LATVIJAS VALSTS CEĻI

ROKASGRĀMATA

ĢEOSINTĒTISKO MATERIĀLU UN TIEM RADNIECĪGO IZSTRĀDĀJUMU PIELIETOŠANA AUTOCEĻU KONSTRUKCIJĀS

Rīga, 2024

	Rokasgrāmata	Ģeosintētisko materiālu un tiem radniecīgo izstrādājumu pielietošana 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

Rokasgrāmatas lietošana

Rokasgrāmata paredzēta lietošanai autoceļu un laukumu būvniecībā, lai izstrādātu risinājumus ar ģeosintētisko materiālu un tiem radniecīgu izstrādājumu pielietošanu autoceļu konstrukcijās.

Rokasgrāmata nav uzskatāma par mācību līdzekli klasiskā izpratnē. Rokasgrāmatas lietotājam ir jābūt ar pietiekamu iepriekšēju kvalifikāciju, lai ar rokasgrāmatas palīdzību veiktās izstrādes un aprēķini būtu pilnīgi.

Praktiski visos gadījumos autoceļu konstrukcijas var uzbūvēt bez ģeosintētisko materiālu pielietošanas. Savukārt ģeosintētisko materiālu pielietošana var palīdzēt būvēt racionālāk vai arī samazināt izmaksas. Praksē nereti nākas saskarties ar situācijām, kad tradicionālie jeb ierastie risinājumi nenodrošina gaidīto rezultātu vai nesasniedz vēlamo efektivitāti, tāpēc nākas meklēt un izskatīt alternatīvus veidus, kā nonākt pie iecerētā mērķa, lietojot citus materiālus vai būvniecības metodes. Ģeosintētiskie materiāli ir viens no risinājumiem šādās situācijās. Šī rokasgrāmata palīdzēs sagatavot alternatīvus risinājumus, sniedzot tehniskas norādes par ģeosintētisko materiālu mehāniskajām īpašībām, parametriem un aprēķiniem. Rokasgrāmata ir organizēta nodaļās, kas katra aptver noteiktu ģeosintētisko materiālu lietojuma grupu vai lietojuma mērķi, katrā no tām ietverot gan attiecīgā materiāla īpašību un tehnisko parametru aprakstus, gan aprēķina piemērus.

Rokasgrāmatā nav plašāk aprakstīti apsvērumi un tehniskie pamatojumi tā vai cita parametra vērtībām vai aprēķina sakarību izvedumiem. Tie atrodami atbilstošajā zinātniskajā literatūrā un pētījumos. Taču visiem uz šo rokasgrāmatu attiecināmajiem lietojumiem, kur līdz šim ir noteikti spēkā esoši Latvijas vai Eiropas būvnormatīvi, ir izmantoti tie apsvērumi, parametri un norādes, kuras attiecīgi ir ietvertas šajos dokumentos. Jomās, kur šādi normatīvie dokumenti vēl nav izstrādāti, ir norādīti un aprakstīti akadēmiskajā vidē vai nozares praksē plašāk pārbaudītie risinājumi.

Šī rokasgrāmata paredzēta praktizējošiem ceļu būvinženieriem, kuri apguvuši un izprot ceļa konstrukcijas elementu aprēķina teorētiskos jautājumus, kā arī spēj veikt ceļa konstrukciju elementu aprēķinus. Praktiski jebkurš ceļa konstrukcijas risinājums ir iespējams dažādos veidos un ar dažādiem materiāliem, bet ir jāmeklē un jāatrod efektīvākais risinājums. Efektivitāti raksturo pakāpe, kādā risinājums atbilst pasūtītāja un lietotāja definētajām prasībām un kritērijiem. Kritēriji un prasības var atšķirties – sākot no ekonomiskiem vai ekoloģiskiem apsvērumiem un beidzot ar ētiskiem un estētiskiem. Tās parasti tiek norādītas (ir jānorāda) projektēšanas darba uzdevumā.

Tādējādi arī izšķiršanās lietot to vai citu risinājumu būs saistīta gan ar tehnisku jautājumu atrisināšanu, gan ar definēto kritēriju atbilstības nodrošināšanu. Šīs rokasgrāmatas uzdevums ir sniegt norādes par tehnisku jautājumu risināšanas iespējām. Rokasgrāmata nesniegs atbildes par citiem iespējamiem risinājumiem un to izvēles kritērijiem. Rokasgrāmatā iekļautie risinājumu piemēri palīdzēs izstrādāt nepieciešamos tehniskos risinājumus gadījumos, kad tiek paredzēts izmantot ģeosintētiku, lai to salīdzinātu ar kādu citu risinājumu, kura sastāvā tās nav. Salīdzinājums un lēmums par būvprojektā izmantojamo gala risinājumu jāpieņem, balstoties vispirms uz normatīvajiem dokumentiem, pēc tam, kā minēts iepriekš, ievērojot arī citus saistošos nosacījumus.

Satura rādītājs

Rokasgrāmatas lietošana 3

Satura rādītājs 5

Termini un definīcijas **7**

Apzīmējumi un saīsinājumi **9**

1 Vispārīgi 11

1.1 Pielietojuma jomas un standarti 11

1.2 Kvalitāti apliecinošie dokumenti 12

1.3 Ģeosintētisko materiālu klasifikācija pēc izstrādājuma tipa 14

1.4 Ģeosintētisko materiālu kvalitāte un kontrole būvobjektā 41

1.5 Dzīves cikla novērtējums 44

2 Zemes klātnes pastiprināšana 48

2.1 Projektēšanas principi 49

2.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības 77

2.3 Iestrādes tehnoloģija 78

2.4 Būvprojektēšanas piemēri 83

3 Nesaistīto ceļa segas kārtu pastiprināšana 106

3.1 Projektēšanas principi 106

3.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības 110

3.3 Iestrādes tehnoloģija 111

3.4 Būvprojektēšanas piemēri 114

4 Ceļa konstruktīvo kārtu atdalīšana un filtrēšana 125

4.1 Projektēšanas principi 125

4.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības 134

4.3 Iestrādes tehnoloģija 137

4.4 Būvprojektēšanas piemēri 139

5 Zemes klātnes nogāžu iekšējās noturības nodrošināšana 149

5.1 Projektēšanas principi 149

5.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības 166

5.3 Iestrādes tehnoloģija 166

5.4 Būvprojektēšanas piemēri 169

6 Asfalta kārtu pastiprināšana 204

6.1 Projektēšanas principi 204

6.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības 218

6.3 Iestrādes tehnoloģija 219

6.4 Būvprojektēšanas piemēri 225

7 Ceļa konstrukcijas drenāžas risinājumi 235
7.1 Projektēšanas principi 235
7.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības 246
7.3 Iestrādes tehnoloģija 247
7.4 Būvprojektēšanas piemēri 254

8 Preterozijas risinājumi 267
8.1 Projektēšanas principi 267
8.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības 284
8.3 Iestrādes tehnoloģija 287
8.4 Būvprojektēšanas piemēri 300

Izmantotā literatūra 313

Pielikumi 317

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

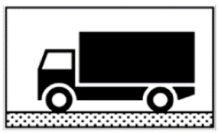
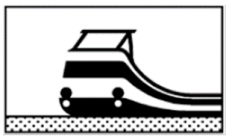
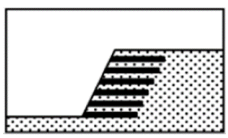
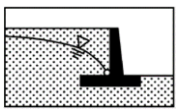
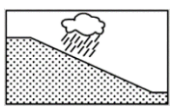
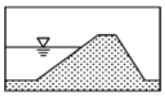
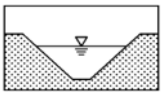
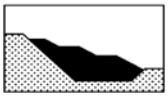
PA	Poliamīds	Polimērs ar atkārtotām vienībām, kas savienotas ar amīda saitēm.
PE	Polietilēns	Termoplastisks polimērs, ko iegūst, polimerizējot etilēnu. Parasti tā blīvums ir mazāks par ūdens blīvumu un ir iespējama liela kristalizācijas pakāpe.
PET	Poliesters	Polimērs, kas satur estera funkcionālo grupu 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.

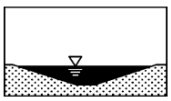
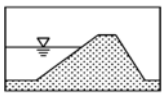
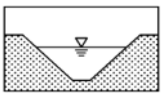
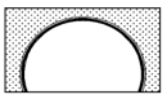
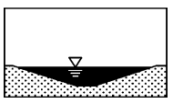
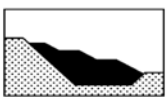
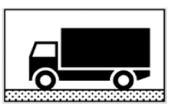
1 Vispārīgi

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.
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.

Standarta numurs	Piktogramma	Nosaukums
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.

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, 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.

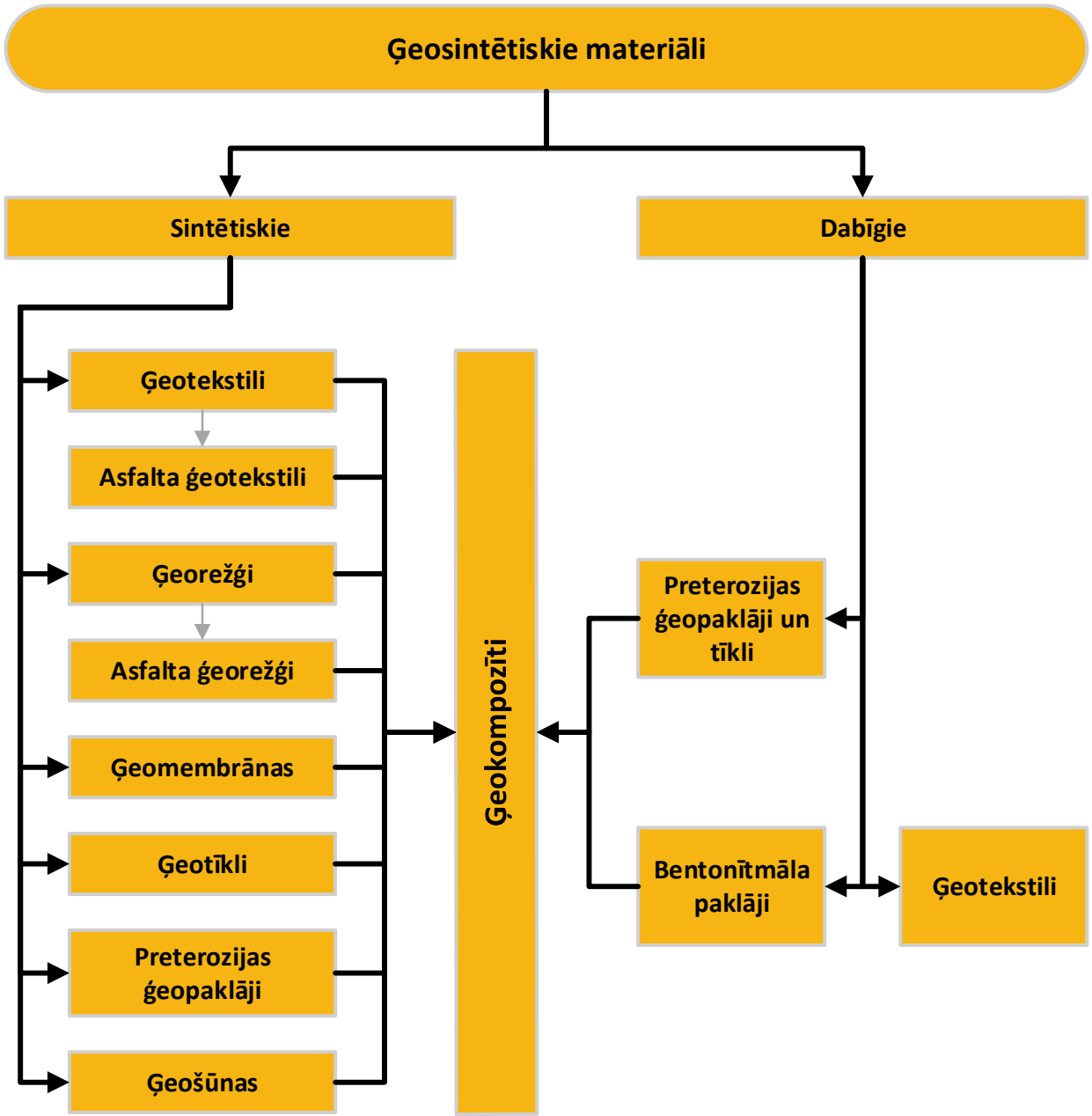
Ar CE marķējumu preci drīkst marķēt tikai ražotājs vai tā pilnvarotais pārstāvis. Uzliekot CE marķējumu, ražotājs uzņemas pilnu atbildību par preces atbilstību visām piemērojamām prasībām.

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

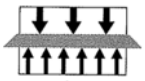
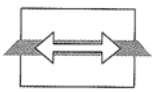
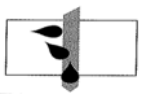
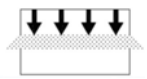
Pēc ražošanas izejvielām ģeosintētiskos materiālus iedala sintētiskajos un dabīgajos (Attēls 1-1), kas attiecīgi veido lielas izstrādājumu grupas, piemēram, ģeotekstilus vai preterozijas ģeopaklājus, kā arī dažādas šo izstrādājumu kombinācijas, ko sauc par ģeokompozītiem.

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



Saskaņā ar standartiem pēc pielietojuma katrs ģeosintētiskais materiāls veic vienu vai vairākas funkcijas (Tabula 1-2).

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

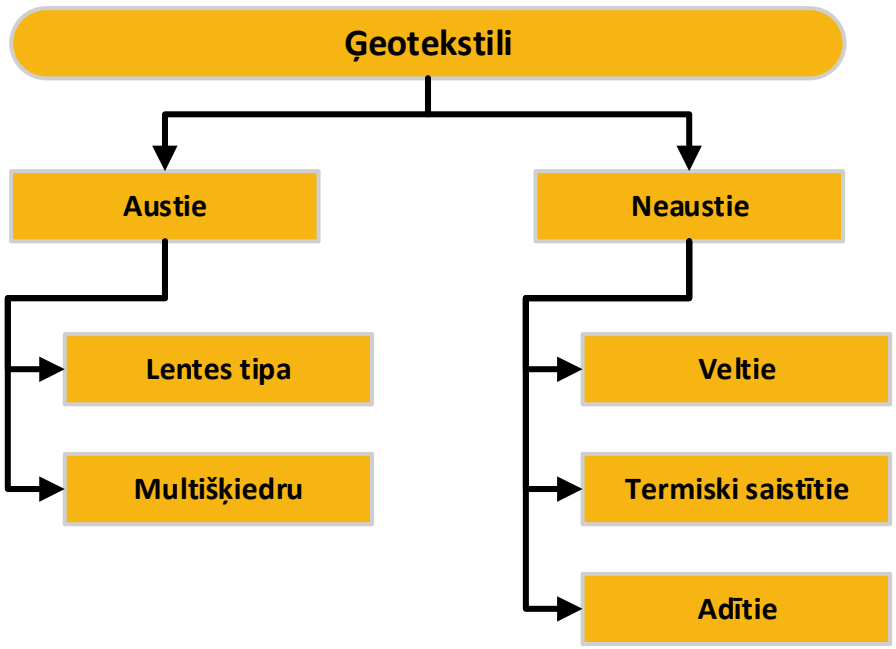
Funkcija	Standarti pēc pielietojuma	Ģeosintētisko materiālu grupa						
		Ģetekstili	**Asfalta ģetekstili**	**Ģeorežģi, asfalta ģeorežģi**	**Ģeomembrānas, bentonītmāla paklāji**	**Ģeošūnas**	**Ģeotīkli (sintētiskie)**	**Ģeokompoziti**
Atdalīšana 	EN 13249; EN 13250; EN 13251; EN 13252; EN 13253; EN 13254; 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.

1.3.1. Ģeotekstili

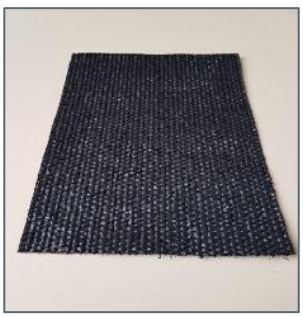
Ģeotekstils ir ūdenscaurlaidīgs tekstilmateriāls, kuru galvenokārt ražo no PP, PET, PE vai PA šķiedrām. Ģeotekstilu iedalījums pēc ražošanas veidiem parādīts attēlā (Attēls 1-2).

Attēls 1-2. Ģeotekstilu iedalījums pēc ražošanas veidiem



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	Raksturīgs salīdzinoši liels pagarinājums, kas kompensē stiepes stiprību, veicot atdalīšanas funkciju. Ģeotekstilu stiprības parametrus salīdzināt pēc

Faktori	Austais ģeotekstils	Neaustais ģeotekstils
	absorbcijas indeksa (skatīt formulu [1.1.]).	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 4.1. nodaļā Projektēšanas principi, savukārt stiegrošanai – 2.1. nodaļā Projektēšanas principi.

1.3.1.1 Ģeotekstila funkcijas

Ģeotekstils veic šādas funkcijas:

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

Atdalīšanas funkcija novērš dažādu konstrukcijas kārtu sajaukšanos un pamatnes grunts smalko daļiņu pārvietošanos starp kārtām, šādā veidā pagarinot ceļa konstrukcijas kalpošanas laiku. 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:

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

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

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

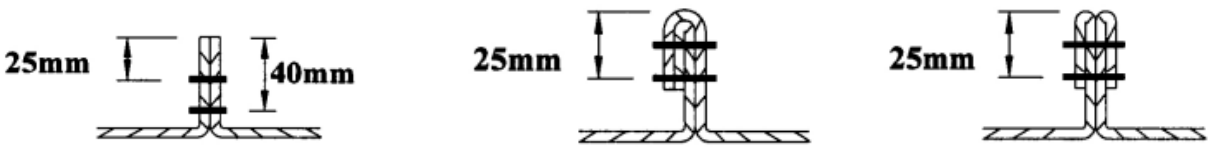
kur:
R_a – vidējais enerģijas absorbcijas indekss;
F_a – vidējā stiepes stiprība;
$_a$ – vidējais maksimālais pagarinājums, procentos;
F_{MD} – nominālā stiepes stiprība garenvirzienā;
F_{CMD} – nominālā stiepes stiprība šķērsvirzienā;
$_{MD}$ – nominālais maksimālais pagarinājums garenvirzienā, procentos;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

Filtrācijas funkcija nodrošina brīvu ūdens plūsmu caur materiālu un tā ir cieši saistīta ar atdalīšanas funkciju.

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 1-3).

Attēls 1-3. Ģeotekstila šuvju veidi [4]



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

Šūšana parasti ir ekonomiski izdevīga gadījumos, kad jāveido ≥ 1 m ģeotekstila pārlaiduma platums.

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. Šajā rokasgrāmatā 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 ir sniegti raksturlielumi un testa metodes.

Tabula 1-4. Ģeotekstila tehniskie parametri un testa metodes

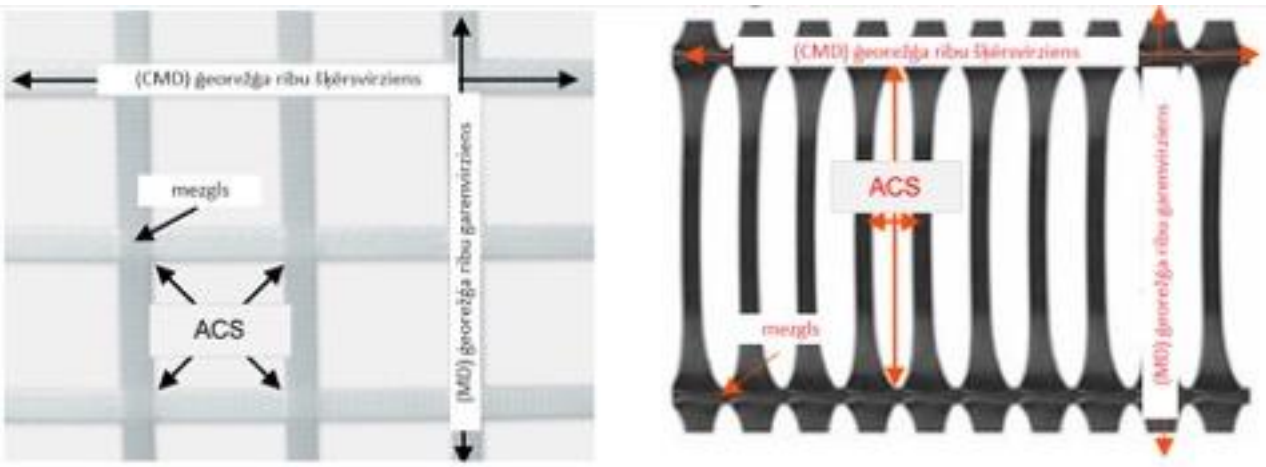
Raksturlielumi	**Mērv.**	**Testa metode (standarts)**
Stiepes stiprība, MD/CMD	kN/m	EN ISO 10319
Pagarinājums, MD/CMD	%	EN ISO 10319
Statiskā caurduršanas stiprība, CBR	kN	EN ISO 12236
Konusa tests	mm	EN ISO 13433
Ūdenscaurlaidība perpendikulāri plaknei	l/m²·s	EN ISO 11058
Raksturīgā atvēruma izmērs	µm	EN ISO 12956
Svars	g/m²	EN ISO 9864
Ilgizturība	gadi	Saskaņā ar EN 13249 B pielikumu

Testu aprakstus skatīt pētījumā "Pētījuma un rokasgrāmatas izstrāde ģeosintētisko materiālu un tiem radniecīgo izstrādājumu pielietošanai autoceļu konstrukcijās".

1.3.2 Ģeorežģi

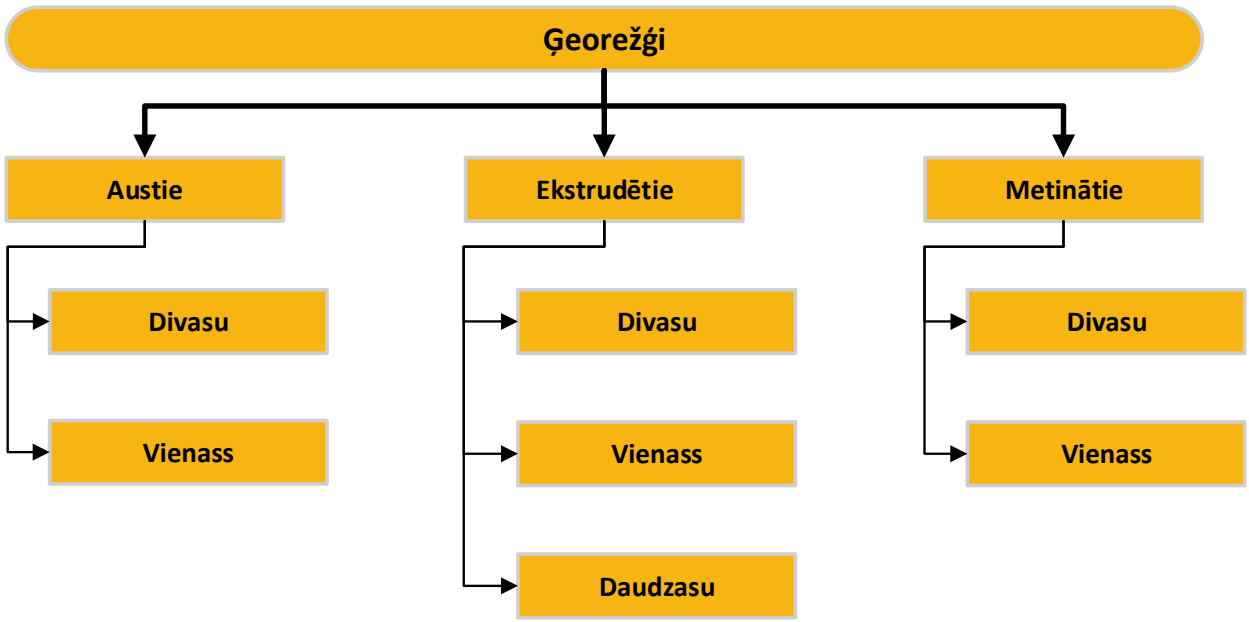
Ģeorežģi ir polimērmateriāli, kas tiek ražoti, savienojot izstrādājuma nesošos elementus noteiktā attālumā, tādējādi veidojot atvērumus pēc režģa principa. Nesošos elementus sauc par ribām, to krustošanās punktus sauc par mezgliem, bet atvērumus starp ribām sauc par acīm (Attēls 1-4).

Attēls 1-4. Ģeorežģa elementi [5]



Pēc ražošanas veida ģeorežģu iedalījums parādīts attēlā (Attēls 1-5).

Attēls 1-5. 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. Vienass ģeorežģiem viens no virzieniem (parasti tas ir garenvirziens) spēj uzņemt ievērojami lielākus stiepes spēkus nekā otrs.

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

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	Nesaistīto kārtu stiegrošanai ≤ 300 mm, lai saglabātu ieķīlēšanas		

Faktori	Austs ģeorežģis	Ekstrudēts ģeorežģis	Metināts ģeorežģis
kārtas biezums	efektu ekstrudētiem un metinātiem ģeorežģiem. 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
Mijiedarbības mehānisms starp ģeorežģi ar grunti, kas uzlabo grunts īpašības	Nesaistīto kārtu stiegrošanā – berze. Stiegrotās grunts konstrukcijās – berze.	Nesaistīto kārtu stiegrošanā – ieķīlēšanas efekts. 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.

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

Ģeorežģu projektēšanas principus stiegrotās grunts konstrukcijām skatīt 2.1. nodaļā Projektēšanas principi un 5.1. nodaļā Projektēšanas principi.

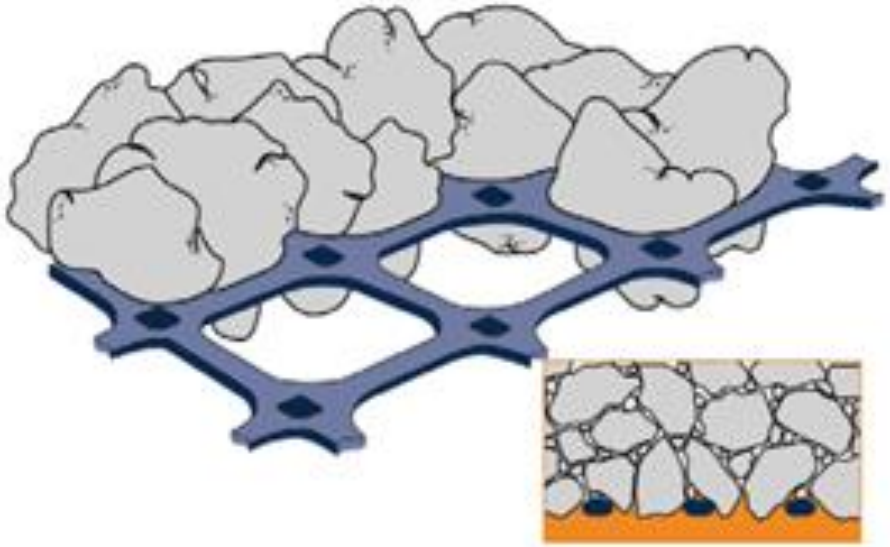
1.3.2.1 Ģeorežģu funkcija

Grunts ģeorežģi veic stiegrošanas funkciju un atkarībā no lietojuma 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 1-6) un berzes efektiem atkarībā no ģeorežģa veida.

Attēls 1-6. Ieķīlēšanas efekts [6]



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%. [7]

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;

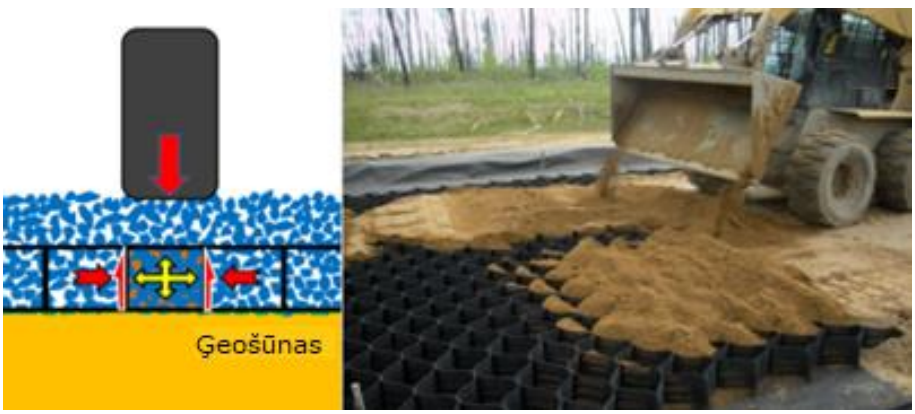
c – attiecība, kas iegūta no formulas [1.5.] vai formulas [1.6.];
N_m – stiepes elementu vidējais skaits testējamā izstrādājuma 1 m platumā;
n_s – stiepes elementu skaits testa paraugā;
B – parauga nominālais platums (m).

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;
- papildkārtas 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 1-7). [8] Ģeošūnu stiegrošanas funkcijas definētas EN 13249.

Attēls 1-7. Ģeošūnu mehāniskā stabilizācija [9]



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 un nokrišņu savākšanas un novadīšanas risinājumiem, ģeorežģa novietojuma, enkurošanas, stiegrotās konstrukcijas ģeometrijas, pamatnes stabilitātes un būvniecības apstākļiem.

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.

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 šķidrumiem	-	EN ISO 12960
Noturība pret atmosfēras apstākļu iedarbību	-	EN 12224

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

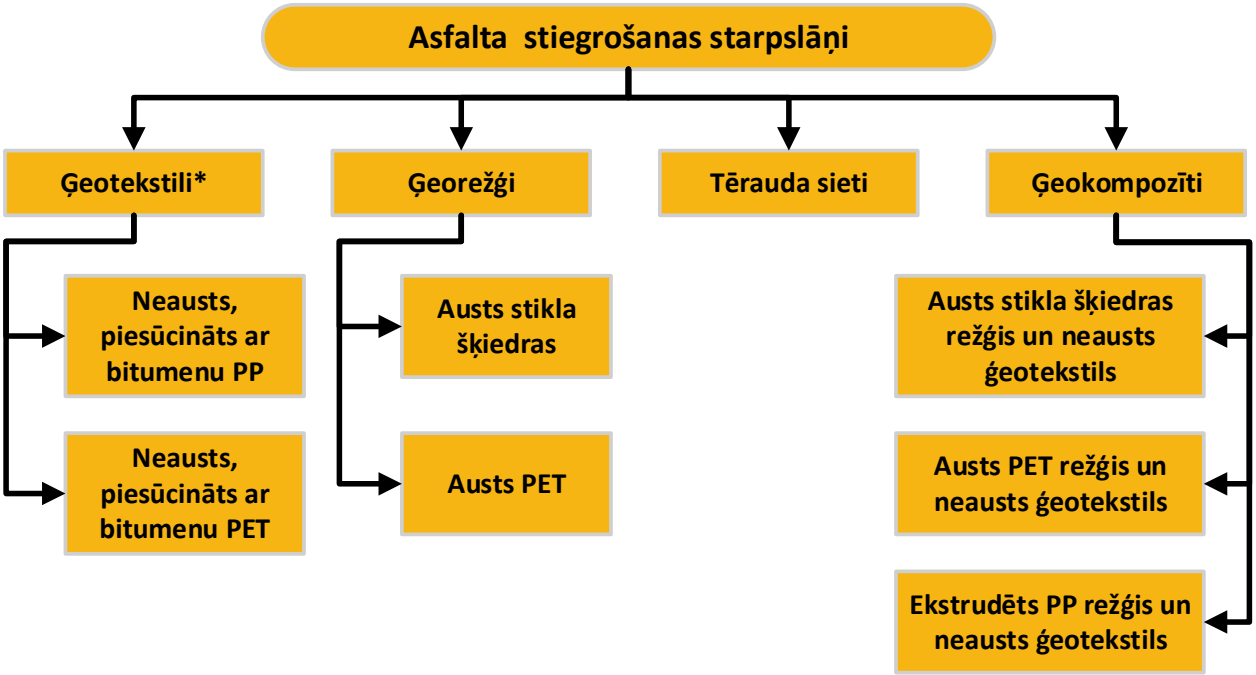
Testu aprakstus skatīt pētījumā “Pētījuma un rokasgrāmatas izstrāde ģeosintētisko materiālu un tiem radniecīgo izstrādājumu pielietošanai autoceļu konstrukcijās”.

1.3.3 Asfalta stiegrošanas starpslāņi

Asfalta stiegrošanas starpslānis (turpmāk ASS) ir ģeosintētiskais materiāls vai tērauda siets, kura galvenais uzdevums ir samazināt vai novērst plaisu veidošanos jaunajā asfalta kārtā, ieklājot to starp divām asfalta kārtām, kas savienotas ar bitumena saistvielu.

ASS iedalījums pēc ražošanas veidiem:

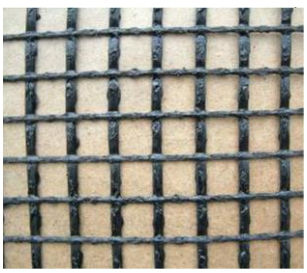
Attēls 1-8. ASS iedalījums pēc ražošanas veidiem



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

Tabulās (Tabula 1-7 un Tabula 1-8) ir norādīti faktori, kas jāņem vērā, izvēloties kādu no ASS veidiem.

Tabula 1-7. ASS ģeorežģi un metāla sietu faktoru salīdzinājums [10]

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	Ar polimēriem modificētu bitumenu apstrādāts ģeorežģis	Ar polimēriem modificētu bitumenu apstrādāts ģeorežģis	Augsta saķere (bloķēšana) ar asfalta pildvielu.

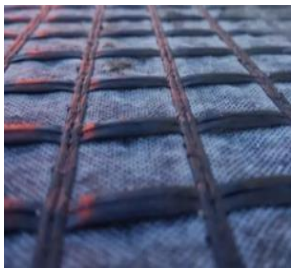
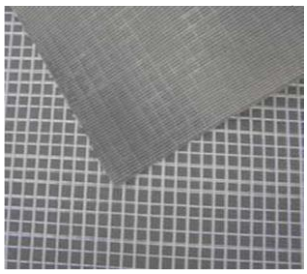
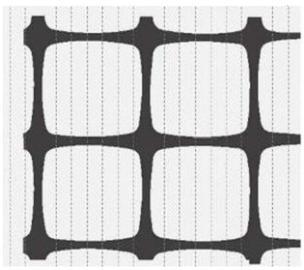
Faktori	Stikla šķiedras ģeorežģi*	Poliestera ģeorežģi**	Tērauda sieti***
asfaltu	labi saistās ar asfaltu vai virsmas apstrādi.	labi saistās ar asfaltu vai virsmas apstrādi.	Praktiski nesamazina bīdes pretestību starp asfalta kārtām. Ieklāšanas laikā jānostiepj un vienādos intervālos jāstiprina pie pamatnes.
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. Ceļa paplašinājumos, ieskrējiena vai bremzēšanas joslās un autobusu pieturvietās.	Izmantot uz izlīdzinošās asfalta kārtas. Atjaunojot asfalta virskārtu. Ceļa paplašinājumos, ieskrējiena vai bremzēšanas joslās un autobusu pieturvietās.	Izmantot 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.

** 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 1-8. ASS ģeokompozītu faktoru salīdzinājums (modificēts) [10]

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 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	Viegli frēzējams un pārstrādājams. Frēzējot pievērst uzmanību ģeorežģa un		Frēzēšana var būt apgrūtināta ekstrudēto

Faktori	Stikla šķiedras ģeokompozīti*	Poliestera ģeokompozīti**	Polipropilēna (ekstrudētie) ģeokompozīti***
pārstrāde	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.		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.

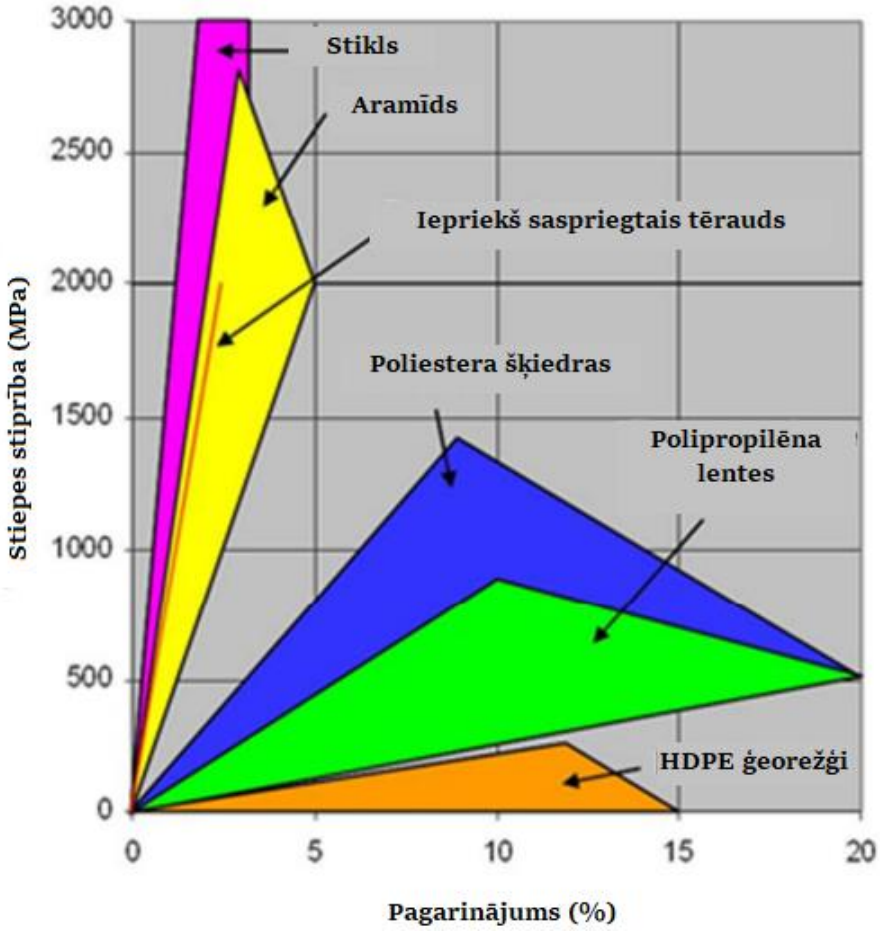
** stikla šķiedras un neausta ģeotekstila ģeokompozīti.*

*** poliestera ģeorežģa un neausta ģeotekstila ģeokompozīti.*

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

Stiegrojuma stiprības parametri un izejvielas ietekmē ASS stiegrošanas efektivitāti. Attēlā (Attēls 1-9) 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 1-9. Dažādu izejvielu stiepes stiprības un pagarinājuma attiecība [10]



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

ASS projektēšanas principus skatīt 6.1. nodaļā 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 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 (parasti bitumena) savietojamība ar gruntēšanai izsmidzināto emulsiju;
- ir pietiekams enkurošanas garums. Enkurošanu nodrošina berzes spēki starp asfaltu un ASS.

Stiegrojuma novietojums stieptajā zonā uzlabo arī augšējās asfalta kārtas stingumu un palielina asfalta noguruma pretestību, salīdzinot ar konstrukciju bez ASS, pie vienādiem asfalta kārtu biezumiem.

Atspriegošanas funkciju nodrošina ar saistvielu piesūcināts neausts ģeotekstils, kas pieļauj nelielus pārvietojumus starp asfalta kārtām, tādējādi samazinot spriegumus, kā arī aizkavē atstarojošo plaisu izplatīšanos augšējās asfalta kārtās. Parasti šāds spriegumu samazināšanas mehānisms darbojas starp diviem dažādiem materiāliem (materiālu kārtām), piemēram, dzelzsbetonu un asfaltu.

Barjeras funkciju nodrošina ar saistvielu piesūcināts neausts ģeotekstils. ASS barjera ir slānis, kas novērš šķidrumu (piemēram, ūdens) un gāzu (piemēram, skābekļa) iekļūšanu ceļa konstrukcijas saistītajās un nesaistītajās kārtās. Asfalta ģeotekstila vai ģeokompozīta bitumena emulsijas absorbcijas daudzums galvenokārt ir saistīts ar izstrādājuma ieklāšanas tehnoloģiju nevis ar barjeras funkciju.

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 1-9, Tabula 1-10 un Tabula 1-11) ir norādīti dažādu ASS veidu raksturlielumi un testa metodes.

Tabula 1-9. 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 1-10. Tērauda sietu tehniskie parametri

Raksturlielumi	Mērv.	Testa metode (standarts)
Stiepes stiprība, MD/CMD	kN/m	EN 10223-3
Tērauda sieta veids	-	EN 10223-3
Stieples diametrs	mm	EN 10218-2
Sieta virsmas pārklājums	-	EN 10244-2

Tabula 1-11. 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. [11] Ieteicams piemērot minimālo atlikušās stiprības vērtību 70 % apmērā no parauga sākotnējās stiprības.

Testu aprakstus skatīt pētījumā "Pētījuma un rokasgrāmatas izstrāde ģeosintētisko materiālu un tiem radniecīgo izstrādājumu pielietošanai autoceļu konstrukcijās".

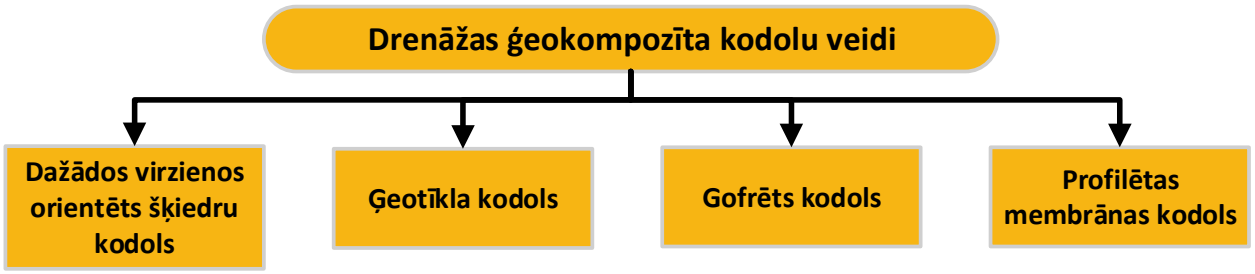
1.3.4 Drenāžas ģeokompozīti

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).

Drenāžas ģeokompozītus izmanto, lai uztvertu un novadītu ceļa segā nokļuvušo ūdeni pa ģeosintētiskā materiāla plakni un apturētu kapilārā ūdens plūsmu vertikālā virzienā.

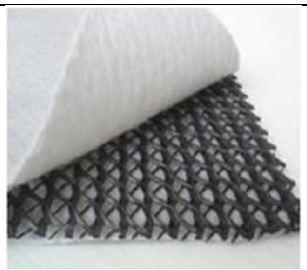
Attēlā (Attēls 1-10) parādīts drenāžas ģeokompozītu iedalījums pēc kodolu ražošanas veidiem.

Attēls 1-10. Drenāžas ģeokompozītu kodolu veidi

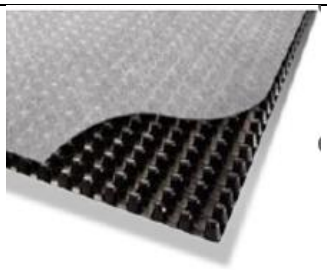


Tabulās (Tabula 1-12 un Tabula 1-13) ir norādīti faktori, kas jāņem vērā, izvēloties kodola veidu.

Tabula 1-12. 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 1-13. 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.
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). [12]

Tabula 1-14. 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 7.1 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 1-15. 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

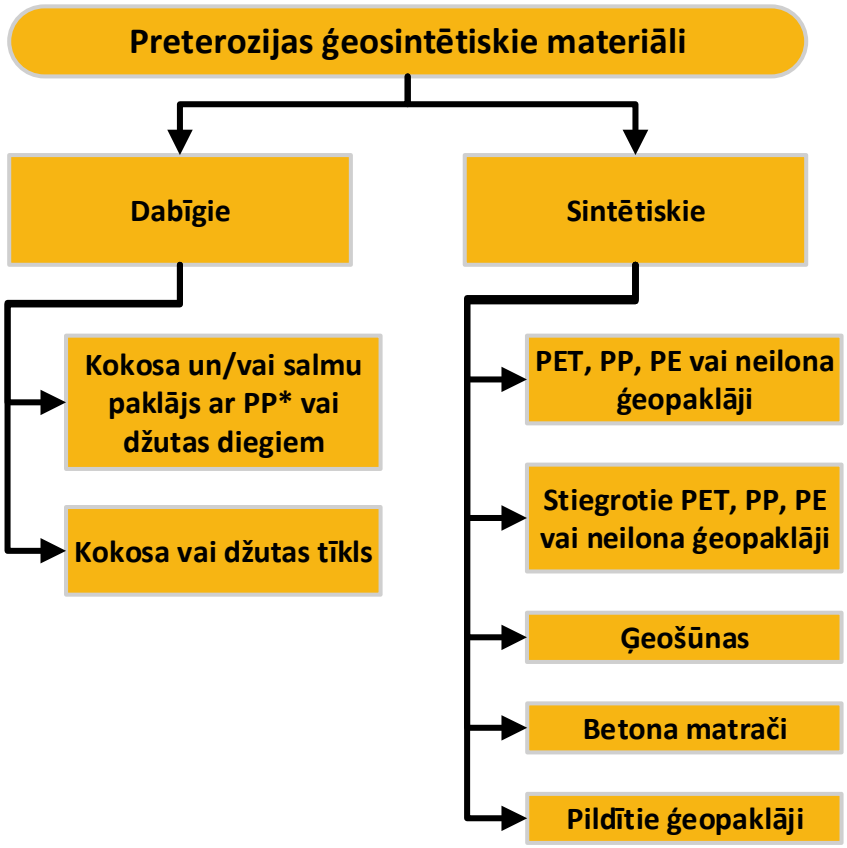
Testu aprakstus skatīt pētījumā "Pētījuma un rokasgrāmatas izstrāde ģeosintētisko materiālu un tiem radniecīgo izstrādājumu pielietošanai autoceļu konstrukcijās".

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.

Preterozijas ģeosintētisko materiālu iedalījums pēc ražošanas veidiem parādīts attēlā (Attēls 1-11).

Attēls 1-11. Preterozijas ģeosintētisko materiālu veidi



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

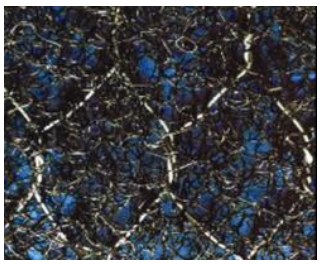
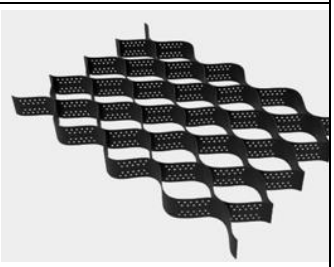
Tabulās (Tabula 1-16, Tabula 1-17 un Tabula 1-18) norādīti faktori, kas jāņem vērā, izvēloties preterozijas ģeosintētisko materiālu veidu.

Tabula 1-16. 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

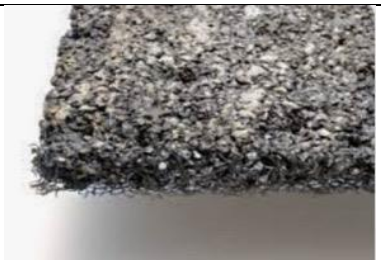
Faktori	Kokosa un/vai salmu paklājs ar PP vai džutas diegiem	Kokosa vai džutas tīkls
Lietojums pēc funkcijas	Nogāzes virsmas erozijas kontrole.	
Lietošanas apstākļi	Sausā nogāzē. Nogāzes slīpums 1:1,5. Nogāzes garums ≤ 5 m. PP diegi var nodarīt kaitējumus rāpuļiem. Nedrīkst izmantot vietās ar pastāvīgu 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 1-17. 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 stiegrojuma	Nav būtisks
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	Sausā nogāzē. Nogāzes slīpums 1:1.	Sausā nogāzē. Nogāzes slīpums 3:1.

Faktori	Ģeopaklāji	Stiegrotie ģeopaklāji	Ģeošūnas
	garums ≤ 30 m. Nogāzes slīpums 1:1 un garumu ≤ 10 m. Stipru nokrišņu laikā var veidoties lokāli izskalojumi.	Nogāzes garums – nav ierobežojumu. Stipru nokrišņu laikā var veidoties lokāli izskalojumi.	Nogāzes garums – nav ierobežojumu. Stipru nokrišņu laikā var veidoties lokāli izskalojumi. Papildu aizsardzībai var paredzēt uzklāt dabīgo paklāju.

Tabula 1-18. 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.
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 8.1. 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 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 (Tabula 1-19, Tabula 1-20, Tabula 1-21, Tabula 1-22, Tabula 1-23 un Tabula 1-24) ir norādīti būtiskākie preterozijas ģeosintētisko materiālu raksturlielumi un testa metodes.

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

Tabula 1-19. 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 1-20. 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 1-21. 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 1-22. Ģeošūnu raksturlielumi un testa metodes

Raksturlielumi	Mērv.	Testa metode (standarts)
Šūnas augstums	mm	-
Attālums starp metinājumu mezgliem	mm	-

Raksturlielumi	Mērv.	Testa metode (standarts)
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 1-23. Betona matrača raksturlielumi un testa metodes

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

Tabula 1-24. 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

Testu aprakstus skatīt pētījumā "Pētījuma un rokasgrāmatas izstrāde ģeosintētisko materiālu un tiem radniecīgo izstrādājumu pielietošanai autoceļu konstrukcijās".

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;

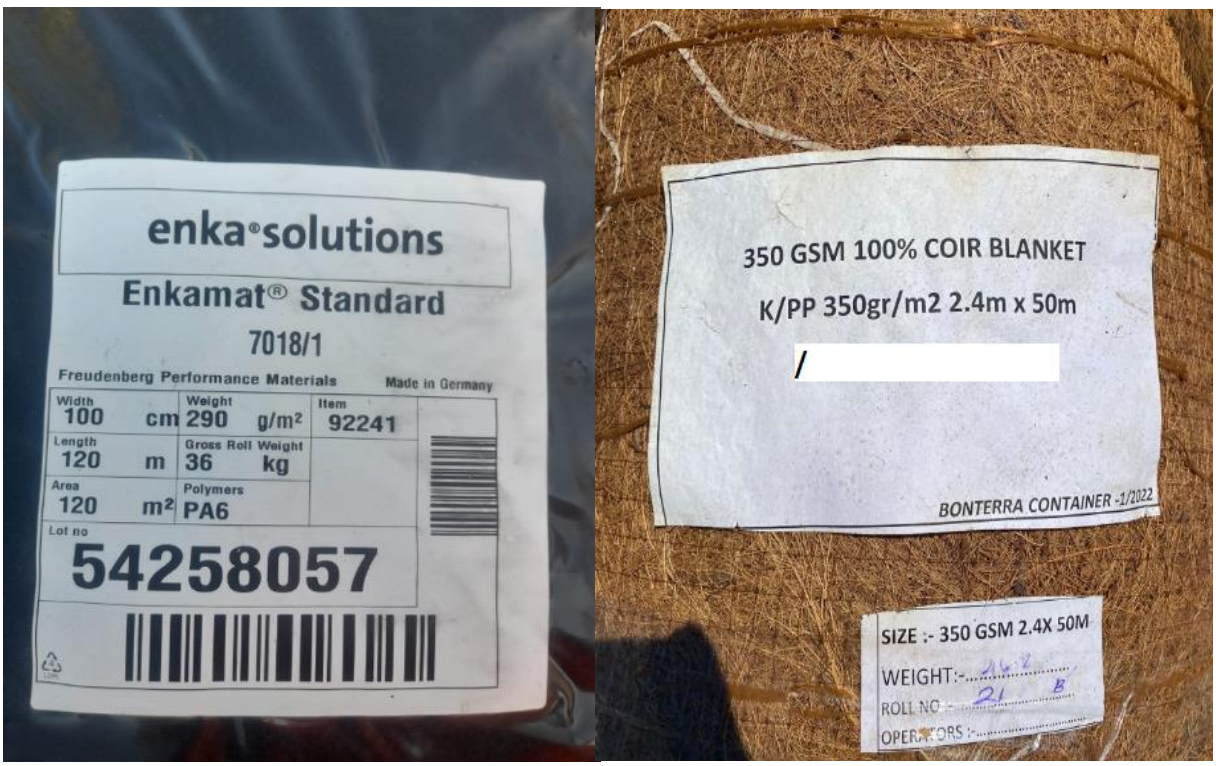
- ∇ vai ir CE identifikācijas marķējums;
- ∇ vai piegādātā prece atbilst pasūtījumam un rēķinam;
- ∇ vai ģeosintētisko materiālu parametru vērtības (EĪD, būvizstrādājuma tehniskā datu lapa, tehniskā pase u. c.) atbilst projekta specifikācijai;
- ∇ vai piegādātā ģeosintētiskā materiāla, kas ir ražots 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 1-12).

Attēls 1-12. Ģeosintētisko materiālu identifikācija un marķējums

a) ģeotekstila identifikācijas uzlīmes

b) ģeorežģa identifikācijas uzlīmes



c) preterozijas identifikācijas uzlīmes

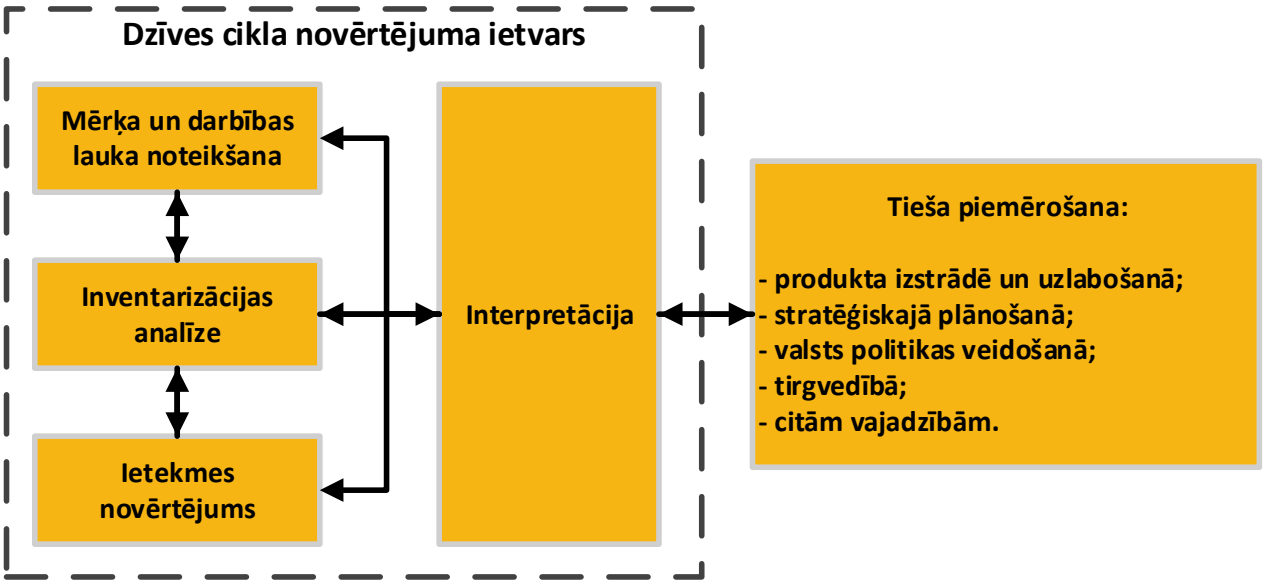
Ja rodas šaubas par piegādātā materiāla un pavaddokumentu atbilstību, ģeosintētisko materiālu raksturlielumus ir iespējams pārbaudīt akreditētā laboratorijā. Paraugu ņemšana jāveic saskaņā ar LVS EN ISO 9862.

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 1-13), kuros atkarībā no pētījuma mērķa tiek noteikta un salīdzināta iespējamā ietekme uz vidi, izmantojot dažādus produktus vai risinājumus.

Attēls 1-13. LCA soļi (atsauce EN ISO 14040)



1.5.1 Mērķis un tvērums

Šajā rokasgrāmatā 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 rokasgrāmatas nodaļās. Šie aprēķinu piemēri izstrādāti ar norādītajiem pieņēmumiem.

Izmantojot rokasgrāmatā 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.

Rokasgrāmatas 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.

Rokasgrāmatas 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 1-25), lai izteiktu nepieciešamo materiāla daudzumu svara vienībās un izmantotu atbilstošo daudzumu, aprēķinot būvniecības tehnikas produktivitāti.

Tabula 1-25. 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.

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.

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. Rokasgrāmatā 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 rokasgrāmatā 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:

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

Algoritmi CO_2 ekvivalentu aprēķinu veikšanai ir izstrādāti Excel vidē. Attiecīgos Excel failus skatīt rokasgrāmatas 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. [13] Ja autoceļa nogāžu stabilitāte tiek nodrošināta un pēc būvniecības 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 rokasgrāmatas 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

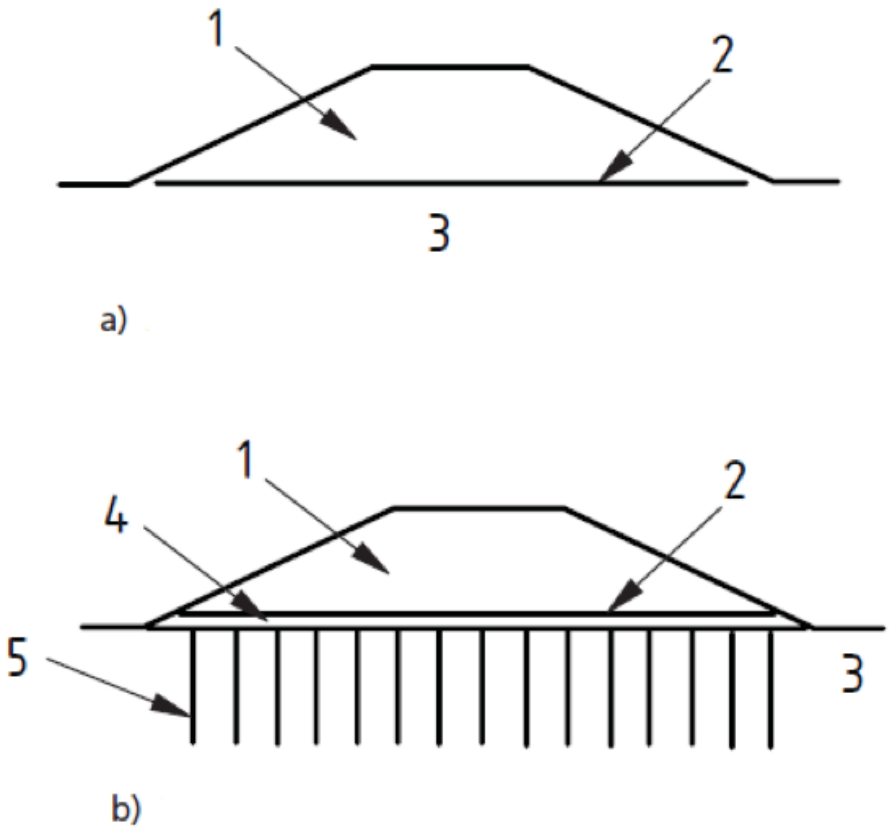
un austie ģeotekstili. Var tikt izmantoti arī ģeokompozīti, kas nodrošina gan stiegrošanas, gan filtrācijas un atdalīšanas funkciju.

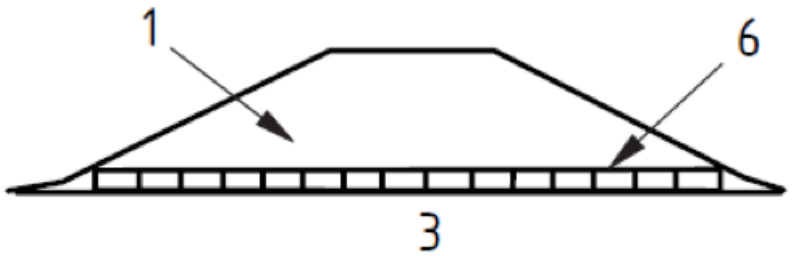
2.1 Projektēšanas principi

Šajā rokasgrāmatā 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.

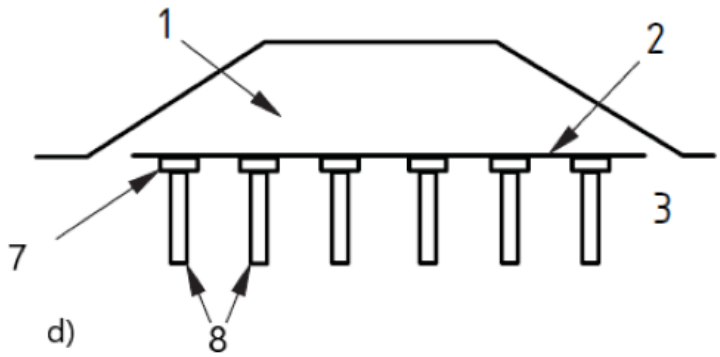
Vertikālās drenas ievērojami paātrina konsolidēšanās laiku un tādēļ tiek izdalīts arī atsevišķs ģeosintētiskā materiāla stiegrošanas veids kopā ar vertikālajām drenām (Attēls 2-1 b)). Šajā rokasgrāmatā šis īpašais gadījums netiek apskatīts. Aprēķini tiek veikti tāpat, kā zemes klātnes stiegrošanā bez pastiprinājumiem, bet, pieņemot grunšu mehāniskās īpašības konkrētajā konsolidācijas pakāpē, konsolidācijas laikā tās tiek uzlabotas. [13]

Attēls 2-1. Ģeosintētiskā materiāla lietošana zemes klātnes stiegrošanā [14]





c)

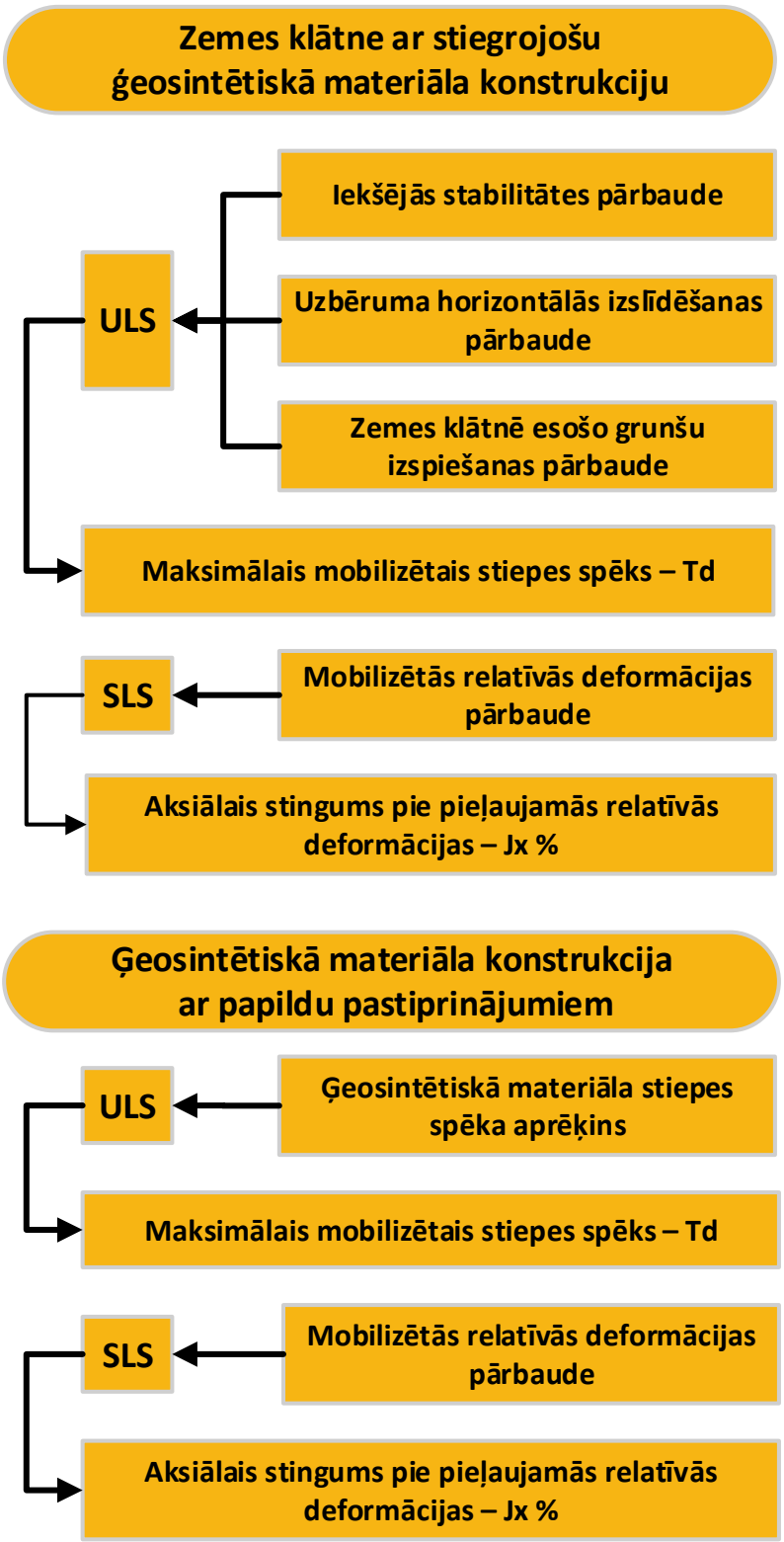


d)

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



2.1.1 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). [15]

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

$$a' = f_{ds} = a_s \frac{tan\delta}{tan\varphi'} + (1 - a_s) \qquad [2.7]$$

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

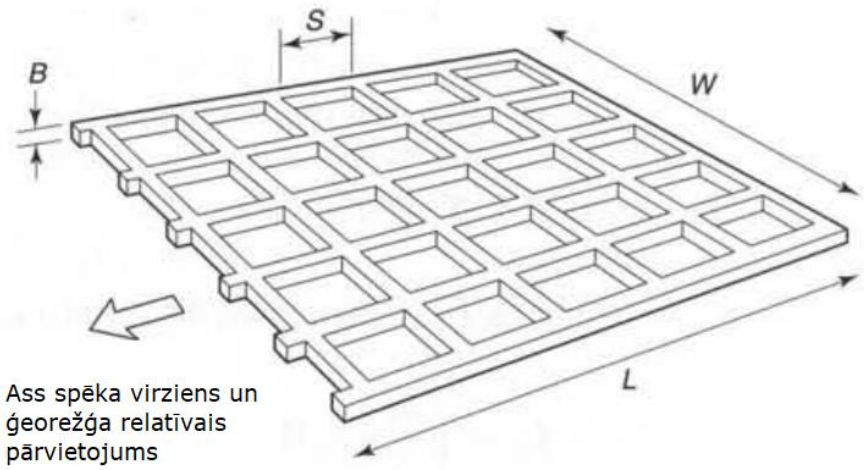
Grunts un ģeosintētiskā materiāla mijiedarbības berzi un ģeorežģa efektīvais laukums nepieciešams noteikt atbilstoši katra konkrētā materiāla BBA sertifikātam [16], bet parasti $0,60 \leq f_{ds} \leq 1,00$. [17]

Grunts saķeres koeficients teorētiski var tikt aprēķināts atbilstoši sekojošai izteiksmei:

$$f_b = a_s \frac{tan\delta}{tan\varphi'} + \frac{\sigma'_p}{\sigma'_n} \times \frac{a_b B}{S} \times \frac{1}{2tan\varphi'} \qquad [2.8]$$

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:

$$f_b = f_{ds} = \frac{tan\delta}{tan\varphi'} \quad [2.9]$$

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:

$$\frac{\sigma'_p}{\sigma'_n} = tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2}\right) e^{[(\frac{\pi}{2})+\varphi']tan\varphi'} \quad [2.10]$$

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

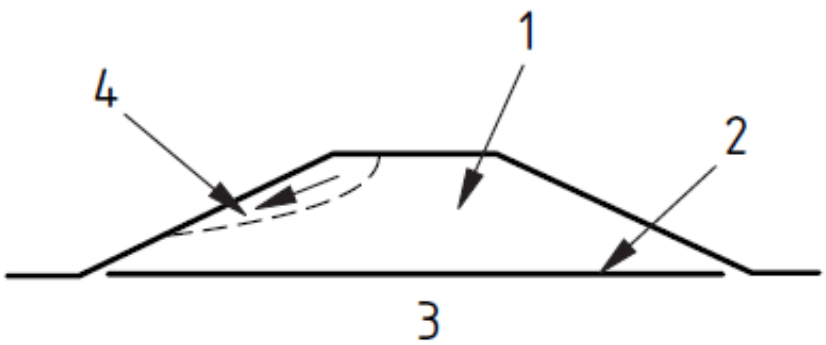
Smalkas zemas nestspējas grunts pamatnes stiegrošanas gadījumā, pārbaudot pamatnes izspiešanu, nepieciešams izmantot smalkas grunts un ģeosintētiskā materiāla savstarpējās iedarbības adhēzijas koeficientu a_{bc} , kuru var noteikt tikai liela izmēra stiegrota un nestiegrota parauga nekonsolidētā nedrenētā trīsasu testā. Tā kā šī koeficienta vērtības nav dotas BS 8006-1 un gadījumā, ja nav pieejamu tiešo mērījumu, var pieņemt, ka $a_{bc} = 0,5$. [18]

2.1.2 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: [14]

- ∇ uzbēruma lokālā stabilitāte;

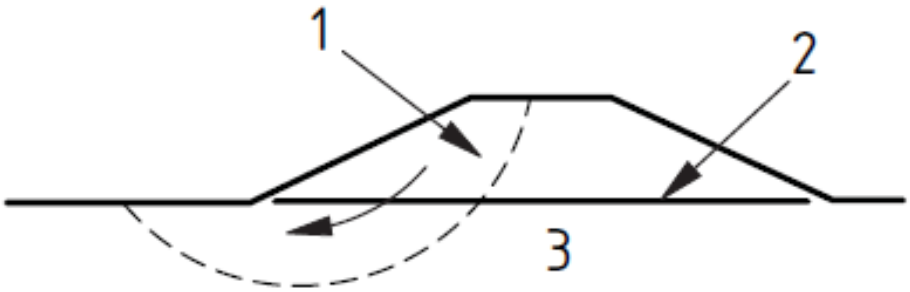
Attēls 2-4. Lokālā uzbēruma stabilitātes shēma



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

- ∇ uzbēruma iekšējā stabilitāte;

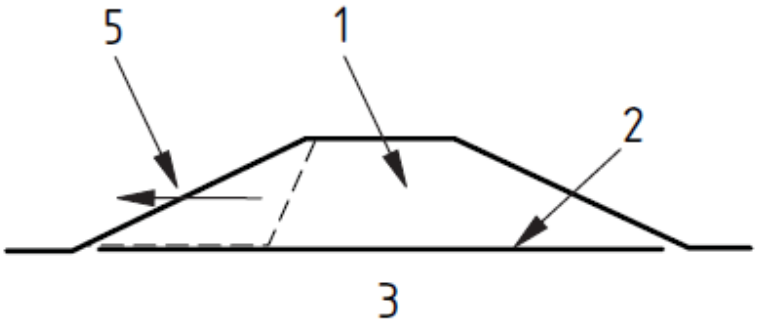
Attēls 2-5. Uzbēruma iekšējās stabilitātes shēma



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

- uzbēruma horizontālā izslīdēšana;

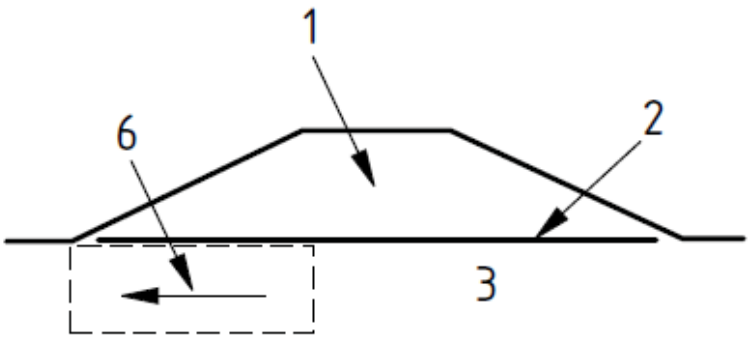
Attēls 2-6. Uzbēruma horizontālās izslīdēšanas shēma



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

- zemes klātnē esošās zemas nestspējas grunts izspiešana;

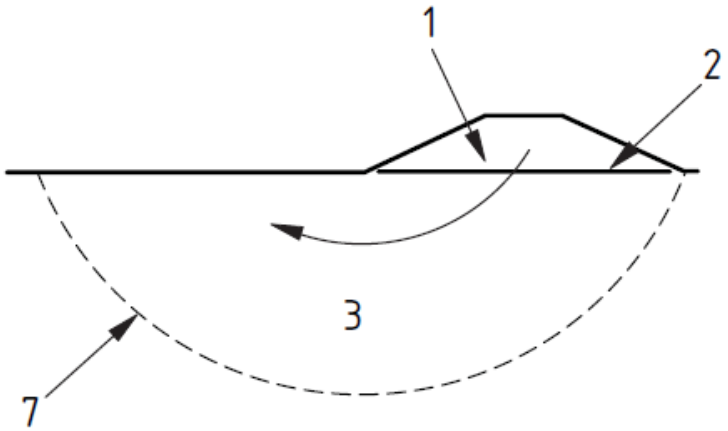
Attēls 2-7. Uzbēruma horizontālās izslīdēšanas shēma



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;

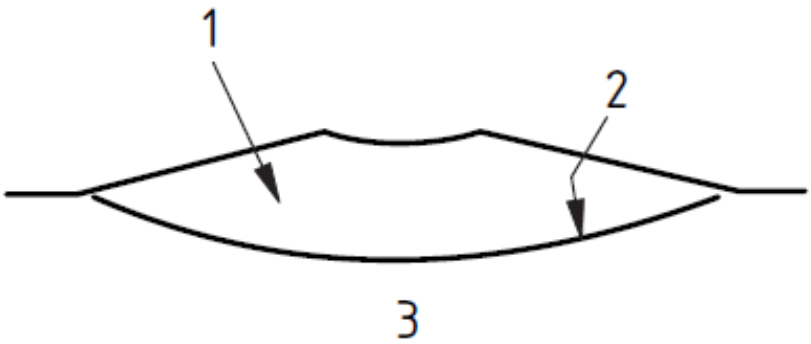
Attēls 2-8. Uzbēruma horizontālās izslīdēšanas shēma



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

- ∇ relatīvās deformācijas pārbaude ģeosintētiskajā materiālā;

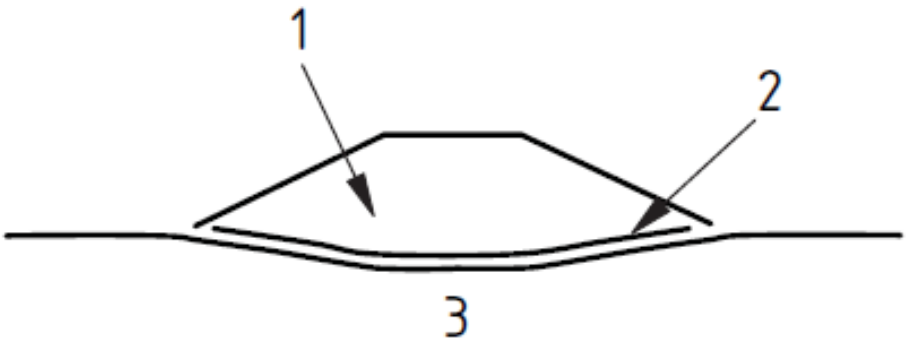
Attēls 2-9. Relatīvā deformācija ģeosintētiskajā materiālā



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

- ∇ pamatnes deformācijas.

Attēls 2-10. 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:

$$\boldsymbol{T_r = T_{ro}} \text{ vai } \boldsymbol{T_r = T_{ds} + T_{rf}} \qquad [2.11.]$$

kur:

T_r– *maksimālais stiepes spēks, kas mobilizēts ģeosintētiskajā materiālā;*

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

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

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:

$$\frac{T_d}{f_n} \geq T_r \qquad [2.12.]$$

kur:

T_d – *stiegrojuma aprēķina stiprība;*

f_n– *parciālais faktors atbilstoši seku kategorijai.*

Tabula 2-1. 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:

$$T_d = T_{cr}/f_m \qquad [2.13.]$$

kur:

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

$$T_{cr} = T_{char}/RF_{cr} \qquad [2.14.]$$

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.*

$$f_m = RF_{id} \cdot RF_w \cdot RF_{ch} \cdot f_s \qquad [2.15.]$$

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. [16] Ja materiālam nav pieejams BBA sertifikāts, tad jāizmanto šādas vērtības:

Tabula 2-2. Redukcijas faktori dažādiem ģeosintētiskajiem materiāliem

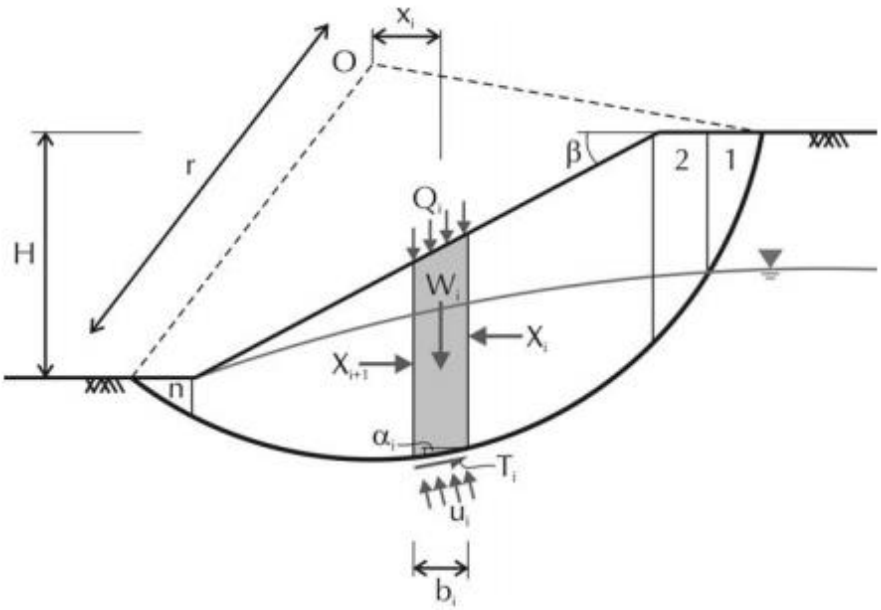
Materiāls	Materiāla apzīmējums	RF_{CR}	RF_{ID}	RF_W	RF_{CH}	f_s
Aramīds	AR	1,5	1,5	1	1	1,1
Poliamīds	PA	1,5	1,5	1	1	1,1
Polietilēns	PE (HDPE)	2,0	1,5	1	1	1,1
Poliesteris	PET	1,5	1,5	1	1	1,1
Polipropilēns	PP	2,5	1,5	1	1	1,1

2.1.2.1 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 2-11. Nogāzes noturības aprēķins, izmantojot rotācijas tipa virsmu atbilstoši Bišopa vienkāršotajai metodei [19]



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: [2.16.]

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

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.

2.1.2.2 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:

$$\boldsymbol{T_{ds} = 0.5 \cdot K_a \cdot H \cdot (f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + 2 \cdot f_q \cdot w_s)} \quad [2.17.]$$

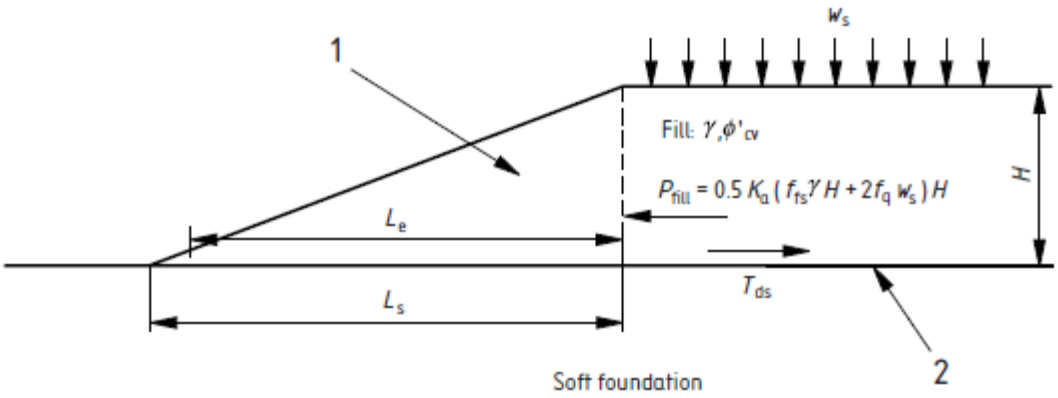
kur:
K_a– grunts aktīvā spiediena koeficients;
H – uzbēruma augstums;
γ – uzbēruma grunts tilpumsvars;
w_s – slodze virs uzbēruma (transporta slodze);
f_{fs} – grunts pašsvara parciālais faktors;
f_q – slodzes parciālais faktors.

$$\boldsymbol{K_a = tan^2(45^\circ - \frac{\varphi'_{cv}}{2})} \quad [2.18.]$$

kur:

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

Attēls 2-12. Mobilizētais stiepes spēks uzbēruma horizontālās izslīdēšanas pārbaudē; 1 – uzbērums; 2 – zemes klātnes stiegrojums



Lai uzbērums neizslīdētu, nepieciešams nodrošināt ģeosintētiskā materiāla enkurošanās garumu:

$$L_e \geq \frac{T_{ds} \cdot f_s \cdot f_n}{\gamma \cdot h \cdot \frac{a' \cdot tan\varphi'_{cv}}{f_{ms}}} \qquad [2.19.]$$

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 2-3. Parciālie faktori atbilstoši BS8006-1

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

$$L_e \geq L_s \qquad [2.20.]$$

kur:

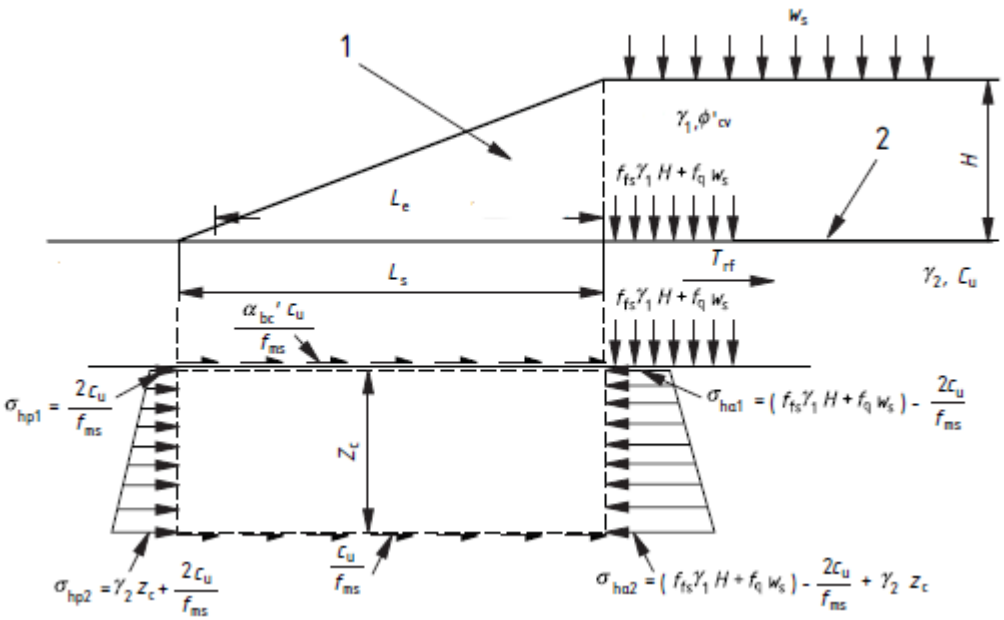
L_s – uzbēruma nogāzes horizontālās projekcijas garums.

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

2.1.2.3 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 2-13. 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:

$$L_s = \frac{(f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + f_q \cdot w_s - \frac{4 \cdot c_u}{f_{ms}}) \cdot z_c}{\frac{(1 + a'_{bc}) \cdot c_u}{f_{ms}}} \quad [2.21.]$$

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:

$$z_c = \sqrt{\frac{(1 + a'_{bc}) \cdot c_u \cdot n \cdot H}{2 \cdot \rho}} \quad [2.22.]$$

kur:
n *– nogāzes garums;*
ρ *– grunts nedrenētās pretestības pieauguma gradients.*

Minimālais nogāzes horizontālās projekcijas garums:

$$L_s = \frac{(f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + f_q \cdot w_s - \frac{(2 \cdot c_u + z_c \cdot \rho) \cdot 2}{f_{ms}}) \cdot z_c}{\frac{(1 + a'_{bc}) \cdot c_u + \rho \cdot z_c}{f_{ms}}} \quad [2.23.]$$

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:

$$T_{rf} = \frac{a'_{bc} \cdot c_u \cdot L_e}{f_{ms}} \quad [2.24.]$$

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.

2.1.2.4 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. [14] 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:

$$\varepsilon = \frac{T_{ds} + T_{rf}}{J} \quad [2.25.]$$

kur:

J *– ģeosintētiskā materiāla nominālais aksiālais stingums.*

Ģeosintētiskā materiāla nominālo aksiālo stingumu iespējams noteikt šādi:

$$J = \frac{T_{d\,(x\%)}}{\varepsilon_{x\%}} \quad [2.26.]$$

kur:

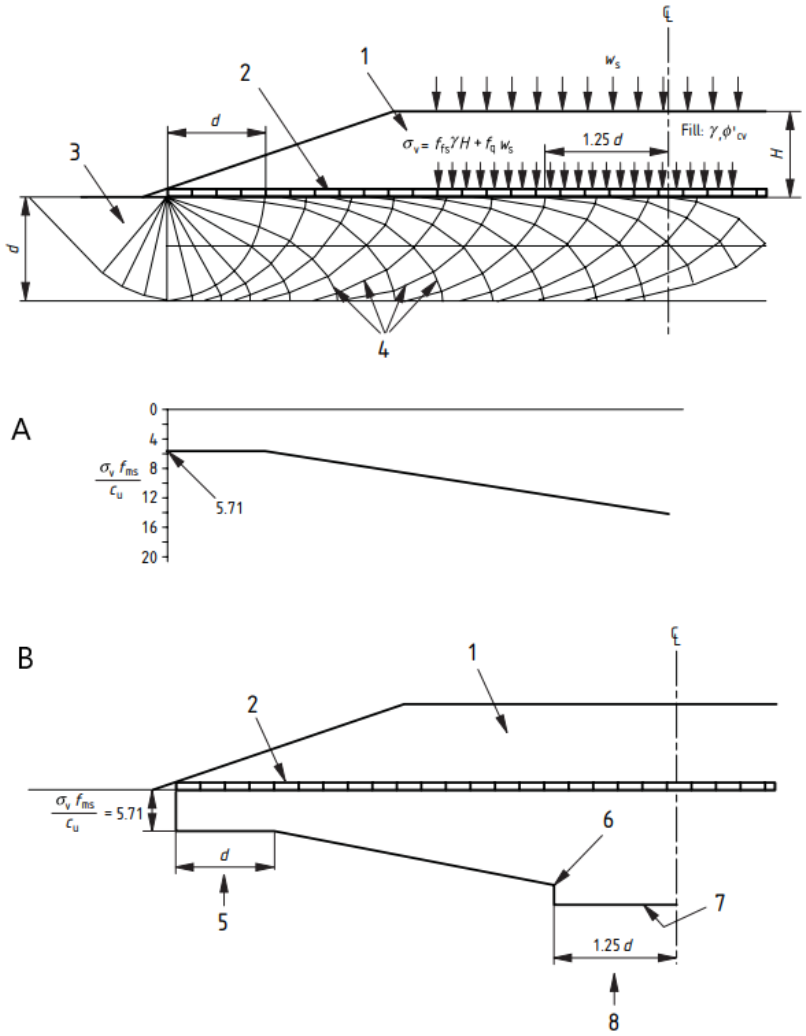
$T_{d(x\%)}$ *– ilglaicīgā stiegrojuma stiepes pretestība noteiktam kalpošanas laikam un projektētajai temperatūrai pie noteikta relatīvā pagarinājuma (parasti 5%);*

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

2.1.3 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 2-14).

Attēls 2-14. 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 2-14) 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.

2.1.4 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.* [20]

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. [21] 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:

$$\boldsymbol{q_{1d} = \gamma_q \cdot q_{1k}} \quad [2.27.]$$

$$\boldsymbol{q_{2d} = \gamma_q \cdot q_{2k}} \quad [2.28.]$$

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 2-4).*

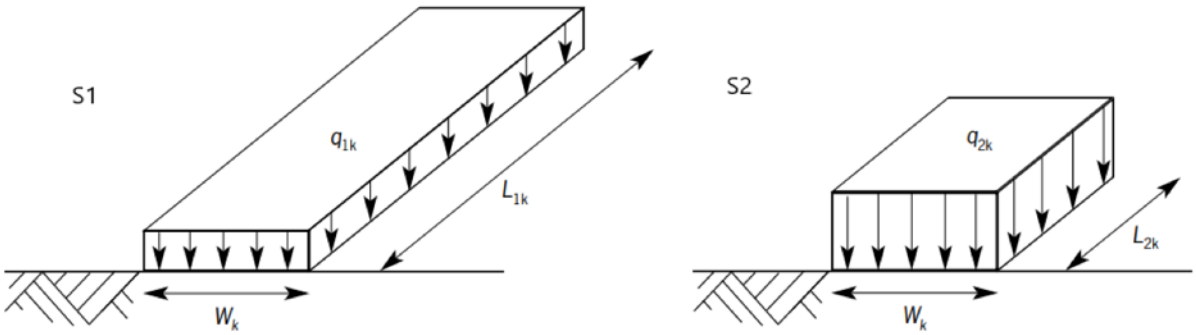
Tabula 2-4. Parciālie faktori slogošanas gadījumiem S1 un S2

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 2-15. 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. [13]

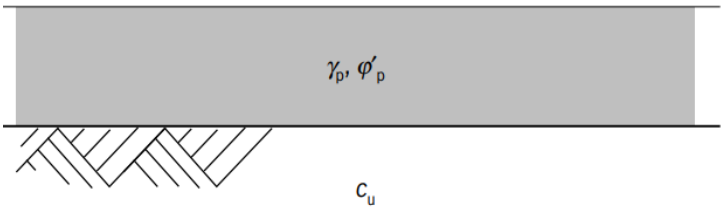
2.1.4.1 Aprēķins smalkās gruntīs

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 2-16. 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:

$$N_\gamma = 2 \cdot tan\varphi'_p \cdot ((1 + e^{\pi \cdot tan\varphi'_p}) \cdot tan^2(45° + \frac{\varphi'_p}{2})) \quad [2.29.]$$

kur:
N_γ – grunts nestspējas faktors rupjām gruntīm;
φ'_p – darba platformas materiāla iekšējās berzes leņķis.

Nestspējas faktors smalkgraudainai zemes klātnes gruntij:

$$N_c = 2 + \pi \quad [2.30.]$$

kur:
N_c – grunts nestspējas faktors smalkām gruntīm.

Aprēķinos jāņem vērā formas faktori:

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot W/L \quad [2.31.]$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot W/L \quad [2.32.]$$

$$s_p = 1 + W/L \quad [2.33.]$$

kur:
W – slodzes pielikšanas platums;
L – slodzes pielikšanas garums.

Savukārt pasīvais grunts spiediena koeficients tiek noteikts šādi:

$$K_p = \frac{1 + sin\varphi'_p}{1 - sin\varphi'_p} \quad [2.34.]$$

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:

$$R_d(zemes\ klātne) = c_u \cdot N_c \cdot s_c \quad [2.35.]$$

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:

$$R_d(darba\ platforma) = 0,5 \cdot \gamma_p \cdot W_d \cdot N_{\gamma p} \cdot s_\gamma \quad [2.36.]$$

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:

$$D_1 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{1d} - c_u \cdot N_c \cdot s_c)}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p}} \quad [2.37.]$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{2d} - c_u \cdot N_c \cdot s_c)}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p}} \quad [2.38.]$$

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:

$$R_d = c_u \cdot N_c \cdot s_c + \frac{D^2}{W} \cdot \gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p + \frac{2 \cdot T_d}{W} \quad [2.39.]$$

kur:

T_d – *ģeosintētiskā materiāla aprēķina stiepes stiprība.*

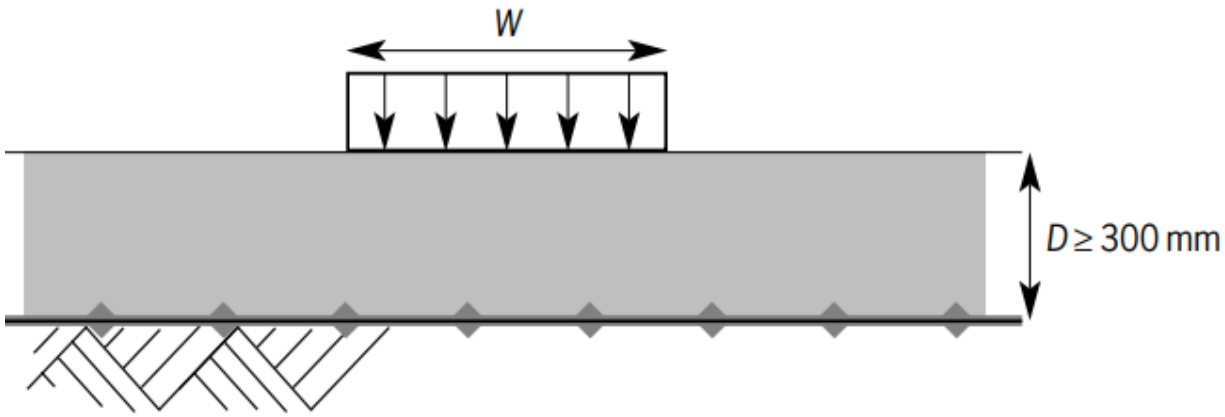
$$T_d = T_{char}/2 \quad [2.40.]$$

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 2-17. Aprēķina shēma darba platformai uz smalkgraudainām gruntīm ar ģeosintētisko materiālu



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

$$D_1 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{1d} - c_u \cdot N_c \cdot s_c - \frac{2 \cdot T_d}{W})}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\,(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p) \cdot s_p}} \quad [2.41.]$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{2d} - c_u \cdot N_c \cdot s_c - \frac{2 \cdot T_d}{W})}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\,(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p) \cdot s_p}} \quad [2.42.]$$

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:

$$c_u \cdot N_c \cdot s_c + \frac{D^2}{W} \cdot \gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p > 1,25 \cdot q_{1k} \quad [2.43.]$$

$$c_u \cdot N_c \cdot s_c + \frac{D^2}{W} \cdot \gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p > 1,05 \cdot q_{2k} \quad [2.44.]$$

2.1.4.2 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:

$$\gamma'_s = \gamma_s - \gamma_w \quad [2.45.]$$

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

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

$$R_d(zemes\ klātne) = 0,5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma \quad [2.46.]$$

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:

$$R_d(darba\ platforma) = 0,5 \cdot \gamma_p \cdot W_d \cdot N_{\gamma p} \cdot s_\gamma \quad [2.47.]$$

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:

$$D_1 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{1d} - 0,5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma)}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p}} \quad [2.48.]$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{2d} - 0.5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma)}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p}} \quad [2.49]$$

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:

$$R_d = 0,5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma + \frac{D^2}{W} \cdot \gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p + \frac{2 \cdot T_d}{W} \quad [2.50.]$$

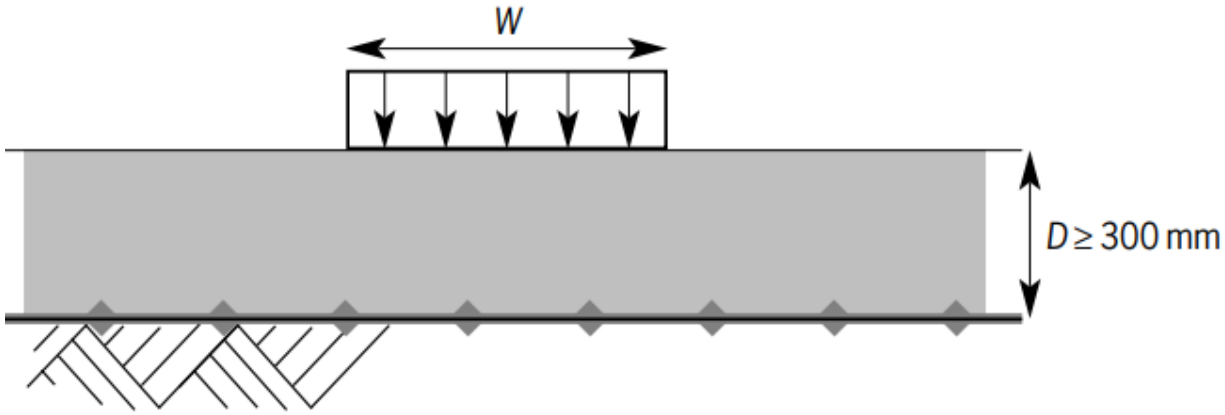
kur:
T_d – *ģeosintētiskā materiāla aprēķina stiepes stiprība.*

$$T_d = T_{char}/2 \quad [2.51.]$$

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 2-18. Aprēķina shēma darba platformai uz rupjām gruntīm ar ģeosintētisko materiālu



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

$$D_1 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{1d} - 0,5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma - \frac{2 \cdot T_d}{W})}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\,(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p) \cdot s_p}} \quad [2.52.]$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{W_d \cdot (q_{2d} - 0,5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma - \frac{2 \cdot T_d}{W})}{\gamma_p \cdot K_p \cdot tan\,(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p) \cdot s_p}} \quad [2.53.]$$

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:

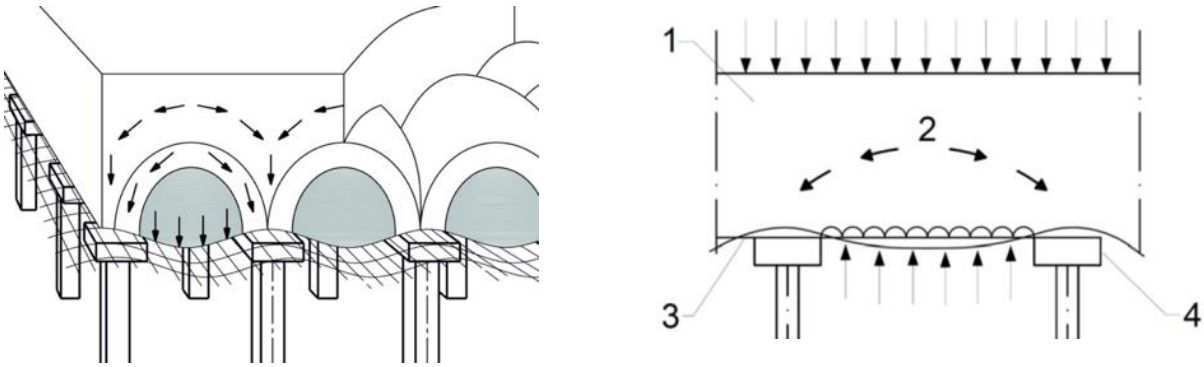
$$0,5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma + \frac{D^2}{W} \cdot \gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p > 1,25 \cdot q_{1k} \quad [2.54.]$$

$$0,5 \cdot \gamma'_s \cdot W \cdot N_{\gamma s} \cdot s_\gamma + \frac{D^2}{W} \cdot \gamma_p \cdot K_p \cdot tan\left(\frac{2}{3} \cdot \varphi'_p\right) \cdot s_p > 1,05 \cdot q_{2k} \quad [2.55.]$$

2.1.5 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 2-19).

Attēls 2-19. 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:

$$\boldsymbol{H \geq 0,7 \cdot (s - a)} \qquad [2.56.]$$

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:

$$\boldsymbol{a_{equ} = \sqrt{\frac{\pi \cdot D^2}{4}}} \qquad [2.57.]$$

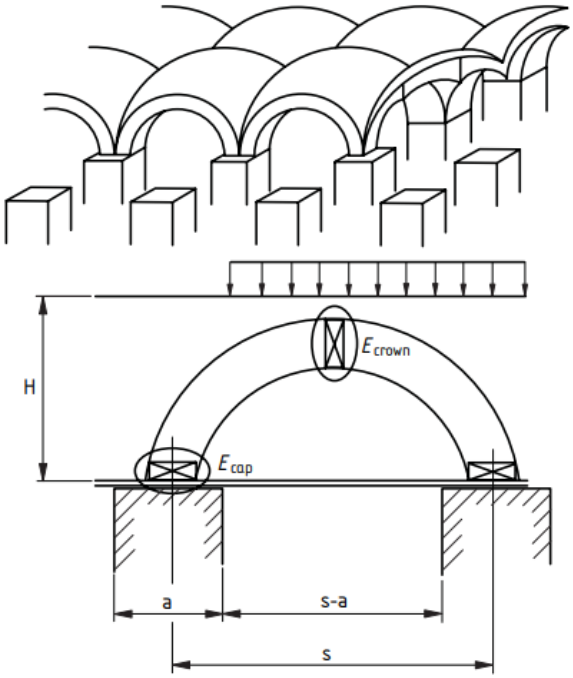
kur:
$\boldsymbol{D}$ *– pastiprinājuma vai režģoga diametrs.*

2.1.5.1 Hjūleta un Randolfa metode atbilstoši BS 8006-1 [14]

Atbilstoši Hjūleta un Randolfa metodei [14] 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 2-20. 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:

$$\boldsymbol{E_{crown} = 1 - \frac{(s^2 - a^2)}{s^2 \cdot \gamma \cdot H} \cdot (\sigma_i + \gamma \cdot \frac{s - a}{\sqrt{2}})} \qquad [2.58.]$$

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:

$$E_{crown} = 1 - (1 - \left(\frac{a}{s}\right)^2) \cdot (A - AB + C) \quad [2.59.]$$

kur:

$$A = 1 - \left(\frac{a}{s}\right)^{2(K_p - 1)} \quad [2.60.]$$

$$B = \frac{s}{\sqrt{2} \cdot H} \cdot \frac{2K_p - 2}{2K_p - 3} \quad [2.61.]$$

$$C = \frac{s - a}{\sqrt{2} \cdot H} \cdot \frac{2K_p - 2}{2K_p - 3} \quad [2.62.]$$

kur pasīvā spiediena koeficients K_p:

$$K_p = \frac{1 + sin\,(\varphi'_p)}{1 - sin\,(\varphi'_p)} \quad [2.63.]$$

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

$$E_{cap} = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad [2.64.]$$

kur:

$$\beta = \frac{2 \cdot K_p}{\left(K_p + 1\right)\left(1 + \frac{a}{s}\right)} \left(\left(1 - \frac{a}{s}\right)^{-K_p} - \left(1 + K_p \frac{a}{s}\right)\right) \quad [2.65.]$$

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

$$W_T = \frac{s \cdot (f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + f_q \cdot w_{s)}}{s^2 - a^2} (1 - E_{min}) \cdot s^2 \quad [2.66.]$$

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. [22]

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

$$W_{Tmin} = 15\% \cdot s \cdot (f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + f_q \cdot w_s) \quad [2.67.]$$

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

$$T_{rp} = \frac{W_T(s-a)}{2a}\sqrt{1+\frac{1}{6\varepsilon}} \quad [2.68.]$$

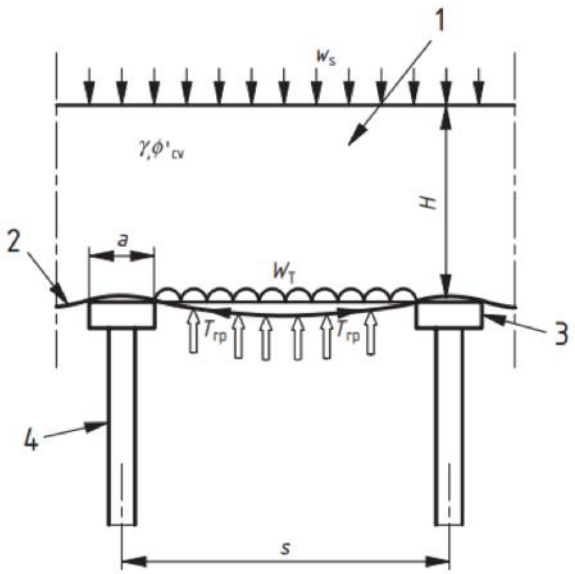
kur:

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

ε *– relatīvā deformācija ģeosintētiskajā materiālā.*

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

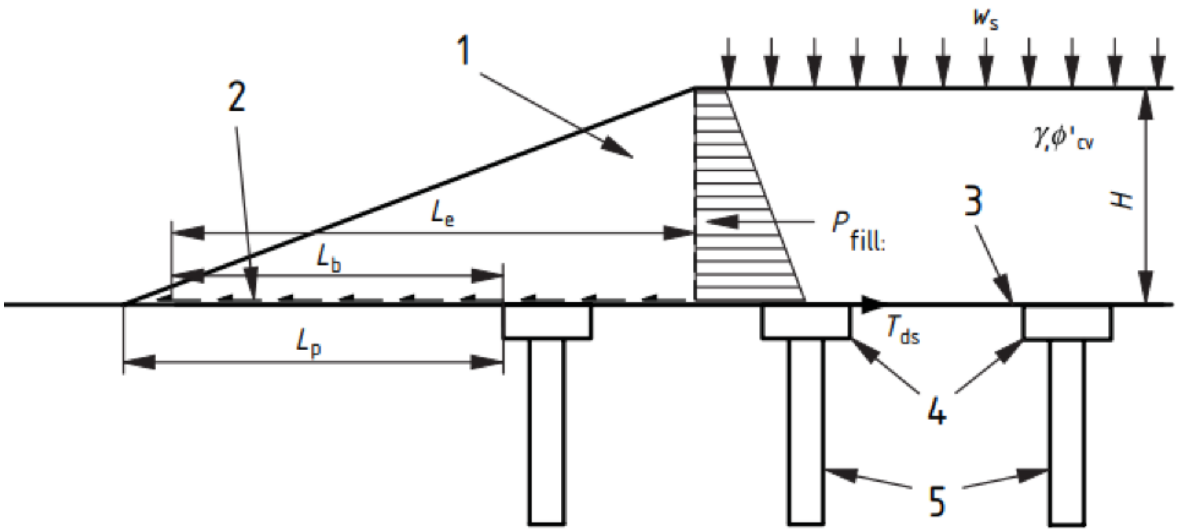
Attēls 2-21. Ģeosintētiskā stiegrojuma darbības shēma starp stingajiem pastiprinājumiem



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 2-22. 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:

$$\boldsymbol{T_{ds} = 0,5 \cdot K_a \cdot (f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + 2 \cdot f_q \cdot w_s) \cdot H} \qquad [2.69.]$$

kur:
$\boldsymbol{T_{ds}}$ *– stiepes spēks ģeosintētiskajā materiālā;*
$\boldsymbol{K_a}$ *– aktīvais grunts spiediena koeficients* $[= \boldsymbol{tan^2(45° - \varphi_{cv}/2)}]$*;*
$\boldsymbol{H}$ *– uzbēruma augstums;*
$\boldsymbol{\gamma}$ *– grunts tilpumsvars;*
$\boldsymbol{w_s}$ *– slodze virs uzbēruma;*
$\boldsymbol{f_{fs}}$ *– grunts tilpumsvara parciālais faktors;*
$\boldsymbol{f_q}$ *– ārējās slodzes parciālais faktors.*

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

$$\boldsymbol{L_e \geq \frac{0,5 \cdot K_a \cdot (f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + 2 \cdot f_q \cdot w_s) \cdot H \cdot f_s \cdot f_n}{\gamma \cdot h \cdot \frac{a' \cdot tan\varphi'_{cv}}{f_{ms}}}} \qquad [2.70.]$$

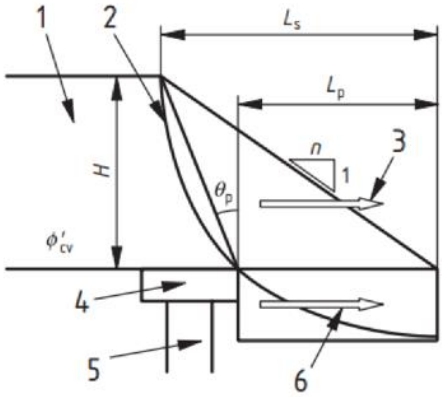
kur:
$\boldsymbol{f_s}$ *– ģeosintētiskā materiāla izslīdēšanas pārbaudes parciālais faktors;*
$\boldsymbol{f_n}$ *– konsekvences klases parciālais faktors (skatīt 2.2.2. nodaļu);*
$\boldsymbol{h}$ *– vidējais uzbēruma grunts augstums virs stiegrojuma* $\boldsymbol{L_e}$ *zonā;*
$\boldsymbol{a'}$ *– grunts/stiegrojuma adhēzijas koeficients;*
$\boldsymbol{\varphi'_{cv}}$ *– nemainīga tilpuma efektīvais iekšējās berzes leņķis;*
$\boldsymbol{f_{ms}}$ *– grunts iekšējās berzes leņķa parciālais faktors.*

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

$$\boldsymbol{L_p \leq H \cdot (n - tan^2(45° - \varphi_{cv}/2))} \qquad [2.71.]$$

kur:
$\boldsymbol{H}$ *– uzbēruma augstums;*
$\boldsymbol{n}$ *– uzbēruma nogāzes slīpums.*

Attēls 2-23. 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:

$$L_b \geq \frac{f_p \cdot f_n (T_{rp} + T_{ds})}{\gamma \cdot h \cdot \left(\frac{a'_1 \cdot tan\varphi'_{cv}}{f_{ms}} + \frac{a'_2 \cdot tan\varphi'_{cv}}{f_{ms}}\right)} \qquad [2.72.]$$

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.

2.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības

Tabulās turpmāk ir norādītas specifikāciju prasības ģeotekstiliem atkarībā no paredzētās lietošanas nestspējas robežstāvoklim (ULS) un lietojamības robežstāvoklim (SLS) (Tabula 2-5 un Tabula 2-6).

Tabula 2-5. 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 2-6. 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.*

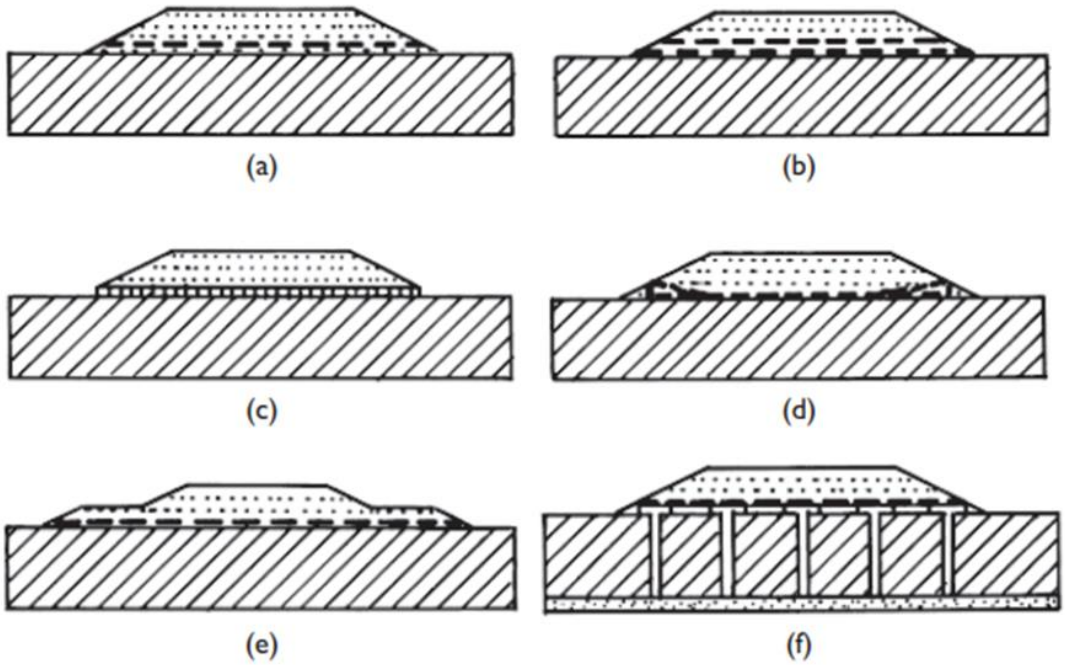
*** tikai austajam augstas stiprības ģeotekstilam un ģeokompozītam.*

**** definē būvprojektā.*

2.3 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 2-24. 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 [15]

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

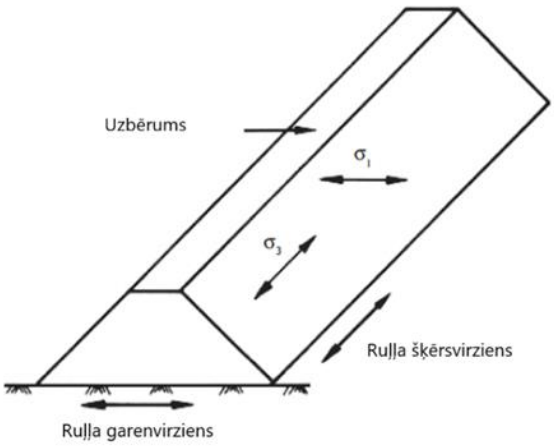
materiāls jāglabā ruļļos vai salocītās loksnēs sausā vietā, kā arī jānodrošina, lai tiem nepiekļūst saules gaisma. Ja ģeosintētiskais materiāls tiek pasargāts ar ultravioletā starojama drošu iepakojumu, cita papildu aizsardzība nav nepieciešama.

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 2-25. Ģeosintētisko materiālu ieklāšanas virzieni [23]



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

Atbilstoši LVS EN 14475 [24] 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

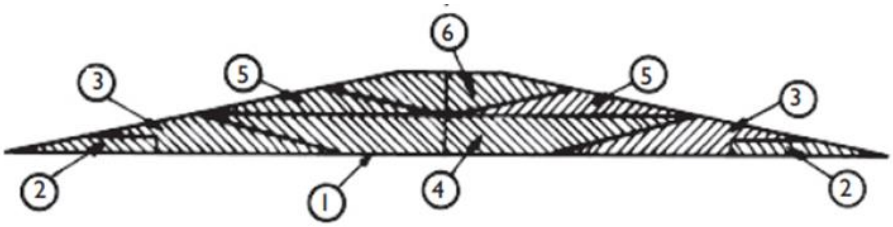
nostieps/nospriegots, pirms tas tiek pārklāts ar uzbēruma grunti, tādējādi mobilizējot stiepes spēkus. Ģeosintētiskie materiāli (pārsvarā ģeotekstili) ultravioletā starojuma ietekmē var zaudēt savas mehāniskās īpašības, ja vien tiem nav speciāla aizsardzība, tādēļ tos nepieciešams pēc iespējams ātrāk 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 2-26. Ieteicamā uzbēruma būvēšanas secība [23]



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.

2.4 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.

2.4.1 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.

2.4.1.1 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 2-27).

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).

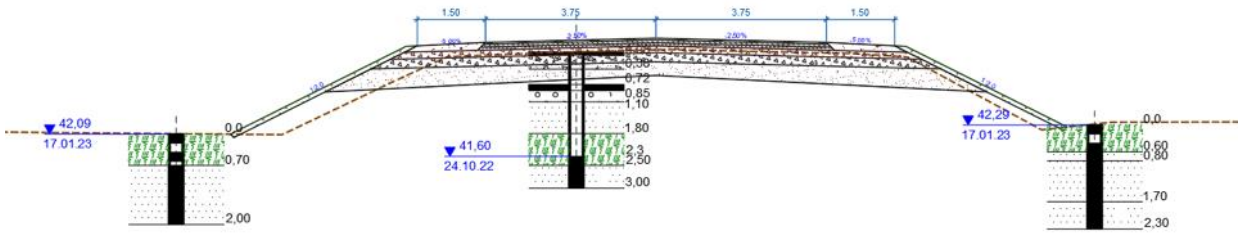
Tabula 2-7. Sākotnējie dati ģeosintētiskā materiāla aprēķinam

Parametrs	Apz.	Vērtība	Mērv.	Atsauce
Uzbēruma augstums	H	2,12	m	
Uzbēruma grunts tilpumsvars	γ'	20	kN/m3	

Parametrs	Apz.	Vērtība	Mērv.	Atsauce
Uzbēruma grunts iekšējās berzes leņķis	φcv	37	°	
Grunts aktīvā spiediena koeficients	Ka	0,248	-	[2.18.]
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 2-27. 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.

2.4.1.2 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: [25]

- ∇ 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

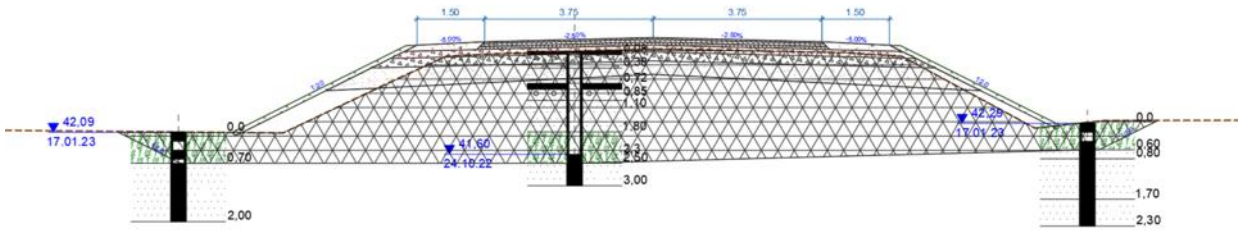
nosacījumu, ka tas tiek kompensēts ar ceļa segas konstrukciju. Zemāk esošām uzbēruma kārtām ir jānodrošina vismaz 25 MPa liela nestspēja.

Grunts atrakšana ir būtiska grunts apmaiņas procesa daļa, kurā jāapzina un jānodrošina vairāki būtiski aspekti: [13]

- 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 2-28. Grunts apmaiņas apjoms izvēlētajā šķērsprofilā



Pieņemot 100 m garu posmu, kopējais grunts apjoms, ko nepieciešams izrakt, veido 3731,47 m³, savukārt grunts apjoms, kuru nepieciešams izrakt zem autoceļa segas konstrukcijas, veido 3002,81 m³ – šo var pieņemt par apmaināmās grunts apjomu, kas attiecināms uz šo risinājumu.

Cenas norādītas tabulā turpmāk.

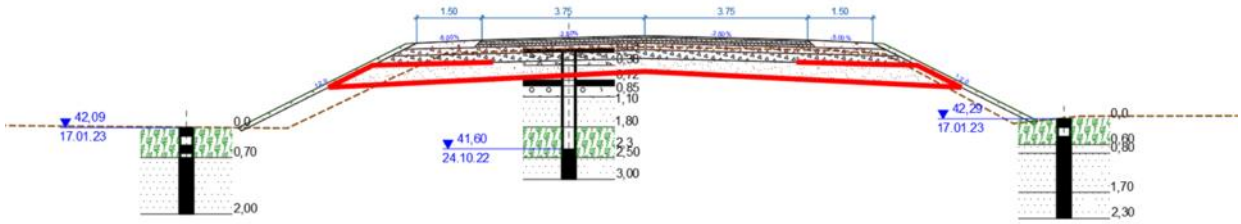
Tabula 2-8. Zemes klātnes būvniecības vienības izmaksas

Zemes klātnes būvniecība	Mērv.	EUR
Zemes klātnes uzbēruma būvniecība	m³	10,54
Zemes klātnes ierakuma būvniecība	m³	5,73

2.4.1.3 Risinājums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu

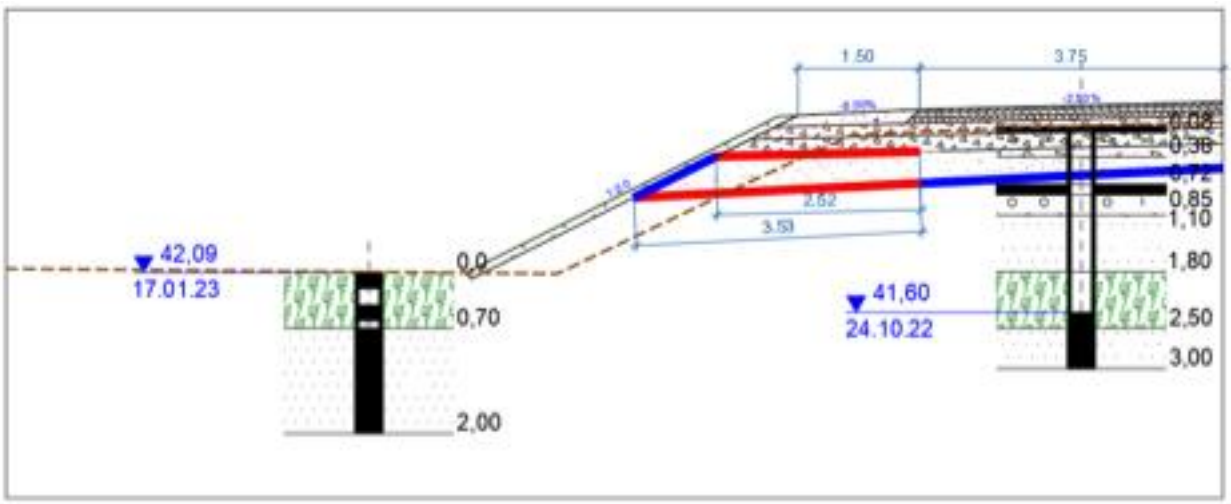
Zemes klātni iespējams stiegrot ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju. Šajā gadījumā nav nepieciešams veikt pilnu grunts apmaiņu.

Attēls 2-29. Autoceļa šķērsprofils ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju



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

Attēls 2-30. 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	-	[2.18.]
Transportslodze	w_s	25	kPa	
Grunts tilpumsvara parciālais faktors	ff_s	1,3	-	Tabula 2-3
Slodzes parciālais faktors	f_q	1,3	-	Tabula 2-3

Parametrs	Apz.	Vērtība	Mērv.	Atsauce
Stiepes spēks horizontālās uzbēruma izslīdēšanas pretestībai	T_{ds}	31,65	kN/m	[2.17.]
Minimālais stiegrojuma enkurošanās garums	L_e	2,86	m	[2.19.]
Izslīdēšanas parciālais faktors	f_s	1,3		Tabula 2-3
Seku klases parciālais faktors	f_n	1,1		Tabula 2-1
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 2-3

** 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	[2.19.]
Nedrenētās pretestības parciālais faktors gruntij	f_{ms}	1		Tabula 2-3
Stiepes spēks zemas nestspējas slāņā izspiešanas pretestībai	Trf	14,30	kN/m	[2.24.]

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

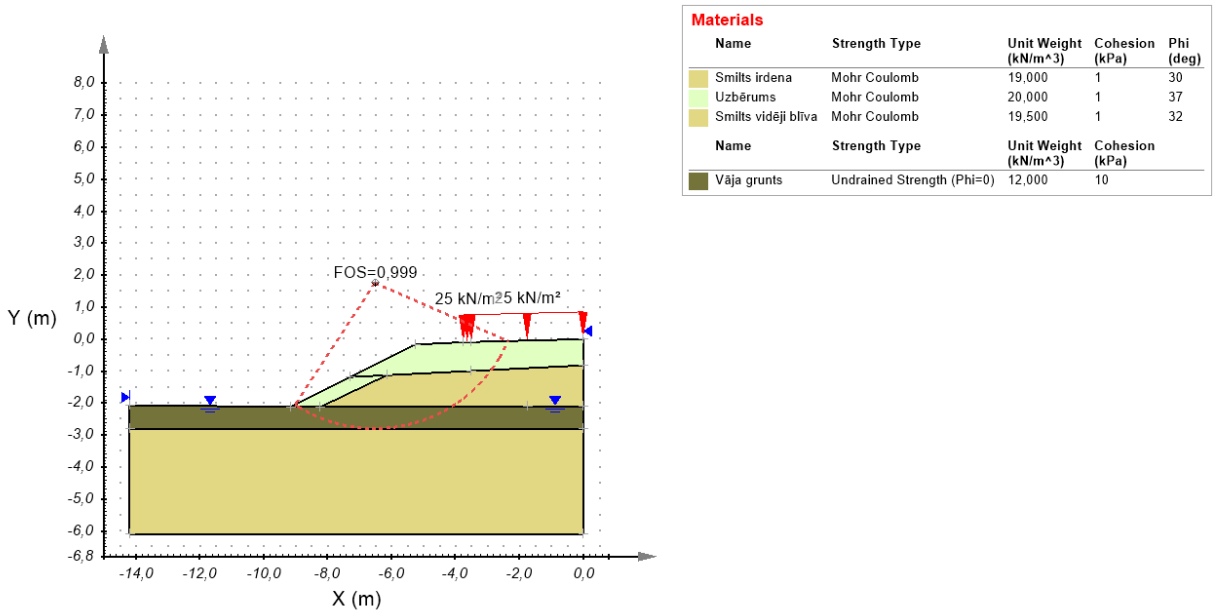
A.3. Nogāzes stabilitātes aprēķins

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;

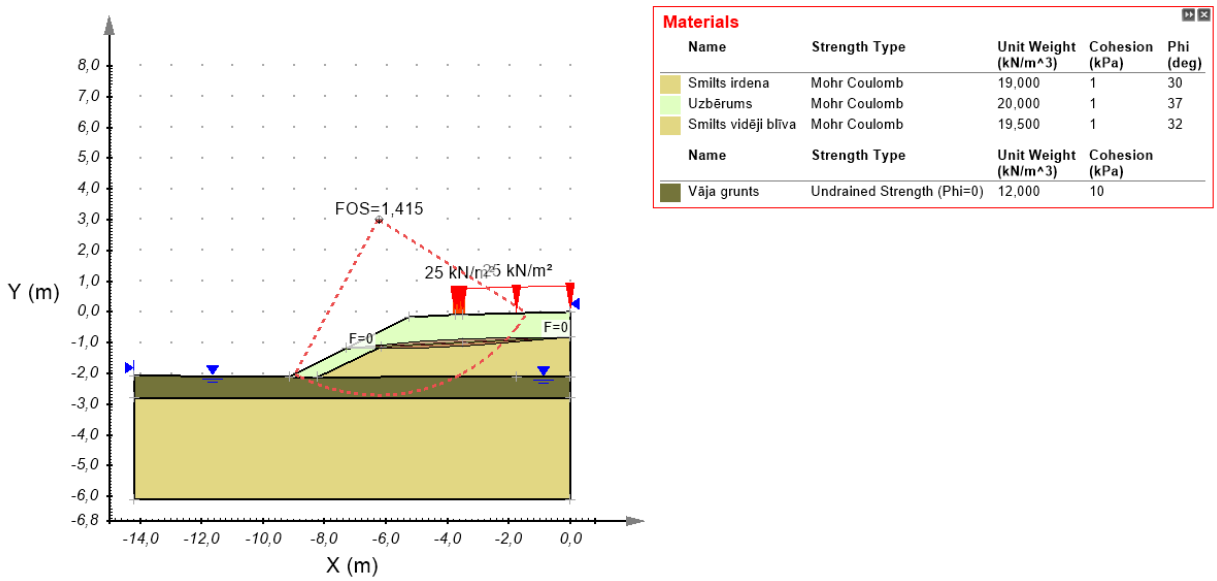
- nepieciešams veikt aprēķinu atbilstoši LVS EN 1997-1 prasībām un aprēķina pieejai, izvērtējot gan nedrenētu, gan drenētu situāciju.

Attēls 2-31. Nogāzes stabilitātes aprēķins bez ģeosintētiskā materiāla konstrukcijas



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 2-32. Nogāzes stabilitātes aprēķins ar ģeosintētiskā materiāla konstrukciju



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. [14]

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		[2.18.]
Transportslodze	w_s	25	kPa	
Grunts tilpumsvara parciālais faktors	f_{fs}	1		Tabula 2-3
Slodzes parciālais faktors	f_q	1		Tabula 2-3
Stiepes spēks horizontālās uzbēruma izslīdēšanas pretestībai	T_{ds}	18,65	kN/m	[2.17.]
Minimālais stiegrojuma enkurošanās garums	L_e	1,98	m	[2.19.]
Izslīdēšanas parciālais faktors	f_s	1		Tabula 2-3
Seku klases parciālais faktors	f_n	1		Tabula 2-1
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 2-3

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	[2.19.]
Nedrenētās pretestības parciālais faktors gruntij	f_{ms}	1		Tabula 2-3
Stiepes spēks zemas nestspējas slāņā izspiešanas pretestībai	Trf	6,73	kN/m	[2.24.]

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	[2.26.]

C. Ģeosintētiskā materiāla specifikācija

Tabula 2-9. 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 2-10. 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 2-11. Zemes klātnes būvniecības izmaksas

Zemes klātnes būvniecība	Mērv.	EUR
Zemes klātnes uzbēruma būvniecība ar ģeosintētiskā materiāla stiegrošanu	m²	6,5

2.4.2 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 2-12. 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

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
			KOPĀ:	48 847,11

Tabula 2-13. 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)" [26] un rokasgrāmatas 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

2.4.2.1 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.

2.4.2.2 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.

2.4.2.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

2.4.2.4 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 2-14. 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)	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 2-15. 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 2-16. 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 2-17. 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:

2.4.2.5 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.

2.4.3 Otrais piemērs ģeosintētisko materiālu lietošanai

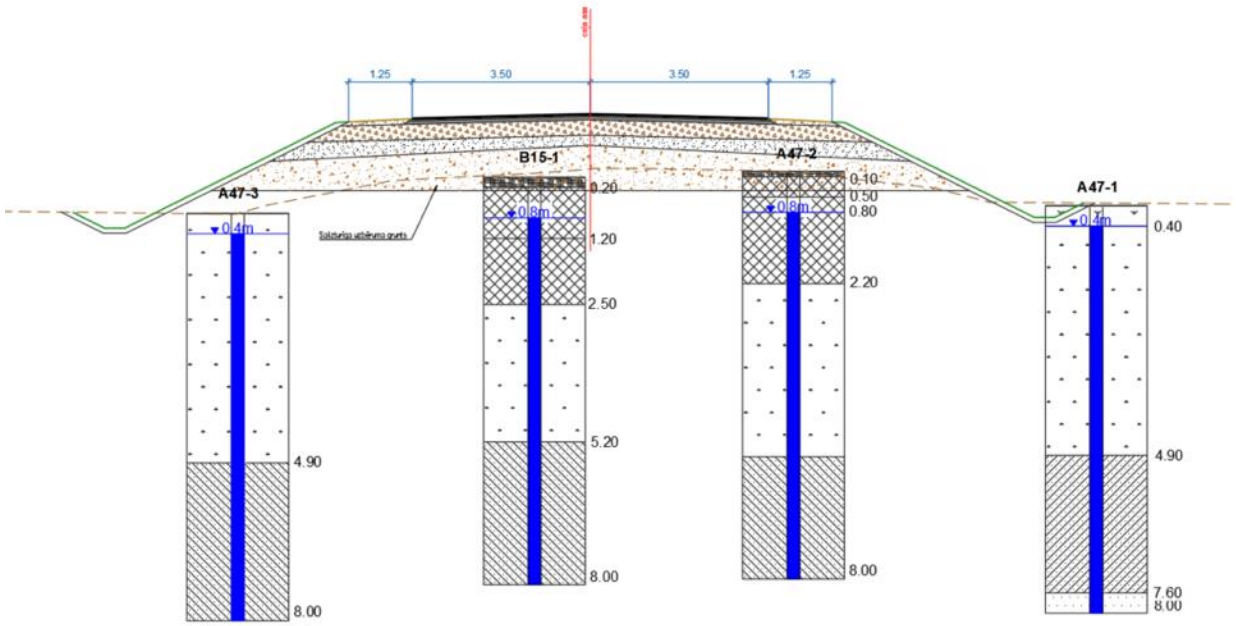
Esoša autoceļa pārbūves gadījumā zemes klātnē dažkārt tiek identificēts biezs zemas nestspējas grunts slānis, kura biezums pārsniedz 3 m. Šādā gadījumā nepieciešams veikt ģeotehniskos aprēķinus un izvērtēt iespējamos risinājumus, lai nodrošinātu autoceļa uzbēruma stabilitāti un lietojamību – nepieciešams 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.

2.4.3.1 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 2-33).

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 rokasgrāmatā.

Attēls 2-33. Autoceļa šķērsprofils, kas izmantots otrajam aprēķina piemēram

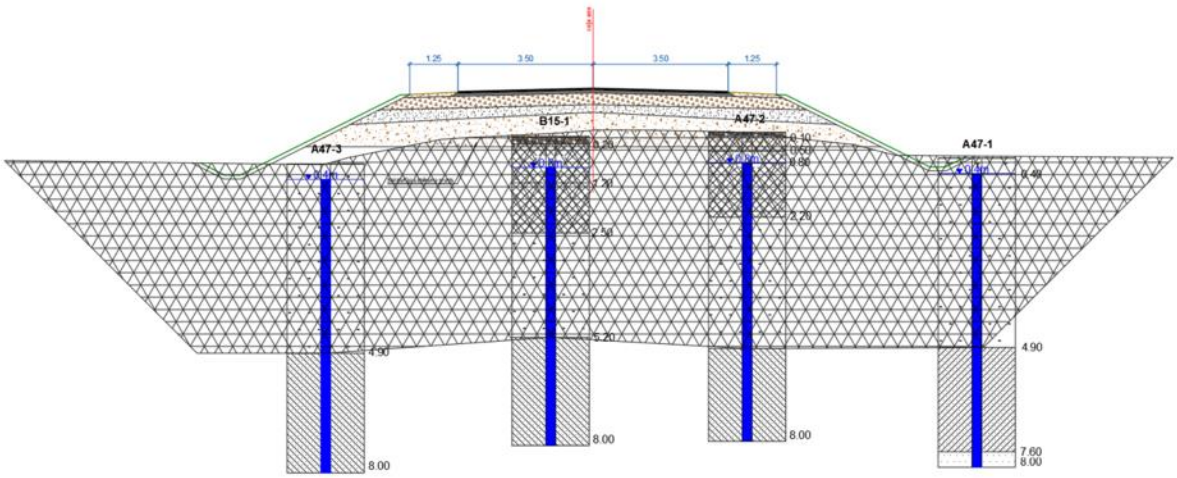


Šajā piemērā tiek salīdzināti divi risinājumi – grunts apmaiņa un grunšu pastiprināšana ar betona stingajiem pastiprinājumiem un ģeosintētisko materiālu slodzes pārneses platformā.

2.4.3.2 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 2-34. 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.

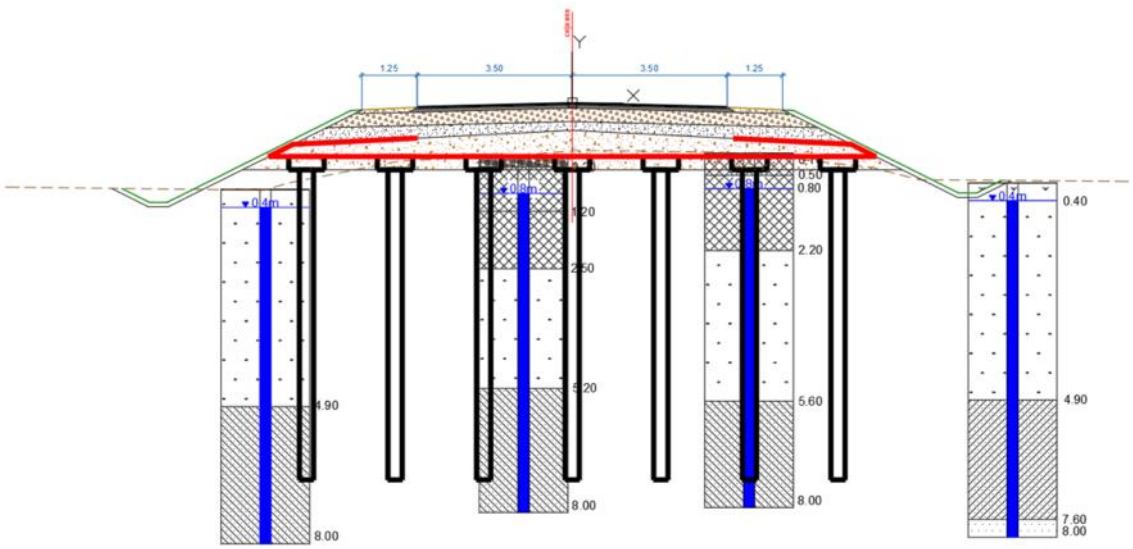
Tabula 2-18. Zemes klātnes būvniecības vienības izmaksas

Zemes klātnes būvniecība	Mērv.	EUR
Zemes klātnes uzbēruma būvniecība	m³	10,54
Zemes klātnes ierakuma būvniecība	m³	5,73

2.4.3.3 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 2-35. 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

Parametrs	Apz.	Vērtība	Mērv.
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 2-3
Slodzes faktors: pastāvīgās slodzes	f_t =	1,20	1,00	Tabula 2-3
Slodzes faktors: mainīgās slodzes	f_q =	1,30	1,00	Tabula 2-3
Parciālais faktors: izraušana	f_p =	1,30	1,00	Tabula 2-3
Parciālais faktors: izslīdēšana	f_s =	1,30	1,00	Tabula 2-3
Parciālais faktors: tanφ'_{cv}	f_{ms} =	1,00	1,00	Tabula 2-3
Konsekvences klases parciālais faktors	f_n =	1,10	1,10	Tabula 2-1
Parciālais faktors: šļūde	f_{cr} =	1,40	1,00	Tabula 2-3

** 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	[2.56.]

B. Aprēķins atbilstoši BS8006-1 [14]

	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	

		ULS			**SLS**	
$C = [(s-a)/\sqrt{2}\cdot H][(2K_p-2)/(2K_p-3)]$		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
$W_T = \max\{W_T, W_{T,min}\}$		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						
$K_a = \tan^2(45° - \varphi_{cv1}/2)$	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. deformāciju (% ULS)	SCS* =	46,5	%			
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	$L_e>[0,5K_aH(f_{fs}\gamma H+2f_qw_s)f_sf_n]/[(\gamma h_s a' \tan\varphi'_{cv1})/f_{ms}]$				2,62	m
Šķērsām uzbērumam	$L_b>[f_nf_p(T_{rp}+T_{ds})]/[\gamma h(a'_1\tan\varphi'_{cv1}/f_{ms}+a'_2\tan\varphi'_{cv2}/f_{ms})]$				14,71	m
Paralēli uzbērumam	$L_b>[f_nf_pT_{rp}]/[\gamma h_a(a'_1\tan\varphi'_{cv1}/f_{ms}+a'_2\tan\varphi'_{cv2}/f_{ms})]$				6,63	m

** SCS jānolasa no materiāla BBA sertifikāta [16] – 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 2-19. 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 2-20. 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:

$$\boldsymbol{RF_{ID} = 1,0}$$

$RF_{CH} = 1,0$
$RF_{CR} = 1,5$
$f_s = 1,04$

$$T_{CR} = \frac{T_{char}}{RF_{CR}} = 475\ kN/m/1,5 = 317kN/m$$

$$T_D = \frac{T_{CR}}{f_m} = 317kN/m/1,0/1,0/1,04 = 305kN/m$$

$$J_{6\%} = \frac{T_D}{10\%} \sim \frac{T_{D6\%}}{6\%} = 3050kN/m$$

II. Stabilenka 600/50 atbilstoši BBA sertifikātam divos slāņos, kas veido 637,5 kN/m:

$RF_{ID} = 1,1$
$RF_{CH} = 1,01$
$RF_{CR} = 1,5$
$f_s = 1,02$

$$T_{CR} = \frac{T_{char}}{RF_{CR}} = 637,5kN/m/1,5 = 425kN/m$$

$$T_D = \frac{T_{CR}}{f_m} = 425kN/m/1,01/1,02/1,1 = 375kN/m$$

$$J = \frac{T_{D10\%}}{10\%} \sim \frac{T_{D6\%}}{6\%} = 3750kN/m$$

Cena abiem materiāliem pieņemta vienāda – skatīt tabulā turpmāk.

Tabula 2-21. Izmaksas zemes klātnes stiegrošanai ar ģeosintētisko materiālu

Zemes klātnes būvniecība	Mērv.	EUR
Zemes klātnes uzbēruma būvniecība ar ģeosintētiskā materiāla stiegrošanu	m²	6,5

2.4.4 Izstrādāto otrā piemēra risinājumu tehniski ekonomiskais un ietekmes uz vidi salīdzinājums

Cenu salīdzinājums veikts 100 m garam ceļa posmam.

Tabula 2-22. 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 2-23. Izmaksas projekta risinājumam ar grunšu pastiprināšanu

Darba pozīcija	Mērvienība	Apjoms	Vienības izmaksas, EUR	Kopējās izmaksas, EUR
Stiegrojošā ģeosintētiskā materiāla izbūve	m^2	4078,68	6,5	26 511,42
Pāļu izbūve (L = 7 m; D = 0,32 m)*	m^3	200,98	808,21	162 434,05
Pāļu režģogu izbūve (0,8 x 0,8 x 0,3 m)**	m^3	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)" [26] un rokasgrāmatas 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

2.4.4.1 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.

2.4.4.2 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.

2.4.4.3 Tvērums

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)*, iekļaujot šādus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

2.4.4.4 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 2-24. 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 2-25. 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 2-26. 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 2-27. 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**

2.4.4.5 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.

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:

- ∇ uzlabot vājas pamatnes nestspēju;
- ∇ nodrošināt nesaistītās ceļa segas kārtas ieķīlēšanos;
- ∇ radīt vertikāli nospriegotu membrānas atbalstu seguma slāņiem relatīvi lielas vertikālās deformācijas apstākļos. [27]

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. [28]

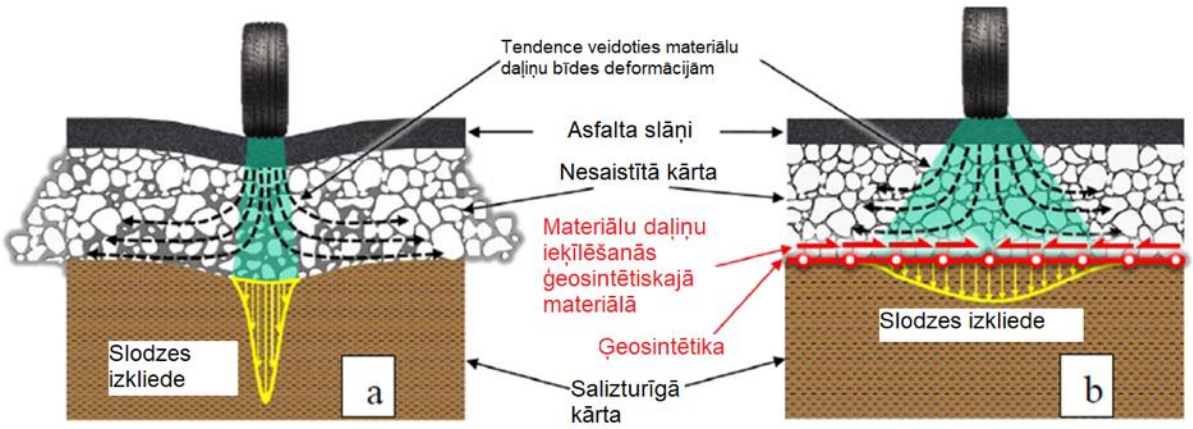
3.1 Projektēšanas principi

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. [29]

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:

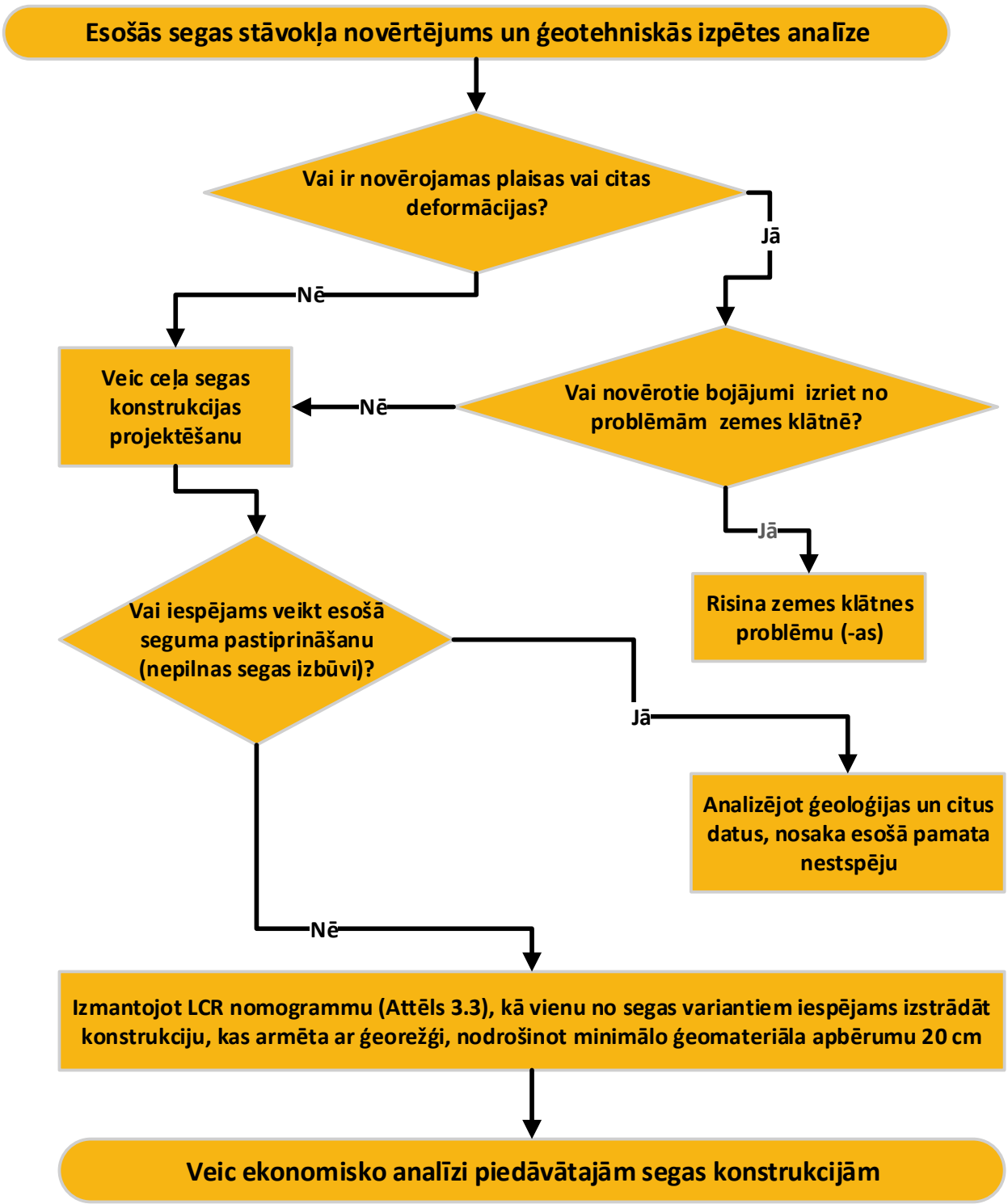
- ierobežotas seguma virsmas atzīmes apstākļos – vietējās drenāžas tīklu vai vertikālā gabarīta dēļ. Ģeorežģis var nodrošināt mazāku nesaistītās kārtas un līdz ar to segas konstrukcijas biezumu, nodrošinot nestspēju, kas ir līdzvērtīga segumam ar biezāku nesaistīto kārtu;
- vietās, kur nepieciešams paātrināt 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

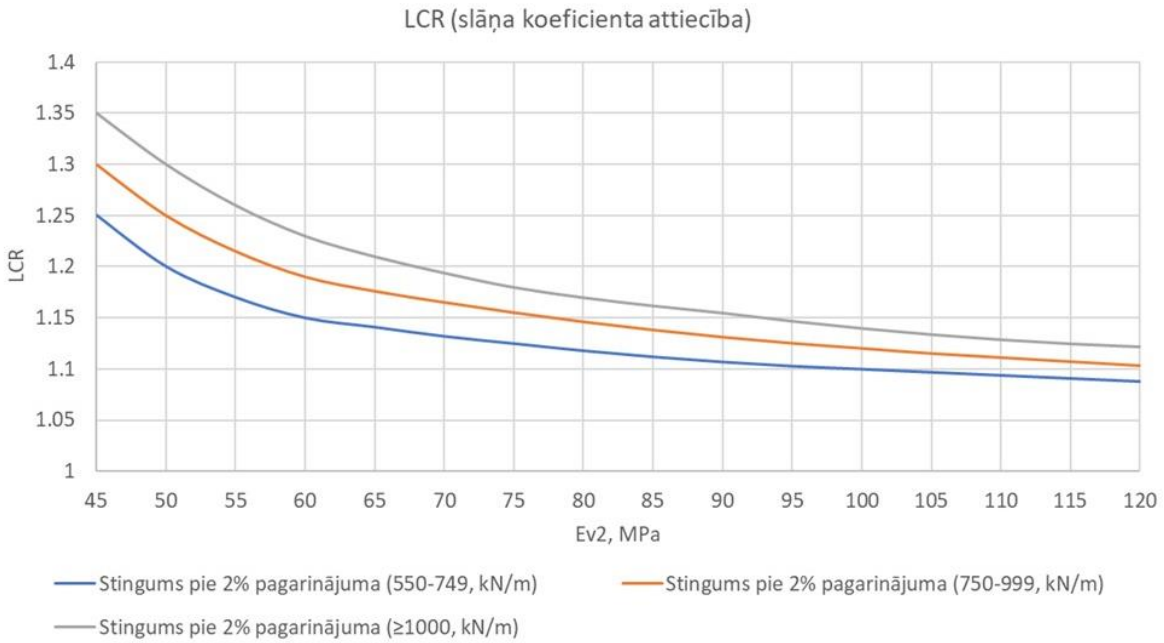


Ģeorežģu projektēšana ceļiem ar asfalta segumu un ceļiem ar nesaistītu segumu tiek veikta ar empīrisku projektēšanas metodi, kas balstīta uz nestspējas teoriju.

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}



3.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības

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 [3.73.] formulu:

$$J_{a-b} = \frac{F_a - F_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b} \qquad [3.73.]$$

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 3-1) norādītās deklarējamās minimālās īpašības. Stiegrošanas ģeosintētisko materiālu īpašību skaitliskās robežvērtības jānosaka būvprojektā.

Tabula 3-1. 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	Mazāk nekā 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 [30] [31], 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 3-2. Nepastiprinātas segas konstrukcija

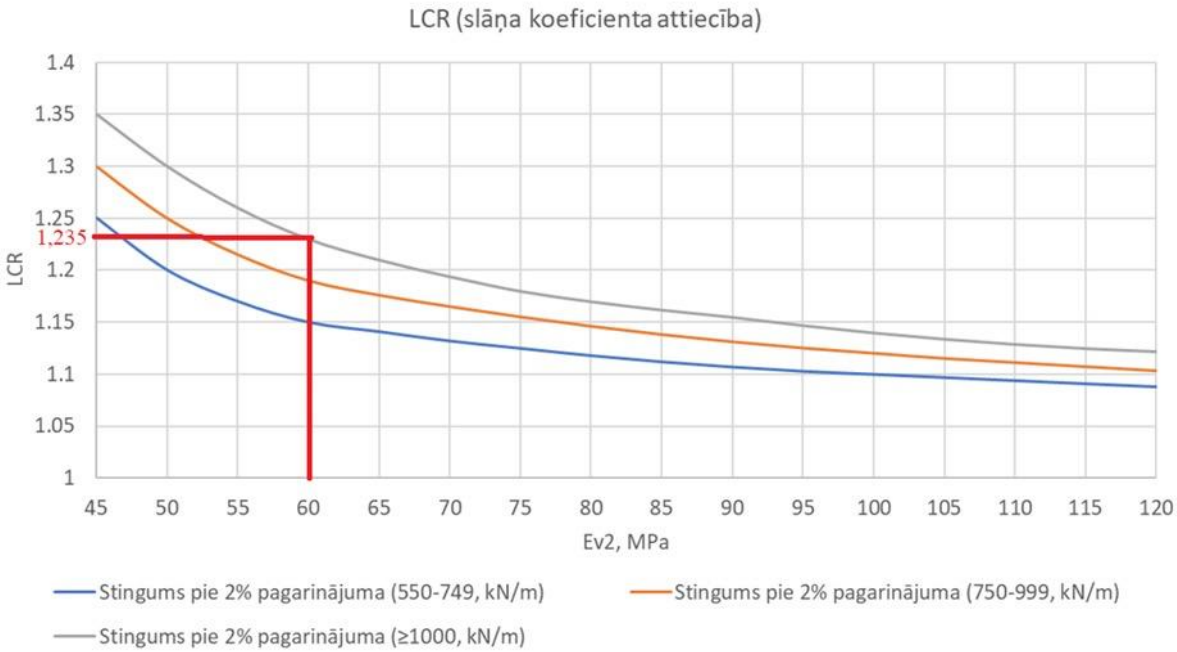
Nr. p. k.	**Materiāla nosaukums**	**Slāņa biez. h, cm**	**E pie 10 ℃, MPa**	**Braucoša aut. D**	**h/D**	**$E_{apakšk}$/ E_{mat}**	**E_{ekv}/ E_{mat}**	**E_{ekv} 100 kN, MPa**
1	Asfaltbetons AC 11 surf	4	2950	37	0,108	0,0515	0,0573	168,92
2	Asfaltbetons AC 22 base	6	1900	37	0,162	0,0631	0,0799	151,84
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							45

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
	grunts							

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 3-4. LCR pret E_{V2}



Ņemot vērā noteikto LCR koeficientu, iespējams noteikt pastiprinātas segas konstrukciju.

Tabula 3-3. 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 tiek veikts 100 m garam ceļa posmam.

Tabula 3-4. 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

Autoceļu un tiltu būvniecības cenu katalogs – Latvijas Valsts Ceļi (lvceli.lv)

Tabula 3-5. 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)" [26] un rokasgrāmatas 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 3-6. 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 3-7. 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 3-8. 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 (m³)	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/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 3-9. 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 3-10. Nepastiprinātas segas konstrukcija

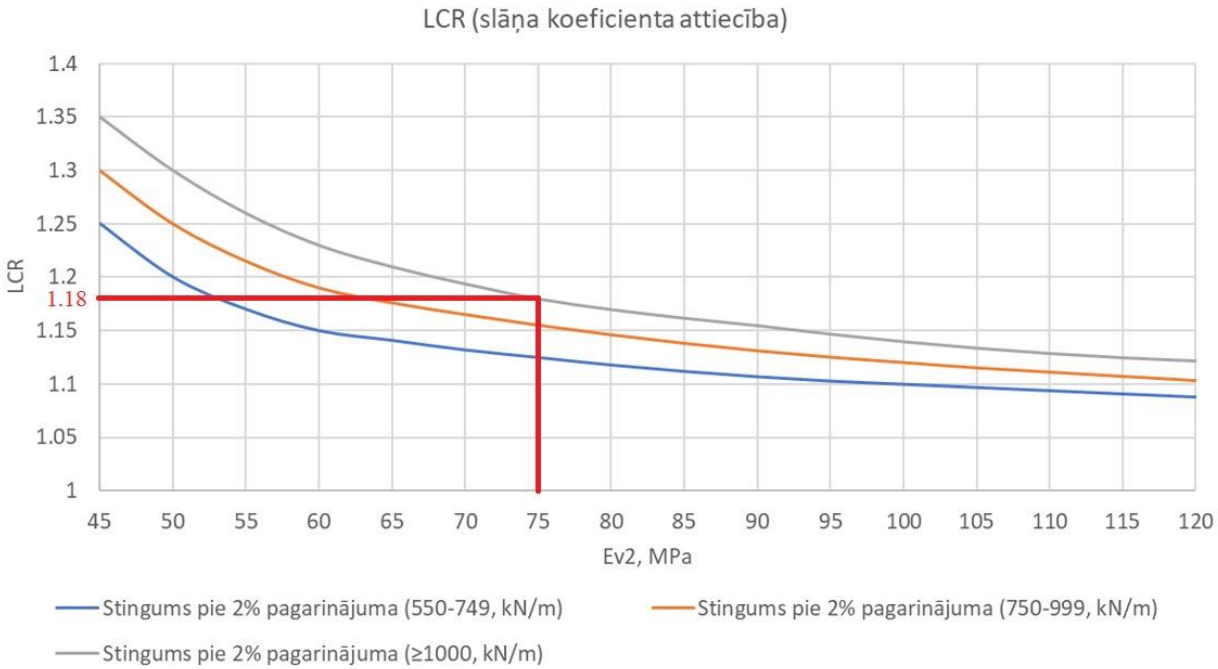
Nr. p. k.	Materiāla nosaukums	Slāņa biez. h, cm	E pie 10 °C, MPa	Braucoša aut. D	h/D	$E_{apakšk}/E_{mat}$	E_{ekv}/E_{mat}	E_{ekv} 100 kN, MPa
1	Asfaltbetons AC 11 surf	4	2950	37	0,108	0,0698	0,0784	231,42
2	Asfaltbetons AC 22 base	8	1900	37	0,216	0,0763	0,1084	205,96

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 3-5. LCR pret EV2



Ņemot vērā noteikto LCR koeficientu, iespējams noteikt pastiprinātas segas konstrukciju.

Tabula 3-11. 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 3-12. 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 3-13. 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)" [26] un rokasgrāmatas 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 3-14. 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 3-15. 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 3-16. 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 3-17. 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.

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.

Atdalīšanas nepieciešamība ir jāpamato ar esošo grunšu mehānisko parametru analīzi un aprēķinu. Tā jānosaka atkarībā no esošās grunts un minerālmateriāla, kas paredzēts izmantošanai virs esošās grunts (nosedzošais minerālmateriāls), daļiņu izmēru attiecības. Atdalīšanai paredzēts izmantot austos un neaustos ģeotekstilus.

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 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 4-1 un Tabula 4-2).

Tabula 4-1. 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 4-2. Ģeotekstila raksturīgās īpašības, kas ir noteicošas filtrācijas funkcijai [30]

Ģeotekstila funkcijas	Raksturīgie parametri	Ģeotekstila izmantošana
Primārā funkcija –	∇ raksturīgu atvērumu izmērs ∇ caurlaidība perpendikulāri plaknei	Filtrs ap drenējošu minerālmateriālu

Ģeotekstila funkcijas	Raksturīgie parametri	Ģeotekstila izmantošana
filtrācija	∇ biezums zem 2 kPa	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)	

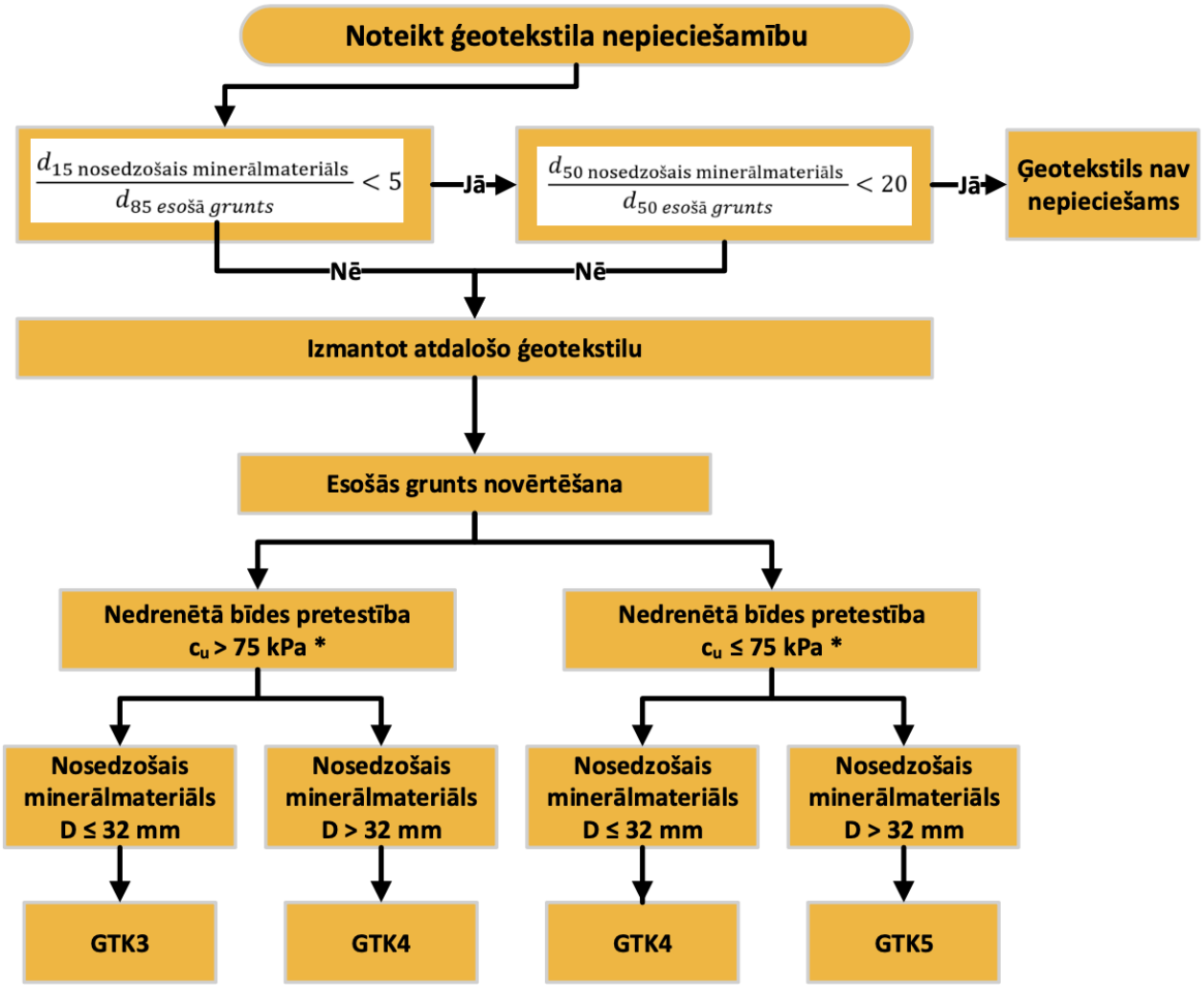
Lai noteiktu minimālās prasības ģeotekstilam, atdalīšanas vai filtrācijas funkcijām ir nepieciešami sekojošie dati:

- ∇ 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.

4.1.1 Ģeotekstils atdalīšanai

Attēls 4-1. 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:

$$\frac{d_{15\ nosedzošais\ minerālmateriāls}}{d_{85\ esošā\ grunts}} < 5 \qquad [4.74.]$$

$$\frac{d_{50\ nosedzošais\ minerālmateriāls}}{d_{50\ esošā\ grunts}} < 20 \qquad [4.75.]$$

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. [32]

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 4-3). Ģeotekstila klašu raksturlielumu vērtības norādītas nodaļā 4.2. Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības.

Tabula 4-3. 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 4-3) minētājiem, nepieciešams veikt sekojošo ģeotekstila parametru novērtējumu:

1. Noteikt neausta ģeotekstila maksimālo stiepes stiprību T_{reqd} pēc formulas:

$$\boldsymbol{T_{reqd} = p'(d_v)^2[f(\varepsilon)]}, \qquad [\mathbf{4.76}.]$$

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.*

$$\boldsymbol{f(\varepsilon) = \frac{1}{4} * \left(\frac{2y}{b} + \frac{b}{2y}\right)}, \qquad [\mathbf{4.77}.]$$

kur:

b *– maksimālais attālums starp daļiņām;*

y *– ģeotekstila vertikālā deformācija.*

2. Pieņemt ģeotekstila pagarinājumu. Neaustiem ģeotekstiliem maksimālais pagarinājums ir vienāds ar:

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0}(100) = \frac{\left[d + 2\left(\frac{d}{2}\right)\right] - 3\left(\frac{d}{2}\right)}{3\left(\frac{d}{2}\right)}(100) = \frac{4\left(\frac{d}{2}\right) - 3\left(\frac{d}{2}\right)}{3\left(\frac{d}{2}\right)}(100) = 33\%, \quad [4.78.]$$

kur:
S ~ d/2;
l_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.

3. Ģeotekstila absorbcijas indeksa Ra drošības koeficients pēc formulas [**1.1**.] jāpieņem ≥ 2,0. Noteikt ģeotekstila izturību pret caurduršanu pēc formulas:

$$F_{reqd} = p' {d_a}^2 S_1 S_2 S_3 \quad [4.79]$$

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 4-4. 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.

4. Jānosaka ģeotekstila raksturīgā atvēruma izmēra minimālās un maksimālās robežas:

O_{90} maksimālā vērtība: $$\frac{O_{90}}{d_{90}} \leq 2 \quad [4.80.]$$

O_{90} minimālā vērtība: $$O_{90} \geq 0,05\ mm \quad [4.81.]$$

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).

5. Jāpārliecinās, ka atdaloša ģeotekstila ūdenscaurlaidība ir lielāka par grunts caurlaidību:

$$K_{n,ģeotekstils} > K_{n,grunts}, \quad [4.82.]$$

kur:

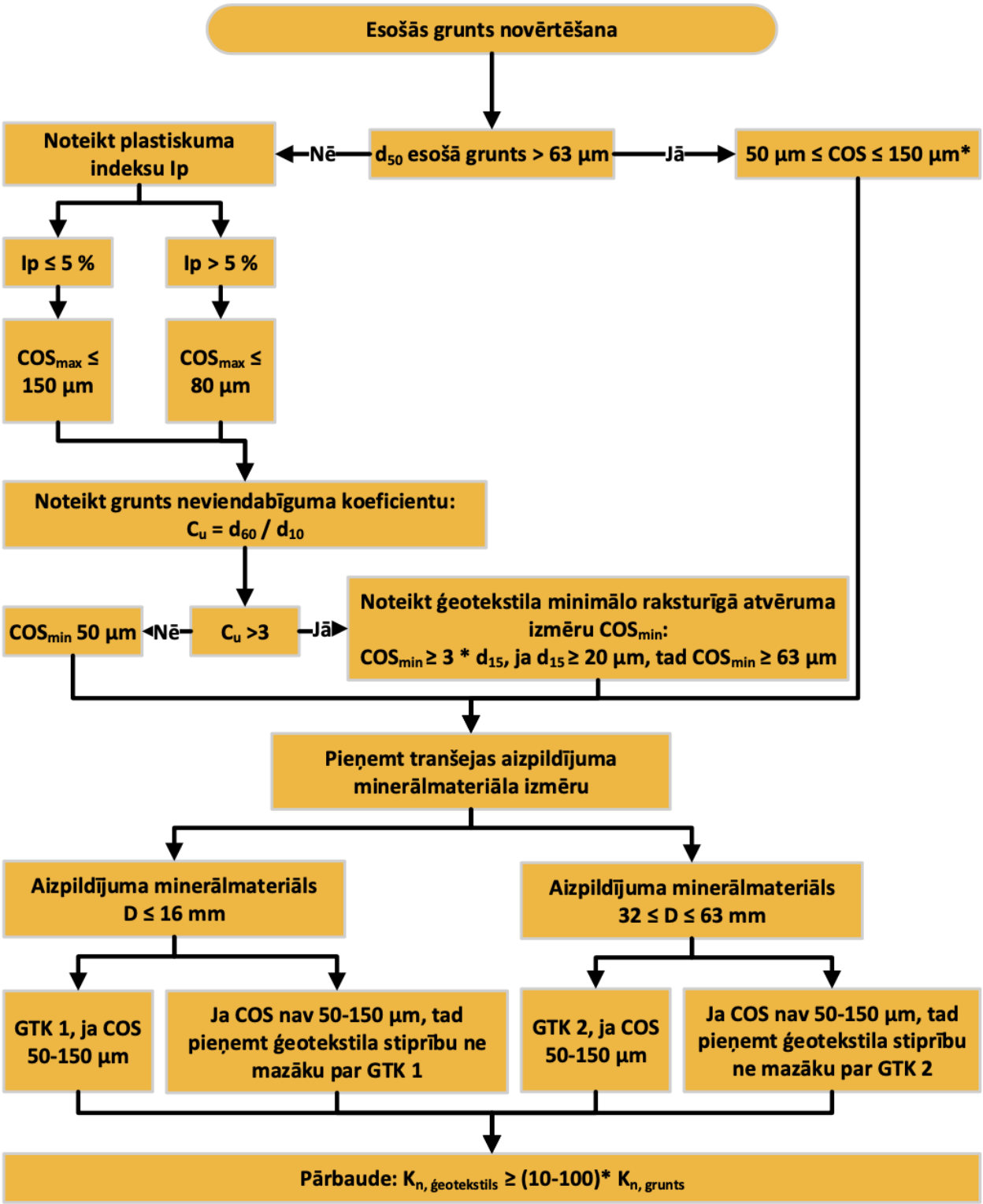
$K_{n,ģeotekstils}$ – *minimālā ūdenscaurlaidība perpendikulāri plaknei, saskaņā ar EN ISO 11058;*

$K_{n,grunts}$ – *grunts ūdenscaurlaidība.*

6. Jāpārliecinās par vismaz divu ģeotekstilu esamību tirgū atbilstoši aprēķinātajām vērtībām.

4.1.2 Ģeotekstils filtrācijai

Attēls 4-2. 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:

$$\boldsymbol{COS \leq B * d_I} \quad [4.83]$$

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.

1. Jānovērtē putekļu saturs gruntī:

∇ ja d50 esošā grunts > 63 µm – jāizmanto 50 µm ≤ COS ≤ 150 µm vai sarežģītos projektēšanas apstākļos (detalizētākai projektēšanai skatīt Attēls 4-2) noteikt grunts neviendabīguma koeficientu C_u un COS maksimālās robežas noteikšanai izmantot tabulu zemāk (Tabula 4-5).

Tabula 4-5. Vienvirziena ūdens plūsmas apstākļos gruntīm ar putekļu saturu mazāku par 50 % (d_{50} > 63 µm) [33]

$C_u < 2$;	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 4-6) norādītās COS maksimālās vērtības.

Tabula 4-6. Vienvirziena ūdens plūsmas apstākļos gruntīm ar putekļu saturu virs 50% (d50 ≤ 63 µm) (modificēts) [33]

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 [33]:

$$\boldsymbol{B = B_1 * B_2} \quad [4.84]$$

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.

2. Jānosaka COS minimālā vērtība; ja ir noteikta tikai COS maksimālā vērtība, jāaprēķina grunts neviendabīguma koeficients C_u:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad [4.85.]$$

∇ ja $C_u > 3$, jānosaka COS minimālā vērtība pēc formulas:

$$COS \geq 3 * d_{15} \quad [4.86.]$$

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.

4. Jāpārbauda ģeotekstila un grunts ūdenscaurlaidības attiecība:

$$K_{n,\acute{g}eotekstils} \geq (10 - 100) * K_{n,grunts} \quad [4.87.]$$

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:

$$d > 30 * O_{90} \quad [4.88.]$$

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.

Detalizētāku informāciju par ģeotekstila projektēšanu filtrācijas funkcijai skatīt pētījumā "Pētījuma un rokasgrāmatas izstrāde ģeosintētisko materiālu un tiem radniecīgo izstrādājumu pielietošanai autoceļu konstrukcijās".

4.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības

Atdalīšanas funkcijai raksturlielumu vērtības austa un neausta ģeotekstila klasēm GTK3, GTK4 un GTK5 norādītas turpmāk (Tabula 4-7 un Tabula 4-8).

Tabula 4-7. 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 4-8. Austo ģeotekstilu nominālie raksturlielumi atdalīšanai

Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērv.**	**Nominālvērtība:**		
			GTK3	**GTK4**	**GTK5**
Stiepes stiprība (abos	EN ISO 10319	kN/m	≥ 45	≥ 60	≥ 75

Būtiskie raksturlielumi	Standarts	Mērv.	Nominālvērtība:		
			GTK3	GTK4	GTK5
virzienos)					
Pagarinājums pie maksimālās slodzes (abos virzienos)	EN ISO 10319	%	≥ 10	≥ 10	≥ 10
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

Filtrācijas funkcijai ieteicams izmantot velta tipa ģeotekstilus, raksturlielumu vērtības ģeotekstilu klasēm GTK1 un GTK2 ir norādītas tabulā turpmāk (Tabula 4-9).

Tabula 4-9. 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 4-10 un Tabula 4-11).

Tabula 4-10. 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	%	≥ ...*
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 4-11. 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}**

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:**
Ilgizturība	Saskaņā ar B pielikumu	gadi	≥ 100
Bīstamās vielas	Mazāk nekā noteikts ES dalībvalstu noteikumos		

** definē būvprojektā;*

*** O_{90} – ģeotekstila raksturīgā atvēruma izmērs.*

4.3 Iestrādes tehnoloģija

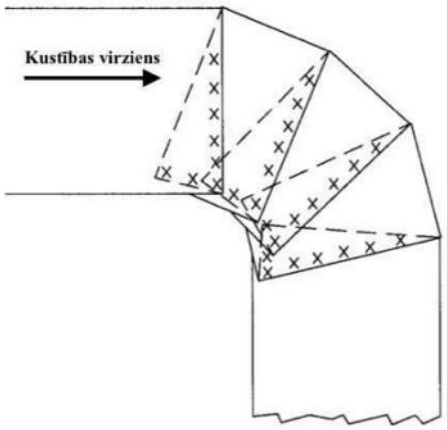
Vispirms paredzēto ģeotekstila ieklāšanas vietu attīra, sakārto un veic nepieciešamos zemes darbus vai ar saistvielām nesaistītu konstruktīvo kārtu izbūves darbus, novācot nederīgās gruntis un citus neatbilstošus materiālus, pēc tam izlīdzinot, planējot un profilējot nosedzamo materiālu, lai iegūtu paredzēto 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. [34] Ieklāšana jāveic uzmanīgi un pēc iespējas uz līdzenākas virsmas. [35] Ģeosintētisko materiālu nedrīkst vilkt pa grunti, krunkas un ieloces izlīdzina, ģeotekstilu pēc vajadzības nostiepjot un nostiprinot. Ģeotekstilam jābūt ieklātam līdz uzbēruma ārējai malai. [34]

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 4-3). Ģeotekstila ieloces sastiprina, piemēram, ar naglām ik pēc 0,6 m. [34]

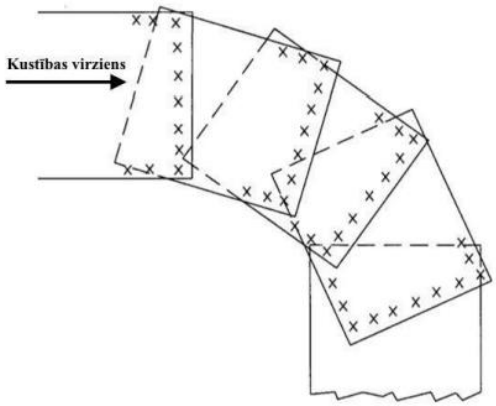
Atkarībā no būvprojekta apstākļiem, pārklājumam jābūt no 0,5 m līdz 1,0 m, lai ģeotekstils nodrošinātu viendabīgu funkcionalitāti visā platībā, nepieļaujot augšējo un apakšējo kārtu sajaukšanos.

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. [34]

Attēls 4-3. Ģeotekstila ieklāšana pagriezienos [34]



Ieklāšana pagriezienos ar ielocīšanu

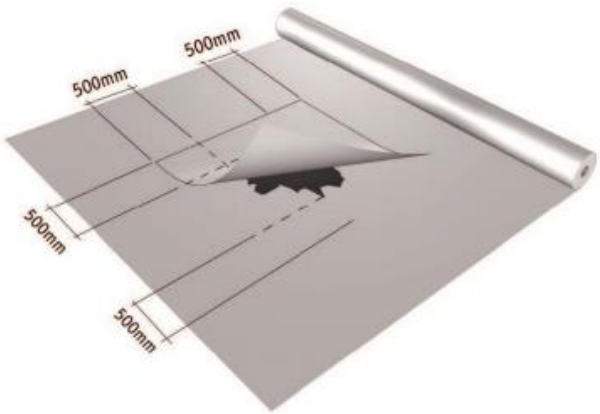


Ieklāšana pagriezienos, izmantojot sagrieztus gabalus

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). [34]

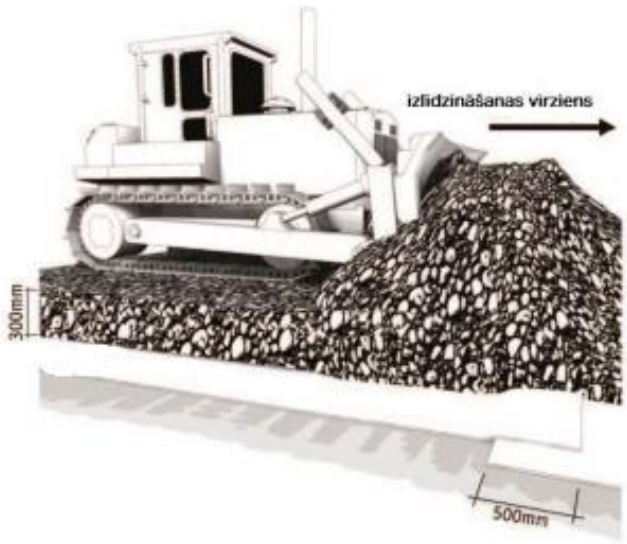
Pirms aizbēršanas jāpārbauda, vai ģeotekstils nav bojāts. Ja tiek konstatēti defekti, tie jālabo, uzklājot jaunu ģeotekstila slāni, ar minimālo pārklājumu 0,5 m visos virzienos no bojājuma vietas (Attēls 4-4).

Attēls 4-4. Ģeotekstila bojājumu labošana [36]



Pa ieklātu ģeotekstilu nedrīkst pārvietoties būvniecības tehnika. Nepieciešamo uzberamās kārtas minimālo biezumu – 0,3 m, uzber un izlīdzina no viena gala (Attēls 4-5). 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 [34]

Attēls 4-5. Uzbērtā materiāla izlīdzināšana [36]



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. [34]

4.4 Būvprojektēšanas piemēri

Ģeotehniskā izpēte jāveic atbilstoši LVS EN 1997-1, LVS EN 1997-2 un projektēšanas uzdevuma prasībām, kā arī citiem saistošajiem standartiem.

4.4.1 Pirmais piemērs

Piemērā tiek apskatīta klasiska situācija ceļu būvniecībā – no jauna uzbūvējamā ceļa konstrukcijas atdalīšana no esošās grunts.

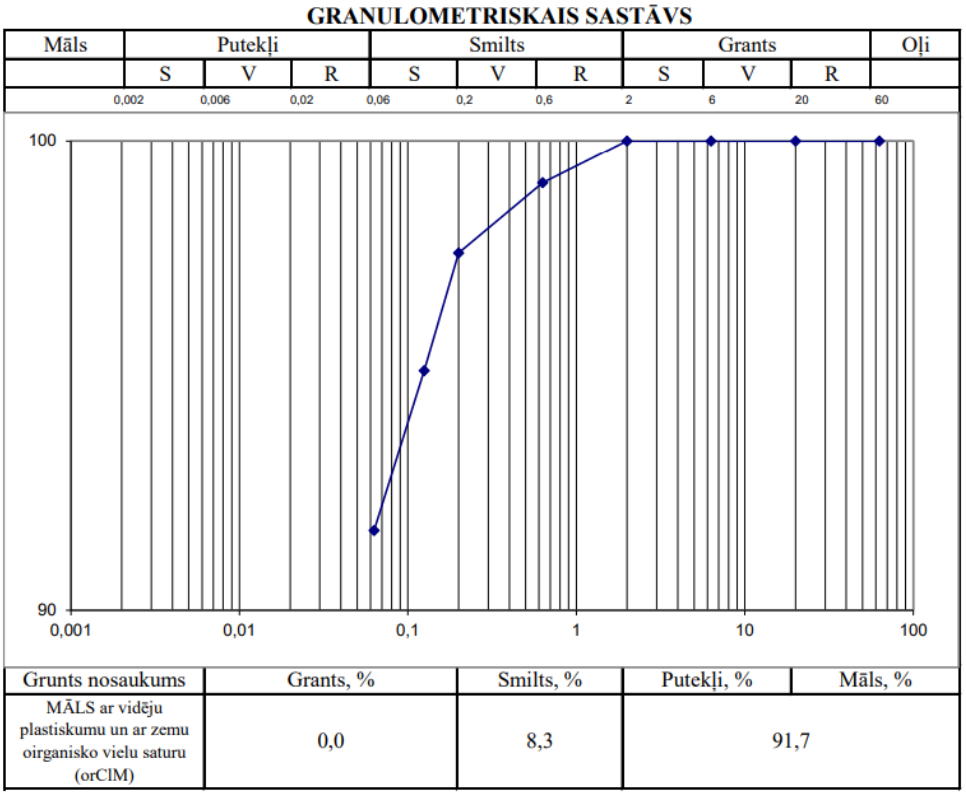
4.4.1.1 Būvobjekta apraksts

Esošā grunts (māls ar zemu organisko vielu saturu), kuras granulometriskais sastāvs parādīts attēlā (Attēls 4-6).

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 4-7).

Attēls 4-6. Esošās grunts granulometriskais sastāvs



Grunts nosaukums	Grants, %	Smilts, %	Putekļi, %	Māls, %
MĀLS ar vidēju plastiskumu un ar zemu oirganisko vielu saturu (orClM)	0,0	8,3	91,7	

Attēls 4-7. Smilšainas grunts granulometriskais sastāvs [37]

Sieti, mm	**4**	**2**	**1**	**0,5**	**0,25**	**0,125**	**0,063**
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	100	99	98	92	55	14	5

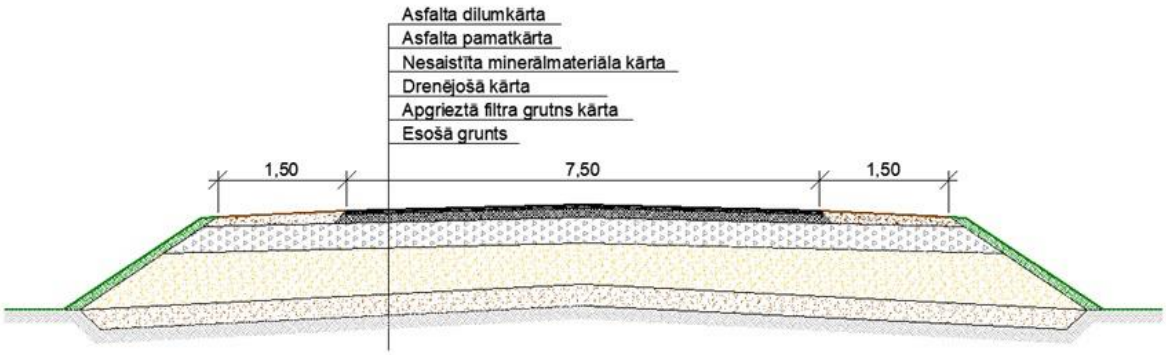
4.4.1.2 Iespējamie projekta risinājumi

Ceļa konstruktīvo kārtu atdalīšanai var izmantot divus risinājumus:

- ∇ iebūvēt atdalošu konstruktīvo slāni, kura biezums ir vismaz 30 cm;
- ∇ iebūvēt atdalošu ģeotekstilu.

4.4.1.3 Risinājums bez ģeosintētiskā materiāla

Attēls 4-8. Ceļa konstrukcija ar papildu grunts slāni

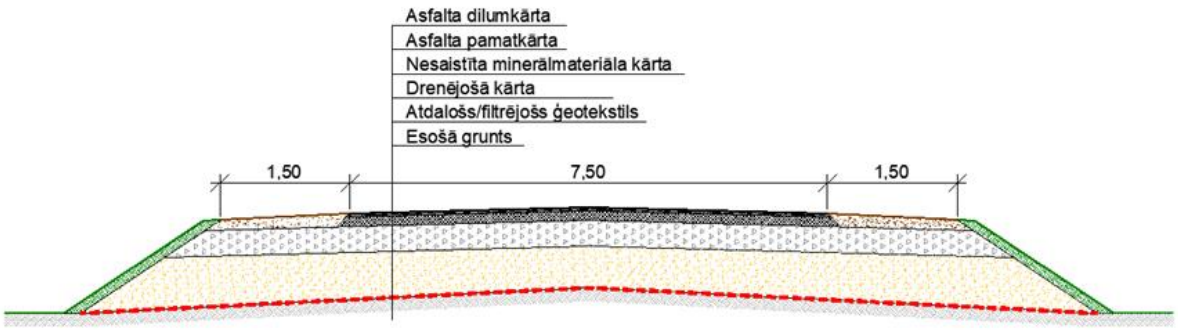


Lai atdalītu ceļa konstruktīvās kārtas no esošās grunts, nepieciešams iebūvēt atdalošo kārtu ar tādu granulometrisko sastāvu, kas izpildīs apgrieztā filtra nosacījumus. Esošajā piemērā tas ir salīdzinoši grūts uzdevums, bet, lai turpmāk veiktu tehniski ekonomisko un ietekmes uz vidi salīdzinājumu, tiek pieņemts, ka ar atdalošo kārtu 30 cm apgrieztā filtra kritēriji tiek izpildīti.

Kārtas biezums 30 cm ir minimālais biezums, aizvietojot ģeotekstilu.

4.4.1.4 Risinājums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu

Attēls 4-9. Ceļa konstrukcija ar atdalošu ģeotekstilu



1. solis: Pārbaudīt atdalošā ģeotekstila nepieciešamību [4.74.] un [4.75.]:

- 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 4-12) pēc ģeotekstila specifikāciju tabulas (Tabula 4-10).

Tabula 4-12. 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			

4.4.2 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 4-8 un Attēls 4-9). Salīdzinājums tiek veikts tikai atšķirīgajām konstrukcijas daļām.

Tabula 4-13. 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 4-14. 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 4-16 un Tabula 4-18).

Ietekmes uz vidi novērtējumā izmantotas ģeosintētikas ražotāju sniegtās izstrādājumu vides deklarācijas, pētījuma "Inventory of Carbon and Energy (ICE)" [26] un rokasgrāmatas 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

4.4.2.1 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.

4.4.2.2 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.

4.4.2.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

4.4.2.4 Dzīves cikla inventarizācija (LCI)

Dati par ģeosintētisko materiālu ražošanu un iebūvi iegūti no materiālu vides deklarācijām. Tiek apskatītas trīs dažādu ražotāju deklarācijas (Nr. 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 4-15. 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 4-16. 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 4-17. 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 4-18. 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

4.4.2.5 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.

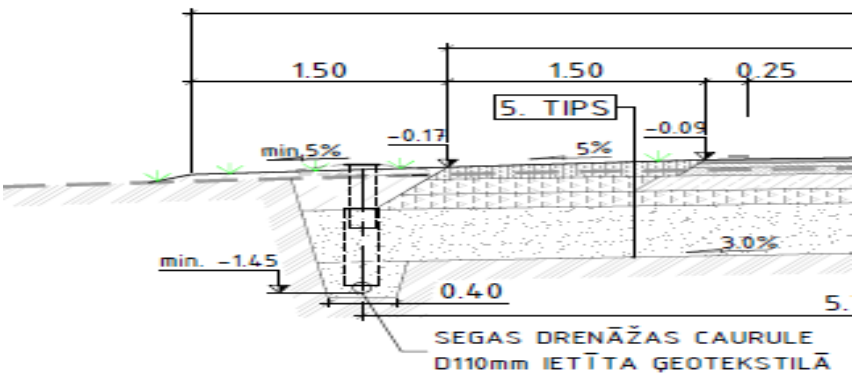
Salīdzinot aprēķinātās CO_2 ekvivalenta kg/100 m vērtības, var secināt, ka CO_2 ekvivalenta daudzums risinājumam ar ģeosintētiku ir par 6,64 reizēm mazāks, kas ir būtiski mazāk.

4.4.3 Otrais piemērs

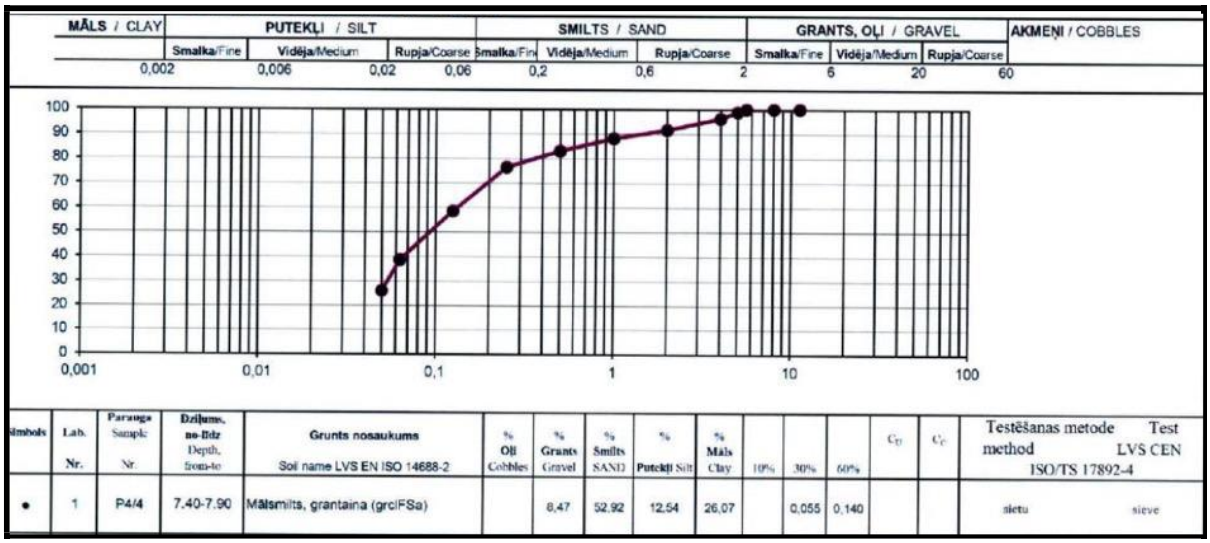
Šajā piemērā tiek aplūkota situācija, kad, veicot pilnu ceļa segas pārbūvi, ir jāizbūvē drenāžas sistēma. Ir iegūti dati par zemāk esošo, paliekošo grunts slāni. Jāizvēlas ģeotekstils ar atbilstošu noturības klasi.

4.4.3.1 Būvobjekta apraksts

Attēls 4-10. Projektētais drenāžas risinājums



Attēls 4-11. Esošās grunts granulometriskais sastāvs



Simbols	Lab. Nr.	Paraugs Sampl. Nr.	Dziļums, no-līdz Depth, from-to	Grunts nosaukums Soil name LVS EN ISO 14688-2	% Oļi Cobbles	% Grants Gravel	% Smilts SAND	% Putekļi Silt	% Māls Clay	10%	30%	60%	C_U	C_C	Testēšanas metode Test method LVS CEN ISO/TS 17892-4	
															sietu	sieve
•	1	P4/4	7.40-7.90	Mālsmilts, grantaina (grclFSa)		8,47	52,92	12,54	26,07		0,055	0,140				

Attēlā (Attēls 4-11) 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.

4.4.3.2 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 4.1.2. 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 4-9) ir ≥ 30 x 10^{-3} m/s;
- ∇ pārbaude pēc formulas [**4.87**.] 30 x 10^{-3} ≥ (10-100) 1,16 x 10^{-5}. Pārbaude izpildās.

5. solis: Sagatavot ģeotekstila GTK1 minimālās prasības (Tabula 4-19) pēc ģeotekstila specifikāciju tabulas (Tabula 4-11).

Tabula 4-19. 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		

5 Zemes klātnes nogāžu iekšējās noturības nodrošināšana

Nogāžu noturības nodrošināšana ir svarīgs posms jebkura ceļu būvniecības vai atjaunošanas projekta izstrādē. [38] 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). [15]

Attēls 5-1. Stiegrotās nogāzes piemērs [15]

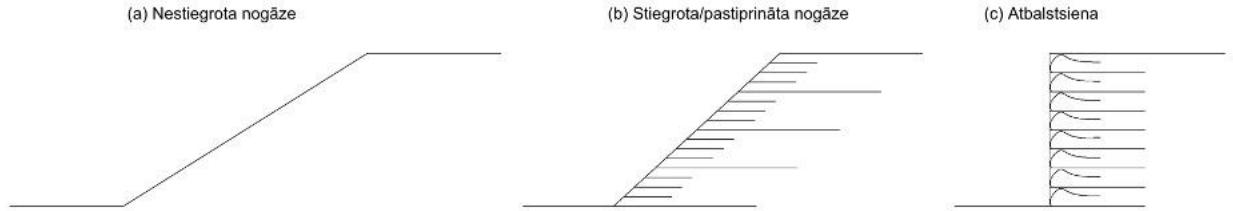
Kad horizontālo stiegrojumu garums a-c atrodas līdz ar aktīvās zonas robežu, tas tikai daļēji nodrošina nepieciešamo aktīvās zonas stabilitāti. Aktīvajai zonai ir bezgalīgs skaits iespējamo sabrukšanas virsmu. Lielākā daļa parasti atrodas tuvu virsmai, kas ir iezīmēta ar pārtraukto līniju (Attēls 5-1), kur stiegrojuma garums ir a-b. Šāds garums būtu nepietiekams, lai ierobežotu nogāzes augšējā slāņa noslīdēšanu, tādēļ kopā ar nogāzes stiegrojumu izmanto fasādes elementus [15], 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. [39]

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 [39] vai veicot aprēķinu.

Attēls 5-2. Trīs nogāžu nostiprināšanas varianti a), b) un c) [39]



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.

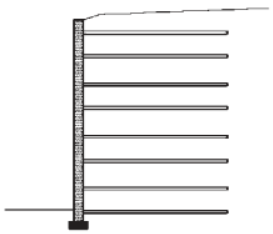
Trešais variants ir dažāda veida ģeosintētisko materiālu konstrukcijas, kuru slīpums var sasniegt leņķi līdz pat 90°, tādējādi samazinot būvniecībai nepieciešamo platību, kas ir svarīgi gadījumos, ja nav pieejamas papildu platības (Attēls 5-2 c)). Šo konstrukciju būvēšana ir dārgāka par nestiegrotām un stiegrotām nogāzēm, bet lielākoties lētāka nekā dzelzsbetona vai mūra atbalstsienu būvēšana. [39]

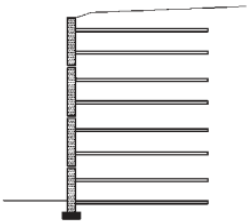
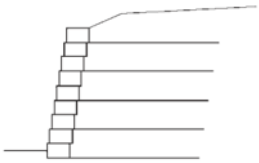
Ar ģeosintētiskajiem materiāliem nostiprinātās nogāzes atbilstoši to deformējamībai iespējams iedalīt sekojošās apakšgrupās): [40]

- nedeformējami fasādes elementi (Attēls 5-3);
- daļēji deformējami fasādes elementi (Attēls 5-4);
- deformējami fasādes elementi (Attēls 5-5).

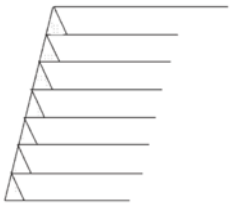
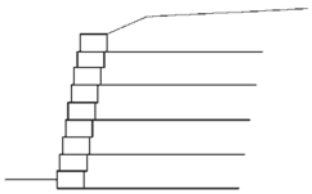
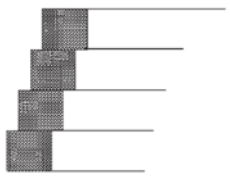
Nedeformējamu fasāžu elementu grupas risinājumu tipi visbiežāk ir veidoti no iepriekš izgatavotiem betona/dzelzsbetona blokiem ar zemu vertikālo spiedes stiprību un augstu izlieces stiprību. Daļēji deformējamu fasāžu elementu grupas tipiem raksturīga uzbūve no metāla stieples sieta vai blokiem ar augstu vertikālo spiedes stiprību un zemu lieces stiprību. Deformējamu fasāžu elementi ir veidoti no ģeotekstila vai ģeorežģa. [40]

Attēls 5-3. Nedeformējami fasādes elementi [40]

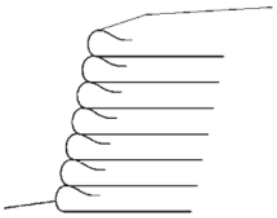
Risinājuma tips	Nostiprinājuma apraksts
 Pilna augstuma fasādes elementi	Fasādes paneļi tiek iepriekš izgatavoti un nosedz visu nogāzes norobežojuma augstumu.

Risinājuma tips	Nostiprinājuma apraksts
 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 [40]

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.

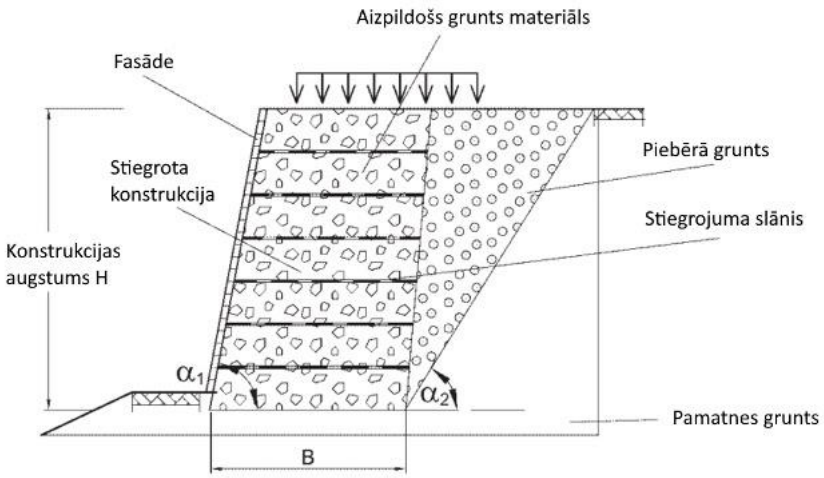
Attēls 5-5. Deformējami fasādes elementi [40]

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 Galvenās aprēķinu metodes, elementu nosaukumi, robežstāvokļi un slodzes

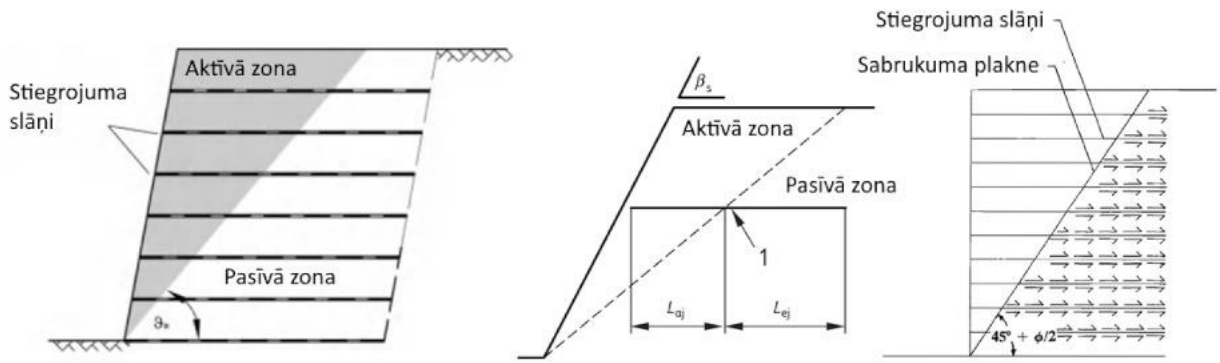
Lai veidotu nogāžu nostiprinājuma aprēķinu, nepieciešams definēt tā elementu nosaukumus (Attēls 5-6). Sniegtais attēls raksturo vispārīgo gadījumu, veidojot sarežģītāka veida nogāzes nostiprinājumus. To ģeometrija un izvietojums var atšķirties. [40]

Attēls 5-6. Nogāžu nostiprinājumu galvenie elementi [40]



Izskatot vairākus literatūras avotus, kas balstīti uz Vācijas (DIN) standartu [40], Anglijas (BS) standartu [41] un Amerikas (ASTM) standartu [39], nosakot kritisko šķēlumu, redzama līdzīga pieeja konstrukcijas stabilitātes izvērtēšanai (Attēls 5-7).

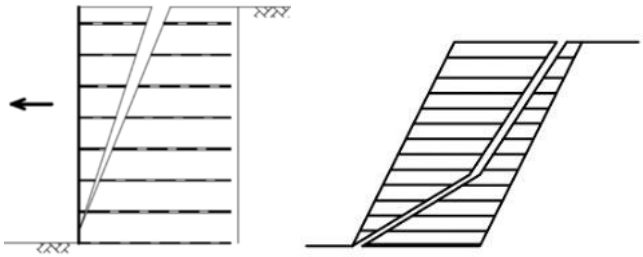
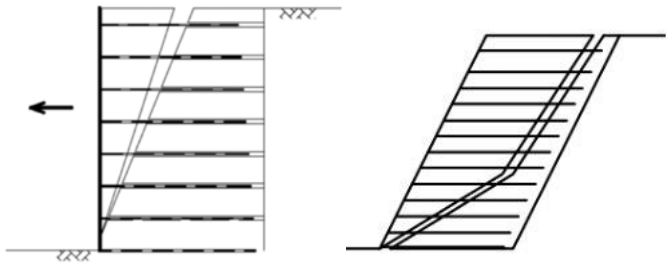
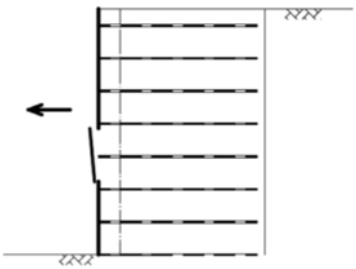
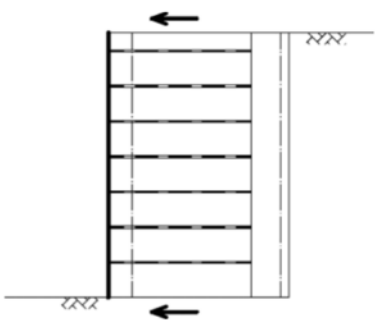
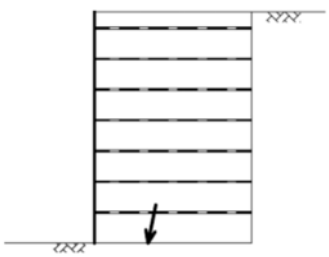
Attēls 5-7. Kritiskā šķēluma un aktīvās/pasīvās zonas novietojums – a), b) un c) [40] [41] [39]

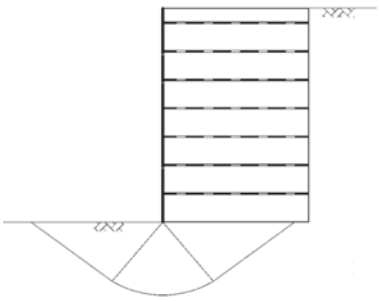
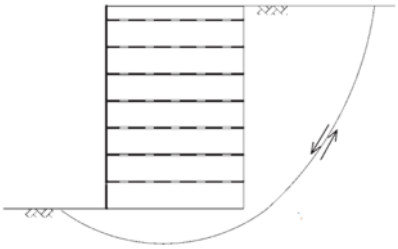
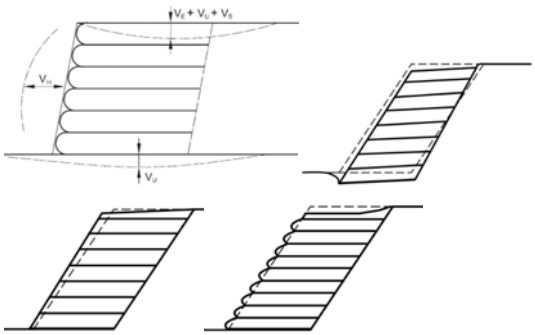


Konstrukcijas sabrukums notiek, kad kritiskā šķēluma plaknē starp aktīvo un pasīvo zonu tiek pārsniegta grunts bīdes stiprība vai grunts un ģeosintētiskā materiāla sasaiste, vai stiegrojošā elementa stiprība. Aktīvā zona raksturo spēka komponenti, ko nepieciešams nodrošināt, bet pasīvā zona raksturo konstrukcijas daļu, kas lielākoties netiek deformēta un nodrošina komponentes noturošo spēku. [40]

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) [40] [41]

	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

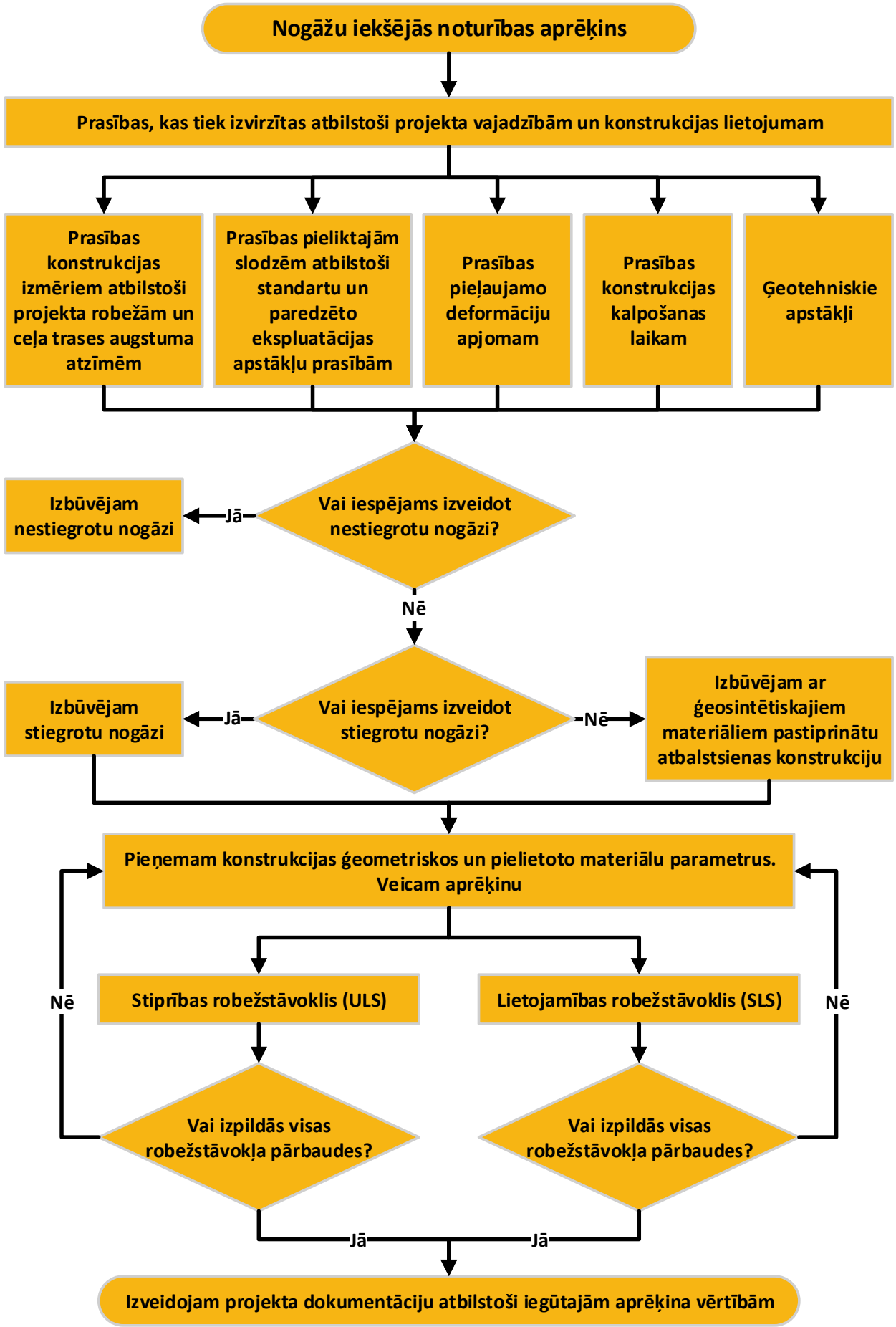
Veidojot pirmos aprēķina modeļus, pastāv vispārpieņemtas ģeometrisko parametru rekomendējamās vērtības, kuras piedāvā pieņemt stiegrojuma garumu 70% no konstrukcijas augstuma H un 0,3 m līdz 0,6 m attālumus starp stiegrojuma slāņiem. [40]

Izvērtējot projekta risinājumu, ieteicams aplūkot sekojošus faktorus, kas ietekmē konstrukcijas tipu, ģeometriskos parametrus un materiāla īpašību izvēli: [40]

- ∇ 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 5-1. Apkopoti kritiskie sabrukuma modeļi (robežstāvokļi), kas jāveic aprēķina laikā [40] [41]

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	

5.1.2 Nozīmīgāko parametru noteikšana atbilstoši BS 8006-1 prasībām

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:

$$T_D = T_{CR}/f_m\,, \qquad [5.89.]$$

kur:

$$T_{CR} = T_{char}/RF_{CR}\,, \qquad [5.90.]$$

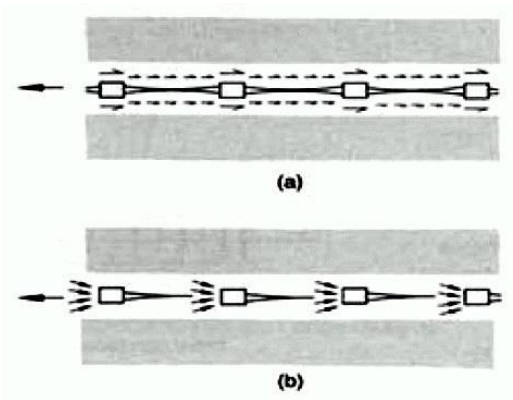
$$f_m = RF_{ID} \times RF_W \times RF_{CH} \times f_S \qquad [5.91.]$$

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 5-10 a));
- ∇ ģeosintētiskā materiāla izraušana no grunts uzbēruma (angļu val. – *pull-out*) (Attēls 5-10 b)0). [15]

Attēls 5-10. Grunts un ģeorežģa pārvietojumu mehānisms [15]



Pirmajā gadījumā bīdes spēks pārsniedz stiegrotās grunts konstrukcijas un ģeorežģa kontaktvirsmas berzes pretestību, bet otrajā gadījumā sabrukšana notiek no ģeorežģa izraušanas (vai pārraušanas). [15]

Grunts un ģeosintētiskā materiāla kontaktvirsmas berzes pretestību tiešās slīdēšanas un izraušanas gadījumos var aprēķināt pēc formulām: [15]

$$T_{geo} = WL\sigma'_n f tan\varphi\,; \qquad [5.92.]$$

$$T_{geo} = 2WL\sigma'_n f tan\varphi \quad [5.93.]$$

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: [15]

$$T = T_s + T_{s-s}; \quad [5.94.]$$

kur:
T *– grunts un stiegrojuma kopējā berzes pretestība;*
T_s *– ģeorežģa un grunts berze;*
T_{s-s} *– grunts–grunts berze.*

$$T_s = a_s WL\sigma'_n tan\delta; \quad [5.95.]$$

$$T_{s-s} = (1 - a_s)WL\sigma'_n tan\varphi; \quad [5.96.]$$

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: [15]

$$f = f_{sd} = a_s \frac{tan\delta}{tan\varphi} + (1 - a_s); \quad [5.97.]$$

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)*. [15]

$$T = 2T_s + T_p; \quad [5.98.]$$

T_s – nosaka pēc formulas [**5.95**.]

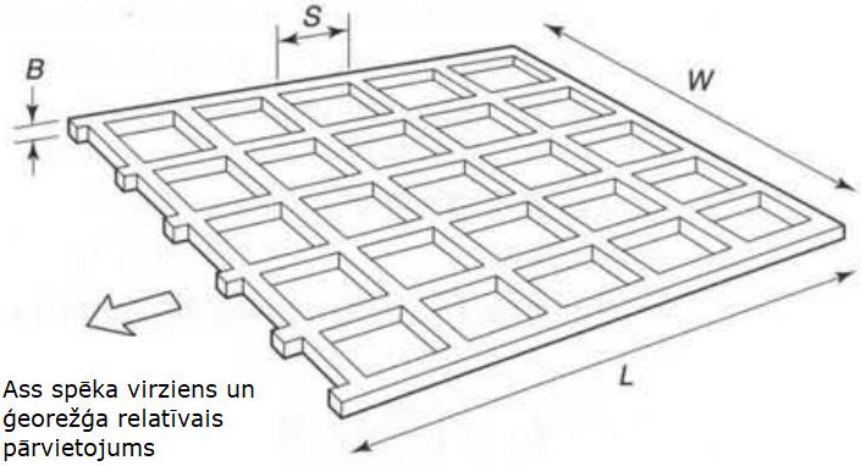
$$T_p = \frac{L}{s} a_b WB\sigma'_p; \quad [5.99.]$$

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: [15]

$$f = f_b = a_s \frac{tan\delta}{tan\varphi} + \frac{\sigma'_p}{\sigma'_n} \times \frac{a_b B}{S} \times \frac{1}{2tan\varphi}; \quad [5.100.]$$

Attēls 5-11. Stiegrojuma izmēru apzīmējums



Ja =1 un =0, tad formulu [5.100.] var izteikt kā:

$$f = f_{ds} = f_b = \frac{tan\delta}{tan\varphi}; \quad [5.101.]$$

Saskaņā ar formulu [5.101.] 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 ģeorežģa vietā tiek izmantots ģeotekstils. [15]

Projektēšanas nolūkos spriegumu attiecību noteikšanai nesaistītās gruntīs ieteicams izmantot šādu formulu: [15]

$$\frac{\sigma'_p}{\sigma'_n} = tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) e^{[(\frac{\pi}{2})+\varphi]tan\varphi}; \quad [5.102.]$$

Grunts daļiņu un ģeorežģa atvērumu izmēru attiecība ietekmē tiešās slīdēšanas koeficientu stiegrotās grunts konstrukcijās. Saskaņā ar pētījumu [42] koeficients palielinās līdz ar graudu izmēru; tā maksimālā vērtība tiek sasniegta tad, kad graudu izmērs ir vienāds ar ģeorežģa atveres izmēru, tāpēc ieteicams izmantot šādu attiecību: [15]

$$\frac{Ģeorežģa\ atvēruma\ izmērs}{Vidējais\ grauda\ izmērs} \geq 3; \quad [5.103.]$$

5.1.2.1 Nozīmīgāko parametru noteikšana atbilstoši DIN 1054, 4085 un 4084 prasībām

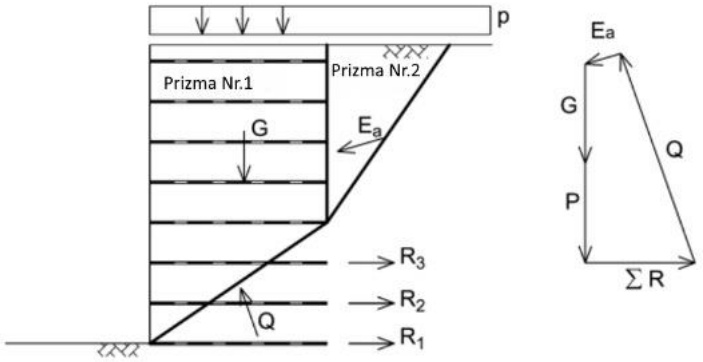
Ja stiegrojuma atteice notiek uz slīdplaknes caur stiegrotas grunts masīvu vai šķērso/pieskaras stiegrojumam, slīdošā grunts konstrukcijai (Prizma 1 – Attēls 5-12)

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 5-12), 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). [40]

$E_d \leq \Sigma R_d$

Attēls 5-12. Slodžu sadalījums tipiskā pastiprinātā atbalstsienas konstrukcijā [40]



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).*

5.1.2.2 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.

5.1.2.3 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.

5.1.2.4 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.

$$E_d \leq R_d \quad [5.104.]$$

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.

5.1.2.5 Grunts nestspējas pārbaude (STR)

Veicot konstrukcijas grunts nestspējas pārbaudi, tiek ņemtas vērā visas pieliktās slodzes, lietojot DIN 1054 atbilstošos drošības koeficientus.

$$N_d \leq R_{n,d} \quad [5.105.]$$

N_d – pieliktā spēka aprēķina vērtība pamata pēdas līmenī;
$R_{n,d}$ – grunts nestspējas aprēķina vērtība pamata pēdas līmenī.

5.1.2.6 Konstrukcijas noslīdēšana (STR)

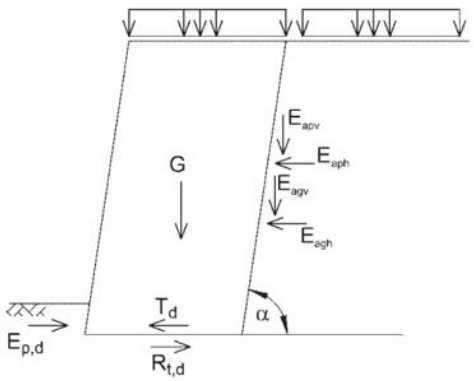
Konstrukcijas noslīdēšanas pārbaude tiek veikta, lietojot visas pieliktās slodzes, piemērojot atbilstošus drošības koeficientus un pārbaudot visas iespējamās slodžu kombinācijas atbilstoši DIN 1054.

$$T_d \leq R_{t,d} + E_{p,d} \quad [5.106.]$$

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 5-13. Šīs pārbaudes aprēķinu veikšanai izmantotie spēki [40]



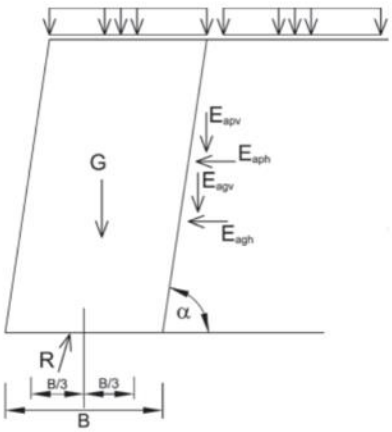
Raksturojošās vērtības pamata berzes leņķa noteikšanai $\delta_{S,k}$ tiek noteiktas atbilstoši DIN 1054 5.2.3.5. punktam pēc sakarības:

$$tg\delta_{S,k} = f_{sg,k} = \lambda \times tg\varphi_k \quad [5.107.]$$

5.1.2.7 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 5-14. Šīs pārbaudes aprēķinu veikšanai izmantotie spēki [40]



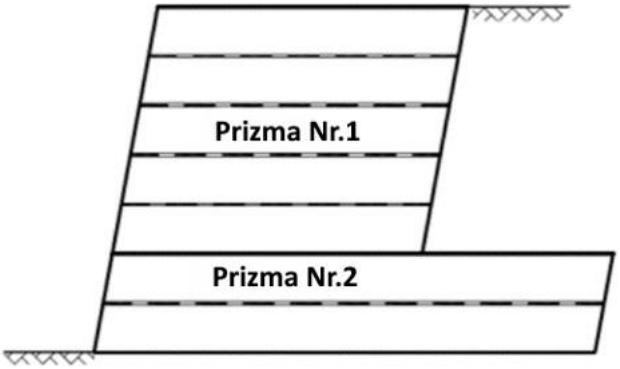
Piezīme:
*Ja rezultējošais spēks atrodas atbalstsienas iekšējā pusē (uzbēruma grunts puse), tad atbalstsiena ir sasvērusies uz uzbēruma pusi un uz to tiek pielikts papildu spiediens. Tas ir pieļaujams, ja pieliktās slodzes var tikt pārnestas uz uzbērumu, saglabājot konstrukcijas drošumu. Attiecīgā gadījumā 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.

5.1.2.8 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 5-15. Piemērs daļēji monolītai saliktai atbalstsienas konstrukcijai [40]



5.1.2.9 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.

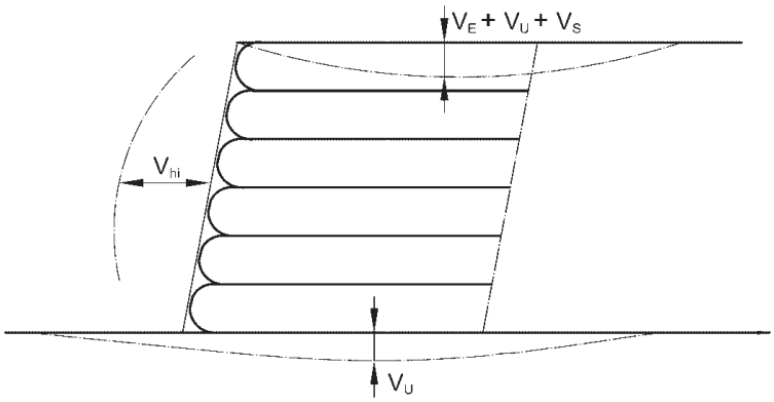
Atbilstoši [40] aplūkotajiem pētījumiem empīriska sakarība maksimālajām horizontālajām deformācijām var tikt pieņemta kā aptuveni 1%–2% no atbalstsienas augstuma *H*.

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 5-16. Atbalstsienu deformāciju komponentes [40]



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 5-2 un Tabula 5-3).

Tabula 5-2. 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 5-3. 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.

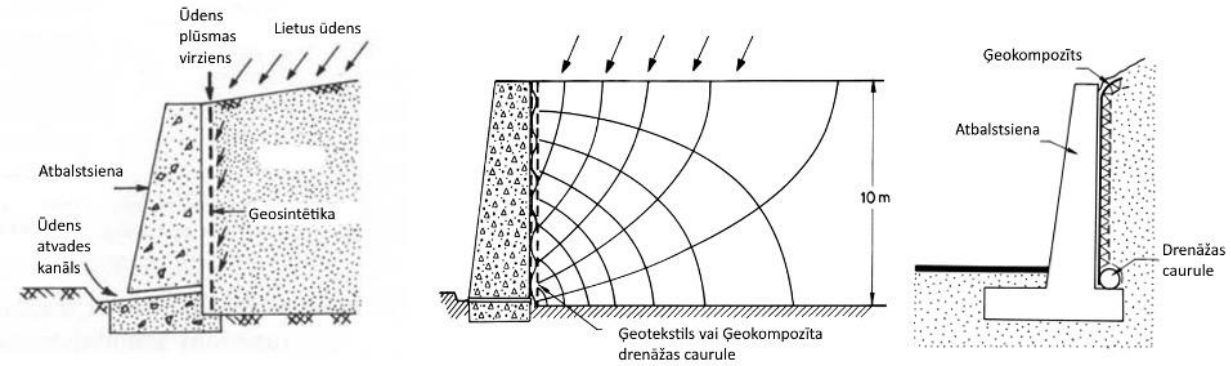
Iebūvējot ģeosintētiskos materiālus uzbērumā, ieteicams izmantot būvtehniku ar zemu virsmas spiedienu. Ģeosintētiskā materiāla nelīdzenumi vai "viļņi" jāizlīdzina manuāli. Jāizvairās no būvtehnikas tiešas pārvietošanās pa ģeosintētisko materiālu.

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 5-17).

Attēls 5-17. Trīs nogāžu nostiprināšanas drenāžas varianti a), b) un c) [15]



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 5-4. 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 rezultāta pārbaude	Ģeotehniskā monitoringa rezultātu atbilstība būvprojektam – 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 5-5).

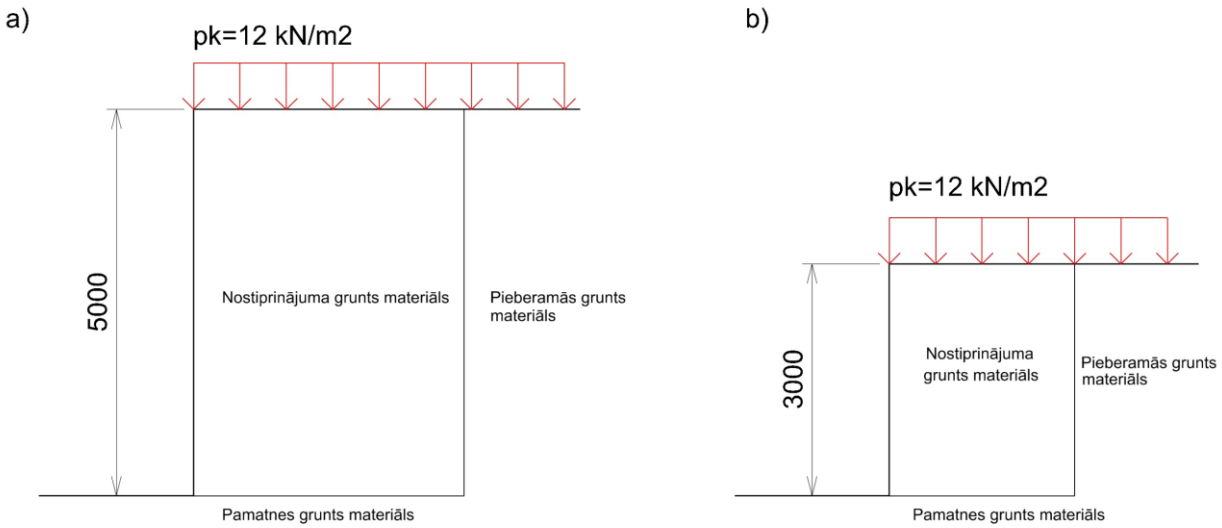
Tabula 5-5. Apkopoti kritiskie sabrukuma modeļi (robežstāvokļi), kas jāveic aprēķina laikā [40]

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	Tiek aplūkots piemērā	EQU

Robežstāvoklis		Rob. st.
nestspējas		
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

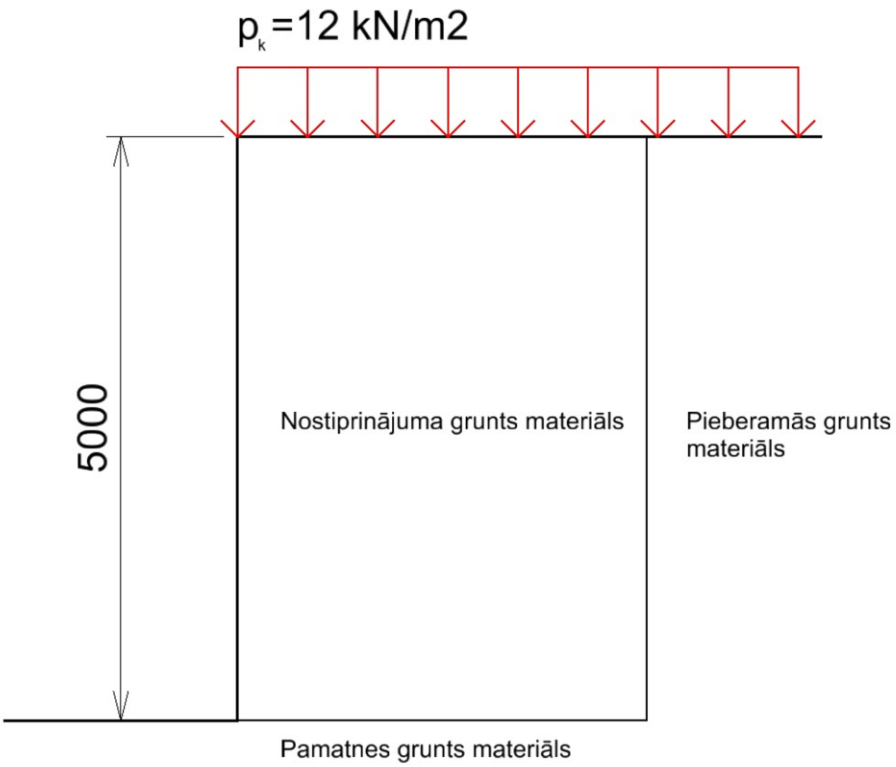
Tiek veidoti divi aprēķina piemēri a) un b) ar atbilstoši 5 un 3 metru augstu nogāzes nostiprinājumu. Pie katra aprēķina posma pievienotas izmantotās formulas un to apzīmējumu atšifrējumi.

Attēls 5-18. Ģeometriskie izmēri, grunts parametri un pieņemtās slodzes



5.4.1 Pirmais aprēķina piemērs (a) uzbēruma augstums – 5 m

Attēls 5-19. Ģeometriskie izmēri, grunts parametri un pieņemtās slodzes



Piemēra grunts parametri:

Tabula 5-6. Apkopoti grunts raksturlielumi

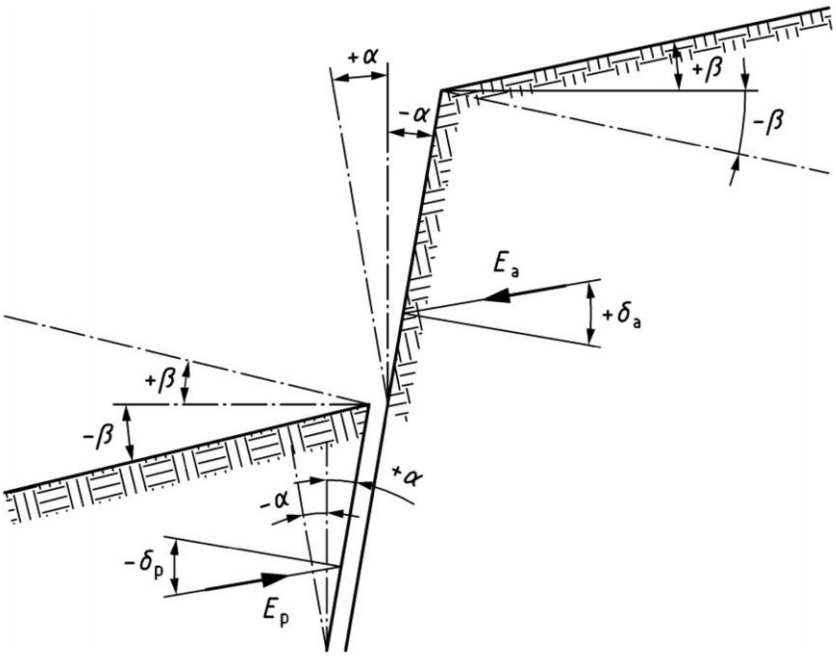
Grunts materiāls	**Slānis x**	**Tilpumsvars γ x,k [kN/m3]**	**Iekšējās berzes leņķis φ x,k [°]**	**Saiste cx,k [kN/m2]**
Nostiprinājuma grunts materiāls	1	20	35	0
Pamatnes materiāls	2	18	30	0
Pieberamais materiāls	3	19	30	0

Stiegrojuma garums tiek pieņemts 70% no konstrukcijas augstuma.

$$B = 0{,}7 \cdot 5\ m = 3{,}5\ m$$

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 5-20. Alfa un beta leņķu novietojums atbilstoši DIN 1085 [40]



$$K_{agh} = \left[\frac{\cos(\varphi - \alpha)}{\cos\alpha \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta_a) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha - \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta_a)}}\right)} \right]^2$$

$$\varphi_{3,k} = 30°;\ \delta_{3,k} = 2/3 \cdot \varphi_{3,k} = 20°;\ \alpha = 0°;\ \beta = 0°$$

$$K_{ah,k} = \frac{\cos^2(30°)}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(30° + 20°) \cdot \sin 30°}{\cos 20°}}\right]^2} = 0.279$$

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:

$$P_k = B \cdot p_k = 3.5 \cdot 12 = 42 \text{ kN/m}$$

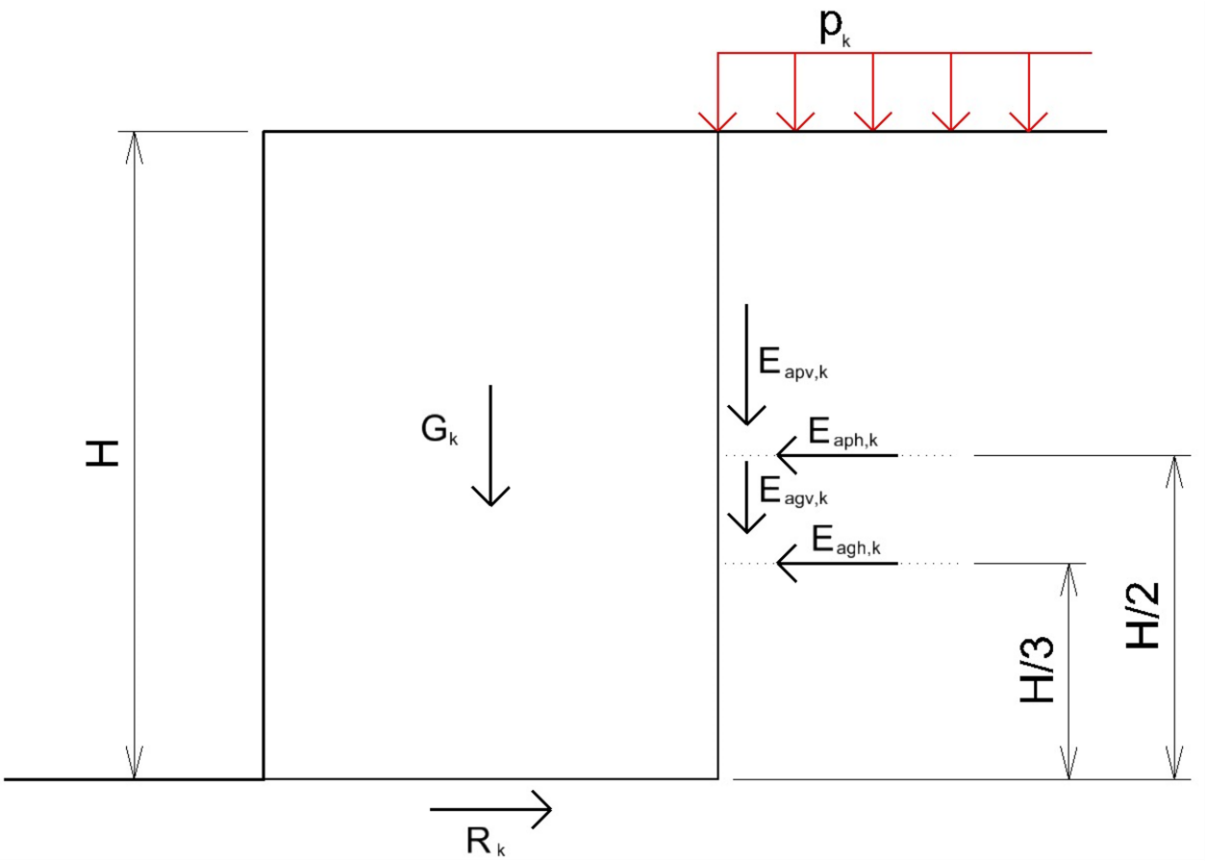
Stiprības robežstāvokļa (ULS) analīze

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 5-21. Ģeometriskie izmēri un pieņemtās slodzes noslīdēšanas pārbaudei



Tiek noteiktas aprēķina piepūles:

$N_{G,k} = E_{agv,k} + G_k = 24.12 + 350 = 374.12$ kN/m

$N_{Q,k} = E_{apv,k} = 6.09$ kN/m

$T_{G,k} = E_{agh,,k} = 66.26$ kN/m

$T_{Q,k} = E_{aph,k} = 16.74$ 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 5-7. 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 ietekme	$\gamma_{G,stb}$	0,95	0,95	0,95
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

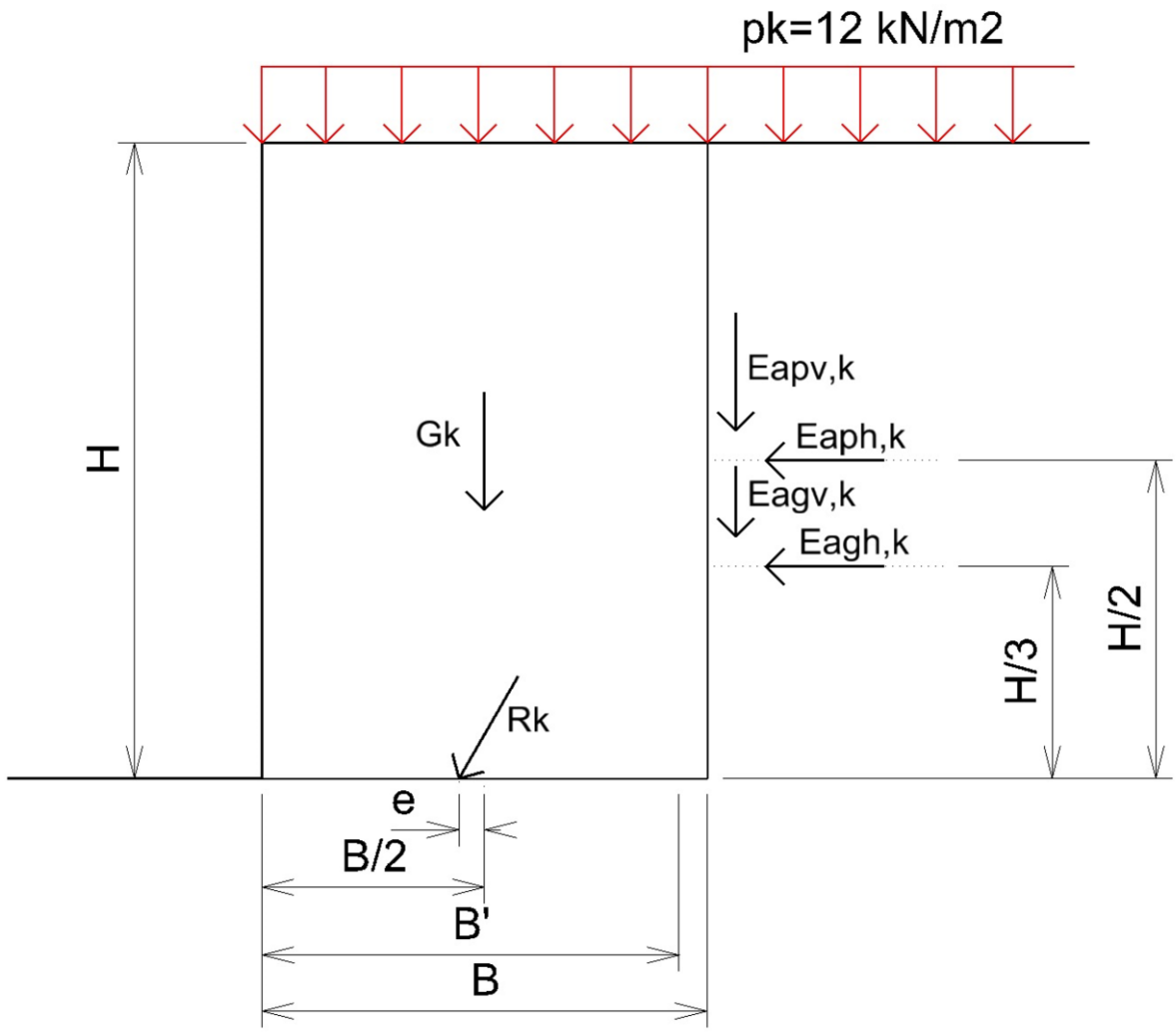
Piepūles	Apzīmējums	Aprēķina situācija		
		BS-P	BS-T	BS-A/BS-E
Labvēlīga mainīga slodzes ietekme	γ_Q	0,00	0,00	0,00
GEO-3: Robežstāvoklim lietojamie drošības koeficienti				
Pastāvīga slodzes ietekme	γ_G	1,00	1,00	1,00
Nelabvēlīga mainīga slodzes ietekme	γ_Q	1,30	1,20	1,00

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 5-22. 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:

$$N_{G,k} = 350 + 24.12 = 374.12 \text{ kN/m}$$

Pārbauda, 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:

$$R_{n,k} = a' \cdot b' \cdot (c_{2,k} \cdot N_{c0} \cdot \nu_c \cdot i_c \cdot \lambda_c \cdot \xi_c + \gamma_{2,k} \cdot d \cdot N_{d0} \cdot \nu_d \cdot i_d \cdot \lambda_d \cdot \xi_d + \gamma_{2,k} \cdot b' \cdot N_{b0} \cdot \nu_b \cdot i_b \cdot \lambda_b \cdot \xi_b)$$

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 $\tan \varphi_{i,d} = (\tan \varphi_{i,k})/\gamma_\varphi$ $\varphi_{i,d} = \arctan [(\tan \varphi_{i,k})/\gamma_\varphi]$	Saiste/Kohēzija $c_{i,d} = c_{i,k}/\gamma_c$	Aprēķina vērtība tilpumsvaram: $\gamma_{i,d} = \gamma_{i,k} \cdot \gamma_G$

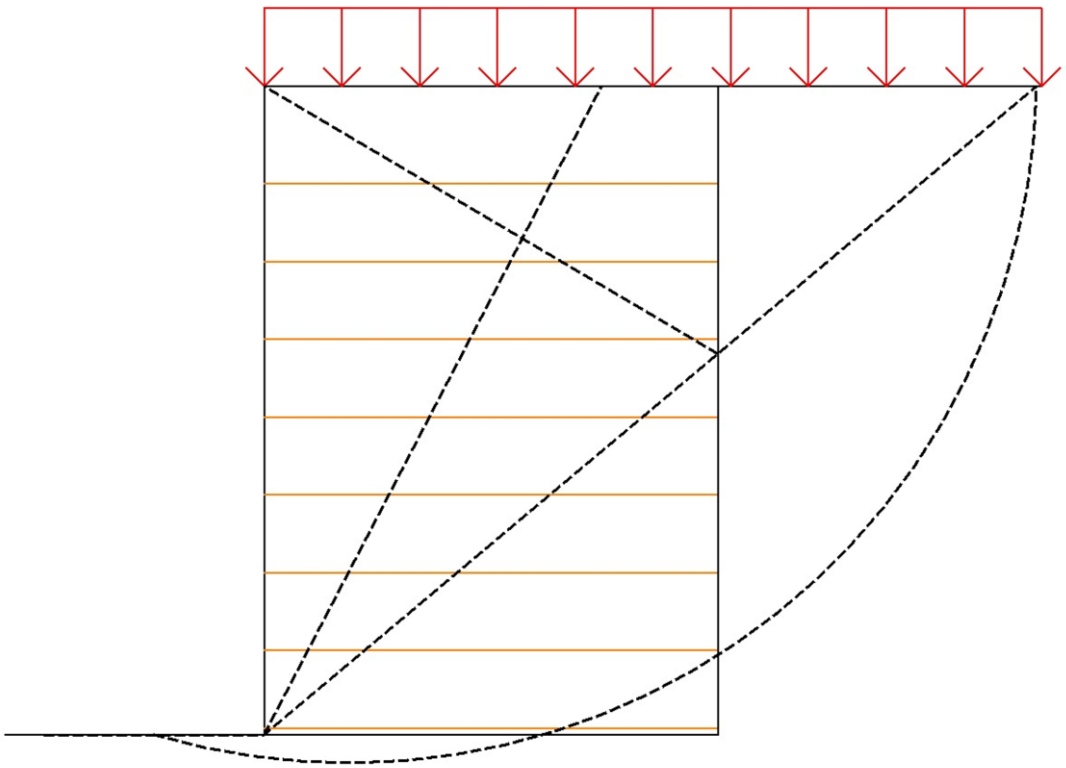
Aprēķina vērtības grunts parametriem tiek ņemtas no sekojošas tabulas:

Tabula 5-8. 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

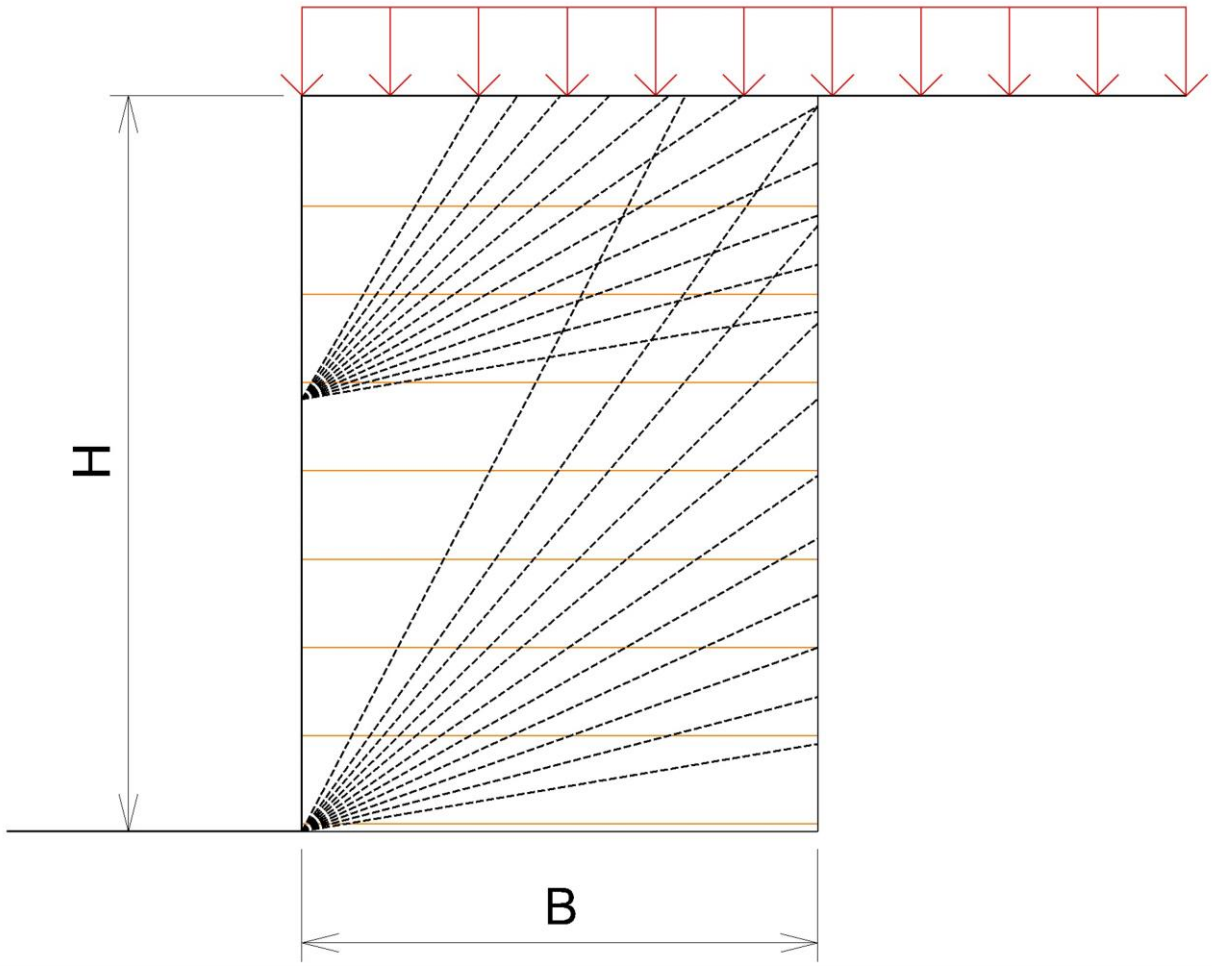
Visas iespējamās slīdplaknes tiek aplūkotas aprēķinā, analizējot visnelabvēlīgāko atteices mehānismu. Tiek aplūkotas visas slīdplaknes – gan tās kas krusto ģeosintētisko stiegrojumu, gan tās, kas nekrusto.

Attēls 5-23. 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.

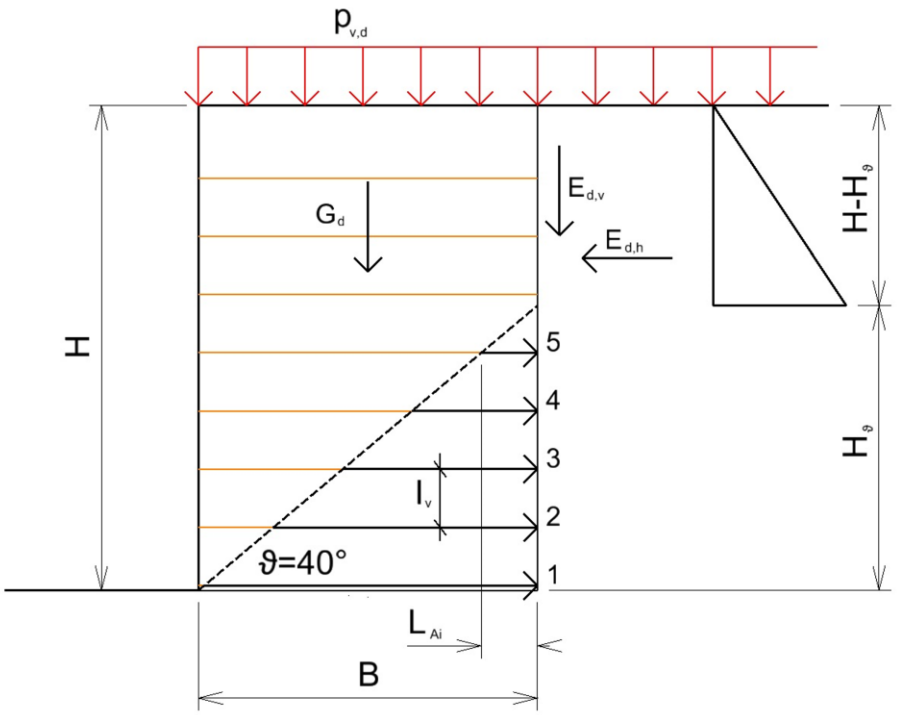
Attēls 5-24. Slīdplaknes piemērs



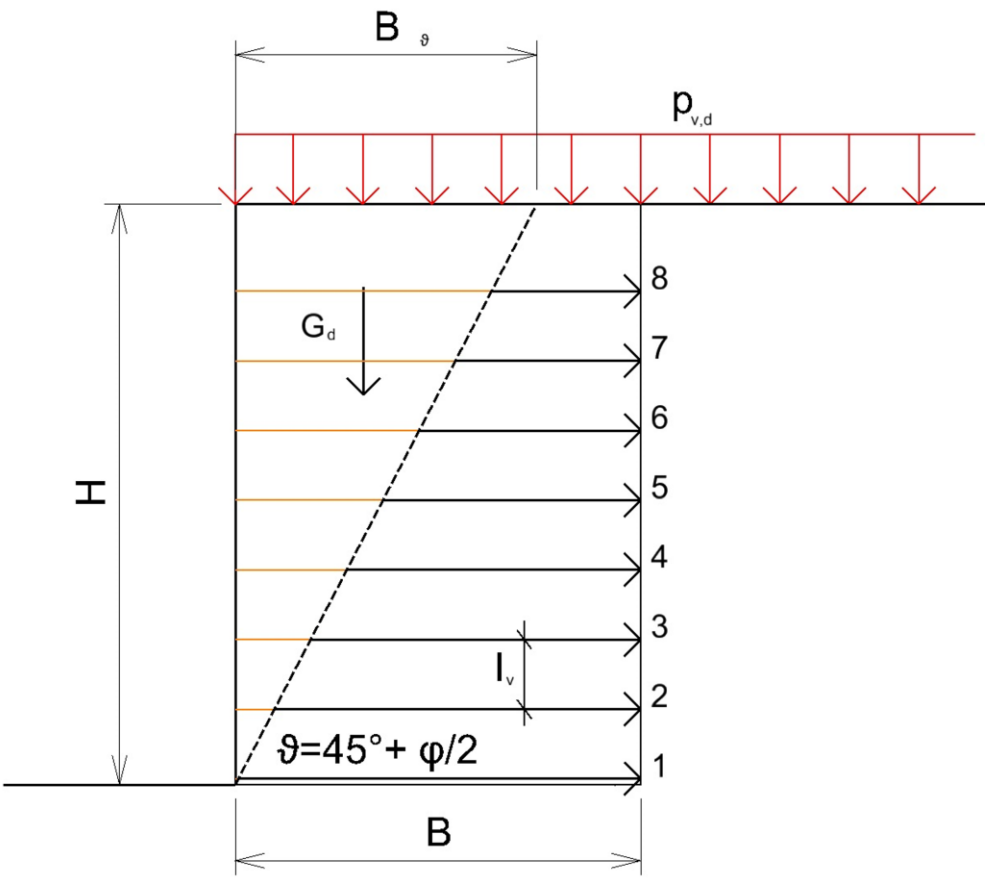
Sekojošās atteices sistēmas, kas šķērso konstrukciju leņķos $\vartheta = 40°$ un $\vartheta = 45° + \varphi/2$, tiek aplūkotas, lietojot pastāvīgas un īslaicīgas slodzes.

Attēls 5-25. 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.

$$A_1 = 2.5; A_2 = 1.2 \text{ and } A_3 = A_4 = A_5 = 1.0.$$

Piezīme. Samazinošie koeficienti ir specifiski produktam, un tie ir jāizpēta atsevišķi.

Armējošā slāņa aprēķina stiprības noteikšana i slānim (ar drošības koeficientu γ_M = 1,4):

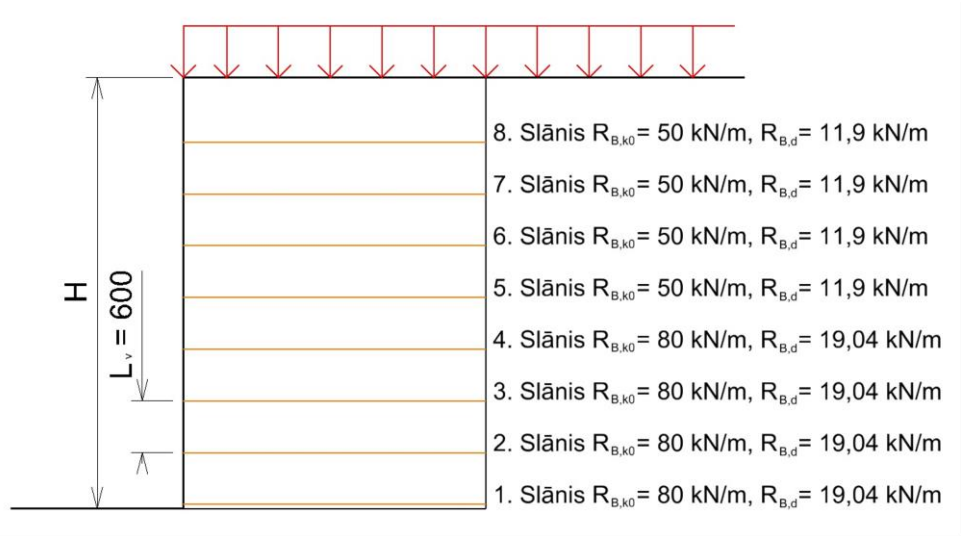
$$R_{B,d} = \frac{R_{B,k0}}{2.5 \cdot 1.2 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.4} = \frac{R_{B,k0}}{4.2}$$

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 5-26. 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 5-9. 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 5-10. Analīze pa slāņiem pie $\vartheta = 59{,}62°$

$\vartheta = 40°$	$R_{B,d}$ [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:

$$\varphi_{1,k} = 35°;\ \delta_{1,k} = 2/3 \cdot \varphi_{1,k} = 23.33°, \text{ assuming that: } \alpha = 0°;\ \beta = 0°,$$

$$K_{agh,k} = K_{aqh,k} = 0.224.$$

$$e_{facing} = \eta_g \cdot K_{agh,k} \cdot \gamma_k \cdot H_i \cdot \gamma_G + \eta_q \cdot K_{aqh,k} \cdot q \cdot \gamma_Q$$
$$E_{facing} = e_{facing} \cdot l_v$$

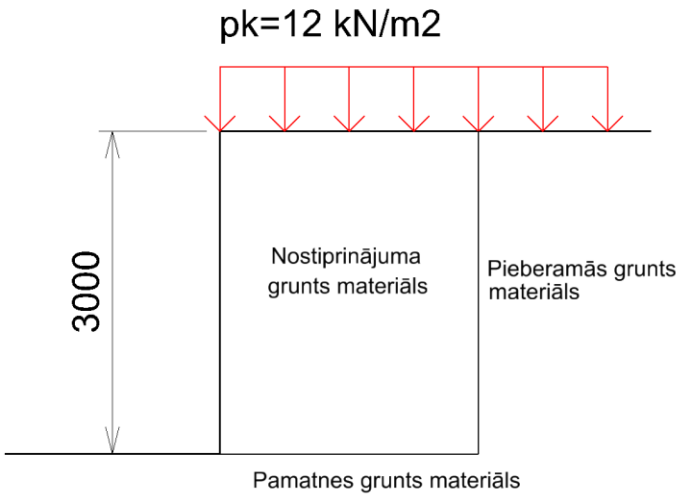
Tabula 5-11. Fasādes elementu analīze

	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 5-27. Ģeometriskie izmēri, grunts parametri un pieņemtās slodzes [40]



Piemēra grunts parametri:

Tabula 5-12. 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.

$$B = 0.7 \cdot 3\ m = 2.4\ m \qquad [5.108]$$

Tālākie aprēķini veikti lietojot šo stiegrojuma garumu. Raksturīgo slodžu noteikšana. [40]

$$K_{agh} = \left[\frac{\cos(\varphi - \alpha)}{\cos\alpha \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta_a) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha - \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta_a)}}\right)} \right]^2$$

$$\varphi_{3,k} = 30°;\ \delta_{3,k} = 2/3 \cdot \varphi_{3,k} = 20°;\ \alpha = 0°;\ \beta = 0°$$

$$K_{ah,k} = \frac{\cos^2(30°)}{\left[1+\sqrt{\frac{\sin(30°+20°)\cdot\sin 30°}{\cos 20°}}\right]^2} = 0.279 \qquad [5.109]$$

Raksturīgās grunts spiediena vērtības tiek noteiktas sekojoši:

$$E_{agh,k}=0,5 * K_{ah.k} * \gamma_{3,k} * H^2 = 0,5 * 0,279 * 19 * 3^2 = 23,85 \text{ kN/m}$$
$$E_{agv,k}= E_{agh,k} * \tan(\delta - \alpha) = 23,85 * \tan 20° = 8,68 \text{ kN/m} \qquad [5.110]$$

Raksturīgās papildus grunts spiediena vērtības no izkliedētas slodzes tiek noteiktas sekojoši:

$$E_{aph,k}= K_{ah.k} * p_k * H = 0,279 * 12 * 3 = 10,04 \text{ kN/m}$$
$$E_{apv,k}= E_{aph,k} * \tan(\delta - \alpha) = 10,04 * \tan 20° = 3,65 \text{ kN/m} \qquad [5.111]$$

Raksturīgā slodze konstrukcijas pašsvaram tiek noteikta:

$$G_k = H * B * \gamma_{I,k} = 3 * 2,4 * 20 = 144 \text{ kN/m} \qquad [5.112]$$

Raksturīgā slodze izkliedētajai slodzei tiek noteikta:

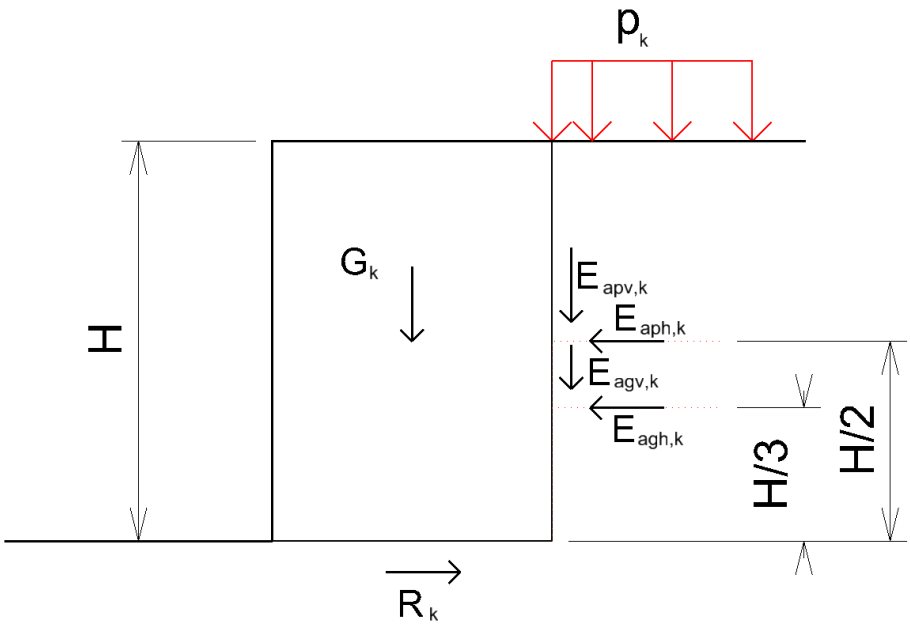
$$P_k = B * p_k = 2,4 * 12 = 28,8 \text{ kN/m} \qquad [5.113]$$

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 5-28. Ģeometriskie izmēri un pieņemtās slodzes noslīdēšanas pārbaudei



Tiek noteiktas aprēķina piepūles:

$$N_{G,k} = E_{agv,k} + G_k = 8,68 + 144 = 152,68 \text{ kN/m}$$
$$N_{Q,k} = E_{apv,k} = 3,65 \text{ kN/m}$$
$$T_{G,k} = E_{agh,k} = 23,85 \text{ kN/m}$$
$$T_{Q,k} = E_{aph,k} = 10,04 \text{ kN/m} \quad [5.114]$$

Pielietotie drošības koeficienti no DIN 1054 tiek iegūtas aprēķina vērtības:

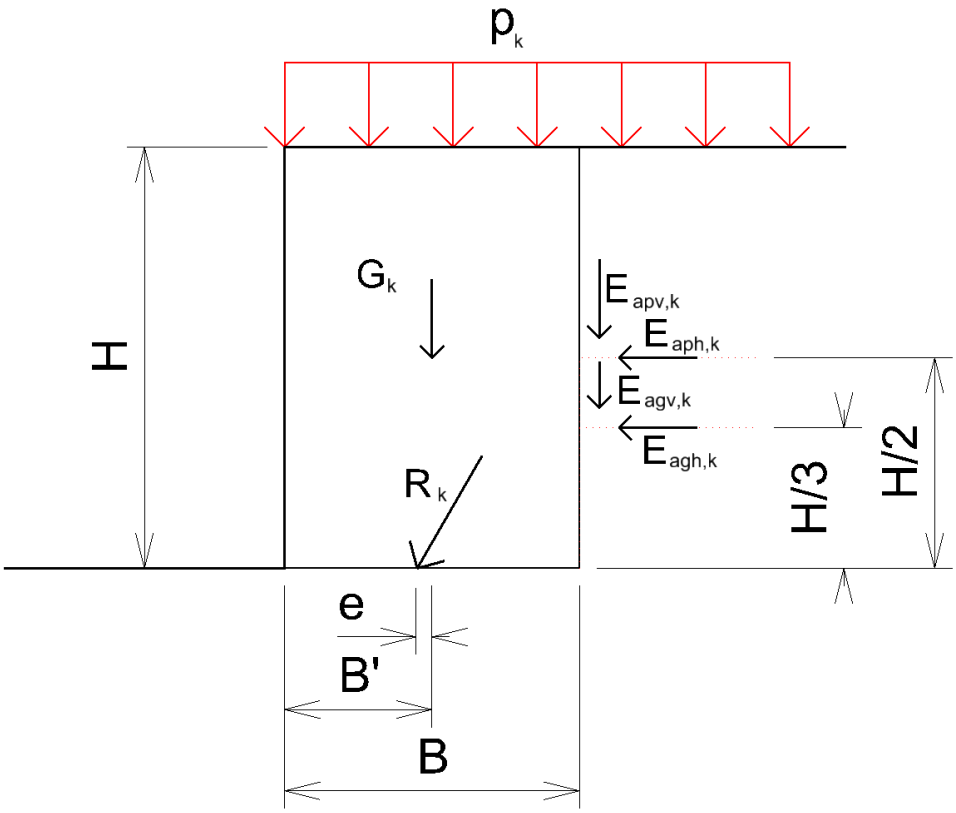
$$T_d = 23,85 * 1,35 + 10,04 * 1,5 = 47,26 \text{ kN/m}$$
$$R_{t,d} = (N_{G,k} + N_{Q,k}) * \lambda * \tan \delta_{s,k} / \gamma_{GL} = (152,68 + 3,65) * 0,8 * \tan 30°/1,1 = 65,64 \text{ kN/m} \quad [5.115]$$
$$T_d = 47,26 \leq R_{t,d} = 65,64 \text{ kN/m}$$

Veicot pārbaudes tiek noteikts utilizācijas koeficients μ = 72%, kas ir atbilstošs konstrukcijas drošumam:

$$\mu = \frac{T_d}{R_{t,d}} = \frac{47,26}{65,64} = 0,72 \quad [5.116]$$

Rezultējošā spēka novietojums no grunts nestspējas

Attēls 5-29. *Pieliktās piepūles, lai noteiktu rezultējošo spēku*



Spēka moments ap vidējo punktu no mainīgajām slodžu komponentēm:

$$M_k = \left(E_{agh,k} * \frac{H}{3}\right) + \left(E_{aph,k} * \frac{H}{2}\right) - \left(E_{agv,k} * \frac{B}{2}\right) - \left(E_{agv,k} * \frac{B}{2}\right) = \left(23{,}85 * \frac{3}{3}\right) + \left(10{,}04 * \frac{3}{2}\right) - \left(8{,}68 * \frac{2{,}4}{2}\right) - \left(3{,}65 * \frac{2{,}4}{2}\right) = 24{,}12\text{kNm/m} \quad [5.117]$$

Vertikālās (kopējās) slodzes:

$$N_{G,k} + N_{Q,k} = 144 + 28{,}8 + 8{,}68 + 3{,}65 = 185{,}13\ \text{kN/m} \quad [5.118]$$

Spēka moments ap vidējo punktu no pastāvīgajām slodžu komponentēm:

$$M_k = \left(E_{agh,k} * \frac{H}{3}\right) - \left(E_{agv,k} * \frac{B}{2}\right) = \left(23{,}85 * \frac{3}{3}\right) - \left(8{,}68 * \frac{2{,}4}{2}\right) = 13{,}43\text{kNm/m} \quad [5.119]$$

Vertikālās pastāvīgās slodzes:

$$R_{n,k} = a' \cdot b' \cdot (c_{2,k} \cdot N_{c0} \cdot \nu_c \cdot i_c \cdot \lambda_c \cdot \xi_c + \gamma_{2,k} \cdot d \cdot N_{d0} \cdot \nu_d \cdot i_d \cdot \lambda_d \cdot \xi_d + \gamma_{2,k} \cdot b' \cdot N_{b0} \cdot \nu_b \cdot i_b \cdot \lambda_b \cdot \xi_b) \quad [5.121]$$

$$N_{G,k} = 144 + 8{,}68 = 152{,}68\text{kN/m}$$

Pārbaude, vai rezultējošais spēks saglabājas 1/3 no pamata pēdas centra. Ar šo nosaka ekscentritātes lielumu:

$$e = \frac{M_k}{N_k} = \frac{24{,}12}{185{,}13} = 0{,}130 < \frac{b}{3} = \frac{2{,}4}{3} = 0{,}8m \quad [5.122]$$

Pārbaude izpildās!

Grunts nestspējas aprēķins.Grunts nestspēja tiek nodrošināta, ja izpildās sekojošā sakarība:

$$N_d \le R_{n,d} = R_{n,k} / \gamma_{Gr} \quad [5.123]$$

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:

$$R_{n,k} = b' \cdot (\gamma_{2,k} \cdot b' \cdot N_{b0} \cdot i_b) \quad [5.124]$$

Nosakot nepieciešamos koeficientus:

$$N_{d0} = e^{\Pi \cdot \tan \varphi_{2,k}} \cdot \tan^2\left(45 + \frac{\varphi_{2,k}}{2}\right) = e^{\Pi \cdot \tan 30} \cdot \tan^2\left(45 + \frac{30}{2}\right) = 18.4 \quad [5.125]$$

$$N_{b0} = (N_{d0} - 1) \cdot \tan \varphi_{2,k} = (18.4 - 1) \tan 30° = 10.05 \quad [5.126]$$

m=2

$$i_b = (1 - \tan \delta)^{m+1} \quad [5.127]$$

$$tan\delta = \frac{T_k}{N_k} = \frac{23{,}85 + 10{,}04}{185{,}13} = 0{,}183 \quad [5.128]$$

$i_b=(1-0{,}183)^{2+1}=0{,}545$ [5.129]

$N_b=N_{b0} * i_b=10{,}05 * 0{,}545 = 5{,}48$ [5.130]

Ekvivalentais platums ņemot vērā ekscentritāti:

b'=B - 2 * e = 2,4 - 2 * 0,130 = 1,84 m [5.131]

$R_{n,k}$ = 1,84 * 21 * 1,84 * 10,05 * 0,545 = 389,41 kN/m [5.132]

$R_{n,d} = R_{n,k} / \gamma_{Gr} = 333,79 / 1,4 = 278,15$ kN/m [5.133]

$N_d = N_{G,k} * \gamma_G + N_{Q,k} * \gamma_Q = 152,68* 1,35 + 28,8*1,5 = 249,32$ kN/m [5.134]

$N_d = 249,32 < R_{n,d} = 278,15$ [5.135]

Pārbaude izpildās un utilizācijas koeficients ir 89 %:

$$\mu = \frac{N_d}{R_{n,d}} = \frac{249,32}{278,15} = 0,89 \quad [5.136]$$

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:

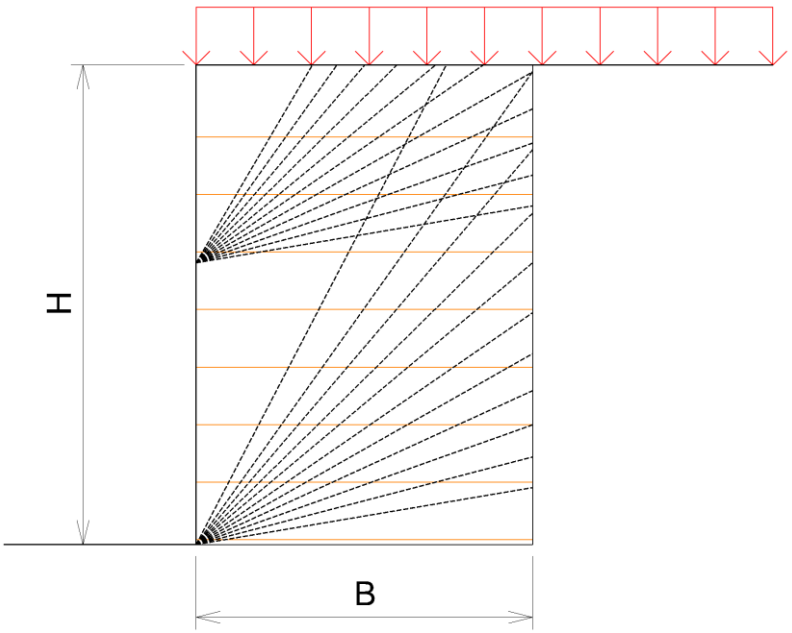
Tabula 5-13. Aprēķina vērtības lietojot drošības koeficientus atbilstoši DIN 1054

	$\varphi_{i,d}$ [°]	**$C_{i,d}$ [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.

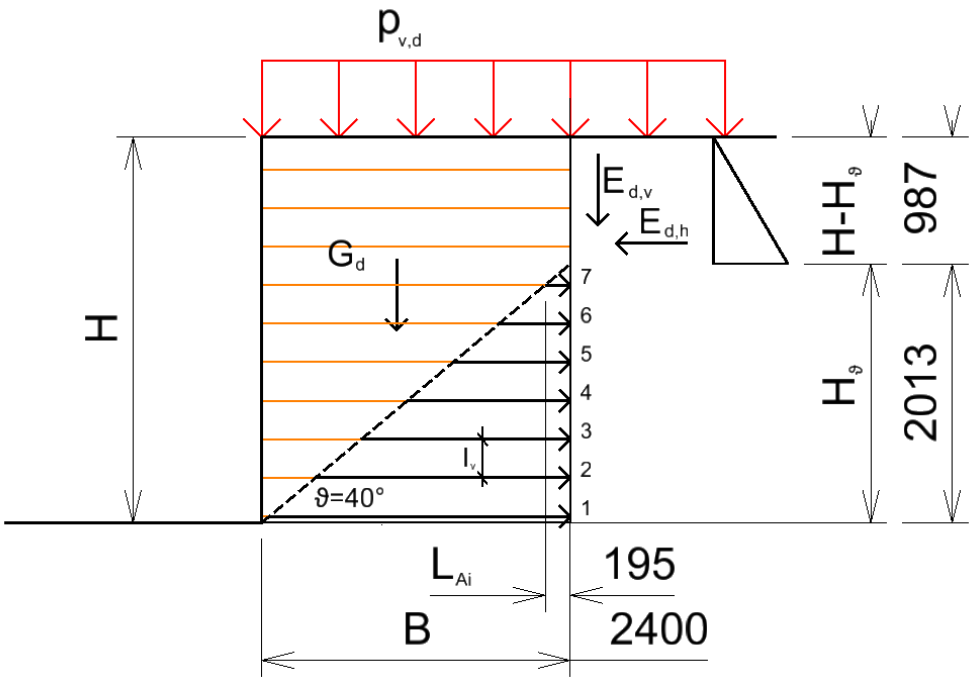
Attēls 5-30. Slīd-plaknes piemērs



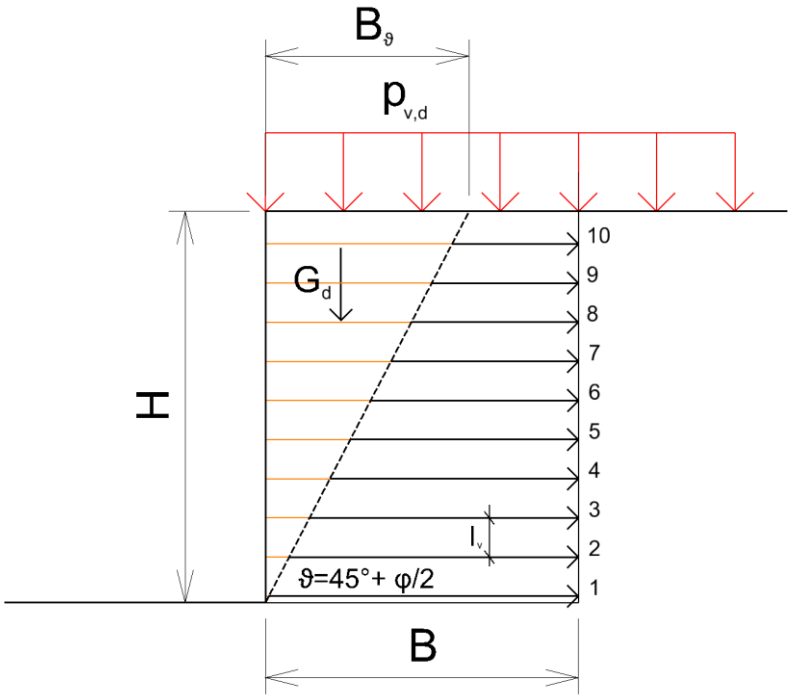
Sekojošās atteices sistēmas, kas šķērso konstrukciju leņķos ϑ=40° un ϑ=45°+ φ/ 2 tiek aplūkotas lietojot pastāvīgas un īslaicīgas slodzes.

Piepūļu izvietojums atbilstoši slīd-plaknes novietojumam (attēlos tālāk).

Attēls 5-31. Slīdplakne Nr.1: ϑ = 40°



Attēls 5-32. Slīdplakne Nr. 2: ϑ = 40°+φ/2



Piepūles tiek noteiktas:

$$\Sigma F_{d(\vartheta)} = (G_{d(\vartheta)} + P_{v,d(\vartheta)} + E_{v,d(\vartheta)}) \cdot \tan(\vartheta - \varphi_{1,d}) + E_{h,d(\vartheta)}, \quad [5.137]$$

kur:

$$G_{d(\vartheta)} = ½ \cdot \gamma_{1,d} \cdot B_{(\vartheta)} \cdot H_{(\vartheta)} + \gamma_{1,d} \cdot B_{(\vartheta)} \cdot (H - H_{\vartheta}) \quad [5.138]$$

$$P_{v,d(\vartheta)} = p_{v,d} \cdot B_{(\vartheta)} \quad [5.139]$$

$$E_{gh,d(\vartheta)} = ½ \cdot \gamma_{v,d} \cdot k_{ah,g,d} \cdot (H - H_{\vartheta})^2 \quad [5.140]$$

$$E_{gv,d(\vartheta)} = E_{gh,d(\vartheta)} \cdot \tan(\delta - \alpha) \quad [5.141]$$

$$E_{ph,d(\vartheta)} = k_{ah,p,d} \cdot (H - H_{\vartheta}) \cdot p_{v,d} \quad [5.142]$$

$$E_{pvd(\vartheta)} = E_{phd(\vartheta)} \cdot \tan(\delta - \alpha) \quad [5.143]$$

$$E_{h,d(\vartheta)} = E_{gh,d(\vartheta)} + E_{ph,d(\vartheta)} \quad [5.144]$$

$$E_{v,d(\vartheta)} = E_{gv,d(\vartheta)} + E_{pv,d(\vartheta)}. \quad [5.145]$$

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):

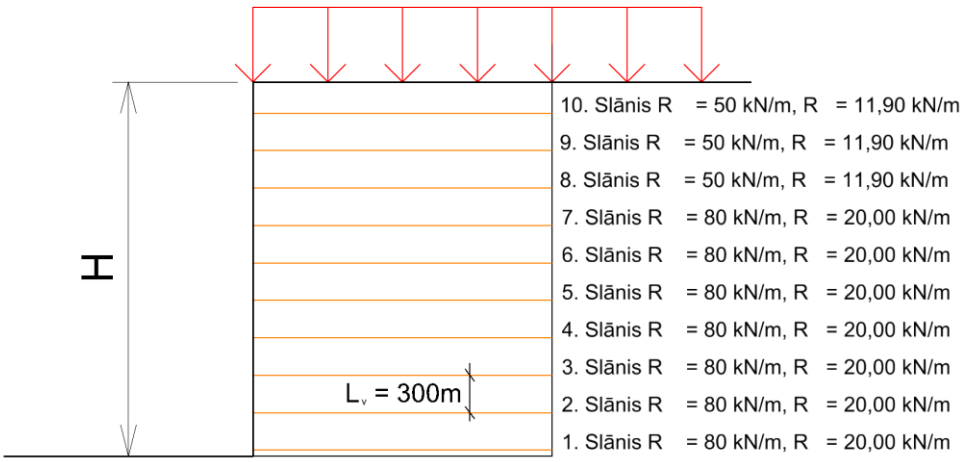
$$R_{B,d} = \frac{R_{B,k0}}{2.5 \cdot 1.2 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.4} = \frac{R_{B,k0}}{4.2} \quad [5.146]$$

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 5-33. 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.

$$\Sigma E_{i,d(\vartheta)} \leq \min (\Sigma R_{Bi,d}; \Sigma R_{Ai,d}). \quad [5.147]$$

Aprēķina vērtības priekš katra slāņa tiek izvēlēta kā mazākā:

$$R_{Ai,d} = 2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{Ai} \cdot (f_{sg,k}/\gamma_B) \quad [5.148]$$

$$f_{sg,k} = 0.8 \cdot \tan \varphi_{v,k} \quad [5.149]$$

$R_{Ai,d}$=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 5-14. 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

	$\vartheta = 45° + \varphi/2 = 45° + 29{,}25° / 2 = 59{,}62°$	[5.150]
	$G_{d(59,62°)}$=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	[5.151]

Tabula 5-15. 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

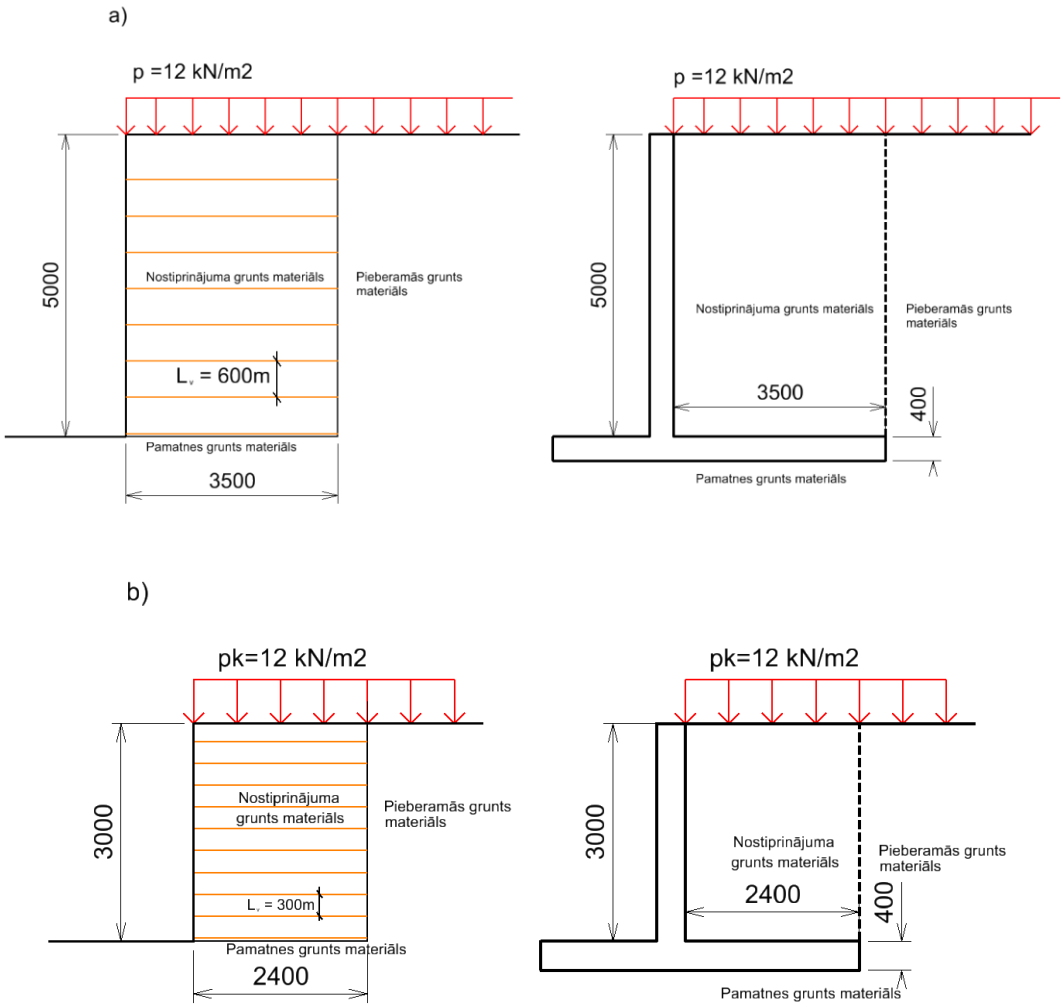
Tabula 5-16. Grunts spiediena koeficientu noteikšana STR robežstāvoklim

	$\varphi_{1,k} = 35°; \delta_{1,k} = 2/3 \cdot \varphi_{1,k} = 23.33°$, assuming that: $\alpha = 0°; \beta = 0°$,	
	$K_{agh,k} = K_{aqh,k} = 0.224.$	
	Grunts spiediens uz fasādes elementiem: $e_{facing} = \eta_g \cdot K_{agh,k} \cdot \gamma_k \cdot H_i \cdot \gamma_G + \eta_q \cdot K_{aqh,k} \cdot q \cdot \gamma_Q$ $E_{facing} = e_{facing} \cdot l_v$	[5.152]

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 5-34. 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 5-17. 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 5-18. 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 5-19. 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 5-20. 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

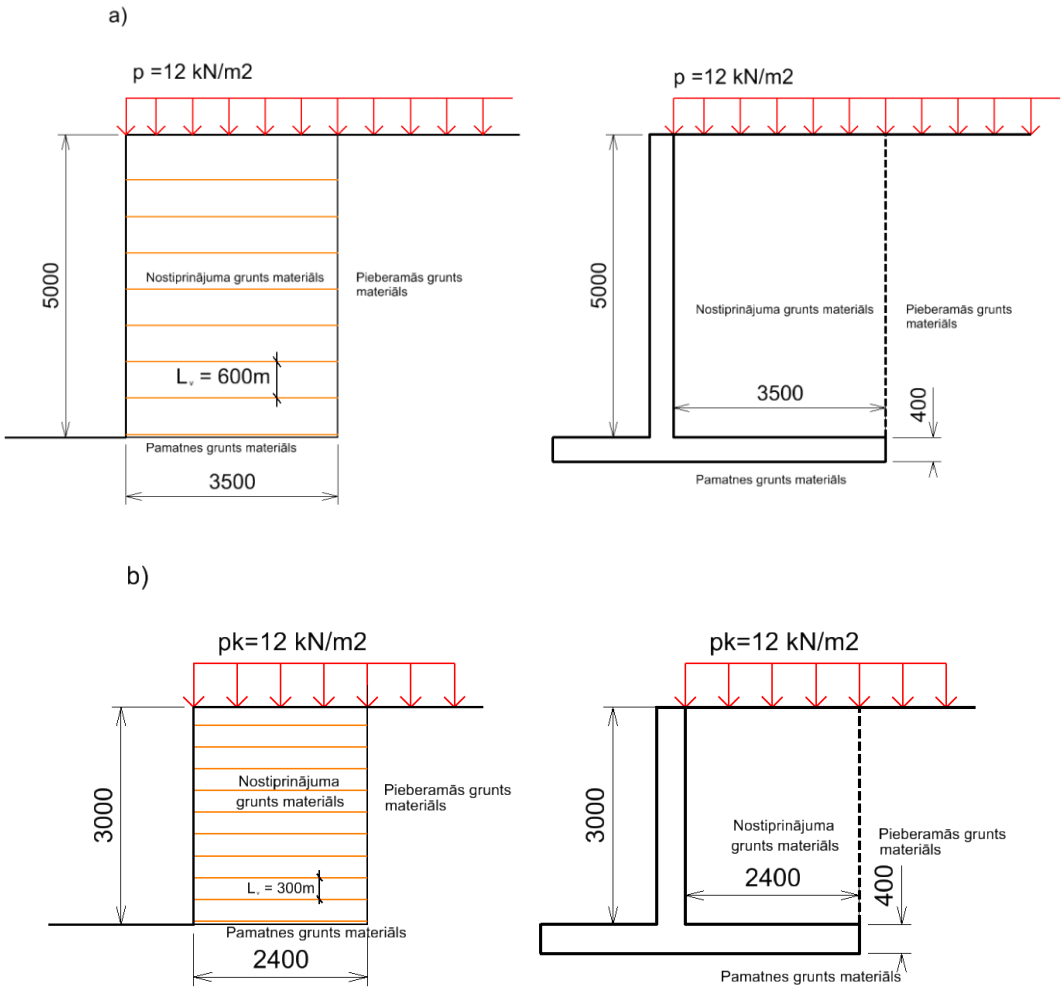
Ietekmei uz vidi novērtējumā izmantotas ģeosintētikas ražotāju sniegtās izstrādājumu vides deklarācijas, pētījuma "Inventory of Carbon and Energy (ICE)" [26] un Rokasgrāmatas 1.5 nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

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 5-21. 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 5-22. 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 5-23. 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 5-24. 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 5-25. 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 5-26. 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 5-27. 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 5-28. 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.

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 iespējamos vai 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 esoš 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 pakāpe un izvēlētā ASS veida atbilstība konkrētajam lietojumam (Tabula 1-7 un Tabula 1-8), kā arī jānodrošina 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.

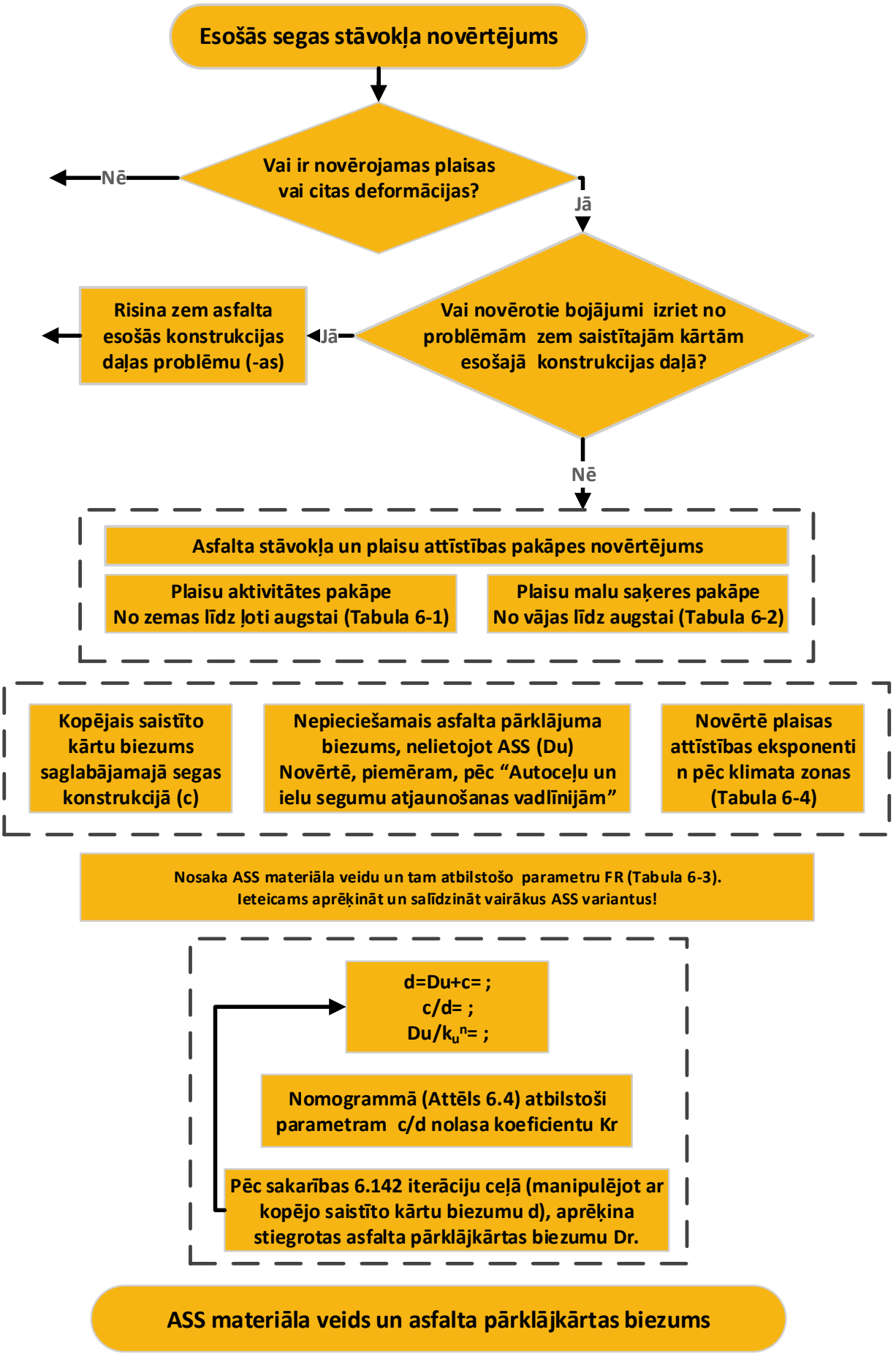
ASS projektēšanā izmanto dažādas pieejas. Empīriskas un nomogrammu tipa metodes parasti ir ierobežotas ar specifisku produktu, materiāliem un vides apstākļiem. Piemēram, plaši izmantota segu projektēšanas metode ir AASHTO (1993), tostarp to izmanto arī segām ar ģeosintētiskajiem materiāliem.

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 izturētu turpmāku satiksmes slodzi. Pretējā gadījumā tā jānodrošina ar papildu konstrukcijas kārtām.

Šos parametrus 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. [43]

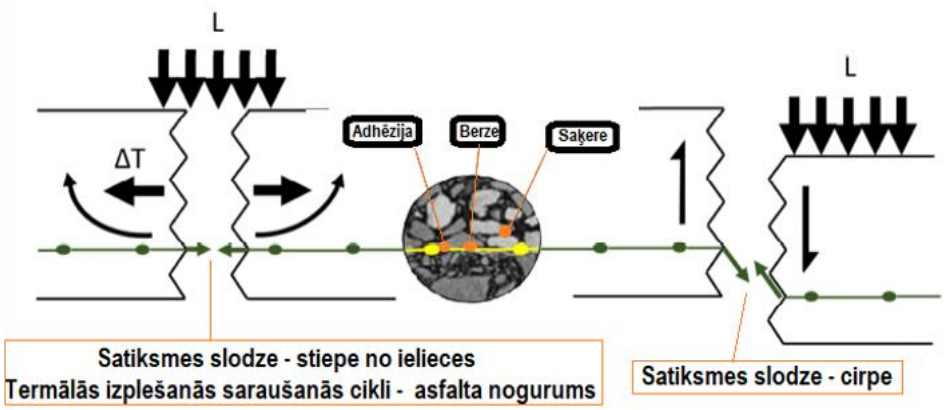
Citas ASS efektivitāti raksturojošās vispārīgās īpašības un parametri aprakstīti rokasgrāmatas 1. nodaļā.

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. [44]

Parisa likums:

$$\frac{dc}{dN} = A * K^n \ , \qquad [6.153.]$$

kur:
dc/dN – 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, [44]

$$N = \frac{2}{m} , \qquad [6.154.]$$

kur:
m – šļūdes atbilstības līknes tangente (slīpums), t. i., vienkārša vispārējā sakarība starp asfalta maisījuma stinguma moduļa logaritmu pret slodzes laika logaritmu.

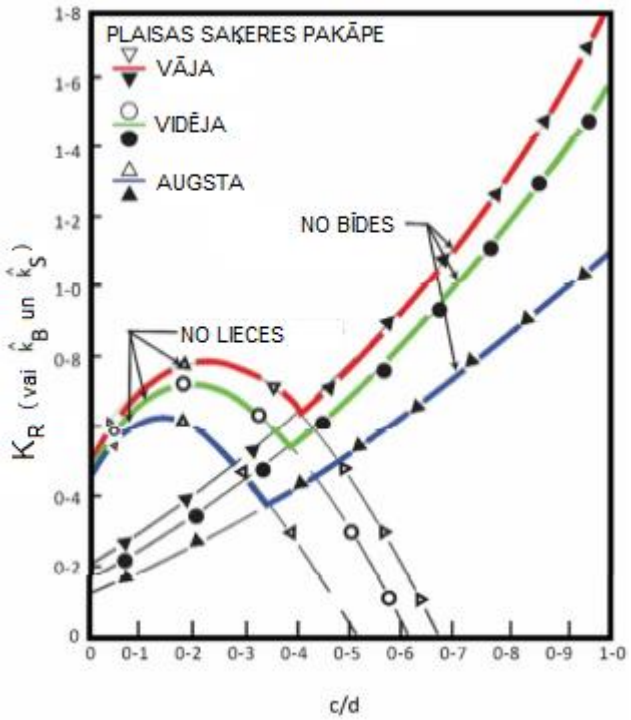
Ar satiksmi saistītai plaisāšanai un tipiskiem asfalta maisījumiem plaisu pieauguma attiecības slīpums ir izteikts kā lūzuma konstantes *(A_F)* funkcija: [44]

$$n = -2,2 - 0,5(logA_F) \ , \qquad [6.155.]$$

un termiskā noguruma plaisāšanai un tipiskiem asfalta maisījumiem – kā lūzuma konstantes *(A_T)* funkcija:

$$n = -0,72 - 0,42(logA_T) \ , \qquad [6.156.]$$

Attēls 6-4. Sprieguma intensitātes faktori liecei un bīdei [45]

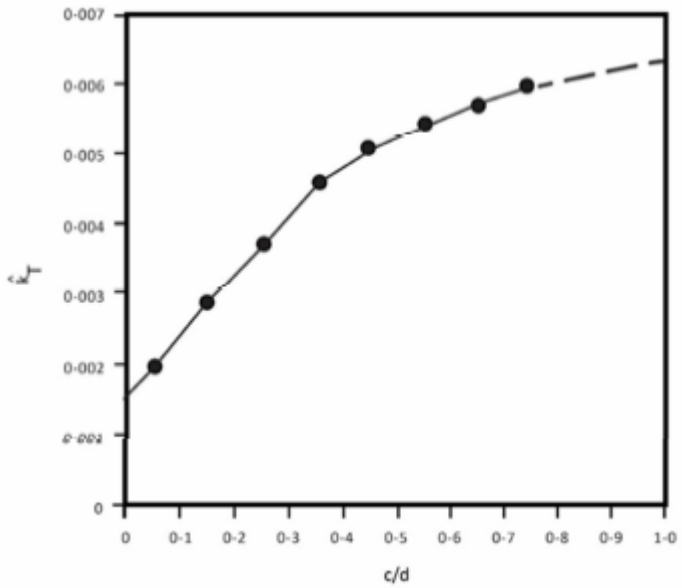


Tā kā *N* var noteikt no šļūdes atbilstības līknes slīpuma, tad A_F un A_T var aprēķināt, izmantojot iepriekš sniegtās sakarības. Asfalta kārtai ar biezumu *D* kalpošanas ilgumu *N* var aprēķināt pēc formulas: [45]

$$\boldsymbol{N = \frac{D}{\frac{dc}{dN}}}, \qquad [6.157.]$$

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). [44]

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: [44]

$$K_B = \widehat{K_B}\left(\frac{q \cdot e^{-\frac{\beta}{2}}}{\beta^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}} \cdot sin\left(\frac{\beta l}{2}\right)\right), \quad [6.158.]$$

$$K_S = \widehat{K_S}\left(\frac{q}{4\beta \cdot d^{\frac{1}{2}}} \cdot [1 + e^{-\beta l} \cdot (sin\beta l - cos\beta l)]\right),$$

$$K_T = \widehat{K_T}\left(\frac{E}{(1-\nu^2)d^{\frac{1}{2}}} \cdot s \cdot \alpha \cdot \Delta T\right), \quad [6.159.]$$

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: [46]

$$\beta = \frac{1}{0.55\,d}\sqrt[3]{\frac{E_{sup}}{E}}, \quad [6.160.]$$

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:

$$logN = -logK - logA, \quad [6.161.]$$

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 [47] 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. [45] *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.

$$A_R = FR \cdot A_u \qquad [6.162.]$$

6.1.5.2 Projektēšanas metodes

Delftas Universitātes metode. [45]

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 [6.162.];

Tabula 6-3. *FR* vērtības ASS projektēšanai (noteiktas pēc pētījuma [45] datiem un diagrammas (Attēls 1-9)

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
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 [6.157.]. Attiecīgi sakarība [6.163.]:

$$N = \frac{D}{\frac{dc}{dN}}, \qquad [6.163.]$$

kur:

$$\frac{dc}{dN} = A \cdot K^n \qquad [6.164.]$$

tādējādi aptuvenais stiegrota asfalta pārklājuma biezums ir:

$$D_r = FR\left(\frac{D_u}{\widehat{K_u^n}}\right)\widehat{K_r^n}, \qquad [6.165.]$$

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 [6.165.].

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
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/m^2	≥ 130
Ģeotekstila bitumena absorbcija****	EN 15381, C pielikums	kg/m^2	≥ 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 °C. 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 [11]

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.

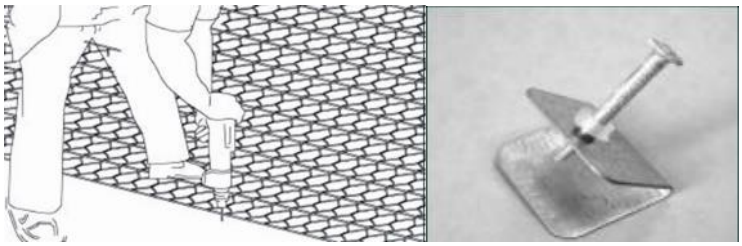
6.3.2 Tērauda sieta ieklāšana

Tērauda sieta ieklāšanai izmanto tam piemērotu būvtehniku ar traversu (Attēls 6-10).

Attēls 6-10. Tērauda sieta ieklāšana.

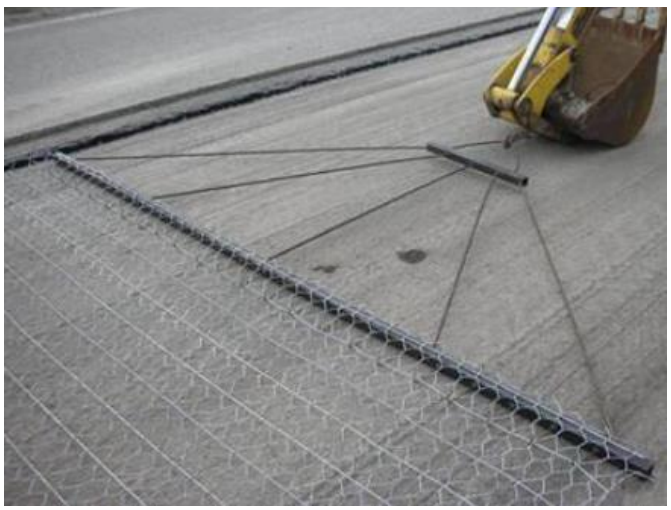
Tērauda sieta ruļļa sākuma gala pirmo metru nostiprina ar naglām ar maksimālo atstarpi 500 mm (Attēls 6-11), nākamos 4 m nostiprina ar naglām vidēji 1 gab./m². Naglas minimālais garums – 60 mm. Pēc tam sietu nostiepj.

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 Sea*l) (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
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: $n = 4$;
- $Du/kun = 100 / 1,1 \wedge 4 = 68,3$; 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 [6.165.] 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 [6.165.])**
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 [6.165.] 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 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/m²;
- poliesters 50/50 kN/m – 1,80 EUR/m²;
- tērauda siets – 7,00 EUR/m²;

∇ ģeokompozīti:

- stikla šķiedra 50/50 kN/m – 2,50 EUR/m²;
- poliesters 50/50 kN/m – 3,00 EUR/m²;
- polipropilēns – 5,00 EUR/m².

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**

6.4.4 Izstrādāto risinājumu ietekmes uz vidi salīdzinājums

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)" [26] un 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

6.4.4.1 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.

6.4.4.2 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 m^2 platībā. Tiek pieņemts, ka abu segas konstrukciju nestspēja un kalpošanas laiks ir vienāds.

6.4.4.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

6.4.4.4 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**

6.4.4.5 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.

6.4.4.6 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.

6.4.4.7 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

6.4.4.8 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				
iekļājējs						0,000432		
emulsijas izsmidzinātājs						0,0243		
veltnis						0,0001728		
							PAVISAM KOPĀ:	**5298**

6.4.4.9 Ietekmes novērtējums

Saskaņā ar veiktajiem aprēķiniem risinājumam bez ASS CO_2 ekv. = 9222 kg/1000 m^2, bet risinājumam ar ASS CO_2 ekv. = 5298 kg/1000 m^2.

Salīdzinot aprēķinātās CO_2 ekvivalenta vērtības, var secināt, ka ASS izmantošanas gadījumā funkcionāli līdzīgai segas konstrukcijai emisiju apjoms tiks samazināts par 42%.

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”. [48]

Lēmums par gala risinājumu tiek pieņemts, izvērtējot tehniski–ekonomisko salīdzinājumu un/vai ietekmes uz vidi aprēķinu.

7.1 Projektēšanas principi

Ūdens nekontrolēta kustība gruntī var apdraudēt inženierbūvju konstrukciju stabilitāti. Pārmitrinātā gruntī veidojas sekojoši nelabvēlīgi faktori:

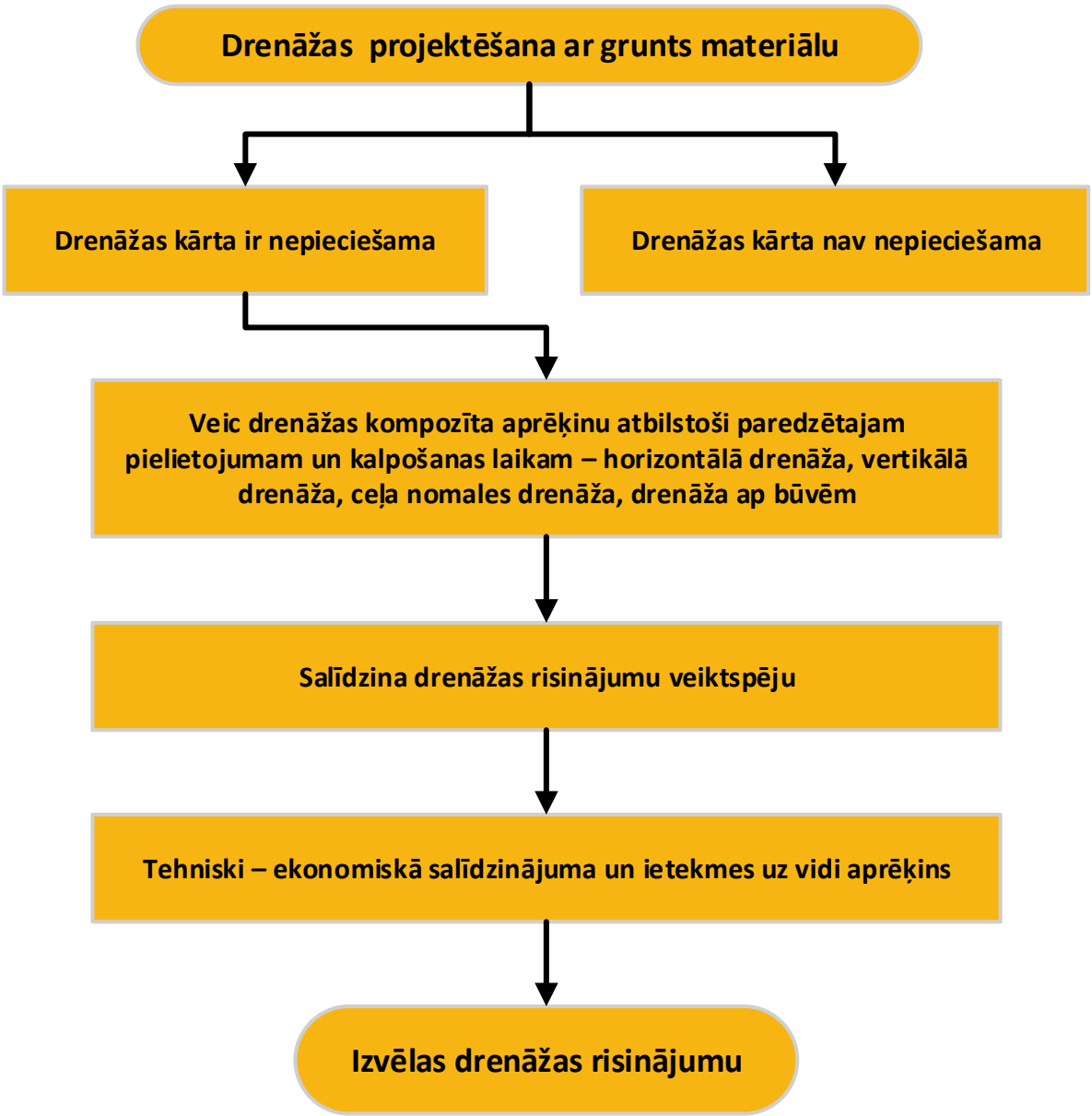
- samazinās grunts saiste;
- rodas papildu slīdamība kritiskajās noslīdējuma plaknēs;
- palielinās smalko grunts daļiņu kustība grunts konstrukcijās;

- 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 7-1. Drenāžas risinājuma aprēķina secība



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:

$$\frac{dQ}{dt} = K \times A \times \frac{dh}{dl}, \qquad [7.166.]$$

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:

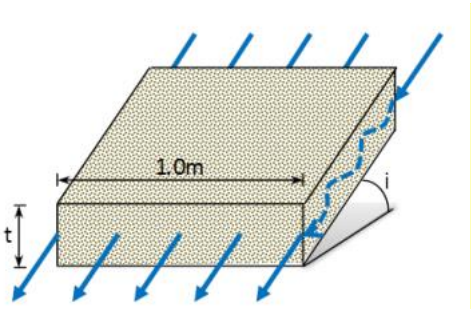
$$q = K \times A \times i, \qquad [7.167.]$$

kur:

q – ūdens tilpuma plūsmas ātrums caur augsni (m³/s vai l/s);

i – hidrauliskais gradients (bez mērvienības).

Attēls 7-2. *Drenējošās kārtas skice* [49]



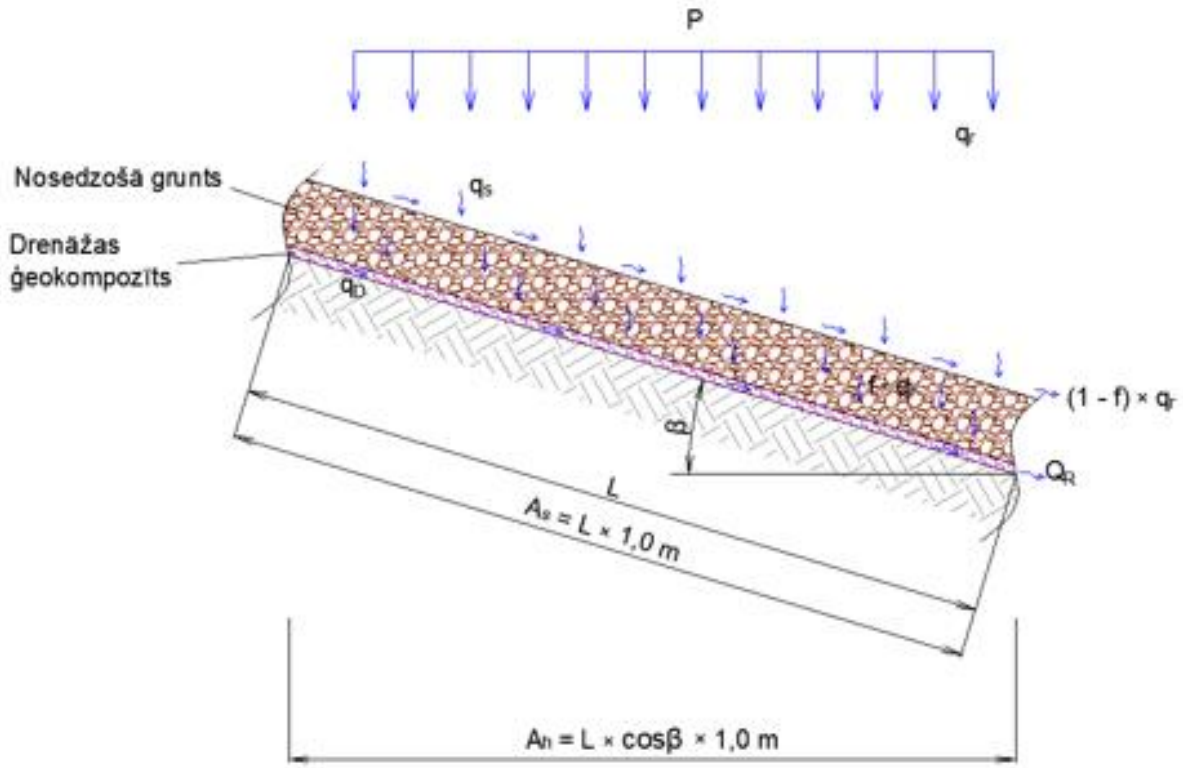
7.1.1 Nepieciešamā caurplūduma aprēķins

Projekta situācijas var būt ļoti dažādas un specifiskas. Turpmāk tiek analizētas vienkāršākās situācijas.

7.1.1.1 Drenāža nogāzēs

Aprēķinu veic atbilstoši shēmai:

Attēls 7-3. Aprēķina shēma nokrišņu gadījumā uz slīpas virsmas



$$q_r = \frac{P}{A_h}\ , \qquad [7.168.]$$

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:

$$q_s = q_r \times \cos\beta\ , \qquad [7.169.]$$

kur:
q_s – nokrišņu daudzums uz nogāzes laukuma vienību (m³/s /m²);
β – nogāzes slīpums (grādos).

Tabula 7-1. Nokrišņu notece nogāzēs [50]

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:

$$q_D = f \times q_s \,, \quad [7.170.]$$

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.

$$Q_R = L \times q_D \,, \quad [7.171.]$$

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.

$$j = \frac{h_r}{t} \,, \quad [7.172.]$$

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);

$$q_r = j \times 2{,}777 \times 10^7 \,, \quad [7.173.]$$

Līdz ar to caurplūdums aprēķināms kā:

$$Q_R = 2{,}777 \times 10^7 \times j \times L \times f \times \cos\beta \,, \quad [7.174.]$$

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 [7.174.], 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:

$$\boldsymbol{Q_D = FS_Q \times (Q_R + Q_S)}\,, \qquad [7.175.]$$

kur:
FS_Q – caurplūduma drošības koeficients;
Q_R – nokrišņu radītais caurplūdums ($m^3/s/m$ vai $l/s/m$);
Q_S – papildu caurplūdums ($m^3/s/m$ vai $l/s/m$);
Q_D – projektam paredzētā drenāžas ģeokompozīta nepieciešamais caurplūdums ($m^3/s/m$ vai $l/s/m$).

7.1.1.2 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:

$$\boldsymbol{Q_F = 2,777 \times 10^7 \times j \times \left(\frac{A_c}{B_g}\right) \times f}\,, \qquad [7.176.]$$

Arī šādās situācijās var veidoties papildu ūdens apjoms:

$$\boldsymbol{Q_D = FS_Q \times (Q_F + Q_S)}\,, \qquad [7.177.]$$

kur:
FS_Q – caurplūduma drošības koeficients;
Q_F – nokrišņu radītā ūdens plūsma uztveršanas zonā ($m^3/s/m$ vai $l/s/m$);
Q_S – papildu caurplūdums ($m^3/s/m$ 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.

7.1.1.3 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". [34]

7.1.1.4 Ģeokompozīta caurplūdums

Plūsmas ātrums drenāžas kompozītā ir proporcionāls hidrauliskajam slīpumam *i*.

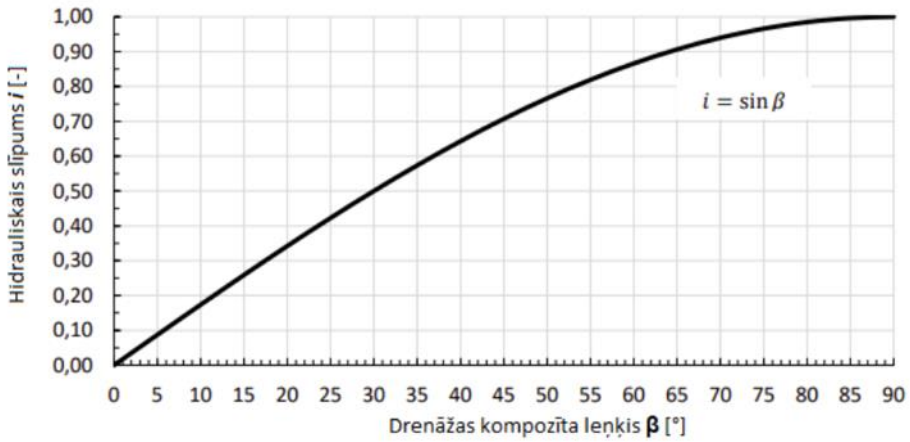
$$\boldsymbol{i = \frac{\delta h}{L}}, \qquad [7.178.]$$

kur:

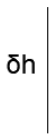
***δh** – hidrauliskais augstums attālumā L ūdens plūsmai ģeokompozītā (m);*

L – attālums starp diviem ūdens plūsmas punktiem ģeokompozītā (m).

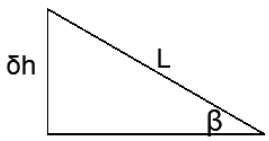
Attēls 7-4. Hidrauliskā slīpuma vērtības atkarībā no ģeokompozīta novietojuma leņķa [32]



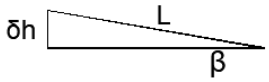
Tā kā drenāžas ģeokompozīta caurplūdums vienmēr būs lielāks par projektā nepieciešamo, tad ūdens plūsma materiālā notiks tikai atmosfēras spiediena ietekmē.



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 $\mathrm{i} = \sin\beta \sim \tan\beta = \frac{\delta h}{L}$.

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.

7.1.1.5 Izplūstoša ūdens apjoms

No ģeokompozīta izplūstošā ūdens apjomu var aprēķināt sekojoši:

- ∇ caurlaidība = izplūstošā ūdens apjoms, dalīts ar ģeokompozīta platuma vienību un hidrauliskā slīpuma vienību:

$$\boldsymbol{\theta = \frac{\left(q_m / B\right)}{i}} \qquad [7.179.]$$

- ∇ noteikts caurplūdums = izplūstošā ūdens apjoms, dalīts ar ģeokompozīta platuma vienību, izmantojot noteiktu hidraulisko sistēmas slīpumu:

$$\boldsymbol{Q = \frac{q_m}{B}} \qquad [7.180.]$$

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).

7.1.1.6 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:

$$\boldsymbol{p = \gamma \times H + w_s} \quad [7.181.]$$

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:

$$\boldsymbol{p = (\gamma \times H_l + w_s) \times K_a = (\gamma \times H_l + w_s) \times \tan^2(45° + \frac{\varphi}{2})} \quad [7.182.]$$

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).

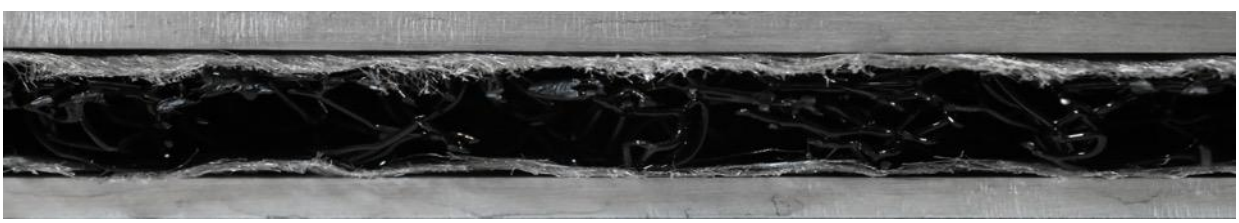
Jāņem vērā, ka, palielinoties spiedienam, samazinās ģeokompozīta biezums. Drenāžas ģeokompozīta kodoli mēdz būt ar un bez noteikta sabrukuma punkta. Kodolu izturību ietekmē slodzes lielums, iedarbības laiks un ražošanas veids (skatīt 1.3.4. nodaļu Drenāžas ģeokompozīti).

7.1.1.7 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 7-5. 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 7-6. 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
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.

7.1.1.8 Drošības koeficienti

Visiem materiāla lietojumiem ir jāņem vērā faktori, kas samazina tā ilgtermiņa veiktspēju:

$$Q_a = \frac{Q_L}{RF_{in} \times RF_{cr-Q} \times RF_{cc} \times RF_{bc} \times RF_L} \quad [7.183.]$$

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 sekojoši koeficienti:

Tabula 7-3. Drošības koeficients saskares virsmām: ciets–mīksts [51]

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 [12]

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 šādus šļūdes drošības koeficientu vērtības (Tabula 7-5).

Tabula 7-5. Spiedes šļūdes drošības koeficients saskares virsmām: mīksts–mīksts [12]

Ilgmūžība (gadi)	**Spiediens**			
	50 kPa	**100 kPa**	**200 kPa**	**500 kPa**
	RF_{cr-Q}	**RF_{cr-Q}**	**RF_{cr-Q}**	**RF_{cr-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.

7.2 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	EN ISO 13433	mm	≤ ...

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****
pretestība			
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 specifēcjamiem 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 rokasgrāmatas 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.

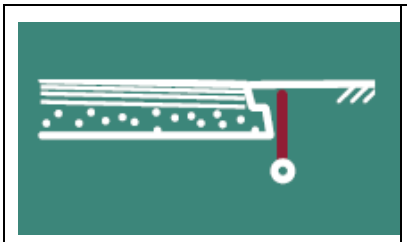
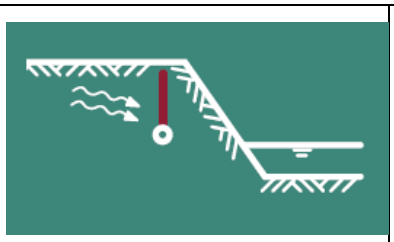
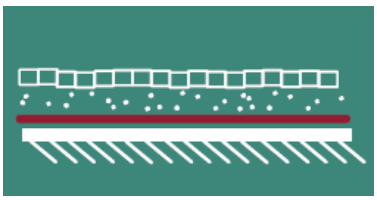
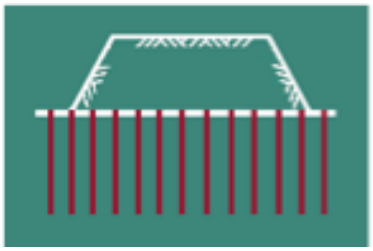
Nepieciešams novērtēt drošības koeficientus saskaņā ar projekta nosacījumiem. Ceļa konstrukcijām tas parasti ir no 20 līdz 50 gadiem, bet tilta konstrukcijām – 100 gadi.

7.3 Iestrādes tehnoloģija

Drenāžas ģeokompozītu iestrādes tehnoloģija ir atkarīga no paredzētās ģeosintētiskā materiāla iebūves vietas. Jebkurā gadījumā ir jāievēro visas materiāla ražotāja

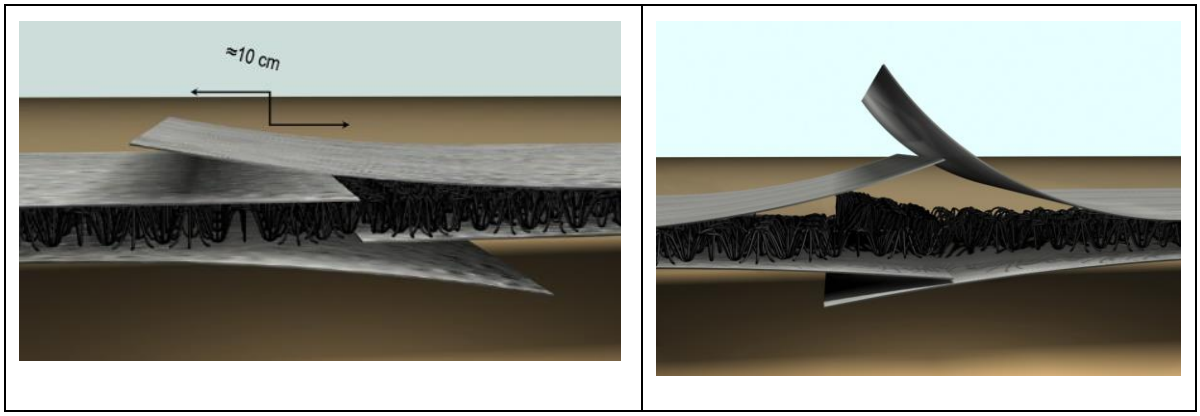
izsniegtās materiāla iebūves instrukcijas, lai materiāls nodrošinātu atbilstošu konstrukcijas funkcionalitāti visā paredzētajā kalpošanas periodā.

Attēls 7-7. 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 7-8. Drenāžas ģeokompozīta salaiduma veidošana [52]



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 7-9. Drenāžas ģeokompozīta salaiduma vietu nostiprināšana ar grunti [52]

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 7-10. Drenāžas ģeokompozīta iebūve zem bruģa Varšavā, Polijā

Attēls 7-11. Drenāžas ģeokompozīta iebūve Kadisā, Spānijā [53]

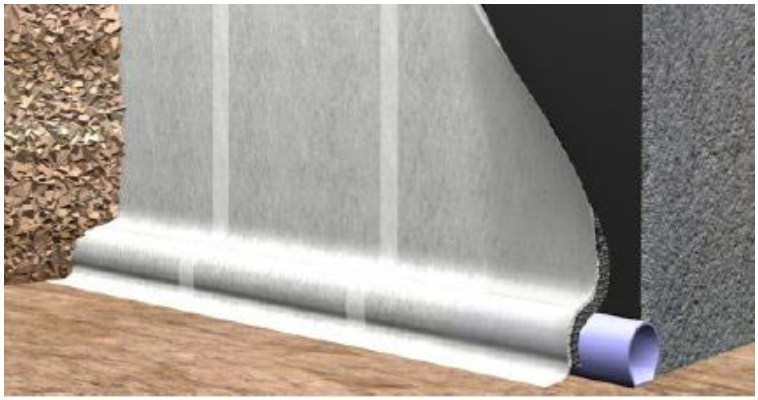
Ģeokompozīta zemākajos punktos konstrukcijai jābūt tādai, lai ūdens varētu brīvi izplūst no ģeosintētiskā materiāla un tiktu novadīts tālāk.

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.

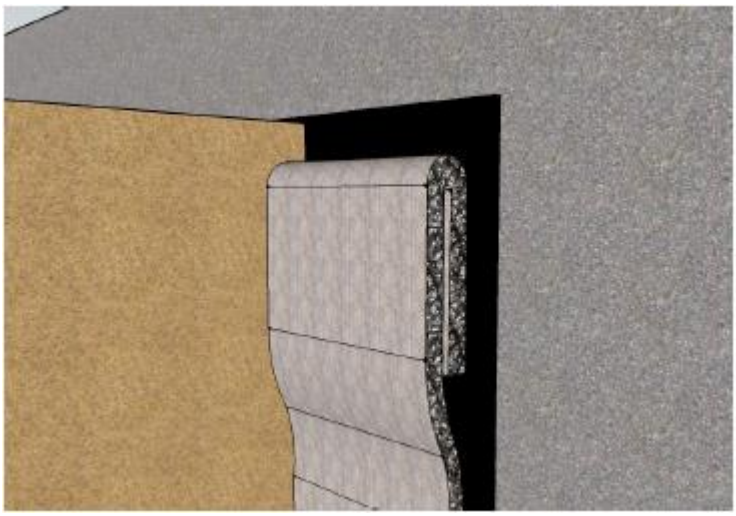
Betona konstrukcijas apakšējā daļā iebūvē drenāžas cauruli, nosedzot to ar drenāžas kompozīta ģeotekstilu, kas aizvada ūdeni tālāk.

Attēls 7-12. Drenāžas ģeokompozīta savienojums ar drenāžas cauruli [52]



Betona konstrukcijas augšpusē drenāžas kompozītu aizloka aptuveni par 10 cm, lai noslēgtu tā kodolu (to pašu dara ārējās vertikālajās malās).

Attēls 7-13. Drenāžas ģeokompozīta aizlocījums betona konstrukcijas augšpusē [52]



Līdzīgi iebūvē materiālu pie atbalsta sienām.

Attēls 7-14. Tilta gala sienas risinājums ar drenāžas ģeokompozītu [54]

Attēls 7-15. Drenāžas ģeokompozīta iebūve Minsterē, Vācijā [36]

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 7-16. Ceļa nomales drenāžas izbūves secība [55]

<table>
<tr>
<td> </td>
<td colspan="2"> </td>
<td> </td>
</tr>
<tr>
<td>Tranšejas rakšana</td>
<td colspan="3">Caurules ievilkšana drenāžas ģeokompozītā</td>
</tr>
</table>

Savienojumu veidošana	Ģeokompozīta nostiprināšana tranšejā	Tranšejas aizbēršana un blietēšana

Attēls 7-17. 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 7-18. PVD iebūve Roterdamā, Nīderlandē [56]

Visos risinājumos no ģeokompozīta izplūstošais ūdens ir jānovada prom no konstrukcijas. Atsevišķos risinājumos var pielietot dažādas drenāžas ģeokompozītu kombinācijas.

7.4 Būvprojektēšanas piemēri

Apskatīsim divas raksturīgākās situācijas ceļu būvniecībā – horizontālu drenāžu ceļa konstrukcijā un drenāžas sistēmu ceļa nomalēs.

7.4.1 Pirmais piemērs

Būvprojektēšanas piemēros apskatītas divas izplatītākās situācijas drenāžas ģeokompozītiem ceļa konstrukcijās:

- kapilārā barjera;
- vertikālā drenāža ceļa nomalē.

7.4.1.1 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.

7.4.1.2 Iespējamie projekta risinājumi un projektēšanas soļi

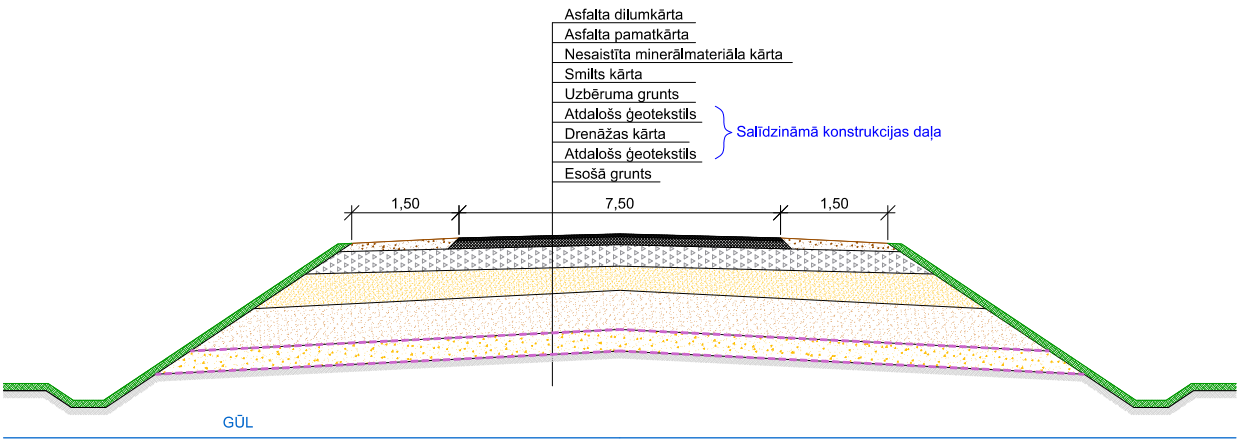
Sākotnēji risinājums tiek izstrādāts ar 30 cm biezu drenējošo kārtu, ko no abām pusēm atdala ar veltu ģeotekstilu. Ģeotekstilu lieto, lai atdalītu drenējošo grunti no esošās un pievestās putekļainās grunts.

Kā alternatīva tiek izvērtēta iespēja drenāžas kārtas vietā iebūvēt drenāžas ģeokompozītu.

7.4.1.3 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 x 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 7-19. Paredzētais projekta risinājums ar drenāžas kārtu



7.4.1.4 Risinājums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu

Pēc Dārsija likuma aprēķina drenāžas kārtas veiktspēju.

$q = K \times A \times i = (5{,}78 \times 10^{-5}) \times (0{,}3 \times 1) \times 0{,}1 = 0{,}0017 \times 10^{-3}$ m^3/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:

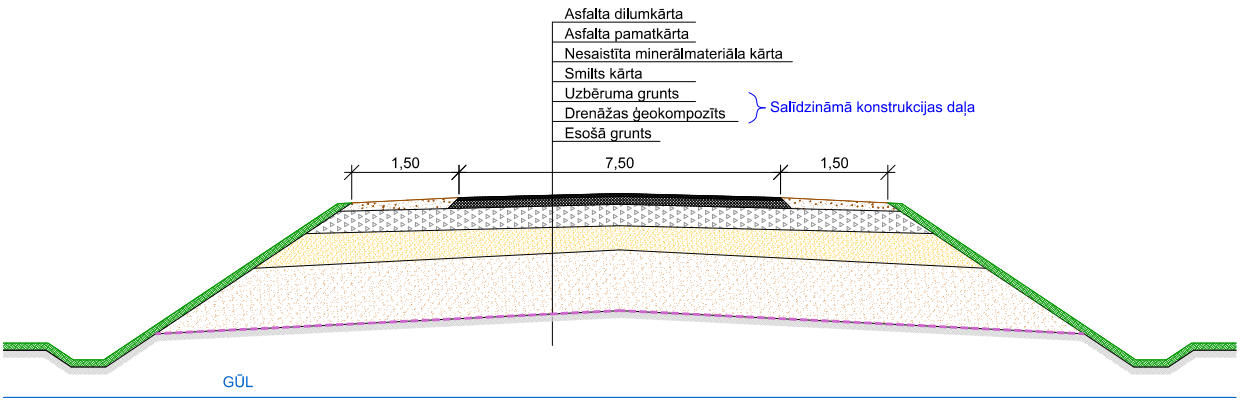
- RF_{in} – 1,26

- $RF_{cr\text{-}Q}$ – 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 7-20. 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.

7.4.2 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	m²	2504	2,0	5008
Drenāžas kārtas iebūve	m³	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)" [26] un rokasgrāmatas 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

7.4.2.1 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.

7.4.2.2 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.

7.4.2.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

7.4.2.4 Dzīves cikla inventarizācija (LCI)

Dati par ģeosintētisko materiālu ražošanu un iebūvi iegūti no materiālu vides deklarācijām. Tiek apskatītas trīs dažādu ražotāju deklarācijas (Nr. 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**

7.4.2.5 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.

7.4.3 Otrais piemērs

Apskatīti divi risinājumi ceļa nomales drenāžai:

- ∇ “Franču” drenāžas risinājums;
- ∇ vertikāls drenāžas ģeokompozīts.

7.4.3.1 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.

7.4.3.2 Iespējamie projekta risinājumi un projektēšanas soļi

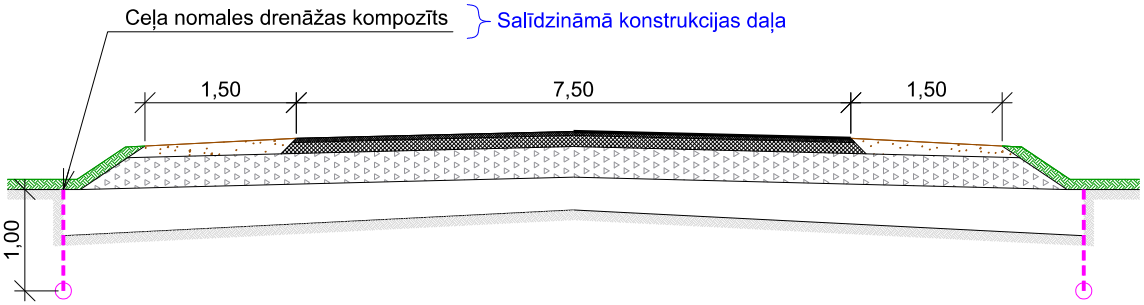
Kā galvenais risinājums tiek izvēlēta “franču” drenāža. Risinājums paredz 1,25 m dziļas un 0,5 m platas tranšejas rakšanu. Tranšeju aizpilda ar drenējošu grunti, kas ietīta veltā ģeotekstilā. Savākto ūdeni garenvirzienā novada drenāžas caurule.

Alternatīvs risinājums – vertikāla ģeokompozīta drenāža, kas apvienota ar drenāžas cauruli.

7.4.3.3 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 7-21. "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)

7.4.3.4 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).

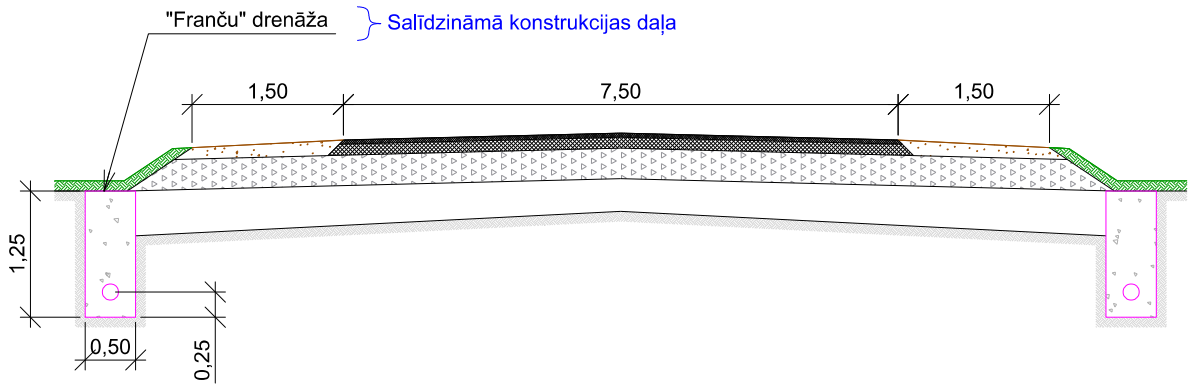
Atbilstoši ražotāja sniegtajai (pārbaudāmai informācijai) un esošajiem apstākļiem, tiek izmantoti sekojoši drošības koeficienti:

- 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 7-22. Ceļa nomales drenāžas ģeokompozīta risinājums



Secināms, ka risinājums atbilst projekta mērķiem (kalpošanas laiks: 25 gadi).

7.4.4 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)" [26] un rokasgrāmatas 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

7.4.4.1 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.

7.4.4.2 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.

7.4.4.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

7.4.4.4 Dzīves cikla inventarizācija (LCI)

Dati par ģeosintētisko materiālu ražošanu un iebūvi iegūti no materiālu vides deklarācijām. Tiek apskatītas trīs dažādu ražotāju deklarācijas (Nr. 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. 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 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**

7.4.4.5 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.

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.

Sausās nogāzes projektēšanas princips tiek balstīts uz Pārskatītā universālā augsnes zuduma vienādojuma RUSLE (angļu val. – *Revised Universal Soil Loss Equation*) bāzes. Augsnes zudumi tiek samazināti, 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.

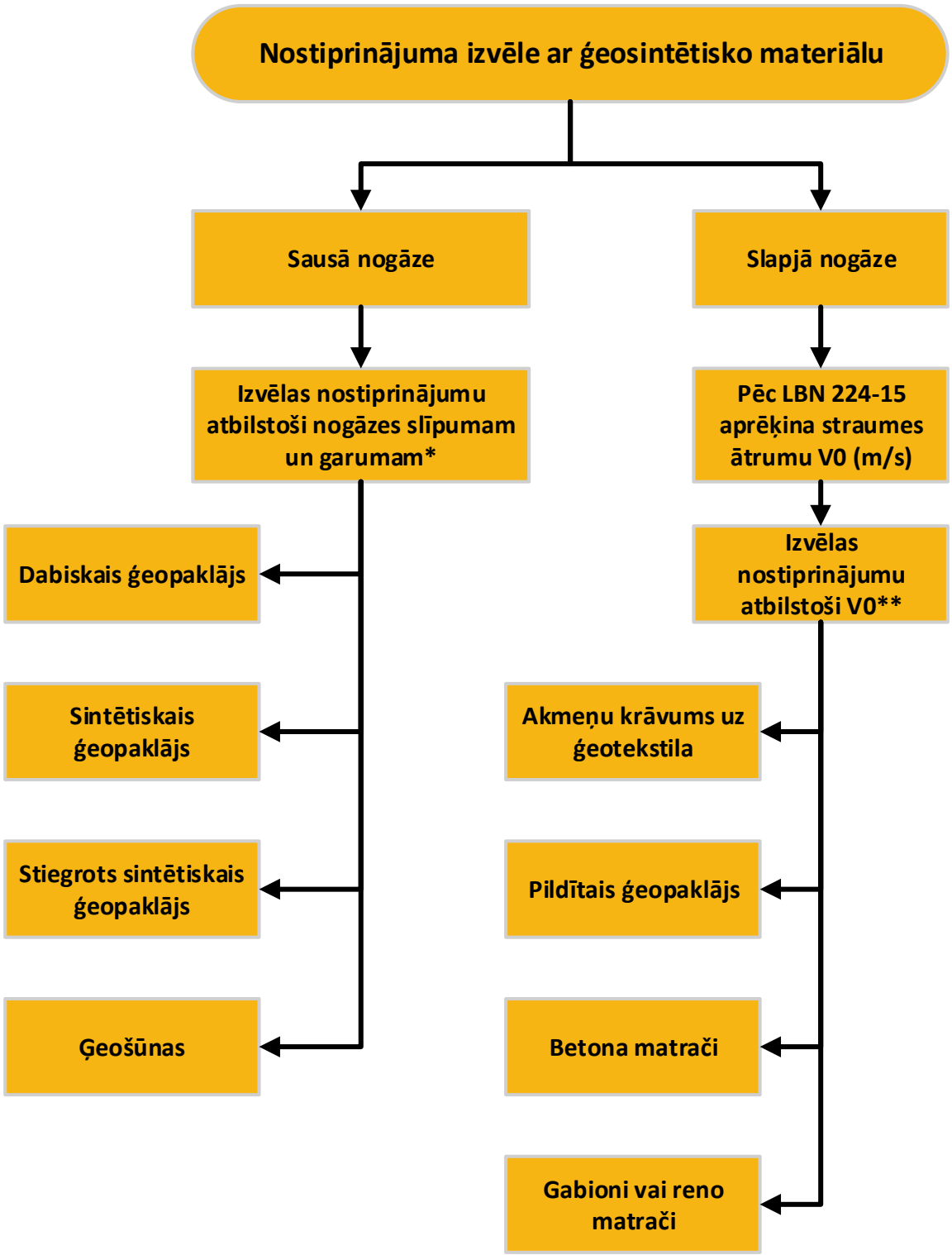
Slapjajai nogāzi noturību pret eroziju nosaka, veicot ūdensnotekas hidroloģiskos un hidrauliskos aprēķinus saskaņā ar LBN 224-15. No aprēķinu rezultātā iegūtā straumes ātruma, ņemot vērā nogāžu un gultnes grunts sastāvu, tiek izvēlēts atbilstošākais nostiprinājuma risinājums.

8.1 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 8-1) redzami sausās un slapjās nogāzes nostiprinājumu veidi, kuru izmanto atkarībā no attiecīgi nogāzes ģeometrijas un straumes ātruma.

Attēls 8-1. Sausās un slapjās nogāzes nostiprinājumu veidi



** ieteicamos nostiprinājumus atbilstoši nogāzes slīpumam un garumam skatīt 0 Tabula 8-6. Preterozijas ģeosintētisko materiālu pielietošana atkarībā no nogāzes raksturlielumiem.*

*** ieteicamos nostiprinājumus atbilstoši straumes ātrumam V_0 skatīt 0 Tabula 8-10. Pieļaujamais maksimālais straumes ātrums V (m/s) ar dabīgiem materiāliem nostiprinātās gultnēs un 0 Tabula 8-11. Pieļaujamais maksimālais straumes ātrums V (m/s) ar ģeosintētiskajiem materiāliem nostiprinātās gultnēs [57]*

8.1.1 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.

$$\boldsymbol{A = R \times K \times LS \times P}\ , \qquad [8.184.]$$

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. [57]

$$\boldsymbol{A_C = A \times C}\ , \qquad [8.185.]$$

kur:
A_C – augsnes zuduma apjoms, ievērtējot nostiprinājumu tonna/hektārs/gadā;
C – veģetācijas koeficients;
P – aizsargpasākumu koeficients, kas samazina nogāzes erozijas apjomus. [57]

Tabulā (Tabula 8-1) definētas koeficienta *R* vērtības atbilstoši aktīvajam veģetācijas periodam un optimālajam nokrišņu daudzumam Latvijā.

Tabula 8-1. 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.

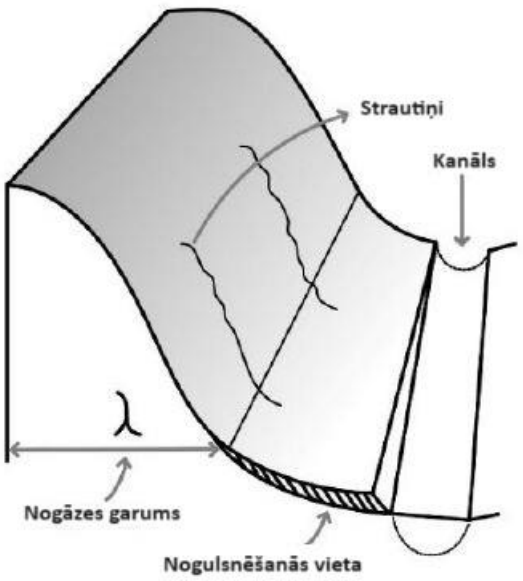
Tabula 8-2. Koeficienta *K* vērtība atbilstoši grunts tipam un OSD

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 8-2). [58]

Attēls 8-2. 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 [59] 1. [58]

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:

$$\boldsymbol{LS = L \times S = \left(\frac{\lambda}{C}\right)^{m} \times (0,065 + 0,0456s + 0,006541s^{2})}\,, \quad \text{[8.186.]}$$

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 8-3. Eksponente m atkarībā no nogāzes slīpuma s. [58]

Tabula 8-3. Eksponente *m* atkarībā no nogāzes slīpuma *s* [59]

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. [58]

Projektēšanai lietojamās koeficienta *C* vērtības apkopotas tabulā (Tabula 8-4). Specifiskos gadījumos konkrētā ģeosintētiskā materiāla *C* vērtību ieteicams pieprasīt materiāla piegādātājam vai ražotājam.

Tabula 8-4. 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 8-5. 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 [8.184.] 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 [8.185.].

Tabula 8-6. 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

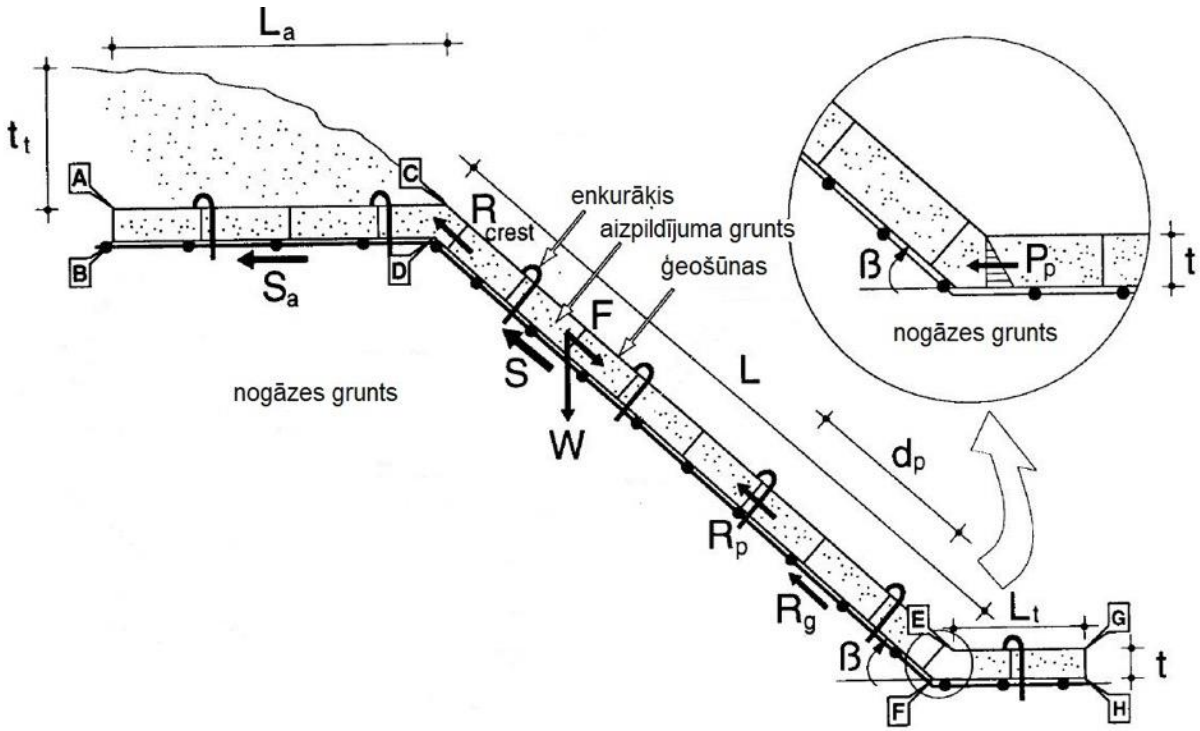
** nelielas nogāzes var tikt efektīvi pasargātas no erozijas, izmantojot dažāda veida ģeopaklājus, taču garām un stāvām nogāzēm ar augstu erozijas risku ieteicams izmantot ģeošūnas.*

Izmantojot nostiprinājumu ar ģeošūnām, jāveic to stabilitātes aprēķins. [60]

Ar ģeošūnām nostiprinātas nogāzes stabilitātes aprēķins tiek iedalīts trīs daļās (Attēls 8-3):

- ∇ centrālā daļa CDEF;
- ∇ augšējā daļa ABCD;
- ∇ apakšējā daļa EFGH.

Attēls 8-3. Ģeošūnu aprēķina shēma



Ar grunti aizpildītas centrālās daļas CDEF svaru *W* aprēķina:

$$\boldsymbol{W = \gamma L t}\,, \qquad [8.187.]$$

kur:

γ *– aizpildījuma grunts tilpumsvars (kN/m³);*

L – nogāzes garums (m);

t – ģeošūnu augstums (m).

Attiecīgi slīdošais spēks *F*:

$$\boldsymbol{F = W sin\beta}\,, \qquad [8.188.]$$

kur:

β *– nogāzes slīpuma leņķis (°).*

Kopējais rezultējošais spēks R_{tot} tiek aprēķināts kā atsevišķu iedarbojošos pretspēku summa:

$$\boldsymbol{R_{tot} = S + \frac{R_{crest}}{FS_j} + \frac{R_p}{FS_j} + R_g + P_p}\,, \qquad [8.189.]$$

Berzes pretestības spēks *S* gar nogāzi:

$$\boldsymbol{S = \gamma L t \cos\beta \tan\varphi}\,, \qquad [8.190.]$$

kur:

ϕ *– nogāzes grunts iekšējais berzes leņķis (°).*

Pretspēks R_{crest} nogāzes augšdaļā:

$$\boldsymbol{R_{crest} = n_j J_{min}}\,, \qquad [8.191.]$$

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:

$$\boldsymbol{R_p = b\,J_p}\,, \qquad [8.192.]$$

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:

$$\boldsymbol{d_p = \frac{L}{b}}\,, \qquad [8.193.]$$

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:

$$\boldsymbol{P_p = \frac{1}{2}\gamma\, tan^2\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right) t^2}\,, \qquad [8.194.]$$

kur:
ϕ – aizpildījuma grunts iekšējais berzes leņķis (°).

Centrālās daļas stabilitāte tiek nodrošināta, ja izpildās sakarība:

$$\boldsymbol{FS_g = \frac{R_{tot}}{F}}, \qquad [8.195.]$$

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:

$$FS_a = \frac{S_a}{(F - S)\cos\beta}, \quad [8.196.]$$

kur:
S_a – rezultējošā spēka horizontālā komponente (kN/m);
FS_a – drošības koeficients, minimālā vērtība 1,5.

$$S_a = \gamma t_t L_a \tan\varphi_a, \quad [8.197.]$$

kur:
L_a – enkurojuma garums (m);
t_t – enkurgrāvja dziļums (m);
ϕ_a – nogāzes grunts iekšējais berzes leņķis (°).

No formulām [8.196.] un [8.197.], kad ir definēts enkurgrāvja dziļums t_t, var izteikt un aprēķināt nepieciešamo enkurojuma garumu L_a:

$$\mathbf{L_a = \frac{FS_a(F - S)\cos\beta}{\gamma t_t \tan\varphi_a}}, \quad [8.198.]$$

Jebkurā aprēķinu rezultātā jāņem vērā, ka L_a minimālā vērtība ir 0,75 m.

Apakšējās daļas EFGH stabilitātes aprēķins.

$$FS_t = \frac{S_t}{P_p}, \quad [8.199.]$$

kur:
S_t – berzes spēks (kN/m);
FS_t – drošības koeficients, minimālā vērtība 1,5.

$$S_t = \gamma t L_t \tan\varphi, \quad [8.200.]$$

kur:
L_t – enkurojuma garums (m);
ϕ – nogāzes grunts iekšējais berzes leņķis (°).

Minimālo enkurojuma garumu nogāzes apakšā aprēķina, izsakot L_t no formulām [8.199.] un [8.200.]:

$$L_t = \frac{FS_t P_p}{\gamma t \tan\varphi}, \quad [8.201.]$$

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.

8.1.2 Slapjām nogāzēm

Nepārtrauktas vienmērīgas plūsmas apstākļos upes caurplūdumu jebkurā upes šķērsgriezumā aprēķina pēc formulas: [61]

$$Q = V \times A\,,$$

kur:
V – vidējais straumes ātrums (m/s);
A – plūsmas šķērsgriezuma laukums (m^2).

[8.202.]

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:

$$V = C \times \sqrt{R \times i}\,,$$

kur:
C – Šezī raupjuma koeficients ($m^{1/2}/s$);
R – hidrauliskais rādiuss (m) = A/P;
P – apslapētais perimetrs (m);
i – gultnes slīpums (m/m).

[8.203.]

Raupjuma koeficientu *C* var aprēķināt, izmantojot formulu:

$$C = k_S \times R^{1/6}\,,$$

kur:
k_s – Striklera raupjuma koeficients ($m^{1/3}/s$).

[8.204.]

Šādā gadījumā vidējo straumes ātrumu aprēķina pēc formulas:

$$V = k_S \times R^{2/3} \times i^{1/2}$$

[8.205.]

Tabula 8-7. Striklera raupjuma koeficienta k_s vērtības dažādām gultnēm [62]

Gultnes veids		**Gultnes nostiprinājuma veids**	**k_s**
Dabīgās gultnes	Upes Strauti	Stingrs, vienlaidu pamats Saneši vai nezāles Izteikti saneši, oļi Rupji akmeņi miera stāvoklī Rupji akmeņi kustībā	40 30–35 28 25–28 19–22
Mākslīgi veidotas gultnes	Dabīgas grunts gultnes kanāli	Stingra smilts ar nedaudz māla vai grants daļām Pamats smilts un grants, nogāzes izliktas ar plātnēm Rupja grants apm. 50/100/150 mm Gabalains māls	50 45–50 35 30
	Mūrētu nostiprinājumu gultnes	Smilts, māls vai grants, stipri apauguši Ķieģeļu mūris, arī klinkers, ar labām šuvēm	20–25 75

Gultnes veids		Gultnes nostiprinājuma veids	k_s
	kanāli	Normāls mūris Rupjš būvakmens mūris ar bruģakmeni	60 50
	Betonētu nostiprinājumu gultnes kanāli	Metāla veidņu virsmas Koka veidņu virsmas Nodiluša betona virsmas Nelīdzena betona virsmas	90 65–70 60 50
	Teknes Grāvji	Zāliens Grants Bruģakmens	20–30 25–30 40–50

Tabula 8-8. Striklera raupjuma koeficienta k_s vērtības kanāliem ar ģeosintētisko materiālu nostiprinājumu [61]

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 ģeotekstila	D50 = 150 mm	9,615	14,493	28,571
	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 8-4), ūdens virsmas pacēlumu aprēķina pēc formulas: [61]

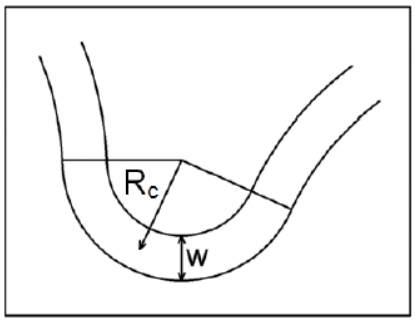
$$\Delta y = \frac{W \times V_{mean}^{\ 2}}{g \times R_c}, \qquad [8.206.]$$

kur:

Δy – ūdens virsmas pacēlums pagrieziena ārējā malā (m);

V_{mean} – kanāla vidējais straumes ātrums (m/s);
W – kanāla gultnes platums (m);
g – brīvās krišanas paātrinājums (m/s2);
Rc – pagrieziena rādiuss (m).

Attēls 8-4. Kanāla pagrieziena rādiuss un gultnes platums



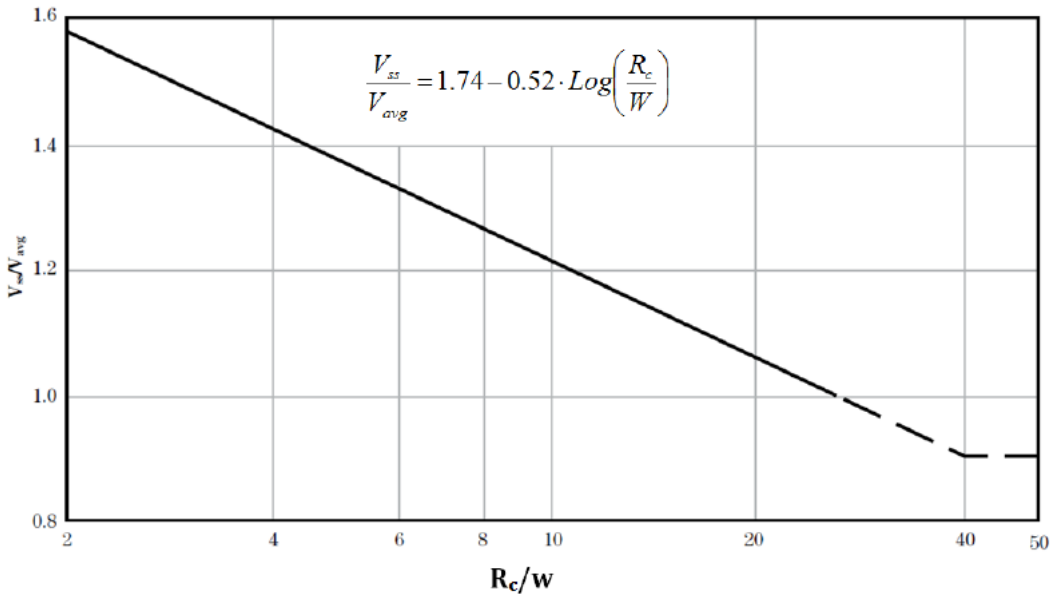
Tā kā ūdens plūsma pagriezienos koncentrējas, maksimālo straumes ātrumu V_{ss} uz kanāla pagrieziena sānu nogāzēm ir iespējams noteikt, piemērojot korekciju vidējam straumes ātrumam. Attiecība V_{ss}/V_{avg}, kur V_{avg} ir straumes vidējais ātrums pagrieziena augšteces galā, ir izteikta kā pagrieziena rādiusa (R_c) un ūdens virsmas platuma (W) attiecības funkcija.

$$\frac{\boldsymbol{V_{ss}}}{\boldsymbol{V_{avg}}} = \mathbf{1,74} - \mathbf{0,52} \times \boldsymbol{log}\left(\frac{\boldsymbol{R_c}}{\boldsymbol{W}}\right), \qquad [8.207.]$$

kur:
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 8-5) redzama šī sakarība dabiskajiem kanāliem. [61]

Attēls 8-5. Dabisku kanālu straumes ātrumu attiecība pagriezienā



8.1.2.1 Rezultātu pārbaude

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 8-9. Pieļaujamais maksimālais straumes ātrums *V* (m/s) nenostiprinātās gultnēs [62]

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-	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)
	akmens, dolomīts									
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

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)
4.5.	Vāji sadalī-jusies sfagnu kūdra	< 35%	1,00	1,10	1,20	1,25	1,30	1,35	1,35	1,40

Tabula 8-10. Pieļaujamais maksimālais straumes ātrums *V* (m/s) ar dabīgiem materiāliem nostiprinātās gultnēs [57]

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 8-11. Pieļaujamais maksimālais straumes ātrums *V* (m/s) ar ģeosintētiskajiem materiāliem nostiprinātās gultnēs [57]

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

Nostiprinājuma veids	Bez veģetācijas	Ar veģetāciju
Sintētiskais ģeopaklājs ar šķembu bērumu	1,1–1,8	-
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.

8.1.2.2 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 8-6), 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.

Attēls 8-6. Akmeņu bērums "Rip-Rap" ar ģeotekstilu [63]

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.

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 8-12). Gadījumos, kad projektēšanas nosacījumi atšķiras no tabulā (Tabula 8-12) 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 8-12. 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
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.*

8.2 Raksturlielumi, to robežvērtības, specifikāciju prasības

Tabulās turpmāk ir norādītas preterozijas ģeosintētisko materiālu specifikāciju prasības.

Tabula 8-13. 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/m^2	≥ 350
Cauršūšanas diegu materiāls (paklājam)	-	-	džuta

Tabula 8-14. Sintētiskā ģeopaklāja specifikāciju prasības

Sintētisks telpisks paklājs			
Paredzētā izmantošana: virsmas erozijas kontrole			
Būtiskie raksturlielumi	**Standarts**	**Mērvienība**	**Nominālvērtība:**
Svars	EN ISO 9864	g/m^2	≥ 400
Biezums	EN ISO 9863-1	mm	≥ 17
Stiepes stiprība garenvirzienā	EN ISO 10319	kN/m	≥ 1
UV pretestība	-	-	stabilizēts

Tabula 8-15. 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 8-16. 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	-	mm	≤ 375

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:**
metinājumu mezgliem			
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 8-17. 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/m²* kg/m²**	≥ ...

** ar bitumenu un sīkšķembām pildītam ģeopaklājam.*

*** cementa kompozītpaklājam.*

Tabula 8-18. 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/m²s	≥ ...

** nosaka vienam ģeotekstila slānim. Ja nepieciešams, definē atkarībā no projekta apstākļiem.*

*** konkrētas vērtības definē būvprojektā.*

Tabula 8-19. 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/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 EN 13253	gadi	≥ 50 vai 100
Bīstamās vielas	Mazāk nekā noteikts ES dalībvalstu noteikumos		

** definē būvprojektā;*

*** O_{90} – ģeotekstila raksturīga atvēruma izmērs.*

8.3 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.

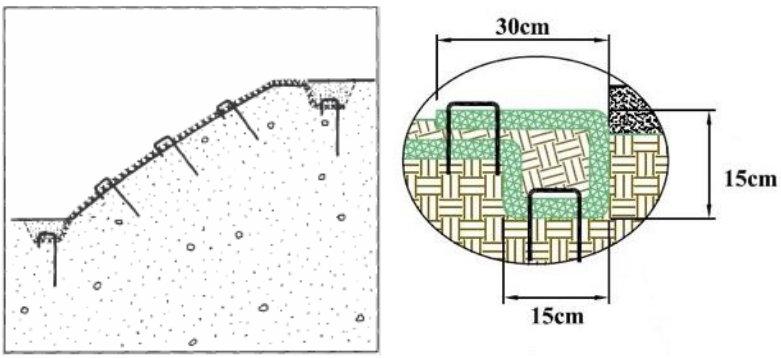
8.3.1 Sintētiskā un dabīgā ģeopaklāja ieklāšana

Sintētisko un dabīgo preterozijas ģeopaklāju ieklāšana ir ļoti līdzīga; atšķirības starp tiem ir tikai dažos punktos: [64]

- ∇ 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;

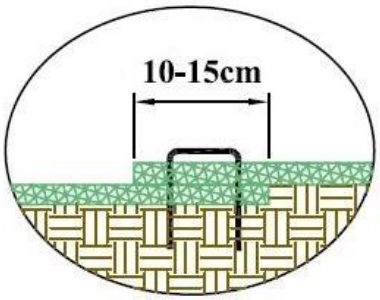
- sintētiskā preterozijas ģeopaklāja lietošanas gadījumā augsnes kārtu uzklāj divos slāņos – 5 cm biezumā zem ģeopaklāja un 5–7 cm biezumā uz ģeopaklāja pēc tā ieklāšanas;
- dabīgā preterozijas ģeopaklāja lietošanas gadījumā zālāja sēšanu veic pirms ģeopaklāja uzklāšanas. Ja sēklas sēj ar hidrosēšanas 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 8-7);
- ģeopaklāja augšējo un apakšējo malu nostiprina enkurgrāvī ≈ 15–20 cm dziļumā un papildus piestiprina ar enkurāķiem (Attēls 8-7);

Attēls 8-7. Pa kreisi – preterozijas ģeopaklāja nostiprinājums uz nogāzes, pa labi – enkurgrāvja ģeometrija un izmēri



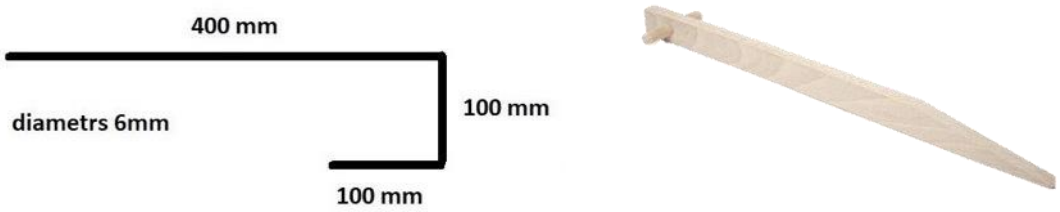
- paklāja pārlaidumiem garenvirzienā jābūt ≈ 10–15 cm platiem un pieenkurotiem, šķērsvirzienā tie var būt līdz 20 cm. Paklājam pa perimetru jābūt ieraktam. Pārlaidumi jāveido, ievērojot dominējošo vēja virzienu. Šķērsvirziena savienojumiem jāpārklājas no augšas uz leju – ūdens tecēšanas virzienā Attēls 8-8);

Attēls 8-8. 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 8-9). Enkurāķu izmēri un veids var atšķirties no norādītā, bet tiem jābūt saskaņā ar preterozijas ģeopaklāja ražotāja vai piegādātāja ieklāšanas instrukciju;

Attēls 8-9. Preterozijas ģeopaklāja stiprināšanas enkurāķi, pa kreisi – tērauda, pa labi – koka



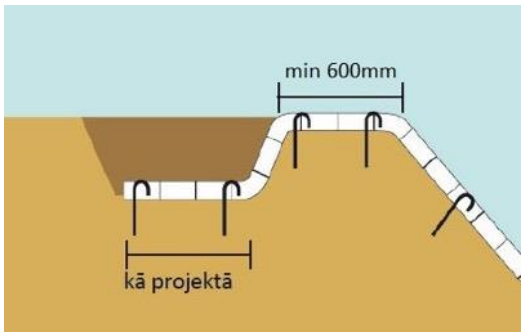
- līdz brīdim, kad sadīgst zālāja sēklas, paklāju laistīt nav nepieciešams. To var darīt vēlāk, ja pēc dīgšanas iestājas ilgstošs sausuma periods.

8.3.2 Ģeošūnu ieklāšana

Ģeošūnu ieklāšana: [65]

- 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 8-10). Enkurgrāvja izmērus nosaka katrai konstrukcijai individuāli atkarībā no nogāzes slīpuma un garuma;

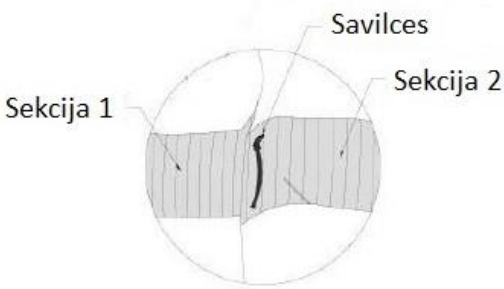
Attēls 8-10. Ģeošūnu enkurgrāvja novietojums



- 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 8-11). Savienojumu mezgliem jābūt norādītiem ražotāja izstrādātā ieklāšanas instrukcijā. Dažādu veidu savienojumu piemēri redzami attēlos – Attēls 8-11 un Attēls 8-12.

Attēls 8-11. Blakus esošu šūnu sekciju savienošana ar rūpnieciski ražotiem elementiem [66] [67]

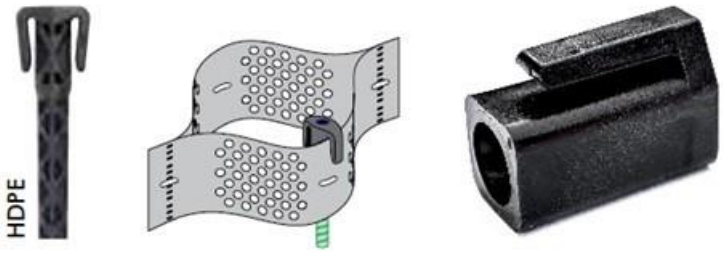
Attēls 8-12. Blakus esošu šūnu sekciju savienošana ar savilcēm



- ģeošūnas nogāzē nostiprina ar J-veida tērauda enkurāķiem (Attēls 8-14. Ģeošūnu stiprināšanas J-veida tērauda enkurāķis), kuru stieples diametrs ir ≥

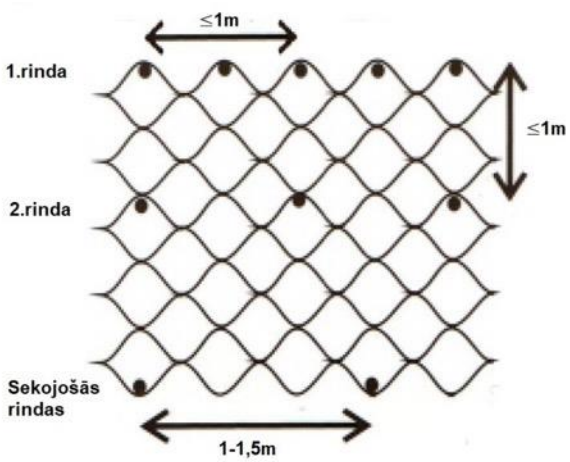
6 mm, bet garums ≥ 3 x h (h – ģeošūnas augstums, mm). Ieteicams izmantot šim mērķim paredzētus, rūpnieciski ražotus enkurāķus vai to polimēru uzlikas. Enkurāķu izvietojumu uz nogāzes, ja projektā nav noteikts citādi, ieteicams veidot atbilstoši attēlam (Attēls 8-15). Ja nogāzes stiprinājumu garenvirzienā 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 8-13. Ģeošūnu stiprināšanas polimēru enkurāķis un uzlika [66] [68]



Attēls 8-14. Ģeošūnu stiprināšanas J-veida tērauda enkurāķis

Attēls 8-15. Ģeošūnu stiprināšanas enkurāķu izvietojums uz nogāzes [65]



- 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;

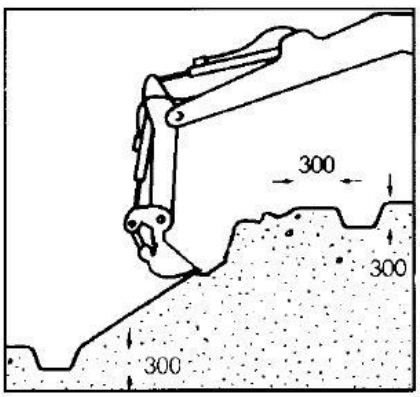
- stāvās nogāzēs vai vietās, kur pirms veģetācijas izveidošanās ir augsts risks, ka liela ūdens daudzuma ietekmē var tikt noskalota augsnes virskārta un sēklas, ieteicams nogāzi papildus noklāt ar dabīgo preterozijas ģeopaklāju.

8.3.3 Pildīto preterozijas paklāju ieklāšana

Ar bitumenu un sīkšķembām pildīta ģeopaklāja ieklāšana: [69]

- 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 8-16);

Attēls 8-16. Ar bitumenu un sīkšķembām pildīta ģeopaklāja enkurgrāvja izmēri (mm)

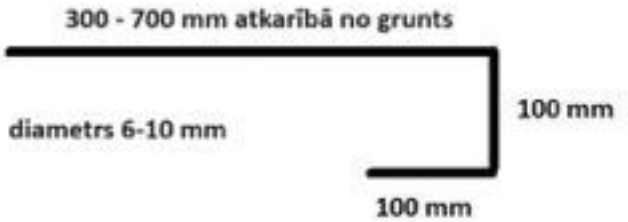


- veic zālāja sēšanu uz nogāzes, izsējas norma vidēji 30 g/m². Ja ģeopaklājs tiek ieklāts uz slapjās nogāzes (piemēram, upes krastā), tad zālāju sēj virs ūdenstilpnes vidējā ūdens līmeņa;
- tā kā pildītā ģeopaklāja svars ir liels, tad to ieklāj, izmantojot traversu (Attēls 8-17). Ieteicamais klāšanas virziens – no nogāzes apakšas uz augšu;

Attēls 8-17. Ģeopaklāja ieklāšana ar traversu [69]

- 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 8-18);

Attēls 8-18. Ar bitumenu un sīkšķembām pildīta ģeopaklāja enkurāķis



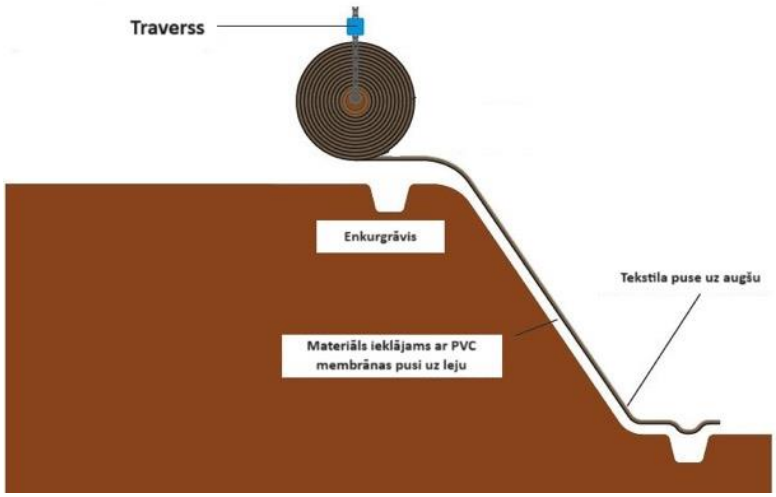
- paklāja pārlaidumiem garenvirzienā un šķērsvirzienā sausās nogāzēs jābūt vismaz 30 cm, bet slapjās – 50 cm. Savienojumu vietām jāpārklājas ūdens tecēšanas virzienā, un tās nostiprina ar enkurāķiem 1 gab./1 m;
- ja ģeopaklāju ieklāšana tiek veikta vasaras mēnešos, tad pēc darbu pabeigšanas ieteicams to pārklāt ar nelielu (2–3 mm biezu) smilts vai augsnes kārtu. Tas pasargās zālāja sēklas no izžūšanas karstuma ietekmē.

8.3.4 Cementa kompozītpaklāja ieklāšana

- nodrošina sausu nogāzi, esošo ūdeni (ja tāds ir) novirzot pa apkārtceļu vai atsūknējot; [70]

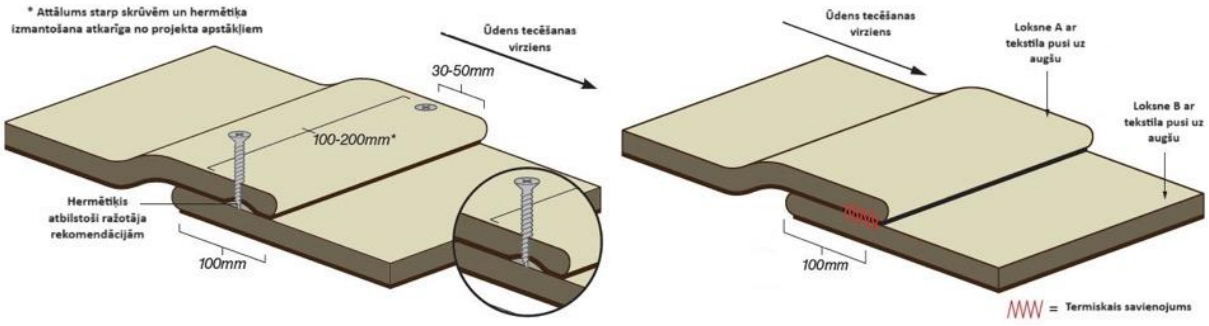
- ∇ norok esošo velēnu (ja tāda ir);
- ∇ izveido un noplanē nogāzi atbilstoši projekta prasībām, ievērojot norādītās augstuma atzīmes, slīpumu un ģeometriju, novāc > 25 mm akmeņus, zarus un aizpilda iedobumus vai izskalojumus;
- ∇ jānodrošina izveidotās nogāzes stabilitāte un sablīvējums, ja nepieciešams, jāparedz papildu pastiprināšana;
- ∇ nogāzes augšā un apakšā izrok vismaz 15 cm platus un 15 cm dziļus enkurgrāvjus, kā parādīts attēlā (Attēls 8-19); to izmērs var tikt palielināts atkarībā no konkrētā risinājuma;

Attēls 8-19. 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 8-20);

Attēls 8-20. 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.

8.3.5 Betona matrača ieklāšana

Nogāzes virsmas sagatavošana: [71]

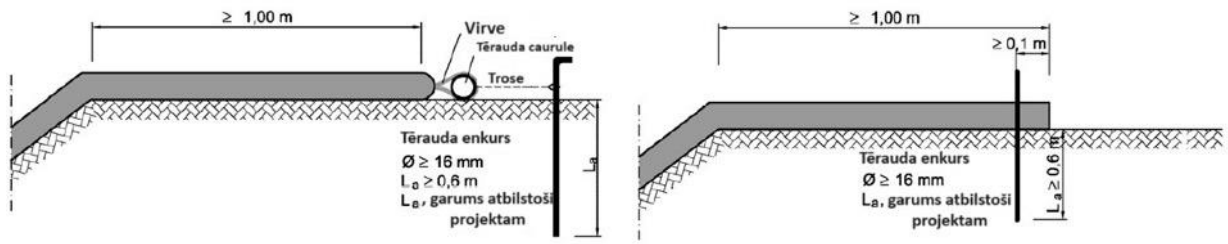
- izveido un noplanē nogāzi atbilstoši projekta prasībām, ievērojot norādītās augstuma atzīmes, slīpumu un ģeometriju, novāc lielus akmeņus, zarus un aizpilda iedobumus vai izskalojumus;
- izskalojumi un lieli nelīdzenumi zem ūdens jāaizpilda ar granti vai ģeotekstila maisiem;

- ∇ 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 8-21);

Attēls 8-21. Betona matrača stiprinājumi; pa kreisi – pagaidu, pa labi – pastāvīgi



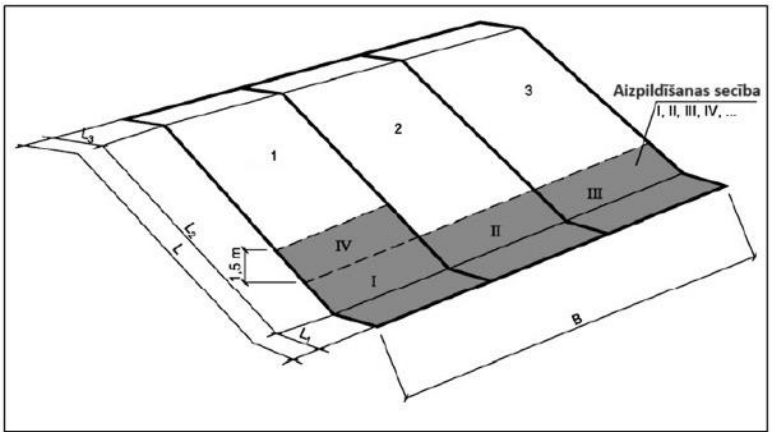
- ∇ ja nepieciešams veikt betona matraču ieklāšanu zemūdens apstākļos, tad neaizpildīta matrača stabilitāti uz nogāzes nodrošina, nostiprinot straumei pakļauto malu.

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 8-22).

Attēls 8-22. 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.

8.3.6 Būvniecības riski

Turpmāk aprakstīti defekti, kas parasti veidojas būvniecības laikā pieļautu kļūdu dēļ.

Tabula 8-20. 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 8-21. 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 8-22. 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 8-23. Pildītais ģeopaklājs

	Defekts Sabrucis betona matrača nostiprinājums Cēlonis Neatbilstošs nostiprinājums nogāzes pēdas daļā, kā rezultātā zem betona matrača izskalota grunts

8.4 Būvprojektēšanas piemēri

Tā kā projektēšanas metodes tiek iedalītas divās daļās – sausām un slapjām nogāzēm, tad katrai ir izstrādāts aprēķinu piemērs.

8.4.1 Pirmais piemērs ģeosintētisko materiālu lietošanai

8.4.1.1 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.

8.4.1.2 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 [8.184.] aprēķina iespējamos augsnes zudumus.

Nokrišņu koeficients *R* = 70.

Grunts erozijas koeficients *K* = 0,0026 (vidējā vērtība).

Slīpuma un garuma koeficientu LS aprēķina pēc formulas [8.186.]:

$$LS = L \times S = \left(\frac{3}{22{,}13}\right)^{0{,}55} \times (0{,}065 + 0{,}0456 \times 67 + 0{,}006541 \times 67^2) = 10{,}82$$

Sākotnēji virsmas aizsardzības koeficientu *C* pieņem 1.

Aizsargpasākumu koeficients *P* = 1.

$$A = 70 \times 0{,}0026 \times 10{,}82 \times 1 \times 1 = 1{,}97 \frac{t}{ha}/gadā$$

8.4.1.3 Risinājums bez ģeosintētiskā materiāla

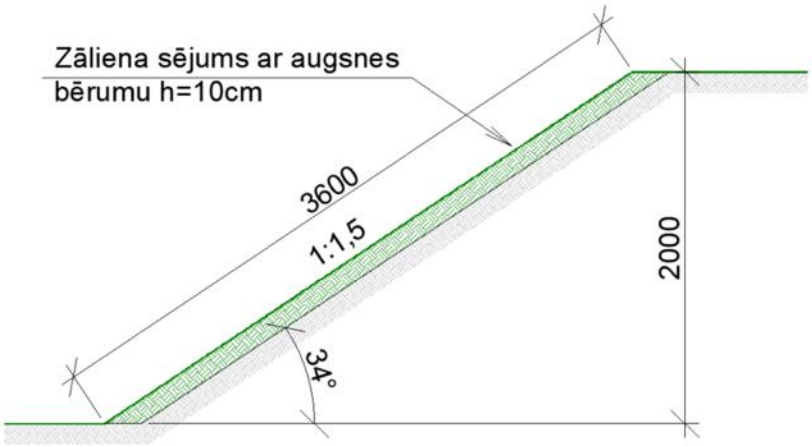
Nostiprinājumam bez ģeosintētiskā materiāla pieņemts zālāja sējums ar augsnes bērumu *h* = 10 cm biezumā. Saskaņā ar 8-3. tabulu šāda nostiprinājuma sākotnējais virsmas aizsardzības koeficients *C* ir 0,2. Attiecīgi var aprēķināt augsnes zudumus:

$$A = 1{,}97 \times 0{,}2 = 0{,}394 \frac{t}{ha}/gadā$$

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 8-23. Projekta risinājums ar nostiprinājumu NN-3



8.4.1.4 Risinājums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu

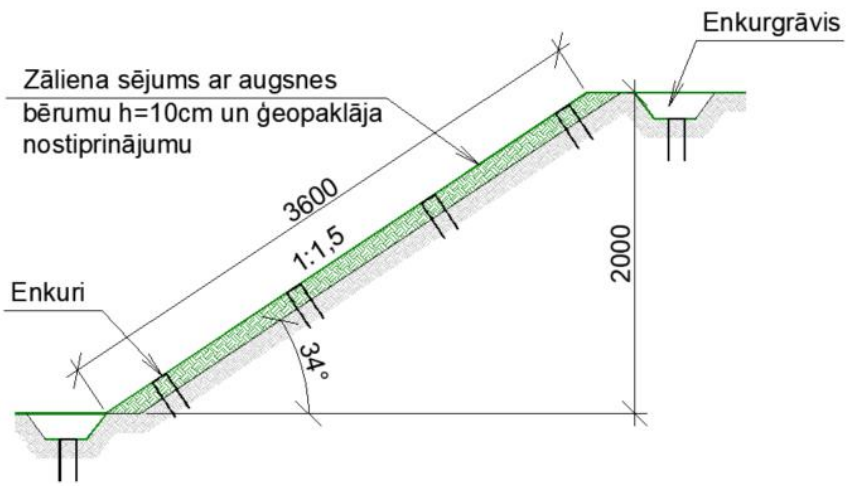
Nostiprinājumam ar ģeosintētisko materiāla pieņemts zālāja sējums ar augsnes bērumu *h* = 10 cm biezumā un kokosa šķiedras ģeopaklāja nostiprinājumu. Saskaņā ar 8-4. tabulu šāda nostiprinājuma sākotnējais virsmas aizsardzības koeficients *C* ir 0,1. Attiecīgi varam aprēķināt augsnes zudumus:

$$A = 1{,}97 \times 0{,}1 = 0{,}197 \frac{t}{ha}/gadā$$

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 8-24. Projekta risinājums ar nostiprinājumu NN-4



8.4.2 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 8-25).

Attēls 8-25. Nostiprinājuma NN-3 erozija

Salīdzinājums tiek veikts 100 m garas nogāzes posmam.

Tabula 8-24. 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	m²	360	4,53	1630,80
Nostiprinājuma atjaunošana	m²	108	4,53	489,24
			KOPĀ:	2120,04

Tabula 8-25. 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)" [26] un rokasgrāmatas 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

8.4.2.1 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.

8.4.2.2 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.

8.4.2.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

8.4.2.4 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 8-26. 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 8-27. 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 8-28. 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 8-29. 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**

8.4.2.5 Ietekmes novērtējums

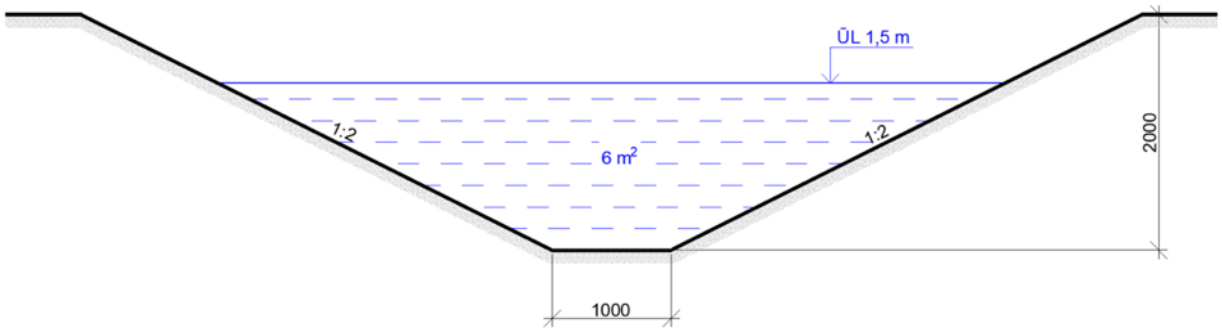
Šobrīd aprēķinātās CO_2 ekvivalenta vērtības objektīvi salīdzināt nav iespējams, jo trūkst datu par ģeosintētiskā materiāla ražošanā un iebūvē radīto CO_2 ekvivalenta daudzumu. Aprēķins izveidots kā piemērs, kuru var izmantot gadījumos, ja šie dati ir pieejami.

8.4.3 Otrais piemērs ģeosintētisko materiālu lietošanai

8.4.3.1 Būvobjekta apraksts un problemātika

Tiek pieņemts, ka jānostiprina autoceļam blakus esoša novadgrāvja nogāze. Grāvja ģeometriskie parametri parādīti attēlā (Attēls 8-26). 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 8-26. Grāvja ģeometriskie parametri



8.4.3.2 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 [8.205.] aprēķina straumes ātrumu, ievērtējot dabīgas grunts grāvja raupjuma koeficientu k_s = 50 $m^{1/3}/s$:

$$V = 50 \times 0{,}847 \times 0{,}055 = 2{,}31\ m/s$$

Pēc formulas [8.202.] aprēķina grāvja caurplūdumu:

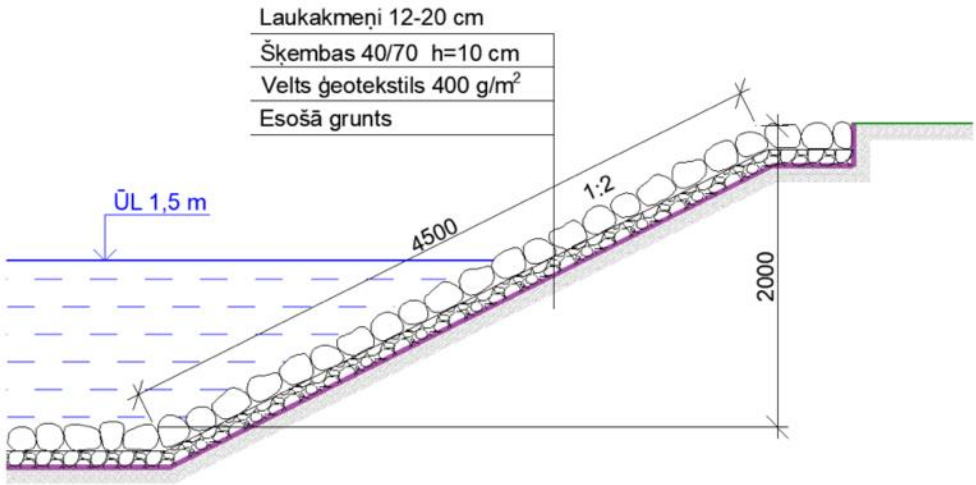
$$Q = 2{,}31 \times 6 = 13{,}86\ m^3/s$$

Pēc tabulas (Tabula 8-9) 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.

8.4.3.3 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 8-9) 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 8-19) ar stiepes stiprību ≥ 30 kN/m.

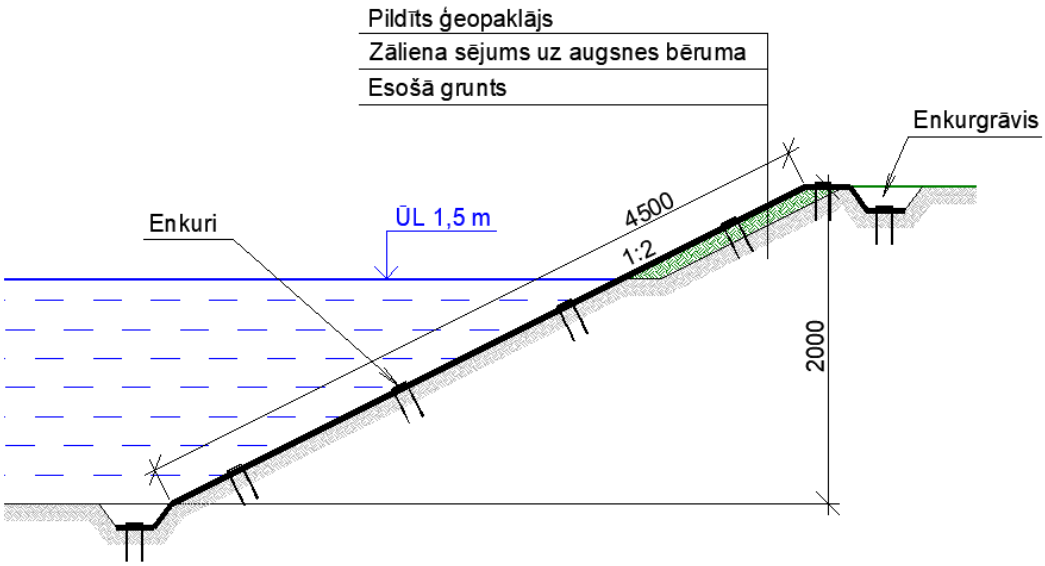
Attēls 8-27. Projekta risinājums ar akmeņu bērumu uz šķembu un ģeotekstila pamatnes



8.4.3.4 Risinājums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu

Otrajā risinājumā tiek paredzēts ar bitumenu un sīkšķembām pildīta ģeopaklāja nogāzes nostiprinājums, kas atbilstoši tabulai (Tabula 8-9) 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 8-28. Projekta risinājums ar pildīta ģeopaklāja nostiprinājumu



8.4.4 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 8-30. 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 8-31. 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)" [26] un rokasgrāmatas 1.5. nodaļā aprakstītā secība un pieņēmumi.

8.4.4.1 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.

8.4.4.2 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.

8.4.4.3 Lauks

LCA robežas ir no "šūpuļa līdz ceļam" *(cradle-to-site)* iekļaujot sekojošus posmus – izejmateriālu ieguve, materiāla ražošana, transportēšana un iebūve.

8.4.4.4 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. Izmanto 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 8-32. 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 8-33. 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 8-34. 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 8-35. 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**

8.4.4.5 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.

Izmantotā literatūra

[1] l.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] Robert D. Holtz, Ph.D., P.E., Barry R Christopher, Ph.D., P.E. and Ryan R. Berg, P.E., 2008.

[5] B.A. Mir; Saba Ashraf, «Evaluation of Load-Settlement Behaviour of Square Model Footings Resting on Geogrid Reinforced Granular Soils,» 2018.

[6] N. Wrigley, «The Durability and Aging of Geogrids,» Elsevier Aool. Sci., London and New York, 1989.

[7] 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.

[8] A. Markiewicz , E. Koda, J. Kawalec, «Geosynthetics for Filtration and Stabilisation: A Review,» MDPI, Basel, Switzerland, 2022.

[9] 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.

[10] Edition, TG3 3rd, «Technical Guideline: Asphalt reinforcement for Road Construction,» Published by Sabita, 2022.

[11] 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.

[12] I. 18228-4:2022, «Design using geosynthetics — Part 4: Drainage,» 2022.

[13] P. Šķēls; A. Strežs; A. Paeglītis; U. Senkāns; J. Kivilands, «Ceļa zemes klātnes grunts nestspējas nodrošināšanas risinājumu izstrāde,» 2019.

[14] BSI, *BS8006-1: Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills,* London: British Standards Institution, 2012.

[15] Shukla, Sanjay Kumar, Hanbook of Geosynthetic Engineering Geosynthetics and their applications Second edition, London: ICE Publishing.

[16] BBA, «British Board of Agrément (BBA),» 44 Bytes Ltd, 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://www.bbacerts.co.uk/mybba/. [Piekļūts 1 January 2023].

[17] CIRIA SP123, «Soil Reinforcement with Geotextiles,» 1996.

[18] D. Romeo, P. Pezzano un P. Rimoldi, «Short-term design of geosynthetic-reinforced embankments on soft foundation soils,» %1 *7th EuroGeo Conference*, 2022.

[19] A. J. Bond un A. J. Harris, Decoding Eurocode 7, Taylor & Francis, 2008.

[20] 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.

[21] *LVS EN 16228-1+A1:2022 Urbšanas un pamatu likšanas iekārtas. Drošums. 1.daļa: Kopējās prasības.*

[22] 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.

[23] Sanjay Kumar Shukla; Jian-Hua Yin, Fundamentals of Geosynthetic Engineering, 2006.

[24] *LVS EN 14475:2006 Speciālo ģeotehnisko darbu veikšana. Nostiprināts uzbērums.*

[25] LVS 190-5:2011, *Ceļu projektēšanas noteikumi. 5. daļa: Zemes klātne,* 2011.

[26] Greenbuilding Encyclopaedia UK, 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://greenbuildingencyclopaedia.uk/wp-content/uploads/2014/07/Full-BSRIA-ICE-guide..

[27] 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.

[28] 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.

[29] 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.

[30] Carroll, Walls un Haas, Geogrid Reinforcement of Granular Bases in Flexible Pavements, 1987.

[31] Montanelli, Zhao un Rimoldi, GEOSYNTHETIC-REINFORCED PAVEMENT SYSTEM: TESTING AND DESIGN, 1997.

[32] Dopravy, Ministerstvem, «TP97 GEOSYNTETIKA V ZEMNÍM TĚLESE POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ,» 2021.

[33] I. 18228-3, «Design using geosynthetics — Part 3: Filtration,» 2021.

[34] Pēteris Šķēls, Aigars Strežs, Andris Paeglītis, Uldis Senkāns, Jānis Kivilands, «Ceļa zemes klātnes grunts nestspējas nodrošināšanas risinājumu izstrāde,» 2019.

[35] 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.

[36] NAUE, Case studies, 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://www.naue.com/info-center/downloads/case-studies/.

[37] Transbay Mineral OU, 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://www.smilts.com.

[38] FHWA, «Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Nhi-Fhwa, no. 132042,» 2001.

[39] J. T. H. Wu, «Design and Construction of Low Cost the Next Generation in,» 1994.

[40] E. (English), «Recommendations for design and analysis of earth structures using geosynthetic reinforcements -EBGEO.,» 2009.

[41] 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.

[42] 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.

[43] 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.

[44] Lytton, R.L., «Use of Geotextiles for reinforcement and strain relief in asphalt concrete.,» *Geotextiles and Geomembranes.,* sēj. 8, pp. 217-237, 1989.

[45] 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.

[46] A. Molenaar, Design method for plain and Hatelit reinforced overlays on cracked pavements,, Delft, Netherlands: Delft University of Technology, 1995.

[47] 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.

[48] VSIA "Latvijas Valsts ceļi", 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://lvceli.lv/wp-content/uploads/2020/12/LVC_ICP_CS_2020_Izversta_versija.pdf.

[49] «https://www.abg-geosynthetics.com/technical/buildings/groundwater-drainage-geocomposites-vs-gravel/,» [Tiešsaiste].

[50] N. G. 3. 061, «Utilisation des géotextiles et produits apparentés - Systèmes de drainage et de filtration - Dimensionnement et éléments de conception. Tableau B.2».

[51] I. 18228-4:2022, «Design using geosynthetics — Part 4: Drainage».

[52] «Enkadrain ieklāšanas instrukcija».

[53] 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.

[54] NAUE, 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://www.naue.com/solutions/railway-construction/drainage-element-for-draining-of-backfilled-areas/.

[55] «Fildrain iebūves instrukcija».

[56] GWW-BOUW, 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://www.gww-bouw.nl/artikel/hoogwaardige-geokunststoffen-voor-de-grond-weg-en-waterbouw/.

[57] V. Latvijas Valsts ceļi, Projektēšanas un būvniecības vadlīnijas "Ūdens novade", Rīga, 2017.

[58] P. Rimoldi, «Design of geosynthetics for erosion control on slopes,» 2016.

[59] P. Rimoldi, «Overview of Geosynthetics Products for Erosion Control on Slopes and on River/Channel Banks,» 2021.

[60] P. R. &. A. Ricciuti, «Design method for three dimensional geocells on slope,» %1 *IGS Conferences*, Singapore, 1994.

[61] P. Rimoldi, «Design for erosion control according to ISO TR 18228-8,» Rio de Janeiro, 2020.

[62] VSIA "Latvijas Valsts ceļi", Rojektēšanas un būvniecības vadlīnijas "Ūdens novade", Rīga, 2017.

[63] SHERCLIFF, D., «Accessible design methods for geosynthetics used for erosion control on channel and river banks,» EuroGeo 6, 2016.

[64] ViaCon Latvija SIA, «Preterozijas paklāja Secumat ieklāšanas un enkurošanas shēmas,» Rīga, 2008.

[65] ViaCon Latvija SIA, «Ģeošūnu montāžas instrukcija,» Rīga, 2022.

[66] 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/.

[67] GLOBAL STRATA, «StrataWeb three-dimensional celluar confinement system,» 2023. [Tiešsaiste]. Available: https://www.strataglobal.com/strataweb-geocell-for-soil-erosion-and-stabalization/.

[68] PRESTO GEOSYSTEMS, «GEOWEB Soil Stabilization System,» Wisconsin, 2022.

[69] Bonar B. V., «Storage, handling and laying guide Enkamat® and Enkamat® A20,» Arnhem, 2014.

[70] Concrete Canvas Ltd., «Installation guide: Slope protection,» Pontyclun, 2022.

[71] HUESKER Synthrtic GmbH, «Installation manual and handling recommendations Incomat,» Gescher, 2016.

Pielikumi

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.