



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

TRANSPORTBŪVJU INSTITŪTS

Atskaites Nr. TI/001-11

Pasūtītājs: VAS „Latvijas Valsts ceļi”

Reģ. Nr. 90000088687

Gogoļa iela 3., LV 1743, Rīgā

Pētījums

SĀRMU-SILICIJA DIOKSĪDA SATURS UN REAKTIVITĀTE TILTU BETONA KONSTRUKCIJĀS

Izpildītājs:

RTU prorektors:

B.Grasmanis

RTU Transportbūvju
institūta direktors:

A.Paeglītis

Rīga 2011.gads

Kopsavilkums

Pētījums veikts saskaņā līgumu LVC2011/1/10/1/AC / L7700 kas noslēgts 2011.gada 9.februārī starp VAS „Latvijas Valsts ceļi” un Rīgas Tehnisko universitāti.

Darbā veikta sārmu-silīcija dioksīda reakcijas ietekmējošo faktoru pētījumu analīze, kurā konstatēts, ka Sārmu – silīcija dioksīda ķīmisko reakciju (SSR) betonā izraisa portlandcements sastāvā esošie sārmī, reaģējošas pildvielas un ūdens. Reakcijas rezultātā veidojas gela substance, kas piesaistot ūdeni, maina savu tilpumu, izplešas un sagrauj betona monolīto struktūru. Attīstoties SSR betona virsmā veidojas smalku plaisu tīkls, kas ar laiku paplašinās līdz betona struktūra tiek sagrauta un tā zaudē savu nestspēju.

Analizējot Dānijas, Norvēģijas, Francijas, Lielbritānijas, Vācijas, Holandes un Polijas pieejas sārmu-silīcija dioksīda iespējamās reakcijas samazināšanai konstatēts, ka prasības, kas norādītas „Tiltu specifikācijās 2005”, principā, atbilst šo valstu prasībām cementam un pildvielām ilgzturīga transportbūvju betona izgatavošanai.

Pētot Baltijas valstīs ražotā cementa CEM I atbilstību „Tiltu specifikāciju 2005” rekomendācijām optimālam betona sastāva projektēšanai, var konstatēt, ka trikalcijs alumīnāts saturs cementā pārsniedz rekomendētās vērtības, kā arī cements ir ar palielinātu sārma saturu, tādēļ tas šīm rekomendācijām atbilst tikai daļēji.

Ir izstrādātas rekomendācijas izmaiņām „Tiltu specifikācijās 2005”, kas ļautu izmantot arī atsevišķus CEM II cementa tipus ar zemu sārma saturu, kā arī, nosakot ekvivalentais sārma saturs betonā ar aprēķinu, tiek pieļauts portlandcements ar ekvivalentā sārma saturu $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ augstāku par 0.60%, ja kopējais (cementa, pildvielu un piedevu) ekvivalentā sārma saturs $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ betonā nepārsniedz 3.0 kg/m³. Kā arī tiek paredzēts, ka attiecībā uz nereaģējošu pildvielu izplešanās nosacījumiem var izmantot ES valstu standarta noteikumus, atkarībā no pielietotās testa metodes veida.

Pētījuma beigās ir izstrādātas rekomendācijas turpmākiem pētījumu virzieniem.

Pētījumu veica:

Juris Biršs, Dr.sc.ing., Docents

Ainārs Paeglītis, Dr.sc.ing. Profesors.

2011.gada 18.aprīlī.

SATURS

1. Ievads.....	4
2. Pētījuma mērķi un uzdevumi.....	9
3. Ķīmisko reakciju radīto bojājumu ietekme uz betona ilgizturību	10
3.1. Betona sastāvdaļu raksturojums	10
3.2. Sārnu-pildvielu reakcijas	11
3.3. Sārnu-silīcija dioksīda reakcijas apraksts (SSR)	12
3.3. SSR radīto bojājumu identificēšana	14
3.4. SSR ietekmējošie parametri.....	15
3.4.1. Temperatūras ietekme	15
3.4.2. Mitruma ietekme.....	17
3.4.3. Sārnu saturs	18
3.4.4. Minerālmateriālu reaktivitāte un daļiņu izmērs	19
3.4.5. Gaisa saturs, cementa pastas porainums un ūdens – cementa attiecība	20
3.5. Ķīmisko piedevu ietekme uz SSR attīstību	22
3.6. Sulfātu korozija (C_3A)	22
4. Betona projektēšanas nosacījumi sārnu – silīcija dioksīda reakcijas iespējamā riska samazināšanai dažās Eiropas Savienības valstīs	26
4.1. Eiropas standarta prasības betonam	26
4.2. Prasības tiltu konstrukciju betonam Lietuvā	27
4.3. Prasības tiltu konstrukciju betonam Igaunijā	27
4.3. Prasības tiltu konstrukciju betonam Polijā.....	27
4.4. Prasības betonam Dānijā.....	27
4.6. Prasības betonam Francijā	31
4.7. Prasības betonam Vācijā	31
4.8. Prasības betonam Holandē.....	34
4.9. Prasības betonam Lielbritānijā.....	35
4.10. Prasības betonam Norvēģijā	39
4.7. Baltijas valstīs ražotā cementa atbilstības novērtējums „Tiltu specifikāciju 2005” noteiktajām prasībām	41
5. Rezultātu analīze.....	42
6. Secinājumi un rekomendācijas.....	48
PIELIKUMI	50
1. Pielikums. Eiropas Betona piegādātāju organizācijas ERMCO apkopotā informācija par betona standarta papildinājumiem.....	51
2. Pielikums. Poļu cementa ar zemu sārnu saturu sastāvs.....	56

3.Pielikums. Kunda Nordic cementa CEM I 42.5N ķīmiskais sastāvs.....	57
4.Pielikums. Akmenes Cementas cementa CEM I 42.5N ķīmiskais sastāvs.....	58
5. Pielikums. Brocēnu cementa CEM I 42.5 N kvalitātes parametri 2011.....	59
6.Pielikums. Brocēnu cementa CEM I 42.5 SR kvalitātes sertifikāts 2000.....	60
7.Pielikums. Sārmu satura aprēķina piemēri betonā.....	61
8.Pielikums. Tabula no Eiropas standartizācijas komitejas CEN/TC51 6.darba grupas ziņojuma projekta „Reģionālās specifikācijas un rekomendācijas sulfātzīturīgam cementam”	63

1. Ievads

Tilti, ceļa pārvadi, tuneļi un citas transportbūves ir konstrukcijas ar ilgstošu kalpošanas laiku. Tādēļ to būvei izmanto materiālus, kas ir ilgizturīgi pret slodžu, vai dažādu agresīvas apkārtējās vides ietekmju iedarbi. Šādas īpašības piemīt dzelzsbetonam, kas ir svarīgākais transportbūvju būvmateriāls. Lai arī cik ilgizturīgus mums neliktos dzelzsbetons, tomēr ar laiku, dažādu ārēju un iekšēju iedarbju rezultātā, tā īpašības mainās. Betons var kļūt irdens un zaudēt savu monolīto struktūru. Betona monolītās struktūras sairšanu bieži vien izraisa sārnu pildvielu reakcija, kas ir atkarīga gan no pielietotās saistvielas, gan pildvielām.

Uz Latvijas autoceļiem šodien tiek ekspluatēti 932 tilti, no kuriem 876 (94%) ir dzelzsbetona tilti, 35 (4%) tērauda tilts, 6 (0.6%) koka tilti un 14 (1.6%) akmens tilti¹. Tā kā 94% no visiem Latvijas autoceļu tiltiem ir uzbūvēti dzelzsbetona konstrukcijā, tad jautājums par betona ilgizturības nodrošināšanu ir īpaši aktuāls.

Šobrīd spēkā esošais LVS EN 1990² paredz 1.1.tabulā dotās kalpošanas laika ilgumu kategorijas.

1.1. tabula. Projektētie kalpošanas laiki

Projektētā kalpošanas ilguma kategorija	Paredzamais kalpošanas ilgums (gados)	Piemēri
1	10	Pagaidu konstrukcijas ⁽¹⁾
2	no 10 līdz 25	Aizvietošanas būvkonstrukciju daļas, piemēram, celtnes sijas, balsti
3	no 15 līdz 30	Lauksaimniecības un citas līdzīgas būvkonstrukcijas
4	50	Ēku un citas parastas būvkonstrukcijas
5	100	Monumentālu ēku konstrukcijas, tilti u.c. inženierbūvju konstrukcijas
(1) Konstrukcijas vai konstrukciju daļas, kuras var demontēt ar atkārtotu lietošanas mērķi, nav jāuzskata par pagaidu konstrukcijām.		

Galvenais dzelzsbetona tiltu konstrukciju bojājumu cēlonis ir betona aizsargkārtas bojājumi, kas ļauj attīstīties stieģrojuma korozijai, kā arī betona sairšana iekšēju ķīmisku procesu rezultātā. Betona bojājumu attīstības ātrums ir atkarīgs no izmantotā betona fizikāli – mehāniskajām, ķīmiskajām īpašībām, kā arī apkārtējās vides iedarbības, kur galveno lomu spēlē dažādi mitruma, gāzu un jonu transporta mehānismi.

Galvenos betona bojājumu veidus, kas ietekmē tā kalpošanas laiku, var iedalīt trīs grupās^{3,4} (1.1.att.):

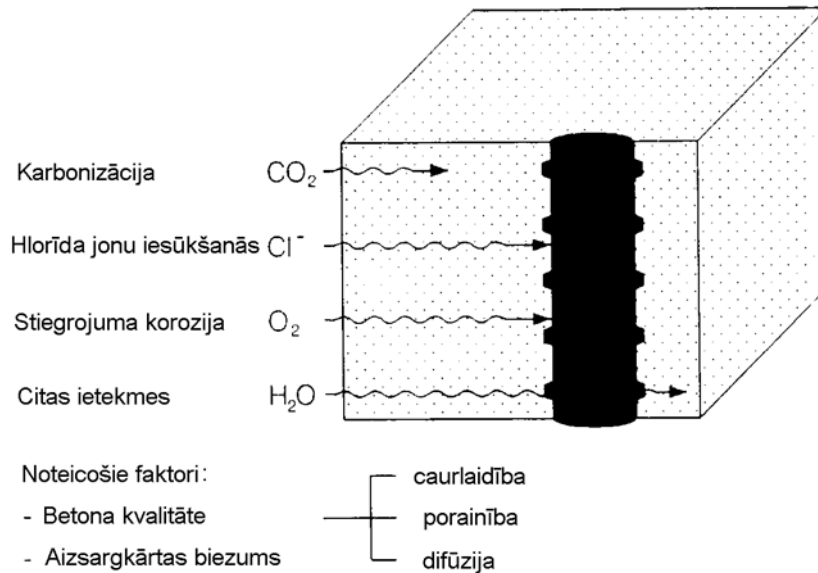
¹ www.lvceli.lv

² LVS EN 1990:2004 „Eirokekss: Konstrukciju projektēšanas pamati”

³ Steen Rostam “Service life design – The European Approach”. Concrete International Vol.15, No.7, July 1993.

⁴ Steen Rostam “Performance based Design of Structures for the Future” IABSE Symposium, “Structures for the Future – The search for Quality”, Proceedings, Rio de Janeiro, Brazil, 1999

- Stiegrojuma korozija, kuru sekmē betona karbonizācija un hlorīdi;
- Ķīmisko vielu izraisītie betona bojājumi, kurus izraisa tādi ķīmiskie procesi kā sārmu-pildvielu reakcija, sulfātu un skābju iedarbība;
- Fizikālās iedarbības izraisītie betona bojājumi, kas rodas sala iedarbības rezultātā.



1.1.att. Agresīvo vielu transporta mehānismu veidi betonā⁵

Galvenie apkārtējās vides izraisītie betona bojājumi ir karbonizācija un hlorīda jonu izraisīta stiegrojuma korozija.

Gaisā esošais oglekļa dioksīds (CO_2), savienojoties ar ūdens tvaikiem, reaģē ar betonā esošo kalcija hidroksīdu un pamazām to noārda, šādu procesu sauc par **betona karbonizāciju** un tā sāk attīstīties tūlīt pēc betona izgatavošanas. Karbonizācijas fronteī sasniedzot tērauda stiegrojumu, betona pretkorozijas aizsardzība pārtrauc darboties.

Pretapledojuma sāls pielietošana ziemas uzturēšanas darbos nodrošina **hlorīdjonu** iekļūšanu betonā. Hlorīdjoniem nokļūstot uz konstrukciju betona virsmas, tie laika gaitā iesūcas tās dziļumā un izraisa stiegrojuma koroziju. Stiegrojuma korozijas procesu nosaka hlorīda jonu koncentrācija stiegrojumu aptverošā betona porās.

Betona ilgizturība lielā mērā ir atkarīga arī no betona sastāvdaļu savstarpējām reakcijām. Lai nodrošinātu betona ilgizturību ir jāizvairās no tādu pildvielu izmantošanas, kas stimulē šādas reakcijas veidošanos. Raksturīgākā ir sārmu-silīcija dioksīda reakcija.

Sārmu – silīcija dioksīda reakcija ir visbiežāk sastopamais sārmu – pildvielu reakcijas veids. Tā veidojas sārmaina poru šķidruma un atsevišķu, silīcija minerālus saturošu, pildvielu reakcijas rezultātā, veidojot kalcija sārmu silikāta gēlu. Šis gēls uzsūc ūdeni un palielinās apjomā, līdz tiek sagrauts betons. Sārmu – silīcija dioksīda reakcijas izraisīti betona bojājumi (plaisu tīkla veidā), lielākā

⁵ Steen Rostam "Service life design – The European Approach". Concrete International Vol.15, No.7, July 1993.

vai mazākā apjomā, ir redzami, gandrīz vai katrā dzelzsbetona tilta konstrukcijā (1.2.att. – 1.7.att).



1.2.att. Sārnu-pildvielu reakcijas izraisīti bojājumi (plaisu tīkls) tilta pār Buļļupi Rīgā laiduma un balstu konstrukcijās



1.3.att. Liela apjoma sārnu-pildvielu reakcijas izraisīti bojājumi (plaisas un sažuvuša gela krāsojums baltā un brūnā krāsā) Ķeguma HES tilta balstošā sienā



1.4.att. Sārnu-pildvielu reakcijas izraisīti betona bojājumi (plaisas un sadalījies betons) tilta pār Daugavu Daugavpilī kreisā krasta balsta galvā



1.5.att. Sārnu-pildvielu reakcijas izraisīts plaisu tīkls uz A9 un A5 krustojumā esošā ceļa pārvada sijām.



1.6.att. Sārnu-pildvielu rekcijas bojājumi (plaisu tīkls) betona balstā tiltam pār Tirdzniecības kanālu Liepājā



1.7.att. Sārnu-pildvielu rekcijas bojājumi (plaisu tīkls) betonā uz nosedzošo elementu virsmas nesen būvētajam Vairoga ielas satiksmes pārvadam Rīgā.

Veicot betona ilglaicības pētījumus ir konstatēts, ka cements ar augstu trikalcijs alumīnāta C_3A saturu labi reaģē ar pildvielās esošajiem sulfātiem. Šīs reakcijas rezultātā rodas **etringīts** (ģipsveidīga viela), kas palielinoties apjomā, sagrauj betona struktūru.

Tādēļ ir svarīgi izvēlēties betonu ar tādām īpašībām, kas nodrošinātu projektā paredzēto tiltu kalpošanas laiku.

2. Pētījuma mērķi un uzdevumi

Tiltu betona konstrukcijām rokasgrāmatā „Tiltu specifikācijās 2005” ir norādīti betona sastāva projektēšanas optimālie nosacījumi un pielāides, ievērtējot sārnu-silīcija dioksīda iespējamās reakcijas riskus. Tai pat laikā jākonstatē, ka Baltijas valstīs esošās cementa rūpnīcas nespēj vai negrib nodrošināt transportbūvju industriju ar atbilstošas kvalitātes cementu un prasa samazināt cementa kvalitātes prasības. Tas ietekmē būvniecības procesu, jo projektējot betona sastāvu, darbu izpildītāji norāda, ka praktiski nav iespējams izpildīt „Tiltu specifikācijās 2005” izvirzītās prasības atsevišķiem betona sastāvdaļu materiāliem (cementu) un betona sastāva īpašībām (sārnu reaktivitāte).

Pētījumam ir šādi mērķi:

- Izpētīt „Tiltu specifikācijās 2005” noteikto betona sastāva projektēšanas nosacījumu atbilstību pārējo Baltijas valstu, Skandināvijas valstu un citu attīstītāko Eiropas Savienības valstu ar līdzīgiem klimatiskajiem apstākļiem praksei betona sastāva projektēšanā tiltu konstrukcijām.
- Izpētīt Baltijas valstīs ražotā cementa atbilstību „Tiltu specifikācijās 2005” noteiktajam optimālajam betona sastāvam.
- Dot rekomendācijas betona sastāva projektēšanai ievērtējot sārnu-silīcija dioksīda iespējamās reakcijas optimālo un maksimāli pieļaujamo riska pakāpi dažādām tiltu betona konstrukcijām.

Pētījuma laikā tika analizēta Skandināvijas, Baltijas un Centrāleiropas valstu pieredze betona sastāva projektēšanai tiltu konstrukcijām, kā arī analizēti zinātniskie pētījumi par sārnu – silīcija dioksīda reakcijas ietekmi uz betona konstrukciju ilgzturību.

3. Ķīmisko reakciju radīto bojājumu ietekme uz betona ilgizturību

3.1. Betona sastāvdaļu raksturojums

Betons ir mākslīgs akmens konglomerātmateriāls, kas sastāv no sacietējušas saistvielas, ūdens un pildvielu (dabisku vai mākslīgu akmensmateriālu), ķīmisko piedevu un smalki maltu minerālpiedevu maisījuma. Dzelzsbetona tiltu konstrukcijās, kā saistvielu visbiežāk pielieto dažāda veida cementu.

Cementu izgatavo no klinkera, kuru iegūst augstā temperatūrā kalcinējot noteiktās proporcijās sajauktu kaļķakmens un māla maisījumu. Raksturīgs Portlandcimenta ķīmiskā sastāva un savienojumu raksturojums ir dots 3.1.tabulā:

3.1.tabula. Portlandcimenta raksturīgais ķīmiskais sastāvs un raksturīgie savienojumi⁶.

Raksturīgie cementa ķīmiskie elementi (masas procentos)							
CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	SO ₃ (%)
64	21	6	3	2	0.61	0.34	2
Raksturīgie savienojumi cementā (masas procentos)							
C ₃ S (%)	C ₂ S (%)	C ₃ A (%)	C ₄ AF (%)	CSH ₂ (%)			
55	18	5	8	6			

Ķīmiskie elementi veido savienojumus, kas nosaka cementa raksturīgās īpašības. Cietēšanas procesā C₃S un C₂S kombinācijā ar ūdeni bez hidratizēta kalcija silikāta veido arī kaļķi kalcija hidroksīda veidā (Ca(OH₂)). C₃A reaģē ar ūdeni un iegūst hidratizētu formu. C₃S un C₃A ietekmē ātru stiprības attīstību betonā, bet C₂S sacietē lēnāk un nosaka betona galējo stiprību. Sacietēšanas ātrumu ietekmē arī cementa maluma smalkums, jo smalkāks cementa malums, jo ātrāk tas sacietē un jo augstāka ir cementa ķīmiskā aktivitāte.

Ķīmiskie elementi nātrijs (Na) un kālijs (K) tiek saukti par sārmu metāliem. Sārnu metālu oksīdi reaģē ar ūdeni, lai veidotu šķīstošus hidroksīdus - sārmus. Abi kopā tie veido sārmu saturu cementā. Nātrija un kālija oksīdu saturu nevar vienkārši saskaitīt, jo tiem ir dažādas molekulmasas (Na₂O = 62.0 un K₂O = 94.2), tādēļ tiek lietots lielums **skābē šķīstošu nātrija oksīda ekvivalentu (sārnu ekvivalents) (Na₂O_e)**, kuru nosaka ar vienādojumu⁷:

$$\text{Na}_2\text{O}_e (\%) = \text{Na}_2\text{O} (\%) + (62.0/94.2) \times \text{K}_2\text{O} (\%).$$

Sārnu ekvivalenta (Na₂O_e) lielums portlandcementā var svārstīties no 0.3 % līdz 1.1%.

⁶ Midness S., Young J.F., Darwin D. Concrete. Second edition. Prentice Hall, ISBN 0130646326, 2003, 644 pp.

⁷ West Graham, Alkali-aggregate reaction in concrete roads and bridges, Thomas Telford, ISBN 0727720694, 1996, 164 pp.

Sārmu saturu betonā nosaka līdzīgi kā cementā, izmantojot sārmu ekvivalentu (Na_2O_e), bet ņemot vērā katras betona maisījuma sastāvdaļas sārmainumu, tai skaitā arī cementa⁸. Betonā sārmu saturu pieņemts noteikt, kā masu uz tilpuma vienību (kg/m^3). Tad sārmu saturu betonā aprēķina pēc izteiksmes:

$$\text{Na}_2\text{O}_e \text{ betonā } (\text{kg}/\text{m}^3) =$$

$$\text{Na}_2\text{O}_e \text{ cementā } (\%) \times 1/100 \times \text{cimenta saturs betonā } (\text{kg}/\text{m}^3).$$

Rupjās un smalkās betona pildvielas visbiežāk iegūst no klinšaina materiāla, kas veidojas termodinamiskos apstākļos. Fizikāli – ķīmiskā vide betonā ievērojami atšķiras no apstākļiem, kāda ir pildvielu ieguves vietā. Minerāliem nonāk saskarsmē ar saistvielu, kuras pH līmenis (vides skābuma vai sārmainuma raksturotājs) ir ap 13.5, tie var reaģēt un veidot substances, kas bojā cementa akmeni.

Ne visi minerālmateriāli vienādi reaģē ar sārmaino vidi betonā. Atkarībā no uzbriešanas (izplešanās) apjoma tos, saskaņā ar 3.2.tabulā dotajiem kritērijiem, var iedalīt: zemas, normālas un augstas reaktivitātes minerālmateriālos. Te gan jāatzīmē, ka iedalījums ir atkarīgs no pielietotās testu metodes veida un dažādās valstīs tas var mainīties.

3.2.tabula. Pildvielu iedalījums atkarībā no pildvielu izplešanās apjoma, kas noteikts saskaņā ar BS 812-123^{9 10}.

Pildvielu izplešanās 12 mēnešos (%)	Pildvielu maisījuma klasifikācija	Pildvielu tips
> 0.20	Uzbriestoša	Reagējoša
0.10 – 0.20	Iespējami uzbriestoša	Normāla reaktivitāte
0.05 – 0.10	Iespējami nebriestoša	Zema reaktivitāte
≤ 0.05	Nebriestoša	Zema reaktivitāte

3.2. Sārmu-pildvielu reakcijas

Sārmu – pildvielu reakcijas betonā notiek, ja cementā vai kādos ārējos avotos esošais sārms reaģē ar pildvielām veidojot vielas, kas sagrauj betona monolīto struktūru. Kā galvenos var atzīmēt trīs sārmu pildvielu reakciju veidus¹¹:

- a) Sārmu – silīcija dioksīda reakcija;
- b) Sārmu – silikātu reakcija;
- c) Sārmu – karbonātu reakcija;

Sārmu-silīcija dioksīda reakcija ir svarīgākā no sārmu-pildvielu reakcijām un detalizēts tās apraksts ir dots 3.3.sadaļā.

⁸ Concrete Society, Alkali-silica reaction: minimizing the risk of damage to concrete. Technical report No.30. The Concrete Society, London, 1987.

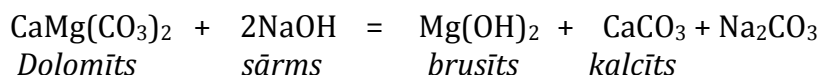
⁹ British Research Establishment (BRE) Digest 330 Alkali-silica reactions in concrete Part 1 – 4, 2004.

¹⁰ Sims I., Poole A., Sommer H. Defeating alkali-aggregate reaction worldwide, Repair and renovation of concrete structures, Thomas Telford, ISBN 0727734059, 2005, 113-130 pp.

¹¹ West Graham, Alkali-aggregate reaction in concrete roads and bridges, Thomas Telford, ISBN 0727720694, 1996, 164 pp.

Sārmu-silikātu reakcija ir līdzīga sārmu-silīcija dioksīda reakcijai, tikai reaktīvā sastāvdaļa pildvielā nav brīvais silīcijs, bet gan slāņainie silikāti, tādi, kā hlorīti, vermikulīts, vizlas. Slāņainie silikāti satur arī nereaģējošus silikātus.

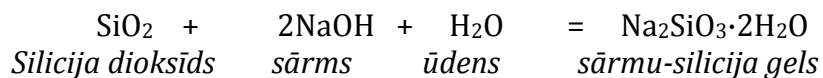
Sārmu-karbonātu reakcija betonā notiek, ja cementā vai kādos ārējos avotos esošais sārms reaģē ar dolomīta kaļķakmenī esošo mālu. Sārmam reaģējot ar dolomīta minerālu ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) sadala to brusītā ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) un kalcītā (CaCO_3), kura ķīmisko reakciju var aprakstīt šādi:



Reakcijas rezultātā ūdens var iekļūt minerālā un reaģēt ar tajā esošajiem māliem, kas piebriest un sagrauj minerāla monolīto struktūru, tā betonā veidojot plaisas. Šāda reakcija ir raksturīga tikai dolomīta pildvielām.

3.3. Sārmu-silīcija dioksīda reakcijas apraksts (SSR)

Sārmu-silīcija dioksīda reakcija (SSR) ir biežāk sastopamais un svarīgākais sārmu-pildvielu reakcijas veids. Sārmu – silīcija dioksīda reakcija betonā notiek, ja cementā vai kādos ārējos avotos (piemēram, pretapledojuma sāļi) esošais sārms reaģē ar pildvielās esošo brīvo silīcija dioksīdu un veido sārmu silīcija gēlu. Viena no sārmu-silīcija gēla īpašībām ir uzņemt ūdeni un izplesties. Tas izsauc betona pildvielu daļiņu palielināšanos un plaisu veidošanu betona iekšpusē un virsmā. Sārmu – silīcija dioksīda reakciju var uzrakstīt šādi¹²:



Lai SSR varētu notikt ir jāizpildās šādiem nosacījumiem:

- Cementa pastā ir jābūt sārmam;
- Betonā ir jābūt reaģējošām pildvielām;
- Betonam jāatrodas mitrā vidē.

Ja kāds no šiem nosacījumiem trūkst, tad reakcija nevar notikt.

SSR ietekmē pildvielu izplešanās visā betona apjomā nav vienmērīga. Tā ir lielāka ap katru reaģējošu daļiņu vai to kopumu. Rezultātā materiālā rodas mikropļaisas, kas nav vienmērīgi sadalītas pa betona tilpumu, jo tās ietekmē betona virsmas ierobežojumi un malas efekti¹³ (3.1.att.). Betona konstrukcijas iekšpusē mikropļaisas ir orientētas haotiski.

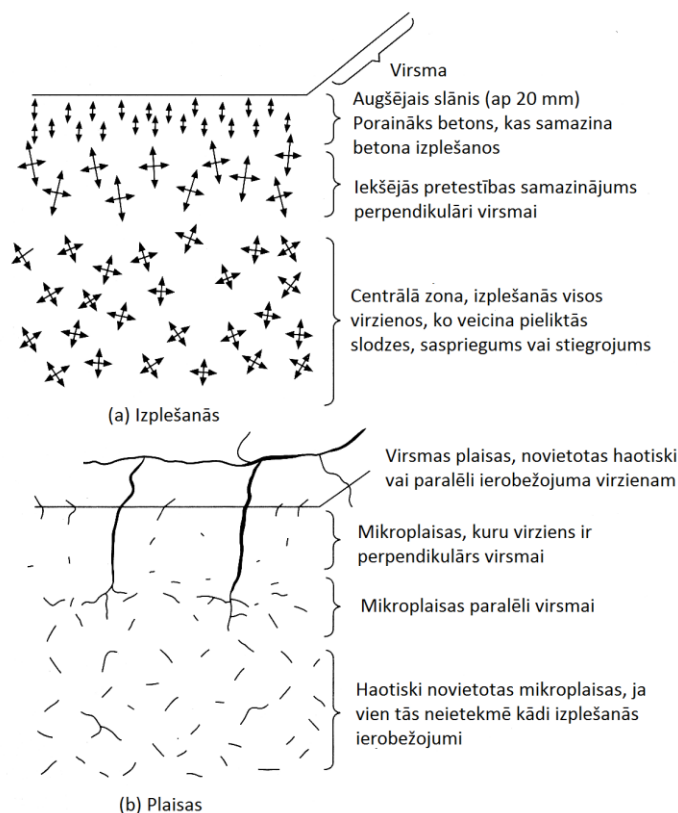
Betona virsmas slānī sārmu reaktivitātes pakāpe var mainīties, jo virsmas ūdens var izskalot sārmus vai, nogulsņējoties nātrija vai kālija karbonātiem¹⁴, sārmainums var samazināties. Virsmas slānī betons ir poraināks, tas samazina betona izplešanos, jo gels var iesūkties betona porās. Starpība starp betona izplešanos virsmas slāņos un iekšpusē betona virsmā rada stiepes spriegumus,

¹² West Graham, Alkali-aggregate reaction in concrete roads and bridges, Thomas Telford, ISBN 0727720694, 1996, 164 pp.

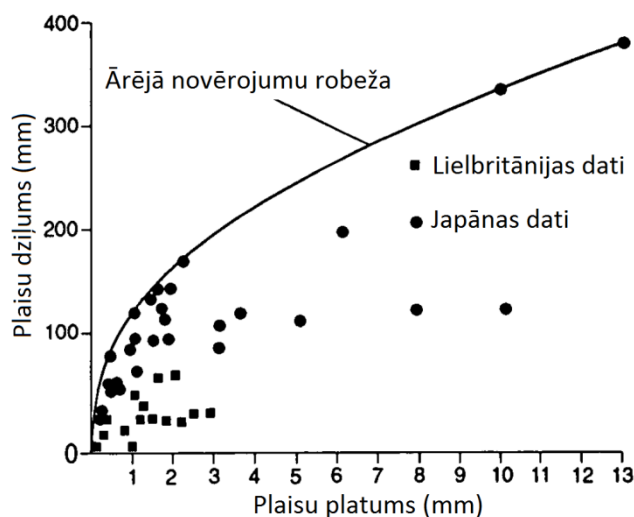
¹³ Structural effects of alkali-silica reaction, Technical guidance on the appraisal of existing structures, The institution of Structural Engineers, 1992, 48 p

¹⁴ Structural effects of alkali-silica reaction, Technical guidance on the appraisal of existing structures, The institution of Structural Engineers, 1992, 48 p

kas izraisa makro plaisu veidošanos. Makro plaisu dziļums parasti nepārsniedz aizsargkārtas biezumu vai, apmēram, vienu desmito daļu no elementa biezuma¹⁵. ASV un Japānā veikto plaisu dziļuma un platuma attiecības pētījuma rezultāti ir doti 3.2.att.



3.1.att. Sārnu-silīcija dioksīda reakcijas izraisīto plaisu attīstības shēma¹⁶



3.2.att. Attiecības starp plaisas dziļumu un platumu¹⁷

¹⁵ Hobbs, D.W.: Alkali-silica reaction in concrete, Thomas Telford, 1988.

¹⁶ Newman J., Choo B.S. Advanced concrete technology. Concrete properties. Elsevier, ISBN 0750651040, 2003, 303 pp.

Plaisai sasniedzot stiegrojumu tās sāks korodēt un attīstīsies mikroplaisu tīkls, kas izraisīs plaisu attīstību un betona sadrupšanu.

3.3. SSR radīto bojājumu identificēšana

Šīs reakcijas izraisītie bojājumi betona virsmā ir redzami kā haotisku vai stiegrojuma virzienā orientētu lielāku un mazāku plaisu tīkls (3.3.att. un 3.4.att.).



3.3.att. Sārmu-silīcija reakcijas plaisu piemērs ceļa pārvadam Norvēģijā. SSR izraisījis ūdens, kas plūst caur bojātu deformācijas šuvi¹⁸



3.4.att. Raksturīgas SSR radītās plaisas tilta balstam Šveicē¹⁹

SSR raksturo abās plaisas pusēs redzams bezkrāsains vai brūnas krāsas sārmu-silīcija gels, kas sausā laikā pārvēršas baltā pulverī (3.5.att.).

Lai precīzi konstatētu SSR klātbūtni betonā ir jāurbj betona paraugi un tie jāpārbauda laboratorijā. Izurbtos paraugus uzreiz ir jāievieto polietilēna maisiņā, lai gels nesažūtu. Laboratorijā izurbtos paraugus novērtē vizuāli un pēc tam meklē SSR pēdas – plaisas, gelu un gaisa poras. Dažiem pildvielu veidiem vizuāli var novērtēt to potenciālo reaktivitāti, tomēr lielai daļai ir nepieciešams veikt petrogrāfisko analīzi. Petrogrāfiskajā analīze betonu sagriež plānās kārtās un tās pēta ar elektroniska mikroskopa palīdzību. Pētot plānas betona kārtas var noteikt gela klātesamību betona porās un konstatēt mikroplaisas.

¹⁷ Structural effects of alkali-silica reaction, Technical guidance on the appraisal of existing structures, The institution of Structural Engineers, 1992, 48 p

¹⁸ PARTNER-project-GRD1-CT-2001-40103 Report 2.1. Key parameters influencing the alkali aggregate reaction. State-of-art-report, SINTEF, Norway, 2006, 134 p.

¹⁹ Bundesamt fur Strassen ASTRA, 8213 Dokumentation, Alkali-Aggregate-Reaktion (AAR). Grundlagen und Massnahmen bei neuen un bestehenden Kunstbauten, Schweiz, 2007, 138 p.



3.5.att. SSR radītu plaisu piemērs autoceļu tiltu balstiem Norvēģijā²⁰

3.4. SSR ietekmējošie parametri

Pētījumā²⁰ ir apkopoti un analizēti svarīgākie parametri, kas ietekmē SSR rašanos un attīstību betonā:

- Temperatūra;
- Mitrums;
- Sārma daudzums cementā;
- Pildvielu reaktivitāte un daļiņu izmērs;
- Gaisa saturs, cementa pastas porainums un ūdens – cementa attiecība.

3.4.1. Temperatūras ietekme

Viens no ķīmijas pamatnoteikumiem ir tas, ka palielinoties temperatūrai palielinās ķīmisko procesu ātrums. Tā kā SSR ir ķīmisks process, tad temperatūrai palielinoties palielinās ķīmiskās reakcijas ātrums. Pētījumi²¹ rāda pildvielu izplešanās reakcija visaktīvāk notiek pie 38^o – 40^o C . Temperatūras ietekmes modeļi ir doti 3.6.att.. Šādi modeļi atbilst ASTM testu noteikumiem.

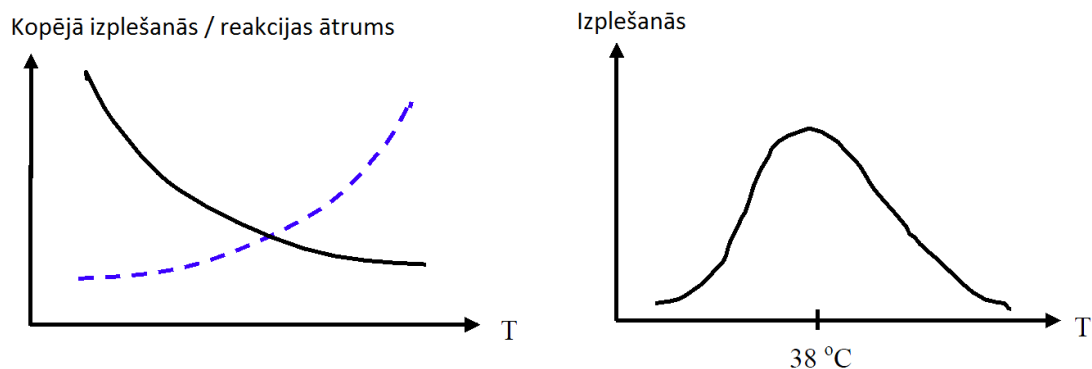
Testu rezultāti, kas pētīja daļiņu izplešanās atkarību no temperatūras, ir doti 3.7.att. un 3.8.att. Tie rāda, ka pie 50^oC pildvielas strauji izplešas (SSR rezultātā), bet pēc tam izplešanās pieaug ļoti lēnu, kamēr pie 20^oC SSR sākumā attīstās lēnu, bet pēc tam, laika gaitā, sasniedz daudz lielāku maksimālo izplešanās līmeni.

Temperatūras izmaiņu ietekme uz konstrukcijām ir acīmredzama. Tendence rāda, ka jo augstākas temperatūras, jo augstāks sākotnējās SSR attīstības temps ir konstatēts²².

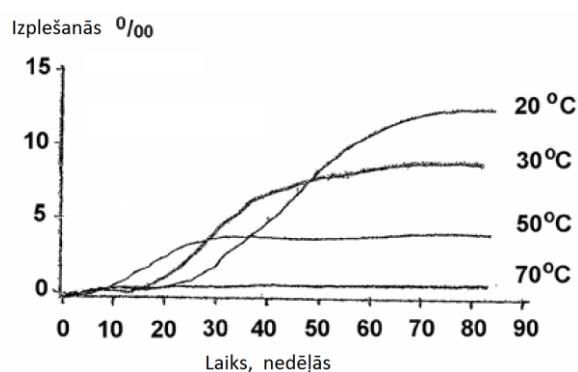
²⁰ PARTNER-project-GRD1-CT-2001-40103 Report 2.1. Key parameters influencing the alkali aggregate reaction. State-of-art-report, SINTEF, Norway, 2006, 134 p.

²¹ Locher, F.W., "Ursache und Wirkungsweise der Alkalireaktion", in "Vorbeugende Massnahmen gegen Alkalireaktion im Beton", VDZ, Schriftenreihe der Zementindustrie Heft 40, 1973.

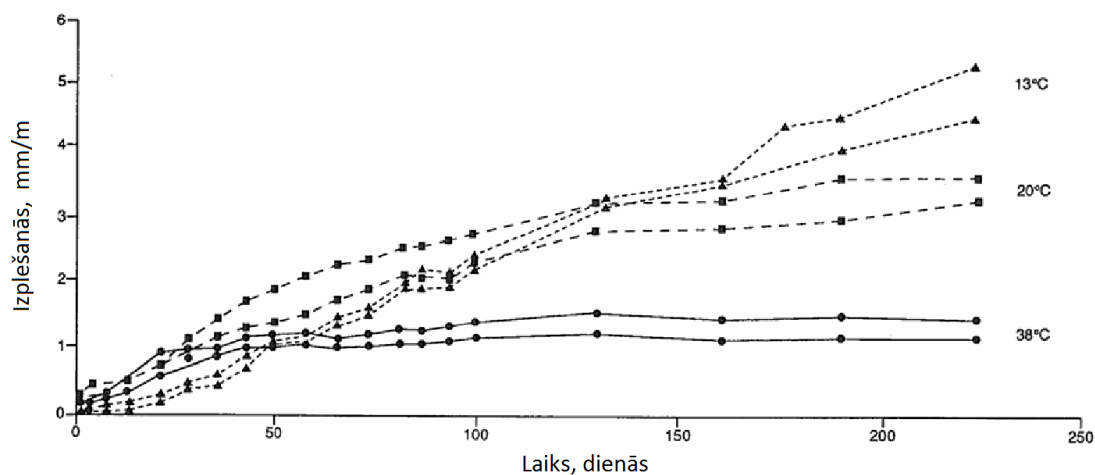
²² Nixon, Collins and Rayment, "The concentration of alkalis by moisture migration in concrete – a factor influencing alkali aggregate reaction", Cement and Concrete Research, Vol. 9 pp. 417-423, 1979.



3.6.att. Diagrammas parāda temperatūras ietekmes modeli uz SSR. Kreisajā diagrammā ar pilnu līniju ir parādītas kopējās daļiņu izplešanās tendences, bet ar raustītu līniju - reakcijas ātruma modelis. Modelis ir paredzēts neierobežotam sārnu daudzumam²³.



3.7.att. Kopējais daļiņu izplešanās lielums pie dažādām temperatūrām ar neierobežot sārnu saturu²⁴



3.8.att. Betona paraugu izplešanās pie 100% relatīvā mitruma pie dažādām temperatūrām²⁵

²³ Locher, F.W., "Ursache und Wirkungsweise der Alkalireaktion", in "Vorbeugende Massnahmen gegen Alkalireaktion im Beton", VDZ, Schriftenreihe der Zementindustrie Heft 40, 1973.

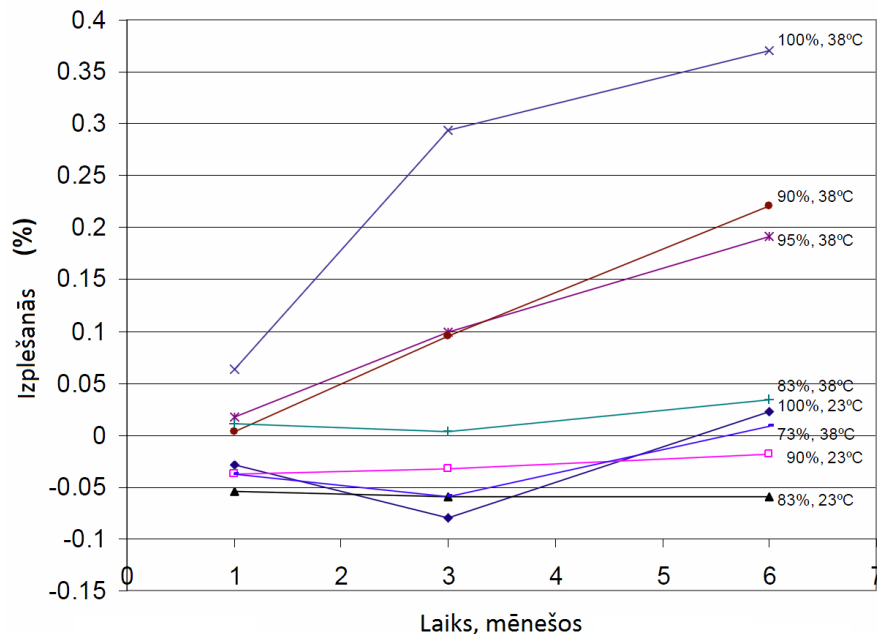
²⁴ Chatterji, S. and Christensen, P. 1990: "Studies of alkali-silica reaction. Part 7. Modelling of expansion", Cement and concrete Research, Vol. 20, 285-290.

²⁵ Mott, Hay & Anderson, "Report on full appraisal and recommendations for future management of Marsh Mills viaducts", Vol. 2, Appendices, 1986.

SSR bojājumi visbiežāk tiek konstatēti siju dienvidu pusē, jo sijas saulē sasilst, kamēr ziemeļu pusē tā ir mazāk bojāta, jo atrodas ēnā. Līdzīga ir situācija ar masīviem betona elementiem, kur betona virspuse tiek sasildīta vairāk, līdz ar to arī SSR attīstās ātrāk.

3.4.2. Mitruma ietekme

SSR attīstībai ir nepieciešams augsts mitruma līmenis. Islandē veiktie laboratoriju paraugu pētījumi²⁶, kuru rezultāti doti 3.9.att., rāda, ka lielākā mitrumā notiek lielāka izplešanās.



3.9.att. Javas paraugu izplešanās pie dažāda relatīvā mitruma un temperatūras

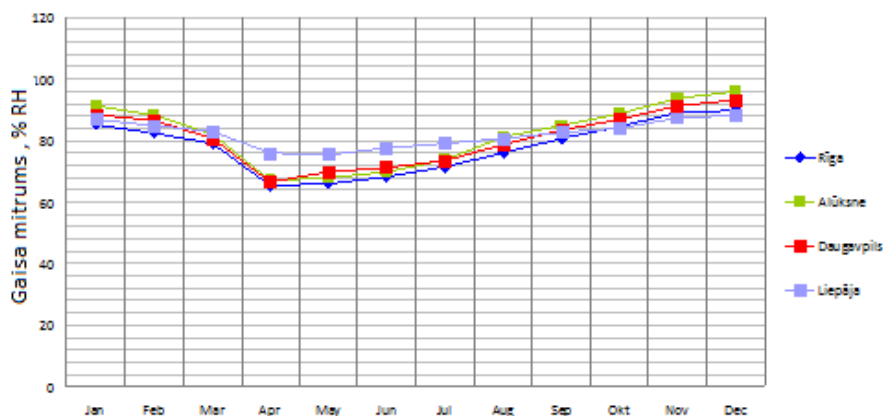
Mitruma ir viens no svarīgākajiem faktoriem, kas ietekmē SSR. Tādēļ ir svarīgi noskaidrot drošo un nedrošo mitruma satura līmeni betonā. Daudzos pētījumos²⁷ ir konstatēts, ka SSR visaktīvāk norisinās konstrukcijās, kas pakļautas 80 – 100% relatīvajam mitrumam.

Relatīvais gaisa mitrums Latvijas teritorijā variē starp 65%RH un 96%RH (3.10.att.).

Piejūras teritorijā relatīvais gaisa mitrums variē starp 78%RH aprīlī un maijā līdz 90%RH decembrī un janvārī. Latvijas austrumu reģionos, kā arī Rīgā aprīlis un maijs ir sausākie mēneši ar vidējo gaisa relatīvo mitrumu ap 65%RH. Ziemas mēnešos austrumu pierobežā vidējais gaisa mitrums palielinās līdz 95%RH. Līdz ar to Latvijā esošie tilti atrodas relatīvā mitruma zonā, kurā SSR var aktīvi attīstīties.

²⁶ Gudmundsson, G. and Asgeirsson, H., 1983: "Parameters affecting alkali expansion in Icelandic concretes", Proceedings 6th International Congress on Alkali-Silica Reactions, Copenhagen, Denmark

²⁷ PARTNER-project-GRD1-CT-2001-40103 Report 2.1. Key parameters influencing the alkali aggregate reaction. State-of-art-report, SINTEF, Norway, 2006, 134 p.



3.10.att. Mēneša vērtības relatīvajam gaisa mitrums dažādos Latvijas reģionos (CSP dati, 2004-2008).

Latvijā vidējais gada nokrišņu daudzums ir ap 675 mm. Lielāks nokrišņu daudzums novērojams Latvijas augstienēs, mazāks līdzenumos (Zemgales līdzenums) un piejūras teritorijās. Gada nokrišņu daudzums Latvijā pārsniedz tā spēju iztvaikot, it sevišķi vasaras – veģetācijas periodā. Ja tiltiem ir bojāta hidroizolācija vai deformācijas šuves, tad lietus ūdens tieši nokļūst uz betona un var uzturēt augstu mitruma līmeni ilglaicīgi.

Ja konstrukcija ir pakļauta ūdens iedarbībai, tad betonā plūstošais ūdens var aiztransportēt sārmu un kalcija hidroksīdu līdz reaģējošām pildvielām. Tas paātrina reakcijas tempu, jo ar ūdeni attransportētais sārms un kalcija hidroksīds iedarbojas daudz ātrāk, kā difūzijas ceļā piegādātie reaģenti. Betonu pakļaujot cikliskam mitruma un izžūšanas mijiedarbībai, sārmu un kalcija hidroksīds tiek uzkrāts ap reaģējošām pildvielām un tiek paātrināta SSR²⁸. No otras puses, ja mitrums ir relatīvi stabils reakcijas ātrums var samazināties. Tiltu konstrukcijām SSR vairāk izpaudīsies konstrukcijas virsmā, mazāk konstrukcijas iekšpusē.

3.4.3. Sārma saturs

Katrā betonā ir noteikts sārmu daudzums. Lielāko daļu no tā veido cementā esošais sārms. Nelielu daļu sastāda betona piedevās - gaisa iesaistošās piedevas, pelnos, izdedžos un mikrossilīcijā esošais sārms. Arī daži pildvielu veidi var saturēt sārmu. Daži pētījumi norāda uz to, ka arī ārējos avotos esošais sārms piedalās SSR. Šāds risks pastāv, ja uz tiltiem sniega un ledus kausēšanai ziemā tiek pielietots pretapledošanas sāls, kas satur sārmu metālus.

Tiek ņemta vērā arī iespēja, ka sārms var iekļūt betona porās tieši no pildvielām. Pildvielās esošais sārms var izraisīt SSR (reaģējot ar citās pildvielās esošo silīciju), pat ja tiek pielietots cements ar zemu sārmu saturu.

Norvēģijā ir veikti sārmu satura pētījumi²⁹ betonam ar trīs dažādiem pildvielu tiptiem, kas satur dažādu sārmu saturu. Rezultāti ir apkopoti 3.11.att., kur var

²⁸ PARTNER-project-GRD1-CT-2001-40103 Report 2.1. Key parameters influencing the alkali aggregate reaction. State-of-art-report, SINTEF, Norway, 2006, 134 p.

²⁹ Lindgård, J, and Wigum, BJ (2003): "Alkali aggregate reactions – Field experience". SINTEF Report No STF22 A02616, Trondheim, Norway (in Norwegian): 127 pages + appendices.

Reagējošo pildvielu daļiņu izmērs ietekmē gan SSR attīstības tempu un izplešanos, gan bojājuma apjomu visā betona konstrukcijā. Smalkās pildvielas ir

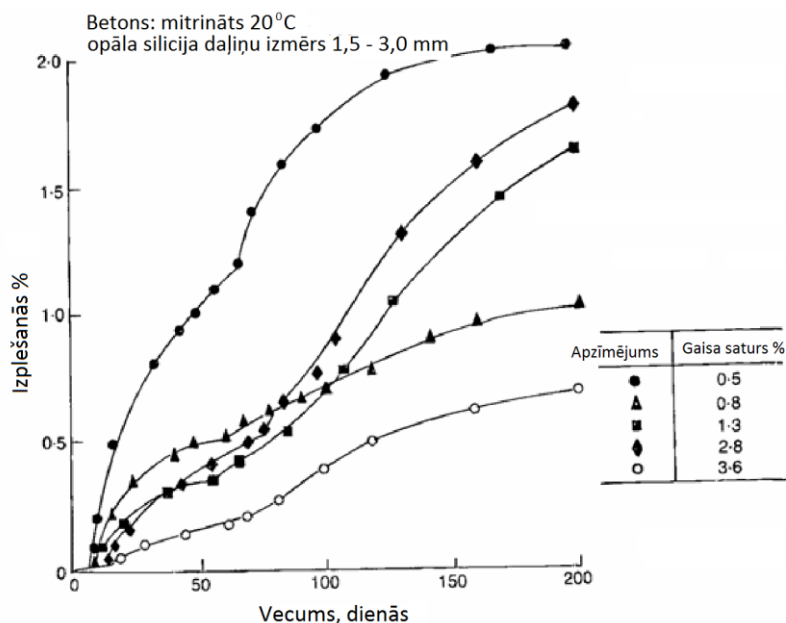
reagējošākas kā rupjās pildvielas. Dažos pētījumos³⁰ ir norādīts, ka reagējošākas ir pildvielas, kuru izmērs ir 3 – 7 mm. Kaut arī Norvēģu pētījumā³¹ norāda uz daļiņām, kas lielākas par 8 – 10 mm.

Sārnu-silīcija dioksīda reakcijas gadījumi ir vēl joprojām samērā grūti pamatojami, jo ne vienmēr mēs varam plaisu veidošanos procesu betonā, kurā atrodas iestrādātas pildvielas (kuras varētu reaģēt ar sārmiem), izskaidrot ar šo fenomenu. Piemēram, ja ķīmiski aktīvs materiāls atrodas izteikti smalkā veidā (daļiņu lielums <75 μm), vizuāli ir redzams, ka reakcija ar sārnu notiek, bet deformāciju nav. Mēs varam secināt tikai vienu, procesā ir iesaistīti ļoti daudzi vienlaicīgi un savstarpēji saistīti darbojošies faktori.

Pildvielu reaktivitāte ir atkarīga no konkrētās teritorijas, kur tie iegūti. Tādēļ ir grūti izmantot citu valstu pētījumus pildvielu reaktivitātes prognozēšanai Latvijā.

3.4.5. Gaisa saturs, cementa pastas porainums un ūdens – cementa attiecība

Valstīs kur ir regulāras ziemas tiek pielietots salzturīgs betons, kurā ir noteikts daudzums vienmērīgi izkliedētu gaisa poru. Tas nozīmē, ka betonā ir pietiekoši daudz vietas, kur ūdenim no šķidra stāvokļa pārvērsties cietā un izplesties. Attīstoties SSR betonā esošās gaisa poras aizpildās ar gelu un betons kļūst mazāk salzturīgs³². Reakcijas ātrums nav atkarīgs no gaisa satura betonā, bet pie liela gaisa satura SSR radītie bojājumi būs mazāki.



3.12.att. Gaisa satura betonā ietekme uz izplešanos atkarībā no betona vecuma³². (šajā eksperimentā ū/c attiecība – 0.41, pildvielu/cementa attiecība – 3, nātrija oksīds – 5 kg/m³)

³⁰ French, W.J. 1994: "Avoiding concrete aggregate problems". In French, W.J. (Editor): Improving Civil Engineering Structures - Old and New. Geotechnical Publishing Ltd. 65-95.

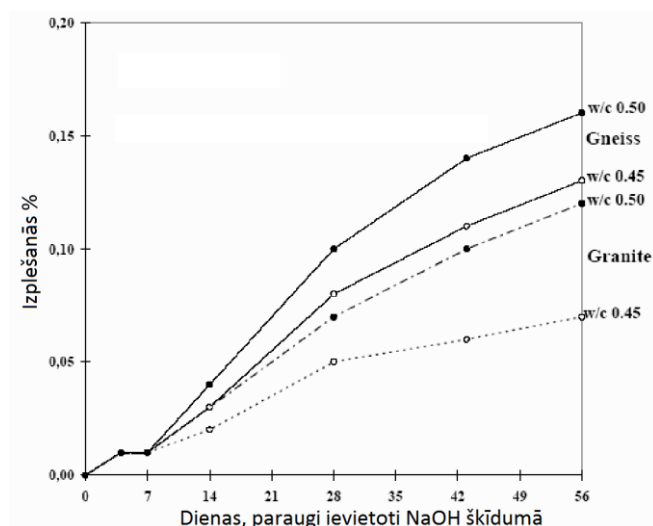
³¹ Lindgård, J, and Wigum, BJ (2003): "Alkali aggregate reactions – Field experience". SINTEF Report No STF22 A02616, Trondheim, Norway (in Norwegian): 127 pages + appendices.

³²Hobbs, D. W., 1988: "Alkali-silica reaction in concrete", Thomas Telford Ltd, London, 1988.

legūtie rezultāti rāda, ka palielinot gaisa saturu javā līdz 4%, izplešanās samazinās par 40%.

Betona porainībai uz pildvielu izplešanos ir līdzīgs efekts, kā gaisa saturam. Jo poraināka betona pasta, jo vairāk vietas SSR gelam. Tomēr palielinoties cementa pastas porainībai palielināsies SSR līmenis un ātrums, jo palielināsies jonu transportēšanas ātrums un tie ātrāk nokļūs pie reaģējošām pildvielām.

Ūdens cementa attiecība ietekmē ne tikai sārmu koncentrāciju poru šķidrumā, bet arī javas porainumu. Tas viss kopumā iespaidos pildvielu reaktivitāti. Pētījumā³³ tiek norādīts, ka maksimālā javas paraugu izplešanās notiek pie optimālās ūdens cementa attiecība 0.4 – 0.6. Citi pētījumi³⁴ rāda, ka javas izplešanās pieaug, ja palielinājās ūdens cementa attiecība, bet samazinājās, ja šī attiecība bija zem 0.5. Javas izplešanās izmaiņu, atkarībā no ūdens cementa attiecības un izmantojot nekaitīgas pildvielas, pētījuma³⁵ rezultāti ir doti 3.13.att.. ASV ASTM (1994) standartā un Kanādas CSA (1994) standartā, betonam ar rupjām pildvielām, maksimālā ūdens cementa attiecība ir noteikta 0.5, bet ar smalkām pildvielām 0.44.



3.13.att. Javas izplešanās pie dažādām ūdens cementa attiecībām

Betona konstrukcijās ar augstu ūdens cementa attiecību būs redzami lielāki SSR izraisīti bojājumi.

³³ Grattan-Bellew, P.E. 1989: "Test methods and criteria for evaluating the potential reactivity of aggregates". In Okada K., Nishibayashi S. and Kawamura, M. (Editors): Proc. 8th Int. Conf. Alkali-Aggregate Reaction. Elsevier Applied Science, London & New York. 279-294.

³⁴ Fournier, B. and Bérubé, M.A. 1991: "Application of the NBRI accelerated mortar bar test to siliceous carbonate aggregates produced in the St. Lawrence lowlands (Quebec, Canada). Part 2: proposed limits, rates of expansion, and microstructure of reaction products". Cement and Concrete Research, Vol.21, Pergamon Press plc. 1069-1082.

³⁵ Wigum, B.J. (1995): "Alkali-aggregate reactions in concrete; Properties, classification and testing of Norwegian cataclastic rocks", Dr.ing theses, The Norwegian Institute of Technology, Trondheim.

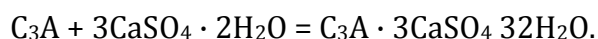
3.5. Ķīmisko piedevu ietekme uz SSR attīstību

Svarīgs posms betona izgatavošanas tehnoloģijā ir ķīmisko piedevu pielietojumam, kas dotajā gadījumā nedrīkstētu saturēt savā sastāvā lielā daudzumā ūdenī šķīstošus sārma oksīdu elementus, tāpēc pielietojot ķīmiskās piedevas betona izgatavošanas procesā (plastifikatori, cietēšanas paātrinātāji, strukturētāji utt.) ir jāveic to sastāvu kontrole, kas arī var būtiski paaugstināt kopējo sārma daudzumu vienā kubikmetrā betona.

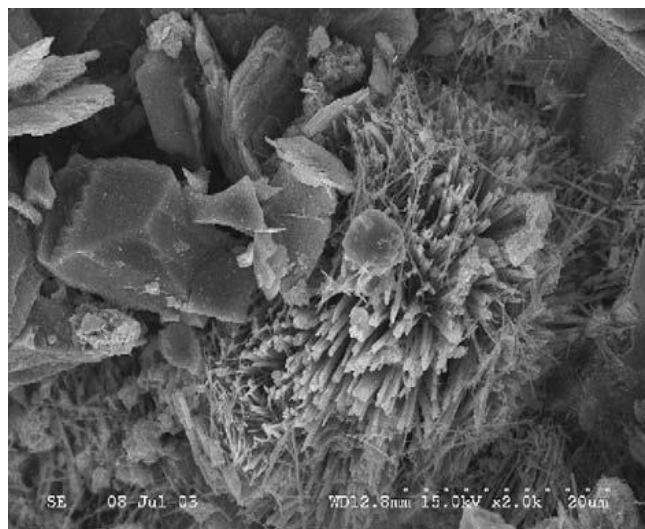
No ķīmiskām piedevām, kas palīdz neitralizēt sārma silikātu reakcijas, ir jāatzīmē ASR inhibitori – uz litija nitrāta bāzes veidota šķidra ķīmiska piedeva, piemēram Boral LiNX. Ķīmisko piedevu – uz litija nitrāta bāzes – daudzumu, jeb dozu aprēķina, izejot no Na_2O ekvivalenta skaitliskā lieluma. Litija nitrāts reaģē ar reaktīvo pildvielas daļu līdzīgi, kā to veic sārma elementi, tikai jaunizveidotais gēla substrāts neuzsūc ūdeni, neizplešas un neveido spriedzi betona struktūrā. Inženierprakse uzrāda labus rezultātus³⁶, ja lieto vienlaicīgi litija nitrātu un F klases elektrofiltru putekļus (fly ash).

3.6. Sulfātu korozija (C_3A)

Portlandcements satur sulfātus, lai kontrolētu C_3A reakcijas ātrumu. Klinkerā esošie sārma sulfāti un ģipsis ātri izšķīst un pie augstas sulfātu jonu koncentrācijas reaģē ar C_3A , tā veidojot etringītu:



Etringīta kristāli satur daudz ūdens un to veidošanās procesā tie palielinās apjomā (3.14.att.), kas noved pie plaisu veidošanās betona konstrukcijās (3.15.att.) un monolītās struktūras sairšanas.



3.14. Etringīta kristāli betona paraugā³⁷

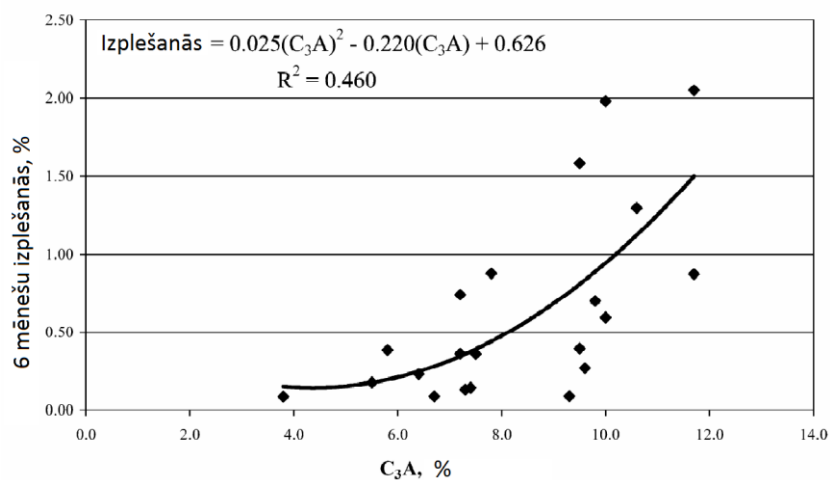
³⁶ T.Kuennen. Lithium admixtures scale ASR challenge. 2000, www.concreteproducts.com

³⁷ Shanahan N., Zayed A. Cement composition and sulfate attack. Part I. Cement and concrete research 37 (2007) 618-623



3.15.att. Sulfātu korozijas bojājumi tilta balsta rīgelī³⁸

ASV veiktajā pētījumā³⁹ ir konstatēts, ka palielinoties C_3A saturam cementā, ievērojami pieaug sulfātu izplešanās procents (3.16.att.).



3.16.att. Sakarība starp C_3A saturu cementā un sulfātu izplešanos

Polijas zinātnieki, veicot ilgtermiņa testus, ir pierādījuši ļoti izteiktu korelāciju starp C_3A saturu un betona izplešanās pakāpi⁴⁰. Cementa javas paraugi, kas izgatavoti no portlandcimenta CEM I ar 8% C_3A saturu un ielikti sālsūdenī sagruva 20 - 40 nedēļu laikā, paraugi ar 13 % C_3A saturu sabruka jau pēc 12

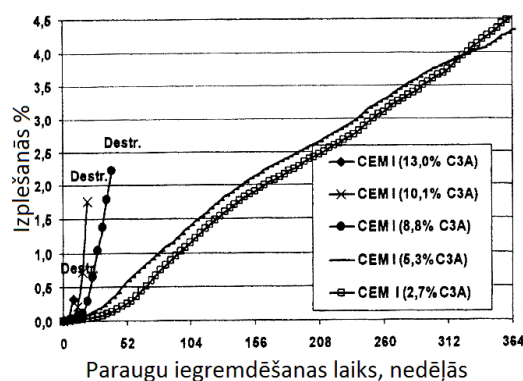
³⁸ Livingston R.A., Ormsby C., Amde A.M. Ceary M., McMorris N., Finnerty P. Field survey of delayed ettringite formation related damage in concrete bridges in the state of Maryland, Office of Infrastructure R&D, Federal Highway Administration, 2006, 23 p.

³⁹ Tikalsky P.J., Poy D., Scheetz B., Kritze T. Redefining cement characteristics for sulfate-resistant Portland cement, Cement and Concrete Research 32 (2002) 1239–1246

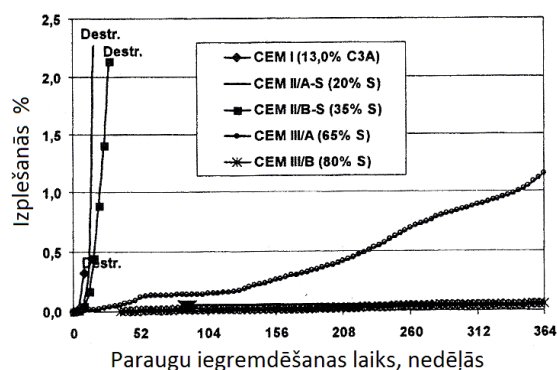
⁴⁰ S.Chladzynski, A.Garbacik, Resistance of different cement types to sulfate attack in the light of long-term investigations. Cement combinations for durable concrete, ISBN 0727734016, Thomas Telford (2005) 144-154

nedēļām, savukārt paraugi ar 2.6 % C_3A saturu sabruka tikai pēc 7 gadiem (3.17.att.).

Šajā pašā pētījumā ir parādīts, ka pielietojot cementu ar pelnu vai izdedžu piedevu CEM II vai CEM III tā izplešanās līmenis ir mazāks (3.18.att.). Vēl labāku rezultātu deva cementa ar pelnu piedevu CEM II/B-V un pucolāncementa CEM IV/B pielietošana, kas uzrādīja mazu izplešanās līmeni.



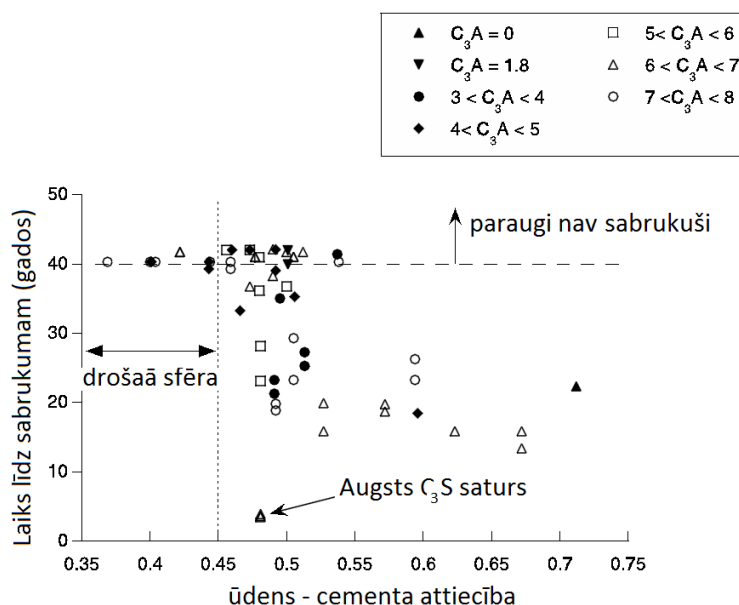
3.17.att. Portlandcimenta CEM I izplešanās³⁹



3.18.att. Portlandcimenta ar izdedžu piedevām izplešanās³⁹

Pētījuma³⁹ autori secina, ka labu ilgizturību trikalcijs alumīnāta iedarbībai C_3A uzrādīja paraugi, kas bija izgatavoti no CEM I ar zemu C_3A saturu, CEM II/B-V un CEM IV ar pelnu piedevām.

ASV veiktajā pētījumā⁴¹ ir aplūkoti 40 gadu ilga eksperimenta rezultāti (3.19.att.), kurā pētīts paraugu, ar dažādu C_3A saturu un ūdens cementa attiecību, sabrukšanas laiks.



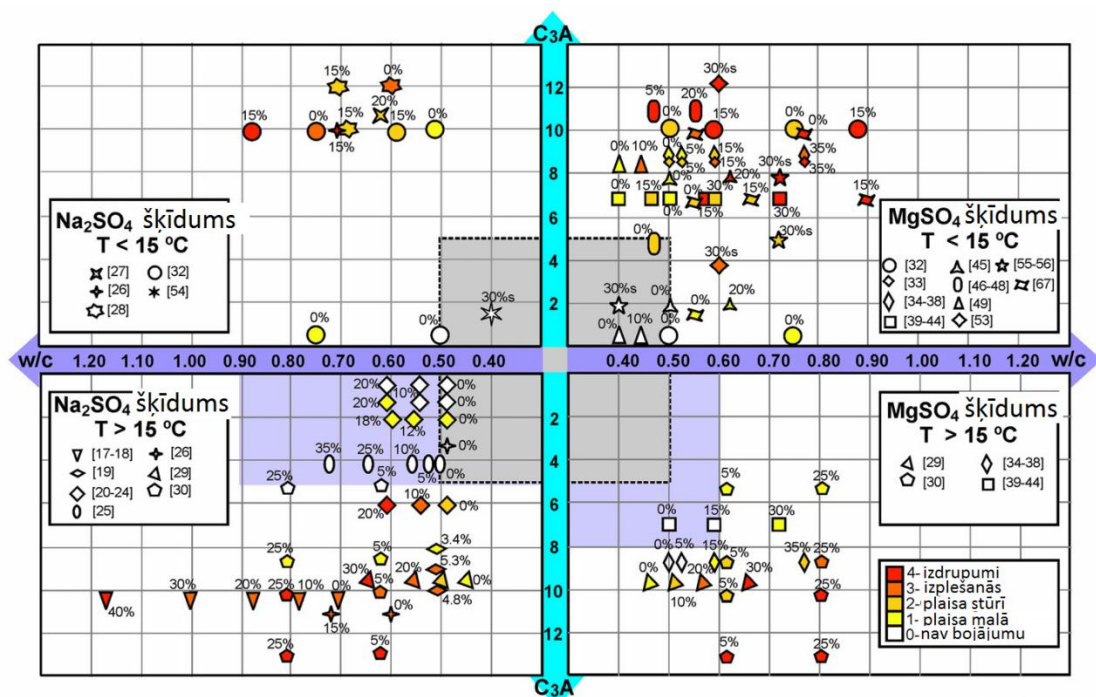
3.19.att. Paraugu sabrukšanas laiks atkarībā no C_3A saturu un ūdens cementa attiecības⁴⁰

⁴¹ P.J.M. Monteiro, K.E. Kurtis Time to failure for concrete exposed to severe sulfate attack / Cement and Concrete Research 33 (2003) 987–993

Iegūtie rezultāti rāda, ka ātrāk sabruka paraugi ar augstu C_3A saturu un ūdens cementa attiecību lielāku par 0.45. Paraugi ar ūdens cementa attiecību zem 0.45 nesabruka un atradās „drošajā sfērā”. Iegūtie rezultāti norāda arī uz to, ka betona blīvums ir svarīgs noteikums betona sulfātu korozijas samazināšanai.

ASV veiktajā pētījumā⁴² ir apkopoti laboratorijās veikti pētījumi par sulfātu ietekmi uz betonu, kas izgatavots no klinkera cementa. Paraugu izpētei izmantoti Na_2SO_4 un $MgSO_4$ šķīdumi. Konceptuālā grafiskā analīze (3.20.att.) rāda izteiktu korelāciju starp ūdens-cementa attiecību un trikalcijs alumīnāta C_3A saturu cementā. Tādēļ, lai samazinātu sulfātu izraisītos bojājumus betonā, ir ieteicams pielietot cementu ar $C_3A < 5\%$ un ūdens cementa attiecību $< 0,45$.

Latvijā ražotais cements, uz šodienu, satur C_3A daudzumu nedaudz virs 6%, ko pielietojot smalki maltu metalurģisko sārņu piedevas, ir reāli samazināt līdz 5% robežai.



3.20.att. Konceptuāls grafiks, kas parāda virsmas bojājumu pakāpi atkarībā no efektīvās ūdens-cementa attiecības un C_3A satura cementā. Pie katra punkta procentos ir norādīts cementa vai smilšu daudzums, kas aizstāts ar kaļķakmens pildvielām⁴³

Eiropas Savienības valstīs piemērotās prasības sulfātzīturīgam cementam ir dotas 9.pielikumā.

⁴² E.F. Irassar Sulfate attack on cementitious materials containing limestone filler — A review / Cement and Concrete Research 39 (2009) 241–254

⁴³ E.F. Irassar Sulfate attack on cementitious materials containing limestone filler — A review / Cement and Concrete Research 39 (2009) 241–254

4. Betona projektēšanas nosacījumi sārmu – silīcija dioksīda reakcijas iespējamā riska samazināšanai dažās Eiropas Savienības valstīs

4.1. Eiropas standarta prasības betonam

Betona raksturojumi un tehniskās prasības tā izgatavošanai un iestrādāšanai ir dotas LVS EN 206-1:2000 „Betons - 1.daļa: Tehniskie noteikumi, darbu izpildījums, ražošana un atbilstība” F1.tabulā. (4.1.att.)

F1.tabula. Ieteicamie robežlīmeņi betona sastāvam un īpašībām

Ārējās iedarbības klases	Ārējās iedarbības klases																	
	Nav korozijas vai ķīmiskas iedarbības riska	Karbonizācijas izraisīta korozija				Hlorīdu izraisīta korozija						Sala izturība				Agresīva ķīmiskā vide		
						Jūras ūdens			Hlorīdi, izņemot jūras ūdeni									
	XO	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Maksimālā ūdens/cementa attiecība	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Minimālā stiprības klase	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Minimālais cementa saturs (kg/m³)	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Minimālais gaisa saturs(%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ¹⁾	4,0 ¹⁾	4,0 ¹⁾	-	-	-
Citas prasības												Pret sasald./atkušņu izturīgas pildvielas, saskaņā ar prEN 12620:2000 rekomendācijām				Sulfātu izturīgs cements ²⁾		

¹⁾ Ja betons ir bez gaisa ieslēgumiem, tā izpildījums ir jātestē saskaņā atbilstošu testa metodi un salīdzinot to ar betonu, kura sala izturība attiecīgajai ārējās iedarbības klasei ir pierādīta.

²⁾ Ja SO₄ deļ jāizmanto ārējās iedarbības klases XA2 un XA3, ir būtiski, lai tiktu lietots pret sulfātiem izturīgs cements. Ja cements ir klasificēts atbilstoši tā izturībai pret sulfātiem, ārējās iedarbības klasē XA2 (un attiecīgi klasē XA1) ir jālieto vidējās vai augstas sulfātu izturības cements, bet ārējās iedarbības klasē XA3 – tikai augstas sulfātu izturības cements.

4.1.att. Eiropas standarta LVS EN 206 F1.tabula⁴⁴

Standartā ir dotas prasības maksimālā ūdens cementa attiecībai, minimālajai betona spiedes pretestībai, minimālajam cementa saturam betonā un minimālajam gaisa saturam (betona salizturības nodrošināšanai). Eirokodeksā nav speciālu prasību sārmu – silīcija dioksīda reakcijas iespējamā riska samazināšanai, bet tas nosaka ka projektētajā kalpošanas laikā (skat. 1.1.tabulu), pie pienācīgas uzturēšanas un normālas apkārtējās vides ietekmes, nedrīkst samazināties dzelzsbetona konstrukcijas stiprības un lietojamības raksturojumi.

Tā kā Eirokodekss ir kompromisa dokuments starp 29 valstīm, tad tajā ir ietvertas tikai būtiskākās prasības betonam. Detalizētas prasības katra valsts nosaka atsevišķi.

Lai nodrošinātu savas tautsaimnieciskās intereses ilgizturīgu dzelzsbetona konstrukciju būvniecībā, katra valsts izstrādā savas specifiskās prasības betonam. Kā izriet no Eiropas Betona piegādātāju organizācijas ERMCO 2010.gadā veiktā pētījuma rezultātiem lielākā daļa no Eiropas Savienības valstīm ir izstrādājušas savus papildinājumus EN 206 standartam (1.Pielikuma

⁴⁴ LVS EN 206-1:2000 „Betons - 1.daļa: Tehniskie noteikumi, darbu izpildījums, ražošana un atbilstība”

1.tabula), kā arī lielai daļai ir izstrādāti speciāli noteikumi sārmu – silīcija dioksīda reakcijas iespējamā riska samazināšanai (1.Pielikuma 2.tabula)

4.2. Prasības tiltu konstrukciju betonam Lietuvā

Lietuvā nav speciālu prasību betonam sārmu – silīcija dioksīda reakcijas iespējamā riska samazināšanai. Var atzīmēt to, ka Lietuvas standartā LST 1974:2005 ir papildinātas LST EN 206 standartā⁴⁵ dotās prasības betonam, nosakot atšķirīgu minimālo gaisa saturu betonam ar dažāda izmēra šķembām: 3.5% līdz 32 mm frakcijas šķembām; 4.0% līdz 16 mm šķembām; 5.0% līdz 8 mm šķembām. Tās pat standarts paredz salizturības klases pēc Lietuvas standarta LST1428.17: XF1 vides klasei – F100; XF2 vides klasei F150; XF3 vides klasei F200; XF4 vides klasei F300.

4.3. Prasības tiltu konstrukciju betonam Igaunijā

Igaunijā nav speciālu prasību betonam sārmu – silīcija dioksīda reakcijas iespējamā riska samazināšanai.

4.3. Prasības tiltu konstrukciju betonam Polijā

Polijā Varšavas Ceļu un tiltu pētniecības institūta izstrādātās rekomendācijas, transportbūvē⁴⁶ paredz izmantot cementu ar zemu sārma saturu CEM I 42.5 N-HSR/NA. Polijā ir izstrādāts jauns cementa standarts PN-B-19707:2003 „Cements. Speciālais cements. Sastāvs, prasības un atbilstības kritēriji”, kas paredz ražot cementu ar specifiskām īpašībām: ar zemu hidratācijas siltumu – LH; sulfātzīturīgu cementu – HSR; cementu ar zemu sārma saturu – NA.

Šādam cementa ekvivalentā sārma maksimālais saturs nepārsniedz 0.60 %, arī trikalcija alumīnāta saturs (C_3A) ir zem 3%, kas nodrošina ilgizturīga betona izgatavošanu. Cemex Čelmas rūpnīcā ražotā cementa raksturlielumi doti 2.Pielikumā.

4.4. Prasības betonam Dānijā

Dānijā sārmu-silīcija dioksīda reakcijas ietekmi sāka pētīt 60-os gados, kad tika ieteikts tiltu konstrukcijās pielietot betonu ar zemu sārma saturu un pildvielas, kuru sastāvā ir mazāk par 2 % reaktīvu sastāvdaļu. Otrā pētījumu fāze bija saistīta ar betona autoceļa segas izbūvi Dānijā, kura 4 gadu laikā SSR ietekmē sagruva. Pētījums parādīja, ka intensīva SSR notika arī tad, ja par pildvielu tika izmantots nereaģējošs granīts un cements ar ekvivalento sārma saturu Na_2O_e 0.6%. Tika konstatēts, ka reakcija radās starp pretapledošanas sāli un reaģējošām silīcija smiltīm. Tas nozīmē, ka sārma pildvielu reakciju var izraisīt arī sārms, kas iesūcas konstrukcijā no ārpusē un veido sārma depozītu konstrukcijā, kas pakļauta šādai vides iedarbībai.

⁴⁵ LST EN 206-1:2000 „Betons - 1.daļa: Tehniskie noteikumi, darbu izpildījums, ražošana un atbilstība”

⁴⁶ Rekomendacija Techniczna IBDiM Nr. RT/2009-03-0021, Institut Badawczy drog i mostow, 2009.

Dānijā betona konstrukciju projektēšanai tiek izmantotas prasības, kas dotas DS 2426⁴⁷ un DS 481:1999⁴⁸. Lai nodrošinātu ilgizturīga betona izgatavošanu, bez standartā EN 206-1 dotajām prasībām, Dānijā tiek piemērota rinda citu prasību. Sārmu – silīcija dioksīda reakcijas iespējamā riska samazināšanai Dānijā ir noteiktas prasības sārmu saturam cementā un reaktīvā silīcija saturam pildvielās.

Dānijas standartā DS 2426 ārējās vides klases ir sagrupētas 4 apkopojošās klasēs (4.1.tabula).

4.1.tabula. Vides iedarbību klašu definīcijas [DS 2426-1 tab.]

Raksturojums un apzīmējums	Neaktīva, pasīva P	Vidēji agresīva M	Agresīva A	Ļoti agresīva E
Vides ietekmes klases pēc EN 206-1 apzīmējumiem	X0 XC1	XC2 XC3 XC4 XF1 XA1	XD1 XS1 XS2 XF2 XF3 XA2	XD2 XD3 XS3 XF4 XA3

Atbilstoši šīm vides klasēm ir dotas prasības betonam (4.2.tabula). Piemēram ceļa pārvadu balstiem, kas atrodas pie brauktuvē, tiltu balstiem jūras ūdenī, brauktuves konstrukcijai, kas ir tiešā saskarē ar pretapledošanas sāli vai citiem tilta elementiem, kas atrodas ļoti agresīvās vides ietekmē ir jāpielieto prasības „Ļoti agresīvai videi – E”, savukārt tilta elementiem, kas pakļauti mazāk agresīvai videi var pielietot būvmateriālus ar zemākām prasībām.

Līdzīgi ir klasificētas pildvielas:

- P klase – lietošanai pasīvā vidē;
- M klase – lietošanai vidēju agresīvā vidē;
- A klase – lietošanai agresīvā vidē;
- E klase – lietošanai ļoti agresīvā vidē.

Smalko un rupjo pildvielu klasifikācija ir dota DS 481 „Beton materialer (Concrete – Materials)” un norādītas 4.2. un 4.3.tabulā.

4.2.tabula. Smilšu klasifikācija.

	P klase	M klase	A klase	E klase	Standarts
Ķīmiskais rukums [mL/kg]	Nav prasību	Max. 0.3	Max. 0.3	Max. 0.2	DS 405.13
Reaktīvā krama apjoms [tilpuma %]	Nav prasību	Max. 2	Max. 2	Max. 1	DS 405.14 (TI B-52)
Javas stieņa izplešanās [%]	Nav prasību	Max. 0.1 pēc 8 ned.	Max. 0.1 pēc 8 ned.	Max. 0.1 pēc 20 ned.	DS 405.15 (TI B-51)
Javas stieņa paātrināta izplešanās [%]	Nav prasību	Max. 0.2 pēc 14 dien.	Max. 0.1 pēc 14 dien.	Max. 0.1 pēc 14 dien.	DS 504.16 (ASTM C1260)

⁴⁷ DS 2426:2004 Beton-Materialer-Regler for anvendelse af EN 206-1 i Danmark (Concrete – Materials – Rules for application of EN 206-1 in Denmark)

⁴⁸ DS 481 Beton materialer (Concrete – Materials)

Reagējošo pildvielu apjoms rupjajās pildvielās vides klasēm P, M un A tiek ierobežots ar pieļaujamo daļiņu apjomu, kuru blīvums ir mazāks par 2400 kg/m³. Vides klasei E ierobežojums attiecas uz daļiņām, kuru blīvums mazāks par 2500 kg/m³. Bez tam ir arī 10% ūdens absorbcijas ierobežojums kramam, kura blīvums ir lielāks par 2400 kg/m³.

4.3.tabula. Rupjo pildvielu klasifikācija.

	P klase	M klase	A klase	E klase	Standarts
Daļiņu blīvums mazāks par 2400 kg/m ³ [%]	Nav prasību	Max. 5.0	Max. 1.0	-	DS 405.4
Daļiņu blīvums mazāks par 2500 kg/m ³ [%]	Nav prasību	Nav prasību	Nav prasību	Max. 1.0	DS 405.4
Absorbcijs [%]	Nav prasību	Max. 2.5	Max. 1.1	Max. 1.1	DS 405.12
Javas stieņa paātrināta izplešanās [%]	Nav prasību	Max. 0.2 pēc 14 dien.	Max. 0.1 pēc 14 dien.	Max. 0.1 pēc 14 dien.	DS 504.16 (ASTM C1260)

Sārma saturu betonā aprēķina kā summu no ekvivalentā sārma satura cementā (informācija no cementa piegādātāja), pildvielās (informācija no pildvielu piegādātāja) un piedevās (informācija no piedevu piegādātāja). Prasības betonam ir dotas 4.4.tabulā.

4.4.tabula. Prasības betonam atkarībā no vides raksturojuma.

	Neaktīva, pasīva P	Vidēji agresīva M	Agresīva A	Ļoti agresīva E
Sārma saturs cementā [%]	Nav prasību	≤ 0.8 ¹⁾	≤ 0.8 ¹⁾	-
Sārma saturs betonā (kg/m ³)	Nav prasību	≤ 3.0 ¹⁾	≤ 3.0 ¹⁾	≤ 3.0 ¹⁾
Smilšu klase	Nav prasību	M ²⁾	A	E
Rupjo pildvielu klase	Nav prasību	M	A	E
Ū/c attiecība	Nav prasību	≤ 0.55	≤ 0.45	≤ 0.40

¹⁾ Sārma saturs cementā var būt augstāks par 0.8% un sārma saturs betonā var būt augstāks par 3 kg/m³, ja izpildās nosacījums: smilts – A klases ar maksimālo izplešanos 0.1% pēc 20 nedēļām (vai reaktīvo pildvielu saturs mazāks par 1.0%).

²⁾ P – klases smiltis ir pieļaujamas, ja cements ir marķēts kā EA un LA un kopējais sārma saturs betonā ir zemāks par 1.8 kg/m³.

Dānijā veiktajā pētījumā⁴⁹ ir aprakstīti dzelzsbetona tiltu būvniecībā izmantotās betona receptes un pielietotās sastāvdaļas (4.5., un 4.6.tabula). Visiem tieliem ir izmantots sulfātziturs cements.

⁴⁹ Larsen E.S. Concrete for major infrastructural links. Concrete for transportation infrastructure, ISBN 0727734024, Thomas Telford, (2005) 7 – 17 pp.

4.5.tabula. Betona sastāvs Lielā Belta tiltam

	Tips 1	Tips 2
Cements, kg/m ³	Min 300	Min 300
Pelni, FA, % no pulvera sastāva	Min 10	Min 10
Mikrosilīcijs, MS, % no cementa	4 – 8	4 – 8
FA+MS, % no pulvera sastāva	Max 25	Max 25
Efektīvais ūdens, kg/m ³	Max 135	Max 140
Ekvivalentā Ūdens/Cementa attiecība	Max 0.35	Max 0.40
Gaiss saturs betonā, %	8-27	8-27
Hlorīds, % no cementa	Max 0.075	Max 0.075
Ekvivalenta sārma saturs betonā, Na ₂ O _e , kg/m ³	Max 3.0	Max 3.0

4.6.tabula. Betona raksturojums Mazā Belta tiltam.

Konstrukcijas elementi	Betona klase	Cementa saturs kg/m ³	Cementa tips	Plastifikators, ‰ no cementa svara	Max. pildvielas frakcija, mm	Projektētā kubiskā stiprība, MPa	Vidējā kubiskā stiprība, MPa
Pāļi galvenā pilona balstiem	I	425	Rapid cements	2.66	18	60	67.1
Kesoni	I	300	SPC	2.66	30	35	50.2
Galvenā pilona balsti :	II	230	SPC	2.66	50	30	29.2
Darba kambaris (Jutland)							
Darba kambaris (Funen)	II	250	SPC	2.66	50	30	40.8
Augšējais klājs	II	240	SPC	2.66	5	35	39.6
Galvenie piloni	I	310	SPC	0	55	45	54.2
Enkurojuma bloka pamata plātne	II	275	SPC	2.66	32	30	41.4
Enkurojuma apvalks	II	230	SPC	2.66	50	30	41.4
Viadukta sienas	I	300	SPC	0	30	35	53.8
Augšējās sijas	I	300	SPC	2.66	30	40	52.1
Viadukta galvenās sijas	I	310	Rapid cements	2.66	18	40	51.5

SPC – portlandcements ar izdedžu piedevām.

4.6. Prasības betonam Francijā

Pirmās rekomendācijas⁵⁰ sārnu-silīcija dioksīda (SSR) iespējamās reakcijas un sulfātu reakcijas minimizēšanai Francijā tika publicētas 1985.gadā. Rekomendācijas paredz pildvielas klasificēt: nereaģējošās (NR) un potenciāli reaģējošās (PR). Pildvielas ir nereaģējošas, ja to ķīmiskā analīze (petrogrāfiskais tests) parāda, ka $\text{SiO}_2 < 4\%$. Ja pildvielas satur vairāk kā 70% krama, tad pildviela ir uzskatāma par reaģējošu.

Sārņu cementam CEM III/A un B (sārņu piedeva 60 – 80 % robežās) ekvivalentā sārņu satura augšējo robeža noteikta $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} < 1.1\%$, bet CEM III/C (sārņu piedeva virs 80%) - $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} < 2\%$. Ja tiek lietoti citi cementa veidi (CEM I, CEM II, CEM IV), tad jāņem vērā cementa, pildvielu un piedevu kopējais sārņu saturs betonā.

Pieļaujamā sārma līmeņa noteikšanai betonā tiek apskatīti divi gadījumi:

a) Ja ir zināms sārņu saturs cementā, tad sārma ierobežojumu betonā var noteikt pēc formulas:

$$\text{Vidējā efektīvā vērtība: } T_m < \frac{3.5}{1+2V_c} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3},$$

Maksimālā efektīvā vērtība: $T_{\text{max}} < 3.5 \text{ kg/m}^3$, kur T ir kopējais ekvivalentā sārma saturs visām betona sastāvdaļām, V_c – sārņu satura izmaiņu koeficients cementā.

b) Ja sārņu satura robežas cementā nav zināmas, tad ekvivalentā sārma satura ierobežojumam betonā izmanto nosacījumus:

$$T_m < 3.0 \text{ kg/m}^3;$$

$$T_{\text{max}} < 3.3 \text{ kg/m}^3.$$

4.7. Prasības betonam Vācijā

Vācijā jau 70-os gados tika uzsākta sārnu-silīcija dioksīda reakcijas ietekmes uz betona bojājumu attīstību izpēte. Tā kā SSR ir komplekss process, tad arī pētījumi tiek veikti plašā diapazonā – ietverot pildvielu tipa, daudzuma, daļiņu lieluma un to sārmainības pētījumus.

Vācijas Dzelzsbetona apvienība (DAfStb)⁵¹ ir izstrādājusi rekomendācijas sārnu – silīcija dioksīda reakcijas iespējamā riska samazināšanai betonā (Rekomendācijas). Pirmās Rekomendācijas tika publicētas 1974.gadā, bet pēdējās 2007.gadā.

DIN 1164⁵² pie cementa ar zemu sārņu saturu pieskaita 4.6.tabulā dotos cementu tipus.

⁵⁰ PARTNER-project-GRD1-CT-2001-40103 Report 2.1. Key parameters influencing the alkali aggregate reaction. State-of-art-report, SINTEF, Norway, 2006, 134 p.

⁵¹ PARTNER-project-GRD1-CT-2001-40103 Report 2.1. Key parameters influencing the alkali aggregate reaction. State-of-art-report, SINTEF, Norway, 2006, 134 p.

⁵² DIN 1164-10 : 2004-08. Zement mit besonderen Eigenschaften

4.6.tabula. Cementu tipi ar zemu sārmu saturu

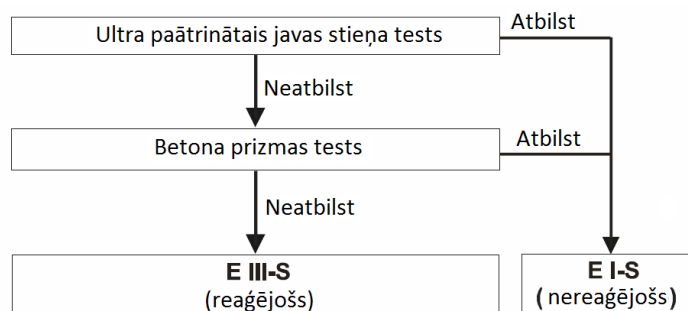
Cements	Kopējais $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ cementā [%]	
CEM I – CEM V izņemot CEM II/B-S	≤ 0.60	
Cements ar domnu izdedžu piedevu	Izdedžu piedeva [%]	Kopējais $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ cementā ar izdedžu piedevu [%]
CEM II/B-S	≥ 21	≥ 0.70
CEM III/A	≤ 49	≤ 0.95
	≥ 50	≤ 1.10
CEM III/B un CEM III/C	66-80 un 81-95	≤ 2.00

Vācijā smilti un granti iedala reaktivitātes klasēs. Vācijas Ziemeļos pie reaģējošām tiek pieskaitītas opalīna smilšakmens un mazākā mērā porainā krama grūntis, kuru reaktivitātes klases ir dotas 4.7.tabulā.

4.7.tabula. Sārma reakcijas klases opalīna smilšakmens pildvielām ar cementa saturu $\leq 330 \text{ kg/m}^3$, ieskaitot reaktīvo kramu 1 – 4 mm frakcija.

	Masas % ierobežojums reaktivitātes grupās		
	E I-O (nereāģējošs)	E II-O (nosacīti izmantojams)	E III-O (reaģējošs)
Opalīna smilšakmens + citi apālu saturoši minerālmateriāli	≤ 0.5	≤ 2.0	> 2

Piesardzības pasākumi ir jāveic, ja tiek lietotas rupjās pildvielas, kas satur: pelēko smilšakmeni, kriolītu, smalcinātu granti, pārstrādātu betonu, citus minerālmateriālus kuru reakcijas nav zināmas. Piesardzības pasākumi ietver pildvielu reaktivitātes laboratorisku izpēti. Vācijas Rekomendācijas prasa veikt divus testus saskaņā ar 4.1.att. doto shēmu:



4.1.att. Bloks shēma pildvielu testam

Vispirms pildvielas pārbauda ar paštrināto javas stieņa testu, ja pārbaudes prasības izpildās, tad pildvielas nav reaģējošas. Ja prasības neizpildās, tad veic betona prizmas testu, ievietojot to tvaika kamerā 40°C vai paštrināta testa gadījumā 60°C temperatūrā. Ja parauga izplešanās nepārsniedz Rekomendācijās noteiktos lielumus, tad pildviela klasificējama, kā nereāģējoša.

Lai notiktu SSR nepietiek tikai ar pietiekamu sārmu saturu cementā un reaģējošām pildvielām ir nepieciešams arī pietiekošs ūdens daudzums. Ja ārējais

mitrums satur sāli (ar Na vai K), tad SSR paātrinās. Vācijas specifikācijās ir definētas šādas ārējās vides mitruma klases:

WO – sauss;

WF – mitrs;

WA – mitras un sārmī piekļūst no ārpusē;

WS – mitrs, sārmī piekļūst no ārpusē un dinamiska slodze (tikai betona ceļa segām).

Lai samazināšana sārmu – silīcija dioksīda reakcijas iespējamos riskus Vācijas Rekomendācijas ietver 4.8. – 4.11.tabulā dotos piesardzības pasākumus betonam.

4.8.tabula⁵³. Piesardzības pasākumi pret kaitīgo SSR betonā (attiecas tikai uz betonu ar opalīna smilšakmeni un reaktīvo kramu) ar cementa saturu ≤ 330 kg/m³.

	Mitruma klases			
	WO	WF	WA	WS
E I-O	Nav	Nav	Nav	Cements saskaņā ar A5.9.tabulu
E II-O	Nav	Nav	Cements ar zemu sārmu saturu DIN 1164	Pildvielu nomaiņa
E III-O	Nav	Cements ar zemu sārmu saturu DIN 1164	Pildvielu nomaiņa	Pildvielu nomaiņa

4.9.tabula⁵⁴. Piesardzības pasākumi pret kaitīgo SSR betonā (attiecas tikai uz betonu ar opalīna smilšakmeni un reaktīvo kramu) ar cementa saturu ≥ 330 kg/m³.

	Vides apstākļi			
	WO	WF	WA	WS
E I-O	Nav	Nav	Nav	Cements saskaņā ar A5.9.tabulu
E II-O	Nav	Cements ar zemu sārmu saturu DIN 1164	Cements ar zemu sārmu saturu DIN 1164	Pildvielu nomaiņa
E III-O	Nav	Cements ar zemu sārmu saturu DIN 1164	Pildvielu nomaiņa	Pildvielu nomaiņa

⁵³ Betonpraxis. Der weg zu dauerhaftem Beton. Holcim. (2009)

⁵⁴ Betonpraxis. Der weg zu dauerhaftem Beton. Holcim. (2009)

4.10.tabula⁵³. Prasības sārmu saturam cementā, kas tiek izmantots vides klasei WS

Cements	Izdedžu piedevu saturs [%]	Na ₂ O _{eq} cementam	Na ₂ O _{eq} cementam bez izdedžu piedevas [%]
CEM I + CEM II/A	-	≤ 0.80	-
CEM II/B-T	-	-	≤ 0.90
CEM II/B-S	21-29	-	≤ 0.90
CEM II/B-S	30-35	-	≤ 1.00
CEM III/A	36-50	-	≤ 1.05

4.11.tabula⁵³. Piesardzības pasākumi pret kaitīgo SSR betonā, ja tiek pielietotas reaģējošas pildvielas

Reaktivitātes klases	Cementa saturs kg/m ³	Mitruma klases			
		WO	WF	WA	WS
E I-S	Nav ierobežojuma	Nav	Nav	Nav	Cements saskaņā ar A5.9.tabulu
E III-S	C ≤ 300	Nav	Nav	Nav	Cements saskaņā ar A5.9.tabulu
	300 < C ≤ 350	Nav	Nav	Cements ar zemu sārmu saturu DIN 1164	Cements saskaņā ar A5.9.tabulu vai pildvielu nomaiņa
	C > 350	Nav	Cements ar zemu sārmu saturu DIN 1164	Pildvielu nomaiņa	Cements saskaņā ar A5.9.tabulu vai pildvielu nomaiņa

Vācijā pielietotās specifikācijas ir līdzīgas specifikācijām, kādas lieto Lielbritānijā. Rekomendācijas uzsver, ka SSR var notikt tikai tad, ja betona poru struktūrā ir pietiekoši daudz sārms, ja ir pildvielas, kas var ar sārmu reaģēt un ja ir pietiekoši mitra vidē, kurā reakcijai notikt.

4.8. Prasības betonam Holandē

Holandē SSR izpēte ir uzsākta jau 60-jos gados. 1991.gadā tiek nodibināts Konstruktiju standartizācijas un izpētes centrs (CUR), kura B56 komiteja sāka koordinēt darbu pie SSR pētījumiem betonā.

Holandes pētniecības centra CUR rekomendācijās Nr.89⁵⁵ ir doti pasākumi sārmu-silīcija dioksīda (SSR) iespējamās reakcijas minimizēšanai. Sārmu efektīvo saturu betonā nosaka pildvielu un cementa izvēle. Sārmu-silīcija dioksīda reakcijas iespējamo risku var samazināt pareizi izvēloties betona sastāvdaļas.

Tiek pieņemts, ka izpildot 4.12.tabulā norādītās prasības cementam tiks minimizēta SSR attīstības iespēja.

⁵⁵ CUR-Recommendation 89 (second, revised edition) Measures to prevent damage to concrete by alkali-silica reaction (ASR)", April 2008, Gouda, The Netherlands.

Praksē tiek pielietotas dažādas cementu kombinācijas - ar vai bez pelnu piedevas. Prasības šādam cementam ir dotas 4.13.tabulā.

4.12.tabula. Prasības cementam (CUR rekomendācijās Nr.89, 1.tabula)

Cementa tips	CEM II/B-V			CEM III/A	CEM III/B
Cements ar pelnu vai izdedžu saturu [% (m/m)]	≥ 25		≥ 30	≥ 50	≥ 66
Pelnu Na ₂ O _e [% (m/m)]	x ≤ 2.0	2.0 < x ≤ 3.0	3.0 < x ≤ 4.5	-	-
Maksimālais sārmu saturs cementā un pelnos [% (m/m)]					
Ja sāрма daudzums no citām betona sastāvdaļām ≤ 0.6 kg/m ^{3 1)}	1.1	1.3	1.6	1.1	1.5
Ja sāрма daudzums no citām betona sastāvdaļām 0.6 < y ≤ 1.2 kg/m ^{3 1), 2)}	0.9	1.1	1.5	0.9	1.3
Ja sāрма daudzums no citām betona sastāvdaļām 1.2 < y ≤ 1.6 kg/m ^{3 1), 3)}	0.8	1.0	1.4	0.8	1.2

¹⁾ Ar citām betona sastāvdaļām saprot visas betona sastāvdaļas izņemot cementu un pelnus.

²⁾ Ir pierādīts, ka sārmu saturs citās piedevās un piejaukumos, izņemot pelnus, ir < 0.1 kg/m³, tādēļ pārējo betona sastāvdaļu maksimālo sārmu saturu var novērtēt ar 1.2 kg/m³.

³⁾ Ja sārmu saturs pārsniedz 1.6 kg/m³, tad sārmu saturu nosaka ar speciālu aprēķinu (CUR rekomendācijās Nr.89, G. pielikums).

4.13.tabula. Prasības cementam (CUR rekomendācijās Nr.89, 2.tabula)

Cementa tips	CEM I ar pelnu piedevu	CEM I ar pelnu piedevu	CEM III/B un CEM I bez pelniem
Cements ar izdedžu saturu [% (m/m)]	-	-	≥ 50
Pelnu saturs [% (m/m)]	≥ 25	≥ 30	-
Pelnu Na ₂ O _e [% (m/m)]	≤ 3.0	3.0 < x ≤ 4.5	-
Maksimālais sārmu saturs cementā un pelnos [% (m/m)]			
Ja sāрма daudzums no citām betona sastāvdaļām ≤ 0.6 kg/m ^{3 1)}	0.9	0.9	1.1
Ja sāрма daudzums no citām betona sastāvdaļām 0.6 < y ≤ 1.2 kg/m ^{3 1), 2)}	0.7	0.7	0.9
Ja sāрма daudzums no citām betona sastāvdaļām 1.2 < y ≤ 1.6 kg/m ^{3 1), 3)}	0.6	0.6	0.8

¹⁾ Ar citām betona sastāvdaļām saprot visas betona sastāvdaļas izņemot cementu un pelnus.

²⁾ Ir pierādīts, ka sārmu saturs citās piedevās un piejaukumos, izņemot pelnus, ir < 0.1 kg/m³, tādēļ pārējo betona sastāvdaļu maksimālo sārmu saturu var novērtēt ar 1.2 kg/m³.

³⁾ Ja sārmu saturs pārsniedz 1.6 kg/m³, tad sārmu saturu nosaka ar speciālu aprēķinu (CUR rekomendācijās Nr.89, G. pielikums).

CUR rekomendācijās Nr.89 dotas aprēķina metodes, kā noteikt sārmu saturu betonā izmantojot dažādas pildvielas un cementu (skat. 7.Pielikumu).

4.9. Prasības betonam Lielbritānijā

SSR izraisītie betona bojājumi pirmo reizi Lielbritānija ir konstatēti 1976.gadā. Kopš tā laika tiek veikti regulāri pētījumi SSR bojātajās konstrukcijās.

Projektējot dzelzsbetona konstrukcijas Lielbritānijā, papildus standarta EN 206-1:200 prasībām, ir jāņem vērā arī BS 8500-1:2006⁵⁶ un BS 8500-2:2006⁵⁷ standartu prasības. Augstāk minētie standarti nosaka, ka sārmu-silīcija dioksīda (SSR) iespējamās reakcijas minimizēšanai ir jāņem vērā rekomendācijas un ekvivalentā sārmu satura aprēķina metodes, kas dotas BRE Digest 330⁵⁸.

Lielbritānijā tiek pielietotas dažādas metodes pildvielu izplešanās noteikšanai, tās ir gan petrogrāfiskās metodes, gan paraugu uzglabāšana mitrā vidē un augstā temperatūrā. Tomēr, balstoties uz 12 mēnešu pildvielas izplešanās mērījumiem tās tiek iedalītas:

Vāji reaģējošas	$\leq 0.10\%$
Normāli reaģējošas	$\geq 0.10 \leq 0.20 \%$
Spēcīgi reaģējošas	$\geq 0.25 \%$

Portlandcements atkarībā no sārmu satura līmeņa tiek iedalīts šādās klasēs:

Zems sārmu saturs	$\leq 0.60\% \text{ Na}_2\text{O}$ ekv.
Vidējs sārmu saturs	$\geq 0.60 \leq 0.75\% \text{ Na}_2\text{O}$ ekv.
Augsts sārmu saturs	$> 0.75\% \text{ Na}_2\text{O}$ ekv.

BRE Digest 330 2.daļā ir dotas rekomendācijas sārmu satura ierobežojumiem betonā, kas apkopotas 4.14.tabulā.

4.14.tabula. Rekomendācijas sārmu satura ierobežojumam betonā (BRE Digest 330 2.d. 1.tabula)

Pildvielu tips vai to kombinācija	Sārma saturs CEM I tipa cementam vai CEM I kombinācijā ar malti granulētiem domnas sārņiem (ggbs) vai pulverveida kurināmā pelniem (pfa)		
	Zems sārmu saturs, garantētā vērtība $\leq 0.60\% \text{ Na}_2\text{O}$ ekv.	Vidējs sārmu saturs, deklarētā vērtība $> 0.60 \leq 0.75\% \text{ Na}_2\text{O}$ ekv.	Augsts sārmu saturs, deklarētā vērtība $> 0.75\% \text{ Na}_2\text{O}$ ekv.
Vāji reaģējošas	Pašierobežojošs, aprēķins nav vajadzīgs ⁺	Pašierobežojošs, aprēķins nav vajadzīgs ⁺	Ierobežojums: $\leq 5.0 \text{ kg Na}_2\text{O}$ ekv./m ³ ± ⁰
Normāli reaģējošas	Pašierobežojošs, aprēķins nav vajadzīgs [#]	Ierobežojums: $\leq 3.5 \text{ kg Na}_2\text{O}$ ekv./m ³ ± ^{\$}	Ierobežojums: $\leq 3.0 \text{ kg Na}_2\text{O}$ ekv./m ³ ± ⁰
Spēcīgi reaģējošas	Ierobežojums: $\leq 2.5 \text{ kg Na}_2\text{O}$ ekv./m ³ ■	Ierobežojums: $\leq 2.5 \text{ kg Na}_2\text{O}$ ekv./m ³ ■	Ierobežojums: $\leq 2.5 \text{ kg Na}_2\text{O}$ ekv./m ³ ■

Paskaidrojumi 4.14.tabulai:

- ⁺ Šie pašierobežojošie apstākļi un ar to saistītās rekomendācijas attiecas uz gadījumu:
- a) Ja betons satur 4.15.tabulā dotos cementa tipus vai jebkuru to kombināciju neatkarīgi no ggbs un pfa attiecības;
 - un b) Ja ekvivalentais sārmu daudzums svaigā betonā no citiem avotiem (pildvielas, piedevas, utt.) ir $\leq 0.60 \text{ kg Na}_2\text{O}$ ekv./m³. Šīs rekomendācijas neattiecas uz

⁵⁶ BS 8500-1:2006, Concrete – Complementary British Standard to BS EN 206-1 – Part 1: Method of specifying and guidance for the specifier.

⁵⁷ BS 8500-2:2006, Concrete – Complementary British Standard to BS EN 206-1 – Part 2: Specification for constituent materials and concrete.

⁵⁸ British Research Establishment (BRE) Digest 330 Alkali-silica reaction in concrete Part 1 – 4, 2004.

gadījumiem, kad šis daudzums tiek pārsniegts.

- ‡ Šī rekomendācija attiecas uz gadījumu:
- a) Ja betons satur 4.15.tabulā doto A., B*, B, vai C grupas cementu vai CEM I kombinācijā ar ggbs $\geq 40\%$ vai pfa $\geq 20\%$;
 - b) Ja ekvivalents sārma daudzums svaigā betonā no citiem avotiem (pildvielas, piedevas, utt.) ir ≤ 0.20 kg Na₂O ekv./m³. Ja šis daudzums tiek pārsniegts, tad kopējo ekvivalentā sārma daudzuma maksimālo vērtību no citiem avotiem ierobežo ar 0.60 kg Na₂O ekv./m³.
- un c) Ja sākotnējo vai laboto daudzumu iegūst no cementa CEM I vai kombinācijas.
-

- ⊕ Šī rekomendācija attiecas uz gadījumu:
- a) Ja betons satur CEM I kombināciju ar ggbs $< 40\%$ vai pfa $< 25\%$. Sārma daudzumu gan no ggbs gan pfa ir jāaprēķina saskaņā ar 4.16 un 4.17.tabulā dotajām rekomendācijām un rekomendētais sārma saturs ir jāsamazina par iegūtā sārma daudzumu;
 - b) Ja ekvivalents sārma daudzums svaigā betonā no citiem avotiem (pildvielas, piedevas, utt.) ir ≤ 0.20 kg Na₂O ekv./m³. Ja šis daudzums tiek pārsniegts, tad kopējo ekvivalentā sārma daudzuma maksimālo vērtību no citiem avotiem ierobežo līdz 0.60 kg Na₂O ekv./m³;
- un c) Ja sākotnējo vai laboto daudzumu iegūst no cementa CEM I vai kombinācijas.
-

- # Šie pašierobežojošie apstākļi un ar to saistītās rekomendācijas attiecas uz gadījumu:
- a) Ja betons satur 4.15.tabulā doto A., B, vai C grupas cementu vai CEM I kombinācijā ar ggbs $\geq 40\%$ vai pfa $\geq 25\%$;
 - un b) Ja ekvivalents sārma daudzums svaigā betonā no citiem avotiem (pildvielas, piedevas, utt.) ir ≤ 0.60 kg Na₂O ekv./m³. Šīs rekomendācijas neattiecas uz gadījumiem, kad šis daudzums tiek pārsniegts.
-

- \$ Šī rekomendācija attiecas uz gadījumu:
- a) Ja betons satur 4.15.tabulā doto A., B, vai C grupas cementu vai CEM I kombinācijā ar ggbs $\geq 40\%$ vai pfa $\geq 25\%$;
 - b) Ja ekvivalents sārma daudzums svaigā betonā, ko dod citi avoti (pildvielas, piedevas, utt.) ir ≤ 0.20 kg Na₂O ekv./m³. Ja šī vērtība ir pārsniegta, tad:
 - i.) Rekomendējamā robeža ir jāsamazina par sārma daudzumu ko dod citi avoti, maksimāli par 0.60 kg Na₂O ekv./m³;
 - un ii.) papildus, pfa saturošam cementam ar tā kombinācijai, attiecas 4.18.tabulā dotās maksimālās vērtības;
- un c) Ja sākotnējo vai laboto daudzumu iegūst no cementa CEM I vai kombinācijas.
-

- Šī rekomendācija attiecas uz gadījumu:
- a) Ja betons satur 4.15.tabulā doto A. vai C. grupas cementu vai CEM I kombinācijā ar ggbs $\geq 50\%$ vai pfa $\geq 40\%$;
 - b) Ja ekvivalents sārma daudzums svaigā betonā no citiem avotiem (pildvielas, piedevas, utt.) ir ≤ 0.60 kg Na₂O ekv./m³;
- un c) Ja sākotnējo vai laboto daudzumu iegūst no cementa CEM I vai kombinācijas.
-

4.15.tabula. Cementa grupas

Grupa	Cements	Cementa specifikācija un apzīmējums	ggbs un pfa proporcijas	Papildus ierobežojumi un proporcijas
A	Portlandcements	BS EN 197-1 CEMI		
	Portlandcements ar zemu siltumu	BS 1370		
	Sulfātizturīgs portlandcements	BS 4027		
	Kaļķakmens portlandcements	BS EN 197-1 CRM II/A-L vai LL		
B*	Sārņu portlandcements	BS EN 197-1 CEM II/B-S ⁺⁺	6-20% ggbs	<42% ggbs
		BS EN 197-1 CEM II/B-S ⁺⁺	21-35% ggbs	<42% ggbs
	Domnu sārņu cements	BS 146 BIIIA	36-65% ggbs	<42% ggbs
		BS EN 197-1 CEM III/A	36-65% ggbs	<42% ggbs
	Filtru pelnu portlandcements	BS EN 197-1 CEM II/A-V ⁺⁺	6-20% pfa	< 26% pfa
		BS EN 197-1 CEM II/B-V ⁺⁺	21-35% pfa	< 26% pfa
	Pucolāna cements	BS EN 197-1 CEM IV/A-V	11-35% pfa	< 26% pfa
B	Domnu sārņu cements	BS 146 BIIIA	36-65% ggbs	≥42% ggbs
		BS 146 BIIIB	66-80% ggbs	
		BS EN 197-1 CEM III/A	36-65% ggbs	≥42% ggbs
		BS EN 197-1 CEM III/B	66-80% ggbs	
		BS EN 197-1 CEM III/C	81-95% ggbs	
	Filtru pelnu portlandcements	BS EN 197-1 CEM II/B-V	21-35% pfa	≥ 26% pfa
	Pucolāna cements	BS EN 197-1 CEM IV/A-V	11-35% pfa	≥ 26% pfa
		BS EN 197-1 CEM IV/B-V	36-55% pfa	
	Pucolāna pfa cements	BS 6610	36-55% pfa	
C	Domnu sārņu cements	BS 146 BIIIA	36-65% ggbs	≥50% ggbs
		BS 146 BIIIB	66-80% ggbs	
		BS EN 197-1 CEM III/A	36-65% ggbs	≥50% ggbs
		BS EN 197-1 CEM III/B	66-80% ggbs	
		BS EN 197-1 CEM III/C	81-95% ggbs	
	Pucolāna cements	BS EN 197-1 CEM IV/B-V	36-55% pfa	≥ 40% pfa
	Pucolāna pfa cements	BS 6610	36-55% pfa	≥ 40% pfa
+ B* cements, ja domnu sārņu proporcija sastāda < 42% no galveno un otršķirīgo sastāvdaļu summārās masas, vai ja pfa proporcija sastāda < 26% no galveno un otršķirīgo sastāvdaļu summārās masas. Šim cementam atbilstošais sārma ieguldījums no ggbs vai pfa ir ietverts deklarētajā sārma daudzumā, kā noteikts BS EN 197-1:2000 NB4. ++ Cements nav viegli pieejams Lielbritānijā.				

4.16.tabula. Sārma daudzums no ggbs, kuru ņem vērā, ja galvenās proporcijas ir mazākas, kā rekomendēts 4.15.tabulā un 4.14.tabulas piezīmēs

ggbs proporcija cementā vai tā kombinācijā	ggbs daļa, kuru ņem vērā nosakot ekvivalentā sārma saturu cementā vai tā kombinācijā
25 – 39%	1/2
< 25%	visu

4.17.tabula. Sārma daudzums no pfa, kuru ņem vērā, ja galvenās proporcijas ir mazākas, kā rekomendēts 4.15.tabulā un 4.14.tabulas piezīmēs

pfa proporcija cementā vai tā kombinācijā	pfa daļa, kuru ņem vērā nosakot ekvivalentā sārma saturu cementā vai tā kombinācijā
20 – 24%	1/5
< 20%	visu

4.18.tabula. Rekomendētais maksimālais cementa vai tā kombinācijas saturs ja tā sastāvā ir pulverveida kurināmā pelni (pfa)

Sārma daudzums no citiem avotiem (kg Na ₂ O ekv./m ³)	CEM I tipa cementa deklarētais vidējais sārma saturs (kg/m ³) vai arī CEM I kombinācija		
	0.65%	0.70%	0.75%
0.21-0.30	550	540	530
0.31-0.40	550	525	510
0.41-0.50	550	515	490
0.51-0.60	550	505	470

Pie vāji reaģējošām pildvielām pieder: dolomīts, granīts, kaļķakmens, gneiss, kvarcs, tufs un daži citi minerāli. Tomēr katrā atsevišķā karjerā ir jāpārbauda to reakcijas spēju.

4.10. Prasības betonam Norvēģijā

SSR, kā betona ilgizturību ietekmējošu faktoru, Norvēģijā sāka ņemt vērā no 1988.gada. Šī reakcija attīstās lēnu, tādēļ ir jāpaiet 15-20 gadiem, kad var novērtēt tās postošo ietekmi. SSR ietekmi lielā mērā nosaka arī augstais sārma saturs Norvēģijas cementā.

Norvēģijas Betona asociācija 1996.gadā publicēja rekomendācijas NB21⁵⁹ par to kā cīnīties ar SSR. Rekomendācijām nebija standarta status, bet to norādījumi tika ņemti vērā praktiskajā projektēšanā.

Pildvielu reaktivitātes noteikšanai Norvēģijā tiek pielietotas trīs testu metodes⁶⁰: petrogrāfiskā analīze, paātrinātais javas stieņu tests, betona prizmu tests. Sārma reaktivitātes novērtējums nereaģējošām pildvielām, saskaņā ar iepriekš minētajām testu metodēm, ir dots 4.19. tabulā.

⁵⁹ Norwegian Concrete Association, *Durable concrete containing alkali reactive aggregates*, NB21, 1996, 5 + 27 pp including appendices. (in Norwegian).

⁶⁰ PARTNER-project-GRD1-CT-2001-40103 Report 2.1. Key parameters influencing the alkali aggregate reaction. State-of-art-report, SINTEF, Norway, 2006, 134 p.

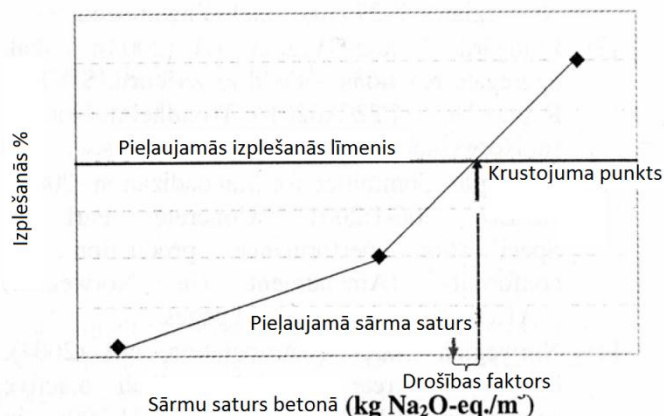
4.19.tabula. Kritiskās robežvērtības nereaģējošām pildvielām, nosakot sārmu reaktivitāti pildvielās un to maisījumos

	Izplešanās kritiskās robežvērtības trīs testu metodēm		
	Petrografiskā analīze	Paātrinātais javas stieņu tests	Betona prizmu tests
Smalkās pildvielas un to sajaukums	20%	0.14 %	0.040 %
Rupjās pildvielas un to sajaukums		0.08 %	0.040 %
Smalkas rupjās pildvielas		0.11 %	-
Smalko un rupju pildvielu maisījums	20%	0.11 %	0.050 %

Dažādu pildvielu sārmu reaktivāte tiek pārbaudīta un dokumentēta ar Norvēģijas betona prizmu metodi. Saistvielas tiek testētas betonā ar ārkārtīgi reaktīvām pildvielām. Pieļaujamie lielumi dažādiem cementa tiptiem un receptēm ir doti 4.20.tabulā. Atbilstības testu veic vienam vai diviem betona iekaukumiem. Rezultātu attēlo grafiski (4.2.att.) - kā izplešanos atkarībā no sārmu satura betona prizmā. Kā drošības faktors, tiek ņemts vērā ekvivalentā sārna samazinājums par 0.2 kg Na₂O_{eq} /m³.

4.20.tabula. Maksimālā pieļaujamā izplešanās vērtība prizmas testam.

	Cements satur puccolāna vai izdedžu piedevas?	Iedarbības laiks	Maksimāli pieļaujamā izplešanās pēc 1 gada iedarbības
CEM I, CEM II/A-V un CEM II/A-D, + potenciālās silīcija kvēpu piedevas	Nē	1 gads	< 0.050%
	Jā	1 gads	< 0.030%
Betons ar pārējiem saistvielu tiptiem	Jā un nē	1 gads	< 0.030%
	Jā un nē	2 gadi	< 0.060%



4.2.att. Sārmu pieļaujamā līmeņa noteikšanas principiālā diagramma⁶¹

⁶¹ Norwegian Concrete Association, Alkali aggregate reactions in concrete. Test methods and requirements to laboratories, NB32, 2004b, (in Norwegian).

4.7. Baltijas valstīs ražotā cementa atbilstības novērtējums „Tiltu specifikāciju 2005” noteiktajām prasībām

Baltijas valstīs cementu ražo trīs rūpnīcās: SIA „Cemex” Brocēnos, Kunda Nordic Igaunijā un Akmenes Cementas Lietuvā.

Iepazīstoties ar Kunda Nordic mājas lapu var secināt, ka viņi piedāvā CEM I 42.5 N, CEM I 42.5 R, CEM II/A-T 42.5 R, CEM II/B-M (T-L) 42.5 R, CEM I 52.5 R cementus. Mājas lapā nav norādīts cementa ķīmiskais sastāvs, tādēļ grūti novērtēt piedāvāto cementu atbilstību ilgizturīgu dzelzsbetona konstrukciju projektēšanai. Tomēr iepazīstoties ar ķīmisko sastāvu CEM I 42.5N (skat 3.pielikumu), kas tika piedāvāts tiltu būvniecībai Latvijā, var secināt, ka trikalcijs alumīnāta saturs $C_3A = 8.4\%$ ievērojami pārsniedz „Tiltu specifikācijās 2005” (Specifikācijas) rekomendētās vērtības ($> 5\%$). Cementam ir paaugstināts ekvivalentais sārmu saturs $Na_2O_{eq} = 1.2\%$, kaut gan tā vērtība Specifikācijās līdz šim nebija ierobežota. Tomēr Specifikācijas paredz, ka kopējais ekvivalentā sārma daudzums betonā nedrīkst pārsniegt 3 kg/m^3 .

Akmenes Cementas mājas lapā var atrast, ka viņi piedāvā CEM I 52.5 R, CEM I 42.5 N, CEM I 42.5 R, CEM II/A-LL 42.5 R, CEM II/A-LL 42.5 N, CEM II/A-S 42.5 N, CEM III/B 32.5 N-HL (SR) cementu. Mājas lapā ir norādīts ekvivalentās sārma Na_2O_{eq} saturs (4.17.tabula).

Apskatot Akmenes Cementas cementa CEM I 42.5 N, kas tiek piedāvāts tiltu būvniecībai Latvijā, ķīmisko sastāvu var secināt, ka trikalcijs alumīnāta saturs $C_3A = 8.59\%$ ievērojami pārsniedz „Tiltu specifikācijās 2005” rekomendētās vērtības. Tāpat kā Kundas Cementam arī šim ir paaugstināts ekvivalentais sārmu saturs $Na_2O_{eq} = 0.8 \%$. Specifikācijas paredz, ka kopējais ekvivalentā sārma daudzums betonā nedrīkst pārsniegt 3 kg/m^3 un to katrā šāda cementa pielietošanas gadījumā ir jānosaka ar aprēķinu.

4.21.tabula. Ekvivalentās sārma Na_2O_{eq} saturs cementā

CEM I 42.5 N, CEM I 42.5 R,	neierobežots
CEM I 42.5 N (MA), CEM I 42.5 R MA), CEM I 52.5 R, CEM II/A-S 42.5 N, CEM II/A-LL 42.5 N, CEM II/A-LL 42.5 R	$\leq 0.8 \%$

SIA „Cemex” Brocēnu cementa rūpnīca ražo četru marku cementu: CEM I 52.5 R, CEM I 42.5 N, CEM I 42.5 R, CEM II/A-M (S,L) 42.5 N. Piedāvāto cementa marku ķīmiskais sastāvs firmas mājas lapā nav pieejams.

Iepazīstoties ar cementa CEM I 42.5 N kvalitātes parametriem (skat. 5.Pielikumu), kurus ražotājs ir nodevis izpildītāju rīcībā, var secināt, ka tas pieder pie cementa ar augstu sārmu saturu, jo $Na_2O_{eq} = 0.9\%$, ($> 0.6 \%$ Na_2O ekv.), tā pat arī trikalcijs alumīnāta C_3A saturs 6.3% ir lielāks par „Tiltu specifikācijās 2005” rekomendēto vērtību (5%).

Tomēr ir jāatzīmē, ka 2000.gadā Brocēnu cementa rūpnīca spēja saražot cementu ar zemu sārmu saturu CEM I 42.5 SR (skat. 6. Pielikumu), kas atbilda ilgizturīga betona vajadzībām, $Na_2O_{eq} = 0.63\%$ un $C_3A = 2.2\%$.

5. Rezultātu analīze

Sārmu – silīcija dioksīda ķīmisko reakciju betonā izraisa portlandcements, pildvielu un piemaisījumu sastāvā esošie sārmī, kā arī vidē esošais ūdens. Reakcijas rezultātā veidojas gela substance, kas piesaistot ūdeni, maina savu tilpumu, izplešas un sagrauj betona monolīto struktūru. Attīstoties SSR betona virsmā veidojas smalku plaisu tīkls, kas ar laiku paplašinās līdz betona struktūra tiek sagrauta un tā zaudē savu nestspēju.

Sārmu – silīcija dioksīda reakcija var notikt tikai tad, ja vienlaicīgi betona poru struktūrā ir pietiekoši liels sārmu daudzums, betonā ir reaģējošas pildvielas un betonā ir pietiekoši daudz ūdens.

Pētījumi rāda, ka lielāko daļu sāрма veido cementā esošais sārms, pārējo sastāda pildvielās un piedevās esošais. Te jāņem vērā arī sārms, kurš betonā iekļūst no ārpusē – kopā ar pretapledošanas sāli. Pretapledošanas sāls lietošana lielā mērā ietekmē SSR attīstību tiltu balstu rīģēļos, ja virs tiem atrodas bojātas deformācijas šuves (5.1.att. un 5.2.att.). Te, protams, ir jāveic papildus pētījumi, jo līdzīgi var izskatīties arī sala izraisīti betona bojājumi.



5.1.att. SSR bojājumi tiltā pār Zunda kanālu Rīgā balsta uzkalā



5.2.att. SSR bojājumi Vairogu ielas ceļa pārvada uzkalā.

Dānijā un Vācijā veiktajos pētījumos ir aprakstīta SSR postošā iedarbība uz autoceļu betona segu, kura pakļauta ārkārtīgai agresīvai videi – mitrumam un pretapledošanas sālim ziemā. Šādam betonam ir ļoti stingras prasības attiecībā uz sārmu saturu gan cementā, gan pildvielās. Ziemā uz Latvijas autoceļiem tiek izkaisīts līdz $0.8 \text{ m}^3/\text{km NaCl}$, kas izšķīstot caur hidroizolācijas un deformācijas šuves bojājumiem, vai sāļas miglas veidā iesūcas betonā un palielina sārmu depozītu betona porās. Tādēļ ir svarīgi pēc iespējas samazināt sākotnējo (iekšējo) sārmu daudzumu betonā.

Biežāk pielietotajiem cementa tiptiem ekvivalentais sārmu saturs $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ cementā svārstās no 0.3 līdz 1.2%. Kā rāda citu valstu pieredze, kas apkopota 5.1.tabulā, ekvivalento sārmu saturu $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ cementā vajadzētu ierobežot ar 0.60%, bet kopējo sārmu saturu betonā rekomendējams ierobežot ar 3 kg/m^3 . Tā noteikšanai pielietojot kopējā ekvivalentā sārmu satura aprēķinu betonam (skat 7.pielikumu), kurā ņem vērā arī pildvielu reaktivitāti. Vairākās valstīs: Vācijā, Norvēģijā, Islandē, Zviedrijā, kā galvenais parametrs SSR novērtēšanai tiek pielietots paraugu izplešanās tests.

5.1.tabula. Dažu ES valstu prasības betonam agresīvā un ļoti agresīvā vidē

Nr. p.k	Valsts	Prasības betonam agresīvā un ļoti agresīvā vidē			Piezīmes
		Ekvivalentā sārmsaturs cementā $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ [%]	Ekvivalentā sārmsaturs betonā $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ [kg/m ³]	Prasība cementa sulfātizturībai C_3A [%]	
1.	Polija ⁶²	≤ 0.60	≤ 3.0	$\leq 3.0^*$	
2.	Dānija ^{63,64}	≤ 0.80	≤ 3.0	$\leq 5.0^*$	
3.	Francija ⁶⁵	-	≤ 3.0	3 – 5*	Ekvivalentā sārmsaturu betonā $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ nosaka ar aprēķinu
4.	Vācija ⁶⁶	$\leq 0.60^*$	Ierobežota paraugu izplešanās	≤ 3.0	*CEM I – CEM V izņemot CEM II/B-S
5.	Holande ⁶⁷	Nav ierobežojumu	≤ 3.0	$\leq 3.0^*$	** Kopējais $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ betonā nedrīkst pārsniegt 3 kg/m ³
6.	Lielbritānija ⁶⁸	$\leq 0.60\%$ - zems sārmsaturs $> 0.60 \leq 0.75\%$ - vidējs sārmsaturs $> 0.75\%$ - augsts sārmsaturs	$\leq 2.5^{***} - 5^{****}$	$\leq 3.5^{69}$	*** cements ar augstu sārmsaturu $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} > 0.75\%$ un nereaģējošas pildvielas **** cements ar zemu sārmsaturu $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} \leq 0.60\%$ un reaģējošas pildvielas
7.	Norvēģija ⁷⁰	Nav ierobežojumu	≤ 3.0	$\leq 3.0^*$	Tiek ierobežota betona parauga izplešanās ar 0.050% gadā - CEMI vai CEMII, bez sārnū piedevām, vai ar 0.030% gadā - CEMI vai CEMII ar sārnū piedevām. Kopējais $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ betonā nedrīkst pārsniegt 3 kg/m ³
8.	Beļģija ⁶³	≤ 0.60	≤ 3.0	$\leq 3.0^*$	CEM I
9.	Portugāle ⁶³	Nav ierobežojumu	$\leq 3.0^{\wedge}$ $\leq 2.5^{\wedge\wedge}$	Nav informācijas	$\wedge$ ar 2.pildvielu reaktivitātes klasi; $\wedge\wedge$ ar 3.pildvielu reaktivitātes klasi. Reaktivitātes klasi nosaka betona paraugu izplešanās tests.

* CEN/TC51/WG6 Draft report „Regional specifications for sulfate resisting cements” (2003)
Pilnu tabulu skat. 9.Pielikumā.

⁶² Rekomendacia Techniczna IBDiM Nr.RT/2009-03-0021 (2009)

⁶³ PARTNER-project-GRD1-CT-2001-40103 Report 2.1. Key parameters influencing the alkali aggregate reaction. State-of-art-report, SINTEF, Norway, 2006, 134 p.

⁶⁴ DS 2426:2004 Beton-Materialer-Regler for anvendelse af EN 206-1 i Danmark (Concrete – Materials – Rules for application of EN 206-1 in Denmark)

⁶⁵ PARTNER-project-GRD1-CT-2001-40103 Report 2.1. Key parameters influencing the alkali aggregate reaction. State-of-art-report, SINTEF, Norway, 2006, 134 p.

⁶⁶ DIN 1164-10/11/12 un DIN EN 197-1

⁶⁷ CUR-Recommendation 89 (second, revised edition) Measures to prevent damage to concrete by alkali-silica reaction (ASR)", April 2008, Gouda, The Netherlands.

⁶⁸ British Research Establishment (BRE) Digest 330 Alkali-silica reaction in concrete Part 1 – 4, 2004.

⁶⁹ BS 4027:1996 Specification for Sulfate-resisting Portland cement.

⁷⁰ Norwegian Concrete Association, *Durable concrete containing alkali reactive aggregates*. NB21, 2004

Te jāņem vērā tas, ka pildvielu reaktivitāte (izplešanās spēja sārnu ietekmē) Latvijā nav pētīta. Valda uzskats, ka Latvijā esošās betona pildvielas ir neaktīvas. Kaut gan izpildītāju rīcībā nav ticamas informācijas par Latvijā esošo betona pildvielu - smilts vai šķembu, reaktivitātes pētījumiem. Tomēr aizdomīgi lielais plaisu daudzums relatīvi jaunās konstrukcijās liecina par to, ka betona pildvielas nemaz tik neaktīvas nav, vai arī cementa sārnu saturs ievērojami pārsniedz deklarēto. Bez tam tiltu betonam nepieciešamās rupjās pildvielas (granīta šķembas) ieved no ārzemēm, tādā gadījumā materiāla sertifikātā ir jāprasa norādīt pildvielu aktivitāti reaģējot ar sārmiem.

Pildvielu reaktivitātes noteikšanai varētu pielietot Vācijā izmantotās metodes: petrogrāfisko analīzi, paātrināto javas stieņa testu vai betona prizmas testu. Petrogrāfisko analīzi veikt ir sarežģīti, jo Latvijā nav šādas tehnikas un tā ir ļoti dārga. Šāda tipa analīze būtu jāveic Zviedrijas vai Vācijas laboratorijās. Latvijā var veikt paātrināto javas stieņa testu vai betona prizmas testu, kuru var veikt normāli aprīkotā būvmateriālu laboratorijā, izmantojot Vācijas standarta noteikumus. Polijā veiktajā pētījumā⁷¹ tiek dota ASV lietoto ASTM C 289, ASTM C 227, ASTM C1260 un ASTM C 1293 metožu apraksts un pielietošanas pieredze. ASTM testus veic pildvielām var veikt arī RTU Akmens materiālu laboratorijā.

SSR attīstībai ļoti svarīgs ir pietiekošs ūdens daudzums, t.i. augsts relatīvais mitrums un siltums. Kā rāda Valsts Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra dati, tad relatīvais gaisa mitrums Latvijas teritorijā variē starp 65%RH un 96%RH. Savukārt pētījumu dati parāda, ka visaktīvāk SSR attīstās pie 80 – 100% relatīvā mitruma. Tas nozīmē, ka Latvijas klimats ir labvēlīgs SSR attīstībai. Siltās vasaras nodrošina arī augstas gaisa temperatūras, kas vēl vairāk paātrina reakciju attīstību.

„Tiltu specifikācijās 2005” ietvertās prasības ilgizturīga betona projektēšanai ir balstītas uz pēdējo 15 gadu pieredzi tiltu projektēšanā. 90-o gadu beigās Latvija sāka apgūt ES programmas PHARE līdzekļus transporta infrastruktūras atjaunošanai. Šajā laikā tika saņemta tehniska palīdzība no Skandināvijas valstīm jaunas, uz rietumu tehnoloģiskajiem sasniegumiem balstītas, tehniskās pieejas transportbūvju projektēšanā un būvniecībā. Viens no šīs pieejas virzieniem bija ilgizturīgu konstrukciju projektēšana. Strādājot pie PHARES finansētajiem projektiem tiltam pār Gauju pie Carnikavas uz a/c A1, kā arī pie tilta pār Mēmeli Bauskā Latvijas tiltu projektēšanas praksē tika ieviestas Rietumeiropā pielietotās projektēšanas metodes. Projekta sastāvā pirmo reizi tika ietvertas tāmes ar vienības cenām, kurām klāt nāca katra darbu veida sīka specifikācija, kas ietvēra dažādas prasības materiālu un darbu kvalitātei. Tā kā projekti tika izstrādāti angļu un latviešu valodā un tie bija jāiesniedz apstiprināšanai PHARES programmas vadītājiem Briselē, tad Latvijas tiltu projektētājiem bija jāveido sadarbība ar ārvalstu konsultantiem, kas palīdzētu šo darbu veikt. Laba sadarbība izveidojās ar Dānijas projektētāju konsultantu firmu COWI, kas arī izskaidro to, kāpēc Latvijas projektēšanas praksē tika ieviestas daudzas Dānijā lietotās tehnoloģijas, ieskaitot prasības cementam un betonam. Izstrādājot „Tiltu specifikācijas 2005” tajās tika ietvertas tiltu projektos pielietotās prasības

⁷¹ Zdzisława Owsiak Testing alkali-reactivity of selected concrete aggregates, Journal of civil engineering and management, 2007, Vol XIII, No 3, 201–207

betonam. Vairākas Specifikāciju prasības atbilst Dānijas standarta DS 2426 prasībām attiecībā uz betona sastāvu un kvalitāti (5.2. un 5.3.tabulas).

5.2.tabula. Papildus prasības betonam (S5.4-2.tabula)

Īpašības	Vides iedarbības klases			
	P	M	A	E
Maksimālā. ū/c attiecība	-	0,55	0,45	0,40
Minimālā betona stiprības klase	C12/15	C25/30	C35/45	C40/50
Minimālā cementa stiprības klase	32.5	42.5	42.5	42.5
Minimālais cementa saturs betonā, kg/m ³	260	300	320	340
Max. pelnu un cementa attiecība*	-	0,33	0,33	0,33
Max. mikrosilīcija un cementa attiecība**	-	0,11	0,11	0,11
Ekvivalentā sārma maksimālais saturs kg/m ³ pie 0.60% javas	-	3,0	3,0	3,0
Hlorīdu satura klase	Cl 0.40 Cl 0.20	Cl 0.20	Cl 0.20	Cl 0.20 Cl 0.10
Minimālais gaisa saturs svaigā betonā (%) no apjoma	4,5	4,5	4,5	4,5
Minimālais gaisa saturs sacietējušā betonā (%)	4,0	4,0	4,0	4,0
Salizturības tests***	-	labs	labs	labs

5.3.tabula. Papildus prasības pildvielām (S5.4-4. Tabula)

Raksturojums	Pildvielas veids	Precizētās prasības
Sārma reaktivitāte, max. izplešanās 52 nedēļās (%)	Rupjās pildvielas	0,040
Sārma reaktivitāte, max. izplešanās 14 dienās (%)	Rupjās pildvielas	0,1
Max. ūdens absorbcija % no pildvielas apjoma	Rupjās pildvielas	1,0
Max. izplešanās 20 nedēļās %	Smalkās pildvielas	0,1
Max. saturs daļiņām, kuru izmērs ir mazāks par 0,063 mm, no smalkajām pildvielām, %	Smalkās pildvielas	3,0

Apskatītā dažādu valstu pieredze SSR ierobežošanai norāda uz to, ka varētu pielaut pielietot cementu ar lielāku sārma saturu, ja uzņēmējs var pierādīt, ka pielietotās betona pildvielas ir nereagējošas. Tad varētu 5.2.tabulu papildināt ar noteikumu, ka, aprēķinot ekvivalento sārma saturu betonā, drīkst pielietot cementu ar ekvivalentā sārma $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ saturu augstāku par 0.60%, ja kopējais (cementa, pildvielu un piedevu) ekvivalentā sārma $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ saturs betonā nepārsniedz 3.0 kg/m³. Savukārt prasības, kas dotas 5.3.tabulā varētu papildināt ar noteikumu, ka prasība var tikt aizvietota ar citas ES valsts standarta noteikumu attiecībā uz nereagējošu pildvielu izplešanās nosacījumiem, atkarībā no pielietotās testa metodes veida. Kā arī noteikt, ka pildvielu piegādātājam ir jāiesniedz apliecinājums par sārma saturu pildvielās, norādot konkrētu sārma saturu (kg/m³).

„Tiltu specifikācijās 2005” norādīts, ka betona izgatavošanai drīkst izmantot tikai šādus cementa tipus: CEM I 32,5, CEM I 42,5 N, CEM I 42,5 R, CEM I 52,5 N vai

CEM I 52,5 R, ja nav citas norādes papildu aprakstā vai nav saņemta Būvinženiera atļauja. Ņemot vērā starptautisko pieredzi, augstāk doto cementu tipu sarakstu vajadzētu papildināt ar šādiem cementa tipiem (ar zemu sārmu saturu): CEM I 42.5 N-HSR/NA; CEM II B-V 42,5 N, CEM II A-V 42.5 N, CEM II A-M (S-L) 42,5 N (priekšlikumi ņemti no dažādu valstu rekomendācijās ietvertajiem cementu tipiem).

„Tiltu specifikācijās 2005” vajadzētu saglabāt LVS EN 197-1 Nacionālā pielikuma prasību par sulfātzsturīga cementa (NA.2. punkts) pielietošanu (ar trikalcija alumināta (C_3A) saturu mazāku par 5%), jo arī etringīta attīstībai Latvijā ir labi ārējās vides noteikumi. Pieļaut palielinātu C_3A saturu cementā līdz 8% var tikai tad, ja būvuzņēmējs pārliecinoši pierāda, ka ū/c attiecība betonā būs zemāka par 0.45.

Lai konstatētu esošo un SSR apjomu Latvijas dzelzsbetona tiltos un prognozēt tās attīstību nākotnē vajadzētu veikt pētījumu, kurā analizēt SSR bojājumu attīstību dažāda vecuma dzelzsbetona tiltos.

Latvijā nav izstrādātas rekomendācijas ilgizturīga betona projektēšanai. Ilgizturīgu dzelzsbetona konstrukciju pielietošana ir īpaši svarīga laikā, kad ir ierobežoti finanšu līdzekļi būvniecībai.

Tai pat laikā vajadzēt rekomendēt uzņēmējiem ieguldīt no 1% (būvuzņēmējiem) - 4 % (konsultantiem) no projekta vērtības izpētē⁷².

Rekomendēt pildvielu piegādātājiem veikt pētījumu par Latvijā tradicionāli lietoto pildvielu reakcijas spēju ar cementā esošajiem sārmiem.

Portlandcimenta ražošanā pētījumiem vajadzētu ietvert: izejmateriālu (mālu, smilts, kaļķakmens, u.c.) optimālas izvēles un tehnoloģiskās korekcijas, lai samazinātu Na_2O ekvivalentu; smalki malto minerālpiedevu pastiprinātu izmantošanas iespējas izpēti, alternatīvu paņēmieni meklējumi portlandcimenta tehnoloģijas optimizēšanai.

Rekomendēt betona ražotājiem veikt pētījumus betona ražošanas tehnoloģijā: Izmantot plašāk kompozīto portlandcementu CEM II A-M (S-L) 42,5 N betona un dzelzsbetona konstrukciju izgatavošanai, lietojot pildvielas, kas varētu izraisīt pildvielu reakcijas ar sārmiem; veikt pildvielu laboratorijas testus uz pildvielu reakcijas spēju ar sārma elementiem, pildvielu petrogrāfijas pārbaudes un citas Eiropā atzītas pārbaūžu metodes visos gadījumos, kad ir izgatavojamas īpaši atbildīgas dzelzsbetona konstrukcijas. Kā arī veikt pētījumus šādos virzienos: kā betonu ražošanai pielietot pielietot ķīmiskās piedevas uz litija nitrāta bāzes, kā arī pucolānpiedevas, elektrofiltru putekļus (fly ash), lai samazinātu cementa daudzumu betonā un pastiprinā sulfātzsturību tiem betona veidiem, kas ir izgatavoti no I tipa cementiem (ar augstu C_3A saturu); kā pielietot kaļķakmens pildvielas kā piedevu materiālu, gadījumos, kad ir reaktīvas pildvielas.

Betona raksturojums dažām nozīmīgām transportbūvēm, kas pēdējos gados uzbūvētas Eiropā, ir dots 5.4. un 5.5.tabulā.

⁷² Wenzel H. The role of large research projekts in structural engineering, IABSE Symposium, Melbourne (2002)

5.4.tabula⁷³. Dažu lielu tiltu un būvju būvniecībā pielietotā betona raksturojums

Konstrukcija	Lamanša tunelis (Francija/ Lielbritānija)	Konfederācijas tilts (Kanāda)	Vasko da Gama tilts Lisabonā (Portugāle)	Oresundas –tunelis (Dānija/Zviedrija)
Būvniecības periods	1987-1992	1993-1997	1995-1998	1995-2000
Projektētais konstrukcijas kalpošanas laiks	120 gadi	100 gadi	120 gadi	100 gadi
Betona klase	B45 un B55	B55	B40,B45 un B50	B50
Saistvielas veids	CEM I PM (piejaukumi aizliegti)	CEM I +SF	FA saturošs PM (jūras ūdens) cements	CEM I +FA
Maksimālā Ū/C attiecība	0.32	0.34	Starp 0.33 un 0.42	0.4
Minimālais cementa (C) daudzums (kg*m ⁻³)	400	-	400	275
Minimālais C+A daudzums	-	450	-	340
Papildvielas	nereaģējošas	Nereaģējošas ievērojot sārnu – silikāta reakciju , kas noteikta ASTM Standartā	nereaģējošas	Nereaģējošas (petrogrāfiskā analīze), kas noteikta ASTM Standartā

5.5.tabula⁷². Dažu lielu tiltu un būvju būvniecībā pielietotā betona raksturojums

Konstrukcija	Medway viadukts (Lielbritānija)	Condamines ostas paplašinājums Monako – peldošā piestātne (Francija)	Rion-Antirion tilts (Griekija)	Millau viadukts (Francija)
Būvniecības periods	1998-2001	1999-2002	1996-2005	2002-2004
Projektētais konstrukcijas kalpošanas laiks	100 gadi	100 gadi	120 gadi	120 gadi
Betona klase	C40 līdz C60	B54, B65	C45/55	B60
Saistvielas veids	CEM I +sārņi vai CEM I +FA	Cementa fabrikā atjaunota trīskārša saistviela: CEM I PM (jūras ūdens)+FA+SF	CEM III (vairāk kā 60% sārņi)	CEM I 52,5 N PM ES CP2 – viadukta konstrukcijai nekādu piejaukumu
Maksimālā Ū/C attiecība	0.45 līdz 0.50	Maksimālais ū/c attiecība = 0.35	0.4	Maksimālā Ū/C attiecība =0.45, efekt. Ū/C attiecība 0.335
Minimālais cementa (C) daudzums (kg*m ⁻³)	-	-	-	Pieņemts: 420
Minimālais C+A daudzums	325 līdz 350	425	400	-
Pildvielas	-	Klase A, nereaģējošas	Klase A, nereaģējošas	Klase A, nereaģējošas

⁷³ French Civil Engineering Association, Concrete design for given structure service life. Durability management with regards to reinforcement corrosion and alkali-silica reaction. State of art Report and Guide. 240 p. (2007)

6. Secinājumi un rekomendācijas

- 1) Sārmu – silīcija dioksīda ķīmisko reakciju betonā izraisa portlandcements, pildvielu un piedevu sastāvā esošie sārmī. Reakcijas rezultātā veidojas gela substance, kas piesaistot ūdeni, maina savu tilpumu, izplešas un sagrauj betona monolīto struktūru. Attīstoties SSR betona virsmā veidojas smalku plaisu tīkls, kas ar laiku paplašinās līdz betona struktūra tiek sagrauta un tā zaudē savu nestspēju.
- 2) Pētījuma rezultātā ir konstatēts, ka 19 no 27 CEN dalībvalstīm ir izstrādājušas noteikumus, kas papildina standarta EN 206-1:2000 norādījumus attiecībā uz betona maisījuma projektēšanu. Tā pat ir jāatzīmē, ka 17 no 27 CEN dalībvalstīm ir izstrādājušas savus noteikumus sārmu – silīcija dioksīda reakcijas iespējamā riska samazināšanai.
- 3) Analizējot Dānijas, Norvēģijas, Francijas, Lielbritānijas, Vācijas, Holandes un Polijas pieejas sārmu-silīcija dioksīda (SSR) iespējamās reakcijas minimizēšanai var secināt, ka „Tiltu specifikācijās 2005” dotajās prasības, principā, atbilst šajās valstīs izvirzītajām prasībām cementam un pildvielām, kas tiek lietotas transportbūvju betona izgatavošanai.
- 4) Baltijas valstīs darbojas trīs cementu ražojošas rūpnīcās: SIA „Cemex” Brocēnos, Kunda Nordic Igaunijā un Akmenes Cementas Lietuvā. Pētot Baltijas valstīs ražotā cementa CEM I atbilstību „Tiltu specifikāciju 2005” rekomendācijām optimālam betona sastāva projektēšanai, var konstatēt, ka trikalcijs alumīnāts saturs cementā pārsniedz rekomendētās vērtības, kā arī cements ir ar palielinātu sārma saturu, tādēļ tas šīm rekomendācijām atbilst tikai daļēji.
- 5) Ņemot vērā analizēto starptautisko pieredzi un pētījumu rezultātu analīzi var rekomendēt veikt šādas izmaiņas „Tiltu specifikāciju 2005” prasībās attiecībā uz betona konstrukciju projektēšanu un būvniecību:
 - a. „Tiltu specifikāciju 2005” S5.4-2.tabulu papildināt ar rindiņu par maksimālo ekvivalentā sārma saturu $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ cementā $\leq 0.60\%$.
 - b. Precizēt S5.4-2.tabulas rindiņu, nosakot maksimālo ekvivalentā sārma saturu $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ betonā $\leq 3.0 \text{ kg/m}^3$.
 - c. „Tiltu specifikāciju 2005” S5.4-2.tabulu papildināt ar piezīmi, ka aprēķinot ekvivalentā sārma saturu betonā drīkst pielietot cementu ar ekvivalentā sārma $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ saturu augstāku par 0.60% , ja kopējais (cements, pildvielu un piedevu) ekvivalentā sārma $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ saturs betonā nepārsniedz 3.0 kg/m^3 .
 - d. „Tiltu specifikāciju 2005” S5.4-4.tabulu papildināt ar piezīmi, ka prasība var tikt aizvietota ar citas ES valsts standarta noteikumu attiecībā uz nereaģējošu pildvielu izplešanās nosacījumiem, atkarībā no pielietotās testa metodes veida.
 - e. „Tiltu specifikāciju 2005” 5.4.punktu papildināt ar prasību: Pildvielu piegādātājam ir jāiesniedz apliecinājums par sārma saturu pildvielās, norādot konkrētu sārma saturu (kg/m^3).

- f. Papildināt atļauto cementu tipu uzskaitījumu ar CEM I 42.5 N-HSR/NA; CEM II B-V 42,5 N, CEM II A-V 42.5 N, CEM II A-M (S-L) 42,5 N.
- 6) Rekomendēt VAS „Latvijas Valsts ceļi” veikt pētījumu: „SSR bojājumu apjomu izpēte dažāda vecuma dzelzsbetona tiltos Latvijā un prognozes tās attīstībai nākotnē”, kā arī izstrādāt „Rekomendācijas ilgizturīga betona projektēšanai tiltu konstrukcijām”.
- 7) Rekomendēt pildvielu piegādātājiem veikt pētījumu par Latvijā tradicionāli lietoto pildvielu reakcijas spēju ar cementā esošajiem sārmim.
- 8) Rekomendēt cementa ražotājiem veikt pētījumus šādos virzienos: kā betonu ražošanai pielietot pucolānpiedevas, elektrofiltru putekļus (fly ash), lai samazinātu cementa daudzumu betonā un pastiprinā sulfātzturību tiem betona veidiem, kas ir izgatavoti no I tipa cementiem (ar augstu C_3A saturu); kā pielietot kaļķakmens pildvielas kā piedevu materiālu, gadījumos, kad ir reaktīvas pildvielas.

PIELIKUMI

1. Pielikums. Eiropas Betona piegādātāju organizācijas ERMCO apkopotā informācija par betona standarta papildinājumiem

1.tabula. CEN dalībvalstīs izstrādātie EN 206-1:2000 „Betons - 1.daļa: Tehniskie noteikumi, darbu izpildījums, ražošana un atbilstība” papildinājumi un Nacionālā pielikuma dokumenti

CEN dalībvalsts	Nacionālais pielikums vai papildinājumi
Austrija	ÖNORM B 4710-1: Beton - Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis (Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206-1 für Normal- und Schwerbeton) Concrete — Part 1: Specification, production, use and verification of conformity (Rules for the implementation of ÖNORM EN 206-1 for normal and heavy concrete) ÖNORM B 4710-2: Beton - Teil 2: Gefügedichter Leichtbeton mit einer Mindesttrockenrohdichte von 800 kg/m³ — Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis (Regeln zur Umsetzung der EN 206-1 für Leichtbeton) Concrete — Part 2: Lightweight concrete with closed structures and a minimum dry density of 800 kg/m³ — Specification, production, use and proof of conformity (Rules for the implementation of ÖNORM EN 206-1 for lightweight concrete)
Beļģija	NBN B 15-001: Supplément à la NBN EN 206-1 – Béton – Spécification, performances, production et conformité NBN B 15-001: Aanvulling op NBN EN 206-1 – Beton – Eisen, gedraging, vervaardiging en conformiteit (Supplement to NBN EN 206-1: Concrete – Specification, performance, production and conformity)
Kipra	Nav informācijas
Čehija	ČSN EN 206-1 Změna Z3 (May 2008) – National Annex - only in Czech language
Dānija	DS 2426: Beton – Materialer – Regler for anvendelse af EN 206-1 i Danmark (Concrete – Materials – Rules for the application of EN 206-1 in Denmark)
Igaunija	Nav informācijas
Somija	Suomen rakentamismääräyskokoelma, B4 Betonirakenteet, Liite 3: Kansallinen liite standardiin SFS-EN 206-1 (National Building Code of Finland, B4 Concrete structures, Annex 3: national Annex to standard SFS-EN 206-1) Informative Guidance document: Betoninormit 2004, Suomen Betoniyhdistys (Concrete Code, Finnish Concrete Association)

Francija	National annex included in the NF EN 206-1 standard
Vācija	DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität –Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1 (DIN 1045-2: Concrete, reinforced and prestressed concrete structures Part 2: Concrete - Specification, properties, production and conformity - Application rules for DIN EN 206-1)
Griekija	Nav informācijas
Ungārija	Nav informācijas
Islande	Nav informācijas
Īrija	National Annex; published with I.S. EN 206-1 as a single document.
Itālija	UNI 11104: Calcestruzzo - Specificazione, prestazione produzione e conformità Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1 (Concrete – Specification, performance, production and conformity, Additional provisions for the application of EN 206-1)
Latvija	Nav informācijas
Lietuva	Nav informācijas
Luksemburga	DNA EN 206: Document National d'Application luxembourgeois de l'EN 206: Béton – Partie 1: Spécification, performances, production et conformité (DNA EN 206: Luxemburgish national application document of the EN 206-1: Concrete - Part 1: specification, performance, production and conformity)
Malta	There are no national provisions, but in the past, local industry has used recommendations in European, British or German standards
Holande	NEN 8005: 2004: Nederlandse invulling van NEN-EN 206-1: Beton - Deel 1: Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit (Dutch supplement to NEN-EN 206-1: Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity)
Norvēģija	NS-EN 206-1 National Annex. Available in English.
Polija	PN-EN 206-1 Beton Część 1. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność (PN-EN 206-1 Concrete. Part 1: Specification, performance, production and conformity)and national annex PN-B-06265 published as a single document..
Portugāle	The Portuguese requirements are in the National Annex to NP EN 206-1 and to NP ENV 13670-1 and in the following National Civil Engineering Laboratory (LNEC)

	specifications, referenced in the NA of NP EN 206-1 LNEC E 461: 2004 – Metodologia para prevenir reacções expansivas internas (Methodology for avoiding internal expansive reactions) LNEC E 464: 2005 – Metodologia prescritiva para uma vida útil de 50 e 100 anos face às acções ambientais (Prescriptive methodology for a 50 and 100 years design working life under the environmental exposures) LNEC E 465: 2005 – Metodologia para estimar as propriedades de desempenho do betão que permitam satisfazer a vida útil de projecto de estruturas de betão armado ou pré-esforçado sob as exposições ambientais XC e XS (Methodology for estimating the concrete performance properties allowing to comply with the design working life of the reinforced or prestressed concrete structures under the environmental exposures XC and XS)
Slovākija	SIST 1026: Beton - 1.del: Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost – Pravila za uporabo SIST EN 206-1 (SIST 1026: Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity – Rules for the implementation of SIST EN 206-1)
Spānija	Nav adoptējusi EN 206
Zviedrija	SS 13 70 03: 2008 Betong – Användning av EN 206-1 i Sverige (Concrete - Application of EN 206-1 in Sweden) Vägledning för val av exponeringsklass enligt SS-EN 206-1, Betongrapport nr 11, Svenska Betongföreningen (Guidance for selection of exposure class according to SS-EN 206-1, Concrete report No 11, Swedish Concrete Association)
Šveice	SN EN 206-1: 2000: Beton – Teil 1 – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität (mit Nationalem Vorwort und Nationalem Anhang) (SN-EN 206-1: 2000: Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity (with National Preface and National Annex)) SN EN 206-1: 2000/A1: 2004 – Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität (SN EN 206-1: 2000/A2: 2005: Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity) Ergänzung zum Nationalen Anhang NB der Norm SN EN 206-1:2000: Teil 1 – Verwendung von Zementen und Zusatzstoffen gemäss dem Prinzip der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit (in Arbeit) (Amendments to the National Annex of the SN EN 206-1: Part 1 - Use of cements)

	and mineral additions according to the equivalent performance concept of concrete properties (in preparation)) Nationaler Anhang NC der Norm SN EN 206-1: 2000: Teil 1 – Anwendung des k-Wert Konzeptes gemäss dem Prinzip der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit (Application of the k-value concept according to the principle of the equivalent concrete performance) Neufassung der Ziffer 8.2.3.2 des Nationalen Anhangs zur Norm SN EN 206-1:2000 Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität Neufassung der Tabelle NA.3 des Nationalen Anhangs vom 30.04.2009
Turcija	Nav EN 206 nacionālā pielikuma.
Lielbritānija	BS 8500: Concrete Complementary British Standard to BS EN 206-1 Part 1: Method of specifying and guidance for the specifier Part 2: Specification for constituent materials and concrete

2.tabula. CEN dalībvalstīs izstrādātie noteikumi sārnu – silīcija dioksīda reakcijas iespējamā riska samazināšanai

CEN dalībvalsts	Noteikumi sārnu – silīcija dioksīda reakcijas iespējamā riska samazināšanai
Austrija	ÖNORM B 3100: Beurteilung der Alkali-Kieselsäure-Reaktivität im Beton (Assessment of the alkali silica reactivity in concrete, Evaluation de la réactivité alcali-silice dans le béton)
Beļģija	Lai pasargātos no sārnu silīcija dioksīda reakcijas ir jāpielieto vismaz viens no šiem noteikumiem: • Sārnu daudzuma ierobežošana betonā; • Izmantot mazsārmainu cementu, kas atbilst NBN B 12-109 prasībām; • Izmantot nereaģējošas pildvielas; • Izmantot betonu ar zemu ūdens cementa attiecību.
Čehija	CSN EN 206-1: Zmena Z2 (paragraph NA.3)
Dānija	DS 2426: Beton – Materialer – Regler for anvendelse af EN 206-1 i Danmark (Concrete – Materials – Rules for the application of EN 206-1 in Denmark)
Somija	Nav
Francija	Guidelines: Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction, LCPC, juin 1994 (Recommendations for the prevention of damage by the alkali-aggregate reaction) – (available in English))

Vācija	DAfStb-Richtlinie: Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie) (DAfStb-Guideline Preventive measures against deleterious alkali-reaction in concrete (Alkali-Guideline), 2007
Īrija	Alkali-Silica Reaction in Concrete, published by The Institution of Engineers of Ireland and The Irish Concrete Society, 2003. (IEI/ICS ASR Report)
Itālija	UNI 8981- 2 Rev. 2006: Durability of concrete works and precast elements – Criteria for the avoidance of alkali-silica reaction (pop-out).
Luksemburga	DNA EN 206
Holande	NEN 8005: 2004 states in a note that if CUR Recommendation 89 (2002) Measures to prevent concrete damage because of ASR is adhered to, the requirement in 5.2.3.4 (..., actions shall be taken to prevent deleterious alkali-silica reaction using procedures of established suitability) in EN 206-1 has been fulfilled. CUR Recommendation 89 Measures to prevent damage to concrete by alkali-silica reaction (ASR).
Norvēģija	The Norwegian Concrete Association, Publication NB 21. This Publication is normative according to the National Annex.
Polija	Polish standard, PN-B-19707:2003 Cement. Special cement. Composition, requirements and conformity criteria
Portugāle	LNEC E 461: 2004: Metodologia para prevenir reacções expansivas internas (Methodology for avoiding internal expansive reactions)
Slovākija	STN EN 206-1/NA Betón. Časť 1: Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda. Národná príloha,, čl.5.2.3.4. STN EN 206-1/NA Concrete. Part 1: Specification, performance, production and conformity. National Annex, paragraph 5.2.3.4. More details on tests are provided in standard STN 72 1179 and STN 721160
Slovēnija	Nav
Zviedrija	SS 13 70 03
Šveice	SN EN 206-1: 2000: National Annex (Table 1.1, Ref. [1]). Amendments will be elaborated
Lielbritānija	BS 8500-2 (see Table 1). More detailed guidance is provided in BRE Digest 330: Alkali-silica reaction in concrete

2. Pielikums. Poļu cementa ar zemu sārmu saturu sastāvs

ŚWIADECTWO JAKOŚCI CEMENTU

Cement portlandzki PN-B-19707 – CEM I 42,5 N - HSR/NA

Certyfikat zgodności: 232/09-019-09S

Deklaracja zgodności WE: CH-01/09

Okres wysyłki: październik 2010

Cecha	Jedn.	Wynik średni	Wymagania normy PN-B-19707:2003
Początek wiązania	min	139	≥ 60
Koniec wiązania	min	198	
Wodożądność	%	28,1	
Stalność objętości	mm	1,4	≤ 10
Powierzchnia właściwa	cm ² /g	3372	
Wytrzymałość na ściskanie:			
po 2 dniach	MPa	23,0	≥ 10
po 28 dniach	MPa	49,3	$\geq 42,5 \leq 62,5$
Analiza chemiczna:			
Al ₂ O ₃	%	3,36	$\leq 5,0$
SO ₃	%	3,06	$\leq 3,5$
Cl	%	0,065	$\leq 0,10$
Na ₂ O _{eq}	%	0,41	$\leq 0,6$
Części nierozpuszczalne	%	0,48	$\leq 5,0$
Straty prażenia	%	1,09	$\leq 5,0$
C ₃ A	%	1,53	$\leq 3,0$
C ₄ AF + 2*C ₃ A	%	16,31	$\leq 20,0$
C ₃ S	%	57,16	

Zawartość rozpuszczalnego chromu Cr(VI) poniżej 2 ppm

KIEROWNIK
Zespołu Doradztwa Technicznego
Andrzej Wojcik

3.Pielikums. Kunda Nordic cementa CEM I 42.5N ķīmiskais sastāvs

 KUNDA NORDIC HEIDELBERGCEMENT Group		Kunda Nordic Cement Corporation Jaama street 2 44106 Kunda Estonia	
Telephones: 372 32 29900 in Kunda 372 6 209650 in Tallinn		Fax: 372 32 21546 in Kunda 372 6 209656 in Tallinn	
Managing Director: Tapio Aura, GSM 372 5 035215		Sales Director: Aarne Rae GSM 372 5 049485	
Tallinn Office: Peterburi road 75 11415 Tallinn			
Appendix No1		31.08.07.	

Certificate of Quality

Product: Portland Cement EN 197-1 CEM I 42,5N, trade mark - Normal Cement

<u>CEMENT QUALITY (average)</u>	<u>Normal Cement</u> <u>CEM I 42,5N</u>
<u>Physical</u>	
Compr. Strength, MPa 1 days	15
2 days	29
28 days	51
Initial setting time, minutes:	215
Standard consistence, %	30
Soundness (expansion), mm:	1
Fineness, m ² /kg:	355
<u>Chemical</u>	
C ₃ A, %	8.4
MgO, %	4.3
SO ₃ , %	2.7
LOI, %	2.4
Na ₂ O equiv, %	1.2
IR, %	0.6
Cl ⁻ , %	<0,01
Cr(6+), ppm	<2
<u>STANDARDS:</u>	
to which requirements cement conforms	EVS-EN 197-1:2002
<u>TESTING:</u>	
	EVS-EN 196

NORMAL CEMENT EC-Certificate of Conformity 1504-CPD-022/05

4. Pielikums. Akmenes Cementas cementa CEM I 42.5N ķīmiskais sastāvs



2011-04-08

Цемент (обычный)
Произведен согласно требованиям LST EN 197-1
(средние показатели)

Свойства цемента	CEM I 42,5N
Физико-механические	
Прочность на сжатие, МПа	
в возрасте 1 сут	-
в возрасте 2 сут	22± 3
в возрасте 28 суток	50 + 3
Начало схватывания, мин	160
Равномерность изм. объема, мм	1,0
Водопотребность, %	25,0
Остаток на ст. 90 мш сите, %	3,1
Удельная поверхность, (см²/g)	3500
Химические	
Потери при прокаливании, %	1,5
Нерастворимый остаток, %	0,4
Содержание сульфатов (SO ₃), %	2,8
Хлориды (Cl ⁻), %	0,01
Теплота гидратации, J/g	323

Клинкер
(средние показатели)

SiO ₂	20,48%	MgO	3,99 %	LOI	0,30 %
Al ₂ O ₃	5,55 %	CaO _{наисво}	0,86 %	IR	0,07 %
Fe ₂ O ₃	3,58 %	C ₃ S	56,60%	LSF	96,13
CaO	63,13 %	C ₂ S	15,76%	Kp	0,90
SO ₃	0,73 %	C ₃ A	8,59 %	Sm	2,24
Cl ⁻	0,002 %	C ₄ AF	10,85 %	Am	1,55

Менеджер по качеству

Н. Ваушнене

Тел.+370 425 58 497

5. Pielikums. Brocēnu cementa CEM I 42.5 N kvalitātes parametri 2011

Kvalitātes parametri

CEM I 42,5 N



SIA „CEMEX” BROČENU CEMENTA RUPNICA

1325-CPD-1368: LVS EN 197-1:2000; LVS EN 197-2:2000 (Latvija)

GOST 10178; GOST 30515-97; GOST 31108-2003 (Krievija)

GOST 10178-85; GOST 30108-94; GOST 31108-2003 (Baltkrievijā)

Periods: 14. - 21.janvāris, 2011

Ķīmiskās pārbaudes							
Nr.	Rādītājs	Mērv.	Vērtības	Nr.	Rādītājs	Mērv.	Vērtības
1	Karsēš.zud	%	1,04	12	Cl	%	0,08
2	Nešķ.atlik.	%	0,16	13	Brīvais CaO	%	1,6
3	SiO ₂	%	19,2	14	LSF	%	92,9
4	Al ₂ O ₃	%	4,2	15	SM		2,7
5	Fe ₂ O ₃	%	3,1	16	AM		1,3
6	CaO	%	63,1	17	C ₃ S	%	57,8
7	MgO	%	3,3	18	C ₂ S	%	14,8
8	K ₂ O	%	1,18	19	C ₃ A	%	6,3
9	Na ₂ O	%	0,16	20	C4AF	%	9,3
10	Na ₂ Oekv.	%	0,9	21	Cr ⁶⁺	ppm	<2.0
11	SO ₃	%	3,45				

Fizikālās pārbaudes									
Nr.	Rādītājs	Mērv.	Vērtības	Nr.	Rādītājs	Mērv.	Vērtības		
1	MALUMA SMALKUMS			4	TILPUMA IZPLEŠANĀS (Le Šatalje)	mm	0,9		
	Sieti : R>0.32	%	9,5						
	Sieti : R>0.45	%	2,3	5	SPIEDES STIPRĪBA				
	Īpatnējā virsma	cm ² /g	3818						
2	Normālā konsistence		26,9		pēc 2 dienām	N/mm ²	27,5		
3					pēc 7 dienām	N/mm ²	47,0		
	Sākums	h:min	3:08		pēc 28 dienām	N/mm ²	59,0		
	Beigas	h:min	3:41						

6.Pielikums. Brocēnu cementa CEM I 42.5 SR kvalitātes sertifikāts 2000



AKCIJU SABIEDRĪBA "BROČĒNI"

JURIDISKĀ ADRESE:
Liepnieku iela 15, BROČĒNI
LV-3851, Latvija
Tālr: 7033500
Fakss: 7033514
PARSTĀVniecība:
Podraģa iela 2, Rīga,
LV-1007, Latvija
Tālr: 7033418
Fakss: 7033439
E-mail: broceni@broceni-readym

SULFĀTIZTURĪGĀ PORTLANDCEMENTA KVALITĀTES SERTIFIKĀTS

Portlandcements tips un stiprības klase: **CEM I 42,5 SR**

A/S "BROČĒNI" ražotais portlandcements CEM I 42,5 SR sertificēts:
Latvija (LVS 164:1999 CEM I 42,5, Nr. 00195)

Ķīmiskās pārbaudes

Nr.	Rādītājs	Mērv.	Rezult.	Pēdējie rezult.
1.	Karseš.zud	%	0,71	13.06.00
2.	Nešķ.atlik.	%	0,2	13.06.00
3.	SiO ₂	%	21,50	13.06.00
4.	Al ₂ O ₃	%	4,35	13.06.00
5.	Fe ₂ O ₃	%	4,95	13.06.00
6.	CaO	%	63,50	13.06.00
7.	MgO	%	2,20	13.06.00
8.	K ₂ O	%	0,58	22.06.00
9.	Na ₂ O	%	0,25	22.06.00
10.	Na ₂ O+K ₂ O	%	0,63	22.06.00

Nr.	Rādītājs	Mērv.	Rezultāts	Pēdējie rezult.
11.	SO ₃	%	3,04	05.07.00
12.	Cl	%	0,002	28.06.00
13.	Brvais CaO	%	0,64	27.06.00
14.	KH		0,89	13.06.00
15.	Si m		2,3	13.06.00
16.	Al m		0,9	13.06.00
17.	C ₂ S	%	17	13.06.00
18.	C ₃ S	%	52	13.06.00
19.	C ₄ A	%	2,2	13.06.00
20.	C ₄ AF	%	15,0	13.06.00

Fizikālās pārbaudes

Nr.	Rādītājs	Mērv.	Rezultāts	Pēdējie rezult.
1.	Maluma smalkums			
	Sietis : R>0.2	%	0,04	05.07.00
	R>0.08	%	5,8	05.07.00
	Ipatnējā virsma	cm ² /g	3367	05.07.00
2.	Normāl konsistence	%	24,0	05.07.00
3.	Sākoties laiki			
	Sākums	H:min	2:30	05.07.00
	Beigas	H:min	3:10	05.07.00

Nr.	Rādītājs	Mērv.	Rezultāts	Pēdējie rezult.
4.	Tūpuma izpleš. Nevienmērīgums			
	Le šatēje	mm	1,3	04.07.00
5.	Spiedes stiprība			
	pēc 1 dienas	N/mm ²	8,5	04.07.00
	pēc 2 dienām	N/mm ²	16,2	05.07.00
	pēc 7 dienām	N/mm ²	36,3	16.06.00
	pēc 28 dienām	N/mm ²	52,2	02.06.00

2000.gada 8.jūlijā.

A/S "Brocēni" Kvalitātes dienesta vadītājs :

A. Miezis

7. Pielikums. Sārmu satura aprēķina piemēri betonā

Saskaņā ar CUR – Recommendations 89 (Holande)

Example 4: Calculation for concrete based on CEM I with fly ash

Raw material	Concrete composition (kg/m ³)	Alkali content (% m/m)
CEM I	320	0.7
Fly ash	145	≤ 4.5
Water	160	0.001
Sand	800	0.012
Gravel	1100	0.01
Admixture	3	2.0

* The alkali content (Na₂O_e) of the fly ash is lower than 4.5%.

The contribution of alkalis can be calculated from the data and the calculated alkali content of sand, gravel and admixture:

- Sand	:	800 x 0.012%	=	0.096 kg/m ³
- Gravel	:	1100 x 0.01%	=	0.11
- Water	:	160 x 0.001	=	0.0016
- Admixture	:	3 x 2.0%	=	0.06
Total			=	<u>0.268 kg/m³</u>

Assessment using Table 2 in 5.3

The portion of fly ash in the cement / fly ash mixture is: $145 / (145 + 320) * 100 = 31\%$ (m/m). This complies with the requirement in Table 2.

The contribution by the other constituents is less than 0.6 kg/m³. As a result, the maximum allowed alkali content of the cement is 0.9% (m/m), which is higher than the alkali content of CEM I, which is 0.7% (m/m).

Saskaņā ar Digest 330, Part. 3 (2004) rekomendācijām (Lielbritānija).

Example 2				
	Portland cement	Combination	Combined aggregate^[1]	Water
Concrete component	BS EN 197-1 CEM I	Not specified	Gravel >60% flint	Potable
Alkali (% Na ₂ O eq)	Declared mean 0.64	–	0.01 ^[2]	N/a
Target mean content (kg/m ³)	465	–	1730	–

[1] Flint gravel (coarse and fine)

[2] Calculated in the combined aggregate from a measured chloride ion content of 0.013%

- i The alkali content of the CEM I Portland cement is classified in Table 1 as **moderate alkali PC**.
- ii The reactivity of the aggregate combination is classified (Table 1 and the section 'Aggregates') as **normal**.
- iii The appropriate recommendation in Table 1, located at the intersection of the classifications, is given as:
Limit: $\leq 3.5 \text{ kg Na}_2\text{O eq/m}^3$ (Notes $\diamond$ and $\S$).
- iv Reference to Note #, Table 1 indicates:
 - a the appropriateness of a CEM I Portland cement (Table 6 for cements in Group A) as a recommended alternative (and the inappropriateness of Note $\S$ because it excludes a Portland cement in Group A);
 - b **the need to calculate, separately, whether alkali contributed from other sources exceeds $0.20 \text{ kg Na}_2\text{O eq/m}^3$** . Mix water is potable and is deemed to contribute no alkali; no admixture has been selected; accordingly, only a contribution from the combined aggregate needs to be taken into account, as follows:

$$\text{alkali contributed from the combined aggregate} = \frac{0.01 \times 1730}{100} = 0.17 \text{ kg Na}_2\text{O eq/m}^3.$$
 - c **As $0.17 \text{ kg Na}_2\text{O eq/m}^3$ is less than the limiting value of $0.20 \text{ kg Na}_2\text{O eq/m}^3$, the recommended limit ($\leq 3.5 \text{ kg Na}_2\text{O eq/m}^3$) should not be reduced.**
- v Since a **limit value** ($\leq 3.5 \text{ kg Na}_2\text{O eq/m}^3$) forms the basis for the recommendation, **the alkali content of the concrete, derived only from the CEM I Portland cement, must be calculated**, as follows:

$$\text{alkali contributed from the Portland cement} = \frac{0.64 \times 465}{100} = 3.0 \text{ kg Na}_2\text{O eq/m}^3.$$

As $3.0 \text{ kg Na}_2\text{O eq/m}^3$ is less than $3.5 \text{ kg Na}_2\text{O eq/m}^3$, this recommended limit has been met.
- vi From the information obtained, all the conditions appropriate to the recommendations in Table 1 have been met, so there is no need to consider alternative concrete components nor a reduced Portland cement content.

**8.Pielikums. Tabula no Eiropas standartizācijas komitejas CEN/TC51
6.darba grupas ziņojuma projekta „Reģionālās specifikācijas un
rekomendācijas sulfātzīturīgam cementam”**

3. Draft, 13.8.2003

5

Table 1: Requirements to sulfate resisting CEM I cements in different countries

Country	Standard	Actual version	Class	CEM I C ₃ A %	SO ₃ ¹⁾ %	Al ₂ O ₃ %	C ₂ AF %	m.a.c. ¹⁾ %	Additional requirements
Austria	B 3227-1/-2	2002/2001	HS HS C ₃ A free	≤ 3,0 0,0	-	-	-	-	
Belgium	NBN B12-108	2001	HSR	≤ 3,0	-	≤ 5,0	-	-	
Czech Republic	CSN 72 2103	2002	sulfate resisting	≤ 3,5	≤ 3,5	≤ 5,0	-	-	≤ 3,0 SO ₃ for 32,5 N, R and 42,5 N, R ≤ 3,5 SO ₃ for 42,5 R, 52,5 N, R
Denmark	DS/INF 135	2001	HS NS	≤ 5 ≤ 8	-	-	-	-	
Finland	SFS 3165			≤ 3,0	-	≤ 5,0	-	-	
France	XP P 15-319	1995	sulfate resisting	≤ 3 3-5	≤ 3,5 ≤ 2,5	-	≤ 20 ²⁾	≤ 3,0 %	≤ 0,1 % additives, L.O.I. ≤ 3,0 %, I.R. ≤ 0,75 %, MgO ≤ 4,0 %
	NF P 15-317	1995	seawater resisting	≤ 3 3-5	≤ 3,5 ≤ 2,5	-	≤ 20 ²⁾	≤ 3,0 %	
Germany	DIN 1164	2000	HS	≤ 3,0	-	≤ 5,0	-	-	
Greece	P.D. 244/1980	1980	portland sulfate resisting	≤ 3,5	≤ 2,5	-	-	0	I.R. < 1,5 %
Ireland	BS 4027	1996	sulfate resisting	≤ 3,5	≤ 2,5	-	-	0	L.O.I. ≤ 4,0 %, I.R. ≤ 1,5 %
Italy	UNI 9158	1997	Moderate	≤ 8 ≤ 10	≤ 3,5 ≤ 3,0	-	-	-	
			High	≤ 3 ≤ 5	≤ 3,5 ≤ 3,0	-	-	-	
			very high	0	-	-	≤ 20	-	
Luxembourg	CTL 2		HSR	≤ 3,0	-	≤ 5,0	-	-	
Netherlands	NEN 3550	2002	HS	≤ 3	-	≤ 5	-	-	
Norway	NS 3086	2002	SR	≤ 3	-	-	-	-	
Portugal	-	-	-	-	-	-	-	-	
Spain	UNE 80303-1	2001	sulfate resisting	≤ 5	-	-	≤ 22 ³⁾	-	
	UNE 80303-2	2001	seawater resisting	≤ 5	-	-	≤ 22 ³⁾	-	
Sweden	SS 134204	2001	SR	≤ 3,5	-	-	-	-	
Switzerland	Annex to SN EN 197-1	2000	HS	≤ 3,0	-	-	-	-	
United Kingdom	BS 4027	1996	sulfate resisting	≤ 3,5	≤ 2,5	-	-	0	L.O.I. ≤ 4,0 %, I.R. ≤ 1,5 %

¹⁾ In addition to the requirements of EN 197-1

²⁾ C₂AF + 2 x C₃A

³⁾ C₃A + C₂AF

m.a.c.: minor additional constituents
L.O.I.: loss on ignition
I.R.: insoluble residue

wg 6_tab 1_cem l.doc