

Pasūtītājs: **VAS "Latvijas Valsts ceļi"**
Gogoļa iela 3, Rīga, LV-1050
Reģistrācijas Nr. 90000158490

Izpildītājs: **SIA "Ceļu eksperts"**
Aveņu iela 1, Daugavmala, Tīnūžu
pagasts, Ikšķiles novads, LV-5052
Reģistrācijas Nr. 40003876635

Pamatojums: 06.06.2014. līgums
LVC2014/1.10/2/AC

ATSKAITE **par izpildīto darbu**

Pētījums "Grunšu uzlabošana un stabilizācija, izmantojot hidrauliskās saistvielas"

Gala atskaite

SIA "Ceļu eksperts"
Valdes priekšsēdētājs

Aigars Strežs

2015. gada 1. decembrī

Rīga, 2015. gads

Apstiprinu, SIA "Ceļu eksperts" valdes priekšsēdētājs Aigars Strežs (vārds, uzvārds, paraksts)		
Pētniecības projekta nosaukums		
Grunšu uzlabošana un stabilizācija, izmantojot hidrauliskās saistvielas		
Līguma numurs	LVC2014/1.10/2/AC	
Līguma slēgšanas datums	2014. gada 6. jūnijā	
Pētniecības projekta stadija	2	
Starpziņojumu kopējais skaits	3 starpziņojumi un 1 gala atskaite	
Ziņojuma nodošanas datums	2015. gada 1. decembris	
Pētniecības projekta stadijas izstrādes periods	2015. gada 15. maijs – 2015. gada 1. decembris	
Lappušu skaits	78 lapas + pielikumi	
Disks vai cits datu nesējs (ir/nav)	ir	
Eksemplāru skaits	1	
Pētniecības programma		
JAUNU TEHNOLOĢIJU IZPĒTES PROGRAMMA		
2014. - 2016. GADAM		
Pētniecības projekta izpildītāji	Vārds, Uzvārds	Paraksts
Pētniecības projekta vadītājs	Aigars Strežs	
Pētnieks	Jānis Kivilands	
Pētnieks	Romāns Pumpass	
Pētnieks	Jānis Logins	
Pētnieks	Andrejs Tiščenko	
Pētnieks	Jānis Baumanis	
Pētnieks	Eva Pakarna	
Projektu finansē	VAS "Latvijas valsts ceļi" / Satiksmes ministrija	
Partneri	SIA "Cemex", bs Lucane Sarl, Rīgas Tehniskā universitāte	
Īss apraksts Latvijā šobrīd nav vērā ņemamas praktiskās pieredzes grunšu stabilizācijai. Turklāt ceļu būvniecībā kā saistvielas ļoti maz tiek izmantoti tādi vietējie materiāli kā kaļķis un cements, un saistvielas uz to bāzes, kuru lietošana potenciāli var samazināt būvdarbu izmaksas, kā arī ievērojami samazināt būvdarbu rezultātā radīto kaitējumu videi. Pētījuma galvenais mērķis ir veikt Latvijā tipisko grunšu uzlabošanas un stabilizācijas maisījumu projektēšanu laboratorijā, lai izvērtētu grunšu uzlabošanas un stabilizācijas potenciālo efektivitāti, kas ļautu būvēt gan saimnieciskāk, gan efektīvāk, turklāt paaugstinot šādi uzbūvētu konstrukciju kalpotspēju un noturību ilgtermiņā.		
Pielietojums/pētījuma sfēra	Zemes klātne, grunts	
Papildus izstrādātie materiāli	Grunts stabilizācijas maisījumi	

Saturs

SATURS	3
1 VISPĀRĒJA INFORMĀCIJA	4
2 REALIZĒTĀ LABORATORIJAS UN BŪVOBJEKTU DARBU PROGRAMMA	7
3 GRUNTS PARAUGU ATLASE	10
3.1 RUPJA GRUNTS – SMILTS (SE, SW VAI SI)	11
3.2 JAUKTA GRUNTS - SMILTS-MĀLA MAISĪJUMS (ST*)	13
3.3 SMĀLKA GRUNTS - PUTEKĻU GRUNTS (UL VAI UM)	15
3.4 SMĀLKA GRUNTS - CIETI PLASTISKS MĀLS (TL)	16
3.5 SMĀLKA GRUNTS - MĪKSTI PLASTISKS MĀLS (TM)	17
3.6 ORGANOGĒNA GRUNTS VAI GRUNTS AR ORGANISKIEM PIEJĀUKUMIEM (OU, OT, OH VAI OK)	18
3.7 PĻAVIŅU DOLOMĪTA ATMĀZGĀTIE PUTEKĻI	20
4 GRUNTS STABILIZĀCIJAS SASTĀVI, TESTĒŠANA, ANALĪZE	21
4.1 RUPJAS GRUNTS – SMILTS (SE) STABILIZĀCIJAS SASTĀVI	23
4.2 JAUKTAS GRUNTS SMILTS-MĀLA (ST*) STABILIZĀCIJAS SASTĀVI	27
4.3 SMĀLKAS GRUNTS – PUTEKĻU GRUNTS (UL) STABILIZĀCIJAS SASTĀVI	32
4.4 SMĀLKAS GRUNTS CIETI PLASTISKA MĀLA (TL) STABILIZĀCIJAS SASTĀVI	34
4.5 SMĀLKAS GRUNTS MĪKSTI PLASTISKA MĀLA (TM) STABILIZĀCIJAS SASTĀVI	38
4.6 GRUNTS AR ORGANISKIEM PIEJĀUKUMIEM (OH) STABILIZĀCIJAS SASTĀVI	42
4.7 STABILIZĀCIJAS SASTĀVI, IZMANTOJOT CEMENTA PIEDEVU ROADCEM	46
4.8 GRUNTS PASTIPRINĀŠANAS SASTĀVI, UZLABOJOT PLASTISKAS MĀLA GRUNTIS AR PĻAVIŅU ATMĀZGĀTIEM RUPJIEM PUTEKĻIEM BEZ SAISTVIELĀM	49
5 TESTĒŠANAS REZULTĀTU KOPSKATI	51
5.1 GRUNŠU UN GRUNŠU MAISĪJUMU AR SAISTVIELU OPTIMĀLAIS ŪDENS SATURS UN TILPUMSVARS	51
5.2 GRUNŠU UN GRUNŠU MAISĪJUMU AR SAISTVIELU TNI UN CBR	52
5.3 SPIEDES STIPRĪBA PĒC 7 DIENU UN 28 DIENU CIETĒŠANAS	54
5.4 SPIEDES STIPRĪBA PĒC SALIZTURĪBAS 5, 10, 15, 50 CIKLIEM	55
5.5 AR SAISTVIELĀM SAISTĪTU PARAUGU TNI UN ELASTĪBAS MODULIS – GOST	56
5.6 TNI UN ELASTĪBAS MODUĻA PĒC GOST REZULTĀTU ATTIECĪBA PRET SPIEDES STIPRĪBU	57
5.7 AR SAISTVIELĀM SAISTĪTU PARAUGU ELASTĪBAS MODUĻI	58
5.8 PIEDEVAS ROADCEM IETEKME	60
6 CEĻA KONSTRUKCIJU PIEMĒRI	61
6.1 CEĻA SEGAS KONSTRUKCIJAS UN STABILIZĀCIJAS SASTĀVA PIEMĒRS BŪVOBJEKTĀ " AVEŅU IELA IKŠKILĒ "	61
6.2 SEGAS KONSTRUKCIJAS UN STABILIZĀCIJAS SASTĀVA PIEMĒRS BŪVOBJEKTĀ " VALSTS AUTOCEĻŠ DDD "	63
6.3 CEĻA SEGAS KONSTRUKCIJAS UN STABILIZĀCIJAS SASTĀVA PIEMĒRS BŪVOBJEKTĀ " AUTOCEĻŠ P87 BAUSKA - AIZKRAUKLE KM 63,36 - 65,16 "	66
7 MIKROSKOPA ANALĪZES	68
8 SECINĀJUMI UN TURPMĀKIE PĒTĪJUMU VIRZIENI	76
9 PIELIKUMI	78

1 Vispārēja informācija

SIA "Ceļu eksperts" 06.06.2014. noslēdza līgumu LVC2014/1.10/2/AC ar VAS "Latvijas Valsts ceļi" par pētījumu *"Grunšu uzlabošana un stabilizācija, izmantojot hidrauliskās saistvielas"*.

Pētījuma DARBA UZDEVUMS:

1. Mērķis

Latvijā šobrīd faktiski netiek paredzēta un veikta esošo grunšu uzlabošana vai stabilizācija. Pašreiz, veicot būvdarbus, vājās gruntis tiek novāktas un aizstātas ar labākām - ceļu būvniecībai piemērotām gruntīm. Šāda pieeja nodrošina paredzēto autoceļa tehnisko un kalpotspējas parametru iegūšanu, bet šāda pieeja nav vērsta uz apkārtējās vides resursu iespējami saudzīgu un efektīvu izlietojumu.

Latvijā šobrīd nav arī vērā ņemamas praktiskās pieredzes grunšu stabilizācijai. Turklāt ceļu būvniecībā kā saistvielas ļoti maz tiek izmantoti tādi vietējie materiāli kā kaļķis un cements, un saistvielas uz to bāzes, kuru lietošana potenciāli var samazināt būvdarbu izmaksas, kā arī ievērojami samazināt būvdarbu rezultātā radīto kaitējumu videi. Tas ļautu būvēt saimnieciskāk, efektīvāk, turklāt paaugstinot šādi uzbūvētu konstrukciju kalpotspēju un noturību ilgtermiņā. Arī citur pasaulē esošo vājo grunšu uzlabošana un stabilizācija tiek plaši praktizēta.

Latvijā gruntis ir ļoti dažādas, bieži ar ļoti zemām nestspējas īpašībām. Līdz ar to pētījuma galvenais mērķis ir veikt tipisko grunšu uzlabošanas un stabilizācijas maisījumu projektēšanu laboratorijā, lai izvērtētu grunšu uzlabošanas un stabilizācijas potenciālo efektivitāti. Tas ļautu būvēt gan saimnieciskāk, gan efektīvāk, turklāt paaugstinot šādi uzbūvētu konstrukciju kalpotspēju un noturību ilgtermiņā.

Lai veicinātu grunšu uzlabošanas un stabilizācijas lietošanu, apkopojot gan šajā pētniecības darbā, gan iepriekš gūtās atziņas, paredzēta arī specifiskā uzlabošana un rokasgrāmatas izstrāde.

2. Laboratorijā izpildāmo darbu saturs

Jāparedz izmantot 5 - 6 dažādas Latvijas apstākļiem tipiskas gruntis:

1 - 2 gruntis pārstāvnieciskas no tiem: SE, SW, SI, GU, GT, SU, ST, OK;

1 - 2 gruntis pārstāvnieciskas no tiem: UL; UM; OU, OT;

1 - 2 gruntis pārstāvnieciskas no tiem: TM, TA.

Veikt izvēlēto grunšu tipisko īpašību testēšanu:

tūlītējais nestspējas rādītājs;

granulometriskais sastāvs;

plasticitātes indekss, plūstamības un plasticitātes robeža;

organisko piemaisījumu daudzums;

ūdenī šķīstošo sulfātu saturs;

grunts pH līmenis (arī kombinācijā ar saistvielām).

Grunšu testējamās īpašības var papildināt vai modificēt, ja darba izstrādes laikā tiek konstatēta šāda nepieciešamība. Šādā gadījumā konkrētās testējamās īpašības iepriekš jāsaskaņo ar pasūtītāju.

Grunts uzlabošanai un stabilizācijai galvenokārt paredzēt izmantot hidrauliskās saistvielas un to piedevas. Papildus pētījumā var iekļaut arī cita veida pieejamas saistvielas. Jāparedz izmantot apmēram 4 - 5 dažādas saistvielas vai to kombinācijas.

Veikt ar saistvielām saistītu šādu grunšu testēšanu:

- Proktora tilpumsvars un optimālais ūdens saturs;

- tūlītējais nestspējas rādītājs (tūlīt pēc samaisīšanas ar saistvielu);
- spiedes stiprība pēc (3), 7, 28 dienu cietēšanas;
- spiedes stiprība pēc (3), 7, 28 dienu cietēšanas un 5, 10, 15 salizturības cikliem;
- CBR vai tūlītējais nestspējas rādītājs (ja iespējams);
- elastības vai deformācijas modulis (ja iespējams).

Paredzēt veikt katras grunts ar katru saistvielas saturu pilna apjoma testēšanas sērijas. Katrai gruntij paredzēt vismaz 3 dažādus katras lietotās saistvielas saturus.

3. Būvobjektos Latvijā izpildāmo darbu saturs

Jāveic grunšu un, ja tiek lietotas - hidraulisko saistvielu, paraugu ņemšana pasūtītāja norādītos 3 - 5 būvobjektos. Jāveic grunts stabilizācijas maisījumu projektu izstrāde un testēšana analogi kā laboratorijas paraugiem.

Ja būvobjektā tiek veikta grunts stabilizācija ar hidrauliskajām saistvielām, jāapseko būvdarbu izpildes paņēmieni un tehnoloģijas, kā arī jāveic nepieciešamie mērījumi un testēšana gan būvdarbu izpildes laikā būvobjektā vai (un) laboratorijā, gan pēc tam, ja nepieciešams, veicot testēšanu un mērījumus arī 2015. gadā.

Ja grunts stabilizācijas darbi būvobjektā netiek veikti, tad balstoties uz laboratorijā veiktās maisījumu projektēšanas rezultātiem, jāizstrādā konkrēti Tehniskā projekta risinājumiem alternatīvi risinājumi, paredzot grunšu stabilizāciju ar hidrauliskajām saistvielām. Novērtēt šo konkrēto risinājumu salīdzinošo efektivitāti.

Konkrētos būvobjektos norāda, kā arī piekļuvi būvobjektiem organizē pasūtītājs. Pasūtītājs nodrošina arī visas nepieciešamās būvdarbu un tehniskā projekta dokumentācijas, kas saistīta ar pētījuma sfēru, pieejamību.

4. Darba izpildes metodika

Pētījuma "Grunšu uzlabošana un stabilizācija, izmantojot hidrauliskās saistvielas" realizācijā izmantot iepriekš veiktā pētījuma ""Ceļu specifikācijas 2012" nodaļas "4.1. Zemes klātnes būvniecība" un nodaļas "6.4. Aukstā pārstrāde (reciklēšana)" pilnveidošanas projekts. 1. etaps." atziņas.

Pētījuma ietvaros iesaistīt arī vismaz vienu laboratoriju, kurai ir vērā ņemama pieredze grunšu stabilizācijas projektēšanā un testēšanā.

Īpašu uzmanību veltīt stabilizēto grunšu salizturībai, paredzot testēšanas metodes, kas iespējami objektīvi to ļautu izvērtēt.

Konkrētā testēšanas programma jāprecizē un jāmodificē atbilstoši konkrēto lietoto grunšu, materiālu un to kompozīciju īpatnībām. Izstrādātu detaļu laboratorijas darbu programmu, iekļaujot tajā gan izmantot paredzētos materiālus un saistvielas, to ieguves vietas, kā arī paredzamās testēšanas metodikas, pirms realizācijas jāsaskaņo ar pasūtītāju.

Ja darba izpildes gaitā rodas nepieciešamība veikt kādas modifikācijas vai papildinājumus apstiprinātajā laboratorijas darbu programmā, tad tas iepriekš ir jāsaskaņo ar pasūtītāju.

Galarezultātā jāapkopo testēšanas rezultāti, jāveic to analīze, jāformulē secinājumi un atziņas, kā arī jāizstrādā ieteikumi tālākajai rīcībai.

Jāizstrādā priekšlikumi nepieciešamām izmaiņām vai papildinājumiem Ceļu specifikāciju 2014 nodaļā Zemes klātne p. 4.1 Zemes klātnes būvniecība.

5. Rokasgrāmatas izstrāde

Balstoties uz šajā pētniecības darbā, kā arī iepriekš iegūtajām atziņām, jāizstrādā rokasgrāmata. Rokasgrāmatas mērķis ir veicināt grunšu uzlabošanas un stabilizācijas lietošanu, izmantojot dažādas saistvielas, īpaši vietējos būvmateriālus - kaļķi un cementu.

Rokasgrāmatai jāapraksta grunšu novērtēšana, saistvielu izvēles principi, maisījumu projektēšanas metodika, darbu izpildes tehnoloģijas (tehnoloģiskās kartes), kā arī sasniegtie kvalitātes kritēriji.

Vispirms jāizstrādā un jāsaskaņo ar pasūtītāju rokasgrāmatas detāla struktūra, tad atbilstoši saskaņotajai struktūrai jāizstrādā pašu rokasgrāmata.

Rokasgrāmatas izstrādē jālieto, gan iegūstama informācija par ārvalstu pieredzi, gan šī pētniecības darba atziņas, gan arī iepriekš iegūtās zināšanas. Iespēju robežās jāapseko rokasgrāmatas izstrādei saistošu būvdarbu izpildes vietas Latvijā, ja tādas ir zināmas. Piekļuvi būvobjektā nepieciešamības gadījumā nodrošina pasūtītājs.

Pasūtītājs nodrošina arī informāciju par citos pētījumos iegūtām zināšanām, kas varētu būt noderīgas šīs rokasgrāmatas izstrādē.

6. Darba izpildes termiņi

Detāla laboratorijas un būvobjektu darbu programma jāiesniedz ne vēlāk kā līdz 2014. gada 1. jūlijam.

1. starpziņojums par izpildītiem laboratorijas un būvobjektu darbiem jāiesniedz ne vēlāk kā līdz 2014. gada 3. novembrim (25% izpilde).

2. starpziņojums par izpildītiem laboratorijas un būvobjektu darbiem un rokasgrāmatas detāla struktūra jāiesniedz ne vēlāk kā līdz 2014. gada 1. decembrim (50% izpilde).

3. starpziņojums par izpildītiem laboratorijas un būvobjektu darbiem un rokasgrāmatas izstrāde jāiesniedz ne vēlāk kā līdz 2015. gada 1. maijam (75% izpilde).

Atskaite jeb Darbs par visa pētniecības darba izpildi, t.sk. izstrādāta rokasgrāmata un izstrādāti priekšlikumi nepieciešamām izmaiņām vai papildinājumiem Ceļu specifikāciju 2014 nodaļā Zemes klātne p. 4.1 Zemes klātnes būvniecība, jāiesniedz ne vēlāk kā līdz 2015. gada 1. decembrim (100% izpilde).

7. Darba noformējums

Izpildītājam darba programmas, to izmaiņas un papildinājumi, starpziņojumi un gala ziņojums jāsgatavo 1 eksemplārā uz A4 formāta lapām un elektroniski MS Word vai ar to savietojamā formātā, lietojot Times New Roman 12. izmēra fontu.

Iesniegtā dokumentācija jānoformē ar titullapu un satura rādītāju. Aiz titullapas jāpievieno Darba kopsavilkums.

Ja Darbā kāds no literatūras avotiem tiek izmantots būtiskas Darba sastāvdaļas radīšanai, šāda avota kopija vai oriģināls jānodod pasūtītājam.

2 Realizētā laboratorijas un būvobjektu darbu programma

Saskaņā ar realizēto Laboratorijas un būvobjektu darbu programmu sasniegti šādi pētījuma galvenie mērķi:

- veikta Latvijā tipisko grunšu uzlabošanas un stabilizācijas maisījumu projektēšana laboratorijā;
- izvērtēta grunšu uzlabošanas un stabilizācijas potenciālā efektivitāte, kas nākotnē ļaus būvēt gan saimnieciskāk, gan efektīvāk, turklāt paaugstinot šādi uzbūvētu konstrukciju kalpotspēju un noturību ilgtermiņā.

Pētījuma ietvaros izmantas pēc iespējas vairāk dažādas gruntis, lai iespējami pilnīgāk aptvertu tipiski sastopamo grunšu spektru, kuras potenciāli varētu tikt stabilizētas.

Stabilizētie sastāvi pārsvarā sagatavoti ar diviem dažādiem hidrauliskās saistvielas (cements, kaļķis + cements, kaļķis) saturiem. Šāda izvēle tika pamatota ar citu valstu pieredzi, kā arī iepriekš veikto pētījumu atziņām. Tā kā pētījuma ietvaros saistvielas satura variācijas visiem izgatavotajiem reciklēšanas sastāviem ir praktiski vienādas, tad ir iegūti salīdzināmi dati par saistvielas efektivitāti atkarībā no lietotajām gruntīm.

Pētījuma izstrādes gaitā, lai novērtētu kādu papildus piedevu iespējamo efektu vai ietekmi, tika izstrādāti arī papildus sastāvi ar cementa piedevu RoadCem dažāda tipa gruntīm.

Tika veikta šādu grunšu testēšana laboratorijā un to atlase tālākajai stabilizācijas projektu izstrādei:

- rupja grunts – smilts (SE) – drupināta smilts 0/2 no karjera "Pērtnieki" – stabilizācijai netika izvēlēta;
- rupja grunts – smilts (SE) – dabīga smilts 0/5 no karjera "Pērtnieki" – izmantota stabilizācijas projektu izstrādei;
- jaukta grunts – smilts-māla maisījums (ST*) – sastādīts māla pulvera, dabīgas smilts un aizpildītāja 25/50/25 maisījums – izmantots stabilizācijas projektu izstrādei;
- smalka grunts – putekļu grunts (UL, UM) – sastādīts māla pulvera un dabīgas smilts 50/50 maisījums – stabilizācijai netika izvēlēts;
- smalkas grunts – cieti plastisks māls (TL) – SIA "Ceplis" māla pulveris – izmantots stabilizācijas projektu izstrādei;
- smalka grunts – mīksti plastisks māls (TM) – māls no SIA "Cemex" – izmantots stabilizācijas projektu izstrādei;
- organogēna grunts vai grunts ar organiskiem piejaukumiem (OU, OT, OH) – smilšaina grunts, pelēka no karjera "Pope IV - Rinda" – stabilizācijai netika izvēlēta;
- organogēna grunts vai grunts ar organiskiem piejaukumiem (OU, OT, OH) – grunts ar organiku no karjera "Pope IV - Rinda" – izmantota stabilizācijas projektu izstrādei;
- Pļaviņu dolomīta atmazgātie smalkie putekļi (UL) – izmantoti stabilizācijas projektu izstrādei;
- Pļaviņu dolomīta atmazgātie rupjie putekļi (UL) – izmantoti grunšu nestspējas uzlabošanas risinājumu izstrādei.

Tika izmantotas šādas saistvielas un piedevas:

- cements CEM I 42,5N no SIA "Cemex";
- kaļķis veldzēts "MV Stimelit";
- kaļķis neveldzēts no SIA "Saulkalne S";

- kaļķis veldzēts "Proviacal";
- piedeva cementam "Roadcem".

Izgatavoti šādi ar hidrauliskajām saistvielām stabilizēto grunšu sastāvi:

- Rupjas grunts – smilts (SE) stabilizācijas sastāvi:
 - dabīga smilts no karjera "Pērtņieki" 100% + cements CEM I 42,5N 3%;
 - dabīga smilts no karjera "Pērtņieki" 100% + cements CEM I 42,5N 6%.
- Jauktas grunts smilts-māla (ST*) stabilizācijas sastāvi:
 - smilts-māla maisījums 100% + cements 42,5N 3%;
 - smilts-māla maisījums 100% + cements 42,5N 6%;
 - smilts-māla maisījums 100% + cements 42,5N 3% + kaļķis 3%;
 - smilts-māla maisījums 100% + kaļķis 3%;
 - smilts-māla maisījums 100% + kaļķis 6%.
- Smalkas grunts - putekļu (UL) stabilizācijas sastāvi:
 - smalka grunts – putekļu grunts, Pļaviņu dolomīta atmazgātās smalkās atsijas 100% + cements 42,5N 3%;
 - smalka grunts – putekļu grunts, Pļaviņu dolomīta atmazgātās smalkās atsijas 100% + cements 42,5N 6%.
- Smalkas grunts cieti plastiska māla (TL) stabilizācijas sastāvi:
 - māla pulveris, SIA "Ceplis" 100% + cements 42,5N 3%;
 - māla pulveris, SIA "Ceplis" 100% + cements 42,5N 3% + kaļķis 3%;
 - māla pulveris, SIA "Ceplis" 100% + kaļķis 4 %;
 - māla pulveris, SIA "Ceplis" 100% + kaļķis 6%;
 - māla pulveris, SIA "Ceplis" 100% + cements 42,5N 3% + Roadcem;
 - māla pulveris, SIA "Ceplis" 100% + cements 42,5N 6% + Roadcem.
- Smalkas grunts mīksti plastiska māla (TM) stabilizācijas sastāvi:
 - māls, SIA "Cemex" 100% + kaļķis "Saulkalne" 6 %;
 - māls, SIA "Cemex" 100% + kaļķis "Saulkalne" 10 %;
 - māls, SIA "Cemex" 100% + kaļķis "Saulkalne" 15 %;
 - māls, SIA "Cemex" 100% + kaļķis "Proviacal" 3 %;
 - māls, SIA "Cemex" 100% + kaļķis "Proviacal" 6 %;
 - māls, SIA "Cemex" 100% + cements 42,5N 3% + Roadcem;
 - māls, SIA "Cemex" 100% + cements 42,5N 6% + Roadcem.
- Grunts ar organiskiem piejaukumiem (OH) stabilizācijas sastāvi:
 - grunts ar organiku, karjers "Pope IV - Rinda" 100% + cements 42,5N 3%;
 - grunts ar organiku, karjers "Pope IV - Rinda" 100% + cements 42,5N 6%;
 - grunts ar organiku, karjers "Pope IV - Rinda" 100% + cements 42,5N 3% + Roadcem;
 - grunts ar organiku, karjers "Pope IV - Rinda" 100% + cements 42,5N 6% + Roadcem.
- Stabilizācijas sastāvi izmantojot cementa piedevu Roadcem:
 - cieti plastisks māls TL 100% + cements 3% + Roadcem;
 - cieti plastisks māls TL 100% + cements 6% + Roadcem;
 - mīksti plastisks māls TM 100% + cements 3% + Roadcem;
 - mīksti plastisks māls TM 100% + cements 6% + Roadcem;
 - grunts ar organiskiem piejaukumiem OH 100% + cements 3%+ Roadcem;
 - grunts ar organiskiem piejaukumiem OH 100% + cements 6% + Roadcem.
- Grunts pastiprināšanas sastāvi uzlabojot plastiskas māla gruntis ar Pļaviņu atmazgātiem rupjiem putekļiem bez saistvielām:
 - cieti plastisks māls TL 50% + Pļaviņu dolomīta atmazgāti rupji putekļi SU* 50%;

- mīksti plastisks māls TM 50% + Pļaviņu dolomīta atmazgāti rupji putekļi SU* 50%.

Izstrādāti dažādi ceļa konstrukciju risinājumi un doti piemēri dažādām situācijām trijos būvobjektos.

Veiktas lietoto hidraulisko saistvielu un stabilizēto paraugu analīzes ar skenējošo elektronu mikroskopu.

Izstrādāta rokasgrāmata – Grunšu stabilizācija ar hidrauliskajām saistvielām.

Izstrādāti priekšlikumi izmaiņām būvdarbu izpildes specifikācijā – Zemes klātnes būvniecība.

3 Grunts paraugu atlase

Grunts paraugu atlases mērķis ir aptvert pēc iespējas dažādas gruntis, pēc tam veicot atlasīto grunšu stabilizāciju ar hidrauliskajām saistvielām cementu vai (un) kaļķi.

Grunšu testējamās īpašības:

- granulometriskais sastāvs, saskaņā ar LVS EN 933-1;
- plasticitātes indekss, plūstamības un plastiskuma robeža, saskaņā ar LVS CEN ISO/TS 17892-12 vai ASTM D 4318-05;
- proktora tilpumsvars un optimālais ūdens saturs, saskaņā ar LVS EN 13286-2;
- organisko piemaisījumu daudzums, saskaņā ar Ceļu specifikācijas 2014, 9.6.p.;
- tūlītējais nestspējas indekss, saskaņā ar LVS EN 13286-47;
- Kalifornijas nestspējas vērtība (CBR), saskaņā ar LVS EN 13286-47;
- Elastības modulis, saskaņā ar VSN 46-83;
- grunts pH līmenis ar cementu vai kaļķi, saskaņā ar Ceļu specifikācijas 2014, 9.11.p., 9.12.p.;
- ūdenī šķīstošo sulfātu saturs, saskaņā ar LVS EN 1744-1;
- ja nepieciešams, arī citu īpašību testēšana.

Grunšu klasifikācija lietota pēc LVS 190-5 "Zemes klātne".

3.1 Rupja grunts – smilts (SE, SW vai SI)

Rupjas grunts - smilts klasifikācijas kritēriji saskaņā ar LVS 190-5:

- graudu saturs zem 0,063mm sietā < 5%;
- graudu saturs zem 2mm sietā > 60%.

Testēšanai tika izvēlētas divas gruntis:

- **drupināta smilts no karjera "Pērtņieki";**
- **dabīga smilts no karjera "Pērtņieki".**

Drupinātas smilts no karjera "Pērtņieki" testēšanas rezultāti (SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2850/14):

3-1 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) drupinātai smiltij

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	4,3	15,7	34,9	47,9	61,9	85,1	99,8	100	100	100

3-2 tabula. Citas fizikāli-mehāniskās īpašības drupinātai smiltij

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts
Granulometriskā sastāva neviendabīguma pakāpe, Cu	LVS EN 437:2002	10
Maksimālais sausais blīvums (Proktorblīvums), Mg/m ³	LVS EN 13286-2	1,916
Optimālais mitrums, %	LVS EN 13286-2	10,7
Tūlītējais nestspējas indekss, %	LVS EN 13286-47	15
Kalifornijas nestspējas vērtība (CBR), %	LVS EN 13286-47	36
Elastības modulis, MPa	VSN 46-83	167

Dabīgas smilts no karjera "Pērtņieki" testēšanas rezultāti (SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2853/14):

3-3 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) dabīgai smiltij

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	0,4	1,3	11,2	49,6	81,8	96,2	99,4	99,8	99,9	100

3-4 tabula. Citas fizikāli-mehāniskās īpašības dabīgai smiltij

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts
Granulometriskā sastāva neviendabīguma pakāpe, Cu	LVS EN 437:2002	2,9
Grunts pH līmenis ar cementu	CS-2014, 9.12.p.	12,8
Maksimālais sausais blīvums (Proktorblīvums), Mg/m ³	LVS EN 13286-2	1,704
Optimālais mitrums, %	LVS EN 13286-2	8,2
Tūlītējais nestspējas indekss, %	LVS EN 13286-47	3,0
Kalifornijas nestspējas vērtība (CBR), %	LVS EN 13286-47	12
Elastības modulis, MPa	VSN 46-83	19,1

Izvērtējot drupinātas un dabīgas smilts no karjera "Pērtņieki" īpašības, redzams, ka drupināta smilts uzrāda labākus nestspējas un noturības parametrus nekā dabīga smilts, tāpēc:

- tālākajai stabilizācijai ar hidrauliskajām saistvielām tiek izvēlēta dabīga smiltis (SE) no karjera "Pērtnieki", kuras nestspējas un noturības īpašības ir salīdzinoši zemākas.

3.2 Jaukta grunts - smilts-māla maisījums (ST*)

Jauktas grunts - smilts-māla maisījuma (ST*) klasifikācijas kritēriji saskaņā ar LVS 190-5:

- graudu saturs zem 0,063mm sietā < 40%;
- graudu saturs zem 2mm sietā > 60%.

Jaukta grunts - smilts-māla maisījums tika sastādīts, izmantojot dažādas gruntis. Tika sastādīts šāds maisījums:

- māla pulveris no SIA "Ceplis" 25% + dabīga smilts no karjera "Pērtņieki" (0-0,5mm smilts daļa) 50% + aizpildītājs, Saulkalne 25%.

Minerālā pulvera, Saulkalne testēšanas rezultāti (SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2855/14):

3-5 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) minerālajam pulverim

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Caursijāto daļiņu daudzums, masas % faktiski	42,5	46,9	60,1	99,7	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Caursijāto daļiņu daudzums, masas % vid. pēc deklarācijas	83,0	93,0	95,0	97,0	99,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

3-6 tabula. Citas fizikāli-mehāniskās īpašības minerālajam pulverim

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts
Maksimālais sausais blīvums (Proktorblīvums), Mg/m ³	LVS EN 13286-2	1,866
Optimālais mitrums, %	LVS EN 13286-2	13,7
Tūlītējais nestspējas indekss, %	LVS EN 13286-47	47
Kalifornijas nestspējas vērtība (CBR), %	LVS EN 13286-47	12
Elastības modulis, MPa	VSN 46-83	156
Saņemtā parauga ūdens saturs, w, %	LVS EN 1097-5	---
Plūstamības robeža, LL	ASTM D 4318-05	17,0
Plasticitātes robeža, PL	ASTM D 4318-05	17,9
Plasticitātes indekss, PI	ASTM D 4318-05	-0,9
Plūstamības indekss, LI	ASTM D 4318-05	---

Māla pulvera no SIA "Ceplis" 25% + dabīgas smilts no karjera "Pērtņieki" 50% (0-0,5mm smilts daļa) + aizpildītāja, Saulkalne 25% testēšanas rezultāti:

3-7 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) māla pulvera, dabīgās smilts un aizpildītāja 25/50/25 maisījumam, aprēķins

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Caursijāto daļiņu daudzums, masas % ar aizp. faktiski	30,3	44,3	60,5	99,8	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Caursijāto daļiņu daudzums, masas % ar aizp. pēc deklarācijas	42,2	47,3	59,4	99,1	99,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

3-8 tabula. Citas fizikāli-mehāniskās īpašības māla pulvera, dabīgās smilts un aizpildītāja 25/50/25 maisījumam

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts
Maksimālais sausais blīvums (Proktorblīvums), Mg/m ³	LVS EN 13286-2	1,900
Optimālais mitrums, %	LVS EN 13286-2	12,5
Plūstamības robeža, LL	ASTM D 4318-05	13,0
Plasticitātes robeža, PL	ASTM D 4318-05	10,0
Plasticitātes indekss, PI	ASTM D 4318-05	3,0

Tika izgatavots arī maisījums Saulkalnes aizpildītāja vietā lietojot Pļaviņu dolomīta atmazgātos smalkos putekļus, un testēts maisījuma Tūlītējais nestspējas indekss (SIA "Ceļu eksperts" 31.10.2015. Testēšanas pārskats Nr.2668/15):

3-9 tabula. TNI maisījumam ar Pļaviņu atmazgātajiem smalkajiem putekļiem

Tūlītējais nestspējas indekss maisījumam māla pulveris no SIA "Ceplis" 25% + dabīga smiltis no karjera "Pērtņieki" (0-0,5mm smiltis daļa) 50% + Pļaviņu dolomīta atmazgātie smalkie putekļi 25%	LVS EN 13286-47	27
---	-----------------	----

Izvērtējot sastādīto maisījumu testēšanas rezultātus, secināms, ka māla pulvera, dabīgas smilts un aizpildītāja 25/50/25 maisījums atbilst jauktas grunts - putekļu grunts kritērijiem saskaņā ar LVS EN 190-5. Saulkalnes aizpildītāja granulometriskais sastāvs ievērojami atšķiras no deklarētā granulometriskā sastāva, tāpēc sastādītais maisījums atbilst jauktas grunts – smilts-māla grunts (ST*) kritērijiem.

Kā aizpildītājs var tikt lietoti arī Pļaviņu dolomīta atmazgātie smalkie putekļi.

Tālākajai testēšanai un stabilizācijai tiek lietots:

- **sastādītais māla pulvera, dabīgas smilts un aizpildītāja 25/50/25 maisījums (ST*).**

3.3 Smalka grunts - putekļu grunts (UL vai UM)

Smalka grunts - putekļu grunts klasifikācijas kritēriji saskaņā ar LVS 190-5:

- graudu saturs zem 0,063mm sieta > 40%;
- $I_p \leq 4\%$ vai zem A līnijas.

Smalka grunts - putekļu grunts maisījums tika sastādīts, izmantojot citas dažādas grunts. Tika sastādīts šāds maisījums:

- māla pulveris no SIA "Ceplis" 50% + dabīga smilts no karjera "Pērtņieki" (0-0,5mm smilts daļa) 50%.

Māla pulvera no SIA "Ceplis" 50% + dabīgas smilts no karjera "Pērtņieki" (0-0,5mm smilts daļa) 50% testēšanas rezultāti (SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2857/14):

3-10 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) māla pulvera un dabīgās smilts 50/50 maisījumam, aprēķins

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	42,5	46,9	60,1	99,7	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

3-11 tabula. Citas fizikāli-mehāniskās īpašības māla pulvera un dabīgās smilts 50/50 maisījumam

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts
Plūstamības robeža, LL	ASTM D 4318-05	17,5
Plasticitātes robeža, PL	ASTM D 4318-05	7,3
Plasticitātes indekss, PI	ASTM D 4318-05	10,2
Plūstamības indekss, LI	ASTM D 4318-05	---

Izvērtējot sastādīto maisījumu testēšanas rezultātus, secināms, ka māla pulvera un dabīgas smilts 50/50 maisījums neatbilst smalkas grunts - putekļu grunts kritērijiem un tālāk netiek izmantots.

3.4 Smalka grunts - cieti plastisks māls (TL)

Smalkas grunts - cieti plastiska māla klasifikācijas kritēriji saskaņā ar LVS 190-5:

- graudu saturs zem 0,063mm sieta > 40%;
- $I_p \geq 7\%$ un virs A līnijas;
- $WL < 35\%$.

Testēšanai tika izvēlēts:

- SIA "Ceplis" māla pulveris.

Māla pulvera no SIA "Ceplis" testēšanas rezultāti (SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2854/14):

3-12 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) māla pulverim

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Cauršijāto daļiņu daudzums, masas %	84,1	91,1	97,6	99,3	99,7	100	100	100	100	100

3-13 tabula. Citas fizikāli-mehāniskās īpašības māla pulverim

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts
Maksimālais sausais blīvums (Proktorblīvums), Mg/m^3	LVS EN 13286-2	1,803
Optimālais mitrums, %	LVS EN 13286-2	14,6
Tūlītējais nestspējas indekss, %	LVS EN 13286-47	16
Kalifornijas nestspējas vērtība (CBR), %	LVS EN 13286-47	2,1
Elastības modulis, MPa	VSN 46-83	55
Saņemtā parauga ūdens saturs, w, %	LVS EN 1097-5	3,1
Plūstamības robeža, LL	ASTM D 4318-05	31,0
Plasticitātes robeža, PL	ASTM D 4318-05	13,4
Plasticitātes indekss, PI	ASTM D 4318-05	18,0
Plūstamības indekss, LI	ASTM D 4318-05	-0,6

Māla pulveris no SIA "Ceplis" atbilst LVS EN 190-5 kritērijiem smalkai gruntij - cieti plastiskam mālam (TL), tāpēc

- māla pulveris no SIA "Ceplis" (TL) tiek izvēlēts tālākajai stabilizācijai ar hidrauliskajām saistvielām.

3.5 Smalka grunts - mīksti plastisks māls (TM)

Smalkas grunts - mīksti plastiska māla klasifikācijas kritēriji saskaņā ar LVS 190-5:

- graudu saturs zem 0,063mm sieta > 40%;
- $I_p \geq 7\%$ un virs A līnijas;
- $35\% \leq W_L \leq 50\%$.

Testēšanai tika izvēlēts:

- **Māls no SIA "Cemex".**

Māla no SIA "Cemex" testēšanas rezultāti (SIA "Ceļu eksperts" 13.05.2015. Testēšanas pārskats Nr.503/15; 20.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2872/15):

3-14 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) māls

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

3-15 tabula. Citas fizikāli-mehāniskās īpašības māla pulverim

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts
Maksimālais sausais blīvums (Proktorblīvums), Mg/m ³	LVS EN 13286-2	1,741
Optimālais mitrums, %	LVS EN 13286-2	15,8
Tūlītējais nestspējas indekss, %	LVS EN 13286-47	12
Kalifornijas nestspējas vērtība (CBR), %	LVS EN 13286-47	1,5
Elastības modulis, MPa	VSN 46-83	34
Saņemtā parauga ūdens saturs, w, %	LVS EN 1097-5	29,2
Plūstamības robeža, LL	ASTM D 4318-05	44
Plasticitātes robeža, PL	ASTM D 4318-05	22
Plasticitātes indekss, PI	ASTM D 4318-05	22
Plūstamības indekss, LI	ASTM D 4318-05	0,31

Māls no SIA "Cemex" atbilst LVS EN 190-5 kritērijiem mīksti plastiskam mālam (TM), tāpēc

- **māls no SIA "Cemex" (TM) tiek izvēlēts tālākajai stabilizācijai ar hidrauliskajām saistvielām.**

3.6 Organogēna grunts vai grunts ar organiskiem piejaukumiem (OU, OT, OH vai OK)

Organogēnas grunts vai grunts ar organiskiem piejaukumiem klasifikācijas kritēriji saskaņā ar LVS 190-5:

- organogēna grunts vai grunts ar organiskiem piejaukumiem;
- graudu saturs zem 0,063 mm sietā > 40% (OU, OT);
- $I_p \geq 7\%$ un zem A līnijas (OU, OT);
- $35\% \leq WL \leq 50\%$ (OU);
- $WL > 50\%$ (OT);
- graudu saturs zem 0,063 mm sietā $\leq 40\%$ (OH, OK);
- augu piejaukumi $\leq 20\%$ (OH);
- piejaukumi (ne augu) (OK).

Testēšanai tika izvēlētas divas grunts:

- **smilšaina grunts, pelēka no karjera "Pope IV - Rinda";**
- **grunts ar organiku no karjera "Pope IV - Rinda".**

Smilšainas grunts, pelēkas no karjera "Pope IV - Rinda" testēšanas rezultāti (SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2849/14):

3-16 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) smilšainai gruntij

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	9,9	12,7	22,7	42,8	56,6	66,1	72,4	75,7	79,0	81,5
Sietu izmērs, mm	16	22,4	31,5	45	56	63	90			
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	85,4	87,9	96,6	100	100	100	100			

3-17 tabula. Citas fizikāli-mehāniskās īpašības smilšainai gruntij

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts
Filtrācija, m/dienn.	CS-2014, 9.4.p	0,01
Maksimālais sausais blīvums (Proktorblīvums), Mg/m³	LVS EN 13286-2	2,063
Optimālais mitrums, %	LVS EN 13286-2	8,0

Grunts ar organiku no karjera "Pope IV - Rinda" testēšanas rezultāti (SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2849/14; 02.02.2015. Testēšanas pārskats Nr.116/15):

3-18 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) gruntij ar organiku

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	6,7	9,7	28,1	59,6	73,0	81,9	88,2	91,5	94,4	96,4
Sietu izmērs, mm	16	22,4	31,5	45	56	63	90			
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	98,1	100	100	100	100	100	100			

3-19 tabula. Citas fizikāli-mehāniskās īpašības gruntij ar organiku

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts
Organisko vielu saturs, OSS, %	CS-2014, 9.6.p	2,7
Maksimālais sausais blīvums (Proktorblīvums), Mg/m ³	LVS EN 13286-2	1,866
Optimālais mitrums, %	LVS EN 13286-2	13,3
Tūlītējais nestspējas indekss, %	LVS EN 13286-47	6,0
Kalifornijas nestspējas vērtība (CBR), %	LVS EN 13286-47	3,1
Elastības modulis, MPa	VSN 46-83	15

Izvērtējot smilšainas grunts un grunts ar organiku testēšanas rezultātus, redzams, ka pētījuma mērķiem vairāk atbilst grunts ar organiku (OH), tāpēc:

- tālākajai testēšanai un stabilizācijai ar hidrauliskajām saistvielām tiek izvēlēta grunts ar organiku (OH) no karjera "Pope IV - Rinda".

3.7 Pļaviņu dolomīta atmazgātie putekļi

Pētījuma ietvaros papildus tika ietverti šķembu ražošanas procesā uzkrājošies dolomīta putekļi, kurus potenciāli varētu izmantot grunšu stabilizācijas procesā.

Tika paņemti divi paraugi no SIA "Pļaviņu dolomīts" atmazgāto putekļu krautnes Pļaviņās. Viens paraugs – smalkie atmazgātie putekļi, no krautnes lejas daļas. Otrs paraugs – rupjie atmazgātie putekļi, no krautnes augšējās daļas.

Smalko Pļaviņu dolomīta atmazgāto putekļu testēšanas rezultāti (SIA "Ceļu eksperts" 13.05.2015. Testēšanas pārskats Nr.505/15):

3-20 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) smalkie Pļaviņu dolomīta atmazgātie putekļi

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	80,1	97,1	99,9	99,9	100	100	100	100	100	100

3-21 tabula. Citas fizikāli-mehāniskās īpašības māla pulverim

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts
Maksimālais sausais blīvums (Proktorblīvums), Mg/m ³	LVS EN 13286-2	1,673
Optimālais mitrums, %	LVS EN 13286-2	19,2
Tūlītējais nestspējas indekss, %	LVS EN 13286-47	46
Kalifornijas nestspējas vērtība (CBR), %	LVS EN 13286-47	12

- smalkie Pļaviņu dolomīta atmazgātie putekļi (UL) izmantoti gan stabilizētā maisījuma sagatavošanai, gan arī kā papildus piedeva grunšu stabilizācijai ar hidrauliskajām saistvielām, arī aizvietojoņ minerālo pulveri, Saulkalne.

Pļaviņu dolomīta atmazgāto rupjo putekļu testēšanas rezultāti (SIA "Ceļu eksperts" 13.05.2015. Testēšanas pārskats Nr.505/15):

3-22 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) rupjie Pļaviņu dolomīta atmazgātie putekļi

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	27,6	61,1	79,2	83,3	87,0	94,1	99,4	100	100	100

3-23 tabula. Citas fizikāli-mehāniskās īpašības Pļaviņu dolomīta atmazgāto rupjo putekļu

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts
Maksimālais sausais blīvums (Proktorblīvums), Mg/m ³	LVS EN 13286-2	1,741
Optimālais mitrums, %	LVS EN 13286-2	16,5
Tūlītējais nestspējas indekss, %	LVS EN 13286-47	39
Kalifornijas nestspējas vērtība (CBR), %	LVS EN 13286-47	36

- Pļaviņu dolomīta atmazgātie rupjie putekļi (SU*) izmantoti kā vājāku grunti uzlabojoša piedeva grunšu nestspējas uzlabošanai.

4 Grunts stabilizācijas sastāvi, testēšana, analīze

Pētījuma mērķis ir izvērtēt grunšu uzlabošanas un stabilizācijas potenciālo efektivitāti, identificēt un noteikt svarīgos kritērijus grunšu stabilizācijai, galarezultātā izstrādājot rokasgrāmatu, kura aptvertu gan kritērijus grunšu novērtēšanai, gan vadlīnijas stabilizācijas sastāvu projektēšanai un būvdarbu izpildei, gan arī algoritmus, kas būtu pielietojami ceļa segas aprēķinos.

Grunts stabilizācijas sastāvi izstrādāti, ievērojot šādus kritērijus:

- kā hidrauliskās saistvielas tiek izmantotas cements un kaļķis, kas Latvijā ir vietējie būvmateriāli, bez kādām uzlabojošām piedevām vai piemaisījumiem;
- smilšainākas grunts maisījumos kā saistviela tiek izmantots cements;
- mālainākas grunts maisījumos kā saistviela tiek izmantots kaļķis vai kaļķis kombinācijā ar cementu;

- paraugu sagatavošanas pamatprincipi:

- pēc samaisīšanas ar cementu maisījums tiek noturēts 4h apklāts ar mitru audumu;
- pēc samaisīšanas ar neveldzētu kaļķi maisījums tiek noturēts 24h, vai 4h, ja veldzēti kaļķi;
- stabilizētie paraugi tiek izgatavoti mazajās - A Proktora formās - 3 paralēli paraugi;
- elastības moduļa testēšanai saskaņā ar EN paraugi tiek izgatavoti formās, kuru $d=100\text{mm}$ un $h=200\text{mm}$ - vismaz 7 paralēli paraugi;
- TNI, CBR un elastības moduļa testēšanai pēc VSN paraugi tiek izgatavoti lielajās - B Proktora formās, pa vienam paraugam.
- stabilizēto paraugu kondicionēšanas apstākļi izvēlēti, lai pēc iespējas imitētu reālos stabilizēto grunts kārtu ekspluatācijas apstākļus:
 - noturības novērtēšanai: 27 dienas 90-100% mitrumā + 1 diena ūdenī;
 - ūdens ietekmes novērtēšanai: 14 dienas 90-100% mitrumā + 14 dienas (atsevišķi paraugi līdz 3 mēneši) ūdenī;
 - sala ietekmes novērtēšanai: 27 dienas 90-100% mitrumā + 1 diena ūdenī + 5 / 10 / 15 / 50 sasaldēšanas-atkausēšanas cikli;
 - "1 diena ūdenī" var tikt aizstāta ar 24h kapilāru piesūcināšanu;
 - ūdens ietekmes novērtēšanai, ja saistviela kaļķis, paredzēts uzmērīt parauga tilpuma izmaiņas tā kapilārās piesūcināšanas laikā;
 - kapilārās piesūcināšanas laikā tiek uzmērīts ūdens pacelšanās augstums un uzņemtais ūdens daudzums.
- pēc kondicionēšanas visos gadījumos paredzēts testēt spiedes stiprību, kā arī ierobežotā apjomā testēt elastības moduli, tūlītējo nestspējas indeksu vai citu, atbilstoši detālajam testēšanas plānojumam, lai iegūtu rezultātus, kas palīdzētu raksturot materiālu un sastāvu īpašības, kas pēc iespējas būtu analizējamas un izmantojamas ceļa segas aprēķinos
- papildus iespējama arī kādu piedevu vai alternatīvu saistvielu izmantošana, ja pētniecības projektā izrāda interesi iesaistīties kādas trešās puses ar savu ieguldījumu.

Sagatavotajiem stabilizācijas maisījumiem veikta sekojošu īpašību noteikšana un testēšana:

- granulometriskais sastāvs, saskaņā ar LVS EN 933-1;
- pH līmenis, saskaņā ar Ceļu specifikācijas 2014 9.11.p. un 9.12.p.;
- Proktora tilpumsvars un optimālais mitrums, saskaņā ar LVS EN 13286-2;
- Tūlītējais nestspējas indekss, saskaņā ar LVS EN 13286-47.

Sagatavotajiem stabilizācijas paraugiem veikta sekojošu īpašību testēšana (konkrēto stabilizēto paraugu konkrētās īpašības testētas izlases veidā atbilstoši testēšanas plānam):

- spiedes stiprība, saskaņā ar LVS EN 13286-41, LVS CEN/TS 12390-9:
 - pēc 7 dienu cietēšanas;
 - pēc 28 dienu cietēšanas;
 - pēc 28 dienu cietēšanas un 5 salizturības cikliem;
 - pēc 28 dienu cietēšanas un 10 salizturības cikliem;
 - pēc 28 dienu cietēšanas un 15 salizturības cikliem;
 - pēc 28 dienu cietēšanas un 50 salizturības cikliem;
 - pēc 7 dienu cietēšanas +40 °C - ja saistviela kaļķis;
 - pēc 7 dienu cietēšanas +40 °C un 5 salizturības cikliem - ja saistviela kaļķis;
 - pēc 7 dienu cietēšanas +40 °C un 10 salizturības cikliem - ja saistviela kaļķis;
 - pēc 7 dienu cietēšanas +40 °C un 15 salizturības cikliem - ja saistviela kaļķis;
 - pēc 7 dienu cietēšanas +40 °C un 50 salizturības cikliem - ja saistviela kaļķis;
- tūlītējais nestspējas indekss, saskaņā ar LVS EN 13286-47, LVS CEN/TS 12390-9:
 - pēc 28 dienu cietēšanas un 5 salizturības cikliem;
 - pēc 7 dienu cietēšanas +40 °C un 5 salizturības cikliem - ja saistviela kaļķis;
- elastības modulis, saskaņā ar LVS EN 13286-43 LVS CEN/TS 12390-9:
 - pēc 28 dienu cietēšanas un 5 salizturības cikliem;
 - pēc 7 dienu cietēšanas +40 °C un 5 salizturības cikliem - ja saistviela kaļķis;
- elastības modulis, saskaņā ar VSN 46-83:
 - pēc 28 dienu cietēšanas un 5 salizturības cikliem;
 - pēc 7 dienu cietēšanas +40 °C un 5 salizturības cikliem - ja saistviela kaļķis;
- mikroskopa analīzes.

4.1 Rupjas grunts – smilts (SE) stabilizācijas sastāvi

Stabilizācijas sastāvu izstrādei lietota dabīga smilts no karjera "Pērtņieki", kas raksturojama kā šauri gradēta smilts - SE.

Izgatavoti šādi stabilizācijas sastāvi:

- dabīga smilts no karjera "Pērtņieki" 100% + cements CEM I 42,5N 3%;
- dabīga smilts no karjera "Pērtņieki" 100% + cements CEM I 42,5N 6%.

Stabilizēto maisījumu īpašības (lietotā grunts - dabīga smilts no karjera "Pērtņieki"):

4-1 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) dabīgai smiltij - SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2853/14

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Caurisijāto daļiņu daudzums, masas %	0,4	1,3	11,2	49,6	81,8	96,2	99,4	99,8	99,9	100

4-2 tabula. Sagatavota stabilizētā maisījuma īpašības (SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2853/14, Nr.2867/14, Nr. 2868/14)

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	
		ar 3% cementu	ar 6% cementu
Maksimālais sausais blīvums (Proktorblīvums), Mg/m ³	LVS EN 13286-2	1,789	1,846
Optimālais mitrums, %	LVS EN 13286-3	7,5	7,2
Tūlītējais nestspējas indekss, %	LVS EN 13286-47	7,3	13
pH līmenis (smilts/cements 10:1)	Ceļu specifikācijas 2014 9.12.p	12,82	

4-3 tabula. Stabilizētā maisījuma īpašības pēc sagatavoto paraugu kondicionēšanas (SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2867/14, Nr.2868/14; 27.11.2014. Testēšanas pārskats Nr.3189/14, Nr.3190/14; 29.12.2015. Testēšanas pārskats Nr.3423/14)

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	
		ar 3% cementu	ar 6% cementu
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,773	1,800
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	6,9	6,8
Spiedes stiprība pēc 7 dienu (6 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	1,42	2,04
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,777	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	6,9	---
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	0,77	2,65
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,806	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	6,9	---

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	
		ar 3% cementu	ar 6% cementu
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas (paraugi 100x200mm), MPa - CE spiedes tests; - bs Lucane Sarl testējot elastības moduli; - CE + LVC testējot elastības moduli	LVS EN 13286-41	0,69 1,0 0,9	---
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,779	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	6,9	---
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (14 dienas 90-100% mitrumā, 14 dienas ūdenī) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	0,42	---
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,779	1,790
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	6,9	6,8
Salizturības pārbaudes rezultāti pēc 28 dienu cietēšanas un 5 salizturības cikliem: - masas zudumi, g - masas zudumi, kg/m ² - parauga stāvoklis, vizuāls novērtējums (0; 1; 2; 3)	LVS CEN/TS 12390-9	(viens paraugs sagruva) 4,7 0,60 2	1,48 0,19 1
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 5 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0,43 (2 paraugu rezultāts, 1 paraugs sagruva)	2,62
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,769	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	6,9	---
Salizturības pārbaudes rezultāti pēc 28 dienu cietēšanas un 10 salizturības cikliem: - masas zudumi, g - masas zudumi, kg/m ² - parauga stāvoklis, vizuāls novērtējums (0; 1; 2; 3)	LVS CEN/TS 12390-9	(viens paraugs sagruva) 50,9 6,48 2	---
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 10 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0,43 (2 paraugu rezultāts, 1 paraugs sagruva)	1,97*
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,767	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	6,9	---
Salizturības pārbaudes rezultāti pēc 28 dienu cietēšanas un 15 salizturības cikliem: - masas zudumi, g - masas zudumi, kg/m ² - parauga stāvoklis, vizuāls novērtējums (0; 1; 2; 3)	LVS CEN/TS 12390-9	54,9 6,90 2	---
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 15 salizturības cikli	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0,40	1,31*
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,757	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	7,1	---
Salizturības pārbaudes rezultāti pēc 28 dienu cietēšanas un 50 salizturības cikliem, MPa: - masas zudumi, g - masas zudumi, kg/m ² - parauga stāvoklis, vizuāls novērtējums (0; 1; 2; 3)	LVS CEN/TS 12390-9	1654 210 3	---

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	
		ar 3% cementu	ar 6% cementu
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 50 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	neiztur	0
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	7,0	---
Tūlītējais nestspējas indekss pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas	LVS EN 13286-47 LVS CEN/TS 12390-9	114	---
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	VSN 46-83	495	---
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa - bs Lucane Sarl tests - CE + LVC laboratoriju tests	LVS EN 13286-43 LVS CEN/TS 12390-9	2030	---
		1662	---

* - aprēķināts

Rezultātu analīze

Ar lielāku cementa daudzumu Proktora blīvums ir lielāks. Savukārt smilts optimālais mitrums ar pievienotu cementu samazinās. Pievienojot vairāk cementu, Tūlītējais nestspējas indekss paaugstinās.

Salīdzinot spiedes stiprības rezultātus ar 3% cementu un 6% cementu pēc 7 dienu cietēšanas, var konstatēt, ka salīdzinoši labākus spiedes stiprības rādītājus uzrāda paraugi ar 6% cementu. Pēc 7 dienu cietēšanas paraugu ar 6% cementu spiedes stiprība (2,04 MPa) ir 1,4x augstāka par paraugu ar 3% cementu spiedes stiprību (1,42 MPa).

Stabilizētā smilts maisījuma paraugu spiedes stiprība pēc 28 dienu cietēšanas (1 diena ūdenī) testēta gan d=100 x l=100, gan d=100 x l=200 mm paraugiem:

- ar 3% cementu: 0,77; 0,69; 1,00; 0,90 MPa, vidēji 0,84 MPa.

Novērtējot ūdens ietekmi uz paraugu cietēšanas procesu, var konstatēt, ka spiedes stiprība, izturot paraugus 14 dienas ūdenī, samazinās:

- ar 3% cementu: no 0,84 MPa uz 0,42 MPa, t.i., 2x;

Pēc 28 dienu cietēšanas un 5 salizturības cikliem paraugu spiedes stiprība samazinās līdzīgi kā izturot paraugus 14 dienas ūdenī:

- ar 3% cementu: no 0,84 MPa uz 0,43 MPa, t.i., 2x (masas zudumi kg/m²);
- ar 6% cementu: no 2,64 MPa (pēc 7 dienu cietēšanas) uz 2,62 MPa (masas zudumi 0,19 kg/m²).

Pēc 28 dienu cietēšanas un 10 salizturības cikliem spiedes stiprība praktiski nemainās:

- ar 3% cementu: 0,43 MPa (masas zudumi 6,48 kg/m²).

Pēc 28 dienu cietēšanas un 15 salizturības cikliem spiedes stiprība arī gandrīz nemainās:

- ar 3% cementu: 0,40 MPa (masas zudumi 6,90 kg/m²).

50 salizturības ciklu pārbaudi paraugi ar 3% cementa saturu neiztur – sabrūk.

Paraugu ar 3% cementa saturu testēšana elastības moduļa izvērtējumam veikta pēc 28 dienu cietēšanas (1 diena ūdenī), testējot Tūlītējo nestspējas indeksu, un Elastības moduli – gan saskaņā ar dažādām metodēm (VSN, EN), gan arī veicot elastības moduļa testēšanu dažādās laboratorijās.

Elastības moduļa testēšanas rezultātu vērtības ir iegūtas dažādas.

4-4 tabula. Smilts ar 3% cementu elastības moduļu testēšanas rezultāti

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	Koefficients pret spiedes stiprību
		Smilts ar 3% cementu	
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	$(0,77+0,69+1,0+0,9)/4 = 0,84$	1,0
Tūlītējais nestspējas indekss pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas	LVS EN 13286-47 LVS CEN/TS 12390-9	114	135
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	VSN 46-83	495	589
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas – bs Lucane Sarl, MPa	LVS EN 13286-43 LVS CEN/TS 12390-9	2030	2417
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas – C E + LVC laboratorijas, MPa	LVS EN 13286-43 LVS CEN/TS 12390-9	1662	1979

Rupjas smilšainas grunts stabilizācija ar cementu ir ieteicama zemes klātnes konstruktīvo kārtu būvniecībai.

4.2 Jauktas grunts smilts-māla (ST*) stabilizācijas sastāvi

Stabilizācijas sastāvu izstrādei lietota sastādīta grunts: māla pulveris no SIA "Ceplis" 25% + dabīga smilts no karjera "Pērtņieki" (0-0,5mm smilts daļa) 50% + aizpildītājs, Saulkalne 25%, kas raksturojama kā smilts-māla maisījums – ST* (turpmāk - "smilts-māla maisījums").

Izgatavoti šādi stabilizācijas sastāvi:

- **smilts-māla maisījums 100% + cements 42,5N 3% ;**
- **smilts-māla maisījums 100% + cements 42,5N 6% ;**
- **smilts-māla maisījums 100% + cements 42,5N 3% + kaļķis 3% ;**
- **smilts-māla maisījums 100% + kaļķis 3% ;**
- **smilts-māla maisījums 100% + kaļķis 6% .**

Stabilizētā maisījuma īpašības (lietotā grunts - sastādīts smilts-māla maisījums):

4-5 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) sastādītam smilts-māla maisījumam, aprēķins

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	30,3	44,3	60,5	99,8	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Smilts-māla maisījumam ar dažādu Saulkalnes kaļķa saturu tika testēts pH līmenis, saskaņā ar Ceļu specifikācijas 12.10 punktu, lai noteiktu minimāli nepieciešamo kaļķa daudzumu grunts stabilizācijai.

4-6 tabula. Smilts-māla maisījuma ar kaļķi pH noteikšana (SIA "Ceļu eksperts" 23.11.2015. Testēšanas pārskats Nr. 2876/15)

Nr.	Kaļķis, Saulkalne, %	pH
1	0	9,97
2	2	12,38
3	3	12,47
4	4	12,60
5	5	12,66
6	6	12,69
7	8	12,73
8	10	12,78

4-7 tabula. Sagatavota stabilizētā maisījuma īpašības (SIA "Ceļu eksperts" 27.11.2014. Testēšanas pārskats Nr.3188/14; 23.11.2015. Testēšanas pārskats Nr. 2876/15)

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts				
		ar 3% cem.	6% cem	3 + 3% cem+k	ar 3% kaļķi	ar 6% kaļķi
Proktora tilpumsvars (maisījumam ar 3% cementu)	LVS EN 13286-2	1,920	1,948	1,905	1,928	1,934

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts				
		ar 3% cem.	6% cem	3 + 3% cem+k	ar 3% kaļķi	ar 6% kaļķi
Optimālais mitrums (maisījumam ar 3% cementu)	LVS EN 13286-3	12,7	12,3	13,0	13,2	12,8
Tūlītējais nestspējas indekss maisījumam	LVS EN 13286-47	17	9,0	15	15	16

4-8 tabula. Stabilizētā maisījuma īpašības pēc sagatavoto paraugu kondicionēšanas (SIA "Ceļu eksperts" 27.11.2014. Testēšanas pārskats Nr.3188/14; 13.05.2015. Testēšanas pārskats Nr.502/15; 13.05.2015. Testēšanas pārskats Nr.495/15)

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts				
		ar 3% cem.	ar 6% cem.	3+3% cem+k	ar 3% kaļķi	ar 6% kaļķi
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,937	1,948	1,896	---	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	12,5	12,3	13,8	---	---
Spiedes stiprība pēc 7 dienu (6 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	1,22	1,97	0,76	---	---
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,952	---	1,927	---	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	12,2	---	11,9	---	---
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 24h kapilāri piesūcinot) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	1,56	2,56*	1,51	0,42	0,69
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas (paraugi 100x200mm), MPa - CE spiedes tests; - bs Lucane Sarl testējot elastības moduli; - CE + LVC testējot elastības moduli	LVS EN 13286-41	---	---	---	---	---
		1,20 1,14		1,29 2,43		
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	---	---	---	1,929	1,936
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	---	---	---	13,2	12,8
Spiedes stiprība pēc 7 dienu cietēšanas ventilējamā krāsnī 40°C + 24h kapilāri piesūcinot ar ūdeni, MPa	LVS EN 13286-41	---	---	---	0,42	0,69
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,952	---	1,924	---	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	12,2	---	11,9	---	---
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (14 dienas 90-100% mitrumā, 14 dienas ūdenī) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	1,09	2,27*	1,05	---	---
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,948	1,951	1,904	---	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	12,2	12,3	13,0	---	---
Salizturības pārbaudes rezultāti pēc 28 dienu cietēšanas un 5 salizturības cikliem: - masas zudumi, g - masas zudumi, kg/m ² - parauga stāvoklis, vizuāls novērtējums (0; 1; 2; 3)	LVS CEN/TS 12390-9	90 12 2-3	325 41 3	236 30 2-3	---	---

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts				
		ar 3% cem.	ar 6% cem.	3+3% cem+k	ar 3% kaļķi	ar 6% kaļķi
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 5 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0,34	0,52	0,33	0,11*	0,14*
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	---	---	---	1,928	1,931
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	---	---	---	13,2	12,8
Salizturības pārbaudes rezultāti pēc 28 dienu cietēšanas un 5 salizturības cikliem: - masas zudumi, g - masas zudumi, kg/m ² - parauga stāvoklis, vizuāls novērtējums (0; 1; 2; 3)	LVS CEN/TS 12390-9	---	---	---	100 13 2-3	80 10 2-3
Spiedes stiprība pēc 7 dienu cietēšanas ventilējamā krāsnī 40°C + 24h kapilāri piesūcinot ar ūdeni + 5 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	---	---	---	0,11	0,14
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,950	---	1,900	---	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	12,2	---	13,0	---	---
Salizturības pārbaudes rezultāti pēc 28 dienu cietēšanas un 10 salizturības cikliem: - masas zudumi, g - masas zudumi, kg/m ² - parauga stāvoklis, vizuāls novērtējums (0; 1; 2; 3)	LVS CEN/TS 12390-9	173 22 2-3	---	231 30 2-3	---	---
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 10 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0,23	0,35*	0,18	---	---
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,954	---	1,909	---	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	12,2	---	13,0	---	---
Salizturības pārbaudes rezultāti pēc 28 dienu cietēšanas un 15 salizturības cikliem: - masas zudumi, g - masas zudumi, kg/m ² - parauga stāvoklis, vizuāls novērtējums (0; 1; 2; 3)	LVS CEN/TS 12390-9	220 28 2-3	---	704 90 3	---	---
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 15 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0,11	0,17*	0,10	---	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	12,2	---	13,0	---	---
Tūlītējais nestspējas indekss pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas	LVS EN 13286-47 LVS CEN/TS 12390-9	128	---	53	---	---
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	VSN 46-83	338	---	490	---	---
Tūlītējais nestspējas indekss pēc 7 dienu cietēšanas ventilējamā krāsnī 40°C + 24h kapilāri piesūcinot ar ūdeni	LVS EN 13286-47 LVS CEN/TS 12390-9	---	---	---	37	---
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas,	LVS EN 13286-43 LVS CEN/TS 12390-9	890	---	940	---	---

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts				
		ar 3% cem.	ar 6% cem.	3+3% cem+k	ar 3% kaļķi	ar 6% kaļķi
MPa - bs Lucane Sarl tests - CE + LVC laboratoriju tests		1954	---	1934	---	---
Elastības modulis pēc 7 dienu cietēšanas ventilējamā krāsnī 40°C + 24h kapilāri piesūcinot ar ūdeni, MPa – RTU lab.	LVS EN 13286-43 LVS CEN/TS 12390-9	---	---	---	122	---
Elastības modulis pēc 7 dienu cietēšanas ventilējamā krāsnī 40°C + 24h kapilāri piesūcinot ar ūdeni, MPa	VSN 46-83	---	---	---	73	---

* - aprēķināts

Rezultātu analīze

Pievienojot saistvielu, Proktora blīvums samazinās, savukārt optimālais mitrums palielinās. Pievienojot vairāk cementu, Tūlītējais nestspējas indekss paaugstinās.

Salīdzinot spiedes stiprības rezultātus ar 3% cementu, 6% cementu un 3% cements + 3% kaļķis pēc 7 dienu cietēšanas, var konstatēt, ka salīdzinoši labākus spiedes stiprības rādītājus uzrāda paraugi ar 6% cementu. Pēc 7 dienu cietēšanas paraugu ar 6% cementu spiedes stiprība (1,97 Mpa) ir 1,6x augstāka par paraugu ar 3% cementu spiedes stiprību (1,22 Mpa) un 2,6x augstāka par paraugu ar 3% cements + 3% kaļķis spiedes stiprību (0,76 Mpa).

Stabilizētā smilts-māla maisījuma paraugu spiedes stiprība pēc 28 dienu cietēšanas (1 diena ūdenī) testēta gan d=100 x l=100, gan d=100 x l=200 mm paraugiem:

- ar 3% cementu: 1,56; 1,20; 1,14 MPa, vidēji 1,30 MPa;
- ar 3% cementu un 3% kaļķi: 1,51; 1,29; 2,43 MPa, vidēji 1,74 MPa.

Novērtējot ūdens ietekmi uz paraugu cietēšanas procesu, var konstatēt, ka spiedes stiprība, izturot paraugus 14 dienas ūdenī, samazinās:

- ar 3% cementu: no 1,30 MPa uz 1,09 MPa, t.i., 1,2x;
- ar 3% cementu un 3% kaļķi: no 1,51 MPa uz 1,05 MPa, t.i., 1,4x.

Pēc 28 dienu cietēšanas un 5 salizturības cikliem paraugu spiedes stiprība samazinās ievērojami vairāk, nekā izturot paraugus 14 dienas ūdenī:

- ar 3% cementu: no 1,30 MPa uz 0,34 MPa, t.i., 3,8x (masas zudumi 12 kg/m²);
- ar 6% cementu: no 1,97 MPa (pēc 7 dienu cietēšanas) uz 0,52 MPa, t.i., 3,8x (masas zudumi 41 kg/m²);
- ar 3% cementu un 3% kaļķi: no 1,51 MPa uz 0,33 MPa, t.i., 4,6x (masas zudumi 30 kg/m²).
- paraugu ar 6% cementu spiedes stiprība (0,52 Mpa) ir augstāka nekā paraugiem ar 3% cementu (0,34 Mpa) – 1,5x, un paraugiem ar 3% cements + 3% kaļķis (0,33 MPa) – 1,6x.

Pēc 28 dienu cietēšanas un 10 salizturības cikliem spiedes stiprība pakāpeniski turpina samazināties:

- ar 3% cementu: 0,23 MPa (masas zudumi 22 kg/m²);
- ar 3% cementu un 3% kaļķi: 0,18 MPa (masas zudumi 30 kg/m²).

Pēc 28 dienu cietēšanas un 15 salizturības cikliem spiedes stiprība turpina samazināties:

- ar 3% cementu: 0,11 MPa (masas zudumi 28 kg/m²);
- ar 3% cementu un 3% kaļķi: 0,10 MPa (masas zudumi 90 kg/m²).

Tālāka paraugu ar 3% cementu, ar 6% cementu un 3% cements + 3% kaļķis pakļaušana salizturības cikliem nav lietderīga, jo pēc 15 salizturības cikliem faktiski ir sasniegta paraugu izturības galējā robeža.

Paraugu testēšana elastības moduļa izvērtējumam veikta pēc 28 dienu cietēšanas (1 diena ūdenī), testējot Tūlītējo nestspējas indeksu, un Elastības moduli – gan saskaņā ar dažādām metodēm (VSN, EN), gan arī veicot elastības moduļa testēšanu dažādās laboratorijās.

4-9 tabula. Smilts-māla maisījuma ar 3% cementu elastības moduļa testēšanas rezultāti

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	Koeficients pret spiedes stiprību
		Smilts ar 3% cementu	
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	$(1,56+1,20+1,14)/3 = 1,30$	1,0
Tūlītējais nestspējas indekss pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas	LVS EN 13286-47 LVS CEN/TS 12390-9	128	98
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	VSN 46-83	338	260
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas – bs Lucane Sarl, MPa	LVS EN 13286-43 LVS CEN/TS 12390-9	890	685
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas – C E + LVC laboratorijas, MPa	LVS EN 13286-43 LVS CEN/TS 12390-9	1954	1503

Elastības moduļa testēšanas rezultātu vērtības ir iegūtas dažādas. Elastības moduļu vērtības salīdzinātas ar paraugu spiedes stiprību.

4-10 tabula. Smilts-māla maisījuma ar 3% cementu un 3% kaļķi elastības moduļa testēšanas rezultāti

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	Koeficients pret spiedes stiprību
		Smilts ar 3% cementu	
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	$(1,51+1,29+2,43)/3 = 1,74$	1,0
Tūlītējais nestspējas indekss pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas	LVS EN 13286-47 LVS CEN/TS 12390-9	53	30
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	VSN 46-83	490	282
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas – bs Lucane Sarl, MPa	LVS EN 13286-43 LVS CEN/TS 12390-9	940	540
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas – C E + LVC laboratorijas, MPa	LVS EN 13286-43 LVS CEN/TS 12390-9	1934	1112

Elastības moduļa testēšanas rezultātu vērtības ir iegūtas dažādas. Elastības moduļu vērtības salīdzinātas ar paraugu spiedes stiprību.

Jauktas grunts smilts-māla maisījuma stabilizācija ar hidrauliskajām saistvielām ir ieteicama zemes klātnes konstruktīvo kārtu būvniecībai.

4.3 Smalkas grunts – putekļu grunts (UL) stabilizācijas sastāvi

Stabilizācijas sastāvu izstrādei lietotas Pļaviņu dolomīta atmazgātās smalkās izsijas, kas raksturojama smalka grunts – putekļu grunts – UL.

Izgatavoti šādi stabilizācijas sastāvi:

- **smalka grunts – putekļu grunts, Pļaviņu dolomīta atmazgātās smalkās atsijas 100% + cements 42,5N 3%;**
- **smalka grunts – putekļu grunts, Pļaviņu dolomīta atmazgātās smalkās atsijas 100% + cements 42,5N 6%.**

Stabilizēto maisījumu īpašības (Pļaviņu dolomīta atmazgātās smalkās atsijas):

4-11 tabula. Sagatavota stabilizētā maisījuma īpašības (SIA "Ceļu eksperts" 24.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2906/15)

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	
		ar 3% cem.	ar 6% cem.
Proktora tilpumsvars	LVS EN 13286-2	1,676	1,680
Optimālais mitrums	LVS EN 13286-3	19,0	19,0
Tūlītējais nestspējas indekss maisījumam	LVS EN 13286-47	18	20

4-12 tabula. Stabilizētās grunts īpašības pēc sagatavoto paraugu kondicionēšanas (SIA "Ceļu eksperts" 24.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2906/15)

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	
		ar 3% cem.	ar 6% cem.
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,675	1,680
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	19,0	19,0
Spiedes stiprība pēc 7 dienu (6 dienas 90-100% mitrumā, 24h kapilāri piesūcinot) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	0,39	0,77
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa – apr.	LVS EN 13286-41	0,51	1,00
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 10 salizturības cikli, MPa – apr.	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0,10	0,20
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 15 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0	0
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 50 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0	0

Rezultātu analīze

Pievienojot putekļainai gruntij vairāk cementu, TNI nedaudz paaugstinās. Proktora blīvums un optimālais ūdens saturs gruntij bez saistvielas un ar saistvielu, praktiski nemainās.

Spiedes stiprība, palielinot cementa saturu no 3 % uz 6 % palielinās apmēram 2 reizes, līdzīgi palielinās arī salizturības rādītāji.

Potenciāli šādas putekļainas grunts spiedes stiprības un salizturības rādītāji ir pietiekami, lai to varētu veiksmīgi stabilizēt, kā arī izmantot zemes klātnes uzbēruma būvniecībai (≥ 1 m no zemes klātnes virsmas) bez stabilizācijas, ja nav nepieciešams paaugstināt grunts nestspējas īpašības.

4.4 Smalkas grunts cieti plastiska māla (TL) stabilizācijas sastāvi

Stabilizācijas sastāvu izstrādei lietots māla pulveris no SIA "Ceplis", kas raksturojams kā cieti plastisks māls - TL.

Izgatavoti šādi stabilizācijas sastāvi:

- māla pulveris, SIA "Ceplis" 100% + cements 42,5N 3%;
- māla pulveris, SIA "Ceplis" 100% + cements 42,5N 3% + kaļķis 3%;
- māla pulveris, SIA "Ceplis" 100% + kaļķis 4 %;
- māla pulveris, SIA "Ceplis" 100% + kaļķis 6%.

Stabilizētā maisījuma īpašības (lietotās grunts - SIA "Ceplis" māla pulveris):

4-13 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) māla pulverim - SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2854/14):

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Cauršijāto daļiņu daudzums, masas %	84,1	91,1	97,6	99,3	99,7	100	100	100	100	100

4-14 tabula. Sagatavota stabilizētā maisījuma īpašības (SIA "Ceļu eksperts" 27.11.2014. Testēšanas pārskats Nr.3187/14; 13.05.2015. Testēšanas pārskats Nr.492/15; 23.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2877/15)

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts			
		ar 3% cem.	ar 4% kaļķi	3+3% cem+k	ar 6% kaļķi
Proktora tilpumsvars (maisījumam ar 3% cementu)	LVS EN 13286-2	1,601	1,712	1,612	1,677
Optimālais mitrums (maisījumam ar 3% cementu)	LVS EN 13286-3	14,7	17,6	17,2	18,6
Tūlītējais nestspējas indekss maisījumam	LVS EN 13286-47	19	16	19	28

Cieti plastiskam mālam ar dažādu MV Stimelit kaļķa saturu tika testēts pH līmenis, saskaņā ar Ceļu specifikācijas 12.10 punktu, lai noteiktu minimāli nepieciešamo kaļķa daudzumu grunts stabilizācijai.

4-15 tabula. Māla ar MV Stimelit kaļķi pH noteikšana (SIA "Ceļu eksperts" 23.11.2015. Testēšanas pārskats Nr. 2877/15)

Nr.	Kaļķis, Saulkalne, %	pH
1	0	8,98
2	3	12,36
3	4	12,41
4	5	12,44
5	6	12,44
6	7	12,44
7	8	12,45
8	10	12,45

4-16 tabula. Stabilizētā maisījuma īpašības pēc sagatavoto paraugu kondicionēšanas (SIA "Ceļu eksperts" 27.11.2014. Testēšanas pārskats Nr.3187/14)

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts			
		ar 3% cem.	ar 4% kaļķi	3+3% cem+k	ar 6% kaļķi
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,649	---	1,605	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	14,8	---	17,0	---
Spiedes stiprība pēc 7 dienu (6 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	0,15	---	0,56	---
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	---	---	1,617	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	---	---	17,4	---
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 24h kapilāri piesūcinot) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	---	0,34	0,95	0,52
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	---	1,675	---	1,677
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	---	17,6	---	18,6
Spiedes stiprība pēc 7 dienu cietēšanas ventilējamā krāsnī 40°C + 24h kapilāri piesūcinot ar ūdeni, MPa	LVS EN 13286-41	---	0,34	---	0,52
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	---	---	1,612	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	---	---	17,4	---
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (14 dienas 90-100% mitrumā, 14 dienas ūdenī) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	---	---	0,93	---
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 5 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0	0	0	0
Spiedes stiprība pēc 7 dienu cietēšanas ventilējamā krāsnī 40°C + 24h kapilāri piesūcinot ar ūdeni + 5 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0	0	0	0
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 10 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0	0	0	0
Spiedes stiprība pēc 7 dienu cietēšanas ventilējamā krāsnī 40°C + 24h kapilāri piesūcinot ar ūdeni + 10 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0	0	0	0
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 15 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0	0	0	0
Spiedes stiprība pēc 7 dienu cietēšanas ventilējamā krāsnī 40°C + 24h kapilāri piesūcinot ar ūdeni + 15 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0	0	0	0
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 50 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0	0	0	0

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts			
		ar 3% cem.	ar 4% kaļķi	3+3% cem+k	ar 6% kaļķi
Spiedes stiprība pēc 7 dienu cietēšanas ventilējamā krāsnī 40°C + 24h kapilāri piesūcinot ar ūdeni + 50 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0	0	0	0
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	---	---	17,4	---
Tūlītējais nestspējas indekss pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas	LVS EN 13286-47 LVS CEN/TS 12390-9	---	---	37	---
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	VSN 46-83	---	---	234	---

Rezultātu analīze

Pievienojot cementu, Proktora blīvums samazinās. Optimālais mitrums, pievienojot cementu palielinās. Tūlītējais nestspējas indekss, pievienojot saistvielu nedaudz paaugstinās. Ievērojami mazāks ir cieti plastiska māla CBR rādītājs, salīdzinot ar TNI, kas norāda un apliecina māla strauju nestspējas zudumu mitruma iedarbībā.

Salīdzinot spiedes stiprības rezultātus ar 3% cementu un 3% cements + 3% kaļķis pēc 7 dienu cietēšanas, var konstatēt, ka labākus spiedes stiprības rādītājus uzrāda paraugi ar 3% cements + 3% kaļķis. Pēc 7 dienu cietēšanas paraugu ar 3% cements + 3% kaļķis spiedes stiprība (0,56 MPa) ir 3,7x augstāka par paraugu ar 3% cementu spiedes stiprību (0,15 MPa).

Tālāka cieti plastiska māla paraugu izgatavošana un testēšana ar cementu nav lietderīga, jo iegūtais spiedes stiprības rezultāts pēc 7 dienu cietēšanas ir niecīgs un var droši prognozēt, ka cementa izmantošana tīrā veidā cieti plastiska māla stabilizācijai nav ne efektīva, ne lietderīga.

Stabilizētā cieti plastiska māla paraugu spiedes stiprība pēc 28 dienu cietēšanas (24h kapilāri piesūcinot):

- ar 3% cementu un 3% kaļķi: 0,95 MPa

Novērtējot ūdens ietekmi uz paraugu cietēšanas procesu, var konstatēt, ka spiedes stiprība, izturot paraugus 14 dienas ūdenī, praktiski nemainās:

- ar 3% cementu un 3% kaļķi: no 0,95 MPa uz 0,93 MPa.

Paraugu testēšana elastības moduļa izvērtējumam veikta pēc 28 dienu cietēšanas (1 diena ūdenī), testējot Tūlītējo nestspējas indeksu, un Elastības moduli – gan saskaņā ar dažādām metodēm (VSN, EN), gan arī veicot elastības moduļa testēšanu dažādās laboratorijās.

4-17 tabula. Cieti plastiska māla ar 3% cementu un 3% kaļķi elastības moduļa testēšanas rezultāti

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	Koeficients pret spiedes stiprību
		TL ar 3% cementu	
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 24h kapilāri piesūcinot) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	0,95	1,0
Tūlītējais nestspējas indekss pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas	LVS EN 13286-47 LVS CEN/TS 12390-9	37	39

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	Koeficients pret spiedes stiprību
		TL ar 3% cementu	
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	VSN 46-83	234	246

Elastības moduļa testēšanas rezultātu vērtības ir iegūtas dažādas. Elastības moduļu vērtības salīdzinātas ar paraugu spiedes stiprību.

Cieti plastiska māla stabilizācija ar kaļķi ir iespējama un ieteicama zemes klātnes konstrukcijās, kur netiek prasīta salizturība.

4.5 Smalkas grunts mīksti plastiska māla (TM) stabilizācijas sastāvi

Stabilizācijas sastāvu izstrādei lietots māls no SIA "Cemex", kas raksturojams kā mīksti plastisks māls - TM.

Izgatavoti šādi stabilizācijas sastāvi:

- māls, SIA "Cemex" 100% + kaļķis "Saulkalne" 6 %;
- māls, SIA "Cemex" 100% + kaļķis "Saulkalne" 10 %;
- māls, SIA "Cemex" 100% + kaļķis "Saulkalne" 15 %;
- māls, SIA "Cemex" 100% + kaļķis "Proviacal" 3 %;
- māls, SIA "Cemex" 100% + kaļķis "Priviacal" 6 %.

Stabilizētā maisījuma īpašības (lietotā grunts - SIA "Cemex" karjera māls):

4-18 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) māls SIA "Cemex" - SIA "Ceļu eksperts" 13.05.2015. Testēšanas pārskats Nr. 503/15):

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Mīksti plastiskam mālam ar dažādu Saulkalnes kaļķa saturu tika testēts pH līmenis, saskaņā ar Ceļu specifikācijas 12.10 punktu, lai noteiktu minimāli nepieciešamo kaļķa daudzumu grunts stabilizācijai.

4-19 tabula. Māla ar Saulkalnes kaļķi pH noteikšana (SIA "Ceļu eksperts" 20.11.2015. Testēšanas pārskats Nr. 2872/15)

Nr.	Kaļķis, Saulkalne, %	pH
1	0	7,77
2	2	11,57
3	3	11,86
4	4	12,03
5	5	12,19
6	6	12,28
7	8	12,37
8	10	12,42

Mīksti plastiskam mālam ar dažādu Proviacal kaļķa saturu tika testēts pH līmenis, saskaņā ar Ceļu specifikācijas 12.10 punktu, lai noteiktu minimāli nepieciešamo kaļķa daudzumu grunts stabilizācijai.

4-20 tabula. Māla ar Proviacal kaļķi pH noteikšana (SIA "Ceļu eksperts" 20.11.2015. Testēšanas pārskats Nr. 2872/15)

Nr.	Kaļķis, Saulkalne, %	pH
1	0	7,70
2	2	12,40
3	3	12,45

Nr.	Kaļķis, Saulkalne, %	pH
4	4	12,47
5	5	12,49
6	6	12,49
7	8	12,49
8	10	12,49

4-21 tabula. Sagatavota stabilizētā maisījuma īpašības (SIA "Ceļu eksperts" 20.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2872/15; 20.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2873/15; 26.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2920/15)

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts				
		ar 6% kaļķi	ar 10% kaļķi S	ar 15% kaļķi S	ar 3% kaļķi P	ar 6% kaļķi P
Proktora tilpumsvars (maisījumam ar 3% cementu)	LVS EN 13286-2	1,512	1,527	1,535	1,570	1,577
Optimālais mitrums (maisījumam ar 3% cementu)	LVS EN 13286-3	23,3	23,1	23,3	22,5	21,6
Tūlītējais nestspējas indekss maisījumam	LVS EN 13286-47	16	16	15	16	18

4-22 tabula. Stabilizētā maisījuma īpašības pēc sagatavoto paraugu kondicionēšanas (SIA "Ceļu eksperts" 20.11.2015. Testēšanas pārskats Nr. 2872/15)

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts				
		ar 6% kaļķi S	ar 10% kaļķi S	ar 15% kaļķi S	ar 3% kaļķi P	ar 6% kaļķi P
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,506	---	---	1,548	1,577
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	23,3	---	---	22,5	21,6
Spiedes stiprība pēc 7 dienu (6 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	0,35	---	---	0,26	0,70
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,527	---	---	1,590	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	23,9	---	---	22,5	---
Spiedes stiprība pēc 7 dienu cietēšanas ventilējamā krāsnī 40°C, MPa, bez ūdens	LVS EN 13286-41	2,54	---	---	2,79	---
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,540	---	---	1,580	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	23,3	---	---	22,5	---
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 24h kapilāri piesūcinot) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	0,92	0,55	0,58	0,65	---
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,533	1,527	1,535	1,579	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	23,9	23,1	23,3	22,5	---
Spiedes stiprība pēc 7 dienu cietēšanas ventilējamā krāsnī 40°C + 24h kapilāri piesūcinot ar ūdeni, MPa	LVS EN 13286-41	0,20	0,55	0,58	0,44	---

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts				
		ar 6% kaļķi S	ar 10% kaļķi S	ar 15% kaļķi S	ar 3% kaļķi P	ar 6% kaļķi P
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,507	---	---	1,533	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	23,3	---	---	22,5	---
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (14 dienas 90-100% mitrumā, 14 dienas ūdenī) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	0,76	---	---	0,47	---
+ 5 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0	0	0	0	0
+ 10 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0	0	0	0	0
+ 15 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0	0	0	0	0
+ 50 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0	0	0	0	0
Kalifornijas nestspējas vērtība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas	LVS EN 13286-47 LVS CEN/TS 12390-9	24	---	---	27	---
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	VSN 46-83	40	---	---	92	---

Mīksti plastisks māls ar jebkuru kaļķa saturu bija nepietiekami noturīgs pret mitruma iedarbību, lai spētu izturēt kādus sasaldēšanas-atkausēšanas ciklus.

Rezultātu analīze

Pievienojot kaļķi, Proktora blīvums samazinās. Atkarībā no kaļķa daudzuma Proktora blīvums mainās nedaudz. Optimālais mitrums, pievienojot kaļķi, palielinās. Atkarībā no kaļķa daudzuma optimālais mitrums mainās nedaudz. Tūlītējais nestspējas indekss, pievienojot kaļķi paaugstinās. Atkarībā no kaļķa daudzuma TNI mainās nedaudz. Ievērojami mazāks ir mīksti plastiska māla CBR rādītājs, salīdzinot ar TNI, kas norāda un apliecina māla strauju nestspējas zudumu mitruma iedarbībā.

Salīdzinot spiedes stiprības rezultātus ar 3% kaļķi un 6% kaļķis pēc 7 dienu cietēšanas, var konstatēt, ka labākus spiedes stiprības rādītājus uzrāda paraugi ar 6% kaļķi. Pēc 7 dienu cietēšanas paraugu ar 6% kaļķi spiedes stiprība (0,70 Mpa) ir vismaz 2x augstāka par ar 3% kaļķi spiedes stiprību (0,35 un 0,26 Mpa).

Apmēram tādi paši ir spiedes stiprības rezultāti pēc paraugu 7 dienu cietēšanas krāsnī 40 °C. Augstāka spiedes stiprība tiek iegūta, ja ir pievienots lielāks kaļķa daudzums (10 un 15%), bet stiprības pieaugums starp paraugiem ar 10 % kaļķi un 15 % kaļķi ir neliels – ap 4 %.

Paraugi ar jebkādu kaļķa daudzumu ir nenoturīgi pret mitruma iedarbību, līdz ar to tie nespēj pretoties sasaldēšanas-atkausēšanas cikliem.

Ja paraugus nepakļauj ūdens iedarbībai, tad to spiedes stiprība salīdzinoši ir 3-4 reizes augstāka, nekā, ja paraugus pirms testēšanas 24h kapilāri piesūcina ar ūdeni.

Paraugu testēšana elastības moduļa izvērtējumam veikta pēc 28 dienu cietēšanas (1 diena ūdenī), testējot Kalifornijas nestspējas vērtību un Elastības moduli (pēc VSN). Novērotā vidējā atšķirība starp TNI un Elastības moduli – 2,6.

Mīksti plastiska māla stabilizācija ar kaļķi ir iespējama un ieteicama zemes klātnes konstrukcijās, kur netiek prasīta salizturība.

4.6 Grunts ar organiskiem piejaukumiem (OH) stabilizācijas sastāvi

Stabilizācijas sastāvu izstrādei lietota grunts ar organiku no karjera "Pope IV - Rinda", kas raksturojama kā rupja vai jaukta grunts ar humusa piejaukumu - OH.

Izgatavoti šādi stabilizācijas sastāvi:

- grunts ar organiku, karjers "Pope IV - Rinda" 100% + cements 42,5N 3%;
- grunts ar organiku, karjers "Pope IV - Rinda" 100% + cements 42,5N 6%;
- grunts ar organiku, karjers "Pope IV - Rinda" 100% + cements 42,5N 3% + kaļķis 3%.

Stabilizēto maisījumu īpašības (lietotā grunts - grunts ar organiku, karjers "Pope IV - Rinda"):

4-23 tabula. Granulometriskais sastāvs (LVS EN 933-1) gruntij ar organiku - SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2849/14; 02.02.2015. Testēšanas pārskats Nr.116/15)

Sietu izmērs, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	6,7	9,7	28,1	59,6	73,0	81,9	88,2	91,5	94,4	96,4
Sietu izmērs, mm	16	22,4	31,5	45	56	63	90			
Caursijāto daļiņu daudzums, masas %	98,1	100	100	100	100	100	100			

Granulometriskā sastāva nevienmērīguma pakāpe, Cu = 4,0

4-24 tabula. Sagatavota stabilizētā maisījuma īpašības (SIA "Ceļu eksperts" 02.02.2015. Testēšanas pārskats Nr.116/15)

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	
		ar 3% cem.	ar 6% cem.
Proktora tilpumsvars (maisījumam ar 3% cementu)	LVS EN 13286-2	1,928	1,937
Optimālais mitrums (maisījumam ar 3% cementu)	LVS EN 13286-3	12,3	12,3
Tūlītējais nestspējas indekss maisījumam	LVS EN 13286-47	9,3	11,2
pH līmenis (smilts/cements 10:1)	Ceļu specifikācijas 2014 9.12.p	10,62	

4-25 tabula. Stabilizētā maisījuma īpašības pēc sagatavoto paraugu kondicionēšanas (SIA "Ceļu eksperts" 02.02.2015. Testēšanas pārskats Nr.116/15; 12.05.2015. Testēšanas pārskats Nr.484/15)

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	
		ar 3% cem.	ar 6% cem.
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m³	LVS EN 13286-50	1,939	1,937
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	12,3	12,3
Spiedes stiprība pēc 7 dienu (6 dienas 90-100% mitrumā, 24h kapilāri piesūcinot) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	0,21	0,29

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	
		ar 3% cem.	ar 6% cem.
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,908	
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	12,2	
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	0,10	0,38*
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas (paraugi 100x200mm), MPa - CE spiedes tests; - bs Lucane Sarl testējot elastības moduli; - CE + LVC testējot elastības moduli	LVS EN 13286-41	--- 0,16 0,30	---
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,895	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	12,2	---
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (14 dienas 90-100% mitrumā, 14 dienas ūdenī) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	0,07	0,27
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,897	1,944
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	12,2	12,2
Salizturības pārbaudes rezultāti pēc 28 dienu cietēšanas un 5 salizturības cikliem: - masas zudumi, g - masas zudumi, kg/m ² - parauga stāvoklis, vizuāls novērtējums (0; 1; 2; 3)	LVS CEN/TS 12390-9	115 15 2-3	141 18 2-3
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 5 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0,07	0,03
Spiedes stiprība pēc 7 dienu cietēšanas ventilējamā krāsnī 40°C + 24h kapilāri piesūcinot ar ūdeni + 5 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	---	---
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,904	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	12,2	---
Salizturības pārbaudes rezultāti pēc 28 dienu cietēšanas un 10 salizturības cikliem: - masas zudumi, g - masas zudumi, kg/m ² - parauga stāvoklis, vizuāls novērtējums (0; 1; 2; 3)	LVS CEN/TS 12390-9	250 32 2-3	---
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 10 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0,03	0
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,903	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	12,2	---
Salizturības pārbaudes rezultāti pēc 28 dienu cietēšanas un 15 salizturības cikliem: - masas zudumi, g - masas zudumi, kg/m ² - parauga stāvoklis, vizuāls novērtējums (0; 1; 2; 3)	LVS CEN/TS 12390-9	1747 223 3	
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 15 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0 (izjūk)	0
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	12,2	---

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	
		ar 3% cem.	ar 6% cem.
Tūlītējais nestspējas indekss pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas	LVS EN 13286-47 LVS CEN/TS 12390-9	20	---
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	VSN 46-83	175	---
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa - bs Lucane Sarl tests - CE + LVC laboratoriju tests	LVS EN 13286-43 LVS CEN/TS 12390-9	100	---
		333	---

* - aprēķināts

Rezultātu analīze

Pievienojot cementu, Proktora blīvums palielinās. Savukārt smilts ar organiku optimālais mitrums ar pievienotu cementu samazinās. Pievienojot vairāk cementu, Tūlītējais nestspējas indekss paaugstinās. Mazāks ir smilts ar organiku CBR rādītājs, salīdzinot ar TNI, kas norāda uz smilts ar organiku tendenci nestspējas samazinājumam mitruma iedarbībā.

Salīdzinot spiedes stiprības rezultātus ar 3% cementu, 6% cementu un 3% cements + 3% kaļķis pēc 7 dienu cietēšanas, var konstatēt, ka salīdzinoši labākus (bet zemus) spiedes stiprības rādītājus uzrāda paraugi ar 6% cementu. Pēc 7 dienu cietēšanas paraugu ar 6% cementu spiedes stiprība (0,29 Mpa) ir 1,4x augstāka par paraugu ar 3% cementu spiedes stiprību (0,21 Mpa).

Stabilizētā grunts ar organiku paraugu spiedes stiprība pēc 28 dienu cietēšanas (1 diena ūdenī) testēta gan $d=100 \times l=100$, gan $d=100 \times l=200$ mm paraugiem:

- ar 3% cementu: 0,10; 0,16; 0,30 MPa, vidēji 0,19 MPa;

Novērtējot ūdens ietekmi uz paraugu cietēšanas procesu, var konstatēt, ka spiedes stiprība, izturot paraugus 14 dienas ūdenī, samazinās un paraugi jau gandrīz sabrūk:

- ar 3% cementu: no 0,19 MPa uz 0,07 MPa, t.i., 2,7x;

Pēc 28 dienu cietēšanas un 5 salizturības cikliem paraugu spiedes stiprība samazinās līdzīgi kā izturot paraugus 14 dienas ūdenī:

- ar 3% cementu: no 0,19 MPa uz 0,07 MPa, t.i., 2,7x (masas zudumi 15 kg/m²);
- ar 6% cementu: no 0,29 MPa (pēc 7 dienu cietēšanas) uz 0,03 MPa, t.i., 9,7x (masas zudumi 18 kg/m²);
- paraugu ar 3% cementu spiedes stiprība (0,07 Mpa) ir augstāka nekā paraugiem ar 6% cementu (0,03 Mpa), bet sasniegtās vērtības ir ļoti niecīgas.

Pēc 28 dienu cietēšanas un 10 salizturības cikliem spiedes stiprība turpina samazināties:

- ar 3% cementu: 0,03 MPa (masas zudumi 32 kg/m²).

Pēc 28 dienu cietēšanas 15 salizturības ciklus paraugi neiztur.

Paraugi ar 3% cementu un ar 6% cementu neiztur 15 salizturības ciklus un līdz ar to neiztur arī 50 salizturības ciklus.

Paraugu testēšana elastības moduļa izvērtējumam veikta pēc 28 dienu cietēšanas (1 diena ūdenī), testējot Tūlītējo nestspējas indeksu, un Elastības moduli – gan saskaņā ar dažādām metodēm (VSN, EN), gan arī veicot elastības moduļa testēšanu dažādās laboratorijās.

4-26 tabula. Smilts ar organiku ar 3% cementu elastības moduļu testēšanas rezultāti

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts	Koeficients pret spiedes stiprību
		Smilts ar 3% cementu	
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	0,19	1,0
Tūlītējais nestspējas indekss pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas	LVS EN 13286-47 LVS CEN/TS 12390-9	20	105
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas, MPa	VSN 46-83	175	921
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas – bs Lucane Sarl, MPa	LVS EN 13286-43 LVS CEN/TS 12390-9	100	526
Elastības modulis pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas – C E + LVC laboratorijas, MPa	LVS EN 13286-43 LVS CEN/TS 12390-9	333	1752

Elastības moduļa testēšanas rezultātu vērtības ir iegūtas dažādas. Elastības moduļu vērtības salīdzinātas ar paraugu spiedes stiprību.

Grunts ar organiku izmantošana stabilizācijai zemes klātnes konstrukcijās visticamāk nebūs iespējama. Ja organikas saturs ir neliels (līdz 2-3%), izmantošana var būt iespējama atsevišķos gadījumos, bet visticamāk, ja grunts ir ar organisko daļiņu piemaisījumu, jāplāno tās nomaīņa ar citu labāku grunti.

4.7 Stabilizācijas sastāvi, izmantojot cementa piedevu Roadcem

Stabilizācijas sastāvu izstrādei, izmantojot cementa piedevu Roadcem izmantoti:

- cieti plastisks māls (TL);
- mīksti plastisks māls (TM);
- grunts ar organiskiem piejaukumiem (OH).

Roadcem pievienots 1 masas % no cementa masas.

Izgatavoti šādi stabilizācijas sastāvi:

- cieti plastisks māls TL 100% + cements 3% + Roadcem;
- cieti plastisks māls TL 100% + cements 6% + Roadcem;
- mīksti plastisks māls TM 100% + cements 3% + Roadcem;
- mīksti plastisks māls TM 100% + cements 6% + Roadcem;
- mīksti plastisks māls TM 100% + cements 10% + Roadcem;
- grunts ar organiskiem piejaukumiem OH 100% + cements 3% + Roadcem.

4-27 tabula. Stabilizētā maisījuma īpašības izmantojot Roadcem (SIA "Ceļu eksperts" 23.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2878/15; 23.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2886/15; 26.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2921/15)

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts						
		TL + 3%	TL + 6%	TM + 3%	TM + 6%	TM + 10%	OH + 3%	OH + 6%
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,732	1,722	1,597	1,616	1,605	1,922	1,926
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	16,7	19,2	20,4	19,9	22,6	12,3	12,3
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 24h kapilāri piesūcinot) cietēšanas, MPa	LVS EN 13286-41	0,71	1,33	0,87	1,01	1,81	0,12	0,37
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,729	1,732	1,571	1,605	1,607	---	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	16,7	19,2	20,4	19,9	22,6	---	---
Salizturības pārbaudes rezultāti pēc 28 dienu cietēšanas un 10 salizturības cikliem: - masas zudumi, g - masas zudumi, kg/m ² - parauga stāvoklis, vizuāls novērtējums (0; 1; 2; 3)	LVS CEN/TS 12390-9	124 16 3	14 2 1-2	98 12 3	23 6 2-3	2 0,13 0-1	sa- brūk	sa- brūk
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 10 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0,09	0,65	0,05	0,69	0,78	0	0
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	1,752	1,737	---	1,606	1,602	---	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	16,7	19,2	---	19,9	22,6	---	---

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts						
		TL + 3%	TL + 6%	TM + 3%	TM + 6%	TM + 10%	OH + 3%	OH + 6%
Salizturības pārbaudes rezultāti pēc 28 dienu cietēšanas un 15 salizturības cikliem: - masas zudumi, g - masas zudumi, kg/m ² - parauga stāvoklis, vizuāls novērtējums (0; 1; 2; 3)	LVS CEN/TS 12390-9	146 19 3	105 13 3	sa- brūk 3	132 17 3	17 2 1-2	sa- brūk	sa- brūk
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 15 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0,04	0,25	0	0,14	0,47	0	0
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-50	---	---	---	---	---	---	---
Ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	---	---	---	---	---	---	---
Salizturības pārbaudes rezultāti pēc 28 dienu cietēšanas un 50 salizturības cikliem: - masas zudumi, g - masas zudumi, kg/m ² - parauga stāvoklis, vizuāls novērtējums (0; 1; 2; 3)	LVS CEN/TS 12390-9	sa- brūk	sa- brūk	sa- brūk	sa- brūk	sa- brūk	sa- brūk	sa- brūk
Spiedes stiprība pēc 28 dienu (27 dienas 90-100% mitrumā, 1 diena ūdenī) cietēšanas + 50 salizturības cikli, MPa	LVS EN 13286-41 LVS CEN/TS 12390-9	0	0	0	0	0	0	0

Rezultātu analīze

Stabilizējot cieti plastisku mālu ar cementu un Roadcem, iespējams iegūt salīdzinoši ievērojami labāku stabilizēto struktūru, nekā stabilizējot tikai ar kaļķi:

- spiedes stiprība, pievienojot Roadcem, paaugstinās 1,4 – 3,5 reizes;
- ar kaļķi vai cementu paraugi ir nenoturīgi pret sasaldēšanas-atkausēšanas cikliem, bet, pievienojot Roadcem, paraugi ar 6% cementa daudzumu spēj pienācīgi izturēt pat līdz 15 sasaldēšanas-atkausēšanas ciklus;
- ar cementa daudzumu 3% + Roadcem salizturības īpašības ir zemas, bet spiedes stiprība ir pietiekama, lai šādi stabilizētu grunti vietās, kur salizturība nav nepieciešama.

Stabilizējot mīksti plastisku mālu ar cementu un Roadcem, iespējams iegūt salīdzinoši ievērojami labāku stabilizēto struktūru, nekā stabilizējot tikai ar kaļķi:

- spiedes stiprība, pievienojot Roadcem, paaugstinās apmēram 2 reizes;
- ar kaļķi vai cementu paraugi ir nenoturīgi pret sasaldēšanas-atkausēšanas cikliem, bet, pievienojot Roadcem, paraugi ar 3% cementa daudzumu spēj izturēt 5 sasaldēšanas-atkausēšanas ciklus, ar 6% cementa daudzumu – 10 ciklus, ar 10% cementa daudzumu – 15 un vairāk ciklus atkarībā no konkrēto prasību līmeņa.

Stabilizējot grunti ar organisko daļiņu saturu, nekāds efekts no Roadcem pievienošanas netika novērots – spiedes stiprība nemainās, salizturības īpašības nepaaugstinās – paraugi ir nenoturīgi pret sasaldēšanas-atkausēšanas cikliem.

50 sasaldēšanas-atkausēšanas ciklus neviena grunts (cieti plastisks māls, mīksti plastisks māls, grunts ar organiku) ar jebkādu lietoto cementa + Roadcem saturu neiztur.

Cementa lietošana ar Roadcem ir ieteicama smilšainu, putekļainu mālainu grunšu stabilizācijai zemes klātnes konstrukcijās gan ar, gan bez prasībām salizturībai.

4.8 Grunts pastiprināšanas sastāvi, uzlabojot plastiskas māla gruntis ar Pļaviņu atmazgātiem rupjiem putekļiem bez saistvielām

Grunts pastiprināšanas sastāvu izstrādei, izmantojot Pļaviņu dolomīta atmazgātus rupjus putekļus izmantoti:

- cieti plastisks māls (TL);
- mīksti plastisks māls (TM);
- Pļaviņu dolomīta atmazgāti rupji putekļi (SU*).

Izgatavoti šādi grunts pastiprināšanas sastāvi:

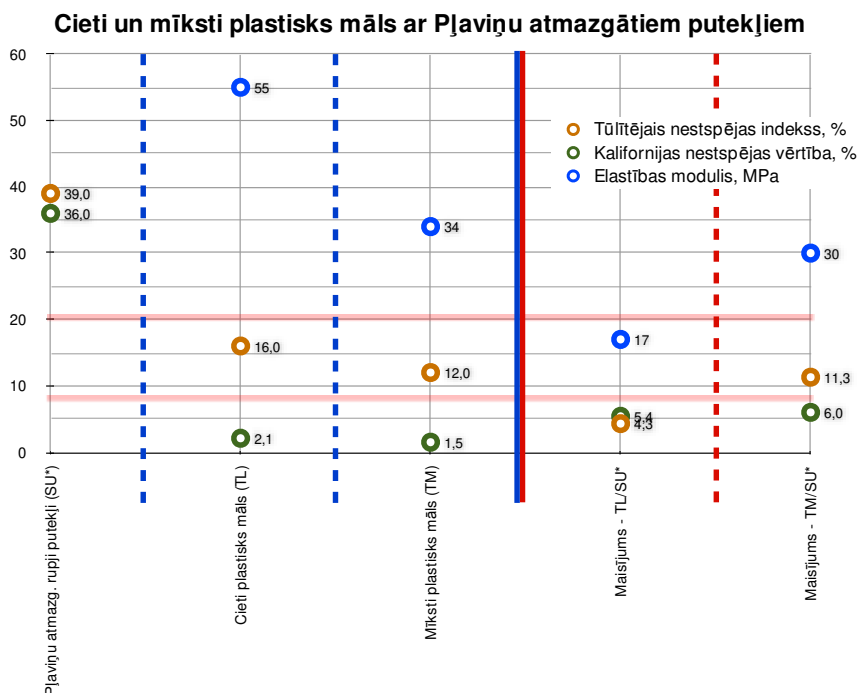
- cieti plastisks māls **TL 50% + Pļaviņu dolomīta atmazgāti rupji putekļi SU* 50%**;
- mīksti plastisks māls **TM 50% + Pļaviņu dolomīta atmazgāti rupji putekļi SU* 50%**.

4-28 tabula. Grunšu un maisījumu īpašības (SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014.

Testēšanas pārskats Nr.2854/14; 13.05.2015. Testēšanas pārskats Nr.503/15; 20.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2872/15; 24.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2907/15)

Testētā īpašība, mērvienība	Metode	Rezultāts				
		SU*	TL	TM	TL/SU*	TM/SU*
Parauga sausais tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 13286-2	1,741	1,803	1,741	1,996	2,002
Optimālais ūdens saturs, %	LVS EN 1097-5	16,5	14,6	15,8	12,0	12,2
Tūlītējais nestspējas indekss, %	LVS EN 13286-47	39	16	12	4,3	11,3
Kalifornijas nestspējas vērtība, %	LVS EN 13286-47	36	2,1	1,5	5,4	6,0
Elastības modulis, MPa	VSN 46-83	---	55	34	17	30
Saņemtā parauga ūdens saturs w, %	LVS EN 1097-5	---	3,1	29,2	---	---
Plūstamības robeža, LL	ASTM D 4318-05	nav plast.	31,0	44	19,7	21,7
Plasticitātes robeža, PL	ASTM D 4318-05		13,4	22	12,0	12,0
Plasticitātes indekss, PI	ASTM D 4318-05		18,0	22	8,0	10,0
Plūstamības indekss, LI	ASTM D 4318-05		-0,6	0,31	---	---

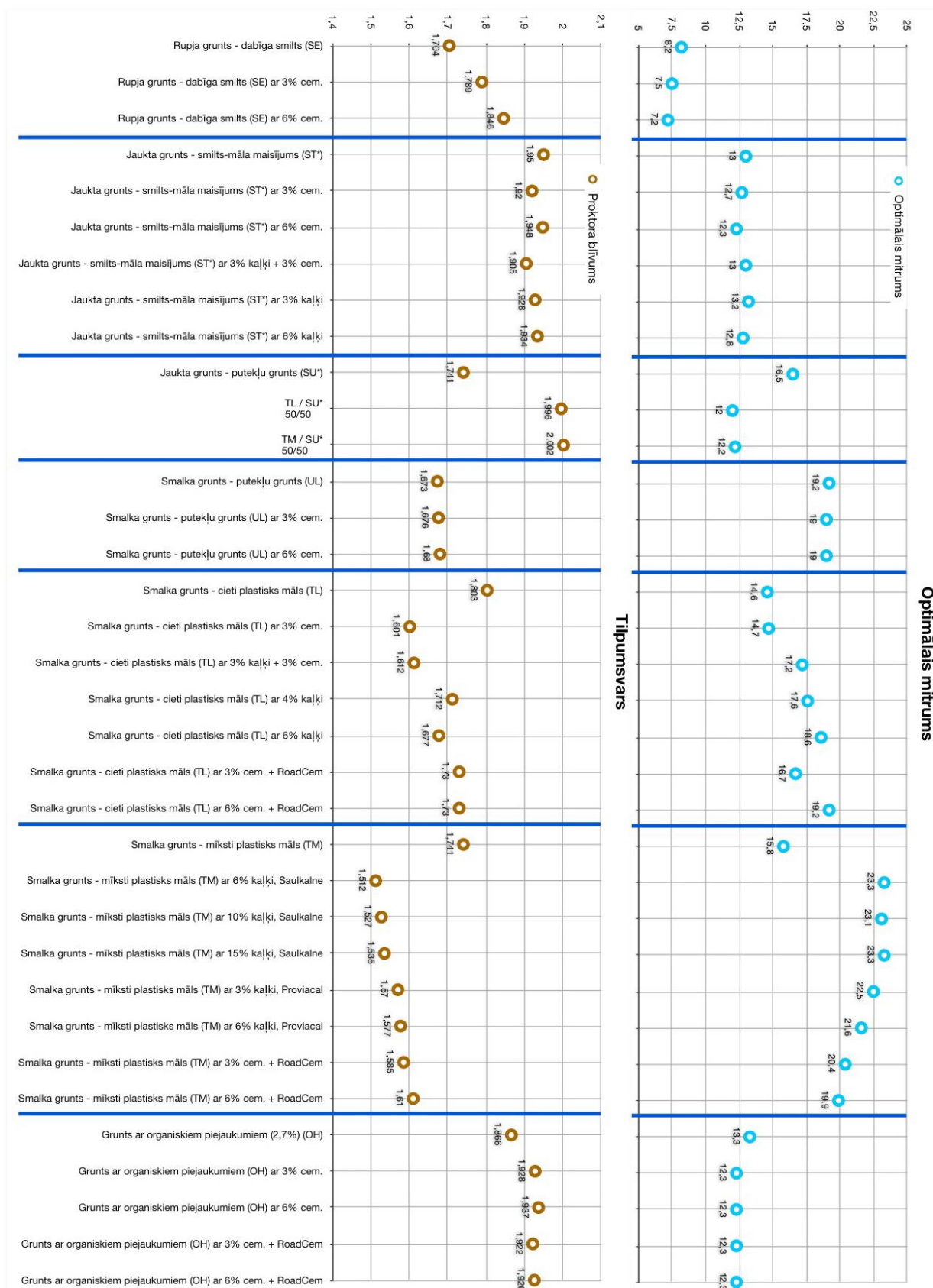
Rezultātu analīze



Iegūtais CBR paaugstinājums ir 3-4 reizes. Konkrētajā gadījumā, vērtējot pēc *Ceļu specifikāciju* prasībām, tas nav pietiekams uzlabojums, lai izpildītu prasības (jābūt vismaz $CBR \geq 8 \%$ vai $\geq 20 \%$). Savukārt Elastības moduļa un TNI vērtības, salīdzinot ar mālainai gruntij testēto Elastības moduli un TNI, samazinājās. Tāpēc būtu vēl jāizstrādā tālākie risinājumi reālam pielietojumam, piemēram, šādi pastiprinātu grunts maisījumu stabilizējot ar 3 % kaļķi un 3 % cementu, kas potenciāli varētu nodrošināt prasību izpildi, lai šādi stabilizēta kārtā atbilstu kritērijiem zemes klātnes būvniecībai, vai arī jāpieņem lēmums veikt grunts nomaiņu, ja stabilizācija nedotu nepieciešamo efektu.

5 Testēšanas rezultātu kopskati

5.1 Grunšu un grunšu maisījumu ar saistvielu optimālais ūdens saturs un tilpumsvars.



5.2 Grunšu un grunšu maisījumu ar saistvielu TNI un CBR.



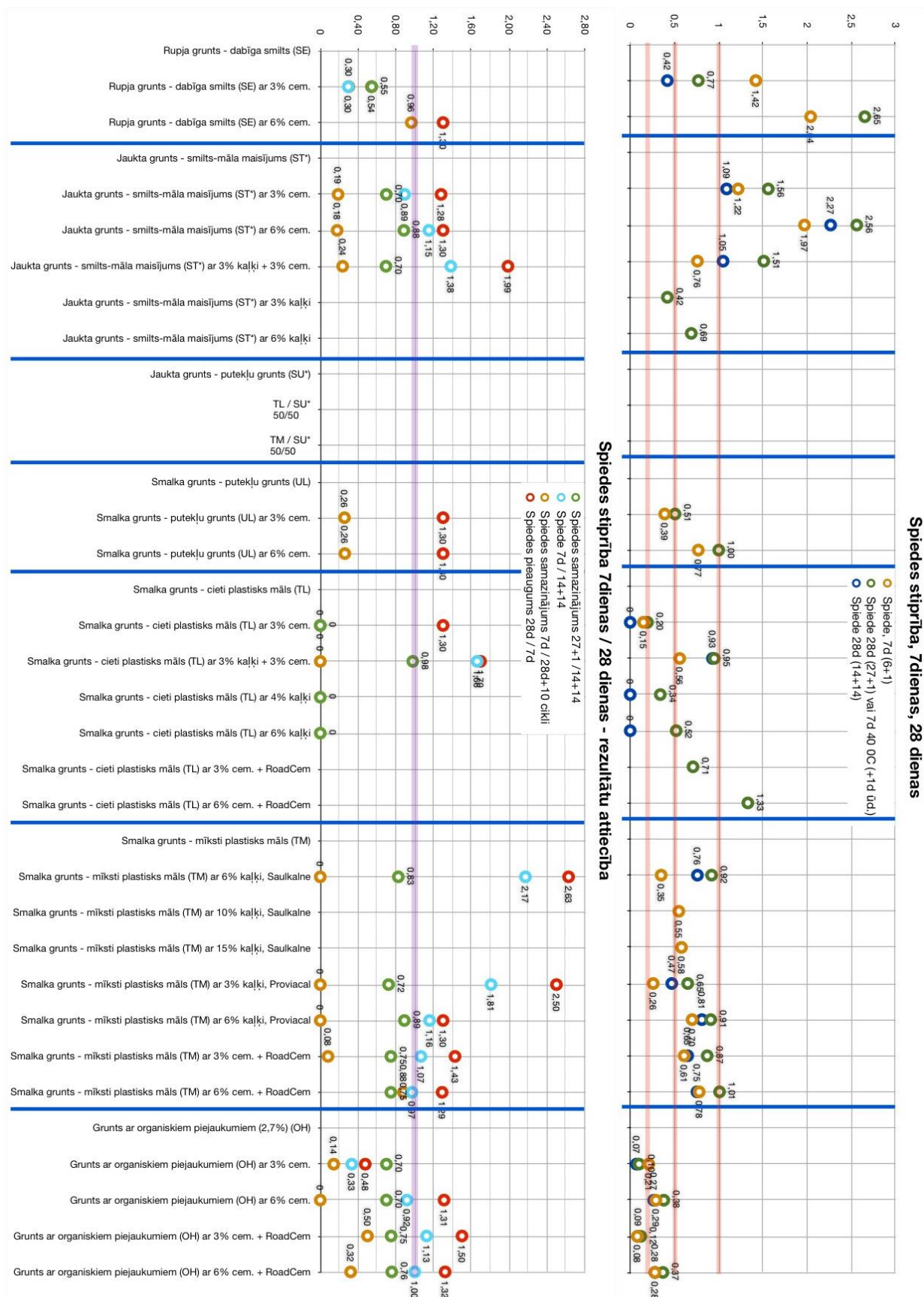
TNI smilšainām un putekļainām gruntīm vidēji ir nedaudz augstāks kā mālainām gruntīm, bet starpība nav pārāk liela, savukārt CBR vērtības atšķiras ievērojami. Ja smilšainām un putekļainām gruntīm atšķirības starp TNI un CBR vērtībām nav lielas, tad mālainām gruntīm CBR vērtības ir ievērojami zemākas par TNI vērtībām, kas norāda uz to, ka mālainu grunšu īpašības dramatiski izmainās – pazeminās ūdens iedarbībā.

Samaisot mālainas gruntis ar putekļainām gruntīm, ir iespējams paaugstināt CBR vērtību pret mālainu grunšu CBR vērtību šādam maisījumam, un kaut arī konstatētais CBR pieaugums ir vismaz apmēram 2 reizes pret mālainu grunšu CBR, tāpat iegūtās šādu maisījumu CBR vērtības ir zemas un konkrētajos gadījumos bez papildus stabilizācijas šādu grunšu maisījumu zemes klātnes būvē lietot nevarēs.

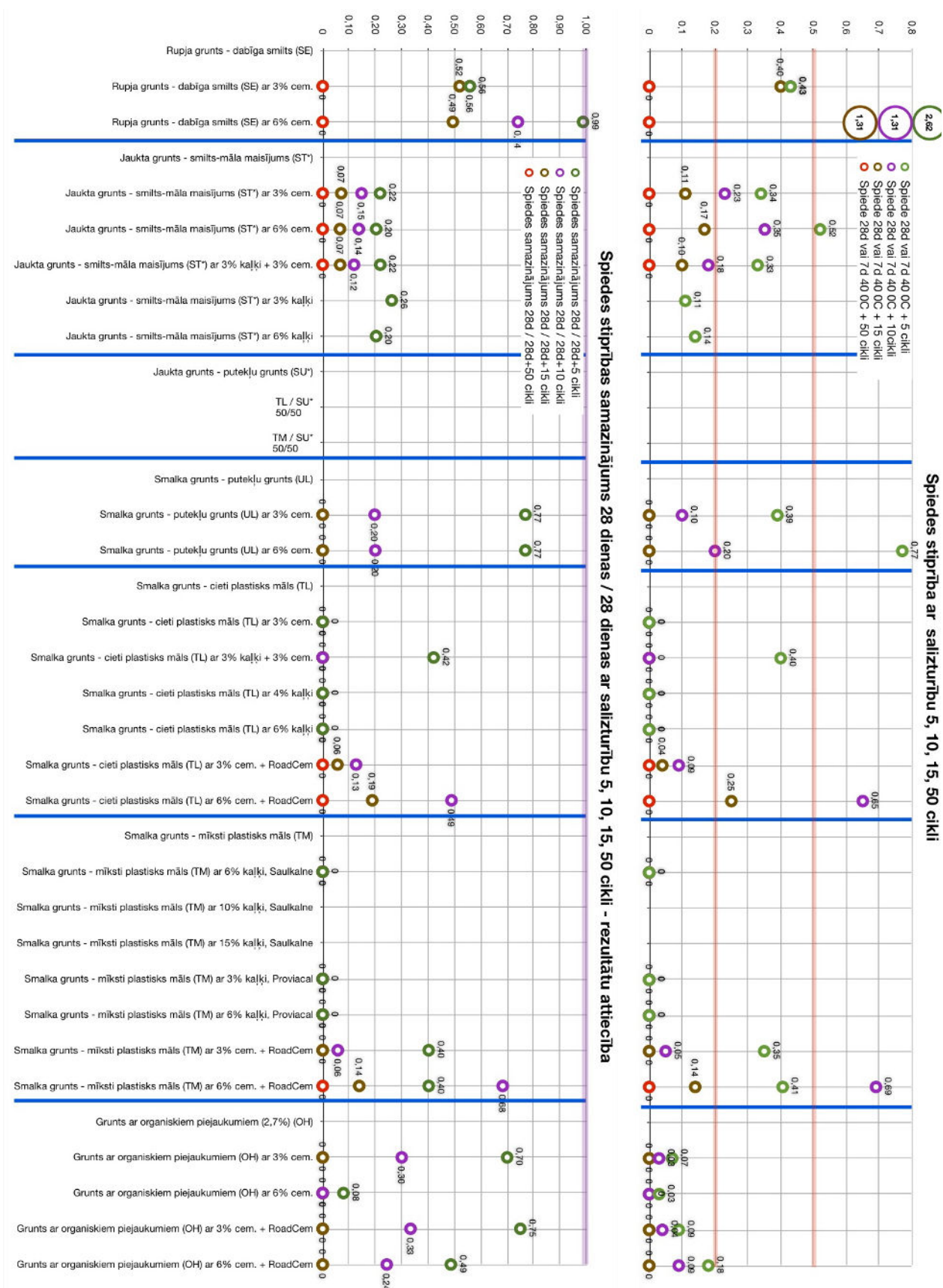
Optimālais ūdens saturs mazāks ir smilšainām un putekļainām gruntīm, lielāks mālainām gruntīm – jo vairāk smalko daļiņu, jo optimālais ūdens saturs ir lielāks. Pievienojot saistvielu, optimālais ūdens saturs parasti pieaug.

Tilpumsvars ir lielāks smilšainām un putekļainām gruntīm, mazāks mālainām gruntīm, pievienojot saistvielu, tilpumsvars parasti samazinās.

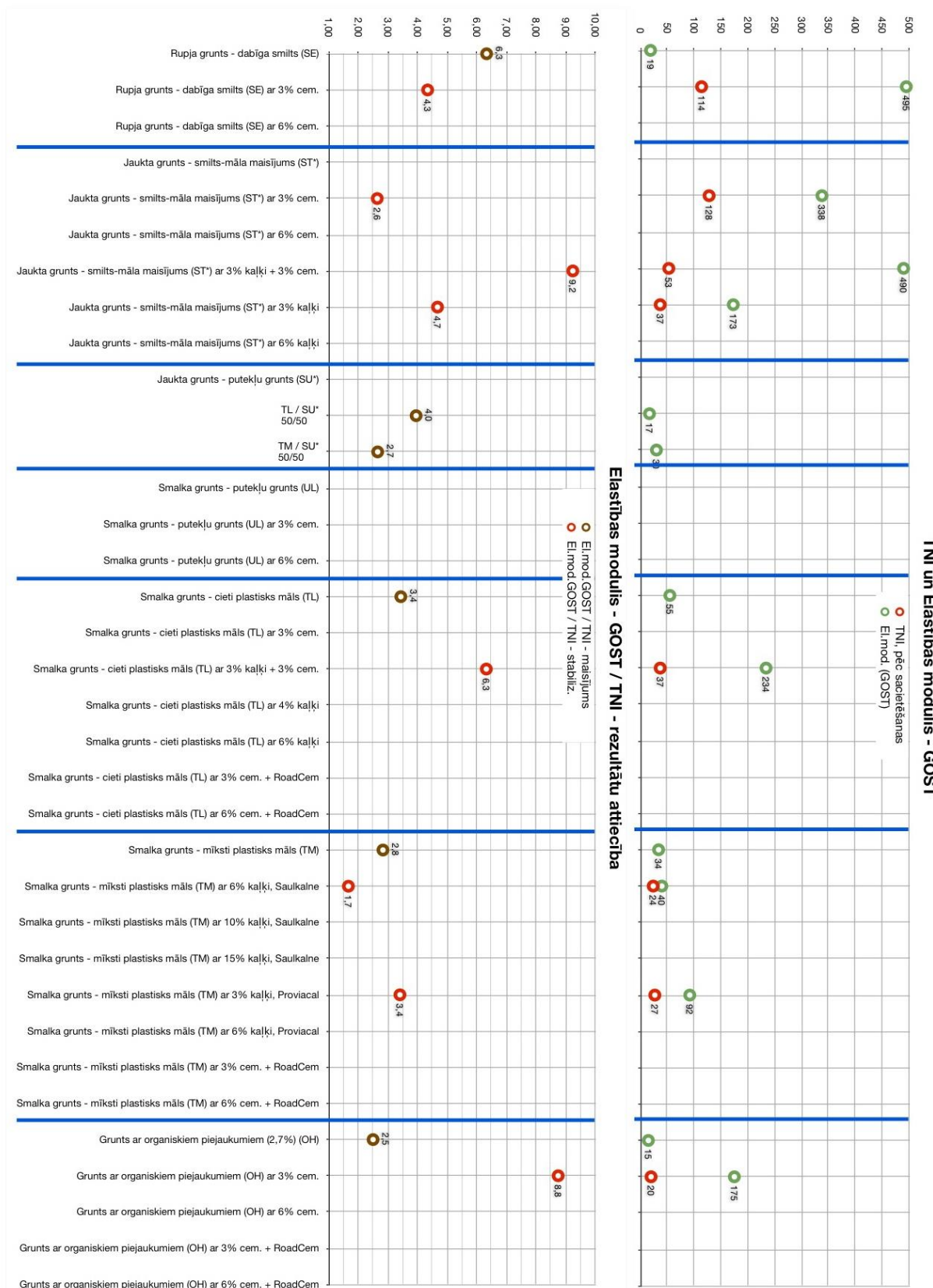
5.3 Spiedes stiprība pēc 7 dienu un 28 dienu cietēšanas



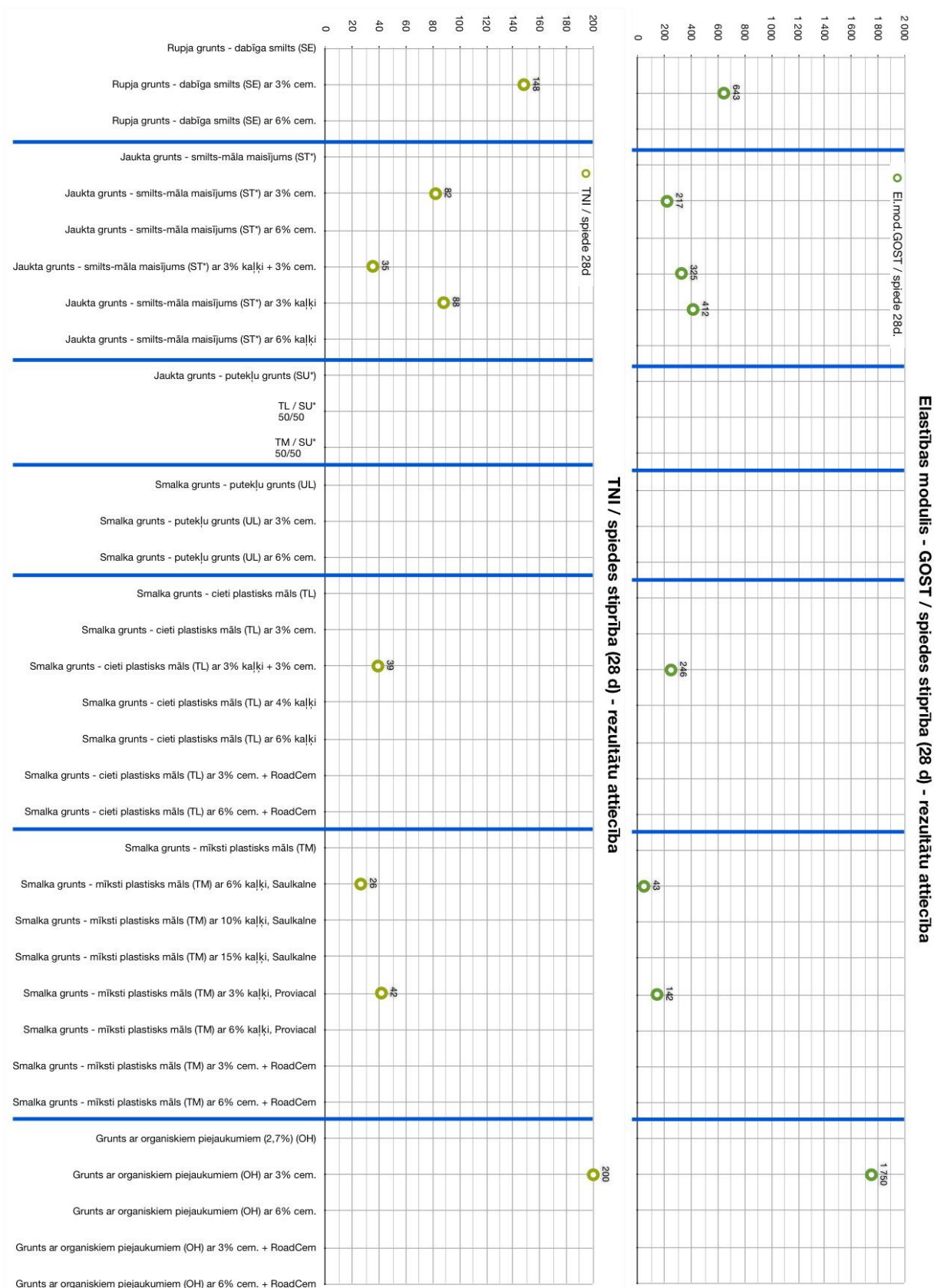
5.4 Spiedes stiprība pēc salizturības 5, 10, 15, 50 cikliem



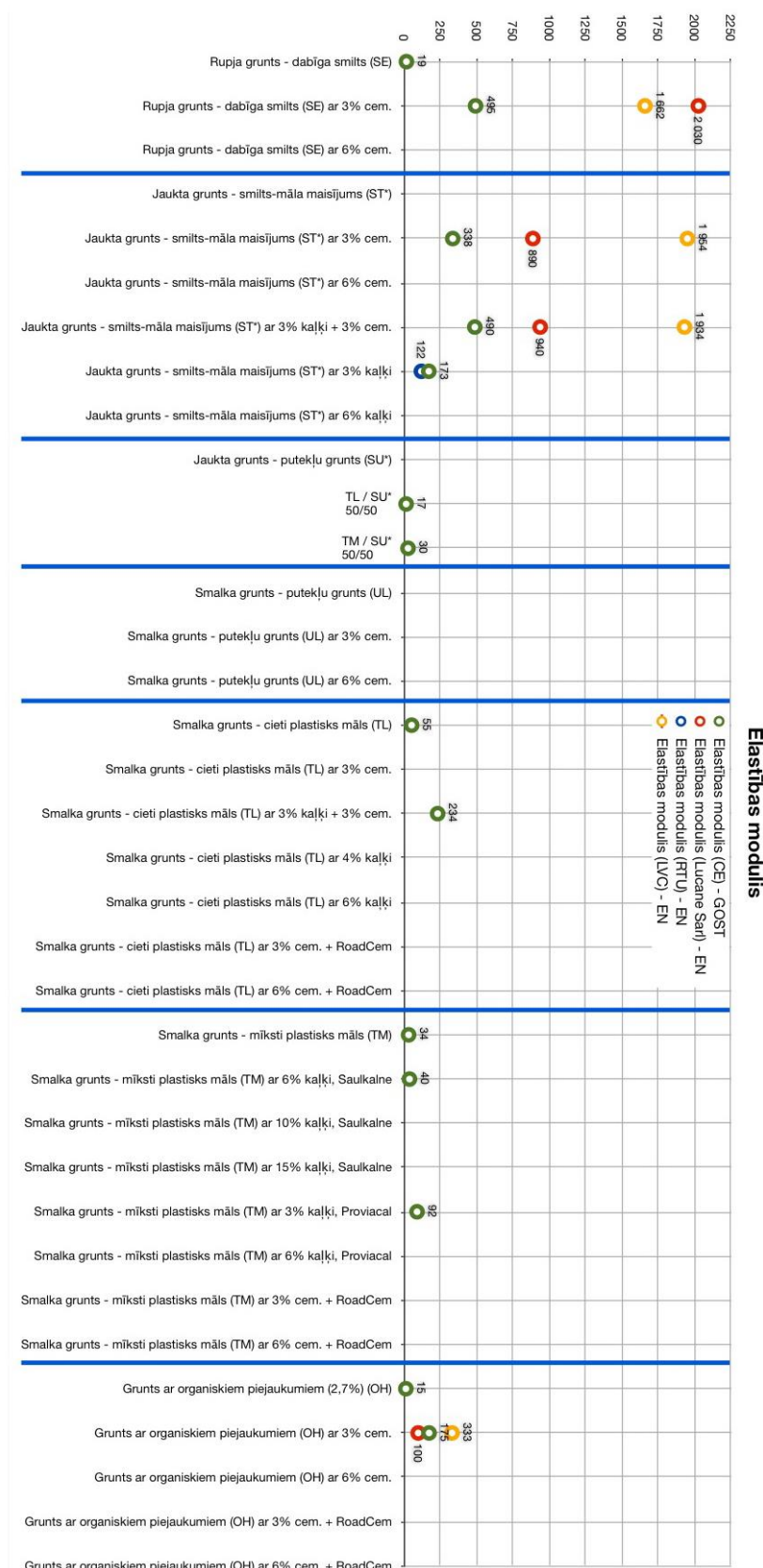
5.5 Ar saistvielām saistītu paraugu TNI un Elastības modulis – GOST



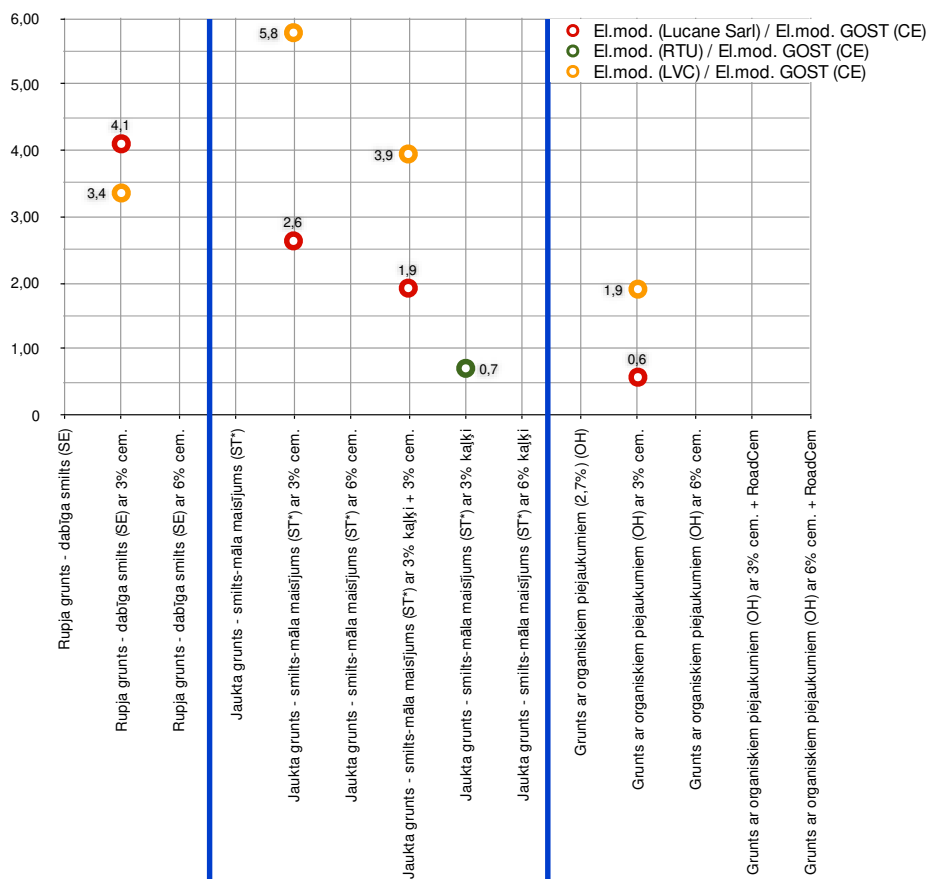
5.6 TNI un Elastības moduļa pēc GOST rezultātu attiecība pret spiedes stiprību



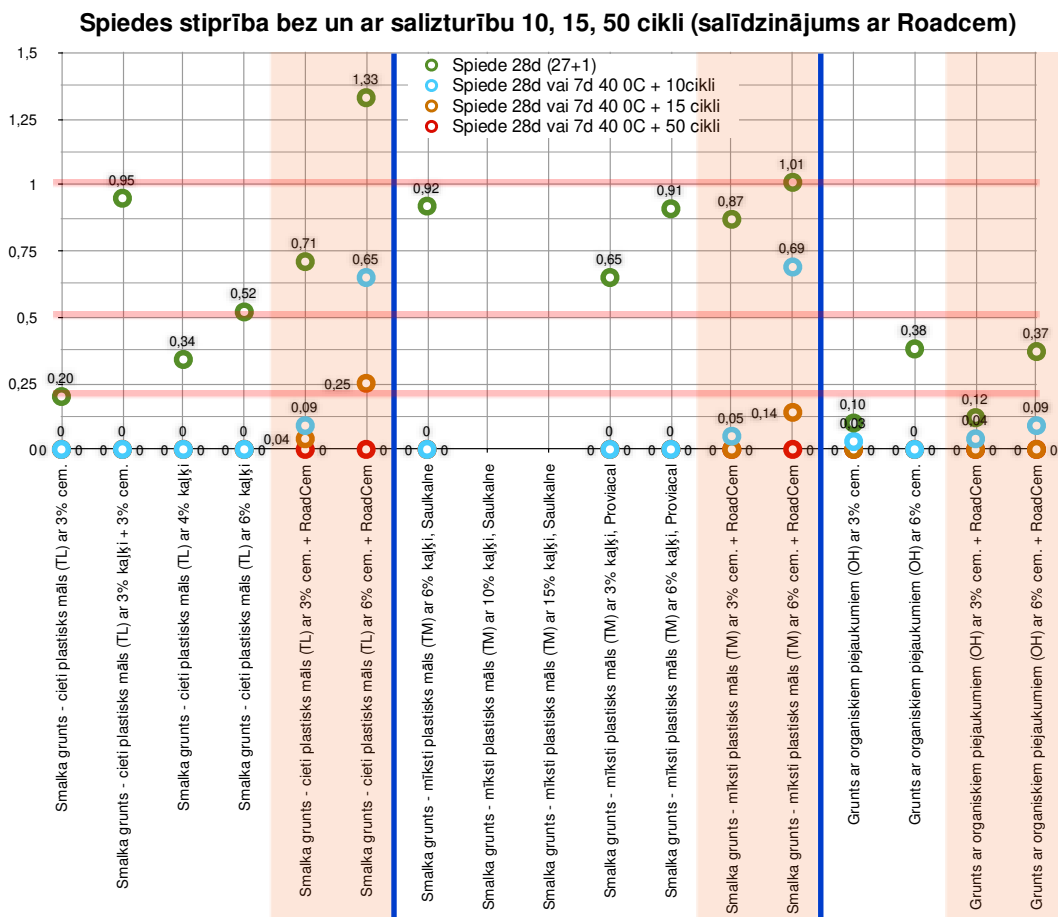
5.7 Ar saistvielām saistītu paraugu elastības moduļi



Elastības modulis - EN / elastības modulis - GOST - rezultātu attiecība



5.8 Piedevas Roadcem ietekme



6 Ceļa konstrukciju piemēri

6.1 Ceļa segas konstrukcijas un stabilizācijas sastāva piemērs būvobjektā "Aveņu iela Ikšķilē"

Aveņu iela Ikšķilē ir vietējas nozīmes iela. Paredzamā satiksmes intensitāte – neliela ($AADT_{j, pievestā} \leq 500$; $AADT_{j, smagie} \leq 100$), pārsvarā vieglais autotransports un apkalpojošās smagās automašīnas. Aprēķinātais vajadzīgais ceļa segas elastības modulis $E_{vaj.} = 147$ MPa. Esošā grunts ir: vidēji 30 cm dziļumā – augu zeme, dziļāk – smilšaina vai putekļaina grunts. Konstatētais gruntsūdens līmenis 1,45 – 1,75 m no esošās zemes virsmas. Paredzams, ka jaunbūvējamā ceļa virsma būs esošās zemes virsmas līmenī vai nedaudz virs tās. Ceļa segums – karstais asfalts.

Paredzot izbūvēt tradicionālu ceļa segas konstrukciju (iepriekš norokot augu zemes kārtu un aizvācot visu esošo grunti jaunajai ceļa segai nepieciešamajā dziļumā), tā būs šāda:

- AC tipa karstā asfalta seguma kārtā – 6 cm;
- šķembu vai grants maisījuma nesošā kārtā – 27 cm;
- salizturīgā kārtā no pievestas smilšainas grunts – 35 cm
- tālāk – esošā grunts.

Tika veikta esošās grunts paraugu ņemšana un tās testēšana, iegūstot šādus rezultātus:

- paraugs Nr.1:
 - esošais mitrums – 7,6 %;
 - tūlītējais nestspējas indekss ar esošo mitrumu – 79 %;
 - grunts smalkā daļa nav plastiska;
 - $\leq 0,063$ mm – 16,3 %;
 - ≤ 2 mm – 99,4 %;
- paraugs Nr.2:
 - esošais mitrums – 10,1 %;
 - tūlītējais nestspējas indekss ar esošo mitrumu – 52 %;
 - grunts smalkā daļa nav plastiska;
 - $\leq 0,063$ mm – 35,4 %;
 - ≤ 2 mm – 99,5 %.

Secinājumi:

- esošās grunts nestspējas īpašības ir labas, ko apliecina izmērītais TNI – 52 % un 79 %, => ir nodrošināts, ka paredzamais zemes klātnes elastības modulis būs vismaz 45 MPa;
- esošās grunts apzīmējums saskaņā ar LVS 190-5 ir ST– smilts putekļu maisījums;
- konstatētais gruntsūdens līmenis 1,45 – 1,75 m no zemes virsmas ceļa segas konstrukcijas kalpotspēju neietekmēs;
- stabilizējot esošo grunti ar cementu, to iespējams izmantot salizturīgajā kārtā.

Ieteicams stabilizēt esošo grunti ar cementu, līdz ar to izmantojot šo stabilizēto grunti salizturīgajā kārtā:

- plānojamais pievienojamais cementa daudzums – 5 – 7 %;
- sasniedzamā spiedes stiprība pēc 28 dienu cietēšanas un 10 salizturības cikliem – 1,0 MPa.

Savukārt ceļa segas nesošajā kārtā ieteicams izbūvēt ar cementu saistītu kārtu:

- minerālmateriālu (jaunu vai reciklētu) maisījums 0/16 vai 0/32s – saskaņā ar *Ceļu specifikāciju* 5.2. punktu;
- plānojama pievienojamais cementa daudzums 3 – 4 %;
- projektējamā spiedes stiprība pēc 28 dienu cietēšanas un 10 salizturības cikliem – 2,0 MPa.

Alternatīvā ceļa segas konstrukcija, salizturīgo kārtu izbūvējot no esošās grunts, stabilizējot to ar cementu un nesošo kārtu saistot ar cementu:

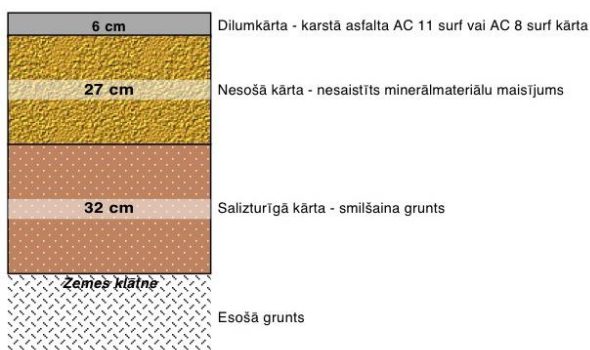
- AC tipa karstā asfalta seguma kārtā – 6 cm;
- ar cementu saistīta nesošā kārtā – 22 cm;
- salizturīgā kārtā – ar cementu stabilizēta esošā grunts – 40 cm
- tālāk – esošā grunts.

Izmaksu salīdzinājums (EUR bez PVN):

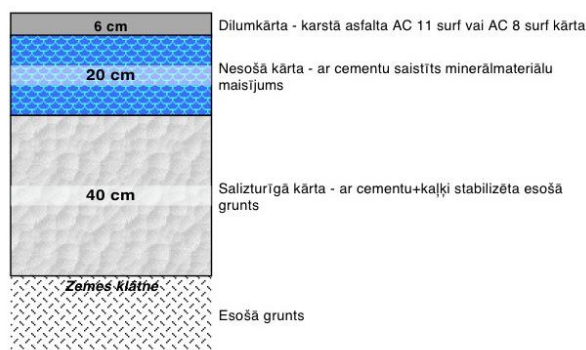
Nr. p.k.	Materiāli	Kārtas biezums, cm	Izmaksa, EUR (2014. gada vidējās cenas)	Izmaksa kopā (a), EUR	Izmaksa kopā (b), EUR
1	Karstā asfalta dilumkārtā	6	1,86	11,16	11,16
2a	Nesaistītu minerālmateriālu nesošā kārtā	27	0,35	9,45	---
2b	Nesošā kārtā saistīta ar cement (3-4%)	22	0,26	---	5,72
3a	Salizturīgā kārtā no pievestas smilšainas grunts	35	0,10	3,50	---
3b	Ar cementu (5-7%) stabilizēta esošā grunts	40	0,17	---	6,80
4a	Gultnes izveidošana ceļa segai	68	0,04	2,72	---
4b	Gultnes izveidošana segumam un nesošajai kārtai	28	0,04	---	1,12
	Kopējais biezums:	68	Izmaksa kopā:	26,83	24,80

Kā redzams, tad no izmaksu viedokļa visticamāk racionāli ir izmantot cementu, jo tādējādi efektīvi var izmantot esošo grunti, kura nav jāizrok un jāutilizē, kā arī nav nepieciešama jaunu dabas resursu izlietošana salizturīgās kārtas būvniecībai, un zemākas var tikt izvirzītas prasības lietojamajam minerālmateriālam stabilizācijai ar cementu nesošajā kārtā – palielinās iespējas izmantot tuvāk pieejamus vietējos resursus, kā arī atgūtus materiālus.

Projektētā ceļa sega



Alternatīvā ceļa sega



6-1 attēls. Projektētā un alternatīvā ceļa segas konstrukcija

6.2 Segas konstrukcijas un stabilizācijas sastāva piemērs būvobjektā "Valsts autoceļš DDD"

Objekts atrodas uz valsts autoceļa DDD Tukuma rajonā – Irlavas un Zemītes pagastā. Ceļa posmā no A līdz B km ceļa klātnes platums ir ~10 m, grants segums ir nolietojies. Grenčos ir šaurs, sabrucis asfaltbetona segums. Ceļa klātnē daudzviet ir „nulles” profilā un vietām zemāk par esošo reljefu, bez sāngrāvjiem. Posma sākumā ir agrāk iesākti ceļa rekonstrukcijas darbi (plānotajās iztaisnojumu vietās noņemta augu zeme). Dažviet ceļš ir līkumots, ar ierobežotu pārredzamību. Nodalījuma josla ir aizaugusi ar krūmiem. Atsevišķām autobusu pieturām nav paplašinājumu un pasažieru platformu, pasažieru paviljoni ir kritiskā stāvoklī.

Aprēķinātais ekvivalento 10-t ass noslogojums aprēķina periodā = 0,86 milj.

Izvērtējot ceļa posma noslogojumu atbilstoši 2. intensitātes prognozes scenārijam, ceļa segai kalpošanas periodā būtu jāuzņem 2,9 milj. ekvivalento 10-t ass pārbraucienu.

Segas konstrukcijas novērtēšanas robežas:

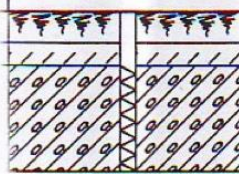
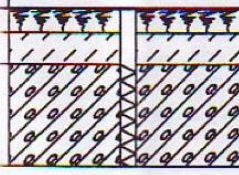
- Atbilstoši IV būvklasei B = no 0,3 līdz 0,8 milj. (10 t ass ekv. pārbr.)
- Atbilstoši III būvklasei B = no 0,8 līdz 3 milj. (10 t ass ekv. pārbr.)

Racionālam risinājumam ceļa sega ir projektēta atbilstoši IV būvklases prasībām, kura, ņākotnē pastiprinot ar vēl vienu asfaltbetona seguma kārtu, būs atbilstoša III būvklases prasībām un spēs uzņemt smagā transporta slodzes pie abiem intensitātes prognozes scenārijiem.

Nepieciešamās segas konstrukcijas prasības pēc RSTO - 01 IV būvklasei:

- Asfaltbetona dilumkārtā 4 cm;
- Asfaltbetona apakškārtā 9 cm;
- Šķembu maisījuma pamats 34 cm;
- Drenējoša smilts atbilstoši segas virsbūves salnoturības biezuma prasībām.
- (Nestspējai uz salnoturīgā pamata jābūt ne zemākai par 45 MPa), slogojot pēc DIN 18134.

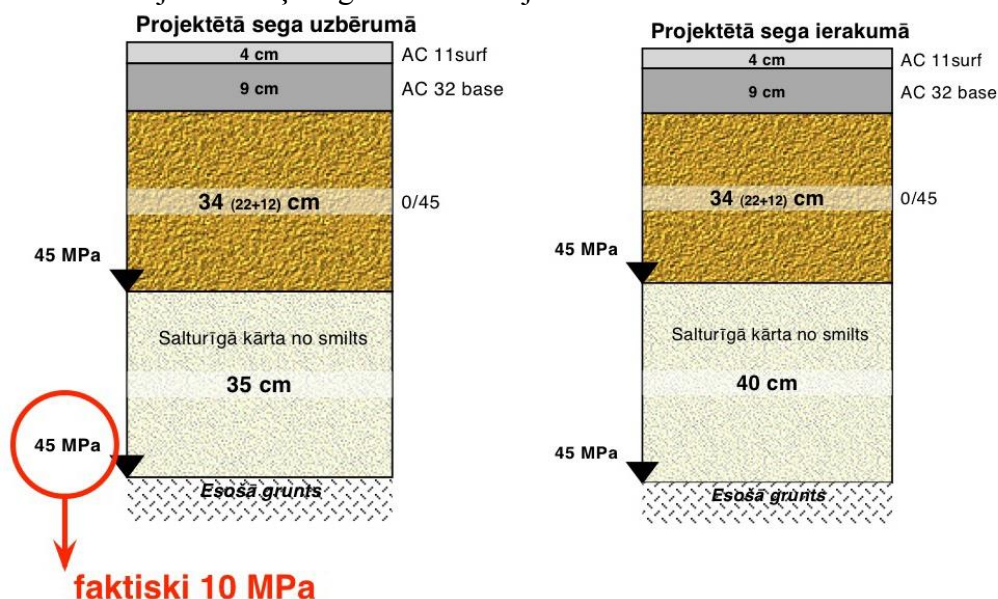
Ģeoloģiskās izpētes dati ierakumā:

URB- 7 (km 19.65)		Absolūtā atzīme: 95.0 m	
Urbuma griezumš	Grunšu apraksts	Pazemes ūdens	
		parādīšanās	nostāšanās
	Augsnes virskārta	-	-
	Blīva, sausa, pelēka mālsmilts	-	-
	Morēnas smilšmāls, stiepri plastisks	-	-
URB- 8 (km 19.70)		Absolūtā atzīme: 95.1 m	
Urbuma griezumš	Grunšu apraksts	Pazemes ūdens	
		parādīšanās	nostāšanās
	Augsnes virskārta	-	-
	Blīva, sausa, brūna mālsmilts	-	-
	Morēnas smilšmāls, stiepri plastisks	-	-

Projektā paredzēts izstrādāt grunti ierakumā un to izmantot uzbērums būvniecībai.

Faktiskā grunts nestspēja, mērot ar statisko plātņi – vidēji 10 MPa (7 ... 15 MPa), grunts CBR = 3,4 %.

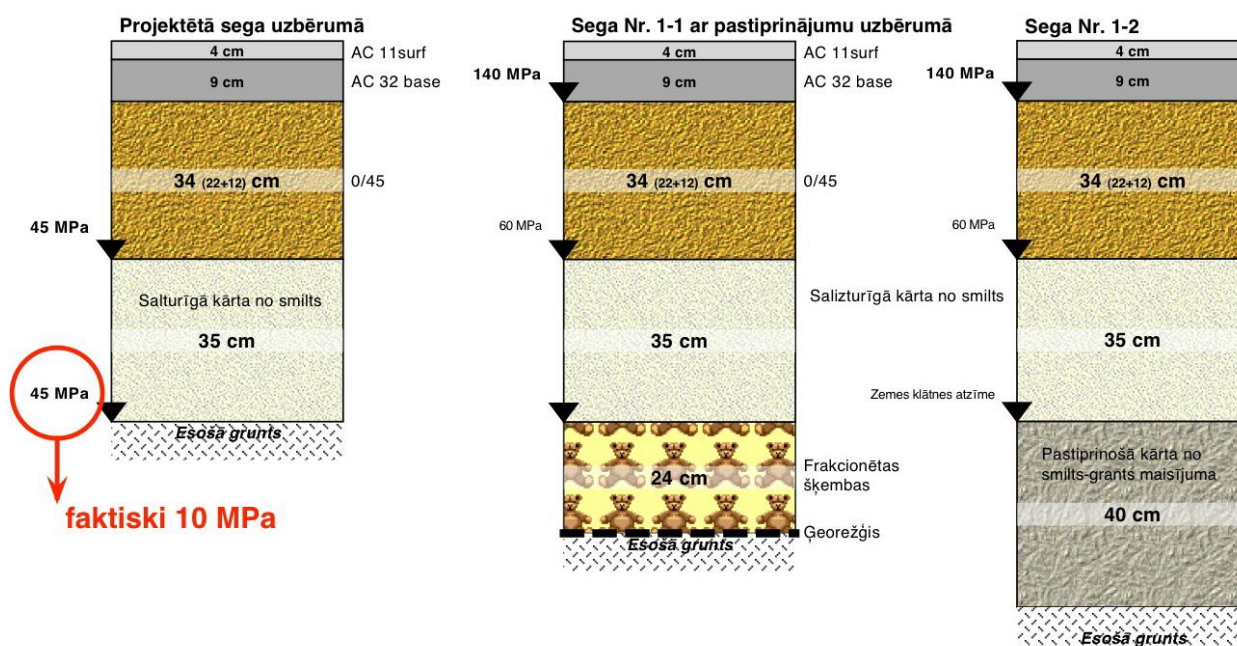
Projektētā ceļa segas konstrukcija uzbērumā un ierakumā:



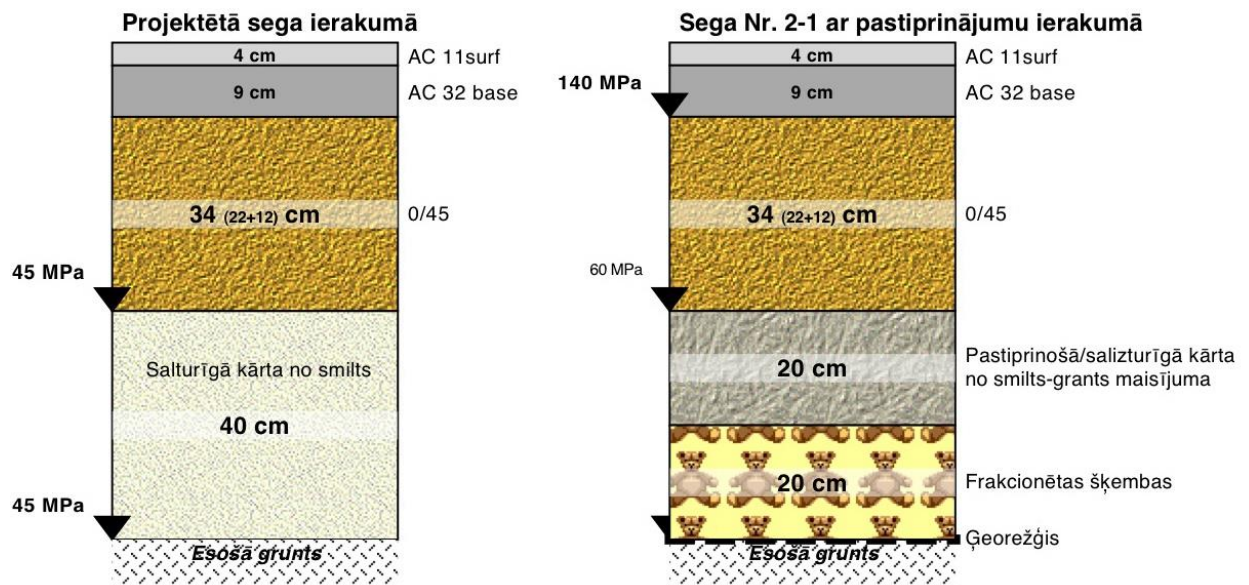
6-2 attēls. Projektētās ceļa segas konstrukcijas

Projekta risinājumu ir neiespējami realizēt, jo esošo grunti nav iespējams izmantot zemes klātnes uzbēruma būvniecībai, kā arī tā nav derīga zemes klātnes augšējā daļā ierakumā.

Tā kā grunts ir mālaina, plastiska, ar ļoti zemām nestspējas īpašībām, tās stabilizācija ar hidrauliskajām saistvielām var būt problemātiska un maz efektīva. Ceļa segas konstrukcijas pastiprinājumu ieteicams realizēt, veicot nederīgās grunts apmaiņu, vai arī pastiprinot konstrukciju ar ģeorežģi (šajā gadījumā nederīgās aizvācamās grunts apjoms būs mazāks).



6-3 attēls. Ieteicamās ceļa segas konstrukcijas uzbērumā.



6-4 attēls. Ieteicamās ceļa segas konstrukcijas ierakumā.

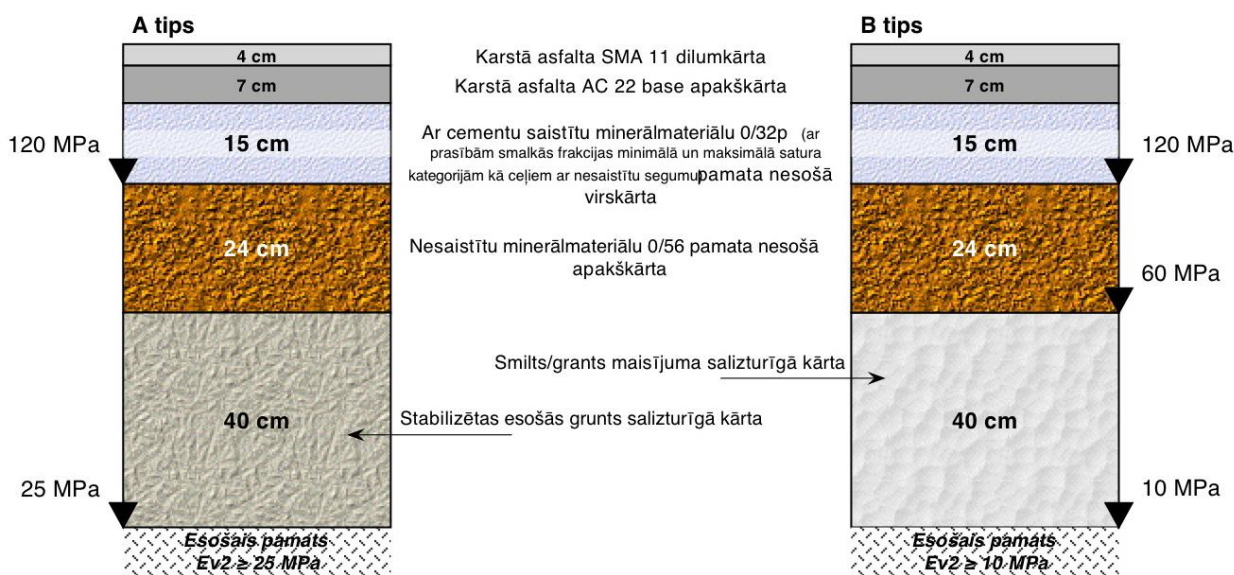
6.3 Ceļa segas konstrukcijas un stabilizācijas sastāva piemērs būvobjektā "Autoceļš P87 Bauska – Aizkraukle km 63,36 – 65,16"

Saskaņā ar ģeotehnisko izpēti objektā ir diva tipa gruntis, viena ar nestspēju 10 MPa, otra ar nestspēju 25 MPa.

Noteiktie satiksmes intensitātes kritēriji:

- $AADT_{j, pievestā}$ 501 - 1500
- $AADT_{j, smagie}$ 101 - 500

Ieteicamās ceļa segas konstrukcijas:



A tips - posmā ar esošo pamatnes smilšainu grunti

B tips - posmā ar esošo pamatnes mālainu grunti

Posmos, kur jāizbūvē A tipa segas konstrukcija, salizturīgas kārtas būvniecība jāveic, stabilizējot esošo grunti ar cementu vai kaļķi un cementu 40 cm biezumā.

Pirms salizturīgās kārtas būvniecības jāuzmēra deformācijas modulis E_{v2} saskaņā ar DIN 18134 uz potenciālās zemes klātnes virsmas vismaz katriem 500 m² vai arī vismaz katram būvniecības posmam, ja tas ir mazāks, testēšanas vietas atšurfējot nepieciešamajā dziļumā. E_{v2} mērot uz potenciālās zemes klātnes virsmas nedrīkst būt zemāks par 25 MPa, lai šis risinājums varētu tikt realizēts.

Stabilizējot esošo grunti ar cementu, šī stabilizētā grunts tiks izmantota salizturīgajā kārtā un nebūs nepieciešama tās nomaiņa:

- plānojamais pievienojamais cementa vai kaļķa+cementa daudzums – 5 – 7 %;
- sasniegtā spiedes stiprība pēc 28 dienu cietēšanas un 10 salizturības cikliem – 1,0 MPa.

Posmos, kur jāizbūvē B tipa segas konstrukcija, zemes klātnes būvniecība jāveic, norokot esošo ceļa segas konstrukciju, izveidojot gultni un pamatni jaunajai ceļa segas konstrukcijai atbilstoši noteiktajām prasībām.

Uzbūvētas zemes klātnes kvalitātes testēšanu un mērījumus ieteicams veikt vismaz katriem 500 m² vai arī vismaz katram būvniecības posmam, ja tas ir mazāks. Kopējais deformācijas modulis E_{v2} , mērot uz uzbūvētas zemes klātnes virsmas, nedrīkst būt zemāks par 10

MPa, lai šis risinājums varētu tikt realizēts.

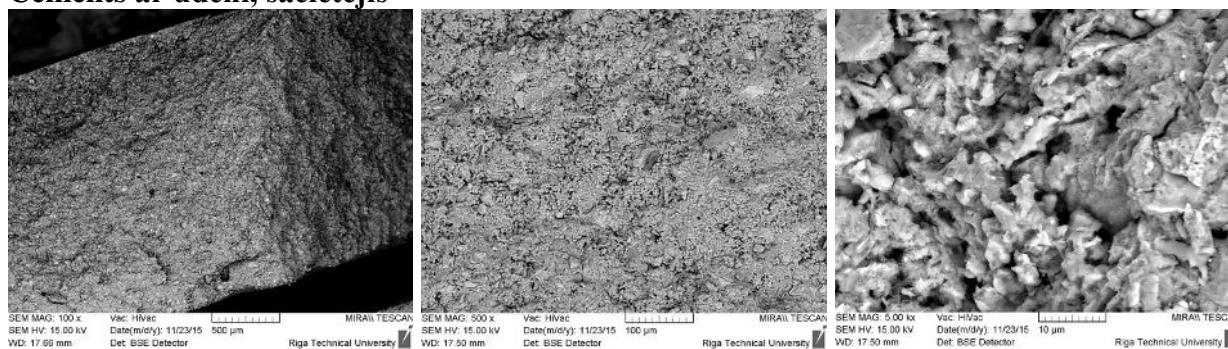
7 Mikroskopa analīzes

Mikroskopa analīzes veiktas stabilizētajiem paraugiem, lai veiktu novērojumus par saistvielu darbības salīdzinošo ietekmi uz grunts struktūru. Veikta arī ar ūdeni samaisītu un sacietējušu tīru saistvielu mikroskopa analīzes. Izmantots skenējošais elektronu mikroskops Tescan Mira/LMU.

Atkarībā no izvēlētās raksturošanas vietas (virsmas vai lūzuma virsmas), veikta parauga iepriekšēja sagatavošana. Visi paraugi nostiprināti uz standarta SEM pamatnēm ar elektrovadošas oglekļa līmlentes un sudraba līmes palīdzību. Pirms morfoloģijas raksturošanas ar SEM, uz paraugu virsmas ar uzputināšanas metodi uznešs ≈ 20 nm biezs zelta slānītis.

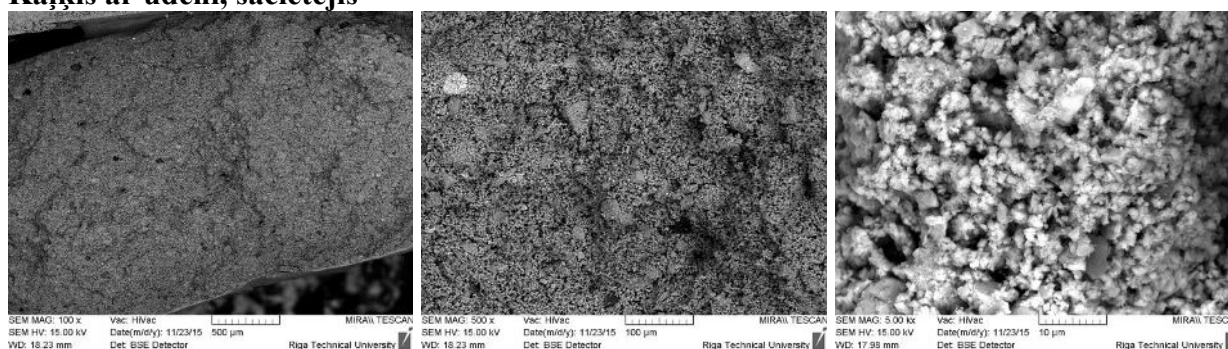
Katram paraugam uzņemti vismaz viens virsmu vai lūzumu virsmu raksturojošs digitāls attēls, trīs dažādos palielinājumos: 100x, 500x un 5000x. Atsevišķos gadījumos lietoti vairāk palielinājumi. Paraugu virsmas un lūzumu virsmas morfoloģija raksturota pie elektronu paātrināšanas sprieguma 15 kV. Atkarībā no parauga virsmas īpatnībām morfoloģijas attēlu iegūšanai izmantots sekundāro elektronu vai atpakaļ atstaroto elektronu detektors.

Cements ar ūdeni, sacietējis

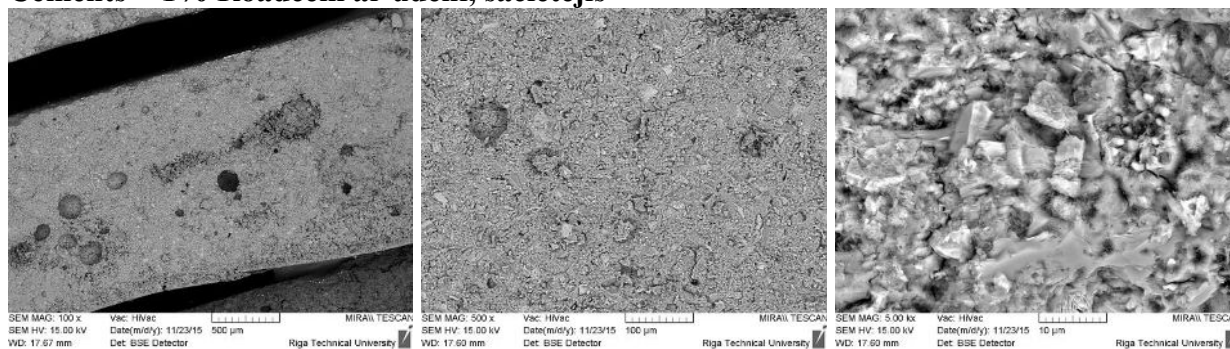


Cementa paraugs sastāv no neregulāras formas daļiņām, kuru izmērs pārsniedz $100\ \mu\text{m}$ un neregulāras formas veidojumiem ar izmēru $< 50\ \mu\text{m}$, kuri izvietojušies starp lielākajām daļiņām. Starp daļiņām izvietojušās poras.

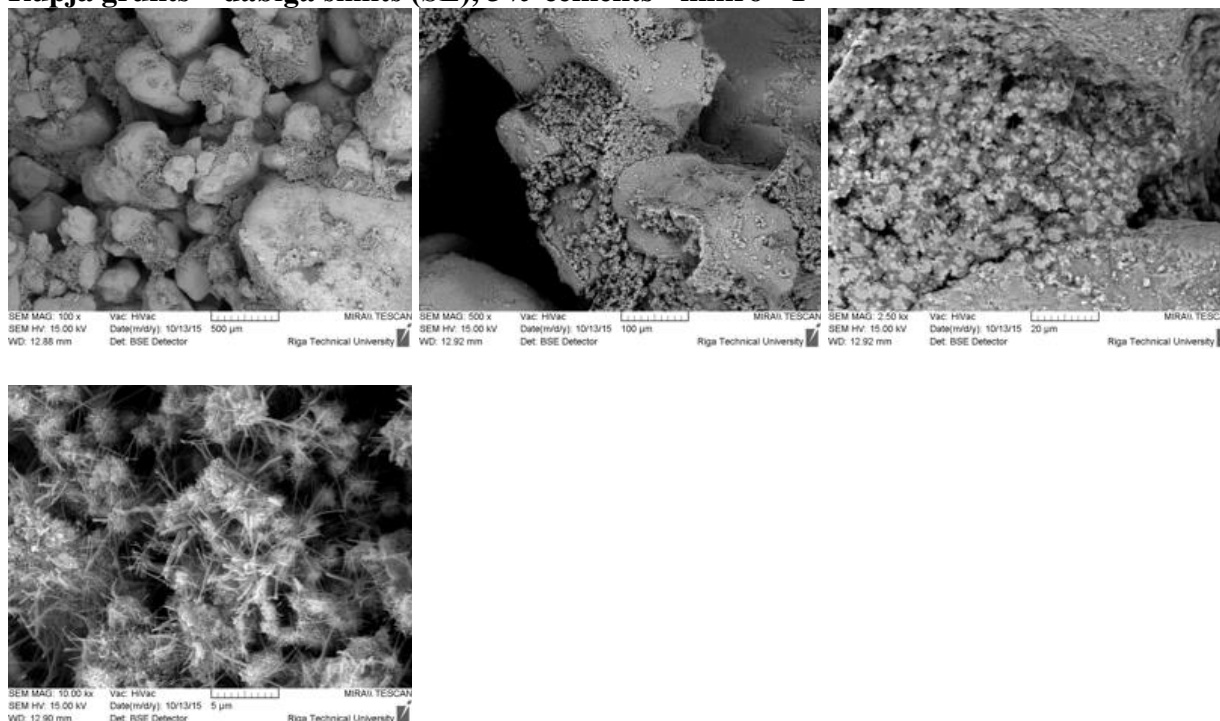
Kaļķis ar ūdeni, sacietējis



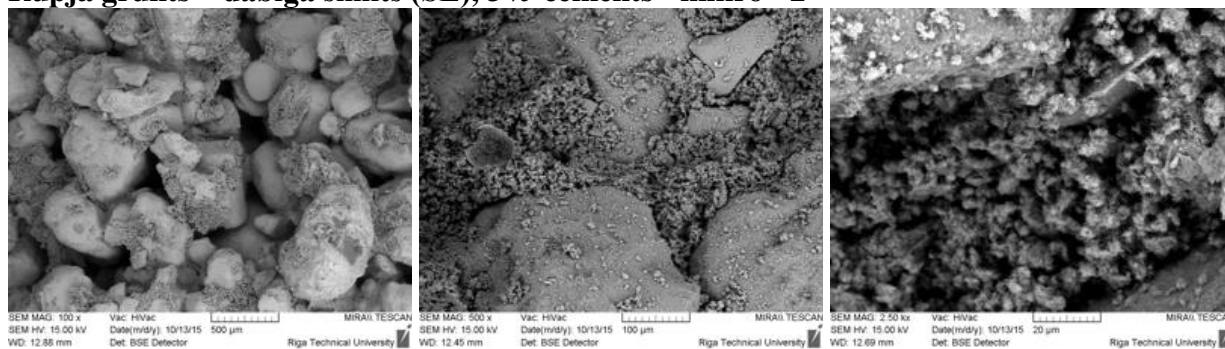
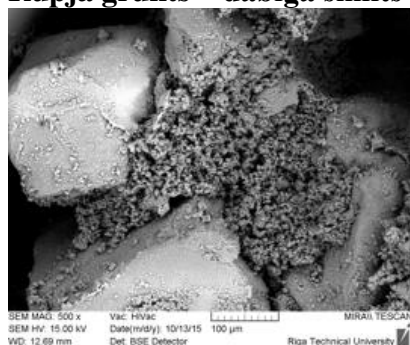
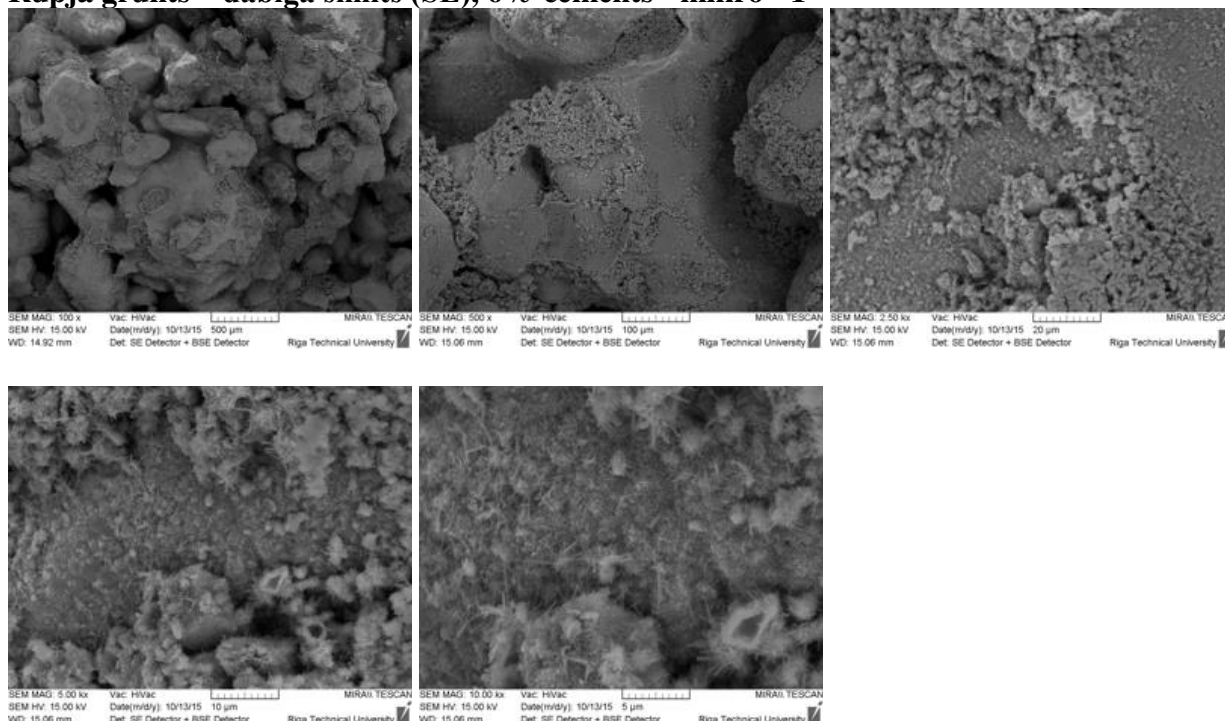
Kaļķa paraugam raksturīga homogēna mikrostruktūra. Tas galvenokārt sastāv no neregulāras formas daļiņām ar izmēru $1 - 5\ \mu\text{m}$ diapazonā. Parauga tilpumā novērojamas arī vienmērīgi izkliedētas daļiņas ar izmēru $20 - 50\ \mu\text{m}$ diapazonā. Starp daļiņām izvietojušās poras.

Cements + 1% Roadcem ar ūdeni, sacietējis

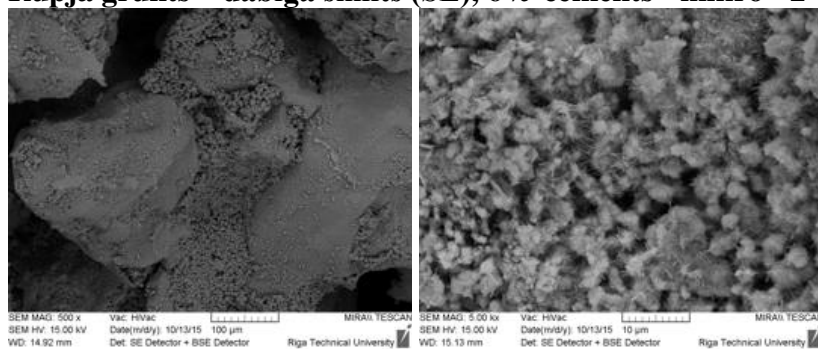
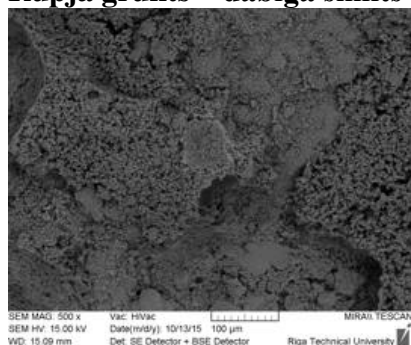
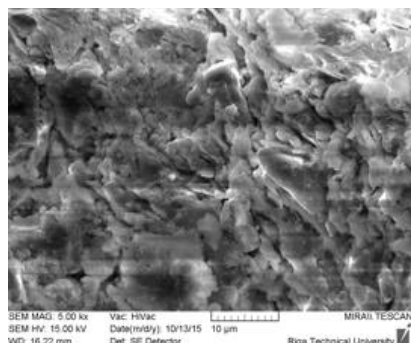
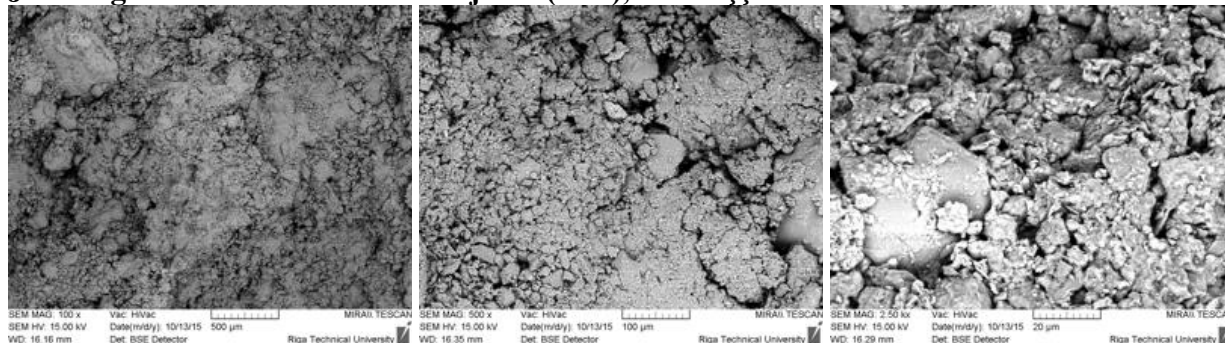
Cementa + 1% Roadcem paraugs sastāv galvenokārt no neregulāras formas "veidojumiem". Atsevišķos parauga lūzuma virsmas reģionos novērojamas plaisas un poras.

Rupja grunts – dabīga smiltis (SE), 3% cements - mikro - 1

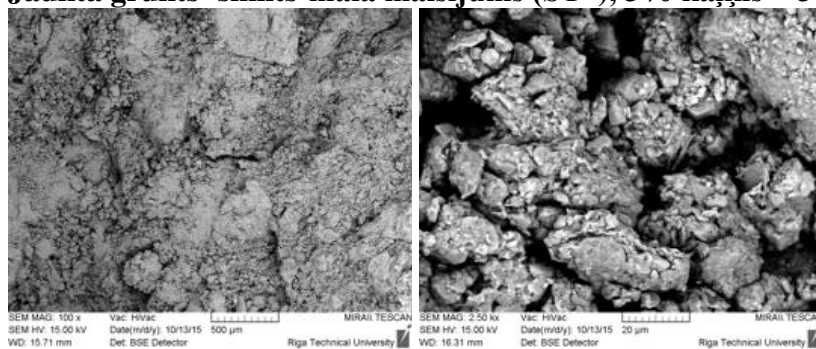
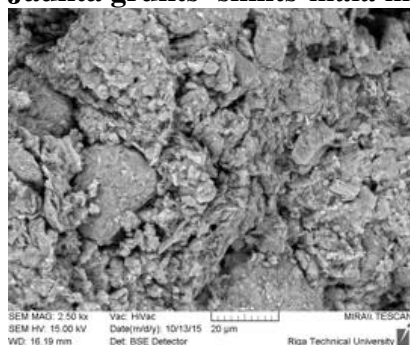
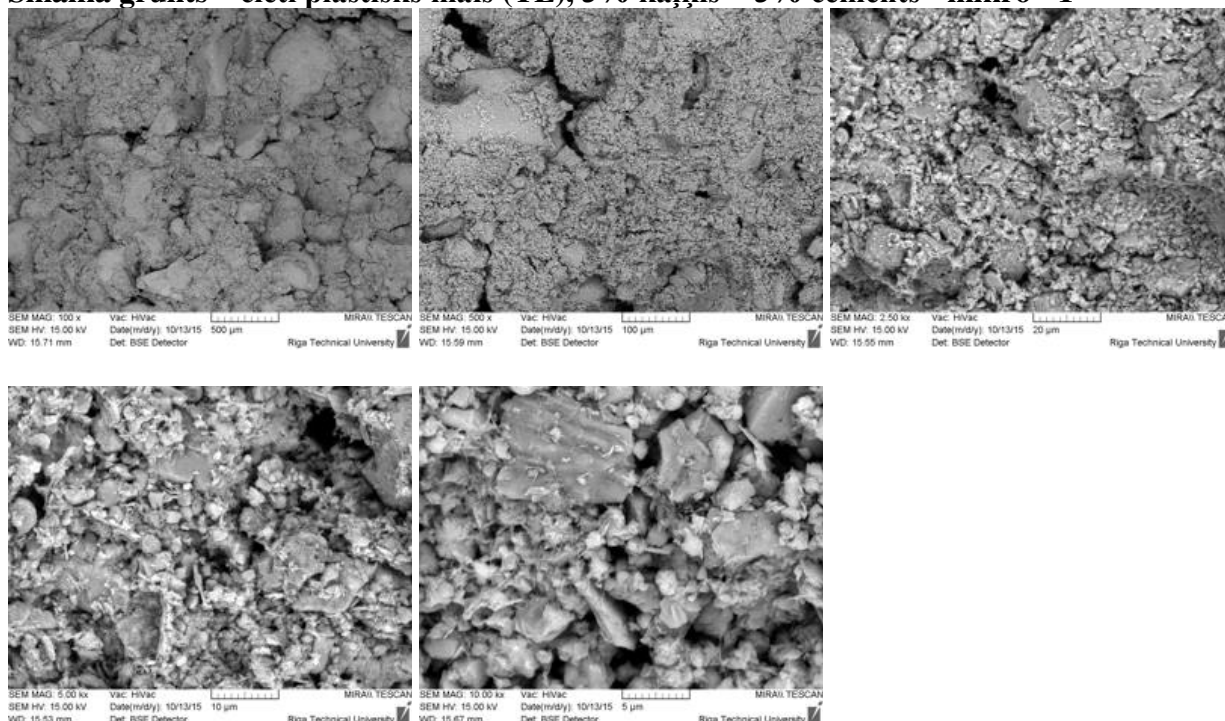
Rupjas grunts – dabīga smiltis (SE) ar 3% cementu paraugam raksturīga lielgraudaina, irdena struktūra; graudu lielums 250 μm – 1 mm (skat. att. 100x palielinājumā). Vietām lielos graudus savā starpā saista sīkgraudaina masa (daļiņu izmērs < 5 μm) (skat. att. 500x palielinājumā). Sasaiste parādīta attēlos ar palielinājumu 500x un 2500x. Sīkgraudainās masas struktūra ir viendabīga, bet irdena, jo redzamas plaisas, poras un tukšumi.

Rupja grunts – dabīga smilts (SE), 3% cements - mikro - 2**Rupja grunts – dabīga smilts (SE), 3% cements - mikro - 3****Rupja grunts – dabīga smilts (SE), 6% cements - mikro - 1**

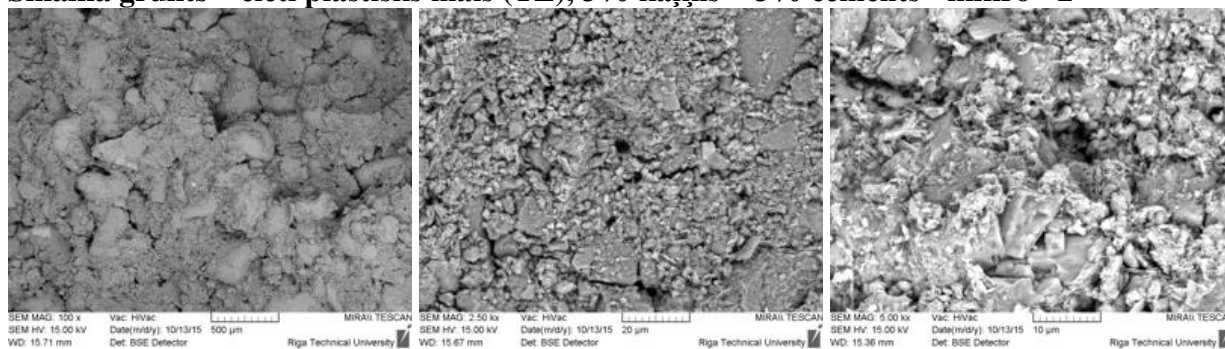
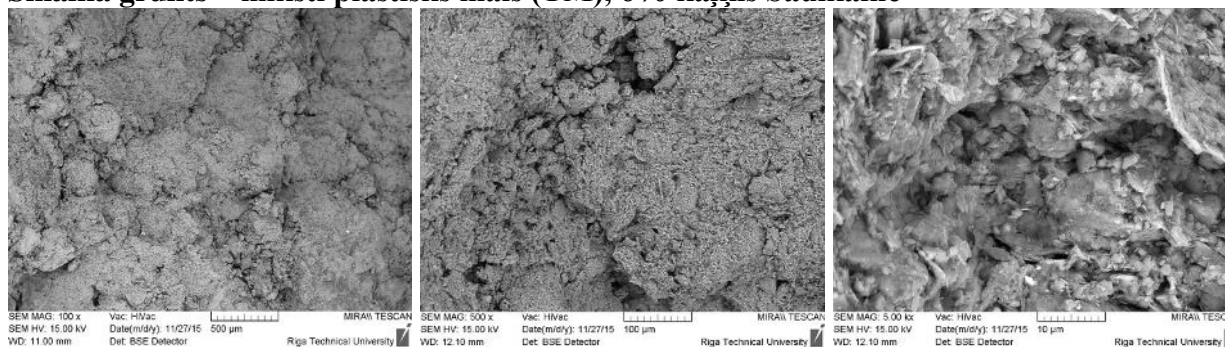
Rupjas grunts – dabīgas smilts (SE) ar 6% cementu paraugs veidots no lielām daļiņām ar izmēru 250 μm – 1 mm. Uz šo daļiņu virsmas un starp tām atrodas viendabīga smalku daļiņu sakopojumu masa, kurā atrodas adatveida kristāli. Kristālu garums < 5 μm , biezums < 0.2 μm (skat. att. 5kx palielinājumā). Masa daļēji aizpilda spraugas starp lielajām daļiņām un, iespējams, satur tās kopā (skat. att. 100x un 500x palielinājumos). Kopumā parauga mikrostruktūra ir lielgraudaina un irdena – ir lieli tukšumi/poras starp lielajām daļiņām.

Rupja grunts – dabīga smiltis (SE), 6% cements - mikro - 2**Rupja grunts – dabīga smiltis (SE), 6% cements - mikro - 3****Jaukta grunts – smiltis-māla maisījums (ST*), 3% kaļķis + 3% cements - mikro - 1**

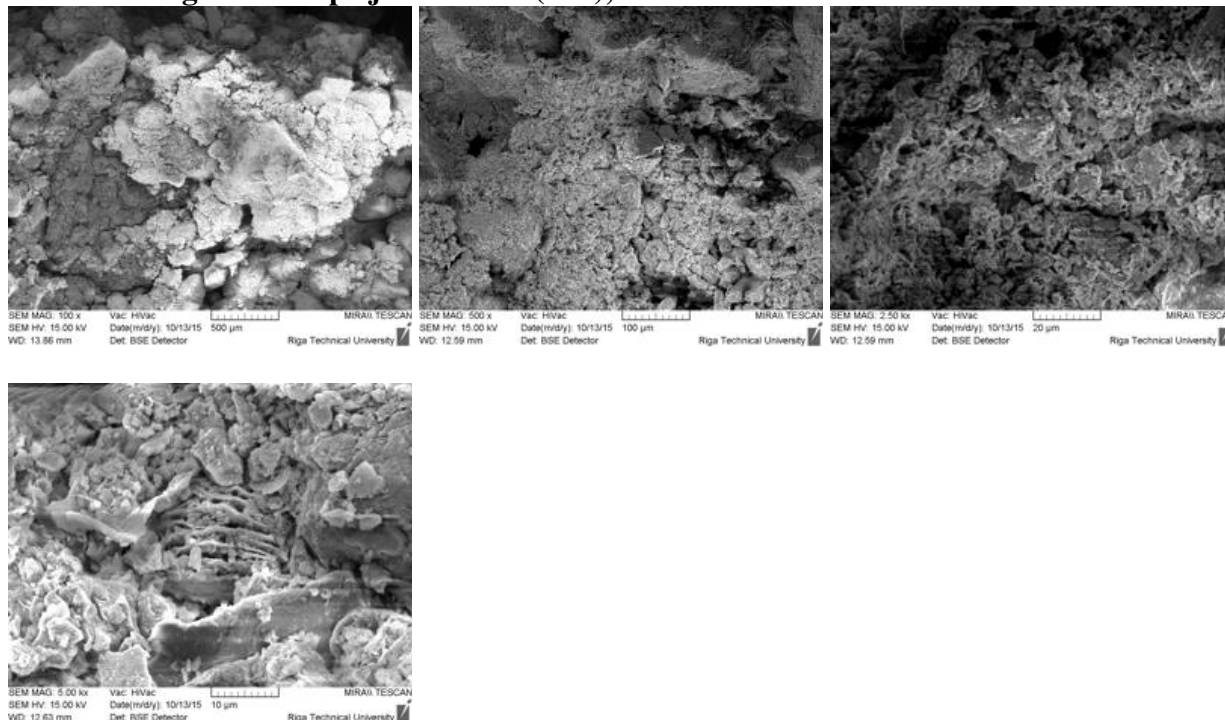
Jauktas grunts – smiltis-māla maisījuma (ST*) ar 3% kaļķi + 3% cementu paraugs sastāv no lielām daļiņām (300 μ m – 1 mm) – lielgraudaina struktūra. Lielās daļiņas bagātīgi apklātas ar sīku, neregulāras formas daļiņu (<1 – 10 μ m) masu (skat. att. 5kx palielinājumā). Sīkās daļiņas samērā blīvi aizpilda telpu starp lielajām daļiņām, noturot tās kopā.

Jaukta grunts- smilts-māla maisījums (ST*), 3% kaļķis + 3% cements - mikro - 2**Jaukta grunts- smilts-māla maisījums (ST*), 3% kaļķis + 3% cements - mikro - 3****Smalka grunts – cieti plastisks māls (TL), 3% kaļķis + 3% cements - mikro - 1**

Smalkas grunts – cieti plastiska māla (TL) ar 3% kaļķi + 3% cementu paraugs ar samērā blīvu struktūru (skat. att. 100x palielinājumā). Paraugu veido lielas daļiņas (300 µm – 1 mm), kas bagātīgi apklātas ar sīku neregulāras formas daļiņu (<1 µm - 5 µm) masu (skat. att. 5kx palielinājumā). Sīkās daļiņas blīvi aizpilda telpu starp lielajām daļiņām un satur tās kopā (skat. att. 100x un 500x palielinājumos). Vietām redzamas plaisas un tukšumi.

Smalka grunts – cieti plastisks māls (TL), 3% kaļķis + 3% cements - mikro - 2**Smalka grunts – mīksti plastisks māls (TM), 6% kaļķis Saulkalne**

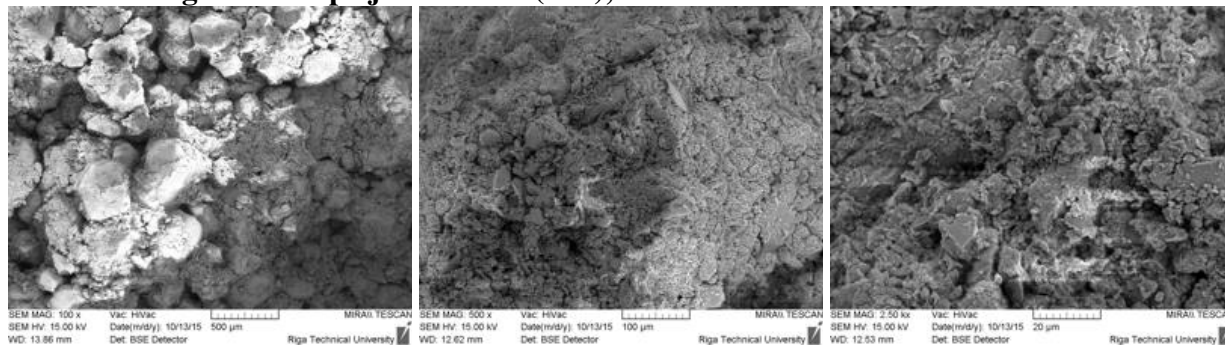
Smalkas grunts – mīksti plastiska māla ar 6 % kaļķi paraugs sastāv no neregulāras formas “veidojumiem” ar izmēriem, galvenokārt $\geq 500 \mu\text{m}$, starp kuriem novērojamas plaisas un poras.

Grunts ar organiskiem piejaukumiem (OH), 3% cements - mikro - 1

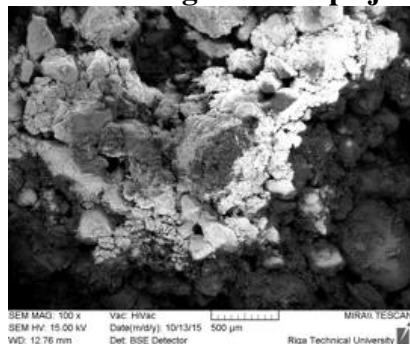
Grunts ar organiskiem piejaukumiem (OH) ar 3% cementu paraugam raksturīga samērā blīva un viendabīga mikrostruktūra, ko veido $> 500 \mu\text{m}$ lieli smalku daļiņu sakopojumi, vietām redzami arī lielāki graudi, iespējams, smiltis. Smalkajām daļiņām ir plākšņveida forma, to

biezums < 0.5-1 μm , platums 2-20 μm . Plākšņveida daļiņas ir salīpušas kopā un veido "biezas" plāksnītes (skat. att. 5kx palielinājumā).

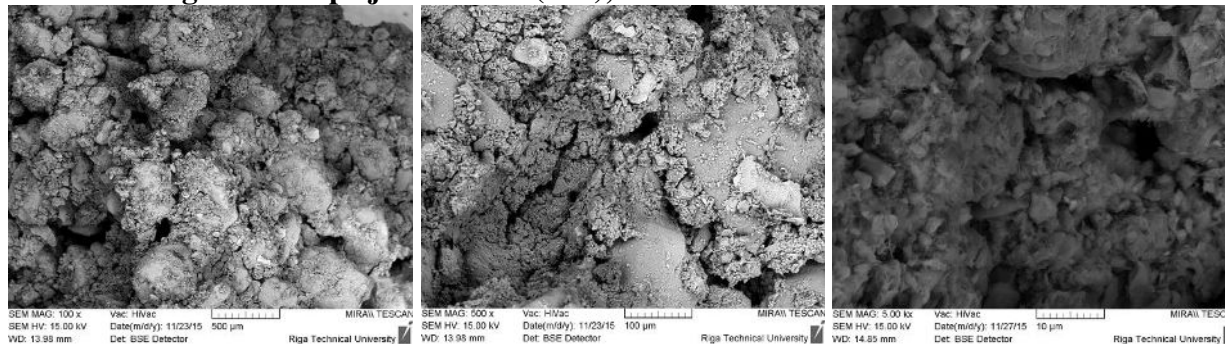
Grunts ar organiskiem piejaukumiem (OH), 3% cements - mikro - 2



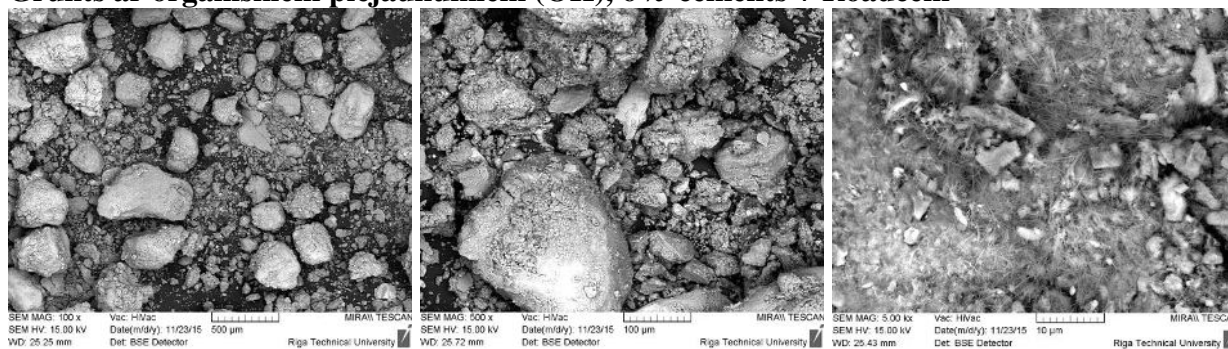
Grunts ar organiskiem piejaukumiem (OH), 3% cements - mikro - 3



Grunts ar organiskiem piejaukumiem (OH), 3% cements + Roadcem



Grunts ar organiskiem piejaukumiem (OH) ar 3% cementu + Roadcem paraugs sastāv no relatīvi lielām, neregulāras formas daļiņām, kuru izmērs pārsniedz 500 μm , kā arī neregulāras formas daļiņām ar izmēru < 100 μm , kuras izvietojušās starp lielākajām daļiņām. Starp daļiņām izvietojušies poru kanāli un mikroplaisas.

Grunts ar organiskiem piejaukumiem (OH), 6% cements + Roadcem

Grunts ar organiskiem piejaukumiem (OH) ar 6% cementu + Roadcem paraugam raksturīga pulverveida materiāla struktūra. Tas sastāv no relatīvi lielām, neregulāras formas daļiņām, galvenokārt, izmēru diapazonā no 50 - 500 μm . Uz lielo daļiņu virsmas lielākoties novērojamas izteikti garenas formas daļiņas ar izmēru garenvirzienā $\approx 5\mu\text{m}$.

8 Secinājumi un turpmākie iespējamie pētījumu virzieni

Pētījuma "Grunšu uzlabošana un stabilizācija, izmantojot hidrauliskās saistvielas" ietvaros gūtas svarīgas svarīgas atziņas un pieredze grunšu stabilizācijas ar hidrauliskajām saistvielām procesu izpratnē un definēšanā. Pētījuma ietvaros izstrādāti ieteikumi "Ceļu specifikāciju" pilnveidošanai, kā arī izstrādāta rokasgrāmata "Grunšu stabilizācija ar hidrauliskajām saistvielām".

Gruntis ir dažādas, ar ļoti atšķirīgām īpašībām, kas nenoliedzami ietekmē iespējas tās stabilizēt, kā arī ļoti atšķirīgs var būt stabilizācijas rezultāts. Tāpēc ir ļoti svarīgi jau autoceļa būvprojekta izstrādes stadijā pēc iespējas precīzāk identificēt esošās gruntis un paredzēt adekvātu un pēc iespējas efektīvu tālāko rīcību – esošo grunšu izmantošanu, stabilizēšanu vai nomaiņu.

Sobrīd grunts stabilizācija Latvijā vēl netiek lietota. Vājas nestspējas gruntis tiek nomainītas, vai atsevišķos gadījumos tās pat ir tikušas lietotas uzbērumu būvniecībā. Bet citur pasaulē esošo vājo grunšu uzlabošana un stabilizācija tiek plaši praktizēta.

Pētījuma rezultāti ļauj veikt objektīvu grunšu novērtēšanu, kā arī saprātīgi un paredzami realizēt grunts stabilizācijas projektēšanu un būvdarbus, tādējādi saudzīgi un efektīvi izlietojot vides resursus un ievērojami samazinot būvdarbu rezultātā radīto kaitējumu videi, vienlaicīgi arī paaugstinot šādi uzbūvētu konstrukciju kalpotspēju un noturību ilgtermiņā.

Ieteicamie turpmākie saistošie pētījumi, kas ir nepieciešmi un ir saistīti ar grunšu īpašību un stabilizēšanas iespēju un ieviešanas izpēti varētu būt sekojoši:

- **Detāla un paplašināta līdzsekošana grunts stabilizācijas būvdarbiem (pētījuma teorētisko atziņu ieviešana būvniecībā)**

Būvobjektā vai posmā, kur tiek realizēta grunts stabilizācija paralēli realizēt pētījumu ar mērķi aktivizēt grunts stabilizācijas ieviešanu Latvijā. Pētījuma ietvaros veikt:

- stabilizācijas sastāva projektēšanu;
- nestspējas mērījumus pirms un pēc stabilizācijas;
- būvdarbu izpildes tehnoloģijas izstrādi un līdzsekošanu realizācijai;
- stabilizācijas maisījuma paraugu ņemšanu un testēšanu būvdarbu izpildes laikā;
- paraugu ņemšanu un testēšanu pēc būvdarbu izpildes;
- veikt datu apkopošanu un analīzi;
- pētījuma ietvaros akcentēt elastības moduļa aprēķināšanas un testēšanas jautājumus.

- **Pārmitrinātu grunšu uzlabošana ar kaļķi**

Latvijai raksturīga problēma ir pārmitrinātas gruntis. Uzlabojot gruntis ar kaļķi, mitrumu var samazināt, kā arī tas uzlabos grunts īpašības.

Pētījuma ietvaros:

- atlasīt dažādas gruntis (putkļainas, mālaines, ar organiku) - tās sagatavot ar palielinātu mitruma daudzumu;
- piemaisīt dažādu kaļķa daudzumu (zināms, ka 1% kaļķa pievienošana piesaista 2 - 2,5% ūdens);
- testēt gan grunts, gan iegūtā maisījuma īpašības (TNI, CBR, Elastības modulis, plasticitātes rādītāji u.tml.), piemēram, tūlīt pēc samaisīšanas ar kaļķi, pēc 7 dienām un pēc 28 dienām);
- novērtēt vai un par cik uzlabojas grunts tehniskie rādītāji.

Pētījuma mērķis: papildinājums rokasgrāmatai "Grunšu stabilizācija ar hidrauliskajām saistvielām" ar vadlīnijām – cik daudz pārmitrinātai gruntij atkarībā no tās tipa un pārmitrinājuma pakāpes pievienot kaļķi un kāds attiecīgi varētu būt grunts īpašību uzlabojums.

- **Dažāda tipa grunšu tipiskā optimālā mitruma noteikšana**

Būvprojektu izpētēs ir jānosaka esošo grunšu mitruma apstākļi, tātad ir jātestē grunšu faktiskais un optimālais mitrums. Optimālā mitruma testēšana ir ļoti darbietilpīga.

Pētījuma mērķis: tabulas izstrāde, kur ir norādīts dažādu grunšu tipiskais optimālais mitrums, līdz ar to, veicot būvprojektēšanas izpēti, būtu jātestē tikai faktiskais mitrums un, protams, grunts īpašības, pēc izstrādātajām tabulām nosakot grunts mitruma (pārmitrinājuma) pakāpi.

- **Grunts stabilizācijas dažādu saistvielu un piedevu efektivitātes analīze**

1 vai 2 gruntīm veikt stabilizācijas projektēšanu, lai sasniegtu šobrīd specifikācijās noteiktos kritērijus (piemēram, projektēt, lai sasniegtu spiedes stiprību 1,0 MPa pēc 28d + 5 salizturības cikliem), lietojot dažādas saistvielas un piedevas.

Pētījuma mērķis: novērtēt potenciālās izmaksu atšķirības, stabilizējot ar dažādām saistvielām un piedevām.

- **Sala iedarbības sekas ar hidrauliskajām saistvielām saistītām gruntīm**

Dažādām gruntīm ar dažādu saistvielas saturu mērīt pārvietojumus sala iedarbībā, kā arī testēt citas saistošas īpašības.

Pētījuma mērķis: apzināt un novērtēt sala iedarbības sekas ar hidrauliskajām saistvielām saistītām gruntīm, kā arī identificēt dažādu grunšu salizturības īpašības un to potenciālo ietekmi uz ceļa segas konstrukcijas kalpotspēju.

9 Pielikumi

SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2849/14 - 2 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2850/14 - 2 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2853/14 - 3 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2854/14 - 1 lapa
 SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2855/14 - 1 lapa
 SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2857/14 - 1 lapa
 SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2867/14 - 3 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 28.10.2014. Testēšanas pārskats Nr.2868/14 - 3 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 27.11.2014. Testēšanas pārskats Nr.3187/14 - 3 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 27.11.2014. Testēšanas pārskats Nr.3188/14 - 3 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 27.11.2014. Testēšanas pārskats Nr.3189/14 - 4 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 27.11.2014. Testēšanas pārskats Nr.3190/14 - 8 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 29.12.2014. Testēšanas pārskats Nr.3423/14 - 4 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 02.02.2015. Testēšanas pārskats Nr.116/15 - 4 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 12.05.2015. Testēšanas pārskats Nr.484/15 - 5 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 13.05.2015. Testēšanas pārskats Nr.492/15 - 3 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 13.05.2015. Testēšanas pārskats Nr.495/15 - 6 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 13.05.2015. Testēšanas pārskats Nr.502/15 - 5 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 13.05.2015. Testēšanas pārskats Nr.503/15 - 1 lapa
 SIA "Ceļu eksperts" 13.05.2015. Testēšanas pārskats Nr.505/15 - 2 lapas
 bs Lucane Sarl 10.01.2015. Testēšanas pārskats 2146-BP-013 – 2 lapas
 bs Lucane Sarl 10.01.2015. Testēšanas pārskats 2147-BP-013 – 2 lapas
 bs Lucane Sarl 04.03.2015. Testēšanas pārskats 2188-BP-013 – 2 lapas
 bs Lucane Sarl 04.03.2015. Testēšanas pārskats 2189-BP-013 – 2 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 31.10.2015. Testēšanas pārskats Nr.2668/15 – 1 lapa
 SIA "Ceļu eksperts" 20.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2872/15 – 5 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 23.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2873/15 – 4 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 23.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2876/15 – 5 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 23.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2877/15 – 2 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 23.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2878/15 – 2 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 23.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2886/15 – 6 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 24.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2906/15 – 2 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 24.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2907/15 – 2 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 26.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2920/15 – 2 lapas
 SIA "Ceļu eksperts" 26.11.2015. Testēšanas pārskats Nr.2921/15 – 5 lapas
 RTU 27.11.2015. Testa atskaite – 4 lapas
 RTU 30.11.2015. Paraugu virsmas un lūzumu virsmas morfoloģijas raksturošana ar skenējošo elektronu mikroskopu – 17 lapas

Rokasgrāmata. Grunšu stabilizācija ar hidrauliskajām saistvielām

Priekšlikumi izmaiņām un papildinājumiem specifikācijā – Zemes klātnes būvniecība