietekmējošo faktoru analīze

Ģeorežģis (ģeorežģis + tekstils) starp šķembu kārtām paplašinājumos defektus nerada. Cik lielā mērā tas ir bijis lietderīgi, novērtēt nevar, jo nav salīdzināmas konstrukcijas, piemēram, bez ģeorežģa.

Ģeošūnu nostiprinājums ar šķembu/melnzemes aizpildījumu konkrētajos apstākļos uz stāvas un garas nogāzes ir vērtējams kā adekvāts un veiksmīgs.

3.5.4.4 Secinājumi un ieteikumi

Tekstila lietošana starp šķembu kārtām, visticamāk ir nevajadzīga, jo provizoriski nedod nekādu efektu. Tekstila lietošanas mērķis ir atdalīt kārtas, lai tās, piemēram, ekspluatācijas periodā savstarpēji nepiesārņotos, bet šķembu kārtām minerālmateriālu struktūras dēļ nav šādas tieksmes.

Ģeošūnas ar šķembu aizpildījumu nodrošina pret eroziju stāvas (līdz 1:1) un augstas nogāzes. Melnzemes piejaukums šķembu pildījumam veicina augu iesakņošanos un dod papildus aizsardzību pret eroziju.

3.5.5 Objekts A12 Jēkabpils – Rēzekne – Ludza – Krievijas robeža (Terehova) posma km 54,600 – 72,780 segas pārbūve

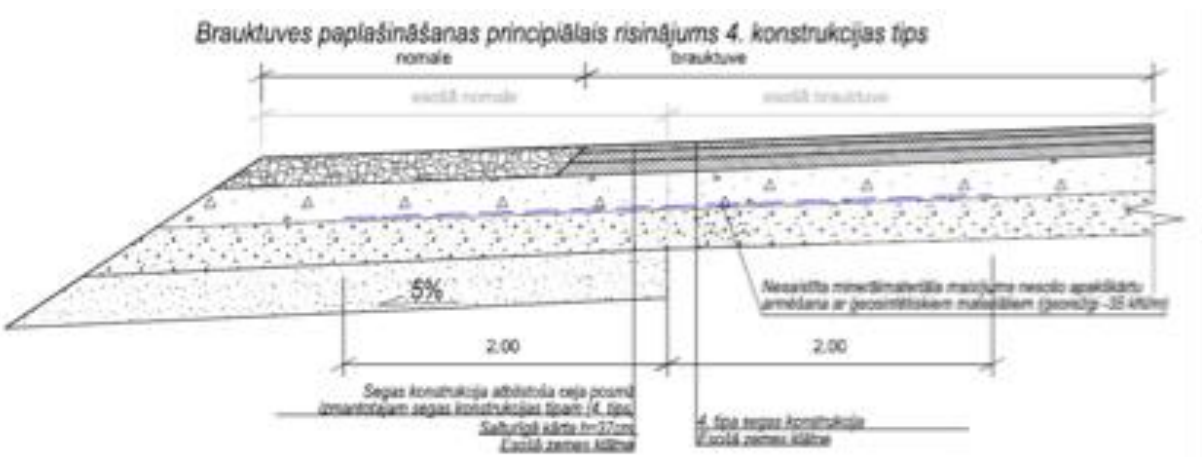
Objekts A12 Jēkabpils – Rēzekne – Ludza – Krievijas robeža (Terehova) posma km 54,600 – 72,780 (segas pārbūve) uzbūvēts 2017. gadā.

3.5.5.1 Būvprojekta dati

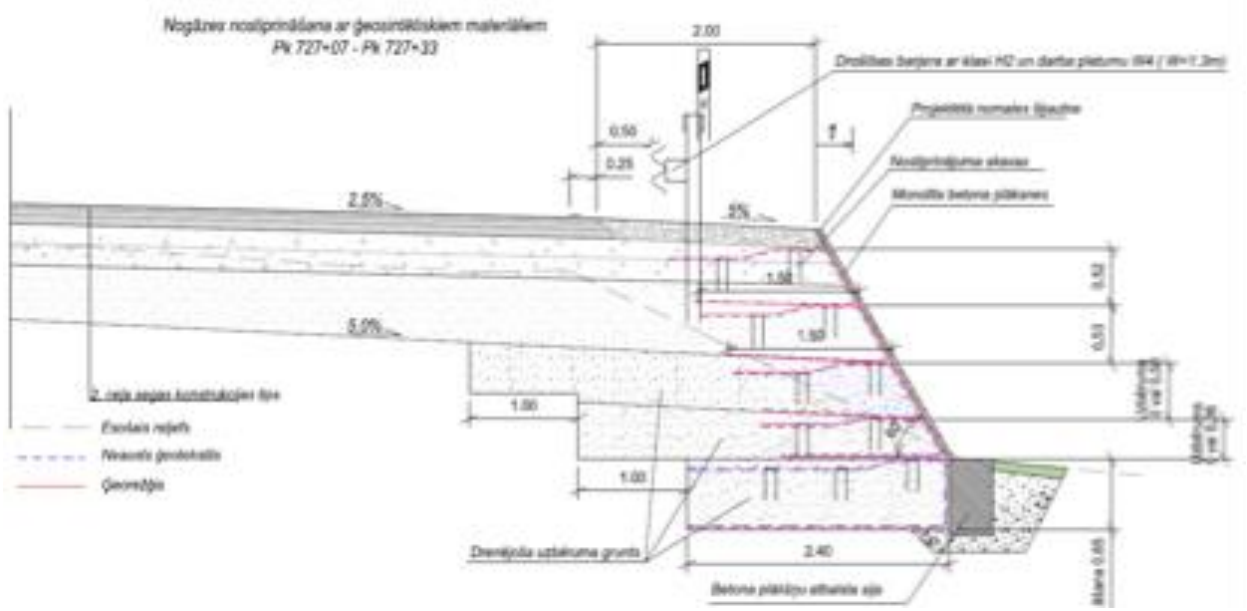
Būvprojektā paredzēti sekojoši risinājumi ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu:

- armēšana ar ģeosintētiskiem materiāliem (ģeorežģi) 32,1 tk.m^2;
- nogāzes ietīšana ģeotekstilā un ģeorežģī 424 m^2;
- nogāžu nostiprināšana ar kokosa šķiedras preterozijas paklāju 3,1 tk.m^2
- nogāžu nostiprināšana ar polimēru trīsdimensiju preterozijas paklāju 1,9 tk.m^2.

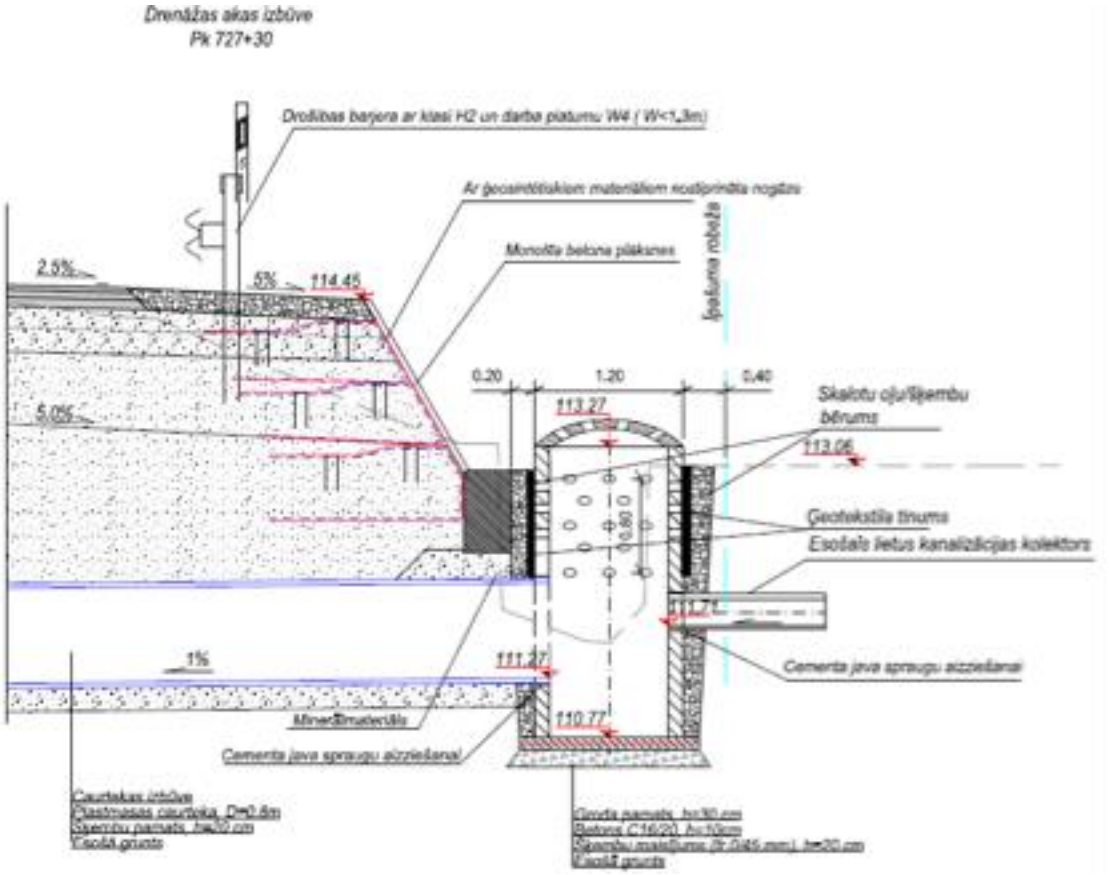
Attēls 3-20. Brauktuves paplašinājuma risinājums



Attēls 3-21. Nogāzes nostiprinājums ar ģeosintētiskajiem materiāliem



Attēls 3-22. Drenāžas aka un zemes klātnes nogāzes nostiprinājums



3.5.5.2 Objekta apsekošana

Šī pētījuma ietvaros 2023. gada 25. aprīlī tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu nostiprināto nogāžu un ceļa segas pastiprinājumu risinājumu tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieks A. Strežs.

Ceļa segas paplašinājumos defektu nav, kopējais risinājums un izpildījums ir labs.

Nogāze ar polimēru trīsdimensiju preterozijas paklāju vienā posmā ap 80 m pilnībā sabrukusi, kas norāda, ka risinājums šajā posmā neatbilstošs. Citviet, kur nogāzes nostiprinātas ar trīsdimensiju preterozijas paklāju defektu nav.

Km 72,48 LP konstatēts zemes klātnes izskalojums blakus uzbūvētai teknei ar organizētu ūdens savākšanu no brauktuves, savācot ūdeni un izvadot uz tekni zem ietves. Šajā vietā gan nav lietoti ģeosintētiskie materiāli.

Attēls 3-23. A/c A12 km 59,57 LP, nogāzes defektu nav

Attēls 3-24. A/c A12 km 62,5-62,58 KP – nogāze izskalota ar visu ģeomateriālu, ceļš līdzenā posmā

Attēls 3-25. A/c A12 km 62,6 LP – nogāzes defektu nav

Attēls 3-26. A/c A12 km 72,48 LP – izskalota nogāze (bez nostiprinājuma). Blakus uz nogāzes atrodas tekne ūdens novadīšanai no brauktuves

Attēls 3-27. A/c A12 km 72,73 LP – defektu nav

Attēls 3-28. A/c A12 km 72,69 ceļa nogāze KP – defektu nav

3.5.5.3 Risinājumu un ietekmējošo faktoru analīze

Vai ģeorežģa izmantošana paplašinājumos bija nepieciešams viennozīmīgi atbildēt nav iespējams, jo nav ar ko salīdzināt, piemēram, ar risinājumu bez ģeorežģa. Vienā 80 m posmā nogāzes nostiprinājuma risinājums ar polimēru trīsdimensiju preterozijas paklāju nav sevi attaisnojis, ceļa nogāze ir sabrukusi.

Izskalojums km 72,48 LP visticamāk izveidojies tāpēc, ka kādā periodā ir vai nu bijusi aizsērējusi ūdens caurlaide zem ietves vai arī bijusi pārāk liela daudzuma ūdens pieplūde, un ūdens no brauktuves plūda pār ietvi un līdz ar to sateces vieta izveidojās citur nevis pa uzbūvēto tekni.

3.5.5.4 Secinājumi un ieteikumi

Ģeopaklāju lietošana nav ieteicama stāvās (1:1,5 un stāvākās) un garās nogāzēs. Kā labāks stāvu un garu nogāžu nostiprinājuma risinājums minams ģeošūnu nostiprinājums ar šķembu vai šķembu/melnzemes aizpildījumu.

3.5.6 Eksperimentāli būvdarbi ceļa segas pastiprināšanai ar ģeorežģi a/c P37

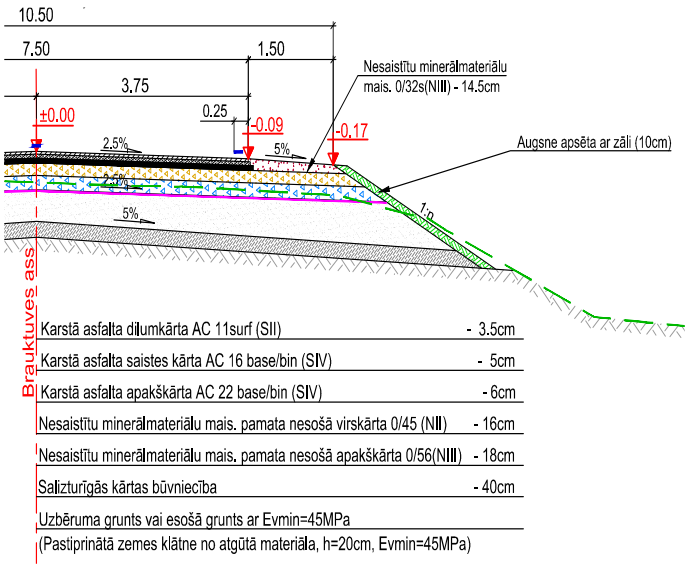
3.5.6.1 Testa mērķis

Novērtēt dažāda veida ģeorežģu (ekstrudētu, metinātu, austu), ar līdzīgu stingumu pie 2% pagarinājuma, ietekmi uz ceļa nestspēju, stiegrojot segas nesaistīto nesošo kārtu. Uzmērījumus veicot būvniecības laikā ar statisko plātni, saskaņā ar DIN 18134, un, ja iespējams, uzmērījumus veicot arī vēlāk pēc segas pilnas konstrukcijas uzbūvēšanas ar FWD, posma ekspluatācijas periodā.

3.5.6.2 Būvobjekts un ceļa segas konstrukcija:

Eksperimentālo būvdarbu veikšanai izvēlēts būvobjekta a/c P37 Pļaviņas – Madona – Gulbene posms Pk 578+00 – 579+17, labā josla.

Attēls 3-29. A/c P37 ceļa segas konstrukcija eksperimentālajā posmā Pk 578+00 – 579+17, labā josla



Tabula 3-22. Izmantotie ģeorežģi. Ģeorežģu specifikācijas

Raksturlielums	Mērv.	Testēšanas metode	GG1	GG2	GG3	GG4
Ģeorežģa veids	-	-	Ekstrudēts	Ekstrudēts	Metināts	Austs
Stiepes stiprība, GV/ŠV	kN/m	EN ISO 10319	40/40		40/40	100/100
Pagarinājums pie maksimālās slodzes GV/ŠV	%	EN ISO 10319	11		8	10
Stingums pie 2 % pagarinājuma	kN/m	EN ISO 10319	800		800	900
Atvērumu izmērs	mm	-	≈ 35x35		≈ 31x31	≈ 25x25

3.5.6.3 Būvdarbi un testēšana

Izvēlēts 117 m garš un ≈ 5 m plats pārbūvējamā ceļa P37 posms. Kopā testēšanai pakļauti seši testa posmi. Katra posma garums ap 20 m, platums ≈ 4-5 m, atkarībā no lietotā ģeorežģa platuma, ģeorežģu savstarpējie pārlaidumi – ap 1 m.

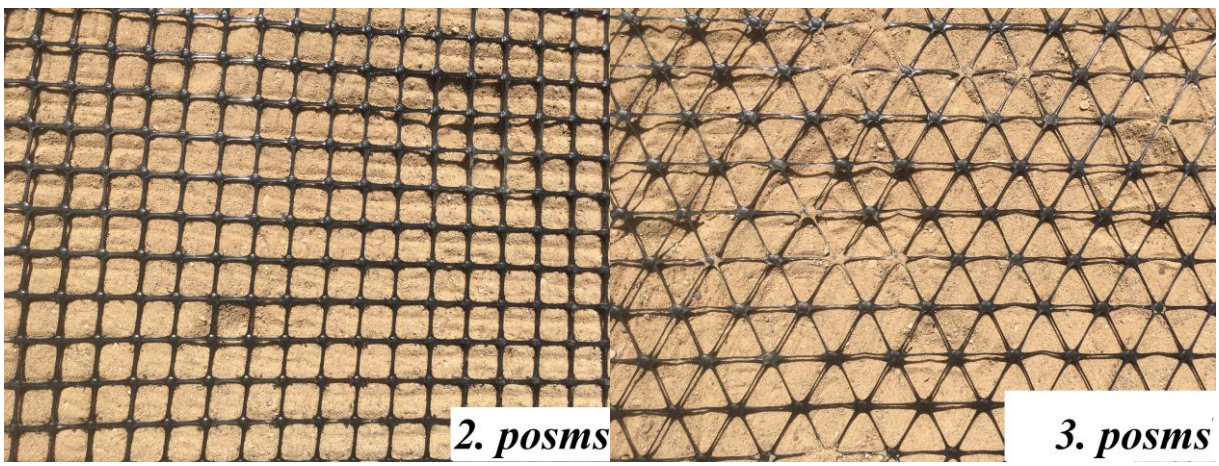
Tabula 3-23. Testa posmi

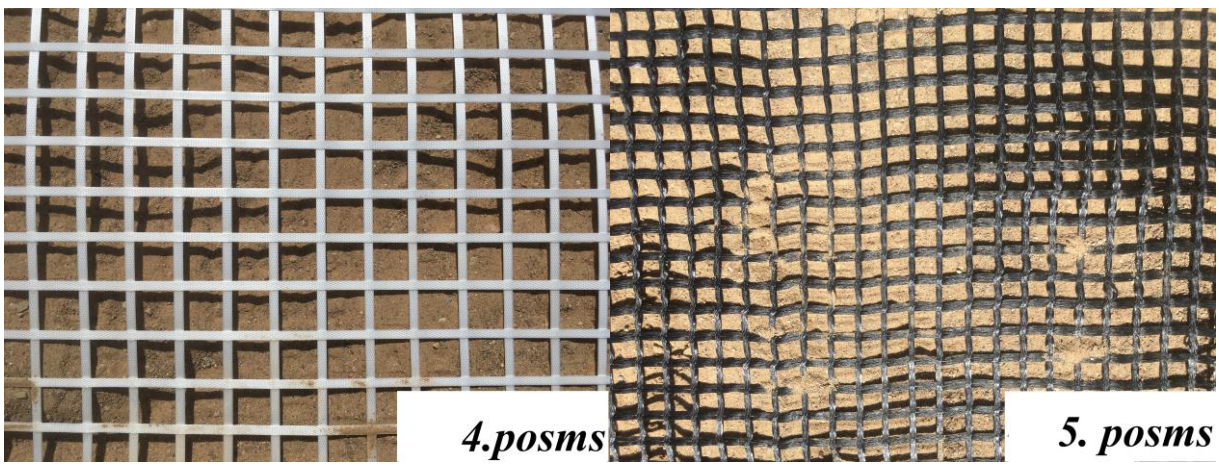
1. posms bez ģeorežģa	2. posms ar ģeorežģi GG1	3. posms ar ģeorežģi GG2	4. posms ar ģeorežģi GG3	5. posms ar ģeorežģi GG4	6. posms bez ģeorežģa

Būvdarbu un veiktās testēšanas apraksts:

- uz uzbūvētas zemes klātnes virsmas izvēlētā ceļa posma trīs punktos veikti nestspējas un sablīvējuma mērījumi ar statisko plātni (uzmērīts 10.06.2023.);
- uzbūvēta sala aizsargkārta;
- veikti nestspējas un sablīvējuma mērījumi ar statisko plātni uz uzbūvētās salizturīgās kārtas virsmas, veicot vienu mērījumu katrā testa posmā (uzmērīts 13.06.2023.);
- ieklāti ģeorežģi (13.06.2023), skatīt attēlus zemāk;
- uzbūvēta nesaistītu minerālmateriālu maisījuma pamata nesošā apakškārta (13. un 14.06.2023.);
- veikti nestspējas un sablīvējuma mērījumi ar statisko plātni uz uzbūvētās nesaistītu minerālmateriālu maisījuma pamata nesošās apakškārtas virsmas, veicot vienu mērījumu katrā testa posmā (uzmērīts 14.06.2023.);
- uzbūvēta nesaistītu minerālmateriālu maisījuma pamata nesošā virskārta;
- veikti nestspējas un sablīvējuma mērījumi ar statisko plātni uz uzbūvētās nesaistītu minerālmateriālu maisījuma pamata nesošās virskārtas virsmas, veicot vienu mērījumu katrā testa posmā (uzmērīts 29.06.2023.);
- nestspējas un sablīvējuma mērījumi veikti katra testa posma (labās joslas) vidusdaļā, izņemot veiktos mērījumus uz zemes klātnes virsmas, kad veikti kopumā trīs mērījumi, t.i. aptuveni katru divu testa posmu vidusdaļā.

Attēls 3-30. Ieklātie ģeorežģi



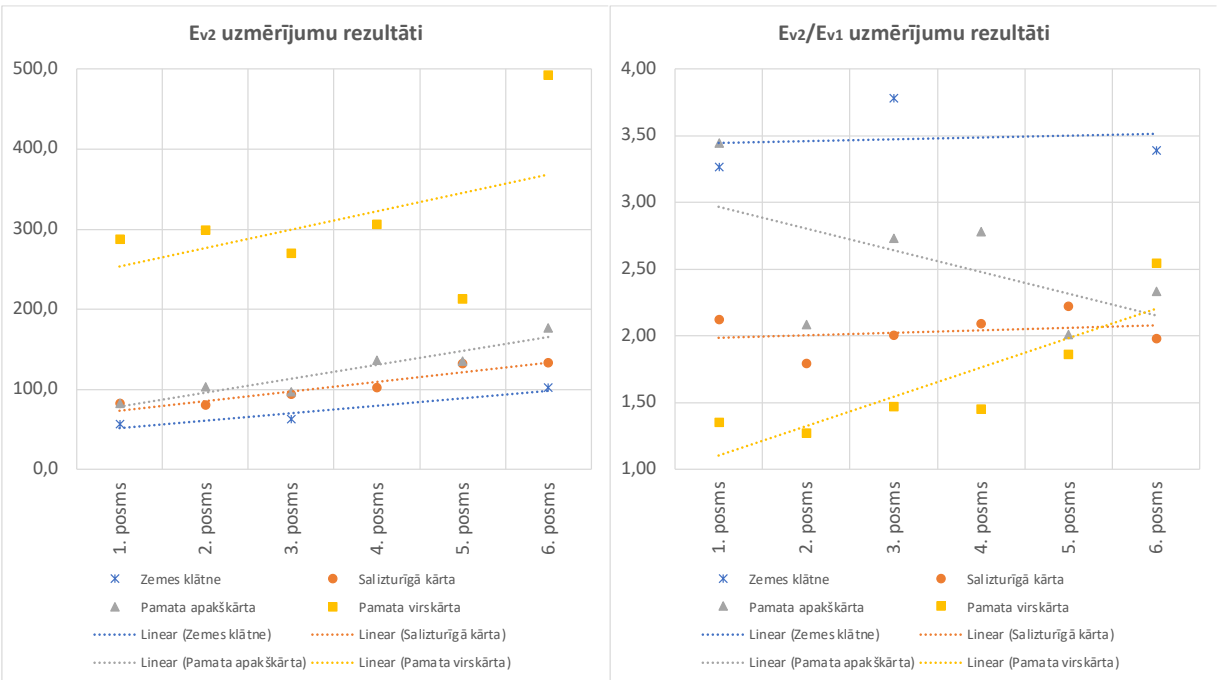


3.5.6.4 Testēšanas rezultāti un rezultātu analīze

Tabula 3-24. Testēšanas rezultāti

	E_{V2}				E_{V2}/E_{V1}			
	Zemes klātne	**Sala aizsargkārta**	**Pamata apakškārta**	**Pamata virskārta**	**Zemes klātne**	**Sala aizsargkārta**	**Pamata apakškārta**	**Pamata virskārta**
1. posms	56,7	81,9	82,5	286,9	3,26	2,12	3,44	1,35
2. posms		80,6	102,9	298,2		1,79	2,08	1,27
3. posms	62,2	93,4	96,9	269,4	3,78	2,00	2,73	1,47
4. posms		102,3	136,2	305,5		2,09	2,78	1,45
5. posms		131,8	135,0	212,8		2,22	2,01	1,86
6. posms	101,7	133,2	176,8	492,7	3,39	1,98	2,33	2,54
Mērījumu datums	10.06.	13.06.	14.06	29.06.	10.06.	13.06.	14.06	29.06.

Attēls 3-31. Testēšanas rezultāti grafiski



Saskaņā ar iegūtajiem ceļa nestspējas testēšanas rezultātiem redzams, ka ceļa nestspēja visā posma garumā vienmērīgi pieaug no zemākas posma sākumā uz augstāku posma beigās, ko apliecina lineārs rezultātu pieaugums uz visu uzmērīto kārtu virsmas (zemāka nestspēja 5. posmā uz pamata virskārtas saistīta ar to, ka

mērījuma brīdī uzmērāmā platība bija salīdzinoši ar palielinātu mitruma daudzumu, savukārt salīdzinoši liels nestspējas pieaugums uz pamata virskārtas saistīts ar to, ka pa uzbūvēto pamata kārtu tika arī organizēta satiksmes kustība).

Pirmie mērījumi ar FWD veikti 29.05.2024. Mērījumu veica VSIA "Latvijas Valts ceļi". Mērījumu rezultāti turpmāk.

Krītošā svara deflektometrs (FWD) ir plaši lietota kā autoceļa segas konstrukcijas nesagraujoša testēšanas metode uz vietas objektā. [110], [111], [112]

Attēls 3-32. Krītošā svara deflektometrs (FWD) objektā

Viens 50 kN iedarbības sitiens rada aptuveni 707 kPa spiedienu, kas ir salīdzināms ar slodzi no smagā transportlīdzekļa ar 10-tonnu ass slodzi. Iekārta ļauj mērīt ielieces (deformācijas) gan tieši zem slogošanas plātnes, gan dažādos attālumos no tās.

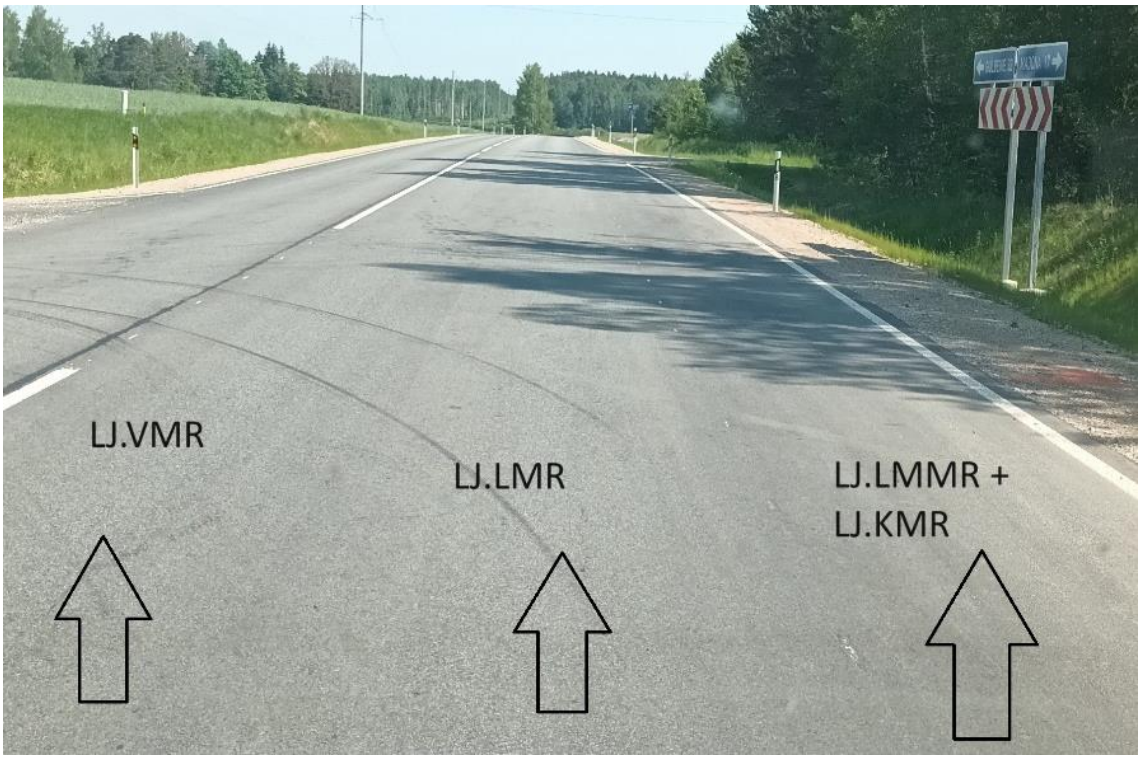
Raksturīgā ekvivalentā deformāciju moduļa vērtība tieši zem slogošanas plātnes, jeb E_{surf} var tikt aprēķināts atbilstoši sekojošai izteiksmei: [110]

$$E_{surf} = 2 \cdot (1 - \mu^2) \cdot \sigma_0 \cdot \alpha / d_r$$

kur,
μ – Puasona koef.;
σ_0 – pieliktais spriegums zem plātnes, kPa;
α – plātnes ekvivalentā laukuma rādiuss, m;
d_r – ieliece (deformācija) zem plātnes, m.

P37 objektā FWD mērījumi tika veikti visos 6 posmos, katrā no tiem mērot trīs vietās – joslas malās un vidū. Labās puses joslas malā veikti 2 atsevišķi mērījumi.

Attēls 3-33. FWD mērījumu vietas attiecībā pret joslu, kurā iebūvēti ģeosintētiskie materiāli

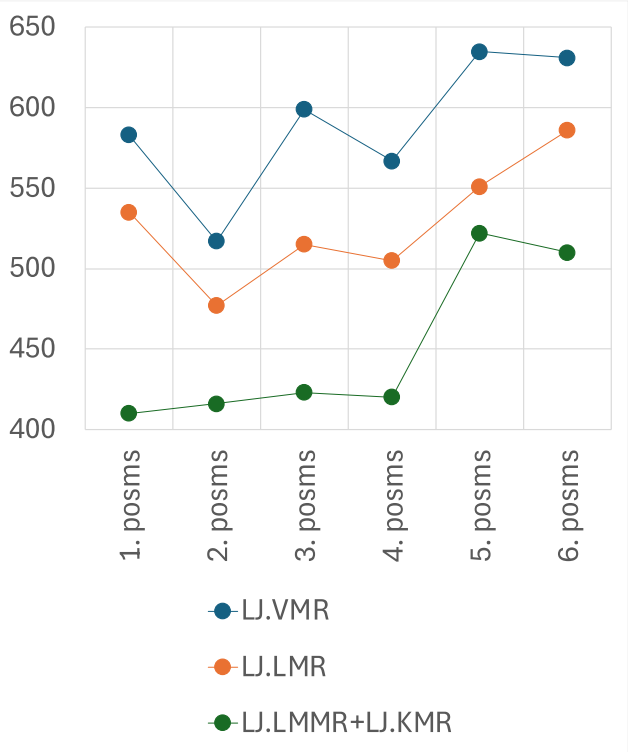


Raksturīgā ekvivalentā deformāciju moduļa vērtības visos 6 posmos norādītas tabulā (Tabula 3-25) un grafikā (Attēls 3-34).

Tabula 3-25. 29.05.2024. FWD testēšanas rezultāti

Posms	E_{surf} **vērtības, MPa**		
	LJ.VMR	**LJ.LMR**	**LJ.LMMR+LJ.KMR**
1. posms	583	535	410
2. posms	517	477	416
3. posms	599	515	423
4. posms	567	505	420
5. posms	635	551	522
6. posms	631	586	510

Attēls 3-34. 29.05.2024. FWD testēšanas rezultāti grafiski



Pēc šobrīd veiktajiem mērījumiem gan ar statisko plātni saskaņā ar DIN 18134, gan FWD, var secināt, ka uzbūvētajos testa posmos ģeorežģa lietošanas vai nelietošanas efektu ceļa segas pamata nesošajā kārtā nav bijis iespējams izmērīt. Līdz ar to šobrīd tikai ar šiem mērījumu rezultātiem nav iespējams salīdzināt lietoto ģeorežģu salīdzinošo ietekmi uz ceļa segas nestspēju. Iespējams to varēs izdarīt veicot tālākus mērījumus ar FWD testa posmu ekspluatācijas periodā vairāku gadu garumā. Ieteicams šos FWD mērījums plānot gan pavasara periodā tūlīt pēc ceļa zemes klātnes atkušanas (potenciāli zemākā ceļa segas nestspēja), gan arī sausā vasaras periodā, kad ceļa segas nestspēja varētu būt potenciāli visaugstākā.

4 Ceļa konstruktīvo kārtu atdalīšana un filtrēšana

Šajā nodaļā tiek aplūkoti ģeotekstili un to pielietojums autoceļu konstruktīvo kārtu atdalīšanai un filtrācijas funkcijas nodrošināšanai. Atdalīšanas funkcijai kā noteicošie raksturlielumi ir pieņemti stiprības parametri, filtrācijas funkcijai – hidrauliskie parametri un ģeotekstila biezums zem 2 kPa spiediena.

Atdalot ceļa konstruktīvās kārtas ar ģeotekstilu, tiek veicināta segas kopējā noturība, pasargājot to no smalko grunts daļiņu iekļūšanas rupji graudainajās ceļa segas kārtās. Lai ģeotekstils nodrošinātu atdalīšanas funkciju, tam jābūt noturīgam pret ieklāšanas bojājumiem būvdarbu laikā. Noturību nosaka ģeotekstila stiprības raksturlielumi. Atdalīšanas nepieciešamību ir jāpamato ar esošo grunšu mehānisko parametru analīzi un aprēķinu. Tā jānosaka atkarībā no esošās grunts un minerālmateriāla, kas ir paredzēts izmantošanai virs esošās grunts (nosedzošais minerālmateriāls), daļiņu izmēru attiecības. Atdalīšanai paredzēts izmantot austos un neaustos ģeotekstilus, salīdzinot stiepes stiprības un pagarinājuma vērtības.

Lai veiktu filtrāciju, ko nodrošina hidrauliskie raksturlielumi, ģeotekstilam ir jābūt ar tādu raksturīgā atvērumu izmēru, lai nepieļautu augšējās kārtas piesārņošanos ar apakšā esošās grunts smalkajām daļiņām, tajā pašā laikā ģeotekstilam jābūt pietiekami caurlaidīgam (caurlaidīgākam par apakškārtu), lai nepieļautu poru ūdens spiediena izveidošanos apakškārtā.

Ja būvprojekts vai kāds cits risinājums paredz drenāžas sistēmu izbūvi, tad filtrējoša ģeotekstila lietošana ir ieteicama visos gadījumos – neatkarīgi no grunts daļiņu attiecības.

Nodaļā tiek apskatīti būvprojektēšanas piemēri atdalīšanas un filtrācijas funkcijām ar noteiktām ģeotekstila raksturlielumu vērtībām. Pārskatāmības un projektēšanas ērtībām ir izveidotas blokshēmas.

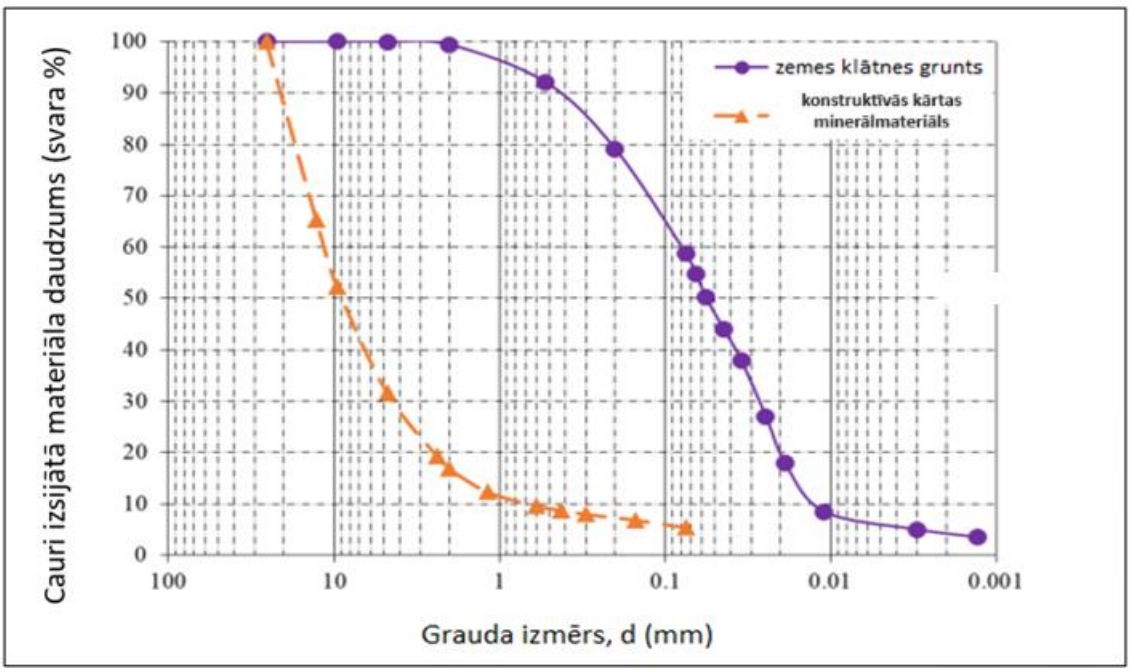
4.1 Lietošanas lietderība Latvijas apstākļos

Ņemot vērā to, ka ap 10 % Latvijas teritorijas aizņem purvi (kūdra, dūņas) un ap 50 % mālainas gruntis, būvprojektos bieži vien ir nepieciešams šādas gruntis atdalīt no zemes klātnes. Tādējādi, lai noteiktu ģeotekstila izmantošanas lietderību, nepieciešams izvērtēt ģeotekstila atdalīšanas efektivitāti, salīdzinot ceļa konstrukcijas ar un bez ģeotekstila.

Atdalīšanas efektivitāte ar ģeotekstilu tika aplūkota vienā no pētījumiem Pensilvānijas štata universitātē par smalko daļiņu pumpēšanas efekta mazināšanu ceļa segas konstruktīvās kārtās ar elastīgu un stingu segumu. Satiksmes slodzes modelēšanai izmantoja iekārtu MMLS3 (no angļu valodas Model Mobile Load Simulator).

Zemes klātnei tika izvēlēts neplastisks, smalkgraudains, putekļains materiāls. Konstruktīvajai kārtai tika izvēlēts rupjgraudains minerālmateriāls, kāds tipiski tiek izmantots segas būvniecībai ASV. Grunts neviendabīguma koeficients (C_u) un granulometriskā sastāva līknes izliekuma koeficients (C_c) bija attiecīgi 18,5 un 2,5 saskaņā ar AASHTO 2012 testa metodēm T11 un T27 (Attēls 4-1). Atdalīšanai starp zemes klātni un konstruktīvo kārtu izmantoja neausto, velta tipa ģeotekstilu. Kopumā tika veikti seši MMLS3 testi ar un bez ģeotekstila, lai noteiktu pārvietojamo daļiņu apjomu un pumpēšanas ātrumu abos seguma veidos. [113]

Attēls 4-1. Granulometriskā sastāva līknes zemes klātnes un konstruktīvās kārtas minerālmateriālam [113]



Tika izveidots modelis ar samazinātiem ceļa konstruktīvo kārtu biezumiem (Tabula 4-1), pamatojoties uz spriegumu ekvivalenci, tā lai vertikālie spiedes spriegumi zemes klātnes augšējā slānī, tieši zem riteņa pārvietošanas zonas, būtu vienādi ar pilna mēroga ceļa konstrukcijas spriegumiem attiecīgajā zonā. [113]

Tabula 4-1. Laboratorijā modelētie ceļu konstrukciju slāņu biezumi [113]

Ceļa konstruktīvās kārtas	Elastīgā ceļa konstrukcija		Stingā ceļa konstrukcija
	Satiksmes pārvietošanas ceļu modelis*	Federālo lielceļu modelis	Federālo lielceļu modelis
Elastīgais segums	3,8 cm	7,0 cm	-
Stingais segums	-	-	7,6 cm
Konstruktīvās kārtas minerālmateriāls	10,2 cm	15,2 cm	10,2 cm
Zemes klātnes grunts	91,4 cm	91,4 cm	91,4 cm

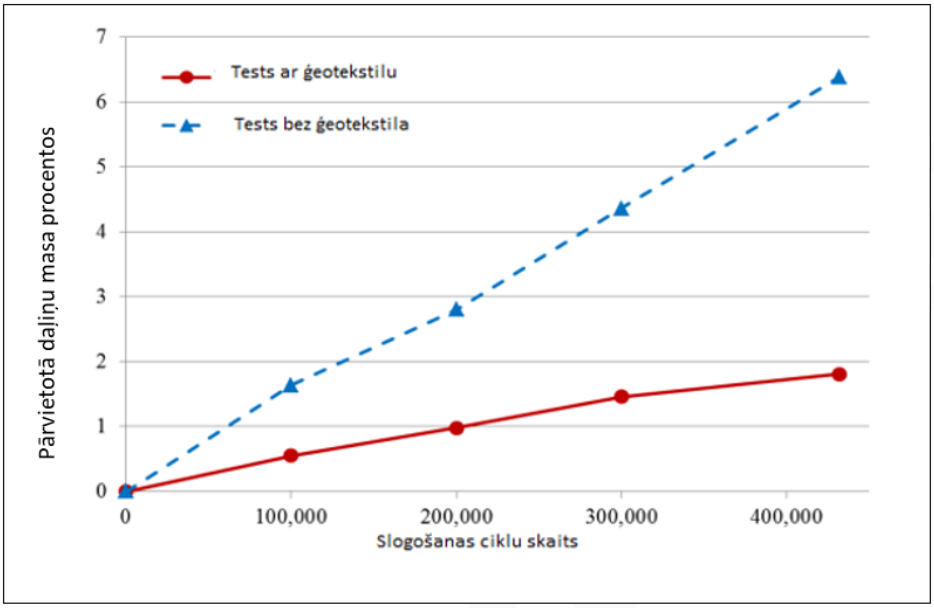
** – satiksmes pārvietošanas ceļi ir ceļu posmi ASV, kas kalpo satiksmes pārvietošanai no vietējām pilsētas ielām uz maģistrāliem lielceļiem.*

Testējamais paraugs tika ievietots tērauda konteinerā. Četri ieplūdes pievienojumi tika uzstādīti konteinera apakšā, lai pēc nepieciešamības paraugā varētu ievadīt ūdeni, un četri ūdens izplūdes punkti tika izvietoti 1,27 cm virs zemes klātnes līmeņa. Šī konfigurācija ļāva izvadīt gaisu no parauga, kad ūdens cirkulēja un izplūda, pārvietojoties caur zemes klātni. [113]

Attēls 4-2. Elastīgas ceļa konstrukcijas modeļa testēšana ar ģeotekstilu [113]

Elastīgam ceļa konstrukcijas modelim daļiņu masa procentos no zemes klātnes kopējās masas, kas pumpēšanas efekta dēļ pārvietojās uz konstruktīvo kārtu ir atspoguļotā attēlā zemāk (Attēls 4-3). Turklāt testos ar ģeotekstilu gan elastīgā, gan stingā ceļa konstrukcijās tika novērots rises dziļuma un bīdes deformāciju samazinājums attiecīgi par 30 % un 52 %. [113]

Attēls 4-3. Zemes klātnes grunts daļiņu masa procentos, kas nonāca ceļa konstruktīvajā kārtā pie noteiktā slogošanas ciklu skaita elastīgai ceļa konstrukcijai ar un bez ģeotekstila [113]



Grafikā ir redzams, ka, palielinoties slogošanas ciklu skaitam, palielinās arī pārvietoto daļiņu kopējā masa. Ģeotekstila izmantošana vidēji par 70 % samazināja zemes klātnes grunts daļiņu sajaukšanos ar ceļa konstruktīvo kārtu, līdz ar to veicinot segas kopējo noturību. Testā nav minēti konkrētie veltā ģeotekstila parametri, tāpēc ir grūti secināt vai šādu rezultātu būtu iespējams attiecināt arī uz cita veida ģeotekstilu.

4.2 Priekšrocības un trūkumi

Priekšrocības:

- ∇ salīdzinoši ātrs un vienkāršs būvniecības process;
- ∇ paildzina ceļa konstrukcijas kalpošanas laiku, novēršot dažādu materiālu kārtu sajaukšanos;
- ∇ ģeotekstila bojājumu labošana ir samēra vienkārša un neprasa īpašu aprīkojumu;
- ∇ ir pieejams plašs ģeotekstilu klāsts ar dažādām mehāniskām un hidrauliskām īpašībām;
- ∇ novērš smalka materiāla izskalošanos ar ūdens plūsmu;
- ∇ izstrādājumi ir samērā viegli un neprasa lielus būvniecības tehnikas resursus iestrādes laikā;
- ∇ ekonomiski izdevīgi, salīdzinājumā ar tradicionālajiem risinājumiem;
- ∇ ģeotekstili ir rūpnieciski ražoti būvizstrādājumi ar noteiktām kvalitātes prasībām;

- ∇ deklarētas vērtības iespējams pārbaudīt, ir izstrādāti attiecīgie standarti.

Trūkumi:

- ∇ bojājumi vai nepareiza izstrādājuma izvēle var krasi samazināt ģeotekstila efektivitāti attiecīgās funkcijas pildīšanā;
- ∇ daudzi ģeotekstili ir jūtīgi pret UV starojumu, tāpēc apbēršana jāplāno salīdzinoši īsā laikā pēc ģeotekstila ieklāšanas;
- ∇ apbērtam ģeotekstilam ir grūti kontrolēt bojājumus;
- ∇ ģeotekstila ūdens caurlaidība perpendikulāri plaknei ir ierobežota;
- ∇ pastāv ģeotekstila atvērumu aizsērēšanas risks, kas noved pie filtrācijas kapacitātes samazināšanas vai pat līdz pilnīgai bloķēšanai, izveidojot ūdens necaurlaidīgu membrānu.

4.3 Projektēšanas principi

Grunts atdalīšana un filtrācija ir ģeotekstila funkcijas, kas tiek veiktas vienlaicīgi un nav atdalāmas viena no otras. Tomēr atkarībā no konstrukcijas vienu no funkcijām var izcelt kā primāru, bet otru – kā sekundāru. Saskaņā ar funkcijas nozīmīgumu ģeotekstila raksturīgie parametri atspoguļoti tabulās turpmāk (Tabula 4-2 un Tabula 4-3).

Tabula 4-2. Ģeotekstila raksturīgās īpašības, kas ir noteicošas atdalīšanas funkcijai [30]

Ģeotekstila funkcijas	Raksturīgie parametri	Ģeotekstila izmantošana
Primārā funkcija – atdalīšana	∇ stiepes stiprība MD/CMD ∇ pagarinājums pie maksimālās slodzes ∇ dinamiskās caursišanas pretestība (konusa tests)	Ceļa segas konstruktīvo kārtu atdalīšanai
Sekundārā funkcija – filtrācija	∇ raksturīgu atvērumu izmērs ∇ caurlaidība perpendikulāri plaknei	

Tabula 4-3. Ģeotekstila raksturīgās īpašības, kas ir noteicošas filtrācijas funkcijai [30]

Ģeotekstila funkcijas	Raksturīgie parametri	Ģeotekstila izmantošana
Primārā funkcija – filtrācija	∇ raksturīgu atvērumu izmērs ∇ caurlaidība perpendikulāri plaknei ∇ biezums zem 2 kPa	Filtrs ap drenējošu minerālmateriālu tranšejā vai malu drenās. Apvalks drenāžas caurulēm un to savienojumiem.
Sekundārā funkcija – atdalīšana	∇ stiepes stiprība MD/CMD ∇ pagarinājums pie maksimālās slodzes ∇ dinamiskās caursišanas pretestība (konusa tests)	

Eiropas valstu prakse parāda, ka ģeotekstilu iedalījums klasēs pēc apstākļiem atvieglo projektēšanas darbus, kas ir saistīti ar noteiktā izstrādājuma raksturlielumu izvēli. Kā vienu no piemēriem var minēt NorGeoSpec programmu, kas šobrīd ir spēkā Igaunijā un Skandināvijas valstīs. Programma nosaka sertifikācijas un kvalitātes kontroles sistēmu ģeosintētiskajiem izstrādājumiem, kuri ir paredzēti atdalīšanai, filtrācijai un stiegrošanai (pārsvarā neaustiem ģeotekstiliem). Pēc NorGeoSpec ģeotekstili ir iedalīti piecās klasēs (Tabula 4-4).

Tabula 4-4. Ģeotekstilu klases pēc NorGeoSpec [114]

Funkcija: atdalīšana un filtrācija								
Raksturlielumi	**Testēšanas standarts**	**Mērv.**	**Maks. pielaide**	**Vērtības atbilst 95% ticamības līmenim**				
				Ģeotekstila klases				
				1	**2**	**3**	**4**	**5**
Min. stiepes stiprība	EN ISO 10319	kN/m	-10%	6	10	15	20	26
Min. pagarinājums pie maks. stiepes stiprības	EN ISO 10319	%	-20%	15	20	25	30	35
Dinamiskās caursišanas maks. diametrs	EN ISO 13433	mm	+25%	44	38	28	22	13
Min. enerģijas indekss	-	kN/m	-	1,2	2,1	3,2	4,5	6,5
Min. ūdens caurlaidība perpendikulāri plaknei	EN ISO 11058	10^{-3} m/s	-30%	3	3	3	3	3
Maks. raksturīga atvēruma izmērs	EN ISO 12956	mm	±30%	0,2	0,2	0,2	0,15	0,15
Maks. pielaide svara attiecībai uz 1 m2	EN ISO 9864	g/m^2	±10%	-				
Statiskās caurduršanas pretestības maks. pielaide	EN ISO 12236	kN	-10%	-				

NorGeoSpec ievēro saskaņoto Eiropas standartu prasības, kas attiecas uz materiāla lietojumu un specificējamo raksturlielumu apjomu, ievērojot konkurences noteikumus. [114]

Līdzīgu pieeju kā NorGeoSpec ievēro arī Vācijā, kur ģeotekstilus iedala piecās GRK klasēs, kas galvenokārt raksturo produkta izturību pret mehāniskiem bojājumiem ieklāšanas laikā. GRK pamatā izvirza divus raksturlielumus:

1. svaru saskaņā ar EN ISO 9864;
2. stiprību:

- ∇ neaustiem ģeotekstiliem – CBR vērtība (statiskais caurduršanas tests ģeotekstiliem) saskaņā ar EN ISO 12236;
- ∇ austiem ģeotekstiliem – stiepes stiprība saskaņā ar EN ISO 10319.

GRK klases izvēli ietekmē sekojoši faktori:

- ∇ nosedzošais minerālmateriāls, saskaņā ar DIN 18196;
- ∇ esošās grunts nestspēja;
- ∇ būvniecības apstākļi.

Ģeotekstilu izturību pret mehāniskiem bojājumiem ietekmē arī izstrādājumu ražošanas veids, tāpēc GRK klasifikācijā izdala:

- ∇ neaustos ģeotekstilus (Tabula 4-5);
- ∇ austos lentes tipa PP vai PE (Tabula 4-6);
- ∇ austos multišķiedru PET (Tabula 4-7).

Saskaņā ar jaunāko GRK klasifikāciju pirmā un otrā ģeotekstilu klase atdalīšanai vairs netiek izmantota. [115]

Tabula 4-5. Neausto ģeotekstilu iedalījums pēc GRK klasēm [115]

GRK klase	CBR vērtība	Svars
3	≥ 1,5 kN	≥ 150 g/m^2
4	≥ 2,5 kN	≥ 250 g/m^2
5	≥ 3,5 kN	≥ 300 g/m^2

Tabula 4-6. Lentes tipa PP vai PE austo ģeotekstilu iedalījums pēc GRK klasēm [115]

GRK klase	Stiepes stiprība**	Svars
3	≥ 35 kN/m	≥ 180 g/m^2
4	≥ 45 kN/m	≥ 220 g/m^2
5	≥ 50 kN/m	≥ 250 g/m^2

Tabula 4-7. Multišķiedru PET austo ģeotekstilu iedalījums pēc GRK klasēm [115]

GRK klase	Stiepes stiprība**	Svars
3	≥ 150 kN/m	≥ 320 g/m2
4	≥ 180 kN/m	≥ 400 g/m2
5	≥ 250 kN/m	≥ 550 g/m2

Saskaņā ar Lielbritānijas standartu BS-8661 ģeotekstilus iedala trīs klasēs. Tāpat kā GRK klasifikācijā, ģeotekstila klases izvēli ietekmē sekojošie faktori:

- nosedzošā minerālmateriāla granulometriskais sastāvs saskaņā ar BS EN ISO 17892-4;
- esošās grunts nestspēja;
- būvniecības apstākļi.

BS-8661 iedala ģeotekstilus pēc pagarinājuma, kas attiecīgi atspoguļo izstrādājuma ražošanas veidu:

- ģeotekstili ar lielo pagarinājumu – neaustie (Tabula 4-8);
- ģeotekstili ar mazo pagarinājumu- austie (Tabula 4-9).

Tabula 4-8. Stiprības raksturlielumi ģeotekstiliem ar lielo pagarinājumu [116]

Raksturlielumi	**Mērv.**	**Ģeotekstilu ieteicamās vērtības***		
		1	**2**	**3**
Stiepes stiprība pēc BS EN ISO 10319	kN/m	≥7	≥11	≥13
Maks. pagarinājums pēc BS EN ISO 10319	%	≥32	≥32	≥32
Statiskās caurduršanas pretestība, CBR pēc BS EN ISO 12236	N	≥1350	≥1800	≥2250

** - ieteicamās vērtības ir jāsalīdzina ar ražotāja deklarētajām minimālajām vai maksimālajām vērtībām, kas norādītas izstrādājuma EĪD, ieskaitot visas pielaides (vērtībām jāatbilst 95% ticamības līmenim).*

Tabula 4-9. Stiprības raksturlielumi ģeotekstiliem ar mazo pagarinājumu [116]

Raksturlielumi	**Mērv.**	**Ģeotekstilu ieteicamās vērtības***		
		1	**2**	**3**
Stiepes stiprība pēc BS EN ISO 10319	kN/m	≥20	≥27	≥36
Maks. pagarinājums pēc BS EN ISO 10319	%	≥10	≥10	≥10
Statiskās caurduršanas pretestība, CBR pēc BS EN ISO 12236	N	≥2700	≥3600	≥4500

** - ieteicamās vērtības ir jāsalīdzina ar ražotāja deklarētajām minimālajām vai maksimālajām vērtībām, kas norādītas izstrādājuma EĪD, ieskaitot visas pielaides (vērtībām jāatbilst 95% ticamības līmenim).*

Saskaņā ar BS-8661 ģeotekstilu hidrauliskās īpašības tiek klasificētas atbilstoši ūdens filtrācijas apjomam un funkcijas svarīgumam. Atkarībā no grunts veida, ūdens plūsmas virziena, gruntsūdens līmeņa un konstrukcijas veida, kurā ģeotekstils tiek izmantots (Tabula 4-10 un Tabula 4-11).

Tabula 4-10. Hidrauliskie raksturlielumi ģeotekstiliem ar nenozīmīgu ūdens filtrācijas apjomu (filtrācijas funkcija- sekundāra) [116]

Raksturlielumi	**Mērv.**	**Ģeotekstilu ieteicamās vērtības***		
		1	**2**	**3**
Min. ūdens caurlaidība perpendikulāri plaknei pēc BS EN	l/(m^2/s)	≥7	≥7	≥7

Raksturlielumi	Mērv.	Ģeotekstilu ieteicamās vērtības*		
		1	2	3
ISO 11058				
Raksturīga atvēruma izmērs, O_{90} pēc BS EN ISO 12956	µm	50≤ O_{90}≤350	50≤ O_{90}≤350	50≤ O_{90}≤350

** - ieteicamās vērtības ir jāsalīdzina ar ražotāja deklarētajām minimālajām vai maksimālajām vērtībām, kas norādītas izstrādājuma EĪD, ieskaitot visas pielaides (vērtībām jāatbilst 95% ticamības līmenim).*

Tabula 4-11. Hidrauliskie raksturlielumi ģeotekstiliem ar nozīmīgu ūdens filtrācijas apjomu (filtrācijas funkcija- primāra) [116]

Raksturlielumi	Mērv.	Ģeotekstilu ieteicamās vērtības*		
		1	2	3
Min. ūdens caurlaidība perpendikulāri plaknei pēc BS EN ISO 11058	l/(m2/s)	≥27	≥27	≥27
Raksturīga atvēruma izmērs, O_{90} pēc BS EN ISO 12956	µm	50≤ O90≤150	50≤ O90≤150	50≤ O90≤150

** - ieteicamās vērtības ir jāsalīdzina ar ražotāja deklarētajām minimālajām vai maksimālajām vērtībām, kas norādītas izstrādājuma EĪD, ieskaitot visas pielaides (vērtībām jāatbilst 95% ticamības līmenim).*

Lentes tipa austie ģeotekstili netiek uzskatīti par piemērotiem izmantošanai konstrukcijās, kur filtrācijas funkcija tiek uzskatīta par nozīmīgu. [116]

Beļģijas COPRO PTV 829 vadlīnijās ceļu būvei paredzētie ģeotekstili atdalīšanas un stiegrošanas funkcijām ir iedalīti sešās stiprības klasēs no 2.1 līdz 2.6, pamatojoties uz esošās grunts nestspēju, un katra klase ir sadalīta A un B veidos, atkarībā no nosedzošā minerālmateriāla granulometriskā sastāva (Tabula 4-12 un Tabula 4-13).

Tabula 4-12. Ģeotekstilu raksturlielumi atdalīšanai [117]

Raksturlielumi	Testēšanas metode	Mērv.	Lietojums pēc EN 13249					
		Zemes klātnes nest-spēja =>	M_1>17 MN/m²		11 < M_1 ≤ 17 MN/m² smalko daļiņu saturs (< 63 µm) ≤ 5 %		11 < M_1 ≤ 17 MN/m² smalko daļiņu saturs (< 63 µm) > 5 %	
		Galvenā funkcija =>	Atdalīšana		Atdalīšana		Atdalīšana	
			Klase 2.1		**Klase 2.2**		**Klase 2.3**	
			A	**B**	**A**	**B**	**A**	**B**
Min. stiepes stiprība	EN ISO 10319	kN/m	≥ 15	≥ 15	≥ 15	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Maks. pagarinājums	EN ISO 10319	%	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20
Statiskās caurduršanas pretestība	EN ISO 12236	kN	≥1,50	≥1,75	≥1,75	≥2,00	≥2,25	≥2,75

Raksturlielumi	Testēšanas metode	Mērv.	Lietojums pēc EN 13249					
		Zemes klātnes nest-spēja =>	M_1>17 MN/m²		11 < M_1 ≤ 17 MN/m² smalko daļiņu saturs (< 63 µm) ≤ 5 %		11 < M_1 ≤ 17 MN/m² smalko daļiņu saturs (< 63 µm) > 5 %	
		Galvenā funkcija =>	Atdalīšana		Atdalīšana		Atdalīšana	
			Klase 2.1		**Klase 2.2**		**Klase 2.3**	
			A	**B**	**A**	**B**	**A**	**B**
Dinamiskās caursišanas pretestība	EN ISO 13433	mm	≤ 27	≤ 21	≤ 21	≤ 17	≤ 17	≤ 15
Raksturīga atvēruma izmērs	EN ISO 12956	µm	O_{90}/ d_{90}≤ 2	O_{90}/ d_{90}≤ 2	O_{90}/ d_{90}≤ 2	O_{90}/ d_{90}≤ 2	O_{90}/ d_{90}≤ 2	O_{90}/ d_{90}≤ 2
Ūdens caurlaidība perpendikulāri plaknei	EN ISO 11058	10^{-3} m/s (l/m²s)	≥ 12	≥ 12	≥ 12	≥ 12	≥ 12	≥ 12
Ūdens plūsma plaknē	EN ISO 12958	m²/s	Informācija jāsniedz tikai kombinācijā ar drenāžas lietojumiem pēc EN ISO 12958, dati jāsniedz pie 20, 100 un 200 kPa spiediena un hidrauliskā slīpuma no 0,1 līdz 1,0. Minimālās vērtības netiek noteiktas.					

Tabula 4-13. Ģeotekstilu raksturlielumi atdalīšanai un stiegrošanai [117]

Raksturlielumi	Testēšanas metode	Mērv.	Lietojums pēc EN 13249					
		Zemes klātnes nest-spēja =>	7 < M_1 ≤ 11 MN/m² smalko daļiņu saturs (< 63 µm) ≤ 5 %		7 < M_1 ≤ 11 MN/m² smalko daļiņu saturs (< 63 µm) > 5 %		M_1 ≤ 7 MN/m²	
		Galvenā funkcija =>	Atdalīšana		Atdalīšana		Stiegrošana(1)	
			Klase 2.4		**Klase 2.5**		**Klase 2.6**	
			A	**B**	**A**	**B**	**A**	**B**
Min. stiepes stiprība	EN ISO 10319	kN/m	≥ 20	≥ 20	≥ 25	≥ 25	≥ 50(2)	≥ 50(2)
Stiepes stiprība pie 2% pagarinājuma	EN ISO 10319	kN/m	-	-	-	-	≥ 5	≥ 5
Stiepes stiprība pie 5% pagarinājuma	EN ISO 10319	kN/m	-	-	-	-	≥ 12,5	≥ 12,5
Maks. pagarinājums	EN ISO 10319	%	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 10	≥ 10

Raksturlielumi	**Testēšanas metode**	**Mērv.**	**Lietojums pēc EN 13249**					
		Zemes klātnes nest-spēja =>	$7 < M_1 \leq 11$ MN/m² smalko daļiņu saturs (< 63 µm) ≤ 5 %		$7 < M_1 \leq 11$ MN/m² smalko daļiņu saturs (< 63 µm) > 5 %		$M_1 \leq 7$ MN/m²	
		Galvenā funkcija =>	Atdalīšana		Atdalīšana		Stiegrošana[1]	
			Klase 2.4		**Klase 2.5**		**Klase 2.6**	
			A	**B**	**A**	**B**	**A**	**B**
Statiskās caurduršanas pretestība	EN ISO 12236	kN	≥2,25	≥2,75	≥2,75	≥3,25	≥3,00	≥4,00
Dinamiskās caursišanas pretestība	EN ISO 13433	mm	≤ 17	≤ 15	≤ 15	≤ 13	≤ 14	≤ 11
Raksturīga atvēruma izmērs	EN ISO 12956	µm	$O_{90}/d_{90} \leq 2$	$O_{90}/d_{90} \leq 2$	$O_{90}/d_{90} \leq 2$	$O_{90}/d_{90} \leq 2$	[3]	[3]
Ūdens caurlaidība perpendikulāri plaknei	EN ISO 11058	10^{-3} m/s (l/m²s)	≥ 12	≥ 12	≥ 12	≥ 12	≥ 12	≥ 12
Ūdens plūsma plaknē	EN ISO 12958	m²/s	Informācija jāsniedz tikai kombinācijā ar drenāžas lietojumiem pēc EN ISO 12958, dati jāsniedz pie 20, 100 un 200 kPa spiediena un hidrauliskā slīpuma no 0,1 līdz 1,0. Minimālās vērtības netiek noteiktas.					

Piezīmes :

M_1 vērtība tiek noteikta saskaņā ar Beļģijas vietējo testa metodi 50.01;

A = $D_{max} < 40$ mm;

B = $D_{max} \geq 40$ mm;

D_{max} - maksimālais graudu izmērs rupjākajam materiālam, kas nosedz ģeotekstilu, saskaņa ar EN 932-1;

ja iegūtā O_{90} vērtība ir mazāka par 63 µm, ir atļauti ģeotekstili ar O_{90}, kas ir mazāki vai vienādi ar 63 µm;

[1] ģeotekstils (stiegrošanas funkcijai) vienmēr tiek ieklāts perpendikulāri ceļa asij (pēc ģeotekstila ražošanas virziena - MD);

[2] ģeotekstila vērtība ieskaitot visas pielaides;

[3] $O_{90}/d_{90} \leq 2$ ar atdalīšanas funkciju.

COPRO PTV 829 vadlīnijās atsevišķi izdala ģeotekstilu prasības filtrācijai un drenāžai (Tabula 4-14). Ģeotekstili tiek iedalīti trīs klasēs: 5.1 nosaka prasības drenāžas funkcijai (ūdens plūsma izstrādājuma plaknē), 5.2 un 5.3 filtrācijas funkcijai.

Tabula 4-14. Ģeotekstilu raksturlielumi filtrācijai un drenāžai [117]

Raksturlielumi	**Testēšanas metode**	**Mērv.**	**Lietojums pēc EN 13252**		
		Galvenā funkcija =>	Drenāža (plaknē)	Filtrācija (drenāžas sistēmas)	Filtrācija (infiltrācijas sistēmas)
			Klase 5.1	**Klase 5.2**	**Klase 5.3**
Min. stiepes stiprība	EN ISO 10319	kN/m	≥ 10	≥ 10	≥ 25
Maks. pagarinājums	EN ISO 10319	%	≥ 20	≥ 20	≥ 20
Statiskās caurduršanas pretestība	EN ISO 12236	kN	≥1,00	≥1,00	≥3,00
Dinamiskās caursišanas pretestība	EN ISO 13433	mm	≤27	≤27	≤14
Raksturīga atvēruma izmērs	EN ISO 12956	µm	O_{90}/ d_{90}≤2	O_{90}/ d_{90}≤2	O_{90}/ d_{90}≤2
Ūdens caurlaidība perpendikulāri plaknei	EN ISO 11058	10^{-3} m/s (l/m^2s)	≥34	≥34	≥34
Ūdens plūsma plaknē	EN ISO 12958	m^2/s	1 x 10^{-7} pie 20 kPa, mīksts/ciets	Informācija jāsniedz tikai kombinācijā ar drenāžas lietojumiem pēc EN ISO 12958, dati jāsniedz pie 20, 100 un 200 kPa spiediena un hidrauliskā slīpuma no 0,1 līdz 1,0. Minimālās vērtības netiek noteiktas.	

Piezīme: ja iegūtā O_{90} vērtība ir mazāka par 63 µm, ir atļauti ģeotekstili ar O_{90}, kas ir mazāki vai vienādi ar 63 µm.

Vadlīniju kopīgas iezīmes:

- ∇ ģeotekstilus iedala klasēs saskaņā ar noteiktiem raksturlielumiem;
- ∇ ģeotekstilu raksturlielumi atbilst EN ISO 13249, ar nebūtiskām atšķirībām, piemēram, NorGeoSpec kā papildu parametru nosaka enerģijas indeksu;
- ∇ ģeotekstilus klasificē vadoties no grunts nestspējas un nosedzošā materiāla granulometrijas;
- ∇ valstīs, kur ir izvirzītas prasības abu veidu ģeotekstiliem (austiem un neaustiem), austo ģeotekstilu mazie maksimālie pagarinājumi tiek kompensēti ar paaugstinātu stiepes stiprību.

Vadlīniju atšķirības:

- ∇ COPRO PTV 829 neapskata būvniecības faktoru ietekmi uz ģeotekstilu;

- COPRO PTV 829 maksimālo pagarinājumu definē sākot ar 20%, kas principā izslēdz austo ģeotekstilu izmantošanu;
- NorGeoSpec, ģeotekstilu hidrauliskie raksturlielumi nav iedalīti divās kategorijās ar un bez pastiprinātas filtrācijas plūsmas.

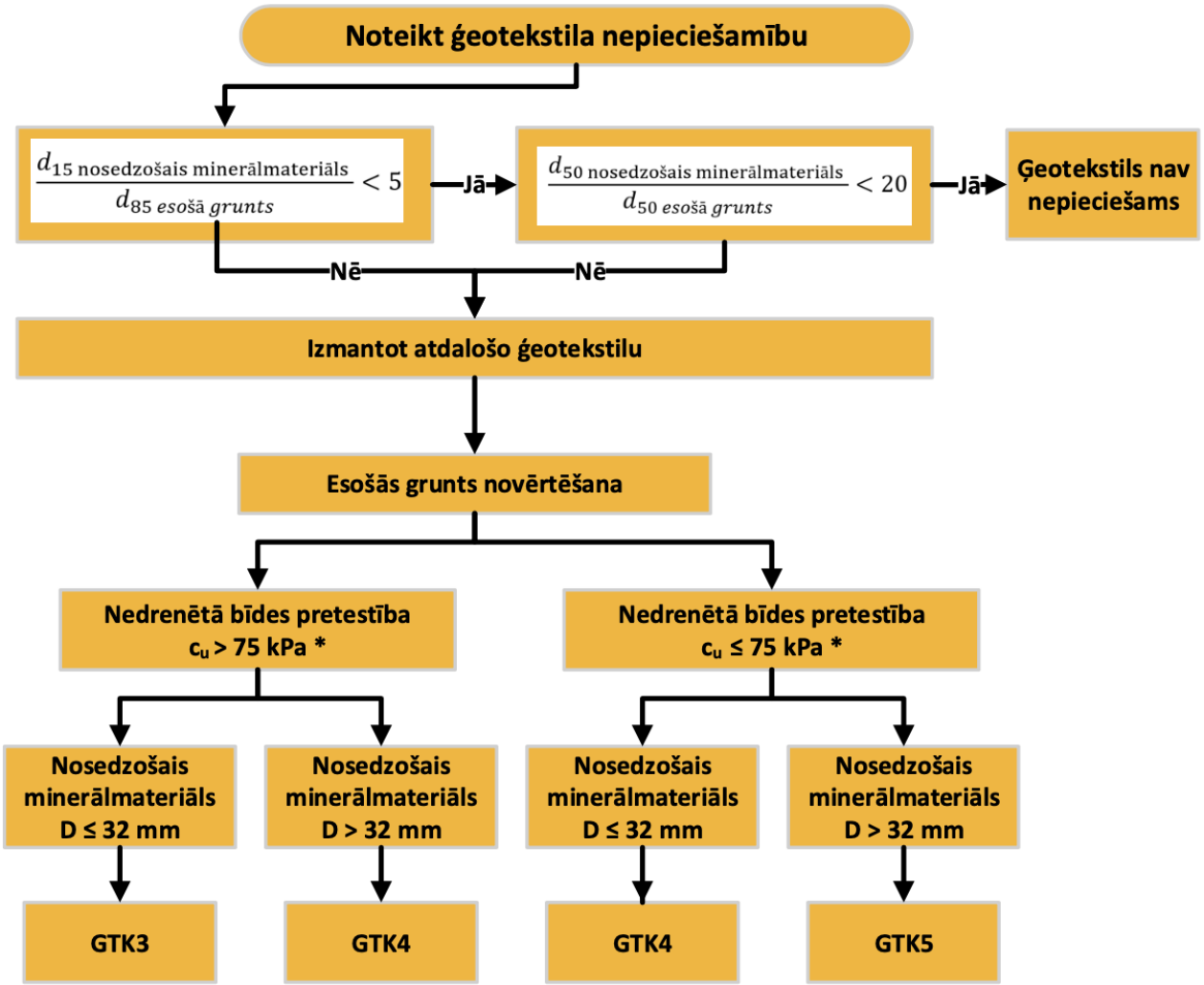
Lai noteiktu minimālās prasības ģeotekstilam, atdalīšanas vai filtrācijas funkcijām ir nepieciešami sekojošie dati:

- esošās grunts nedrenētās bīdes pretestības vērtība (atdalīšanai);
- esošās grunts plastiskuma indekss (filtrācijai);
- esošās grunts neviendabīguma koeficients (filtrācijai);
- esošās grunts un nosedzošā minerālmateriāla granulometriskais sastāvs;
- nosedzošā minerālmateriāla slāņa biezums.

Ja grunts un nosedzošā minerālmateriāla dati nav pieejami novērtēšanai, ieteicams izmantot atdalošo ģeotekstilu GTK5 (Tabula 4-15).

4.3.1 Ģeotekstils atdalīšanai

Attēls 4-4. Ģeotekstila projektēšanas soļi ceļa konstruktīvo kārtu atdalīšanai



** Cu >75 kPa – cieta vai ļoti cieta grunts pēc EN ISO 14688-2; Cu ≤ 75 kPa – ļoti mīksta, mīksta vai sīksta grunts pēc EN ISO 14688-2.*

Lai novērstu grunts sajaukšanos, nepieciešams izpildīt apgrieztā filtra kritērijus:

$$\frac{d_{15\ nosedzošais\ minerālmateriāls}}{d_{85\ esošā\ grunts}} < 5 \qquad [4.89.]$$

$$\frac{d_{50\ nosedzošais\ minerālmateriāls}}{d_{50\ esošā\ grunts}} < 20 \qquad [4.90.]$$

d_{15} – daļiņu izmērs, no kurām 15 % daļiņas ir ar mazāku izmēru;
d_{85} – daļiņu izmērs, no kurām 85 % daļiņas ir ar mazāku izmēru;
d_{50} – daļiņu izmērs, no kurām 50 % daļiņas ir ar mazāku izmēru.

Ja esošā grunts un nosedzošā minerālmateriāla daļiņu attiecība neatbilst vienam no iepriekš minētajiem apgrieztā filtra kritērijiem, slāņus nepieciešams atdalīt ar ģeotekstilu. [118]

Ceļu konstruktīvo kārtu atdalīšanai ģeotekstils pēc tā stiprības tiek iedalīts trīs klasēs: GTK3, GTK4 un GTK5. Lai noteiktu attiecīgo ģeotekstila klasi, nepieciešams izvērtēt esošās grunts nedrenētās bīdes pretestību, nosedzošā materiāla maksimālo graudu izmēru un kārtas biezumu virs ģeotekstila. Atkarībā no konkrētajiem apstākļiem ģeotekstila klases izvēli jāveic saskaņā ar tabulu (Tabula 4-15). Ģeotekstila klašu raksturlielumu vērtības norādītas nodaļā 4.4. Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības.

Tabula 4-15. Ģeotekstila klase atkarībā no apstākļiem (atdalīšanas funkcija)

Nedrenētā bīdes pretestība, s_u	**Min. nosedzošā kārta, m**	**Ģeotekstila klases**	
		Nosedzošā materiāla grauda izmērs (mm)	
		D ≤ 32	**45 ≤ D ≤ 63**
> 75 kPa	0,3	GTK3	GTK4
≤ 75 kPa	0,3	GTK4	GTK5

GTK – ģeotekstila klase.

D definēts saskaņā ar ISO 17892-4.

Nepieciešams veikt detalizētāku apstākļu un ģeotekstila parametru novērtējumu, ja dmax>63 un/vai nosedzošā kārta ir mazāka par 0,3 m.

Ja projektēšanas apstākļi neatbilst tabulā (Tabula 4-15) minētājiem, nepieciešams veikt sekojošo ģeotekstila parametru novērtējumu:

A. Noteikt neausta ģeotekstila maksimālo stiepes stiprību T_{reqd} pēc formulas:

$$\boldsymbol{T_{reqd} = p'(d_v)^2[f(\varepsilon)]}, \qquad [\mathbf{4.91}.]$$

kur:

T_{reqd} *– nepieciešamā ģeotekstila pārraušanas izturība, stiepes stiprība;*

p *– satiksmes slodze uz nosedzošās kārtas virsmas;*

p' *– slodze, kas iedarbojas uz ģeotekstilu (nedaudz mazāka par p);*

d_v *– nosedzošās kārtas maksimālais attālums starp daļiņām ~0,33* d_a*;*

d_a *– caurdurošā materiāla vidējais daļiņu diametrs;*

$f()$ *– deformētā ģeotekstila relatīvā pagarinājuma funkcija.*

$$\boldsymbol{f(\varepsilon) = \frac{1}{4} * \left(\frac{2y}{b} + \frac{b}{2y}\right)}, \qquad [\mathbf{4.92}.]$$

kur:

b *– maksimālais attālums starp daļiņām;*

y *– ģeotekstila vertikālā deformācija.*

B. Pieņemt ģeotekstila pagarinājumu. Neaustiem ģeotekstiliem maksimālais pagarinājums ir vienāds ar:

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0}(100) = \frac{\left[d + 2\left(\frac{d}{2}\right)\right] - 3\left(\frac{d}{2}\right)}{3\left(\frac{d}{2}\right)}(100) = \frac{4\left(\frac{d}{2}\right) - 3\left(\frac{d}{2}\right)}{3\left(\frac{d}{2}\right)}(100) = 33\%, \quad [4.93.]$$

kur:
S ~ d/2;
I_f – deformētā ģeotekstila garums.

Austa ģeotekstila stiprība jāaprēķina pēc vidējā enerģijas absorbcijas indeksa Ra [**1.1**.], vispirms nosakot neausta ģeotekstila stiepes stiprības vērtību un pieņemot pagarinājumu 30%. Austa ģeotekstila pagarinājuma vērtība jāpieņem 10% un attiecīgi jāpalielina stiepes stiprības vērtība.

C. Ģeotekstila absorbcijas indeksa Ra drošības koeficients pēc formulas [**1.1**.] jāpieņem ≥ 2,0. Noteikt ģeotekstila izturību pret caurduršanu pēc formulas

$$F_{reqd} = p' {d_a}^2 S_1 S_2 S_3 \quad [4.94]$$

kur:
F_{reqd} – nepieciešamā ģeotekstila caurduršanas izturība;
d_a – caurdurošā materiāla vidējais daļiņu diametrs;
p' - satiksmes slodze, kas iedarbojas uz ģeotekstilu caur nosedzošo kārtu;`
S_1 – caurdurošā materiāla šķautņu izvirzījuma koeficients (Tabula 4-2);
S_2 – daļiņu izmēra koeficients;
S_3 – daļiņu formas koeficients.

Tabula 4-16. Caurdurošā materiāla koeficientu vērtības

Ģeotekstilu caurdurošā materiāla daļiņu apraksts	S1	S2	S3
Drupināts, 45 ≤ D≤ 63 mm	0,9	0,8	0,9
Drupināts, D ≤ 32 mm	0,6	0,6	0,7
Apaļš, 45 ≤ D ≤63 mm	0,5	0,4	0,4
Apaļš, D≤ 32 mm	0,2	0,2	0,3

D – graudu maksimālais izmērs.

D. Jānosaka ģeotekstila raksturīgā atvēruma izmēra minimālās un maksimālās robežas:

O_{90} maksimālā vērtība: $$\frac{O_{90}}{d_{90}} \leq 2 \quad [4.95.]$$

O_{90} minimālā vērtība: $$O_{90} \geq 0,05\ mm \quad [4.96.]$$

d_{90} – grunts daļiņu izmērs, no kurām 90% daļiņas ir ar mazāku izmēru;
O_{90} – ģeotekstila raksturīgā atvēruma izmērs.

Raksturīgā atvēruma izmēram jābūt ierobežotam, lai smalkās daļiņas netiktu izspiestas dinamiskas slodzes rezultātā bez ūdens plūsmas (primārā funkcija – atdalīšana) un saglabātos statiskas vai dinamiskas slodzes laikā ar ūdens plūsmu (sekundārā funkcija – filtrācija).

E. Jāpārliecinās, ka atdaloša ģeotekstila ūdenscaurlaidība ir lielāka par grunts caurlaidību:

$$K_{n,ģeotekstils} > K_{n,grunts}, \quad [4.97.]$$

kur:

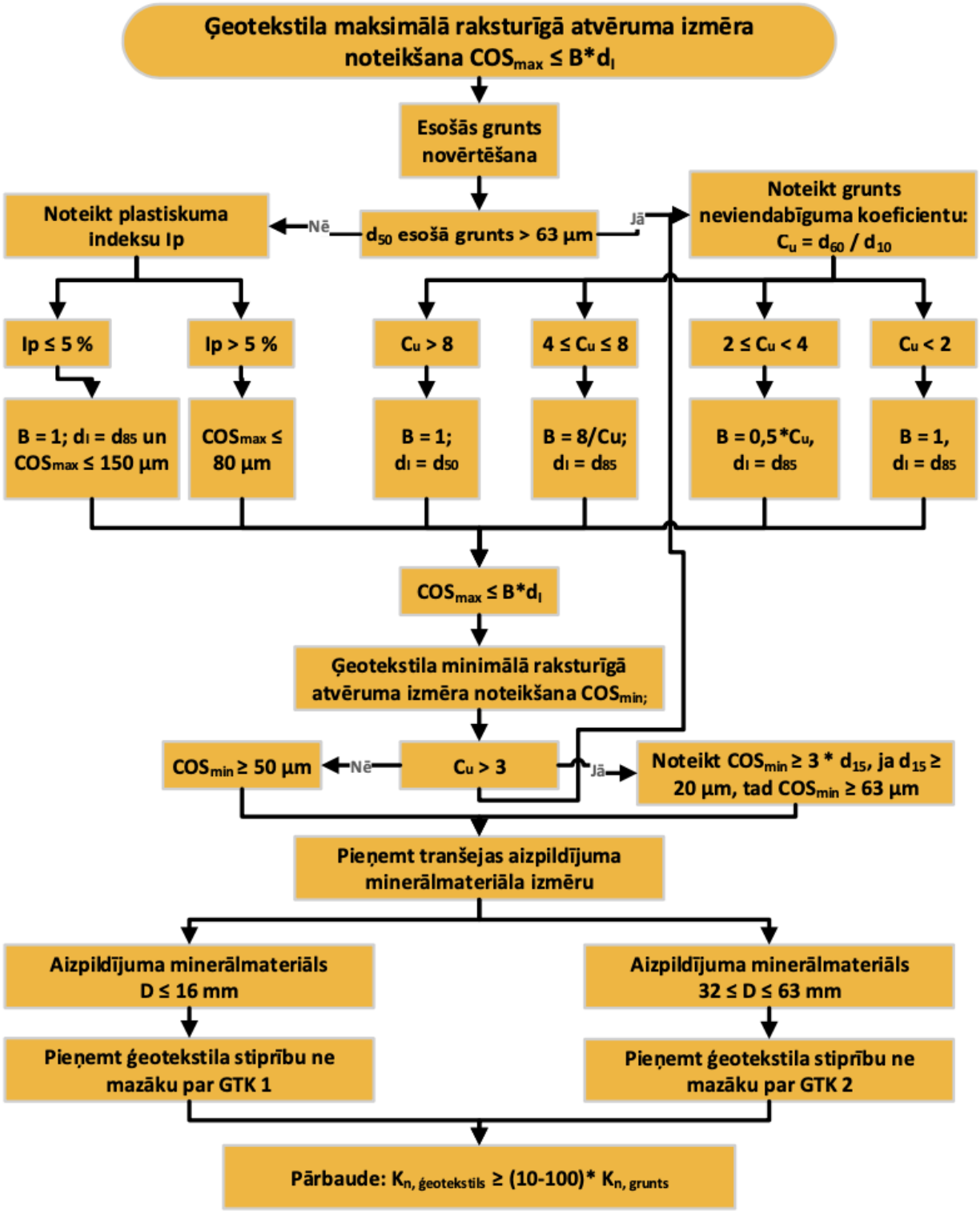
$K_{n,ģeotekstils}$ – *minimālā ūdenscaurlaidība perpendikulāri plaknei, saskaņā ar EN ISO 11058;*

$K_{n,grunts}$ – *grunts ūdenscaurlaidība.*

F. Jāpārliecinās par vismaz divu ģeotekstilu esamību tirgū atbilstoši aprēķinātajām vērtībām.

4.3.2 Ģeotekstils filtrācijai

Attēls 4-5. Ģeotekstila projektēšanas soļi drenāžas sistēmām vai līdzīgiem filtrācijas lietojumiem



Filtrācijas funkcijai jānosaka ģeotekstila raksturīgā atvēruma izmēra maksimālā un minimālā robeža. Maksimālā robeža attiecas uz grunts daļiņu noturēšanas kritēriju, minimālā – uz ģeotekstila noturību pret aizsērēšanu. Nosakot raksturīgā atvēruma robežas, jāsalīdzina grunts un ģeotekstila ūdenscaurlaidība.

Grunts daļiņu noturēšanas kritērijs, COS maksimāla vērtība:

$$\boldsymbol{COS \leq B * d_I} \quad [4.98]$$

COS – no angļu valodas raksturīgais poru izmērs (characteristic opening size), saskaņā ar EN ISO 12956;*

kur:

B – koeficients, kas atkarīgs no filtrējamās grunts tipa, tās blīvuma, viendabības koeficienta, ja grunts ir graudains minerālmateriāls, ģeotekstila veida (austs vai neausts) un ūdens plūsmas apstākļiem;

d_I –graudu izmērs.

A. Jānovērtē putekļu saturs gruntī:

∇ ja d50 esošā grunts > 63 µm – jāizmanto 50 µm ≤ COS ≤ 150 µm vai sarežģītos projektēšanas apstākļos (detalizētākai projektēšanai skatīt Attēls 4-5) noteikt grunts neviendabīguma koeficientu C_u un COS maksimālās robežas noteikšanai izmantot tabulu zemāk (Tabula 4-17).

Tabula 4-17. Vienvirziena ūdens plūsmas apstākļos gruntīm ar putekļu saturu mazāku par 50 % (d50>63µm) [119]

$C_u < 2$;	B=1	$d_I = d_{85}$
$2 \leq C_u < 4$;	$B = 0{,}5 * C_u$	$d_I = d_{85}$
$4 \leq C_u < 8$;	$B = \frac{8}{C_u}$	$d_I = d_{85}$
$C_u > 8$;	B = 1	$d_I = d_{50}$

**C_u - grunts neviendabīguma koeficients; $C_u = d_{60} / d_{10}$*

∇ ja d50 esošā grunts ≤ 63 µm – jānosaka plastiskuma indekss un jāizmanto tabulā (Tabula 4-18) norādītās COS maksimālās vērtības.

Tabula 4-18. Vienvirziena ūdens plūsmas apstākļos gruntīm ar putekļu saturu virs 50% (d50 ≤ 63 µm) (modificēts) [119]

PI* ≤ 5	B=1; $d_I = d_{85}$ un COS ≤ 150 µm
PI > 5	COS ≤ 80 µm

**PI – plastiskuma indekss.*

Koeficients B ir atkarīgs no hidrauliskā slīpuma, augsnes blīvuma un robežnosacījumiem [119]:

$$\boldsymbol{B = B_1 * B_2} \quad [4.99]$$

B_1 = 0,6, ja plūsma ir abos virzienos;

B_1 = 0,8, ja hidrauliskais slīpums i>5;

B_1 = 1, ja hidrauliskais slīpums i≤5;

B_2 = 0,8, ja grunts ir nesablīvēta;

B_2 = 1,25, ja grunts ir sablīvēta.

B. Jānosaka COS minimālā vērtība; ja ir noteikta tikai COS maksimālā vērtība, jāaprēķina grunts neviendabīguma koeficients C_u:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad [4.100.]$$

∇ ja $C_u > 3$, jānosaka COS minimālā vērtība pēc formulas:

$$COS \geq 3 * d_{15} \quad [4.101.]$$

COS – raksturīgais poru izmērs (angļu val. – characteristic opening size) saskaņā ar EN ISO 12956. Gadījumā, ja $d_{15} \geq 20$ µm, tad COS minimālā vērtība COS ≥ 63 µm.

∇ ja $C_u \leq 3$, aizsērēšanas risks nav būtisks. Minimālā COS vērtība ≥ 50 µm;

3. Jāpieņem tranšejas aizpildījuma minerālmateriāla izmēri:

∇ ja aizpildījuma minerālmateriāla daļiņu izmērs ir D ≤ 16 mm un COS pēc aprēķina ir robežās 50–150 µm – jāizmanto ģeotekstils GTK1;

∇ ja aizpildījuma minerālmateriāla daļiņu izmērs ir D ≤ 16 mm un COS pēc aprēķina nav robežās 50–150 µm – ģeotekstila maksimālā stiepes stiprība un pagarinājums (abos virzienos vienāds MD un CMD) jāpieņem ne mazāks kā GTK1;

∇ ja aizpildījuma minerālmateriāla daļiņu izmērs ir 32 ≤ D ≤ 63 mm un COS pēc aprēķina ir robežās 50–150 µm – jāizmanto ģeotekstils GTK2;

∇ ja aizpildījuma minerālmateriāla daļiņu izmērs ir 32 ≤ D ≤ 63 mm un COS pēc aprēķina nav robežās 50–150 µm – ģeotekstila maksimālā stiepes stiprība un pagarinājums (abos virzienos vienāds MD un CMD) jāpieņem ne mazāka kā GTK2.

C. Jāpārbauda ģeotekstila un grunts ūdenscaurlaidības attiecība:

$$K_{n,\acute{g}eotekstils} \geq (10 - 100) * K_{n,grunts} \quad [4.102.]$$

Apakšējo vērtību 10 var pieņemt pie relatīvi zema ūdens plūsmas ātruma un statiskas slodzes. Ieteicams tiekties uz augšējo vērtību 100, kas galvenokārt attiecas uz gruntīm, kurās ir liels smalko daļiņu īpatsvars. [30]

Ģeotekstila filtrācija ir atkarīga ne tikai no hidrauliskām īpašībām, bet arī no ģeotekstila porainības, šķiedru blīvuma un filtrācijas ceļa garuma. Lai saglabātu grunts daļiņas ģeotekstila biezumam jāsatur vismaz 25 sašaurinājumi, kurus veido ģeotekstila šķiedras. Tāpēc ģeotekstilam ir jābūt pietiekami biezam lai tas strādātu kā filtrs. Ģeotekstila biezuma robežas nosaka attiecībā pret ģeotekstila raksturīga atvēruma izmēru pēc formulas:

$$d > 30 * O_{90} \quad [4.103.]$$

kur:
d – ģeotekstila biezums;
O_{90} – ģeotekstila raksturīga atvēruma izmērs.

Ģeotekstila filtru nav ieteicams izmantot sekojošos apstākļos:

- ∇ vietās ar paaugstinātu dzelzs saturu oksidācijas stāvoklī +2 (Fe2) vai mangāna dioksīda (MnO2) saturu. Atkarībā no pH pieļaujamā koncentrācija ir no 3 mg/l līdz 12 mg/l;
- ∇ vietās ar paaugstinātu organisko vielu saturu, piemēram, cieto atkritumu poligonos;
- ∇ vietās ar ļoti sārmainu gruntsūdeni, kur šķidrums, plūstot cauri ģeotekstilam, var izraisīt kalcija, nātrija vai magnija nogulsnēšanos;
- ∇ vietās ar lielu suspendēto cietvielu daudzumu ūdenī, piemēram, ar augstu mikroorganismu saturu.

4.4 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības

Atdalīšanas funkcijai raksturlielumu vērtības austa un neausta ģeotekstila klasēm GTK3, GTK4 un GTK5 norādītas turpmāk (Tabula 4-19 un Tabula 4-20).

Tabula 4-19. Neausto ģeotekstilu nominālie raksturlielumi atdalīšanai

Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērv.**	**Nominālvērtība:**		
			GTK3	**GTK4**	**GTK5**
Stiepes stiprība (abos virzienos)	EN ISO 10319	kN/m	≥ 15	≥ 20	≥ 25
Pagarinājums pie maksimālās slodzes (abos virzienos)	EN ISO 10319	%	≥ 30	≥ 30	≥ 30
Dinamiskā caursišanas pretestība	EN ISO 13433	mm	≤27	≤ 17	≤ 15
Caurlaidība perpendikulāri plaknei	EN ISO 11058	10^{-3} m/s (l/m²s)	≥ 12	≥ 12	≥ 12
Raksturīga atvēruma izmērs	EN ISO 12956	µm	50–350	50–350	50–350

Tabula 4-20. Austo ģeotekstilu nominālie raksturlielumi atdalīšanai

Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērv.**	**Nominālvērtība:**		
			GTK3	**GTK4**	**GTK5**
Stiepes stiprība (abos virzienos)	EN ISO 10319	kN/m	≥ 45	≥ 60	≥ 75
Pagarinājums pie maksimālās slodzes (abos virzienos)	EN ISO 10319	%	≥ 10	≥ 10	≥ 10
Dinamiskā caursišanas	EN ISO 13433	mm	≤ 27	≤ 17	≤ 15

Būtiskie raksturlielumi	Standarts	Mērv.	Nominālvērtība:		
			GTK3	GTK4	GTK5
pretestība					
Caurlaidība perpendikulāri plaknei	EN ISO 11058	10^{-3} m/s (l/m²s)	≥ 12	≥ 12	≥ 12
Raksturīga atvēruma izmērs	EN ISO 12956	µm	50–350	50–350	50–350

Filtrācijas funkcijai ieteicams izmantot velta tipa ģeotekstilus, raksturlielumu vērtības ģeotekstilu klasēm GTK1 un GTK2 ir norādītas tabulā turpmāk (Tabula 4-21).

Tabula 4-21. Ģeotekstila nominālie raksturlielumi filtrācijai

Būtiskie raksturlielumi	Standarts	Mērv.	Nominālvērtība:	
			GTK1	GTK2
Stiepes stiprība (abos virzienos)	EN ISO 10319	kN/m	≥ 7	≥ 12
Pagarinājums pie maksimālās slodzes (abos virzienos)	EN ISO 10319	%	≥ 30	≥ 30
Dinamiskā caursišanas pretestība	EN ISO 13433	mm	≤ 30	≤ 15
Caurlaidība perpendikulāri plaknei	EN ISO 11058	10^{-3} m/s (l/m²s)	≥ 30	≥ 30
Raksturīga atvēruma izmērs	EN ISO 12956	µm	50–150	50–150
Biezums zem 2 kPa	EN ISO 9863-1	Mm	≥ 30 x O_{90}*	≥ 30 x O_{90}*

** O_{90} – ģeotekstila raksturīgā atvēruma izmērs.*

Ražotājam ir jānodrošina marķējums uz būvizstrādājuma saskaņā ar standartu EN ISO 10320. CE marķējuma prasību skatīt standarta EN ISO 13249 ZA.3. punktā.

Tabulās turpmāk ir norādītas ģeotekstilu specifikāciju prasības atkarībā no lietojuma (Tabula 4-22 un Tabula 4-23).

Tabula 4-22. Ģeotekstila specifikāciju prasības atdalīšanai

Ģeotekstila klase: GTK (definē būvprojektā)			
Paredzētā izmantošana: atdalīšana un filtrācija (S+F) saskaņā ar EN ISO 13249			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība:**
Stiepes stiprība (abos virzienos)	EN ISO 10319	kN/m	≥ ...*
Pagarinājums pie maksimālās slodzes (abos virzienos)	EN ISO 10319	%	≥ ...*

Ģeotekstila klase: GTK (definē būvprojektā)			
Paredzētā izmantošana: atdalīšana un filtrācija (S+F) saskaņā ar EN ISO 13249			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība:**
Dinamiskā caursišanas pretestība	EN ISO 13433	mm	≤ ...*
Ūdenscaurlaidība perpendikulāri plaknei	EN ISO 11058	10^{-3} m/s (l/m²s)	≥ ...*
Raksturīga atvēruma izmērs	EN ISO 12956	µm	vērtība no/līdz*
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	gadi	≥ 100
Bīstamās vielas	Mazāk nekā noteikts ES dalībvalstu noteikumos		

** definē būvprojektā.*

Tabula 4-23. Ģeotekstila specifikāciju prasības filtrācijai

Ģeotekstila klase: GTK (definē būvprojektā)			
Paredzētā izmantošana: filtrācija (F) saskaņā ar EN ISO 13249			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība:**
Stiepes stiprība (abos virzienos)	EN ISO 10319	kN/m	≥ ...*
Pagarinājums pie maksimālās slodzes (abos virzienos)	EN ISO 10319	%	≥ ...*
Dinamiskā caursišanas pretestība	EN ISO 13433	mm	≤ ...*
Ūdenscaurlaidība perpendikulāri plaknei	EN ISO 11058	10^{-3} m/s (l/m²s)	≥ ...*
Raksturīga atvēruma izmērs	EN ISO 12956	µm	vērtība no/līdz*
Biezums zem 2 kPa	EN ISO 9863-1	mm	≥ 30 x O_{90}**
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	gadi	≥ 100
Bīstamās vielas	Mazāk nekā noteikts ES dalībvalstu noteikumos		

** definē būvprojektā;*

*** O_{90} – ģeotekstila raksturīgā atvēruma izmērs.*

4.5 Iestrādes tehnoloģija

Pēc produkta piegādes jāveic ģeotekstila identificēšana, salīdzinot produkta informāciju uz marķējuma ar EĪD norādīto. Atkarībā no ģeotekstila lietojuma jāveic visu vai dažu tehnisko parametru salīdzināšana.

Pirms ģeotekstila ruļļu izkraušanas ieteicams identificēt un pārbaudīt iespējamos ruļļu bojājumus.

Ģeotekstilu īpašības var ietekmēt:

- nokrišņi (piesātinātie ģeotekstili ir smagi un grūti apstrādājami);
- ultravioletais starojums;
- ķīmiskas vielas;
- liesmas, tostarp metināšanas dzirksteles;
- temperatūra virs 70 ℃;
- zem -25 ℃ sasalšana ir iespējama, kad ģeotekstils ir sauss;
- zem 0 ℃, sasalšana ir iespējama, kad ģeotekstils ir mitrs.

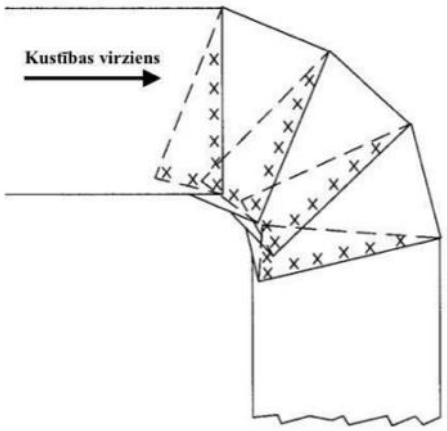
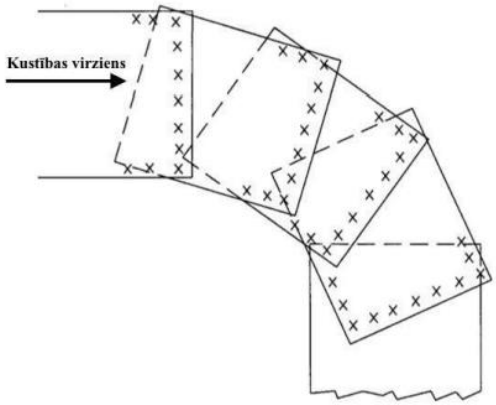
Vispirms paredzēto ģeotekstila ieklāšanas vietu attīra, sakārto un veic nepieciešamos zemes darbus vai ar saistvielām nesaistītu konstruktīvo kārtu izbūves darbus, novācot nederīgās gruntis un citus neatbilstošus materiālus, pēc tam izlīdzinot, planējot un profilējot nosedzamo materiālu, lai iegūtu paredzēto šķērskritumu, garenkritumu un augstuma atzīmes, nobeigumā veicot sablīvēšanas darbus, lai iegūtu vajadzīgo nestspēju un sablīvējuma pakāpi. Kad ieklājamā platība ir sagatavota, ģeotekstilu izrullē ceļa garenvirzienā. [120] Ieklāšana jāveic uzmanīgi un pēc iespējas uz līdzenākas virsmas. [113] Ģeosintētisko materiālu nedrīkst vilkt pa grunti, krunkas un ieloces izlīdzina, ģeotekstilu pēc vajadzības nostiepjot un nostiprinot. Ģeotekstilam jābūt ieklātam līdz uzbēruma ārējai malai. [120]

Paralēlos ģeotekstila ruļļus ieklāj ar pārklājumu, sašuj vai savieno atbilstoši konkrētām prasībām. Pagriezienos (līkumos, līknēs) ģeosintētisko materiālu ieklāj ielokot, vai ar pārklājumu no atsevišķiem gabaliem pagrieziena virzienā (Attēls 4-6). Ģeotekstila ieloces sastiprina, piemēram, ar naglām ik pēc 0,6 m. [120]

Atkarībā no būvprojekta apstākļiem, pārklājumam jābūt no 0,5 m līdz 1,0 m, lai ģeotekstils nodrošinātu viendabīgu funkcionalitāti visā platībā, nepieļaujot augšējo un apakšējo kārtu sajaukšanos.

Ja nepieciešams pagarināt esošus ģeosintētiskos materiālus, vislabāk ir rūpīgi daļēji atrakt esošās konstrukcijas ģeotekstilu, to mehāniski savienojot ar jaunu, tā veidojot pārklājumus, šujot vai savienojot ar skavām vai tapām. [120]

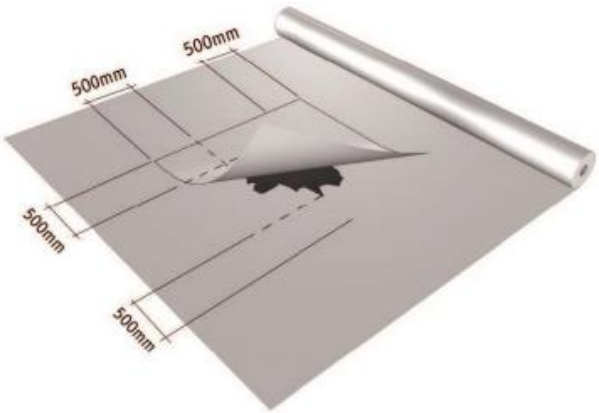
Attēls 4-6. Ģeotekstila ieklāšana pagriezienos [120]

	
Ieklāšana pagriezienos ar ielocīšanu	Ieklāšana pagriezienos, izmantojot sagrieztus gabalus

Ruļļu platumu un izvietojumu plāno tā, lai savienojumi būtu ceļa brauktuves vidū vai nomalēs. Pārklājumus nevajadzētu paredzēt risu vietās. Ruļļu galu savienojumiem jābūt minerālmateriāla uzbēršanas virzienā (pirmais rullis augšpusē, pievienojamais rullis apakšā). [120]

Pirms aizbēršanas jāpārbauda, vai ģeotekstils nav bojāts. Ja tiek konstatēti defekti, tie jālabo, uzklājot jaunu ģeotekstila slāni, ar minimālo pārklājumu 0,5 m visos virzienos no bojājuma vietas (Attēls 4-7).

Attēls 4-7. Ģeotekstila bojājumu labošana [121]



Pa ieklātu ģeotekstilu nedrīkst pārvietoties būvniecības tehnika. Nepieciešamo uzberamās kārtas minimālo biezumu – 0,3 m, uzber un izlīdzina no viena gala (Attēls 4-8). Uzberamā slāņa kopējam biezumam jāatbilst projekta tehnisko specifikāciju prasībām. Pēc minerālmateriāla uzbēršanas un izlīdzināšanas to sablīvē. Transporta kustību var atklāt tikai pa sablīvētu uzbērto kārtu, kad tas nerada ģeotekstila bojājumu

draudus. Maksimāli pieļaujamais rises dziļums ir 75 mm. Ja veidojas dziļākas rises, jāsamazina pāri braucošā transportlīdzekļu masa vai jāizveido papildu kārta [120]

Attēls 4-8. Uzbērtā materiāla izlīdzināšana [121]

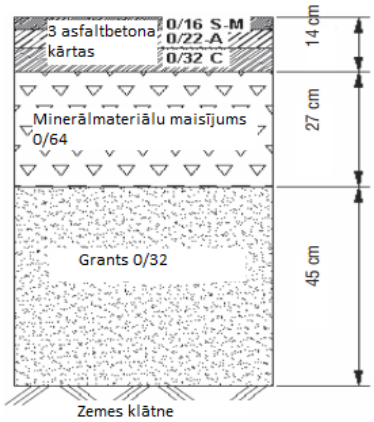
Pirmais uzbērtās minerālmateriāla kārtas pieblīvējums tiek iegūts ar pievešanas vai izlīdzināšanas tehniku. Pēc tam jāveic blīvēšana ar grunts vibroveltņiem, līdz tiek iegūts vismaz minimāli nepieciešamais sablīvējums. Ja pamatnes grunts ir ar nepietiekamu nestspēju, pirmo uzbērto slāni nevarēs sablīvēt, un šādā gadījumā prasības sablīvējuma pirmajam uzbērtajam slānim var tikt samazinātas, bet ieteicams ne vairāk kā par 5 % no minimāli nepieciešamā sablīvējuma. Būvdarbi jāveic paralēli ceļa virzienam. Tehnikas apgriešanās uz pirmā uzbērtā slāņa nav pieļaujama. Blakus teritorijās ieteicams ierīkot apgriešanās un citu nepieciešamo manevru vietas. Būvniecības laikā izveidojušās rises jāaizpilda ar tādu pašu materiālu, kāds izmantots uzberamā slāņa būvei. Rises nedrīkst novērst, "nogriežot" blakus esošo materiālu, jo tas var samazināt ģeotekstila nosedzošās kārtas biezumu. [120]

4.5.1 Būvniecības riski

Ģeotekstila ieklāšanas bojājumiem, ko rada apbēršana, blīvēšana un satiksmes slodzes būvniecības laikā, ir izšķiroša nozīme, lai ģeotekstils efektīvi veiktu nepieciešamo funkciju visā ceļa konstrukcijas kalpošanas laikā.

Lietuvā 2005. gadā tika veikts bojājumu lauka tests atdalošiem ģeotekstiliem. Pārbaudes tika veiktas būvdarbu laikā uz galvenā autoceļa A1 Viļņa-Kauņā Klaipēda 24.00-31.00 km. Ceļa konstrukcijas griezums parādīts attēlā zemāk (Attēls 4-9).

Attēls 4-9. Tipiska ceļa konstrukcija Lietuvā [122]



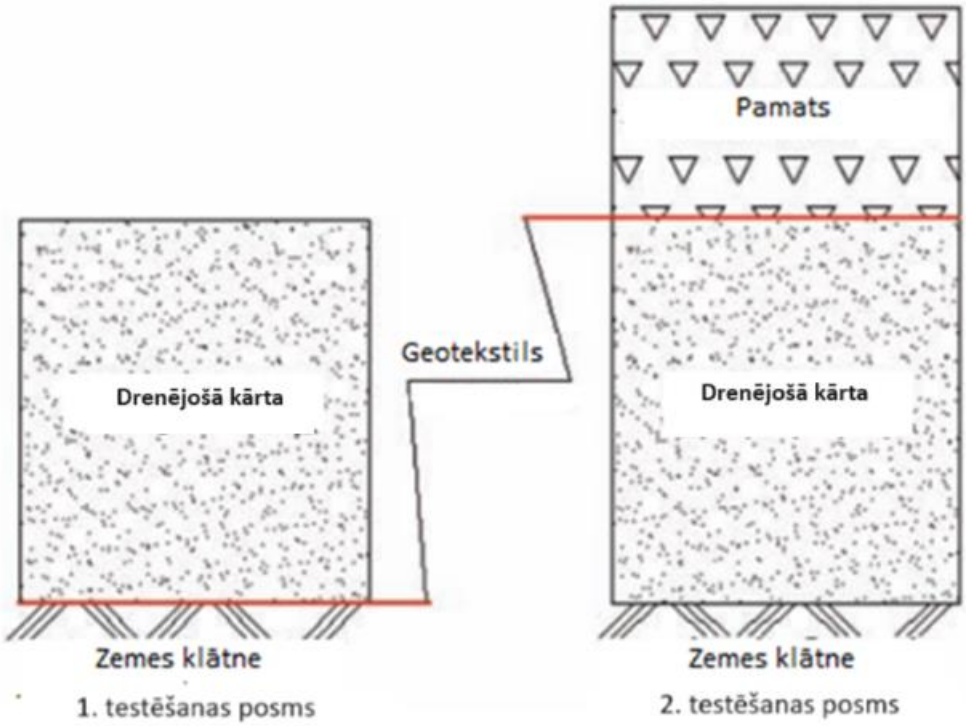
Eksperimenta posmam tika izvēlēti divi 15 m gari testa posmi, kuros tika paplašināta ceļa konstrukcija. Katrā no šiem posmiem ieklāja piecus dažādu ražotāju ģeotekstilus. Ražotāju deklarētās ģeotekstila īpašības ir norādītas tabulā turpmāk (Tabula 4-24). Pirmajā posmā ģeotekstilu ieklāja 12 m² platībā (3 m × 4 m, katru ģeotekstila veidu), atdalot zemes klātni no drenējošās kārtas, (Attēls 4-10 – 1. testēšanas posms), bet otrajā posmā 9 m² (3 m × 3 m), starp drenējoškārtu un pamatu. (Attēls 4-10 – 2. testēšanas posms). [122]

Pirmajā testēšanas posmā ģeotekstilu ieklāja uz līdzenas virsmas, zemes klātnes nestspēju pārbaudīja ar statiskās plātnes slogošanas testu, nosakot vērtību E_{V2}≥45 MPa. Virs ģeotekstila uzbūvēja 45 cm drenējošo kārtu no labas kvalitātes rupjgraudaina minerālmateriāla ar maksimālo graudu izmēru 35 mm. Drenējošo kārtu uzbūvēja no diviem slāņiem 30 cm un 15 cm, tos attiecīgi sablīvējot. Tika izmantots 12 t vibroveltnis, veicot piecus ciklus turp un atpakaļ. [122]

Otrajā testēšanas posmā dažādi ģeotekstilu veidi tika ieklāti virs drenējošās kārtas. Tad uzbūvēja 27 cm pamatkārtu no minerālmateriāla maisījuma 0/56. Lielākais šķembu izmērs sastādīja 50 mm. Minerālmateriāla maisījuma sablīvēšanu veica ar pieciem cikliem turp un atpakaļ, izmantojot 8 t vibroveltni. [122]

Pēc nepieciešamo kārtu uzbūvēšanas virs ģeotekstila abos posmos tika veikti ģeotekstilu atrakšanas darbi. Lai mehāniski nesabojātu pārbaudes būvizstrādājumus, visi atrakšanas darbi tika veikti manuāli. [122]

Attēls 4-10. Ģeotekstilu novietojums [122]



Jāatzīmē, ka starp ceļa konstrukcijas drenējošo kārtu un pamatu, ģeotekstila ieklāšana tika veikta tikai pārbaudes nolūkos. Šāds ģeotekstila atdalīšanas lietojums parasti netiek piemērots. Gadījumā, ja ir nepieciešams veikt pamata kārtas pastiprinājumu, ieteicams izmantot ģeorežģus. (skatīt nodaļu 3. Nesaistīto ceļa segas kārtu pastiprināšana).

Tabula 4-24. Ražotāju deklarētie ģeotekstilu raksturlielumi [122]

Raksturlielumi	**Mērv.**	**Standarts**	**Ģeotekstilu veidi**				
			Izejviela: PP				
			Nr. 1	**Nr. 2**	**Nr. 3**	**Nr. 4**	**Nr. 5**
Svars uz laukuma vienību	g/m²	EN ISO 9864	110	130	170	200	300
Stiepes stiprība MD/CMD	kN/m	EN ISO 10319	5,5/6,5	7,5/8,5	11/13	12/14	17,4/19,5
Pagarinājums pie maks. slodzes MD/CMD	%	EN ISO 10319	60-70	60-70	55-65	55-65	50
Statiskā caurduršanas stiprība (CBR)	kN	EN ISO 12236	1,0	1,4	2,0	2,2	3,1
Dinamiskā caursišana	mm	EN ISO 13433	32	27	24	22	16
Ūdens caurlaidība perpendikulāri plaknei	m/s	EN ISO 11058	0,09	0,09	0,09	0,08	0,065

Raksturīga atvēruma izmērs	µm	EN ISO 12956	100	100	90	80	50

Veicot paraugu vizuālo apsekošanu, ģeotekstiliem tika konstatēti nodilumi, griezumi un caurduršanas bojājumi. Nodilums tika konstatēts tikai 130 g/m² paraugam pirmajā posmā. Lielākai daļai no ģeotekstiliem tika konstatēti griezumi, tomēr to skaits un izmērs bija mērens. Visbiežākie bojājumi bija caurduršana (Tabula 4-24). Tabulā zemāk ir apkopoti caurduršanas bojājumu kopējais laukums cm²/m² katram ģeotekstila veidam un testēšanas posmam (Attēls 4-11). [122]

Tabula 4-25. Ģeotekstilu caurduršanas bojājumu apjoms [122]

Ģeotekstils		**Caurduršanas bojājumi cm² /m²**	
Nr.	**Svars**	**1. testēšanas posms**	**2. testēšanas posms**
1.	110	2,5	3,5
2.	130	2,2	2,0
3.	170	Nav datu	1,0
4.	200	Nenozīmīgi iespiedumi	0,7
5.	300	Nav bojājumu	Nenozīmīgi iespiedumi

Tabula 4-26. Ģeotekstilu caurduršanas bojājumi [122]

1. testēšanas posms, 110 g/m²	2. testēšanas posms, 130 g/m²

No pētījuma var secināt, ka visi ģeotekstila veidi veica atdalīšanas funkciju, neskatoties uz bojājumiem. [122] Tomēr būvniecības apstākļi, piemēram, nelīdzena ieklāšanas virsma vai cita vibroveltņa izvēle var būtiski palielināt vājāko ģeotekstilu bojājumu apmērus. Arī grunts vai zemes klātnes esošā nestspēja ir viens no galvenajiem faktoriem, kas var ietekmēt bojājumu apjomus.

Saskaņā ar atdalošo ģeotekstilu klašu tabulām (Tabula 4-19 un Tabula 4-20) GTK 3 dinamiskās caurduršanas vērtība ir 27 mm, kas Lietuvas pētījumā atbilst Nr. 2 130 g/m² ģeotekstilam. Līdz ar to var pieņemt, ka GTK 3 ģeotekstiliem pie līdzvērtīgiem būvniecības apstākļiem (1. testēšanas posms) būtu iespējami tikai nebūtiski bojājumi. Salīdzinot testa nosacījumus ar ģeotekstila klases izvēles nosacījumu tabulu (Tabula 4-15), GTK 3 klases izvēles nosacījumi atbilst testēšanas posmā minētājiem.

4.6 Būvprojektēšanas piemēri

Ģeotehniskā izpēte jāveic atbilstoši LVS EN 1997-1, LVS EN 1997-2 un projektēšanas uzdevuma prasībām, kā arī citiem saistošajiem standartiem.

4.6.1 Pirmais piemērs

Piemērā tiek apskatīta klasiska situācija ceļu būvniecībā – no jauna uzbūvējamā ceļa konstrukcijas atdalīšana no esošās grunts.

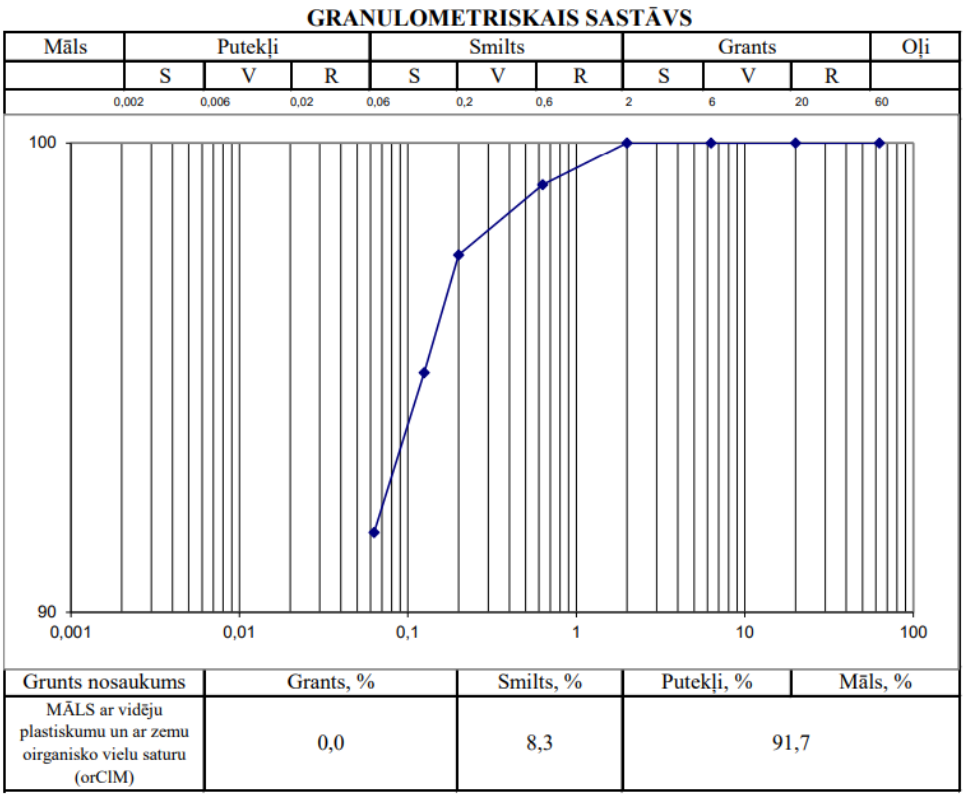
4.6.1.1 Būvobjekta apraksts

Esošā grunts (māls ar zemu organisko vielu saturu), kuras granulometriskais sastāvs parādīts attēlā (Attēls 4-11).

Konkrētajā piemērā tiek pieņemts, ka ceļa esošās grunts nedrenētā bīdes pretestība attiecīgajā slānī ir c_u = 50 kPa.

Kā nosedzošo materiālu ir paredzēts izmantot smilšainu grunti, kuras granulometriskais sastāvs parādīts attēla turpmāk (Attēls 4-12).

Attēls 4-11. Esošās grunts granulometriskais sastāvs



Attēls 4-12. Smilšainas grunts granulometriskais sastāvs [123]

Sieti, mm	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	100	99	98	92	55	14	5

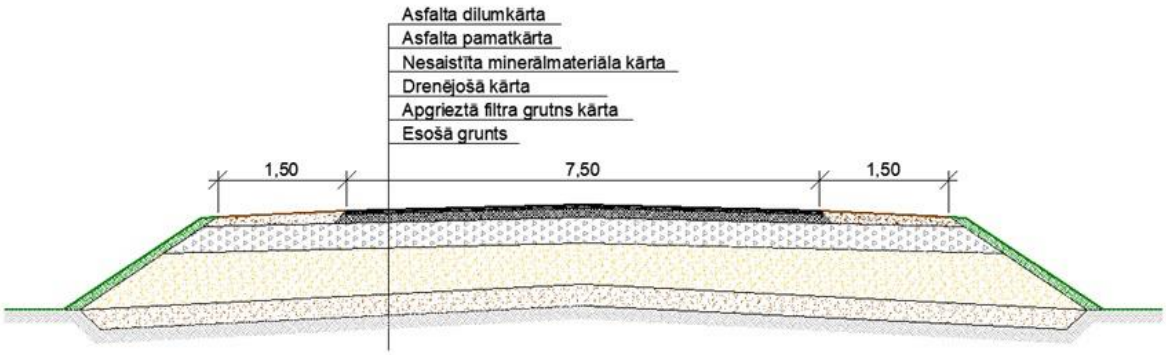
4.6.1.2 Iespējamie projekta risinājumi

Ceļa konstruktīvo kārtu atdalīšanai var izmantot divus risinājumus:

- ∇ iebūvēt atdalošu konstruktīvo slāni, kura biezums ir vismaz 30 cm;
- ∇ iebūvēt atdalošu ģeotekstilu.

4.6.1.3 Risinājums bez ģeosintētiskā materiāla

Attēls 4-13. Ceļa konstrukcija ar papildu grunts slāni

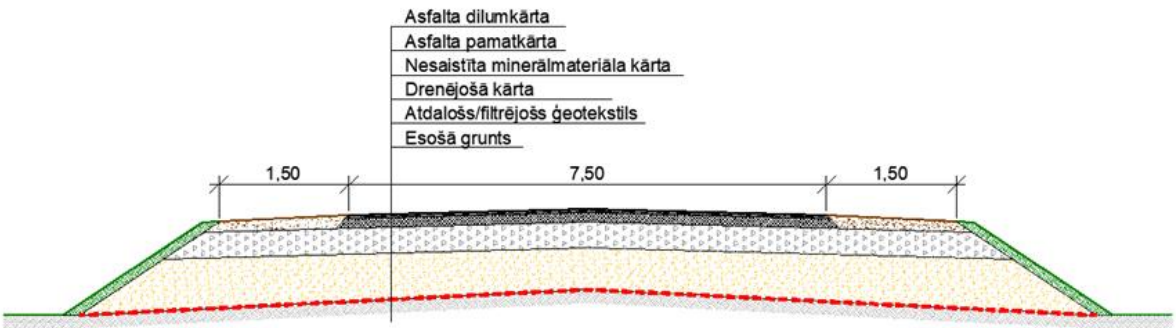


Lai atdalītu ceļa konstruktīvās kārtas no esošās grunts, nepieciešams iebūvēt atdalošo kārtu ar tādu granulometrisko sastāvu, kas izpildīs apgrieztā filtra nosacījumus. Esošajā piemērā tas ir salīdzinoši grūts uzdevums, bet, lai turpmāk veiktu tehniski ekonomisko un ietekmes uz vidi salīdzinājumu, tiek pieņemts, ka ar atdalošo kārtu 30 cm apgrieztā filtra kritēriji tiek izpildīti.

Kārtas biezums 30 cm ir minimālais biezums, aizvietojot ģeotekstilu.

4.6.1.4 Risinājums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu

Attēls 4-14. Ceļa konstrukcija ar atdalošu ģeotekstilu



1. solis: Pārbaudīt atdalošā ģeotekstila nepieciešamību [4.89.] un [4.90.]:

- ∇ d_{15} smilts = 0,125;
- ∇ Parauga granulometriskais sastāvs uzrāda putekļus un mālu 91,7%. Jāveic papildu testēšana, lai noteiktu māla saturu gruntī. Šajā gadījumā pieņem, ka vismaz 85 % ir māls ar daļiņu izmēru 0,002 mm;

- d_{85} esošā grunts = 0,002;
- 0,125/0,002 = 62,5;
- 62,5 > 5, pirmais apgrieztā filtra nosacījums neizpildās, tāpēc nepieciešams izmantot atdalošo ģeotekstilu.

2. solis: Esošās grunts novērtēšanai noteikt nedrenētās bīdes pretestības vērtību:

- nedrenētā bīdes pretestība c_u = 50 kPa, kas ir c_u ≤ 75 kPa.

3. solis: Noteikt nosedzošā minerālmateriāla izmēru un attiecīgo ģeotekstila klasi:

- nosedzošais minerālmateriāls – smilšaina grunts, kuras izmērs D ≤ 32 mm;
- pieņem ģeotekstila klasi GTK4.

4. solis: Jāizveido ģeotekstila GTK4 minimālās prasības (Tabula 4-27) pēc ģeotekstila specifikāciju tabulas (Tabula 4-22).

Tabula 4-27. Sagatavotās GTK4 minimālās prasības

Ģeotekstila klase: GTK4				
Paredzētā izmantošana: atdalīšana un filtrācija (S+F) saskaņā ar EN ISO 13249				
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+				
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320				
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērv.**	**Neausta ģeotekstila nominālvērtības**	**Austa ģeotekstila nominālvērtības**
Stiepes stiprība (abos virzienos)	EN ISO 10319	kN/m	≥ 20	≥ 60
Pagarinājums pie maksimālās slodzes (abos virzienos)	EN ISO 10319	%	≥ 30	≥ 10
Dinamiskā caursišanas pretestība	EN ISO 13433	mm	≤ 17	≤ 17
Ūdenscaurlaidība perpendikulāri plaknei	EN ISO 11058	10^{-3} m/s (= l/m².s)	≥ 12	≥ 12
Raksturīga atvēruma izmērs	EN ISO 12956	µm	50–350	50–350
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	gadi	≥ 100	≥ 100
Bīstamās vielas	Mazāk nekā noteikts ES dalībvalstu noteikumos			

4.6.2 Izstrādāto pirmā piemēra risinājumu tehniski ekonomiskais un ietekmes uz vidi salīdzinājums

Tehniski ekonomiskajam un ietekmes uz vidi risinājumu salīdzinājumam tiek pieņemts, ka tiek būvēts 100 m garš ceļa posms atbilstoši iepriekš norādītajiem

šķērsprofiliem (Attēls 4-13 un Attēls 4-14). Salīdzinājums tiek veikts tikai atšķirīgajām konstrukcijas daļām.

Tabula 4-28. Izmaksu aprēķins risinājumam ar papildu grunts slāni

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Zemes klātnes ierakuma būvniecība	m^3	405,06	4,95	2005,05
Liekās grunts izlīdzināšana būvobjektā	m^3	405,06	4,11	1664,80
Papildu grunts slāņa būvniecība	m^2	405,06	15,17	6144,76
			KOPĀ	9814,61

Tabula 4-29. Izmaksu aprēķins risinājumam ar ģeotekstilu

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Atdaloša ģeotekstila iebūve	m^2	1374	3,00	4122,00

Minētajos apstākļos risinājums ar ģeotekstilu ir vismaz divreiz izdevīgāks, vērtējot darba un materiāla pozīcijas. Papildus jāņem vērā risinājuma realizācijas laiks un CO_2 izmešu daudzums, kura aprēķins ir atspoguļots "Excel" aprēķina tabulās (skatīt Pielikumā) turpmāk (Tabula 4-31 un Tabula 4-33).

Ietekmes uz vidi novērtējumā izmantotas ģeosintētikas ražotāju sniegtās izstrādājumu vides deklarācijas, pētījuma "Inventory of Carbon and Energy (ICE)" [83] un pētījuma 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

4.6.2.1 Mērķis

Aprēķina piemēra LCA mērķis ir salīdzināt divu līdzvērtīgu (pēc nestspējas un/vai funkcionalitātes) konstrukciju (aprēķiniem pieņemtās konstrukcijas skatīt iepriekš) būvniecības procesa CO_2 ekvivalenta radītās emisijas, lai kopsakarībā ar šo risinājumu potenciālajām izmaksām pamatotu projektam piemērotāko risinājumu.

4.6.2.2 Funkcionālā vienība

100 m garš posms, brauktuves platums 7,5 metri, nomales 1,5 m. Tiek pieņemts, ka konstrukciju nestspēja un kalpošanas laiks ir vienāds attiecīgi uzrādītajiem tehniskajiem risinājumiem.

4.6.2.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

4.6.2.4 Dzīves cikla inventarizācija (LCI)

Dati par ģeosintētisko materiālu ražošanu un iebūvi iegūti no materiālu vides deklarācijām. Tiek apskatītas trīs dažādu ražotāju deklarācijas (Nr. MD-21018-EN, EPD-DUP-20220321-CBA1-EN un MD-22145-EN). Dati par ražošanu pieejami visās trīs vides deklarācijās, un turpmākam aprēķinam tiek izmantota lielākā vērtība 4,51 kg CO_2 ekvivalenta uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu *(GWP-total)*. Dati par iebūvi pieejami tikai divās no apskatītajām vides deklarācijām. Izmanto lielāko no divām vērtībām – 0,109 kg CO_2 ekvivalenta uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu *(GWP-total)*.

Pieņemts, ka minerālmateriālu drenējošās kārtas būvniecībai nepieciešams vest no atradnes 25 km attālumā no būvobjekta. Lai aprēķinātu minerālmateriāla piegādes CO_2 ekvivalentu, pieņemts, ka vienas piegādes ilgums ir 1,5 h. Ierakuma izstrādes grunti paredzēts izlīdzināt objektā. Aprēķinam pieņemts, ka ierakuma grunti transportē 1 km attālumā, bet transportēšanas kopējais laiks ir 0,25 h jeb 15 minūtes.

Ierakumu izstrādei paredzēts izmantot ekskavatoru. Izrakto grunti transportē objekta robežās un izlīdzina ar buldozera palīdzību. Grunts materiālu iestrādei tiks izmantots buldozers, kas izlīdzinās atvesto materiālu, greideris, kas profilēs izlīdzināto materiālu, un veltnis, kas blietēs materiāla kārtu.

Tabula 4-30. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam bez ģeosintētikas

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Vienas grunts kravas transportēšanas laiks no karjera (h)	1,5	Pieņemta vērtība (50 km kopējam attālumam, turp un atpakaļ)
Vienas grunts kravas transportēšanas laiks objektā (h)	0,25	Pieņemta vērtība (2 km kopējam attālumam, turp un atpakaļ)
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,0052	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Grunts tilpumsvars (kg/m³)	2000	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
Zemes klātnes ierakuma būvniecība (kg/m³)	405,06	Noteikts izstrādājot risinājumu
Liekās grunts izlīdzināšana būvobjektā (m³)	405,06	Noteikts izstrādājot risinājumu
Papildus grunts slāņa būvniecība (m³)	405,06	Noteikts izstrādājot risinājumu
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 4-31. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam bez ģeosintētikas

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO_2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Zemes klātnes ierakuma būvniecība	810120	0,00049	393,718	0,00	0,000	0,00081	656,197	1050
ekskavators		0,00049						
autotransports (ietilpība 25 t)						0,00081		
Liekās grunts izlīdzināšana būvobjektā	810120	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00027	218,732	219
buldozers						0,00027		
Papildu grunts slāņa būvniecība	810120	0,0052	4212,624	0,00535	4330,902	0,0008964	726,192	9270
ekskavators				0,00049				
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00486				
buldozers						0,0005184		
greideris						0,00027		
veltnis						0,000108		
							PAVISAM KOPĀ:	**10538**

Dati par ģeotekstila ražošanu un iebūvi iegūti no materiālu vides deklarācijām. Tiek apskatītas trīs dažādu ražotāju deklarācijas (Nr. MD-21018-EN, EPD-DUP-20220321-CBA1-EN un MD-22145-EN). Dati par ražošanu pieejami visās trīs vides deklarācijās un turpmākam aprēķinam tiek izmantota lielākā vērtība 4,51 kg CO_2 ekvivalenta uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu *(GWP-total)*. Dati par iebūvi pieejami tikai divās no apskatītajām vides deklarācijām. Izmanto lielāko no divām vērtībām – 0,109 kg CO_2 ekvivalenta uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu *(GWP-total)*.

Atdalošā ģeotekstila transportēšanas attālums – 2000 km. Pieņemts, ka ģeotekstilu ved pilnās kravās, un pilnā kravā var iekraut 10 t. Degvielas patēriņš piegādes transportlīdzeklim – 30 l/100 km.

Aprēķinā tiek pieņemts, ka ģeotekstils tiks iebūvēts, izmantojot roku darbu.

Tabula 4-32. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam ar ģeosintētiku

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļai
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	10000	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
Ģeotekstila svars (kg/m²)	0,24	Pieņemta vērtība
Atdaloša ģeotekstila iebūve (m²)	1374	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	4,51	Materiāla vides deklarācija Nr. EPD-DUP-20220321-CBA1-EN
Iebūves CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,108	Materiāla vides deklarācija Nr. MD-21018-EN
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 4-33. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam ar ģeosintētiku

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Drenāžas ģeokompozīta iebūve	330	4,51	1487,218	0,1944	64,105	0,108	35,614	1587
							PAVISAM KOPĀ:	1587

4.6.2.5 Ietekmes novērtējums

Saskaņā ar veiktajiem aprēķiniem, risinājumam ar atdalošo grunts slāni CO_2 ekv. = 10 538 kg/100 m, bet risinājumam ar atdalošo ģeosintētiku CO_2 ekv. = 1587 kg/100 m.

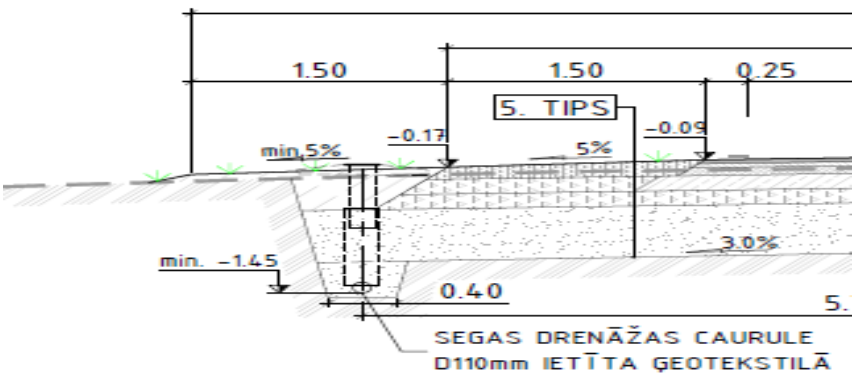
Salīdzinot aprēķinātās CO_2 ekvivalenta kg/100 m vērtības, var secināt, ka CO_2 ekvivalenta daudzums risinājumam ar ģeosintētiku ir par 6,64 reizēm mazāks, kas ir būtiski mazāk.

4.6.3 Otrais piemērs

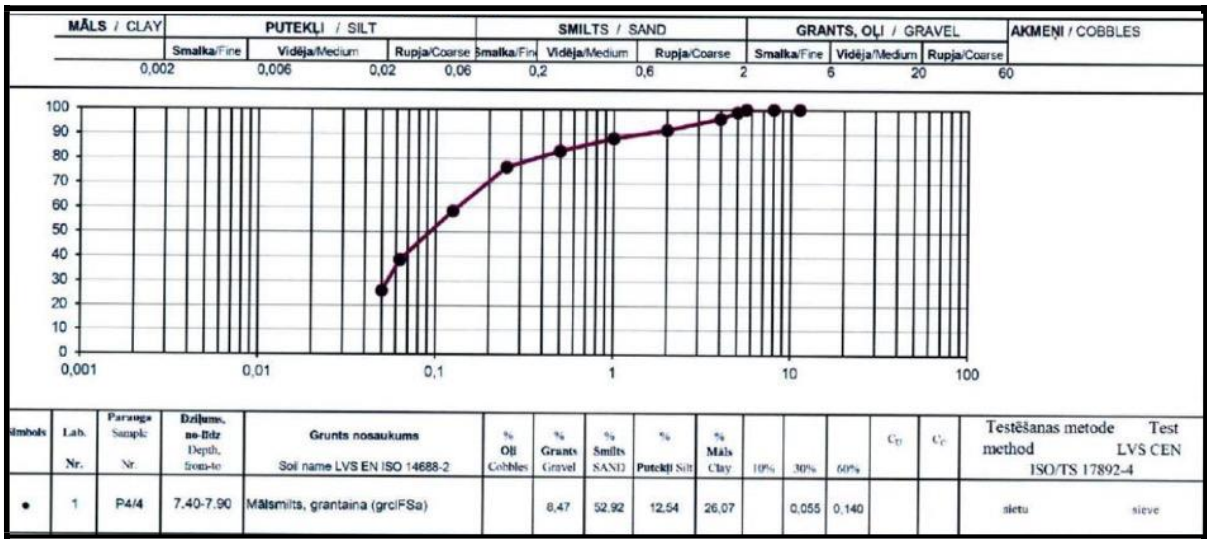
Šajā piemērā tiek aplūkota situācija, kad, veicot pilnu ceļa segas pārbūvi, ir jāizbūvē drenāžas sistēma. Ir iegūti dati par zemāk esošo, paliekošo grunts slāni. Jāizvēlas ģeotekstils ar atbilstošu noturības klasi.

4.6.3.1 Būvobjekta apraksts

Attēls 4-15. Projektētais drenāžas risinājums



Attēls 4-16. Esošās grunts granulometriskais sastāvs



Attēlā (Attēls 4-16) redzams, ka pamatnē atrodas grantaina mālsmilts, kuras smalksnes jeb putekļu daļiņu saturs masā ir 12,5 %. Lai noteiktu ģeotekstila nepieciešamos ekspluatācijas parametrus, filtrācijas nodrošināšanai jāizmanto projektēšanas soļi.

4.6.3.2 Risinājums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu

Risinājums bez ģeotekstila šajā lietojumā netiek skatīts, jo drenāžas sistēmai vienmēr tiek ieteikts lietot ģeotekstila filtru, izņemot gadījumus, kas aprakstīti 4.3.2. nodaļā Ģeotekstils filtrācijai.

1. solis: Noteikt COS_{max} un COS_{min} vērtības: redzams, ka esošajai gruntij d_{50} > 63 µm, līdz ar to, ģeotekstila raksturīgajam atvēruma izmēram ir jābūt 50 µm ≤ *COS* ≤ 150 µm.

2. solis: Pieņemt tranšejas aizpildījuma materiālu: aizpildījuma minerālmateriālu izvēlas ar *D* ≤ 16 mm (piemēram, 0/16 mm maisījums, kura filtrācijas koeficients ir vismaz ≥ 1,0 m/diennaktī).

3. solis: Noteikt ģeotekstila klasi: secinām, ka šajā gadījumā atbilstošākais ģeotekstils ir GTK1.

4. solis: Pārbaudīt ģeotekstila un grunts ūdenscaurlaidības attiecību:

- ∇ grunts filtrācijas koeficients ir ≥ 1,0 m/diennaktī, jeb 1,16 x 10^{-5} m/s;
- ∇ ģeotekstila ūdenscaurlaidība perpendikulāri plaknei pēc ģeotekstila specifikāciju tabulas (Tabula 4-21) ir ≥ 30 x 10^{-3} m/s;
- ∇ pārbaude pēc formulas [**4.102**.] 30 x 10^{-3} ≥ (10-100) 1,16 x 10^{-5}. Pārbaude izpildās.

5. solis: Sagatavot ģeotekstila GTK1 minimālās prasības (Tabula 4-34) pēc ģeotekstila specifikāciju tabulas (Tabula 4-23).

Tabula 4-34. GTK1 minimālo raksturlielumu vērtības

Ģeotekstila klase: GTK1			
Paredzētā izmantošana: filtrācija (F) saskaņā ar EN ISO 13249			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērv.**	**Neausta ģeotekstila nominālvērtības**
Stiepes stiprība (abos virzienos)	EN ISO 10319	kN/m	≥ 7
Pagarinājums pie maksimālās slodzes (abos virzienos)	EN ISO 10319	%	≥ 30
Dinamiskā caursišanas pretestība	EN ISO 13433	mm	≤ 30
Ūdenscaurlaidība perpendikulāri plaknei	EN ISO 11058	10^{-3} m/s (= l/m².s)	≥ 30
Raksturīga atvēruma izmērs	EN ISO 12956	µm	50–150
Biezums zem 2 kPa	EN ISO 9863-1	mm	≥ 30 x O_{90}
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	gadi	≥ 100
Bīstamās vielas	Mazāk nekā noteikts ES dalībvalstu noteikumos		

4.7 Lietošanas un labās prakses piemēri

Šajā apakšnodaļā aplūkoti trīs būvobjektu piemēri, kur būvprojekta risinājums paredzēja izmantot ģeotekstilu un ģeokompozītu, lai nodrošinātu konstruktīvo kārtu atdalīšanu, kā arī, lai nodrošinātu ūdens filtrācijas funkciju drenāžas sistēmu risinājumiem.

4.7.1 Būvobjekts - Noliktavu, Ražošanas, Biroju telpu komplekss "VGP PARK ĶEKAVA. 1. būvniecības kārta.

Būvdarbu izpildes periods – 2016. un 2017. gads. Būvdarbu realizācija – atbilstoši saskaņotajam būvprojektam un ar būvdarbu veicēja tehnisko risinājumu papildinājumiem un izmaiņām. Atbilstoši ģeotehniskās izpētes pārskatam, nestspējas mērījumiem un prognozētajai satiksmes intensitātei, tika veikta ceļa segas konstrukciju projektēšana atbilstoši paredzētajai funkcijai un noslogojumam. Tālāk tiks aplūkots Segas tips Nr. 3 – Teritorijas iekšējie ceļi – brauktuve, kur būvprojektā sākotnēji tika paredzēta šāda segas konstrukcija:

- betona bruģakmens – 10 cm;
- sīkšķembu 2/5 izlīdzinošais slānis – 4 cm;

- minerālmateriālu maisījums 0/56 – 20 cm;
- frakcionētas šķembas 40/70 – 30 cm;
- ģeorežģis;
- drenējošā kārta – 40 cm;
- ģeorežģis;
- ģeotekstils.

Ņemot vērā to, ka būves projektētājs atteicās no autoruzraudzības un būvprojektā bija nepieciešamas izmaiņas pieņemtajiem risinājumiem, lai tie būtu atbilstošāki un piemērotāki esošajai situācijai, būvdarbu veicējs veica saskaņotas izmaiņas segas tipam Nr. 3.

Izmainītā segas konstrukcija:

- betona bruģakmens – 10 cm;
- sīkšķembu 2/5 izlīdzinošais slānis – 4 cm;
- minerālmateriālu maisījums 0/56 – 20 cm;
- ģeorežģis;
- minerālmateriālu maisījums 0/63 – 30 cm;
- ģeorežģis;
- drenējošā kārta – 40 cm;
- ģeotekstils.

Kā redzams tad ģeotekstilu bija jāieklāj pēc uzbēruma izbūves, t.sk., planēšanas, profilēšanas un līdzināšanas darbiem. Ģeotekstila izmantošana tika akceptēta, jo darbu Pasūtītājs sākotnēji atteicās no jaunas drenāžas sistēmas iekļaušanas būvprojektā. Uzbēruma būvdarbiem vienīgā prasība izmantojamajam materiālam bija organisko piemaisījumu daudzums, kuram bija jābūt ≤ 2.0 % pēc masas. Savukārt, drenējošās kārtas materiālam bija jānodrošina filtrācijas koeficientu ≥ 2.0 m/d. Tāpēc šajā gadījumā, kad uzbērumā ir izmantota gan mālaina grunts, gan putekļaina grunts, kā arī importēts dažādu materiālu (pārsvarā atgūtu būvmateriālu) maisījums no Holandes, bet drenējošā kārta bija ar augstām kvalitātes prasībām, tika pieņemts lēmums par šo divu ceļa segas elementu atdalīšanu, lai būvdarbu laikā, kā arī ekspluatācijas laikā, nenotiktu difūzijas process starp slāņiem un drenējošā kārta maksimāli ilgi saglabātu savas ūdens filtrācijas īpašības. Jāpiemin, ka šādās situācijās drenējošo kārtu būtu nepieciešams ietīt

ģeotekstilā, lai to aizsargātu arī no pamata apakškārtas smalksnes daļas iekļūšanas drenējošajā kārtā.

Attēls 4-17. Izmantotā ģeotekstila NW 15 tehniskie parametri

Būtiskie raksturlielumi	Sniegums	Tolerance	0
Stiepes stiprība - GV/ŠV	15 kN/m	-2 kN/m	EN ISO 10319
Stiepes stiprība - ŠV	15 kN/m	-2 kN/m	EN ISO 10319
pagarinājums pie maksimālās slodzes - GV	50 %	+/-11,5 %	EN ISO 10319
pagarinājums pie maksimālās slodzes - ŠV	55 %	+/-12,7 %	EN ISO 10319
Statiskais caurdures tests (CBR tests)	2,5 kN	-0,5 kN	EN ISO 12236
Dinamiskais caursišanas tests (krītoša konusa tests)	20 mm	+5,0 mm	EN ISO 13433
Aizsardzības efektivitāte	n.p.d.	n.p.d.	EN 13719
piramīdas caurduršanas izturība	n.p.d.	n.p.d.	EN 14574
Ūdens caurlaidība perpendikulāri plaknei (VIh50)	90 l/m²s	-27 l/m²s	EN ISO 11058
Ūdens caurlaidība zem spiediena 20 kPa	3x10-7 m²/s	-9x10-8 m²/s	EN ISO 12958
Raksturīgais poru izmērs(O90)	90 µm	+/-27,0 µm	EN ISO 12956
Paredzamā minimālā izturība gados dabīgās gruntīs ar 4 < pH < 9 un augsnes temperatūrā < 25°C	≥ 25		EN ISO 13438 - A1
Maksimālais atļautais laiks starp uzstādīšanu un ģeotekstila nosegšanu	2 nedēļas		EN 12224

Attēls 4-18. Sagatavotā zemes klātne/uzbērums

Attēls 4-19. Ģeotekstila ieklāšana

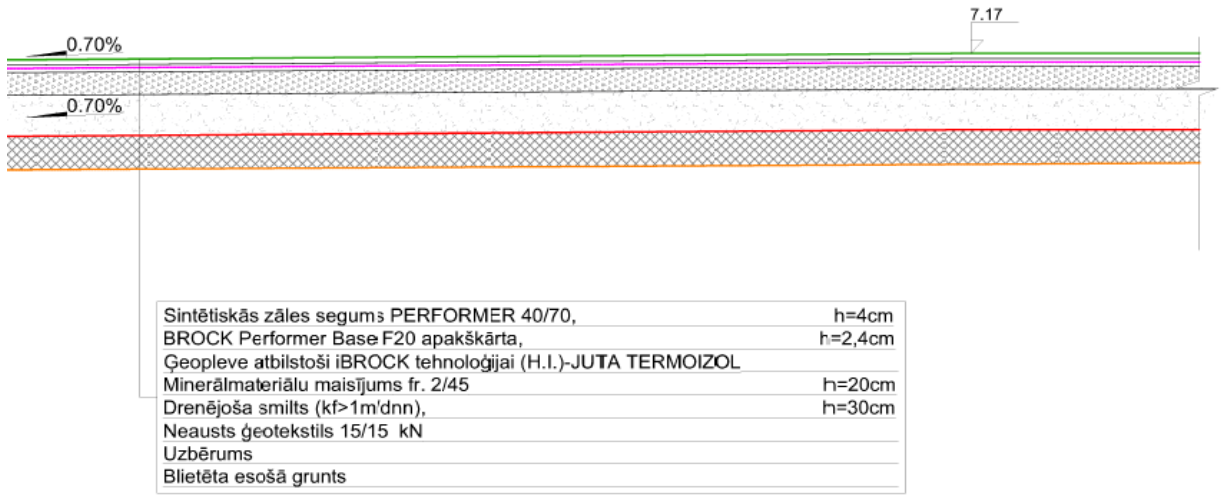
Attēls 4-20. Nosegšana ar drenējošu materiālu

Attēls 4-21. Drenējošā materiāla pievešana

4.7.2 Būvobjekts - Babītes vidusskolas sporta stadiona izbūve un labiekārtošana

Būvdarbu izpildes periods – 2023. un 2024. gads. Būvprojektā tika izstrādāts labiekārtojuma risinājums esošajam Babītes vidusskolas stadionam. Būvdarbu laikā īstenoja teritorijas labiekārtojums piecās zonās – divos multifunkcionālajos sporta laukumos, reprezentatīvajā laukuma zonā, saimniecības zonā un stadiona zonā. Būvprojekta risinājumi bija atbilstoši un piemērojami tieši stadionu specifikai, kur bija nepieciešams ātri novadīt lietus ūdeni, aizvadīt ūdeni no ceļa segas konstrukcijas, kas infiltrējas caur porasfalta kārtām, kā arī ar drenāžas sistēmas palīdzību ierobežot gruntsūdens līmeņa pacelšanos ceļa segas funkcionālajā daļā un izmainīt gruntsūdens depresijas līkni. Mākslīgā zāliena segas izbūve futbola laukumam.

Attēls 4-22. Būvprojekta ceļa segas konstrukcija stadiona laukumam. Rasējuma Nr. 3.5, BP TS-L Griezums 5-5



Kā redzams attēlā zemāk (Attēls 4-23), būvobjektā tika ieklāts un nostiprināts neaustais ģeotekstils, kura stiepes stiprība GV/ŠV ≥ 15/15 kN/m. Būvprojektā netika uzrādīti un prasīti citi tehniskie parametri, kurus būtu jāizpilda šim ģeotekstilam. Tā kā ģeotekstila ruļļu savstarpējais pārlaidums bija ~ 30 cm, tad būvobjektā tika veikti materiāla enkurošanas darbi. Lai izvairītos no enkurošanas darbiem, šādā situācijā ieteicams izmantot ģeotekstila pārklājumu ≥ 0,5 m.

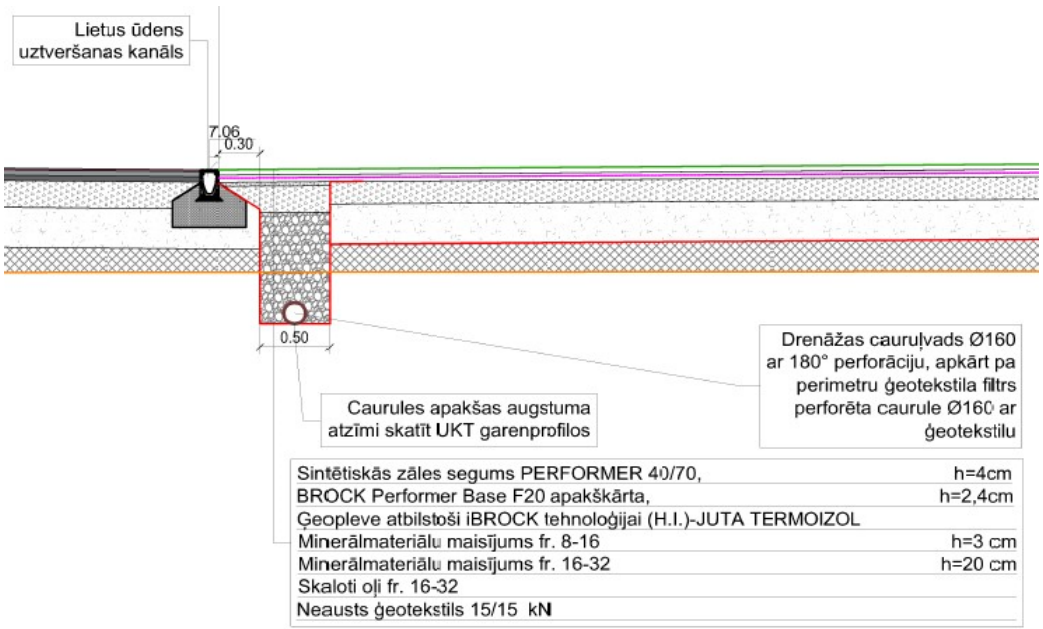
Attēls 4-23. Ģeotekstila ieklāšana un enkurošana

Attēls 4-24. Infiltrācijas kasešu aizsegšana ar neausto ģeotekstilu

Attēls 4-25. Infiltrācijas kasešu konstruktīvais risinājums

4	Infiltrācijas sistēmas Rigofill ST-B (HGV-60) ar kopējo tilpumu 10,55m3 (0,8x0,8x0,66) , t.sk. pievesta smilts 1 m apbēruma apkārt infiltrācijas sistēmai, izbūve un montāža (t.sk. gruntsūdens līmeņa pazemināšana, rakšanas darbi) atbilstoši ražotāja instrukcijai, piemēram, SIA Krabo vai ekvivalents	kpl.	1,0
	Rigofill ST-B bloks 800x800x660	gb	25,0
	Rigofill ST-B gala plāksne	gb	20,0
	Vienas kārtas savienotājs	gb	40,0
	Control ST-B1 skataka, PE lūka zaļajai zonai	gb	2,0
	Ģeotekstils	m^2	160,0

Attēls 4-26. Būvprojekta risinājums drenāžas sistēmai. Rasējuma Nr. 3.5, BP TS-L Griezums 5-5



Kā redzams attēlā (Attēls 4-26) rasējumā ir norādīts, ka drenāžas elementus ir jāietin neaustā ģeotekstilā, kura stiepes stiprība ir GV/ŠV ≥ 15/15 kN/m, taču būvprojekta UKT (ūdensapgāde un kanalizācija, ārējie tīkli) tehnisko specifikāciju būvmateriālu

specifikācijā tika noteikts, ka jāizmanto austs poliestera ģeotekstils. Līdz ar to būvdarbu veicējs šo prasību ievēroja. Austā ģeotekstila specifikācija ir norādīta zemāk redzamajā attēlā (Attēls 4-27).

Attēls 4-27. Drenāžas sistēmu austā ģeotekstila specifikācija

Drenāžas sistēma DT1			
1	Drenāžas caurule PEHD R2 tips SN4 ø110 ar uzmavu un blīvgredzenu, (perforēta 360°) un 100% austu poliestera dzijas zeķi vai ekvivalents , montāža ar 15cm skalotu sīkšķembu pamatnes ierīkošanu un izbūvētā cauruļvada skalotu sīkšķembu apbēruma ierīkošanu virs caurules virsas.	m	383,1
	Drenāžas caurule PEHD R2 tips SN4 ø110 ar uzmavu un blīvgredzenu, (perforēta 360°) un 100% austu poliestera dzijas zeķi	m	383,1
	Austs, poliestera ģeotekstils – Ūdens caurlaidība VIH50 pēc LVS EN ISO 13433 - ≥0.01|0m/s; raksturīgais atvēruma izmērs O90 pēc LVS EN ISO 12956 - ≥80µm Vienības svars q pēc LVS EN ISO 9864 - ≥200 g/m^2 Statiskais caurdures tests (CBR) pēc NE ISO 12236 - ≥7kN	m^2	957,8

Kā redzams austā ģeotekstila ūdens caurlaidības vērtība ir salīdzinoši maza un neatbilst ieteicamajai vērtībai (Tabula 4-21). Turpmāk ģeotekstilu ar šādu ūdens caurlaidības vērtību perpendikulāri plaknei ieteicams izmantot atdalīšanas funkcijai, bet filtrācijas funkcijai piemērot vērtību ≥ 0.03 m/s.

Attēls 4-28. Drenāžas sistēmu būvdarbi būvobjektā. DT 1 drenāžas izbūve no DT-9 līdz DT-7, kā arī atzari DT16 un DT17

4.7.3 Būvobjekts - Bērzes upes kreisā krasta labiekārtošana Pļavas ielā 3, Dobelē.

Būvdarbu izpildes periods – 2018. gads. Būvdarbu realizācija – atbilstoši saskaņotajam būvprojektam, kā arī būvdarbu veicēja tehnisko risinājumu papildinājumiem un izmaiņām. Būvdarbu izpilde šajā būvobjektā bija ar augstas sarežģītības pakāpi. Galvenokārt tāpēc, ka apkārt būvlaukumam atrodas dažādas ūdenstilpnes, līdz ar to

bija augsts gruntsūdens līmenis, kā arī ievērojamā dziļumā bija konstatējamas būvdarbu izpildei nelabvēlīgas gruntis. Lai arī tās laika gaitā bija konsolidējušās, šīm organiskajām gruntīm CBR koeficients bija ≤4.5 % un faktiskā nestspēja ≤15 MPa. Sastopamās gruntis bija ar augstu organisko savienojumu daudzumu, faktiski definējamas kā kūdra un dūņas. Tā kā šī teritorija nebija paredzēta satiksmes kustībai, izņemot apkalpojošos transporta līdzekļus – atkritumu vedēji, ceļu kopšanas tehnika, tad būvprojekta risinājums noslogotākajiem posmiem bija:

- ∇ esošās grunts izstrāde ierakumā;
- ∇ drenējošās kārtas būvniecība 30 cm biezumā;
- ∇ pamata nesošā kārta no 0-45 mm N-III stiprības klases minerālmateriālu maisījuma 20 cm biezumā;
- ∇ sīkšķembu izlīdzinošās kārtas būvniecība no 2-8 mm frakcionēta materiāla 5 cm biezumā;
- ∇ betona bruģakmens h=6 cm būvniecība.

Jau uzsākot būvdarbus bija skaidrs, ka projektētā ceļa konstrukcija nebūs ilgtspējīga, jo zemes klātnes dziļākajos slāņos esošās nepietiekamas nestspējas gruntis veidoja tiešu ietekmi uz jauno konstruktīvo kārtu nestspēju. Pēc ierakuma veikšanas būvdarbu veicējs nesasniedza 45 MPa deformācijas moduli zemes klātnei un 60 MPa drenējošajai kārtai. Tika sasniegti, attiecīgi, ~ 27 MPa un ~ 40 MPa. Būvobjekta sapulcēs tika nolemts, ka nepieciešamos risinājumus iesniegs būvdarbu veicējs.

Tā kā ierakumu līdz būvdarbu veikšanai labvēlīgām gruntīm veikt nebija iespējams – pārāk liels dziļums un pārāk augsts gruntsūdens līmenis, tika pieņemts lēmums par konstruktīvo kārtu biezuma palielināšanu un ģeosintētisko materiālu izmantošanu grunts atdalīšanai un konstruktīvo kārtu stiegrošanai. Būvuzņēmēja piedāvātā ceļa segas konstrukcija vājākajiem posmiem (faktiski perspektīvajā lietošanā tie bija noslogotākie posmi) bija šāda:

- ∇ esošās grunts izstrāde ierakumā vismaz 1 m dziļumā, atbilstoši esošajai situācijai;
- ∇ drenējošās kārtas ietīšana ģeokompozītā;
- ∇ drenējošā kārta no materiāla ar filtrāciju kf ≥1.0 m/dnn 80 - 100 cm biezumā;
- ∇ pamata apakškārta no 0-56 mm N-III stiprības klases minerālmateriālu maisījuma 20 cm biezumā;
- ∇ ģeorežģa ieklāšana starp pamata kārtām;

- pamata virskārta no 0-45 mm N-III stiprības klases minerālmateriālu maisījuma 20 cm biezumā;
- sīkšķembu izlīdzinošās kārtas būvniecība no 2-8 mm frakcionēta materiāla 5 cm biezumā;
- betona bruģakmens h=6 cm būvniecība.

Attēls 4-29. Skats uz būvlaukumu

Attēls 4-30. Esošā grunts būvobjektā

Attēls 4-31. Drenējošās kārtas ietīšana ģeokompozītā

Attēls 4-32. 0-56 mm minerālmateriāla pamata apakškārtas ieklāšana uz ģeokompozīta

2023. gadā būvobjektam ir beidzies būvdarbu garantijas termiņš un apsekošanas laikā defekti nebija novērojami.

5 Zemes klātnes nogāžu iekšējās noturības nodrošināšana

Nogāžu noturības nodrošināšana ir svarīgs posms jebkura ceļu būvniecības vai atjaunošanas projekta izstrādē. [124] Šobrīd pieejamie ģeosintētiskie materiāli dod iespēju veidot konstrukcijas, kas ir ne tikai ekonomiski pamatotas, bet nodrošina arī lielāku stiprību un noturību pret vides ietekmi visā ekspluatācijas periodā. Kā vienu no lielākajiem izaicinājumiem, lietojot ģeosintētiskos materiālus, jāmin to plašais piedāvājums un dažādās īpašības, kas bieži rada sarežģījumus gan projektēšanas, gan būvniecības laikā, jo tās nav viennozīmīgi specificējamas.

Attēlā turpmāk attēlota grunts nogāzes aktīvā zona, kura ir nestabila, un pasīvā zona, kura ir stabila. Grunts stiegrošanas konstrukcijas funkcija ir nodrošināt aktīvās zonas stabilitāti, efektīvi to noenkurojot pasīvajā zonā ar noteikta garuma horizontāliem elementiem a-d (Attēls 5-1). [68]

Attēls 5-1. Stiegrotās nogāzes piemērs [68]

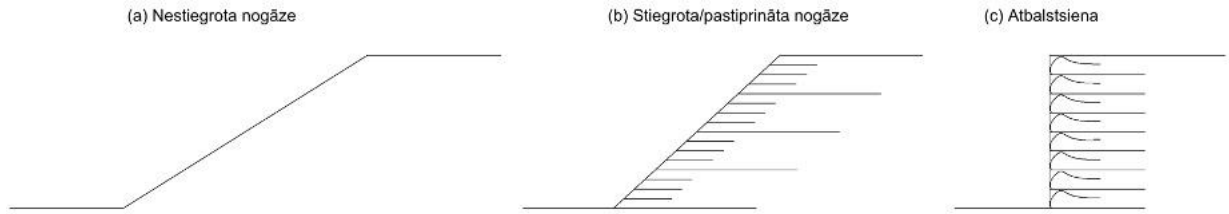
Kad horizontālo stiegrojumu garums a-c atrodas līdz ar aktīvās zonas robežu, tas tikai daļēji nodrošina nepieciešamo aktīvās zonas stabilitāti. Aktīvajai zonai ir bezgalīgs skaits iespējamo sabrukšanas virsmu. Lielākā daļa parasti atrodas tuvu virsmai, kas ir iezīmēta ar pārtraukto līniju (Attēls 5-1), kur stiegrojuma garums ir a-b. Šāds garums būtu nepietiekams, lai ierobežotu nogāzes augšējā slāņa noslīdēšanu, tādēļ kopā ar nogāzes stiegrojumu izmanto fasādes elementus [68], piemēram, sintētiskus preterozijas matračus. Aprakstu par preterozijas materiāliem skatīt 1. nodaļā.

5.1 Projektēšanas principi

Konstruktīvā risinājuma izvēle gadījumos, kad nepieciešams projekta risinājums situācijām, kur konstrukcijām jāšķērso reljefs ar mainīgu augstumu, pastāv trīs ģeosintētisko materiālu lietošanas varianti. [125]

Pirmais variants ir veidot nestiegrotu nogāzi (Attēls 5-2 a)), kas, lai nodrošinātu atbilstošu stabilitāti, saistīts ar salīdzinoši lielu teritoriju izmantošanu. Šādu nogāžu stabilitāti iespējams novērtēt, lietojot stabilitātes grafikus [125] vai veicot aprēķinu.

Attēls 5-2. Trīs nogāžu nostiprināšanas varianti a), b) un c) [125]



Otrs variants ir veidot stiegrotu nogāzi (Attēls 5-2 b)), kas dod iespēju palielināt nogāzes slīpumu un samazināt nepieciešamo konstrukcijas platību. Šādai konstrukcijai nepieciešams veikt aprēķinu.

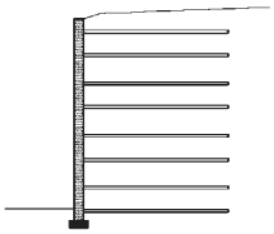
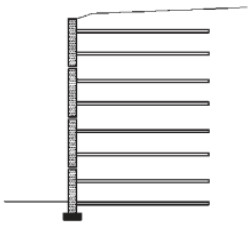
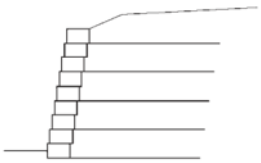
Trešais variants ir dažāda veida ģeosintētisko materiālu konstrukcijas, kuru slīpums var sasniegt leņķi līdz pat 90°, tādējādi samazinot būvniecībai nepieciešamo platību, kas ir svarīgi gadījumos, ja nav pieejamas papildu platības (Attēls 5-2 c)). Šo konstrukciju būvēšana ir dārgāka par nestiegrotām un stiegrotām nogāzēm, bet lielākoties lētāka nekā dzelzsbetona vai mūra atbalstsienu būvēšana. [125]

Ar ģeosintētiskajiem materiāliem nostiprinātās nogāzes atbilstoši to deformējamībai iespējams iedalīt sekojošās apakšgrupās): [126]

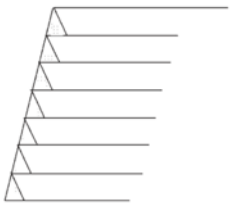
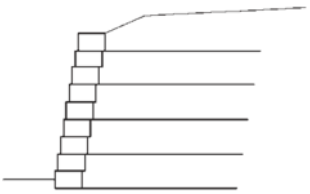
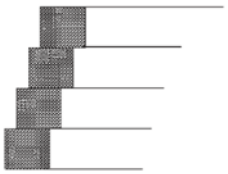
- nedeformējami fasādes elementi (Attēls 5-3);
- daļēji deformējami fasādes elementi (Attēls 5-4);
- deformējami fasādes elementi (Attēls 5-5).

Nedeformējamu fasāžu elementu grupas risinājumu tipi visbiežāk ir veidoti no iepriekš izgatavotiem betona/dzelzsbetona blokiem ar zemu vertikālo spiedes stiprību un augstu izlieces stiprību. Daļēji deformējamu fasāžu elementu grupas tipiem raksturīga uzbūve no metāla stieples sieta vai blokiem ar augstu vertikālo spiedes stiprību un zemu lieces stiprību. Deformējamu fasāžu elementi ir veidoti no ģeotekstila vai ģeorežģa. [126]

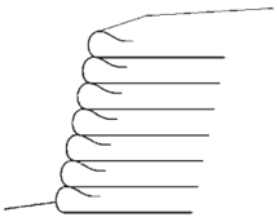
Attēls 5-3. Nedeformējami fasādes elementi [126]

Risinājuma tips	Nostiprinājuma apraksts
 Pilna augstuma fasādes elementi	Fasādes paneļi tiek iepriekš izgatavoti un nosedz visu nogāzes norobežojuma augstumu.
 Daļēja augstuma fasādes elementi	Fasādes paneļi tiek iepriekš izgatavoti un ir ap 1–2 m augsti un 0,1–0,2 m biezi.
 Bloki	Fasādes bloki, kas veidoti no iepriekš izgatavotiem betona vai noķīlētiem akmens elementi.

Attēls 5-4. Daļēji deformējami fasādes elementi [126]

Risinājuma tips	Nostiprinājuma apraksts
 Metināta metāla stieples vijums vai režģis	Fasādes elementi veidoti no metāla stieples vijuma vai metināta režģa, kas veidots ar noteiktu slīpumu.
 Dažāda veida bloki	Fasādes bloki, kas veidoti no iepriekš izgatavotiem betona elementiem (var būt modulāri segmenti) vai savienojamiem noķīlētiem akmens elementiem, kas pieļauj nelielu deformāciju.
 Gabioni	Gabionus parasti izgatavo no cinkotas stieples sieta, kas piepildīts ar šķeltiem akmeņiem. Visbiežāk sastopamie gabionu izmēri ir 0,5–1 m augsti, 2–3 m gari un 0,5–1 m plati.

Attēls 5-5. Deformējami fasādes elementi [126]

Risinājuma tips	Nostiprinājuma apraksts
 Aizlocīta ģeotekstila siena	Aizlocīta ģeotekstila siena tiek veidota, pa slāņiem ieklājot ģeotekstilu, kas tiek aizlocīts zem nākamās kārtas.

5.1.1 Priekšrocības un trūkumi

Aplūkojot dažādus literatūras avotus apkopotas priekšrocības un trūkumi (Tabula 5-1). [8], [10] Ņemt vērā, ka šīs priekšrocības un trūkumi ir uzskaitīti vispārīgai visbiežāk sastopamai situācijai. Sarežģītu grunts apstākļu gadījumā iespējamie ieguvumi un trūkumi ir jāizvērtē atsevišķi, balstoties uz aprēķinu.

Tabula 5-1. Priekšrocības un trūkumi

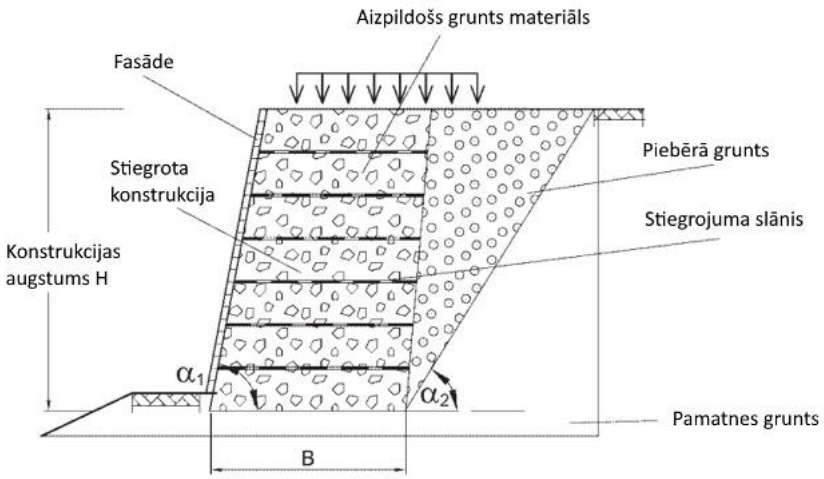
Priekšrocības	Trūkumi
Konstrukcijas ir elastīgākas un pieļauj nelielas deformācijas bez lieliem konstruktīviem defektiem salīdzinot ar betona/dzelzsbetona atbalstsienām.	Būvniecības iekārtas var radīt bojājumus ģeosintētiskajiem materiāliem būvniecības laikā
Ja uzbūvēti atbilstoši projekta prasībām, nogāžu nostiprinājumi ir stabili, pat ja drošības koeficients tuvojas vai pārsniedz 1.	Daļa ģeosintētisko materiālu var tikt bojāti vides ietekmes rezultātā, piemēram, UV saules staru ietekmē
Nogāžu nostiprinājums ir būvējams tieši uz grunts pamatnes, nav nepieciešams papildus iedziļinājums pamata gruntī, lai nodrošinātu stabilitāti	Ģeosintētiskajos materiālos iespējami šļūdes bojājumi ilgstošas slodzes ietekmē
Gruntī iestrādātā armatūra, ja tai ir pietiekama saķere, uzņem bīdes spriegumus tādējāti ievērojami samazinot grunts spiediena ietekmi uz nogāzes fasādēm.	Veiksmīgam lietojumam nepieciešama izpratne par ģeosintētisko materiālu īpašībām un to aprēķinu principiem
Ģeosintētisko nogāžu nostiprinājumus iespējams būvēt lietojot tipisku būvniecības tehniku.	
Ģeosintētisko materiālu nogāžu konstrukcijas parasti ir lētākas par tāda paša augstuma betona/dzelzsbetona atbalstsienām	
Ģeosintētisko materiālu nogāžu nostiprinājumi aizņem mazāku teritoriju/vietu, nekā nearmēta grunts nogāze	
Ģeosintētiskos materiālus ir viegli transportēt uz būvniecības vietu	
Ģeosintētiskie materiāli ir viegli pieejami ar	

Priekšrocības	Trūkumi
plašu izvēli	
Lielākā daļa ģeosintētisko materiālu nodrošina ūdens filtrāciju	
Ģeosintētiskos materiālus izgatavo rūpnieciski ievērojot kvalitātes kontroli	
Ģeosintētisko nogāžu nostiprinājumus iespējams uzbūvēt ātrāk kā betona/dzelzsbetona atbalstsienu konstrukciju	

5.1.2 Galvenās aprēķinu metodes, elementu nosaukumi, robežstāvokļi un slodzes

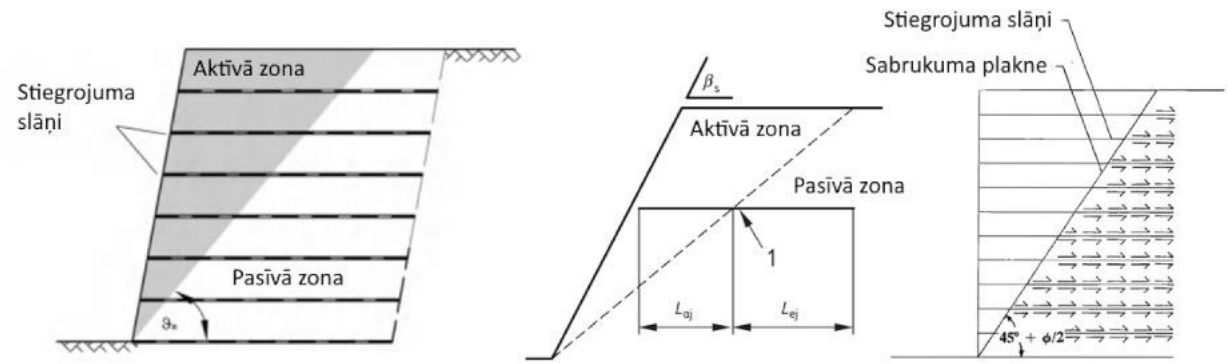
Lai veidotu nogāžu nostiprinājuma aprēķinu, nepieciešams definēt tā elementu nosaukumus (Attēls 5-6). Sniegtais attēls raksturo vispārīgo gadījumu, veidojot sarežģītāka veida nogāzes nostiprinājumus. To ģeometrija un izvietojums var atšķirties. [126]

Attēls 5-6. Nogāžu nostiprinājumu galvenie elementi [126]



Izskatot vairākus literatūras avotus, kas balstīti uz Vācijas (DIN) standartu [126], Anglijas (BS) standartu [127] un Amerikas (ASTM) standartu [125], nosakot kritisko šķēlumu, redzama līdzīga pieeja konstrukcijas stabilitātes izvērtēšanai (Attēls 5-7).

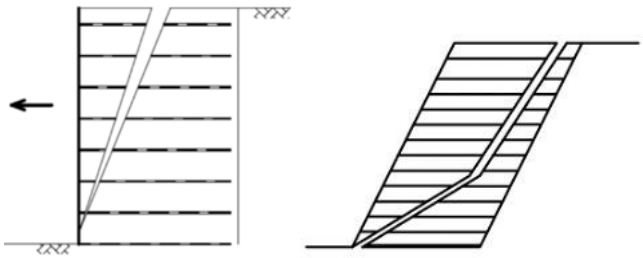
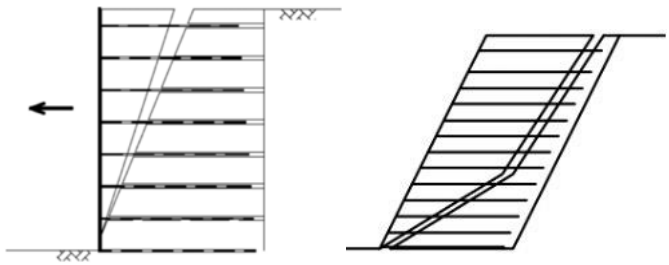
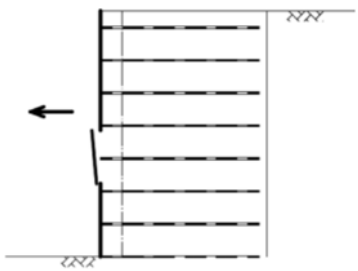
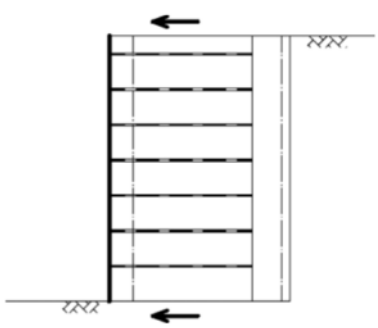
Attēls 5-7. Kritiskā šķēluma un aktīvās/pasīvās zonas novietojums – a), b) un c) [126] [127] [125]

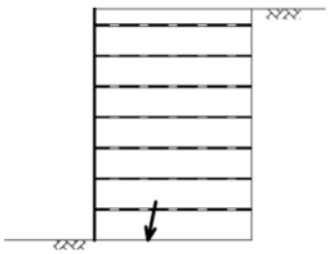
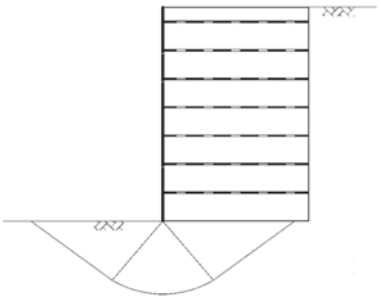
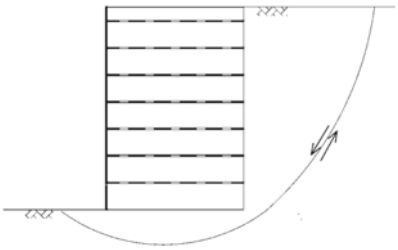
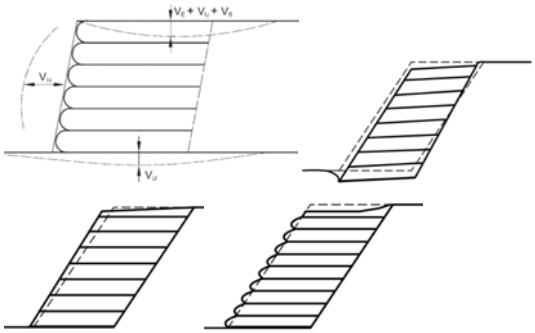


Konstrukcijas sabrukums notiek, kad kritiskā šķēluma plaknē starp aktīvo un pasīvo zonu tiek pārsniegta grunts bīdes stiprība vai grunts un ģeosintētiskā materiāla sasaiste, vai stiegrojošā elementa stiprība. Aktīvā zona raksturo spēka komponenti, ko nepieciešams nodrošināt, bet pasīvā zona raksturo konstrukcijas daļu, kas lielākoties netiek deformēta un nodrošina komponentes noturošo spēku. [126]

Papildus kritiskā šķēluma noteikšanai pastāv un ir jāpārbauda vairāki kritiski sabrukuma modeļi (robežstāvokļi), kas definēti līdzīgi gan Vācijas, gan Anglijas standartos (Attēls 5-8).

Attēls 5-8. Kritiskie sabrukuma modeļi (robežstāvokļi) [126] [127]

	ULS – Stiegrojuma atteice vai sabrukums
	ULS – Stiegrojuma enkurojuma izraušana
	ULS – Fasādes elementu un stiegrojuma savienojuma sabrukums
	ULS – Konstrukcijas noslīdēšana

	ULS – Pārsniegta pieļaujamā ekscentritāte
	ULS – Grunts nestspēja
	ULS – Nogāzes stabilitāte
	SLS – Pieļaujamās deformācijas

Veidojot pirmos aprēķina modeļus, pastāv vispārpieņemtas ģeometrisko parametru rekomendējamās vērtības, kuras piedāvā pieņemt stiegrojuma garumu 70 % no konstrukcijas augstuma H un 0,3 m līdz 0,6 m attālumus starp stiegrojuma slāņiem. [126]

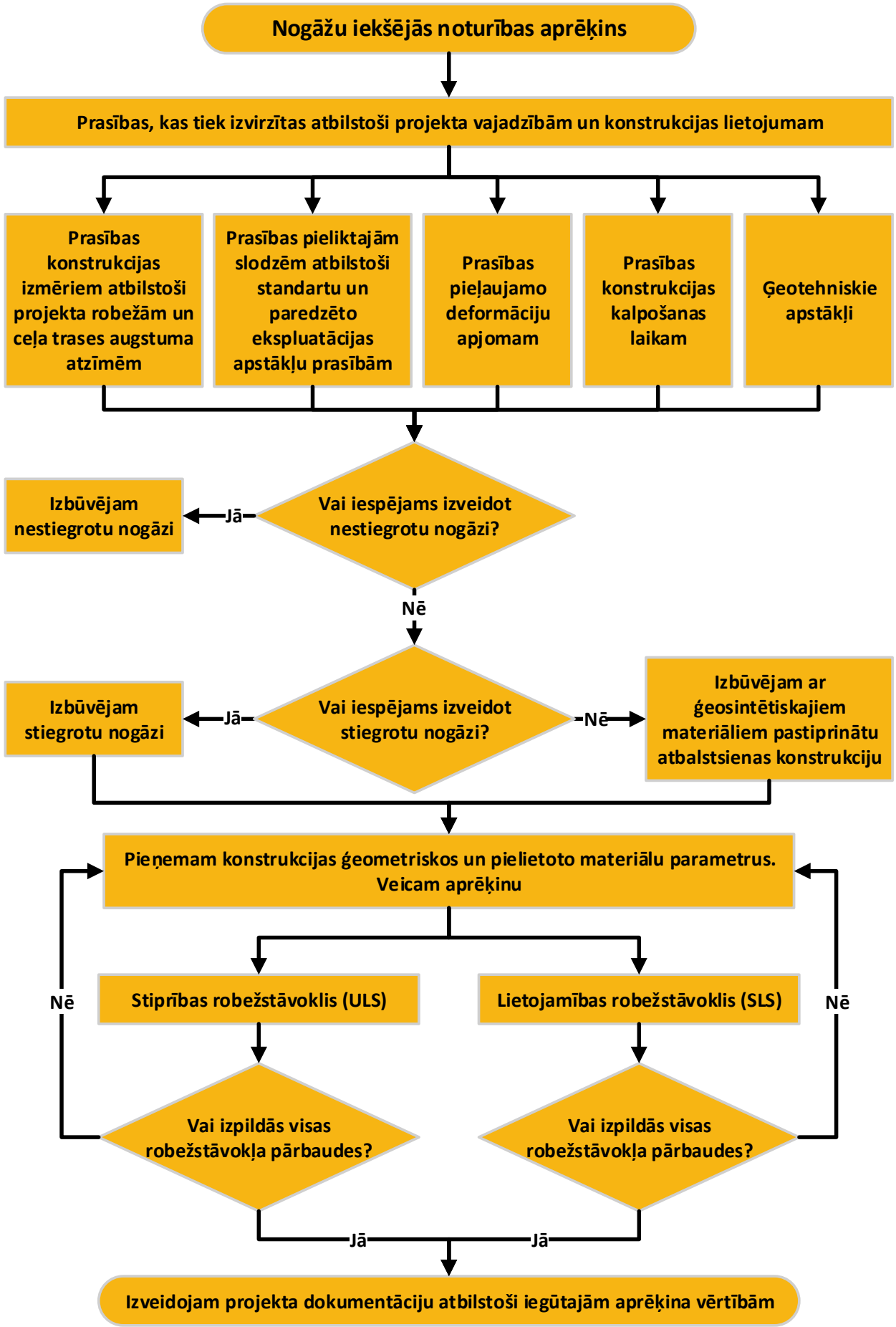
Izvērtējot projekta risinājumu, ieteicams aplūkot sekojošus faktorus, kas ietekmē konstrukcijas tipu, ģeometriskos parametrus un materiāla īpašību izvēli: [126]

- ∇ grunts apstākļi zem un aiz nogāzes nostiprinājuma konstrukcijas;
- ∇ gruntsūdens līmeņa un cita veida ūdens ietekme;
- ∇ esošais nogāzes slīpums;
- ∇ nogāzes nostiprinājuma augstums un slīpums;
- ∇ prasības fasādes elementiem;

- ∇ paredzamais kalpošanas laiks;
- ∇ paredzētās slodzes;
- ∇ pieļaujamās deformācijas;
- ∇ paredzēto materiālu īpašības.

Nogāžu iekšējās noturības aprēķina gaita redzama blokshēmā turpmāk.

Attēls 5-9. Nogāžu iekšējās noturības aprēķina gaita.



Veicot aprēķinu, nepieciešams pārbaudīt sekojošus robežstāvokļus, lai pārliecinātos par konstrukcijas spēju uzņemt pielikto slodzi.

Tabula 5-2. Apkopoti kritiskie sabrukuma modeļi (robežstāvokļi), kas jāveic aprēķina laikā [126] [127]

Robežstāvoklis	Robežstāvoklis	Rob. st.	Nodaļa
Ultimate limit state	**Stiprības robežstāvoklis**	**ULS**	
General failure/slope failure	Nogāzes stabilitātes atteice	GEO	2.4.4.
Bearing capacity failure	Grunts nestspēja atteice	STR	
Sliding	Konstrukcijas noslīdēšana	STR	
Position of bearing pressure resultant	Rezultējošā spēka novietojums no grunts nestspējas	EQU	
Failure on slip planes penetrating the retaining structure	Konstrukcijas stabilitāte gadījumā, kad noslīdēšanas virsma krusto konstrukcijas daļu	GEO	
Design strength of reinforcement	Stiegrojuma atteice vai sabrukums	STR	
Pull-out resistance of reinforcement	Stiegrojuma enkurojuma izraušana	GEO	
Analysis of connections	Savienojumu stiprības pārbaude	STR	
Analysis of reinforcement overlapping/joining (reinforcement junctions)	Stiegrojuma pārklāšanās/enkurojuma pārbaudes	STR	
Service ability limit state	**Lietojamības robežstāvoklis**	SLS	
Position of bearing pressure resultant	Grunts nestspējas rezultējošā pozīcija	SLS	
Deformation of the structure	Konstrukcijas deformācija	SLS	
Settlement in the contact zone	Konstrukcijas sēšanās	SLS	

5.1.3 Nozīmīgāko parametru noteikšana atbilstoši BS 8006-1 prasībām

Aplūkojot BS 8006-1 tika apkopotas sakarības aprēķina parametru noteikšanai.

Attēlā zemāk parādīta grunts nogāzes aktīvā zona, kas ir nestabila un pasīvā zona – stabila. Grunts stiegrošanas konstrukcijas funkcija būtu nodrošināt aktīvās zonas stabilitāti, efektīvi to noenkurojot pasīvajā zonā ar noteikta garuma horizontāliem elementiem a-d (Attēls 5-10). [128]

Attēls 5-10. Stiegrotās nogāzes piemērs [128]

Kad horizontālo stiegrojumu garums ac atrodas līdz ar aktīvās zonas robežu, tas tikai daļēji nodrošina nepieciešamo aktīvās zonas stabilitāti. Aktīvajai zonai ir bezgalīgs skaits iespējamo sabrukšanas virsmu. Lielākā daļa parasti atrodas tuvu virsmai, kas ir iezīmēta ar pārtraukto līniju (Attēls 5-10), kur stiegrojuma garums ir a-b. Šāds garums būtu nepietiekams, lai ierobežotu nogāzes augšējā slāņa noslīdēšanu, tādēļ kopā ar nogāzes stiegrojumu izmanto fasādes elementus [128], piemēram, sintētiskus preterozijas matračus. Aprakstu par preterozijas materiāliem skatīt nodaļā 1.3.5 Preterozijas ģeosintētiskie materiāli.

Redukcijas koeficienti polimēru stiegrošanas izstrādājumiem saskaņā ar BS 8006-1:

- ieklāšanas bojājumi;
- laikapstākļi, tostarp ultravioletais starojums;
- ķīmiskā vai vides ietekme;
- šļūdes koeficients;
- datu ekstrapolācijas drošības koeficients.

Ilgtermiņa stiepes stiprību T_D aprēķina pēc formulas:

$$T_D = T_{CR}/f_m\,, \qquad [5.104.]$$

kur:

$$T_{CR} = T_{char}/RF_{CR}\,, \qquad [5.105.]$$

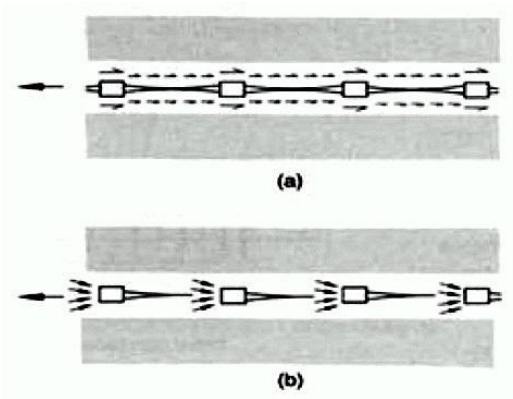
$$f_m = RF_{ID} \times RF_W \times RF_{CH} \times f_S \qquad [5.106.]$$

kur:
T_D *– ilgtermiņa stiepes stiprība;*
T_{CR} *– šļūdes redukcijas koeficients;*
f_m *– drošības koeficients;*
T_{char} *– īstermiņa stiepes stiprība;*
RF_{ID} *– ieklāšanas bojājumu redukcijas koeficients;*
RF_W *– laikapstākļu un ultravioletā starojuma redukcijas koeficients;*
RF_{CH} *– ķīmiskās vai vides ietekmes redukcijas koeficients;*
f_S *– datu ekstrapolācijas koeficients.*

Stiegrojot grunti konstrukcijās ar ilgtermiņa slodzēm, starp grunti un ģeorežģa kontaktvirsmu ir iespējami divi pārvietojumi:

- ∇ tiešā slīdēšana (angļu val. – *direct sliding*) – grunts bloka slīdēšana pa ģeosintētiskā materiāla virsmu (Attēls 5-11 a));
- ∇ ģeosintētiskā materiāla izraušana no grunts uzbēruma (angļu val. – *pull-out*) (Attēls 5-11 b)0). [68]

Attēls 5-11. Grunts un ģeorežģa pārvietojumu mehānisms [68]



Pirmajā gadījumā bīdes spēks pārsniedz stiegrotās grunts konstrukcijas un ģeorežģa kontaktvirsmas berzes pretestību, bet otrajā gadījumā sabrukšana notiek no ģeorežģa izraušanas (vai pārraušanas). [68]

Grunts un ģeosintētiskā materiāla kontaktvirsmas berzes pretestību tiešās slīdēšanas un izraušanas gadījumos var aprēķināt pēc formulām: [68]

$$T_{geo} = WL\sigma'_n f tan\varphi \; ; \qquad [5.107.]$$

$$T_{geo} = 2WL\sigma'_n f tan\varphi \qquad [5.108.]$$

kur
T_{geo} *– grunts un ģeosintētiskā materiāla kontaktvirsmas berzes pretestība;*
f *– grunts un ģeosintētiskā materiāla kontaktvirsmas koeficients, 0 < f< 1;*
φ *– grunts berzes leņķis;*
σ'_n *– kontaktvirsmas normālspriegums;*
W *– ģeorežģa platums;*
L *– ģeorežģa garums.*

Tiešās slīdēšanas gadījumā stiepes spēks, kas darbojas uz ģeorežģu ribām, netiek ņemts vērā, jo tā lielums ir nebūtisks. Ģeorežģa grunts un stiegrojuma kopējo berzes pretestību aprēķina pēc formulas: [68]

$$T = T_s + T_{s-s} \; ; \qquad [5.109.]$$

kur:
T *– grunts un stiegrojuma kopējā berzes pretestība;*
T_s *– ģeorežģa un grunts berze;*
$T_{s\text{-}s}$ *– grunts–grunts berze.*

$$T_s = a_s W L \sigma'_n tan\delta ; \quad [5.110.]$$

$$T_{s-s} = (1 - a_s) W L \sigma'_n tan\varphi ; \quad [5.111.]$$

kur:
a_s *– ģeorežģa ribu laukums;*
δ *– grunts berzes leņķis pret ģeorežģi.*

Izmantojot formulu, tiek noteikts grunts un stiegrojuma kontaktvirsmas koeficients f_{sd} tiešās slīdēšanas gadījumā: [68]

$$f = f_{sd} = a_s \frac{tan\delta}{tan\varphi} + (1 - a_s) ; \quad [5.112.]$$

Ģeorežģa izraušanas gadījumā grunts–grunts berze ir tuvu nullei. Kopējo berzes pretestību *(T)* veido ģeorežģa abu pušu kontaktvirsmas berze *(T_s)* un stiepes spēks *(T_p)*. [68]

$$T = 2T_s + T_p ; \quad [5.113.]$$

T_s – nosaka pēc formulas [**5.110**.]

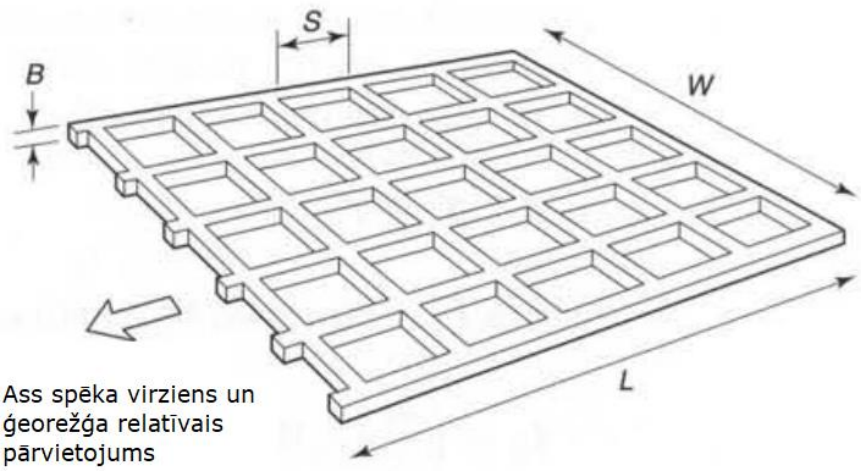
$$T_p = \frac{L}{s} a_b W B \sigma'_p ; \quad [5.114.]$$

kur:
S *– attālums starp ģeorežģa ribām;*
B *– ģeorežģa ribu biezums;*
a_b *– daļa no ģeorežģa platuma, kas darbojas kā atbalsta laukums;*
σ'_p *– efektīvais spriegums ģeorežģa ribās.*

Izmantojot formulu, tiek noteikts grunts un stiegrojuma kontaktvirsmas koeficients f_b ģeorežģa izraušanas gadījumā: [68]

$$f = f_b = a_s \frac{tan\delta}{tan\varphi} + \frac{\sigma'_p}{\sigma'_n} \times \frac{a_b B}{S} \times \frac{1}{2tan\varphi} ; \quad [5.115.]$$

Attēls 5-12. Stiegrojuma izmēru apzīmējums



Ja =1 un =0, tad formulu [5.115.] var izteikt kā:

$$f = f_{ds} = f_b = \frac{tan\delta}{tan\varphi}; \quad [5.116.]$$

Saskaņā ar formulu [5.116.] grunts un ģeosintētiskā materiāla kontaktvirsmas koeficients būs vienāds gan tiešās slīdēšanas, gan izraušanas gadījumos, kad berze pastāv tikai starp ģeosintētiskā materiāla virsmu un grunti. Nosacījums parasti izpildās, ja ģerežģa vietā tiek izmantots ģeotekstils. [68]

Projektēšanas nolūkos spriegumu attiecību noteikšanai nesaistītās gruntīs ieteicams izmantot šādu formulu: [68]

$$\frac{\sigma'_p}{\sigma'_n} = tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) e^{[(\frac{\pi}{2})+\varphi]tan\varphi}; \quad [5.117.]$$

Grunts daļiņu un ģerežģa atvērumu izmēru attiecība ietekmē tiešās slīdēšanas koeficientu stiegrotās grunts konstrukcijās. Saskaņā ar pētījumu [129] koeficients palielinās līdz ar graudu izmēru; tā maksimālā vērtība tiek sasniegta tad, kad graudu izmērs ir vienāds ar ģerežģa atveres izmēru, tāpēc ieteicams izmantot šādu attiecību: [68]

$$\frac{Ģerežģa\ atvēruma\ izmērs}{Vidējais\ grauda\ izmērs} \geq 3; \quad [5.118.]$$

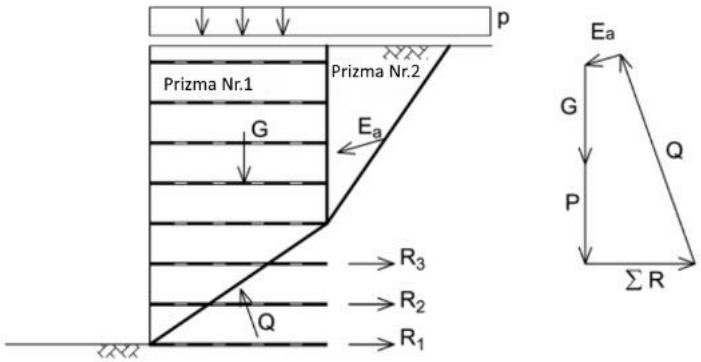
5.1.3.1 Nozīmīgāko parametru noteikšana atbilstoši DIN 1054, 4085 un 4084 prasībām

Ja stiegrojuma atteice notiek uz slīdplaknes caur stiegrotas grunts masīvu vai šķērso/pieskaras stiegrojumam, slīdošā grunts konstrukcijai (Prizma 1 – Attēls 5-13) jānotur līdzsvars, kas tiek panākts ar šķērsspēkiem slīdplaknes zonā vai spēkiem no enkurojuma pasīvajā zonā. Grunts daļa, kas kopā ar konstrukciju atrodas slīdplaknes aktīvajā daļā (Prizma 2 – Attēls 5-13), rada grunts spiedienu, bet tā pielikšanas slīpums tiek pieņemts atbilstoši leņķim δ_a=2/3* φ, bet kopspēks E_a tiek noteikts atbilstoši.

Sekojošais robežstāvoklis ir jānodrošina visiem sabrukuma mehānismiem, veicot stiprības robežstāvokļa novērtējumu (ULS). [126]

$E_d \leq \Sigma R_d$

Attēls 5-13. Slodžu sadalījums tipiskā pastiprinātā atbalstsienas konstrukcijā [126]



R_d – visu noturošo spēku summa no šķērsoto stiegrojuma slāņu daļām, kas ietver vai nu:

- ∇ *izraušanas spēku stiprību $R_d = R_{Ai,d}$ (GEO),*

vai

- ∇ *materiāla stiegrojuošo materiālu stiprību $R_d = R_{Bi,d}$ (STR).*

5.1.3.2 Slodzes un piepūles

Atbalstsienas, kas veidotas no ģeosintētiskajiem materiāliem, ietekmē to pašsvars un pieliktās horizontālās un/vai vertikālās slodzes. Piepūles uz elementiem stiepē tiek noteiktas atbilstoši DIN 1054, 12.4.2. punktam. Spēku līdzsvara stāvoklis tiek noteikts atbilstoši sabrukuma mehāniskiem lineāru vai līkņveidīgu slīdplakņu pārbaužu rezultātā.

5.1.3.3 Stiprība

No stiprības viedokļa var tikt aplūkots stiegrojuma sabrukums vai izraušanas spēki stiegrojuma enkurojuma zonā. Aprēķina stiprība ir stiegrojuma stiepes stiprības vērtība noteikta stiegrojuma slānī $R_{Bi,d}$. Aprēķina izraušanas spēki stiegrojuma enkurojuma zonā $R_{Ai,d}$ tiek noteikti kā mijiedarbība starp stiegrojumu un izmantoto grunti.

5.1.3.4 Nogāžu stabilitātes pārbaude (GEO)

Lai nodrošinātu drošumu, veicot nogāzes stabilitātes pārbaudi, nepieciešams lietot GEO robežstāvoklim atbilstošos drošības koeficientus un neizdevīgākās situācijas atbilstoši DIN 4084 un DIN 1054.

$$\boldsymbol{E_d \leq R_d} \qquad [5.119.]$$

E_d – pieliktā spēka aprēķina vērtība paralēli slīdplaknei vai pieliktā spēka momenta vērtība ap riņķveida slīdplaknes centru;

R_d – noturošā spēka aprēķina vērtība paralēli slīdplaknei vai noturošā spēka momenta vērtība ap riņķveida slīdplaknes centru.

5.1.3.5 Grunts nestspējas pārbaude (STR)

Veicot konstrukcijas grunts nestspējas pārbaudi, tiek ņemtas vērā visas pieliktās slodzes, lietojot DIN 1054 atbilstošos drošības koeficientus.

$$N_d \leq R_{n,d} \quad [5.120.]$$

N_d – pieliktā spēka aprēķina vērtība pamata pēdas līmenī;
$R_{n,d}$ – grunts nestspējas aprēķina vērtība pamata pēdas līmenī.

5.1.3.6 Konstrukcijas noslīdēšana (STR)

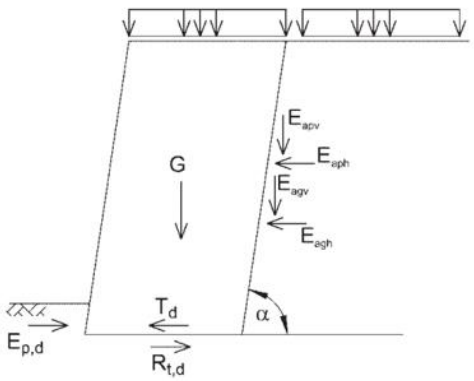
Konstrukcijas noslīdēšanas pārbaude tiek veikta, lietojot visas pieliktās slodzes, piemērojot atbilstošus drošības koeficientus un pārbaudot visas iespējamās slodžu kombinācijas atbilstoši DIN 1054.

$$T_d \leq R_{t,d} + E_{p,d} \quad [5.121.]$$

T_d – pieliktā spēka aprēķina vērtība pamata pēdas līmenī;
$R_{t,d}$ – noturošo spēku aprēķina vērtība;
$E_{p,d}$ – enkurojuma izraušanas spēku aprēķina vērtības.

Noturošie spēki no pasīvā grunts spiediena daļas konstrukcijas priekšpusē var tikt ņemti vērā tikai tādā gadījumā, ja nav iespējams veikt rakšanas darbus.

Attēls 5-14. Šīs pārbaudes aprēķinu veikšanai izmantotie spēki [126]



Raksturojošās vērtības pamata berzes leņķa noteikšanai $\delta_{S,k}$ tiek noteiktas atbilstoši DIN 1054 5.2.3.5. punktam pēc sakarības:

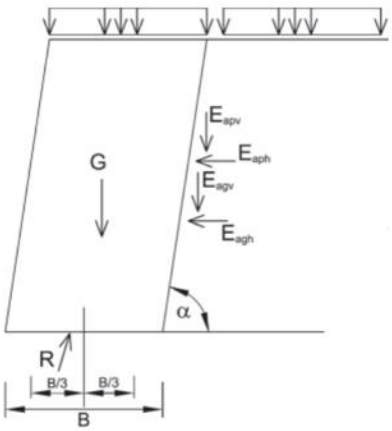
$$tg\delta_{S,k} = f_{sg,k} = \lambda \times tg\varphi_k \quad [5.122.]$$

5.1.3.7 Rezultējošā spēka novietojums no grunts nestspējas

Grunts nestspējas rezultējošā spēka novietojums jānosaka analogi DIN 1054 prasībām. Otrā rotācijas punkta novietojums (maksimālā pamatnes sprieguma noteikšana) tiek analizēts EQU robežstāvoklī (DIN 1054). Šī pārbaude tiek veikta daļēji deformējamām

atbalstsienām. Pārbaude tiek veikta, lietojot visas pieliktās slodzes, piemērojot atbilstošus drošības koeficientus un pārbaudot visas iespējamās slodžu kombinācijas. Kopspēka novietojums tiek pārbaudīts gan iekšējā, gan ārējā atbalstsienas pusē.

Attēls 5-15. Šīs pārbaudes aprēķinu veikšanai izmantotie spēki [126]



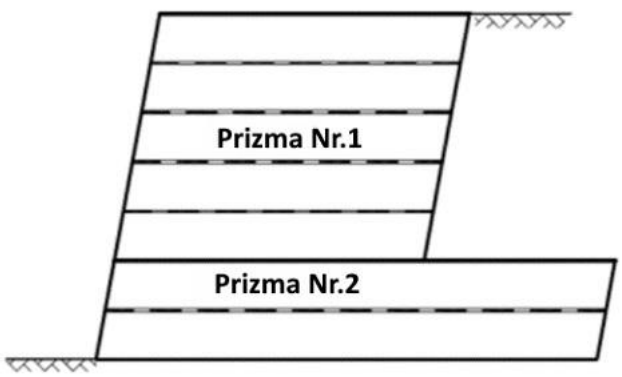
Piezīme:
*Ja rezultējošais spēks atrodas atbalstsienas iekšējā pusē (uzbēruma grunts puse), tad atbalstsiena ir sasvērusies uz uzbēruma pusi un uz to tiek pielikts papildu spiediens. Tas ir pieļaujams, ja pieliktās slodzes var tikt pārnestas uz uzbērumu, saglabājot konstrukcijas drošumu. Attiecīgā gadījumā pieņemtais grunts spiediena leņķis δ_a vai atbalstsienas slīpuma leņķis **α** tiek pārbaudīts ar aprēķina palīdzību.*

Pirmā rotācijas punkta novietojums tiek noteikts atbilstoši DIN 1054 lietojamības robežstāvoklim.

5.1.3.8 Speciālie noteikumi

Aprēķina metodika atbilstoši 2.4.4. līdz 2.4.7. nevar tikt izmantota tieši, lai veiktu aprēķinu, ja atbalstsiena, kas veidota no ģeosintētiskajiem materiāliem, nevar tikt raksturota kā daļēji monolīts masīvs. Šādos gadījumos konstrukciju var modelēt kā kombinētu daļēji monolītu masīvu, kura stabilitāte tiek aplūkota katrai konstrukcijas daļai atsevišķi.

Attēls 5-16. Piemērs daļēji monolītai saliktai atbalstsienas konstrukcijai [126]



5.1.3.9 Lietojamības robežstāvokļa (SLS) vispārīgās rekomendācijas

Lietojamības robežstāvokli veido rezultējošā spēka novietojums no grunts nestspējas atbilstoši DIN 1054, atbalstsienas iespējamā deformācija un pārvietojums atbilstoši paredzētajam lietojumam. Tiek aplūkota konstrukcijas pamata kopējā sēšanās, atbalstsienas konstrukcijas materiālu deformācijas un izlieces, kā arī šķērsvirziena deformācijas.

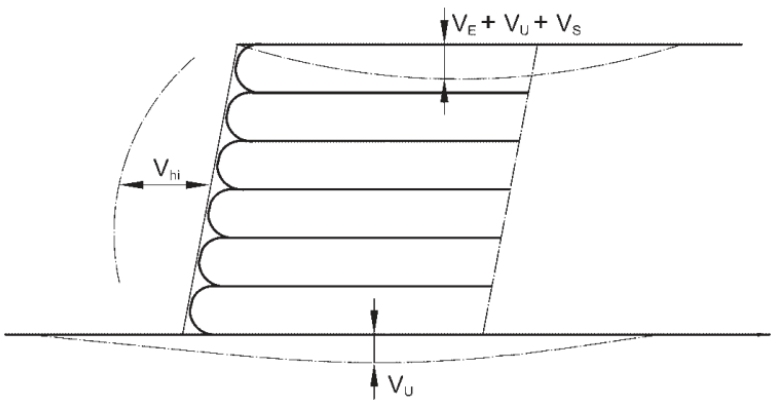
Atbilstoši [126] aplūkotajiem pētījumiem empīriska sakarība maksimālajām horizontālajām deformācijām var tikt pieņemta kā aptuveni 1-2 % no atbalstsienas augstuma *H*.

Piezīme:
Ģeosintētisko materiālu un minerālmateriālu mijiedarbība ietekmē iespējamo deformāciju veidošanos un apjomu.

Ir jānosaka un jānovērtē sekojošas atbalstsienu deformācijas:

- V_U – pamata grunts sēšanās;
- V_E – atbalstsienas būvniecībā lietoto minerālmateriālu sēšanās;
- V_{hi} – horizontālās atbalstsienas deformācijas konkrēta stiegrojuma slāņa i līmenī;
- V_S – šķērsvirziena deformācijas.

Attēls 5-17. Atbalstsienu deformāciju komponentes [126]



Pamata grunts sēšanās aprēķinā jāņem vērā konstrukcijas pašsvars un citas pieliktās slodzes. Konstrukcija var tikt uzskatīta par lokanu, it īpaši, veicot aprēķinus uz viegli deformējamas grunts slāņa.

Atbalstsienas būvniecībā lietoto minerālmateriālu sēšanās orientējošais apjoms atbilstoši empīriski iegūtiem datiem ir 0,2%–1% no kopējā augstuma. Šīs deformācijas parasti realizējas būvniecības laikā. Deformācijas pēc ekspluatācijas slodžu pielikšanas var tikt modelētas atbilstoši elastīgās deformācijas analīzes modelim.

Horizontālās atbalstsienas deformācijas ir grūti precīzi nosakāmas un var tikt noteiktas aptuveni (ar nelielu precizitāti). Iestrādātais minerālmateriāls un ģeosintētiskais materiāls konstrukcijas izbūves laikā tiek pakļauts nevienmērīgām piepūlēm un deformācijām, līdz tiek sasniegts līdzsvara stāvoklis.

Lai veiktu horizontālo deformāciju novērtējumu, nepieciešami sekojoši aprēķina soļi:

- ∇ tangenciālo spiegumu un to novietojumu analīze visos stiegrojuma slāņos lietojamības robežstāvokļa ietvaros;
- ∇ noteikts stiegrotā slāņa aksiālais stingums;
- ∇ noteikts deformāciju izvietojums stiegrotajā slānī;
- ∇ kopīgi aplūkoti visu slāņu deformāciju sadalījumi.

Šķērsvirziena deformācijas tiek izsauktas pārsvarā no deformācijām stiegrotajos slāņos, kas nepieciešamas, lai iestātos līdzsvara stāvoklis.

Deformāciju noteikšanai jālieto datorprogrammas, kuras balstītas Galīgo elementu metodēs (GEM).

5.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības

Ražotājam ir jānodrošina būvizstrādājuma marķējums saskaņā ar standartu EN ISO 10320. CE marķējuma prasību skatīt standarta LVS EN ISO 13249 ZA.3. punktā.

Tabulās turpmāk ir norādītas ģeotekstilu specifikāciju prasības atkarībā no paredzētās lietošanas nestspējas robežstāvoklim (ULS) un lietojamības robežstāvoklim (SLS) (Tabula 5-3 un Tabula 5-4).

Tabula 5-3. Specifikāciju prasības nogāžu iekšējās noturības stiegrošanai nestspējas robežstāvoklī (ULS).

Paredzētā izmantošana: stiegrošana (R) saskaņā ar LVS EN ISO 13249			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība****
Ilgtermiņa aprēķina stiepes stiprība*	N/A	kN/m	≥ ...
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	gadi	≥ 25, 50 vai 100
Bīstamās vielas	Mazāk nekā noteikts ES dalībvalstu noteikumos		

** aprēķins atbilstoši 2.2. nodaļai.*

*** definē būvprojektā.*

Tabula 5-4. Specifikāciju prasības nogāžu iekšējās noturības stiegrošanai lietojamības robežstāvoklī (SLS).

Paredzētā izmantošana: stiegrošana (R) saskaņā ar LVS EN ISO 13249			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība****
Ilgtermiņa aprēķina stingums pie noteiktā pagarinājuma*	N/A	kN/m	≥ ...
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	gadi	≥ 25, 50 vai 100
Bīstamās vielas	Mazāk nekā noteikts ES dalībvalstu noteikumos		

** aprēķins atbilstoši 2.2. nodaļai.*

*** definē būvprojektā.*

5.3 Iestrādes tehnoloģija

5.3.1 Būvniecības prasības iestrādei un materiāliem

Atbilstoši LVS EN 14475 "*Speciālo ģeotehnisko darbu veikšana. Nostiprināts uzbērums*" svarīgi ģeosintētisko materiālu ieklāt pareizā virzienā – tas īpaši svarīgi, ja ģeosintētiskajam materiālam definētas dažādas nominālās mehāniskās īpašības dažādos virzienos. Ieklāšanas laikā mehāniskajai iedarbībai uz stiegrojumu jāatbilst būvprojekta prasībām, savukārt iedarbība nedrīkst pārsniegt paredzēto. Parasti tas nozīmē, ka nav atļauts ar smago būvtehniku pārvietoties tieši pa ģeosintētisko materiālu. Jānodrošina, lai ģeosintētiskais materiāls ieklāšanas brīdī ir vienmērīgi un gludi ieklāts, tādā veidā neradot deformācijas, aktivizējoties stiepes spēkiem. To iespējams sasniegt ģeosintētisko materiālu nostiepjot, pirms tam to pārklājot ar uzbēruma grunti.

Ģeosintētiskie materiāli ultravioletā starojuma ietekmē var zaudēt savas mehāniskās īpašības, ja vien tie nav speciāli aizsargāti, tādēļ tos pēc iespējams ātrāk nepieciešams pārklāt ar grunti. Ja laiks nav precīzi definēts, tad jānosedz ne vēlāk kā 24 stundu laikā.

Iebūvējot ģeosintētiskos materiālus uzbērumā, ieteicams izmantot būvtehniku ar zemu virsmas spiedienu. Ģeosintētiskā materiāla nelīdzenumi vai "viļņi" jāizlīdzina manuāli. Jāizvairās no būvtehnikas tiešas pārvietošanās pa ģeosintētisko materiālu.

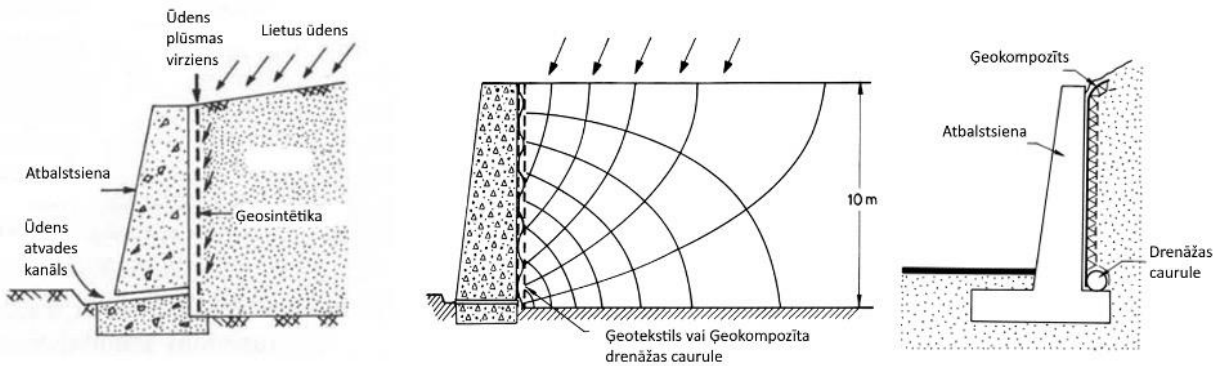
Pirmos ģeosintētisko materiālu nosedzošos uzbēruma slāņus (0,5–1,0 m) ieteicams būvēt no labi drenējoša materiāla, kas nodrošina labāku sasaisti (adhēziju) starp grunti un ģeosintētisko materiālu, kā arī šāds slānis nodrošina labāku drenēšanas funkciju,

izslēdzot papildu poru spiediena veidošanos zonā starp ceļa zemes klātni un uzbērumu. Katru slāni nepieciešams sablīvēt līdz paredzētajam blīvumam.

Ja būvprojekts paredz izmanot novērošanas metodi un ģeotehnisko monitoringu, tad jābūt definētiem kritērijiem, monitoringa intensitātei, robežvērtībām un prasībām attiecībā uz pārskata sagatavošanu. Ģeotehniskās izpētei atskaitei jānodrošina informācija, kas ļauj veikt būvdarbus atbilstoši būvprojekta risinājumiem. Informācijai jābūt pietiekamai, lai būvdarbu izpildītājs var izstrādāt darba veikšanas projektu nepieciešamo darbu veikšanai (zemes darbi, visu veidu speciālie ģeotehniskie darbi, darba platformas izbūve u. c.).

Lai novērstu ūdens uzkrāšanos pirms konstrukcijas, visu veidu atbalstsienām ir kritiska ūdens atvades nodrošināšana. Ūdens uzkrāšanās palielina pielikto slodzi un paaugstina risku neparedzētām deformācijām vai konstrukcijas atteicei. Ūdens savākšanai pirms atbalstsienas lieto dažādus ūdens savākšanai paredzētus drenāžas risinājumus. Biežāk sastopamie ir drenāžas caurules, kas novietotas pie atbalstsienas iekšējās pēdas. Virs caurulēm var tik novietoti speciāli ģeosintētisko materiālu veidi, kas nodrošina ūdens savākšanu un novadi līdz caurulei, vai kombinēti risinājumi (Attēls 5-18).

Attēls 5-18. Trīs nogāžu nostiprināšanas drenāžas varianti a), b) un c) [68]



Caurules diametrs un drenējošā slāņa izmērs jāizvēlas atbilstoši plānotajam ūdens apjomam.

5.3.1. Kvalitātes nodrošināšana un kontrole

Lai nodrošinātu konstrukcijas drošību un kvalitāti, jāņem vērā sekojošais:

- ∇ būvdarbi un veikto darbu kvalitāte ir jāuzrauga;
- ∇ konstrukcijas darbība ir jānovēro gan būvdarbu izpildes laikā, gan pēc to pabeigšanas;
- ∇ konstrukcija ir atbilstoši jāuztur.

Būvdarbu pārbaudei ir jābūt nepārtrauktai, savukārt pārbaudes rezultātiem ir jābūt dokumentētiem. Pierakstos, ja tas atbilst būvprojektam, jāiekļauj:

- ∇ būtiski grunts un gruntsūdens apstākļi;
- ∇ darbu secība;
- ∇ materiālu kvalitāte;
- ∇ atkāpes no projekta;
- ∇ būvdarbu izpildrasējumi;
- ∇ mērījumu un to interpretācijas rezultāti;
- ∇ apkārtējās vides apstākļu novērojumi;
- ∇ neparedzēti gadījumi.

Pārbaudes un kontroles rezultātiem ir jābūt pieejamiem būvprojekta autoram pirms lēmuma pieņemšanas par jebkura veida izmaiņām. Būvdarbu metodes un darbu secības piemērotība ir jāpārskata faktisko grunts apstākļu kontekstā; paredzētā konstrukcijas darbība ir jāsalīdzina ar novēroto. Projekts kopumā ir jāvērtē, pamatojoties uz pārbaužu un būvdarbu izpildes uzraudzības rezultātiem.

Monitorings jāveic, lai:

- ∇ pārbaudītu būvprojektā paredzēto darbību pamatotību;
- ∇ pārliecinātos, ka pēc būvdarbu pabeigšanas uzbūvētā konstrukcija nodrošinās paredzēto funkcionalitāti.

Tabula 5-5. Kvalitātes kontrole un pārbaužu prasības

Kontroles kritērijs	**Apraksts**
Materiāla kvalitātes pārbaude	Uzbēruma grunts atbilstība: fizikāli mehāniskās īpašības, sablīvējums u. c.
	Ģeosintētiskā īpašības atbilstoši būvprojekta prasībām, pieņemšana, pārvietošana un uzglabāšana būvlaukumā, bojājumi uzstādīšanas laikā, ģeosintētiskā materiāla uzstiepšana, ja nepieciešams
	Jebkāda veida monitoringa un testēšanas prasības un instrumentācija atbilstoši būvprojektam
Darbu kvalitātes pārbaude	Būvlaukuma sagatavošana: topogrāfija, ģeotehniskā informācija, ierakumu un uzbērumu ģeometrija
	Drenāžas nodrošināšana – pamatnes slīpums, drenējošo slāņu atbilstība būvprojektam (to izbūve), citas drenāžas sistēma
	Uzbēruma un ierakuma izbūves pārbaude – slāņu sablīvējums, izbūves augstums
Sasniedzamā	Ģeotehniskā monitoringa rezultātu atbilstība būvprojektam –

Kontroles kritērijs	Apraksts
rezultāta pārbaude	būvprojekta validācija
	Ģeosintētiskā materiāla monitoringa rezultātu atbilstība būvprojektam – būvprojekta validācija (ja ģeosintētiskajā materiālā tiek mērītas relatīvās deformācijas)

5.4 Būvprojektēšanas piemēri

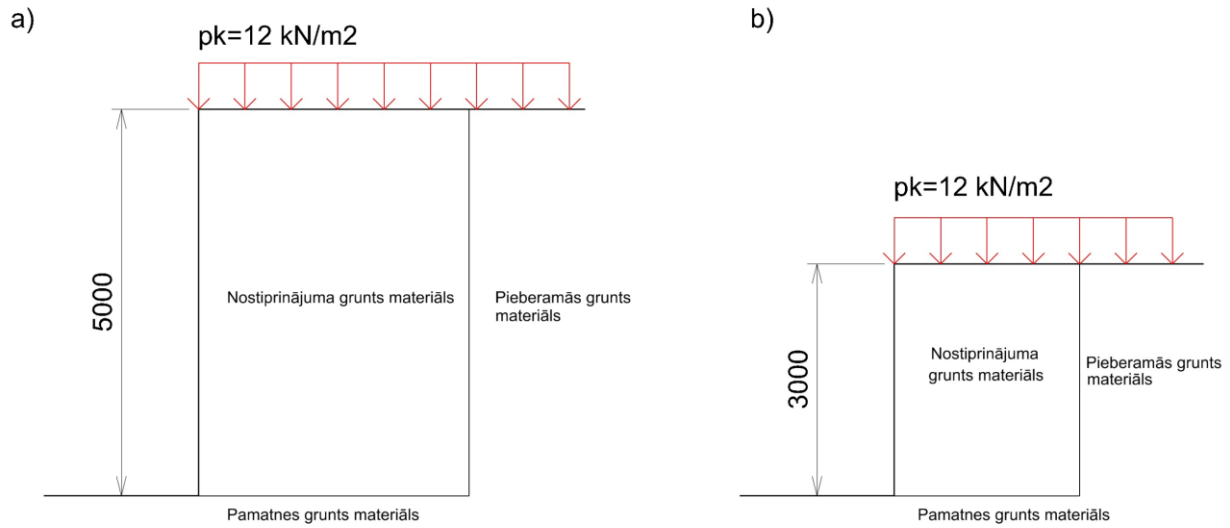
Lai veiktu nogāžu nostiprinājuma aprēķinu, tiek izvēlēta Vācijas aprēķina metode, kas detalizētāk parāda aprēķina gaitu. Izvēlētās Vācijas metodes mērķis ir dot detalizētāku priekšstatu par aprēķiniem, kas norit, lietojot datorprogrammas. Aprēķina piemērā tiek aplūkoti sekojoši robežstāvokļi (Tabula 5-6).

Tabula 5-6. Apkopoti kritiskie sabrukuma modeļi (robežstāvokļi), kas jāveic aprēķina laikā [126]

Robežstāvoklis		Rob. st.
Stiprības robežstāvoklis		**ULS**
Nogāzes stabilitātes atteice	Tiek aplūkots piemērā	GEO
Grunts nestspēja atteice	Tiek aplūkots piemērā	STR
Konstrukcijas noslīdēšana	Tiek aplūkots piemērā	STR
Rezultējošā spēka novietojums no grunts nestspējas	Tiek aplūkots piemērā	EQU
Konstrukcijas stabilitāte gadījumā, kad noslīdēšanas virsma krusto konstrukcijas daļu	Tiek aplūkots piemērā	GEO
Stiegrojuma atteice vai sabrukums	Tiek aplūkots piemērā	STR
Stiegrojuma enkurojuma izraušana	Tiek aplūkots piemērā	GEO
Savienojumu stiprības pārbaude	Tiek aplūkots piemērā	STR
Stiegrojuma pārklāšanās/enkurojuma pārbaudes	Tiek aplūkots piemērā	STR
Lietojamības robežstāvoklis		**SLS**
Grunts nestspējas rezultējošā spēka novietojums	Tiek aplūkots piemērā	SLS
Konstrukcijas deformācija	Netiek aplūkots piemērā (nosaka ar datorprogrammu)	SLS
Konstrukcijas sēšanās	Netiek aplūkots piemērā (nosaka ar datorprogrammu)	SLS

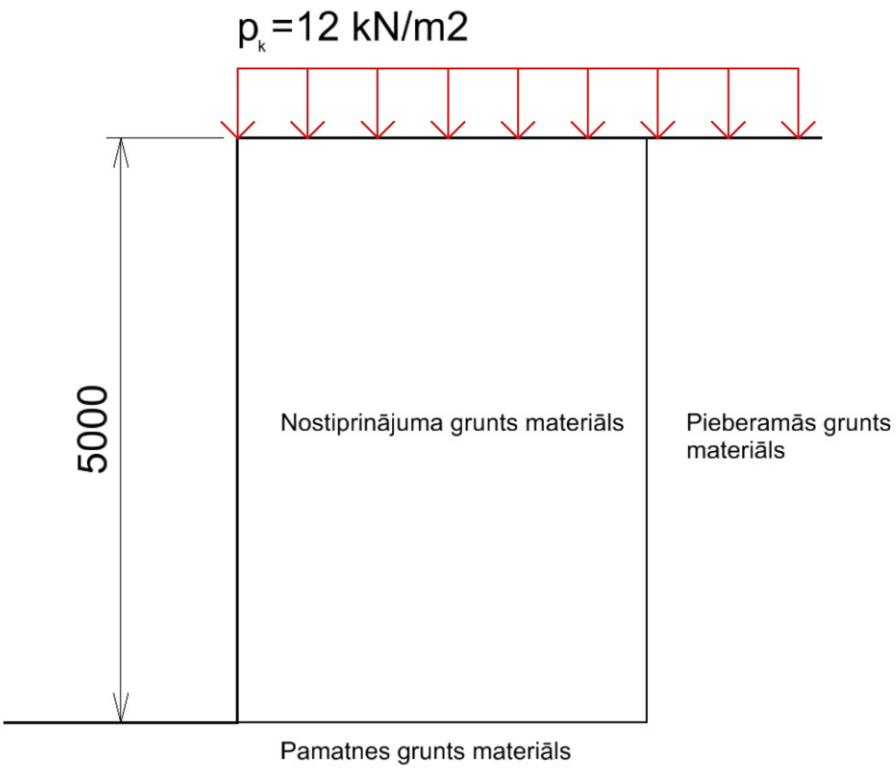
Tiek veidoti divi aprēķina piemēri a) un b) ar atbilstoši 5 un 3 metru augstu nogāzes nostiprinājumu. Pie katra aprēķina posma pievienotas izmantotās formulas un to apzīmējumu atšifrējumi.

Attēls 5-19. Ģeometriskie izmēri, grunts parametri un pieņemtās slodzes



5.4.1 Pirmais aprēķina piemērs (a) uzbēruma augstums – 5 m

Attēls 5-20. Ģeometriskie izmēri, grunts parametri un pieņemtās slodzes



Piemēra grunts parametri:

Tabula 5-7. Apkopoti grunts raksturlielumi

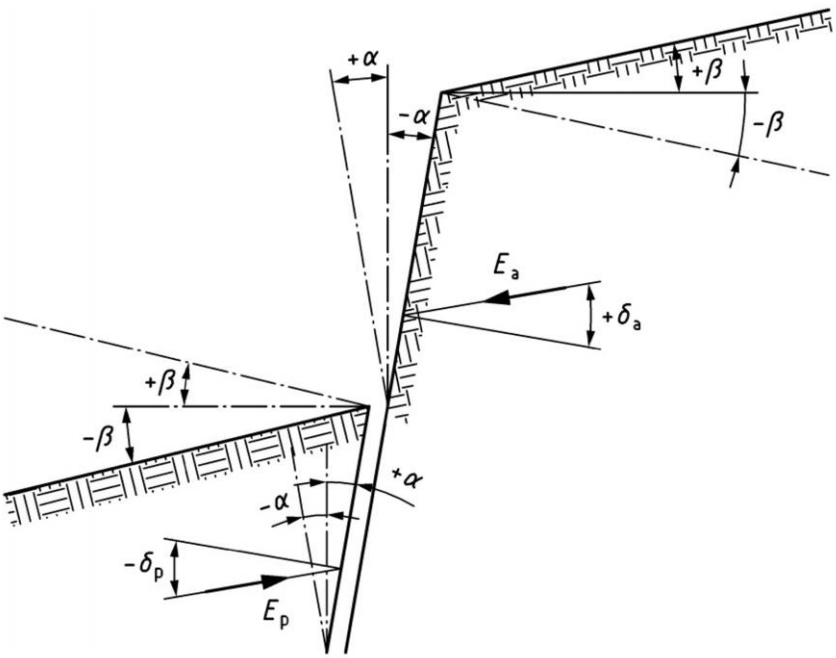
Grunts materiāls	Slānis x	Tilpumsvars γ x,k [kN/m3]	Iekšējās berzes leņķis φ x,k [°]	Saiste cx,k [kN/m2]
Nostiprinājuma grunts materiāls	1	20	35	0
Pamatnes materiāls	2	18	30	0
Pieberamais materiāls	3	19	30	0

Stiegrojuma garums tiek pieņemts 70 % no konstrukcijas augstuma.

$$B = 0{,}7 \cdot 5\ \text{m} = 3{,}5\ \text{m}$$

Turpmākie aprēķini veikti, lietojot šo stiegrojuma garumu. Raksturīgo slodžu noteikšana. Grunts spiedienu iespējams noteikt dažādos veidos. EBGEO piedāvā lietot sekojošu sakarību, kas atrodama DIN 4085.

Attēls 5-21. Alfa un beta leņķu novietojums atbilstoši DIN 1085 [126]



$$K_{agh} = \left[\frac{\cos(\varphi - \alpha)}{\cos\alpha \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta_a) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha - \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta_a)}}\right)} \right]^2$$

$$\varphi_{3,k} = 30°;\ \delta_{3,k} = 2/3 \cdot \varphi_{3,k} = 20°;\ \alpha = 0°;\ \beta = 0°$$

$$K_{ah,k} = \frac{\cos^2(30°)}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(30° + 20°) \cdot \sin 30°}{\cos 20°}}\right]^2} = 0.279$$

Raksturīgās grunts spiediena vērtības tiek noteiktas sekojoši:

$$E_{agh,k} = 0.5 \cdot K_{ah,k} \cdot \gamma_{3,k} \cdot H^2 = 0.5 \cdot 0.279 \cdot 19 \cdot 5^2 = 66.26\ \text{kN/m}$$
$$E_{agv,k} = E_{agh,k} \cdot \tan(\delta - \alpha) = 66.26 \cdot \tan 20° = 24.12\ \text{kN/m}$$

Raksturīgās papildus grunts spiediena vērtības no izkliedētas slodzes tiek noteiktas sekojoši:

$$E_{aph,k} = K_{ah,k} \cdot p_k \cdot H = 0.279 \cdot 12 \cdot 5 = 16.74\ \text{kN/m}$$
$$E_{apv,k} = E_{aph,k} \cdot \tan(\delta - \alpha) = 16.74 \cdot \tan 20° = 6.09\ \text{kN/m}$$

Raksturīgā slodze konstrukcijas pašsvaram tiek noteikta:

$$G_k = H \cdot B \cdot \gamma_{1,k} = 5 \cdot 3.5 \cdot 20 = 350\ \text{kN/m}$$

Raksturīgā slodze izkliedētajai slodzei tiek noteikta:

$$P_k = B \cdot p_k = 3.5 \cdot 12 = 42\ \text{kN/m}$$

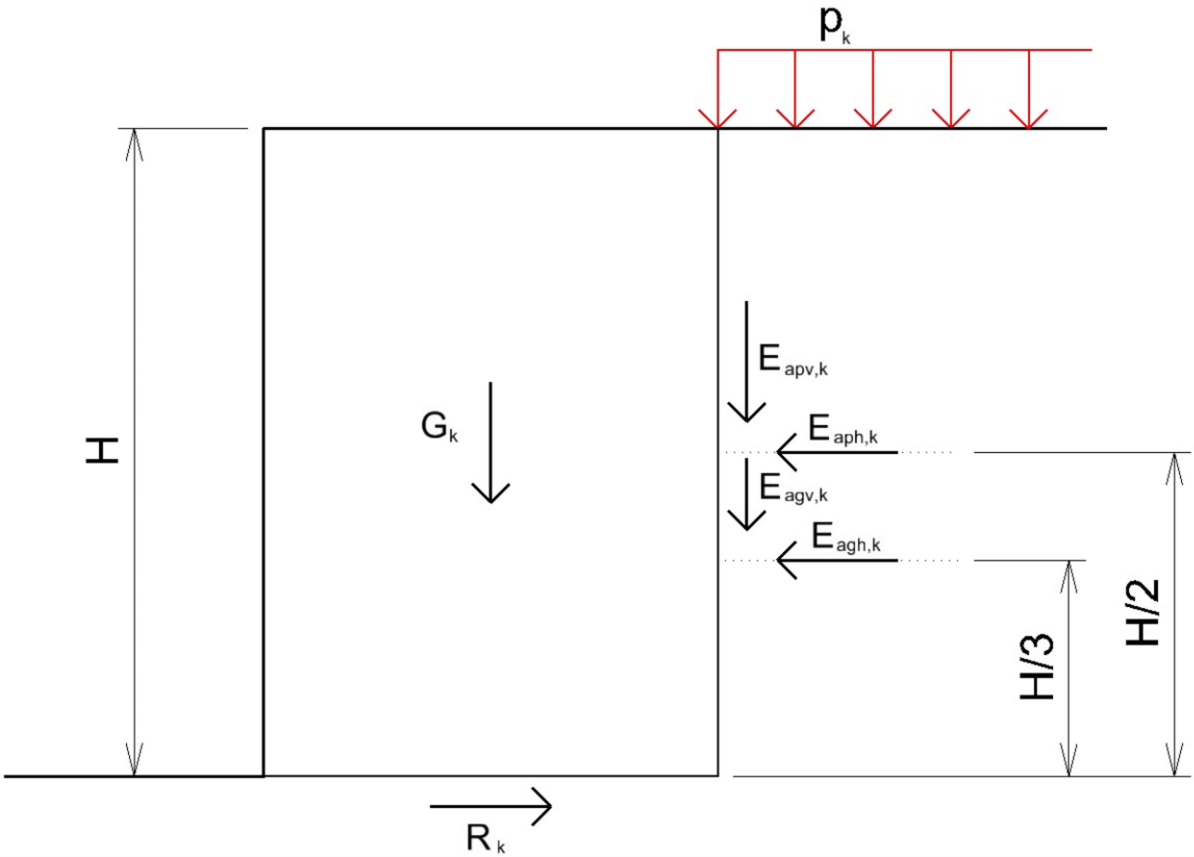
Stiprības robežstāvokļa (ULS) analīze

Noslīdēšanas pārbaudes veikšanai tiek pieņemts, ka apakšējais stiegrojuma slānis atrodas uz konstrukcijas pamatnes. Tas nozīmē, ka zemākā iekšējā berzes leņķa vērtība virs $(\varphi_{1,ak\ virs})$ un zem $(\varphi_{2,k\ zem})$ stiegrojuma tiek pieņemta kā $\varphi_{k,regulējošā}$.

Raksturīgo iekšējo berzes koeficientu starp stiegrojumu un pamatni nosaka $f_{sg,k} = tan\delta_{s,k} = \lambda \cdot tan\ \phi k$, regulējošā. Šajā piemērā tiek pieņemts, ka λ = 0,8 (vērtība iegūta, veicot testēšanu).

Mainīgā piepūle konstrukcijas noslīdēšanas analīzei tiek pieņemta ar konservatīvu vērtību.

Attēls 5-22. Ģeometriskie izmēri un pieņemtās slodzes noslīdēšanas pārbaudei



Tiek noteiktas aprēķina piepūles:

$$N_{G,k} = E_{agv,k} + G_k = 24.12 + 350 = 374.12 \text{ kN/m}$$
$$N_{Q,k} = E_{apv,k} = 6.09 \text{ kN/m}$$
$$T_{G,k} = E_{agh,,k} = 66.26 \text{ kN/m}$$
$$T_{Q,k} = E_{aph,k} = 16.74 \text{ kN/m}$$

Pielietojot drošības koeficientus no DIN 1054, tiek iegūtas aprēķina vērtības:

$T_d = 66,26 * 1,35 + 16,74 * 1,5 = 114,56$ kN/m

$R_{t,d} = (N_{G,k} + N_{Q,k}) * \lambda * \tan \delta_{s,k} / \gamma_{GL} = 380,21 * 0,8 * \tan 30° / 1,1 = 159,65$ kN/m

$T_d = 114,56 \leq R_{t,d} = 159,65$ kN/m

Tabula 5-8. Drošības koeficientu vērtības atbilstoši DIN 1054

Piepūles	**Apzīmējums**	**Aprēķina situācija**		
		BS-P	**BS-T**	**BS-A/BS-E**
HYD un UPL: Robežstāvokļiem lietojamie drošības koeficienti				
Nelabvēlīga pastāvīga slodzes ietekme	$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	1,00
Labvēlīga pastāvīgas slodzes	$\gamma_{G,stb}$	0,95	0,95	0,95

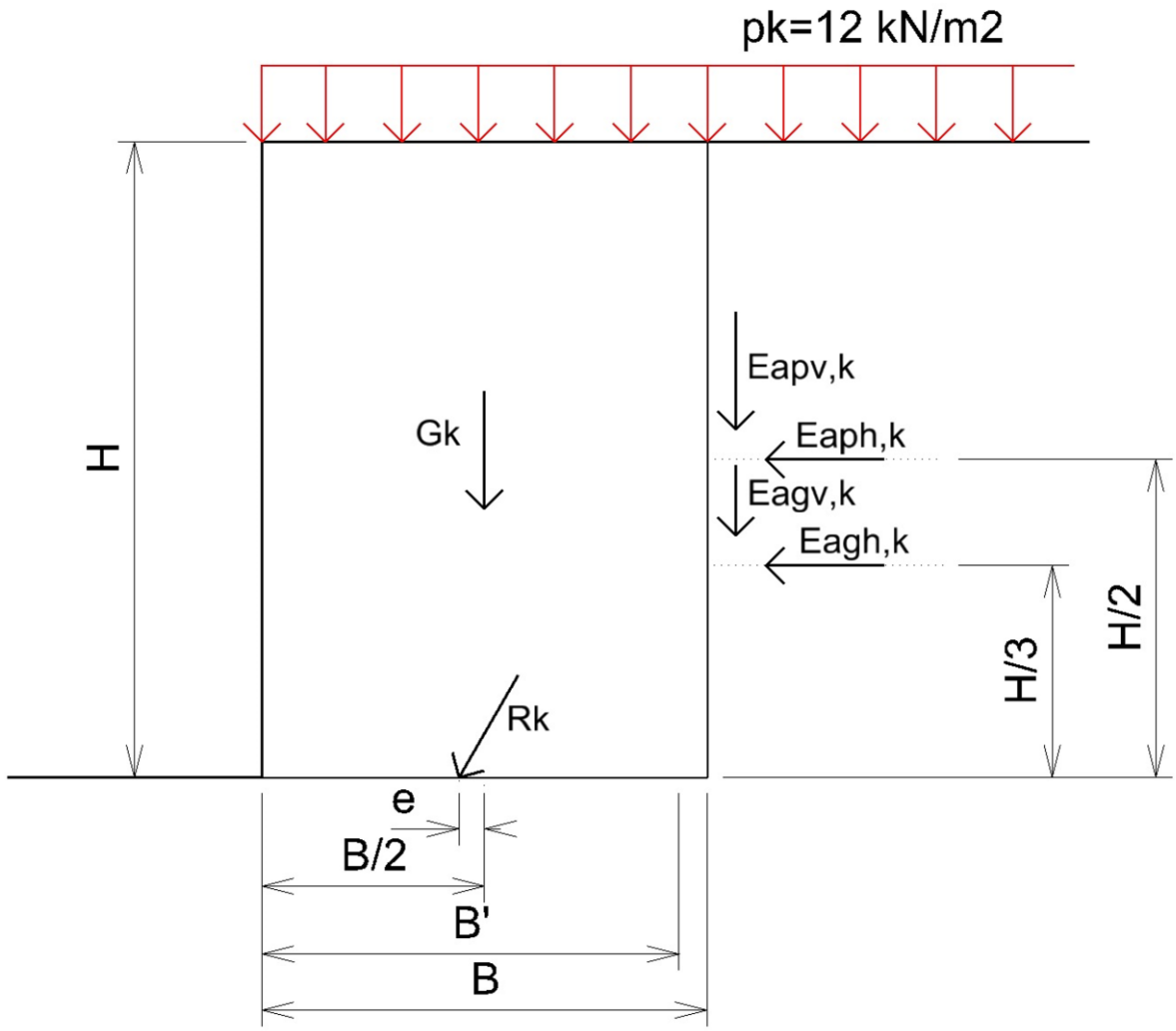
Piepūles	Apzīmējums	Aprēķina situācija		
		BS-P	BS-T	BS-A/BS-E
ietekme				
Nelabvēlīga mainīga slodzes ietekme	$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
Labvēlīga mainīga slodzes ietekme	$\gamma_{G,std}$	0,00	0,00	0,00
Labvēlīga grūntsūdens plūsmas ietekme	γ_{H}	1,45	1,45	1,25
Nebvēlīga grūntsūdens plūsmas ietekme	γ_{H}	1,90	1,90	1,45
EQU: Robežstāvoklim lietojamie drošības koeficienti				
Nelabvēlīga pastāvīga slodzes ietekme	$\gamma_{G,dst}$	1,10	1,05	1,00
Labvēlīga pastāvīgas slodzes ietekme	$\gamma_{G,stb}$	0,90	0,90	0,95
Nelabvēlīga mainīga slodzes ietekme	γ_{Q}	1,50	1,25	1,00
STR un GEO-2: Robežstāvoklim lietojamie drošības koeficienti				
Piepūles no pastāvīgām slodzēm kopumā	γ_{G}	1,35	1,20	1,10
Labvēlīga pastāvīgas slodzes ietekme	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00	1,00
Piepūles no grunrs spiediena slodzēm	$\gamma_{G,E0}$	1,20	1,10	1,00
Nelabvēlīga mainīga slodzes ietekme	γ_{Q}	1,50	1,30	1,10
Labvēlīga mainīga slodzes ietekme	γ_{Q}	0,00	0,00	0,00
GEO-3: Robežstāvoklim lietojamie drošības koeficienti				
Pastāvīga slodzes ietekme	γ_{G}	1,00	1,00	1,00
Nelabvēlīga mainīga slodzes ietekme	γ_{Q}	1,30	1,20	1,00

Veicot pārbaudes, tika noteikts utilizācijas koeficients 72%, kas ir atbilstošs konstrukcijas drošībai:

$$\mu = \frac{T_d}{R_{t,d}} = \frac{114.56}{159.65} = 0.72$$

Rezultējošā spēka novietojums no grunts nestspējas

Attēls 5-23. Pieliktās piepūles, lai noteiktu rezultējošo spēku



Spēka moments ap vidējo punktu no mainīgajām slodžu komponentēm:

$$M_k = \left(E_{agh,k} \cdot \frac{H}{3}\right) + \left(E_{aph,k} \cdot \frac{H}{2}\right) - \left\{E_{agv,k} \cdot \frac{B}{2}\right\} - \left\{E_{apv,k} \cdot \frac{B}{2}\right\}$$
$$= \left(66,26 \cdot \frac{5}{3}\right) + \left(16,74 \cdot \frac{5}{2}\right) - \left\{24,12 \cdot \frac{3,5}{2}\right\} - \left\{6,09 \cdot \frac{3,5}{2}\right\} = 99.42 \text{ kNm/m}$$

Vertikālās (kopējās) slodzes:

$$N_{G,k} + N_{Q,k} = 350 + 42 + 24.12 + 6.09 = 422.21 \text{ kN/m}$$

Spēka moments ap vidējo punktu no pastāvīgajām slodžu komponentēm:

$$M_k = \left(E_{agh,k} \cdot \frac{H}{3}\right) - \left\{E_{agv,k} \cdot \frac{B}{2}\right\} = \left(66,26 \cdot \frac{5}{3}\right) - \left\{24,12 \cdot \frac{3,5}{2}\right\}$$
$$= 68.22 \text{ kNm/m}$$

Vertikālās pastāvīgās slodzes:

$$N_{G,k} = 350 + 24.12 = 374.12 \text{ kN/m}$$

Pārbaude, vai rezultējošais spēks saglabājas 1/3 no pamata pēdas centra. Šo lielumu nosaka ekscentritātes lielums:

$$e = \frac{M_k}{N_k} = \frac{99.42}{422.21} = 0.235 < \frac{b}{3} = \frac{3.5}{3} = 1.16 \text{ m}$$

Pārbaude izpildās!

Grunts nestspējas aprēķins. Grunts nestspēja tiek nodrošināta, ja izpildās sekojoša sakarība:

$$N_d \le R_{n,d} = R_{n,k} / \gamma_{Gr}$$

kur
N_d – aprēķina vertikālā slodze, kas pielikta pamata pēdas līmenī
$R_{n,d}$ – grunts nestspējas aprēķina vērtība
$R_{n,k}$ – grunts nestspējas raksturojošā vērtība
γ_{Gr} – grunts nestspējas drošības koeficients

Grunts nestspējas raksturojošā vērtība tiek noteikta atbilstoši sakarībai:

$$\begin{aligned} R_{n,k} = a' \cdot b' \cdot (&c_{2,k} \cdot N_{c0} \cdot \nu_c \cdot i_c \cdot \lambda_c \cdot \xi_c \\ &+ \gamma_{2,k} \cdot d \cdot N_{d0} \cdot \nu_d \cdot i_d \cdot \lambda_d \cdot \xi_d \\ &+ \gamma_{2,k} \cdot b' \cdot N_{b0} \cdot \nu_b \cdot i_b \cdot \lambda_b \cdot \xi_b) \end{aligned}$$

Tā kā tiek aprēķināta lentveida pamata nestspēja, vienādojumu iespējams vienkāršot:

$$R_{n,k} = b' \cdot (\gamma_{2,k} \cdot b' \cdot N_{b0} \cdot i_b)$$

Nosakot nepieciešamos koeficientus:

$$N_{d0} = e^{\Pi \cdot \tan \varphi_{2,k}} \cdot \tan^2\left(45 + \frac{\varphi_{2,k}}{2}\right) = e^{\Pi \cdot \tan 30} \cdot \tan^2\left(45 + \frac{30}{2}\right) = 18.4$$

$$N_{b0} = (N_{d0} - 1) \cdot \tan \varphi_{2,k} = (18.4 - 1) \tan 30° = 10.05$$

m = 2

$$i_b = (1 - \tan \delta)^{m+1}$$

$$\tan\delta = \frac{T_k}{N_k} = \frac{66.26 + 16.74}{422.21} = 0.196$$

$$i_b = (1 - 0.196)^{2.0+1} = 0.519$$

$$N_b = N_{b0} \cdot i_b = 10.05 \cdot 0.519 = 5.22$$

Ekvivalentais platums, ņemot vērā ekscentritāti:

$$b' = B - 2 \cdot e = 3.5 - 2 \cdot 0.235 = 3.03 \text{ m}$$

$$R_{n,k} = 3.03 \cdot 18 \cdot 3.03 \cdot 10.05 \cdot 0.519 = 861.97 \text{ kN/m}$$

$$R_{n,d} = R_{n,k} / \gamma_{Gr} = 861.97 / 1.4 = 615.70 \text{ kN/m}$$

$$N_d = N_{G,k} \cdot \gamma_G + N_{Q,k} \cdot \gamma_Q = 374.12 \cdot 1.35 + 48.09 \cdot 1.5 = 577.20 \text{ kN/m}$$

$$N_d = 577{,}20 < R_{n,d} = 615.70$$

Pārbaude izpildās, bet utilizācijas koeficients ir 94 %:

$$\mu = \frac{N_d}{R_{n,d}} = \frac{577.20}{615.70} = 0.94$$

Nogāzes stabilitātes atteice

Slodzes un tām atbilstošie drošības koeficienti:

Pastāvīgās slodzes	γ_G=1,0
Nelabvēlīgās mainīgās slodzes	γ_Q=1,3

Nestspēju regulējošies drošības koeficienti:

Iekšējās berzes leņķis	γ_φ=1,25
Kohēzija/Saiste	γ_c=1,25
Elastīgo stiegrojošo elementu izraušanas stiprība	γ_B=1,4

Aprēķina piepūles mainīgām slodzēm:

$$p_d = p_k \cdot \gamma_Q = 12 \cdot 1.3 = 15.6 \text{ kN/m}^2$$

Aprēķina piepūles:

Iekšējās berzes leņķis	Saiste/Kohēzija	Aprēķina vērtība tilpumsvaram:
$\tan \varphi_{i,d} = (\tan \varphi_{i,k})/\gamma_\varphi$ $\varphi_{i,d} = \arctan [(\tan \varphi_{i,k})/\gamma_\varphi]$	$c_{i,d} = c_{i,k}/\gamma_c$	$\gamma_{i,d} = \gamma_{i,k} \cdot \gamma_G$

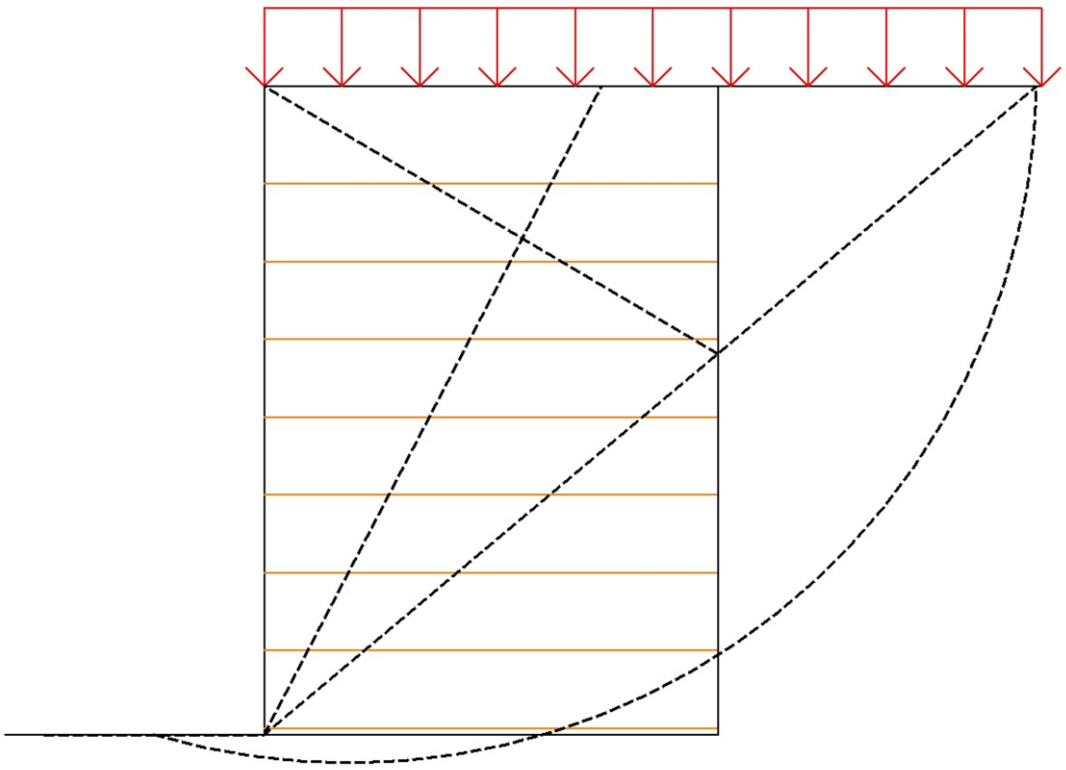
Aprēķina vērtības grunts parametriem tiek ņemtas no sekojošas tabulas:

Tabula 5-9. Drošības koeficientu vērtības atbilstoši DIN 1054

	$\varphi_{i,d}$ [°]	$C_{i,d}$ [kN/m2]	$\gamma_{i,d}$ [kN/m3]
Nostiprinājuma grunts materiāls	29,25	0	20
Pamatnes materiāls	24,79	0	18
Pieberamais materiāls	24,79	0	19

Visas iespējamās slīdplaknes tiek aplūkotas aprēķinā, analizējot visnelabvēlīgāko atteices mehānismu. Tiek aplūkotas visas slīdplaknes – gan tās kas krusto ģeosintētisko stiegrojumu, gan tās, kas nekrusto.

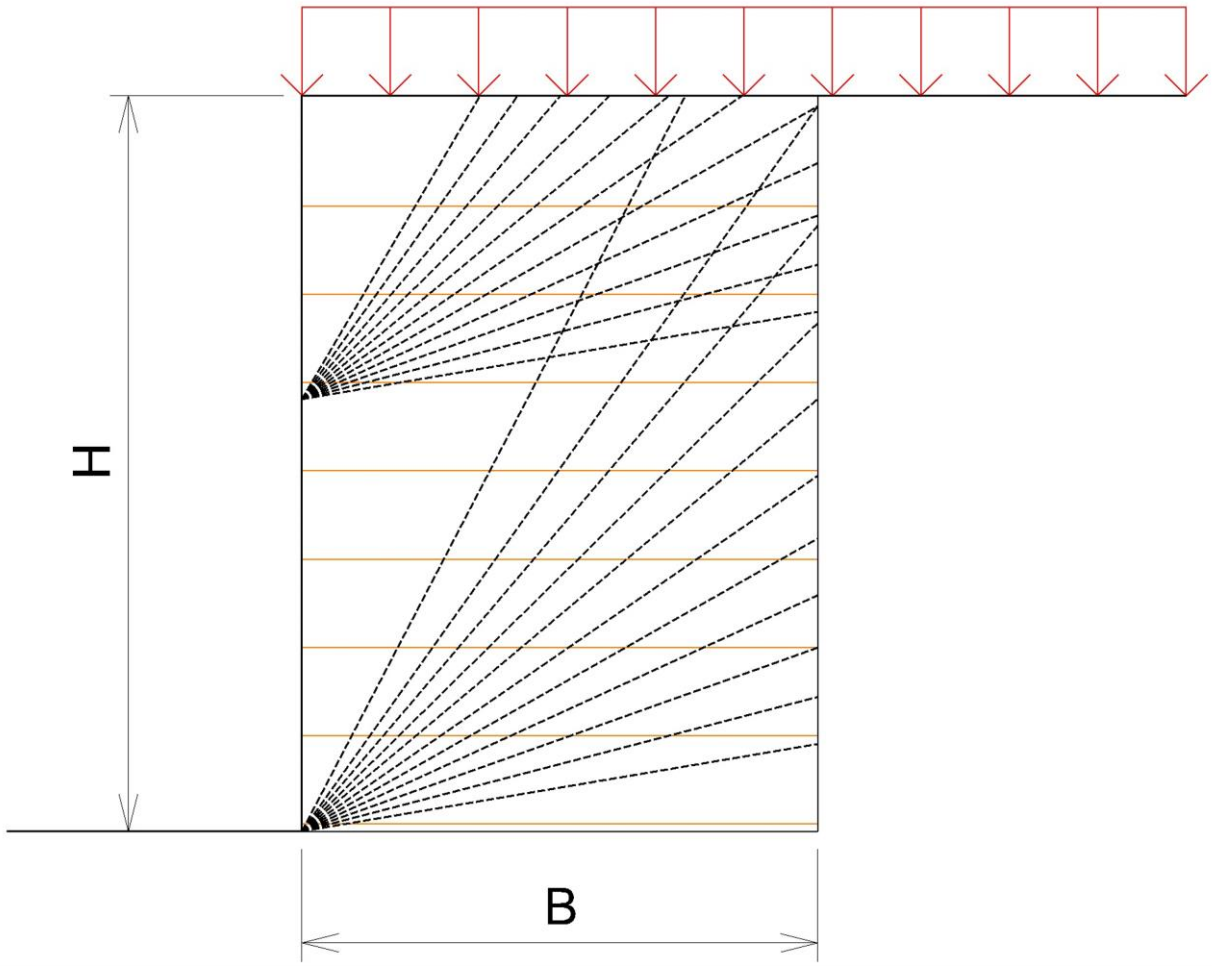
Attēls 5-24. Iespējamās slīdplaknes cauri konstrukcijai



Piemērā tiek aplūkotas dažādas slīdplaknes. Slīdplaknes tiek analizētas, lietojot vairākus ϑ leņķus, sākot no konstrukcijas apakšējā kreisā punkta – "purngala". Slīdplaknes šķērso visu atbalstsienu konstrukciju, ieskaitot armētos slāņus, visā pastiprinātajā konstrukcijā līdz armatūras aizmugurei un pēc tam virzās uz virsmu. Visi

(darbojošies) mobilizējošie spēki tiek salīdzināti ar stiegrojuma (pretošanās) stiprības spēkiem.

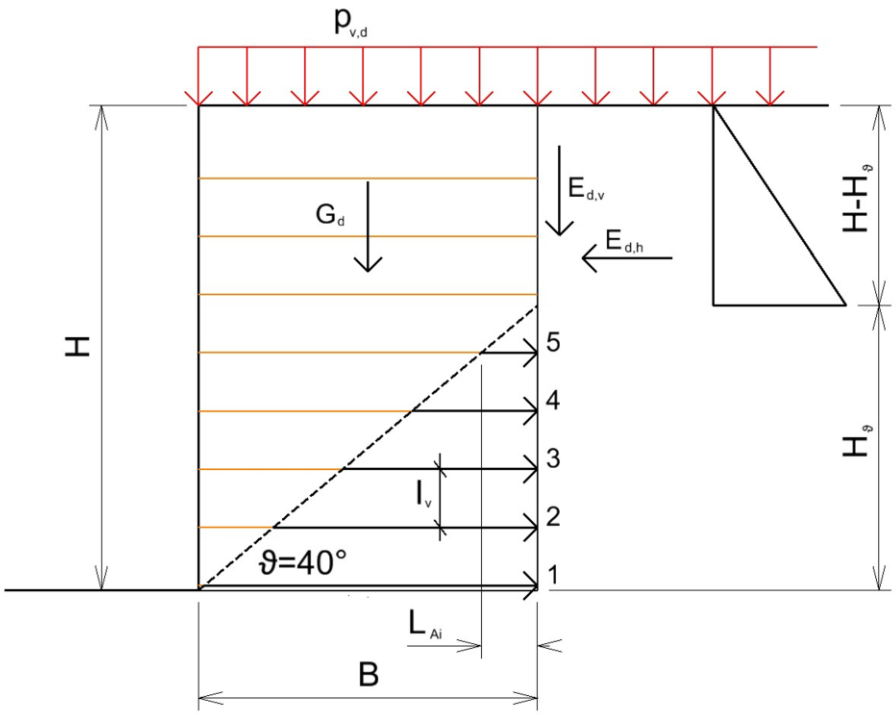
Attēls 5-25. Slīdplaknes piemērs



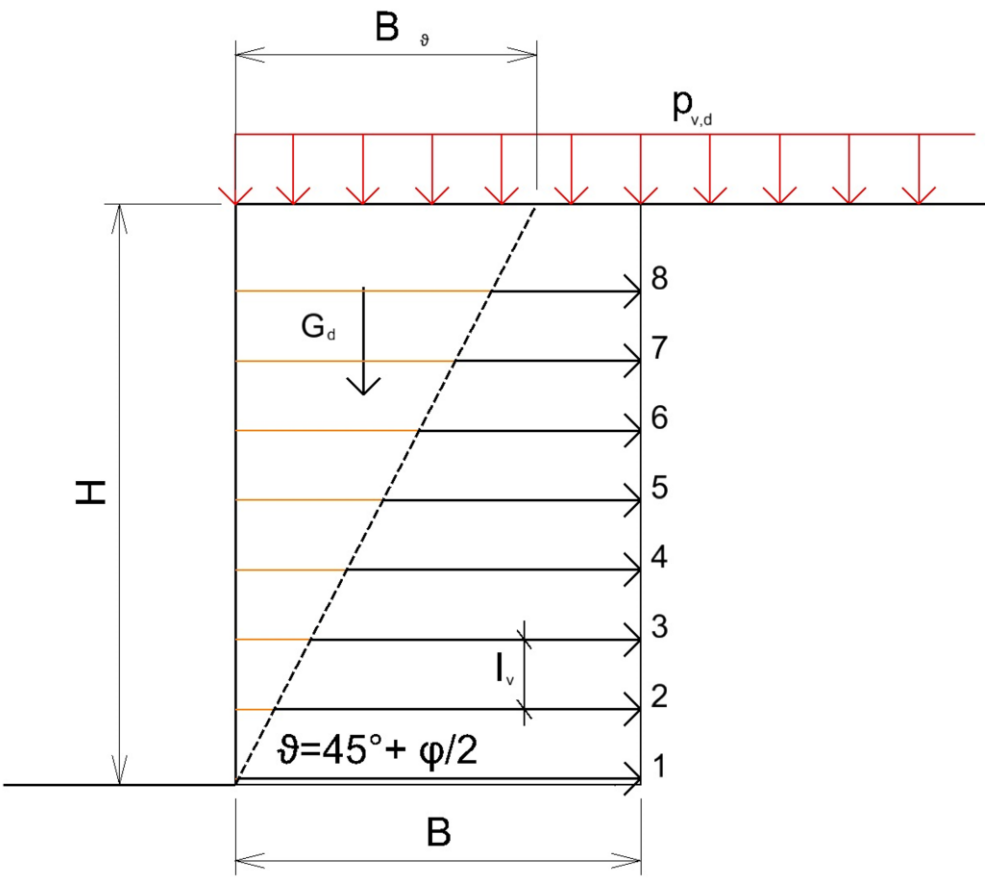
Sekojošās atteices sistēmas, kas šķērso konstrukciju leņķos $\vartheta = 40°$ un $\vartheta = 45° + \varphi/2$, tiek aplūkotas, lietojot pastāvīgas un īslaicīgas slodzes.

Attēls 5-26. Piepūļu izvietojums atbilstoši slīdplaknes novietojumam

1. slīdplakne: ϑ = 40°



2. slīdplakne: ϑ = 40°+φ/2



Piepūles tiek noteiktas:

$$\Sigma F_{d(\vartheta)} = (G_{d(\vartheta)} + P_{v,d(\vartheta)} + E_{v,d(\vartheta)}) \cdot \tan(\vartheta - \varphi_{1,d}) + E_{h,d(\vartheta)},$$

kur:

$$G_{d(\vartheta)} = ½ \cdot \gamma_{1,d} \cdot B_{(\vartheta)} \cdot H_{(\vartheta)} + \gamma_{1,d} \cdot B_{(\vartheta)} \cdot (H - H_{\vartheta})$$

$$P_{v,d(\vartheta)} = p_{v,d} \cdot B_{(\vartheta)}$$

$$E_{gh,d(\vartheta)} = ½ \cdot \gamma_{v,d} \cdot k_{ah,g,d} \cdot (H - H_{\vartheta})^2$$

$$E_{gv,d(\vartheta)} = E_{gh,d(\vartheta)} \cdot \tan(\delta - \alpha)$$

$$E_{ph,d(\vartheta)} = k_{ah,p,d} \cdot (H - H_{\vartheta}) \cdot p_{v,d}$$

$$E_{pvd(\vartheta)} = E_{phd(\vartheta)} \cdot \tan(\delta - \alpha)$$

$$E_{h,d(\vartheta)} = E_{gh,d(\vartheta)} + E_{ph,d(\vartheta)}$$

$$E_{v,d(\vartheta)} = E_{gv,d(\vartheta)} + E_{pv,d(\vartheta)}.$$

Ģeosintētiskā materiāla aprēķina pieņēmumi:

Tiek pieņemts ģeotekstils ar sekojošiem parametriem.

$$A_1 = 2.5; A_2 = 1.2 \text{ and } A_3 = A_4 = A_5 = 1.0.$$

Samazinošie koeficienti ir specifiski produktam, un tie ir jāizpēta atsevišķi.

Armējošā slāņa aprēķina stiprības noteikšana i slānim (ar drošības koeficientu γ_M = 1,4):

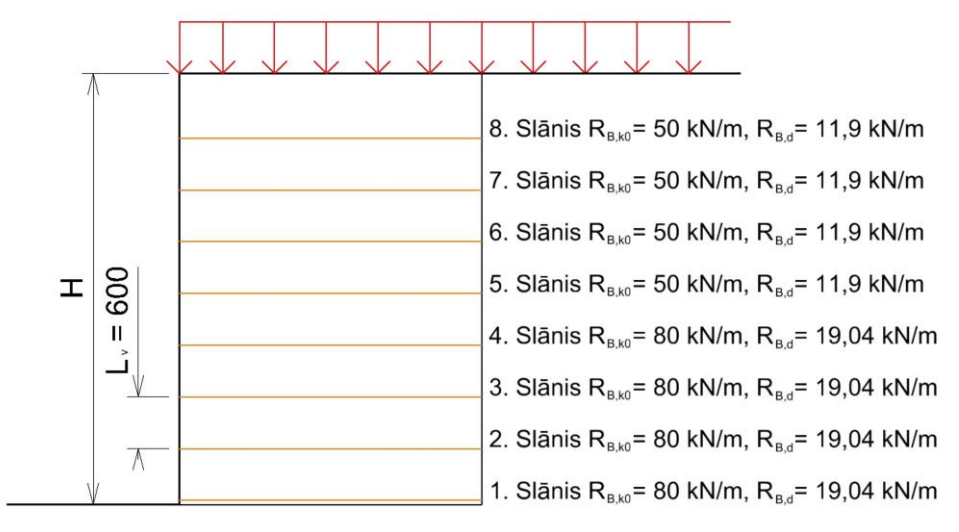
$$R_{B,d} = \frac{R_{B,k0}}{2.5 \cdot 1.2 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.4} = \frac{R_{B,k0}}{4.2}$$

Astoņi ģeosintētiskā stiegrojuma slāņi ar nemainīgu biezumu 0,3 ≤ l_v = 0,6 m ≤ 0,6 m.

- 4 slāņi ar ģeosintētisko materiālu 80 kN/m (apakšā) un aprēķina stiprību $R_{b,d}$ = 19,04 kN/m;
- 4 slāņi ar ģeosintētisko materiālu 50 kN/m (augšā) un aprēķina stiprību $R_{b,d}$ = 11,90 kN/m.

Izvietojums un stiegrojuma veidi ir parādīti turpmāk:

Attēls 5-27. Stiegrojuma novietojums



1. slīdplakne: ϑ = 40°

Grunts spiediena aprēķinam nepieciešamie koeficienti tiek noteikti sekojoši:

$$\varphi_{1,d} = 29.25°;\ \delta_{1,d} = 2/3 \cdot \varphi_{1,d} = 19.5°;\ \alpha = 0°;\ \beta = 0°$$
$$k_{ah,d} = 0.29$$

$$G_{d(40°)} = 0.5 \cdot 20 \cdot 3.5 \cdot 2.94 + 20 \cdot 3.5 \cdot 2.06 = 247.1\ \text{kN/m}$$

$$P_{v,d(40°)} = 15.6 \cdot 3.5 = 54.6\ \text{kN/m}$$

$$E_{gh,d(40°)} = 0.5 \cdot 20 \cdot 0.29 \cdot (2.06)^2 = 12.31\ \text{kN/m}$$

$$E_{gv,d(40°)} = 12.31 \cdot \tan 19.5° = 4.36\ \text{kN/m}$$

$$E_{ph,d(40°)} = 0.29 \cdot 2.06 \cdot 15.6 = 9.32\ \text{kN/m}$$

$$E_{pv,d(40°)} = 9.32 \cdot \tan 19.5° = 3.3\ \text{kN/m}$$

$$E_{h,d(40°)} = 12.31 + 9.32 = 21.63\ \text{kN/m}$$

$$E_{v,d(40°)} = 4.36 + 3.3 = 7.66\ \text{kN/m}$$

$$\Sigma F_{(40°)} = (247.1 + 54.6 + 7.66) \cdot \tan(40° - 29.25°) + 21.63 = 80.36\ \text{kN/m}$$

Lielākā daļa no noturošajiem spēkiem tiek noteikti, kā summa no visu stiegrojuma slāņu pretestības vērtībām (ņemot vērā katra slāņa izraušanas stiprību).

Stiegrojuma elementu pārraušana un izraušanas stiprība jānosaka katram slānim no stiprības viedokļa.

$$\Sigma E_{i,d(\vartheta)} \leq \min (\Sigma R_{Bi,d}; \Sigma R_{Ai,d}).$$

Aprēķina vērtības katram slānim tiek izvēlēta kā mazākā:

$$R_{Ai,d} = 2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{Ai} \cdot (f_{sg,k}/\gamma_B)$$

$$f_{sg,k} = 0.8 \cdot \tan \varphi_{v,k}$$

$$\begin{aligned} R_{Ai,d} &= 2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{Ai} \cdot (f_{sg,k}/\gamma_B) \text{ with weighted } f_{sg,k} = 0.8 \cdot \tan \varphi_{v,k} \\ &= 2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{Ai} \cdot (0.8 \cdot \tan 35°/1.4) \\ &= 2 \cdot 20 \cdot h_i \cdot L_{Ai} \cdot (0.8 \cdot \tan 35°/1.4) \\ &= 16 \cdot h_i \cdot L_{Ai} \end{aligned}$$

vai

$$R_{B,d} = \frac{R_{B,k0}}{4.2}.$$

Tabula 5-10. Analīze pa slāņiem pie $\vartheta = 40°$

ϑ = 40°	**$R_{B,d}$ [kN/m]**	**$R_{Ai,d}$ [kN/m]**	**Stiprība [kN/m]**
1. kārta	19,04	280	19,04
2. kārta	19,04	195,7	19,04
3. kārta	19,04	125,85	19,04
4. kārta	19,04	69,376	19,04
5. kārta	11,90	26,62	11,90
		$\sum R_{d,i}$ =	88,06 kN/m

$\Sigma F_i = 80.36$ kN/m $< \Sigma R_{d,i} = 88.06$ kN/m.

Pārbaude izpildās!

Case 2: $\vartheta = 45° + \varphi/2$

$$\vartheta = 45° + 29.25°/2 = 59.62°$$

$$G_{d(59.62°)} = 0.5 \cdot 20 \cdot 5 \cdot 2.931 = 146.55 \text{ kN/m}$$

$$P_{(\vartheta)} = 15.6 \cdot 2.931 = 45.72 \text{ kN/m}$$

$$F_{d(\vartheta)} = (G_{(\vartheta)} + P_{(\vartheta)}) \cdot \tan \cdot (\vartheta - \varphi) = (146.55 + 45.72) \cdot \tan (59.62° - 29.25°) = 112.67 \text{ kN/m}$$

Tabula 5-11. Analīze pa slāņiem pie $\vartheta = 59{,}62°$

ϑ = 40°	$R_{B,d}$ [kN/m]	$R_{Ai,d}$ [kN/m]	Stiprība [kN/m]
1. kārta	19,04	280,0	19,04
2. kārta	19,04	221,76	19,04
3. kārta	19,04	170,24	19,04
4. kārta	19,04	125	19,04
5. kārta	11,90	87	11,90
6. kārta	11,90	55,68	11,90
7. kārta	11,90	31,14	11,90
8. kārta	11,9	13,31	11,9
		$\sum R_{d,I}$ =	123,76 kN/m

$$\Sigma F_i = 112.67 \text{ kN/m} < \Sigma R_{d,i} = 123.76 \text{ kN/m}.$$

Pārbaude izpildās!

Daļēji deformējamo fasādes elementu izpēte. Grunts spiediena koeficientu noteikšana STR robežstāvoklim:

$$\varphi_{1,k} = 35°;\ \delta_{1,k} = 2/3 \cdot \varphi_{1,k} = 23.33°, \text{ assuming that: } \alpha = 0°;\ \beta = 0°,$$

$$K_{agh,k} = K_{aqh,k} = 0.224.$$

$$e_{facing} = \eta_g \cdot K_{agh,k} \cdot \gamma_k \cdot H_i \cdot \gamma_G + \eta_q \cdot K_{aqh,k} \cdot q \cdot \gamma_Q$$
$$E_{facing} = e_{facing} \cdot l_v$$

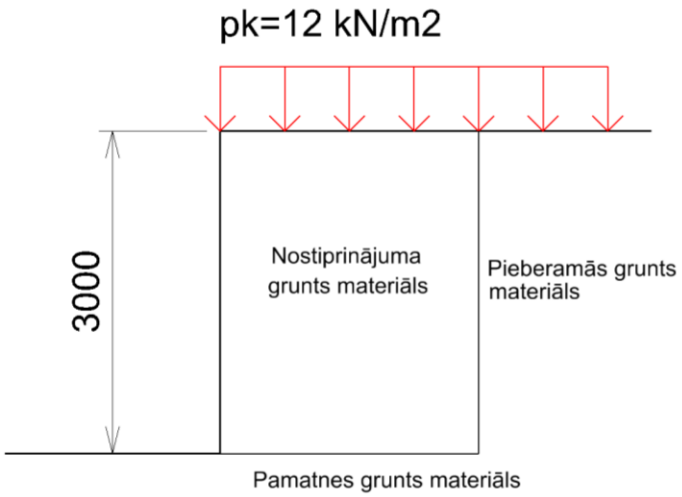
Tabula 5-12. Fasādes elementu analīze

	Z_i [m]	H_i [m]	g	q	l_v [m]	$E_{fasāde}$ [kN/m]	$R_{Bi,d}$ vai $R_{Ai,d} \geq E_{fasāde}$
1. kārta	5,0	4,7	0,7	1,0	0,6	14,38	19,04
2. kārta	4,4	4,1	0,7	1,0	0,6	12,86	19,04
3. kārta	3,8	3,5	0,7	1,0	0,6	11,33	19,04
4. kārta	3,2	2,9	0,7	1,0	0,6	9,80	19,04
5. kārta	2,6	2,3	0,7	1,0	0,6	8,28	11,90
6. kārta	2,0	1,7	1,0	1,0	0,6	8,60	11,90
7. kārta	1,4	1,1	1,0	1,0	0,6	6,42	11,90
8. kārta	0,8	0,4	1,0	1,0	0,8	5,20	11,90

5.4.2 Otrais aprēķina piemērs (b) uzbēruma augstums 3m

Katram aprēķina posmam pievienotas lietotās formulas un to apzīmējumu atšifrējumi. Tabulas un skaidrojumi, kas dublējas ar pirmo piemēru netiek parādīti.

Attēls 5-28. Ģeometriskie izmēri, grunts parametri un pieņemtās slodzes [40]



Piemēra grunts parametri:

Tabula 5-13. Apkopoti grunts raksturlielumi

Grunts materiāls	**Slānis** **x**	**Tilpumsvars** **γ x,k** **[kN/m3]**	**Iekšējās berzes leņķis** **φ x,k** **[°]**	**Saiste** **cx,k** **[kN/m2]**
Nostiprinājuma grunts materiāls	1	20	35	0
Pamatnes materiāls	2	21	30	0
Pieberamais materiāls	3	19	30	0

Stiegrojuma garums tiek pieņemts ap 70 % no konstrukcijas augstuma. Ja netiek sasniegta nepieciešamā grunts nestspēja stiegrojuma platums var tikt paplašināts.

$$B = 0.7 \cdot 3\ \text{m} = 2.4\ \text{m} \qquad [5.123]$$

Tālākie aprēķini veikti lietojot šo stiegrojuma garumu. Raksturīgo slodžu noteikšana. [40]

$$K_{agh} = \left[\frac{\cos(\varphi - \alpha)}{\cos\alpha \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta_a) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha - \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta_a)}}\right)} \right]^2$$

$$\varphi_{3,k} = 30°;\ \delta_{3,k} = 2/3 \cdot \varphi_{3,k} = 20°;\ \alpha = 0°;\ \beta = 0°$$

$$K_{ah,k} = \frac{\cos^2(30°)}{\left[1+\sqrt{\frac{\sin(30°+20°)\cdot\sin 30°}{\cos 20°}}\right]^2} = 0.279 \qquad [5.124]$$

Raksturīgās grunts spiediena vērtības tiek noteiktas sekojoši:

$$E_{agh,k}=0,5 * K_{ah.k} * \gamma_{3,k} * H^2 = 0,5 * 0,279 * 19 * 3^2 = 23,85 \text{ kN/m}$$
$$E_{agv,k}= E_{agh,k} * \tan(\delta - \alpha) = 23,85 * \tan 20° = 8,68 \text{ kN/m} \qquad [5.125]$$

Raksturīgās papildus grunts spiediena vērtības no izkliedētas slodzes tiek noteiktas sekojoši:

$$E_{aph,k}= K_{ah.k} * p_k * H = 0,279 * 12 * 3 = 10,04 \text{ kN/m}$$
$$E_{apv,k}= E_{aph,k} * \tan(\delta - \alpha) = 10,04 * \tan 20° = 3,65 \text{ kN/m} \qquad [5.126]$$

Raksturīgā slodze konstrukcijas pašsvaram tiek noteikta:

$$G_k = H * B * \gamma_{I,k} = 3 * 2,4 * 20 = 144 \text{ kN/m} \qquad [5.127]$$

Raksturīgā slodze izkliedētajai slodzei tiek noteikta:

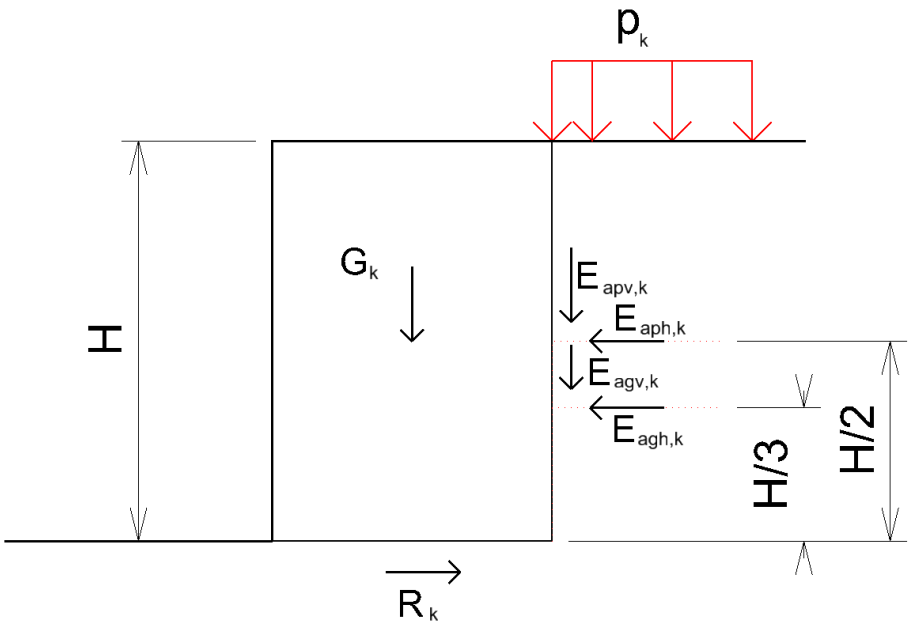
$$P_k = B * p_k = 2,4 * 12 = 28,8 \text{ kN/m} \qquad [5.128]$$

Stiprības robežstāvokļa (ULS) analīze

Noslīdēšanas pārbaudes veikšanai tiek pieņemts, ka apakšējais stiegrojuma slānis atrodas uz konstrukcijas pamatnes. Tas nozīmē - zemākā iekšējā berzes leņķa vērtība virs ($\varphi_{1,k\ virs}$) un zem ($\varphi_{2,k\ zem}$) stiegrojuma tiek pieņemta kā $\varphi_{k,regulējošā}$.

Raksturīgo iekšējo berzes koeficientu starp stiegrojumu un pamatni nosaka $f_{sg,k} = \tan\delta_{s,k} = \lambda \cdot \tan \phi_k$, regulējošā. Šajā piemērā tiek pieņemts $\lambda = 0,8$ (vērtība iegūta no testēšanas rezultātiem). Mainīgā piepūle tiek pieņemta ar konservatīvu vērtību konstrukcijas noslīdēšanas analīzei.

Attēls 5-29. Ģeometriskie izmēri un pieņemtās slodzes noslīdēšanas pārbaudei



Tiek noteiktas aprēķina piepūles:

$$N_{G,k} = E_{agv,k} + G_k = 8,68 + 144 = 152,68 \text{ kN/m}$$
$$N_{Q,k} = E_{apv,k} = 3,65 \text{ kN/m}$$
$$T_{G,k} = E_{agh,k} = 23,85 \text{ kN/m}$$
$$T_{Q,k} = E_{aph,k} = 10,04 \text{ kN/m} \quad [5.129]$$

Pielietotie drošības koeficienti no DIN 1054 tiek iegūtas aprēķina vērtības:

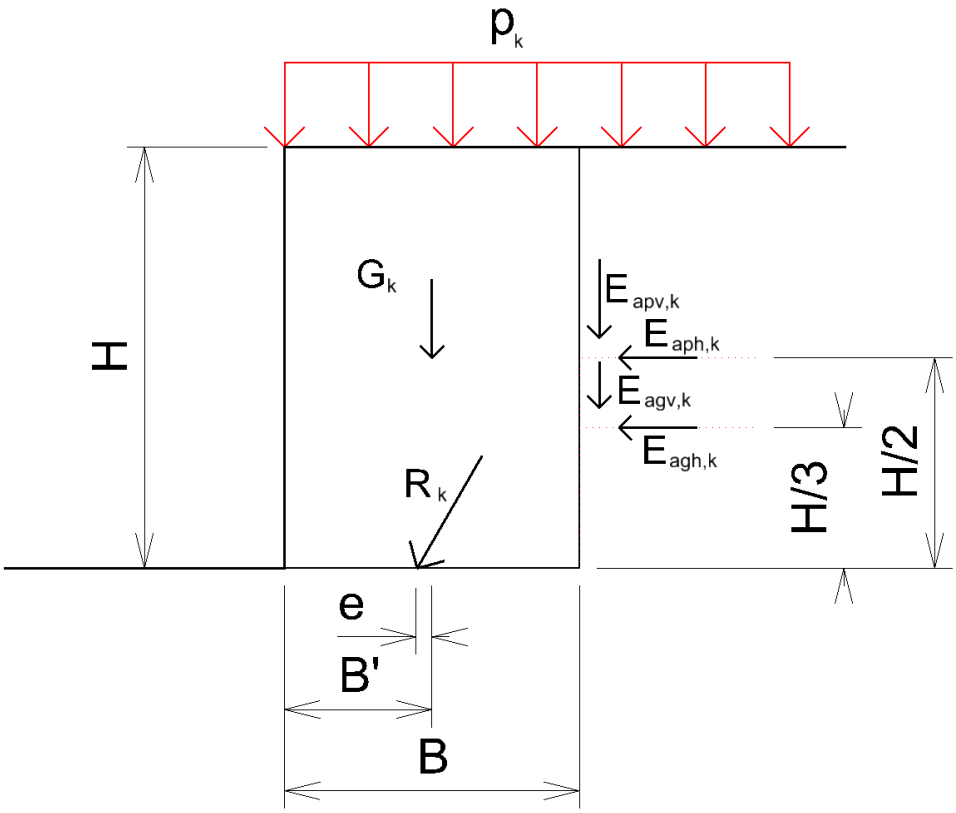
$$T_d = 23,85 * 1,35 + 10,04 * 1,5 = 47,26 \text{ kN/m}$$
$$R_{t,d} = (N_{G,k} + N_{Q,k}) * \lambda * \tan \delta_{s,k} / \gamma_{GL} = (152,68 + 3,65) * 0,8 * \tan 30°/1,1 = 65,64 \text{ kN/m} \quad [5.130]$$
$$T_d = 47,26 \leq R_{t,d} = 65,64 \text{ kN/m}$$

Veicot pārbaudes tiek noteikts utilizācijas koeficients μ = 72%, kas ir atbilstošs konstrukcijas drošumam:

$$\mu = \frac{T_d}{R_{t,d}} = \frac{47,26}{65,64} = 0,72 \quad [5.131]$$

Rezultējošā spēka novietojums no grunts nestspējas

Attēls 5-30. *Pieliktās piepūles, lai noteiktu rezultējošo spēku*



Spēka moments ap vidējo punktu no mainīgajām slodžu komponentēm:

$$M_k = \left(E_{agh,k} * \frac{H}{3}\right) + \left(E_{aph,k} * \frac{H}{2}\right) - \left(E_{agv,k} * \frac{B}{2}\right) - \left(E_{agv,k} * \frac{B}{2}\right) = \left(23{,}85 * \frac{3}{3}\right) + \left(10{,}04 * \frac{3}{2}\right) - \left(8{,}68 * \frac{2{,}4}{2}\right) - \left(3{,}65 * \frac{2{,}4}{2}\right) = 24{,}12\text{kNm/m} \quad [5.132]$$

Vertikālās (kopējās) slodzes:

$$N_{G,k} + N_{Q,k} = 144 + 28{,}8 + 8{,}68 + 3{,}65 = 185{,}13\ \text{kN/m} \quad [5.133]$$

Spēka moments ap vidējo punktu no pastāvīgajām slodžu komponentēm:

$$M_k = \left(E_{agh,k} * \frac{H}{3}\right) - \left(E_{agv,k} * \frac{B}{2}\right) = \left(23{,}85 * \frac{3}{3}\right) - \left(8{,}68 * \frac{2{,}4}{2}\right) = 13{,}43\text{kNm/m} \quad [5.134]$$

Vertikālās pastāvīgās slodzes:

$$R_{n,k} = a' \cdot b' \cdot (c_{2,k} \cdot N_{c0} \cdot \nu_c \cdot i_c \cdot \lambda_c \cdot \xi_c + \gamma_{2,k} \cdot d \cdot N_{d0} \cdot \nu_d \cdot i_d \cdot \lambda_d \cdot \xi_d + \gamma_{2,k} \cdot b' \cdot N_{b0} \cdot \nu_b \cdot i_b \cdot \lambda_b \cdot \xi_b) \quad [5.136]$$

$$N_{G,k} = 144 + 8{,}68 = 152{,}68\text{kN/m}$$

Pārbaude, vai rezultējošais spēks saglabājas 1/3 no pamata pēdas centra. Ar šo nosaka ekscentritātes lielumu:

$$e = \frac{M_k}{N_k} = \frac{24{,}12}{185{,}13} = 0{,}130 < \frac{b}{3} = \frac{2{,}4}{3} = 0{,}8m \quad [5.137]$$

Pārbaude izpildās!

Grunts nestspējas aprēķins.Grunts nestspēja tiek nodrošināta, ja izpildās sekojošā sakarība:

$$N_d \le R_{n,d} = R_{n,k} / \gamma_{Gr} \quad [5.138]$$

Kur,

Nd	*aprēķina vertikālā slodze, kas pielikta pamata pēdas līmenī*
Rn,d	*grunts nestspējas aprēķina vērtība*
Rn,k	*grunts nestspējas raksturojošā vērtība*
γGr	*grunts nestspējas drošības koeficients*

Grunts nestspējas raksturojošā vērtība tiek noteikta atbilstoši sakarībai:

Tā kā tiek aprēķināta lentveida pamata nestspēja vienādojumu iespējams vienkāršot:

$$R_{n,k} = b' \cdot (\gamma_{2,k} \cdot b' \cdot N_{b0} \cdot i_b) \quad [5.139]$$

Nosakot nepieciešamos koeficientus:

$$N_{d0} = e^{\Pi \cdot \tan \varphi_{2,k}} \cdot \tan^2\left(45 + \frac{\varphi_{2,k}}{2}\right) = e^{\Pi \cdot \tan 30} \cdot \tan^2\left(45 + \frac{30}{2}\right) = 18.4 \quad [5.140]$$

$$N_{b0} = (N_{d0} - 1) \cdot \tan \varphi_{2,k} = (18.4 - 1) \tan 30° = 10.05 \quad [5.141]$$

m=2

$$i_b = (1 - \tan \delta)^{m+1} \quad [5.142]$$

$$tan\delta = \frac{T_k}{N_k} = \frac{23{,}85 + 10{,}04}{185{,}13} = 0{,}183 \quad [5.143]$$

$i_b=(1-0{,}183)^{2+1}=0{,}545$ [5.144]

$N_b=N_{b0} * i_b=10{,}05 * 0{,}545 = 5{,}48$ [5.145]

Ekvivalentais platums ņemot vērā ekscentritāti:

b'=B - 2 * e = 2,4 - 2 * 0,130 = 1,84 m [5.146]

$R_{n,k}$ = 1,84 * 21 * 1,84 * 10,05 * 0,545 = 389,41 kN/m [5.147]

$R_{n,d} = R_{n,k} / \gamma_{Gr} = 333,79 / 1,4 = 278,15$ kN/m [5.148]

$N_d = N_{G,k} * \gamma_G + N_{Q,k} * \gamma_Q = 152,68* 1,35 + 28,8*1,5 = 249,32$ kN/m [5.149]

$N_d = 249,32 < R_{n,d} = 278,15$ [5.150]

Pārbaude izpildās un utilizācijas koeficients ir 89 %:

$$\mu = \frac{N_d}{R_{n,d}} = \frac{249,32}{278,15} = 0,89 \quad [5.151]$$

Nogāzes stabilitātes atteice

Slodzes un tām atbilstošie drošības koeficienti:

Pastāvīgās slodzes	γ_G=1.0
Nelabvēlīgās mainīgās slodzes	γ_Q=1.3

Nestspēju regulējošies drošības koeficienti:

Iekšējās berzes leņķis	γ_φ=1.25
Kohēzija/Saiste	γ_c=1.25
Elastīgo stiegrojošo elementu izraušanas stiprība	γ_B=1.4

Aprēķina piepūles mainīgām slodzēm:

$$p_d = p_k \cdot \gamma_Q = 12 \cdot 1.3 = 15.6 \text{ kN/m}^2$$

Aprēķina piepūles:

Iekšējās berzes leņķis	Saiste/Kohēzija	Aprēķina vērtība tilpumsvaram:
$\tan \varphi_{i,d} = (\tan \varphi_{i,k})/\gamma_\varphi$ $\varphi_{i,d} = \arctan[(\tan \varphi_{i,k})/\gamma_\varphi]$	$c_{i,d} = c_{i,k}/\gamma_c$	$\gamma_{i,d} = \gamma_{i,k} \cdot \gamma_G$

Aprēķina vērtības grunts parametriem tiek ņemtas no sekojošas tabulas:

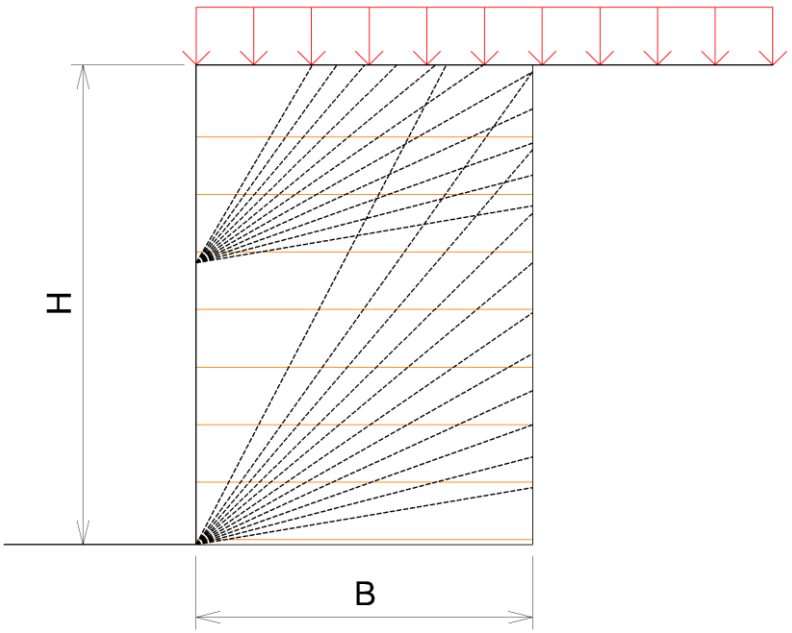
Tabula 5-14. Aprēķina vērtības lietojot drošības koeficientus atbilstoši DIN 1054

	$\varphi_{i,d}$ [°]	**$C_{i,d}$ [kN/m2]**	**$\gamma_{i,d}$ [kN/m3]**
Nostiprinājuma grunts materiāls	29,25	0	20
Pamatnes materiāls	24,79	0	18
Pieberamais materiāls	24,79	0	19

Piemērā tiek aplūkotas dažādas slīd-plaknes. Slīd-plaknes tiek analizētas lietojot vairākus ϑ leņķus, sākot no konstrukcijas apakšējā kreisā punkta - "purngala". Slīd-

plaknes šķērso visu atbalstsienu konstrukciju ieskaitot stiegrotos slāņus. Visā pastiprinātajā konstrukcijā līdz armatūras uzbēruma pusei un pēc tam virzienā uz virsmu. Visi (darbojošie) mobilizētie spēki tiek salīdzināti ar stiegrojuma (pretošanās) stiprības spēkiem.

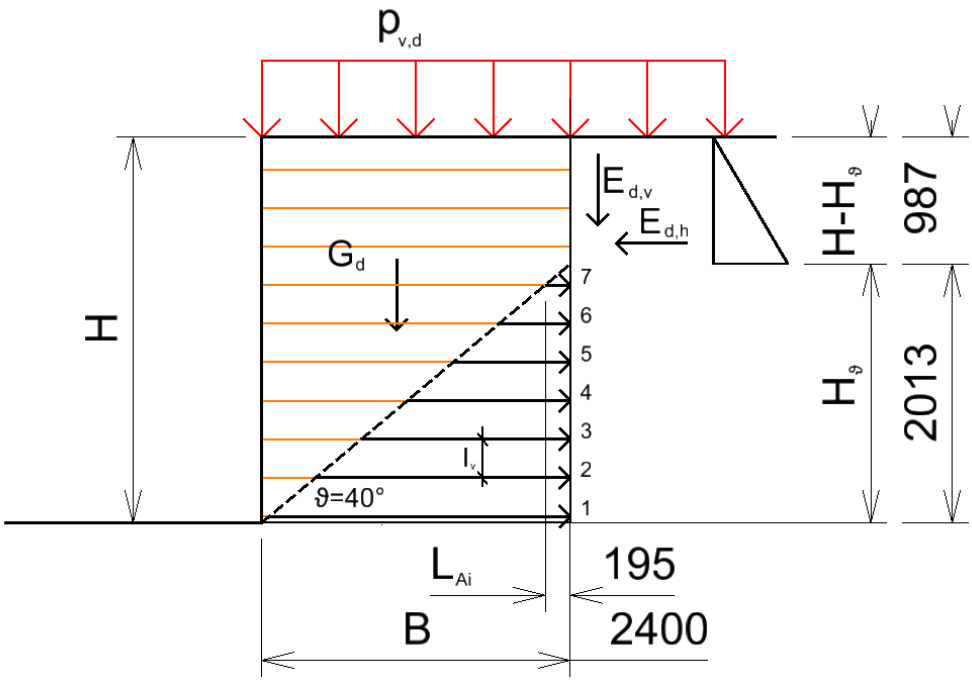
Attēls 5-31. Slīd-plaknes piemērs



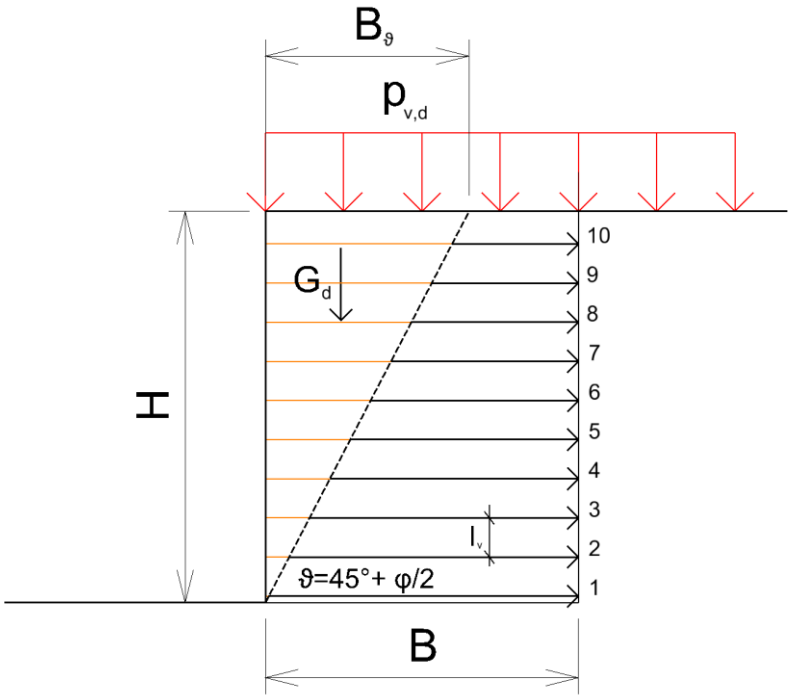
Sekojošās atteices sistēmas, kas šķērso konstrukciju leņķos ϑ=40° un ϑ=45°+ φ/ 2 tiek aplūkotas lietojot pastāvīgas un īslaicīgas slodzes.

Piepūļu izvietojums atbilstoši slīd-plaknes novietojumam (attēlos tālāk).

Attēls 5-32. Slīdplakne Nr.1: ϑ = 40°



Attēls 5-33. Slīdplakne Nr. 2: ϑ = 40°+φ/2



Piepūles tiek noteiktas:

$$\Sigma F_{d(\vartheta)} = (G_{d(\vartheta)} + P_{v,d(\vartheta)} + E_{v,d(\vartheta)}) \cdot \tan(\vartheta - \varphi_{1,d}) + E_{h,d(\vartheta)}, \quad [5.152]$$

kur:

$$G_{d(\vartheta)} = ½ \cdot \gamma_{1,d} \cdot B_{(\vartheta)} \cdot H_{(\vartheta)} + \gamma_{1,d} \cdot B_{(\vartheta)} \cdot (H - H_{\vartheta}) \quad [5.153]$$

$$P_{v,d(\vartheta)} = p_{v,d} \cdot B_{(\vartheta)} \quad [5.154]$$

$$E_{gh,d(\vartheta)} = ½ \cdot \gamma_{v,d} \cdot k_{ah,g,d} \cdot (H - H_{\vartheta})^2 \quad [5.155]$$

$$E_{gv,d(\vartheta)} = E_{gh,d(\vartheta)} \cdot \tan(\delta - \alpha) \quad [5.156]$$

$$E_{ph,d(\vartheta)} = k_{ah,p,d} \cdot (H - H_{\vartheta}) \cdot p_{v,d} \quad [5.157]$$

$$E_{pvd(\vartheta)} = E_{phd(\vartheta)} \cdot \tan(\delta - \alpha) \quad [5.158]$$

$$E_{h,d(\vartheta)} = E_{gh,d(\vartheta)} + E_{ph,d(\vartheta)} \quad [5.159]$$

$$E_{v,d(\vartheta)} = E_{gv,d(\vartheta)} + E_{pv,d(\vartheta)}. \quad [5.160]$$

Aprēķina pieņēmumi ģeosintētiskajam materiālam:

Tiek pieņemts ģeotekstils ar sekojošiem parametriem.

$A_1 = 2.5; A_2 = 1.2$ and $A_3 = A_4 = A_5 = 1.0$.

(Samazinošais koeficienti ir specifiski produktam, un tie ir jāizpēta atsevišķi).

Armējošā slāņa aprēķina stiprības noteikšana i slānim (ar drošības koeficientu γ_M =1.4):

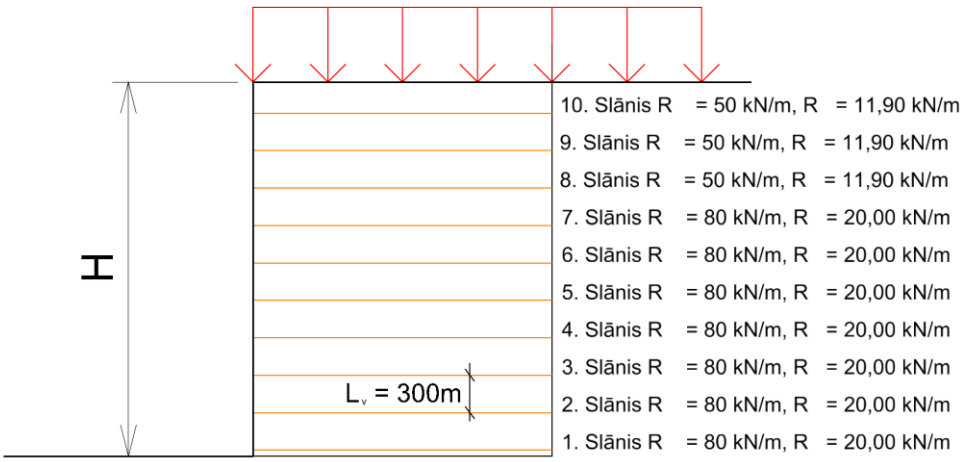
$$R_{B,d} = \frac{R_{B,k0}}{2.5 \cdot 1.2 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.4} = \frac{R_{B,k0}}{4.2} \quad [5.161]$$

Astoņi ģeosintētiskā stiegrojuma slāņi ar nemainīgu biezumu 0,3 ≤l_v = 0,6 m ≤ 0,6 m.

- 7 slāņi ar ģeosintētisko materiālu 80 kN/m (apakšā) un aprēķina stiprību Rb,d=20 kN/m
- 3 slāņi ar ģeosintētisko materiālu 50 kN/m (augšā) un aprēķina stiprību Rb,d=11,90 kN/m

Izvietojums un stiegrojuma veidi ir parādīti zemāk:

Attēls 5-34. Stiegrojuma novietojums



Slīdplakne Nr.1: ϑ = 40°

Grunts spiediena aprēķinam nepieciešamie koeficienti tiek noteikti sekojoši:

$$\varphi_{1,d} = 29.25°;\ \delta_{1,d} = 2/3 \cdot \varphi_{1,d} = 19.5°;\ \alpha = 0°;\ \beta = 0°$$
$$k_{ah,d} = 0.29$$

$G_{d(40°)}$=0,5*20*2,4*2,013+20*2,4*0,987=95,69 kN/m

$P_{v,d(40°)}$=12*1,3*2,4=37,44 kN/m

$E_{gh,d(40°)}$=0,5*20*0,29*(0,987)^2=2,83 kN/m

$E_{gv,d(40°)}$=2,83*tan19,5° = 1,00 kN/m

$E_{ph,d(40°)}$=0,29*0,987*15,6= 4,46 kN/m

$E_{pv,d(40°)}$=4,46*tan19,5° = 1,58 kN/m

$E_{h,d(40°)}$=2,83+4,46=7,29 kN/m

$E_{v,d(40°)}$=1,00+1,58= 2,58kN/m

$\sum F_{(40°)}$= 95,69 + 37,44 + 2,58 = 135,71 kN/m

Lielākā daļa no noturošajiem spēkiem tiek noteikta kā summa no visu stiegrojuma slāņu pretestības vērtībām (ņemot vērā katra slāņa izraušanas pretestību).

Stiegrojuma elementu pārraušana un izraušanas stiprība jānosaka katram slānim no stiprības viedokļa.

$$\Sigma E_{i,d(\vartheta)} \leq \min (\Sigma R_{Bi,d}; \Sigma R_{Ai,d}). \quad [5.162]$$

Aprēķina vērtības priekš katra slāņa tiek izvēlēta kā mazākā:

$$R_{Ai,d} = 2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{Ai} \cdot (f_{sg,k}/\gamma_B) \quad [5.163]$$

$$f_{sg,k} = 0.8 \cdot \tan \varphi_{v,k} \quad [5.164]$$

$R_{Ai,d}$=2 * 20 * h_i * L_{Ai} * (0,8*tan35° / 1,4)=

= 40* h_i * L_{Ai} * 0,4=

= 16 * h_i * L_{Ai}

vai

$$R_{B,d} = \frac{R_{B,k0}}{4.2}.$$

Tabula 5-15. Analīze pa slāņiem priekš ϑ=40°

ϑ=40°	**Pārraušanas analīze $R_{B,d}$ [kN/m]**	**Izraušanas analīze $R_{Ai,d}$ [kN/m]**	**Ierobežojoša vērtība [kN/m]**
Slānis Nr.1	20	16*3*2,4=115,2	20
Slānis Nr.2	20	16*2,7*2,042=88,21	20
Slānis Nr.3	20	16*1,685*2,4=64,70	20
Slānis Nr.4	20	16*1,327*2,1=44,58	20
Slānis Nr.5	20	16*0,97*1,8=27,94	20
Slānis Nr.6	20	16*0,612*1,5=14,69	20
Slānis Nr.7	20	16*0,255*1,2=4,90	20
		$\sum R_{d,I}$ =	140 kN/m

	$\sum F_{(40°)}$= 135,71 kN/m < $\sum R_{d,i}$ = 140 kN/m	

Pārbaude izpildās!

Slīdplakne Nr.1: ϑ = 45°+φ/2

	$\vartheta = 45° + \varphi/2 = 45° + 29{,}25° / 2 = 59{,}62°$	[5.165]
	$G_{d(59,62°)}$=0,5*20*3*=95,69 kN/m	
	$P_{(\vartheta)}$=12*1,3*1,759=27,44 kN/m	
	$F_{d(\vartheta)} = (G_{(\vartheta)} + P_{(\vartheta)}) * \tan(\vartheta - \varphi') =$ $= (95{,}69 + 27{,}44) * \tan(59{,}62 - 29{,}25) =$ $= 123{,}13 * 0{,}5860 = 72{,}15$ kN/m	[5.166]

Tabula 5-16. Analīze pa slāņiem priekš ϑ=59,62°

ϑ=40°	**$R_{B,d}$ [kN/m]**	**$R_{Ai,d}$ [kN/m]**	**Governing [kN/m]**
Slānis Nr.3	20	16*1,685*2,4=64,70	20
Slānis Nr.4	20	16*1,327*2,1=44,58	20
Slānis Nr.5	20	16*0,97*1,8=27,94	20
Slānis Nr.6	20	16*0,612*1,5=14,69	20
Slānis Nr.7	20	16*0,255*1,2=4,90	20
Slānis Nr.8	11,9	16*0,255*1,2=4,90	11,9
Slānis Nr.9	11,9	16*0,255*1,2=4,90	11,9
Slānis Nr.10	11,9	16*0,255*1,2=4,90	11,9
		$\sum R_{d,i}$ =	175,7 kN/m

	$\sum F_i$= 72,15 kN/m < $\sum R_{d,i}$ = 175,7 kN/m	

Pārbaude izpildās!

Daļēji deformējamo fasādes elementu izpēte

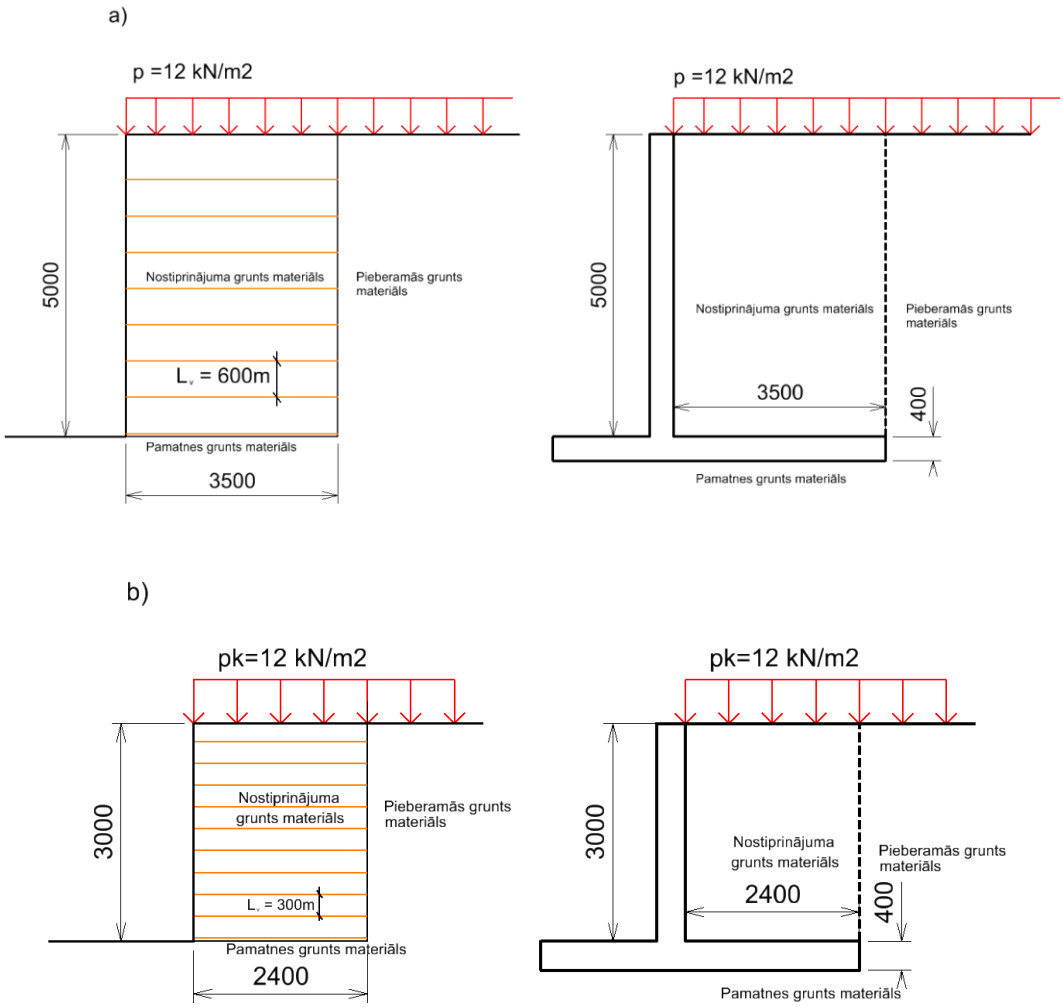
Tabula 5-17. Grunts spiediena koeficientu noteikšana STR robežstāvoklim

	$\varphi_{1,k} = 35°;\ \delta_{1,k} = 2/3 \cdot \varphi_{1,k} = 23.33°$, assuming that: $\alpha = 0°;\ \beta = 0°$,	
	$K_{agh,k} = K_{aqh,k} = 0.224.$	
	Grunts spiediens uz fasādes elementiem: $e_{facing} = \eta_g \cdot K_{agh,k} \cdot \gamma_k \cdot H_i \cdot \gamma_G + \eta_q \cdot K_{aqh,k} \cdot q \cdot \gamma_Q$ $E_{facing} = e_{facing} \cdot l_v$	[5.167]

Šim piemēram ir lietoti tikai aprēķina stiprība ($R_{Bi,d}$). $R_{Ai,d}$ ir atkarīgs no fasādes izbūves tehnoloģijas (dažādi projekta risinājumi), tāpēc šo lielumu nevar pieņemt kā viennozīmīgu vērtību.

Veicot izmaksu salīdzinājumu tiek aplūkoti četri varianti, divi ar dzelzsbetona atbalstsienas risināju 3 un 5 metru augstumā, otri divi nogāzes pastiprinājumi lietojot ģeosintētiskus materiālus arī 3 un 5 metru augstumam. Piemēri salīdzināšanai aplūkoti no pētījuma [9]. Galvenie izmēri doti attēlā 5-29.

Attēls 5-35. Divi atbalstsienu varianti. a) atbalstsiena 5 m b) atbalstsiena 3 m



Salīdzinājuma nolūkos tiek pieņemts, ka abas atbalstsienas ir 3 un 5 m augstas un 50 m garas. Lietotos apjomus abu atbalstsienu izbūvei skatīt tabulā 5-16 un 5-17.

Tabula 5-18. Dzelzsbetona konstrukcijas izmaksas 3m

Apraksts	Mērvienība	Apjoms	Vienības cena	Kopā
Rakšanas darbi	m3	628	10	6280
Blīvēšanas darbi zem pamata	m2	220	4	880
Atbalstsienas betona daļas izbūve	m3	148	500	74000
Veidņi	m2	120	66	7920
Hidroizolācija	m2	270	10	2700

Apraksts	Mērvienība	Apjoms	Vienības cena	Kopā
Pieberamā grunts	m3	360	30	10800

Tabula 5-19. Dzelzsbetona konstrukcijas izmaksas 5m

Apraksts	Mērvienība	Apjoms	Vienības cena	Kopā
Rakšanas darbi	m3	1010	10	10100
Blīvēšanas darbi zem pamata	m2	275	4	1100
Atbalstsienas betona daļas izbūve	m3	210	500	105000
Veidņi	m2	200	66	13200
Hidroizolācija	m2	425	10	4250
Pieberamā grunts	m3	525	30	15750

Tabula 5-20. Ar ģeosintētiskajiem māteriāliem nostiprināta nogāzes izbūve 3m

Apraksts	Mērvienība	Apjoms	Vienības cena	Kopā
Grunts rakšanas darbi	m3	628	10	6280
Pamata blīvēšana	m2	120	4	480
Ģeotekstila apjoms	m2	1850	6	11100
Ģeotekstila slāņu grunts	m3	360	60	21600
Ģeotekstila slāņu blīvēšana	m2	1200	4	4800
				€ 44,260.00

Tabula 5-21. Ar ģeosintētiskajiem materiāliem nostiprināta nogāzes izbūve 3m

Apraksts	Mērvienība	Apjoms	Vienības cena	Kopā
Grunts rakšanas darbi	m3	1010	10	10100
Pamata blīvēšana	m2	175	4	700
Ģeotekstila apjoms	m2	2040	6	12240
Ģeotekstila slāņu grunts	m3	875	60	52500
Ģeotekstila slāņu blīvēšana	m2	1400	4	5600
				€ 81,140.00

Atbilstoši iegūtajiem datiem atbalstsienas atbalstsiena nostiprināta ar ģeosintētiskajiem materiāliem ir 43-54 % no dzelzsbetona atbalstsienas izmaksām, kas norāda uz finansiālu ieguvumu. Šis aprēķins saskan ar "European Assosiation of Geosynthetic product manufacturers" pieeamajām publikācijām.

5.4.1 Izstrādāto risinājumu tehniski ekonomiskais un ietekmes uz vidi salīdzinājums

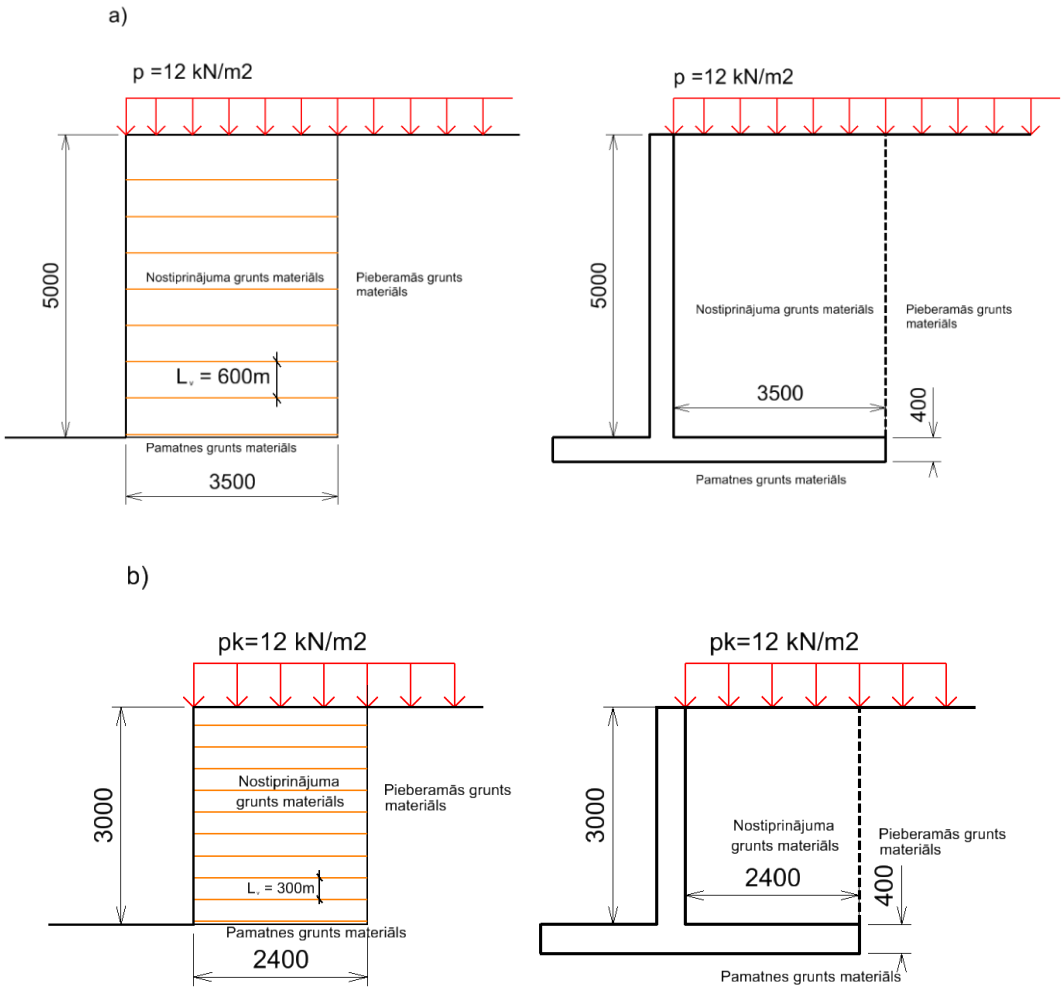
Ietekmei uz vidi novērtējumā izmantotas ģeosintētikas ražotāju sniegtās izstrādājumu vides deklarācijas, pētījuma "Inventory of Carbon and Energy (ICE)" [56] un Rokasgrāmatas 1.5 nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

5.4.1.1 Mērķis

Aprēķina piemēra LCA mērķis ir salīdzināt divu līdzvērtīgu (pēc nestspējas un/vai funkcionalitātes) konstrukciju (aprēķiniem pieņemtās konstrukcijas skatīt iepriekš) būvniecības procesa CO_2 ekv. radītās emisijas, lai kopsakarībā ar šo risinājumu potenciālajām izmaksām, pamatotu projektam piemērotāko risinājumu.

5.4.1.2 Funkcionālā vienība

50 m gara atbalstsiena, augstums 5 un 3 metri, platums 3,5 un 2,4 metri, ar izkliedētu slodzi q=12 kN/m2. Tiek pieņemts, ka konstrukciju nestspēja un kalpošanas laiks ir vienāds attiecīgi uzrādītajiem tehniskajiem risinājumiem. Sagatavošanās darbi un rakšanas darbi abām konstrukcijām ir līdzīgi un netiek iekļauti aprēķinā.



5.4.1.3 Tvērums

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" (cradle-to-site) iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

5.4.1.4 Dzīves cikla inventarizācija (LCI)

Dati par ģeosintētisko materiālu ražošanu un iebūvi iegūti no materiālu vides deklarācijām. Apskatu divu dažādu ražotāju deklarācijas (Nr. EPD-Naue-062/2-EN un EPD-TENSAR-166-EN). Dati par ražošanu pieejami abās vides deklarācijās un tālākam aprēķinam tiek izmantota lielākā vērtība 3,72 kg CO_2 ekv. uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu (GWP-total). Dati par iebūvi pieejami tikai divās no apskatītajām vides deklarācijām. Izmantojam lielāko no divām vērtībām – 0,144 kg CO_2 ekv. uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu (GWP-total).

Par ģeosintētisko materiālu transportēšanas attālumu atbilstoši 1.5 nodaļā aprakstītajam pieņemti 2000 km. Pieņemts, ka ģeosintētiskos materiālus ved pilnās kravās, un pilnā kravā var iekraut 10 t. Degvielas patēriņš 30 l / 100 km.

Pieņemts, ka minerālmateriālu nepieciešams vest no atradnes 25 km attālumā no būvobjekta. Lai aprēķinātu minerālmateriāla piegādes CO_2 ekv pieņemts, ka vienas piegādes ilgums ir 1,5 h.

Tiek uzskatīts, ka ģeosintētiskie materiāli tiks iebūvēti ar rokām. Grunts materiālu iestrādei tiks izmantots buldozers, kas izlīdzinās atvesto materiālu, kas profilēs izlīdzināto materiālu, un veltnis, kas materiāla kārtu blietēs.

Tabula 5-22. Izejas dati CO_2 ekv. aprēķinam projekta risinājumam bez ģeosintētikas (a) 3m

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3 nodaļai
Vienas grunts kravas transportēšnas laiks (h)	1.5	Pieņemta vērtība (50 km kopējam attālumam, turp - atpakaļ)
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	10000	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1kg)	0.0052	Inventory of Carbon and Energy (ICE)
Veidņu vidējais svars (kg/m2)	84	Pieņemta vērtība
Betona tilpumsvars (kg/m3)	2500	Pieņemta vērtība
Betona iebūve (m3)	148	Noteikts izstrādājot risinājumu
Veidņu izbūve (m2)	120	Noteikts izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1kg)	0.198	Inventory of Carbon and Energy (ICE)
Iebūves CO_2 ekv. (kg)/1kg)	0.186	Materiāla vides deklarācija MD-21017-EN
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg)/1l	3.24	DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES

Tabula 5-23. CO_2 ekv. aprēķins projekta risinājumam bez ģeosintētikas (a) 3m

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO_2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Betona iebūve	370000	0.198	73260.000	0.01	2247.750	0	0.000	75508
autotransports (20t ietilpība)				0.01				
Veidņu iebūve	10080	0	0	0.00486	48.989	0	0.000	49
autotransports (25t ietilpība)				0.00486				
						PAVISAM KOPĀ:		75557

Tabula 5-24. Izejas dati CO_2 ekv. aprēķinam projekta risinājumam bez ģeosintētikas (a) 5m

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3 nodaļai
Vienas grunts kravas transportēšnas laiks (h)	1.5	Pieņemta vērtība (50 km kopējam attālumam, turp - atpakaļ)
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	10000	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1kg)	0.0052	Inventory of Carbon and Energy (ICE)
Veidņu vidējais svars (kg/m2)	84	Pieņemta vērtība
Betona tilpumsvars (kg/m3)	2500	Pieņemta vērtība
Betona iebūve (m3)	210	Noteikts izstrādājot risinājumu
Veidņu izbūve (m2)	200	Noteikts izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1kg)	0.198	Inventory of Carbon and Energy (ICE)
Iebūves CO_2 ekv. (kg)/1kg)	0.186	Materiāla vides deklarācija MD-21017-EN
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg)/1l	3.24	DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES

Tabula 5-25. CO_2 ekv. aprēķins projekta risinājumam bez ģeosintētikas (a) 5m

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO_2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Betona iebūve	525000	0.198	103950.000	0.01	3189.375	0	0.000	107139
autotransports (20t ietilpība)				0.01				
Veidņu iebūve	16800	0	0	0.00486	81.648	0	0.000	82
autotransports (25t ietilpība)				0.00486				
							PAVISAM KOPĀ:	107221

Tabula 5-26. Izejas dati CO_2 ekv. aprēķinam projekta risinājumam ar ģeosintētiku (b) 3m

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3 nodaļai
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	8000	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
stiegrojošā ģeorežģa svars (kg/m²)	0.675	Pieņemta vērtība
Stiegrojošā ģeorežģa iebūve (m^2)	1850	Noteikts izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1kg)	3.72	Materiāla vides deklarācija Nr. EPD-Naue-062/2-NE
Iebūves CO_2 ekv.(kg/1kg)	0.144	Materiāla vides deklarācija Nr. EPD-TENSAR-166-NE
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg)/1l	3.24	DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES

Tabula 5-27. CO_2 ekv. aprēķins projekta risinājumam ar drenāžas ģeosintētiku (b) 3m

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Stiegrojošā ģeorežģa iebūve	1248.75	3.72	4645.350	0.243	303.446	0.144	179.820	5129
							PAVISAM KOPĀ:	5129

Tabula 5-28. Izejas dati CO_2 ekv. aprēķinam projekta risinājumam ar ģeosintētiku (b) 5m

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3 nodaļai
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	8000	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
tiegrojošā ģeorežģa svars (kg/m²)	0.675	Pieņemta vērtība
Stiegrojošā ģeorežģa iebūve (m^2)	2040	Noteikts izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1kg)	3.72	Materiāla vides deklarācija Nr. EPD-Naue-062/2-NE
Iebūves CO_2 ekv.(kg/1kg)	0.144	Materiāla vides deklarācija Nr. EPD-TENSAR-166-NE
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg)/1l	3.24	DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES

Tabula 5-29. CO_2 ekv. aprēķins projekta risinājumam ar drenāžas ģeosintētiku (b) 5m

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Stiegrojošā ģeorežģa iebūve	1377	3.72	5122.440	0.243	334.611	0.144	198.288	5655
							PAVISAM KOPĀ:	5655

5.4.1.5 Ietekmes novērtējums

Saskaņā ar veiktajiem aprēķiniem risinājumam bez ģeosintētikas 3m augstai dzelzsbetona atbalstsienai CO_2 ekv = 75 557 kg/50m, 5m augstai dzelzsbetona atbalstsienai CO_2 ekv = 107 221 kg/50m, bet risinājumam ar ģeosintētiku 3m augstai atbalstsienai CO_2 ekv. = 5 129 kg/50m un 5m augstai atbalstsienai CO_2 ekv. = 5 655 kg/50m.

Salīdzinot aprēķinātās CO_2 ekv kg/ 50 m vērtības var secināt, ka atbalstsienas būvniecība ar ģeotekstilu rada 14 – 18 reizes mazāku ietekmi. Līdz ar to var uzskatīt, ka abos risinājumos radīto CO_2 ekv kg / 50 m daudzums ievērojami atšķiras.

5.5 Lietošanas un labās prakses piemēri

5.5.1 Objekts P30 Cēsis – Vecpiebalga – Madona km 49,06-61,13

Objekts P30 Cēsis – Vecpiebalga – Madona km 49,06-61,13 uzbūvēts laika periodā no 2020. līdz 2021. gadam.

5.5.1.1 Būvprojekta dati

Objektā lietoti vairāki ceļa zemes klātnes nogāžu nostiprinājumi ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu:

- Pk 50+824 un Pk 57+572 labajā pusē iekšējā nogāzē betona bloki ar ģeokompozītu 40/40 zemes klātnē;
- Pk 59+060 kreisajā pusē iekšējā nogāze ar slīpumu 1:1,5 un Pk 59+060 ap 10 m augsta nogāze 150-200 m garumā, stāvāka par 1:1,5, nostiprināta ar šūnveida 15 cm ģeorežģi, kurš aizpildīts ar 20/40 mm šķembu frakciju;
- nogāzes, kur stāvākas par 1:1,5 un garums > 3 m, pārsvarā nostiprināta ar kokosa ģeopaklāju.

5.5.1.2 Objekta apsekošana

Šī pētījuma ietvaros 2022. gada 13. jūlijā tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu uzbūvēto ceļa zemes klātnes nogāžu nostiprinājumu risinājumu tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieki J. Melnis, A. Zariņš, A. Paeglītis, A. Strežs, J. Kivilands.

Ceļa kreisajā pusē lokālā vietā ir izveidojušies būtiski iekšējās nogāzes izskalojumi, pat nomales sabrukums. Izskalojums izveidojies garenkrituma posmā, kur nav pietiekama nogāzes nostiprinājuma (bijusi tikai augu zeme) un kur nokrišņu ūdens tekot lejup pa

ceļa virsmu un nomali akumulējas, un papildus ar pieaugošu tecēšanas ātrumu notek pa nogāzi (Attēls 5-36).

Konstatēts, ka zemes klātnē iebūvētā drenāža (ar izvadēm zemes klātnes nogāzē, (Attēls 5-37) nav darbojusies, jo no zemes klātnes novadāmu gruntsūdeņu šajā posmā līdz šim vēl nav bijis. Šajā posmā vietām veidojas izskalojumi zemes klātnes uzbēruma apakšējā daļā, kur nav nostiprinājuma, bet tas neietekmē un nerada riskus zemes klātnes funkcionalitātei, jo atrodas nedaudz attālinātā apgabalā.

Attēls 5-36. Izskalota ceļa iekšējā nogāze ceļa kreisajā pusē

Attēls 5-37. Ceļa iekšējā nogāze nostiprināta ar šūnveida 15 cm ģeorežģi, kurš aizpildīts ar 20/40 mm šķembu frakciju

5.5.1.3 Risinājumu un ietekmējošo faktoru analīze

Nogāzes un nomales izskalojuma vietā projekta risinājums – nostiprināt tikai ar augu zemi, iesējot zālāju, ir neatbilstošs konkrētajiem apstākļiem.

Stāvas un augstas nogāzes nostiprinājums ar ģeošūnām ar šķembām ir vērtējams kā sekmīgs.

5.5.1.4 Secinājumi un ieteikumi

Izskalojumu iespējamība būtiski pieaug, ja nogāzes ir slīpumu stāvāku par 1:1,5, ja nogāzes augstums pārsniedz 3 m, kā arī, ja ceļa garenprofils ir slīpumā. Līdz ar to šādos gadījumos vai, īpaši, šādu gadījumu kombinācijā, ieteicams izvērtēt paredzēt nogāžu nostiprināšanu ar nostiprinājumu sistēmām, kas ietver arī ģeosintētiskos materiālus, atbilstoši šī pētījuma ieteiktajiem risinājumiem.

5.5.2 Objekts A1 Rīga (Baltezers)—Igaunijas robeža (Ainaži) – dzelzceļa pārvads pie A2

Objekts A1 Rīga (Baltezers)—Igaunijas robeža (Ainaži) – dzelzceļa pārvads pie A2, uzbūvēts 2004. gadā.

5.5.2.1 Būvprojekta dati

Pieejas dzelzceļa pārvadam atrodas augstā uzbērumā, tāpēc, lai samazinātu uzbēruma aizņemto platību tika projektētas zemes klātnes uzbēruma stāvas nogāzes, uzbēruma smilšainas grunts slāņus ietinot ģeomateriālā, izmantojot vienasu ģeorežģi, režģa iekšpusē ievietojot ģeopaklāju.

Attēls 5-38. Zemes klātnes iekšējās nogāzes nostiprinājuma risinājuma piemērs

5.5.2.2 Objekta apsekošana

Šī pētījuma ietvaros 2022. gada 21. jūlijā tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu uzbūvētās zemes klātnes risinājuma tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieki A. Zariņš, A. Paeglītis, P. Šķēls, O. Mednis, A. Strežs, J. Kivilands.

Konstatēts, ka kopumā risinājums darbojas labi. Zemes klātnes deformācijas netika novērotas. Dažās vietās smilts nedaudz izbirusi cauri režģim. Tika novērotas erozijas problēmas. Ģeopaklājs nav devis rezultātu – zāle ir iesējusies maz un neveido velēnu. Vienā vietā tika konstatēts betona bloka sienu un ģeorežģa spilvenu savienojuma defekts – slikts salaidums.

Attēls 5-39. Preterozijas paklājā nav izveidojies zālāja nostiprinājums. Paši paklāja nostiprinājumi vietām izkrituši

(a)

(b)

Attēls 5-40. Mehāniski bojāts ģeorežģis, kas nav pārklāts ar veģetāciju

5.5.2.3 Risinājumu un ietekmējošo faktoru analīze

Realizētais zemes klātnes stāvu nogāžu izbūves risinājums kopumā ir veiksmīgs, konstatēti tikai daži nelieli lokāli defekti.

Risinājums nav pasargāts pret iespējamu vandālismu vai sabotāžu ar mērķi iznīcināt ceļa infrastruktūru, kas, nepieliekot lielas pūles, pie attiecīgas realizācijas var izraisīt zemes klātnes nogāzes sabrukumu (apsekošanas laikā šādu darbību pazīmes netika konstatētas).

5.5.2.4 Secinājumi un ieteikumi

Stāvu nogāžu veidošana ar smilts-ģeorežģa spilveniem ir efektīvs un ieteicams risinājums.

Ārējo nostiprinātās nogāzes daļu būtu bijis ieteicams nostiprināt ar preterozijas paklāju, lai veicinātu velēnas izveidošanos, tādējādi nosedzot arī ģeorežģi.

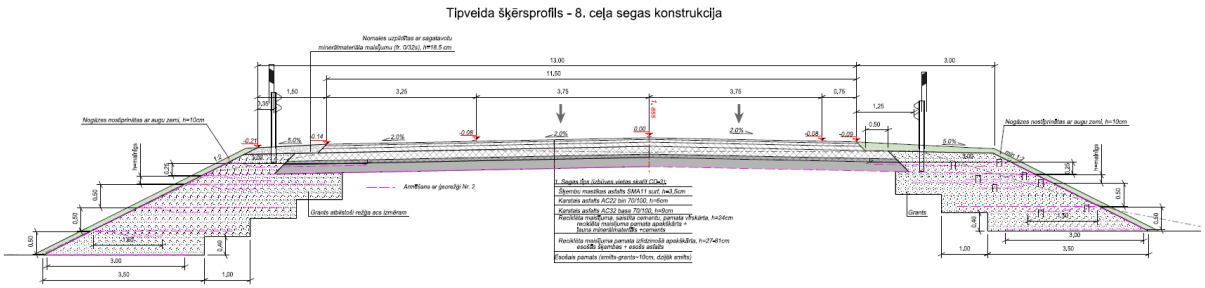
5.5.3 Objekts A2 Rīga – Sigulda – Igaunijas robeža (Veclaicene) km 25,5-39,4

Objekts A2 Rīga – Sigulda – Igaunijas robeža (Veclaicene) km 25,5-39,4 uzbūvēts 2019. – 2020. gadā.

5.5.3.1 Būvprojekta dati

Posmā km 35,4-36,4 (labā brauktuve) projektā tika paredzēts uzbēruma paplašinājums uz kūdras un dūņām. Vājo grunšu izrakšana un apmaiņa netika paredzēta. Tika paredzēts uzbērums no smilts – to veidojot pa slāņiem un ietinot augstas stiprības ģeotekstilā ar nominālo stiepes stiprību Tchar = 80/25 kN/m un pagarinājumu pie maksimālās slodzes $\varepsilon < 6$ %. Katras ietītās kārtas biezums nepārsniedz 0,5 m (Attēls 5-41).

Attēls 5-41. Ceļa konstrukcijas šķērsgriezums – 8. ceļas konstrukcija



5.5.3.2 Objekta apsekošana

Šī pētījuma ietvaros 2022. gada 21. jūlijā tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu uzbūvētā ceļa segas pastiprinājuma risinājuma tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieki A. Zariņš, A. Paeglītis, P. Šķēls, O. Mednis, A. Strežs, J. Kivilands.

No iepriekš pieejamās informācijas zināms, ka 2022. gada aprīlī tika novērota garenplaisu parādīšanās aptuveni vietā, kur tika veidots uzbēruma paplašinājums. Apsekošanas laikā šajā vietā tika konstatētas garenplaisas un apmēram 1 cm dziļas rises. Rises ir nedaudz dziļākas labajā joslā, kuru vairāk izmanto kravas autotransports.

Attēls 5-42. Garenplaisas

Attēls 5-43. Rise

5.5.3.3 Risinājumu un ietekmējošo faktoru analīze

Izskatot ģeotehniskās izpētes datus un projekta risinājumu, tika konstatēts sekojošais:

- griezumos (posmā ar plaisu) redzams, ka zemes klātnes labajā pusē identificētās kūdras (km 36,0) un kūdras/dūņu (km 35,7) slāņu biezums ir 2-3 reizes lielāks labajā pusē nekā kreisajā pusē;
- plaisas beidzas pirms km 36,0, tās nav tiešā veidā saistītas ar atrodošos kūdras iegulumu zem ceļa klātnes, jo kūdras iegulumi turpinās arī tālāk.

Būvprojektā ir atrodams aprēķins vertikālajai deformācijai un aprēķināts, ka kreisā puse sēdīsies 7 cm, bet labā puse sēdīsies 13 cm. Veikts arī nogāzes stabilitātes aprēķins ar ģeosintētisko materiālu risinājumu. Aprēķins neatspoguļo visu pārbaužu rezultātus un neievērtē nepieciešamās minimālās ģeosintētiskā materiāla īpašības. Nav arī analizētas iespējamās horizontālās zemes klātnes deformācijas. Nogāzes stabilitātes aprēķinā izmantots ļoti (pārāk) vienkāršs konstrukcijas un pamatnes modelis, kas realitātē var būt ievērojami atšķirīgs.

Kā viens papildus pastiprinājuma risinājums ir ticis apskatīts uzbēruma paplašinājumu būvēt no vieglsvara materiāla – keramzītbetons, putu stikls, EPS vai cits. Šis risinājums netika lietots, jo ir salīdzinoši dārgs. Bet risinājums ar vieglsvara materiālu izmantošanu potenciāli varētu samazināt deformāciju veidošanos salīdzinot ar klasiski lietotajiem minerālmateriāliem, jo lielu papildus spriegumu komponenti veido tieši minerālmateriālu pašsvara slodze.

5.5.3.4 Secinājumi un ieteikumi

Izstrādājot būvprojektu ir jāapskata konstruktīvā risinājuma visi robežstāvokļi, tiem veicot korektus aprēķinus. Šajā gadījumā būvprojekta risinājums vērtējams kā nepilnīgs.

Aprēķinus nepieciešams veikt atbilstoši ģeotehniskās izpētes datiem. Ģeotehniskajai izpētei gan pēc izmeklējumu apjoma, gan veicamās testēšanas, jāatbilst konkrētā būvprojekta specifikai. Izpēte jāveic šķērsprofilos ik pēc 20-200 m.

Ģeosintētiskie materiāli jālieto tikai atbilstoši to funkcijai. Jāņem vērā, ka ģeosintētiskie materiāli var samazināt nevienmērīgas deformācijas, bet kopējās deformācijas netiks ierobežotas. Kopējās vertikālās deformācijas iespējams samazināt ar grunšu pastiprināšanas metodēm vai arī uzbēruma būvēšanai izmantojot vieglsvara materiālus.

5.5.4 Objekts A3 Gājēju – velosipēdistu celiņš 1,6-4,3 (Gaujas tilts – sporta skola)

Objekts A3 Gājēju – velosipēdistu celiņš 1,6-4,3 (Gaujas tilts – sporta skola) uzbūvēts 2021. gadā.

5.5.4.1 Būvprojekta dati

Būvprojektā paredzēti vairāki zemes klātnes nogāžu preterozijas risinājumi:

- gandrīz visā objektā – nogāžu nostiprināšana ar augu zemi;
- NN-4 nostiprinājums ar ģeošūnām 225 m² km 2,470;
- NN-7 nostiprinājums ar ģeosintētisku materiālu 4300 m² vairākās vietās – km 1,620; km 2,320; km 3,420-3,670.

5.5.4.2 Objekta apsekošana

Šī pētījuma ietvaros 2023. gada martā tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu nostiprināto nogāžu risinājumu tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieks J. Kivilands.

Apsekošanas laikā konstatēts, ka nostiprinājumi ar ģeošūnām, kas pildītas ar frakcionētām šķembām, ir daudz lielākās platībās nekā paredzēts sākotnējā būvprojektā. Būvprojektā paredzētajā vietā šis nogāžu nostiprinājuma risinājums nav lietots. Nostiprinājums uzbūvēts nogāzēs, kuru slīpums 1:1-1:1,5. Nostiprinājuma defekti nav konstatēti.

Nogāžu nostiprināšanai plaši lietots arī kokosa paklājs. Objekta sākumā labajā pusē ir augsta nogāze 1:1,5, kurai tika konstatēti grunts noslīdējumi nogāzes vidus daļā. Visticamāk, ka ūdens pa nogāzi ir tecējis zem paklāja. Izskalojumi veidojas ceļa klātnes virsūdens sateces vietās. Bojājumu apmērs raksturojams kā neliels.

5.5.4.3 Risinājumu un ietekmējošo faktoru analīze

Risinājums - ģeošūnas ar šķembu aizpildījumu, ir lietots pienācīgi un nodrošina nostiprināto nogāžu aizsardzību pret eroziju.

Kokosa paklāja lietošana nav bijusi pietiekami efektīva stāvā un augstā nogāzē.

5.5.4.4 Secinājumi un ieteikumi

Ģeošūnas ar šķembu aizpildījumu nodrošina pret eroziju stāvas (līdz 1:1) un augstas nogāzes.

Ģeopaklāji uz stāvām 1:1,5 un augstām nogāzēm pilnībā nepasargā nogāzes pret eroziju.

5.5.5 Objekts P8 Inciems - Sigulda – Ķegums km 8.30 - 12.50

Objekts P8 Inciems - Sigulda – Ķegums km 8.30 - 12.50 uzbūvēts apmēram 2021.-2022. gadā.

5.5.5.1 Būvprojekta dati

Būvprojektā paredzēti sekojoši risinājumi ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu:

- zemes klātnes pastiprināšanai:
  - dziļās stabilizācijas kolonnas (pāļi) 283 gab. (m), ik pa 2 m. D = 1 m, no Pk 98+20 līdz Pk 99+00 KP, nosedzot ar drenējošu smilts kārtu, kura ietīta ģeorežģī (iepriekš šajā posmā bija iesēdums);
  - sala aizsargkārta / drenējošā kārta ietīta ģeorežģī no Pk 117+00 līdz Pk 122+20 (visas zemes klātnes uzbēruma platības Siguldas pusē) – 10,3 tk.m^2;
  - ģeokompozīta iebūve (zemes klātnes uzbēruma armēšana) paplašinājumos 11,9 tk.m^2 no Pk 112+00 līdz Pk 113+60 un no Pk 117+00 līdz Pk 122+00;
- nesaistīto ceļa segas kārtu pastiprināšanai – ģeorežģa iebūve (armēšana) zem nesaistīta minerālmateriālu maisījuma pamata kārtas – 2558 m^2;
- atdalīšanai – ģeotekstils P7 no Pk 96+00 līdz Pk 97+00 – 1000 m^2;
- erozijas novēršanai – preterozijas kokosa paklājs no km 11,0 līdz km 12,516 – 12 tk.m^2.

5.5.5.2 Objekta apsekošana

Šī pētījuma ietvaros 2022. gada 10. oktobrī tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu ģeosintētisko materiālu lietojuma risinājumu tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieks J. Kivilands.

Apsekošanas laikā nekādi defekti netika konstatēti. Erozijas novēršanai lietots džutas tīkls.

5.5.5.3 Risinājumu un ietekmējošo faktoru analīze

Nevar novērtēt vai visos gadījumos ģeomateriālu lietošana ir bijusi nepieciešama un vai ir pietiekami pamatota, piemēram:

- ģeosintētisko materiālu lietošanai paplašinājumos, ietinot drenējošo kārtu ģeorežģī (arī, vai augstā uzbērumā vispār ir vajadzīga drenējošā kārta);
- zemes klātnes pastiprināšanai ar ģeokompozītu (un vai pastiprinājums vispār bija nepieciešams);
- lēzenu nogāžu (1:2) nostiprināšanai ar ģeosintētiskajiem materiāliem (vai nostiprinājums vispār bija nepieciešams, un vai džutas tīkla lietošana ir identiska kokosa paklāja lietošanai).

5.5.5.4 Secinājumi un ieteikumi

Ieteikums pamatot ģeosintētisko materiālu lietošanas lietderību, kā arī konkrēto lietojamo ģeosintētisko materiālu tehniskās īpašības un raksturlielumus.

Jāpamato, kādos apstākļos vai pie kādiem nosacījumiem ir jālieto džutas tīkls, pie kādiem – kokosa paklājs.

6 Asfalta kārtu pastiprināšana

Jebkuru asfalta kalpotspējas risinājumu vai tā uzlabojumu var risināt gan lietojot ASS (asfaltu stiegrojošs starpslānis), gan bez tā izmantošanas. ASS lietošanas lietderību nosaka, salīdzinot konkrētajā projektā iespējamos risinājuma veidus pēc projektēšanas uzdevumā vai projektēšanas gaitā definētajiem kritērijiem.

Asfalta stiegrošana ir risinājums, kura pamatfunkcija ir uzņemt stiepes spriegumus asfalta kārtas esošo un potenciālo plaisu vietās. Plaisas veidojas ekspluatācijas procesā dažādu faktoru ietekmē. Šis ģeosintētisko materiālu lietojuma veids ir raksturīgs esošu ceļa segu atjaunošanas un pastiprināšanas risinājumiem, un ietver daļu no esošās ceļa segas konstrukcijas. Otrs raksturīgs lietojuma gadījums ir, paredzot asfalta segumu uz stingas pamata konstrukcijas – betona vai dzelzsbetona, lai uzņemtu stiepes spriegumus, kas šādā konstrukcijā koncentrējas virs stingā pamata elementu deformāciju šuvēm, lai aizkavētu plaisu kopēšanos asfalta kārtās.

6.1 Projektēšanas principi

ASS efektivitāti nosaka esošā asfalta strukturālās stabilitātes pakape un izvēlētā ASS veida atbilstība konkrētajam lietojumam (Tabula 1-8 un Tabula 1-9), kā arī jānodrošina augsta būvdarbu kvalitāte. Informācija par ASS ieklāšanas principiem ir sniegta 6.3. nodaļā Iestrādes tehnoloģija.

Lai gan neskaitāmi lauka, laboratorijas un skaitliskie pētījumi ir apliecinājuši asfalta stiegrojuma lietošanas priekšrocības, pilnvērtīgas, vispāratzītas projektēšanas vadlīnijas joprojām nav izstrādātas.

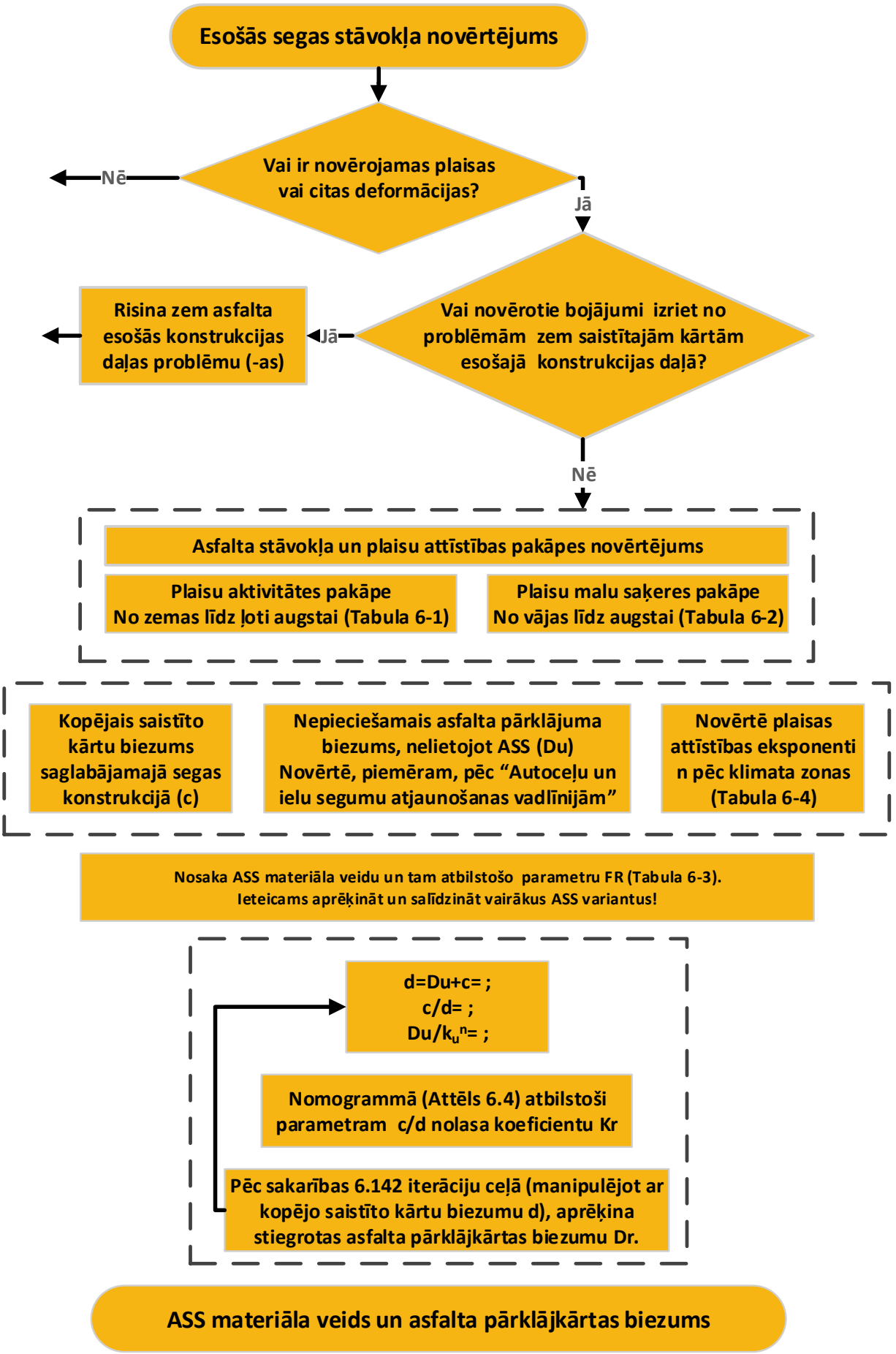
ASS projektēšanā izmanto dažādas pieejas. Empīriskas un nomogrammu tipa metodes parasti ir ierobežotas ar specifisku produktu, materiāliem un vides apstākļiem. Piemēram, plaši izmantota segu projektēšanas metode ir AASHTO (1993), tostarp to izmanto arī segām ar ģeosintētiskajiem materiāliem.

Mehāniski-empīriskās (M-E) metodes, kurās izmanto slāņveida elastīgus analītiskus modeļus, tiek uzskatītas par vispārīgām, lai pamatotu ģeosintētisko materiālu izmantošanas lietderību segas konstrukciju risinājumos.

Mūsdienās ir iespējams veikt arī sarežģītu skaitlisko analīzi, piemēram, lietojot GEM, taču šīs metodes joprojām tiek uzskatītas par pētniecības, nevis būvprojektēšanā vai būvdarbu izpildē lietojamiem instrumentiem, ņemot vērā to sarežģītību un prasības lietotājam.

ASS projektēšanas procedūra parādīta attēlā (Attēls 6-1).

Attēls 6-1. Projektēšanas procedūra



Pirms stiegrošanas risinājuma projektēšanas uz esošās segas, svarīgi novērtēt tās saglabājamās daļas stāvokli. Risinājuma projektēšana jāuzsāk tikai pēc tam, kad ir noteikti faktiskie apstākļi, kas iedarbojas uz konkrēto ceļa segas konstrukciju, izraisot bojājumus vai citus kalpotspējas zuduma veidus. Lai noteiktu, vai ceļa segas stāvoklis un konstrukcija ir piemēroti ASS izmantošanai, ir svarīgi pārliecināties, ka:

- seguma saglabājamās daļas plaisu tīkla intensitāte un kondīcija ir atbilstoša, lai uz tās būtu iespējams ieklāt ASS, esošais segums nesadalās un nedrūp (nav bedres vai izdrupumi). Pretējā gadījumā tas jālabo, jāmaina vai jādemontē;
- paliekošajai esošās segas konstrukcijas daļai ir pietiekama nestspēja, lai projektētās konstrukcijas sastāvā izturētu turpmāku satiksmes slodzi. Pretējā gadījumā tā jāpastiprina.

Šīs īpašības var novērtēt, izmantojot gan vienkāršas, gan sarežģītas metodes. Šeit īsi aprakstītas pieejamās vienkāršākās esošā segas stāvokļa noteikšanas metodes. Mērķis nav sniegt vispusīgu kādas novērtēšanas metodes vai procedūras aprakstu, bet gan īsu kopsavilkumu, kas ļautu noteikt piemērotāko konkrētajai specifiskajai situācijai.

Ceļa segas stāvokļa novērtēšanā jāņem vērā esošā asfalta seguma strukturālie un lietojamības aspekti. Vispārīgi – asfalta seguma virsmas stāvokļa raksturojums ietver dilumkārtas vizuālu novērtējumu. Strukturālā stāvokļa novērtējums ļauj noteikt tos parametrus, kas raksturo segas konstrukcijas spēju uzņemt slodzi, savukārt pēc lietojamības aspektiem vērtējami tie parametri, kurus jānodrošina, lai satiksme droši un ekonomiski lietotu šo infrastruktūru. Seguma stāvokļa novērtēšanu var veikt:

- vizuāli novērtējot;
- izmantojot aprīkojumu, piemēram, krītošā svara deflektometru (FWD) un plaisu aktivitātes mērītāju (angļu val. – *crack activity meter* (CAM));
- ar destruktīvām metodēm, piemēram, veicot statiskās plātnes testu uz atsegtas konstrukcijas daļas vai iegūto paraugu laboratorijas pārbaudi;
- Ieteikums ir atlasīt vismaz divas segas novērtēšanas metodes. Jāņem vērā, ka segas uzvedības parametri mainās līdz ar meteoroloģiskajiem apstākļiem un satiksmi, tāpēc vēlams veikt deformāciju monitoringu objektā pietiekoši ilgā periodā un ar pietiekošu mērījumu blīvumu, kas aptver visus kritiskos apstākļus (temperatūras, mitruma, satiksmes u. c.), vienlaikus fiksējot vismaz arī klimata un satiksmes parametrus.

6.1.1 Vizuālais novērtējums

Vispirms jāveic asfalta virsmas novērtējums. ASS izmantošana uz esošā seguma virsmas būs atkarīga no novērojamās plaisu tīkla intensitātes. Tāpēc vizuālās apskates laikā jānovērtē:

- plaisu tīkla intensitāte un raksturs (ASS nebūs piemērots gadījumos, ja plaisas ir pārāk platas un aktīvas);
- kopējais virsmas nodilums (kādā pakāpē ir nepieciešama nodiluma apstrāde un atjaunošana);
- saistvielas stāvoklis (saistviela nav pārāk mīksta vai pārāk cieta un trausla);
- izsvīdumi un saistvielas nevienmērīgs sadalījums maisījumā (izsvīdumi un lieka saistviela uz virsmas var ietekmēt asfalta stiegrojuma efektivitāti).

Vizuāli jānovērtē defekti, kas saistīti ar strukturālajiem segas bojājumiem. ASS izmantošana strukturālo bojājumu gadījumā nav ieteicama. ASS nebūs piemērots nepārtrauktu, ļoti garu un/vai platu, sazarotu un aktīvu plaisu gadījumā. Tāpēc nepieciešams novērtēt bojājumu veidu un to pakāpi, vizuāli novērtējot:

- garenvirziena plaisas, kuru cēlonis ir konstrukcijas neatgriezeniskās deformācijas (piemēram: sēšanās, konsolidācija, noslīdēšana u. c.);
- šķērsvirziena plaisas;
- uzsūkšanas pazīmes (angļu val. – *pumping*) norāda uz pārmērīgu ūdens klātbūtni segas konstrukcijā un ar to saistīto plaisu aktivitāti. Asfalta stiegrošana būs neefektīva, ja šo problēmu nenovērš pirms ASS ieklāšanas;
- rises, kuru cēlonis ir ceļa segas pamata nestspējas zudums vai neatbilstošs asfalta sastāvs, vispirms jāatrisina strukturālās problēmas;
- viļņaina un nelīdzena virsma var norādīt uz iesēdumiem vai aktīvām māla apakškārtām;
- ielāpi – pirms jebkāda ASS iestrādes ir jāatjauno virsmas integritāte;
- bedrītes un izdrupumus nepieciešams aizpildīt.

Ja vizuāli konstatētie virsmas defekti saistāmi vienīgi ar satiksmes izraisītu nolietojumu, tad jāparedz izlīdzinošā frēzēšana un plaisu un citu bojājumu aizpildīšana.

Lietojamība ir saistīta ar satiksmes dalībnieku komfortu un drošību. Šie aspekti tiešā veidā nepalīdz pieņemt lēmumu par ASS lietošanu, taču sniedz informāciju par kopējo ceļa konstrukcijas un segas stāvokli.

6.1.2 Novērtējums, izmantojot aprīkojumu

Dažas segu strukturālās novērtēšanas metodes balstās uz virsmas deformāciju mērījumiem, lai novērtētu kārtu elastības moduļus, spriegumus un deformācijas segā. Lielākā daļa šo metožu ir balstītas uz lineāras elastības teorijas principiem un tādējādi tiek pieņemts, ka ielieces tasei, kuras dati tiek izmantoti analīzei, būtu jāatspoguļo segas lineāri elastīgā uzvedība.

- Krītošā svara deflektometrs (FWD) ir testēšanas ierīce, ko izmanto segas kārtu nestspējas īpašību novērtēšanai pēc izmērītajiem ielieces tases parametriem. To var izmantot arī slodzes pārneses noteikšanai pāri plaisai, tādējādi iegūstot norādi par plaisas aktivitāti. Lai to noteiktu deflektometra ielieču (0. un 1.) sensori ir jānovieto abās plaisas pusēs vienādā attālumā no tās;
- Benkelmana sija mēra novirzi segas vienā punktā no riteņa pārbrauciena. Slodzi veido divu asu kravas automašīnas simetriski slogota aizmugurējā ass ar diviem dubultriteņiem. Arī šo mērījumu var izmantot segas nestspējas un plaisas aktivitātes noteikšanai. Šī procedūra ir lēna un tāpēc piemērota tikai nelieliem objektiem;
- ceļa virsmas deflektometrs (RSD) būtībā ir Benkelmana sijas elektroniskā versija. To izmanto, lai mērītu virsmas ielieces tasi zem smagā transportlīdzekļa simulatora (HVS) vai citur. Datu vākšana ir automatizēta, tādējādi RSD var izmantot, lai aptvertu visu ielieces tasi, kurā ielieces tiek mērītas 256 punktos;
- plaisu aktivitātes mērītājs (CAM) (Attēls 6-2) paredzēts relatīvo plaisu kustību tiešai mērīšanai. Ar CAM vienlaikus var izmērīt gan relatīvās vertikālās, gan horizontālās plaisu kustības. Dati tiek nepārtraukti reģistrēti satiksmes vai simulētas slodzes riteņa pārbrauciena laikā.

Attēls 6-2. Plaisu aktivitātes mērītājs (CAM)

Turpmāk (Tabula 6-1) norādītas plaisu aktivitātes pakāpes un ieteicamās plaisu novēršanas metodes.

Tabula 6-1. Plaisu aktivitātes pakāpes un ieteicamās novēršanas metodes

Plaisas kustības diapazons	**Plaisas aktivitātes klasifikācija**	**Ieteicamā novēršana**
< 0,1 mm	Zema	Parastā virsmas apstrāde
0,1–0,2 mm	Vidēja	Virsmas apstrāde, izmantojot modificētu saistvielu
0,2–0,3 mm	Augsta	Asfalta pārklājkārta (kā risinājumu var izskatīt arī ASS lietošanu)
> 0,3 mm	Ļoti augsta	Asfalta pārklājkārta un ASS

6.1.3 Segas novērtējums ar destruktīvām metodēm

Ar destruktīvajām metodēm iespējams tieši novērtēt segas konstruktīvo kārtu mehāniskās īpašības. Šim nolūkam konstrukcija vajadzīgajā dziļumā tiek atsegta, un ar tiešu mērījumu objektā, vai arī, paņemot materiāla paraugu un pārbaudot to ar laboratorijas testu palīdzību, tiek noteikti vērtējamie parametri.

Ceļa konstrukcijas daļas nestspēju virs nesaistītajām kārtām var novērtēt ar statiskās plātnes testu (DIN 18134). Materiāla mehāniskās īpašības var novērtēt, veicot tā paraugu laboratoriskas pārbaudes un testējot nestspēju ar CBR testu (LVS EN 13286-4) vai granulometrisko sastāvu, vai testējot citas īpašības, kuras raksturo esošās konstrukcijas stāvokli vai pamato identificētās deformācijas.

Veicot urbumus, var novērtēt esošās segas konstrukcijas kārtu biezumus un to materiālu stāvokli. Asfalta paraugiem var novērtēt plaisu veidošanās tendences, plaisu dziļumu un to aktivitātes pakāpes. Šim nolūkam ir jāveic asfalta kārtu paraugu izurbšana tieši plaisas vietā. Paraugs jāizurbj un jāvērtē no visām konstrukcijā esošajām saistīta materiāla kārtām, t. sk. ar hidraulisku saistvielu.

6.1.4 Asfalta plaisu veidošanās mehānismi

Segas konstrukcija ir pakļauta tādām ārējām ietekmēm kā dinamiskas satiksmes slodzes, temperatūras svārstības, mitrums, saules radiācija un oksidēšanās. Tiešā saules gaismas ietekme veicina asfalta kārtas virsmas saistvielas novecošanos slāņa augšdaļā un līdz ar to arī trauslumu. Satiksmes slodzes ietekmē plaisāšana sākas uz virsmas un virzās uz leju (*lejup vērstā plaisāšana)*. Ceļa segām ar satiksmes slodzēm neatbilstošu asfalta biezumu, plaisu veidošanās sākas uz segas saistīto kārtu apakšējās virsmas un izplatās uz augšu (*augšup vērstā plaisāšana* jeb klasiskā *noguruma plaisāšana)*. Šis process notiek arī vecākās asfalta kārtās, kad tās ir sasniegušas noteiktu novecošanās pakāpi.

Termiskā plaisāšana ietver gan zemas temperatūras izraisītu plaisāšanu, gan termiskā noguruma plaisāšanu.

Plaisāšana zemā temperatūrā jeb termoplaisas veidojas, iedarbojoties spriegumiem, kas rodas atdzišanas rezultātā, samazinoties materiāla tilpumam. Asfaltā termoplaisas attīstās mazākās pretestības virzienā, tāpēc tās pārsvarā ir orientētas šķērsām brauktuves asij un ar soli, kas pārsniedz asfalta klājuma platumu.

Termoplaisas ir arī tādas plaisas, kas radušās, sasalstot konstrukcijā esošam ūdenim. Tas rada lokālu izliektu segas deformāciju, tādējādi izraisot stiepes spriegumus uz saistīta materiāla virsmas.

Termiskā noguruma plaisāšana ir iespējama vietās, kur izmantota cietāka saistviela vai kur tā ir novecojusi. Termiskā noguruma plaisāšanas mehānisms ir daļēji līdzīgs klasiskai noguruma plaisāšanai, vienīgi to izraisa cikliskas stiepes deformācijas temperatūras svārstību ietekmē.

Plaisas, kas paliek esošajā segā, neizbēgami izplatīsies uz jauno asfalta kārtu, jo plaisu vietās vairs netiek pārnesti stiepes spriegumi un tie koncentrētā veidā virs plaisām ir jāuzņem augšējai asfalta kārtai. Esošās segas relatīvās vertikālās un horizontālās kustības, kuras sauc arī par plaisu aktivitāti vai slodzes pārnesi, ietekmē arī vecās asfalta vai betona segas daļas ģeometriskie parametri, asfalta sastāvs un vecums. Šie aspekti nosaka plaisāšanas veidu, sprieguma koncentrācijas pakāpi, laiku vai slodzes ciklu

skaitu līdz plaisu parādīšanās sākumam un plaisas izplatīšanās ātrumu asfalta pārklājkārtā.

Tādējādi ASS palielina asfalta seguma izturību pret atstarojošo plaisāšanu un samazina rišu veidošanos, uzlabojot asfalta maisījuma bīdes izturību. Taču jāņem vērā, ka ASS var tikai aizkavēt rišu veidošanos, nevis tās novērst, jo primāri ir jāizvēlas piemērots asfalta maisījums.

Stiegrojumu var paredzēt arī, lai uzlabotu asfalta kalpotspēju attiecībā uz potenciālu noguruma plaisāšanu un rišu veidošanos, salīdzinājumā ar nestiegrotu asfalta segumu. Stiegrojuma ģeorežģis pastiprina asfalta kārtas stiepto zonu, uzlabojot tās pretestību stiepes spriegumiem, kā arī izkliedējot tos lielākā laukumā.

Paredzot ASS, virs esoša segas monolītās daļas pārtraukuma (piemēram – termošuve betona segumā) tiek samazināta vai likvidēta sprieguma koncentrācija tajā. Turklāt cirpes pārvietojuma gadījumā spēks, ko rada atbilstoši noenkurots stiegrojums, netieši palielina berzi starp plaisas malām, saturot tās kopā. [130]

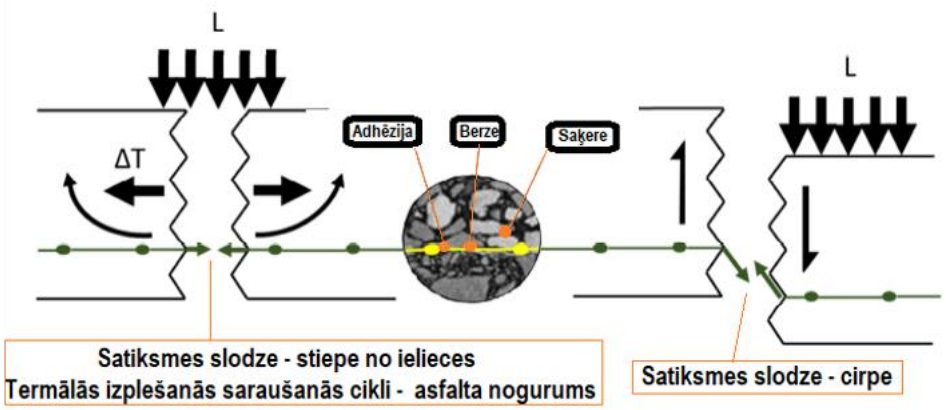
Citas ASS efektivitāti raksturojošās vispārīgās īpašības un parametri aprakstīti pētījuma 1. nodaļā.

6.1.5 Asfalta seguma stiegrošanas aprēķinu koncepcijas un principi

Turpmāk paskaidroti pamatprincipi un sakarības, kas nepieciešamas asfalta stiegrojuma risinājumu aprēķinam un novērtēšanai.

Saplaisājuša asfalta stiegrošanas mehānismu shematiski ilustrē Attēls 6-3.

Attēls 6-3. Plaisāšanas procesa analīze



Lai prognozētu asfalta seguma kalpošanas laiku cikliskās slodzes apstākļos, šajā metodē ir izmantota plaisu attīstības mehānika. Plaisu attīstības intensitāti var aprakstīt, izmantojot Parisa un Erdoana izstrādāto spēka likumu. [131]

Parisa likums:

$$\frac{dc}{dN} = A * K^n \,, \qquad [6.168.]$$

kur:
d_C/d_N – diferenciālais koeficients c attiecībā pret N, t. i., plaisu attīstības ātrums;
c – plaisas garums (dziļums – mērāms vertikāli);
N – slodzes ciklu skaits;
K – sprieguma intensitātes faktors;
A, n – materiāla plaisāšanu raksturojošas īpašības.

A un *n* var noteikt no plaisu augšanas novērojumu datiem, pamatojoties uz asfalta parauga (sijas) noguruma un termiskā noguruma testu rezultātiem. Ir izstrādātas arī teorētiskas *A* un *n* izteiksmes, saskaņā ar šļūdes, stiepes stiprības un materiāla izturības īpašībām. Tāpēc šīs konstantes ir tiešas materiāla īpašības, kas atspoguļo tā pretestību plaisu izplatībai (plaisāšanai). Satiksmes nogurumam un termiskajam nogurumam, [131]

$$N = \frac{2}{m} \,, \qquad [6.169.]$$

kur:
m – šļūdes atbilstības līknes tangente (slīpums), t. i., vienkārša vispārējā sakarība starp asfalta maisījuma stinguma moduļa logaritmu pret slodzes laika logaritmu.

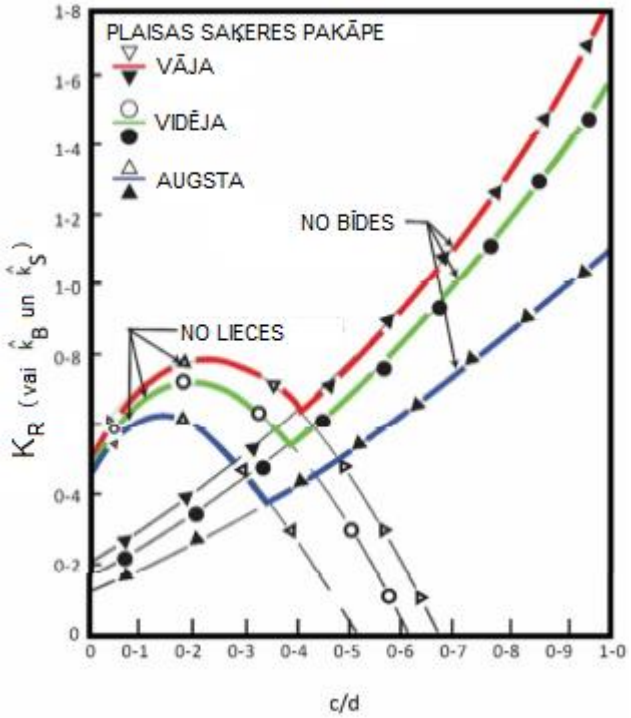
Ar satiksmi saistītai plaisāšanai un tipiskiem asfalta maisījumiem plaisu pieauguma attiecības slīpums ir izteikts kā lūzuma konstantes *(A_F)* funkcija: [131]

$$n = -2,2 - 0,5(logA_F) \,, \qquad [6.170.]$$

un termiskā noguruma plaisāšanai un tipiskiem asfalta maisījumiem – kā lūzuma konstantes *(A_T)* funkcija:

$$n = -0,72 - 0,42(logA_T) \,, \qquad [6.171.]$$

Attēls 6-4. Sprieguma intensitātes faktori liecei un bīdei [132]

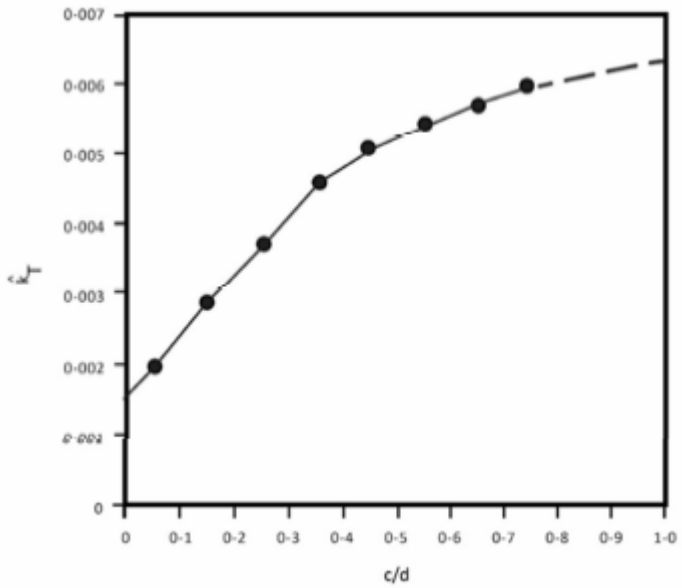


Tā kā *N* var noteikt no šļūdes atbilstības līknes slīpuma, tad A_F un A_T var aprēķināt, izmantojot iepriekš sniegtās sakarības. Asfalta kārtai ar biezumu *D* kalpošanas ilgumu *N* var aprēķināt pēc formulas: [132]

$$\boldsymbol{N = \frac{D}{\frac{dc}{dN}}}, \qquad [6.172.]$$

Maksimālie spriegumi, kas veidojas plaisas galā, ir aprakstīti, izmantojot sprieguma intensitātes koeficientu *(K)*. *K* ir atkarīgs no kopējā pieliktā sprieguma un plaisas garuma. Attēlā (Attēls 6-4) parādīti nedimensionalizēti sprieguma intensitātes faktori liecei un bīdei, un attiecīgi – kā funkcija no nedimensionalizētās plaisas garuma *c/d*; kur *c* un *d* apzīmē attiecīgi – plaisas garumu un esošā saistītā slāņa ar pārklājkārtu kopējo biezumu.

Attēls 6-5. Spriegumu intensitātes koeficients k_T



Kā redzams attēlā (Attēls 6-5), ar satiksmes slodzi saistītiem spriegumiem izdalāmi divi plaisas attīstības posmi:

- ∇ plaisas augšana, ko izraisa liece, dominē līdz plaisas dziļumam no 0,5 līdz 0,65 no kopējā saistīto kārtu biezuma un atkarībā no asfalta struktūras rakstura;
- ∇ tad plaisa nonāk stieptajā zonā, asfalta kārtas augšpusē un plaisu augšana turpinās pārsvarā bīdes spriegumu ietekmē. Tabulā (Tabula 6-2) ir sniegtas vadlīnijas plaisas malu saķeres pakāpes noteikšanai. Termiskajiem cikliem, plaisa aug uz augšu cauri visam slānim proporcionāli termiskā sprieguma intensitātes koeficientam, kas parādīts attēlā (Attēls 6-5). [131]

Tabula 6-2. Plaisas malu saķeres pakāpe

Plaisas klasifikācija	Platums	Plaisas malu saķeres pakāpe
Šaura	< 3 mm	Augsta
Vidēja	3 mm līdz 6 mm	Vidēja
Plata	> 6 mm	Vāja

Sprieguma intensitātes koeficientus (bezdimensijas) K vērtības aprēķinam nosaka grafiski no nomogrammām (Attēls 6-4), kuras iegūtas pēc šādām sakarībām: [131]

$$K_B = \widehat{K_B}\left(\frac{q \cdot e^{-\frac{\beta}{2}}}{\beta^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}} \cdot sin\left(\frac{\beta l}{2}\right)\right), \qquad [6.173.]$$

$$K_S = \widehat{K_S}\left(\frac{q}{4\beta \cdot d^{\frac{1}{2}}} \cdot [1 + e^{-\beta l} \cdot (sin\beta l - cos\beta l)]\right),$$

$$K_T = \widehat{K_T}\left(\frac{E}{(1-\nu^2)d^{\frac{1}{2}}} \cdot s \cdot \alpha \cdot \Delta T\right), \quad [6.174.]$$

kur:
q – riepas radītais spiediens (MPa);
l – riepas nospieduma garums (mm);
d – esošā asfalta kārtas un pārklājkārtas kopējais biezums (mm);
E;ν – asfalta pārklājkārtas materiāla stingums (MPa) un Puasona koeficients;
α – esošā asfalta termiskais izplešanās koeficients;
S – atstatums starp plaisas malām esošām asfaltam (mm);
ΔT – maksimālā temperatūras izmaiņa esošā asfalta kārtā (°C).

kur: [133]

$$\beta = \frac{1}{0.55\,d}\sqrt[3]{\frac{E_{sup}}{E}}, \quad [6.175.]$$

kur:
E_{sup} *– elastības modulis uz konstrukcijas daļas virsmas zem segas saistītajām kārtām;*
E – saistīto kārtu elastības modulis.

No sakarībām redzams, ka aprēķina koncepcija balstīta uz divu slāņu sistēmu. Tāpēc seguma struktūra vispirms ir jāpārveido par divu slāņu sistēmu. Ekvivalentā moduļa aplēses vērtību segas daļai virs nesaistītajām kārtām nosaka atbilstoši segas aprēķina metodikai.

Katras plaisas attīstības mehānisms nosaka slodzes ciklu skaitu līdz atteicei atbilstoši lūzuma vietas konstrukcijas īpašībām:

$$logN = -logK - logA, \quad [6.176.]$$

Sakarība paredz, ka mazākas A_F, A_T un N vērtības atbilst garākam asfalta kalpošanas laikam.

6.1.5.1 ASS pastiprinājuma faktors

Asfalta stiegrojuma ietekme segas projekta risinājumā parasti tiek ņemta vērā, izmantojot ieguvuma faktoru – raksturojošā parametra attiecība pastiprinātam asfaltam pret nepastiprinātu. To apzīmējam kā *pastiprinājuma faktoru*. Tas var būt izteikts vienkārši kā pagarināts kalpošanas laiks *(Nr/Nu)*, kas būtībā ir tas pats satiksmes ieguvuma koeficients (angļu val. – *traffic benefit ratio* (TBR)), vai arī kā ieguvums no asfalta seguma biezuma samazinājuma.

Faktori, kas atspoguļo ASS ietekmi uz materiāla īpašībām, dod iespēju tos tieši izmantot projektēšanas vajadzībām. Pieejai, kuras pamatā ir plaisu veidošanās mehānika, var lietot noteiktus parametrus, kas raksturo stiegrojuma ietekmi uz plaisāšanu novēršanu vai aizkavēšanu. Tomēr jāņem vērā, ka plaisāšanas parametru *A* un *N* noteikšana

konkrētajam materiālam ietver asfalta siju paraugu cikliskas slodzes testa monitoringu un datu apstrādi, fiksējot plaisu pieauguma raksturu, kas ir ilgs un dārgs process.

Pētījumā [134] veikti daļēji statiski lieces testi, lai novērtētu dažādu ASS veiktspēju. Noskaidrots, ka kopējo pastiprinošo ietekmi var atspoguļot ar *A* vērtības samazināšanu, *N* vērtībai paliekot nemainīgai. [132] [132] *A* ir funkcija no aprēķinātā sprieguma pie atteices un enerģijas, kas nepieciešama plaisas progresēšanai. Stiegrota *Ar* un nestiegrota *Au* parauga vērtības, kas iegūtas lieces testā, tiek izmantotas, lai noteiktu attiecību *FR = Ar / Au*. Mazāka FR vērtība (angļu val. – *fracture ratio* (FR)) liecina par labāku pastiprināšanas efektu. FR vērtība ir robežās no 0,2 poliestera ģeorežģiem līdz 0,6 neaustiem polipropilēna ģeotekstiliem.

$$\boldsymbol{A_R = FR \cdot A_u} \qquad [6.177.]$$

6.1.5.2 Projektēšanas principi

Neskatoties uz to, ka neskaitāmi lauka, laboratorijas un skaitliskie pētījumi ir parādījuši asfalta stiegrojuma lietošanas priekšrocības, uzlabojot ceļa segas veiktspēju, tomēr pilnvērtīgas un akadēmiski pamatotas projektēšanas vadlīnijas joprojām nav izveidotas. Esošās ir samērā nekonkrētas un neskaidras. Starptautiskās standartizācijas organizācijas darba grupa par ģeosintētiku [ISO/TC221] ir izstrādājusi tehnisko ziņojumu komplektu, kas satur norādījumus projektētājiem, kuri izmanto ģeosintētiku. Eksistē arī reģionālās vadlīnijas, piemēram, Nīderlandes vadlīnijas projektēšanai [135]. Šajā nodaļā aplūkota asfalta armēšanas risinājuma filozofija, jēdzieni, mehānismi un koncepcijas, kas nosaka risinājuma funkcionalitāti.

Projektēšanai ir pieejamas dažādas sarežģītības metodes. Tīri empīriskas un nomogrammu tipa parasti ir aprobežotas ar specifisku produktu, materiāliem un vides apstākļiem. Piemēram AASHTO metode (1993) ir segu projektēšanai plaši izmantota, tostarp arī ar ģeosintētiskiem materiāliem. Mehāniski-empīriskās (M-E) metodes, kurās izmanto slāņveida elastīgus analītiskus modeļus, tiek uzskatītas par vispārīgākām un tāpēc perspektīvākām ģeosintētikas izmantošanas iekļaušanai segas projektu risinājumos.

Lai gan mūsdienās ar datoru var veikt sarežģītu skaitlisko analīzi, piemēram, lietojot GEM, šīs metodes joprojām tiek uzskatītas par pētniecības, nevis industrijas instrumentiem, ņemot vērā to sarežģītību un prasības lietotāja prasmēm. Bieži praksē sastopamajās metodikās tiek lietotas empīriskas, kā arī vienkāršotas, praktiskas, tomēr pamatnostādnēs fundamentāli pamatotas pieejas. Šeit iekļauts tikai vispārīgs pārskats

par projektēšanas filozofiju un procesu. Īsumā ir precizēta un paskaidrota pieņemtā terminoloģija un ar to saistītie aspekti.

6.1.5.3 Projektēšanas metodes

Delftas Universitātes metode. [132]

Šajā metodē izmantoti plaisu veidošanas mehānikas principi, modelējot ASS lietošanas efektu.

Asfalta stiegrojuma risinājuma projektēšanas soļi:

- ∇ jāiegūst informācija par esošo ceļa segu, tās stāvokli un piedāvāto nestiegroto pārklājuma risinājumu. Jānoskaidro esošo saistīto kārtu biezumi un aprēķinātais vai noteiktas asfalta pārklājkārtas biezums risinājumā bez stiegrojuma;
- ∇ tā kā atstarojošā plaisāšana sākas no saplaisājušās saistītā materiāla esošās segas daļas, tad esošas plaisas garumu (dziļumu) *c* jānosaka kā esošo saistīto kārtu kopējo biezumu, mērot no nesaistītās pamata kārtas virsmas;
- ∇ jāaprēķina attiecība *c/d*; kur *d* ir esošās saistītā materiāla esošās segas daļas biezums + jaunās asfalta pārklājkārtas biezums risinājumā bez stiegrojuma;
- ∇ izmantojot *c/d* attiecību, no attēla (Attēls 6-4) nolasa sprieguma $\hat{R}_u$ intensitātes koeficientu, kas raksturo dominējošo plaisāšanas veidu asfalta kārtās risinājumā bez stiegrojuma;
- ∇ jānosaka atbilstošais ASS plaisāšanas koeficients *(FR)*. Tam jābūt pieejamam no piegādātāja, vai tas jānosaka pēc pieejamajiem pētījumu rezultātiem (piemēram, Tabula 6-3), vai arī tas jāaprēķina konkrētam materiālam pēc sakarības [6.177.];

Tabula 6-3. *FR* vērtības ASS projektēšanai (noteiktas pēc pētījuma [132] datiem un diagrammas (Attēls 1-38)

Ģeosintētikas tips	**Stiepes stiprība (kN/m)**	$FR = \frac{A_R}{A_u}$	**Minimālais asfalta pārklājkārtas biezums (cm)**	
			Ģeotekstila svars g/m²	
			< 130	**≥ 130**
PET režģis (kompozīts)	40	0,22	5	7
Stikla šķiedras režģis (kompozīts)	56	0,19	5	7

Ģeosintētikas tips	Stiepes stiprība (kN/m)	$FR = \frac{A_R}{A_u}$	Minimālais asfalta pārklājkārtas biezums (cm)	
			Ģeotekstila svars g/m²	
			< 130	≥ 130
Polipropilēna (PP) režģis (kompozīts)	18	0,30	5	7
Tērauda siets	32	0,20	5	

∇ nosaka plaisāšanas parametru *n*, kas atkarīgs no klimatiskajiem apstākļiem (Tabula 6-4).

Tabula 6-4. Aptuvenās plaisāšanas parametra n vērtības, pamatojoties uz klimatiskajiem apstākļiem

Klimatiskie apstākļi*	Plaisāšanas parametra *n* vērtība
Mērens piekrastes klimats (mazākas t° amplitūdas)	4,0
Kontinentāls klimats (lielākas t° amplitūdas)	7,0

** norādītās kategorijas atbilst Eiropas klimatisko apstākļu spektram. Konkrētajam objektam atbilstošā vērtība nosakāma, interpolējot starp norādītajām vērtībām. Latvijas apstākļiem lietojams n vērtību diapazons no 4,0 piejūras teritorijās līdz 5,5 pie valsts A un DA robežas.*

Sakarību stiegrota pārklājuma biezuma noteikšanai iegūst, saglabājot aprēķina satiksmes intensitāti tādu pašu, kāda izmantota nestiegrota risinājuma gadījumā (N_r=N_u), un paredzamo pārbraucienu skaitu *N,* pie kura sagaidāma plaisas izveidošanās caur visu stiegroto pārklājumu, aizstājot ar parametriem no sakarības [6.172.]. Attiecīgi sakarība [6.178.]:

$$N = \frac{D}{\frac{dc}{dN}}, \qquad [6.178.]$$

kur:

$$\frac{dc}{dN} = A \cdot K^n \qquad [6.179.]$$

tādējādi aptuvenais stiegrota asfalta pārklājuma biezums ir:

$$D_r = FR\left(\frac{D_u}{\widehat{K_u^n}}\right)\widehat{K_r^n}, \qquad [6.180.]$$

kur Du, FR un $\widehat{K_u^n}$ *(stiegrota risinājuma gadījumā apzīmēts, kā* $\widehat{K_r^n}$*) ir zināmi un ir bezdimensiju sprieguma intensitātes koeficienti, un novērtējami pēc* nomogrammas (*Attēls* 6-4).

Tā kā $\widehat{K_r^n}$ ir atkarīgs no *c/d*, tad stiegrota asfalta pārklājuma kārtas biezumu D_r nosaka ar iterāciju palīdzību, lietojot sakarību [6.180.].

Aprēķina piemēri sniegti 6.5. nodaļā.

6.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības

Tabulās turpmāk norādītas ASS specifikāciju prasības.

Tabula 6-5. Asfalta ģeotekstila specifikāciju prasības

Paredzētā izmantošana: atspriegošana (STR), stiegrošana (R) saskaņā ar EN ISO 15381			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Raksturlielumi	**Testa metode (standarts)**	**Mērv.**	**Nominālvērtība:**
Stiepes stiprība (abos virzienos)	EN ISO 10319	kN/m	≥ 8
Pagarinājums pie maksimālās slodzes (abos virzienos)	EN ISO 10319	%	≥ 40
Svars****	EN ISO 9864	g/m²	≥ 130
Konusa tests (dinamiskā caursišana)	EN ISO 13433	mm	≤ 40
Bitumena absorbcija****	EN 15381, C pielikums	kg/m²	≥ 0,9
Kušanas punkts*	EN ISO 3146	°C	≥ 160
Noturība pret laikapstākļiem**	EN 12224	%	-
Sārma pretestība***	EN ISO 12960	%	≥ 50

Tabula 6-6. Asfalta ģeorežģa specifikāciju prasības

Paredzētā izmantošana: stiegrošana (R) saskaņā ar EN ISO 15381			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Raksturlielumi	**Testa metode (standarts)**	**Mērv.**	**Nominālvērtība:**
Stiepes stiprība (abos virzienos)	EN ISO 10319	kN/m	≥ 20 / ≥ 20
Pagarinājums pie maksimālās slodzes (abos virzienos)	EN ISO 10319	%	≥ 1,5 / ≤ 15
Kušanas punkts*	EN ISO 3146	°C	≥ 160
Noturība pret laikapstākļiem**	EN 12224	%	-
Sārma pretestība***	EN ISO 12960	%	≥ 50

Tabula 6-7. Tērauda sieta specifikāciju prasības

Paredzētā izmantošana: stiegrošana (R) saskaņā ar EN ISO 15381			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Raksturlielumi	**Testa metode (standarts)**	**Mērv.**	**Nominālvērtība:**
Stiepes stiprība	EN 10223-3	kN/m	≥ 40
Tērauda sieta veids	EN 10223-3	-	8 x 10
Stieples diametrs	EN 10218-2	mm	≥ 2,4

Paredzētā izmantošana: stiegrošana (R) saskaņā ar EN ISO 15381			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Raksturlielumi	**Testa metode (standarts)**	**Mērv.**	**Nominālvērtība:**
Sieta virsmas pārklājums	EN 10244-2	-	Zn

Tabula 6-8. Asfalta ģeokompozīta specifikāciju prasības

Paredzētā izmantošana: atspriegošana (STR), barjera (B), stiegrošana (R) saskaņā ar EN ISO 15381			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Raksturlielumi	**Testa metode (standarts)**	**Mērv.**	**Nominālvērtība:**
Ģeorežģa stiepes stiprība (abos virzienos)	EN ISO 10319	kN/m	≥ 20 / ≥ 20
Ģeorežģa pagarinājums pie maksimālās slodzes (abos virzienos)	EN ISO 10319	%	≥ 1,5 / ≤ 15
Ģeotekstila svars****	EN ISO 9864	g/m²	≥ 130
Ģeotekstila bitumena absorbcija****	EN 15381, C pielikums	kg/m²	≥ 0,9
Konusa tests (ģeotekstila dinamiskā caursišana)	EN ISO 13433	mm	≤ 40
Kušanas punkts*	EN ISO 3146	°C	≥ 160
Noturība pret laikapstākļiem**	EN 12224	%	-
Sārma pretestība***	EN ISO 12960	%	≥ 50

** plānojot augstāku asfalta ieklāšanas temperatūru, jālieto ASS ar augstāku kušanas punktu.*

*** saskaņā ar EN 15381, B.1. punktu "Laikapstākļu ietekme". Dati par noturību pret laikapstākļu ietekmi ir nepieciešami, ja izstrādājums ieklāšanas dienā netiek nosegts ar asfalta kārtu.*

**** dati par noturību pret sārmu ietekmi ir nepieciešami visām funkcijām, ja izstrādājums ir jāizmanto tiešā saskarē ar neaizsargātu betona vai cementa stabilizētu virsmu.*

***** jāizpilda viena vai otra prasība gadījumos, ja ASS tiek klāts uz frēzētas asfalta virsmas. Ja ģeotekstila materiāls ir piesūcināts ar saistvielu (ceļu bitumens), tad jāizdala atsevišķi saistvielas svars un ģeotekstila svars. Saistvielas daudzumam jābūt deklarētam vai tam jābūt aprēķināmam no dotās informācijas.*

6.3 Iestrādes tehnoloģija

Asfalta virsmai, uz kuras paredzēts ieklāt ASS, jābūt līdzenai, bez ūdens uzsūkšanās pazīmēm un defektiem. Pieļaujami virsmas nelīdzenumi ≤ 10 mm (uzmērot ar 3 m latu, saskaņā ar LVS EN 13036-7). Ja tas netiek nodrošināts, jāparedz nepieciešamie papildu darbi. Sagatavotajai virsmai jābūt sausai, tīrai, bez putekļiem un svešķermeņiem. ASS pārlaidumus nedrīkst veidot virs asfalta kārtas šuvēm vai ieklāšanas iekārtas (transportlīdzekļa) riteņu/ķēžu vietām.

6.3.1 Asfalta ģeorežģa un ģeokompozīta ieklāšana

Pirms ģeorežģa vai ģeokompozīta ieklāšanas sagatavotā virsma jānoklāj ar saistvielu. Saistviela – ceļu bitumens vai bitumena emulsija. Izmantojot bitumena emulsiju, tās saistvielas saturam jābūt ≥ 65% (piemēram, C 65 B3 atbilstoši LVS EN 13808). Asfalta seguma stiegrošanai ar ģeosintētiskajiem materiāliem aizliegts lietot sašķidrinātu bitumenu (t. i., bitumenu maisījumā ar gaistošiem šķīdinātājiem, piemēram, petroleju u. tml.).

Saistvielas uzklāšanas laikā minimālajai gaisa temperatūrai jābūt +10 ℃. Saistviela jāizsmidzina uz virsmas vienmērīgi. Orientējošas saistvielas patēriņa normas:

- ģeokompozītam:
  - ceļu bitumens ≥ 1,1 kg/m²;
  - bitumena emulsija 1,2–1,5 kg/m² (paliekošās saistvielas saturs);
- ģeorežģim:
  - ceļu bitumens ≥ 0,3–0,4 kg/m².

Pirms saistvielas izsmidzināšanas uzsākšanas nelielā platībā jāpārliecinās par optimālo saistvielas izmantošanas daudzumu. Ja pamats ir porains, raupjš vai frēzēts, tad izsmidzināmais daudzums ir jāpalielina apmēram par 0,1–0,5 kg/m². Daudzums ir atkarīgs no virsmas apstākļiem, tāpēc tiem ir jāseko līdzi, jāreģistrē un jākontrolē. Ja virsmas laukums ir neliels, to nosmidzina manuāli. Pabeidzot smidzināšanu, virsmai jābūt gludai un spīdīgai – “spoguļa” efekts (Attēls 6-6). Apsmidzinātai platībai ir jābūt 100 mm platākai nekā ģeokompozīta vai ģeorežģa klājuma platums.

Attēls 6-6. Svaigi izsmidzināts saistes slānis ar "spoguļa" efektu

Ģeokompozītu vai ģeorežģi uz apsmidzinātās virsmas var likt tad, kad virsmas temperatūra ir sasniegusi apkārtējās vides temperatūru. Izritināšanu var veikt ar rokām (manuāla ieklāšana), izverot cauri ruļļa serdenim pielāgotu metāla stieni ar cauruļveida rokturiem, vai arī ar tam pielāgotu ieklāšanas iekārtu (mehāniska ieklāšana) (Attēls 6-7 un Attēls 6-8).

Ja ir ieklāts izlīdzinošais slānis, tad pirms ASS izstrādājuma ieklāšanas tam jāļauj atdzist. Virsmas temperatūrai pirms ASS ieklāšanas jābūt no 5 °C līdz 60 °C.

Izritinot ASS, jāseko līdzi, lai tas tiktu noklāts līdzeni. ASS izstiepšanai var pielietot izstiepšanas iekārtu. Ja parādās viļņi, tie ir jāizlīdzina, pievelkot ASS vai, ārkārtējā gadījumā, nogriežot un izklājot ASS ar pārlaidumiem. Pirms ASS tiek izritināts, ruļļa sākuma gals ir jānostiprina ar naglām (garums = 100 mm, diametrs vismaz 4 mm; starplikas diametrs 40 mm). Attālums starp naglām 200–300 mm.

Attēls 6-7. Ģeorežģa mehāniska ieklāšana

Attēls 6-8. Ģeokompozīta manuāla ieklāšana

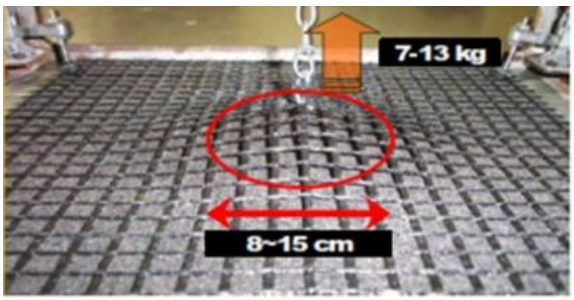
ASS savienojumu vietās garenvirzienā un šķērsvirzienā jānodrošina 12–15 cm pārlaidums vai atbilstoši ražotāja paredzētajam. Pārlaidumi jānodrošina asfalta būvniecības iekārtas kustības virzienā, lai novērstu materiāla izkustēšanos. ASS šķērsvirziena šuves izvieto pamīšus ar minimālo nobīdi 1,0 m. Ģeokompozīts vai ģeorežģis jāieklāj 15–30 cm attālumā no ceļa malas. Trases līkumos un pagriezienos ģeokompozītu vai ģeorežģi piegriež vajadzīgajā izmērā, lai, ievērojot pārlaidumus, izveidotu nepieciešamo trajektoriju.

Lai aktivizētu pašlīmēšanas procesu, ASS ir jāpiespiež, veicot divus pneimatiskā veltņa pārgājienus. Veltņošanas laikā valčiem jābūt sausiem un tīriem, lai izvairītos no ASS bojāšanas.

Karstos laikapstākļos vai vietās ar intensīvu būvtehnikas satiksmi virs ieklātā ģeosintētiskā materiāla jāiestrādā 5/8 mm sīkšķembas no 1,0 kg/m² līdz 1,5 kg/m², lai, pārvietojoties asfalta ieklāšanas tehnikai, ģeokompozīts vai ģeorežģis netiktu atrauts (pacelts) no asfalta virsmas.

ASS adhēzijas stiprības pārbaudi objektā veic pirms asfalta pārklājkārtas ieklāšanas, izmantojot atraušanas testu (Attēls 6-9).

Attēls 6-9. ASS atraušanas no asfalta virsmas tests [51]



Ieteicamais minimālais atraušanas spēks ir 9 kg. Ja rādījums ir mazāks par 9 kg, jāveic koriģējošas darbības saskaņā ar ražotāja/piegādātāja norādījumiem. Atraušanas testus ieteicams veikt ik pēc 500 m² un ne tuvāk par 1 m no ASS izstrādājuma malas. Pirms ieklāšanas darbiem ieteicams noteikt ASS atraušanas spēka vērtību testēšanas posmā.

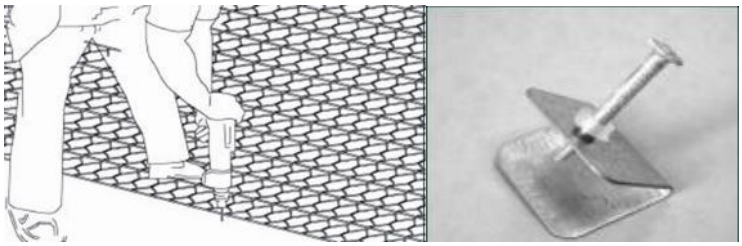
6.3.2 Tērauda sieta ieklāšana

Tērauda sieta ieklāšanai izmanto tam piemērotu būvtehniku ar traversu (Attēls 6-10).

Attēls 6-10. Tērauda sieta ieklāšana.

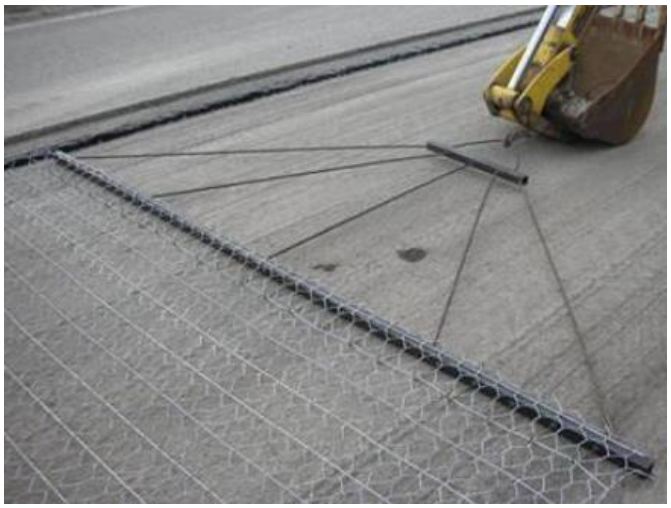
Tērauda sieta ruļļa sākuma gala pirmo metru nostiprina ar naglām ar maksimālo atstarpi 500 mm (Attēls 6-11), nākamos 4 m nostiprina ar naglām vidēji 1 gab./m². Naglas minimālais garums – 60 mm. Pēc tam sietu nostiepj.

Attēls 6-11. Tērauda sieta nostiprināšana ar naglām



Sieta nostiepšanai var izmantot tam piemērotu būvniecības tehniku (Attēls 6-12). Lai izlīdzinātu sieta rullim raksturīgo izliekuma atmiņu, pēc nostiepšanas tam pārbrauc pāri ar pneimoriteņu veltni. Ruļļa beigu galu nostiprina ar naglām. Veltnim ir jāveic 2–3 pārgājieni pa sietu, nosedzot visu tērauda sieta platumu. Veltņošanas laikā riepām jābūt sausām.

Attēls 6-12. Tērauda sieta nostiepšana, izmantojot būvtehniku



Sieta savienojumu vietās garenvirzienā un šķērsvirzienā jānodrošina attiecīgi 15 cm un 30 cm pārlaidums, vai atbilstoši ražotāja paredzētajam. Pārlaidumu vietas nepieciešams nostiprināt ar naglām ar 1 m maksimālo atstarpi. Šuves jāizvieto pamīšus ar ≥ 1 m nobīdi blakus esošajos ruļļos.

Pirms asfalta kārtas ieklāšanas virs tērauda sieta jāveic emulsētu sīkšķembu maisījuma virsmas apstrāde (angļu val. – *Slurry Seal*) (Attēls 6-13). Patēriņa norma ≈ 17 kg/m² un ir atkarīga no virsmas raupjuma. Pēc ieklāšanas tērauda sieta acs rakstam jābūt redzamam caur emulsētu sīkšķembu maisījumu.

Kad virsmas apstrāde ir sacietējusi (apmēram 1–3 stundas atkarībā no laikapstākļiem), drīkst veikt karstā asfalta kārtas ieklāšanu.

Attēls 6-13. Emulsētu sīkšķembu maisījuma ieklāšana virs tērauda sieta

6.3.3 Asfalta kārtas būvēšana virs ASS

Virs ASS vienā tvērienā ieklājamās asfalta kārtas biezums ir atkarīgs no ASS veida. Asfalta kārtas biezums ir jānorāda būvprojektā.

Nedrīkst pieļaut transportlīdzekļu kustību pa ieklāto ASS pirms nosedzošās asfalta kārtas uzbūvēšanas, izņemot darba izpildē iesaistīto tehniku – asfalta ieklājēju un asfalta piegādes transportu.

Piegādājot asfaltu, kravas transportlīdzekļi, braucot pa ieklāto ASS, nedrīkst veikt strauju bremzēšanu vai rāvienveida kustības uzsākšanu, vai riteņu izgriešanu (izbuksēšanu), kravas transportlīdzeklim atrodoties nekustīgā stāvoklī. Nedrīkst veikt asfalta ieklājēja stumta kravas transportlīdzekļa strauju sabremzēšanu.

Kvalitāte jānovērtē darba izpildes laikā, un atklātās neatbilstības jālabo pirms nākamā darba posma uzsākšanas. ASS lokšņu savienojumi nedrīkst būt šaurāki par paredzēto, noklātas joslas platumam pieļaujamā atkāpe ir no -5 cm līdz +15 cm uz katru pusi no ceļa ass.

Sīkšķembas un to iestrādes kvalitāte jānovērtē saskaņā ar ABS 6.4. punkta prasībām. Emulsētu sīkšķembu maisījuma virsmas apstrāde jānovērtē saskaņā ar ABS 6.6. punkta prasībām.

6.4 Būvprojektēšanas piemēri

6.4.1 Pirmais piemērs

Esošā stāvokļa novērtējums:

- esošo asfalta segumu paredzēts daļēji saglabāt;
- pēc nestiegrotas segas aprēķina (piemēram, pēc “Autoceļu un ielu segumu atjaunošanas vadlīnijām”) ir novērtēts, ka paredzamās satiksmes nodrošināšanai būs nepieciešama 10 cm nestiegrota asfalta pārklājkārta;
- vizuālais novērtējums liecina, ka esošajā asfaltā ir aptuveni 3 mm platas plaisas un veselo (bez plaisām) bloku izmēri ir aptuveni 2 x 2 m (augsta plaisu aktivitātes pakāpe);
- esošās segas konstrukcija (saglabātā daļa) noteikta šāda:

Tabula 6-9. Esošās segas konstrukcija 1. piemēram.

Kārtas materiāls	Biezums (cm)
Asfalta izlīdzinošā kārta	2
Asfalts, saplaisājis	15
CBGM, viendabīgs, saplaisājis	15

Kārtas materiāls	Biezums (cm)
Drupināta minerālmateriāla maisījums	15
Pamatnes grunts, smilts	-

Detalizēts asfalta stāvokļa un plaisu attīstības pakāpes novērtējums:

- esošās segas stāvokļa novērtējums: saistītās kārtas ir plaisājušas, to kopējais biezums ir: *c* = 2 + 15 + 15 = 32 cm;
- kopā ar projektēto jauno pārklājumu saistīto kārtu kopējais biezums būs: *d* = 32 + 10 = 42 cm;
- attiecība *c/d* = 32/42 = 0,76.
- Esošo plaisu malu saķeres pakāpe pēc vizuālā novērtējuma datiem (skatīt esošās segas novērtējumu) un saskaņā ar tabulu (Tabula 6-2) vērtējama kā "vidēja", un no nomogrammas (Attēls 6-4) attiecīgi nosakāms, ka plaisas attīstību noteiks bīdes (cirpes) spriegumi, ar bīdes sprieguma intensitātes koeficientu *ks* = *ku* = 1,1;
- objekts atrodas piejūras klimata zonā, tāpēc no tabulas (Tabula 6-4) plaisas attīstības eksponente ir novērtēta kā: *n* = 4;
- *Du/kun* = 100 / 1,1 ^ 4 = 68,3; kur: *Du* – noteiktais nestiegrotas pārklājkārtas biezums (mm).

Stiegrota asfalta pārklājuma risinājuma novērtējums:

- izmantojot kompozītu ar polipropilēna (PP) režģi ar *FR* = 0,3 pēc datiem, kurus nodrošina piegādātājs vai no tabulas (Tabula 6-4);
- pēc sakarības [6.180.] iterāciju ceļā aprēķina ekvivalentu stiegrota asfalta pārklājuma biezumu *Dr* (mm):
  - pieņem *Dr* = 60 mm; c/d = 32 / 38 = 0,84; nolasa no nomogrammas, Attēls 6-4 – K_R = 1,25; *Dr* = 0,3 * 68,3 * 1,25 ^ 4 = 50;
  - pieņem *Dr* = 50 mm; c/d = 32 / 37 = 0,86; nolasa no nomogrammas, Attēls 6-4 – K_R =1,30; *Dr* = 0,3 * 68,3 * 1,30 ^ 4 = 59;
  - pieņem *Dr* = 55 mm; c/d = 32 / 37,5 = 0,84; nolasa no nomogrammas, Attēls 6-4 – K_R = 1,28; *Dr* = 0,3 * 68,3 * 1,28 ^ 4 = 55;

- aprēķina iterāciju gaita parādīta tabulā (pieņemtais *Dr* jātuvina aprēķinātajam, kamēr sasniegta atbilstība, kas apmierina aprēķina noteiktības prasības asfalta kārtas biezuma projektēšanas soļa robežās):

Tabula 6-10. Aprēķina iterāciju gaita 1. piemēram

Pieņemtais Dr (mm)	**c/d= c/(c+Dr pieņemtais)**	**K_R (no nomogrammas (Attēls 6-4)**	**Aprēķinātais Dr (mm) (Sakarība [6.180.])**
60	0,84	1,25	50
50	0,86	1,30	59
55	0,85	1,28	55

No aprēķina redzam, ka nepieciešamais pārklājuma biezums ar stiegrojumu *FR* = 0,3 ir 55 mm. Līdz ar to nepieciešamo asfalta pārklājuma biezumu pie tiem pašiem ekspluatācijas nosacījumiem var samazināt par: 100 – 55 = 45 mm.

6.4.2 Otrais piemērs

Projekta risinājums (izejas dati) – nestiegrota segas pārklājuma risinājums:

- projekta risinājums, pēc segas stāvokļa novērtējuma, paredz saglabāt esošo asfalta seguma daļu (veicot virsmas izlīdzinošo frēzēšanu). Saglabātās segas konstrukcija ir noteikta pēc urbumu datiem:

Tabula 6-11. Esošās segas konstrukcija 2. piemēram

Kārtas materiāls	**Biezums (cm)**
Asfalts (pēc frēzēšanas), plaisājis	8
CBGM, plaisājis	20
Drupināta minerālmateriāla maisījums	25
Smilts	20
Pamatnes grunts, smilts	-

- objekts atrodas piejūras klimata zonā: no tabulas (Tabula 6-4) plaisas attīstības eksponente ir novērtēta: *n* = 4,0;

- ∇ no nestiegrotas segas aprēķina ir noteikts, ka paredzamās satiksmes nodrošināšanai, ievērojot esošās segas konstrukcijas atlikušo daļu, būs nepieciešams papildināt ar 12 cm asfalta pārklājumu;
- ∇ vizuālais novērtējums liecina, ka esošajā asfaltā ir par 3 mm šaurākas plaisas.

Nestiegrota asfalta risinājuma novērtējums:

- ∇ esošās segas stāvokļa novērtējums: saistītās kārtas ir plaisājušas, to saglabājamās daļas kopējais biezums ir: *c* = 28 cm;
- ∇ kopā ar projektēto jauno pārklājumu saistīto kārtu kopējais biezums būs: *d* = 28 + 12 = 40 cm;
- ∇ attiecība c/d = 28 / 40 = 0,70;
- ∇ novērotā plaisu malu saķeres pakāpe pēc vizuālā novērtējuma datiem (skatīt esošās segas novērtējumu iepriekš) un saskaņā ar tabulu (Tabula 6-2) vērtējama kā "augsta", un no nomogrammas (Attēls 6-4) nosaka plaisas attīstību noteicošo spriegumu – bīdes (cirpes) spriegumu un bīdes sprieguma intensitātes koeficientu *ks* = *ku* = 0,74;
- ∇ Du/ku ^ n = 120 / 0,74 ^ 4 = 400, kur: *Du* – noteiktais nestiegrotas pārklājkārtas biezums.

Stiegrota asfalta pārklājuma risinājuma novērtējums:

- ∇ izmantojot kompozītu ar poliestera režģi, kura plaisāšanas indekss ir: *FR* = 0,22, no tabulas (Tabula 6-3);
- ∇ pēc sakarības [6.180.] iterāciju ceļā aprēķina ekvivalentu stiegrota asfalta pārklājuma biezumu *Dr* (mm). Aprēķina iterāciju gaita parādīta tabulā (pieņemtais *Dr* iterāciju gaitā jātuvina aprēķinātajam):
  - pieņem *Dr* = 50 mm; c/d = 28 / 33 = 0,85; nolasa no nomogrammas, Attēls 6-4 – K_R = 0,93; *Dr* = 0,22 * 400 * 0,93 ^ 4 = 66;
  - pieņem *Dr* = 60 mm; c/d = 28 / 34 = 0,82; nolasa no nomogrammas, Attēls 6-4 – K_R = 0,90; *Dr* = 0,22 * 400 * 0,90 ^ 4 = 58;
  - pieņem *Dr* = 59 mm; c/d=28 / 33,9 = 0,83; nolasa no nomogrammas, Attēls 6-4 – K_R = 0,91; *Dr* = 0,22 * 400 * 0,91 ^ 4 = 60;

Tabula 6-12. Aprēķina iterāciju gaita 2. piemēram

Pieņemtais Dr (mm)	**c/d**	**K_R (no nomogrammas (Attēls 6-4)**	**Aprēķinātais Dr (mm)**
50	0,85	0,93	66
60	0,82	0,90	58
59	0,83	0,91	60

No aprēķina redzam, ka nepieciešamais asfalta pārklājkārtas biezums, lietojot kompozītu ar PET režģi, ir 6 cm.

6.4.3 Izstrādāto risinājumu tehniski ekonomiskais un ietekmes uz vidi salīdzinājums

Abos aprēķina piemēros ir izdalāmi divi ceļa segas risinājumi – ar un bez ASS. Tie katrā piemērā balstās uz vienu un to pašu sākuma (esošās segas) konstrukciju un apsvērumu par vienādu paredzēto slogošanas režīmu un aprēķina periodu. Tādējādi, salīdzinot to tehniski ekonomiskos parametrus, var aplūkot tikai atšķirīgās komponentes – t. i., tikai asfalta pārklājuma kārtas un stiegrojuma (kompozīts) izbūves izmaksu ietekmi uz salīdzinājuma rezultātu. Rezultāti apkopoti tabulā (Tabula 6-13). Asfalta kārtas izbūves izmaksas noteiktas, interpolējot no pieņemta 5 cm kārtas izmaksu līmeņa – 12 EUR/m^2. Pieņemts, ka kārta, kas biezāka par 5 cm, tiek izbūvēta no diviem slāņiem.

Stiegrojuma materiālu un iebūves darbu izmaksas noteiktas, balstoties uz vidējām šī brīža darbu un materiālu izmaksām. Materiālu izmaksas:

- ģeotekstils – 1,50 EUR/m^2;
- ģerežģi:
  - stikla šķiedra 50/50 kN/m – 1,30 EUR/m^2;
  - poliesters 50/50 kN/m – 1,80 EUR/m^2;
  - tērauda siets – 7,00 EUR/m^2;
- ģeokompozīti:
  - stikla šķiedra 50/50 kN/m – 2,50 EUR/m^2;
  - poliesters 50/50 kN/m – 3,00 EUR/m^2;
  - polipropilēns – 5,00 EUR/m^2.

Pieņemts, ka ASS iestrāde ģeokompozītam ietver emulsiju 1,3 kg/m², savukārt asfalta pārklājkārtas gadījumā – 0,3 kg/m², veidojot starpību 1,0 kg/m². Emulsijas izmaksas ievērtētas 3,0 EUR/kg.

Tabula 6-13. Asfalta pārklājuma kārtas un stiegrojuma izbūves izmaksu salīdzinājums

Risinājums	Asfalta pārklājkārta		ASS	1 m² būvniecības izmaksa (EUR)
	Biezums cm/(m³/m²)	Izmaksas EUR/m³	Izmaksas EUR/m²	
1. piemērs bez stiegrojuma	10,0/(0,1)	240,00	-	240 * 0,1 = **24,0**
1. piemērs ar PP stiegrojumu	5,5/(0,055)		5 + 3 = 8	240 * 0,055 + 8 = **21,2**
2. piemērs bez stiegrojuma	12,0/(0,12)		-	240 * 0,12 = **28,8**
2. piemērs ar PET stiegrojumu	6/(0,06)		3 + 3 = 6	240 * 0,06 + 6 = **20,4**

GWP dati asfalta elementiem iegūti no rīka PAVE_LCA_LCCA, bet ģeosintētiskajam materiālam – no ražotāja iesniegtajiem datiem. Salīdzināta tiek tikai izgatavošanas un būvniecības stadija. Ekspluatācijas stadijai ģeosintētiskā materiāla GWP parametri piemērā netiek salīdzināti. Salīdzinājums ir veikts divām iepriekšējos piemēros (skatīt 6.4.1. un 6.4.2. nodaļu) noteiktām konstrukcijām ar vienādu veiktspēju, no kurām viena ir bez stiegrojuma, otra – ar stiegrojumu.

Ietekmei uz vidi novērtējumā izmantoti dati no ģeosintētikas ražotāja sniegtās izstrādājuma vides deklarācijas, pētījuma "Inventory of Carbon and Energy (ICE)" [83] un 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

6.4.3.1 Mērķis

LCA aprēķina piemēru mērķis ir salīdzināt divu pēc nestspējas un funkcionalitātes līdzvērtīgu ceļa segas konstrukciju, no kurām viena ir ar, bet otra bez ASS, būvniecības procesa CO_2 ekvivalenta radītās emisijas, lai kopsakarībā ar šo risinājumu potenciālajām izmaksām, pamatotu projektam piemērotāko risinājumu.

6.4.3.2 Funkcionālā vienība

Ietekmes uz vidi novērtējums sagatavots 6.4.1. un 6.4.2. nodaļā aprēķinātajām ceļa segas konstrukcijām. Abos piemēros ir noteiktas CO_2 ekvivalenta radītās emisijas asfalta segai 1000 m² platībā. Tiek pieņemts, ka abu segas konstrukciju nestspēja un kalpošanas laiks ir vienāds.

6.4.3.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

6.4.3.4 Dzīves cikla inventarizācija (LCI)

Dati par konstrukcijā izmantotā ģeosintētiskā materiāla radītajām CO_2 ekvivalentajām emisijām ražošanas un iebūves procesos iegūti no materiālu vides deklarācijām. Emisiju aprēķināšanai izmantotas globālās sasilšanas potenciāla *GWP-total* vērtības.

Projektējot vēlams sagatavot vairākus alternatīvus risinājums, izmantojot dažādu ražotāju produktus. Tādā gadījumā LCA aprēķins veicams ar katram izstrādājumam deklarētajiem datiem un gala risinājums jānosaka, salīdzinot iegūtos rezultātus.

Par ASS transportēšanas attālumu, atbilstoši 1.5. nodaļā aprakstītajam, pieņemti 2000 km. Pieņemts, ka ģeosintētiskos materiālus ved pilnās kravās un pilnā kravā var iekraut 10 t. Degvielas patēriņš 30 l/100 km.

Pieņemts, ka asfaltu un bitumena emulsiju segas būvniecībai nepieciešams vest no rūpnīcas 50 km attālumā no būvobjekta. Lai aprēķinātu minerālmateriāla piegādes CO_2 ekvivalentu pieņemts, ka vienas piegādes ilgums ir 3 h.

Pieņemts ka ASS tiks ieklāts ar roku darba spēku. Asfalta un emulsijas iestrādei tiks izmantots ieklājējs, izsmidzinātājs un veltnis.

Tabula 6-14. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam ceļa segas risinājumam bez ASS

IEVADDATI		**Datu avots / Komentārs**
Ģeosintētikas piegādes maršruta garums km (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība
Vienas asfalta kravas transportēšanas laiks (h)	3	Pieņemta vērtība (100 km kopējam attālumam, turp un atpakaļ)
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	10000	Pieņemta vērtība balstoties uz piegādātāju sniegto informāciju
Asfalta ražošanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,0281	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Asfalta tilpumsvars (kg/m³)	2400	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
ASS svars (kg/m²)	0,24	Vērtība no materiāla vides deklarācijas Nr.EPD-HUESKER-136-EN
ASS iebūves platība (m²)	1000	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Asfalta kārtas biezums (m)	0,1	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Emulsijas norma (l/m²)	0,3	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Asfalta tilpums (m³)	100	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,649	Vērtība no materiāla vides deklarācijas Nr.EPD-HUESKER-136-EN
Iebūves CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,09944	Vērtība no materiāla vides deklarācijas Nr. EPD-HUESKER-136-EN
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 6-15. CO_2 ekvivalenta aprēķins ceļa segas risinājumam bez ASS

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO_2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
ASS iebūve	0	0,649	0	0,1944	0	0,09944	0	0
Asfalta kārtas iebūve	240000	0,0281	6744	0,00972	2332,8	0,0006048	145,152	9222
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00972				
ieklājējs						0,000432		
emulsijas izsmidzinātājs						0,0243		
veltnis						0,0001728		
							PAVISAM KOPĀ:	9222

6.4.3.5 Mērķis

LCA aprēķina piemēru mērķis ir salīdzināt divu pēc nestspējas un funkcionalitātes līdzvērtīgu ceļa segas konstrukciju, no kurām viena ir ar, bet otra bez ASS, būvniecības procesa CO_2 ekvivalenta radītās emisijas, lai kopsakarībā ar šo risinājumu potenciālajām izmaksām, pamatotu projektam piemērotāko risinājumu.

6.4.3.6 Funkcionālā vienība

Ietekmes uz vidi novērtējums sagatavots 6.4.1. un 6.4.2. nodaļā aprēķinātajām ceļa segas konstrukcijām. Abos piemēros ir noteiktas CO_2 ekvivalenta radītās emisijas asfalta segai 1000 m^2 platībā. Tiek pieņemts, ka abu segas konstrukciju nestspēja un kalpošanas laiks ir vienāds.

6.4.3.7 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

6.4.3.8 Dzīves cikla inventarizācija (LCI)

Dati par konstrukcijā izmantoto materiālu radītajām CO_2 ekvivalenta emisijām ražošanas un iebūves procesos iegūti no materiālu vides deklarācijām. Emisiju aprēķināšanai izmantotas globālās sasilšanas potenciāla *GWP-total* vērtības.

Par ASS transportēšanas attālumu, atbilstoši 1.5. nodaļā aprakstītajam, pieņemti 2000 km. Pieņemts, ka ģeosintētiskos materiālus ved pilnās kravās un pilnā kravā var iekraut 10 t. Degvielas patēriņš 30 l/100 km.

Pieņemts, ka asfaltu un bitumena emulsiju segas būvniecībai nepieciešams vest no rūpnīcas 50 km attālumā no būvobjekta. Lai aprēķinātu minerālmateriāla piegādes CO_2 ekvivalentu pieņemts, ka vienas piegādes ilgums ir 3 h.

Pieņemts ka ASS tiks ieklāts ar roku darba spēku. Asfalta un emulsijas iestrādei tiks izmantots ieklājējs, izsmidzinātājs un veltnis.

Veiktais salīdzinājums parāda, ka konstrukcijai ar stiegrojumu siltumnīcas efekta gāzu emisija ir gandrīz divreiz mazāka. Jāņem vērā, ka piemērā vērtēta tikai daļa no apritē iesaistītajiem procesiem, un detalizētāka izpēte var novest arī pie atšķirīgiem secinājumiem.

Tabula 6-16. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam ceļa segas risinājumam ar ASS

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Ģeosintētikas piegādes maršruta garums km (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība
Vienas asfalta kravas transportēšanas laiks (h)	3	Pieņemta vērtība (100 km kopējam attālumam, 50 turp un 50 atpakaļ)
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	10000	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāju sniegto informāciju
Asfalta ražošanas CO_2 ekv. (kg/1kg)	0,0281	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Asfalta tilpumsvars (kg/m³)	2400	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
ASS svars (kg/m²)	0,24	Vērtība no materiāla vides deklarācijas Nr.EPD-HUESKER-136-EN
ASS iebūves platība (m²)	1000	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Asfalta kārtas biezums (m)	0,055	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Emulsijas norma (l/m²)	1,3	EPD-HUESKER-136-EN
Asfalta tilpums (m³)	55	Noteikts, izstrādājot risinājumu
ASS ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas (EPD) dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,649	Vērtība no materiāla vides deklarācijas Nr.EPD-HUESKER-136-EN
Iebūves CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,09944	Vērtība no materiāla vides deklarācijas Nr. EPD-HUESKER-136-EN
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 6-17. CO_2 ekvivalenta aprēķins ceļa segas risinājumam ar ASS

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO_2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
ASS iebūve	240	0,649	155,76	0,1944	46,656	0,09944	23,8656	226
Asfalta kārtas iebūve	132000	0,0281	3709,2	0,00972	1283,04	0,0006048	79,8336	5072
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00972				
ieklājējs						0,000432		
emulsijas izsmidzinātājs						0,0243		
veltnis						0,0001728		
							PAVISAM KOPĀ:	**5298**

6.4.3.9 Ietekmes novērtējums

Saskaņā ar veiktajiem aprēķiniem risinājumam bez ASS CO_2 ekv. = 9222 kg/1000 m², bet risinājumam ar ASS CO_2 ekv. = 5298 kg/1000 m².

Salīdzinot aprēķinātās CO_2 ekvivalenta vērtības, var secināt, ka ASS izmantošanas gadījumā funkcionāli līdzīgai segas konstrukcijai emisiju apjoms tiks samazināts par 42%.

6.5 Lietošanas un labās prakses piemēri

6.5.1 Vietējā autoceļa No. 592 rekonstrukcija posmā Bartoszyce – Kętrzyn (Polija)

Projekta ietvaros tika rekonstruēts 41 km garš autoceļa posms. Kopējās projekta izmaksas PLN 68 milj. (≈ 14.5 milj. EUR). Projektu finansēja ES. Būvniecības gads 2006-2008.

Attēls 6-14. Esošais ceļš pirms rekonstrukcijas

Attēls 6-15. Pēc rekonstrukcijas

PROBLĒMA – ceļš Nr. 592 bija pārsniedzis savu projektēto kalpošanas laiku, uzrādot noguruma plaisāšanas, rišu un citas virsmas deformācijas. Esošā ceļa uzbēruma ģeometrijas ierobežojumi ar šaurām nomalēm un dziļajiem grāvjiem nozīmēja, ka nepieciešams iespējami nepaaugstināt esošās segas atzīmes un tajā pat laikā ņemt vērā ievērojamās pilnas rekonstrukcijas izmaksas. Tika izvēlēts risinājums pilnībā saglabāt esošo segu, virs tās izbūvējot konstrukciju ar 10cm (6+4) armētu asfalta pārklājkārtu uz 18 cm ar cementu saistīta minerālmateriāla kārtas.

RISINĀJUMS – tika projektēts ar cementu apstrādāts pamats un ar Tensar AR-G pastiprinātas asfalta pārklājkārtas kombinācija, lai nodrošinātu ilgtermiņa veiktspēju ar minimālu segas papildus biezumu un neveicot pilnu pārbūvi. Tensar AR-G

kompozītmateriāla stiegrojuma kompozīta starpslānis, tika izvēlēts, lai kontrolētu gan nogurumu, gan atstarojošo plaisāšanu asfalta kārtās. Tensar AR-G ģeorežģis tika atritināts tieši uz bitumena emulsijas. Ruļļus izklāja plakaniski un savietoja ar nominālo pārlaidumu. Asfalta pārklājkārta tika uzklāta uzreiz pēc Tensar AR-G ieklāšanas.

IEGUVUMI – tika ātri uzbūvēta stabila, slodzei atbilstoša ceļa sega ar minimālu biezumu un tajā pašā ceļa klātnē, tādējādi izvairoties no lielām zemes darbu izmaksām, kas būtu saistītas ar uzbēruma paplašināšanu.

6.5.2 Vietējas nozīmes autoceļš L 231 Lüneburg, Vācija – 1987-2003

PROBLĒMA – 1987. gadā Līneburgas kopienai Vācijā bija nepieciešams salabot nelielas intensitātes lauku ceļu L 231, kas bija stipri bojāts kūkumošanās procesu rezultātā. Ceļa pamats bija nepietiekošs, lai nodrošinātu nepieciešamo salizturību un nestspēju. Taču pilna pārbūve nozīmēja nepieņemamas izmaksas.

RISINĀJUMS – ievērojot to, ka šis bija mazas intensitātes autoceļš un plaisu raksturs liecināja par to rašanos pārsvarā nevis no satiksmes bet gan no vides ietekmēm, tam tika projektēts esošās segas pastiprinājums, kas kompensētu spriegumus no šīm ietekmēm un tajā pat laikā novēršot atstarojošo plaisu veidošanos no saglabātās esošās segas. Konstrukcijā tika iekļauts Tensar AR1 asfalta stiegrojuma režģis virs vājākā posma vairāk nekā 250 m garumā. Virs esošās segas tika ieklāts plāns asfalta izlīdzinošais slānis, uz kura ieklāja Tensar AR1 režģi. Asfalta pārklājums 10,5 cm biezumā sastāvēja no 7,5 cm saistes un 3 cm dilumkārtas.

Attēls 6-16. Plaisu raksturs pirms pārbūves

2003. gada jūlijā (pēc 16 gadiem) tika veikta vizuālā pārbaude un FWD mērījums, kas skaidri parādīja risinājuma sekmīgu kalpotspēju.

Attēls 6-17. Autoceļa stāvoklis 16 gadus pēc pārbūves

PROJEKTA APRAKSTS – grunts un ceļa konstrukcijas izpēte 2003. gada jūlijā parādīja, ka pamatnes grunts sastāvēja no 1 līdz 2 m ar ūdeni piesātināta merģeļa ("Geschiebemergel"). Uz ceļa virsmas pirms remonta, bija redzamas platas plaisas garenvirzienā ceļa vidū, kā arī gar galvenajām riteņu trajektorijām. Turklāt skaidri pierādījumi par nogurumu krokodila plaisu formā, kuras nebija izskaidrojamas ar satiksmes slodzi zemās intensitātes dēļ. Tas, līdz ar to , norādīja uz pamata pārmitrinājuma ietekmi un no tās izrietošo termoplaisu aktivitāti. 2003. gada jūlijā veiktās vizuālās apskates rezultātā tika konstatētas tikai dažas vietas, kur dilumkārtai bija nepieciešama apkope 250 m garajā posmā, kas pastiprināts ar stiegrojumu. Deformācijas bija daudz vairāk blakus esošajos posmos, kuros nebija režģa pastiprinājuma.

Ieguvumi:

- ar salīdzinoši nelielu papildu ieguldījumu (bez pilnas segas pārbūves) un regulāru apkopi iegūts ievērojami pagarināts esošās segas konstrukcijas kalpošanas laiks;
- risinājums apstiprināts ar ilgstošiem (> 16 g.) novērojumu rezultātiem.

6.5.3 Autoceļš P4 Rīga – Ērgļi 8,9-9,3 km

Objekts P4 Rīga – Ērgļi 8,9-9,3 km uzbūvēts 2019. gadā.

Saskaņā ar būvprojekta risinājumiem pieturvietu paplašinājumā uzbūvēti gabioni – 120 m², savukārt asfalta armēšana ar ģeokompozītu veikta 3900 m² platībā virs asfalta

izlīdzinošās kārtas (zem saistes un dilumkārtas – kopā 10,5 cm) un paplašinājumos zem asfalta apakškārtas, piemēram, 9,190 km. Ģeokompozīta esošās konstrukcijas pārsegums paplašinājumos realizēts 1 m platumā.

Šī pētījuma ietvaros 2022. gada 3. oktobrī tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu nostiprināto nogāžu un armēta asfalta seguma risinājumu tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieks J. Kivilands. Apsekojot objektu nekādi defekti netika konstatēti.

Defektu neesamība apliecina, ka risinājums 3 gadus pēc izbūves iztur faktiskās vides un satiksmes ietekmes. Novērtēt vai būtu iespējams nelietot ģeosintētiskos materiālus, vai darīt to atšķirīgi, nav iespējams, jo trūkst salīdzināmu datu.

Secinājumi un ieteikumi

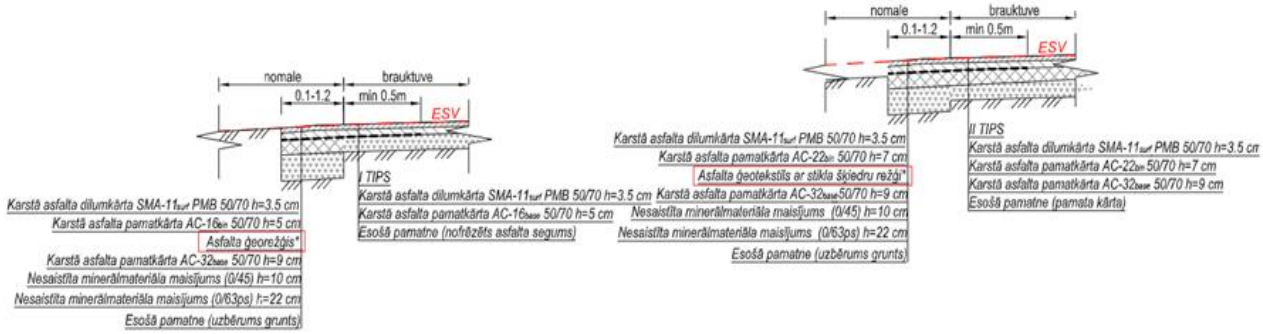
Izstrādājot būvprojektu tā dokumentācijai jāpievieno risinājuma pamatojums norādot un argumentējot ģeosintētisko materiālu izmantošanas nepieciešamību.

6.5.4 Autoceļš A10 Rīga – Ventspils km 57,76-68,60

Atbilstoši projekta risinājumam ģeorežģis iebūvēts starp asfalta kārtām virs ģeorežģa uzbūvējot asfalta seguma kārtas kopā 85mm biezumā, pārsedzot savienojuma vietas starp jauno uzbūvēto paplašinājumu un veco ceļa klātni:

- segas 1. tips uz nomales – asfalta ģeorežģis starp asfalta seguma apakškārtu un saistes kārtu;
- segas 2. tips uz nomales – asfalta ģeotekstils ar stiklašķiedras režģi starp asfalta seguma apakškārtu un saistes kārtu;
- ieskrējiena joslā no km 60,014 līdz 60,140 – asfalta ģeorežģis;
- segas 1. tips – asfalta ģeorežģis starp veco asfalta virsmu (nofrēzēta) un saistes kārtu (3,5+5 cm) km 57,800-58,770; km 58,900-59,700; km 60,100-62,520; km 66,300-66,600;
- paplašinājumos starp asfalta seguma apakškārtu un saistes kārtu km 60,120-60,720; km 61,240-62,520; km 64,000-64,912.

Attēls 6-18. A10 projekta risinājums ar asfalta stiegrojumu (ASS)



Šī pētījuma ietvaros 2022. gada 18. jūlijā tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu uzbūvētā asfalta seguma tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieki A. Strežs, J. Kivilands.

Apsekojot objektu nekādas deformācijas, plaisas vai cita veida asfalta seguma bojājumi netika novēroti.

Defekti nav parādījušies. Nav iespēja salīdzināt, vai defekti būtu parādījušies nelietojot ģeorežģi.

Ģeorežģis tika iebūvēts arī uz esošā seguma virs šķērsplaisām. Apsekojot objektu nevar precīzi noteikt, kur ir lietots ģeorežģis virs šķērsplaisām. Būvdarbu un būvprojekta dokumentācijā šādas informācijas nav, taču šķērsplaisu kopēšanās netika konstatēta. Iespējams, to novērsis ģeorežģis.

Secinājumi un ieteikumi:

- ∇ paplašinot brauktuvi pastāvēja risks, ka vecās brauktuves un paplašinājuma vietās varētu parādīties plaisas. Būvprojektā tas skaidrots ar pieņēmumu, ka ieklājot asfalta ģeorežģi, plaisu veidošanās riski samazināsies, kas tomēr nav pietiekami, un nav korekti, jo šajā gadījumā nav jānovērš plaisu kopēšanās, un arī nestspējas vai biezuma limita problēmas nav konstatējamas. Deformācijas risks paplašinājumā parasti veidojas nevienmērīgas sēšanās dēļ esošajā konstrukcijā un no jauna uzbūvētajā paplašinājuma konstrukcijā, taču tad deformācija būtu jānovērš tur, kur tā veidojas – zemes klātnes un ceļa segas pamatu līmenī. Jebkurā gadījumā novērst to ar asfalta stiegrojumu nevar. Tādējādi secināms, ka šādam mērķim stiegrojuma paredzēšana starp asfalta kārtām ir bijusi nepamatota. Ģeorežģa lietošana virs šķērsplaisām iespējams ir bijusi pmatota un veiksmīga, bet tā kā nav iespējams salīdzināt ar citu risinājumu, piemēram, bez ģeorežģa, tad droši apgalvot to nevar;

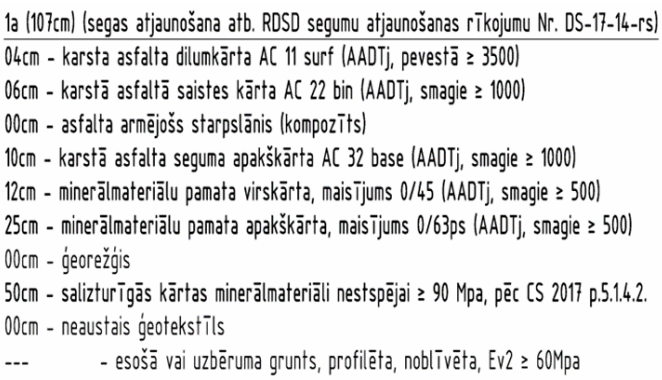
- ∇ lai būtu iespējams izvērtēt būvprojekta risinājumu pamatotību un efektivitāti, izstrādājot būvprojektu tā dokumentācijai jāpievieno risinājuma pamatojums norādot un argumentējot ģeosintētisko materiālu izmantošanas nepieciešamību.

6.5.5 Viestura prospekts Rīgā

Objekta Viestura prospekts Rīgā būvniecība tika veikta 2021. gadā, bet 2022. gadā tika veikta jau sabrukušā asfalta seguma pārbūve.

Sākotnējā būvprojekta risinājumā tika paredzēts saglabāt daļu esošās ceļa segas un, iespējams, tāpēc tur tika paredzēts zem jaunā asfalta seguma iebūvēt ģeokompozītu. Taču būvprojekta izmaiņu rezultātā vecās segas saglabāšana vairs nebija lietderīga, un to paredzēja nojaukt, taču ģeokompozīts risinājumā tika saglabāts. Papildus skaidrojuma, kas to pamato, būvprojekta vai būvdarbu dokumentācijā nav. Rezultātā tika uzbūvēta jauna ceļa sega ar ģeotekstilu un ģeorežģi starp asfalta kārtām.

Attēls 6-19. Ceļa segas risinājums būvprojektā



Tādējādi tika uzbūvēta jauna segas konstrukcija ar ģeokompozītu starp asfalta kārtām un ģeorežģi zem nesaistītās ceļa segas pamata kārtas. Turklāt kā redzams, ģeokompozīts tika paredzēts starp asfalta kārtām nevis zem asfalta seguma, kur tā lietojumu būtu bijis iespējams skaidrot ar spriegumu samazināšanas vai plaisu veidošanās aizkavēšanas funkciju.

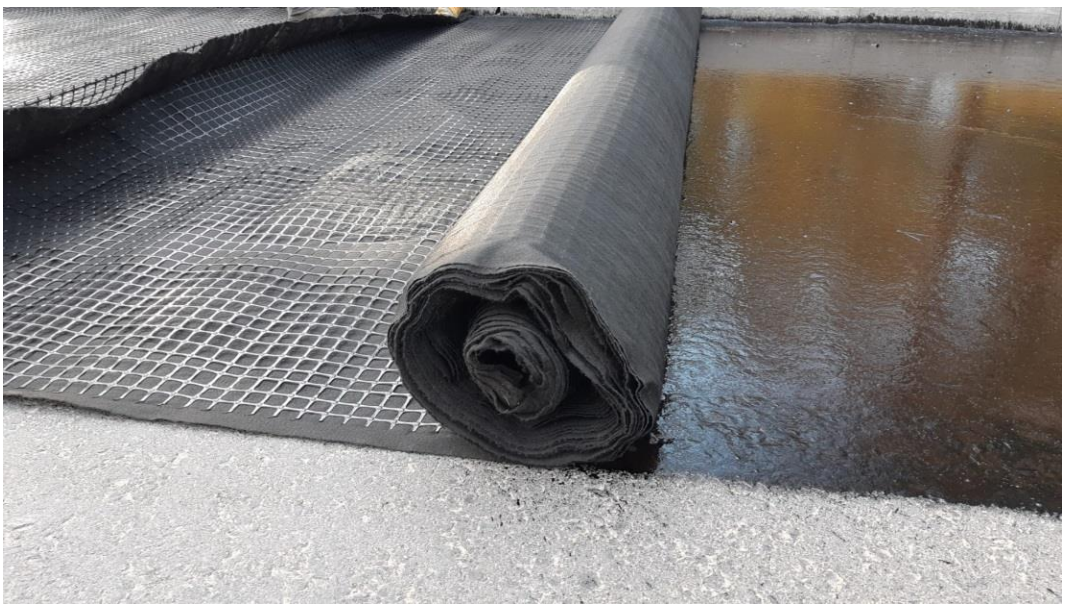
Arī nestspējas nepietiekamība šajā gadījumā neizskaidro asfalta stiegrojumu, jo veicot segas pārrēķinu redzams, ka nestspēja pie būvprojekta paskaidrojuma rakstā norādītajiem parametriem ir pietiekama arī bez stiegrojuma elementiem, un nav saskatāmi arī nekādi citi riski. Būvprojektā nekāds pamatojums šādam risinājumam netika atrasts.

Šī pētījuma ietvaros 2022. gada 5. jūlijā tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu uzbūvētā asfalta seguma tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieks J. Melnis.

Saskaņā ar iepriekšējiem datiem 2021. gadā, asfalta ieklāšanas laikā, ģeorežģis veidoja "vilni" un bija novērojams tā pārvietojums attiecībā pret bāzes tekstilu (skat. video pētījuma pielikumā). Savukārt īsi pēc asfalta kārtas ieklāšanas šī jaunā asfalta seguma saistes kārta (6 cm) brauktuves daļā pa kuru tika atklāta pagaidu satiksme, sabruka.

2022. gada jūlijā asfalta seguma kārtas un ģeosintētiskie materiāli tika demontēti, vietā ieklājot jaunu ģeorežģi un uzbūvējot jaunu asfalta segumu.

Attēls 6-20. 2021. gads. Ieklājamais materiāls



Attēls 6-21. Izbūvētās konstrukcijas stāvoklis 2021. gada oktobrī

Attēls 6-22. Pēc sabrukušās dilumkārtas nofrēzēšanas

a) *b)*

Viens no dilumkārtas sabrukuma cēloņiem ir nepietiekoša sasaiste ģeotekstilam ar pamatni. Iespējams, nav arī sasaiste starp režģi un tekstilu, kā arī nav sasaiste starp režģi un asfaltu.

Sabrukums sākās pēc pagaidu satiksmes atklāšanas pa nepilna biezuma konstrukciju (bez 4 cm virskārtas). Nav iespējams apgalvot, ka satiksme vainojama sabrukumā, taču ja tā netiktu palaista, tad iespējams, sabrukums notiktu jau pēc otras kārtas uzklāšanas. Tādējādi zaudējumi būtu dubulti. Satiksme ātrāk izgaismoja problēmas esamību.

Secinājumi un ieteikumi:

- ģeosintētisko materiālu lietošanas nepieciešamība šajā objektā nav pamatota, līdz ar to secināms, ka ģeosintētisko materiālu lietošana objektā, iespējams, bijusi nelietderīga;
- būvprojekta risinājums paredzēja izbūvēt ASS jaunas asfalta kārtas vidū, kas ir pretrunā ar ASS funkcionalitātes pamatprincipiem, kuri nosaka tā maksimālo efektivitāti paredzot to sagaidāmo maksimālo stiepes spriegumu vietā, t.i. asfalta kārtas apakšējā daļā. Tādējādi šajā būvprojektā paredzētais risinājums ir vērtējams, kā neefektīvs. To būtu bijis iespējams novērst, ja projekta izstrādes procesā tiktu sagatavots segas risinājuma pamatojums;
- nepareizi organizēta būvdarbu izpilde, lietojot nepareizas metodes un/vai paņēmienus, nepietiekama pieredze, var nevis dot kādus ieguvumus, lietojot ģeosintētiskos materiālus, bet gan izraisīt uzbūvētās konstrukcijas sabrukumu, kā tas šajā gadījumā arī notika;
- problēmu saasināja arī fakts, ka satiksme tika atklāta pa nepilnīgi uzbūvētu segumu. Starp ekspluatācijā esoša seguma virsmu un stiegrojumu bija mazāks pārklājkārtas biezums nekā to noteicis ražotājs izstrādājuma specifikācijā.

6.5.6 Autoceļš A2 Rīga – Sigulda – Igaunijas robeža (Veclaicene) km 25,5-39,4

Objekts A2 Rīga – Sigulda – Igaunijas robeža (Veclaicene) km 25,5-39,4 uzbūvēts 2019. – 2020. gadā.

Posmā km 35,4-36,4 (labā brauktuve) būvniecības gaitā tika pamanītas deformācijas. PVG protokolā Nr. 8 projektētājs piedāvāja stiegrot asfaltu. Būvuzraugs šādu piedāvājumu raksturojis, kā "īstermiņa risinājumu".

Pēc būvniecības dokumentācijas (izmaiņu akts Nr.8. 30.04.2020) noprotams, ka zem dilumkārtas ir ticis iebūvēts asfalta stiegrojuma režģis.

Deformācija netika pārtraukta, plaisa joprojām ir aktīva.

Papildus būvprojekta datus skatīt 8. nodaļā.

Šī pētījuma ietvaros 2022. gada 21. jūlijā tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu uzbūvētā ceļa segas pastiprinājuma risinājuma tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieki A. Zariņš, A. Paeglītis, P. Šķēls, O. Mednis, A. Strežs, J. Kivilands.

Papildus apsekošanas datus skatīt 8. nodaļā

Izskatot ģeotehniskās izpētes datus un projekta risinājumu, tika konstatēts sekojošais:

- iepriekš ir secināts, ka deformācijas iemesls ir pamatnes grunts nepietiekama nestspēja un neatbilstošs risinājums tās kompensēšanai, kā rezultātā deformācija eksponējas uz konstrukcijas virsmas. Tā kā deformācija tika pamanīta jau būvniecības laikā, tad tika pieņemts lēmums mēģināt to novērst ar tajā brīdī vēl pieejamo risinājumu – asfalta stiegrošanu, bet nenovēršot konstrukcijas nevienmērīgas sēšanās iemeslus;
- informācija par deformācijām esošajā konstrukcijā ģeotehniskajā atskaitē ir ietverta un aprakstīta objektīvi. Arī projektētāji to ir vērtējuši un piefiksējuši paskaidrojuma rakstā. Projektētājs pēc veiktā situācijas vērtējuma ir piedāvājis: "... Lai novērstu plaisu kopēšanos uz seguma, tiek paredzēts augstas izturības ģeokompozīts, kas uzņems minētos spriegumus un neļaus tiem parādīties segumā. ...";
- pēc segas pamata uzbūvēšanas veiktajos urbumos ir redzams, ka deformācija turpinās.

Tādējādi secināms, ka:

- ņemot vērā ģeotehniskās izpētes datus un esošās konstrukcijas specifiku, projektā bija jāparedz konstrukcijas nevienmērīga sēšanās. Bija jānovērtē deformācijas katrā pusē ar aprēķinu un atbilstoši tām jāprojektē galvenās deformācijas (konstrukcijas sēšanās) cēloni novērsošs risinājums;
- konstatējot problēmu būvniecības gaitā tās būtība nav tikusi identificēta un ir ticis pieņemts neatbilstošs lēmums mēģināt apturēt problēmas izpausmes (simptomus) – stiegrot asfaltu, bet nenovēršot problēmas cēloni – nevienmērīgu sēšanos;
- šajā gadījumā vislielākie spriegumi no aplūkotās deformācijas ir konstrukcijas virspusē, jo tur veidojas vislielākais moments no deformāciju izraisošās slodzes, kā arī tas, ka problēma ir viennozīmīgi saistīta ar pamatnes grunti un konstrukcijas apakšējās daļas risinājumu. Šāda tipa slodžu radītie spriegumi gandrīz vienmēr ievērojami pārsniedz asfalta stiegrošanai paredzēto ģeosintētisko materiālu resursu.

Summējot iepriekš uzskaitīto secināms, ka projekta risinājums būs efektīvs tikai tad, ja tas ir lietots mērķtiecīgi, ja tas risina pamatproblēmu. Iespējas jeb varbūtība atrisināt problēmu ārstējot simptomus nav pareiza un nav ieteicama

Secinājumi un ieteikumi:

- Ir jāparedz un jāizvērtē visus iespējamos scenārijus atbilstoši ģeotehniskās izpētes datiem, kura nepieciešama vismaz tik pat detalizēti kā šī objekta būvprojektā (griezumi vismaz ik pa 100m);
- jārisina pamatproblēmu, bet ja tā nav identificēta, tad koncentrēties uz tās identificēšanu;
- nav racionāli mēģināt novērst izpausmes, jeb simptomus, nezinot par tās cēloņiem;
- asfalta stiegrojums var palīdzēt risināt vienīgi ar asfaltu un no tā izrietošas problēmas, bet ar tām nevar risināt problēmas, citos konstrukcijas elementos.

6.5.7 Aleksandra Čaka un Marijas ielas no Merķeļa ielas līdz Pērnavas ielai

Objekts Aleksandra Čaka un Marijas ielas no Merķeļa ielas līdz Pērnavas ielai uzbūvēts 2021. gadā.

Visā būvobjekta posmā iebūvēts PP ģeokompozīts. Tika paredzēts veikt esošā seguma izlīdzinošo frēzēšanu un uzbūvēt asfalta izlīdzinošo kārtu. Tad veikt gruntēšanu un ieklāt ģeokompozītu. Tālāk uzbūvējot divas asfalta kārtas 6 cm un 4 cm biezumā.

Saskaņā ar projektētāja sniegto informāciju, vairākos posmos tika realizēta pilna segas pārbūve, kur ģeokompozīts ieklāts starp AC32 pamata virskārtu un saistes kārtu. Līdzīgi kā Viestura prospekta risinājumā (sk. p.6.5.5.) būvprojektā nav paskaidrota ideja vai aprēķins ASS lietošanai pilnas segas pārbūves gadījumā, turklāt starp asfalta kārtām resp. - segas asfalta segas daļas vidū starp 10 cm biezu segumu un 10 cm biezu pamata virskārtu, kur tā efektivitāte viennozīmīgi nav lielākā iespējamā.

Būvprojektā paredzētā seguma konstrukcija, 1. tips:

- karstā asfalta dilumkārta AC 11 surf 4 cm;
- karstā asfalta saistes kārta AC 22 bin 6 cm;
- ģeokompozīts Tensar AX5_GN, vai analogs;
- karstā asfalta izlīdzinošā kārta AC 11 base ≥ 2,5 cm.

Būvprojektā paredzētā seguma konstrukcija, 2. tips:

- karstā asfalta dilumkārta AC 11 surf 4 cm;
- karstā asfalta saistes kārta AC 22 bin 6 cm;
- ģeokompozīts Tensar AX5_GN, vai analogs;
- karstā asfalta apakškārta AC 32 base 12 cm.

Šī pētījuma ietvaros 2023. gada 27. aprīlī tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu asfalta seguma pastiprinājuma ar ģeorežģi risinājuma tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieks J. Kivilands.

Apsekojot objektu nekādi defekti netika konstatēti. Netika konstatētas arī nekādas vizuālas atšķirības seguma virsmā, kas liecinātu par konkrēto izbūvēto konstrukciju – pilna segas pārbūve, vai asfalta seguma atjaunošana.

Ģeosintētisko materiālu izmantošanas efektivitāti pilnībā nav iespējams novērtēt, jo nav salīdzināmu kritēriju, kā arī konstrukcijas ekspluatācijas periods vēl ir samērā neliels. Negatīva ietekme no ģeosintētiskā materiāla lietošanas asfalta seguma konstrukcijā, netika novērota.

Secinājumi un ieteikumi:

- pamatot ģeosintētisko materiālu izmantošanas nepieciešamību.

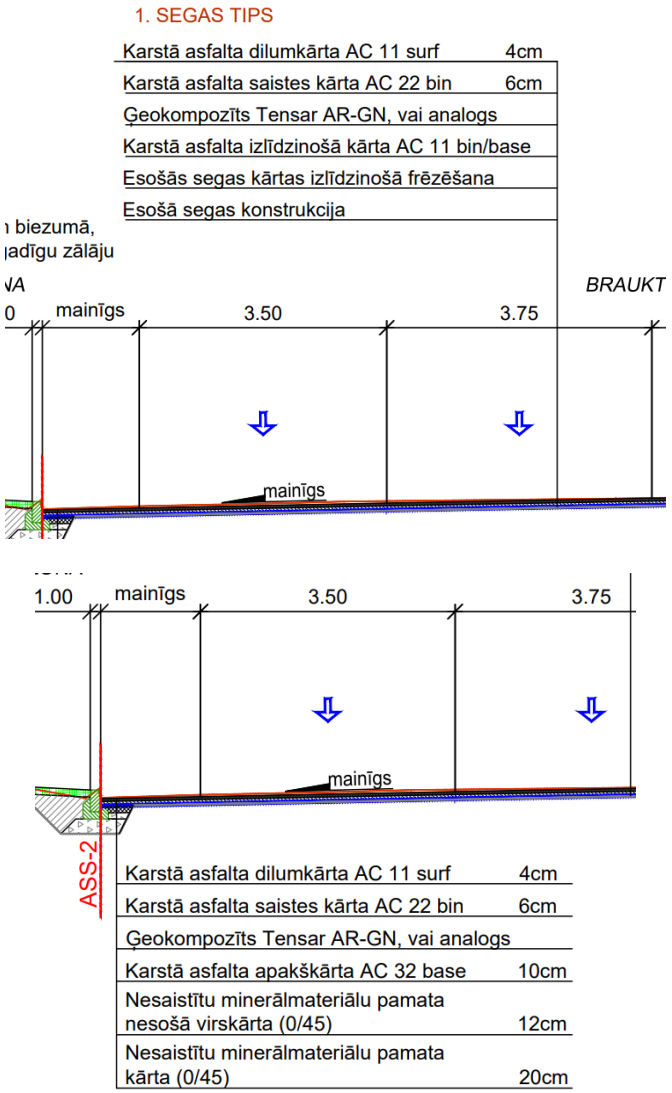
6.5.8 Objekts Krasta iela no Salu tilta līdz Jēzusbaznīcas ielai Rīgā

Objekts Krasta iela no Salu tilta līdz Jēzusbaznīcas ielai Rīgā uzbūvēts 2019. gadā.

Saskaņā ar būvprojekta risinājumiem visā būvobjektā abās brauktuvēs iebūvēts PP ģeokompozīts. Tika paredzēts veikt esošā seguma izlīdzinošo frēzēšanu, vietām ieklājot asfalta izlīdzinošo kārtu. Tad veikt gruntēšanu un ieklāt ģeokompozītu. Tālāk uzbūvējot divas asfalta kārtas AC 22 6 cm biezumā un AC 11 4 cm biezumā.

Vairākos posmos tika realizēta pilna segas pārbūve, kur ģeokompozīts ieklāts starp asfalta apakškārtu un saistes kārtu.

Attēls 6-23. Būvprojekta risinājumu piemēri



Šī pētījuma ietvaros 2023. gada 27. aprīlī tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu asfalta seguma pastiprinājuma ar ģeorežģi risinājuma tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieks J. Kivilands.

Apsekojot objektu dažviet tika konstatētas sīkas plaisiņas un dažviet garenšuves plaisa, bet šo defektu cēlonis visticamāk nav saistīts ar ģeokompozīta lietošanu.

Uzbūvētā konstrukcija ir nokalpojusi apmēram 5 gadus. Tā kā defekti netika konstatēti, tad var uzskatīt, ka risinājums darbojas labi, un plaisas no vecā seguma neizkopējas no jauna uzbūvētajās asfalta kārtās.

Posmos, kuros tika realizēta pilna segas pārbūve, ģeokompozīts ieklāts starp AC32 pamata virskārtu un saistes kārtu. Līdzīgi kā Viestura prospekta risinājumā (sk. p.p.6.5.5.) un Čaka ielas risinājuma (sk. p.p.6.5.7.) gadījumos, būvprojektā nav paskaidrota ideja vai aprēķins ASS lietošanai pilnas segas pārbūves gadījumā, turklāt starp asfalta kārtām resp. - segas asfalta segas daļas vidū starp 10 cm biezu segumu un 10 cm biezu pamata virskārtu, kur tā efektivitāte viennozīmīgi nav lielākā iespējamā.

Secinājumi un ieteikumi:

- ieteicams, pamatot ģeosintētisko materiālu izmantošanas nepieciešamību;
- tā kā objektā ģeokompozīts lietots arī uz frēzētas virsmas, kura ir salīdzinoši nelīdzena, bet nekāda nelabvēlīga ietekme pēc aptuveni piecu gadu ekspluatācijas nav konstatējama, tad iespējams, ka risinājums ģeokompozīta lietošanai uz frēzētas virsmas ir derīgs lietošanai arī citviet, taču tam būtu jāpieiet ar zināmu piesardzību un katru konkrēto apstākļu kopuma vispusīgas izvērtēšanas.

7 Ceļa konstrukcijas drenāžas risinājumi

Drenāžas ģeokompozītus plaši izmanto transportbūvju konstrukcijās, pasargājot tās no ūdens ietekmes, kā arī paildzinot to kalpošanas laiku.

Ūdens nekontrolēta kustība gruntī var apdraudēt inženierbūvju konstrukciju stabilitāti. Pārmitrinātā gruntī veidojas sekojoši nelabvēlīgi faktori:

- samazinās grunts saiste;
- rodas papildus slīdamība kritiskajās noslīdējuma plaknēs;
- palielinās smalko grunts daļiņu kustību grunts konstrukcijās;
- konstrukcijā palielinās horizontālie spēki;
- palielinās spiediens grunts porās, kas samazina efektīvo spriegumu, tādejādi samazinās grunts bīdes pretestība.

Kvalitatīvi izprojektēta drenāžas sistēma veic tai paredzētās funkcijas neietekmējot apkārtējo teritoriju – neizraisa neparedzētu grunts kustību vai teritoriju pārmitrināšanos. Sākotnēji projekta risinājums ir jāaprēķina, izmantojot tikai grunts materiālu. Izmantojot aprēķinā iegūtos veiktspējas rezultātus, izvēlas atbilstošu drenāžas ģeokompozītu. Aprēķinos izmanto vienkāršotu aprēķina metodiku, pieņemot lamināru ūdens plūsmu, un, ka gruntīs ūdens plūsmas hidrauliskais slīpums ir konstants. Detalizētāk skatīt pētījuma 7. nodaļā “Pētījuma un rokasgrāmatas izstrāde ģeosintētisko materiālu un tiem radniecīgo izstrādājumu pielietošanai autoceļu konstrukcijās”.

Veicot aprēķinus, ņemts vērā LVC izstrādātā dokumenta “Ieteikumi ceļu projektēšanā – Ceļa sega” vadlīniju 4. punkts “Ceļa segas un zemes klātnes nosusināšanas risinājuma projektēšana”. [136]

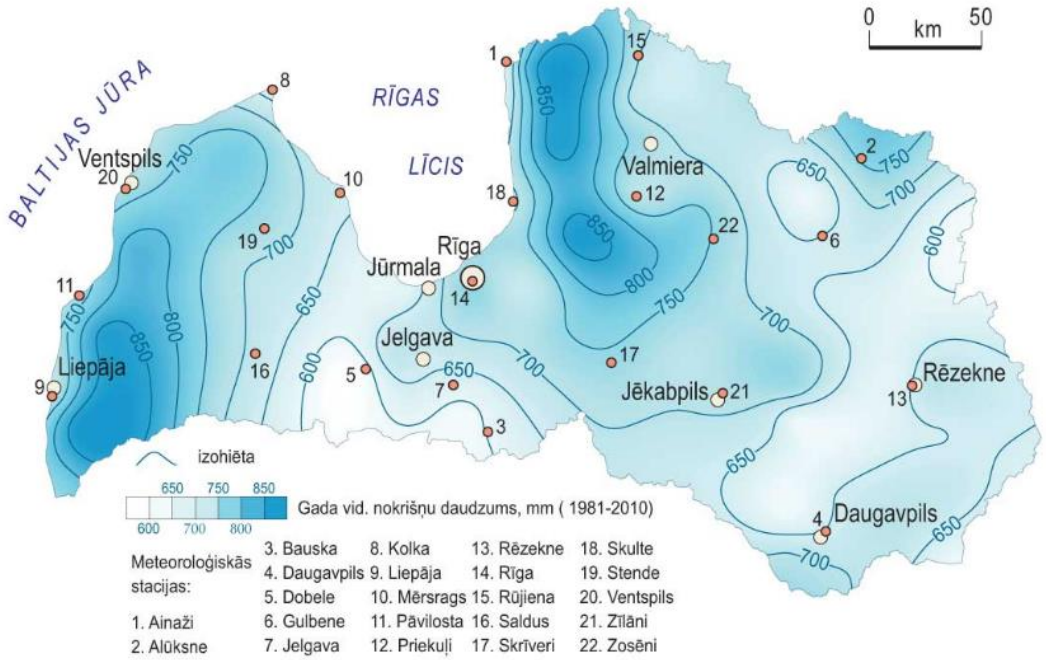
Lēmums par gala risinājumu tiek pieņemts, izvērtējot tehniski–ekonomisko salīdzinājumu un/vai ietekmes uz vidi aprēķinu.

7.1 Lietošanas lietderība Latvijas apstākļos

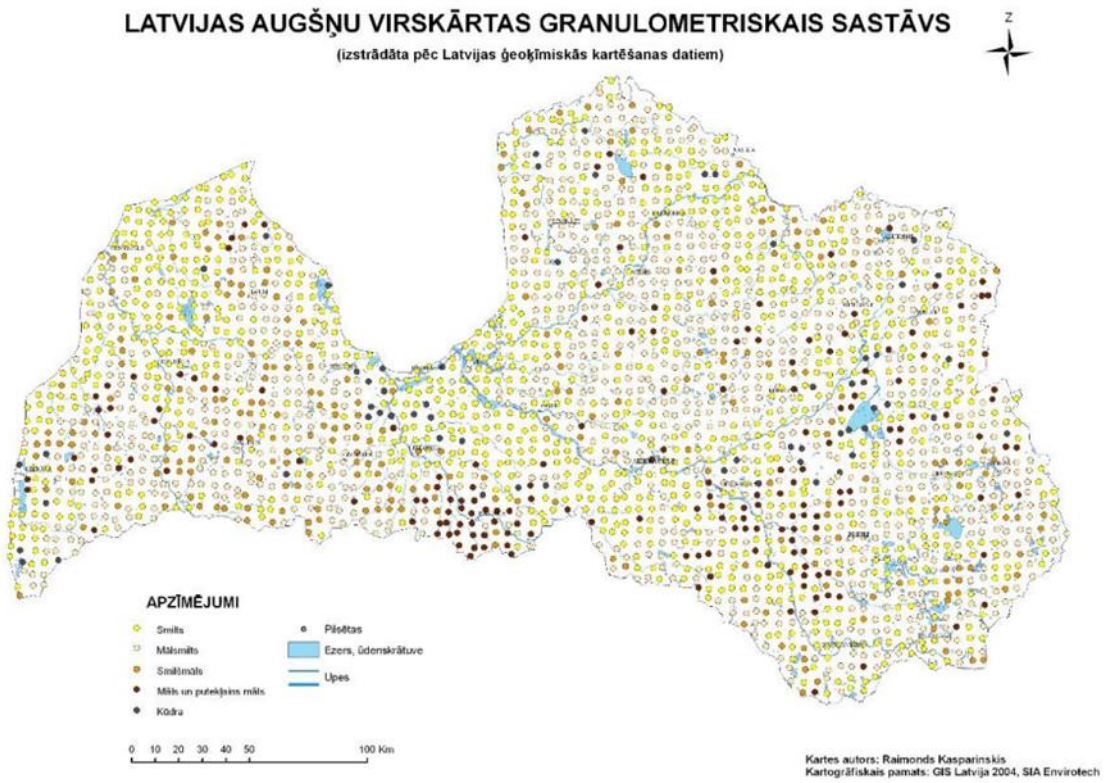
Attēlos (Attēls 7-1 un Attēls 7-2) ir parādīts vidējais nokrišņu daudzums un dominējošās gruntis Latvijas teritorijā. Redzams, ka ir daudz smilšainu un mālainu grunšu, sastopamas kūdrainas un dūņainas teritorijas ar augstu gruntsūdens līmeni. Arī nokrišņu daudzums ir salīdzinoši liels, un turpmāko gadu prognozes liecina, ka tas tikai palielināsies. Tāpēc Latvijas ģeoloģiskajos un klimatiskajos apstākļos drenāžas sistēmas projektēšanai un ierīkošanai ir būtiska nozīme nākotnes būvju ilgmūžībai un kvalitātei.

Arī kvalitatīvu minerālmateriālu iztrūkums un cenu pieaugums motivē meklēt citas iespējas drenāžas sistēmu būvniecībai. Papildus šodien arvien lielāks uzsvars tiek likts uz risinājumiem ar "zaļās domāšanas" principiem, kas samazina CO^2 emisijas.

Attēls 7-1. Vidējais nokrišņu daudzums Latvijā [137]



Attēls 7-2. Dominējošās gruntis Latvijā [138]



Izstrādājot ilgtspējīgus projekta risinājumus projektētājam jāņem vērā arī paredzētais/noteiktais būves kalpošanas laiks. Veicot tehniski ekonomisko

salīdzinājumu iespējamiem risinājumiem, jāizvērtē arī riski, kas to var ietekmēt. Ūdens, kas nonāk un paliek ceļa konstrukcijā ievērojami samazina tā kalpošanas laiku, piemēram, grants ceļu pārmitrināšanās pavasara un rudens periodos.

7.2 Priekšrocības un trūkumi

Drenāžas ģeokompozītu priekšrocības un trūkumi (salīdzinājumā ar tradicionāliem grunts drenāžas risinājumiem) katrā konkrētā projekta situācijā var atšķirties. Atsevišķos gadījumos tas var būt arī vienīgais risinājums iecerētā transporta infrastruktūras projekta realizācijai.

Priekšrocības (salīdzinājumā ar līdzvērtīga biezuma grunts slāni):

- ātri uzbūvējami;
- mazas transportēšanas izmaksas nelielā svara un izmēra dēļ;
- ģeokompozīti samazina nepieciešamā drenāžas slāņa biezumu;
- ilgstoši nodrošina drenāžas funkciju nemainīgas ģeosintētiskā materiāla kvalitātes dēļ un nemainīga biezuma dēļ.

Trūkumi (salīdzinājumā ar līdzvērtīga biezuma grunts slāni):

- papildus nepieciešama piegādātā ģeosintētiskā materiāla uzglabāšanas un būvdarbu kvalitātes kontrole;
- ģeosintētiskā materiāla aizsērēšanas risks sarežģītos grunts apstākļos;
- neparedzēta grunts sēšanās var ietekmēt paredzēto ģeosintētiskā materiāla veiktspēju ilgtermiņā.

7.3 Projektēšanas principi

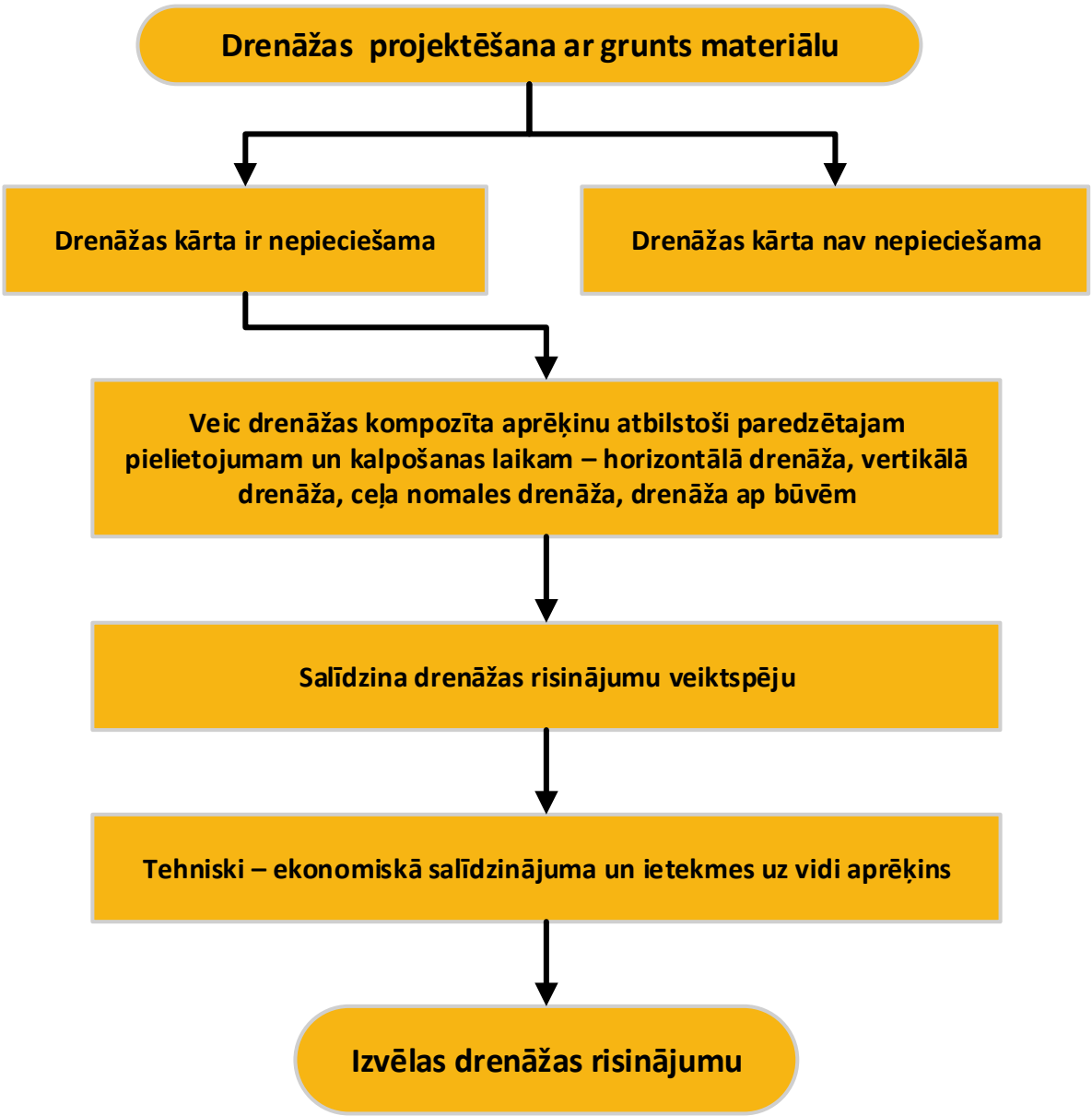
Ūdens nekontrolēta kustība gruntī var apdraudēt inženierbūvju konstrukciju stabilitāti. Pārmitrinātā gruntī veidojas sekojoši nelabvēlīgi faktori:

- samazinās grunts saiste;
- rodas papildu slīdamība kritiskajās noslīdējuma plaknēs;
- palielinās smalko grunts daļiņu kustība grunts konstrukcijās;
- konstrukcijā palielinās horizontālie spēki;
- palielinās spiediens grunts porās, samazinot efektīvo spriegumu, kā rezultātā samazinās grunts bīdes pretestība.

Projektētājam, izstrādājot risinājumu un veicot aprēķinus, jāņem vērā iepriekš minētie riski. Projektējot jāpieņem lēmums, vai izvēlēties tradicionālu risinājumu, vai izmantot drenāžas ģeokompozītus. Drenāžas ģeokompozīta darbības princips ir tāds pats, kā drenāžas kārtai no minerālmateriāla, t. i., pārtvert un novadīt ūdens plūsmu.

Kvalitatīvi izprojektēta drenāžas sistēma veic tai paredzētās funkcijas, neietekmējot apkārtējo teritoriju – neizraisa neparedzētu grunts kustību vai teritoriju pārmitrināšanos. Tāpēc ir būtiski pievērst uzmanību ne tikai projekta lokālajam risinājumam, bet arī tālākai ūdens novadīšanai.

Attēls 7-3. Drenāžas risinājuma aprēķina secība



Lai paredzētā drenāža ar ģeokompozītu būtu efektīva ir jāizpilda sekojoši principi:

- ∇ drenāžas ģeokompozīta materiālam jābūt tādam, lai ūdens var iekļūt tajā ar minimālu pretestību un tajā pašā laikā neizraisītu grunts smalko daļiņu kustību, kas ilgtermiņā var radīt ģeokompozīta atdalošā materiāla aizsērēšanu;
- ∇ drenāžas sistēmai konfigurācijai (ģeokompozīta izvietojums) jābūt tādai, lai tiktu pārtverta gruntsūdens plūsma, kas ir identificēta kā potenciālo problēmu cēlonis;
- ∇ drenāžas sistēma jāveido tā, lai tā spētu noteiktā laika intervālā izvadīt no projektētās konstrukcijas nepieciešamo gruntsūdeņu daudzumu t.i. jāpievērš uzmanība drenāžas ģeokompozīta parametru vērtībām un tā novietojumam.

Projektējot drenāžas ģeokompozīta sistēmas, ir jāveic sekojoši soļi:

- ∇ jādefinē visi projektēšanas nosacījumi:
  - o būves veids (lai noteiktu nepieciešamās drenāžas tipu);
  - o grunts parametri;
  - o vides agresivitāte;
  - o ūdens režīms.
- ∇ jāprecizē materiāli, kas saskarsies ar abām drenāžas ģeokompozīta virsmām;
- ∇ jāaprēķina maksimālais paredzētais spiediens, hidrauliskais slīpums un nepieciešamā ģeokompozīta caurplūdums;
- ∇ jāspecificē projekta minimālās parametru prasības, kā arī jāizstrādā drenāžas ģeokompozīta mezglu detalizācija.

Ūdens kustību augsnē raksturo Dārsija likums:

$$\frac{dQ}{dt} = K \times A \times \frac{dh}{dl} , \qquad [7.181.]$$

kur:

$\frac{dQ}{dt}$ *– ūdens tilpuma plūsmas ātrums caur augsni (m³/s vai l/s);*

A – šķērsgriezuma laukums, caur kuru notiek ūdens plūsma (m²);

h – hidrauliskais augstums (ūdens līmeņu starpība) (m);

l – ūdens apjoma veiktais attālums (m);

$\frac{dh}{dl}$ *– hidrauliskais slīpums (bez mērvienības);*

K – grunts hidrauliskā caurlaidība (m/s).

Praksē Dārsija likumu raksturo vienkāršotākā formulā:

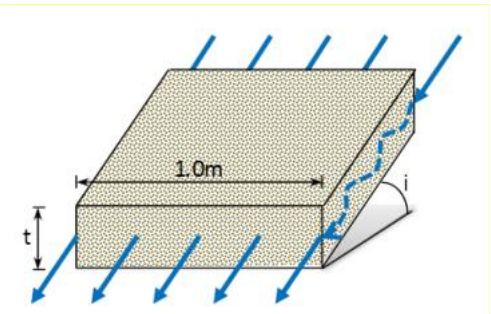
$$q = K \times A \times i , \qquad [7.182.]$$

kur:

q – ūdens tilpuma plūsmas ātrums caur augsni (m³/s vai l/s);

i – hidrauliskais gradients (bez mērvienības).

Attēls 7-4. *Drenējošās kārtas skice* [54]



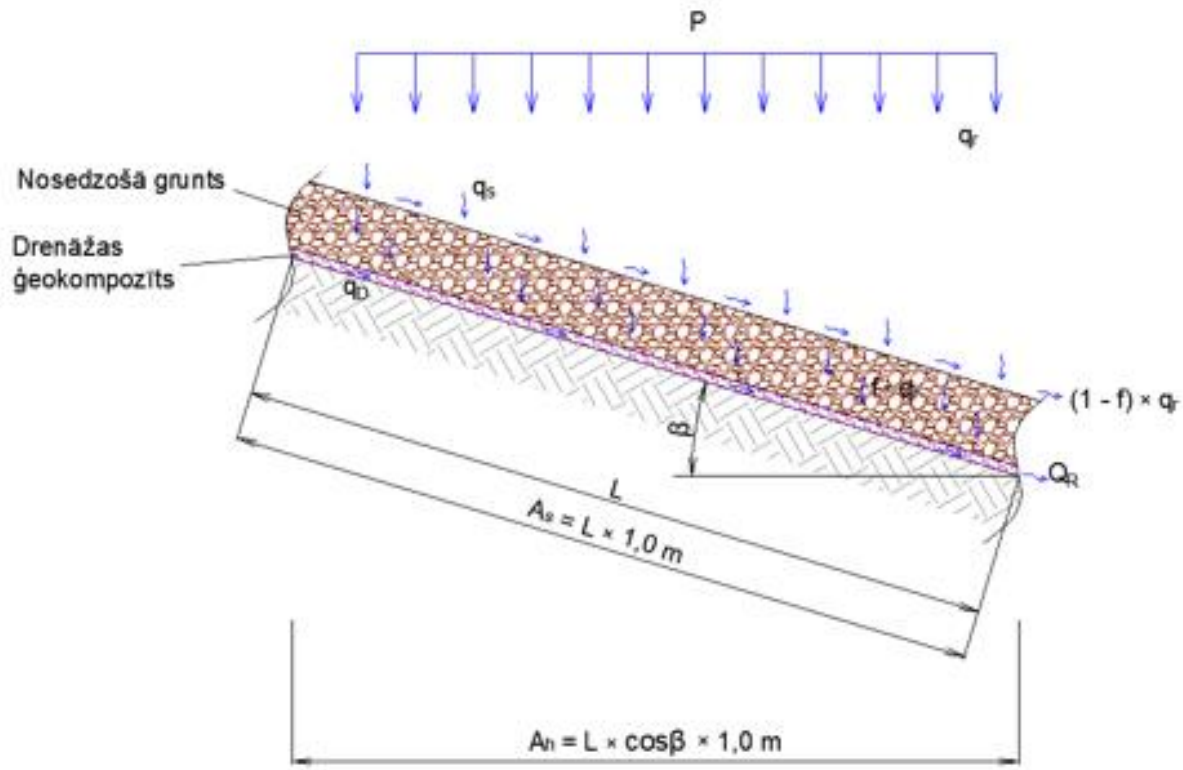
7.3.1 Nepieciešamā caurplūduma aprēķins

Projekta situācijas var būt ļoti dažādas un specifiskas. Turpmāk tiek analizētas vienkāršākās situācijas.

7.3.1.1 Drenāža nogāzēs

Aprēķinu veic atbilstoši shēmai:

Attēls 7-5. Aprēķina shēma nokrišņu gadījumā uz slīpas virsmas



$$q_r = \frac{P}{A_h} \quad , \qquad [7.183.]$$

kur:
P – nokrišņu daudzums (m³/s);
A_h – horizontālais laukums (m²);
q_r – nokrišņu daudzums uz horizontālā laukuma vienību (m³/s /m²).

Tā kā faktiskā virsma ir slīpa, efektīvais nokrišņu daudzums uz tās laukuma vienību ir:

$$q_s = q_r \times \cos\beta \,, \qquad [7.184.]$$

kur:
q_s – nokrišņu daudzums uz nogāzes laukuma vienību ($m^3/s/m^2$);
β – nogāzes slīpums (grādos).

Tabula 7-1. Nokrišņu notece nogāzēs [139]

Grunts tips	Nogāzes slīpums	Noteces daudzums (1-f)
Smilšaina grunts	Mazs (< 2%)	5–10%
	Nozīmīgs (2–7%)	10–15%
	Liels (> 7%)	15–20%
Mālaina grutns	Mazs (< 2%)	13–17%
	Nozīmīgs (2–7%)	18–22%
	Liels (> 7%)	25–35%

Daļa nokrišņu nenokļūst līdz drenāžas ģeokompozītam:

$$q_D = f \times q_s \,, \qquad [7.185.]$$

kur
f – infiltrācijas koeficients;
q_D – nokrišņu daudzums uz nogāzes laukuma vienību drenāžas kompozītā ($m^3/s/m^2$).

Kopējo caurplūdumu iegūstam, saskaitot nokrišņu daudzumu drenāžās kompozītā visā nogāzes garumā.

$$Q_R = L \times q_D \,, \qquad [7.186.]$$

kur:
L – nogāzes garums (m);
Q_R – caurplūdums nogāzē uz vienu platuma vienību ($m^3/s/m^2$).

Nokrišņu daudzumu uz laukuma vienību q_r var aprēķināt, zinot nokrišņu intensitāti j. Saskaņā ar hidroloģijas principiem j ir iespējams aprēķināt pēc nokrišņu intensitātes-ilguma-biežuma līknes formulas attiecībā pret konkrētu hidroloģisko reģionu.

$$j = \frac{h_r}{t} \,, \qquad [7.187.]$$

kur:

$$h_r = a \times t^n$$

h_r – nokrišņu augstums (mm);
t – nokrišņu ilgums (h);
j – nokrišņu intensitāte (mm/h);
a – nokrišņu intensitātes-ilguma-biežuma līknes parametrs (mm/h^n);
n – nokrišņu intensitātes-ilguma-biežuma līknes eksponents (bez mērviebnības);

$$q_r = j \times 2{,}777 \times 10^7 \,, \qquad [7.188.]$$

Līdz ar to caurplūdums aprēķināms kā:

$$Q_R = 2{,}777 \times 10^7 \times j \times L \times f \times \cos\beta \,, \qquad [7.189.]$$

Nokrišņu intensitāte ir atkarīga no to ilguma, tāpēc šādi parametri ir pamatoti jāizvēlas. Projektējot drenāžas kompozītus, kā nozīmīgākie izejas dati būs intensīvākās lietusgāzes, nevis ilgstošas lietusgāzes ar zemu intensitāti vai ļoti intensīvi nokrišņi īsā laika periodā. Praksē ir pieņemts, ka nokrišņu ilgums ir no 30 minūtēm līdz 1 stundai.

Ja nokrišņu intensitātes-ilguma-biežuma līknes hidroloģiskie parametri nav pieejami, tiek izmantota iepriekš minētā formula [7.189.], un nokrišņu intensitāte *j* 1 stundā.

Daudzās situācijās ir jāievērtē papildu ūdens plūsma Q_S uz nogāzes platuma vienību (gadījumos, ja ūdens plūst uz paredzēto nogāzi).

Rezultātā iegūstam galīgo caurplūdumu:

$$\boldsymbol{Q_D = FS_Q \times (Q_R + Q_S)}\,, \qquad [7.190.]$$

kur:
FS_Q – caurplūduma drošības koeficients;
Q_R – nokrišņu radītais caurplūdums (m³/s/m vai l/s/m);
Q_S – papildu caurplūdums (m³/s/m vai l/s/m);
Q_D – projektam paredzētā drenāžas ģeokompozīta nepieciešamais caurplūdums (m³/s/m vai l/s/m).

7.3.1.2 Drenāža gruntīs

Drenāžas situācijas gruntīs ir saistītas ar šādām konstrukcijām – stiegrotas nogāzes, drenāža ceļa nomalēs, atbalsta sienas un tuneļi. Sarežģītākais aprēķina modelis ir tunelim, jo tā virsmas var būt dažādos slīpumos. Pārējās situācijās drenāžas ģeokompozīts ir novietots vertikāli vai gandrīz vertikāli.

Vairums gadījumos ūdens plūsmu veido nokrišņi, kas, plūstot caur grunti, (pa grunts filtrēšanas līknēm) nonāk līdz drenāžas ģeokompozītam. Precīzāka rezultāta aprēķināšanai būtu jāizmanto filtrēšanas hidrauliskās metodes, izmantojot aprēķina datorprogrammas. Vienkāršāka metode ir noteikt sateces baseinu, ņemot vērā zemes virsmas slīpumus, un pieņemt, ka apjoms, kas iefiltrējas gruntī, un. ņemot vērā infiltrācijas koeficientu *f*, galu galā sasniedz ģeokompozītu.

Pieņemot, ka filtrācijas ūdens plūsma vienmērīgi sasniedz ģeokompozītu visā tā platumā, caurplūdumu aprēķina sekojoši:

$$\boldsymbol{Q_F = 2,777 \times 10^{7} \times j \times \left(\frac{A_c}{B_g}\right) \times f}\,, \qquad [7.191.]$$

Arī šādās situācijās var veidoties papildu ūdens apjoms:

$$\boldsymbol{Q_D = FS_Q \times (Q_F + Q_S)}\,, \qquad [7.192.]$$

kur:
FS_Q – caurplūduma drošības koeficients;
Q_F – nokrišņu radītā ūdens plūsma uztveršanas zonā (m³/s/m vai l/s/m);
Q_S – papildu caurplūdums (m³/s/m vai l/s/m);

Q_D – projektam paredzētā drenāžas ģeokompozīta nepieciešamais caurplūdums ($m^3/s/m$ vai $l/s/m$);
A_c – nokrišņu uztveršanas zonas horizontālais laukums (m^2);
B_g – ģeokompozīta platums.

Caurplūduma drošības koeficients ir atkarīgs no izejas datu precizitātes un projekta specifiskiem apstākļiem.

7.3.1.3 Vertikālā drenāža

Vertikālo drenāžu ierīko, lai noteiktā laika posmā konsolidētu ar ūdeni piesātinātu zemas nestspējas grunti. Lai panāktu projektā paredzēto rezultātu, svarīgs ir ne tikai pieslogojums, bet arī vertikālo drenu izvietojums. Aprēķina principus skatīt "Ceļa zemes klātnes grunts nestspējas nodrošināšanas risinājumu izstrāde". [120]

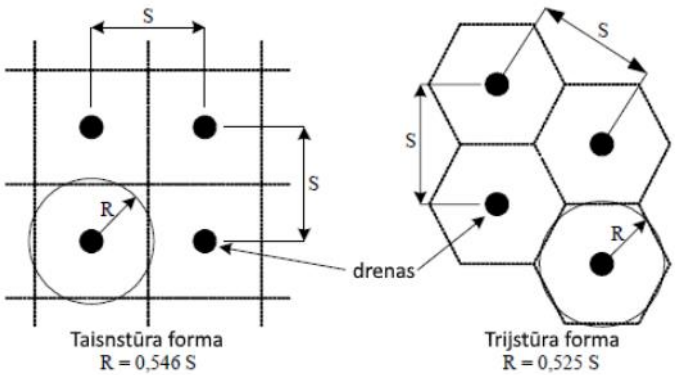
Maksimāli pieļaujamo uzbēruma augstumu iespējams aprēķināt pēc formulas:

$$(\boldsymbol{\pi + 2}) \times \boldsymbol{c_u} > \boldsymbol{\Delta\sigma}, \qquad [7.193]$$

kur:
c_u – nedrenētā bīdes pretestība;
$\Delta\sigma$ – uzbēruma noslodzes radītie papildu spriegumi gruntī.

Aprēķinot ar ūdeni piesātinātu vājo grunts slāņu sēšanos, jāprecizē nepieciešamā minimālā noslogojuma intensitāte un PVD izvietojums, lai iegūtu atbilstošu konsolidācijas pakāpi būvdarbu organizācijas projektā noteiktajā laikā.

Attēls 7-6. Drenu iespējamais izvietojums plānā [120]



Konsolidācijas ātrumu raksturo ar noteiktu konsolidācijas pakāpi laikā. Ja vertikālās drenas iebūvētas vājā slānī dziļumā h un ir izveidots filtrējošais slānis, tad viendimensijas uzdevuma gadījumā pamatnes konsolidācijas pakāpi noteiktā laika brīdī iegūst pēc vienādojuma: [120]

$$\boldsymbol{U_t = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)} \qquad [7.194]$$

kur:
Ut – konsolidācijas pakāpe laikā;
Uv – konsolidācijas pakāpe laikā vertikālā virzienā;
Uh – konsolidācijas pakāpe laikā horizontālā (radiālā) virzienā.

Konsolidācijas pakāpe vertikālā virzienā ir atkarīga no grunts slāņu vertikālā filtrācijas koeficienta, un tā tiek izmantota kā vienīgā komponente konsolidācijas aprēķinam bez papildu iebūvētām vertikālām drenām. Savukārt konsolidācijas pakāpe radiālā virzienā ir būtiskākā komponente vertikālo drenu iebūves gadījumā, jo zemas nestspējas saistīgiem grunts slāņiem ir raksturīga ievērojami labāka ūdens filtrācijas spēja horizontālā virzienā, kā arī mērojamais ceļš ūdenim parasti ir mazāks (atkarīgs no iebūvēto drenu savstarpējā attāluma). Vidējās konsolidācijas pakāpi zemas nestspējas slānī vertikālā virzienā iegūst pēc šāda vienādojuma:

$$U_{vid,v} = \left(1 + \frac{1}{2 \times T_v^3}\right)^{-\frac{1}{6}}, \quad [7.195]$$

kur:

$T_v = \frac{C_v \times t}{h_{dr}^2}$ *– bezdimensiju laika faktors;*

Cv *– konsolidācijas koeficients;*

h_{dr} *– garākais iespējamais drenāžas ceļa garums (ja zemas nestspējas slāni ietver slāņi ar labām ūdens filtrācijas spējām, tad drenāžas ceļš ir vienāds ar pusi no zemas nestspējas slāņa biezuma; savukārt, ja zemas nestspējas slānim apakšā ir slānis ar sliktām ūdens filtrācijas spējām, drenāžas ceļš ir vienāds ar zemas nestspējas slāņa biezumu).*

$$C_v = \frac{k_v}{\gamma_w m_v}, \quad [7.196]$$

kur:

k_v *– filtrācijas koeficients vertikālā virzienā;*

m_v *– relatīvais grunts saspiežamības rādītājs.*

Konsolidācijas pakāpi radiālā virzienā aprēķina pēc vienādojuma:

$$U_{vid,h} = 1 - exp\left(-\frac{8T_r}{\mu}\right), \quad [7.197]$$

kur:

$T_r = \frac{c_r \times t}{D^2}$ *– bezdimensiju laika faktors, kur* c_r *– radiālās konsolidācijas koeficients.*

$$c_r = \frac{k_r}{k_v} \times c_v, \quad [7.198]$$

kur:

k_r/k_v *– radiālās (horizontālās) un vertikālās filtrācijas koeficientu attiecība.*

Radiālās konsolidācijas koeficienta noteikšana ir iespējama, veicot laboratorijas testus, tomēr ir iespējams balstīties arī uz empīriskiem pieņēmumiem, kas balstīti uz iepriekšējiem pētījumiem. Tā kā saistīgās gruntīs horizontālais filtrācijas koeficients gandrīz vienmēr būs lielāks par vertikālo, radiālās filtrācijas koeficientu iespējams pieņemt 2-4 reizes lielāku nekā vertikālās filtrācijas koeficients. [120]

Parametru μ iespējams noteikt pēc vienādojuma:

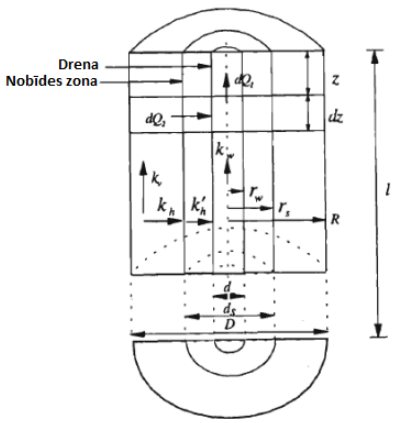
$$\mu = ln\left(\frac{n}{s_{nob}}\right) + \left(\frac{k_r}{k_r'}\right) \times ln(s) - 0,75 + \pi \times \frac{z(2h_{dr} - z)k_r}{q_w} \quad [7.199]$$

$$s_{nob} = \frac{r_s}{r_w} \quad [7.200]$$

$$n = \frac{R_{gr}}{r_w} \quad [7.201]$$

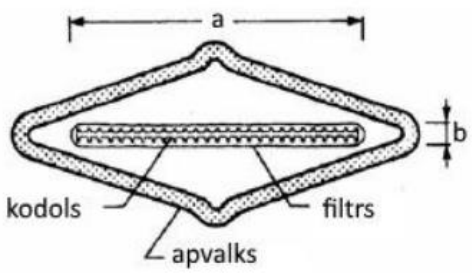
kur:
k_r/k_r' – horizontālās filtrācijas koeficientu attiecība grunts nobīdes zonā (robežās 2...6);
s_{nob} – nobīdes zonas ietekmes faktors;
r_s – nobīdes zonas (smear zone – no angļu val.) rādiuss (robežās 1.5..3r_w);
r_w – ekvivalentais drenas rādiuss;
l_{dr} – drenas garums;
R_{gr} – efektīvais grunts cilindra rādiuss;
q_w – vertikālās drenas caurlaides spēja.

Attēls 7-7. Grunts cilindra aprēķina shēma [120]



Ņemot vērā drenu izvietojumu un pieņēmumu, ka tās strādā radiāli ap centrālo (drenas) asi, tiek pieņemts, ka arī plastmasas drenām, kas lielākoties ir taisnstūra formas, ir noteikts ekvivalentais diametrs – telpā tām ir cilindriska forma. [120]

Attēls 7-8. Vertikālās drenas shematisks šķērsgriezums [120]



Ekvivalentā diametra aprēķina pēc vienādojuma:

$$\boldsymbol{d_w = \frac{(a+b)}{2}} \qquad [7.202]$$

kur:
dw- ekvivalents drenas diametrs;
a – drenas platums;
b - drenas biezums.

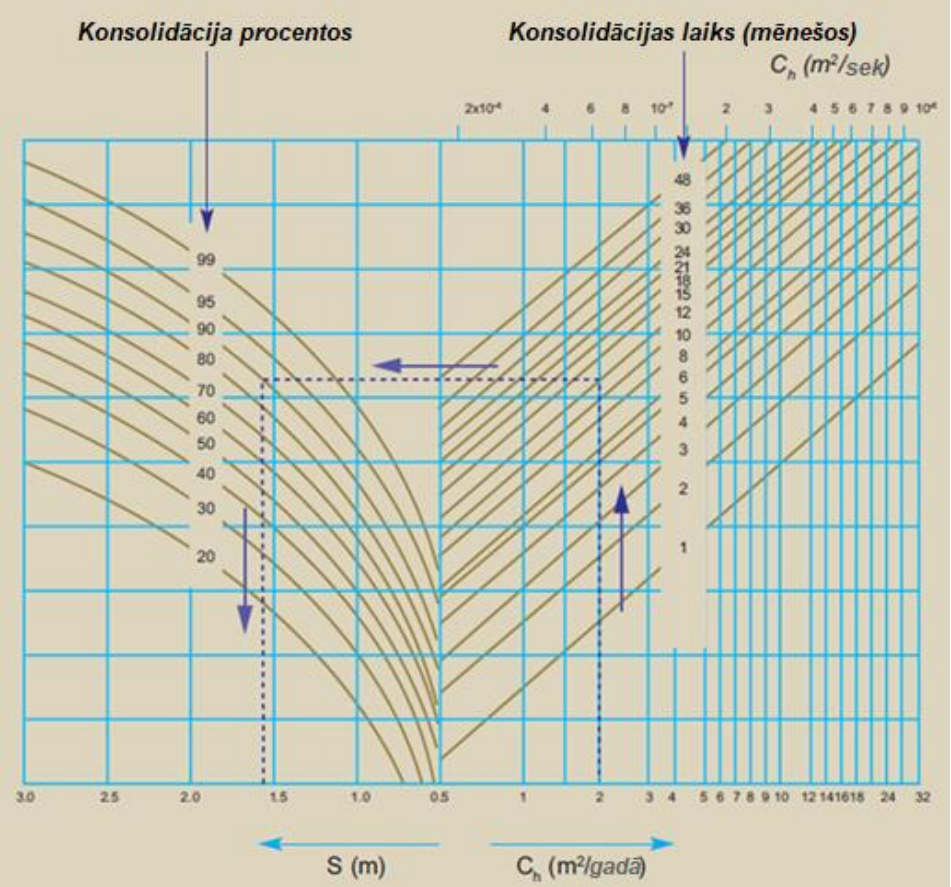
Vertikālo drenu ietekmi uz konsolidāciju var novērtēt izmantojot sekojošu vienādojumu:

$$\boldsymbol{t = \frac{D^2}{8C_h}\left[ln\left(\frac{D}{d}\right) - \frac{3}{4}\right] ln\frac{1}{1-U_h}}, \qquad [7.203]$$

kur:
t – konsolidācijas laiks (gadi);
D – drenētās grunts cilindra diametrs (m);
C_h – konsolidācijas horizontālais koeficients (m^2/gadā);
d – vertikālās drenas ekvivalentais diametrs (m);
U_h – vidējā konsolidācijas pakāpe.

Vienādojumu var izteikt diagrammā kurā tiek ņemta vērā konsolidācijas pakāpe, konsolidācijas laiks, konsolidācijas koeficients un drenu attālums v trīsstūrveida režģa izvietojumam.

Attēls 7-9. Vertikālo drenu diagrammas piemērs [140]



7.3.1.4 Ģeokompozīta caurplūdums

Plūsmas ātrums drenāžas kompozītā ir proporcionāls hidrauliskajam slīpumam *i*.

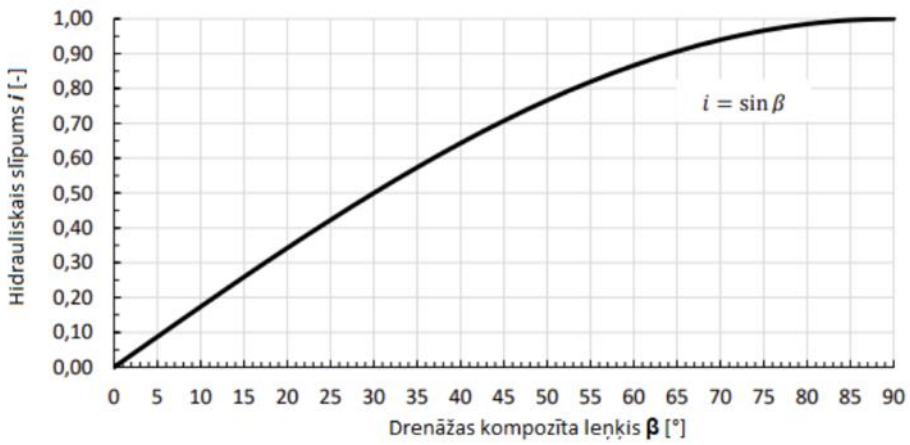
$$\boldsymbol{i = \frac{\delta h}{L}}, \qquad [7.204.]$$

kur:

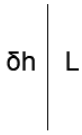
***δh** – hidrauliskais augstums attālumā L ūdens plūsmai ģeokompozītā (m);*

L – attālums starp diviem ūdens plūsmas punktiem ģeokompozītā (m).

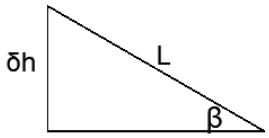
Attēls 7-10. Hidrauliskā slīpuma vērtības atkarībā no ģeokompozīta novietojuma leņķa [118]



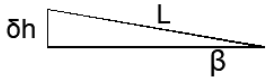
Tā kā drenāžas ģeokompozīta caurplūdums vienmēr būs lielāks par projektā nepieciešamo, tad ūdens plūsma materiālā notiks tikai atmosfēras spiediena ietekmē.



Vertikāla plūsma $\delta h = L, i = 1{,}00$



Plūsma nogāzē $\delta h = L \sin\beta, i = \sin\beta$ ja $\beta = 30°$, tad $i = 0{,}50$



Plūsma horizontālā nogāzē $\delta h = L \sin\beta$, $\sin\beta \sim \tan\beta = \frac{\delta h}{L}$ ja $\frac{\delta h}{L} = 2\%$, tad $i = 0{,}02$

Atbilstoši uzrādītajām situācijām hidrauliskajam slīpumam ir trīs gadījumi:

- vertikālā ūdens plūsma: ja ūdens ģeokompozītā plūst vertikāli pie atmosfēras spiediena, tad hidrauliskais augstums ir vienāds ar vertikālo attālumā *L*. Tādējādi vertikālajai plūsmai $\delta h = L, i = 1{,}00$;
- ūdens plūsma nogāzē: kad ģeokompozīts ir novietots nogāzē (leņķī **β**), ūdens veiktais attālums *L* ir taisnleņķa trīsstūra hipotenūza, bet hidraulisko augstumu *δh* apzīmē vertikālā katete. Tādējādi plūsma pa nogāzi ir $i = \sin\beta$;
- plūsma pa līdzenu nogāzi: kad ģeokompozīts ir novietots gandrīz horizontālā slīpumā. Ūdens veikto attālumu *L*, ko raksturo hipotenūza, var pielīdzināt horizontālai katetei. Tādējādi $i = \sin\beta \sim \tan\beta = \frac{\delta h}{L}$.

Gadījumos, kad ģeokompozīts ir pilnīgi horizontāls, tad β = 0 un *L* = L_h. Ja vienā vai abos ģeokompozīta galos ir atmosfēras spiediens, hidrauliskais augstums otrā galā vai ģeokompozīta vidū joprojām rada hidraulisko slīpumu, kura vidējā vērtība ir:

$i_0 = \frac{h_{max}}{L}$, kur ūdens iztek pa vienu galu;

$i_0 = \frac{h_{max}}{L/2}$, kur ūdens iztek pa abiem galiem.

7.3.1.5 Izplūstoša ūdens apjoms

No ģeokompozīta izplūstošā ūdens apjomu var aprēķināt sekojoši:

- caurlaidība = izplūstošā ūdens apjoms, dalīts ar ģeokompozīta platuma vienību un hidrauliskā slīpuma vienību:

$$\boldsymbol{\theta} = \frac{\left(\boldsymbol{q_m}/\boldsymbol{B}\right)}{\boldsymbol{i}} \qquad [7.205.]$$

- noteikts caurplūdums = izplūstošā ūdens apjoms, dalīts ar ģeokompozīta platuma vienību, izmantojot noteiktu hidraulisko sistēmas slīpumu:

$$\boldsymbol{Q} = \frac{\boldsymbol{q_m}}{\boldsymbol{B}} \qquad [7.206.]$$

kur:
Θ – ģeokompozīta caurlaidība (l/s/m vai m³/s/m);
B – ģeokomozīta parauga platums caurplūduma testā (m);
q_m – izmērītais caurplūdums ģeokompozīta paraugam platuma B vienībai (l/s vai m³/s);
Q – noteiktais caurplūdums uz ģeokompozīta platuma vienību (l/s/m vai m³/s/m).

7.3.1.6 Spiediens uz drenāžas ģeokompozītu

Projektējot risinājumus ar drenāžas ģeokompozītiem, jānosaka spiediens, kas izstrādājumam jāiztur. Tas ir atkarīgs no ģeokompozīta novietojuma.

Izdala divas materiāla novietojuma pozīcijas:

- ģeokompozīts novietots uz līdzenas vai slīpas virsmas. Šajā gadījumā spiedienu *p* (kPa) rada uz ģeokompozīta uzliktā grunts vai cita materiāla masa un papildu izkliedētā slodze, kas atrodas uz nosedzošā materiāla virsmas:

$$\boldsymbol{p} = \boldsymbol{\gamma} \times \boldsymbol{H} + \boldsymbol{w_s} \qquad [7.207.]$$

kur:
γ – piesātinātas grunts vai nosedzošā materiāla tilpumsvars (kN/m³);
H – nosedzošās gruts vai cita materiāla slāņa biezums (m);
w_s – izkliedētā slodze uz nosedzošā materiāla virsmas (kPa).

- ģeokompozīts novietots vertikāli. Šajā gadījumā pielikto spiedienu *p* (kPa) rada augsnes aktīvais spiediens pret ģeokompozītu. Tāpēc lietotajam spiedienam ir trīsstūrveida sadalījums pa ģeokompozīta augstumu, un maksimālais spiediens rodas ģeokompozīta zemākajā punktā:

$$\boldsymbol{p} = (\boldsymbol{\gamma} \times \boldsymbol{H_l} + \boldsymbol{w_s}) \times \boldsymbol{K_a} = (\boldsymbol{\gamma} \times \boldsymbol{H_l} + \boldsymbol{w_s}) \times \mathbf{tan^2}(\mathbf{45°} + \frac{\boldsymbol{\varphi}}{\mathbf{2}}) \qquad [7.208.]$$

kur:
γ – piesātinātas grunts vai nosedzošā materiāla tilpumsvars (kN/m³);
H_l – drenāžas kompozīta zemākā punkta dziļums zem grunts (m);
w_s – izkliedētā slodze uz nosedzošā materiāla virsmas (kPa);
K_a – grunts aktīvā spiediena koeficients;
φ – grunts iekšējās berzes leņķis (grādi).

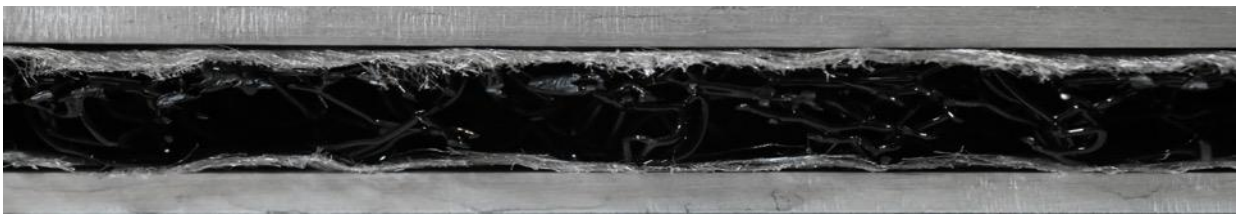
Jāņem vērā, ka, palielinoties spiedienam, samazinās ģeokompozīta biezums. Drenāžas ģeokompozīta kodoli mēdz būt ar un bez noteikta sabrukuma punkta. Kodolu izturību ietekmē slodzes lielums, iedarbības laiks un ražošanas veids (skatīt 1.3.4. nodaļu Drenāžas ģeokompozīti).

7.3.1.7 Ar ģeokompozītu saskarošais materiāls

Ģeokompozīta caurplūdums lielā mērā būs atkarīgs no materiāla, kas saskaras ar tā divām virsmām (Tabula 7-2).

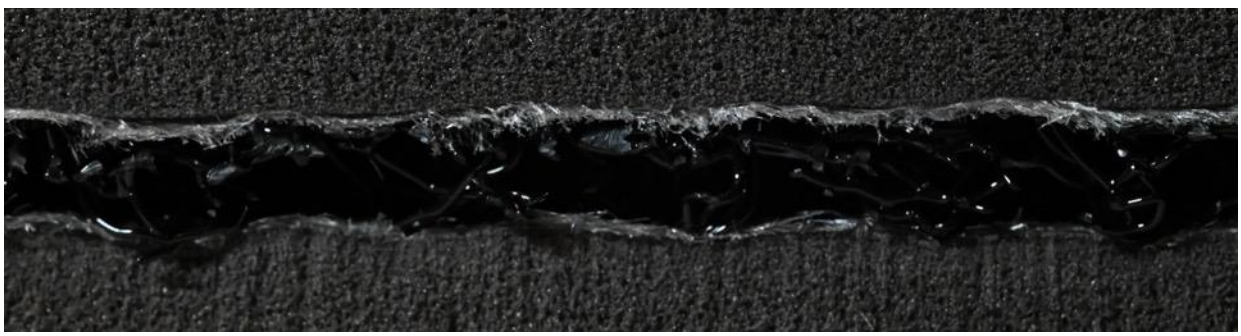
Ciets materiāls (piemēram, dzelzsbetons) vienmērīgi saspiedīs un deformēs ģeokompozītu – samazinās tā biezumu, bet neiespiedīs ģeotekstilu drenāžas kodola kanālos.

Attēls 7-11. Ģeokompozīts starp cietām virsmām



Savukārt mīksts materiāls (piemēram, grunts), kas saskaras ar ģeokompozītu, vairāk deformēs ģeotekstilu, liekot ģeotekstilam iespiesties drenāžas kodolā, kā rezultātā samazinās drenāžas kodola šķērsgriezuma laukumu, kā arī proporcionāli samazinās caurplūdumu.

Attēls 7-12. Ģeokompozīts starp mīkstām virsmām



Faktori, kas ietekmē ūdenscaurplūdumu pa ģeokompozīta plakni, ir biezums, attālums starp kodola atbalsta punktiem, spiediens uz ģeokompozītu, ģeotekstila hidrauliskie parametri un saskarošā materiāla stingums.

Tabula 7-2. Virsmu apzīmējumi

Virsma	Ciets	Mīksts
Sablīvēti maisījumi (šķembas, mehāniski konsolidēta pildviela)	x[1]	x
Sablīvētas gruntis, kas apstrādātas ar saistvielām	x[1]	x

Virsma	Ciets	Mīksts
Citas gruntis un šķembas neatkarīgi no izcelsmes un apstrādes		x
Svaigs betons		x
Sacietējis betons	x	
Ģeomembrāna	x[2]	x

[1] – tikai, ja ģeokompozītu uzklāj jau uz uzbūvētas virmas;

[2] – ģeomembrānas, kuru biezums pārsniedz 0,5 mm.

7.3.1.8 Drošības koeficienti

Visiem materiāla lietojumiem ir jāņem vērā faktori, kas samazina tā ilgtermiņa veiktspēju:

$$Q_a = \frac{Q_L}{RF_{in} \times RF_{cr-Q} \times RF_{cc} \times RF_{bc} \times RF_L} \quad [7.209.]$$

kur:

Q_a – ģeokompozīta ilgtermiņa caurplūdums (l/s/m vai m²/s);

Q_L – ģeokompozīta īstermiņa caurplūdums atbilstoši laboratorijas testam (l/s/m vai m²/s);

RF_{in} – ģeokompozīta filtra materiāla iespiešanās drenāžas kodolā samazinošais koeficients: 1,0–2,0;

RF_{cr-Q} – ģeokompozīta spiedes šļūdes samazinošais koeficients: 1,0–6,0;

RF_{cc} – drenāžas kodola ķīmisko aizsērēšanu samazinošais koeficients; 1,0–1,5;

RF_{bc} – drenāžas kodola bioloģisko aizsērēšanu samazinošais koeficients: 1,0–1,3;

RF_L – vispārējais nenoteiktības par laboratorijas datiem un lauka apstākļiem samazinājuma koeficients; 1,0–1,5.

Samazināšanas koeficienti jānosaka, vērtējot katra projekta specifiskos apstākļus un ņemot vērā pieredzi un/vai pētījumus par līdzīgiem lietošanas apstākļiem.

Atkarībā no saskares virsmām ar ģeokompozītu jāizmanto tabulās (Tabula 7-3 un Tabula 7-4) norādītie koeficienti.

Tabula 7-3. Drošības koeficients saskares virsmām: ciets–mīksts [141]

Cieta–mīksta saskarsmes virsma	Spiediens			
Ilgmūžība (gadi)	20 kPa	50 kPa	100 kPa	200 kPa
	RF_{in}	RF_{in}	RF_{in}	RF_{in}
1	1,01	1,05	1,08	1,11
10	1,03	1,09	1,13	1,18
25	1,04	1,10	1,15	1,2
50	1,05	1,12	1,18	1,23
≥100	1,06	1,14	1,20	1,25

Tabula 7-4. Drošības koeficients saskares virsmām: mīksts–mīksts [55]

Mīksta–mīksta saskarsmes virsma	**Spiediens**			
Ilgmūžība (gadi)	**20 kPa**	**50 kPa**	**100 kPa**	**200 kPa**
	RF_{in}	**RF_{in}**	**RF_{in}**	**RF_{in}**
1	1,06	1,12	1,16	1,22
10	1,08	1,16	1,21	1,30
25	1,09	1,17	1,24	1,33
50	1,10	1,19	1,26	1,36
≥100	1,11	1,21	1,28	1,39

Ja saskares virsma ir cieta–cieta, tad koeficients RF_{in} = 1.

Drenāžas kompozītu bioloģiskās un ķīmiskās aizsērēšanas samazinošos koeficientus ir grūti noteikt, ņemot vērā paredzamo drenāžas ilgmūžību.

Ja šādu testu rezultāti nav pieejami, var izmantot sekojošu vienkāršotu pieeju:

- tīrs ūdens: RF_{cc} = RF_{bc} = 1;
- ūdens ar lielu kalcija, dzelzs oksīda vai citu inkrustējošu materiālu saturu RF_{cc} = 1,1–1,5; RF_{bc}= 1;
- ūdens ar augstu bioloģisko saturu RF_{cc} = 1; RF_{bc}= 1,5–10.

Ģeokompozīta spiedes šļūdes samazinošā koeficienta vērtību ilgtermiņā nosaka atsevišķos testos, ņemot vērā pieliktās slodzes virzienu vai to kombinācijas.

Spiedes šļūdes koeficienti ir jāpieprasa no ražotāja, jo izstrādājuma veiktspēja pie ilgtermiņa spiedes ir tieši saistīta ar drenāžas ģeokompozīta kodola ražošanas un strukturālajām īpatnībām.

Vertikālajām slodzēm var izmantot tabulā (Tabula 7-5) norādītās šļūdes drošības koeficientu vērtības.

Tabula 7-5. Spiedes šļūdes drošības koeficients saskares virsmām: mīksts–mīksts [55]

Ilgmūžība (gadi)	**Spiediens**			
	50 kPa	**100 kPa**	**200 kPa**	**500 kPa**
	$RF_{cr\text{-}Q}$	**$RF_{cr\text{-}Q}$**	**$RF_{cr\text{-}Q}$**	**$RF_{cr\text{-}Q}$**
1	1,006	1,094	1,192	2,298
5	1,014	1,117	1,235	2,666
10	1,022	1,126	1,277	3,064
20	1,030	1,135	1,319	3,691
50	1,038	1,143	1,409	4,929
≥100	1,046	1,150	1,568	5,992

Gadījumos, ja ražotājs nevar nodrošināt informāciju par kādu no aprēķinā nepieciešamajiem koeficientiem, projektētājam jāpieņem lielākā robeža saskaņā uz pieejamo informāciju.

7.4 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības

Ņemot vērā projekta apstākļus, drenāžas kompozītiem specificējami sekojoši parametri:

Tabula 7-6. Projekta specifikāciju tabula

Paredzētā izmantošana: drenāža (D), saskaņā ar EN ISO 13249, EN ISO 13251, EN ISO 13252, EN ISO 13253			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība****
Ūdens īstermiņa caurplūdums atbilstoši hidrauliskajam slīpumam, slodzei un saskarsmes virsmām*	EN ISO 12958	l/(m x s)	≥ ...
Statiskā caurduršanas stiprība (CBR)	EN ISO 12236	kN	≥ ...
Dinamiskā caursišanas pretestība	EN ISO 13433	mm	≤ ...
Atdalošā materiāla ūdenscaurlaidība perpendikulāri plaknei	EN ISO 11058	m/s (l/m² x s)	≥ ...
Atdalošā materiāla raksturīga atvēruma izmērs	EN ISO 12956	µm	vērtība no/līdz
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	gadi	≥ ...

** papildus specificējamiem parametriem, projektētājam jāuzrāda projekta apstākļi (projektējamais kalpošanas laiks, ūdens ķīmiskais un bioloģiskais raksturojums un vispārējā projekta apstākļu nenoteiktība), lai konkursa laikā būvuzņēmējs varētu piemeklēt atbilstošu materiālu paredzētajām ilgtermiņa parametru vērtībām.*

*** definē būvprojektā.*

Prasības ģeotekstila parametriem skatīt 4. nodaļā.

Tabulā norādīto ūdenscaurplūdumu drenāžas kompozītam definē atbilstoši aprēķinam. Kodola atdalošā ģeotekstila parametrus nosaka atbilstoši pētījuma 4. nodaļas norādījumiem.

Ievērojot labu projektēšanas praksi, projektētājam uz projekta izstrādes brīdi jāpārliecinās par vismaz divu ražotāju atbilstošu materiālu pieejamību tirgū. Jāpārliecinās arī par materiālu drošības koeficientu atbilstību projekta apstākļiem. Materiāla skaņošanas stadijā par piedāvātā materiāla drošības koeficientu atbilstību jāpārliecinās būvuzraugam. Kā atbilstošs dokuments var tikt uzskatīts ražotāja testa pārskats.

Izvirzot prasības drenāžas ģeokompozītam, iesakāms izmantot materiālu normatīvās parametru vērtības. Tas atvieglos materiāla izvēli būvniecības procesā. Tikai izņēmuma situācijās ieteicams ņemt vērā arī ražotāju noradītās pielaides, neaizmirstot par vismaz divu dažādu ražotāju atbilstošu materiālu piemeklēšanu.

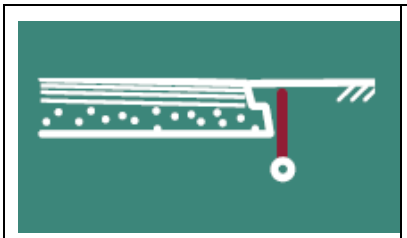
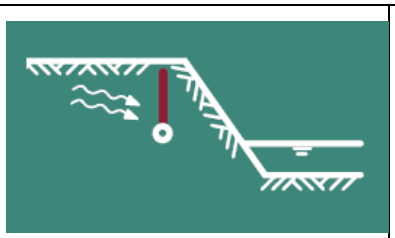
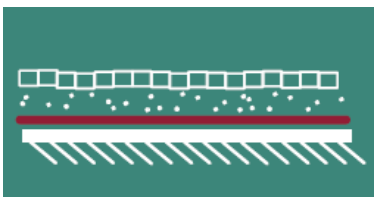
Nepieciešams novērtēt drošības koeficientus saskaņā ar projekta nosacījumiem. Ceļa konstrukcijām tas parasti ir no 20 līdz 50 gadiem, bet tilta konstrukcijām – 100 gadi.

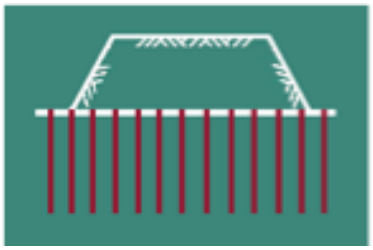
7.5 Iestrādes tehnoloģija

7.5.1 Ģeosintētiskā materiāla iebūve

Drenāžas ģeokompozītu iestrādes tehnoloģija ir atkarīga no paredzētās ģeosintētiskā materiāla iebūves vietas. Jebkurā gadījumā ir jāievēro visas materiāla ražotāja izsniegtās materiāla iebūves instrukcijas, lai materiāls nodrošinātu atbilstošu konstrukcijas funkcionalitāti visā paredzētajā kalpošanas periodā.

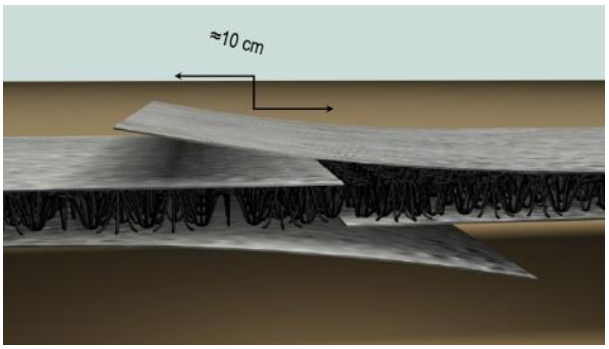
Attēls 7-13. Drenāžas ģeokompozītu pielietojums ceļa konstrukcijās

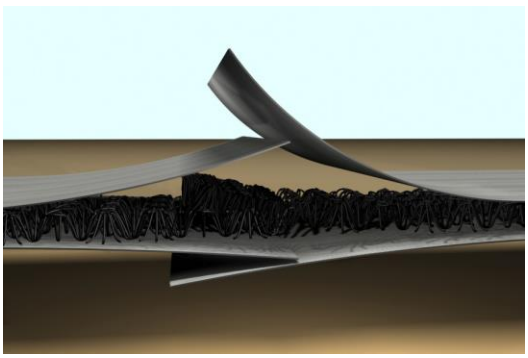
		
Ceļa nomaļu drenāža	Ūdenstilpņu nogāžu drenāža	Ceļa segas drenāža
Dzelzsbetona sienu drenāža	Dažādu atbalsta sienu drenāža	Tuneļu drenāža

		
Uzbērumu drenāža	Nogāžu drenāža	Vertikālā drenāža

Ģeokompozītu uz horizontālām virsmām ieklāj uz iepriekš sagatavotas virsmas. Ieklājot materiālu, ņem vērā ūdens plūšanas virzienu, ja drenāžas ģeokompozīta kodolam tas ir specificēts. Drenāžas kodolus salaiduma vietās novieto vienu otram blakus bez atstatuma vai arī, ja iespējams, veido pārlaidumu. Kodolu nosedzošajām ģeotekstilam salaiduma vietā jāveido pārlaidums (ieteicamais minimālais ģeotekstila pārlaidums ir vismaz 10 cm).

Attēls 7-14. Drenāžas ģeokompozīta salaiduma veidošana [142]





Veidojot pārlaidumu, jāņem vērā nosedzošā materiāla ieklāšanas virziens (ja tekstils netiek papildus nostiprināts), lai nosedzošā materiāla ieklāšanas laikā tas nepakļūtu zem tekstila pārlaiduma.

Atdalošo ģeotekstilu pārlaidumu vietās ieteicams nofiksēt, lai izvairītos no ģeosintētiskā materiāla neparedzētas nobīdes. To var realizēt, termiski saistot ģeotekstilu, vai arī ar līmlentes vai nelielu grunts kaudzīšu pieslogošanas palīdzību.

Attēls 7-15. Drenāžas ģeokompozīta salaiduma vietu nostiprināšana ar grunti [142]

Ģeokompozīta ārējās malās ģeotekstilu aizloka, lai drenāžas kodols tiktu pilnībā noslēgts.

Pēc materiāla izklāšanas to nosedz ar projektā paredzēto grunti vai citu materiālu, ievērojot ražotāja noteiktos minimālos apbēruma slāņus. Tas var stipri atšķirties un ir atkarīgs no ģeosintētiskā materiāla uzbūves. Drenāžas ģeokompozīts jāpārklāj pilnībā, lai aizsargātu atdalošo ģeotekstilu no UV starojuma.

Attēls 7-16. Drenāžas ģeokompozīta iebūve zem bruģa Varšavā, Polijā

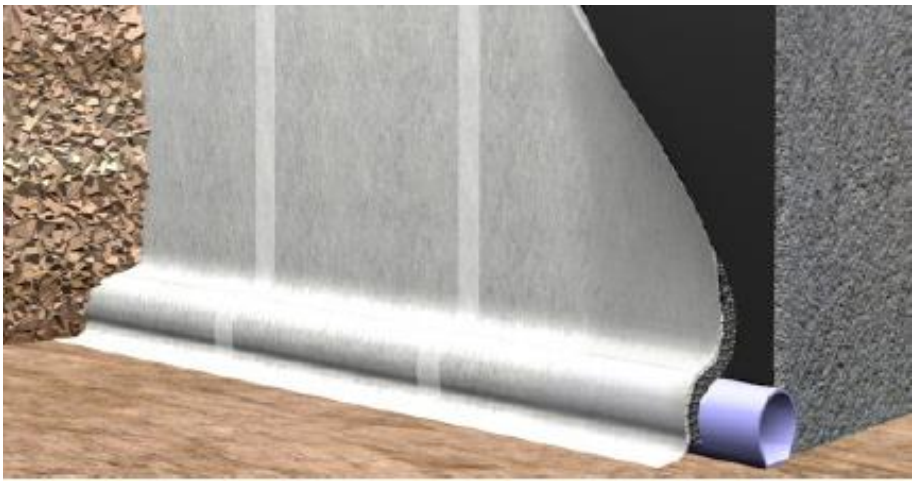
Attēls 7-17. Drenāžas ģeokompozīta iebūve Kadisā, Spānijā [143]

Ģeokompozīta zemākajos punktos konstrukcijai jābūt tādai, lai ūdens varētu brīvi izplūst no ģeosintētiskā materiāla un tiktu novadīts tālāk.

Nogāzēs grunts apbērums jāveic no lejas uz augšu, tādējādi izvairoties no drenāžas ģeokompozīta nobīdēm. Īpaša uzmanība jāpievērš tieši augšējās daļas enkurošanai, lai novērstu ģeosintētiskā materiāla izslīdēšanu. To realizē ar enkurgrāvju palīdzību.

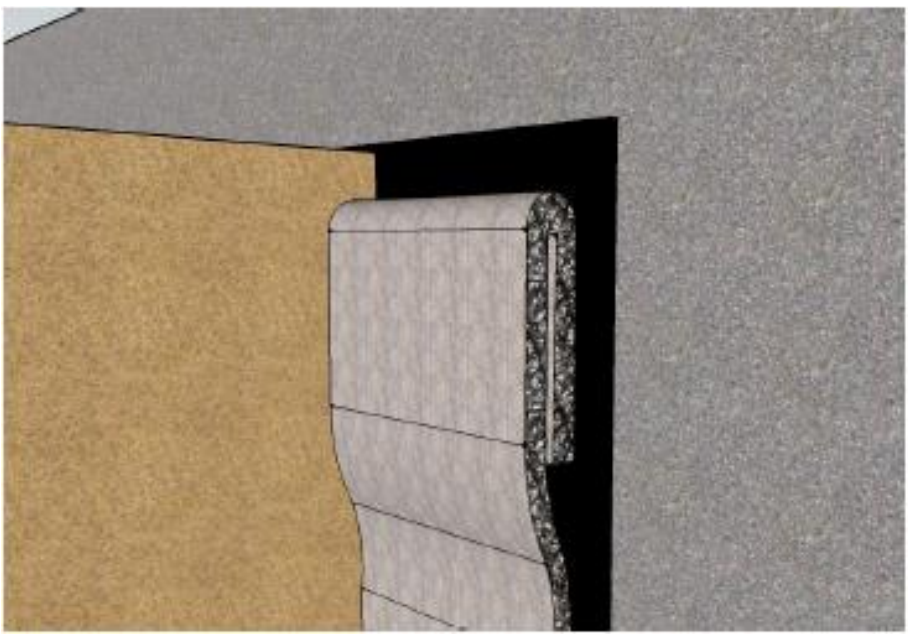
Atbalsta sienu gadījumā ir divi gadījumi. Viens – kad drenāžas ģeokompozītam abās saskares virsmās ir grunts (mīksts–mīksts) (stiegrotas nogāzes vai grunts atbalsta sienas, gabionu atbalsta sienas). Šādos risinājumos ņem vērā iepriekš minētās rekomendācijas. Otrs – kad vienā saskares virsmā ir betons, bet otrā – grunts (mīksts–ciets) (betona atbalsta sienas, tuneļi, tilta gala sienas). Šādās situācijās var izmantot drenāžas ģeokompozītus, kur ģeotekstils kodolu atdala tikai no grunts. Ģeokompozītu ieklāj uz betona virsmas, pielīmējot vai stiprinot ar betona naglām. Veido vismaz 10 cm ģeotekstila pārlaidumus, tos nostiprinot ar skavām, līmlenti vai termiski saistot tekstilu. Betona konstrukcijas apakšējā daļā iebūvē drenāžas cauruli, nosedzot to ar drenāžas kompozīta ģeotekstilu, kas aizvada ūdeni tālāk.

Attēls 7-18. Drenāžas ģeokompozīta savienojums ar drenāžas cauruli [142]



Betona konstrukcijas augšpusē drenāžas kompozītu aizloka aptuveni par 10 cm, lai noslēgtu tā kodolu (to pašu dara ārējās vertikālajās malās).

Attēls 7-19. Drenāžas ģeokompozīta aizlocījums betona konstrukcijas augšpusē [142]



Līdzīgi iebūvē materiālu pie atbalsta sienām.

Attēls 7-20. Tilta gala sienas risinājums ar drenāžas ģeokompozītu [144]

Attēls 7-21. Drenāžas ģeokompozīta iebūve Minsterē, Vācijā [121]

Būvējot ceļa nomales drenāžu, gar ceļa nomali jāizrok attiecīga platuma un dziļuma tranšeja. Tranšeju rok, izmantojot ekskavatoru ar šauru kausu vai automatizētu tranšejas rakšanas iekārtu. Drenāžas kompozītu izklāj gar izrakto tranšeju, un tajā ar ģeosintētiskajā materiālā iebūvētu auklas palīdzību tiek ievilkta drenāžas caurule. Posmu savienojumos savieno caurules un drenāžas ģeokompozītu, veidojot ģeotekstila pārlaidumus, ko nostiprina ar līmlenti.

Tad ceļa nomales drenāža jāievieto vertikāli. Tas jādara tā, lai drenāžas caurule atrastos uz tranšejas pamatnes, savukārt drenāžas ģeokompozīts – uz tranšejas vertikālās malas. Drenāžas ģeokompozītu nostiprina, lai darbu veikšanas laikā tas visu laiku atrastos vertikālā stāvoklī. Tranšeja jāaizber ar 30 cm slāņiem, tos sablīvējot. Tranšejas aizbēršanai izmanto grunti drenējošu grunti (var izmantot izrakto grunti). Tranšejas augšā 10 cm biezumā var izmantot frakcionētu materiālu, lai paātrinātu drenāžas procesu.

Drenāžas sistēmai zemākajos punktos jāparedz izvades. Skatakas ierīko ar aptuveni 100 m intervālu.

Attēls 7-22. Ceļa nomales drenāžas izbūves secība [145]

Tranšejas rakšana	Caurules ievilkšana drenāžas ģeokompozītā	
Savienojumu veidošana	Ģeokompozīta nostiprināšana tranšejā	Tranšejas aizbēršana un blietēšana

Attēls 7-23. Ceļa nomales drenāžas risinājums

Vertikālo drenu būvēšanai jāizmanto speciāla tehnika. PVD tiek piestiprināts pie enkurojošas plāksnes un ar vadīklas palīdzību tiek iedzīts gruntī līdz paredzētajam dziļumam. Materiāla iebūves dziļums un biežums tiek noteikts projekta izstrādes laikā. Drenāžas ģeokompozīta galu atstāj 20–30 cm virs darba virsmas. Virs tās tiek ierīkota horizontāla drenāža, kas novada ūdeni tālāk.

Attēls 7-24. PVD iebūve Roterdamā, Nīderlandē [146]

Visos risinājumos no ģeokompozīta izplūstošais ūdens ir jānovada prom no konstrukcijas. Atsevišķos risinājumos var pielietot dažādas drenāžas ģeokompozītu kombinācijas.

7.5.2 Būvniecības riski

Būvniecības laikā lielākais risks ir neatbilstoša materiāla iebūve vai arī tā bojāšana iebūves laikā. Abos šajos gadījumos ietekme uz drenāžas sistēmas darbību var būt lokāla vai lielā mērogā, kas ilgtermiņā noteikti samazina materiāla veiktspēju:

- pārplēšot nosedzošo ģeotekstilu ģeokompozīts var aizsērēt. Šādos gadījumos ir jāatjauno filtra slānis ar "ielāpu";
- bojājot ģeokompozīta kodolu, kas ietekmē kopējo materiāla biezumu, samazināsies ūdens caurplūde minētajā materiāla posmā. Būvuzņēmējam jāveic minētā materiāla posma nomaiņa;
- veidojot neatbilstošus ģeotekstila pārlaidumus vai "mezglu" risinājumus, pastāv risks grunts materiāla iekļūšanai ģeokompozīta kodolā;

- ∇ iebūvējot ģeosintētisko materiālu neatbilstoši projektā paredzētajam kritumam, samazinās drenējošā materiāla caurplūdums. Pirms materiāla iebūves ir jāsagatavo un jāpārbauda nosedzamās virsmas atbilstību projekta risinājumam;
- ∇ iebūvējot ģeosintētisko materiālu perpendikulāri paredzētajam ūdens plūsmas virzienam, tiek būtiski samazināts paredzētais caurplūdums (attiecas tikai uz drenāžas ģeokompozītu ar kodolu, kuram ir noteikts ūdens plūsmas virziens). Šādos gadījumos materiāls noteikti jāpārbūvē;
- ∇ iebūvējot drenāžas ģeokompozītu, tiek aizmirsts par ūdens tālāku atvadi. Ir jābūvē sistēma kopumā.

7.6 Būvprojektēšanas piemēri

Apskatīsim divas raksturīgākās situācijas ceļu būvniecībā – horizontālu drenāžu ceļa konstrukcijā un drenāžas sistēmu ceļa nomalēs.

7.6.1 Pirmais piemērs

Būvprojektēšanas piemēros apskatītas divas izplatītākās situācijas drenāžas ģeokompozītiem ceļa konstrukcijās:

- ∇ kapilārā barjera;
- ∇ vertikālā drenāža ceļa nomalē.

7.6.1.1 Būvobjekta apraksts un problemātika

Tiek pieņemts, ka jāizbūvē ceļa konstrukcija uzbērumā pāri teritorijai ar augstu gruntsūdens līmeni. Ceļa zemes klātnes konstrukcijas nestspēja ir pietiekama. Ar grāvju palīdzību ir iespējams novadīt lieko ūdens daudzumu, taču jārisina kapilārā ūdens ietekme.

7.6.1.2 Iespējamie projekta risinājumi un projektēšanas soļi

Sākotnēji risinājums tiek izstrādāts ar 30 cm biezu drenējošo kārtu, ko no abām pusēm atdala ar veltu ģeotekstilu. Ģeotekstilu lieto, lai atdalītu drenējošo grunti no esošās un pievestās putekļainās grunts.

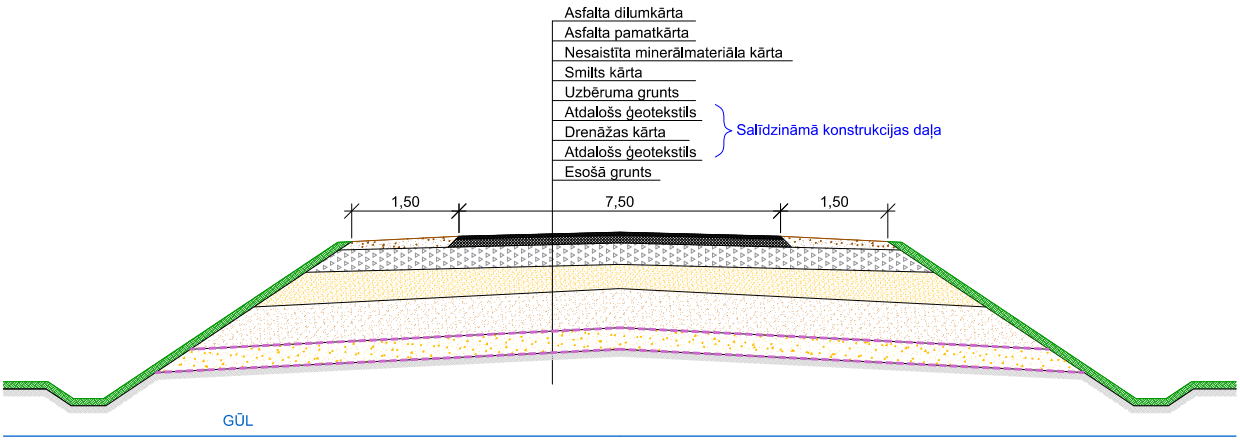
Kā alternatīva tiek izvērtēta iespēja drenāžas kārtas vietā iebūvēt drenāžas ģeokompozītu.

7.6.1.3 Risinājums bez ģeosintētiskā materiāla

Veicot projekta aprēķinu, tiek noteikts, ka nepieciešama drenējošā kārta 30 cm biezumā ar materiāla filtrācijas koeficientu 5 m/24 h jeb $5{,}78 \times 10^{-5}$ m/s (materiālam

pieņem redukcijas koeficientu 1,1). Vidējais hidrauliskais slīpums i = 0,1, bet slodze uz drenējošo slāni ir 100 kPa.

Attēls 7-25. Paredzētais projekta risinājums ar drenāžas kārtu



7.6.1.4 Risinājums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu

Pēc Dārsija likuma aprēķina drenāžas kārtas veiktspēju.

$q = K \times A \times i = (5{,}78 \times 10^{-5}) \times (0{,}3 \times 1) \times 0{,}1 = 0{,}0017 \times 10^{-3}$ m³/m/s

jeb 0,0017 l/(m x s)

Izvēlas drenāžas ģeokompozīta materiālu, kura ūdenscaurlaidība pie 100 kPa un *i* = 0,1 ir Q_L= 0,15 l/(m x s).

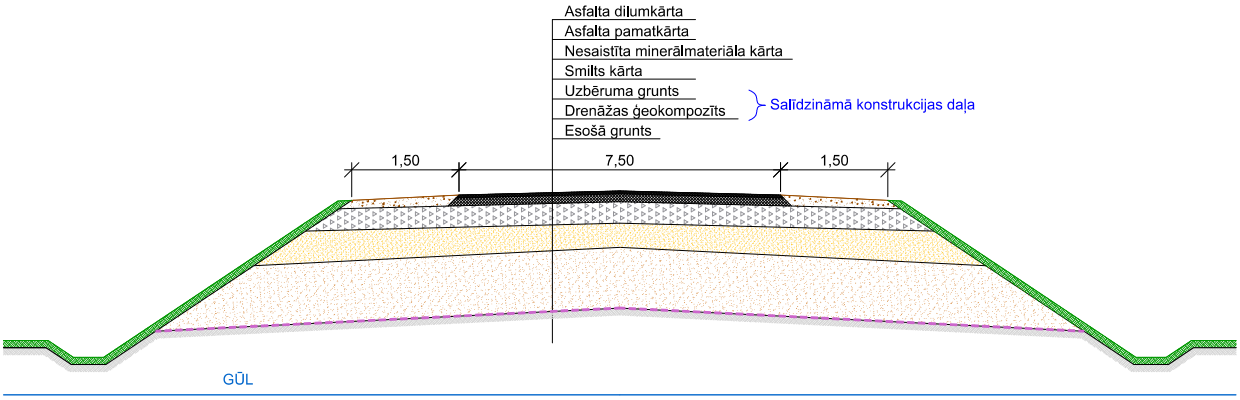
Atbilstoši ražotāja sniegtajai (pārbaudāmajai) informācijai un esošajiem apstākļiem, tiek izmantoti sekojoši drošības koeficienti:

- RF_{in} – 1,26
- $RF_{cr\text{-}Q}$ – 1,3
- RF_{cc} – 1,0
- RF_{bc} – 1,0
- RF_L – 1,2

Tiek aprēķināta ilgtermiņa ūdenscaurlaidība drenāžas ģeokompozītā:

$$Q_a = \frac{0{,}15}{1{,}26 \times 1{,}3 \times 1 \times 1 \times 1{,}2} = 0{,}0763 \text{ l/(m x s)}$$

Attēls 7-26. Alternatīvais projekta risinājums ar drenāžas ģeokompozītu



Secinām, ka paredzētajā kalpošanas laikā (50 gadi) projekta apstākļos izvēlētā drenāžas ģeokompozīta veiktspēja ir aptuveni 44 reizes lielāka, salīdzinot ar drenāžas kārtu.

7.6.2 Izstrādāto pirmā piemēra risinājumu tehniski ekonomiskais un ietekmes uz vidi salīdzinājums

Cenu salīdzinājums veikts 100 m garam ceļa posmam. Izmaksas salīdzinātas mainīgajai risinājuma daļai. Lai salīdzinājums būtu korekts, drenāžas kompozīta risinājuma gadījumā kā salīdzināmā daļa tiek uzskatīta 30 cm uzbēruma grunts.

Tabula 7-7. Izmaksas projekta risinājumam ar drenāžas kārtu

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Atdalošā ģeotekstila iebūve	m^2	2504	2,0	5008
Drenāžas kārtas iebūve	m^3	470	15,17	7129,9
			KOPĀ:	12 137,9

Tabula 7-8. Izmaksas projekta risinājumam ar drenāžas ģeokompozītu

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Drenāžas ģeokompozīta iebūve	m^2	1613	4,7	7581,1
Zemes klātnes uzbēruma būvniecība	m^3	470	10,89	5118,3
			KOPĀ:	12 699,4

Abu risinājumu kopējās izmaksas ir gandrīz identiskas.

Varam secināt, ka gadījumos, kad nepieciešama biezāka drenējošā kārta, pieaugs arī izmaksu starpība un drenāžas ģeokompozīta izmantošana kļūs ekonomiski izdevīgāka.

Ietekmes uz vidi novērtējumā izmantotas ģeosintētikas ražotāju sniegtās izstrādājumu vides deklarācijas, pētījuma "Inventory of Carbon and Energy (ICE)" [83] un pētījuma 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

7.6.2.1 Mērķis

Aprēķina piemēra LCA mērķis ir salīdzināt divu līdzvērtīgu (pēc nestspējas un/vai funkcionalitātes) konstrukciju (aprēķiniem pieņemtās konstrukcijas skatīt iepriekš) būvniecības procesa CO_2 ekvivalenta radītās emisijas, lai kopsakarībā ar šo risinājumu potenciālajām izmaksām pamatotu projektam piemērotāko risinājumu.

7.6.2.2 Funkcionālā vienība

100 m garš posms, ceļa platums 10,5 metri, ar vienu joslu katrā virzienā. Tiek pieņemts, ka konstrukciju nestspēja un kalpošanas laiks ir vienāds attiecīgi uzrādītajiem tehniskajiem risinājumiem.

7.6.2.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

7.6.2.4 Dzīves cikla inventarizācija (LCI)

Dati par ģeosintētisko materiālu ražošanu un iebūvi iegūti no materiālu vides deklarācijām. Tiek apskatītas trīs dažādu ražotāju deklarācijas (Nr. MD-21018-EN, MD-21017-EN un S-P-02989). Dati par ražošanu pieejami visās trīs vides deklarācijās, un turpmākam aprēķinam tiek izmantota lielākā vērtība 3,144 kg CO_2 ekvivalenta uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu *(GWP-total)*. Dati par iebūvi pieejami tikai divās no apskatītajām vides deklarācijām. Izmanto lielāko no divām vērtībām – 0,186 kg CO_2 ekvivalenta uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu *(GWP-total)*.

Par atdalošo ģeosintētisko materiālu transportēšanas attālumu, atbilstoši 1.5. nodaļā aprakstītajam, pieņemti 2000 km. Pieņemts, ka ģeosintētiskos materiālus ved pilnās kravās un pilnā kravā var iekraut 10 t. Degvielas patēriņš 30 l/100 km.

Pieņemts, ka minerālmateriālu drenējošās kārtas būvniecībai nepieciešams vest no atradnes 25 km attālumā no būvobjekta. Lai aprēķinātu minerālmateriāla piegādes CO_2 ekvivalentu, pieņemts, ka vienas piegādes ilgums ir 1,5 h.

Tiek uzskatīts, ka ģeosintētiskie materiāli tiks iebūvēti ar rokām. Grunts materiālu iestrādei tiks izmantots buldozers, kas izlīdzinās atvesto materiālu, greideris, kas profilēs izlīdzināto materiālu, un veltnis, kas blietēs materiāla kārtu.

Tabula 7-9. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam bez drenāžas ģeosintētikas

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļai
Vienas grunts kravas transportēšanas laiks (h)	1,5	Pieņemta vērtība (50 km kopējam attālumam, turp un atpakaļ)
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	10000	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,0052	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Grunts tilpumsvars (kg/m³)	2000	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
Atdalošā ģeotekstila svars (kg/m²)	0,18	Pieņemta vērtība
Atdalošā ģeotekstila iebūve (m²)	1325	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Drenāžas kārtas iebūve (m³)	473	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	3,144	Materiāla vides deklarācija Nr. S-P-02989
Iebūves CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,186	Materiāla vides deklarācija MD-21017-EN
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 7-10. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam bez drenāžas ģeosintētikas

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO_2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Atdalošā ģeotekstila iebūve	238,5	3,144	749,844	0,19	46,364	0,186	44,361	841
Drenāžas kārtas iebūve	946000	0,0052	4919,2	0,00535	5057,316	0,0008964	847,994	10825
ekskavators				0,00049				
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00486				
buldozers						0,0005184		
greideris						0,00027		
veltnis						0,000108		
							PAVISAM KOPĀ:	**11665**

Dati par ģeosintētisko materiālu ražošanu un iebūvi iegūti no trīs materiālu vides deklarācijām (Nr. S-P-06563, EPD-NAUE-SD-001-ref2 2017 un ABG-CFP-2020-Pozidrain-25S240D-NW20XUV-NW8). Dati par ražošanu pieejami visās trīs vides deklarācijās, un aprēķinam tiek izmantota lielākā vērtība 3,29 kg CO_2 ekvivalenta uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu *(GWP-total)*. Dati par iebūvi pieejami vienā vides deklarācijā. Aprēķiniem tiek izmantota vērtība 0,216 kg CO_2 ekvivalenta uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu *(GWP-total)*.

Drenāžas ģeosintētisko materiālu transportēšanas attālums pieņemts tāds pats kā atdalošā ģeotekstila transportēšanas attālums – 2000 km. Pieņemts, ka ģeosintētiskos materiālus ved pilnās kravās un pilnā kravā var iekraut 4,5 t. Degvielas patēriņš 30 l/100 km.

Pieņemts, ka minerālmateriālu zemes klātnes uzbēruma būvniecībai būs iespējams iegūt no objektā atgūtā materiāla un to nepieciešams transportēt no krautnes objektā

2,5 km attālumā. Lai aprēķinātu minerālmateriāla piegādes CO_2 ekvivalentu, pieņemts, ka vienas piegādes ilgums ir 20 min (0,33 h).

Tiek uzskatīts, ka ģeosintētiskie materiāli tiks iebūvēti ar rokām. Grunts materiālu iestrādei tiks izmantots buldozers, kas izlīdzinās atvesto materiālu, greideris, kas profilēs izlīdzināto materiālu, un veltnis, kas blietēs materiāla kārtu.

Tabula 7-11. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam ar drenāžas ģeosintētiku

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļai
Vienas grunts kravas transportēšanas laiks (h)	0,33	Pieņemta vērtība (5 km kopējam attālumam, turp un atpakaļ)
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	4500	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,0052	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Grunts tilpumsvars (kg/m³)	2000	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
Drenāžas kompozīta svars (kg/m²)	1	Pieņemta vērtība
Drenāžas ģeokompozīta iebūve (m²)	1325	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Smits kārtas iebūve (m³)	473	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	3,29	Materiāla vides deklarācija Nr. S-P-06563
Iebūves CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,216	Materiāla vides deklarācija Nr. EPD-NAUE-SD-001-ref2 2017
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 7-12. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam ar drenāžas ģeosintētiku

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Drenāžas ģeokompozīta iebūve	1325	3,29	4359,250	0,432	572,400	0,216	286,200	5218
Smits kārtas iebūve	946000	0,0052	4919,200	0,001555	1471,219	0,000896	847,994	7238
ekskavators				0,00049				
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00107				
buldozers						0,000518		
greideris						0,000270		
veltnis						0,000108		
							PAVISAM KOPĀ:	**12456**

7.6.2.5 Ietekmes novērtējums

Saskaņā ar veiktajiem aprēķiniem risinājumam bez drenāžas ģeosintētikas CO_2 ekv. = 12 344 kg/100 m, bet risinājumam ar drenāžas ģeosintētiku CO_2 ekv. = 13 544 kg/100 m.

Salīdzinot aprēķinātās CO_2 ekvivalenta kg/100 m vērtības, var secināt, ka drenāžas kārtas būvniecība ar atdalošo ģeotekstilu rada 1,097 reizes (13 544/12 344=1,097) jeb 9,7% mazāku ietekmi. Līdz ar to var uzskatīt, ka abos risinājumos radīto CO_2 ekvivalenta kg/100 m daudzums ir līdzīgs.

7.6.3 Otrais piemērs

Apskatīti divi risinājumi ceļa nomales drenāžai:

- ∇ "Franču" drenāžas risinājums;
- ∇ vertikāls drenāžas ģeokompozīts.

7.6.3.1 Būvobjekta apraksts un problemātika

Drenāžu paredzēts izbūvēt ceļa posmā, kur vietas trūkuma dēļ gar ceļa klātni nav iespējams izbūvēt sānu grāvjus. Lai novērstu pieguļošo teritoriju ūdens iedarbību ceļa konstrukcijas kalpošanas laikā, nepieciešams izbūvēt drenāžas risinājumu abās ceļa pusēs.

7.6.3.2 Iespējamie projekta risinājumi un projektēšanas soļi

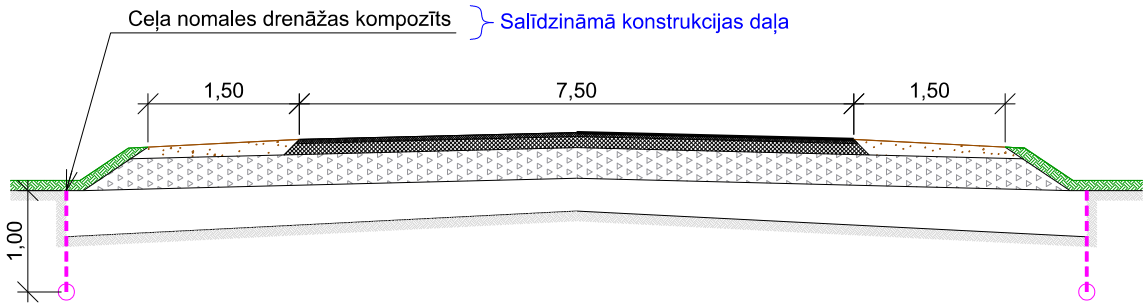
Kā galvenais risinājums tiek izvēlēta "franču" drenāža. Risinājums paredz 1,25 m dziļas un 0,5 m platas tranšejas rakšanu. Tranšeju aizpilda ar drenējošu grunti, kas ietīta veltā ģeotekstilā. Savākto ūdeni garenvirzienā novada drenāžas caurule.

Alternatīvs risinājums – vertikāla ģeokompozīta drenāža, kas apvienota ar drenāžas cauruli.

7.6.3.3 Risinājums bez ģeosintētiskā materiāla

Izrakto drenāžas tranšeju izklāj ar atdalošu ģeotekstilu. Paredz izmantot frakcionētu materiālu ar filtrācijas koeficientu 50 m/24 h jeb 5,78 x 10^{-4} m/s (aizpildījuma materiālam tiek pieņemts redukcijas koeficients 1,2). Spiediens drenāžas apakšā ir 20 kPa un i = 1.

Attēls 7-27. "Franču" drenāžas risinājums



Tiek aprēķināta "franču" drenāžas risinājuma veiktspēja:

$q = K \times A \times i = (5{,}78 \times 10^{-4}) \times (0{,}5 \times 1) \times 1 = 0{,}289 \times 10^{-3}$ m³/m/s jeb 0,289 l/(m x s)

7.6.3.4 7.4.2.4. Risinājums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu

Izvēlas drenāžas ģeokompozīta materiālu, kura ūdenscaurlaidība pie 20 kPa un i = 1 ir Q_L = 1,0 l/(m x s).

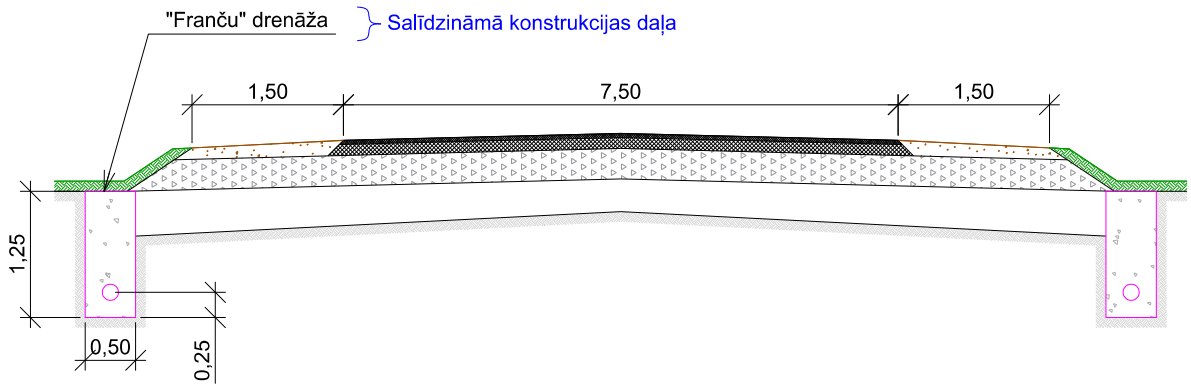
Atbilstoši ražotāja sniegtajai (pārbaudāmai informācijai) un esošajiem apstākļiem, tiek izmantoti sekojoši drošības koeficienti:

- RF_{in} – 1,08
- $RF_{cr\text{-}Q}$ – 1,3
- RF_{cc} – 1,0
- RF_{bc} – 1,0
- RF_L – 1,2

Tiek aprēķināta ilgtermiņa ūdenscaurlaidība drenāžas kompozītā:

$$Q_a = \frac{1}{1{,}08 \times 1{,}3 \times 1 \times 1 \times 1{,}2} = 0{,}593 \text{ l/(m x s)}$$

Attēls 7-28. Ceļa nomales drenāžas ģeokompozīta risinājums



Secināms, ka risinājums atbilst projekta mērķiem (kalpošanas laiks: 25 gadi).

7.6.4 Izstrādāto otrā piemēra risinājumu tehniski ekonomiskais un ietekmes uz vidi salīdzinājums

Lai izvērtētu, kurš no risinājumiem ir izdevīgāks, jāsalīdzina būvniecības izmaksas. Salīdzinājums veikts izstrādāto risinājumu 100 m posmam (abas ceļa puses). Cenas aprēķinā nav ņemta vērā drenāžas novadcaurule. Tiek pieņemts, ka abos salīdzināmajos gadījumos šī pozīcija ir identiska.

Tabula 7-13. “Franču" drenāžas izmaksas

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR

Drenāžas tranšejas rakšana	m^3	125	5,0	625,0
Liekās grunts izlīdzināšana	m^3	125	5,3	662,5
Atdalošā ģeotekstila iebūve	m^2	800	2,0	1839,2
Frakcionēta materiāla iebūve	m^3	121	15,2	1839,2
			KOPĀ:	4726,7

Tabula 7-14. Vertikālās drenāžas izmaksas

Darba pozīcija	**Mērvienība**	**Apjoms**	**Vienības izmaksas, EUR**	**Kopējās izmaksas, EUR**
Drenāžas tranšejas rakšana	m^3	40	5,0	200
Drenāžas ģeokompozīta iebūve	m^2	200	4,7	940
Drenāžas kompozīta aizbēršana ar izrakto grunti	m^3	32	4,1	131,2
			KOPĀ:	1271,2

Rezultātā redzams, ka vertikālās drenāžās risinājums ir par 3455,5 EUR jeb 73% lētāks.

Veicam CO_2 ekvivalenta aprēķinu līnijveida drenāžas risinājumiem.

Ietekmes uz vidi novērtējumā izmantotas ģeosintētikas materiāla ražotāju sniegtās izstrādājumu vides deklarācijas (Nr. MD-21018-EN un Nr. S-P-06889), pētījumā "Inventory of Carbon and Energy (ICE)" [83] un pētījuma 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

7.6.4.1 Mērķis

Aprēķina piemēra LCA mērķis ir salīdzināt divu līdzvērtīgu (pēc veiktspējas un/vai funkcionalitātes) konstrukciju (aprēķiniem pieņemtās konstrukcijas skatīt iepriekš) būvniecības procesa CO_2 ekvivalenta radītās emisijas, lai kopsakarībā ar šo risinājumu potenciālajām izmaksām pamatotu projektam piemērotāko risinājumu.

7.6.4.2 Funkcionālā vienība

100 m garš ceļa nomales drenāžas risinājums ar cauruli. Tiek pieņemts, ka konstrukciju nestspēja un kalpošanas laiks ir vienāds attiecīgi uzrādītajiem tehniskajiem risinājumiem. Aprēķinā netiek ņemts vērā caurules CO_2 ekvivalents, jo abos risinājumos tas ir identisks.

7.6.4.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

7.6.4.4 Dzīves cikla inventarizācija (LCI)

Dati par ģeosintētisko materiālu ražošanu un iebūvi iegūti no materiālu vides deklarācijām. Tiek apskatītas trīs dažādu ražotāju deklarācijas (Nr. MD-21018-EN, MD-21017-EN un S-P-02989). Dati par ražošanu pieejami visās trīs vides deklarācijās, un turpmākam aprēķinam tiek izmantota lielākā vērtība 3,144 kg CO_2 ekvivalenta uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu *(GWP-total)*. Dati par iebūvi pieejami tikai divās no apskatītajām vides deklarācijām. Izmanto lielāko no divām vērtībām – 0,186 kg CO_2 ekvivalenta uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu *(GWP-total)*.

Par atdalošo ģeosintētisko materiālu transportēšanas attālumu, atbilstoši 1.5. nodaļā aprakstītajam, pieņemti 2000 km. Pieņemts, ka ģeosintētiskos materiālus ved pilnās kravās un pilnā kravā var iekraut 10 t. Degvielas patēriņš 30 l/100 km.

Pieņemts, ka vienā virzienā tiek transportēta liekā grunts, bet atpakaļ uz objektu frakcionēts drenējošs materiāls no atradnes 25 km attālumā no būvobjekta. Lai aprēķinātu piegādes CO_2 ekvivalentu, pieņemts, ka vienas piegādes ilgums ir 0,75 h.

Pieņemts, ka ģeosintētiskie materiāli tiks iebūvēti, izmantojot roku darbu. Drenāžas tranšejas rakšanai 0,5 m platumā, 1,25 m dziļumā un aizpildīšanai tiek izmantots ekskavators.

Tabula 7-15. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam bez drenāžas ģeosintētikas

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļai
Vienas grunts kravas transportēšanas laiks (h)	0,75	Pieņemta vērtība (25 km kopējam attālumam, vienā virzienā)
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	10000	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,0052	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Grunts tilpumsvars (kg/m³)	2000	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
Atdalošā ģeotekstila svars (kg/m²)	0,2	Pieņemta vērtība
Drenāžas tranšejas rakšana (m³)	125	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Liekās grunts aizvešana (m³)	125	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Atdalošā ģeotekstila iebūve (m²)	800	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Frakcionēta materiāla iebūve (m³)	121	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	3,144	Materiāla vides deklarācija Nr. S-P-02989
Iebūves CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,186	Materiāla vides deklarācija MD-21017-EN
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 7-16. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam bez drenāžas ģeosintētikas

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO_2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Drenāžas tranšejas rakšana	250000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00049	121,500	122
ekskavators						0,00049		
Liekās grunts aizvešana	250000	0,00	0,00	0,00243	607,500	0,00	0,000	608
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00243				
Atdalošā ģeotekstila iebūve	160	3,144	503,04	0,19440	31,104	0,186	29,760	564
Frakcionēta materiāla iebūve	242000	0,0052	1258,4	0,00292	705,672	0,00049	117,612	2082
ekskavators				0,00049				
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00243				
ekskavators						0,00049		
							PAVISAM KOPĀ:	**3375**

Paredzētajam pielietojumam pieejama tikai viena materiāla vides deklarācija. Tāpēc tiek papildus apskatītas divu citu līdzīgu materiālu vides deklarācijas. Dati par ģeosintētisko materiālu ražošanu un iebūvi iegūti no trīs materiālu vides deklarācijām (Nr. S-P-06563, EPD-NAUE-SD-001-ref2 2017 un ABG-CFP-2020-Fildrain-Type-6). Dati par ražošanu pieejami visās trīs vides deklarācijās, un turpmākam aprēķinam tiek izmantota lielākā vērtība 3,29 kg CO_2 ekvivalenta uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu *(GWP-total)*. Dati par iebūvi pieejami vienā vides deklarācijā. Aprēķiniem tiek izmantota vērtība 0,216 kg CO_2 ekvivalenta uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu *(GWP-total)*.

Drenāžas ģeosintētisko materiālu transportēšanas attālums pieņemts tāds pats kā atdalošā ģeotekstila transportēšanas attālums – 2000 km. Pieņemts, ka ģeosintētiskos materiālus ved pilnās kravās un pilnā kravā var iekraut 4,5 t. Degvielas patēriņš 30 l/100 km.

Risinājums paredz, ka grunts materiāls netiek transportēts.

Tiek uzskatīts, ka ģeosintētiskie materiāli tiks iebūvēti, izmantojot roku darbu. Rokot tranšeju 0,2 m platumā un 1 m dziļumā, grunts tiek novietota blakus un, pēc drenāžas ģeokompozīta materiāla iebūves, tiek izmantota tās aizbēršanai.

Tabula 7-17. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam ar drenāžas ģeosintētiku

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļai
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	4500	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,0052	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Grunts tilpumsvars (kg/m³)	2000	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
Drenāžas kompozīta svars (kg/m²)	1	Pieņemta vērtība
Drenāžas tranšejas rakšana (m³)	40	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Drenāžas ģeokompozīta iebūve (m²)	200	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Drenāžas kompozīta aizbēršana ar izrakto grunti (m³)	32	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	3,29	Materiāla vides deklarācija Nr. S-P-06563
Iebūves CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,216	Materiāla vides deklarācija Nr. EPD-NAUE-SD-001-ref2 2017
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 7-18. CO2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam ar drenāžas ģeosintētiku

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Drenāžas tranšejas rakšana	80000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00049	38,880	39
ekskavators						0,00049		
Drenāžas kompozīta iebūve	200	3,29	658,000	0,432000	86,400	0,216	43,200	788
Drenāžas kompozīta aizbēršana ar izrakto grunti	64000					0,00049	31,104	31
ekskavators						0,00049		
							PAVISAM KOPĀ:	**826**

7.6.4.5 Ietekmes novērtējums

Saskaņā ar veiktajiem aprēķiniem risinājumam ar ceļa nomales drenāžas ģeokompozītu CO_2 ekv. = 826 kg/100 m, bet risinājumam ar "franču" drenāžu CO_2 ekv. = 3375 kg/100 m.

Salīdzinot aprēķinātās CO_2 ekvivalenta kg/100 m vērtības, var secināt, ka risinājums ar drenāžās ģeokompozītu ir ar 4,08 reizes (3375/826=4,08) mazāku ietekmi.

7.7 Lietošanas un labās prakses piemēri

7.7.1 Objekts – uzbēruma ātra konsolidācija, Mančestra, Apvienotā Karaliste

Neapbūvētā, neattīstītā teritorijā tika veikta plaši teritorijas apbūves darbi. Teritorijā iepriekš bija būvgružu un nelietderīgās grunts atbērtne. Pamatnes ieži ir kūdra un māls.

Lai projekts tiktu ātri un ekonomiski izdevīgi realizēts bija jāizmanto esošie grunts materiāli. No ģeotehniskā viedokļa viss pieejamais materiāls bija izmantojams. Vienīgā problēma bija tā, ka tas bija pārāk mitrs. Materiāla sagatavošana ar tradicionālām metodēm būtu pārāk dārga. Pie tam darbu grafiks paredzēja darbus veikt lietavu laikā.

Lai ātrāk novadītu ūdeni no uzbēruma, tika pieņemts iebūvēt drenāžas ģeokompozītu horizontāli, atdalot uzbērto grunti ar soli 1 metrs.

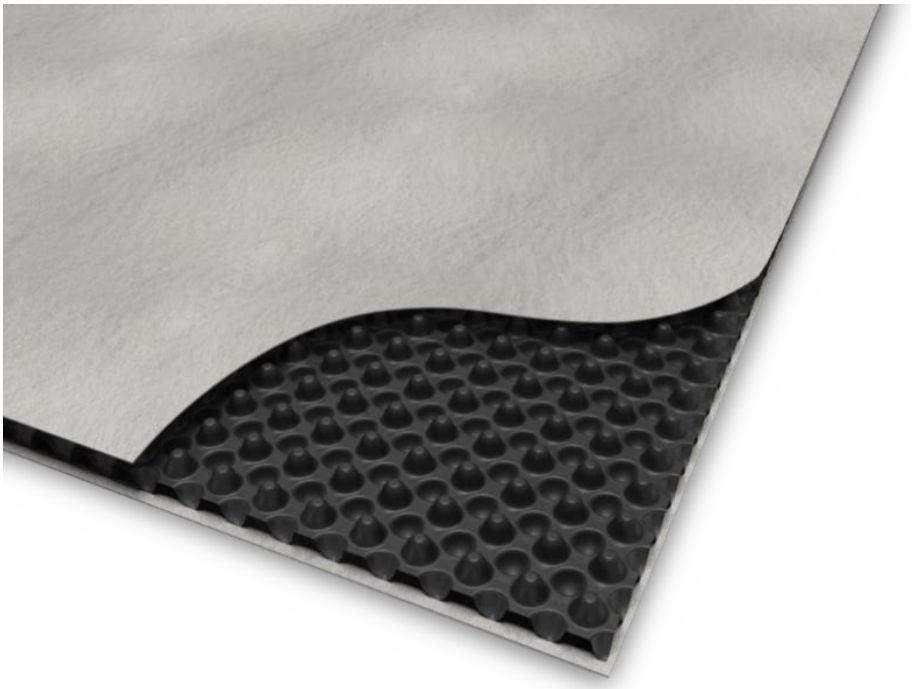
Attēls 7-29. Projekta risinājums ar drenāžas ģeokompozītu

Attēls 7-30. Drenāžas ģeokompozīta izmantošana uzbēruma konsolidēšanā

Rezultātā tika panākta ievērojama laika ekonomija – nepieciešamā grunts konsolidācija tika sasniegta 4 nedēļu laikā (dabiskā procesā tas prasītu vismaz 6 mēnešus). Turklāt

ģeokompozīts pasargāja konstrukciju no nokrišņu iekļūšanas uzbērumā, kas pretējā gadījumā aizkavētu konsolidācijas procesu.

Attēls 7-31. Projekta risinājumā izmantotais ģeokompozīts



Attēls 7-32. Projekta platība [147]

Galvenie ieguvumi realizējot projektu ar drenāžas kompozītu ir:

- laika ekonomija – ātra grunts konsolidācija;
- resursu ekonomija – varēja izmantot esošo grunti;

- uzbērums tika papildus pastiprināts.

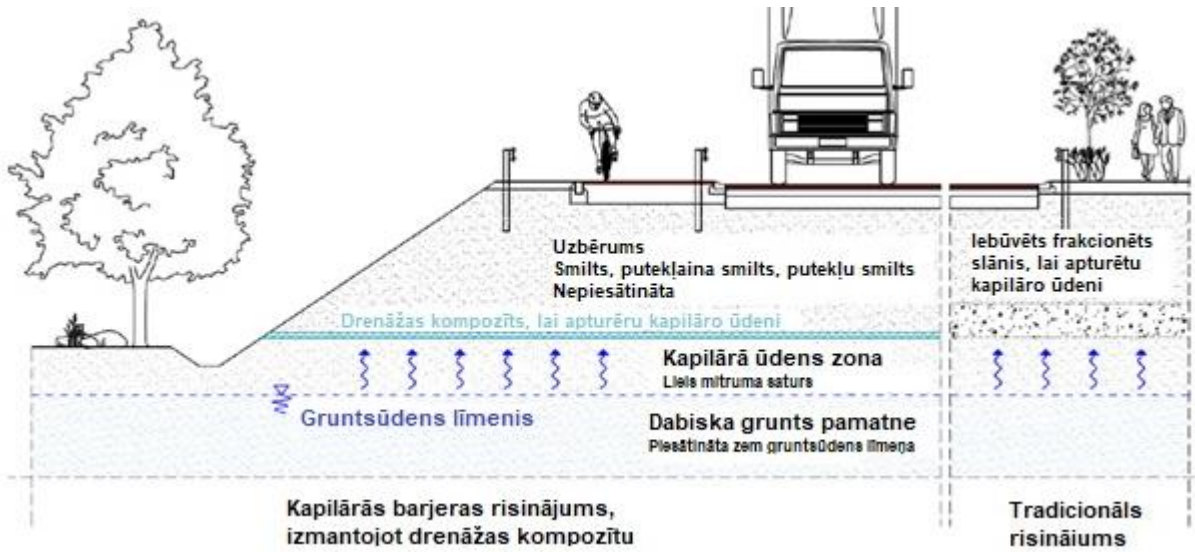
7.7.2 Objekts – Ungārijas ātrgaitas ceļu tīkls

Būvējot lielceļu Ungārijā tika konstatēts, ka teritorijās ir augsts gruntsūdens līmenis. Lai minimizētu gruntsūdens - kapilārā ūdens ietekmi ne tikai būvniecības laikā, bet arī pabeigtajai konstrukcijai bija nepieciešams ilgtspējīgs risinājums.

Kapilārā ūdens zona nozīmē, ka grunts ir mitra ne tikai zem gruntsūdens līmeņa, bet arī virs tā. Tā ir zona, kur grunts vairs nav piesātināta, bet ir ar augstu ūdens saturu. Galvenā problēma ir tā, ka šajā kapilārajā zonā gruntīm ir ievērojami vājākas bīdes pretestības īpašības, kā arī ir lielākas sēšanās.

Kā risinājums tika izvēlēts iebūvēt zemes klātnes pamatnē drenāžas kompozītu, kas pārtvertu kapilāro ūdeni un izvadītu to no uzbēruma konstrukcijas.

Attēls 7-33. Projekta un alternatīvā risinājuma salīdzinājums



Attēls 7-34. Būvniecības process

Attēls 7-35. Projekta risinājumā lietotais ģeokompozīts

Ieguvums realizējot projektu ar drenāžas kompozītu:

- ∇ samazinās izdevumi – drenējošas grunts materiālu ieguve, transportēšana un iestrāde;
- ∇ samazinās būvniecības laiks – salīdzinot ar laiku kāds nepieciešams drenējošas grunts kārtu būvēšanai;
- ∇ samazināts konstrukcijas pašsvars un samazināta uzbēruma sēšanās;
- ∇ paredzamo drenāžas spēju dēļ konstrukcijai ir augstāka nestspēja, ilgāks kalpošanas laiks;
- ∇ samazinās kopējās projekta realizācijas CO_2 emisijas.

7.7.3 Objekts – S5 lielceļš Vroclava - Poznaņa

S5 lielceļš Vroclava – Poznaņa ir viens no daudziem Polijas maģistrālajiem ceļiem, kas tika realizēts pēc valsts prioritāšu programmas 2014-2020. Lai gūtu maksimālu labumu projekts bija jārealizē īsā termiņā ievērojot augstas kvalitātes prasības. Metodes, kas nodrošina ātru būvniecību ar uzticamu kvalitātes nodrošināšanu, tika iezīmētas jau projektēšanas stadijā. Klasiskā "Franču drenāžas" iebūve prasa lielāku laika un materiāla patēriņu, kas norādīja uz riskiem projekta realizācijai.

Attēls 7-36. "Franču drenāžas" klasiskais risinājums [148]

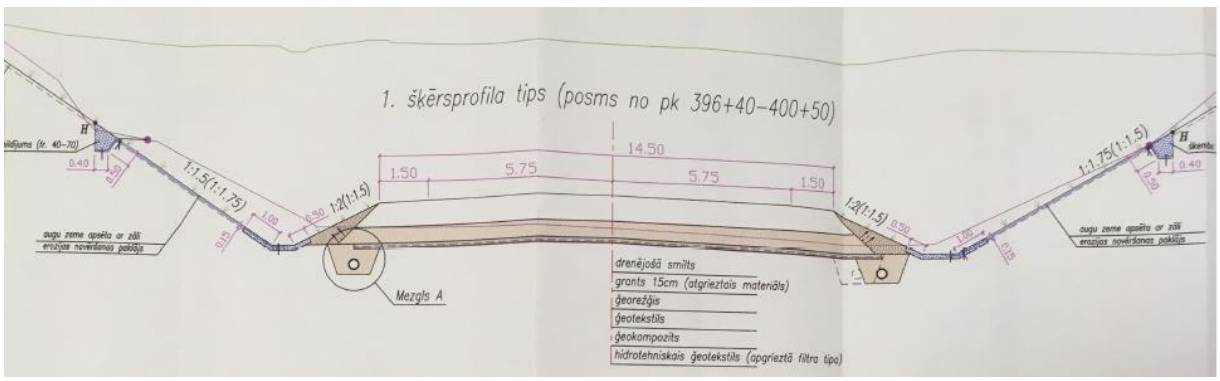
Tika pieņemts lēmums izmantot ceļa nomales drenāžas kompozītus.

Attēls 7-37. Drenāžas kompozīta iebūves process [149]

7.7.4 Objekts A7 Rīga—Bauska—Lietuvas robeža (Grenctāle) – zem dzelzceļa

Objekts A7 Rīga—Bauska—Lietuvas robeža (Grenctāle) uzbūvēts apmēram 2000.-2006. gadā. Sākotnēji būvprojektā drenāžas kompozīta lietošana šajā posmā netika paredzēta. Veicot ceļa posma rekonstrukciju bija jāpalielina transporta zonas gabarīts zem dzelzceļa tilta. Veicot ierakuma darbus noteiktajās projekta atzīmēs, parādījās ievērojams daudzums gruntsūdens. Tas pārmitrināja esošo mālaino grunti un kvalitatīvi veikt darbus vairs nebija iespējams. Bija nepieciešams atdalīt pārmitrināto esošo grunti no ceļa segas konstrukcijas, un ņemot vērā pastāvīgi pieplūstošo gruntsūdeni, efektīvi novadīt to prom no zemes klātnes uz drenāžas kolektoriem. Kā risinājums tika izvēlēts bieza hidrotehniska ģeotekstila un drenāžas ģeokompozīta iebūve. Rezultātā tika uzbūvēta drenāžas sistēma, kas novadīja lieko ūdeni un, uzlabojoties grunts nespējai, bija iespējams veikt darbus atbilstoši paredzētajam projekta risinājumam.

Attēls 7-38. Projekta risinājums



7.7.5 Autoceļa A7/E67 Rīga – Bauska – Grenctāle pārbūve pie dzelzceļa stacijas, Iecava

7.7.5.1 Objekta apsekošana

Šī pētījuma ietvaros 2022. gada 3. oktobrī tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu nostiprināto nogāžu risinājumu tehnisko stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieks J. Kivilands.

Apsekošanas rezultātā vizuāli defekti netika konstatēti. Ūdens līmenis drenāžas akās atrodas krietni zem pieplūdes atveres līmeņa.

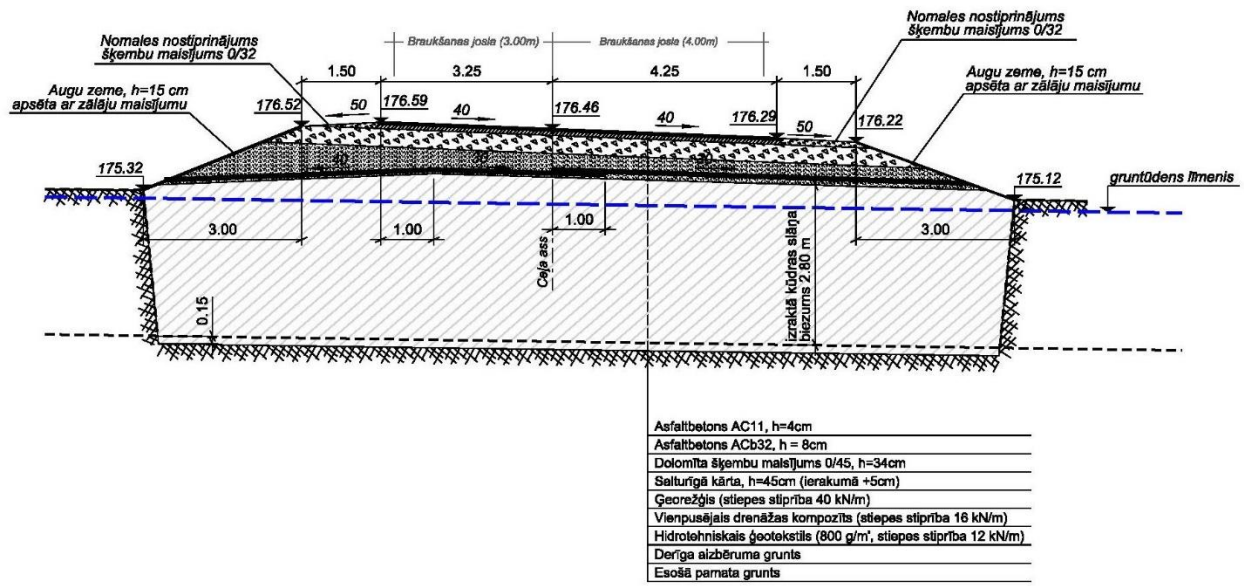
7.7.5.2 Risinājumu un ietekmējošo faktoru analīze

Drenāžas risinājums ir efektīvs pat pēc samērā ilga kalpošanas laika.

7.7.6 Objekts P4 Rīga – Ērgļi 90,70-99,66 km

Būvniecības darbi realizēti 2012. gadā. Projekta izstrādes laikā vienā no ceļa posmiem tika konstatēts kūdras slānis. Kūdras slāņa biezums nebija pārāk liels un saskaņā ar tehniski ekonomisko aprēķinu bija izdevīgi to izrakt un aizstāt ar pievestu grunti. Tas gan neatrisināja augstā gruntsūdens problēmu. Lai pasargātu ceļa konstrukciju no gruntsūdens ietekmes, tika iebūvēts drenāžas kompozīts, kurš pārtver visu augšup ejošo gruntsūdens plūsmu un izvada to uz ceļa nogāzēm.

Attēls 7-39. Projekta risinājums Pk 981+40



Attēls 7-40. Autoceļš P4 Rīga Ērgļi rekonstrukcijas laikā

8 Preterozijas risinājumi

Ģeosintētisko preterozijas materiālu projektēšanas metodes iedalās divās daļās:

- ∇ sausā nogāze, piemēram, ceļa uzbēruma vai ierakuma nogāze, kur erozija veidojas virsmas nokrišņu ietekmē;
- ∇ slapjā nogāze, piemēram, upes vai grāvja nogāze un gultne, kur novērojama patstāvīga ūdens klātbūtne un erozija, veidojas straumes ietekmē.

1958. gadā Wischmeier un Smith iepazīstināja ar sākotnējo pētījumu par nokrišņu radīto enerģiju un tās saistību ar augsnes zudumiem. Balstoties uz šo pētījumu 1965. gadā tika izstrādāts un publicēts USLE jeb Universālais augsnes zuduma vienādojums, pēc kura nosaka sagaidāmos augsnes zudumus un dažādu erozijas kontroles pasākumu priekšrocības būvlaukumos.

Turpmāk pētījumā sausās nogāzes projektēšanas princips tiek balstīts uz Pārskatītā universālā augsnes zuduma vienādojuma RUSLE (angļu val. - Revised Universal Soil Loss Equation) bāzes. Tā RUSLE vienādojuma pamatforma ir palikusi nemainīga, taču, veicot jaunus pētījumus, vairākos koeficientos ir veiktas izmaiņas.

RUSLE vienādojums ir sastādīts, veicot apjomīgu mērījumu skaitu uz laboratorijas testa iekārtas ar konstantu nogāzes slīpumu – 9 %, garumu – 22,13 m un platumu - 1,83 m. Augsnes zudumus var samazināt, paredzot izmantot ģeosintētiskos preterozijas materiālus, kuri šajā vienādojumā tiek ievērtēti ar tiem atbilstošo erozijas zudumus samazinošo koeficientu. Jo mazāka ir šī koeficienta vērtība, jo labāka virsmas aizsardzība tiek nodrošināta. [61]

Ģeošūnām augsnes zudumus samazinošais koeficients RUSLE vienādojumā ir norādīts 1, kas ir vienāds ar vērtību dabīgai nogāzei bez jebkādas papildus aizsardzības. Pētījuma izstrādes laikā gan tiek secināts, ka ģeošūnas ievērojami samazina augsnes zudumus, tādēļ to projektēšana pēc RUSLE vienādojuma nav ieteicama un tām ir aprakstīts atsevišķs stabilitātes aprēķins.

Ar RUSLE vienādojumu var aprēķināt tikai lokšņu un strautiņu radītos augsnes zudumus, bet nav iespējams noteikt koncentrētas noteces ietekmi jeb sateku un krastu erozijas lielumu.

Slapjās nogāzes erozijas aprēķins tiek izdalīts atsevišķi un ir atkarīgs no straumes ātruma un bīdes spēkiem. Ievērtējot drošības koeficientus tiek noteikts, vai konkrētajā gadījumā paredzamā slodze nav lielāka par pieļaujamo. Ja pārbaudes neizpildās, tad

jāparedz nogāzes nostiprinājums, izmantojot ģeosintētiskos materiālus vai citus risinājumus.

8.1 Kritēriji un nosacījumi lietošanai

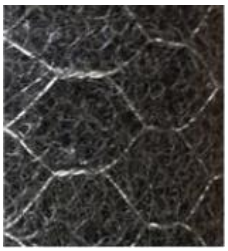
Lai nodrošinātu nogāžu virsmas erozijas aizsardzību parasti izmanto dabiskus materiālus, piemēram, salmus, akmeņus, krūmus un augsni. Tomēr atsevišķos gadījumos dabisko materiālu izmantošanai virsmas erozijas kontroles sistēmās ir ierobežojumi attiecībā uz kvantitatīvi nosakāmu veiktspēju un lietojumu. Ir pierādīts, ka ģeosintētisko materiālu izmantošana virsmas erozijas kontroles sistēmās sniedz ievērojamas priekšrocības, ja tos izmanto tradicionālo materiālu vietā vai kombinācijā ar tiem. Piemēram, mulčēšanas metodes, kā salmi, koks vai cits dabīgs materiāls, kas noklāts uz augsnes virsmas sausā veidā, ir neefektīvs, ja tiek pakļauts ievērojamai stiepes un bīdes stiprībai, ko rada liela lietus ūdens notece. Tomēr, ja kāds no šiem materiāliem ir savienots ar ģeosintētisko tīklu vai režģi, tad veidojas nepārtraukta, mehāniski savienota struktūra, kura rada daudz spēcīgāku aizsardzību.

Ģeosintētisko preterozijas materiālu attiecīgos raksturlielumus un tiem atbilstošās pārbaudes metodes šo raksturlielumu noteikšanai tiek definētas, veicot apjomīgus laboratorijas un lauka testus. Laboratorijas eksperimentu priekšrocība ir tā, ka tiek kontrolēti faktori, kas ietekmē erozijas procesus, piemēram noteikta lietus intensitāte, ilgums, piliena lielums un kinētiskā enerģija. [150]

Lai analizētu augsnes uzvedību nogāzē, kas pakļauta nokrišņu ietekmei, laboratorijā tiek veikti lietus simulācijas testi, vienāda slīpuma nogāzei ar un bez ģeosintētiskā preterozijas materiāla.

Viens no šādiem pētījumiem ir veikts Brazīlijā, Gojasas Federālās universitātes Grunts zinātnes, ģeomorfoloģijas un fiziskās ģeogrāfijas laboratorijā (angļu valodā – the Laboratory of Pedology, Geomorphology and Physical Geography (LABOGEF)). Pētnieciskajā darbā tika izmantoti četri dažādi ģeosintētiskie preterozijas materiāli (ģeopaklājs 1 līdz 4). To attēli un raksturlielumi parādīti tabulā (Tabula 8-1). Ģeopaklājs 1 ir ražots no 100% kokosšķiedras, cauršūts ar polipropilēna diegu un pastiprināts ar stiegrojošu režģi. Ģeopaklājs 2 arī ir ražots no 100 % kokosšķiedras, cauršūts ar polipropilēna diegiem, bet bez papildus stiegrojuma. Ģeopaklājs 3 ir izgatavots no dabīgiem salmiem un ģeopaklājs 4 ir sintētiskais preterozijas paklājs ar tērauda stiegrojumu.

Tabula 8-1. Lietus simulācijas testos izmantoto ģeopaklāju īpašības

	Ģeopaklājs 1	**Ģeopaklājs 2**	**Ģeopaklājs 3**	**Ģeopaklājs 4**
Attēls				
Svars, g/m^2	400	400	400	520
Stiepes stiprība, kN/m	0,69	0,70	0,38	3,00 *

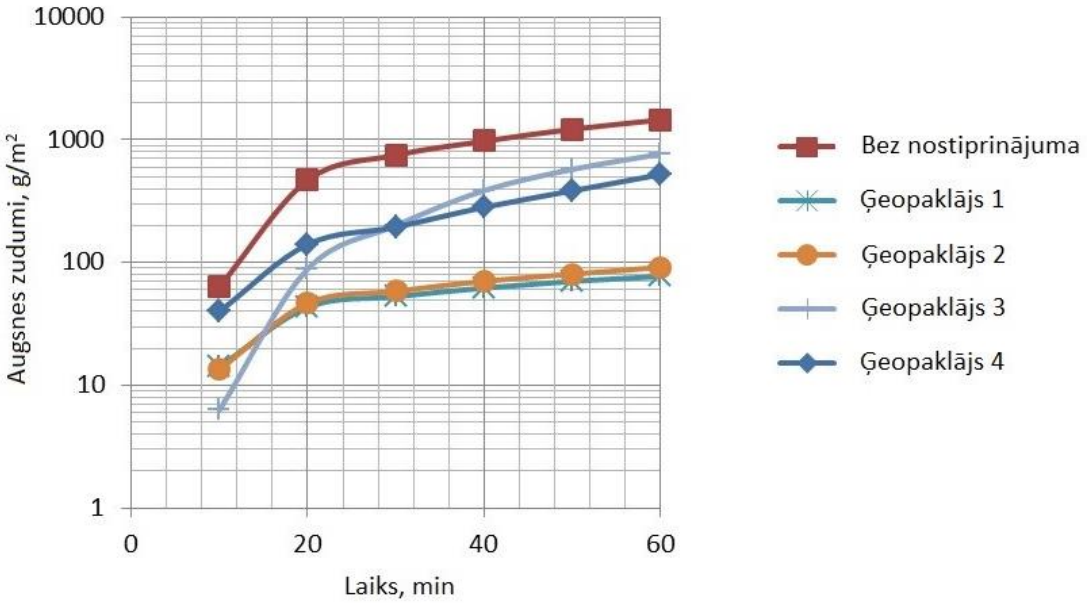
** - vērtība deklarēta sintētiskajam paklājam bez tērauda stiegrojuma.*

Šajā pētījumā tika izmantots pārnēsājams lietus sprinkleru simulators (Attēls 8-1). Iekārtu izstrādāja Mendess (2016), lai reproducētu mākslīgos nokrišņus, kuru īpašības ir līdzīgas faktiskajam lietum. Simulatorā var tikt mainīti sekojoši parametri – nogāzes slīpums, smidzināšanas augstums, lietus intensitāte un vienmērīgums. Ņemot vērā iegūtos datus par slīpumu, ūdens infiltrācijas ātrumu un noskaloto augsnes daudzumu, tiek analizēta nogāžu notece. Akrila kastes izmēri augsnes slāņa ievietošanai ir 1,0x1,0x0,15 m un, lai izvairītos no augsnes slāņa nestabilitātes, tā tika novietota 25° slīpumā. Testa ilgums bija 1 stunda ar lietus intensitāti 131 mm/h. Testā tika izmantota augsne, kura norakta no netālu esošās kanāla nogāzes.

Attēls 8-1. Lietus simulatora testa iekārta

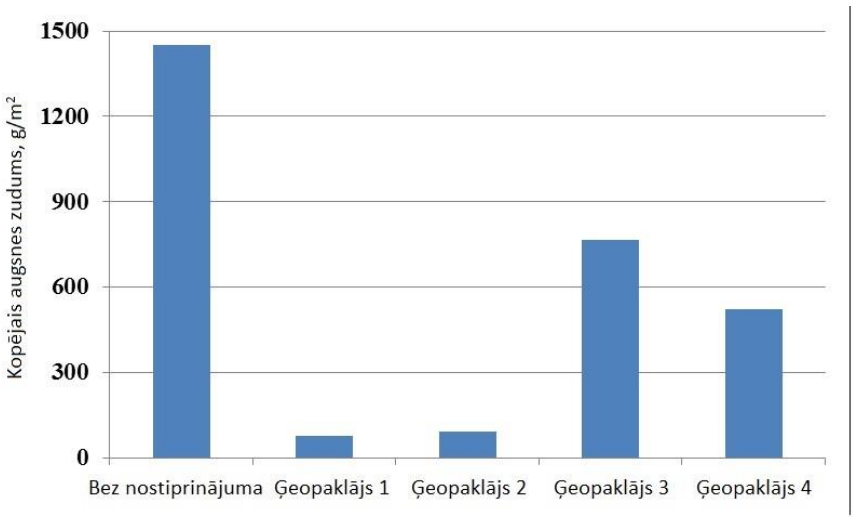
Lietus simulācijas testa laikā ūdens daudzums un noskalotās augsnes apjoms tika novērtēts ik pēc desmit minūtēm. Visi testi tika veikti vienādos apstākļos. Grafikā (Attēls 8-2) parādītas augsnes zudumu izmaiņas vienas stundas laika periodā.

Attēls 8-2. Augsnes zudumu izmaiņas vienas stundas laikā



Grafikā (Attēls 8-3) redzami kopējie augsnes zudumi uz platības vienību. Salīdzinot iegūto rezultātu ar kontroles testu bez ģeosintētiskā materiāla, var atzīmēt, ka ģeopaklāji ievērojami samazina augsnes eroziju. Visefektīvāk to samazina ģeopaklājs 1 un 2. Ģeopaklājs 3 uzrādīja vissliktāko rezultātu starp preterozijas materiāliem, bet tajā pašā laikā 47 % efektivitāti salīdzinājumā ar augsnes zudumu, kas novērots testā bez nostiprinājuma.

Attēls 8-3. Kopējais augsnes zudums uz platības vienību



Kopumā visi četri pārbaudītie ģeopaklāji samazināja noskalotās augsnes daudzumu, taču jāsecina, ka brīdī, kad veģetācija uz nogāzes vēl nav izveidojusies, kokosšķiedras ģeopaklāji to pasargā labāk no erozijas nekā salmu vai sintētiskais ģeopaklājs. [151]

Līdzīgi lietus simulatora testi ir veikti arī ar ģeošūnām nostiprinātai nogāzei. Vienu no tiem ir veikuši universitātes studenti Ķīnā. Pētījuma autori izveidoja deviņus nogāzes modeļus ar slīpuma attiecību 1:1,5. Trīs A grupas paraugi bija dabīga augsne bez papildu nostiprinājuma. B grupas nogāzēs tika iebūvētas ģeošūnas ar šūnas diagonāļu izmēru 370x370 mm, un augstumu h=150 mm, turpmāk sauktas – mazās ģeošūnas, bet C grupas paraugiem tika izmantotas ģeošūnas ar šūnas diagonāļu izmēru 445x445 mm un augstumu h=200 mm, turpmāk sauktas - lielās ģeošūnas. B un C grupas paraugos ģeošūnu aizpildījumam tika izmantots sasmalcinātu salmu un augsnes maisījums. Atbilstoši nokrišņiem pētījuma veikšanas vietā, eksperimentā tika izvēlētas trīs nokrišņu intensitātes 50, 75 un 100 mm/h. Katrs tests ilga 30 minūtes. Augstais nokrišņu intensitātes līmenis tika izvēlēts, lai radītu iespējami sliktākos apstākļus.

Attēlā (Attēls 8-4) redzams testa rezultāts dabīgai nogāzei bez nostiprinājuma. Pie zemas lietus intensitātes jeb 50mm/h paraugā A1 novērojamas plaisas, bet citādi virsma ir gluda un līdzena. Pieaugot lietus intensitātei līdz 75 mm/h, parauga A_2 lejas daļā jau tiek konstatēts izskalojums. Pie testa maksimālās lietus intensitātes paraugā A3 strautiņu erozija redzama lielākajā daļā nogāzes virsmas.

Attēls 8-4. Lietus radītā erozija uz dabīgās nogāzes

Paraugs A_1 50mm/h | Paraugs A_2 75mm/h | Paraugs A_3 100mm/h

Attēlos (Attēls 8-5 un Attēls 8-6) parādīts testa rezultāts nogāzēm, kuras nostiprinātas attiecīgi ar mazajām un lielajām ģeošūnām. Plaisas vai strautiņu un sateku erozija šajos paraugos netika novērota. Noturot augsni vietā, ģeošūnas uzlaboja nogāzes stabilitāti.

Taču neatkarīgi no nostiprinājuma veida, tiek secināts, ka līdz ar nokrišņu intensitātes palielināšanos arī augsnes erozija pieauga. Tas bija novērojams arī vizuāli, jo, pieaugot noskalotajam augsnes daudzumam, palielinājās redzamās šūnas daļas dziļums. Tā kā lielajām šūnām pēc testa beigām šī daļa ir augstāka, kas norāda uz lielāku augsnes eroziju, tiek secināts, ka mazās ģeošūnas augsnes erozijas ierobežošanā nodrošina labāku rezultātu.

Attēls 8-5. Lietus radītā erozija uz nogāzes, nostiprinātas ar mazajām ģeošūnām

Paraugs B_1 50mm/h | Paraugs B_2 75mm/h | Paraugs B_3 100mm/h

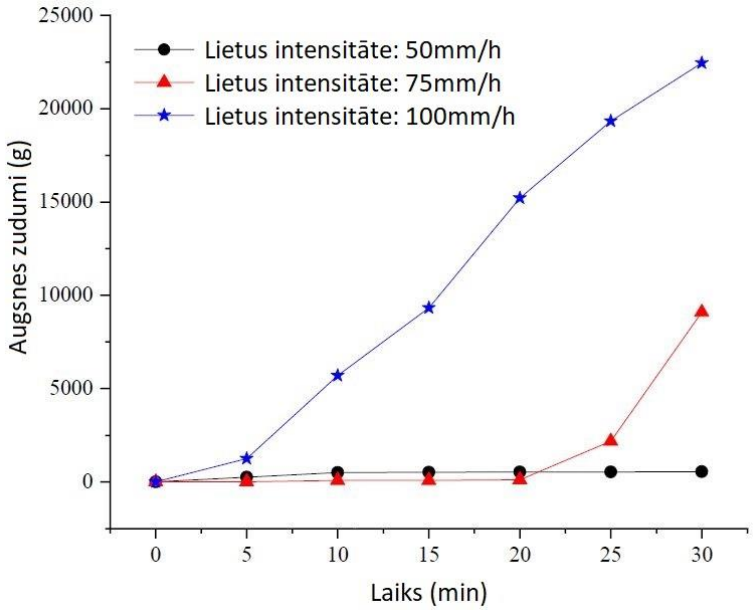
Attēls 8-6. Lietus radītā erozija uz nogāzes, nostiprinātas ar lielajām ģeošūnām

Paraugs C_1 50mm/h | Paraugs C_2 75mm/h | Paraugs C_3 100mm/h

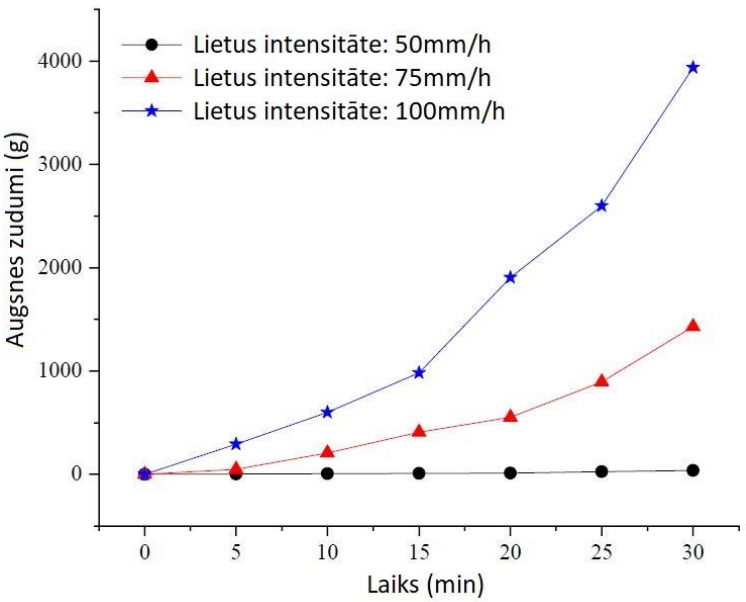
Attēlā (Attēls 8-7) redzams augsnes erozijas pieaugums dažādām nogāzēm atkarībā no nokrišņu intensitātes. Pie nokrišņu daudzumu 50 mm/h erozijas apjoms bija gandrīz nemanāms. Dabīgai nogāzei tie bija 550 g, bet pie lietus intensitātes 75 mm/h un 100 mm/h tie ievērojami pieauga līdz attiecīgi 9000 g un 22’000 g. Ar ģeošūnām

nostiprinātas nogāzes augsnes erozijas apjoms samazinājās. Pie trīs dažādiem nokrišņu daudzumiem mazajām ģeošūnām tas bija tikai 40 g, 1400 g un 3900 g, bet lielajām – 30 g, 1500 g un 5000 g. [152]

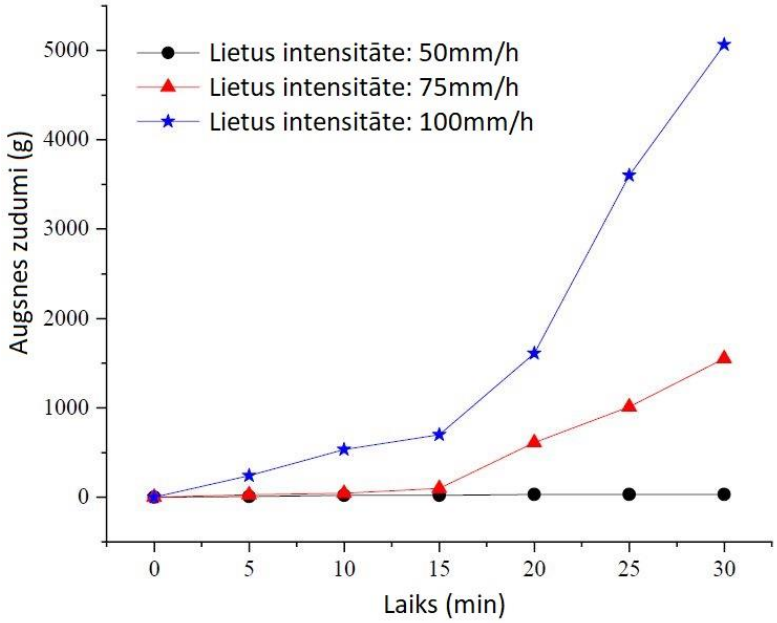
Attēls 8-7. Augsnes erozijas apjoms dabīgai nogāzei



Attēls 8-8. Augsnes erozijas apjoms nogāzei ar mazo ģeošūnu nostiprinājumu

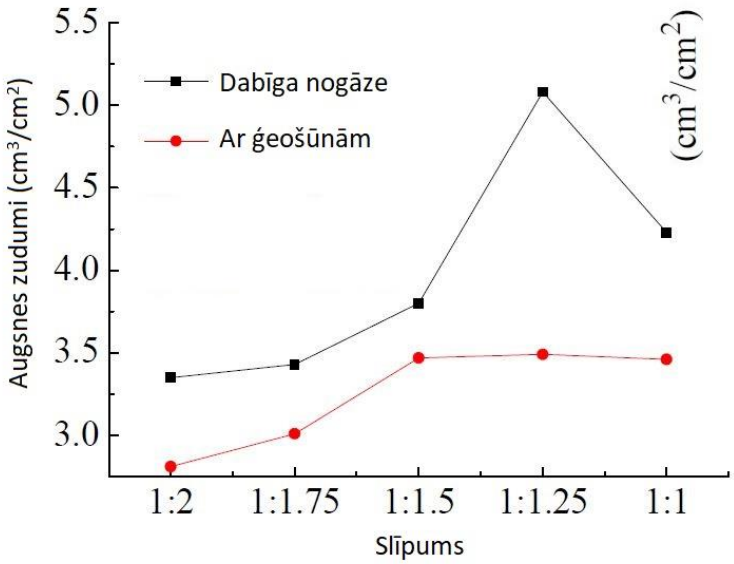


Attēls 8-9. Augsnes erozijas apjoms nogāzei ar lielo ģeošūnu nostiprinājumu



Ģeošūnu lietderību nogāzes aizsardzībā pret lietus radīto eroziju ir pētījuši arī studenti no Lidostas koledžas, Ķīnas Civilās aviācijas universitātē, Tjandzjiņā (angļu valodā - Airport College, Civil Aviation University of China, Tianjin). Eksperimenta rezultātā iegūtie dati par augsnes zudumiem dažādos slīpumos dabīgai un ar ģeošūnām nostiprinātai nogāzei parādīti grafikā (Attēls 8-10.).

Attēls 8-10. Augsnes zudumu izmaiņas uz laukuma vienību atkarībā no nogāzes slīpuma



Pēc grafika redzams, ka izteikta ģeošūnu izmantošanas lietderība parādās pie nogāzes ar slīpumu 1:1,5, un visefektīvākā aizsardzība pret augsnes eroziju ir pie slīpuma 1:1,25. Ģeošūnu nodrošinātā virsmas aizsardzība nogāzei pie slīpuma 1:1 samazinās, bet augsnes zudumi joprojām ir divreiz mazāki nekā dabīgai nogāzei. Ģeošūnu aizsardzības

efekta samazinājums varētu būt saistīts ar mazāku faktisko nokrišņu intensitāti uz vienu nogāzes virsmas laukuma vienību. [153]

8.2 Lietošanas lietderība Latvijas apstākļos

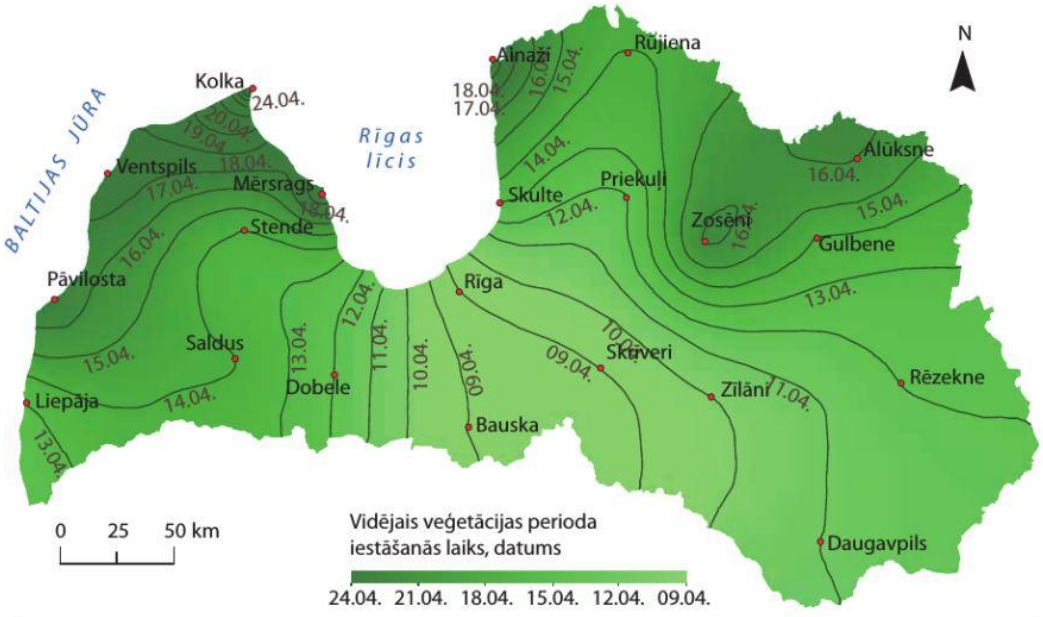
Veģetācija ir visefektīvākais veids kā nodrošināt grunts noturību pret eroziju. Tā pasargā virsmu no lietus pilienu ietekmes, samazina straumes ātrumu un izkliedē to. Veģetācija rada raupju virsmu, kas palēnina noteces ātrumu, nodrošina ātrāku ūdens infiltrāciju un pārvietoto grunts daļiņu nogulsnēšanos. Augi uzņem ūdeni no nogāzes grunts, tādējādi palielinot grunts spēju absorbēt lietus ūdeni. Vienlaicīgi augu struktūra – lapas un stublāji, nosedz nogāzes virsmu, bet sakņu sistēma palīdz noturēt grunts daļiņas vietā.

Lai veģetācija izveidotos un radītu aizsardzību pret virsmas eroziju, ir būtiski nogāžu nostiprināšanas darbus veikt aktīvajā veģetācijas periodā. Gaisa temperatūras režīms var būt izmantojams kā viens no rādītajiem, lai raksturotu veģetācijas jeb augšanas sezonu. Visbiežāk Latvijā par veģetācijas periodu sākšanos pieņem laiku, kad vidējā diennakts temperatūra pārsniedz 5 ℃ vismaz 5 dienas pēc kārtas. Pasaulē eksistē un lieto dažādas veģetācijas perioda definīcijas. Piemēram, veģetācijas periods tiek definēts arī kā gada periods, kurā augšanas apstākļi gan vietējiem, gan kultivētajiem augiem ir izdevīgākie:

- ∇ vidējā temperatūra ir virs temperatūras sliekšņa, kad kultūra izdīgst un turpina augšanu (šī temperatūra ir atkarīga no attiecīgās kultūras);
- ∇ veģetācijas periods ir bezsala dienu skaits jeb dienu skaits starp pēdējo pavasara salnu un pirmo rudens vai ziemas salnu.

Latvijā kopumā vidējais veģetācijas perioda dienu skaits variē vairāk kā trīs nedēļu amplitūdā (Attēls 8-11. un Attēls 8-12.), ko ietekmē ne tikai attiecīgā vieta reģionālā mērogā, bet arī augstums virs jūras līmeņa un reljefs. Baltijas jūras piekrastē novērojams vidēji garākais veģetācijas periods. [154]

Attēls 8-11. Veģetācijas perioda iestāšanās laiks (1971.–2010. gads) [154]

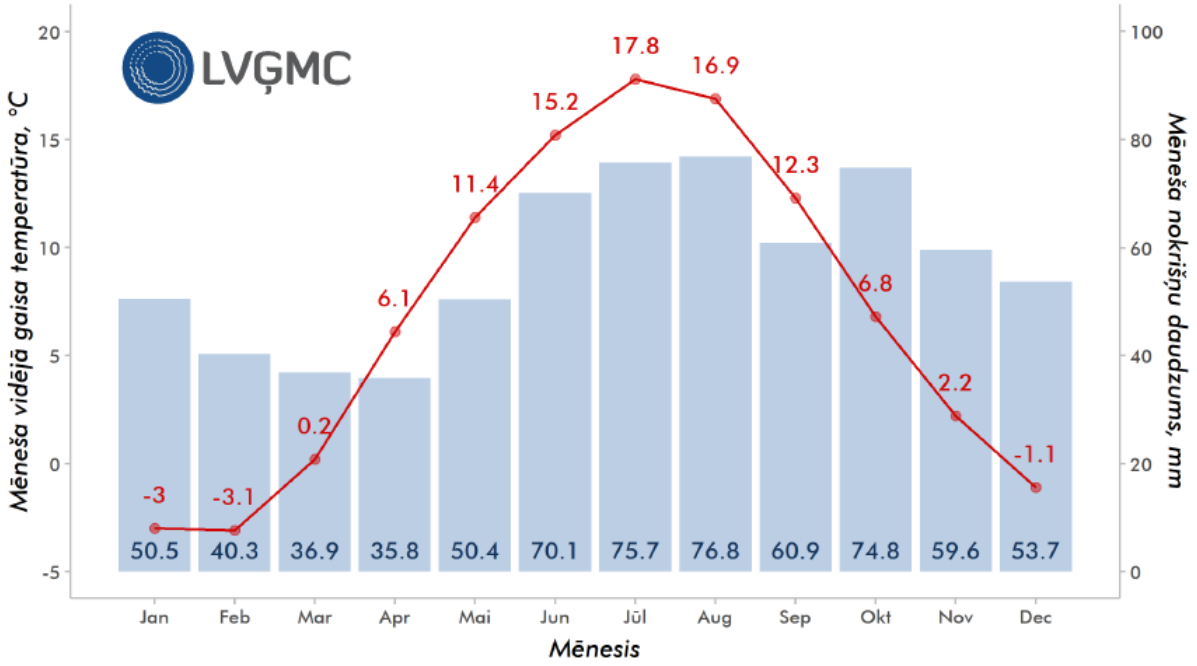


Attēls 8-12. Veģetācijas perioda noslēguma laiks jeb beigas (1971.–2010. gads) [154]

No apkopotajiem datiem kartēs tiek pieņemts, ka veģetācijas periods Latvijā ilgst no aprīļa līdz oktobra mēnesim.

Attēlā apkopoti dati par vidējo gaisa temperatūru un nokrišņu daudzumu. Kopējais nokrišņu daudzums gadā Latvijā ir 685,6mm. Ar nokrišņiem visbagātākie mēneši ir augusts un jūlijs, kuros vidēji nolīst 76,8 un 75,7mm, savukārt vissausākais ir aprīlis ar vidēji 35,8 mm.

Attēls 8-13. Mēnešu vidējās gaisa temperatūras un nokrišņu daudzuma klimatiskās standarta normas (1991.-2020. gads)



8.3 Priekšrocības un trūkumi

Priekšrocības:

- ∇ samazina vai novērš lietus un straumes radītos augsnes zudumus līdz brīdim, kad izveidojas veģetācija;
- ∇ palielina augu sakņu bīdes stiprību;
- ∇ ātra un, lielākoties, vienkārša izbūve, kas paveicama, neizmantojot specifisku būvniecības tehniku;
- ∇ plašā materiālu daudzveidība dod iespēju nostiprināt arī garas un stāvas nogāzes;
- ∇ nostiprinājumos iespējams izmantot dažādu materiālu kombinācijas;
- ∇ labi iederas arī pilsētvidē;
- ∇ ekonomiski izdevīgi, salīdzinājumā ar tradicionālajiem risinājumiem.

Trūkumi:

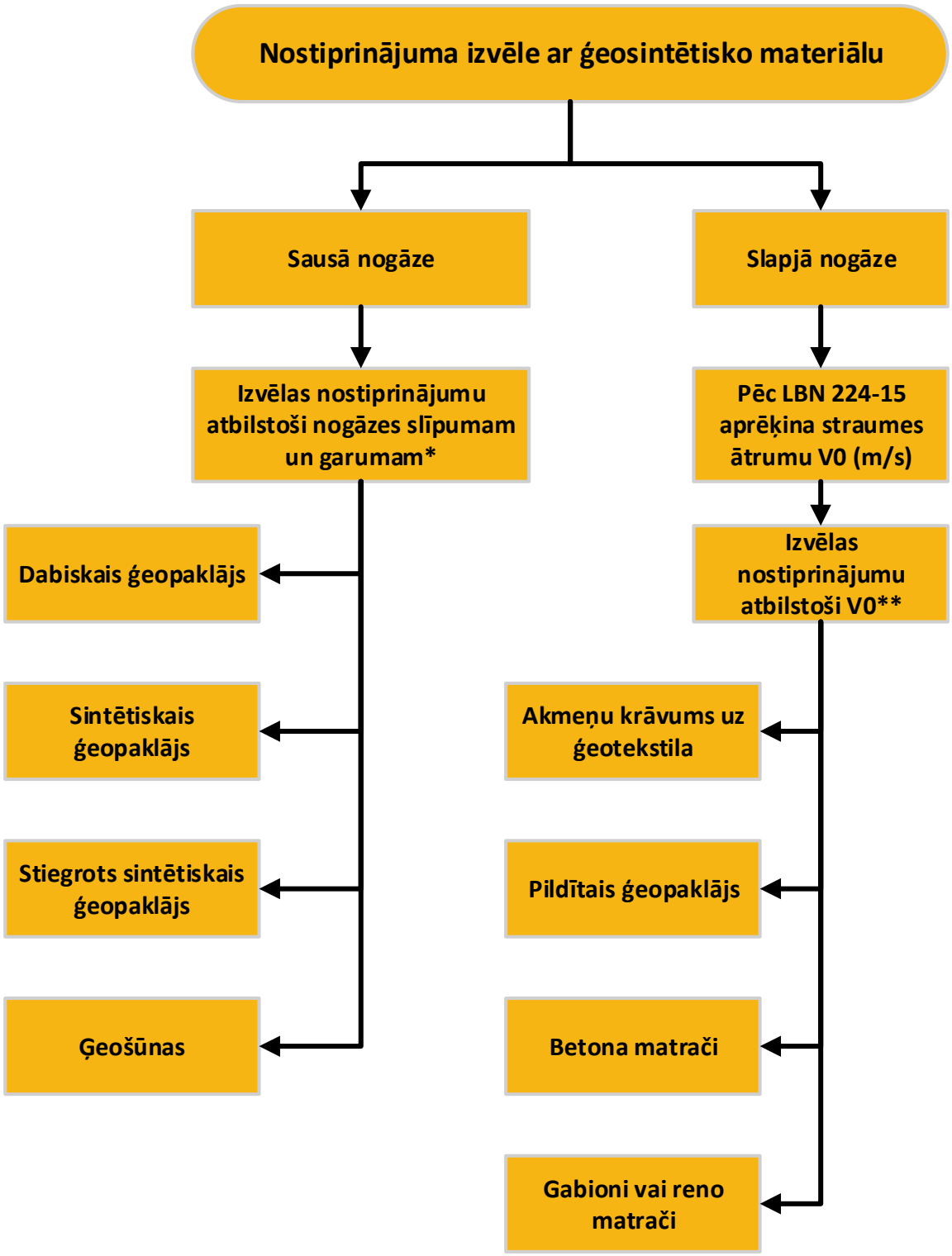
- ∇ izmantošanas efektivitāte ir ļoti atkarīga no būvniecības kvalitātes;
- ∇ bojājumi vai nepareiza materiāla izvēle var krasi samazināt nostiprinājuma veiktspēju.

8.4 Projektēšanas principi

Projektēšanas principi aprakstīti dažādiem preterozijas risinājumiem, kuros izmantoti ģeosintētiskie materiāli, taču nav definētas prasības to obligātai lietošanai. Lai pamatotu ģeosintētisko vai dabīgo materiālu nostiprinājuma izvēli, jāveic to tehniski–ekonomiskais un ietekmes uz vidi salīdzinājums.

Blokshēmā (Attēls 8-14) redzami sausās un slapjās nogāzes nostiprinājumu veidi, kuru izmanto atkarībā no attiecīgi nogāzes ģeometrijas un straumes ātruma.

Attēls 8-14. Sausās un slapjās nogāzes nostiprinājumu veidi



** ieteicamos nostiprinājumus atbilstoši nogāzes slīpumam un garumam skatīt 0 Tabula 8-7. Preterozijas ģeosintētisko materiālu pielietošana atkarībā no nogāzes raksturlielumiem.*

*** ieteicamos nostiprinājumus atbilstoši straumes ātrumam V_0 skatīt 0 Tabula 8-11. Pieļaujamais maksimālais straumes ātrums V (m/s) ar dabīgiem materiāliem nostiprinātās gultnēs un 0 Tabula 8-12. Pieļaujamais maksimālais straumes ātrums V (m/s) ar ģeosintētiskajiem materiāliem nostiprinātās gultnēs [155]*

8.4.1 Sausām nogāzēm

Sausām nogāzēm, piemēram, ceļa uzbēruma vai ierakuma nogāzēm, projektēšanas princips balstīts uz universālā augsnes zuduma vienādojuma RUSLE bāzes, pielāgojot aprēķina metodiku Latvijas klimatiskajiem apstākļiem.

$$\boldsymbol{A = R \times K \times LS \times P}\ , \qquad [8.210.]$$

kur:
A – augsnes zuduma apjoms tonna/hektārs/gadā;
R – gada nokrišņu koeficients;
K – grunts erozijas koeficients;
LS – nogāzes garuma un slīpuma koeficienti;
P – aizsargpasākumu koeficients, kas samazina nogāzes erozijas apjomus. [155]

$$\boldsymbol{A_C = A \times C}\ , \qquad [8.211.]$$

kur:
A_C – augsnes zuduma apjoms, ievērtējot nostiprinājumu tonna/hektārs/gadā;
C – veģetācijas koeficients;
P – aizsargpasākumu koeficients, kas samazina nogāzes erozijas apjomus. [155]

Tabulā (Tabula 8-2) definētas koeficienta *R* vērtības atbilstoši aktīvajam veģetācijas periodam un optimālajam nokrišņu daudzumam Latvijā.

Tabula 8-2. Nokrišņu koeficienta *R* vērtības atkarībā no nostiprinājuma būvniecības laika

Būvniecības laiks	**Aprīlis–Maijs**	**Jūnijs–Augusts**	**Septembris–Oktobris**
R vērtība	90	70	110

Grunts erozijas koeficients *K* ir atkarīgs no grunts granulometriskā sastāva un organisko savienojumu daudzuma (OSD).

Koeficienta *K* vērtību nosaka uzbēruma vai ierakuma gruntij, neņemot vērā auglīgās augsnes kārtu.

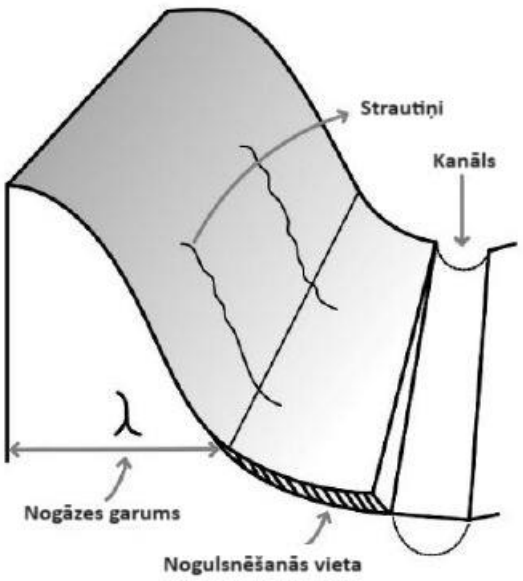
Tabula 8-3. Koeficienta *K* vērtība atbilstoši grunts tipam un OSD

K vērtība atbilstoši grunts tipam un OSD	**Organisko savienojumu daudzums**		**Vidējā vērtība**
	Mazāk nekā 2%	**Vairāk nekā 2%**	
Smilts (Sa)	0,0040	0,0013	0,0026
Putekļaina smilts (siSa)	0,0066	0,0053	0,0053
Mālaina putekļaina smilts (clsiSa)	0,0184	0,0158	0,0171
Smilšaini putekļi (saSi)	0,0448	0,0342	0,0395

K vērtība atbilstoši grunts tipam un OSD	Organisko savienojumu daudzums		Vidējā vērtība
	Mazāk nekā 2%	Vairāk nekā 2%	
Mālaini smilšaini putekļi (clsaSi)	0,0540	0,0487	0,0500
Putekļi (Si)	0,0566	0,0790	0,0790
Mālaini putekļi (clSi)	-	0,0263	0,0263
Putekļains smilšains māls (sisaCl)	0,0435	0,0369	0,0395
Smilšains putekļains māls (sasiCl)	0,0461	0,0395	0,0421
Smilšains māls (saCl)	0,0132	0,0184	0,0184
Putekļains māls (siCl)	0,0356	0,0342	0,0342
Māls (Cl)	0,0316	0,0277	0,0290

Nogāzes garuma koeficients *L* attēlo nogāzes garuma ietekmi uz eroziju. Nogāzes garums ir horizontālais attālums no nogāzes augšējās malas jeb potenciālās ūdens plūsmas sākuma vietas līdz nogāzes apakšai jeb līdz vietai, kur veidojas koncentrēta ūdens plūsma un grunts daļiņu nogulsnēšanās (Attēls 8-15). [61]

Attēls 8-15. Nogāzes garuma uzmērījuma piemērs



Esošām nogāzēm garumu dabā nosaka, mērot attālumu no plūsmas sākuma līdz nogulsnēšanās punktam vai vietai, kurā no strautiņu erozijas veidojas kanāli. Nogāzes garums parasti nepārsniedz 100 m.

Galvenā nogulsnēšanās vieta pārsvarā veidojas ieliektu nogāžu pamatnē. Ja šī vieta dabā nav redzama, tad jāpieņem, ka nogulsnēšanās vieta sākas tur, kur nogāzes slīpums ir vienāds ar ½ no nogāzes vidējā slīpuma.

Koeficients *S* parāda nogāzes slīpuma ietekmi uz eroziju. Nogāzes slīpums ietekmē grunts daļiņu zudumus ievērojami vairāk nekā nogāzes garums. Grunts zudumus atkarībā no slīpuma ietekmē veģetācijas blīvums un grunts daļiņu izmērs.

L un *S* koeficienti aprēķinos parasti tiek pieņemti kā viens kopīgs *LS* koeficients. Nogāzei, kuras garums ir 22,1 m un slīpums 9% (RUSLE testa nogāzes parametri), *L* un *S* vērtības ir vienādas ar 1. *L* un *S* koeficientu vērtības parāda, cik stabila ir nogāze, salīdzinot ar RUSLE nogāzi. Tādējādi dažos gadījumos *LS* var būt mazāks, bet dažos – lielāks nekā [156] 1. [61]

Ceļa uzbēruma vai ierakuma nogāzēm ar slīpumu 1V:2H (50% slīpums) un garumu ≥ 2 m *LS* koeficients būs lielāks nekā 1.

L un *S* koeficientu aprēķina pēc formulas:

$$\boldsymbol{LS = L \times S = \left(\frac{\lambda}{C}\right)^{m} \times (0,065 + 0,0456s + 0,006541s^{2})}\,, \qquad [8.212.]$$

kur:

λ – nogāzes horizontālais garums (m);

s – nogāzes slīpums (%);

C – atsauces garums (22,13 m);

m – eksponente, kas atkarīga no nogāzes slīpuma leņķa atbilstoši Tabula 8-4. Eksponente m atkarībā no nogāzes slīpuma s. [61]

Tabula 8-4. Eksponente *m* atkarībā no nogāzes slīpuma *s* [156]

Nogāze (°)	m	Slīpuma attiecība	Slīpums, %
15,7–19,9	0,49	1:3	33
20,0–25,7	0,52	1:2,5	40
25,8–31,4	0,54	1:2	50
31,5–37,1	0,55	1:1,5	67
≥ 37,2	0,56	1:1	100

Virsmas aizsardzības koeficientu *C* lieto, lai definētu grunts un veģetācijas aizsardzības sistēmas relatīvo efektivitāti grunts erozijas novēršanā.

Koeficients *C* ir attiecība, kas salīdzina grunts zudumus, izmantojot erozijas aizsardzības sistēmas, pret atbilstošiem zudumiem neaizsargātai augsnes virsmai.

Ģeosintētiskajiem materiāliem koeficienta *C* vērtību nosaka, veicot apjomīgu testu uz reālām nogāzēm zem dabiska lietus vai laboratorijā, izmantojot lietus simulatoru un atbilstoša izmēra testa iekārtu. [61]

Projektēšanai lietojamās koeficienta *C* vērtības apkopotas tabulā (Tabula 8-5). Specifiskos gadījumos konkrētā ģeosintētiskā materiāla *C* vērtību ieteicams pieprasīt materiāla piegādātājam vai ražotājam.

Tabula 8-5. Dabīgo nostiprinājumu koeficienta *C* vidējās vērtības

Dabīgais nostiprinājums	**C vērtība**
Bez nostiprinājuma	1
Tikko iesēts zālājs (< 6 nedēļas)	0,2
Labi iesakņojies zālājs (1–2 gadi)	0,01
Šķembu bērums	0,02

Tabula 8-6. Preterozijas ģeosintētisko materiālu koeficienta *C* vidējās vērtības

Ģeosintētiskais materiāls	**C vērtība**
Kokosa šķiedras ģeopaklājs	0,10
Sintētiskais ģeopaklājs	0,04
Stiegrots sintētiskais ģeopaklājs	0,03
Pildītais ģeopaklājs	0,005
Jebkura veida ģeopaklājs ar labi iesakņojušos zālāju	0,005

Aizsargpasākumu koeficients *P* nav izmantojams erozijas kontroles aprēķinos inženierbūvēs, tāpēc formulā tā vērtība ir 1.

Aprēķina secība, izmantojot RUSLE formulu:

- nosaka gada nokrišņu koeficienta *R* vērtību, atkarībā no paredzamā konstrukcijas būvniecības laika;
- balstoties uz esošā grunts tipa, nosaka koeficienta *K* vērtību. Ja projektā ir sastopamas vairāku tipu gruntis, un to veids nav krasi atšķirīgs, tad izmanto tās

grunts datus, kura atspoguļo lielāko daļu teritorijas. Citos gadījumos aprēķins jāatkārto atsevišķi katram grunts tipam;

- ∇ aprēķina koeficientu *LS*, nogāzēm ar atšķirīgu slīpumu un garumu koeficientu rēķina katrai atsevišķi;
- ∇ atbilstoši formulai [8.210.] visus iegūtos koeficientus sareizina un iegūst paredzamos augsnes zudumus uz vienu hektāru;
- ∇ izmantojot virsmas aizsardzības koeficientu *C*, kas atkarīgs no izvēlētā erozijas kontroles risinājuma, iespējams samazināt paredzamos augsnes zudumus; tos aprēķina pēc formulas [8.211.].

Tabula 8-7. Preterozijas ģeosintētisko materiālu pielietošana atkarībā no nogāzes raksturlielumiem

Ģeosintētiskais materiāls	**Nogāzes raksturlielumi**	
	Slīpums, °	**Garums pa nogāzi, m**
Kokosa šķiedras ģeopaklājs	< 33,7	< 5,0
Sintētiskais ģeopaklājs	< 33,7	< 30
	< 45	< 10
Stiegrots sintētiskais ģeopaklājs	< 45	Nav ierobežojuma
Ģeošūnas*	< 45-72	Nav ierobežojuma

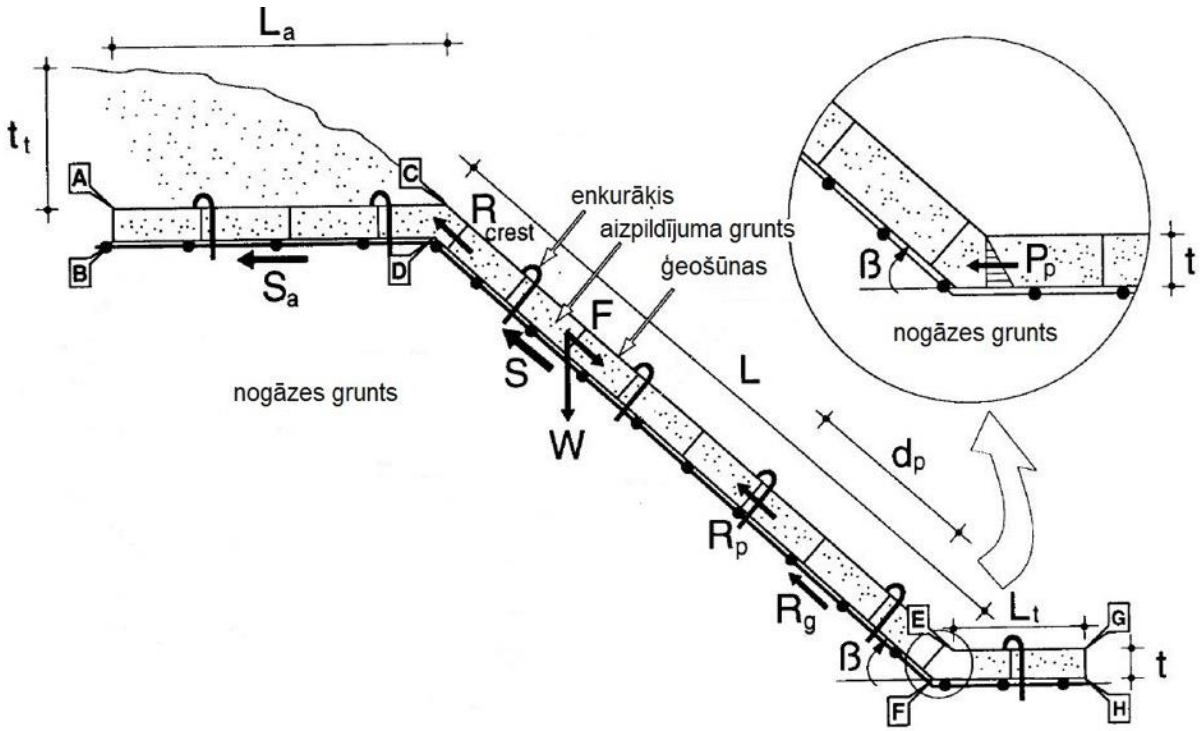
** nelielas nogāzes var tikt efektīvi pasargātas no erozijas, izmantojot dažāda veida ģeopaklājus, taču garām un stāvām nogāzēm ar augstu erozijas risku ieteicams izmantot ģeošūnas.*

Izmantojot nostiprinājumu ar ģeošūnām, jāveic to stabilitātes aprēķins. [157]

Ar ģeošūnām nostiprinātas nogāzes stabilitātes aprēķins tiek iedalīts trīs daļās (Attēls 8-16):

- ∇ centrālā daļa CDEF;
- ∇ augšējā daļa ABCD;
- ∇ apakšējā daļa EFGH.

Attēls 8-16. Ģeošūnu aprēķina shēma



Ar grunti aizpildītas centrālās daļas CDEF svaru *W* aprēķina:

$$\boldsymbol{W = \gamma L t}\,, \qquad [8.213.]$$

kur:

γ *– aizpildījuma grunts tilpumsvars (kN/m³);*

L – nogāzes garums (m);

t – ģeošūnu augstums (m).

Attiecīgi slīdošais spēks *F*:

$$\boldsymbol{F = W sin\beta}\,, \qquad [8.214.]$$

kur:

β *– nogāzes slīpuma leņķis (°).*

Kopējais rezultējošais spēks R_{tot} tiek aprēķināts kā atsevišķu iedarbojošos pretspēku summa:

$$\boldsymbol{R_{tot} = S + \frac{R_{crest}}{FS_j} + \frac{R_p}{FS_j} + R_g + P_p}\,, \qquad [8.215.]$$

Berzes pretestības spēks *S* gar nogāzi:

$$\boldsymbol{S = \gamma L t \cos\beta \tan\varphi}\,, \qquad [8.216.]$$

kur:

ϕ *– nogāzes grunts iekšējais berzes leņķis (°).*

Pretspēks R_{crest} nogāzes augšdaļā:

$$\boldsymbol{R_{crest} = n_j J_{min}}\,, \qquad [8.217.]$$

kur:
n_j – mezglu skaits uz ģeošūnu platuma vienību (m^{-1});
J_{min} – minimālā mezgla stiprība (kN/mezglā).

Ar drošības koeficientu FS_j tiek ievērtēti iespējamie ieklāšanas bojājumi, kā arī grunts un enkurāķu ilgtermiņa ietekme uz šūnu mezglu stiprību. FS_j minimālā vērtība ir 1,5.

Ģeošūnu mezglu stiprību nosaka saskaņā ar EN ISO 13426-1.

Pretspēks R_p, ko rada enkurāķu pārnestā slodze:

$$\boldsymbol{R_p = b\,J_p}\,, \qquad [8.218.]$$

kur:
b – enkurāķu skaits nogāzē L, rēķinot tos uz nogāzes platuma vienību (m^{-1});
J_p – enkurāķu radītais bīdes spēks ģeošūnu savienojuma vietā (kN/mezgls).

Attālumu starp enkurāķiem d_p nogāzes garenvirzienā aprēķina:

$$\boldsymbol{d_p = \frac{L}{b}}\,, \qquad [8.219.]$$

Ieklājot ģeošūnas, enkurāķi nogāzē jāizvieto pakāpeniski ar aprēķinā noteikto attālumu, kas nav mazāks par d_p.

Pretspēks R_g ir uz nogāzes zem ģeošūnām novietotā ģeorežģa stiepes stiprība pie 2% pagarinājuma. Tā kā šāds risinājums tiek izmantots tikai retos gadījumos, piemēram ar HDPE ģeomembrānu izklātu ugunsdzēsības baseinu nogāžu nostiprināšanai, tad citos standarta gadījumos aprēķinā tā vērtību pieņem R_g= 0.

Pasīvo spēku P_p nogāzes apakšējā daļā aprēķina:

$$\boldsymbol{P_p = \frac{1}{2}\gamma\, tan^2\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right) t^2}\,, \qquad [8.220.]$$

kur:
ϕ – aizpildījuma grunts iekšējais berzes leņķis (°).

Centrālās daļas stabilitāte tiek nodrošināta, ja izpildās sakarība:

$$\boldsymbol{FS_g = \frac{R_{tot}}{F}}, \qquad [8.221.]$$

kur:
FS_g – drošības koeficients, minimālā vērtība 1,5.

Augšējās daļas ABCD aprēķinā tiek noteikts nepieciešamais enkurgrāvja platums un dziļums. Kaut gan centrālās daļas aprēķinā jau tika ievērtēts ģeošūnu mezglu stiprības radītais pretspēks R_{crest}, nogāzes augšējā daļā jāpieņem lielāks aktīvais spēks, jo, neatkarīgi no enkurāķu stiprinājumu izvietojuma, atsevišķas ģeošūnu lentes var tikt lokāli slogotas.

Enkurgrāvja drošības koeficientam jābūt:

$$FS_a = \frac{S_a}{(F - S)\cos\beta}, \quad [8.222.]$$

kur:
S_a – rezultējošā spēka horizontālā komponente (kN/m);
FS_a – drošības koeficients, minimālā vērtība 1,5.

$$S_a = \gamma t_t L_a \tan\varphi_a, \quad [8.223.]$$

kur:
L_a – enkurojuma garums (m);
t_t – enkurgrāvja dziļums (m);
ϕ_a – nogāzes grunts iekšējais berzes leņķis (°).

No formulām [8.222.] un [8.223.], kad ir definēts enkurgrāvja dziļums t_t, var izteikt un aprēķināt nepieciešamo enkurojuma garumu L_a:

$$\mathbf{L_a = \frac{FS_a(F - S)\cos\beta}{\gamma t_t \tan\varphi_a}}, \quad [8.224.]$$

Jebkurā aprēķinu rezultātā jāņem vērā, ka L_a minimālā vērtība ir 0,75 m.

Apakšējās daļas EFGH stabilitātes aprēķins.

$$FS_t = \frac{S_t}{P_p}, \quad [8.225.]$$

kur:
S_t – berzes spēks (kN/m);
FS_t – drošības koeficients, minimālā vērtība 1,5.

$$S_t = \gamma t L_t \tan\varphi, \quad [8.226.]$$

kur:
L_t – enkurojuma garums (m);
ϕ – nogāzes grunts iekšējais berzes leņķis (°).

Minimālo enkurojuma garumu nogāzes apakšā aprēķina, izsakot L_t no formulām [8.225.] un [8.226.]:

$$L_t = \frac{FS_t P_p}{\gamma t \tan\varphi}, \quad [8.227.]$$

kur:
FS_a – drošības koeficients, minimālā vērtība 1,5.

Jebkurā aprēķinu rezultātā jāņem vērā, ka L_t minimālā vērtība ir 1,0 m. Citos gadījumos ģeošūnas var tikt atbalstītas pret stingru pamatu, piemēram, betona atbalstsienas bloku.

8.4.2 Slapjām nogāzēm

Par slapjām nogāzēm tiek uzskatītas tās nogāzes, kurās veidojas erozija ūdens straumes ietekmē, piemēram upju un kanālu krasti, grāvju nogāzes ar periodisku vai pastāvīgu ūdens plūsmu.

Ģeosintētiskie materiāli erozijas ierobežošanai ir piemēroti kanālos ar vienmērīgu vai pakāpeniski mainīgu plūsmu un straumes ātrumu līdz 3 m/s ilglaicīgā vai 6 m/s īslaicīgā periodā.

Pieļaujamais straumes ātrums un tās iedarbības laiks ir atkarīgs no grunts tipa un ģeosintētiskā materiāla spējas novērst grunts daļiņu pārvietošanos.

8.4.2.1 Straumes ātruma aprēķins

Nepārtrauktas vienmērīgas plūsmas apstākļos upes caurplūdumu jebkurā upes šķērsgriezumā aprēķina pēc formulas:

$$\boldsymbol{Q = V \times A}\,,$$

kur:
V – vidējais straumes ātrums (m/s);
A – plūsmas šķērsgriezuma laukums (m^2).

[8.228.]

Straumes ātrumu kanāla šķērsgriezumā ietekmē kanāla šķērsgriezuma forma, ass līnijas pagriezieni, kā arī sānu malu jeb krastu raupjums.

Vienmērīgas plūsmas dziļums kanālā ir atkarīgs no materiāla raupjuma, kas uzklāts uz apslapētā perimetra.

Šķidruma dinamikā Šezī formula apraksta vienmērīgas, turbulentas atvērta kanāla plūsmas vidējo ātrumu:

$$\boldsymbol{V = C \times \sqrt{R \times i}}\,,$$

kur:
C – Šezī raupjuma koeficients ($m^{1/2}/s$);
R – hidrauliskais rādiuss (m) = A/P;
P – apslapētais perimetrs (m);
i – gultnes slīpums (m/m).

[8.229.]

Raupjuma koeficientu *C* var aprēķināt, izmantojot formulu:

$$\boldsymbol{C = k_S \times R^{1/6}}\,,$$

kur:
k_s – Striklera raupjuma koeficients ($m^{1/3}/s$).

[8.230.]

Šādā gadījumā vidējo straumes ātrumu aprēķina pēc formulas:

$$\boldsymbol{V = k_S \times R^{2/3} \times i^{1/2}}$$

[8.231.]

Tabula 8-8. Striklera raupjuma koeficienta k_s vērtības dažādām gultnēm [158]

Gultnes veids		Gultnes nostiprinājuma veids	k_s
Dabīgās gultnes	Upes	Stingrs, vienlaidu pamats	40
	Strauti	Saneši vai nezāles	30–35
		Izteikti saneši, oļi	28
		Rupji akmeņi miera stāvoklī	25–28
		Rupji akmeņi kustībā	19–22
Mākslīgi veidotas gultnes	Dabīgas grunts gultnes kanāli	Stingra smilts ar nedaudz māla vai grants daļām	50
		Pamats smilts un grants, nogāzes izliktas ar plātnēm	45–50
		Rupja grants apm. 50/100/150 mm	35
		Gabalains māls	30
	Mūrētu nostiprinājumu gultnes kanāli	Smilts, māls vai grants, stipri apauguši	20–25
		Ķieģeļu mūris, arī klinkers, ar labām šuvēm	75
		Normāls mūris	60
		Rupjš būvakmens mūris ar bruģakmeni	50
	Betonētu nostiprinājumu gultnes kanāli	Metāla veidņu virsmas	90
		Koka veidņu virsmas	65–70
		Nodiluša betona virsmas	60
		Nelīdzena betona virsmas	50
	Teknes Grāvji	Zāliens	20–30
		Grants	25–30
		Bruģakmens	40–50

Tabula 8-9. Striklera raupjuma koeficienta k_s vērtības kanāliem ar ģeosintētisko materiālu nostiprinājumu [159]

Nostiprinājuma kategorija	Nostiprinājuma veids	Dziļums 0–0,15 m	Dziļums 0,15–0,6 m	Dziļums > 0,6 m
Dabīgais materiāls*	Kokosa tīkls	35,714	45,455	52,632
	Kokosa paklājs	30,303	40,000	-
Sintētiskais materiāls	Ģeopaklājs (bez veģetācijas)	27,778	40,000	47,619
Šķembu bērums uz ģeotekstila	D50 = 25 mm	22,727	30,303	33,333
	D50 = 50 mm	15,152	24,390	29,412
Akmeņu bērums uz	D50 = 150 mm	9,615	14,493	28,571

Nostiprinājuma kategorija	Nostiprinājuma veids	Dziļums 0–0,15 m	Dziļums 0,15–0,6 m	Dziļums > 0,6 m
ģeotekstila	D50 = 300 mm	-	12,821	25,000

** uz slapjās nogāzes izmanto tikai virs vasaras pusgada vidējā caurplūduma ūdens līmeņa atzīmes.*

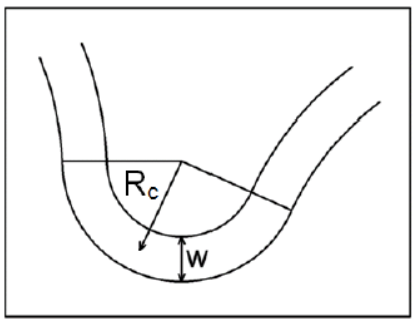
Atvērta kanāla ass līnijas pagriezienu vietās straumē rodas centrbēdzes spēki, jo mainās straumes virziens. Tā rezultātā pagrieziena ārējā malā veidojas ūdens virsmas pacēlums jeb ūdens līmenis ir augstāks nekā pagrieziena iekšmalā.

Pieņemot, ka ātrums pagriezienā ir vienāds ar vidējo straumes ātrumu un straumes pagrieziena rādiuss un kanāla gultnes platums ir nemainīgs (Attēls 8-17), ūdens virsmas pacēlumu aprēķina pēc formulas:

$$\Delta y = \frac{W \times V_{mean}{}^2}{g \times R_c},$$

kur:
Δy – ūdens virsmas pacēlums pagrieziena ārējā malā (m); [8.232.]
V_{mean} – kanāla vidējais straumes ātrums (m/s);
W – kanāla gultnes platums (m);
g – brīvās krišanas paātrinājums (m/s2);
Rc – pagrieziena rādiuss (m).

Attēls 8-17. Kanāla pagrieziena rādiuss un gultnes platums



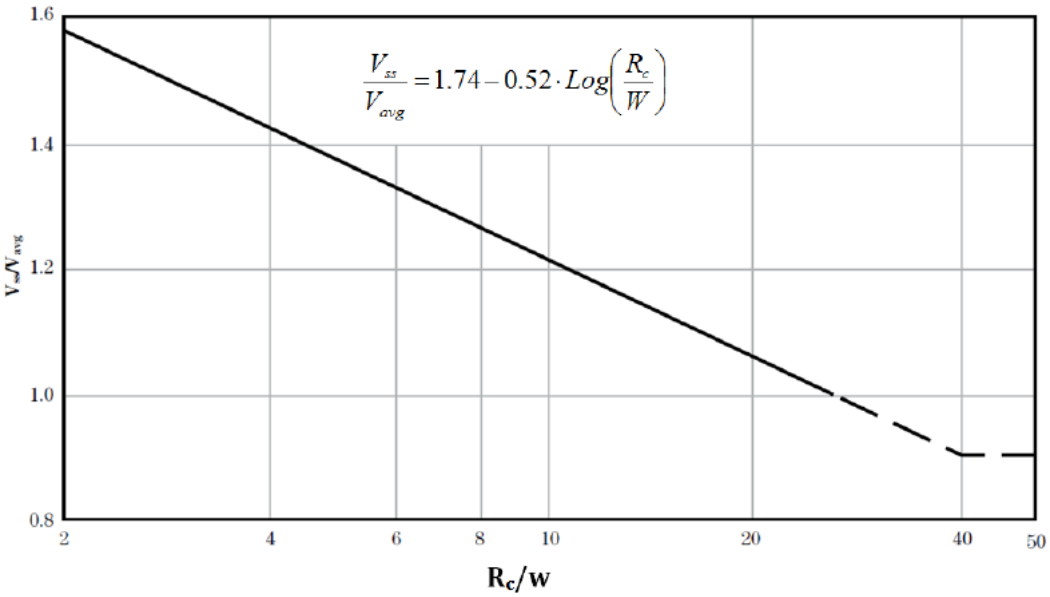
Tā kā ūdens plūsma pagriezienos koncentrējas, maksimālo straumes ātrumu V_{ss} uz kanāla pagrieziena sānu nogāzēm ir iespējams noteikt, piemērojot korekciju vidējam straumes ātrumam. Attiecība V_{ss}/V_{avg}, kur V_{avg} ir straumes vidējais ātrums pagrieziena augšteces galā, ir izteikta kā pagrieziena rādiusa (R_c,) un ūdens virsmas platuma (W) attiecības funkcija.

$$\frac{V_{ss}}{V_{avg}} = 1,74 - 0,52 \times log\left(\frac{R_c}{W}\right),$$

kur: [8.233.]
V_{ss} – maksimālais straumes ātrums uz kanāla pagrieziena sānu nogāzēm (m/s);
V_{avg} – straumes vidējais ātrums pagrieziena augšteces galā (m/s).

Šo formulu izmanto tikai nogāzēm ar slīpumu 1:1,5 vai lēzenākām. Attēlā (Attēls 8-18) redzama šī sakarība dabiskajiem kanāliem. [159]

Attēls 8-18. Dabisku kanālu straumes ātrumu attiecība pagriezienā



8.4.2.2 Bīdes spriegumu aprēķins

Bīdes spriegumu uz bezgalīgi platas kanāla gultnes aprēķina pēc formulas:

$$\boldsymbol{\tau_{\infty} = \gamma_w \times y \times i},$$

kur:
τ_{∞} –bīdes spriegums uz kanāla gultnes (N/m²);
γ_w – īpatnējais ūdens svars (N/m³);
y – ūdens dziļums (m);
i – gultnes slīpums (m/m).

[8.234]

Bīdes spriegumu uz apslapētā perimetra reālam kanālam aprēķina pēc formulas:

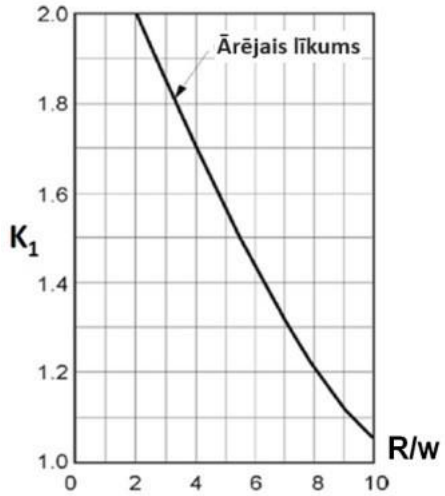
$$\boldsymbol{\tau = K_1 \times K_2 \times \gamma_W \times y \times i},$$

kur:
τ –bīdes spriegums (N/m²);
K_1 – ass līnijas pagriezienu koeficients;
K_2 – gultnes un sānu nogāzes koeficients.

[8.235]

Koeficients K_1 parāda centrbēdzes spēka ietekmi uz bīdes spriegumiem, kas iedarbojas uz kanāla pagrieziena ārējo krastu. Šis koeficients ir pagrieziena rādiusa (R_c,) un kanāla gultnes platuma (W) attiecības funkcija, kuras grafiks ir līkne (Attēls 8-19).

Attēls 8-19. Koeficienta K1 funkcijas grafiks



Pretestības spēks gar apslapēto perimetru nav vienmērīgs, kā tas būtu bezgalīgi platam kanālam. Tāpēc priekš vienkāršotiem aprēķiniem ir definētas koeficienta K_2 vērtības kanāla gultnei un sānu nogāzēm:

- K_2 = 1,00 (gultnei);
- K_2 = 0,75 (nogāzēm).

8.4.2.3 Rezultātu pārbaude

Ievērtējot veģetācijas izveidošanās laiku, nogāzes noturība pret eroziju tiek pārbaudīta divos robežstāvokļos:

- pēc nostiprinājuma būvniecības darbu pabeigšanas – viskritiskākais brīdis, jo šajā momentā konstrukcija nodrošina maksimālo plūsmas ātrumu, bet tajā pašā laikā noturība pret plūsmas radītajiem bīdes spriegumiem ir minimāla;
- pēc veģetācijas izveidošanās (parasti pēc 1-3 gadiem) – šajā brīdī gan virsmas raupjums, gan pieļaujamie bīdes spriegumi ir vislielākie. Pateicoties augu sakņu sistēmai, nogāze noturība pret eroziju ir augstāka, bet tajā pašā laikā palielinās raupjums, kas savukārt samazina straumes ātrumu un ūdens caurplūdumu.

Katram robežstāvoklim tiek veiktas divas pārbaudes – pieļaujamā straumes ātruma un bīdes spriegumiem.

$$V < \frac{V_{all}}{FS}$$

$$\tau < \frac{\tau_{all}}{FS} \qquad [8.236]$$

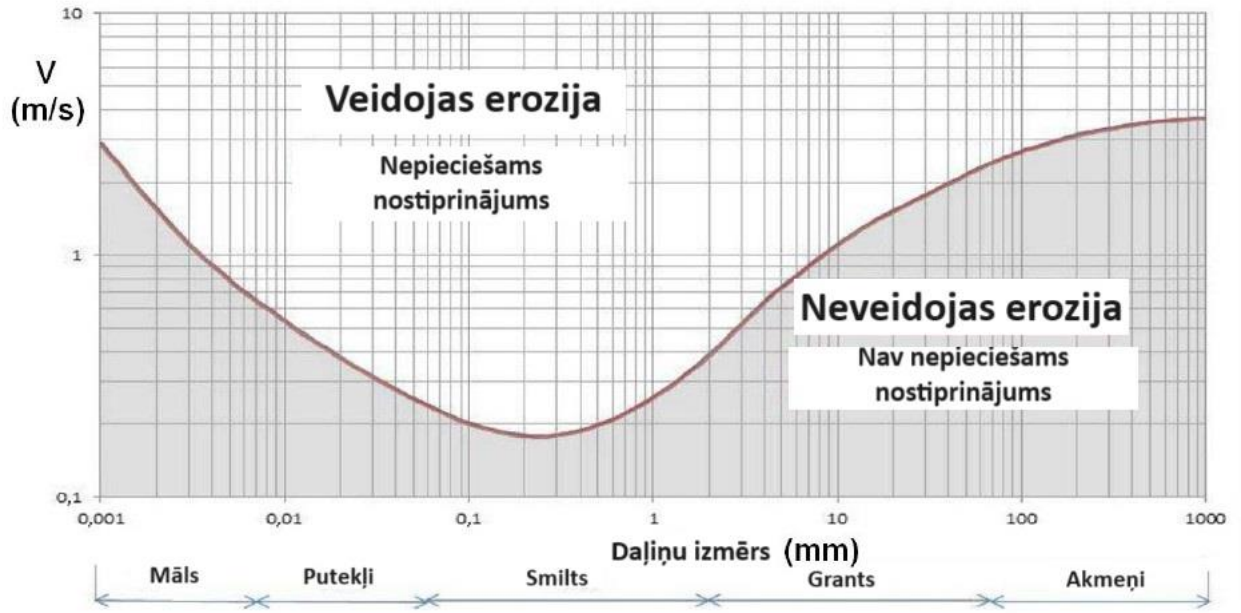
kur:

V_{all} un τ_{all} ir attiecīgi straumes ātrums un tās izraisītie bīdes spriegumi, pie kuriem sāk pārvietoties grunts daļiņas;

FS – drošības koeficients virsmai bez veģetācijas 1,3-1,5, bet virsmai ar pilnībā izveidojušos veģetāciju 1,2-1,3.

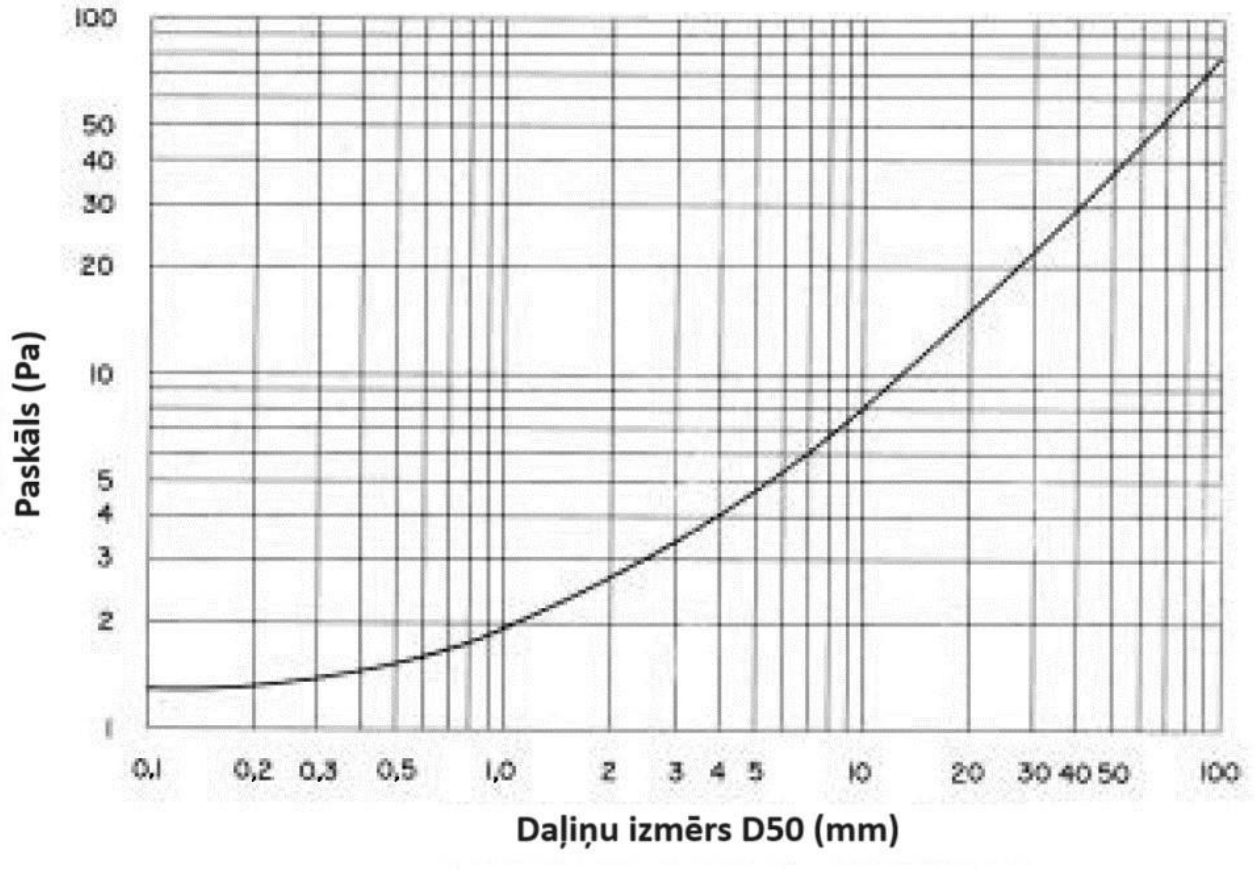
Ja sakarības [8.236] izpildās, tad nogāzēs erozija neveidojas, ja neizpildās, tad jāveido nostiprinājums ar erozijas kontroles materiāliem. Pieļaujamais straumes ātrums V atkarībā no kanāla gultnes vai nogāžu grunts daļiņu izmēra parādīts attēlā (Attēls 8-20).

Attēls 8-20. Robeža starp eroziju un nogāzes stabilitāti atkarībā no grunts daļiņu diametra un straumes ātruma

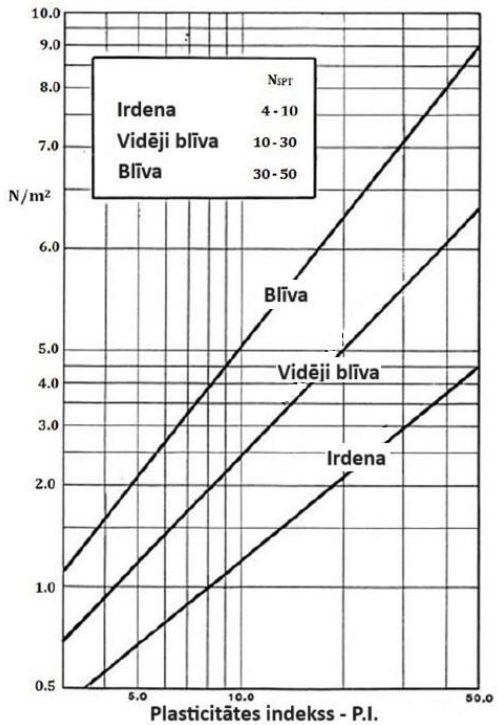


Pieļaujamais bīdes spriegums τ kanāla gultnes vai nogāžu nesaistīgai un saistīgai gruntij parādīti attiecīgi Attēls 8-21 un Attēls 8-22, NSPT – sitienu skaits pēc ISO 22476-3 "Standarta penetrācijas tests". Ja aprēķinātais bīdes spriegums, ievērtējot drošības koeficientu, ir virs līknēm, tad preterozijas materiāls ir nepieciešams, ja zem, tad grunts ir stabila un nostiprinājums nav jāparedz.

Attēls 8-21. Pieļaujamais bīdes spriegums nesaistītām gruntīm



Attēls 8-22. Pieļaujamais bīdes spriegums saistītām gruntīm



Tā kā ražotāju izsniegtajās datu lapās šobrīd trūkst informācijas par preterozijas ģeosintētisko materiālu pieļaujamajiem bīdes spriegumiem, tad pētījumā tālāk tiek apskatīta nostiprinājumu projektēšana pēc pieļaujamā maksimālā straumes ātruma.

Iegūstot straumes vidējo ātrumu, jāveic gultnes grunts noturības pārbaude pret maksimāli pieļaujamo straumes ātrumu. Ja tas ir lielāks par ūdensnotekas nenostiprinātas grunts maksimāli pieļaujamo, tad jāparedz nogāžu un tekņu nostiprinājumi.

Tabula 8-10. Pieļaujamais maksimālais straumes ātrums *V* (m/s) nenostiprinātās gultnēs [158]

Nr. p. k.	**Grunts**	**Grunts raksturojums**	**Ūdens dziļums (m)**							
			0,25	**0,5**	**1,0**	**1,5**	**2,0**	**2,5**	**3,0**	**3,5**
(1)	**(2)**	**(3)**	**(4)**	**(5)**	**(6)**	**(7)**	**(8)**	**(9)**	**(10)**	**(11)**
1. Smilts gruntis ar grunts daļiņu vidējo izmēru (mm)										
1.1.	Smalka smilts	0,05–0,25	0,30 – 0,35	0,30 – 0,35	0,35 – 0,40	0,35 – 0,40	0,40 – 0,45	0,40 – 0,45	0,40 – 0,45	0,40 – 0,45
1.2.	Vidēji rupja smilts	0,25–1,0	0,35 – 0,40	0,35 – 0,50	0,40 – 0,55	0,40 – 0,60	0,45 – 0,60	0,45 – 0,60	0,45 – 0,65	0,45 – 0,65
1.3.	Rupja smilts	1,0–3,0	0,45 – 0,65	0,50 – 0,70	0,55 – 0,75	0,60 – 0,80	0,60 – 0,80	0,60 – 0,85	0,65 – 0,85	0,65 – 0,85
1.4.	Smalka grants	3,0–5,0	0,65 – 0,80	0,70 – 0,85	0,75 – 0,95	0,80 – 1,00	0,80 – 1,05	0,85 – 1,05	0,85 – 1,15	0,85 – 1,10
1.5.	Rupja grants	5,0–10,0	0,80 – 1,05	0,85 – 1,15	0,95 – 1,25	1,00 – 1,30	1,05 – 1,35	1,05 – 1,40	1,10 – 1,45	1,10 – 1,45
2. Oļi, akmeņi un klints gruntis ar daļiņu vidējo izmēru (mm) vai grunts pretestību (kg/cm²)										
2.1.	Oļi	10–20 mm	1,05 – 1,30	1,15 – 1,45	1,25 – 1,55	1,30 – 1,60	1,35 – 1,70	1,40 – 1,75	1,40 – 1,80	1,45 – 1,80
2.2.	Oļi	20–30 mm	1,30 – 1,50	1,45 – 1,60	1,55 – 1,75	1,65 – 1,85	1,70 – 1,90	1,75 – 1,95	1,80 – 2,00	1,80 – 2,05
2.3.	Akmeņi	30–75 mm	1,50 – 2,00	2,60 – 2,15	1,75 – 2,35	1,85 – 2,45	1,90 – 2,55	1,95 – 2,60	2,00 – 2,70	2,05 – 2,75
2.4.	Akmeņi	75–150 mm	2,00 – 2,40	2,15 – 2,60	2,35 – 2,85	2,40 – 3,00	2,55 – 3,10	2,60 – 3,20	2,70 – 3,25	2,75 – 3,30
2.5.	Akmeņi	150–300 mm	2,40 – 2,80	2,60 – 3,05	2,85 – 3,30	3,00 – 3,45	3,10 – 3,60	3,20 – 3,70	3,25 – 3,75	3,30 – 3,80
2.6.	Slāņains kaļķ-akmens, plaisains dolomīts	–	1,7 – 2,5	1,8 – 2,8	2,0 – 3,0	2,1 – 3,2	2,2 – 3,3	2,2 – 3,3	2,3 – 3,4	2,3 – 3,5
2.7.	Monolīts kaļķ-akmens, dolomīts	100–200 kg/cm²	2,5 – 4,2	2,8 – 4,6	3,0 – 5,0	3,2 – 5,2	3,3 – 5,4	3,3 – 5,6	3,4 – 5,7	3,5 – 5,8

Nr. p. k.	Grunts	Grunts raksturojums	Ūdens dziļums (m)							
			0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
2.8.	Monolīts kaļķ-akmens, dolomīts	500–1000 kg/cm^2	6,0 – 8,5	6,4 – 9,2	7,0 – 10,0	7,4 – 10,5	7,8 – 10,9	7,8 – 11,1	8,0 – 11,4	8,1 – 11,6
3. Mālainas gruntis ar māla daļiņu, kas mazākas par 0,01 mm, saturu (%)										
3.1.	Putekļaina smilts	5–10	0,40 – 0,45	0,45 – 0,50	0,50 – 0,55	0,50 – 0,60	0,55 – 0,60	0,55 – 0,60	0,60 – 0,65	0,60 – 0,65
3.2.	Mālaina smilts	10–20	0,45 – 0,65	0,50 – 0,70	0,55 – 0,75	0,60 – 0,80	0,60 – 0,80	0,60 – 0,85	0,65 – 0,85	0,65 – 0,85
3.3.	Mālaini smilšaini putekļi	20–30	0,65 – 0,80	0,70 – 0,85	0,75 – 0,95	0,80 – 1,00	0,80 – 1,05	0,85 – 1,05	0,85 – 1,10	0,85 – 1,10
3.4.	Putekļi	30–40	0,80 – 0,90	0,85 – 0,95	0,95 – 1,05	1,00 – 1,10	1,05 – 1,15	1,05 – 1,15	1,10 – 1,20	1,10 – 1,20
3.5.	Mālaini putekļi	40–50	0,90 – 1,00	0,95 – 1,10	1,05 – 1,20	1,10 – 1,25	1,15 – 1,30	1,15 – 1,35	1,20 – 1,35	1,30 – 1,40
3.6.	Smilšains māls	50–60	1,00 – 1,10	1,10 – 1,20	1,20 – 1,30	1,25 – 1,35	1,30 – 1,40	1,35 – 1,45	1,35 – 1,50	1,40 – 1,50
3.7.	Putek-ļains māls	60–80	1,10 – 1,20	1,20 –1,30	1,30 –1,40	1,35 –1,45	1,40 –1,50	1,45 –1,55	1,50 –1,60	1,50 –1,65
3.8.	Māls	> 80	1,20 – 1,25	1,30 – 1,35	1,40 – 1,45	1,45 – 1,50	1,50 – 1,60	1,55 – 1,60	1,60 – 1,65	1,65 – 1,70
3.9.	Merģelis	ar CaCO3 saturu 5–20%	1,35 – 1,50	1,45 – 1,65	1,60 – 1,80	1,70 – 1,90	1,75 – 1,95	1,80 – 2,00	1,85 – 2,05	1,85 – 2,10
4. Kūdras gruntis ar kūdras sadalīšanās pakāpi (%)										
4.1.	Koku kūdra	–	0,70	0,75	0,80	0,85	0,85	0,90	0,90	0,95
4.2.	Labi sadalī-jusies zāļu kūdra	> 50%	0,50	0,55	0,60	0,65	0,65	0,65	0,70	0,70
4.3.	Vāji sadalī-jusies zāļu kūdra	< 35%	0,75	0,85	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00	1,05
4.4.	Labi sadalī-jusies sfagnu kūdra	> 50%	0,60	0,65	0,70	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80
4.5.	Vāji sadalī-	< 35%	1,00	1,10	1,20	1,25	1,30	1,35	1,35	1,40

Nr. p. k.	Grunts	Grunts raksturojums	Ūdens dziļums (m)							
			0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
	jusies sfagnu kūdra									

Tabula 8-11. Pieļaujamais maksimālais straumes ātrums *V* (m/s) ar dabīgiem materiāliem nostiprinātās gultnēs [155]

Nostiprinājuma veids	Ūdens dziļums (m)							
	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50
Vienlaidu velēnojums	1,05	1,15	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
Velēnu sieniņa	1,40	1,55	1,70	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
Akmeņu bruģis ar akmeņu izmēru 12–20 cm	2,35	2,55	2,80	2,95	3,05	3,15	3,25	3,30
Akmeņu bruģis ar akmeņu izmēru 20–30 cm	2,75	3,00	3,30	3,50	3,60	3,70	3,80	3,90
Akmeņu bērums (caurmērā 10–15 cm) žagaru pinuma rūtīs; betona plātnes	2,90	3,20	3,50	3,70	3,80	3,95	4,05	4,10
Akmeņu bruģis cementa javā ar akmeņu izmēru 20–30 cm	4,20	4,55	5,00	5,25	5,45	5,65	5,75	5,90
Koka teknes	6,70	7,30	8,00	8,45	8,75	9,00	9,25	9,40
Betona gultne, betona klase B7,5	11,5	12,6	13,8	14,6	15,1	15,6	15,9	16,2
Betona gultne, betona klase B22,5	17,7	19,4	21,2	22,4	23,2	23,9	24,4	25,0

Tabula 8-12. Pieļaujamais maksimālais straumes ātrums *V* (m/s) ar ģeosintētiskajiem materiāliem nostiprinātās gultnēs [155]

Nostiprinājuma veids	**Bez veģetācijas**	**Ar veģetāciju**
Sintētiskais ģeopaklājs ar šķembu bērumu	1,1–1,8	-
Ar bitumenu un sīkšķembām pildīts ģeopaklājs	1,8–3,0	4,0–6,0
Cementa kompozītpaklājs	Tipveida risinājumiem līdz 6,0*	
Betona matrači		
Gabioni un reno matrači		

** risinājumiem ar maksimālo straumes ātrumu > 6,0 m/s jāpārliecinās par konkrētā ģeosintētiskā materiāla veiktspēju pasargāt nogāzi no erozijas veidošanās.*

Kanālu nogāžu nostiprinājums slapjajā zonā jāprojektē 0,5–1,0 m augstāk par ūdens līmeņa atzīmi pie vasaras pusgada vidējā caurplūduma.

8.4.2.4 Hidrotehniskā ģeotekstila pielietošana

Ģeotekstilus izmanto kā filtrējošu materiālu (apgrieztais filtrs), lai aizsargātu slapjo nogāzi no izskalošanās, kad grunts daļiņas ūdens straumes ietekmē tiek pārvietotas uz nogulsnēšanās vietām. Risinājums galvenokārt paredz ieklāt ģeotekstilu zem akmeņiem (angļu val. – *Rip-Rap* (Attēls 8-23), dzelzsbetona plātnēm, gabioniem vai reno matračiem. Nosedzošā materiāla (akmeņu) izmērs ir atkarīgs no straumes ātruma vai viļņu enerģijas lieluma. CIRIA 2007 ir viena no plašāk izmantotajām projektēšanas vadlīnijām akmens izmēru noteikšanai.

Konstrukcijas strukturālo stabilitāti nodrošina nosedzošā materiāla slāņu skaits un materiāla izmērs, kas spēj izturēt ārējos hidrauliskos spēkus. Hidrauliskā stabilitāte tiek nodrošināta ar to, ka ūdens, kas plūst cauri dažādiem nosedzošā materiāla slāņiem, nepārvieto viena slāņa daļiņas citā (augšējā) slānī. Gan strukturālo, gan hidraulisko stabilitāti nodrošināšana katra nosedzošā slāņa akmeņu izmēri un izmantotā ģeotekstila filtra īpašības. Veicot savu funkciju, ģeotekstila filtriem jāatbilst noteiktām hidrauliskām, mehāniskām un izturības prasībām. [64]

Attēls 8-23. Akmeņu bērums "Rip-Rap" ar ģeotekstilu [160]

Ģeotekstila projektēšanas prasības:

- pietiekama ūdenscaurlaidība, lai neradītu papildu slodzi uzbērumā;
- pietiekama filtrācija, lai novērstu grunts daļiņu pārvietojumus;
- pietiekama noturība pret ieklāšanas bojājumiem, kā arī atbilstoša ilgmūžība visam konstrukcijas kalpošanas laikam.

Saskaņā ar EN 13253 ģeotekstili, kas tiek lietoti preterozijas risinājumos, veic atdalīšanas, filtrācijas un stiegrošanas funkcijas (aprakstu skatīt 1.3.1.1. nodaļā Ģeotekstila funkcijas). Konkrētajā pielietojumā ģeotekstila primārā funkcija ir filtrācija, tāpēc noteicošie ir hidrauliskie izstrādājuma parametri. Lai samazinātu ģeotekstila atvērumu iespējamo aizsērēšanās risku, ieteicams izmantot veltā tipa ģeotekstilus.

Ģeotekstila filtra kritērijos ir jāņem vērā filtra spēja noturēt grunti un nodrošināt, ka ūdens kustība var iziet cauri filtram. Tas noved pie diviem kritērijiem:

- grunts daļiņu noturēšana, kas novērš aizsargātas grunts daļiņu pārvietojumus;
- ūdens caurlaidība, kas nodrošina pietiekamu ūdens plūsmu caur filtru. [64]

Ģeotekstila filtru kritēriji ir apskatīti nodaļā 4.3.2 Ģeotekstils filtrācijai.

Ģeotekstilu filtrācijas kapacitāti var noteikt saskaņā ar formulu [4.102.].

Ģeotekstila noturību pret aizsērēšanu, lai nodrošinātu pietiekamu ūdens caurlaidību, var noteikt pēc formulas [4.101.].

Ģeotekstila atvērumu lielumu grunts daļiņu noturēšanai var rēķināt pēc formulas [4.100.].

Tomēr augstāk minētas formulas galvenokārt attiecas uz drenāžas filtriem, kuros ūdens plūsma caur filtru notiek tikai vienā virzienā. Hidrobūvēs ūdens plūsma caur ģeotekstila filtru ir sarežģītāka (īpaši jūras vidē), un tā ir pakļauta dažādiem hidrauliskajiem slīpumiem, viļņu periodiem un plūsmas virzieniem. Pēdējo 15 gadu laikā ir veikta detalizēta jūras konstrukciju hidrauliskās vides modelēšana, lai noteiktu piemērotus kritērijus ģeotekstila filtriem. Srikongsri (2010) vērtēja grunts daļiņu noturēšanu ar dažāda veida ģeotekstiliem, dažādos reversās plūsmas apstākļos ar viļņu frekvenci no 6 līdz 60 sekundēm un dažādām gruntīm. Iegūtie rezultāti saskanēja ar citiem publicētiem rezultātiem līdzīgos hidrauliskos apstākļos. Līdz ar to tika ierosināts konservatīvs, drošs ģeotekstila filtra grunts daļiņu noturēšanas vienādojums hidrobūvēm:

$$\boldsymbol{COS \leq D_{85}}, \qquad [8.237]$$

kur,
COS - no angļu valodas raksturīgais poru izmērs (characteristic opening size), saskaņā ar EN ISO 12956;
D_{85} – nosedzošā materiāla izmērs, par kuru 85% daļiņas ir ar mazāku izmēru.

Šis grunts daļiņu noturēšanas kritērijs ģeotekstila filtriem, ko izmanto jūras apstākļos, daudzos gadījumos būs identisks grunts daļiņu noturēšanas kritērijam vienkāršām, vienvirziena ūdens plūsmām pazemes drenāžas lietojumos, kas aplūkotas nodaļā 4.3.2 Ģeotekstils filtrācijai.

Ģeotekstila filtra ūdens caurlaidības kritērijs izstrādāts, nosakot empīrisku sakarību starp ģeotekstila filtra caurlaidību (vai ūdens plūsmas ātrumu) un grunts parametru, kas raksturo aizsargājamās grunts caurlaidību. Lawson (2012) izstrādāja empīrisku risinājumu, kas saistīja nepieciešamo ģeotekstila ūdens plūsmas ātrumu ar aizsargājamās grunts daļiņu izmēru d15. Šis risinājums ir parādīts formulās zemāk.

Aizsargājamām gruntīm, d15 ≤ 0.085 mm

$$\boldsymbol{Q_{50} \geq 20\ l/m^2 s}, \qquad [8.238]$$

Aizsargājamām gruntīm, 0.085 mm < d_{15} ≤ 1,0 mm

$$\boldsymbol{Q_{50} \geq 120 + 93 \log d_{15}}, \qquad [8.239]$$

kur,
Q_{50} - ūdens plūsmas ātrums (l/m2 sekundē) caur ģeotekstila filtru zem 50 mm ūdens līmeņa;
d_{15} - aizsargājamā grunts daļiņu izmērs (mm), par kuru 15% daļiņas ir ar mazāku izmēru. [64]

Ģeotekstila nepieciešamā stiprība (stiepes stiprība un pagarinājums) jānosaka lai nodrošinātu, ka ģeotekstilam ieklāšanas laikā neradīsies bojājumi, kas var ietekmēt

konstrukcijas kalpošanas laiku. Kritiskie bojājumi parasti rodas būvniecības laikā, veicot ģeotekstila apbēršanu ar materiālu.

Lawson (1992) izstrādāja sekojošo empīrisku sakarību ģeotekstila mehāniskajām īpašībām, kas apraksta nepieciešamo ģeotekstila triecienizturību (ko raksturo tā masa uz laukuma vienību) pret akmeņu izmēru, kas tiek nomesti no noteiktā augstuma.

$$\boldsymbol{M_A \geq 1200 \times \sqrt{H}\, D_{85}}, \qquad [8.240]$$

kur,
M_A- ģeotekstila svars (g/kvm);
H – vidējais augstums, no kura tiek nomests nosedzošais materiāls (m);
D_{85} – nosedzošā materiāla izmērs, par kuru 85% daļiņas ir ar mazāku izmēru (m).

Sakarā ar to, ka formulā [8.240] ir izmantota ģeotekstila masa uz laukuma vienību kā noteicošā ģeotekstila triecienizturības īpašība, vienādojumam ir ierobežojumi. Tas neņem vērā dažādus aizsargājamas grunts apstākļus (mīksts vai ciets) zem ģeotekstila filtra un tas pieņem, ka tikai nosedzošā materiāla slānis tieši virs ģeotekstila nosaka ģeotekstila mehāniskās prasības. Tomēr, pat ņemot vērā šos trūkumus, šīs vienādojums tika veiksmīgi izmantots daudzus gadus.

Wong et al. (2002) izstrādāja alternatīvu empīrisku sakarību, kuras pamatā ir attiecība starp akmens nokrišanas enerģiju uz ģeotekstila un ģeotekstila caurduršanas deformācijas enerģiju. Empīriskajā sakarībā tika ņemti vērā arī citi faktori, piemēram, aizsargājamās grunts stāvoklis zem ģeotekstila filtra un bojājumu apjoms būvniecības laikā. Šī darba trūkums bija tāds, ka tika novērtēti tikai noteikti ģeotekstili un tika veikts ierobežots testu skaits. [64]

Shercliff (2005) ieteica izmantot ģeotekstila statiskās caurduršanas vērtību CBR pretstatā svaram uz laukuma vienību bieziem neaustiem ģeotekstiliem, nolasot nosedzošā materiāla enerģijas vērtību no diagrammām. [161]

Koerner (2012) izstrādāja līkņu kopu, lai noteiktu enerģiju, kas izdalās, akmenim nokrītot uz ģeotekstila. Savā analīzē Koerner ierosināja saistīt šo enerģijas aprēķinu ar ģeotekstila enerģijas pretestību, kas noteikta ar dinamisku caurduršanas testu, piemēram, krītošā konusa testu. (skatīt nodaļu: 1.3.1.2 Ģeotekstilu tehniskie parametri un testi) Geotextiles From Design to Applications/ R.M. Koerner/ 2016/ Woodhead Publishing is an imprint of Elsevier/.

Kendall et al. (2014) arī ierosināja uz šīs enerģijas koncepcijas balstītu empīrisku sakarību nepieciešamajai ģeotekstila filtru mehāniskajai pretestībai piekrastes aizsardzības konstrukcijām. Piedāvātā attiecība ir atspoguļota formulā zemāk.

$$E_{drop} \leq 1000 \times \sqrt{E_{CBR}}, \quad [8.241]$$

$$E_{drop} = m \times g \times H, \quad [8.242]$$

kur,
E_{drop}-potenciālā enerģija (džoulos);
m – krītošā materiāla masa;
g - brīvas krišanas paātrinājum;
H – vidējais augstums, no kura tiek nomests nosedzošais materiāls;
E_{CBR} – ģeotekstila vidējais enerģijas absorbcijas indekss (džoulos).

Vienādojuma rezultātus ir jāturpina pētīt, tomēr šobrīd tiek pieņemts, ka šis vienādojums vislabāk raksturo nepieciešamo ģeotekstila mehānisko pretestību.

Pieredze rāda, ka vislielākie ģeotekstila bojājumi rodas, kad izstrādājumu nosedz ar pirmo materiāla slāni. Ieteicamais minimālais pirmais nosedzošā slāņa biezums ir 200mm, vai arī tam ir jābūt vismaz divas reizes biezākam par nosedzošā materiāla lielākās daļiņas izmēru. Kad ģeotekstils ir nosegts, tas ir inerts pret grunts un ūdens iedarbi. Tomēr ģeotekstils ir jutīgs pret UV starojuma iedarbību, tāpēc tas ir pareizi jānosedz ar materiālu pēc ieklāšanas. Akmens nomešana uz ģeotekstila, kas ir ieklāts virs vājas nestspējas grunts, rada ģeotekstilam mazākus bojājumus, salīdzinot ar cietu (stingu) virsmu. Ieteikums veidot akmens apbērumu no augstuma, kas nepārsniedz 1 – 1,5 m.

Zem tilta konusu nostiprinājuma ar dzelzsbetona plātnēm, reno matračiem vai gadījumos, kad pirmā slāņa nosedzošā materiāla grauda izmērs d_{max} nepārsniedz 300 mm, ieteicams izmantot velta tipa ģeotekstilu ar vērtībām, kas norādītas tabulā (Tabula 8-13). Gadījumos, kad projektēšanas nosacījumi atšķiras no tabulā (Tabula 8-13) norādītajiem, ģeotekstila hidraulisko un stiprības parametru vērtības noteikšanai ieteicams veikt individuālu aprēķinu (skatīt pētījumu "Pētījuma un rokasgrāmatas izstrāde ģeosintētisko materiālu un tiem radniecīgo izstrādājumu pielietošanai autoceļu konstrukcijās").

Tabula 8-13. Hidrotehniskā ģeotekstila nominālie raksturlielumi

Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Ģeotekstila nominālvērtības**	
			Nosedzošā materiāla grauda izmērs (mm)	
			d_{max} < 45	**45 < d_{max} < 300**
			Smilšaina grunts	Mālaina grunts
Stiepes izturība (abos virzienos)	EN ISO 10319	kN/m	≥ 12	≥ 30

Būtiskie raksturlielumi	Standarts	Mērvienība	Ģeotekstila nominālvērtības	
			Nosedzošā materiāla grauda izmērs (mm)	
			$d_{max} < 45$	$45 < d_{max} < 300$
			Smilšaina grunts	Mālaina grunts
Pagarinājums pie maksimālās slodzes (abos virzienos)	EN ISO 10319	%	≥ 30	≥ 30
Dinamiskā caursišanas pretestība	EN ISO 13433	mm	≤ 15	≤ 9
Caurlaidība perpendikulāri plaknei	EN ISO 11058	10^{-3} m/s (= l/m².s)	≥ 30	≥ 30
Raksturīga atvēruma izmērs	EN ISO 12956	µm	50–150	50–150
Biezums zem 2 kPa	EN ISO 9863-1	mm	≥ 30 x O_{90}*	≥ 30 x O_{90}*

** O_{90} – ģeotekstila raksturīga atvēruma izmērs.*

8.5 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības

Tabulās turpmāk ir norādītas preterozijas ģeosintētisko materiālu specifikāciju prasības.

Tabula 8-14. Dabīgā ģeopaklāja specifikāciju prasības

Paklājs vai tīkls, kas bioloģiski sadalās			
Paredzētā izmantošana: virsmas erozijas kontrole			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība:**
Izejmateriāls	-	-	100% kokosa šķiedra
Svars	EN ISO 9864	g/m²	≥ 350
Cauršūšanas diegu materiāls (paklājam)	-	-	džuta

Tabula 8-15. Sintētiskā ģeopaklāja specifikāciju prasības

Sintētisks telpisks paklājs			
Paredzētā izmantošana: virsmas erozijas kontrole			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība:**
Svars	EN ISO 9864	g/m²	≥ 400
Biezums	EN ISO 9863-1	mm	≥ 17
Stiepes stiprība garenvirzienā	EN ISO 10319	kN/m	≥ 1
UV pretestība	-	-	stabilizēts

Tabula 8-16. Stiegrota sintētiskā ģeopaklāja specifikāciju prasības

Sintētisks telpisks stiegrots paklājs			
Paredzētā izmantošana: virsmas erozijas kontrole			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība:**
Sintētiskā paklāja svars	EN ISO 9864	g/m^2	≥ 400
Biezums*	EN ISO 9863-1	mm	≥ 10
Stiepes stiprība garenvirzienā	EN ISO 10319	kN/m	≥ 20
UV pretestība	-	-	stabilizēts

** ja paredzēts nosegt ar augsnes slāni, tad minimālais tā biezums ≥ 17 mm.*

Tabula 8-17. Ģeošūnu specifikāciju prasības

Ģeošūnas, kas izgatavotas no perforētām polietilēna lentēm			
Paredzētā izmantošana: stiegrošana (R), saskaņā ar EN ISO 13249, vai virsmas erozijas kontrole			
Ģeošūnas marķētas ar CE zīmi			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība:**
Šūnas augstums*	-	mm	50–300
Attālums starp metinājumu mezgliem	-	mm	≤ 375
Perforētas lentes stiepes stiprība	EN ISO 10319	kN/m	≥ 10
Pagarinājums pie maks. slodzes	EN ISO 10319	%	≥ 30
Savienojuma pārrāvuma pretestība**	EN ISO 13426-1	kN	jādeklarē
UV pretestība	-	-	stabilizēts
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	gadi	≥ 25

** atkarībā no projekta apstākļiem definē vienu, standarta šūnas augstumi aprakstīti punktā 1.3.5Preterozijas ģeosintētiskie materiāli.*

*** angļu val. – "Peeling test", minimālo vērtību deklarē saskaņā ar aprēķinu.*

Tabula 8-18. Pildītā ģeopaklāja specifikāciju prasības

Ģeopaklājs, kura ražošanā izmanto ģeosintētisku materiālu kopā ar pildvielu			
Paredzētā izmantošana: virsmas erozijas kontrole			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība:**
Pildījuma veids	-	-	...
Svars	EN 9864* EN 1849-2**	g/m^2* kg/m^2**	≥ ...

** ar bitumenu un sīkšķembām pildītam ģeopaklājam.*

*** cementa kompozītpaklājam.*

Tabula 8-19. Betona matrača specifikāciju prasības

No austa ģeotekstila ražots matracis, kas paredzēts aizpildīšanai ar betonu			
Paredzētā izmantošana: virsmas erozijas kontrole			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība****
Maksimālais biezums pēc aizpildīšanas	-	mm	≥ ...
Ūdenscaurlaidība perpendikulāri plaknei*	EN ISO 11058	l/m^2s	≥ ...

** nosaka vienam ģeotekstila slānim. Ja nepieciešams, definē atkarībā no projekta apstākļiem.*

*** konkrētas vērtības definē būvprojektā.*

Tabula 8-20. Hidrotehniskā ģeotekstila specifikāciju prasības

Paredzētā izmantošana: atdalīšana un filtrācija (S+F), saskaņā ar EN ISO 13253			
Ražots saskaņā ar novērtējuma un pārbaudes sistēmu 2+			
Ruļļi marķēti ar CE marķējumu un saskaņā ar EN ISO 10320			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība***
Stiepes izturība (abos virzienos)	EN ISO 10319	kN/m	≥ ...
Pagarinājums pie maksimālās slodzes (abos virzienos)	EN ISO 10319	%	≥ ...
Dinamiskā caursišanas pretestība	EN ISO 13433	mm	... ≤
Ūdenscaurlaidība perpendikulāri plaknei	EN ISO 11058	10^{-3} m/s (l/m^2s)	≥ ...
Raksturīga atvēruma izmērs	EN ISO 12956	µm	vērtība no/līdz
Biezums zem 2 kPa	EN ISO 9863-1	mm	≥ 30 x O_{90}**
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu EN 13253	gadi	≥ 50 vai 100
Bīstamās vielas	Mazāk nekā noteikts ES dalībvalstu noteikumos		

** definē būvprojektā;*

*** O_{90} – ģeotekstila raksturīga atvēruma izmērs.*

8.6 Iestrādes tehnoloģija

Lai projektētais nogāzes nostiprinājums kalpotu atbilstoši tam paredzētajam mērķim, tā būvniecībā jāpievērš uzmanība katra ģeosintētiskā materiāla ieklāšanas procesam.

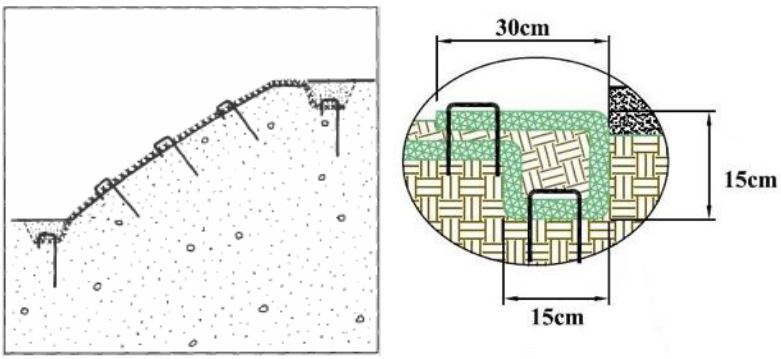
Preterozijas ģeopaklāji jāieklāj saskaņā ar ražotāja instrukciju, taču vienāda ražošanas veida materiāliem galvenās ieklāšanas vadlīnijas ir identiskas.

8.6.1 Sintētiskā un dabīgā ģeopaklāja ieklāšana

Sintētisko un dabīgo preterozijas ģeopaklāju ieklāšana ir ļoti līdzīga; atšķirības starp tiem ir tikai dažos punktos: [162]

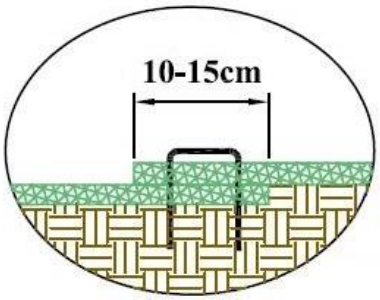
- ∇ norok esošo velēnu (ja tāda ir);
- ∇ izveido un noplanē nogāzi vajadzīgajā slīpumā, novāc lielus akmeņus, zarus un aizpilda iedobumus vai izskalojumus;
- ∇ dabīgā preterozijas ģeopaklāja lietošanas gadījumā uz sagatavotās nogāzes uzklāj vismaz 10 cm biezu augsnes kārtu, ja nepieciešams, iestrādā mēslojumu;
- ∇ sintētiskā preterozijas ģeopaklāja lietošanas gadījumā augsnes kārtu uzklāj divos slāņos – 5 cm biezumā zem ģeopaklāja un 5–7 cm biezumā uz ģeopaklāja pēc tā ieklāšanas;
- ∇ dabīgā preterozijas ģeopaklāja lietošanas gadījumā zālāja sēšanu veic pirms ģeopaklāja uzklāšanas. Ja sēklas sēj ar hidrosēšanas metodi, tad to dara pēc paklāja ieklāšanas un nostiprināšanas;
- ∇ sintētiskā preterozijas ģeopaklāja lietošanas gadījumā zālāja sēšanu veic pēc virsējā augsnes slāņa uzklāšanas;
- ∇ pēc sēšanas augsne ir jāpieveļ;
- ∇ uzklāj preterozijas ģeopaklāju (virzienā no nogāzes augšas uz leju), to pielāgojot nogāzes ģeometrijai. Paklāja ražošanas garenvirzienam jāsakrīt ar klāšanas virzienu. Paklāju nedrīkst stingri nostiept, tam jāpieguļ nogāzes virsmai. Paklāju nostiprina ar enkurāķiem apmēram 1–5 gab./m² (Attēls 8-24);
- ∇ ģeopaklāja augšējo un apakšējo malu nostiprina enkurgrāvī ≈ 15–20 cm dziļumā un papildus piestiprina ar enkurāķiem (Attēls 8-24);

Attēls 8-24. Pa kreisi – preterozijas ģeopaklāja nostiprinājums uz nogāzes, pa labi – enkurgrāvja ģeometrija un izmēri



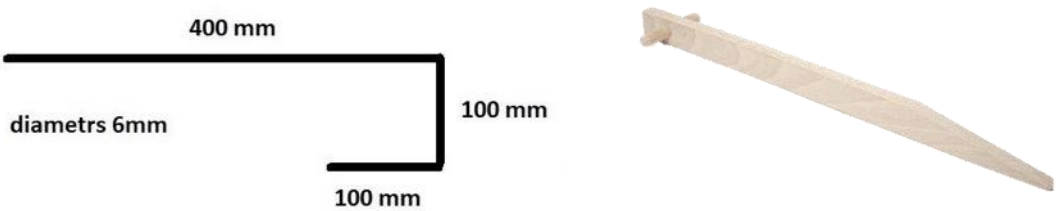
- paklāja pārlaidumiem garenvirzienā jābūt ≈ 10–15 cm platiem un pieenkurotiem, šķērsvirzienā tie var būt līdz 20 cm. Paklājam pa perimetru jābūt ieraktam. Pārlaidumi jāveido, ievērojot dominējošo vēja virzienu. Šķērsvirziena savienojumiem jāpārklājas no augšas uz leju – ūdens tecēšanas virzienā Attēls 8-25);

Attēls 8-25. Preterozijas ģeopaklāja pārlaidumu nostiprinājums



- preterozijas ģeopaklāju stiprināšanai parasti izmanto U-formas tērauda enkurāķus, taču dabīgajiem paklājiem var tikt lietotas arī speciālas koka stiprinājuma tapas (Attēls 8-26). Enkurāķu izmēri un veids var atšķirties no norādītā, bet tiem jābūt saskaņā ar preterozijas ģeopaklāja ražotāja vai piegādātāja ieklāšanas instrukciju;

Attēls 8-26. Preterozijas ģeopaklāja stiprināšanas enkurāķi, pa kreisi – tērauda, pa labi – koka



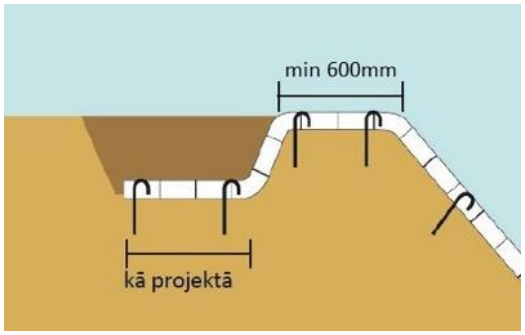
- līdz brīdim, kad sadīgst zālāja sēklas, paklāju laistīt nav nepieciešams. To var darīt vēlāk, ja pēc dīgšanas iestājas ilgstošs sausuma periods.

8.6.2 Ģeošūnu ieklāšana

Ģeošūnu ieklāšana: [163]

- ∇ norok esošo velēnu (ja tāda ir);
- ∇ izveido un noplanē nogāzi atbilstoši projekta prasībām, ievērojot norādītās augstuma atzīmes, slīpumu un ģeometriju, novāc lielus akmeņus, zarus un aizpilda iedobumus vai izskalojumus;
- ∇ jānodrošina izveidotās nogāzes stabilitāte un sablīvējums, ja nepieciešams, jāparedz papildu pastiprināšana;
- ∇ nogāzes augšā ģeošūnas jānostiprina enkurgrāvī. Lai izvairītos no nostiprinājuma noslīdēšanas, enkurgrāvis jāparedz vismaz 600 mm attālumā no nogāzes malas (Attēls 8-27). Enkurgrāvja izmērus nosaka katrai konstrukcijai individuāli atkarībā no nogāzes slīpuma un garuma;

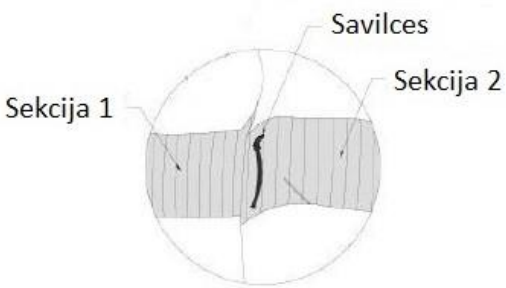
Attēls 8-27. Ģeošūnu enkurgrāvja novietojums



- ∇ ieklāj ģeošūnas (virzienā no nogāzes augšas uz leju), tās izpleš līdz nepieciešamajam izmēram un nostiprina ar tērauda enkurāķiem. Ieteicams izvairīties no atsevišķu ģeošūnu sekciju savienojumiem nogāzes garenvirzienā;
- ∇ nogāzes garenvirzienā un šķērsvirzienā blakus esošās ģeošūnu sekcijas jāsavieno ar šim mērķim paredzētiem, rūpnieciski ražotiem elementiem (Attēls 8-28). Savienojumu mezgliem jābūt norādītiem ražotāja izstrādātā ieklāšanas instrukcijā. Dažādu veidu savienojumu piemēri redzami attēlos – Attēls 8-28 un Attēls 8-29.

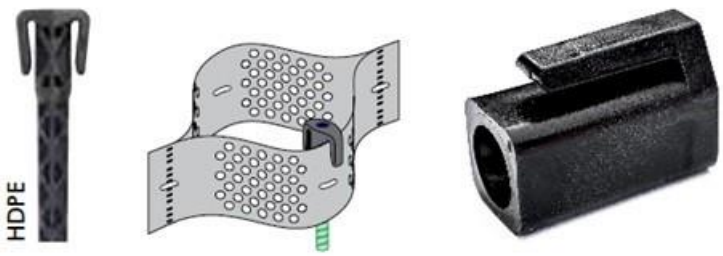
Attēls 8-28. Blakus esošu šūnu sekciju savienošana ar rūpnieciski ražotiem elementiem [164] [165]

Attēls 8-29. Blakus esošu šūnu sekciju savienošana ar savilcēm



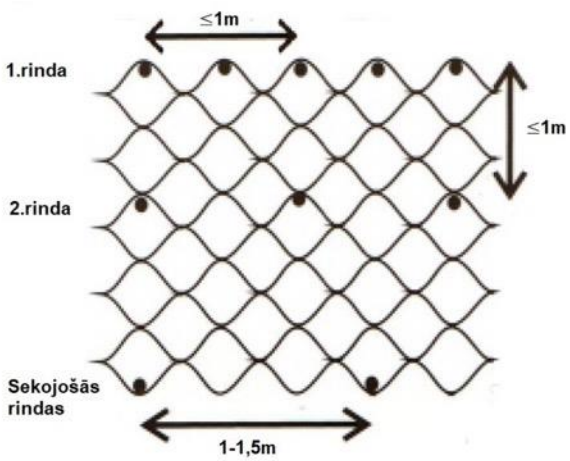
- ģeošūnas nogāzē nostiprina ar J-veida tērauda enkurāķiem (Attēls 8-31. Ģeošūnu stiprināšanas J-veida tērauda enkurāķis), kuru stieples diametrs ir ≥ 6 mm, bet garums ≥ 3 x h (h – ģeošūnas augstums, mm). Ieteicams izmantot šim mērķim paredzētus, rūpnieciski ražotus enkurāķus vai to polimēru uzlikas. Enkurāķu izvietojumu uz nogāzes, ja projektā nav noteikts citādi, ieteicams veidot atbilstoši attēlam (Attēls 8-32). Ja nogāzes stiprinājumu garenvirzienā veido vairākas ģeošūnu sekcijas, tad ieteicamais enkurāķu izvietojums attiecināms uz katru sekciju atsevišķi. Enkurāķu izmēri un veids var atšķirties no norādītā, bet tiem jābūt saskaņā ar ģeošūnu ražotāja vai piegādātāja ieklāšanas instrukciju;

Attēls 8-30. Ģeošūnu stiprināšanas polimēru enkurāķis un uzlika [164] [166]



Attēls 8-31. Ģeošūnu stiprināšanas J-veida tērauda enkurāķis

Attēls 8-32. Ģeošūnu stiprināšanas enkurāķu izvietojums uz nogāzes [163]



- ģeošūnas aizpilda ar paredzēto materiālu virzienā no nogāzes augšas uz leju. Pildījumam jāsniedzas pāri šūnām apmēram 2–3 cm. Ja ģeošūnas tiek aizpildītas ar augsni, tad pēc tās jāveic augsnes blīvēšana un, ja nepieciešams, jāpieber vēl 1–2 cm augsnes. Materiāla izbēršanas augstums virs ģeošūnām nedrīkst būt lielāks par vienu metru;
- veic zālāja sēšanu, pēc tam augsni pieveļ;
- stāvās nogāzēs vai vietās, kur pirms veģetācijas izveidošanās ir augsts risks, ka liela ūdens daudzuma ietekmē var tikt noskalota augsnes virskārta un sēklas, ieteicams nogāzi papildus noklāt ar dabīgo preterozijas ģeopaklāju.

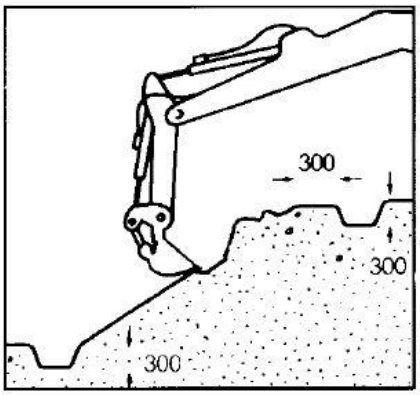
8.6.3 Pildīto preterozijas paklāju ieklāšana

Ar bitumenu un sīkšķembām pildīta ģeopaklāja ieklāšana: [167]

- norok esošo velēnu (ja tāda ir);
- izveido un noplanē nogāzi atbilstoši projekta prasībām, ievērojot norādītās augstuma atzīmes, slīpumu un ģeometriju, novāc lielus akmeņus, zarus un aizpilda iedobumus vai izskalojumus;
- jānodrošina izveidotās nogāzes stabilitāte un sablīvējums, ja nepieciešams, jāparedz papildu pastiprināšana;
- ja esošā grunts nav piemērota zālāja augšanai, tad uz sagatavotās nogāzes uzklāj vismaz 10 cm biezu augsnes kārtu, ja nepieciešams, iestrādā mēslojumu;

- nogāzes augšā un apakšā izrok vismaz 30 cm dziļus enkurgrāvjus, kā parādīts attēlā (Attēls 8-33);

Attēls 8-33. Ar bitumenu un sīkšķembām pildīta ģeopaklāja enkurgrāvja izmēri (mm)

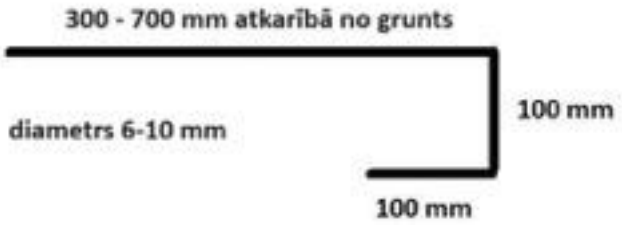


- veic zālāja sēšanu uz nogāzes, izsējas norma vidēji 30 g/m². Ja ģeopaklājs tiek ieklāts uz slapjās nogāzes (piemēram, upes krastā), tad zālāju sēj virs ūdenstilpnes vidējā ūdens līmeņa;
- tā kā pildītā ģeopaklāja svars ir liels, tad to ieklāj, izmantojot traversu (Attēls 8-34). Ieteicamais klāšanas virziens – no nogāzes apakšas uz augšu;

Attēls 8-34. Ģeopaklāja ieklāšana ar traversu [167]

- ģeopaklāju nostiprina ar enkurāķiem augšējā un apakšējā enkurgrāvī 1 gab./1,5 m. Ja nepieciešams, veic papildu stiprināšanu uz nogāzes ar enkurāķiem 1 gab./ 3–4 m²; to izmēri atkarībā no nogāzes grunts tipa ir ar diametru 6–10 mm un garumu 30–70 cm (Attēls 8-35);

Attēls 8-35. Ar bitumenu un sīkšķembām pildīta ģeopaklāja enkurāķis

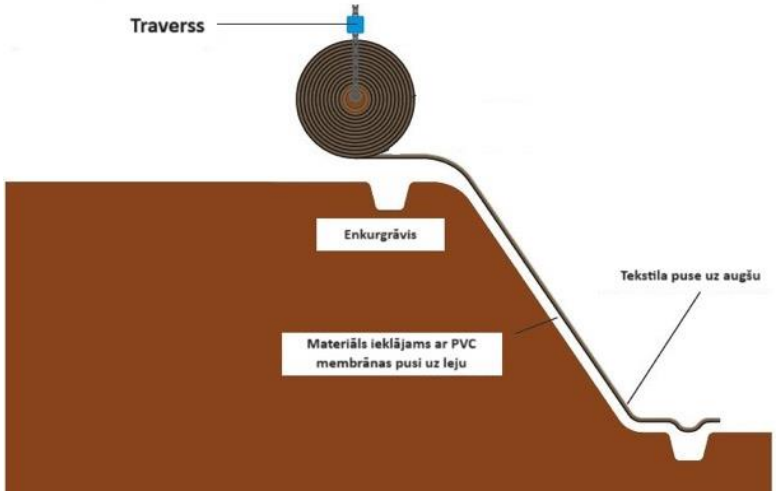


- ∇ paklāja pārlaidumiem garenvirzienā un šķērsvirzienā sausās nogāzēs jābūt vismaz 30 cm, bet slapjās – 50 cm. Savienojumu vietām jāpārklājas ūdens tecēšanas virzienā, un tās nostiprina ar enkurāķiem 1 gab./1 m;
- ∇ ja ģeopaklāju ieklāšana tiek veikta vasaras mēnešos, tad pēc darbu pabeigšanas ieteicams to pārklāt ar nelielu (2–3 mm biezu) smilts vai augsnes kārtu. Tas pasargās zālāja sēklas no izžūšanas karstuma ietekmē.

8.6.4 Cementa kompozītpaklāja ieklāšana

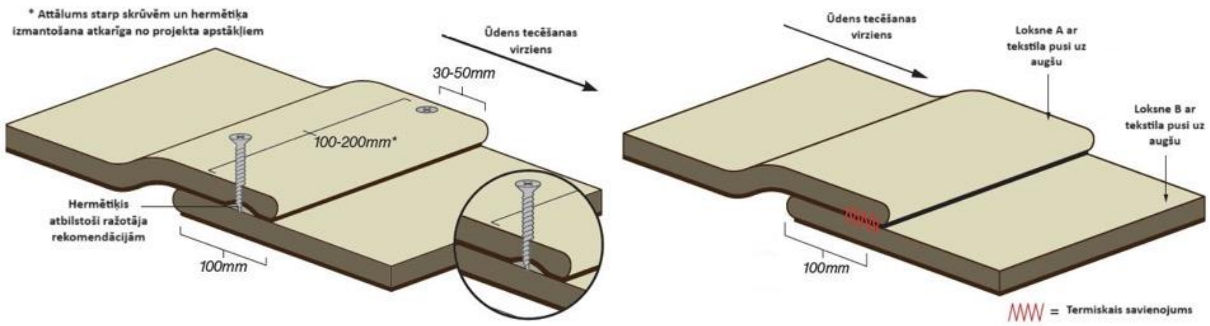
- ∇ nodrošina sausu nogāzi, esošo ūdeni (ja tāds ir) novirzot pa apkārtceļu vai atsūknējot; [168]
- ∇ norok esošo velēnu (ja tāda ir);
- ∇ izveido un noplanē nogāzi atbilstoši projekta prasībām, ievērojot norādītās augstuma atzīmes, slīpumu un ģeometriju, novāc > 25 mm akmeņus, zarus un aizpilda iedobumus vai izskalojumus;
- ∇ jānodrošina izveidotās nogāzes stabilitāte un sablīvējums, ja nepieciešams, jāparedz papildu pastiprināšana;
- ∇ nogāzes augšā un apakšā izrok vismaz 15 cm platus un 15 cm dziļus enkurgrāvjus, kā parādīts attēlā (Attēls 8-36); to izmērs var tikt palielināts atkarībā no konkrētā risinājuma;

Attēls 8-36. Cementa paklāja enkurgrāvis



- ieklāj cementa paklāju ar šķiedru pārklāto pusi uz augšu un PVC membrānu uz leju; tā, lai zem tā neveidotos tukšumi. Paklāju nedrīkst nostiept, tam brīvi jāpiekļaujas nogāzes virsmai;
- darba veicējiem jāizvairās pārvietoties pa cementa paklāju, it īpaši ar slapjiem apaviem pirms paklāja mitrināšanas. Vietās, kur ir apgrūtināta piekļuve un citādi darbu veikt nav iespējams, ieteicams staigāt pa uz paklāja novietotiem kokmateriāla pagaidu dēļiem;
- paklāja pārlaidumiem jāpārklājas ūdens tecēšanas virzienā vismaz 100 mm, pārlaiduma vietās jāveic materiāla sastiprināšana, metodi izvēloties atbilstoši projekta specifikācijai un balstoties uz ražotāja vai piegādātāja ieklāšanas instrukciju. Tie var būt gan skrūvēti, gan termiski izveidoti savienojumi (Attēls 8-37);

Attēls 8-37. Cementa kompozītpaklāja savienošanas veidi; pa kreisi – ar skrūvēm, pa labi – termiski saistīts



- visas paklāja brīvās malas jānostiprina tā, lai novērstu jebkāda ūdens infiltrāciju zem paklāja, kas var izraisīt nogāzes grunts izskalošanos un konstrukcijas deformācijas;

- cementa paklāju nostiprina ar enkurāķiem augšējā un apakšējā enkurgrāvī katra pārlaiduma vietā vai minimums ar attālumu ik pēc 2 m. Ja nepieciešams, veic papildu stiprināšanu uz nogāzes ar enkurāķiem ar 3 m maksimālo attālumu starp tiem. Enkurāķu veids, izmērs un skaits precizējams projekta izstrādes laikā;
- pēc paklāja nostiprināšanas un savienošanas tas jānoslauka, pēc tam jāveic tā mitrināšana ar ūdeni. Mitrināšana jāatkārto vairākas reizes pēc kārtas, līdz cementa paklājs ir pilnībā piesūcies ar ūdeni. Minimālais ūdens daudzums, kas jāuzlej uz paklāja, ir vienāds ar ≈ 40% no cementa paklāja svara. Uzlietais ūdens daudzums ir pietiekams, ja pāris minūtes pēc mitrināšanas pabeigšanas cementa paklājs vēl arvien ir mitrs;
- pēc mitrināšanas aizpilda enkurgrāvjus ar vāji drenējošu grunti, lai nodrošinātu virsūdens notecēšanu pāri nogāzei pa cementa paklāju nevis infiltrēšanos zem tā;
- cementa paklājs stiprību sasniedz 24 stundu laikā pēc mitrināšanas pilnīgas pabeigšanas.

8.6.5 Betona matrača ieklāšana

Nogāzes virsmas sagatavošana: [169]

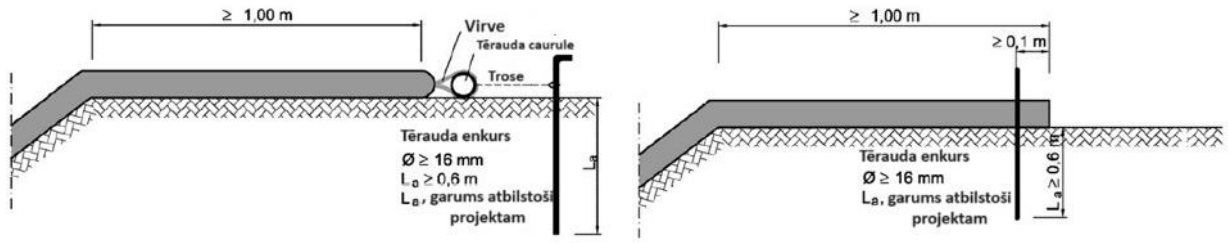
- izveido un noplanē nogāzi atbilstoši projekta prasībām, ievērojot norādītās augstuma atzīmes, slīpumu un ģeometriju, novāc lielus akmeņus, zarus un aizpilda iedobumus vai izskalojumus;
- izskalojumi un lieli nelīdzenumi zem ūdens jāaizpilda ar granti vai ģeotekstila maisiem;
- jānodrošina izveidotās nogāzes stabilitāte un sablīvējums, ja nepieciešams, jāparedz papildu pastiprināšana;
- zem ūdenscaurlaidīgajiem matračiem jāieklāj neausts ģeotekstils, kas nodrošina filtrācijas funkciju;
- ja nogāzes grunts ir rupja vai, ja matracis ieklāšanas laikā ir pakļauts viļņiem vai spēcīgai straumei, tad zem tā ir jāieklāj neausts ģeotekstils, kas nodrošina aizsardzības funkciju.

Matrača ieklāšana:

- ieteicams izmantot konkrētajam projektam rūpnieciski ražotus betona matraču paneļus, kuru izmēri atbilst ieklāšanas rasējumam;

- ja betona matrači tiek piegādāti ruļļos un to pielāgošana nogāzei tiek veikta būvobjektā, tad pieļaujamajam matraču šuvju daudzumam, to apstrādei un savienošanas veidam jābūt saskaņā ar ražotāja instrukciju;
- atkarībā no nogāzes ģeometrijas, virsmas un matrača biezuma, ir nepieciešams nodrošināt stiprinājumus ar attālumu līdz 25–50 cm (Attēls 8-38);

Attēls 8-38. Betona matrača stiprinājumi; pa kreisi – pagaidu, pa labi – pastāvīgi

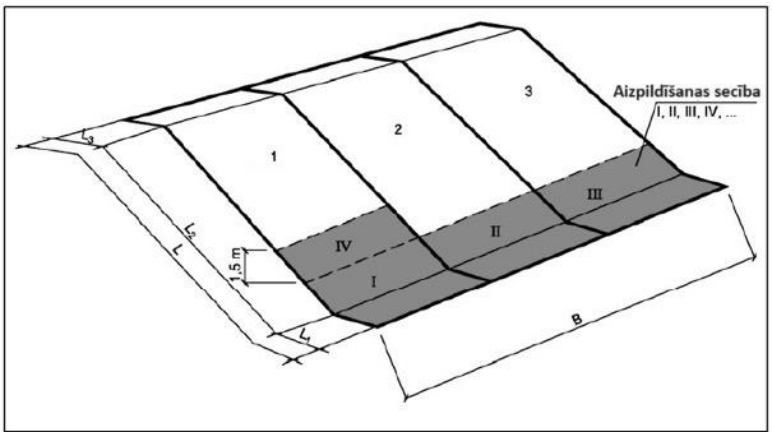


- ja nepieciešams veikt betona matraču ieklāšanu zemūdens apstākļos, tad neaizpildīta matrača stabilitāti uz nogāzes nodrošina, nostiprinot straumei pakļauto malu.

Aizpildīšana ar betona javu:

- izmanto pašblīvējošu betonu (SCC) atbilstoši EN 206 un ārējās vides iedarbības klasei;
- ieteicams izmantot apaļgraudu, nevis šķeltas betona pildvielas, kā arī maksimālais graudu izmērs nedrīkst pārsniegt 8 mm;
- ieteicams pieprasīt ražotājam sniegt pārskatu par betona maisījumiem, kas veiksmīgi izmantoti iepriekšējos projektos;
- sākot aizpildīšanu, matracī ievieto uzpildes cauruli apmēram 1,0 m virs matrača apakšējās malas;
- aizpildīšanas laikā ievietotā caurule ir pakāpeniski jāvelk atpakaļ, lai izvairītos no lokāla augsta spiediena;
- aizpildīšanu veic pakāpeniski pa paneļiem, kā parādīts attēlā (Attēls 8-39).

Attēls 8-39. Betona matrača aizpildīšanas shēma



- ∇ pirms sākt matraču paneļu aizpildīšanu, jāpārliecinās, vai tam jau ir pievienots nākamais, citādi matraču savienošana ar jau aizpildītiem paneļiem parasti nav iespējama vai iespējama tikai ar lielu piepūli.

Nobeiguma darbi:

- ∇ betona javas ieplūdes vietas jāaizsien ar stiepli vai savilcēm;
- ∇ betona matraču virsma jānoskalo un jānotīra ar ūdeni; tas ir īpaši būtiski, uzstādot ūdenscaurlaidīgos matračus ar filtrācijas punktiem;
- ∇ pārvietošanās pa aizpildītu betona matraci iespējama tikai pēc betona pietiekamas cietības sasniegšanas.

8.6.6 Būvniecības riski

Turpmāk aprakstīti defekti, kas parasti veidojas būvniecības laikā pieļautu kļūdu dēļ.

Tabula 8-21. Dabīgais ģeopaklājs

	Defekts Zem ģeopaklāja noskalota augsnes kārta Cēlonis Neatbilstoša materiāla izvēle, nogāze ir pārāk stāva un gara
Defekts Ģeopaklājs nepieguļ nogāzei, zālājs neaug tam cauri, bet ceļ to uz augšu	Cēlonis Ģeopaklājs uzklāts uz iepriekš nenoplanētas nogāzes, kur jau bija izveidojies zālājs Nepietiekams enkurāķu skaits

	Defekts Ģeopaklājs noslīdējis kopā ar augsnes kārtu Cēlonis Neatbilstošs enkurgrāvis
	Defekts Ģeopaklājs ar noslīdējuma pazīmēm un krokām Cēlonis Darbi veikti neaktīvajā veģetācijas periodā uz pārmitrinātas nogāzes Vairākkārtīgi veikti nekvalitatīvi labošanas darbi

Tabula 8-22. Sintētiskais ģeopaklājs

Defekts	Cēlonis
No ģeopaklāja noskalota virs tā uzbērtā augsnes kārta	Intensīvu nokrišņu rezultātā var tikt daļēji vai pilnībā noskalota augsnes kārta. Lai no tā izvairītos, pēc zālāja iesēšanas ieteicams to pārklāt ar dabīgo ģeopaklāju
Ģeopaklājs noslīdējis kopā ar augsnes kārtu	Neatbilstošs enkurgrāvis, nepietiekams enkurāķu daudzums

Tabula 8-23. Ģeošūnas

	Defekts No šūnām noskalota augsnes virskārta, uz nogāzes novērojams liels brīvās šūnas daļas augstums Cēlonis Nostiprinājumā iebūvētas ģeošūnas ar pārāk lielu šūnas izmēru

	Defekts Noskalota un/vai nogruvusi augsnes kārta ģeošūnu sekciju savienojumu vietās Cēlonis Neesoši vai nepietiekamas stiprības savienojumi starp ģeošūnu blakus sekcijām
	Defekts Ģeošūnu metināJuma vietas pārrāvums Cēlonis Nepietiekams enkurāķu skaits
	Defekts Ģeošūnas noslīdējušas ar augsnes aizpildījumu Cēlonis Neatbilstošs enkurgrāvis, nepietiekams enkurāķu daudzums
	Defekts Izskalots aizpildījuma materiāls Cēlonis Neatbilstoša preterozijas un/vai aizpildījuma materiāla izvēle

Tabula 8-24. Pildītais ģeopaklājs

	Defekts Sabrucis betona matrača nostiprinājums Cēlonis Neatbilstošs nostiprinājums nogāzes pēdas daļā, kā rezultātā zem betona matrača izskalota grunts

8.7 Būvprojektēšanas piemēri

Tā kā projektēšanas metodes tiek iedalītas divās daļās – sausām un slapjām nogāzēm, tad katrai ir izstrādāts aprēķinu piemērs.

8.7.1 Pirmais piemērs ģeosintētisko materiālu lietošanai

8.7.1.1 Būvobjekta apraksts un problemātika

Tiek pieņemts, ka jānostiprina ceļa uzbēruma nogāze ar slīpumu 1:1,5 jeb ≈ 34°. Uzbēruma augstums H = 2,0 m, nogāzes garums L = 3,60 m. Uzbēruma materiāls – smilšaina grunts. Nogāzē nav novērojama pastāvīga ūdens klātbūtne, tāpēc tā jāpasargā tikai no lietus radītās erozijas, kas var radīt papildu izmaksas ceļa būvniecības vai ekspluatācijas laikā. Pieņem, ka nogāzes nostiprinājuma darbi tiek veikti vasarā.

8.7.1.2 Iespējamie projekta risinājumi un projektēšanas soļi

Piemērā savstarpēji tiek salīdzināti sausās nogāzes nostiprinājumi:

- ∇ zāliena sējums ar augsnes bērumu (NN-3);
- ∇ zāliena sējums ar augsnes bērumu un ģeopaklāja nostiprinājumu (NN-4).

Pēc formulas [8.210.] aprēķina iespējamos augsnes zudumus.

Nokrišņu koeficients R = 70.

Grunts erozijas koeficients K = 0,0026 (vidējā vērtība).

Slīpuma un garuma koeficientu LS aprēķina pēc formulas [8.212.]:

$$LS = L \times S = \left(\frac{3}{22,13}\right)^{0,55} \times (0,065 + 0,0456 \times 67 + 0,006541 \times 67^2) = 10,82$$

Sākotnēji virsmas aizsardzības koeficientu C pieņem 1.

Aizsargpasākumu koeficients *P* = 1.

$$A = 70 \times 0{,}0026 \times 10{,}82 \times 1 \times 1 = 1{,}97 \frac{t}{ha}/gadā$$

8.7.1.3 Risinājums bez ģeosintētiskā materiāla

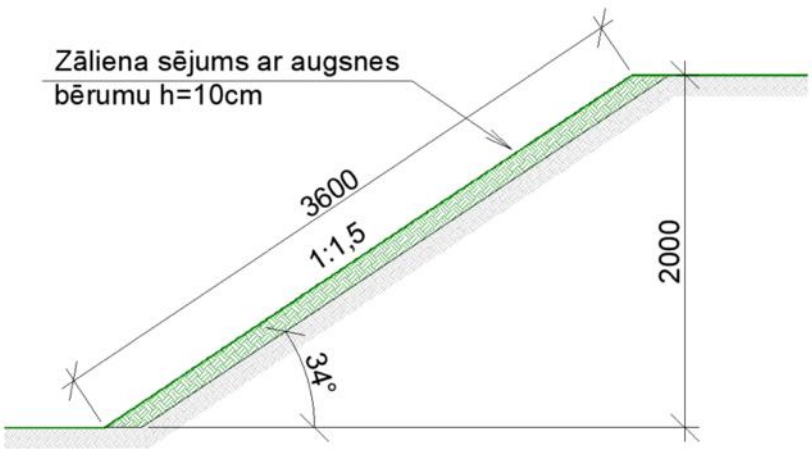
Nostiprinājumam bez ģeosintētiskā materiāla pieņemts zālāja sējums ar augsnes bērumu *h* = 10 cm biezumā. Saskaņā ar 8-3. tabulu šāda nostiprinājuma sākotnējais virsmas aizsardzības koeficients *C* ir 0,2. Attiecīgi var aprēķināt augsnes zudumus:

$$A = 1{,}97 \times 0{,}2 = 0{,}394 \frac{t}{ha}/gadā$$

Pieņemot, ka sākotnējā ekspluatācijas laikā ievērojama erozija nenotiek, var aprēķināt, kāda ir zāliena sējuma aizsardzības efektivitāte, kad tas ir pilnībā iesakņojies – nostiprinājuma kalpošanas otrajā gadā.

$$A = 1{,}97 \times 0{,}01 = 0{,}019 \frac{t}{ha}/gadā$$

Attēls 8-40. Projekta risinājums ar nostiprinājumu NN-3



8.7.1.4 Risinājums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu

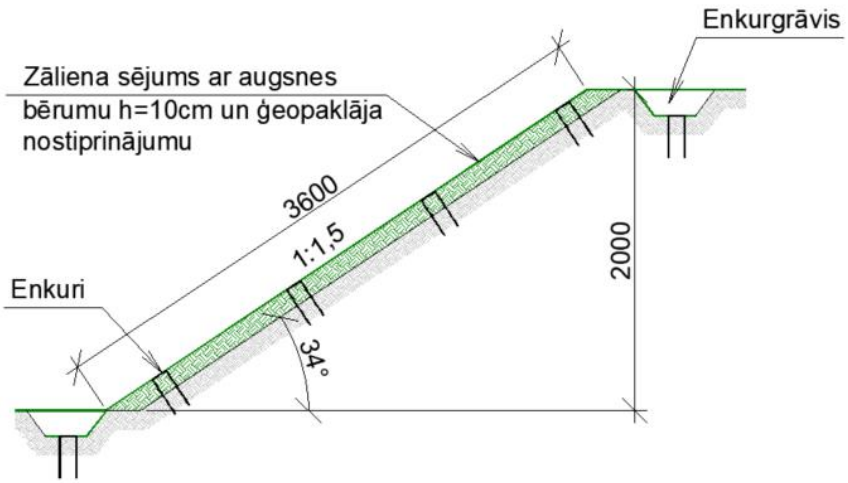
Nostiprinājumam ar ģeosintētisko materiāla pieņemts zālāja sējums ar augsnes bērumu *h* = 10 cm biezumā un kokosa šķiedras ģeopaklāja nostiprinājumu. Saskaņā ar 8-4. tabulu šāda nostiprinājuma sākotnējais virsmas aizsardzības koeficients *C* ir 0,1. Attiecīgi varam aprēķināt augsnes zudumus:

$$A = 1{,}97 \times 0{,}1 = 0{,}197 \frac{t}{ha}/gadā$$

Analoģiski kā risinājumā bez ģeosintētiskā materiāla, arī šajā gadījumā varam aprēķināt, kāda ir ar ģeopaklāju nostiprinātas nogāzes aizsardzības efektivitāte, kad zālājs tajā ir labi iesakņojies.

$$A = 1{,}97 \times 0{,}005 = 0{,}009 \frac{t}{ha} / gadā$$

Attēls 8-41. Projekta risinājums ar nostiprinājumu NN-4



8.7.2 Izstrādāto pirmā piemēra risinājumu tehniski ekonomiskais un ietekmes uz vidi salīdzinājums

Pēc augsnes zudumu aprēķiniem redzams, ka ģeopaklāja nostiprinājums nodrošina divreiz lielāku tūlītējo un ilglaicīgo virsmas aizsardzību nekā zāliena sējums. Kaut arī zāliena sējums otrajā būves ekspluatācijas gadā nodrošina 10 reizes labāku virsmas aizsardzību nekā ģeopaklājs uzreiz pēc tā iebūves, jāņem vērā, ka lielākais erozijas risks ir tieši pirmajā periodā pēc nostiprinājuma būvniecības.

Tādēļ tehniski ekonomiskajā salīdzinājumā zāliena sējuma un augsnes nostiprinājuma izmaksās tiek ievērtētas arī tā labošanas jeb atjaunošanas izmaksas. Tiek pieņemts, ka NN-3 nostiprinājuma lietus erozijas radīto bojājumu apmērs ir 30 % (Attēls 8-42).

Attēls 8-42. Nostiprinājuma NN-3 erozija

Salīdzinājums tiek veikts 100 m garas nogāzes posmam.

Tabula 8-25. Nostiprinājuma NN-3 būvniecības izmaksas

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Nogāžu nostiprināšana ar zāliena sējumu un augsnes bērumu NN-3	m^2	360	4,53	1630,80
Nostiprinājuma atjaunošana	m^2	108	4,53	489,24
			KOPĀ:	2120,04

Tabula 8-26. Nostiprinājuma NN-4 būvniecības izmaksas

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Nogāžu nostiprināšana ar zāliena sējumu, augsnes bērumu un ģeopaklāja nostiprinājumu NN-4	m^2	360	4,74	1706,4

Salīdzinot nostiprinājumu NN-3 un NN-4 vienības izmaksas, redzams, ka ģeopaklāja nostiprinājums ir par 0,21 EUR/m^2 jeb 5% dārgāks. Taču, ja nostiprinājuma NN-3 būvniecības izmaksās ievērtē iespējamo erozijas bojājumu labošanas izmaksas, tad var secināt, ka ģeopaklāja nostiprinājums 100 m garai nogāzei ir par 413,64 EUR jeb 20% lētāks. Gadījumos, kad lietus ietekmē notiek ne tikai nostiprinājuma erozija, bet veidojas arī ceļa konstruktīvo kārtu izskalojumi, to aizpildīšanas izmaksas padara ģeopaklāja nostiprinājumu vēl izdevīgāku.

Ietekmes uz vidi novērtējumā tiek salīdzināti tikai tie darbi, kas katram risinājumam ir atšķirīgi – nostiprinājuma atjaunošana ar augsnes bērumu, pieņemot kārtas biezumu *h* = 10 cm un ģeopaklāja ražošanu un ieklāšanu.

Ietekmes uz vidi novērtējumā izmantotas ģeosintētikas ražotāju sniegtās izstrādājumu vides deklarācijas, pētījuma "Inventory of Carbon and Energy (ICE)" [83] un pētījuma 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

8.7.2.1 Mērķis

Aprēķina piemēra LCA mērķis ir salīdzināt divu līdzvērtīgu (pēc nestspējas un/vai funkcionalitātes) konstrukciju (aprēķiniem pieņemtās konstrukcijas skatīt iepriekš) būvniecības procesa CO_2 ekvivalenta radītās emisijas, lai kopsakarībā ar šo risinājumu potenciālajām izmaksām pamatotu projektam piemērotāko risinājumu.

8.7.2.2 Funkcionālā vienība

100 m garš posms, nogāzes garums – 3,60 metri. Tiek pieņemts, ka konstrukciju nestspēja un kalpošanas laiks ir vienāds attiecīgi uzrādītajiem tehniskajiem risinājumiem. Salīdzināti tiek tikai tie darbi, kas katram risinājumam ir atšķirīgi – nostiprinājuma atjaunošana ar augsnes bērumu, pieņemot kārtas biezumu h = 10 cm un ģeopaklāja ražošanu un ieklāšanu.

8.7.2.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

8.7.2.4 Dzīves cikla inventarizācija (LCI)

Dati par ģeosintētisko materiālu ražošanu un iebūvi iegūti no materiālu vides deklarācijām. Dabīgas šķiedras preterozijas ģeopaklājam vides deklarācija šobrīd nav atrodama, tādēļ aprēķinā datu lauks par tā ražošanu un iebūvi atstāts tukšs.

Par ģeosintētisko materiālu transportēšanas attālumu, atbilstoši 1.5. nodaļā aprakstītajam, pieņemti 2000 km. Pieņemts, ka ģeosintētisko materiālu ved pilnās kravās, un pilnā kravā var iekraut 8 t. Degvielas patēriņš 30 l/100 km.

Pieņemts, ka augsni nostiprinājuma atjaunošanai nepieciešams vest no atradnes 25 km attālumā no būvobjekta. Lai aprēķinātu minerālmateriāla piegādes CO_2 ekvivalentu, pieņemts, ka vienas piegādes ilgums ir 1,5 h.

Tiek uzskatīts, ka ģeosintētiskais materiāls tiks iebūvēts ar rokām. Grunts materiāla iestrādei tiks izmantots ekskavators.

Tabula 8-27. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam bez ģeosintētiskā materiāla

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Vienas grunts kravas transportēšanas laiks (h)	1,5	Pieņemta vērtība (50 km kopējam attālumam, turp un atpakaļ)
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,0052	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Grunts tilpumsvars (kg/m³)	1600	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
Augsnes kārtas iebūve (m³)	10,8	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 8-28. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam bez ģeosintētiskā materiāla

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO_2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Augsnes kārtas iebūve	17280	0,0052	89,856	0,01	92,379	0,00049	8,398	191
ekskavators				0,00049		0,00049		
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00486				
							PAVISAM KOPĀ:	**191**

Tabula 8-29. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam ar ģeosintētisko materiālu

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļai
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	8000	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
Kokosšķiedras ģeopaklāja svars (kg/m²)	0,35	Pieņemta vērtība
Kokosšķiedras ģeopaklāja iebūve (m²)	360	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0	Šobrīd ražotāji neuzrāda datus šāda tipa materiālam
Iebūves CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0	Šobrīd ražotāji neuzrāda datus šāda tipa materiālam
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 8-30. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam ar ģeosintētisko materiālu

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Kokosa šķiedras ģeopaklāja iebūve	126	0	0,000	0,243	30,618	0	0,000	31
							PAVISAM KOPĀ:	**31**

8.7.2.5 Ietekmes novērtējums

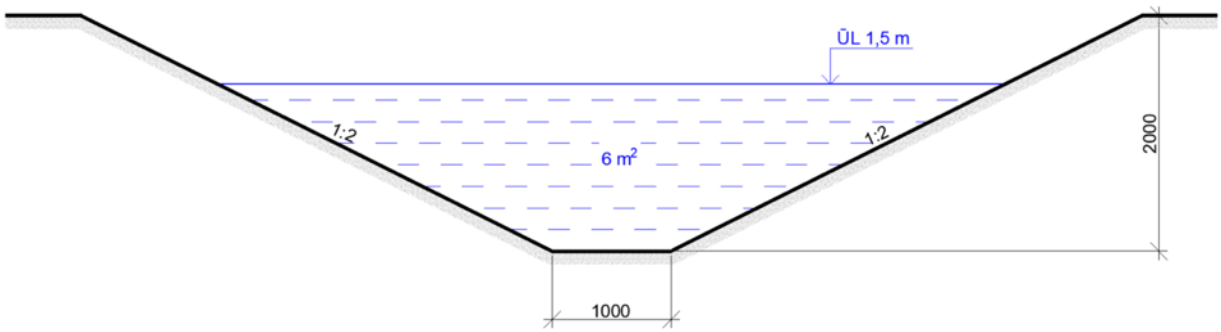
Šobrīd aprēķinātās CO_2 ekvivalenta vērtības objektīvi salīdzināt nav iespējams, jo trūkst datu par ģeosintētiskā materiāla ražošanā un iebūvē radīto CO_2 ekvivalenta daudzumu. Aprēķins izveidots kā piemērs, kuru var izmantot gadījumos, ja šie dati ir pieejami.

8.7.3 Otrais piemērs ģeosintētisko materiālu lietošanai

8.7.3.1 Būvobjekta apraksts un problemātika

Tiek pieņemts, ka jānostiprina autoceļam blakus esoša novadgrāvja nogāze. Grāvja ģeometriskie parametri parādīti attēlā (Attēls 8-43). Grāvja šķērsgriezuma laukums ir 6 m², dziļums 2 m un nogāžu slīpums 1:2 jeb ≈ 27°. Novadgrāvja gultnes grunts – mālaina smilts ar daļiņu vidējo izmēru 0,1–0,2 mm. Ūdens līmeņa augstums pie vasaras pusgada vidējā caurplūduma ir 1,5 m. Novadgrāvja gultnes slīpums – 0,3%.

Attēls 8-43. Grāvja ģeometriskie parametri



8.7.3.2 Iespējamie projekta risinājumi un projektēšanas soļi

Piemērā savstarpēji salīdzināti slapjās nogāzes nostiprinājumi:

- ∇ akmeņu bērums uz šķembu pamatnes un ģeotekstila (NN-8);
- ∇ ar bitumenu un sīkšķembām pildīta ģeopaklāja nostiprinājums.

Pēc formulas [8.231.] aprēķina straumes ātrumu, ievērtējot dabīgas grunts grāvja raupjuma koeficientu k_s = 50 m$^{1/3}$/s:

$$V = 50 \times 0{,}847 \times 0{,}055 = 2{,}31 \text{ m/s}$$

Pēc formulas [8.228.] aprēķina grāvja caurplūdumu:

$$Q = 2{,}31 \times 6 = 13{,}86 \text{ m}^3/\text{s}$$

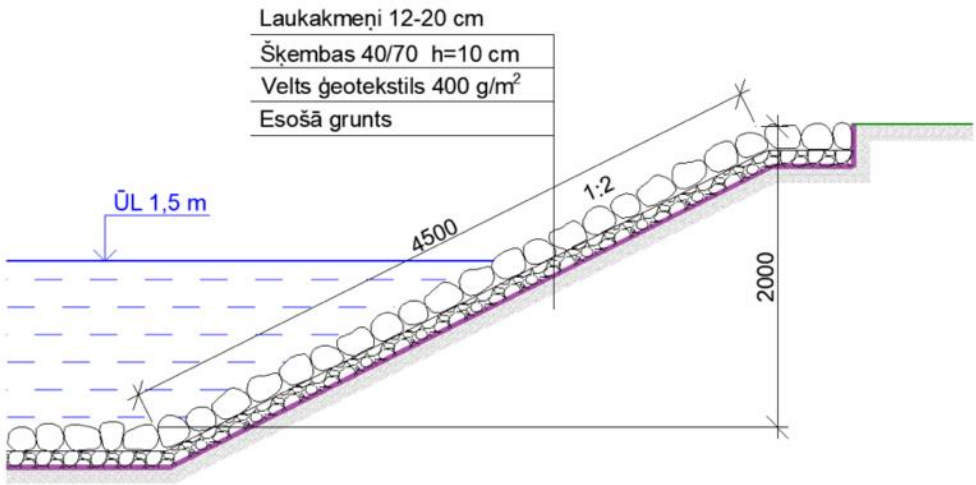
Pēc tabulas (Tabula 8-10) pieļaujamais maksimālais straumes ātrums nenostiprinātā gultnē mālainā smiltī ar daļiņu izmēru 0,1–0,2 mm un pie 1,5 m ūdens dziļuma ir 0,6–

0,8 m/s. Tā kā aprēķinātais straumes ātrums ir lielāks nekā pieļaujamais (2,31 > 0,8), tad grāvim jāparedz nostiprinājums.

8.7.3.3 Risinājums bez ģeosintētiskā materiāla

Pirmajā risinājumā tiek projektēts nogāzes nostiprinājums ar akmeņu bērumu uz 40/70 šķembu un ģeotekstila pamatnes, akmeņu izmērs 12–20 cm. Atbilstoši tabulai (Tabula 8-10) nostiprinājuma pieļaujamais maksimālais straumes ātrums pie 1,5 m ūdens dziļuma ir 2,95 m/s, kas ir lielāks nekā novadgrāvī aprēķinātais straumes ātrums 2,31 m/s. Šķembu pamatnes biezums *h* = 10 cm. Veltais ģeotekstils uz mālainas grunts pamatnes atbilstoši tabulai (Tabula 8-20) ar stiepes stiprību ≥ 30 kN/m.

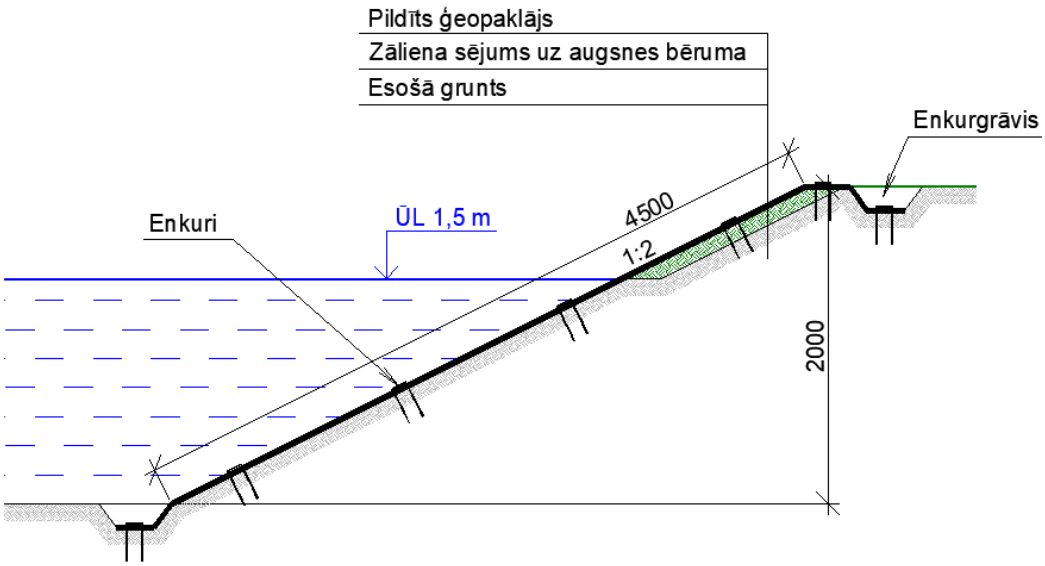
Attēls 8-44. Projekta risinājums ar akmeņu bērumu uz šķembu un ģeotekstila pamatnes



8.7.3.4 Risinājums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu

Otrajā risinājumā tiek paredzēts ar bitumenu un sīkšķembām pildīta ģeopaklāja nogāzes nostiprinājums, kas atbilstoši tabulai (Tabula 8-10) sākotnēji bez veģetācijas iztur 2–3 m/s, bet ar pilnībā iesakņojušos zālāju 4–6 m/s lielu straumes ātrumu. Pildītais ģeopaklājs uz nogāzes zem ūdens līmeņa 3,35 m garumā tiek klāts uz noplanētas esošās grunts, bet nogāzes daļā virs ūdens līmeņa 1,15 m garumā zem tā tiek veidots zāliena sējums un augsnes bērums.

Attēls 8-45. Projekta risinājums ar pildīta ģeopaklāja nostiprinājumu



8.7.4 Izstrādāto otrā piemēra risinājumu tehniski ekonomiskais un ietekmes uz vidi salīdzinājums

Salīdzinājums tiek veikts 100 m gara grāvja posmam ceļa puses nogāzei. Abos risinājumos nostiprinājums tiek projektēts 1,0 m augstāk nekā ūdens līmeņa augstuma atzīme, tādējādi pa nogāzi veidojot 4,50 m garumu.

Tabula 8-31. Akmens bēruma uz šķembu un ģeotekstila pamatnes būvniecības izmaksas

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Laukakmeņu ar izmēru 12–20 cm krāvums/bērums	m^3	135	175,23	23 656,05
40/70 šķembu ieklāšana	m^3	45	70,73	3182,85
Veltā ģeotekstila ar svaru 400 g/m2 ieklāšana	m^2	450	5,91	2659,5
			KOPĀ:	29 498,40

Tabula 8-32. Pildīta ģeopaklāja nostiprinājuma būvniecības izmaksas

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Nogāžu nostiprināšana ar zāliena sējumu un augsnes bērumu NN-3	m^2	115	4,53	520,95
Pildīta ģeopaklāja ieklāšana	m^2	450	43,00	19 350,00
			KOPĀ:	19 870,95

Salīdzinot abu veidu nostiprinājumu izmaksas, secināms, ka pildītā ģeopaklāja būvniecība 100 m posmā izmaksā 9627,45 EUR jeb 30% lētāk nekā tradicionālais

risinājums ar akmeņu bērumu. Tā kā risinājumā ar pildīto ģeopaklāju darbu apjoms ir mazāks, tad tos ir iespējams paveikt īsākā laika posmā, tādējādi paātrinot kopējo projekta realizācijas laiku.

Ietekmes uz vidi novērtējumā izmantotas ģeosintētikas ražotāju sniegtās izstrādājumu vides deklarācijas, pētījuma "Inventory of Carbon and Energy (ICE)" [83] un šī pētījuma 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

8.7.4.1 Mērķis

Aprēķina piemēra LCA mērķis ir salīdzināt divu līdzvērtīgu (pēc nestspējas un/vai funkcionalitātes) konstrukciju (aprēķiniem pieņemtās konstrukcijas skatīt iepriekš) būvniecības procesa CO_2 ekvivalenta radītās emisijas, lai kopsakarībā ar šo risinājumu potenciālajām izmaksām pamatotu projektam piemērotāko risinājumu.

8.7.4.2 Funkcionālā vienība

100 m garš grāvja posms, nogāzes garums – 4,50 metri. Tiek pieņemts, ka konstrukciju nestspēja un kalpošanas laiks ir vienāds attiecīgi uzrādītajiem tehniskajiem risinājumiem.

8.7.4.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

8.7.4.4 Dzīves cikla inventarizācija (LCI)

Dati par ģeosintētisko materiālu ražošanu un iebūvi iegūti no materiālu vides deklarācijām. Tika apskatītas trīs dažādu atdalošā ģeotekstila ražotāju deklarācijas. Dati par ražošanu pieejami visās trīs vides deklarācijās, un turpmākam aprēķinam tiek izmantota lielākā vērtība 3,42 kg CO_2 ekvivalenta uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu *(GWP-total)*. Dati par iebūvi pieejami tikai divās no apskatītajām vides deklarācijām. Izmantojam lielāko no divām vērtībām – 0,186 kg CO_2 ekvivalenta uz vienu ģeosintētiskā materiāla kilogramu *(GWP-total)*. Pildītajam ģeopaklājam vides deklarācija šobrīd nav pieejama, tādēļ aprēķinā datu lauks par tā ražošanu un iebūvi atstāts tukšs.

Par ģeosintētisko materiālu transportēšanas attālumu, atbilstoši 1.5. nodaļā aprakstītajam, pieņemti 2000 km. Pieņemts, ka ģeosintētisko materiālu ved pilnās kravās, un pilnā kravā var iekraut 21 t. Degvielas patēriņš 30 l/100 km.

Pieņemts, ka laukakmeņus, šķembas un augsni nostiprinājuma būvniecībai nepieciešams vest no atradnes 25 km attālumā no būvobjekta. Lai aprēķinātu minerālmateriāla piegādes CO_2 ekvivalentu, pieņemts, ka vienas piegādes ilgums ir 1,5 h.

Tiek uzskatīts, ka ģeosintētiskais materiāls tiks iebūvēts ar rokām. Laukakmeņu, šķembu un augsnes iestrādei tiks izmantots ekskavators.

Tabula 8-33. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam bez ģeosintētiskā materiāla

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3 nodaļai
Vienas grunts kravas transportēšanas laiks (h)	1,5	Pieņemta vērtība (50 km kopējam attālumam, turp un atpakaļ)
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	8000	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,0052	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Grunts tilpumsvars (kg/m³)	2000	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
Atdalošā ģeotekstila svars (kg/m²)	0,4	Pieņemta vērtība
Atdalošā ģeotekstila iebūve (m²)	450	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Laukakmeņu ar izmēru 12–20 cm krāvums/bērums (m³)	135	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Šķembu 40/70 mm ieklāšana	45	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	3,42	Materiāla vides deklarācija Nr. S-P-08073
Iebūves CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,186	Materiāla vides deklarācija MD-21017-EN
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 8-34. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam bez ģeosintētiskā materiāla

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO_2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Atdalošā ģeotekstila iebūve	180	3,42	615,600	0,24	43,740	0,186	33,480	693
Laukakmeņu ar izmēru 12–20 cm krāvums/bērums	270000	0,0052	1404,000	0,01	1443,420	0,00049	131,220	2979
ekskavators				0,00049		0,00049		
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00486				
Šķembu 40/70 ieklāšana	90000	0,0052	468	0,00535	481,140	0,00049	43,740	993
ekskavators				0,00049		0,00049		
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00486				
						PAVISAM KOPĀ:		**4664**

Tabula 8-35. Izejas dati CO_2 ekvivalenta aprēķinam projekta risinājumam ar ģeosintētisko materiālu

IEVADDATI		Datu avots / Komentārs
Ģeosintētikas transportēšanas attālums (km) (vienā virzienā)	2000	Pieņemta vērtība, atbilstoši Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļai
Vienas grunts kravas transportēšanas laiks (h)	1,5	Pieņemta vērtība (50 km kopējam attālumam, turp un atpakaļ)
Ģeosintētikais materiāls pilnā kravā (kg)	21000	Pieņemta vērtība, balstoties uz piegādātāja sniegto informāciju
Grunts iegūšanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0,0052	Oglekļa un enerģijas uzskaite (Inventory of Carbon and Energy – ICE)
Grunts tilpumsvars (kg/m³)	1600	Rokasgrāmatas 1.5.3. nodaļa
Pildītā ģeopaklāja svars (kg/m²)	22	Pieņemta vērtība
Pildītā ģeopaklāja ieklāšana (m²)	450	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Augsnes kārtas iebūve (m³)	115	Noteikts, izstrādājot risinājumu
Ģeosintētikas ražotāja izsniegtās izstrādājumu vides deklarācijas dati, izņemot transportēšanu		
Ražošanas CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0	Šobrīd ražotāji neuzrāda datus šāda tipa materiālam
Iebūves CO_2 ekv. (kg/1 kg)	0	šobrīd ražotāji neuzrāda datus šāda tipa materiālam
Dīzeļdegvielas CO_2 ekv. (kg/1 l)	3,24	Ceļa seguma ilgspējības novērtēšanas metodoģija, paņēmieni un lietojums dažādu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanai (DEVELOPMENT OF ROAD PAVEMENT SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND TOOL AND APPLICATION FOR EVALUATION OF VARIOUS MATERIALS AND TECHNOLOGIES)

Tabula 8-36. CO_2 ekvivalenta aprēķins projekta risinājumam ar ģeosintētisko materiālu

Darba pozīcija	Daudzums (kg)	Materiāla ieguve un ģeosintētiskā izstrādājuma ražošana		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma transportēšana uz objektu		Materiāla un ģeosintētiskā izstrādājuma pārvietošana/iebūve objektā		Kopā CO2 ekv. (kg)
		CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	CO2 ekv. (kg) uz materiāla vai ģeosintētiskā izstrādājuma 1 kg	Kopā	
Pildītā ģeopaklāja ieklāšana	9900	0	0,000	0,092571	916,457	0	0,000	916
Augsnes kārtas iebūve	184000	0,0052	956,800	0,005346	983,664	0,00049	89,424	2030
ekskavators				0,00049		0,00049		
autotransports (ietilpība 25 t)				0,00486				
							PAVISAM KOPĀ:	**2946**

8.7.4.5 Ietekmes novērtējums

Šobrīd aprēķinātās CO_2 ekvivalenta vērtības objektīvi salīdzināt nav iespējams, jo trūkst datu par ģeosintētiskā materiāla ražošanā un iebūvē radīto CO_2 ekvivalenta daudzumu. Aprēķins izveidots kā piemērs, kuru var izmantot gadījumos, ja šie dati ir pieejami.

8.8 Lietošanas un labās prakses piemēri

8.8.1 Objekts – Heidlandgraben, Heikenauweg, Hamburga, Vācija

Paplašinot industriālo teritoriju Hamburgā, bija nepieciešams paplašināt arī virszemes drenāžas kanālu Heidlandgraben. Tas atrodas ierobežotā vietā starp diviem zemes gabaliem, tādējādi, lai drenāžas kanāls spētu uzņemt lielāku ūdens daudzumu, bija jāpalielina kanāla šķērsgriezuma laukums. Šī iemesla dēļ bija nepieciešams veidot stāvas nogāzes.

Pavasarī Vācijas ziemeļos bieži sastopamas spēcīgas lietusgāzes, kas arī Hamburgā ir par iemeslu ievērojamai uzbūvēto nogāžu erozijai. Būvniecība Heidlandgraben kanāla jaunajā daļā tika realizēta tieši pēc ziemas perioda, tādēļ bija sagaidāmi erozijas bojājumi.

Lai uz kanāla smilšainās grunts uzbērto augsnes virskārtu pasargātu no virsmas erozijas bojājumiem, tika nolemts izmantot sintētisko preterozijas ģeopaklāju.

Ģeopaklājs vajadzīgajos izmēros, atbilstoši slīpumam (plus enkurgrāvis), tika sagriezts uz vietas būvobjektā. Mazā svara dēļ tas tika ieklāts ar rokām. Augsnes kārtas būvniecība tika veikta, izmantojot garās strēles ekskavatoru no kanāla pieejamās puses. Kanāla apakšā tika izveidots akmeņu bērums. Lai novērstu smilšainās grunts izskalošanos gadījumā, ja ūdens līmenis būtiski paaugstinās, gultnē zem akmeņu bēruma tika ieklāts neausts ģeotekstils ar atdalīšanas un filtrācijas funkciju. (Attēls 8-46).

Attēls 8-46. Drenāžas kanāla krastu nostiprinājuma būvniecība

Sintētiskā ģeopaklāja mākslīgais, UV stabilizētais sakņu tīkls nodrošina labāku augsnes virskārtas atbalstu tranšejas stāvajās nogāzēs – gan būvniecības posmā, gan arī vēlāk pēc apzaļumošanas. Pēc būvniecības pabeigšanas 2007. gadā veģetācija nostiprinājās ļoti īsā periodā. Objekta apsekošanas laikā 2021. gadā tika konstatēts, ka nostiprinājums kalpo labi un erozijas radīti bojājumi drenāžas kanālā netika novēroti (Attēls 8-47).

Attēls 8-47. Drenāžas kanāls pēc būvdarbu pabeigšanas un veģetācijas izveidošanās

8.8.2 Objekts – Audes upes dambja nostiprinājums, Francija

Audes upes palienes var tikt pakļautas lieliem plūdiem. Aizsargdambji, kas uzbūvēti aizsardzībai pret applūšanu, ierobežo slikto laikapstākļu ietekmi uz vietējiem iedzīvotājiem un saimniecisko darbību, taču šīs dabas parādības intensitātes un amplitūdas pieaugums ar laiku ir bojājis šīs aizsargkonstrukcijas. Tāpēc projekta īpašnieks SMDA (Syndicat Mixte du Delta de l'Aude) lūdza inženieru birojam BRLi (BRL Ingénierie) veikt pētījumus, lai nostiprinātu aizsprostu un novērstu pārplūdes ceļu posmā starp Sallèles-d'Aude un Coursan.

Audes upes palieņu applūšanas laikā pastāv ievērojams dambja bojājumu risks pārplūdes dēļ. Kad ūdens līmenis sasniedz dambja virsmas augstumu, tas plūst tam pāri un notiek nogāzes regresīva erozija, kas, atkarībā no pārplūdes ilguma un augstuma, var izraisīt pilnīgu dambja sabrukumu. Tāpēc bija nepieciešams definēt virsmas aizsardzības risinājumu, kas varētu izturēt līdz pat 15 cm pārplūdes augstumu.

Virsmas aizsardzības risinājumā tika lietots pildītais ģeopaklājs ar bitumena un 2-6 mm akmens šķembu maisījumu. Ar ģeopaklāju noklātā teritorijā ir pilnībā iespējams izveidoties veģetācijai.

Attēls 8-48. Pildītā ģeopaklāja ieklāšana Audes upes dambja nostiprinājumā

Attēls 8-49. Pildītā ģeopaklāja nostiprināšana Audes upes dambja nostiprinājumā

Risinājuma priekšrocības:

- augsta ūdens caurlaidība, kas novērš spiediena veidošanos nogāzē;
- ģeopaklāja svars 20 kg/m², ko nodrošina sīkšķembu un bitumena saistvielas pildījums, ierobežo augsnes daļiņu pārvietošanos no pamatnes;
- pildījuma lielais raupjums upes pārplūdes gadījumā samazina ūdens ātrumu uz aizsargājamās virsmas;
- ģeopaklāja augstā porainība ļauj veģetācijai izaugt cauri;

- pildītajam ģeopaklājam ir veikti UV lauka un laboratorijas testi, kas apstiprina tā augsto izturību pret laikapstākļiem.

8.8.3 Objekts A2 Rīga – Sigulda – Igaunijas robeža (Veclaicene) km 88,10 – 95,20

Objekts A2 Rīga – Sigulda – Igaunijas robeža (Veclaicene) km 88,10 – 95,20 uzbūvēts laika periodā no 2018. līdz 2019. gadam.

8.8.3.1 Būvprojekta dati

Objektā lietoti vairāki ceļa zemes klātnes iekšējo un ārējo nogāžu nostiprinājumu risinājumi ar ģeosintētiskajiem materiāliem:

- ceļa zemes klātnes iekšējās nogāzes augstos uzbērumos (> 5 m) ar slīpumu 1:1,5 nostiprināšanai lietots 100 % kokosa šķiedras dabīgs preterozijas paklājs;
- vairākās vietās ceļa zemes klātnes ārējās nogāzes ar slīpumu 1:1,5 nostiprinātas ar dolomīta šķembām 40/70 mm 20 cm biezumā virs kurām ar tērauda enkurāķiem nostiprināts sintētiskais ģeopaklājs ar tērauda stiegrojošo sietu – vīts tērauda siets ar cinka pārklājumu, ar acs izmēru 60x80 mm, stieples diametru 2,2 mm, sieta biezumu 12 mm, kombinēts ar preterozijas polipropilēna ģeopaklāju (stiepes stiprība 37 kN/m, īpatnējais svars 1,68 g/m^2), stiprinājums ar enkurāķiem, paredzētais enkurāķa minimālais garums 60 cm;
- būvdarbu izpildes laikā tika konstatēts, ka divās vietās ceļa labajā un kreisajā pusē aiz Bērzkroga krustojuma ar šķembām un sintētisko ģeopaklāju ar tērauda stiegrojošo sietu nostiprinātajās nogāzēs ir avoti;
- Pk 91+810 iekšējā nogāze ar slīpumu 1:3 nostiprināta ar ģeošūnām, kuru augstums h=10 cm, aizpildījums ar augu zemes un frakcionētu šķembu 20/40 mm maisījumu (augu zeme – 30 %, šķembas – 70 %);
- Pk 93+260 iekšējā nogāze, tās augšējā daļā nostiprināta ar gabioniem, kas balstīti uz pāļiem, nogāzes apakšējo daļu nostiprinot ar ģeošūnām, kuru augstums h = 10 cm, aizpildījums ar augu zemes un frakcionētu šķembu 20/40 mm maisījumu (augu zeme – 30 %, šķembas – 70 %).

8.8.3.2 Objekta apsekošana

Šī pētījuma ietvaros 2022. gada 13. jūlijā tika veikta objekta apsekošana, lai vizuāli novērtētu uzbūvēto ceļa zemes klātnes nogāžu nostiprinājumu risinājumu tehnisko

stāvokli. Apsekošanā piedalījās pētījuma darba grupas dalībnieki J. Melnis, A. Zariņš, A. Paeglītis, A. Strežs, J. Kivilands.

Konstatēts, ka lietotajiem nogāžu nostiprinājumu risinājumiem ar ģeošūnām, kā arī gabionu atbalstsienām nav vizuālu defektu un šo nostiprinājumu vizuālais tehniskais stāvoklis nodrošina to paredzēto funkcionalitāti.

Zem kokosa preterozijas paklāja tika konstatēti izskalojumi.

Savukārt ceļa zemes klātnes ārējo nogāžu nostiprinājumiem ar dolomīta šķembām 40/70 mm virs kurām nostiprināts sintētiskais ģeopaklājs ar tērauda stiegrojošo sietu daudzviet novērojama šī ģeosintētiskā materiāla atdalīšanās no šķembu kārtas, veidojot "viļņus". Izteikti tas tika novērots garās nogāzēs. Skatīt – Attēls 8-49. Vietām nedaudz noslīdējušas nogāzes nostiprinājumam lietotās šķembas. Nogāžu noturības defekti pārsvarā, izņemot divus tālāk norādītos gadījumus, netika konstatēti. Apskatot ģeosintētiskā materiāla stiprinājumu virs šķembām konstatēts, ka nostiprināšanai izmantotās tērauda skavas daudzviet tikai nedaudz vai pat nav iedzītas gruntī zem šķembām, bet atrodas praktiski tikai frakcionēto šķembu kārtā, kā arī ģeosintētiskā materiāla enkurojums nogāzes augšējā daļā ir vērtējams kā nepietiekams.

Divās vietās ceļa labajā un kreisajā pusē aiz Bērzkroga krustojuma ārējo nogāžu nostiprinājumiem ar dolomīta šķembām 40/70 mm virs kurām nostiprināts sintētiskais ģeopaklājs ar tērauda armējošo sietu ir izveidojušies nogāžu noslīdējumi pārmitrinoties nogāzes apakšējai daļai. Skatīt – Attēls 8-50. Nogāzes noslīdējums labajā pusē ir remontēts, iedzenot noslīdējuma zonā apmēram nogāzes vidū 3 m garus pāļus, iespējams, tas ir ierobežojis noslīdēšanas procesu.

Attēls 8-50. Pārmitrinātas ārējās zemes klātnes nogāzes noslīdējums

Attēls 8-51. Ģeosintētiskā materiāla atdalīšanās no šķembu kārtas, veidojot "viļņus"

Apsekošanas laikā konstatēts, ka ir vietas, kur ceļa zemes klātnes ārējās nogāzes ar līdzīgu slīpumu un augstumu, kā nogāzes, kuras nostiprinātas ar dolomīta šķembām 40/70 mm virs kurām ieklāts sintētiskais ģeopaklājs ar tērauda stiegrojošo sietu, ir nostiprinātas ar NN-3: zāliena sējumu ar augsnes bērumu. Defekti šādi nostiprinātās nogāzēs netika konstatēti.

8.8.3.3 Risinājumu un ietekmējošo faktoru analīze

Būvprojekta risinājumi, kā arī izpildītie būvdarbi attiecībā uz ceļa zemes klātnes nogāžu nostiprinājumiem ar ģeošūnām, kā arī gabionu atbalstsienām šobrīd uzskatāmi par veiksmīgiem, kas līdz šim ir nodrošinājuši to paredzēto funkcionalitāti bez novērojamiem defektiem vai kādiem vizuāli konstatējamiem bojājumiem. Gabionu atbalstsienu izmantošana kombinācijā ar ģeošūnu nostiprinājumu arī ir pamatota ar uzbēruma lielo kopējo augstumu (līdz 13 m) un vienlaicīgi ierobežojumiem zemes klātnes aizņemamajai platībai. Tādējādi posmos ar ģeošūnu nostiprinājumu un gabionu atbalstsienām ir nodrošināta nokrišņu un pazemes ūdeņu novadīšana no nogāzēm un ceļa zemes klātnes.

Kokosa preterozijas paklāji lietoti salīdzinoši augstās (> 5m) nogāzēs ar slīpumu 1:1,5, un ir izveidojušies izskalojumi, kas liecina, ka šāda tipa nostiprinājums nogāzēm ar slīpumu 1:1,5 un augstumu > 5 m nav piemērots.

Attiecībā uz ceļa zemes klātnes nogāzēm, kuras nostiprinātas ar dolomīta šķembām 40/70 mm, virs kurām ieklāts sintētiskais ģeopaklājs ar tērauda stiegrojošo sietu, atzīmējams sekojošais:

- nav rasts pamatojums kāpēc būvprojektā paredzēts veikt nogāžu papildus nostiprināšanu konkrētajās vietās, turklāt līdzīgu parametru nogāzes, kuras nostiprinātas ar zāliena sējumu ar augsnes bērumu ir bez defektiem, līdz ar to šī nostiprinājuma izmantošana šajā objektā nav pamatota;
- šķembu kārtas izmantošana uz nogāzes faktiski nepalielina nogāzes mehānisko noturību, lietotais risinājums var pasargāt pret eroziju;
- ģeosintētiskā materiāla atdalīšanos un "viļņu" izveidošanos izsaukusi tā nepietiekama nostiprināšana (pārāk īsas tērauda skavas, līdz ar to nepietiekama to pret-izraušanās spēja, nepietiekams enkurojums nogāzes augšējā daļā), kā arī, dažviet, šķembu noslīdēšana;
- divās vietās ceļa labajā un kreisajā pusē aiz Bērzkroga krustojuma ārējo nogāžu nostiprināšana ar šo risinājumu nav nodrošinājusi nogāzes pret sabrukumu, ko ir izraisījusi gruntsūdeņu izplūšana nogāzēs, tādējādi pārmitrinot nogāzes grunti, kura līdz ar to zaudē nepieciešamo mehānisko noturību. Būvprojekta izstrādes gaitā, iespējams, nekonstatēja šādas gruntsūdeņu lokālas izplūšanas vietas nogāzē, bet būvdarbu izpildes laikā tas tika konstatēts, tomēr nekādi piemēroti nogāzes nostiprinājuma risinājumi šīm konkrētajām situācijām netika izstrādāti.

8.8.3.4 Secinājumi un ieteikumi

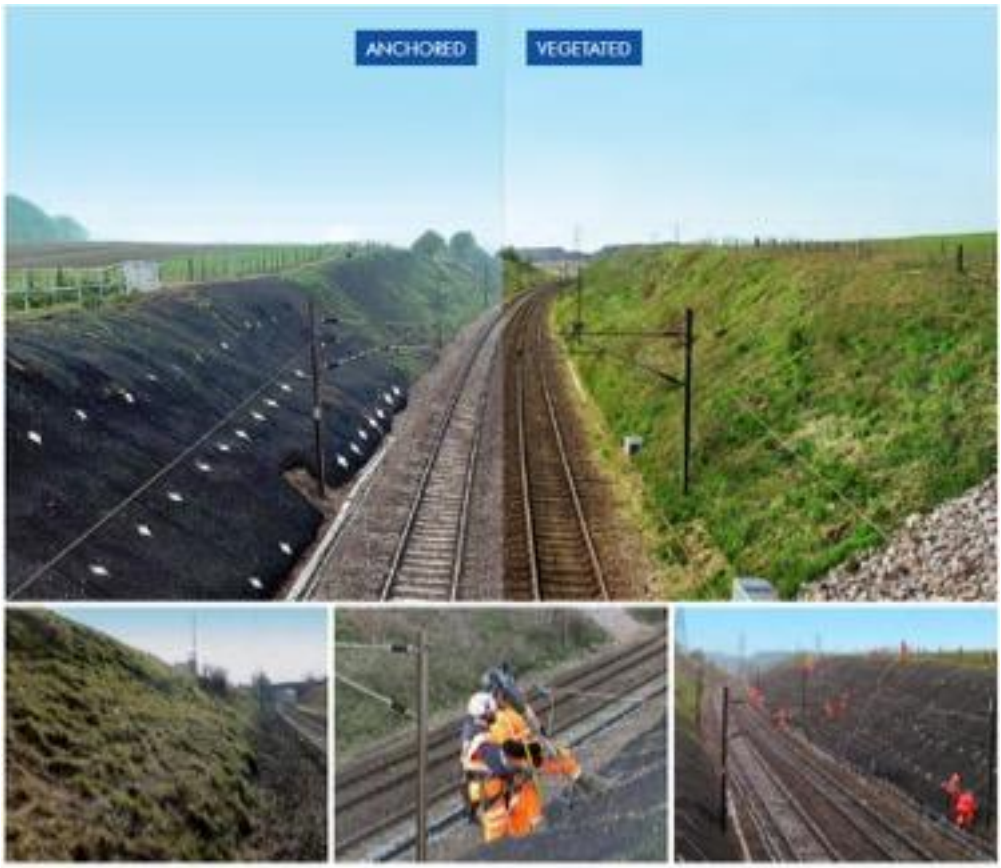
100% kokosa šķiedras bioloģiski noārdošu preterozijas paklāju lietošana nogāžu nostiprināšanai ar slīpumu 1:1,5 ir piemērota, bet šādi nostiprinātas nogāzes augstums nedrīkstētu pārsniegt 3-5 m (lielāks augstums pieļaujams, ja nav paredzama palielināta apjoma virsūdens pieplūde no ceļa virsmas).

Nogāzes pārmitrināšanos un noturības zudumu nav iespējams novērst tikai ar nogāzes virsmas nostiprinājumu. Ir jānovērš cēlonis – nekontrolēta gruntsūdens izplūde nogāzē, paredzot konkrētajiem apstākļiem atbilstošus gruntsūdens pārtveršanas un aizvadīšanas risinājumus. Konkrētu, drošu un racionālu nostiprinājuma risinājumu var izstrādāt tikai pēc atbilstoši mērķētu ģeoloģisko izmeklējumu veikšanas. Kā viens no ieteikumiem, ko varētu izvērtēt lietošanai šādā situācijā, ir izmantot grunts enkurus. Tos ir iespējams iebūvēt arī vienlaicīgi kopā ar drenāžu, tādējādi atrisinot gruntsūdeņu kontrolētu izplūšanu uz nogāzes virsmas (Attēls 8-52, Attēls 8-53 un Attēls 8-54).

Attēls 8-52. Grunts enkuru instalācija uzbūvētā nogāzē

Attēls 8-53. Grunts enkuru instalācija kopā ar drenāžu

Attēls 8-54. Grunts enkuru instalācijas nogāzēs piemēri – pirms/pēc



9 REFLEX pētījums 1999 – 2002 (Zviedrija, Somija)

REFLEX ir akronīms nosaukumam: "Elastīgu ceļu konstrukciju pastiprināšana ar tērauda režģi, lai pagarinātu kalpošanas laiku" ("Reinforcement of Flexible Road Structures with Steel Fabrics to Prolong Service Life"). Projekts tika uzsākts 1999. gada martā un pabeigts 2002. gadā. To koordinēja Zviedrijas Nacionālais ceļu un transporta pētniecības institūts. Projektu formāli finansēja Eiropas Kopiena Rūpniecības un materiālu tehnoloģiju programmas ietvaros (Brite-EuRam III), taču faktiski gandrīz visus 100% finanšu līdzekļus nodrošināja pati Zviedrija. REFLEX projekta galvenais mērķis bija izstrādāt jaunu ceļu būves un atjaunošanas metodiku, izmantojot tērauda stiegrojuma risinājumu asfalta pārklājumu risinājumiem un pastiprināšanai, lai padarītu ceļu konstrukciju rentablākas, palielinot to kalpošanas laiku. Tiek (līdz šim) pieņemts, ka šāds risinājums nodrošina plānākas segu konstrukcijas un/vai garāku segas dzīves ciklu, kā rezultātā iespējams samazināt būvniecības procesu negatīvo ietekmi uz vidi. Tāpat tiek sagaidīts uzturēšanas izdevumu, sastrēgumu un negadījumu samazinājums, ceļu satiksmes drošības uzlabojums. RELEX pētījuma gaitā ir tikuši sagatavoti virkne ziņojumu par šādām tēmām:

1. Tērauda stiegrojuma materiāla specifikācijas un konfigurācijas izpēte no tērauda režģa (pinuma).
2. Eksperimentālie pētījumi, kas nepieciešami teorētiskās modelēšanas datu iegūšanai un paātrināto testu un segas konstrukciju poligonu plānošanai.
3. Asfalta-tērauda režģa sistēmas un nesaistītā minerālmateriāla-tērauda režģa sistēmas lietojumu laboratoriskie pētījumi.
4. Pilna mēroga paātrinātie testi.
5. Esošo pastiprināto ceļu novērojumu analīze.
6. Pilna mēroga izmēģinājuma ceļu projektēšana un būvniecība.
7. Pilna mēroga testa ceļu veiktspēja.
8. Nestinga seguma modelēšana, kas pastiprināta ar tērauda režģi.
9. Nobeiguma ziņojums – Ekonomiskie un vides aspekti.
10. Nobeiguma ziņojums – VADLĪNIJAS.

Plašāku informāciju kādreiz varēja iegūt vietnē http://www.vti.se/reflex, taču tagad tā tur ir dzēsta. Līdz ar to daļa no šiem ziņojumiem netika iegūti. Turpmākajā apskatā

aplūkoti ir atsevišķās zinātniskās publikācijās un konferenču materiālos publicētie raksti.

Pētījums balstīts gan uz paātrinātās seguma testēšanas, gan eksperimentālo ceļa posmu testēšanas rezultātiem, kas salīdzināti ar laboratorijas rezultātiem. Paātrinātie testi tika veikti ar VTI rīcībā esošo simulatoru HVS-NORDIC. Projekta ietvaros tika izpētīti vairāki izmēģinājuma ceļi, daži jau esošie un daži tika uzbūvēti projekta laikā. Uz šiem rezultātiem balstītie secinājumi norāda uz pozitīvu ietekmi rišu dziļuma pieaugumam gan "plūsmas rišu testā", gan "nestspējas testā", bet nestspējas testā plaisu izplatīšanās pastiprinātajā konstrukcijā bija nedaudz lielāka. [170]

Saskaņā ar FWD mērījumiem, kas veikti Sundom un Ljungskile pilna mēroga testa posmos pēc viena gada satiksmes, netika novērotas būtiskas atšķirības starp pastiprinātām un nepastiprinātajām asfalta konstrukcijām. Taču atzīmēts, ka tas, iespējams, varētu mainīties, laika gaitā pieaugot nolietojumam. Tomēr tajā pašā testa posmā tika novērota ievērojami palielināta nestspēja pastiprinātai konstrukcijai pēc deformācijām saistes kārtas apakšējā virsmā, kā arī izturībā pret sala izraisītu plaisāšanu. [170]

Attēls 9-1. Pie tērauda režģa piestiprināti deformācijas mērītāji

Tāpat ticis secināts, ka stiegrojums ir efektīvs pret termoplaisām, pat esoša seguma pārklājumu risinājumos, un tikai ar salīdzinoši plānu pārklājumu. Tomēr pārklājuma biezumam jābūt lielākam par 40 mm. [170] Veicot detalizētāku esošas segas pārklājumu izpēti, tikuši izveidoti trīs šāda risinājuma posmi katrs 100m garumā. Divi

no tiem ar asfalta pārklājumu ar režģi, bet trešais ar asfalta pārklājumu bez režģa. Šajos posmos asfalta pārklājuma apakšā un pašā režģī tika uzstādīti pārvietojuma sensori (err), un posmu sega tika testēta ar FWD, mērīts rišu dziļums, IRI un veikts vizuāls monitorings. Mērķis bija definēts kā – identificēt potenciālos ieguvumus no asfalta pārklājuma risinājuma ar tērauda režģi. Sākotnējie deformācijas mērījumi asfalta pārklājuma apakšējā virsmā pēc viena gada ekspluatācijas pilnas satiksmes apstākļos uzrādīja daudz mazāku deformāciju pastiprinātajos testa posmos salīdzinot ar references posmu bez stiegrojuma. Secināts arī ka mērījumi uzrāda zemākas deformācijas vērtības stiegrotajām konstrukcijām, un ņemot vērā noteiktos deformāciju līmeņus, pastiprinātās konstrukcijas ekspluatācijas cikls pētītajā posmā varētu tikt pagarināts vismaz 2 reizes. Tomēr ir ļoti svarīgi atgādināt, ka šis secinājums ir balstīts uz ierobežotiem pētījumiem un mērījumiem. Tāpēc šie secinājumi ir jāpārbauda, turpinot sekot līdzi testa posmu uzvedībai. Tāpat arī ir atzīmēts, ka FWD mērījumu rezultāti var nesniegt ticamus rezultātus, mērot pastiprinātas konstrukcijas nestspēju vismaz neilgi pēc uzbūvēšanas.

Reflex pētījuma ietvaros ceļa segas konstrukcija, kas pastiprināta ar tērauda režģi, pētīta arī ar trīsdimensiju galīgo elementu modeli. Šo FEM aprēķinu mērķis bija noskaidrot stiegrojuma ietekmi pie vertikālās (satiksmes) slodzes, salīdzinot nepastiprinātu un stiegrotu sistēmu spriegumus un deformācijas dažādos temperatūras apstākļos. Tādējādi tika aplūkoti dažāda biezuma asfalta un režģa konstrukcijas izmēri un tā novietojuma varianti segas konstrukcijā. Tika pētīta stiegrojuma režģa novietojuma ietekme konstrukcijas iekšpusē, tā acs lieluma un seguma kopējā biezuma ietekme. Noskaidrots, ka atkarībā no stiegrojuma novietojuma var sasniegt dažādus mērķus. Ievietojot stiegrojumu virspusē, var aizkavēt rišu veidošanos, savukārt nestspēju var palielināt, novietojot tīkla konstrukciju asfalta kārtas apakšā. [171]

Tērauda režģa stiegrojuma izmantošanai nestingu segu konstrukciju nesaistītās kārtās aplūkota publikācijā. [172] Izpētes darbs aptver esošu ar tērauda režģi pastiprinātu ceļu konstrukciju monitoringu, izmēģinājuma ceļa uzbūvēšanu un uzraudzību Ziemeļzviedrijā, dažāda veida laboratorijas pārbaudes un pilna mēroga paātrinātās slodzes testu, kas veikts ar HVS. Kopumā ir novērots, ka stiegrojuma ietekme uz pastiprinātu nesaistīto kārtu konstrukciju elastīgajām reakcijām ir diezgan pieticīga. Tomēr ir arī novērota pozitīva tērauda režģa stiegrojuma ietekme uz segas konstrukcijas veiktspēju, piemēram, risu veidošanās aizkavēšanos, kas ir ievērojama, parasti no 20 % līdz 50 % apmērā.

Pētījuma ietvaros tika izveidots testa posms ar asfalta pārklājumu kurā iebūvēts tērauda režģis un tam divus gadus tika veikts monitorings. Monitoringa dati apkopoti ziņojumā. [173] Sākotnējie sala pacēlumu un gruntsūdens līmeņu un citu segas parametru mērījumi neuzrāda būtiskas atšķirības starp stiegrotiem un nepastiprinātajiem posmiem. FWD mērījumu rezultāti liecina, ka nestspēja ir nedaudz uzlabojusies, taču tie neuzrāda būtiskas atšķirības starp dažādiem posmiem. Vizuālā apskate liecina, ka tērauda stiegrojums, kas projektēts saskaņā ar ieteikto metodiku, nenovērš šķērseniskās plaisas, ko rada nevienmērīgi, īsi sala pacēlumi ceļa garenvirzienā, piem. gar seguma malām. Tomēr ir novērojama skaidra tendence, kas norāda, ka tērauda stiegrojums var novērst plaisāšanu, ko izraisa nevienmērīgi sala pacēlumi šķērsām pāri ceļam (termoplaisas). Konstatēts, ka stiegrojumam piemīt spēja novirzīt plaisas uz seguma malām. Konstatēts, ka ir īss laiks, aptuveni divi gadi, lai izdarītu galīgos secinājumus un noteiktu stiegrojuma ietekmi uz ceļa nestspēju. Vairāk informācijas par monitoringa turpinājumu pēc Reflex pētījuma noslēguma nav.

Galvenie secinājumi no REFLEX projekta ietvaros veiktajiem pētījumiem:

- asfalta stiegrojums ir efektīvs risinājums, pret garenvirziena sala deformāciju (kūkumošanās) plaisām;
- tērauda stiegrojuma ietekmi nestingās segas konstrukcijās parasti nevar izmērīt, izmantojot standarta FWD mērījumus vai analīzi;
- tērauda režģis jānovieto vai nu nesaistītā slāņa iekšpusē, vai starp asfalta slāņiem, bet ne tieši zem (plāna) asfalta seguma uz nesaistītā pamata;
- tērauda stiegrojums nesaistītajā pamatā uz ievērojamu laiku aizkavē rišu veidošanos, īpaši atkušņa periodā, kad pamata nestspēja ir viszemākā.;
- armatūras režģa acs izmēram (stieņu atstatumam) nav īpašas ietekmes uz pastiprināto konstrukciju veiktspēju;
- izmantojot Equivalent Layer koncepciju, daudzslāņu lineārās elastīgās modelēšanas pieeja šķiet piemērojama, ņemot vērā pastiprinājuma ietekmi segas mehānistiskajā projektēšanas metodē un analīzē;
- Reflex pētījumi nav vērtējami kā galīgi, vai pabeigti, taču tie sniedza ieskatu un norādīja uz tālāko pētījumu virzieniem, tādējādi tie kalpoja, ka nozīmīgs atskaites punkts un pamats tērauda režģu lietojumu ceļa konstrukcijā, lietderības, turpmākajiem pētījumiem.

Attēls 9-2. Ieklāts tērauda režģis

10 Ieteikumi izmaiņām un papildinājumiem Autoceļu būvdarbu specifikācijās

Ieteikumi izmaiņā un papildinājumiem Autoceļu būvdarbu specifikācijās pievienoti atsevišķā dokumentā pielikumā.

11 Ieteikumi ģeosintētisko materiālu projektēšanas personāla kvalifikācijai

11.1 Uzdevums

Atbilstoši darba uzdevumam ir jāveic izvērtējums un jāsniedz ieteikumi par nepieciešamo kvalifikāciju speciālistiem, kuri veic aprēķinus un projektē risinājumus ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu (turpmāk tekstā – ģeosintētiku speciālisti).

11.2 Esošā situācija

Ģeosintētisko materiālu lietošana ceļa konstrukcijās parasti nozīmē nepieciešamību pēc papildus drošības vai papildus noturības, tādējādi arī norādot uz papildus riskiem konkrētajā konstrukcijā, kurus tiek paredzēts novērst lietojot ģeosintētiskos materiālus. Vienlaicīgi tas nozīmē arī to, ka šāda konstrukcija prasīs papildus resursus. Situācijas un nepieciešamie risinājumi daudzos gadījumos būs komplicēti, un paļauties vienīgi uz standartizētiem risinājumiem nav laba doma. Iepriekšējā pieredze varētu būt ļoti noderīga. Praktiski visos komplicētajos gadījumos būs vajadzīga radoša pieeja, augsta kompetence un spējas izmantot komplicētas aprēķinu un modelēšanas metodes. Ņemot vērā salīdzinoši ierobežoto kopējo pieredzi risinājumos šādās situācijās, speciālista kvalifikācijai ir jāpievērš pastiprinātu uzmanību.

Saskaņā ar pasūtītāja sniegto informāciju, projektēšanas praksē sastopamas situācijas, kad projektētājs risinājumu ar ģeosintētiskajiem materiāliem nav spējis pamatot, vai pamatojis to pārlieku formāli, balstoties vienīgi uz materiāla izplatītāja vai ražotāja ieteikumiem, neanalizējot konkrētās situācijas specifiku un sagaidāmos konstrukcijas problēmu attīstības scenārijus. Vienpusējs vai neesošs pamatojums negarantē projektā izmantojamo materiālu un resursu efektivitāti un/vai nepieciešamību, vai arī to adekvātu lietojumu, tādējādi veicinot gan neefektīvu resursu izmantojumu, gan arī atsevišķos gadījumos tas, iespējams, ir bijis arī par iemeslu uzbūvētā objekta priekšlaicīgam kalpotspējas zudumam. Tāpēc nepieciešams noskaidrot vai precizēt no ģeosintētiku speciālista sagaidāmo prasmju apjomu un to pārbaudes mehānismu. Vienlaikus jāatzīmē, ka esošajā būvniecības procesa regulējumā paredzētā projekta risinājumu būvekspertīze neparedz nekādas, tajā skaitā specifiskas ģeotehnisko risinājumu pamatotības un pareizības pārbaudes. Līdz ar to jebkuras atsauces – gan projektētāja, gan būvētāja, uz šī instrumenta garantijām, ir liekas. Pašreizējā būvekspertīzes pakalpojuma organizēšanas prakse paredz arī pasūtītāja iniciatīvu tās nosacījumu veidošanai. Taču arī gadījumā, ja pasūtītājs ir būvekspertīzes darba uzdevumā iekļāvis likumā tieši neparedzētu pārbaužu veikšanu, šajā gadījumā

attiecībā uz ģeotehniskajiem risinājumiem, tad ir jāņem vērā, ka būvekspertīzes sertifikāta iegūšanai nav nepieciešamas un netiek pārbaudītas nekādas specifiskas zināšanas, t.sk. par ģeosintētiku, tās aprēķiniem un lietošanu. Tādējādi nav nekādas garantijas, ka būveksperts būs kompetents tās pārbaudīt.

Ģeotehniskajiem risinājumiem ceļu projektos ir nepieciešams radīt atsevišķu pārbaudes un garantiju mehānismu nozares ietvaros. Vai arī - jāpanāk ģeotehnisko risinājumu ietveršana reglamentētajā sfērā. Tad tas būs būveksperta pienākums, un iegūstot sertifikātu, šie jautājumi tiks iekļauti pārbaudes saturā. Un tad attiecīgi būs nepieciešams kāpināt visu ceļu būvekspertu kvalifikāciju un kompetences. Tas varētu būt apjomīgāks un grūtāk vadāms uzdevums. Jo jau šobrīd ir pamatotas šaubas par būvekspertīzes sertifikātu turētāju kompetenci. Viņiem tiek pārbaudīta tikai normatīvos (reglamentētajā sfērā) ietilpstošo prasību pārzināšana un ceļu projektēšanas nozarē ļoti neliela daļa jautājumu ir tur ietverti.

11.3 Situācijas, kurās nepieciešami specifiski (ģeotehniski) risinājumi

Risinot jautājumu par nozares speciālistu kvalifikācijas celšanu un pārbaudēm būtu jāprecizē situācijas, kurās ir nepieciešams izvirzīt un kādas papildus prasības ģeosintētiku speciālista kvalifikācijai, jo vairumā risinājumu tomēr nebūs nepieciešamas iepriekšminētās specifiskās zināšanas un pieredze. Tātad problēmu var sadalīt divās daļās:

1) nepieciešamās ģeosintētiku speciālista kompetences vienkāršiem ģeotehniskiem risinājumiem (mazi riski). Pārsvarā tie ir tipveida risinājumi, kuros aprēķins nav nepieciešams vai tas ir vienkāršs:
    a. nogāžu preterozijas nostiprināšana;
    b. gultnes nostiprināšana;
    c. asfalta armēšana virs esošās segas (atstarojošās plaisāšanas novēršanai);
    d. filtri, atdalīšana;
2) nepieciešamās ģeosintētiku speciālista kompetences sarežģītiem (specifiskiem) ģeotehniskiem risinājumiem (lieli riski un komplicēti aprēķini):
    a. nogāžu stabilitāte;
    b. uzbērumu sēšanās, deformācijas (ar spriegumu aprēķiniem);
    c. segas armēšanas speciāli gadījumi (ar spriegumu aprēķiniem);

d. drenāža (nosakot filtrācijas apjomu, ātrumu, depresijas līknes aprēķini).

Pirmajā gadījumā ir pamats pieņemt, ka ģeosintētiku speciālista kompetenci lietot šos risinājumus var apstiprināt viņa diploms, kas apliecina vismaz 1. līmeņa augstāko izglītību transportbūvju nozarē un sertifikāts ceļu projektēšanā. Sertifikāts šajā gadījumā apliecinās to, ka ģeosintētiku speciālists regulāri pilnveidojis un atjaunojis savas zināšanas, kā arī praktiski bijis projektēšanas procesā, līdz ar to viņš ir pietiekami kvalificēts tipveida risinājumu atbilstošai lietošanai.

Otrajā gadījumā būtu nepieciešams nopietnāks vērtējums un prasības, jo šie gadījumi prasa zināšanas un prasmes, kuru apguve nav ietverta augstskolas pirmā un otrā līmeņa studiju programmās. Šajos gadījumos parasti ir jārēķinās ar nestandarta risinājumiem, kas parasti prasa specifiskas izstrādes, līdz ar to padziļinātas zināšanas šādu risinājumu modelēšanai un ar to saistītajiem riskiem. Parasti šādos gadījumos ir jābūt kompetencēm darboties ar skaitliskiem modeļiem, skaitliskām metodēm, veidot šādus modeļus, noteikt tiem nepieciešamos (t.sk. nestandarta) parametrus u.tml.

11.4 Ieteikumi kvalifikācijas prasību noteikšanai speciālistiem sarežģītu ģeotehnisko risinājumu izstrādei

Nepieciešamība pēc specifiska aprēķina vai risinājuma parasti tiek identificēta pēc ģeotehniskās izpētes un ceļa trases projektēšanas darbu pabeigšanas, vai to laikā, tātad pēc praktiskas projektēšanas darbu uzsākšanas. Tas nozīmē to, ka projektēšanas uzdevumā un līdz ar to – projektēšanas darbu iepirkuma kvalifikācijas nosacījumos, nosakot stingras prasības projektētāja personālam, tās vairumā gadījumu būs pārspīlētas, un var novest pie nevēlama izmaksu pieauguma un konkurences trūkuma tajos objektos, kur tas nav nepieciešams. Bez tam - noteikt situāciju, kurā būs nepieciešama specifiska kvalifikācija (2. gadījums - liels risks) ir iespējams tikai pēc ģeotehniskās izpētes un plāna, garenprofila un konstrukcijas priekšlikumu projektēšanas. Līdz ar to šajā gadījumā tiek piedāvāti šādi iespējami risinājumi:

1) projektēšanas pakalpojumu iepirkumos visiem objektiem iekļaut prasību piedāvāt augstas kvalifikācijas ģeosintētiku speciālistu. Šāds risinājums nav ieteicams, jo:
    a. vairumā gadījumos nepamatoti sadārdzina izmaksas;
    b. devalvē kompetences vērtību, jo vairumā gadījumu piesaistītā speciālista kompetence nemaz netiks izmantota;
    c. tas radīs nenosegtu papildus pieprasījumu speciālistu tirgū, kas novedīs pie nevajadzīgām manipulācijām “pelēkajā” zonā, kas tad prasīs

pastiprinātu modrību, un attiecīgi – resursus, no pasūtītāja puses, lai spētu sekmīgi pildīt kopējo procesu vadības funkciju, kā arī, lai neveicinātu "specifisko" risinājumu nepamatotu parādīšanos projektos;

d. nebūtu vēlams sarežģītu ģeotehnisko risinājumu izstrādi ierobežot tikai ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu, kas pieprasot piedāvāt tieši ģeosintētiku speciālistu, var radīt šādu spiedienu;

2) paredzēt specifiskus ģeotehniskās projektēšanas gadījumus vai situācijas, kurām iestājoties (tās identificē projektētājs) projektētājam (jo projektētājs būs atbildīgs par rezultātu) līgumā ir paredzēta iespēja papildus piesaistīt speciālistu (t.sk. ģeosintētiku speciālistu), ja paša rīcībā atbilstoša speciālista nav, kura kvalifikācija atbilst augsta riska ģeotehnisko risinājumu projektēšanas kvalifikācijai, par papildus (iespējams, ar iepriekš fiksētiem nosacījumiem) samaksu (papildus līgumā paredzētajai);

3) izdalīt šādu risinājumu (ceļa posmu) izstrādi atsevišos projektos, ja ir jau iepriekš (pirms projekta iepirkuma) identificēta specifiska, komplicēta ģeotehniska problēma (≈ > 0,5 milj. EUR) Tas varētu dot atdevi ļoti komplicētos gadījumos (piemēram, kā iepriekš projektētos objektos: Madlienā, Tukumā, A10, Sabilē). Iepirkuma dokumentos attiecīgi jāiekļauj konkrētajiem specifiskajiem ģeotehniskajiem apstākļiem konkrēti nepieciešamo speciālistu (t.sk., ja nepieciešams, ģeosintētiku speciālista) kvalifikācijas prasības;

4) citi iespējami risinājumi.

Šādas situācijas būs salīdzinoši reti – ap ± 5 gadījumi gadā.

Citi ieteicamie risinājumi specifisku ģeotehnisko problēmu risināšanai:

- veidot centralizētus tandēmus vai konsīlijus šādu problēmu risināšanai;
- piesaistīt ārējo konsultantu, kura pienākumos būtu izvērtēt un apstiprināt vai noraidīt attiecīgā risinājuma nepieciešamību vai sniegt konsultāciju par iespējamiem risinājumiem šādos sarežģītos (augsta riska) ģeotehnisku problēmu gadījumos;
- jānosaka vai jāprecizē projektētāja atbildība (par kompetences trūkumu), gadījumā, ja viņš nav spējis adekvāti identificēt risināmo problēmu pēc datiem, kas iegūti atbilstoši standartos vai projektēšanas uzdevumā aprakstītajām procedūrām. Projektētājam ar atbilstošu izglītību un sertifikātu, lietojot standarta procedūras un izpētes nosacījumus, arī bez specifiskām padziļinātām

prasmēm kādās specifiskās ģeotehnisko risinājumu izstrādes metodēs, ir jāspēj adekvāti identificēt faktisko ģeotehnisko situāciju.

11.5 Kvalifikācijas prasības

Izvērtējot ģeosintētisko materiālu izmantošanu risinājumu projektēšanai, kā būtiskākās ir atzīmējamas šādas nepieciešamās prasmes:

1) identificēt un pamatot gadījumus, kad nepieciešams izvērtēt ģeosintētisko materiālu iekļaušanu risinājumā;
2) salīdzināt alternatīvus risinājumus, un izdarīt objektīvus un pamatotus secinājumus;
3) noteikt adekvātus ģeosintētisko materiālu lietošanas veidus un materiālus;
4) orientēties zināmajās un pamatotajās (nozares ietvaros publicētajās) aprēķinu metodēs, to lietošanas specifikā un rezultātu interpretācijā;
5) pārzināt esošās prakses pozitīvo un negatīvo pieredzi tipveida risinājumu lietojumā;
6) pārzināt esošās praksē aprakstīto problemātiku, risinājumus un to rezultātus, spēt izdarīt secinājumus un radīt individuālus projektēšanas algoritmus izmantojot pozitīvo un negatīvo pieredzi un to analīzes rezultātus.

Attiecībā uz maza riska risinājumiem aktuālas ir no 1) līdz 5) apakšpunktos nosauktās spējas. Augsta riska gadījumos papildus ir jāpārzina arī ģeotehnisko aprēķinu skaitliskās metodes un jāspēj tās patstāvīgi izmantot.

Kā jau iepriekš minēts zema riska risinājumiem ir pietiekama kvalifikācija, kuru garantē 1. līmeņa augstākā izglītība transportbūvju nozarē (bakalaurs). Attiecīgi augsta riska risinājumiem ir nepieciešama vismaz maģistra (ar papildus nosacījumiem prasmēm konstrukciju nestandarta modelēšanā, skaitlisko metožu lietošanā un rezultātu interpretācijā), bet vēlams doktora grāds, kas apliecina spēju patstāvīgi risināt sarežģītas situācijas, pierādīt un pamatot risinājumus. Šajos gadījumos, visticamāk, nebūs iespējams definēt un lietot standarta risinājumus vai procedūras. Šajos gadījumos ar lielu varbūtību būs nepieciešams modelēt konstrukciju, slodzes un simulēt to sagaidāmās ietekmes. Tātad būs nepieciešamas prasmes lietot skaitliskās metodes, noteikt papildus nestandarta parametrus un interpretēt rezultātus. To pilnvērtīgi apgūst tikai doktorantūras studiju programmās.

11.6 Prakse un citi kompetences apliecināšanas veidi

Ģeotehniskā projektēšana ir ļoti komplicēta joma, un tā strauji attīstās, tāpēc, lai saglabātu nepieciešamo kompetences līmeni, ir jābūt atbilstošai izglītībai un ir jāuztur kvalifikācija ar apmācībām par jaunākajām aktualitātēm ar ne retāk kā 3-5 gadu periodiskumu. Prakse vien negarantē kompetenci, tāpēc izglītības atjaunošana ir objektīvi nepieciešama. To var atjaunot gan organizētā veidā, gan pašmācības ceļā.

Praktiski, lai pārliecinātos par speciālista aktuālo kompetenci, jebkurā no pieminētajiem izglītības atjaunošanas variantiem, būtu nepieciešama pārbaude eksāmena vai testa, vai citā līdzīgā veidā. Taču jāatzīmē, ka līdzīga nepieciešamība ir arī jebkurā citā ceļu/tiltu projektēšanas jomā, tādējādi norādot uz to, ka šādas pārbaudes tad būtu nepieciešamas par visām nozares tēmām, ja tādas tiek noteiktas kādai no tām.

Kā iespējams izglītības līmeņa atjaunošanas risinājums, varētu būt arī atbilstošu kvalifikācijas kursu apmeklējumi, apmācību semināru vai programmu sekmīga apguve. Katrā ziņā, visticamāk, ir nepareizi un neefektīvi organizēt pārbaudes šaurā specializācijā, tikai par ģeotehniskajiem risinājumiem, jo ceļu projektēšanas inženierim tomēr būtu jāpārzina arī citas saistošās tēmas.

Iespēja apvienot minētās pārbaudes ar jau esošo sertifikācijas procesu prasītu ļoti būtiskas paša sertifikācijas procesa izmaiņas, tātad arī izmaiņas likumdošanā. Esošā sertifikācijas sistēma neprasa atkārtotus eksāmenus vai pārbaudes sekmīgi praktizējošiem un savu zināšanu kompetenci pastāvīgi uzturošiem speciālistiem. Taču, kā iepriekš norādīts, šāda pārbaude ir nepieciešama, lai pārliecinātos par speciālista kompetences esamību. Kā jau teikts – prakse vien nepierāda kompetenci. Tādējādi nepieciešamās būtiskās izmaiņas būtu:

- regulāru pārbaužu ieviešana arī būvniecības sertifikācijas jomās;
- šīs jomas būtisko prasību standartizēšana, jeb iekļaušana normatīvos, jo šobrīd sertifikācijas procesā eksaminācijas procesos pārsvarā tiek pārbaudīta tikai aktuālo normatīvo dokumentu un specifikāciju pārzināšana.

Viss iepriekš aprakstītais par kompetences apliecināšanas iespējām gan būtu attiecināms vienīgi uz maza riska risinājumiem. Tikai šajos gadījumos pārbaudes institūciju kompetence varētu būt līdzvērtīga nepieciešamajai speciālista kompetencei. Ja runa ir par kvalifikācijas pārbaužu mehānismu augsta riska gadījumu projektēšanai, tad visticamāk vienīgi doktora (vai maģistra – ar nosacījumiem, skat. iepriekš) diploma esamība apliecina varbūtību, ka speciālists ir gatavs darboties šajā līmenī.

Pasūtītājam gan šajā gadījumā vajadzētu pārdomāt un izvērtēt kādu papildus nosacījumu – speciālista kompetences un viņa risinājumu, aprēķinu izskatīšana, vērtēšana, akceptēšana utt. prasīs no pasūtītāja (vai cita vērtētāja) vismaz nepieciešamo šāda augsta līmeņa kompetenci. Pretējā gadījumā nebūs iespējams objektīvi izvērtēt vai speciālista prasmes tiešām atbilst definētajām augstajām prasībām.

11.7 Ieteikumi

Ieteiktie ģeosintētiku speciālista kvalifikācijas prasību realizācijas risinājumi:

1. variants

1) visus ģeotehnisko risinājumu gadījumus iedalīt divos līmeņos:
    a. maza riska risinājumi, kuri ietver pārsvarā tipveida risinājumus:
        i. nogāžu preterozijas nostiprināšana;
        ii. gultnes nostiprināšana;
        iii. asfalta armēšana virs esošās segas (atstarojošās plaisāšanas novēršanai);
        iv. filtri, atdalīšana;
    b. liela riska risinājumi, kuriem nepieciešami komplicēti aprēķini un ar kuriem saistītās izmaksas prasa argumentētu, objektīvu pamatojumu un garantijas risinājuma atbilstošai funcionalitātei. Tie būtu:
        i. nogāžu stabilitāte;
        ii. uzbērumu sēšanās, deformācijas (ar spriegumu aprēķiniem);
        iii. segas armēšanas speciāli gadījumi (ar spriegumu aprēķiniem);
        iv. drenāža (nosakot filtrācijas apjomu, ātrumu, depresijas līknes aprēķini);

Piezīme 1. Risinājuma riska pakāpi nosaka projektētājs vai pasūtītājs iespējami agrā projektēšanas stadijā.
Piezīme 2. Katram no šiem gadījumiem ir piemērojamas atšķirīgas kvalifikācijas prasības.

2) ievērojot to, ka 80-90% projektu būs vajadzīgi tikai maza riska risinājumi, šajos gadījumos nekādas prasības papildus jau esošajām nebūtu nepieciešamas. Vēlams vienīgi sekot līdzi projektētāju speciālistu tālākizglītības procesam. Var organizēt kompetences pārbaudi institūcijas vai nozares līmenī (prakse + izglītība):
    a. prakse – praktiskā pieredze būvprojektu ar ģeosintētisko materiālu lietojumu izstrādē;

b. izglītība – eksāmens vai tests, vai izglītības atjaunošanas apliecināšana ar apmeklētiem atbilstošiem kvalifikācijas kursiem vai apmācībām, vai kombinācija – tests + kursi, paredzot iespēju apliecināt kvalifikāciju arī ar apmācībām pašmācības ceļā;

c. iespējams, paralēli sertifikācijas procesam prasot uzrādīt kompetenci specifiskajās tēmās (piemēram: tipveida ģeotehniskie risinājumi) – ar kursiem, eksāmeniem vai citādi;

d. pārbaudot kompetenci pašā sertifikācijas procesā, tam tad ir nepieciešams izstrādāt un ieviest attiecīgas procedūras;

3) identificējot nepieciešamību pēc liela riska risinājuma, ir piesaistāms augstākas kvalifikācijas speciālists kādā no pasūtītāja akceptētajām formām (variantus skat. tekstā iepriekš);

4) liela riska risinājumiem ir nepieciešams nodrošināt speciālistu ar doktora vai maģistra (ar papildus nosacījumiem, skat. iepriekš) grādu, kas apliecina spēju patstāvīgi risināt problēmsituācijas, un pierādīt, pamatot risinājumus. Kvalifikācijas apliecināšana ietver atbilstoša diploma uzrādīšanu. Akcentējama arī projektētāja atbildība, un dotās garantijas izstrādātajiem risinājumiem.

2. variants

Speciālista kvalifikācijas uzturēšanai un pārbaudei organizējamas vai nu esošajā sertifikācijas procesā integrētas apmācības, vai arī konkrēta pasūtītāja organizēti iekšēji izglītojoši pasākumi (apmācības), tādi kā:

- ∇ semināri un/vai kursi;
- ∇ attālināti kursi un/vai semināri;
- ∇ eksāmeni, testi.

Šo pasākumu mērķis ir iepazīstināt dalībniekus ar jaunākajām tendencēm, risinājumiem, iespējām utt., kā arī pārliecināties par iegūto kompetenci. Pasākumiem vajadzētu būt mērķtiecīgiem ar konkrētu programmu un saturu, kuri regulāri jāatjauno. Programmas apguves pilns cikls varētu būt 3-5 gadi, un tam ar šādu ciklu jāparedz pārbaudes. Vēlams paredzēt brīvu izvēli izglītības papildināšanas risinājumam, t.i. pašmācības ceļā, jebkurā atbilstošā mācību iestādē, organizētajos kursos, vai apgūstot un iepazīstoties ar metodisko literatūru, t.sk. šī pētījuma rezultātā izstrādāto rokasgrāmatu, kā arī citos pasākumos. Obligāta šādā gadījumā būtu tikai kompetences pārbaude.

Ir vairāki apakšvarianti:

1) papildus jau esošajam sertifikācijas procesam un tajā apskatāmajām tēmām, jautājumiem iekļaut tēmas un jautājumus par ģeosintētiskajiem materiāliem;

2) papildus jau esošajam sertifikācijas procesam un tajā apskatāmajām tēmām, jautājumiem tur paredzēt arī citas, vai visas trūkstošās un aktuālās tēmas un jautājumus par ceļu projektēšanu (ceļa sega, ūdens atvade, zemes klātne, satiksmes drošība u.c.).

Kvalifikāciju apliecina ar sekmīgi nokārtotiem paredzētajiem pārbaudījumiem (eksāmeniem).

3. variants

Šajā variantā nav paredzēti nekādi papildus risinājumi vai papildus prasības jau esošajām. Bet ir maksimāli jāierobežo tādu projekta risinājumu izmantošana, kuru lietderību un atbilstību likumu normām un konstrukcijas vēlamajai kalpotspējai iesaistītie speciālisti nevar pilnvērtīgi izvērtēt un garantēt risinājuma atbilstošu kalpotspēju. Respektīvi, risinājumu komplicētība ir jāierobežo līdz tam projektētāja un pasūtītāja atbildības līmenim, kuru uztur un garantē esošais būvniecības procesa normatīvais regulējums.

4. variants

Pasūtītājs iepriekš identificē un projekta iepirkumā definē nepieciešamo speciālista kompetenci konkrēta būvprojekta ietvaros (piemēram, nogāžu prerterozijas nostiprinājums, drenāžas tranšeja, asfalta pārklājums + armēšana vai tml.). Kvalifikāciju, jeb kompetenci apliecina ar pierādāmu projektēšanas praksi noteiktajiem risinājumiem. Šajā gadījumā var būt runa vienīgi par tipveida risinājumiem, jo individuāli, specifiski gadījumi atkārtosies ar mazu varbūtību.

Kvalifikāciju apliecina ar attiecīgu praksi – reāli projektētiem risinājumiem.

Šis variants, no šeit uzskaitītajiem, to lietojot, vismazāk veicinās veselīgu konkurenci projektēšanas tirgū.

12 Ieteikumi turpmākiem pētījumiem

Šī pētījuma rezultāti, izstrādātā Rokasgrāmata un Specifikācijas būs nozīmīgs papildinājums ģeosintētisko materiālu izsvērtai un pamatotai lietošanai autoceļu konstrukcijās. Tajā pašā laikā arī nākotnē jāturpina attīstīt un pilnveidot iesākto. Ieteikumi turpmākajām izstrādēm un/vai pētījumiem:

- veikt regulārus mērījumus (pavasarī, vasarā) ar FWD eksperimentālajā būvobjektā a/c P37 Pļaviņas – Madona – Gulbene km 57,800 – 57,917 labajā joslā, apkopot un analizēt mērījumu rezultātus;
- turpināt attīstīt un pilnveidot izstrādāto Rokasgrāmatu un Specifikācijas, regulāri ieviešot pārbaudītus jaunākos materiālus, izstrādes, tehnoloģijas, atziņas;
- paredzēt veikt pētījumus šaurākās, specifiskās ģeosintētisko materiālu lietošanas sfērās, ar eksperimentālu objektu, posmu vai sekciju izbūvi, tajā brīdī aktuālākajiem, lietotākajiem ģeosintētisko materiālu lietošanas veidiem, ar mērķi tos salīdzināt, vai/un izstrādāt vai pārbaudīt aprēķinu algoritmus, vai ko citu, piemēram:
  - dažādu ģeosintētisko materiālu efektivitāti;
  - ģeosintētisko materiālu efektivitāti, salīdzinot ar tipiskiem vai citāda veida inovatīviem risinājumiem bez ģeosintētisko materiālu izmantošanas;
  - dažādu konstrukciju ar ģeosintētiskajiem materiāliem salīdzinošo efektivitāti.

Izmantotā literatūra

[1] I.Gorda; O.Koemecs; R.Kivliņš, «Bituminēto segumu atjaunošana/ Pētījums,» Latvijas Valsts ceļi, Rīga, 2021.

[2] VSIA "Latvijas Valsts ceļi" ABS 2023/1, *Autoceļu būvdarbu specifikācijas 2023/1,* Riga, 2022.

[3] E. Krūmiņš, Ieteikumi ceļu projektēšanai. Ceļa sega, Rīga, 2020.

[4] Sanjay Kumar Shukla; Jian-Hua Yin, Fundamentals of Geosynthetic Engineering, 2006.

[5] S. K. Shukla, Hanbook of Geosynthetic Engineering Geosynthetics and their applications Second edition, London: ICE Publishing.

[6] A. HA, «Sythetic material filters in coastal protection,» *Journal of Waterways and Harbours Division, ASCE,* pp. 111-124, 1961.

[7] R. Koerner, Geotextiles: From Design to Applications, 2016.

[8] Healy KA un Long RP, «Prefabricated subsurface drains,» Highway Research Record, 1971.

[9] R. Holtz, «Recent developments in reinforced earth. Proceedings of the 7th Scandinavian Geotechnical Meeting,» Polyteknish Forlag, 1975.

[10] J. Piug, J.C. Bivelet, P. Pasquet, «Earth fill reinforced with synthetic fabric. Proceedings of the International Conference on the Use of Fabrics in Geotechnics.,» Paris, 1977.

[11] A. Simon, M. Payany, J. Puig , «The use of honeycombed geotextile lap to combat erosion. Proceedings of the 2nd International Conference on Geotextiles,» Las Vegas, 1982.

[12] LVS EN 13249, Ģeotekstīlijas un ģeotekstīliju izstrādājumi. Nepieciešamie raksturojumi to lietošanai ceļu un citu satiksmes platību būvniecībā (izņemot dzelzceļus un asfalta segumus).

[13] Bontexgeo, «https://bontexgeo.com/applications/roads,» [Tiešsaiste]. [Piekļūts 2024].

[14] Typar, https://www.typar.com, Typar, 2024.

[15] Robert D. Holtz, Ph.D., P.E., Barry R Christopher, Ph.D., P.E. and Ryan R. Berg, P.E., 2008.

[16] B.A. Mir; Saba Ashraf, «Evaluation of Load-Settlement Behaviour of Square Model Footings Resting on Geogrid Reinforced Granular Soils,» 2018.

[17] «http://www.kreennewmaterials.com/en/channels/50.html,» [Tiešsaiste].

[18] Tensar, «https://www.tensar.co.uk/physical-properties-of-geogrids,» [Tiešsaiste]. [Piekļūts 2024].

[19] Tensar, «https://www.tensarcorp.com/getattachment/a0bac181-91df-463b-b7ab-c5f642ac92b5/InterAx_NX750_TIC_04-21-Material-Property-Data-Sheet.pdf,» [Tiešsaiste]. [Piekļūts 2024].

[20] J. Kupec & A. McGown, A. Ruiken, JUNCTION STRENGTH TESTING FOR GEOGRIDS, University of Strathclyde, Glasgow, UK, Technische Universität Darmstadt, Germany.

[21] N. Wrigley, «The Durability and Aging of Geogrids,» Elsevier Aool. Sci., London and New York, 1989.

[22] SBRCURnet/CROW, «Geosynthetics for Reinforcement of Unbond Base and Subbase Pavement Layers; Guideline for Determining the improvement Factors and Design of Reinforcement Geosynthetics in Road Building,» 2018.

[23] Berg R R, Christopher B R, Perkins S,, «Geosynthetic reinforcement of the aggregate base/subbase courses of pavement structures. GMA White Paper II,,» Published for the Geosynthetic Materials Association by: Ryan R Berg & Associates, Woodbury, MN, USA , 2000.

[24] Perkins S W, Christopher B R, Cuelho E L, Eiksund G R, Hoff I, Schwartz C W, Svanø G, Watn A, «Development of design methods for geosynthetic reinforced flexible pavements. FHWA Report Ref.,» Department of Civil Engineering, Montana State University – Bozeman, Montana, 2004.

[25] Nigel E. Wrigley, Zheng Hong, «THE CONFINEMENT EFFECT OF DIFFERENT GEOGRIDS,» Proceedings of EuroGeo 4, paper 243., Edinburgh, 2008.

[26] N. G. &. C. KG, « Secant stiffness, TN-SG 3,» 2010.

[27] N. G. &. C. KG, «Radial stiffness, TN-SG 1,» 2010.

[28] S. K. K. HUSSAINI, «An Experimental Study on the Deformation Behavior of Geosynthetically Reinforced Ballast,» University of Wollongong, 2013.

[29] Dr. Sz. Fischer, T. Szatmári, «Investigation of the geogrid-granular soil combination layer,» EuroGeo 6 , 2016.

[30] Dr. Ferenc Horvat, Jonathan Cook, «Assessment of particle confinement within a mechanically stabilised,» Berlin, 2014.

[31] F. Horvat, J. Klompmaker, «Investigation of Confinement Effect by using the Multi-Level Shear,» Berlin, 2014.

[32] Geosynthetica - Texas Research International company, «https://www.geosynthetica.com/deformation-behavior-geogrid-pavement-bases-gap2019,» [Tiešsaiste]. [Piekļūts 2024].

[33] Eli Cuelho, Steve Perkins, Zachary Morris, «RELATIVE OPERATIONAL PERFORMANCE OF GEOSYNTHETICS USED AS SUBGRADE STABILIZATION FHWA/MT-14-002/7712-251,» Western Transportation Institute, Montana State University - Bozeman, 2014.

[34] Barksdale, R.D., Brown, S. F., and Chan, F.,, «Potential benefits of geosynthetics in flexible pavement systems, National Cooperative Highway research Program Report No. 315,,» Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, , 1989.

[35] A. Markiewicz , E. Koda, J. Kawalec, «Geosynthetics for Filtration and Stabilisation: A Review,» MDPI, Basel, Switzerland, 2022.

[36] H. Zanzinger, « Laboratory testing of geogrids and geocells used for the function stabilisation,» In Proceedings of the 8th National Turkish Geosynthetics Conference, Istanbul, Turkey, 2019.

[37] E. T. r. T. 041, «Non-reinforcing hexagonal geogrid for the stabilization of unbound granular layers by way of interlock with the aggregate,» 2017.

[38] Zanzinger/Alexiew, «Modified multiaxial tensile tests with geogrids in soil contact,» 2022.

[39] B. M. P. C. F. Colin J. F. P. Jones, Earth reinforcement and, NY: Thomas Telford edition, 1996.

[40] N. Wrigley, «The Creep-Limited Strength of E'GRID 50-170R Based on 10,000+hr. Testing,» 2007.

[41] «https://geosyntheticsmagazine.com/2021/02/09/50-years-of-huesker-hatelit-asphalt-reinforcement,» [Tiešsaiste].

[42] T. 3. Edition, «Technical Guideline: Asphalt reinforcement for Road Construction,» Published by Sabita, 2022.

[43] RSTA, «RSTA Code of Practice for Geosynthetics and Steel Meshes for Inhibiting Cracking in Bituminous Bound Layers/ CODE OF PRACTICE FOR GEOSYNTHETICS AND STEEL MESHES/ January 2012,» 2012. [Tiešsaiste]. Available: https://me-design.com/medesign/data/Reflection%20Cracking_Addendum%20to%20MOP_25December2015.pdf?AspxAutoDetectCookieSupport=1. [Piekļūts 2024].

[44] Researchgate, «https://www.researchgate.net/figure/Thermal-cracking-of-asphalt-pavements_fig2_269224595,» [Tiešsaiste]. [Piekļūts 2024].

[45] Researchgate, «https://www.researchgate.net/figure/Fatigue-cracks-and-pothole-in-National-Highway-1A-located-near-Thu-Duc-District-Ho-Chi_fig1_348054470,» [Tiešsaiste]. [Piekļūts 2024].

[46] J.P.Giroud, and L. Noiray, «Design of geotextile reinforced unpaved roads,» Proceedings from ASCE Geot.Ergrg.Div.

[47] R. M.Koerner, Designing with geosynthetics, New Jersey: Pearson Education, Inc, 2012.

[48] Edition, TG3 3rd, «Technical Guideline: Asphalt reinforcement for Road Construction,» Published by Sabita, 2022.

[49] G. Mannsbart, «Asphalt Interlayer Systems – Their Application and their Specification,» EuroGeo 6 , September 2016.

[50] Suits, D., Marienfeld, M., and Baker, T., «Paving fabric interlayer as a pavement moisture barrier,» TRB, Washington, 1999.

[51] T. S. T. a. M. R. S. MRTS104, «Asphalt Geosynthetics for Delaying Pavement Reflective Cracking,» Department of Transport and Main Roads, The State of Queensland, July 2022.

[52] E. I. 3146, «Plastmasas. Puskristālisku polimēru kušanas parametru noteikšana (kušanas temperatūra vai kušanas diapazons) ar kapilārās caurules un polarizācijas mikroskopa metodēm».

[53] B. R. H. S. A. a. Z. A. Christopher, «Roadway base and subgrade geocomposite drainage layers. In Testing and pelformance of geosynthetics in subsurface drainage,» eds J. S. Baldwin and L. D. Suits, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, ASTM STP 1390, 1999.

[54] «https://www.abg-geosynthetics.com/technical/buildings/groundwater-drainage-geocomposites-vs-gravel/,» [Tiešsaiste].

[55] I. 18228-4:2022, «Design using geosynthetics — Part 4: Drainage,» 2022.

[56] L. E. I. 12958-2:2021, Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Ūdens plūsmas caurlaidības noteikšana izstrādājuma plaknē. 2.daļa. Veiktspējas tests.

[57] M. S. Kumar, «Soil Erosion and its Types,» 2020.

[58] R. M.Koerner, Designing with geosynthetics, New Jersey: Pearson Education, Inc, 2005.

[59] S. Dehne, «Basic Soil Erosion and Types,» 2015.

[60] H. K. M. H. A. J. Caroline Wegner, «Handbook on Integrated Erosion Control/ A Practical Guide for Planning and Implementing Integrated Erosion Control Measures in Armenia,» 2018.

[61] P. Rimoldi, «Design of geosynthetics for erosion control on slopes,» 2016.

[62] P. Rimoldi, 2020.

[63] E. I. 13426-1, «Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Iekšējo struktūrsavienojumu stiprība. 1.daļa: Ģeošūnas».

[64] R. Koerner, Geotextiles From Design to Applications, Woodhead Publishing is an imprint of Elsevier, 2016.

[65] «https://rhmooreassociates.com/products/erosion-control/tencate-geotubes-for-shoreline-protection.html,» [Tiešsaiste].

[66] P. Šķēls; A. Strežs; A. Paeglītis; U. Senkāns; J. Kivilands, «Ceļa zemes klātnes grunts nestspējas nodrošināšanas risinājumu izstrāde,» 2019.

[67] BSI, *BS8006-1: Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills,* London: British Standards Institution, 2012.

[68] Shukla, Sanjay Kumar, Hanbook of Geosynthetic Engineering Geosynthetics and their applications Second edition, London: ICE Publishing.

[69] BBA, «British Board of Agrément (BBA),» 44 Bytes Ltd, 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://www.bbacerts.co.uk/mybba/. [Piekļūts 1 January 2023].

[70] CIRIA SP123, «Soil Reinforcement with Geotextiles,» 1996.

[71] D. Romeo, P. Pezzano un P. Rimoldi, «Short-term design of geosynthetic-reinforced embankments on soft foundation soils,» %1 *7th EuroGeo Conference*, 2022.

[72] *LVS EN 1991-2:2004 A 1.Eirokodekss: Iedarbes uz konstrukcijām - 2.daļa: Satiksmes slodzes tiltiem.*

[73] M. Topolnicki, «Technical paper: Road traffic loads for geotechnical analyses of embankments,» Ground Engineering, 2020.

[74] A. J. Bond un A. J. Harris, Decoding Eurocode 7, Taylor & Francis, 2008.

[75] Building Research Establishment (BRE), *Working platforms for tracked plant: good practice guide to the design, installation, maintenance and repair of ground-supported working platforms,* Garston, Watford WD25 9XX: BRE Bookshop, 2004.

[76] *LVS EN 16228-1+A1:2022 Urbšanas un pamatu likšanas iekārtas. Drošums. 1.daļa: Kopējās prasības.*

[77] G. Festag un R. Katzenbach, «Material behaviour of dry sand under cyclic loading,» %1 *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Soil mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 1, pp. 87-90*, Istambul, 2001.

[78] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. , *Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements - EBGEO,* 2011.

[79] S. v. Eekelen un M. Brugman, «Design Guideline Basal Reinforced Piled Embankments. Revision of the Design Guideline CUR226,» 2016. [Tiešsaiste]. Available: https://www.crcpress.com/Design-Guideline-Basal-Reinforced-Piled-Embankments/Eekelen-Brugman/9789053676240.

[80] *LVS EN 14475:2006 Speciālo ģeotehnisko darbu veikšana. Nostiprināts uzbērums.*

[81] TenCate Geosynthetics, *TenCate GeoDetect Fiber Optic Sensing Geosynthetics,* 2015.

[82] LVS 190-5:2011, *Ceļu projektēšanas noteikumi. 5. daļa: Zemes klātne,* 2011.

[83] Greenbuilding Encyclopaedia UK, 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://greenbuildingencyclopaedia.uk/wp-content/uploads/2014/07/Full-BSRIA-ICE-guide..

[84] *LVS EN 1997-2 7. Eirokodekss. Ģeotehniskā projektēšana. 2. daļa: Pamatnes grunts izpēte un testēšana.*

[85] *LVS EN ISO 14688-2 Ģeotehniskā izpēte un testēšana - Augsnes identificēšana un klasificēšana - 2.daļa: Klasificēšanas principi.*

[86] *LVS EN ISO 22475-1 Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Paraugošanas metodes un gruntsūdens līmeņa mērīšana. 1. daļa: Izpildes tehniskie principi.*

[87] *LVS EN ISO 22476-1 Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka izmēģinājumi. 1. daļa: Penetrācijas testi ar elektrisko un pjezokonusu.*

[88] *LVS ES ISO 22476-9 standarta Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka izmēģinājumi. 9. daļa: Tests ar lauka spārniņgriezes ierīci.*

[89] Xiaohui Suna, Jie Hanb, Yanru Zhaoc, Jun Guod, Liping Huange, Wuyu Zhangf, Analysis of geosynthetic-stabilized base course over a subgrade considering base modulus degradation in a transversely isotropic layered elastic system. Computers and Geotechnics. Computers and Geotechnics 125 (2020) 103668, 2020.

[90] PEKETI MADHU GANESH YADAV, SINGALAREDDY BHARATH, MEKALA MANOJ KUMAR, USAGE OF GEOGRIDS IN FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN, Department of Civil Engineering JNTUA College of Engineering Pulivendula-516390, 2018.

[91] Jorge G. Zornberg, G. Hossein Roodi, Subramanian Sankaranarayanan & Luis Alberto Hernandez-Uribe, «Geosynthetics in roadways: Impact in sustainable development. Proceedings of the 11th International Conference on Geosynthetics. 16-21 September. Korea,» Seoul, 2018.

[92] T. P. K. G. M. Imjai, «Performance of geosyntheticreinforced flexible pavements in full-scale field trials,» *Geotextiles and Geomembranes,* sēj. 47, nr. 2, pp. 217-229, 2019.

[93] Q. H. S. A.-F. M. M. L. Chen, «Performance evaluation of full-scale geosynthetic reinforced flexible pavement,» *Geosynthetics International,* sēj. 25, nr. 1, pp. 26-36, 2018.

[94] X. S. S. P. A. Tang, «Mechanistic-empirical approach to characterizing permanent deformation of reinforced soft soil subgrade,» *Geotextiles and Geomembranes,* sēj. 44, nr. 3, pp. 429-441, 2016.

[95] F. L. X. L. R. L. R. H. E. S. R. Gu, «Numerical modeling of geogrid-reinforced flexible pavement and corresponding validation using large-scale tank test,» *Construction and Building Materials,* sēj. 122, pp. 214-230, 216.

[96] X. H. J. K. J. P. R. W. M. Sun, «Radial stresses and resilient deformations of geogrid-stabilized unpaved roads under cyclic plate loading tests,» *Geotextiles and Geomembranes,* sēj. 43, nr. 5, pp. 440-449, 2015.

[97] J. G. M. Leng, «Characteristics of Geogrid-Reinforced Aggregate Under Cyclic Load,» *Journal of the Transportation Research Board,* sēj. 1786, nr. 1, pp. 29-35, 2002.

[98] M. Korulla, «Design approach for geogrid reinforced flexible pavement. New technology for road construction,» Lucknow, 2017.

[99] B. R. Christopher, «GEOGRIDS IN ROADWAY AND PAVEMENT SYSTEMS,» 2010.

[100] S. P. B. H. C. e. a. Scheiner, «Loading of soil-covered oil and gas pipelines due to adverse soil settlements – protection against thermal dilatationinduced wear, involving geosynthetics,» *Comput. Geotech.,* sēj. 33, nr. 8, pp. 371-380, 2006.

[101] Y. H. J. P. R. Jiang, «Numerical evaluation of secondary reinforcement effect on geosynthetic-reinforced retaining walls,» *Geotext Geomembr.,* sēj. 48, nr. 1, pp. 98-109, 2020.

[102] R. S. G. Kerry Rowe, «Numerical analysis of geosynthetic reinforced retaining wall constructed on a layered soil foundation,» *Geotext Geomembr. ,* sēj. 19, nr. 7, pp. 387-412, 2001.

[103] J. M. D. Borges, «Geosynthetic-reinforced and jet grout column-supported embankments on soft soils: numerical analysis and parametric study,» *Comput. Geotech.,* sēj. 38, nr. 7, pp. 883-896, 2011.

[104] S. S. J. Chawla, «Reinforcement and mud-pumping benefits of geosynthetics in railway tracks: numerical analysis,» *Geotext Geomembr.,* sēj. 44, nr. 3, pp. 344-345, 2016.

[105] J. Zornberg, «Geosynthetic-reinforced Pavement Systems,» %1 *Fifth European Geosynthetics Conference, EuroGeo5*, Valencia, Spain, 2012.

[106] S. W. C. B. R. C. E. L. E. G. R. H. I. S. C. W. S. G. &. W. A. Perkins, «Development of design methods for geosynthetic reinforced flexible pavements,» Federal Highway Administration, 2004.

[107] S. W. &. S. G. Perkins, «Assessment of interface shear growth from measured geosynthetic strains in a reinforced pavement subject to repeated loads,» %1 *8th International Conference on Geosynthetics*, 2004.

[108] Carroll, Walls un Haas, Geogrid Reinforcement of Granular Bases in Flexible Pavements, 1987.

[109] Montanelli, Zhao un Rimoldi, GEOSYNTHETIC-REINFORCED PAVEMENT SYSTEM: TESTING AND DESIGN, 1997.

[110] Ullidtz, P, Modelling Flexible Pavement Response and Performance, Lyngby, Denmark: Polyteknisk Forlag, 1998.

[111] Korkiala-Tanttu, L., Calculation Method for Permanent Deformation of Unbound Pavement Materials, Espoo, Finland: VTT Technical Research Centre ofFinland, 2008.

[112] Saevarsdottir, T.; Erlingsson, S., Deformation modelling of instrumented flexible pavement structure, Procedia Eng. 143,937–944, 2016.

[113] B. Kermani, M. Xiao, S. M. Stoffels, «EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF GEOTEXTILE SEPARATION AND FILTRATION IN MITIGATING PUMPING OF SUBGRADE PARTICLES INTO OVERLYING GRANULAR LAYERS IN PAVEMENT SYSTEMS,» 2020.

[114] NorGeoSpec, 2012.

[115] I. 18228-2:2020, «Design using geosynthetics — Part 2: Separation,» 2020.

[116] B. 8661, «Geotextiles – Guidance for specification for basic separation and filtration functions,» 2019.

[117] P. 829, «TECHNISCHE VOORSCHRIFTEN VOOR GEOTEXTIEL: EISEN,» 2020.

[118] Dopravy, Ministerstvem, «TP97 GEOSYNTETIKA V ZEMNÍM TĚLESE POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ,» 2021.

[119] I. 18228-3, «Design using geosynthetics — Part 3: Filtration,» 2021.

[120] Pēteris Šķēls, Aigars Strežs, Andris Paeglītis, Uldis Senkāns, Jānis Kivilands, «Ceļa zemes klātnes grunts nestspējas nodrošināšanas risinājumu izstrāde,» 2019.

[121] NAUE, Case studies, 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://www.naue.com/info-center/downloads/case-studies/.

[122] Audrius Vaitkus, Alfredas Laurinavičius, Donatas Čygas, «SITE DAMAGE TESTS OF GEOTEXTILES USED FOR LAYER SEPARATION IN ROAD CONSTRUCTION,» 2006.

[123] Transbay Mineral OU, 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://www.smilts.com.

[124] FHWA, «Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Nhi-Fhwa, no. 132042,» 2001.

[125] J. T. H. Wu, «Design and Construction of Low Cost the Next Generation in,» 1994.

[126] E. (English), «Recommendations for design and analysis of earth structures using geosynthetic reinforcements -EBGEO.,» 2009.

[127] Bs 8006-2010, no. ISBN 978 0 580 53842 1, «Committee member copy : Do not reproduce BSI Standards Publication Code of practice for strengthened / reinforced Committee member copy : Do not reproduce,» 2010.

[128] P. Rimoldi, «Design of geosynthetics for erosion control on slopes,» %1 *EuroGeo 6*, 2016.

[129] Jewell, R. A., Milligan, G . W. E., Sarsby, R. W. and Dubois, D., «Interaction between soil and geogrids. Proceedings of the Conference on Polymer Grid Reinforcement,» Thomas Telford Publishing,, London, 1984.

[130] de Bondt, A.H, «Research geogrids in asphalt pavements,» %1 *Proceedings of the Jubilee Symposium on Polymer Geogrid Reinforcement, Institute of Civil Engineers*, London, UK, 2009.

[131] Lytton, R.L., «Use of Geotextiles for reinforcement and strain relief in asphalt concrete.,» *Geotextiles and Geomembranes.,* sēj. 8, pp. 217-237, 1989.

[132] Molenaar, A.A.A , Nods, M., «Design method for plain and geogrid reinforced overlays on cracked pavements. Reflective Cracking in Pavements,» %1 *Proceedings of the Third Int. RILEM Conference, pp. 311-320*, Maastricht, Netherlands, 1996.

[133] A. Molenaar, Design method for plain and Hatelit reinforced overlays on cracked pavements,, Delft, Netherlands: Delft University of Technology, 1995.

[134] Kunst, P.A.J.E, Kirschner, R., «Investigations on the effectiveness of synthetic asphalt reinforcements,» %1 *Proceedings of the Second Int. Conference on Reflective Cracking in Pavements*, Liege, 1993.

[135] S.F. Brown; Dr.N.H. Thom; P. J. Sanders; B. V. Brodrick; S. Cooper, «REINFORCED ASPHALT,» University of Nottingham School of Civil Engineering, 1999.

[136] VSIA "Latvijas Valsts ceļi", 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://lvceli.lv/wp-content/uploads/2020/12/LVC_ICP_CS_2020_Izversta_versija.pdf.

[137] https://enciklopedija.lv/skirklis/26052-klimats-Latvij%C4%81. [Tiešsaiste].

[138] (https://zemniekusaeima.lv/wp-content/uploads/2019/03/Augsnes-inform%C4%81cija-Latvij%C4%81.-Probl%C4%93mas-un-iesp%C4%93jamie-risin%C4%81jumi.-Raimonds-Kasparinskis.pdf). [Tiešsaiste].

[139] N. G. 3. 061, «Utilisation des géotextiles et produits apparentés - Systèmes de drainage et de filtration - Dimensionnement et éléments de conception. Tableau B.2».

[140] «https://www.byggros.com/media/zw0dzsnm/colbonddrain-vertikaldranering-broschyr.pdf,» [Tiešsaiste].

[141] I. 18228-4:2022, «Design using geosynthetics — Part 4: Drainage».

[142] «Enkadrain ieklāšanas instrukcija».

[143] ABG, 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://www.abg-geosynthetics.com/case-studies/earthworks-drainage-consolidation-and-settlement/embankment-drainage-high-speed-rail-sevilla-cadiz-spain/#images-4.

[144] NAUE, 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://www.naue.com/solutions/railway-construction/drainage-element-for-draining-of-backfilled-areas/.

[145] «Fildrain iebūves instrukcija».

[146] GWW-BOUW, 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://www.gww-bouw.nl/artikel/hoogwaardige-geokunststoffen-voor-de-grond-weg-en-waterbouw/.

[147] ABG, «https://www.abg-geosynthetics.com/case-studies/earthworks-drainage-consolidation-and-settlement/rapid-consolidation-using-fildrain-ashton-moss-manchester-uk/,» [Tiešsaiste].

[148] «https://outdoor.construction/drainage-systems/,» [Tiešsaiste].

[149] ABG, «https://www.abg-geosynthetics.com/case-studies/highways-drainage/fildrain-poznan-expressway-poland/,» [Tiešsaiste].

[150] N. T.-F. H. Zanzinger, «Laboratory tests for evaluating the performance of geosynthetics,» %1 *EuroGeo 6*, Slovenia, 2016.

[151] E. P. L. R. M. L. M. M. E.C.G. Santos, «A laboratory evaluation of soil loss caused by rain in slopes with and without geomats,» %1 *GeoAmericas 4*, Rio de Janeiro, 2020.

[152] X. S. S. H. D. K. S. Z. Gaofeng Song, «Soil Reinforcement with Geocells and Vegetation for Ecological Mitigation of Shallow Slope Failure,» Basel, 2022.

[153] Y. Y. Fangran Zhao, «Research on the Stability of the Geocell Protected Bank Slope under Rainfall,» Tianjin, 2019.

[154] M. K. u. J. Zaļoksnis, «E-education platform,» 2016. [Tiešsaiste]. Available: https://edu.lu.lv/mod/book/view.php?id=39525&chapterid=314.

[155] V. Latvijas Valsts ceļi, Projektēšanas un būvniecības vadlīnijas "Ūdens novade", Rīga, 2017.

[156] P. Rimoldi, «Overview of Geosynthetics Products for Erosion Control on Slopes and on River/Channel Banks,» 2021.

[157] P. R. &. A. Ricciuti, «Design method for three dimensional geocells on slope,» %1 *IGS Conferences*, Singapore, 1994.

[158] VSIA "Latvijas Valsts ceļi", Rojektēšanas un būvniecības vadlīnijas "Ūdens novade", Rīga, 2017.

[159] P. Rimoldi, «Design for erosion control according to ISO TR 18228-8,» Rio de Janeiro, 2020.

[160] SHERCLIFF, D., «Accessible design methods for geosynthetics used for erosion control on channel and river banks,» EuroGeo 6, 2016.

[161] D. SHERCLIFF, «Accessible design methods for geosynthetics used for erosion control on channel and river banks,» EuroGeo 6, 2016.

[162] ViaCon Latvija SIA, «Preterozijas paklāja Secumat ieklāšanas un enkurošanas shēmas,» Rīga, 2008.

[163] ViaCon Latvija SIA, «Ģeošūnu montāžas instrukcija,» Rīga, 2022.

[164] KG, Naue GmbH & Co., «Secumat® Cell: Permanent protection against erosion on slopes,» 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://www.naue.com/products/erosion-control-systems/secumat/secumat-cell/.

[165] GLOBAL STRATA, «StrataWeb three-dimensional celluar confinement system,» 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://www.strataglobal.com/strataweb-geocell-for-soil-erosion-and-stabalization/.

[166] PRESTO GEOSYSTEMS, «GEOWEB Soil Stabilization System,» Wisconsin, 2022.

[167] Bonar B. V., «Storage, handling and laying guide Enkamat® and Enkamat® A20,» Arnhem, 2014.

[168] Concrete Canvas Ltd., «Installation guide: Slope protection,» Pontyclun, 2022.

[169] HUESKER Synthrtic GmbH, «Installation manual and handling recommendations Incomat,» Gescher, 2016.

[170] K.Gustafson, S. Said and L. G Wiman, «Bearing Capacity of Flexible Road Structures Reinforced with Steel Fabrics, ,,» Swedish Road and Transport Research Institute, (VTI), Sweden, BCRA, Sweden, 2002.

[171] S. Neßlauer, «Reinforcement of Flexible Pavements – Design of Finite Element Models, Lehrstuhl für Bau von Landverkehrswegen,» Technische Universität München, Germany, BCRRA 2002, 2002.

[172] P. Kolisoja, H. Zarghampour, S. Salmenkaita, «Use of steel net reinforcement in unbound pavement layers,» Somija, Zviedrija, BCRRA 2002, 2002.

[173] S. Said, H. Zargham-pour, S. Johansson, H. Hakim & H. Carlsson, «Evaluation of pavement structure reinforced with steel fabrics,» Swedish Road and Transport Research Institute, (VTI), Sweden, BCRRA 2002, 2002.

Pielikumi

Priekšlikumi izmaiņām ABS 2023/1. Specifikācija “Ģeosintētiskie materiāli”

Rokasgrāmata “Ģeosintētisko materiālu un tiem radniecīgo izstrādājumu lietošana autoceļu konstrukcijās”

Excel faili:

- CO_2 aprēķins, 2. nodaļa. Zemes klātnes pastiprināšana.
- CO_2 aprēķins, 3. nodaļa. Nesaistīto ceļa segas kārtu pastiprināšana.
- CO_2 aprēķins, 4. nodaļa. Ceļa konstruktīvo kārtu atdalīšana un filtrēšana.
- CO_2 aprēķins, 5. nodaļa. Zemes klātnes nogāžu iekšējās noturības nodrošināšana.
- CO_2 aprēķins, 6. nodaļa. Asfalta kārtu pastiprināšana.
- CO_2 aprēķins, 7. nodaļa. Ceļa konstrukcijas drenāžas risinājumi.
- CO_2 aprēķins, 8. nodaļa. Preterozijas risinājumi.