

Autoceļu uzturēšana, rekonstrukcija un būvniecība

Autoceļa zemes klātne

## **Ceļa zemes klātnes grunts nestspējas nodrošināšanas risinājumu izstrāde**



VAS "Latvijas valsts ceļi"

Rīga, 2019

VAS LATVIJAS VALSTS CEĻI 

Autoceļu rekonstrukcija un būvniecība

Autoceļa zemes klātne

## **Ceļa zemes klātnes grunts nestspējas nodrošināšanas risinājumu izstrāde**

### **Rokasgrāmata**

*Rokasgrāmatā apkopotas un aprakstītas grunšu nostiprināšanas metodes - ceļa uzbērumi veidoti virs pāļu pamatiem, vertikālās drenas grunšu konsolidācijas paātrināšanai, zem ceļa uzbēruma projektēti grunts pāļi u.c. risinājumi gadījumos, ja ceļa konstrukcija tiek projektēta posmos, kur sastopamas vājas nestspējas gruntis.*

*Izstrādāt ieteikumi nepietiekamas nestspējas un lietojamības grunšu pastiprināšanas un uzlabošanas risinājumiem ceļa zemes klātnes nestspējas un funkcionalitātes nodrošināšanai.*

*Rokasgrāmata palīdz izmantot esošās gruntis zemes klātnes izbūvei visefektīvākajā un racionālākajā veidā. Ir izstrādātas procedūras, un metodikas, kurās aprakstīts kā novērtēt zemes klātnes gruntis un kā izstrādāt konkrētus tehniski-ekonomiski pamatotus risinājumus, ietverot dzīves cikla izmaksu analīzi (LCCA), zemes klātnes nepieciešamās nestspējas un funkcionalitātes nodrošināšanai, atkarībā no paredzamajām satiksmes slodzēm, ģeoloģiskajiem un klimatiskajiem apstākļiem, esošo grunšu īpašībām.*

**Pasūtītājs:** VAS "Latvijas valsts ceļi"

Gogoļa iela 3, Rīga, LV-1050

Tālrunis: 7028169, fakss: 7028171, e-pasts: [lvceli@lvceli.lv](mailto:lvceli@lvceli.lv)

**Izstrādātājs:** SIA "Ceļu eksperts"

Aveņu iela 1, Ikšķile, Ikšķiles novads, LV-5052

Tālrunis: 67255696, e-pasts: [celueksperts@celueksperts.lv](mailto:celueksperts@celueksperts.lv)

**Rokasgrāmatas izstrādes darba grupa:**

Pēteris Šķēls, Aigars Strežs, Andris Paeglītis, Uldis Senkāns, Jānis Kivilands

## Priekšvārds

Šobrīd Latvijā nav izstrādātu rekomendāciju, specifikāciju vai rokasgrāmatu, kur būtu apkopotas un aprakstītas grunšu nostiprināšanas metodes, piemēram, ceļa uzbērumi veidoti virs pāļu pamatiem, vertikālās drenas grunšu konsolidācijas paātrināšanai, zem ceļa uzbēruma projektēti grunts pāļi u.c. risinājumi gadījumos, ja ceļa konstrukcija tiek projektēta posmos, kur sastopamas vājas nestspējas gruntis, kas to dabīgajā veidā nenodrošina pietiekamu atbalstu, lai nodrošinātu ceļa segas nepieciešamo noturību visā tās paredzētajā kalpošanas periodā. Līdz ar to katrs projektētājs vadās no savas pieredzes, zināšanām, aizspriedumiem un drošības konceptiem, kas rada risku, ka var tikt izstrādāti neracionāli un nevajadzīgi dārgi risinājumi, vai arī varbūt lēti, bet konkrētajām vajadzībām neatbilstoši risinājumi.

Darba gaitā veikta, gan ārvalstu, gan Latvijas pieredzes izpēte par grunšu pastiprināšanu un stabilizāciju – pielietojamas kritēriji, tehnoloģijas, saistvielas, sastāvu projektēšana, specifikācijas, uzbūvēto projektu apraksti.

Lai būtu iespējama pēc iespējas droša un racionāla nepietiekamas nestspējas un lietojamības grunšu pastiprināšanas un uzlabošanas risinājumu projektēšana ceļa zemes klātnes nestspējas un funkcionalitātes nodrošināšanai, pētījuma ietvaros izstrādāta rokasgrāmata, kurā:

- izstrādāti Latvijā potenciāli lietojamu grunšu pastiprināšanas risinājumu apraksti, identificējot to: priekšrocības un trūkumus, pielietojamas kritērijus, nepieciešamās iekārtas un materiālus, saistvielas, sastāvu vai sistēmu projektēšanu, būvniecības tehnoloģijas, atbilstības un kvalitātes kritērijus, izmaksu aprēķina algoritmus;
- izstrādāti ieteikumi veicamajai ģeotehniskajai izpētei un testēšanai;
- definētas kopējas vadlīnijas kā panākt esošo grunšu atbilstošu un prognozējamu lietošanu zemes klātnes izbūvei visefektīvākajā un racionālākajā veidā;
- izstrādāta metodika, kurā aprakstīts kā novērtēt zemes klātnes gruntis un kā izstrādāt konkrētus tehniski-ekonomiski pamatotus risinājumus;
- izstrādāta metodika dzīves cikla izmaksu analīzei (LCCA), atkarībā no paredzamajām satiksmes slodzēm, ģeoloģiskajiem un klimatiskajiem apstākļiem, esošo grunšu īpašībām.

Rokasgrāmata palīdzēs atrisināt biežāk sastopamos problēmu jautājumus ko var nākties risināt saistībā ar nepieciešamo vāju grunšu pastiprinājumu projektēšanu ceļu būvniecībā, un tā noteikti būs noderīgs atbalsts un palīgs ceļu inženieriem zemes klātnes grunts pastiprināšanas risinājumu projektēšanai un izvēlēto risinājumu izvēles racionalitātes pamatošanai.

## Preface

Currently there are no recommendations, specifications or manuals in Latvia that summarize and describe the methods of soil consolidation, for example, road embankments over pile foundations, vertical drainage soils consolidation, ground piles under the embankment, etc. solutions in cases where road construction is designed in stages with poor bearing capacity so that it does not provide sufficient support in its natural way to ensure the necessary road surface stability throughout its intended lifetime. Thus, each designer is guided by his own experience, knowledge, prejudices and safety concepts, which creates the risk that irrational and unnecessarily expensive solutions can be developed, or perhaps cheap solutions that do not meet specific needs.

In the course of work, both foreign and Latvian experience on soil reinforcement and stabilization has been investigated - application criteria, technologies, binders, composition design, specifications, descriptions of built projects.

In order to be able to design as safe and rational as possible the load bearing capacity and usability of reinforcement and improvement solutions for road subgrade bearing capacity and functionality, a research manual was developed in which:

- descriptions of potential soil enhancement solutions in Latvia were developed, where identified: advantages and disadvantages, application criteria, necessary equipment and materials, binders, composition or system design, construction technologies, compliance and quality criteria, cost calculation algorithms;
- developed recommendations for geotechnical research and testing;
- defined common guidelines for achieving appropriate and predictable use of existing soils for the construction of the road subgrade in the most efficient and rational way;
- a methodology has been developed that describes how to assess the soils and how to develop specific techno-economically justified solutions;
- developed a methodology for life cycle cost analysis (LCCA), depending on expected traffic loads, geological and climatic conditions, existing soil properties.

The handbook will help to solve the common issues you may have to deal with in terms of designing the weak soil reinforcements needed in road construction, and it will certainly be a useful support and assistant for road engineers to design subgrade reinforcement solutions and to rationalize the choice of solutions chosen.



## SATURS

<b>APZĪMĒJUMI</b>	<b>10</b>
<b>TERMINU SKAIDROJUMS</b>	<b>16</b>
<b>1. ZEMES KLĀTNE UN GRUNŠU ĢEOTEHNISKĀ IZPĒTE</b>	<b>18</b>
1.1. CEĻA KONSTRUKCIJA	18
1.2. SAISTOŠIE STANDARTI	19
1.3. ĢEOTEHNISKĀS IZPĒTES PLĀNOŠANA	20
1.3.1. Ģeotehniskās izpētes punktu izvietojums plānā un dziļums	22
1.4. GRUNŠU IDENTIFIKĀCIJA UN KLASIFIKĀCIJA	25
1.5. GRUNŠU PARAUGOŠANA	30
1.6. GRUNTSŪDENS TESTĒŠANA	30
1.7. GRUNŠU TESTĒŠANA UZ LAUKA	30
1.7.1. Dinamiskā zondēšana	31
1.7.2. Statiskā zondēšana	34
1.7.3. Plakanais dilatometrs	37
1.7.4. Spārņņgrieze	39
1.7.5. Plātnes spiedes tests	39
1.7.6. Presiometrs	40
1.8. GRUNŠU TESTĒŠANA LABORATORIJĀ	42
<b>2. GRUNŠU FIZIKĀLI MEHĀNISKĀS ĪPAŠĪBAS</b>	<b>44</b>
2.1. GRUNTS MASAS UN TILPUMA ATTIECĪBA	44
2.2. GRUNTS BĪDES STIPRĪBAS ĪPAŠĪBAS	48
2.3. GRUNTS DEFORMĀCIJU ĪPAŠĪBAS	49
2.3.1. Primārās konsolidācijas deformāciju aprēķins	50
2.3.2. Sekundārās konsolidācijas deformāciju aprēķins	56
<b>3. CEĻA KONSTRUKCIJAS ZEMES KLĀTNES PASTIPRINĀŠANAS METODES</b>	<b>58</b>
3.1. VISPĀRĒJI PRINCIPI	58
3.2. GRUNŠU UZLABOŠANAS UN PASTIPRINĀŠANAS METODES	65
<b>4. A.1. NESAISTĪGU GRUNŠU (SMILTS, GRANTS U.C.) UZLABOŠANA BEZ PĀPILDU MATERIĀLA PIEVIENOŠANAS – VIRSMAS BLĪVĒŠANA</b>	<b>70</b>
4.1. VISPĀRĒJI PRINCIPI UN LIETOŠANAS JOMA	70
4.2. PRIEKŠROCĪBAS UN TRŪKUMI	71
4.3. GRUNTS PASTIPRINĀŠANAS PROJEKTA IZSTRĀDE	72
4.4. BŪVNICĪBAS TEHNOLOĢIJAS	73
4.5. KVALITĀTES KONTROLE	79
4.6. CENAS UN IZMAKSAS	80
<b>5. A.2. NESAISTĪGU GRUNŠU (SMILTS, GRANTS U.C.) UZLABOŠANA BEZ PĀPILDU MATERIĀLA PIEVIENOŠANAS – DZIĻĀ BLĪVĒŠANA</b>	<b>81</b>
5.1. VISPĀRĒJI PRINCIPI UN LIETOŠANAS JOMA	81
5.1.1. Dinamiskā blīvēšana	81

5.1.2.	<i>Triecienveida blīvēšana</i>	82
5.1.3.	<i>Virboflotācija</i>	83
5.2.	<b>PRIEKŠROCĪBAS UN TRŪKUMI</b>	84
5.3.	<b>GRUNTS PASTIPRINĀŠANAS PROJEKTA IZSTRĀDE</b>	85
5.3.1.	<i>Dinamiskā blīvēšana</i>	85
5.3.2.	<i>Triecienveida blīvēšana</i>	87
5.3.3.	<i>Virboflotācija</i>	89
5.4.	<b>BŪVNIECĪBAS TEHNOLOĢIJAS</b>	91
5.4.1.	<i>Dinamiskā blīvēšana</i>	91
5.4.2.	<i>Triecienveida blīvēšana</i>	92
5.4.3.	<i>Virboflotācija</i>	93
5.5.	<b>KVALITĀTES KONTROLE</b>	95
5.5.1.	<i>Dinamiskā blīvēšana</i>	95
5.5.2.	<i>Triecienveida blīvēšana</i>	96
5.5.3.	<i>Virboflotācija</i>	96
5.6.	<b>CENAS UN IZMAKSAS</b>	97
<b>6.</b>	<b>B.1. GRUNTS APMAIŅA (TAI SKAITĀ SLODZES SAMAZINĀŠANA, UZBĒRUMOS IZMANTOJOT VIEGLU MATERIĀLU)</b>	<b>98</b>
6.1.	<b>VISPĀRĒJI PRINCIPI UN LIETOŠANAS JOMA</b>	98
6.2.	<b>PRIEKŠROCĪBAS UN TRŪKUMI</b>	98
6.3.	<b>GRUNTS APMAIŅAS PROJEKTA IZSTRĀDE</b>	99
6.3.1.	<i>Projekta izstrāde, izmantojot smilti, akmeni un šķembas</i>	100
6.3.2.	<i>Projekta izstrāde, izmantojot zemāka blīvuma materiālu</i>	102
6.4.	<b>GRUNTS APMAIŅAS DARBU TEHNOLOĢIJA</b>	110
6.4.1.	<i>Grunts atrakšana</i>	110
6.4.2.	<i>Aizvietojošā materiāla izbūve</i>	111
6.5.	<b>KVALITĀTES KONTROLE</b>	116
6.6.	<b>CENAS UN IZMAKSAS</b>	117
<b>7.</b>	<b>B.2. GRUNTS PIESLOGOŠANA AR PAPILDU UZBĒRUMU (TAJĀ SKAITĀ IZMANTOJOT VERTIKĀLĀS DRENAS UN VAKUUM-KONSOLIDĀCIJU)</b>	<b>119</b>
7.1.	<b>VISPĀRĒJI PRINCIPI UN LIETOŠANAS JOMA</b>	119
7.2.	<b>PRIEKŠROCĪBAS UN TRŪKUMI</b>	122
7.3.	<b>VERTIKĀLO DRENU IZBŪVES PROJEKTA IZSTRĀDE</b>	123
7.3.1.	<i>Izejas datu apzināšana</i>	123
7.3.2.	<i>Izmantojamie materiāli un pastiprināšanas metodes izvēle</i>	124
7.3.3.	<i>Konsolidācijas ātruma aprēķins, drenu izvietošanas projektēšana</i>	129
7.3.4.	<i>Nogāzes noturības pārbaude</i>	133
7.3.5.	<i>Piemērs konsolidācijas aprēķinam</i>	134
7.4.	<b>VERTIKĀLO DRENU UN UZBĒRUMA IZBŪVES TEHNOLOĢIJAS</b>	140
7.4.1.	<i>Vertikālo drenu izbūve</i>	140
7.4.2.	<i>Uzbērums izveide</i>	141
7.5.	<b>KVALITĀTES KONTROLE</b>	142

7.6.	CENAS UN IZMAKSAS	146
<b>8.</b>	<b>C.1. VIBROAPMAIŅAS VAI GRUNTS PĀĻI</b>	<b>148</b>
8.1.	VISPĀRĒJIE PRINCIPI UN LIETOŠANAS JOMA	149
8.2.	PRIEKŠROCĪBAS UN TRŪKUMI	149
8.3.	GRUNTS PASTIPRINĀŠANAS PROJEKTA IZSTRĀDE	152
8.4.	BŪVNICĪBAS TEHNOLOĢIJAS	155
8.5.	KVALITĀTES KONTROLE	159
8.6.	CENAS UN IZMAKSAS	160
<b>9.</b>	<b>C.4./C.5. STINGIE UN PUSSTINGIE PASTIPRINĀJUMI. UZBĒRUMI UZ PASTIPRINĀJUMIEM</b>	<b>161</b>
9.1.	VISPĀRĒJIE PRINCIPI UN LIETOŠANAS JOMA	162
9.2.	PRIEKŠROCĪBAS UN TRŪKUMI	162
9.3.	GRUNTS PASTIPRINĀŠANAS PROJEKTA IZSTRĀDE	163
9.4.	BŪVNICĪBAS TEHNOLOĢIJAS	166
9.4.1.	<i>Urbtie betona berzes pāļi bez grunts izņemšanas</i>	166
9.4.2.	<i>Vibrotipa betona berzes pāļi bez grunts izņemšanas</i>	167
9.4.3.	<i>Urbtie betona pāļi ar grunts izņemšanu</i>	168
9.5.	KVALITĀTES KONTROLE	169
9.6.	CENAS UN IZMAKSAS	170
<b>10.</b>	<b>D.1. GRUNTS SOLIDIFIKĀCIJA ("MASAS" STABILIZĀCIJA)</b>	<b>171</b>
10.1.	VISPĀRĒJIE PRINCIPI UN LIETOŠANAS JOMA	171
10.2.	PRIEKŠROCĪBAS UN TRŪKUMI	172
10.3.	MASAS STABILIZĀCIJAS (SOLIDIFIKĀCIJAS) PROJEKTA IZSTRĀDE	177
10.4.	BŪVNICĪBAS TEHNOLOĢIJAS	184
10.4.1.	<i>Nepieciešamās iekārtas un materiāli</i>	184
10.4.2.	<i>Gruntī esošo bīstamo vielu saistīšana un negatīvās ietekmes samazināšana</i>	185
10.4.3.	<i>Ceļi</i>	185
10.4.4.	<i>Dzelzceļš</i>	188
10.4.5.	<i>Ielas, velosipēdu celiņi un ietves</i>	189
10.4.6.	<i>Ostas un piestātnes</i>	189
10.5.	KVALITĀTES KONTROLE	190
10.5.1.	<i>QC un QA vadlīnijas</i>	192
10.5.2.	<i>Būvniecības procesa novērojumu metode (QC un QA metodes kopsavilkums)</i>	193
10.5.3.	<i>Konusa penetrācijas tests (CPT) (QC un QA kopsavilkums)</i>	194
10.5.4.	<i>Kolonnu penetrācijas tests (KPS) (QC un QA kopsavilkums)</i>	195
10.5.5.	<i>Spārņņgriezēja bīdes tests/kolonnas šķērsspēka pārbaudei (QC un QA kopsavilkums)</i>	197
10.5.6.	<i>Laboratoriskā testēšana (QC un QA kopsavilkums)</i>	198
10.5.7.	<i>Atrakuma pārbaude (QC un QA kopsavilkums)</i>	200
10.5.8.	<i>Rentgena fluorescences analīze (QC un QA kopsavilkums)</i>	201
10.5.9.	<i>Grunts sēšanās monitorings (QC un QA kopsavilkums)</i>	202
10.6.	CENAS UN IZMAKSAS	203
10.6.1	<i>Informācija par izmaksām</i>	203

10.6.2	Informācija par izmaksām	204
<b>11.</b>	<b>D.2. GRUNTS DZIĻĀ STABILIZĀCIJA</b>	<b>205</b>
11.1.	VISPĀRĒJIE PRINCIPI UN LIETOŠANAS JOMA	205
11.2.	PRIEKŠROCĪBAS UN TRŪKUMI	206
11.3.	GRUNTS DZIĻĀS STABILIZĀCIJAS PROJEKTA IZSTRĀDE	206
11.3.1.	Datu vākšana	207
11.3.2.	Analīze un aprēķins	208
11.3.3.	Iepirkumi	211
11.3.4.	Būvniecība	211
11.3.5.	Projektēšanas/ analīzes apkopojums: būvbedres sienu nostiprinājums	211
11.4.	BŪVNICĪBAS TEHNOĻIJAS	215
11.5.	KVALITĀTES KONTROLE	218
11.6.	CENAS UN IZMAKSAS	219
<b>12.</b>	<b>D.5. GRUNTS STABILIZĀCIJA PLĀNOS SLĀŅOS AR CEMENTU VAI/ UN KAĻĶI</b>	<b>221</b>
12.1.	VISPĀRĒJIE PRINCIPI UN LIETOŠANAS JOMA	221
12.2.	PRIEKŠROCĪBAS UN TRŪKUMI	222
12.3.	STABILIZĀCIJAI LIETOJAMĀS GRUNTIS	224
12.4.	SAISTVIELAS IZVĒLE	224
12.5.	GRUNTS STABILIZĀCIJAS PROJEKTA IZSTRĀDE	227
12.5.1.	Vispārējie nosacījumi	227
12.5.2.	Projektēšana ar cementu vai cementu un kaļķi	233
12.5.3.	Projektēšana ar kaļķa lietošanu	237
12.6.	BŪVNICĪBAS TEHNOĻIJAS	240
12.6.1.	Vispārīgie nosacījumi	242
12.6.2.	Būvdarbu izpilde	243
12.7.	KVALITĀTES KONTROLE	251
12.8.	CENAS UN IZMAKSAS	253
<b>13.</b>	<b>E.1. ĢEOSINTĒTISKIE MATERIĀLI ZEMES KLĀTNES PASTIPRINĀŠANAI</b>	<b>254</b>
13.1.	VISPĀRĒJIE NOSACĪJUMI	254
13.2.	LIETOŠANAS JOMA	257
13.2.1.	Ģeosintētisko materiālu funkcionālais pielietojums	257
13.2.2.	Nepieciešamās ģeosintētisko materiālu mehāniskās īpašības	260
13.3.	PRIEKŠROCĪBAS UN TRŪKUMI	263
13.3.1.	Priekšrocības:	263
13.3.2.	Trūkumi:	263
13.4.	ĢEOSINTĒTISKO MATERIĀLU VEIDI	264
13.5.	PROJEKTĒŠANAS PRINCIPI	266
13.6.	ĢEOSINTĒTISKIE MATERIĀLI UN SISTĒMAS KĀRTU ATDALĪŠANAI, FILTRĀCIJAI, DRENĀŽAI	267
13.6.1.	Mehāniskās īpašības slogotām konstrukcijām	268

13.6.2.	<i>Mehāniskās īpašības neslogotām konstrukcijām filtrācijai un drenāžai</i>	270
13.6.3.	<i>Nepieciešamās hidrauliskās īpašības</i>	270
13.6.4.	<i>Statiska ūdens plūsma</i>	270
13.6.5.	<i>Dinamiska ūdens plūsma</i>	272
13.6.6.	<i>Nestabilas gruntis</i>	272
13.6.7.	<i>Ūdens caurlaidība</i>	273
13.6.8.	<i>Noturība pret aizsērēšanu</i>	273
13.6.9.	<i>Ūdens caurlaidības kapacitāte drenāžai</i>	274
13.7.	<b>ĢEOSINTĒTISKIE MATERIĀLI UN SISTĒMAS ZEMES KLĀTNES PASTIPRINĀŠANAI</b>	274
13.7.1.	<i>Ģeorežģi ceļiem ar nesaistītu segumu</i>	276
13.7.2.	<i>Ģeotekstilu izmantošana ceļiem ar saistītu segumu</i>	278
13.7.3.	<i>Ģeorežģa izmantošanai pastiprināšanai ceļiem ar saistītu segumu</i>	280
13.8.	<b>ĢEOSINTĒTISKIE MATERIĀLI UN SISTĒMAS AIZSARDZĪBAI</b>	282
13.9.	<b>ĢEOTEKSTILI UN SISTĒMAS EROZIJAS IEROBEŽOŠANAI</b>	283
13.9.1.	<i>Projektēšanas kritēriji</i>	284
13.9.2.	<i>Projektēšanas principi</i>	284
13.10.	<b>ĢEOSINTĒTISKO MATERIĀLU IESTRĀDE</b>	289
13.10.1.	<i>Ieklāšana</i>	289
13.10.2.	<i>Ģeosintētisko materiālu savienojumi</i>	291
13.11.	<b>SPECIFIKĀCIJAS</b>	293
13.12.	<b>IZEJAS DATI DZĪVES CIKLA IZMAKSU ANALĪZEI</b>	295
13.12.1.	<i>Cenas un izmaksas</i>	295
13.12.2.	<i>Izmaksu aprēķina algoritms</i>	296
<b>14.</b>	<b>DZĪVES CIKLA IZMAKSU ANALĪZE (LCCA)</b>	<b>297</b>
14.1.	<b>VISPĀRĒJIE PRINCIPI</b>	297
14.2.	<b>LCCA KOMPONENTI</b>	297
14.2.1.	<i>LCCA periods un diskonta likme</i>	297
14.2.2.	<i>Pieņēmumi un konstantes</i>	298
14.2.3.	<i>Jutīguma analīze</i>	299
14.3.	<b>LCCA IZMAKSU APRĒĶINS</b>	300
14.3.1.	<i>Robežnosacījumi un kalpošanas periods</i>	301
14.3.2.	<i>Ārējās izmaksas būvdarbu laikā</i>	301
14.3.3.	<i>Pasūtītāja izmaksas</i>	303
14.3.4.	<i>Ceļa lietotāju izmaksas</i>	306
14.3.5.	<i>LCCA aprēķinu rezultātu lietošana un interpretācija</i>	311
<b>15.</b>	<b>IZMANTOTĀ LITERATŪRA</b>	<b>312</b>
<b>16.</b>	<b>PIELIKUMI</b>	<b>319</b>



## APZĪMĒJUMI

$\gamma$	Grunts tilpumsvars
$\gamma_d$	Sausas grunts tilpumsvars
$\gamma_s$	Grunts daļiņu tilpumsvars
$w$	Grunts mitrums
$w_{opt}$	Grunts optimālais mitrums
$E_s$	No sāniem ierobežotas grunts deformācijas modulis
$E_m$	Stingruma modulis
$v_s$	Šķērsviļņa pārvietošanās ātrums
$S_r$	Grunts piesātinājuma pakāpe
$I_p$	Plastiskuma rādītājs (indekss)
$I_c$	Konsistences rādītājs (indekss)
$I_L$	Plūstamības rādītājs (indekss)
$e$	Porainības koeficients
$n$	Grunts porainība
$I_d$	Relatīvais blīvuma rādītājs (indekss)
$C_u$	Grunts neviendabīguma koeficients $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$
$C_c$	Granulometriskās līknes izliekuma koeficients
$C_\alpha$	Sekundārās saspiežamības indekss
$\varphi$	Grunts iekšējās berzes leņķis
$\varphi'$	Grunts efektīvais iekšējās berzes leņķis
$\tau_f$	Grunts bīdes pretestība
$c$	Grunts saiste
$c'$	Grunts efektīvā saiste
$c_u$	Grunts nedrenētā saiste
$\sigma_n$	Grunts pilnie normālspriegumi
$\sigma'_n$	Grunts efektīvie normālspriegumi
$\sigma_{zg}$	Spriegumi gruntī no grunts pašsvara
$\sigma_{zp}$	Spriegumi gruntī no papildu pieliktā spiediena uz grunti

$\sigma_0$	Papildu pieliktā slodze uz pamatnes augšējās virsmas
$\varepsilon$	Parauga relatīvā garendeformācija
$u$	Porūdens spiediens
$s_t$	Tūlītēja sēšanās jeb sākotnējā sablīvēšanās
$s_{prim}$	Primārā konsolidācija
$s_{sek}$	Sekundārā konsolidācija
$\alpha$	Sprieguma sadalījuma koeficients
$U_t$	Konsolidācijas pakāpe laikā
$U_v$	Konsolidācijas pakāpe laikā vertikālā virzienā
$U_h$	Konsolidācijas pakāpe laikā horizontālā (radiālā) virzienā
$T_v$	Bezdimensiju laika faktors konsolidācijas komponentei vertikālā virzienā
$T_r$	Bezdimensiju laika faktors konsolidācijas komponentei horizontālā virzienā
$c_v$	Konsolidācijas koeficients vertikālā virzienā
$c_r$	Konsolidācijas koeficients horizontālā virzienā
$k_v$	Filtrācijas koeficients pa vertikāli
$k_r$	Filtrācijas koeficients pa horizontāli
$m_v$	Relatīvais grunts saspiežamības rādītājs
$r_w$	Ekvivalents vertikālās drenas rādiuss
$d_w$	Ekvivalents vertikālās drenas diametrs
$h_{dr}$	Drenāžas ceļa garums
$\mu$	Konsolidācijas laiku ietekmējošais bezdimensiju faktors
$s_{nob}$	Nobīdes zonas ietekmes faktors
$q_w$	Vertikālās drenas caurlaides spēja
$R_{gr}$	Efektīvais grunts cilindra rādiuss
$l_{dr}$	Drenas garums
$r_s$	Nobīdes zonas ( <i>smear zone</i> – angļu valodā) rādiuss
<b>B</b>	Koeficients
<b>D<sub>85%</sub></b>	Grunts daļiņu izmērs, par kuru 85% daļiņu ir ar mazāku izmēru
<b>D<sub>60%</sub></b>	Grunts daļiņu izmērs, par kuru 60% daļiņu ir ar mazāku izmēru

<b>D<sub>10%</sub></b>	Grunts daļiņu izmērs, par kuru 10% daļiņu ir ar mazāku izmēru
<b>O<sub>95%</sub></b>	Ģeotekstila (raksturīgais) atvērumu izmērs, par kuru 95% atvērumu ir ar mazāku izmēru [mm] saskaņā ar EN ISO 12956
<b>k<sub>n</sub></b>	Minimālā ūdens caurlaidība normālai plaknei [m/sek] (minimālā vērtība) saskaņā ar EN ISO 11058
<b>q<sub>p</sub></b>	Ūdens caurplūdes kapacitāte (m <sup>2</sup> /s)
<b>Q</b>	Drenējamā ūdens daudzums pilnā drenas platībā (m <sup>3</sup> /s)
<b>W</b>	Drenas platums (m)
<b>i</b>	Hidrauliskais gradients ( $\Delta h/\Delta l$ ); $\Delta h$ – ūdens līmeņu starpība, $\Delta l$ – ūdens tecēšanas ceļa garums)
<b>D<sub>c</sub></b>	Dinamiskā perforācijas izturība (krītošā konusa tests) [mm]
<b>P</b>	Statiskās caurspiešanas tests (CBR tests) [N]
<b>d</b>	Biezums pie 2 kPa [mm]
<b>q<sub>g</sub></b>	Ģeotekstila caurplūdes kapacitāte (m <sup>2</sup> /s)
<b>A<sub>g</sub></b>	Ģeotekstila pieejamā platība plūsmai (m <sup>2</sup> )
<b>A<sub>t</sub></b>	Ģeotekstila kopējā platība (m <sup>2</sup> )
<b>q</b>	Caurplūde (m <sup>3</sup> /s)
<b>k</b>	Grunts efektīvā caurplūde
<b>A</b>	Grunts un drenējošā materiāla normālā platība plūsmas virzienā (m <sup>2</sup> )
<b>ψ</b>	Caurlaidība (s-1)
<b>h</b>	Vidējais augstums (m)
<b>CBR</b>	Kalifornijas nestspējas vērtība
<b>TNI</b>	Tūlītējais nestspējas indekss
<b>i</b>	Diskonta likme – % daļas
<b>i<sub>b</sub></b>	Bankas procentu likme – % daļas
<b>b</b>	Bankas procentu likme – %
<b>i<sub>infl</sub></b>	Inflācija – % daļas
<b>infl</b>	Inflācija – %
<b>AI<sub>JM</sub></b>	Izmaksas, kas saistītas ar jaunu materiālu ieguves vietām
<b>JMD</b>	Jaunu materiālu daudzums – m <sup>3</sup> / t
<b>JM</b>	Izmaksa – EUR/(m <sup>3</sup> / t)
<b>AI<sub>MO</sub></b>	Izmaksas, kas saistītas ar grunts pārvietošanu vai/un uzlabošanu objektā
<b>OMD</b>	Materiālu daudzums – m <sup>3</sup> / t

<b>MO</b>	Izmaksa – EUR/(m <sup>3</sup> / t)
<b>CO<sub>EMT</sub></b>	Kopējā CO <sub>2</sub> emisija – tCO <sub>2</sub>
<b>MD</b>	Materiāla daudzums – t
<b>A</b>	Vidējais piegādes attālums turp un atpakaļ – km
<b>EMT</b>	CO <sub>2</sub> emisija – gCO <sub>2</sub> /t-km
<b>AI<sub>EM</sub></b>	Izmaksas, kas saistītas ar emisiju
<b>EM</b>	Eiropas CO <sub>2</sub> emisijas atlīdzības cena
<b>AI<sub>PAI</sub></b>	Papildu ārējās izmaksas
<b>PAI</b>	Papildu ārējās izmaksas – EUR
<b>PI<sub>SI</sub></b>	Sākotnējās izmaksas
<b>BI</b>	Būvniecības izmaksas – EUR
<b>Adm</b>	Administrācijas izmaksas (administrēšana, būvuzraudzība, kvalitātes uzraudzība u.tml.) – EUR
<b>PI<sub>AtI</sub></b>	Atjaunošanas un uzturēšanas izmaksas
<b>AtI</b>	Atjaunošanas izmaksas – EUR
<b>UI</b>	Uzturēšanas izmaksas – EUR
<b>PI<sub>AV</sub></b>	Konstrukcijas atlikusī vērtība
<b>AV</b>	Atlikusī vērtība – EUR
<b>PI<sub>Noj</sub></b>	Būves vai konstrukcijas nojaukšanas izmaksas
<b>Noj</b>	Nojaukšanas izmaksas – EUR
<b>III</b>	Izlīdzinātās ikgadējās izmaksas – EUR
<b>n</b>	Aprēķina periods – gadi
<b>CL<sub>EM,B</sub></b>	Satiksmes radītās CO <sub>2</sub> emisijas izmaksas būvniecības laikam un uzturēšanas vai atjaunošanas periodam, ja paredzēti arī apvedceļi, – EUR
<b>VA</b>	Kopējais aprēķinātais pārbraucošo vieglo a/m skaits – gab.
<b>SA</b>	Kopējais aprēķinātais pārbraucošo smago a/m skaits – gab.
<b>km<sub>A</sub></b>	Kopējais objekta garums ar apvedceļiem – km
<b>VID<sub>EM,VA</sub></b>	Vieglo a/m vidējā CO <sub>2</sub> emisija – t/km
<b>VID<sub>EM,SM</sub></b>	Smago a/m vidējā CO <sub>2</sub> emisija – t/km
<b>CL<sub>EM,L</sub></b>	Satiksmes radītās CO <sub>2</sub> emisijas izmaksas LCCA periodam (izņemot būvniecības un uzturēšanas vai atjaunošanas periodu, ja tādi tiek paredzēti un tajos paredzēti apvedceļi) – EUR
<b>km</b>	Kopējais objekta garums – km

<b>CLIEM</b>	Satiksmes radītās kopējās CO <sub>2</sub> emisijas izmaksa – EUR
<b>CLIEM,U</b>	Satiksmes radītās CO <sub>2</sub> emisijas izmaksas nepieciešamiem uzturēšanas vai atjaunošanas periodiem, ja tādi tiek paredzēti un tajos paredzēti apvedceļi
<b>dd</b>	Aizkavējums transportlīdzekļiem, samazinot ātrumu pirms darba zonas – h
<b>s</b>	Ātruma samazinājuma posma garums – km
<b>vf</b>	Kustības ātrums pirms/pēc darba zonas, bez ierobežojumiem – km/h
<b>vz</b>	Ierobežotais kustības ātrums darba zonā – km/h
<b>dz</b>	Aizkavējums transportlīdzekļiem, caurbraucot darba zonu – h
<b>L</b>	Darba zonas posma garums – km
<b>da</b>	Aizkavējums transportlīdzekļiem, uzņemot ātrumu pēc darba zonas – h
<b>a</b>	Vidējais paātrinājums – km/h/s
<b>dw</b>	Vidējais transportlīdzekļu aizkavējums, piebraucot darba zonai
<b>Fa</b>	Piebraucošo transportlīdzekļu skaits laika vienībā
<b>Fd</b>	Ceļa posma caurlaides spēja (aizbraucošo transportlīdzekļu skaits) laika vienībā t
<b>Di</b>	Kopējais aizkavējums transportlīdzekļiem, stāvēt rindās – h
<b>Qi-1</b>	Rindā esošo transportlīdzekļu skaits sākumā
<b>Fai</b>	Piebraucošo transportlīdzekļu skaits laika vienībā
<b>Fd</b>	Ceļa posma caurlaides spēja (aizbraucošo transportlīdzekļu skaits) laika vienībā t
<b>t</b>	Aprēķina laika vienība
<b>J</b>	Stabilitātes modulis (N-m/°)
<b>P</b>	Riteņa slodze (kN)
<b>r</b>	Riteņa projekcijas rādiuss (m)
<b>N</b>	Pārbraucošo asu skaits
<b>RE</b>	Moduļa pakāpe = $E_{bc}/E_{sg} = 3,28 CBR_{bc}^{0,3} / CBR_{sg}$
<b>E<sub>bc</sub></b>	Pamata kārtas elastības modulis (MPa)
<b>E<sub>sg</sub></b>	Zemes klātnes grunts elastības modulis (MPa)
<b>CBR<sub>bc</sub></b>	Pamata kārtas CBR
<b>CBR<sub>sg</sub></b>	Zemes klātnes grunts CBR
<b>f<sub>s</sub></b>	Risu dziļuma faktors
<b>N<sub>c</sub></b>	Nestspējas faktors
<b>f<sub>c</sub></b>	Faktors, kas saistīts ar zemes klātnes mitras grunts CBR



$p$	Riepas spiediens (kN/m <sup>2</sup> )
$P_h$	Grunts nestspējas kapacitāte (kN)
$s$	Pieļaujama risu dziļums (mm)
$c_u$	Mitras grunts bīdes pretestība (kN/m <sup>2</sup> )
$W_{18}$	Iespējamā satiksmes slodze (standartasu pārbraucieni)
$Z_R$	Standarta normālā novirze
$S_o$	Standartnovirze
$SN$	Struktūrskaitlis
$\Delta PSI$	Izmaiņas pašreizējā uzturēšanas indeksā
$M_R$	Attiecīgi zemes klātnes vai pamata elastības modulis (MPa)
$SIL$	Normatīvo ass slodžu un pārbraucienu skaita attiecība, lai sasniegtu pieļaujamo defektu apjomu, starp ar ģeosintētiskajiem materiāliem pastiprinātu konstrukciju un nepastiprinātu konstrukciju ( <i>TBR – Traffic Benefit Ratio</i> )
$PBS$	Procentuālais kārtas biezuma samazinājums pastiprinātai segas konstrukcijai, salīdzinot ar nepastiprinātu, pie nosacījuma, ka tiek nodrošināta līdzvērtīga satiksmes kapacitāte ( <i>BCR – Base Course Reduction Factor</i> )
$q_{all}$	Pieļaujama nestspēja [kPa]
$N_c$	Grunts nestspējas koeficients
$FS$	Drošības koeficients
$S_m$	Stabilizētā masīva sēšanās [m]
$\Delta h$	Slāņa biezums [m]
$q$	Slodze, kas pielikta uz stabilizēto masīvu [kPa]
$A$	Zondes šķērsriezuma laukums [in <sup>2</sup> ]
$Q$	Penetrācijas pretestība
$T$	Šķērsspēks
$\sigma_h$	Nemainīgs kopējais horizontālais spiediens virs būvbedres
$\sigma'_{av}$	Efektīvs vertikālais spriegums atbalstsienas iekšējā pusē
$\alpha$	Ūdens poru šķērsriezuma laukuma attiecība pret kopējo poru šķērsriezuma laukumu ( $\alpha=1$ piesātinātā grunts, sausai gruntij $\alpha=0$ )

## TERMINU SKAIDROJUMS

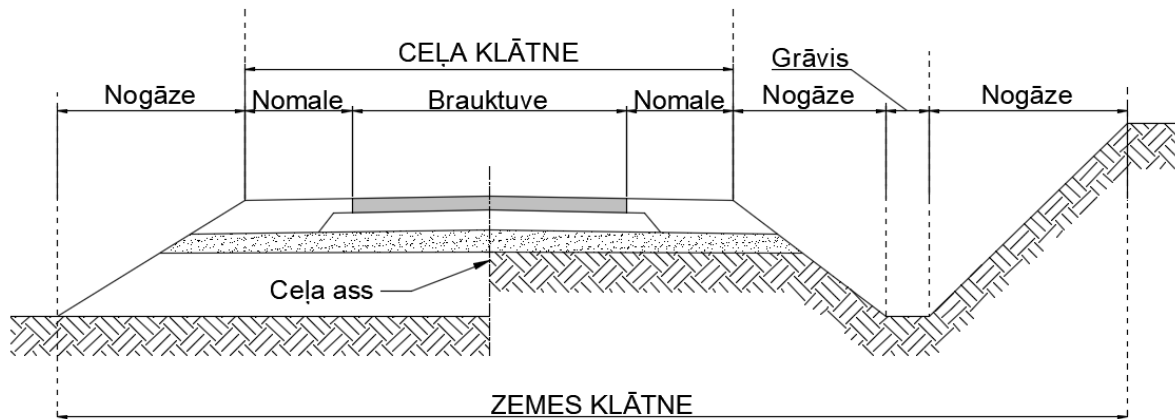
<b>AADT</b>	Gada vidējā diennakts satiksmes intensitāte (A/24 h). Transportlīdzekļu kopējais skaits (kas gada laikā izbrauc caur ceļa brīvtempas šķēsgriezumu) dalīts ar 365.
<b>AADT<sub>j</sub></b>	Gada vidējā diennakts satiksmes intensitāte vienā joslā (A/24 h). Gada vidējais transportlīdzekļu skaits, kas diennakts laikā (24 h) izbrauc caur vienu joslu. /Nosaka no AADT ņemot vērā joslu koeficientu vai veicot atsevišķu uzskaiti/.
<b>AADT<sub>j, pievestā</sub></b>	Gada vidējā diennakts satiksmes intensitāte vienā joslā, ņemot vērā lietošanas un uzturēšanas apstākļus (A/24 h). Gada vidējais transportlīdzekļu skaits, kas diennakts laikā (24 h) izbrauc caur vienu joslu, ņemot vērā lietošanas un uzturēšanas apstākļus. /Nosaka no AADT ņemot vērā joslu koeficientu, kā arī koeficientu, kas ievērtē lietošanas un uzturēšanas apstākļus. Gadījumos, ja intensitāte jānosaka 1. segas kalpošanas gadam, lietojams intensitātes pieauguma koeficients - konstante KS/.
<b>AADT<sub>j, smagie</sub></b>	Kravas transportlīdzekļu (virs 3,5 t) gada vidējā diennakts satiksmes intensitāte vienā joslā (A/24 h). Gada vidējais kravas transportlīdzekļu skaits, kas diennakts laikā (24 h) izbrauc caur vienu joslu un kuru pilna masa pārsniedz 3,5 tonnas. /Nosaka no AADT atņemot transportlīdzekļus, kuru masa ≤ 3,5 t un ņemot vērā joslu koeficientu. Gadījumos, ja intensitāte jānosaka 1. segas kalpošanas gadam, lietojams intensitātes pieauguma koeficients - konstante KS/.
<b>Darba platforma</b>	Pagaidu uzbērums vai ierakuma ceļa konstrukcija, kas sagatavota atbilstoši būvdarbu tehnoloģijai.
<b>Grunts</b>	Dabīgs materiāls (parasti būves vietā esošais materiāls), ko izmanto zemes klātnes un/vai salizturīgās kārtas būvniecībai un kas tiek klasificēts saskaņā ar grunšu būvtechnisko klasifikāciju.
<b>Granulometriskais sastāvs</b>	Daļiņu izmēra procentuālais sadalījums pēc masas, kas iziet caur noteikta numura sietiem.
<b>Grunšu būvtechniskā klasifikācija</b>	Būvniecībā izmantojamo grunšu klasifikācija saskaņā ar LVS 190-5 B pielikumu.
<b>Hidrauliska saistviela</b>	Saistviela, kas cietē ūdenī.
<b>Rūpnieciski izgatavotas vertikālās drenas</b>	Garas, plakanas caurules, kas sastāv no perforētas plastmasas centrālās daļas, apvilktas ar ģeotekstila apvalku.
<b>Kalifornijas nestspējas rādītājs (CBR)</b>	Parametrs, kas raksturo grunšu deformatīvās īpašības mitruma iedarbībā, testējot saskaņā ar LVS EN 13286-47.
<b>Kārta</b>	Ceļa konstrukcijas daļa, kas veidota no viena materiāla. Kārtu var iekļāt vienā vai vairākos slāņos.
<b>Konsolidācija</b>	Process, kura laikā norisinās grunts daļiņu sablīvēšanās.
<b>Maisījuma recepte</b>	Atsevišķa maisījuma sastāvs, kas izteikts kā plānotais projektētais sastāvs. PIEZĪME. Plānoto projektēto sastāvu var izteikt divējādi, kā priekšprojektu un kā darba formulu.
<b>Nedrenētā bīdes pretestība</b>	Fizikāls parametrs saistīgām gruntīm, kas nosaka grunts nestspēju nedrenētos apstākļos.
<b>Pārkonsolidācijas koeficients</b>	Vēsturiski lielāko spriegumu gruntī attiecība pret aktuālajiem spriegumiem gruntī.

<b>Pastiprināta grunts</b>	Grunts, kura ir pastiprināta, ievērojami uzlabojot pamatnes nestspējas un lietojamības īpašības – paaugstinot pamatnes nestspēju un samazinot pēc būvniecības sēšanos. Parasti tiek pastiprinātas vājas grunts.
<b>Piedevas</b>	Sastāvdaļas materiāls, ko var pievienot mazos daudzumos maisījumam, piemēram, neorganiskas vai organiskas šķiedras vai polimērus, lai uzlabotu maisījuma mehāniskās īpašības, apstrādājamību vai krāsu.
<b>Pirms-konsolidācijas spriegums</b>	Vēsturiski lielākais spiediens gruntī.
<b>Primārā konsolidācija</b>	Grunts masīva deformācijas, kas rodas no tilpuma izmaiņām ūdens piesātinātā gruntī, izspiežot ūdeni no grunts porām.
<b>Sekundārā konsolidācija</b>	Plastiska grunts deformācija pie konstanta grunts efektīvā sprieguma, kura norisinās saistīgās grunts daļiņu sablīvēšanās rezultātā.
<b>Salizturīgā kārtā</b>	No salizturīga materiāla uzbūvēta ceļa segas pamata apakšējā kārtā, kas nodrošina ceļa konstrukcijas salizturību, kā arī paredzēto nestspēju.
<b>Slānis</b>	Vienā reizē ieklāta kārtas daļa; gadījumos, ja kārtu veido no viena slāņa, var lietot arī terminu "kārtā".
<b>Smilšu drenas</b>	Gruntī izbūvētas minerālmateriāla (smilšu) kolonnas ar augstu ūdens filtrācijas spēju, paredzētas ūdens drenāžas ceļa samazināšanai un pamatnes pastiprināšanai.
<b>Stabilizācija</b>	Process, kurā tiek samaisīti kādi materiāli ar grunti, lai uzlabotu grunts īpašības. Process var ietvert minerālmateriālu pievienošanu gruntij konkrēta granulometriskā sastāva sasniegšanai vai/un grunts samaisīšanu ar kādām pieejamām (hidrauliskajām) saistvielām (kaļķi, cementu), lai izmainītu grunts struktūru, tekstūru vai plasticitāti vai sasaistītu (sacementētu) grunti.
<b>Stabilizēta grunts</b>	Maisījums, ko iegūst, ar hidraulisku saistvielu apstrādājot grunti, un kas ievērojami uzlabo grunts mehāniskās īpašības un stabilitāti kopumā īslaicīgi vai ilgtermiņā, īpaši attiecībā uz ūdens un sala iedarbību. Sasniedzamās grunts īpašības un paredzamo stabilitāti projektē, nosakot grunts īpašības, izvēloties piemērotāko saistvielu, piedevas vai to kombināciju, kā arī ievērtējot pieejamo tehnisko aprīkojumu konkrēta tehnoloģiskā risinājuma realizācijai.
<b>Testēšana</b>	Tehniska darbība produkta, procesa vai pakalpojuma nepieciešamo raksturlielumu noteikšanai saskaņā ar attiecīgo metodiku.
<b>Uzlabota grunts</b>	Maisījums, ko iegūst, apstrādājot grunti ar hidraulisku saistvielu vai samaisot ar citu grunti vai minerālo materiālu, un kas tūlītēji uzlabo īpašības, piemēram, vai nu samazinot ūdens saturu, un/vai uzlabojot nestspēju, un/vai samazinot plastiskumu, nodrošinot, lai: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ar grunti varētu rīkoties, lietojot tradicionālu zemes darbu veikšanas aprīkojumu;</li> <li>• grunti varētu apmierinoši sablīvēt kārtās;</li> <li>• nodrošinātu transporta kustību un pārvietošanos pa izbūvētajām kārtām;</li> <li>• grunti sagatavotu sekojošai apstrādei ar hidrauliskajām saistvielām (kaļķi, cementu) vai arī, piemēram, ar izdedžiem, izmešu pelniem vai citiem izstrādājumiem, bet šī grunts uzlabošana netiek projektēta, lai sasniegtu kādas konkrēti definētas uzlabotās grunts īpašību vērtības.</li> </ul>
<b>Tūlītējais nestspējas indekss (TNI)</b>	Parametrs, kas raksturo grunšu deformatīvās īpašības bez papildu mitruma iedarbības, testējot saskaņā ar LVS EN 13286-47.
<b>Zemes klātne</b>	Uzbērums vai ierakums ceļa konstrukcijas robežās.

## 1. ZEMES KLĀTNE UN GRUNŠU ĢEOTEHNISKĀ IZPĒTE

### 1.1. Ceļa konstrukcija

VAS "Latvijas Valsts ceļi" Tehniskajā komisijā 2016. gada 28. oktobrī apstiprinātajās "Ceļu specifikācijās 2019" [1] ir noteikts, ka zemes klātne aptver visu ceļa konstrukciju (skat. 1.1. attēls).



1.1. attēls. Ceļa konstrukcija [4]

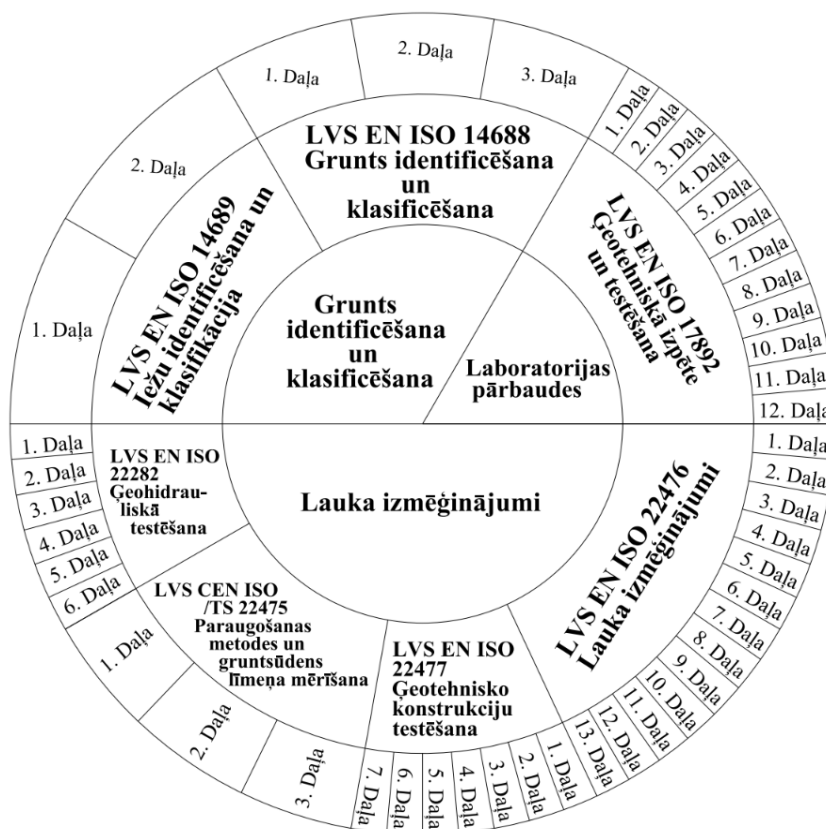
Zemes klātnei veido ierakums vai uzbērums dabīgajās gruntīs. Ceļa konstrukcijas noturību, nestspēju un kalpotspēju vispirms raksturo zemes klātnē esošo grunšu fizikāli mehāniskās īpašības, kā arī kopējie raksturīgie ģeotehniskie apstākļi. Uzbēruma augstums (ieskaitot ceļa segu) un transportlīdzekļu slodzes nosaka to, vai ceļa konstrukcijas zemes klātnei ir pietiekama bīdes pretestība (ceļa konstrukcijas nestspēja) un kādas ir sagaidāmās ceļa konstrukcijas kopējās un nevienmērīgās deformācijas ceļa kalpošanas periodā. LVS EN 1997-2:2007 A/NA:2013 [2] nosaka testēšanas metodes (skat. 1.2. attēls) gan uz vietas būvobjektā (uz lauka), gan laboratorijā.

"Ceļu specifikācijās 2019" noteikts, ka kopējam deformācijas modulim  $E_{v2}$  zemes klātnes augšējā daļā ( $\leq 1$  m no zemes klātnes virsmas) jābūt vismaz 45 MPa vai  $CBR \geq 20\%$ , bet deformācijas modulim uz uzbūvētajām zemes klātnes zemākajām kārtām ( $> 1$  m no zemes klātnes virsmas) – vismaz 25 MPa vai  $CBR \geq 8\%$  [1].

## 1.2. Saistošie standarti

Latvijā ģeotehniskās projektēšanas pamatprincipus, kā arī pamatnes grunts izpētes un testēšanas pamatprincipus nosaka Eiropas Savienības standarti LVS EN 1997-1:2005A/NA:2013 [3] un LVS EN 1997-2:2007A/NA:2013 [2]. Šo standartu nacionālajos pielikumos tiek precizētas un aprakstītas katrā Eiropas Savienības dalībvalstī vēsturiski lietotās aprēķinu metodes, kas nav iekļautas to pamattekstā.

Latvijā ir spēkā nacionālais standarts LVS 190-5:2011 [4], kas aktualizēts 2011. gadā atbilstoši LVS EN 1997 prasībām. Standartā noteiktas prasības nepieciešamajai ģeotehniskajai izpētei un projektēšanai, iekļaujot norādījumus grunts testēšanai, grunšu identifikācijai un klasifikācijai, kā arī zemes klātnes projektēšanai speciālos gadījumos. Pielikumos noteikti norādījumi grunšu testēšanai laboratorijā, sniegti ieteikumi grunšu klasifikācijai un identifikācijai, kā arī aprakstīti vairāki zemes klātnes pastiprināšanas (uzlabošanas) risinājumi – grunts apmaiņa, grunšu pastiprināšana ar ģeosintētiskajiem materiāliem, kārtainu uzbērumu būvniecība un zemes klātnes augšējā slāņa stabilizācija. Tomēr šī standarta lietošanas iespējas ceļu projektēšanā ir neviennozīmīgas, jo standartā ir lietota atšķirīga grunšu klasifikācija no standartos LVS EN ISO 14688 un LVS EN ISO 14699 dotajiem.



1.2. attēls. Grunšu testi, klasifikācija un identifikācija [5]



### 1.3. Ģeotehniskās izpētes plānošana

Ģeotehniskā izpēte jāplāno tādā veidā, lai nodrošinātu atbilstošu ģeotehniskās informācijas apjomu, kas nepieciešams visiem būvniecības posmiem, kā arī identificētu un ierobežotu jebkādu projekta riskus (kavējumi, bojājumi u.c.), kuri varētu būt saistīti ar grunšu pamatni. Ģeotehniskās izpētes mērķis ir noteikt grunšu, iežu un gruntsūdens apstākļus, kā arī grunts un iežu fizikālās un mehāniskās īpašības. Tāpēc nepieciešama uzmanīga datu savākšana, reģistrēšana un to pareiza interpretēšana. Ģeotehniskajā izpētē apskata gan ģeoloģiju, gan ģeomorfoloģiju un hidroģeoloģiju. Tāpat nepieciešams īpašu uzmanību pievērst grunšu mainīgumam projekta ietvaros. Ģeotehniskās izpētes laikā tiek pieņemta un, iespējams, arī mainīta ģeotehniskās sarežģītības kategorija.

Pašlaik pastāv iedalījums trīs dažādās ģeotehniskās sarežģītības kategorijās. 1. ģeotehniskās sarežģītības kategoriju tiek piemērota vietās, kur neplāno ierakumus zem gruntsūdens līmeņa, nepastāv grunšu stabilitātes un deformāciju riski, kas arī ir novērtēti lokāli blakus projektu realizācijā. Savukārt 3. ģeotehniskās sarežģītības kategorija tiek piemērota sekojošos gadījumos:

- Ļoti lielas vai neparastas konstrukcijas būves;
- Konstrukcijas un būves, kur iespējami ievērojami riski, ļoti sarežģīti ģeotehniskie apstākļi un slodošanas nosacījumi;
- Būves vietās, kur iespējami būtiskas nogāzes stabilitātes problēmas vai arī ievērojamas deformācijas, kuras prasti papildu izpēti.

Pārējās būves tiek klasificētas kā 2. ģeotehniskās sarežģītības, tajā skaitā, ceļu un tiltu konstrukcijas, ja vien tās nav ļoti sarežģītas būves vai ģeotehniskie apstākļi pieprasa būtisku papildu izpēti.

Ģeotehniskā izpēte sastāv gan no izpētes, kas attiecas uz plānoto būvi, gan arī vēsturiskās informācijas. Pirms sagatavot ģeotehniskās izpētes programmu, nepieciešams izpētīt visu pieejamo informāciju – topogrāfiskās kartes, ģeoloģiskās kartēšanas datus, ortofoto kartes, iepriekšējās izpētes datus plānotajā vai blakusesošajās teritorijās u.c. Ģeotehniskā izpēte sastāv no lauka un laboratorijas pārbaudēm, kā arī nepieciešamības gadījumā veiktas monitoringa programmas. Ģeotehniskās izpētes programma var tikt papildināta pēc sākotnējo pieņēmumu pārbaudes dabā – izpētes punktu skaits un izpētes dziļums, laboratorijas testēšanas apjoms, ja nepieciešams, precizēt grunšu fizikāli mehāniskos parametrus.

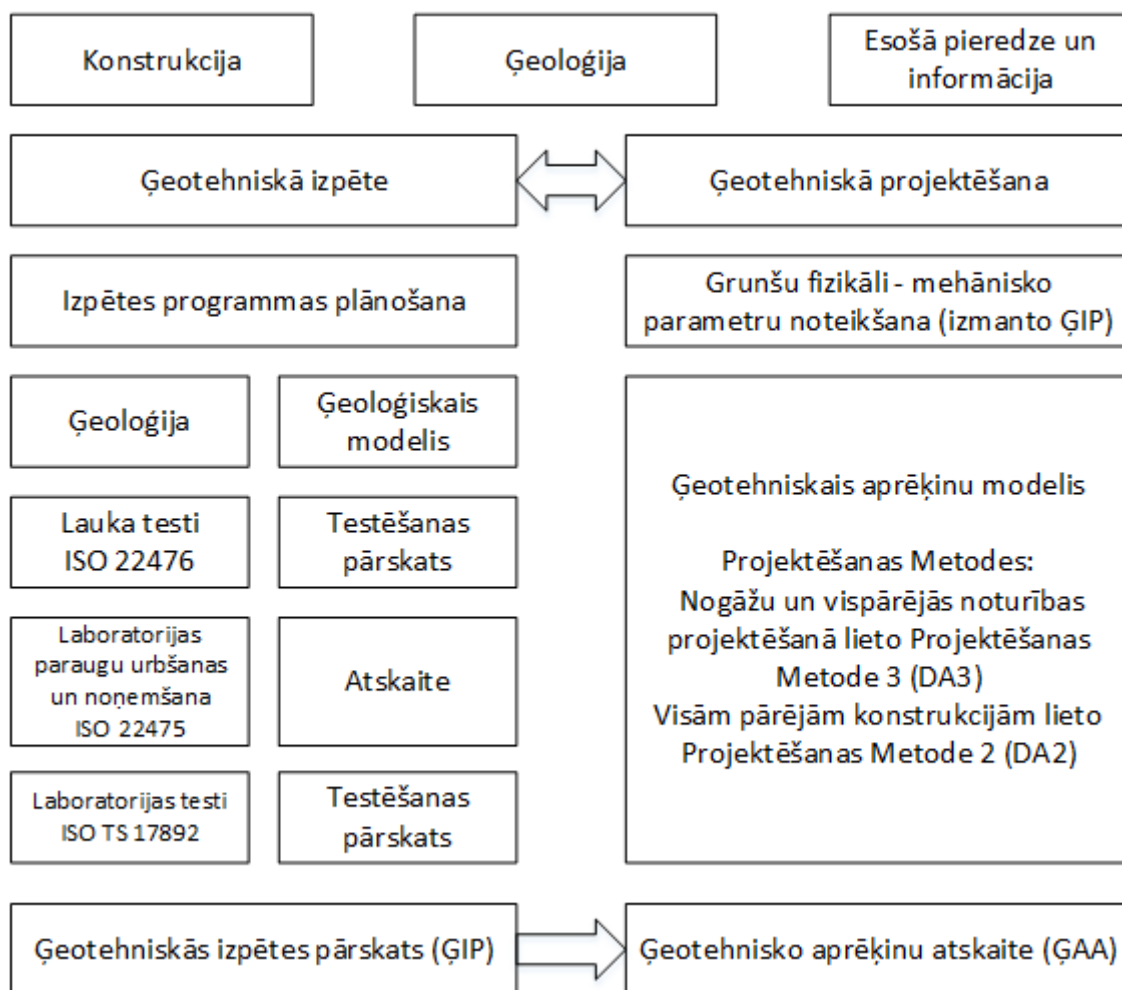
Ģeotehniskās izpētes laikā būtu nepieciešams noteikt grunšu fizikāli mehāniskās īpašības tādā apjomā, lai ir iespējams novērtēt sekojošus aspektus:

- Grunšu sēšanās, sēšanās izkliede būves robežās, sēšanās laikā un dažādās būves būvniecības posmos;
- Nestspējas un lietojamības robežstāvokļu pārbaudes;
- Slodzes no grunts uz būvi (piemēram, horizontālais grunts spiediens uz pāļiem);
- Pamatu izbūves metodes (grunšu pastiprināšana, grunts apmaiņa, pāļi, gruntsūdens pazemināšana);
- Būvdarbu izbūves secība;
- Ietekme uz blakusesošajām būvēm;
- Citi būvniecības apsvērumi (piemēram, būvbedres nostiprināšana, grunts enkuri u.c.);
- Grunts piesārņojums un iespējamie sanācijas pasākumi.

Tāpat arī jānovērtē hidroģeoloģiskie apstākļi:

- Pazemes ūdeņu slāņa dziļums, biezums un izplatība;
- Pazemes ūdeņu līmeņu svārstības un to ekstrēmu vērtības;
- Porūdens spiedienu sadalījums gruntī;
- Gruntsūdens ķīmiskais sastāvs un temperatūra.

Ģeotehniskās izpētes secība un saturs apkopots 1.3. attēls.

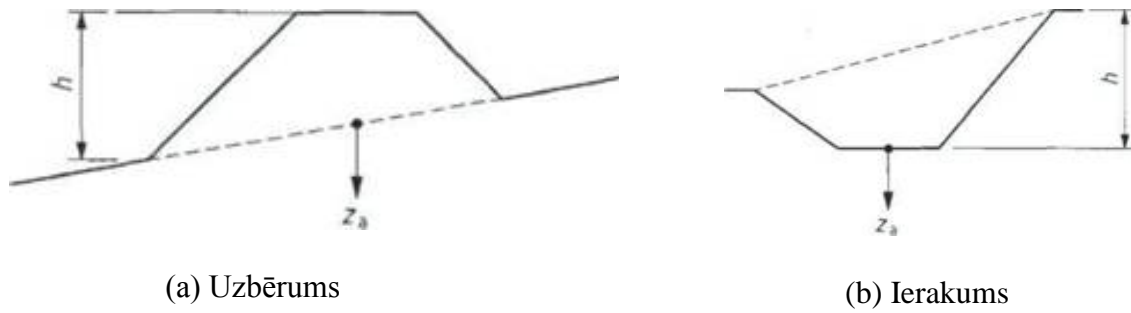


1.3. attēls. Ģeotehniskās izpētes shēma [2]

### 1.3.1. Ģeotehniskās izpētes punktu izvietojums plānā un dziļums

Lineārām būvēm (ceļi, dzelzceļi, cauruļvadi, piestātnes, tuneļi, atbalstsienas u.c.) rekomendē veikt izpēti šķērsgriezumos ik pēc 20 m līdz 200 m. Iepriekšējā pieredze norāda, ka tikai izpēte vietās, kur ģeoloģiskie un hidroģeoloģiskie apstākļi ir vienkārši un būtiski nemainās, iespējams starp izpētes punktiem izmantot par 100 m lielāku attālumu. Vietās, kur sastopamas vājās grūtis, ieteicams veikt izpēti šķērsgriezumos ik pēc 20–30 m.

Izpētes dziļums ir atkarīgs no būves veida. Uzbērumiem un ierakumiem izpētes dziļums atkarīgs no uzbēruma augstuma vai ierakuma dziļuma –  $h$  (skat. 1.4. attēls).



1.4. attēls. Uzbēruma un ierakuma shēma [2]

a) Uzbērumiem:

$$< 0.8h < z_a < 1.2 h$$

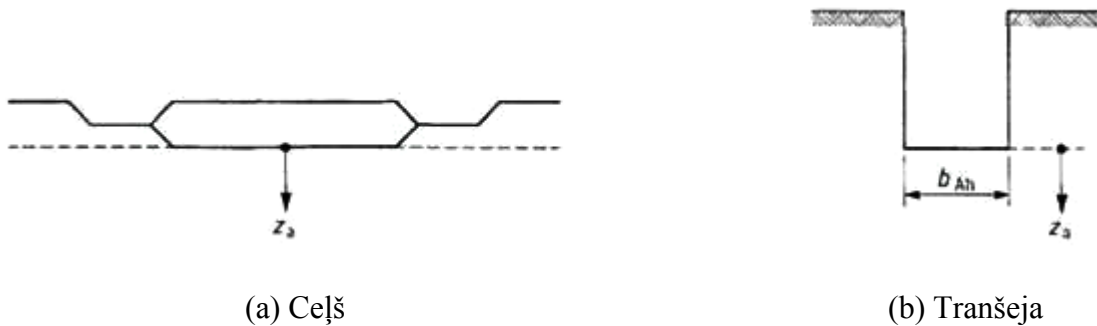
$$z_a \geq 6 m$$

b) Ierakumiem:

$$z_a > 2.0 m$$

$$z_a \geq 0.4 h$$

Lineārām konstrukcijām izpētes dziļums apskatīts 1.5. attēls.



1.5. attēls. Ceļa un tranšejas shēma [2]

a) Ceļiem, dzelzceļiem un lidlaukiem:

$$z_a > 2.0 m$$

b) Tranšejās:

$$z_a > 2.0 m$$

$$z_a > 1.5b_{Ah}$$

kur:

$b_{Ah}$  - tranšejas platums.

Ja tas attiecas arī uz ceļiem un tranšējām, jāattiecinā uzbērumu un ierakumu nosacījumi.

Pāļiem un pāļu grupām tiek rekomendēti sekojoši nosacījumi – skat. 1.6. attēls:

$$z_a > 1.0b_g$$

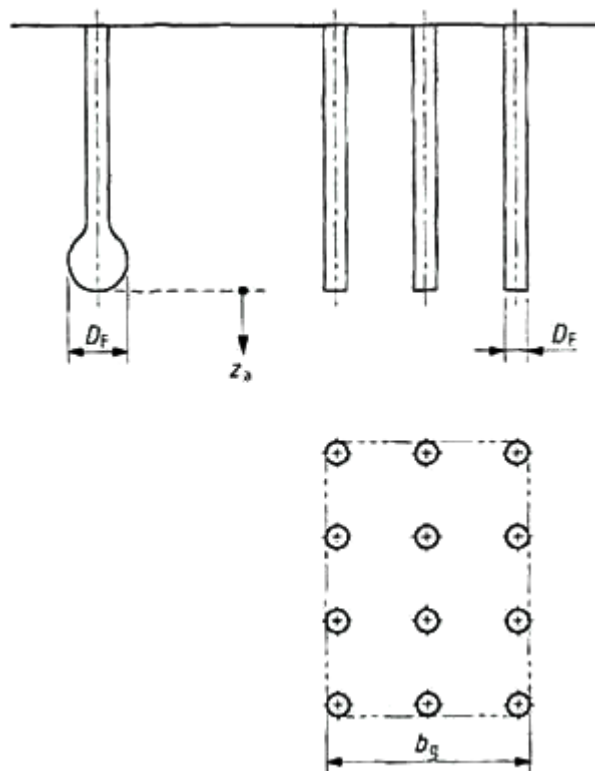
$$z_a > 5 m$$

$$z_a > 3D_F,$$

kur

$D_F$  – pāļa gala diametrs

$b_g$  – mazākā no pāļu grupas malām



1.6. attēls. Pāļi un pāļu grupas [2]

Svarīgi veikt izpēti zemāk par jebkādu vājas grunts slāni – ja nepieciešams, veic dziļākus izpētes punktus.



## 1.4. Grunšu identifikācija un klasifikācija

Grunšu klasifikācijas sistēma inženiertehniskām vajadzībām Eiropas Savienībā balstīta uz LVS EN ISO 14688-1 noteiktajiem grunšu aprakstiem un simboliem un LVS EN ISO 14688-2 grunšu klasifikācijas principiem. Šī Eiropas Savienības klasifikācijas sistēma ir līdzīga ASV standartā ASTM D 2487 definētajai.

Saskaņā ar EN identifikāciju grunts ir iedalīta sekojoši: ļoti rupja grunts, rupja grunts un smalka grunts. Grunts identificēšanai un klasifikācijai tiek izmantots grunts granulometriskais sastāvs un tās konsistence. Identifikācijas un klasifikācijas princips ir aprakstīt ar simboliem grunts granulometriskā sastāva graudu izmēru, iedalot to noteicošajā un pakārtotajos. Noteicošais – tiešā veidā raksturo grunts galvenās īpašības. Pakārtotie – grunts īpašības tieši neraksturo, bet zināmā mērā tās tomēr ietekmē.

Ļoti rupjas un rupjas gruntis identificē pēc granulometriskā sastāva. Smalkas gruntis identificē pēc to plasticitātes, un ir definēts arī smalku grunšu granulometriskais sastāvs.

1.1. tabula. Daļiņu izmēru frakcijas

Grunts grupa	Daļiņu izmēru frakcijas (simbols)	Daļiņu izmēru sadalījums (mm)
Ļoti rupja grunts	Lieli laukakmeņi (lBo)	> 630
	Laukakmeņi (Bo)	> 200 līdz ≤ 630
	Akmeņi (Co)	> 63 līdz ≤ 200
Rupja grunts	Grants (Gr)	> 2,0 līdz ≤ 63
	Rupja grunts (cGr)	> 20 to ≤ 63
	Vidēja grunts (mGr)	> 6,3 līdz ≤ 20
	Smalka grunts (fGr)	> 2,0 līdz ≤ 6,3
	Smilts (Sa)	> 0,063 līdz ≤ 2,0
	Rupja smilts (cSa)	> 0,63 līdz ≤ 2,0
	Vidēja smilts (mSa)	> 0,20 līdz ≤ 0,63
	Smalka smilts (fSa)	> 0,063 līdz ≤ 0,20
Smalka grunts	Putekļi (Si)	> 0,002 līdz ≤ 0,063
	Rupji putekļi (cSi)	> 0,02 līdz ≤ 0,063
	Vidēji putekļi (mSi)	> 0,0063 līdz ≤ 0,02
	Smalki putekļi (fSi)	> 0,002 līdz ≤ 0,006 3
	Māls (Cl)	≤ 0,002

Pirmo pakārtoto rupju grunšu granulometriskā sastāva raksturotāju, kas ietekmē grunts īpašības, ir jāapraksta pirms noteicošā apzīmējuma, piemēram:

- Smilšaina **grants**,
- Rupja smilšaina **grants**,

- Vidēji smilšaini **putekļi**,
- Smalki granšaina, putekļaina rupja **smilts**,
- Ļoti putekļaina smalka **smilts**,
- Viegli vidēji smilšains **māls**.

Rupju grunšu noteicošo (raksturojošo) granulometrisko sastāvu apzīmē ar divu burtu simboliem, no kuriem pirmais ir lielais burts, bet otrais ir mazais burts:

- Gr – grants,
- Sa – smilts.

Pirmo pakārtoto rupju grunšu granulometriskā sastāva raksturotāju, kas ietekmē grunts īpašības, apzīmē ar divu mazo burtu simbolu un raksta pirms noteicošā apzīmējuma:

- saGr – smilšaina grants,
- siGr – putekļaina grants,
- clGr – mālaina grants,
- grSa – granšaina smilts,
- siSa – putekļaina smilts,
- clSa – mālaina smilts.

Otru pakārtoto rupju grunšu granulometriskā sastāva raksturotāju, kurš ietekmē grunts īpašības, arī apzīmē ar divu mazo burtu simbolu. Un raksta pirms noteicošā un pirmā pakārtotā apzīmējuma.

Rupjām gruntīm identificē granulometriskā sastāva formu:

1.2. tabula. Rupju grunšu granulometriskā sastāva forma

Granulometriskā sastāva forma	$C_U$	$C_C$
Vienmērīga	< 3	< 1
Slikta	3 – 6	< 1
Vidēja	6 – 15	< 1
Laba	> 15	1 – 3
Pārtraukta	> 15	< 0,5

Smalku grunšu noteicošo (raksturojošo) granulometrisko sastāvu apzīmē ar divu burtu simboliem, no kuriem pirmais ir lielais burts, bet otrais – mazais burts:

- Si – putekļaina grunts (putekļi),

- Cl – mālaina grunts (māli).

Organisku grunšu noteicošo (raksturojošo) granulometrisko sastāvu apzīmē ar divu burtu simboliem, no kuriem pirmais ir lielais burts, bet otrais – mazais burts:

- Pt – kūdra,
- Gy – sapropelis;
- Dy – dūņas;
- Hu – humuss.

Klasificējot gruntis ar organiku, jānošķir organiskās gruntis (kūdra/ humuss/ sapropelis/ dūņas) un gruntis ar organisko daļiņu saturu (skat. 1.3. tabula).

1.3. tabula. Grunšu ar organisku, ar daļiņu izmēru  $\leq 2$  mm klasifikācija

Apzīmējums	Organisko daļiņu saturs, % no sausas masas
Maz organisko daļiņu	2–6
Vidēji daudz organisko daļiņu	6–20
Daudz organisko daļiņu	> 20
Kūdra, sapropelis, dūņas, humuss	---

Grunšu, kuru daļiņas ir lielākas par 2 mm, klasifikācija pamatojas ar organisko daļiņu veidu, ģenētisko izcelsmi un sadalīšanās pakāpi.

Gruntis var klasificēt arī atkarībā no karbonātu ( $\text{CaCO}_3$ ) satura, relatīvā blīvuma, bīdes pretestības, konsistences indeksa un citiem parametriem (ūdens saturs, saussais tilpumsvars, māla aktivitāte, mineralogiskais sastāvs, piesātinājuma indekss, ūdens caurlaidība, sablīvējamība, uzbriestamība, nestspējas u.c.).

Grunšu klasifikācija atbilstoši LVS EN ISO 14688-2 principiem norādīta tabulā (skat. 1.1. tabula). Papildu šai tabulai ir jāizmanto arī plasticitātes grafiks (skat. 1.1. attēls).

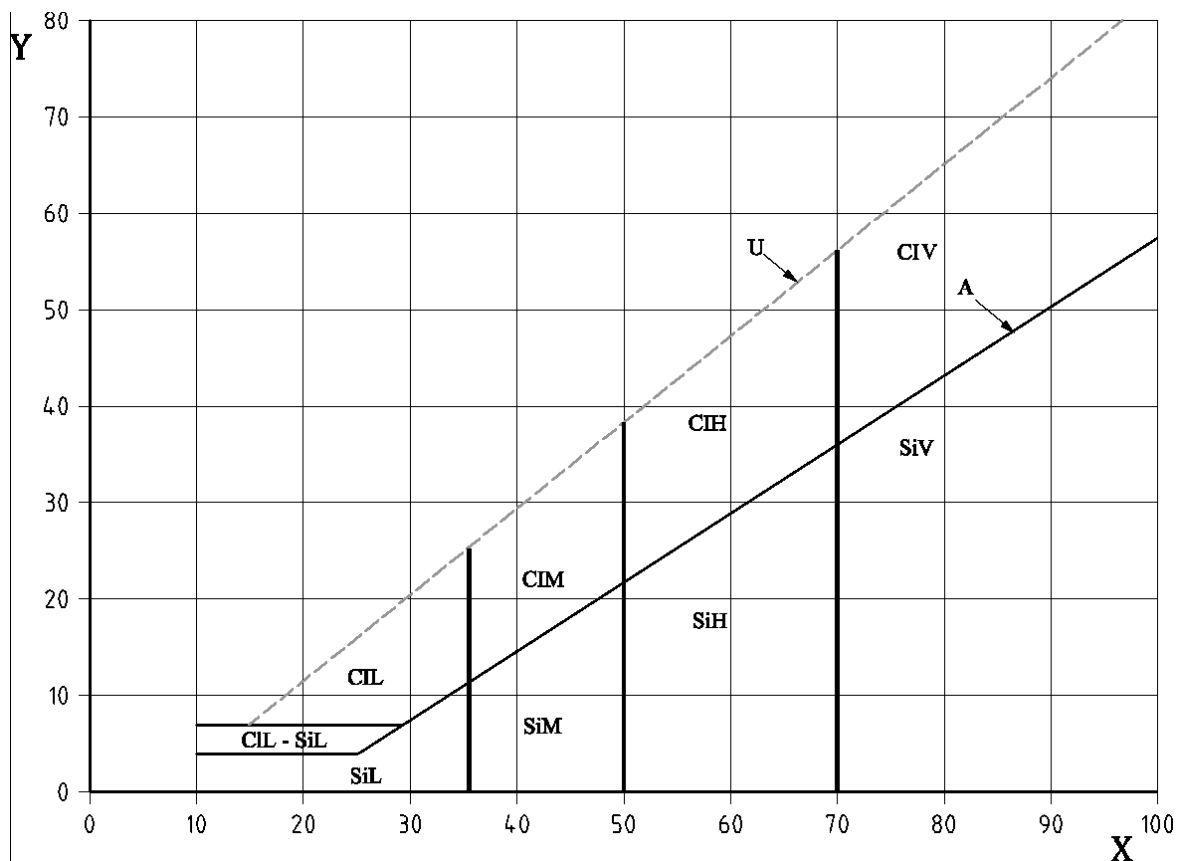
1.4. tabula. Grunšu klasifikācijas principi atbilstoši LVS EN ISO 14688-2

Grunts grupa	Kvantifikācija	Grunts grupas nosaukums			Papildu iedalījums pēc vajadzības
		Primārā frakcija (simbols)	Frakcijas		
Ļoti rupja	> 50% masas daļiņas $\geq 200$ mm	Laukakmeņi (Bo)	Laukakmeņi Laukakmeņi ar akmeņiem	Laukakmeņi ar smalkāku grunti	Nepieciešami īpaši apsvērumi konkrētai situācijai
	> 50% masas daļiņas	Akmeņi (Co)	Akmeņi	Akmeņi ar smalkāku grunti	

Grunts grupa	Kvantifikācija	Grunts grupas nosaukums			Papildu iedalījums pēc vajadzības
		Primārā frakcija (simbols)	Frakcijas		
	< 200 mm un ≥ 63 mm		Akmeņi ar laukakmeņiem		
Rupja	> 50% masas daļiņas < 63 mm un ≥ 2 mm	Grants (Gr)	Grants ar akmeņiem Grants Smilšaina grants ar akmeņiem	Smilšaina grants Grants ar mālu un putekļiem	Granulometriskais sastāvs Granulometriskā sastāva forma Relatīvais blīvums/blīvuma indekss Caurlaidība
	> 50% masas daļiņas < 2 mm un ≥ 0,063 mm	Smilts (Sa)	Granšaina smilts, Smilts	Smilts ar māliem vai putekļiem	Mineraloģija, Graudu forma
Smalka	Neliela plasticitāte vai nav plastiska	Putekļi (Si)	Smilšaini putekļi	Smilšaini, granšaini putekļi, Smilšaini, mālaini putekļi	Plasticitāte Ūdens saturs Stiprība Jutīgums Saspiežamība Stingrība Māla mineraloģija
	Plastiska	Māls (Cl)	Mālaini putekļi Putekļains māls  Smilšaini granšains māls, Organiski putekļi Organisks māls		
Organiskas izcelsmes grunts		Kūdra (Pt) Sapropelis (Gy) Dūņas (Dy) Humuss (Hu)	Smilšaina kūdra, Smilšains, mālainis sapropelis		Nepieciešami īpaši apsvērumi konkrētai situācijai
Antropogēna grunts		Iestrādāta jaukta grunts	Iestrādāta bez kontroles	Sintētiski materiāli vai pārstrādāti dabīgi materiāli (tādi kā drupināti, šķiroti vai mazgāti materiāli)	Attiecībā uz dabīgām gruntīm nepieciešami īpaši apsvērumi konkrētai situācijai
		Aizpildījums	Iestrādāta kontrolēti		

Gadījumos, kad nepieciešami īpaši apsvērumi konkrētās situācijās, grunts jāklasificē saskaņā ar būvprojektā noteiktajām prasībām (skatīt, piemēram, standartus EN 16907).

Smalkas grunts klasificē pēc to plasticitātes (plūstamības –  $w_L$  un plasticitātes –  $w_p$  robeža), testējot saskaņā ar ISO 17892-12.



### Apzīmējumi

X plūstamība, $w_L$			Y plasticitātes indekss, $I_P$	
Grunts tips		Plasticitāte		
		Plūstamības robeža		
Cl	Māls	L	Zema	< 35
Si	Dūņas	M	Vidēja	35 - 50
		H	Augsta	50 - 70
		V	Ļoti augsta	> 70
		O	Organika	Pievienot organikas klasifikācijai (piemēram, CIHO)
U līnija	$I_P = 0,9 (w_L - 8)$		A līnija	$I_P = 0,73 (w_L - 20)$

1.7. attēls. Grunšu plasticitātes grafiks atbilstoši LVS EN ISO 14688-2

Visi testēšanas rezultāti, kas atrodas virs vai pa kreisi no U līnijas, rūpīgi jāizvērtē.

Piezīme 1. U līnija (1.7. attēls) ir noteikta empīriski un ir aptuvena dabīgas grunts augšējā robeža.

Piezīme 2. Organikas saturs gruntī var ietekmēt grunts plasticitātes rādītājus, jo būs lielāka ietekme uz plūstamības robežu nekā uz plasticitātes indeksu, līdz ar to, palielinoties organikas saturam gruntī, grunts tieksies pa labi (1.7. attēls).

Grunts plasticitāti var novērtēt, lietojot arī citas testēšanas metodes, piemēram, metilēnzilo testu.

Kādos īpašos ģeoloģiskajos apstākļos var tikt lietota arī alternatīva grunšu klasificēšana.

Rokasgrāmatas ietvaros tiek lietota grunšu klasifikācija atbilstoši LVS EN ISO 14688-2 principiem, vai arī kādu izvērtēšanas kritēriju vai prasību noteikšanai tiek izmantotas konkrētas grunšu īpašības un to vērtības.

### 1.5. Grunšu paraugošana

Grunšu paraugošana jāveic atbilstoši standartam (LVS EN ISO 22475-1:2014 L) Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Paraugošanas metodes un pazemes ūdens mērījumi. 1.daļa: Darbu izpildes tehniskie principi (ISO 22475-1).

### 1.6. Gruntsūdens testēšana

Gruntsūdens testēšana jāveic atbilstoši standartam (LVS EN ISO 22475-1:2014 L) Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Paraugošanas metodes un pazemes ūdens mērījumi. 1.daļa: Darbu izpildes tehniskie principi (ISO 22475-1).

### 1.7. Grunšu testēšana uz lauka

Grunšu testēšanā uz lauka tiek izmantotas dažādas metodes, kas ļauj novērtēt grunšu stratigrāfiju, identificēt un klasificēt tās, kā arī noteikt grunšu fizikāli mehāniskās īpašības, galvenokārt, izmantojot dažādas korelācijas. Lauka izpētes metodes korelējas ar noteiktiem parametriem labāk nekā citas, tāpēc tās ir salīdzinātas savā starpā [5] – skat. 1.5. tabula.

1.5. tabula. Grunšu testēšana uz lauka un testu interpretācijas

Metode	Grunšu parametri												
	Grunts tips	Grunts profils	$u$	$\varphi'$	$c_u$	$I_D$	$E_m$	$c_v$	$k$	$G_0$	$\sigma_h$	OCR	$\sigma - \varepsilon$
DP	C	B	-	C	C	B	-	-	-	C	-	C	-
CPT(U)	A	A	A	B	B	B	B	A/B	B	B	B/C	B	C
DMT	B	A	C	B	B	C	B	-	-	B	B	B	C
VT	B	C	-	-	A	-	-	-	-	-	-	B/C	B

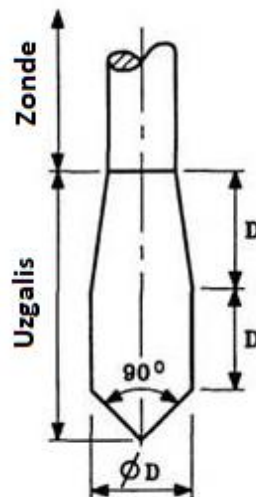
DP – Dinamiskā zondēšana  
 CPT(U) – Statiskā zondēšana  
 DMT – Zondēšana ar plakano dilatometru  
 VT – Spārņgriezies tests  
 $u$  – Porūdens spiediens;  
 $\varphi'$  – Grunts iekšējās berzes leņķis

$c_u$  – Grunts nedrenētā bīdes pretestība  
 $I_D$  – Grunts relatīvais blīvums rādītājs  
 $E_m$  – Grunts deformāciju modulis no sāniem ierobežotā stāvoklī  
 $c_v$  – Grunts konsolidācijas koeficients  
 $k$  – Grunts filtrācijas koeficients  
 $G_0$  – Grunts dinamiskais (sākotnējais) bīdes deformāciju modulis  
 $\sigma_h$  – Grunts horizontālais spriegums  
 OCR – Grunts pārkonsolidācijas koeficients  
 $\sigma - \varepsilon$  – Grunts spriegumu – relatīvo deformāciju atkarība

**A – labi nosakāms; B – vidēji labi nosakāms; C – slikti nosakāms**

### 1.7.1. Dinamiskā zondēšana

Dinamiskās zondēšanas iekārta sastāv no zondes ar uzgali, kura diametrs ir lielāks nekā pārējai zondei. Zonde tiek ielaista gruntī, to dzenot ar noteiktas masas veseri, ko met no noteikta augstuma (konstanta triecienenerģija) – skat. 1.6. tabula.



1.8. attēls. Dinamiskās zondes shēma

1.6. tabula. Dinamiskās zondes parametri

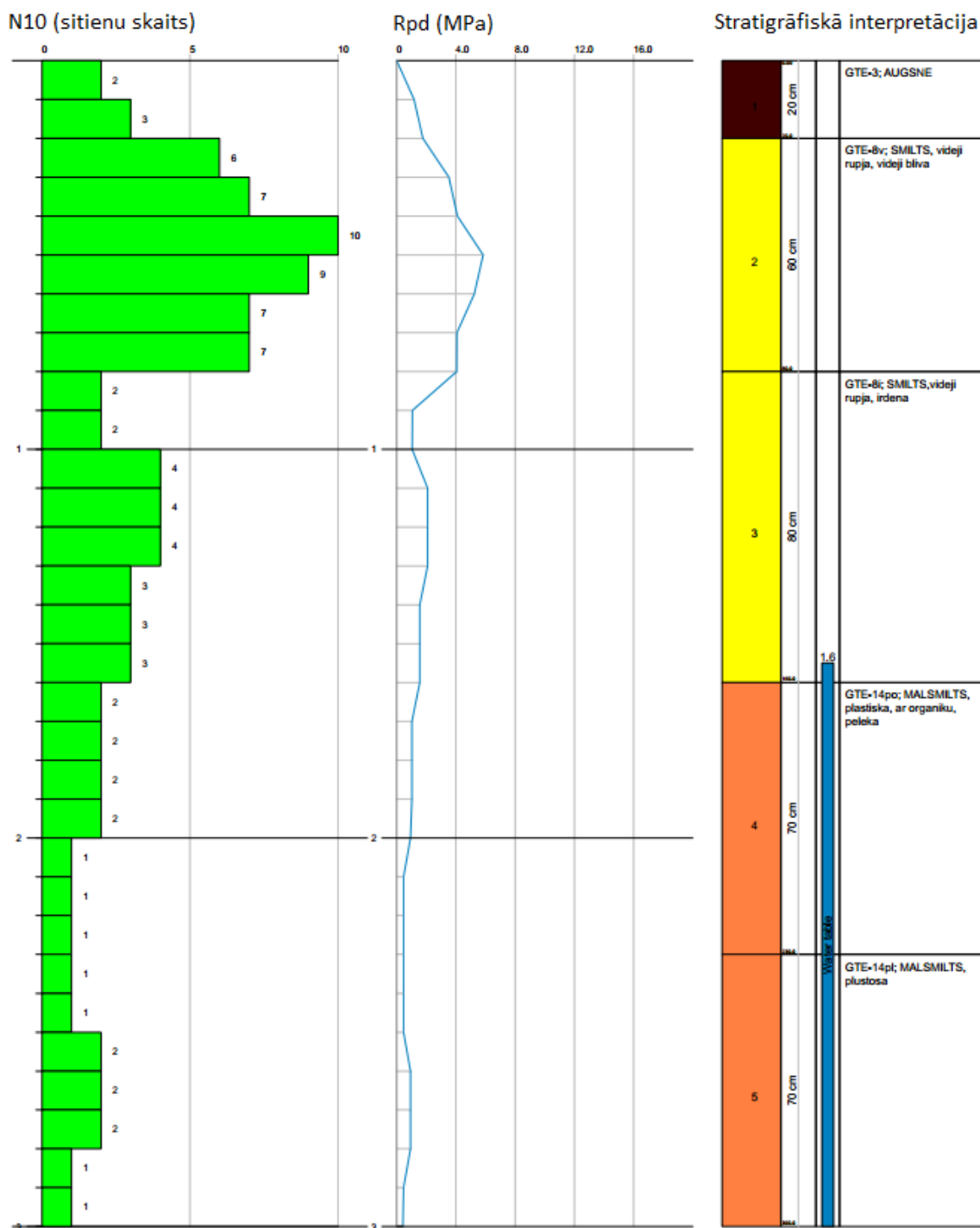
	DPL (vieglā)	DPM (vidējā)	DPH (smagā)	DPSH (īpaši smagā)
<b>Sīšanas iekārta</b>				
Āmurs: masa $m$ (kg)	$10 \pm 0,1$	$30 \pm 0,3$	$50 \pm 0,5$	$63,5 \pm 0,5$
Kritiena augstums $h$ (mm)	$500 \pm 10$	$500 \pm 10$	$500 \pm 10$	$750 \pm 20$
Garums/diametrs ( $D_n$ ), attiecība	$\geq 1 \leq 2$	$\geq 1 \leq 2$	$\geq 1 \leq 2$	$\geq 1 \leq 2$
<b>Zonde</b>				
Masa (kg/m) ( $max$ )	3	6	6	6
Diametrs $D$ (mm) ( $max$ )	22	3	32	32
<b>Enerģija vienā sitienā</b>				
$(mgh/A)$ kJ/m <sup>2</sup>	50	150	167	238



Zondes dzīšanas laikā reģistrē sitienu skaitu, kas pielikts, lai to ielaistu noteiktā distancē. Dinamiskās zondēšanas veidu izvēlas atbilstoši standartam (LVS EN ISO 22476-2:2005.).

Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka izmēģinājumi - 2.daļa: Dinamiskā zondēšana (13.09.2005. precizēts nosaukuma tulkojums) atkarībā no grunšu ģeotehniskajiem apstākļiem.

Tipiskais dinamiskās zondēšanas grafiks attēlots zemāk – skat. 1.9 attēls.



1.9. attēls. Dinamiskās zondēšanas (DPM) grafiks, kur attēlots N10 – sitienu skaits, lai iedziļinātos par 10 cm; Rpd – pieļaujamais grunts spiediens pēc Herminier-Olandesi formulas; grunšu stratigrāfija

Lai gan šī metode Latvijā tiek plaši izmantota, iespējamās korelācijas un grunšu fizikāli mehānisko īpašību interpretācijas iespējas ir ierobežotas (skat. 1.5. tabula). Dinamiskā zondēšana labi korelējas ar  $I_D$ – grunts relatīvais blīvums rādītājs, smilšainās gruntīs un labi izmantojams, lai novērtētu grunšu sablīvējumu pirms un pēc blīvēšanas.

Praksē tiek izmantotas arī līdzīgas iekārtas – neliela izmēra penetrometri, lai novērtētu grunšu sablīvējumu tieši zem pamatu pēdas vai pamatu plātnēm, tomēr, tā kā tie nav specificēti atbilstoši spēkā esošajiem normatīviem vai standartiem, tos izmantot varētu tikai tādā gadījumā, ja pieejama lokāla korelācija.

### 1.7.2. Statiskā zondēšana

Statiskā zondēšana iespējams ir vispopulārākā grunšu lauka izpētes metode Latvijā un citur Pasaulē – pieejamas plašas datubāzes un attīstītas korelācijas starp zondes mērījumiem un grunšu fizikāli-mehāniskajiem rādītājiem.

Statiskā zondēšana tiek veikta, ar noteiktu ātrumu (parasti 2 cm/s) iespiežot konisku 60° zondi gruntī. Iespiešanas laikā tiek mērīta zondes gala un sānu pretestība, kā arī pastāv iespēja reģistrēt arī porūdēns spiedienu [5]. Sākotnēji šī metode tika attīstīta aluviālu grunšu pētījumiem, taču mūsdienās tiek izmantota ļoti plaši dažādu grunšu lauka izpētēs.

Mūsdienu penetrācijas tests ar elektrisko un pjezokonusu attīstīts Nīderlandē 1960itajos gados un tā priekšrocības – testēšanas ātrums, nepārtrauktība, atkārtojamība un ekonomiskums, nodrošina šīs testēšanas metodes popularitāti un attīstību. Statiskās zondēšanas laikā tiek mērīti sekojoši parametri:

$q_c$  – zondes gala pretestība, MPa;

$f_s$  – zondes sānu pretestība, kPa;

$u_2$  – porūdēns spiediens, kPa;

$R_f = \frac{f_s}{q_c} 100\%$  – zondes sānu pretestības un gala pretestības attiecības rādītājs.

Viens no statiskās zondēšanas pielietojumiem ir grunšu stratigrāfijas un grunts tipu noteikšana. Parasti  $q_c$  ir augstāks un  $R_f$  zemāks smilšainām gruntīm salīdzinot ar mālainām gruntīm. Statiskā zondēšana nevar tikt izmantota, lai noteiktu grunšu fizikālās īpašības, piemēram, granulometrisko sastāvu, bet labi tiek var interpretēt grunšu mehāniskās īpašības (skat. 1-5 tabula) – stiprības, stinguma un saspiežamības parametrus. Statiskās zondēšana sniedz atkārtojamus datus par grunts uzvedību lauka apstākļos tiešā saskarē ar zondi, tādēļ grunšu parametru interpretācijas ir tiešā veidā saistītas ar grunts uzvedības tipu (SBT) [6]. Korelācijas no statiskās zondēšanas datiem ir empīriskas.

Statiskās zondēšanas laikā  $q_c$ - zondes gala pretestību, nepieciešams koriģēt tā saucamā nevienmērīgā zondes gala laukuma efekta dēļ.  $q_c$  tiek koriģēts uz kopējo zondes gala pretestību  $q_t$ :

$$q_t = q_c + u_2(1 - \alpha) \quad (1.7.1.)$$

kur:

$\alpha$  – kopējā laukuma attiecības, kas noteikta laboratorijas kalibrēšanas laikā – parasti 0.7 – 0.85.

Kopējais  $\sigma_{vo}$  un efektīvais  $\sigma'_{vo}$  vertikālais spriegums  $\sigma_{vo}$  tiek aprēķināts no grunts pašsvara:

$$\sigma_{vo} = \sum_0^i z_i \cdot \gamma_i \quad (1.7.2.)$$

kur

$z_i$  – katra grunts slāņa biezums, m;

$\gamma_i$  – katra grunts slāņa tilpumsvars, kN/m<sup>3</sup>.

$$\sigma'_{vo} = \sigma_{vo} - u_2 \quad (1.7.3.)$$

Bieži tiek izmantota metodika, kas balstās uz normalizētajiem rādītājiem [5]:

$$Q_t = (q_t - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo} \quad (1.7.4.)$$

kur:

$Q_t$  – normalizētā kopējā zondes gala pretestība.

$$F_r = f_s / (q_t - \sigma_{vo}) \cdot 100\% \quad (1.7.5.)$$

kur:

$F_r$  – normalizētais zondes sānu pretestības un gala pretestības attiecības rādītājs.

Grunts uzvedības tipa rādītājs  $I_c$ :

$$I_c = ((3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2)^{0.5} \quad (1.7.6.)$$

Zinot grunts uzvedības tipa rādītāja vērtību un normalizētās vērtības, iespējams korelēt grunšu parametrus, piemēram, grunts deformāciju modeli no sāniem ierobežotā stāvoklī:

$$E_m = \alpha_M (q_t - \sigma_{vo}) \quad (1.7.7.)$$

kur:

Ja  $I_c > 2.2$  (smalkgraudainas grunts):

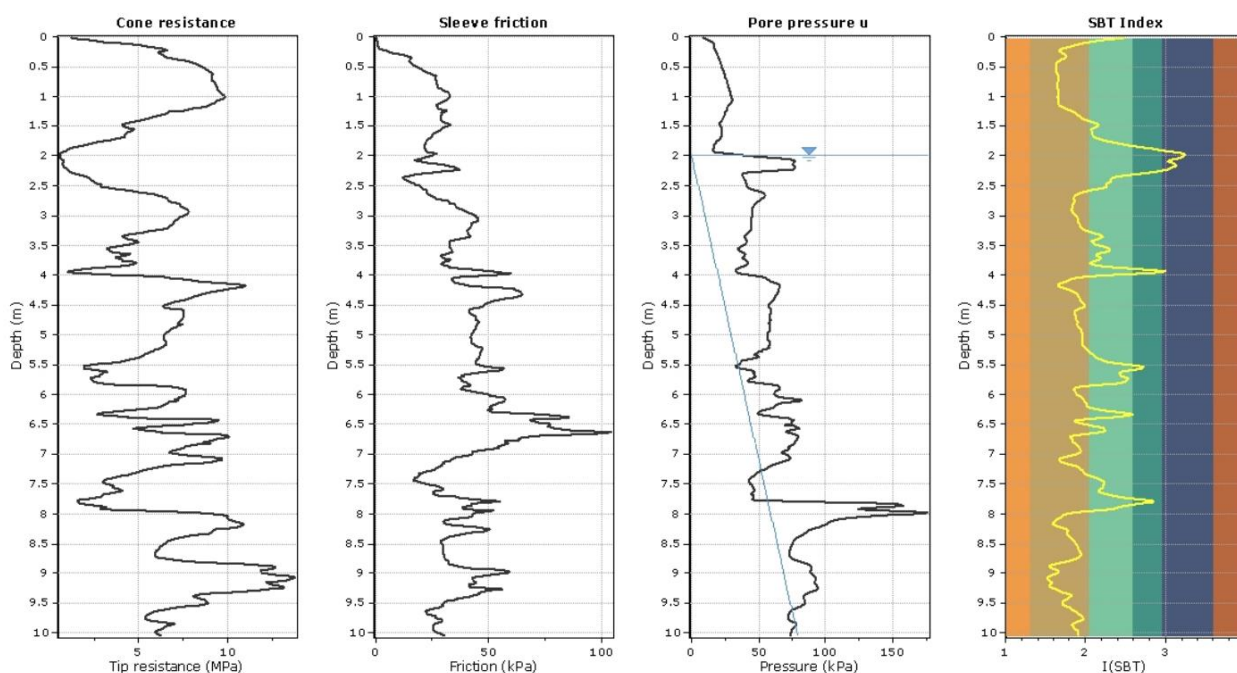
$$\alpha_M = Q_t \text{ kad } Q_t < 14$$

$$\alpha_M = 14 \text{ kad } Q_t > 14$$

Ja  $I_c < 2.2$  (rupjgraudainas grunts):

$$\alpha_M = 0.03(10^{0.55I_c+1.68})$$

Tipiskais statistiskās zondāžas grafiks attēlots zemāk – skat.-1.10. attēls



1.10. attēls. Statiskās zondēšanas grafiks. Depth – dziļums; Tip resistance – konusa gala pretestība; Sleeve friction – zondes sānu pretestība; Pore pressure – porūdens spiediens; SBT Indeks  $I_c$  – grunts uzvedības tips

Statiskās zondēšana jāveic atbilstoši LVS EN ISO 22476-1:2013 Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka izmēģinājumi. 1. daļa: Penetrācijas testi ar elektrisko un pjezokonusu (ISO 22476-1:2012).

### 1.7.3. Plakanais dilatometrs

Plakanais dilatometrs plašāk ir pazīstams kā Marchetti dilatometrs (DMT) – tā ir vienkārša un robusta iekārta, kas potenciāli pietiekami labi korelējas ar grunšu mehāniskajām īpašībām.

DMT sastāv no nerūsējošā tērauda 250 mm garas, 94 mm platas un 14 mm biezas plāksnes ar 16° spicu galu, kurai abās pusēs izvietotas apaļas tērauda plānas membrānas (60 mm diametrā). Plāksne tiek pieskrūvēta pie zondes (piemēram, statiskās zondēšanas zondes) stieņiem un iespiesta gruntī noteiktajā dziļumā. Kad tā tiek iedziļināta noteiktajā dziļumā, DMT testa laikā tiek padota gāze, kas izpleš membrānas – tiek reģistrēts spiediens, lai sāktu izplest membrānu ( $p_0$ ) un spiediens, lai izplestu membrānu līdz noteiktam pārvietojumam (1.1 mm) -  $p_1$ . Šie nolasījumi parasti tiek veikti ik pēc 20 cm. Tieši spiediena nolasījumi tālāk tiek korelēti ar grunšu mehāniskajām īpašībām. DMT iekārta attēlota attēlā zemāk – skat. 1.11. attēls.



1.11. attēls. Plakanā dilatometra aprīkojums

Horizontālā sprieguma rādītājs tiek aprēķināts sekojošā veidā [7]:

$$K_d = \frac{p_0 - u_0}{\sigma'_{v0}} \quad (1.7.8.)$$

kur:

$p_0$  – pirmais nolasījums, kPa;

$u_0$  – porūdes spiediens, kPa;

$$\sigma'_{vo} = \sigma_{vo} - u_0 \quad (1.7.9.)$$

$$\sigma_{vo} = \sum_0^i z_i \cdot \gamma_i \quad (1.7.10.)$$

kur:

$z_i$  – katra grunts slāņa biezums, m;

$\gamma_i$  – katra grunts slāņa tilpumsvars, kN/m<sup>3</sup>.

Dilatometra stinguma modulis  $E_d$  tiek iegūts no  $p_0$  un  $p_1$ , izmantojot elastības teorijas pamatprincipus [8]:

$$E_d = 34.7(p_1 - p_0) \quad (1.7.11.)$$

Materiāla rādītājs  $I_d$  tiek definēts sekojošā veidā:

$$I_d = \frac{p_1 - p_0}{p_0 - u_0} \quad (1.7.12.)$$

Atbilstoši  $I_d$  iespējams identificēt grunts tipu [7]:

Māls  $0.1 < I_d < 0.6$

Putekļi  $0.6 < I_d < 1.8$

Smilts  $1.8 < I_d < (10)$

Tālākas korelācijas starp DMT rādītājiem un grunšu mehāniskajiem parametriem iespējams atrast literatūrā [9]. Testēšana ar plakano dilatometru jāveic atbilstoši LVS EN ISO 22476-11:2017 Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka testi. 11. daļa: Testēšana ar plakano dilatometru (ISO 22476-11:2017).

#### 1.7.4. Spārņingrieze

Spārņingriezes testa laikā gruntī tiek iedziļināta krustveidā izgatavotas plāksnītes (skat. 1-12 attēls) un grieztas noteiktā ātrumā starp 6°/min un 12°/min. Tajā brīdī, kad spārņi pagriežas, tiek reģistrēta grunts bīdes pretestības rādītāji netraucētā stāvoklī -  $c_{fv}$ . Ja spārņus pagriez 10 apgriezienus un tad veic jaunu mērījumu, iespējams novērtēt grunts paliekošos stiprības rādītājus -  $c_{rv}$ . Grunts jutīguma analīze iespējama, izmantojot grunts jutīguma rādītāju:

$$S_{tv} = c_{fv}/c_{rv} \quad (1.7.13.)$$

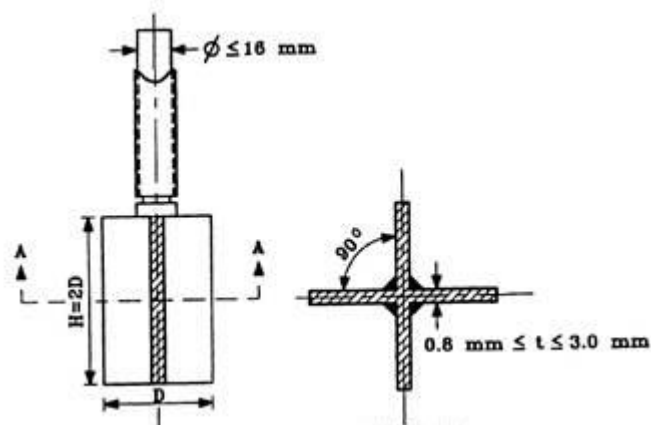
Lai noteiktu nedrenēto bīdes pretestību gruntij, testa rezultātus grunts bīdes pretestības rādītājam netraucētā stāvoklī ( $c_{fv}$ ), nepieciešams koriģēt:

$$c_u = \mu c_{fv} \quad (1.7.14.)$$

kur:

$\mu$  – korelācijas koeficients, kurš noteikts atbilstoši lokālajai pieredzei.

Pieejamie korelācijas faktori literatūrā ir atkarīgi no grunšu konsistences rādītājiem, efektīvā sprieguma un grunšu konsolidācijas pakāpes.



1.12. attēls. Spārņingriezes iekārtas shēma

Testēšana ar spārņingriezi jāveic atbilstoši EN ISO 22476-9.

#### 1.7.5. Plātnes spiedes tests

Plātnes spiedes tests ļauj noteikt grunšu un iežu stiprības, stinguma un saspiežamības parametrus, slogojot stingu plātņi un mērot tās sēšanos. Plātnes tests tiek veikts uz grunts slāņa



virsmas, tranšejās vai liela diametra priekšurbumos. Šī testa metode ir pielietojama dažādu grunšu un iežu testēšanai, bet parasti nav piemērota vāju saspiežamu saistīgu grunšu testēšanai. Plātnes spiedes testa iekārtu skat. 1.13. attēls. Plātnes spiedes testu iespējams veikt arī atbalstoties arī pret smago tehniku, kura nodrošina nepieciešamo pretspiedienu.



1.13. attēls. Plātnes testa veikšana objektā

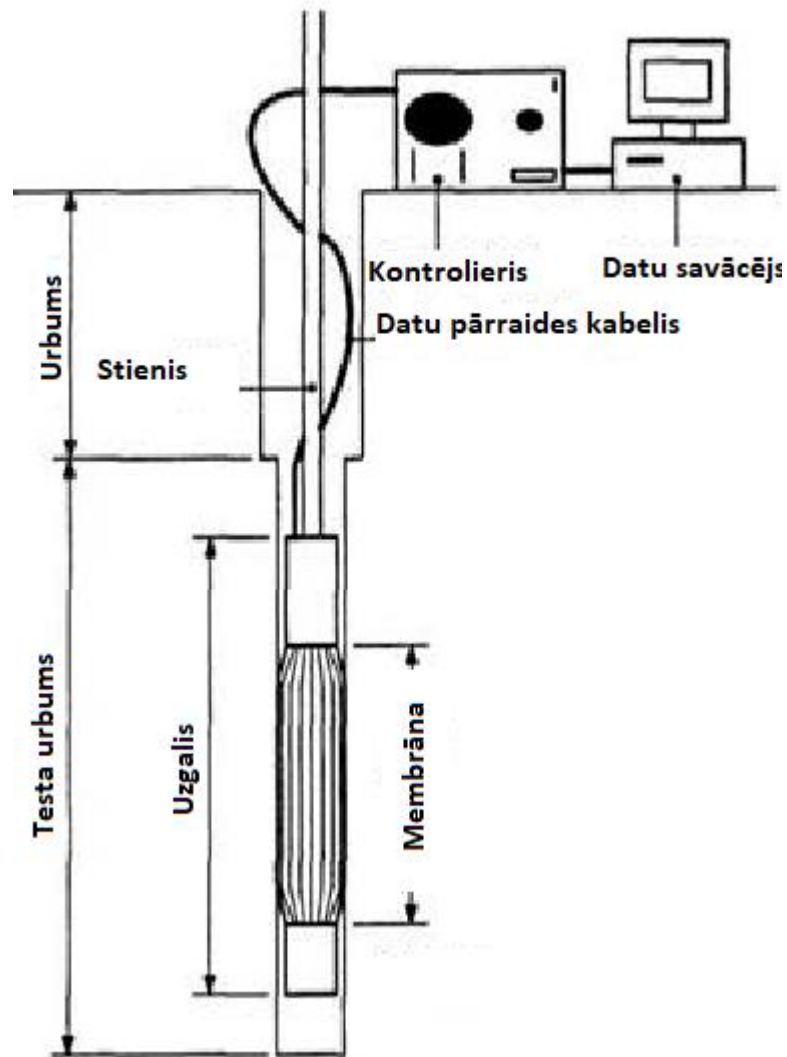
Plātnes spiedes tests jāveic atbilstoši LVS EN ISO 22476-13 (Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka izmēģinājumi. 13. daļa: Statiskās plātnes slogošanas tests) vai atbilstoši standartam DIN 18134.

#### 1.7.6. Presiometrs

Presiometra testa laikā, izspiežot cilindriskas formas membrānu, tiek mērītas grunšu un vāju iežu deformatīvās īpašības. Mūsdienās pastāv 4 dažādi presiometru veidi:

- Ménard presiometrs (MPM),
- Presiometrs pirmsurbumā-urbumā (PBP),
- Pašurbjošais presiometrs (SBP)
- Presiometrs ar grunts izspiešanu uz sāniem (FDP).

Presiometra shēma dota attēlā zemāk – skat. 1.14. attēls.



1.14. attēls. Presiometra iekārtas shēma.

Presiometra testi jāveic atbilstošu sekojošiem standartiem:

LVS EN ISO 22476-4:2013 Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka izmēģinājumi. 4. daļa: Tests ar Menarda spiediena mērīšanas ierīci (ISO 22476-4:2012)

LVS EN ISO 22476-5:2013 Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka izmēģinājumi. 5. daļa: Tests ar elastīgo dilatometru (ISO 22476-5:2012)

LVS EN ISO 22476-6:2019 Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka testēšana. 6.daļa: Testēšana ar pašurbjošu presiometru (ISO 22476-6:2018)

LVS EN ISO 22476-7:2013 Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka izmēģinājumi. 7. daļa: Tests ar cieto diametrālo dilatometru (ISO 22476-7:2012)

LVS EN ISO 22476-8:2019 Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka testi. 8.daļa:  
Testēšana ar pilna pārvietojuma presiometru (ISO 22476-8:2018)

## 1.8 Grunšu testēšana laboratorijā

Laboratorijā tiek testētas visas grunšu fizikāli – mehāniskās īpašības. Biežāk veiktie grunšu fizikāli – mehāniskie testi apkopoti tabulā – skat. 1.7. tabula.

1.7. tabula. Grunšu testēšana laboratorijā

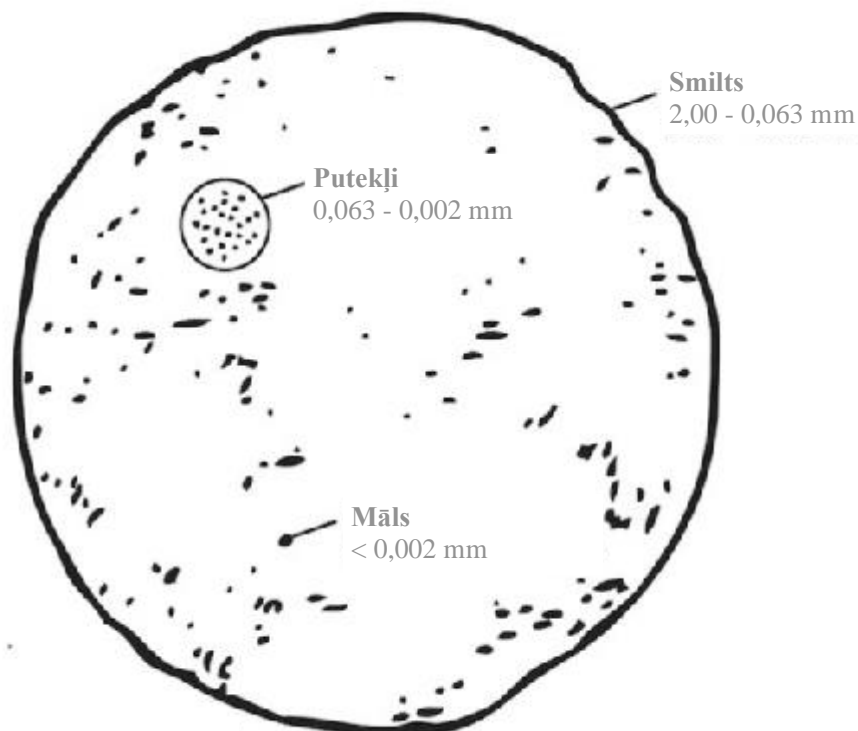
Parametrs	Standarts/i	Piezīmes
Ūdens (mitruma) saturs	LVS EN 1097-5 LVS CEN ISO/TS 17892-1	
Tilpummasas noteikšana	LVS EN ISO 17892-2:2015	
Daļiņu blīvuma noteikšana	LVS EN ISO 17892-3:2016	
Daļiņu izmēra sadalījuma noteikšana	LVS EN ISO 17892-4:2017	
Pakāpeniskas sloģošanas tests ar oedometru	LVS EN ISO 17892-5:2017	Stinguma, saspiežamības un konsolidācijas parametri
Krītošā konusa tests	LVS EN ISO 17892-6:2017	Konsistences rādītāji (plastiskuma indekss, plūstamības un plastiskuma robeža) Nedrenētā bīdes pretestība
Neierobežots spiedes tests	LVS EN ISO 17892-7:2018	Nedrenētā bīdes pretestība
Konsolidēti trīsasu spiedes testi ūdenspiesātinātām gruntīm	LVS EN ISO 17892-8:2018	Stiprības (iekšējās berzes leņķis un saiste) un saspiežamības parametri
Konsolidēti trīsasu spiedes testi ūdenspiesātinātām gruntīm	LVS EN ISO 17892-9:2018	Stiprības (iekšējās berzes leņķis un saiste) un saspiežamības parametri
Tiešās bīdes testi	LVS EN ISO 17892-10:2019	Stiprības parametri (iekšējās berzes leņķis un saiste)
Ūdenscaurlaidības noteikšana ar patstāvīgu un samazinātu spiedaugstumu	LVS CEN ISO/TS 17892-11:2013 L	Filtrācijas parametri
Plūstamības un plastiskuma robežu noteikšana	LVS EN ISO 17892-12:2018	Konsistences rādītāji (plastiskuma indekss, plūstamības un plastiskuma robeža)
Grunts granulometriskais sastāvs	LVS EN 933-1 LVS CEN ISO/TS 17892-4	Granulometriskais sastāvs saskaņā ar LVS EN 933-1 vai nepieciešamības gadījumā saskaņā ar LVS CEN ISO/TS 17892-4 (sietu un aerometra metode), identificējot smalko (māla) daļiņu saturu (< 0,002mm). Jāaprēķina grunts neviendabības koeficients

Parametrs	Standarts/i	Piezīmes
		Cu = d60/d10 (d60 – daļiņu izmērs milimetros, par kuru mazāk ir 60% no parauga kopējās masas; d10 - daļiņu izmērs milimetros, par kuru mazāk ir 10% no parauga kopējās masas).
Grunts konsistences rādītāji	LVS CEN ISO/TS 17892-12	Konsistences rādītāji (plastiskuma indekss, plūstamības un plastiskuma robeža)
Grunts Proktora tilpumsvars un optimālais mitrums	LVS EN 13286-2	
Grunts filtrācijas koeficients	<i>Ceļu specifikācijas 2019</i> p.12.3	
Grunts organisko vielu saturs	<i>Ceļu specifikācijas 2019</i> p.12.5	

## 2. GRUNŠU FIZIKĀLI MEHĀNISKĀS ĪPAŠĪBAS

Visas grunts satur minerālmateriālu daļiņas, ūdeni un gaisu, var saturēt arī organiskās u.c. vielas. Šo sastāvdaļu kombinācijas nosaka grunts īpašības – tās tekstūru, struktūru, porainību, krāsu un ķīmisko sastāvu.

Grunts sastāv no dažādu izmēru daļiņām. Lielākās ir smilšu daļiņas 0,063 – 2,00 mm (63 – 2000  $\mu\text{m}$ ), mazākas ir putekļu daļiņas 0,002 – 0,063 mm (2 – 63  $\mu\text{m}$ ), savukārt māla daļiņas ir ļoti mazas – mazākas par 0,002 mm (2  $\mu\text{m}$ ).

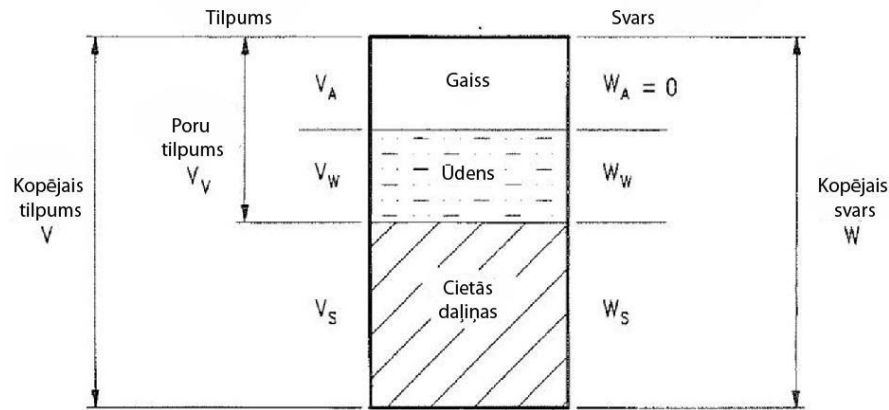


2.1. attēls. Grunts daļiņu relatīvie izmēri [10]

Tādi rādītāji kā grunts bīdes stiprība, saspiežamība, grunts nestspēja, un stingums ir ļoti saistīti lielumi, un atkarīgi no materiāla veida (minerālģiskā sastāva, granulometriskā sastāva u.c.), mitruma apstākļiem (piesātinātas, nepiesātinātas, sausas, mitras), iepriekšējās slogošanas vēstures [11].

### 2.1. Grunts masas un tilpuma attiecība

Normālos apstākļos grunts veidotas trīs fāžu sistēmā – cietās daļiņas, ūdens un gaiss (skat. 2.2. attēls).



2.2. attēls. Grunts masas-tilpuma attiecība

Grunts daļiņu tilpumsvars ir cieto daļiņu svara attiecība pret to aizņemto tilpumu:

$$\gamma_s = \frac{W_S}{V_S} \quad (2.1.1)$$

kur:

$W_S$  – grunts parauga cieto daļiņu svars, N;

$V_S$  – grunts parauga cieto daļiņu tilpums,  $m^3$ ;

$\gamma_s$  – grunts daļiņu tilpumsvars,  $N/m^3$ .

Grunts tilpumsvars ir visas grunts svara (ar ūdeni grunts porās) attiecība pret grunts tilpumu:

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (2.1.2.)$$

kur:

$W$  – grunts parauga kopējais svars, N;

$V$  – grunts parauga kopējais tilpums,  $m^3$ ;

$\gamma$  – grunts tilpumsvars,  $N/m^3$ .

Grunts mitrums ir gruntī ietilpstošā ūdens un cieto daļiņu svara attiecība:

$$w = \frac{W_W}{W_S} \cdot 100\% \quad (2.1.3.)$$

kur:

$W_w$  – grunts parauga porās ietvertā ūdens svars, N;

$W_s$  – grunts parauga cieto daļiņu svars, N;

$w$  – grunts mitrums, %.

Sausas grunts tilpumsvaru, tas ir, cieto daļiņu svaru grunts tilpuma vienībā, izsaka sekojošā veidā:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (2.1.4.)$$

kur:

$V$  – grunts parauga kopējais tilpums,  $m^3$ ;

$W_s$  – grunts parauga cieto daļiņu svars, N;

$\gamma_d$  – sausas grunts tilpumsvars,  $N/m^3$ .

Šo lielumu var izteikt arī no grunts tilpumsvara sekojošā veidā:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} \quad (2.1.5.)$$

kur:

$\gamma$  – grunts tilpumsvars,  $N/m^3$ .

$w$  – grunts mitrums.

Grunts svara mitrums var mainīties atkarībā no ārējiem vides apstākļiem, tādiem kā, grunts žūšana vai samitrināšanās, bet cieto daļiņu svars tilpuma vienībā paliks nemainīgs, ja vien grunts kopējais tilpums nemainīsies. Šī iemesla dēļ cieto daļiņu svars grunts tilpuma vienībā tiek uzskatīts par svarīgu grunts fizisko īpašību raksturlielumu, kas tiek izmantots grunts saspiežamības īpašību raksturošanai [12].

Grunts porainība un porainības koeficients ir svarīgi grunšu fizikālo īpašību atvasinātie rādītāji. Porainība atbilst poru tilpumam (gaisa un ūdens tilpumu summa) grunts tilpuma vienībā:

$$n = \frac{V_A + V_W}{V} = \frac{V_V}{V} \quad (2.1.6.)$$

kur:

$V_A$  – grunts parauga gaisa aizņemtais tilpums, m<sup>3</sup>;

$V_W$  – grunts parauga ūdens aizņemtais tilpums, m<sup>3</sup>;

$V_V$  – poru tilpums, m<sup>3</sup>;

$V$  – grunts parauga kopējais tilpums, m<sup>3</sup>;

$n$  – grunts porainība

Ja cieto daļiņu tilpums grunts tilpuma vienībā tiek pieņemts sekojošā formā:

$$m = \frac{V_S}{V} \quad (2.1.7.)$$

kur:

$V_S$  – grunts parauga cieto daļiņu tilpums, m<sup>3</sup>;

$V$  – grunts parauga kopējais tilpums, m<sup>3</sup>;

tad grunts porainības koeficients var tikt izteikts pēc sekojošas izteiksmes:

$$e = \frac{n}{m} = \frac{V_A + V_W}{V_S} = \frac{V_V}{V_S} \quad (2.1.8.)$$

Porainība attiecas uz materiāla ūdens filtrācijas un absorbcijas īpašībām. Ja materiālā notiek tilpuma izmaiņas, tad tā porainība var mainīties tilpuma izmaiņu porās vai kopējā tilpuma izmaiņu dēļ. Tajā pašā laikā cieto daļiņu tilpums ir nemainīgs lielums, tieši tādēļ porainības koeficients ir izdevīgāks raksturlielums grunts ģeotehniskajos aprēķinos [12].

Grunts saspiežamības un sēšanās īpašību raksturošanai tiek izmantots arī grunts piesātinātības rādītājs. Grunts piesātinātība ir vienkārši ūdens tilpuma attiecība pret poru tilpuma attiecību:



$$S_r = \frac{V_W}{V_V} \cdot 100\% \quad (2.1.9.)$$

kur:

$V_W$  – grunts parauga ūdens aizņemtais tilpums, m<sup>3</sup>;

$V_V$  – poru tilpums, m<sup>3</sup>;

$S_r$  – grunts piesātinājuma pakāpe, %;

Tas nozīmē, ka 100 % piesātinātā gruntī ūdens tilpums atbilst poru tilpumam, tas ir,  $V_W = V_V$ , un gaisa tilpums ir vienāds ar nulli, tas ir,  $V_A = 0$  [12].

## 2.2. Grunts bīdes stiprības īpašības

Vispārīgo sakarību starp maksimālo grunts bīdes pretestību ( $\tau_f$ ) un normālspriegumu ( $\sigma_n$ ) Kulona aprakstīja jau 1772. gadā sekojošā formā:

$$\tau_f = c + \sigma_n \cdot \tan\varphi \quad (2.2.1)$$

kur:

$c$  – grunts saiste, kPa;

$\varphi$  – grunts iekšējās berzes leņķis, °.

Tomēr tas nav korekti pieņemt, ka grunts bīdes pretestību nosaka vai definē atbilstoši kopējiem normālspriegumiem – pareizi pieņemt, ka grunts bīdes pretestība ir atkarīga tieši no efektīvajiem spriegumiem. Kulona sakarība jākorrigē atbilstoši efektīvo spriegumu teorijai. Lai noteiktu efektīvos grunts spriegumus, nepieciešams zināt porūdens spiediena ( $u$ ) vērtības. Piesātinātā gruntī efektīvais grunts normālsprīgums tiek noteikts sekojošā veidā:

$$\sigma'_n = \sigma_n - u \quad (2.2.2)$$

kur:

$u$  – porūdens spiediens, kPa.

Tātad Kulona izteiksme var tikt pārveidota sekojošā formā, to attiecinot uz efektīvajiem spriegumiem:

$$\tau_f = c' + (\sigma_n - u) \cdot \tan\varphi' = c' + \sigma'_n \cdot \tan\varphi' \quad (2.2.3)$$

kur:

$c'$  – grunts efektīvā saiste, kPa;

$\varphi'$  – grunts efektīvais iekšējās berzes leņķis, °.

Speciālā gadījumā, kad piesātinātas grunts tiek bīdītas tā, ka porūdens spiediens nevar nodrenēties (piemēram, piesātināti māli u.c.), Kulona sakarība attiecībā uz kopējiem spriegumiem ir pielietojama. Šajā gadījumā grunts iekšējās berzes leņķis  $\varphi = 0^\circ$  un izteiksme var tikt uzrakstīta sekojošā veidā:

$$\tau_f = c_u \quad (2.2.4)$$

kur:

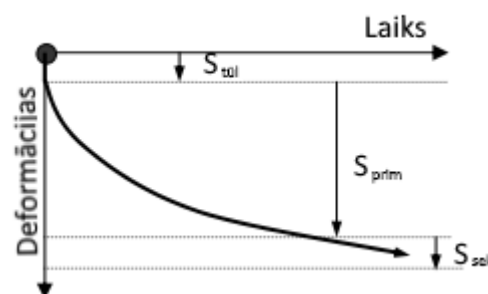
$c_u$  – grunts nedrenētā saiste, kPa;

### 2.3. Grunts deformāciju īpašības

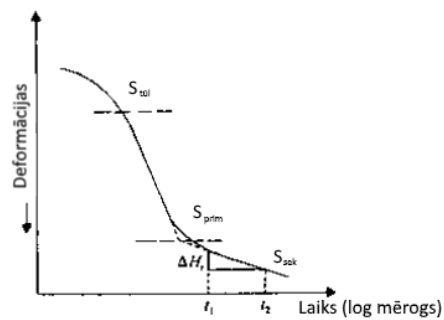
Pamatnei (gruntīm) ar zemas nestspējas starpslāņiem deformācijas notiek nosacītās deformācijas pakāpēs ( 2.3. attēls un 2.4. attēls).

Tūlītēja sēšanās, jeb sākotnējā sablīvēšanās ( $S_t$ );

- Primārā konsolidācija ( $S_{prim} = \Delta H$ );
- Sekundārā konsolidācija ( $S_{sek}$ );



2.3. attēls. Grunšu konsolidācijas līkne



2.4. attēls. Grunšu konsolidācijas līkne

Tūlītējā sēšanās nozīmē pamatnes elastīgu deformāciju bez mitruma satura izmaiņām gruntī. Tā kā tūlītējā pamatnes sēšanās norit jau būvniecības stadijā, tad tās ietekme uz kopējo sēšanos pamatnē ar vājiem starpslāņiem ir nebūtiska [13].

Primārā konsolidācija raksturo grunts masīva deformācijas, kas rodas no tilpuma izmaiņām ūdens piesātinātā gruntī, izspiežot ūdeni no grunts porām. Par primārās konsolidācijas beigu robežu var uzskatīt brīdi, kad poru ūdens virsspiediens ir sasniedzis iespējamo minimālo robežu ( $u_e \rightarrow 0$ ).

Sekundārā konsolidācija, saukta arī par šļūdi, ir plastiska grunts deformācija pie konstanta grunts efektīvā sprieguma, kura norisinās saistīgās grunts daļiņu sablīvēšanās rezultātā.

### 2.3.1. Primārās konsolidācijas deformāciju aprēķins

Kā zināms no grunšu mehānikas pamatprincipiem, grunts tilpuma izmaiņas primārās konsolidācijas stadijā ir vienādas ar poru tilpuma izmaiņām [14], tāpēc masīva sēšanās var tikt aprakstīta šādi:

$$\left| \begin{array}{l} \Delta H * A = -\Delta V \end{array} \right. \quad (2.3.1.)$$

kur:

$\Delta H$  – masīva sēšanās apjoms;

$A$  – masīva laukums;

$\Delta V$  – tilpuma izmaiņas masīvā;

Tātad grunts tilpums ir nemainīgs, jeb  $V_s = const$  (skat 2.5. attēls un 2.6. attēls), tāpēc:

$$\Delta V = \Delta V_v = \Delta e * V_s = (e_0 - e_1)V_s \quad (2.3.2.)$$

Zinot, ka  $V_s = \frac{V}{1+e_0}$ , kā arī  $A = const$ , tos ievietojot vienādojumā (2.3.1)(2.3.3), iegūstam:

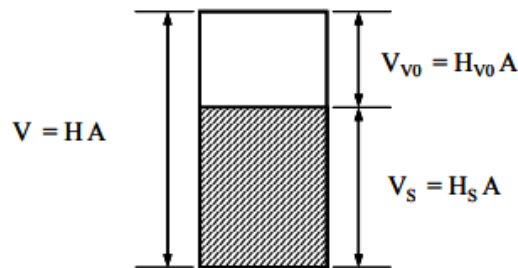
$$\Delta H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} * H \quad (2.3.3.)$$

kur:

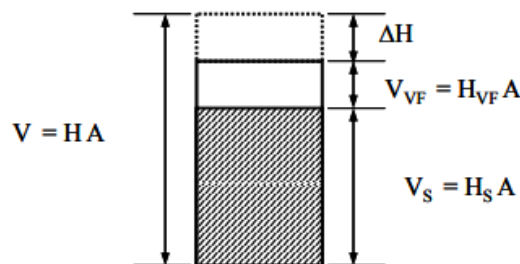
$V_s$  – Grunts parauga cieto daļiņu tilpums;

$e$  – porainības koef. ( $e_0$  – pirms konsolidācijas;  $e_1$  – primārās konsolidācijas beigās);

$H$  – kopējais masīva augstums.

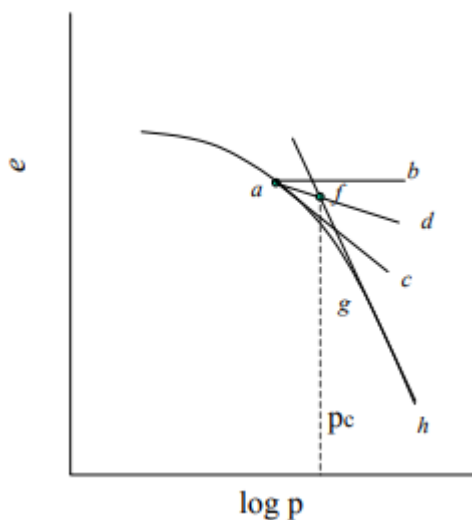


2.5. attēls. Grunšu tilpuma sadalījums nedeformētā formā



2.6. attēls. Grunšu tilpuma sadalījums deformētā formā

Konsolidējamu grunšu saspiežamības noteikšanai lieto saspiežamības indeksu  $C_c$ , kas ievēro deformāciju laikā līknes izliekumu [14]. Saspiežamības indeksu iegūst, ar slodzi  $p$  slogojot materiāla paraugu odometrā [15], pēc tam konstruējot “ $e - \log \log p$ ” grafiku (skatīt 2.7. attēls). No grafika “ $e - \log \log p$ ” var redzēt, ka logaritmiskā mērogā līknes raksturs primārās konsolidācijas laikā (normāli konsolidētai gruntij) ir tuvs lineārai funkcijai, tāpēc to, saskaņā ar literatūras avotos piedāvāto metodiku [16], pārveido par taisni, kuras slīpuma attiecība ir vienāda ar saspiežamības indeksu.



### Pirmskonsolidācijas parametru atrašana:

1. "e – log log p" grafika izveide;
2. Punkta "a" noteikšana, kurā līknei ir lielākais pagrieziens leņķis;
3. Jānovelk horizontāla līnija "ab";
4. Jānovelk tangente līknei punktā "a" (līnija "ac");
5. Jānovelk bisektrise starp līnijām "ab" un "ac" (līnija "ad");
6. Jānovelk līnija "gh", pēc tam to pagarina līdz līnijai "ad", krustojoties punktā "f";
7. Punkta "f" abscisa ir pirmskonsolidācijas slodze, ordināta – pirmskonsolidācijas por. koef.  $e_0$

2.7. attēls. Pirms konsolidācijas spiediena un porainības koeficienta  $e_0$  atrašana [16], [17]

Matemātiski saspiežamības indekss tiek noteikts pēc sakarības:

$$C_c = \frac{\Delta e}{\log \log (p_1) - \log \log (p_0)} = \frac{\Delta e}{\log \log \left( \frac{p_1}{p_0} \right)} \quad (2.3.4.)$$

$$= \frac{\Delta e}{\log \log \left( \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'_1}{\sigma'_0} \right)} \rightarrow$$

$$\rightarrow \Delta e = C_c * (\log \log (\sigma'_0 + \Delta \sigma'_1) - \log \log (\sigma'_0)) \quad (2.3.5.)$$

Ievietojot vienādojumu (2.3.5) izteiksmē (2.3.3), iegūstam:

$$\Delta H = \frac{C_c * H}{1 + e_0} * \log \log \left( \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'_1}{\sigma'_0} \right) \quad (2.3.6.)$$

Kā redzams, šādā veidā koeficients ( $C_c$ ) iegūstams pēc grunts parauga testēšanas laboratorijā, tomēr, ja tas nav veikts, vai nepieciešams pārliecināties par iegūtā rezultāta precizitāti, pētnieki ir publicējuši dažādas empīriskas korelācijas starp saspiežamības koeficientu un citiem grunts parametriem. Lai arī šādas korelācijas ir vairākas [18], zemāk uzskaitītas zināmākās.

Koeficients  $C_c$  netraucētiem māliem [19]:

$$C_c = 0,009(w_L - 10) \quad (2.3.7.)$$

kur:  
 $w_L$  – plūstamības robeža, procentos.

Koeficienta  $C_c$  aprēķins, ņemot vērā grunts svaru un sākotnējo porainības koeficientu [20]:

$$C_c = 0.141 G_s^{1.2} * \left( \frac{1 + e_0}{G_s} \right)^{2.38} \quad (2.3.8.)$$

kur:  
 $G_s$  – Grunts daļiņu specifiskais svars ( $G_s = \gamma_s / \gamma_w$ ).

Pamatnei, kuras deformācijas var uzskatīt par lineārām (spriegumi neizraisa manāmas plastiskās deformācijas pamatnes gruntī un pamatnes grunts spriegumu – deformāciju attiecību var uzskatīt par lineāru [4], iespējams izmantot lineāri deformējamās pustelpas aprēķina metodi.

Lai ar šīs metodes palīdzību aprēķinātu deformācijas, vispirms ir nepieciešams aprēķināt spiedienu pa slāņiem grunts masīvā no grunts pašsvara ( $\sigma_{zg}$ ) un papildus pieliktā spiediena ( $\sigma_p$ ) līdz robežai, kad papildus pieliktās slodzes spriegumus  $i$ -tajā slānī gruntī var uzskatīt par nebūtiskiem ( $\sigma_{zg,i} > 5\sigma_{zp,i}$ , vai vāju starpslāņu gadījumā:  $\sigma_{zg,i} > 10\sigma_{zp,i}$ ).

Grunts pašsvara izraisīto spriegumu aprēķinam izmanto izteiksmi ([4]):

$$\sigma_{zg} = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i \quad (2.3.9.)$$

kur:  
 $\gamma_i$  – grunts  $i$ -tā slāņa tilpumsvars;  
 $h_i$  – grunts  $i$ -tā slāņa biezums;

Aprēķinu veic pakāpeniski pa slāņiem no augšas uz leju no dabīgā reljefa līmeņa. Spriegumus skaitļo grunts slāņu robežlīmeņiem un gruntsūdens līmenim. Zemāk par gruntsūdens līmeni grunts tilpumsvara vērtības atrod, ievērojot ūdens atslogojošo iedarbību no izteiksmes:

$$\gamma = \gamma_s - \gamma_w \quad (2.3.10.)$$

kur:  
 $\gamma_s$  – piesātinātas grunts tilpumsvars;

$\gamma_w$  – ūdens tilpumsvars;

$e$  – grunts porainības koeficients.

Vertikālo spriegumu ( $\sigma_{zp}$ ) dziļumā  $z$  (skaitot no pamata pēdas līmeņa) nosaka, izmantojot formulu:

$$\sigma_{zp} = \alpha \cdot \sigma_0 \quad (2.3.11.)$$

kur:

$\alpha$  – spriegumu sadalījuma koeficients;

$\sigma_0$  – papildus pieliktā slodze uz pamati, kN/m<sup>2</sup>.

Spriegumu sadalījuma koeficients pa pamatnes dziļumu ir atkarīgs no pieslogojošā uzbēruma malu attiecības ( $\eta$ ) un relatīvā dziļuma ( $\xi$ ), kutu iegūst, interpolējot no vērtībām, norādītām 2.1. tabula, vai aprēķinot pēc vienādojuma (2.3.14) :

$$\xi = 2z_i/b \quad (2.3.12.)$$

$$\eta = l/b \quad (2.3.13.)$$

kur:

$b$  – pieslodzes laukuma platums, m;

$z_i$  –  $i$ -tā slāņa dziļums, m.

2.1. tabula. Koeficienta  $\alpha$  vērtības pie dažādām relatīvā dziļuma un malu attiecības vērtībām [21]

		$\eta=l/b$					
		1	1.4	1.8	2.4	3.2	5
	0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	0.4	0.960	0.972	0.975	0.976	0.977	0.977
	0.8	0.800	0.848	0.866	0.876	0.879	0.881
	1.2	0.606	0.682	0.717	0.739	0.749	0.754
	1.6	0.449	0.532	0.578	0.612	0.629	0.639
	2.0	0.336	0.414	0.463	0.505	0.530	0.545
	2.4	0.257	0.325	0.374	0.419	0.449	0.470
	2.8	0.201	0.260	0.304	0.349	0.383	0.410
	3.2	0.160	0.210	0.251	0.294	0.329	0.360
	3.6	0.131	0.173	0.209	0.250	0.285	0.319
	4.0	0.108	0.145	0.176	0.214	0.248	0.285
	4.4	0.091	0.123	0.150	0.185	0.218	0.255

	$\eta=l/b$					
	1	1.4	1.8	2.4	3.2	5
4.8	0.077	0.105	0.130	0.161	0.192	0.230
5.2	0.067	0.091	0.110	0.141	0.170	0.208
5.6	0.058	0.079	0.099	0.124	0.152	0.189
6.0	0.051	0.070	0.087	0.110	0.136	0.173
6.4	0.045	0.062	0.077	0.099	0.122	0.158
6.8	0.040	0.055	0.064	0.088	0.110	0.145
7.2	0.036	0.049	0.062	0.080	0.100	0.133
7.6	0.032	0.044	0.056	0.072	0.091	0.123
8.0	0.029	0.040	0.051	0.066	0.084	0.113
8.4	0.026	0.037	0.046	0.060	0.077	0.105
8.8	0.024	0.033	0.042	0.055	0.071	0.098
9.2	0.022	0.031	0.039	0.051	0.065	0.091
9.6	0.020	0.028	0.036	0.047	0.060	0.085
10.0	0.019	0.026	0.033	0.043	0.056	0.079
10.4	0.017	0.024	0.031	0.040	0.052	0.074
10.8	0.016	0.022	0.029	0.037	0.049	0.069
11.2	0.015	0.021	0.027	0.035	0.045	0.065
11.6	0.014	0.020	0.025	0.033	0.042	0.061
12.0	0.013	0.018	0.023	0.031	0.040	0.058
12.4	0.012	0.017	0.021	0.029	0.037	0.054
12.8	0.011	0.016	0.019	0.027	0.034	0.050
13.2	0.010	0.014	0.017	0.025	0.031	0.047
13.6	0.009	0.013	0.015	0.023	0.028	0.043
14.0	0.008	0.012	0.013	0.021	0.025	0.039
14.4	0.007	0.011	0.011	0.019	0.022	0.036
14.8	0.006	0.009	0.009	0.017	0.019	0.032
15.2	0.005	0.008	0.007	0.015	0.016	0.028
15.6	0.004	0.007	0.005	0.013	0.013	0.024
16.0	0.003	0.005	0.003	0.011	0.010	0.021
16.4	0.002	0.004	0.001	0.009	0.007	0.017

Spriegumu sadalījuma vērtības pa dziļumu aprēķina formula [22]:

$$\alpha = \frac{2}{\pi} * \left[ \frac{\eta * \xi}{\sqrt{1 + \eta^2 + \xi^2}} * \frac{1 + \eta^2 + 2\xi^2}{(1 + \xi^2)(\eta^2 + \xi^2)} + \left( \frac{\eta}{\sqrt{\eta^2 + \xi^2} * \sqrt{1 + \xi^2}} \right) \right] \quad (2.3.14.)$$

Kopējo pamatnes sēšanos nosaka, summējot sēšanās vērtības i-tajos slāņos, sadalītos pa pamatnes dziļumu, pēc formulas:

$$S = \frac{1}{k} * \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} * h_i}{E_m} = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} * h_i}{E_s} \quad (2.3.15.)$$

kur:

$E_m$  – deformāciju modulis;



$E_m$  – stingruma modulis;

$h_i$  – pieņemtais i-tā slāņa biezums;

$\sigma_{zp,i}$  – Pieslodzes radītais papildus vertikālais spriegums slānī i, dziļumā z;

$k$  – vidējais kārtas saspieduma koeficients, atkarīgs no sāniskās izplešanās koeficienta.

Tā kā ģeotehniskajās izpētēs bieži tiek norādīts vienass deformāciju (odometra) modulis, saukts arī par stingruma moduli [4] ( $E_s$ ), jāņem vērā, ka modulis ( $E_s$ ) tiek noteikts vienass kompresijas (odometra) testā, novēršot grunts sānisko izplešanos, tāpēc, lai no ( $E_s$ ) iegūtu ( $E_m$ ), jāizmanto sakarība:

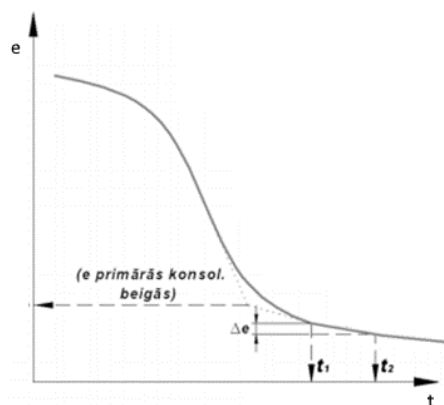
$$E_m = \frac{E_s}{k} \quad (2.3.16.)$$

$$k = \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{1 - \nu} \quad (2.3.17.)$$

### 2.3.2. Sekundārās konsolidācijas deformāciju aprēķins

Sekundārās konsolidācijas posmā tiek pieņemts, ka deformācijas pret laiku logaritmiskā mērogā ir konstantas, tāpēc ir iespējams izteikt sekundārās saspiežamības indeksu [23]:

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\log t_2 - \log t_1} = \frac{\Delta e}{\log \log \left( \frac{t_2}{t_1} \right)} \quad (2.3.18.)$$



2.8. attēls. Porainības koeficienta izmaiņas laikā

Sekundārās konsolidācijas radītā sēšanās iegūstama, saskaņā ar vienādojumu:

$$S_{sek} = C'_\alpha * H * \log \log \left( \frac{t_2}{t_1} \right) \quad (2.3.19.)$$

kur:

$H$  – vājā slāņa biezums.

$$C'_\alpha = \frac{C_\alpha}{1 + e_p} \quad (2.3.20.)$$

kur:

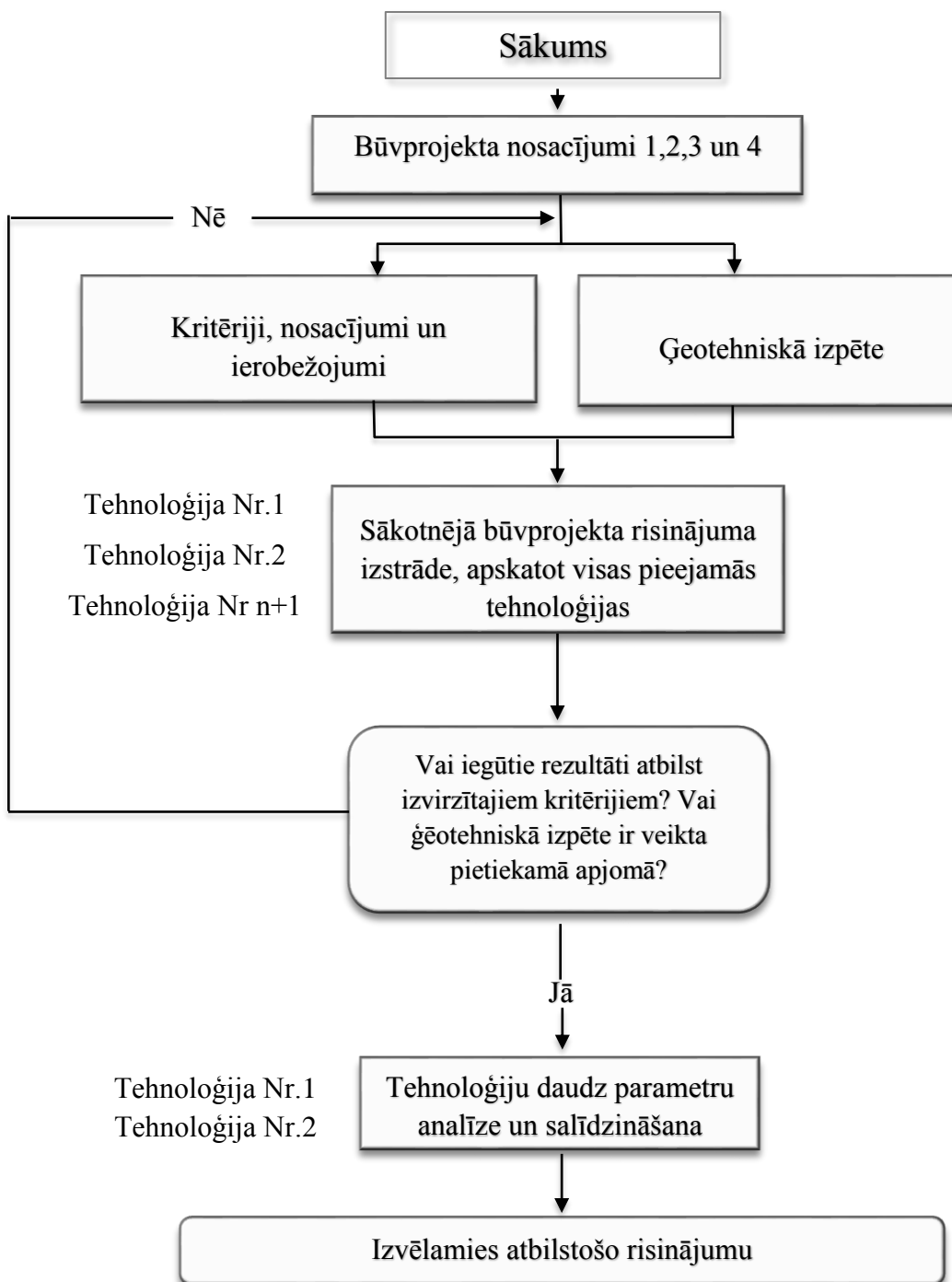
$e_p$  – porainības koeficients primārās konsolidācijas beigās.

### 3. CEĻA KONSTRUKCIJAS ZEMES KLĀTNES PASTIPRINĀŠANAS METODES

#### 3.1. Vispārēji principi

Ceļa segas projektam ir jānodrošina, lai uzbūvējot konstruktīvās kārtas atbilstoši *"Ceļu specifikācijās"* noteiktajām minimālajām prasībām, lietotajiem materiāliem un izpildītajiem darbiem tiktu nodrošināta paredzētā nestspēja, t.i. katras kārtas funkcionalitāte bez paliekošām deformācijām un priekšlaicīga noguruma izsauktiem defektiem visā paredzētajā kalpošanas laikā.

Katrs būvprojekts ir atšķirīgs gan ceļa segas un zemes klātnes risinājumu un tehnisko specifikāciju, gan atšķirīgu ģeotehnisko, topogrāfisko un citu apstākļu dēļ. Šajā rokasgrāmatā apskatītās ceļa konstrukcijas zemes klātnes pastiprināšanas metožu pielietojums ir plašs un piemērojams konkrētajam projektam. Būvprojekta autors ir atbildīgs par konkrētās metodes vai metožu izvēli. Tālāk sniegta vispārējā informācija, kā soli pa solim nonākt no problēmas identifikācijas līdz būvprojekta risinājumam un vairāku alternatīvo risinājumu salīdzinājumam. Blokhēmā (skat. 3.1. attēls) attēlota secība, kā notiek vienas vai otras grunšu pastiprināšanas metodes izvēle.

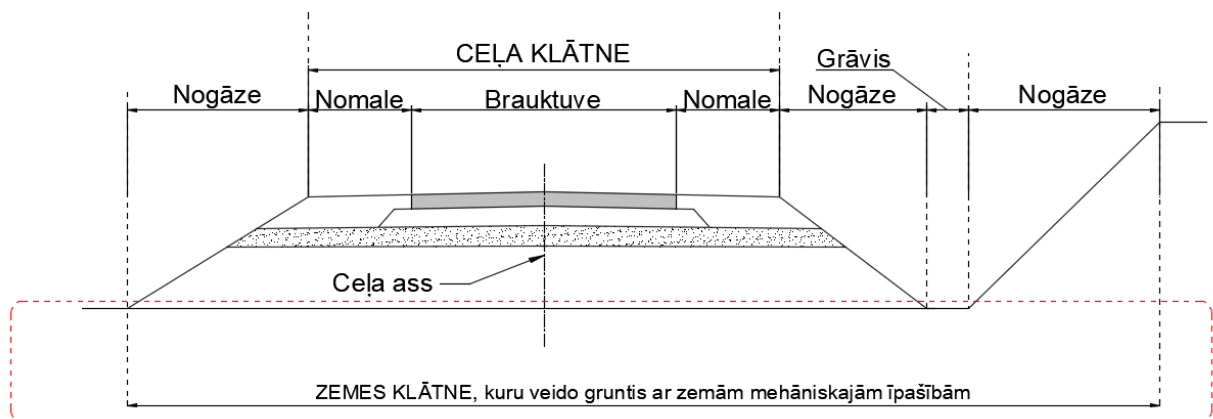


3.1. attēls. Ceļa konstrukcijas pastiprināšanas blokskhēma

Tiek identificēti būvprojekta nosacījumi, kur jāapskata iespējamie grunšu pastiprināšanas vai uzlabošanas risinājumi. Šie nosacījumi var būt sekojoši:

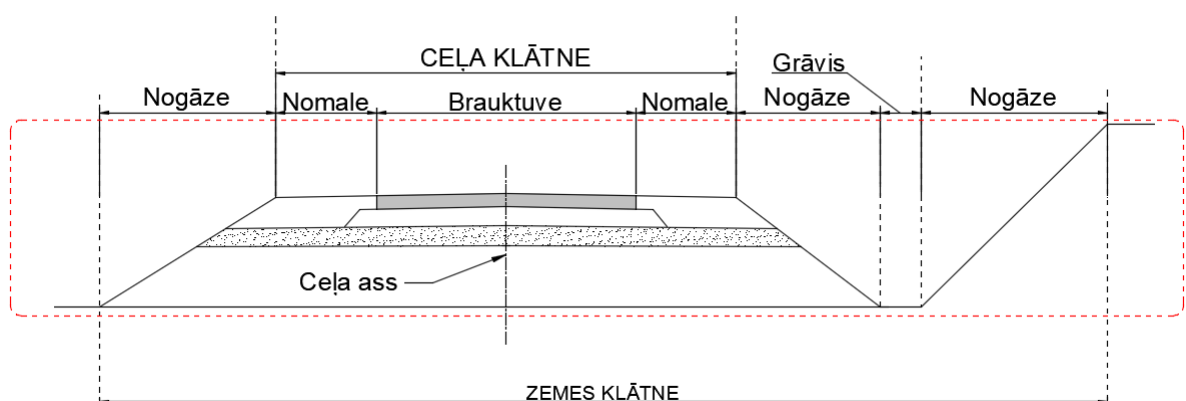
- A. Ceļa konstrukcijas zemes klātni veido gruntis ar zemām mehāniskajām īpašībām (skat. 3.2. attēls), kuras nevar nodrošināt pietiekamu projektētās ceļa segas nestspēju un lietojamību. Šādos ģeotehniskajos

apstākļos, kur zemes klātni veido vājas un saspiežamas grūtis, būvējot jaunu vai rekonstruējot esošo ceļa segu un ekspluatējot pie noteiktas transporta slodzes, tiek prognozētas sēšanās deformācijas laikā, kā arī iespējama uzbēruma nogāžu stabilitātes problēmas gan būvniecības, gan ekspluatācijas laikā.



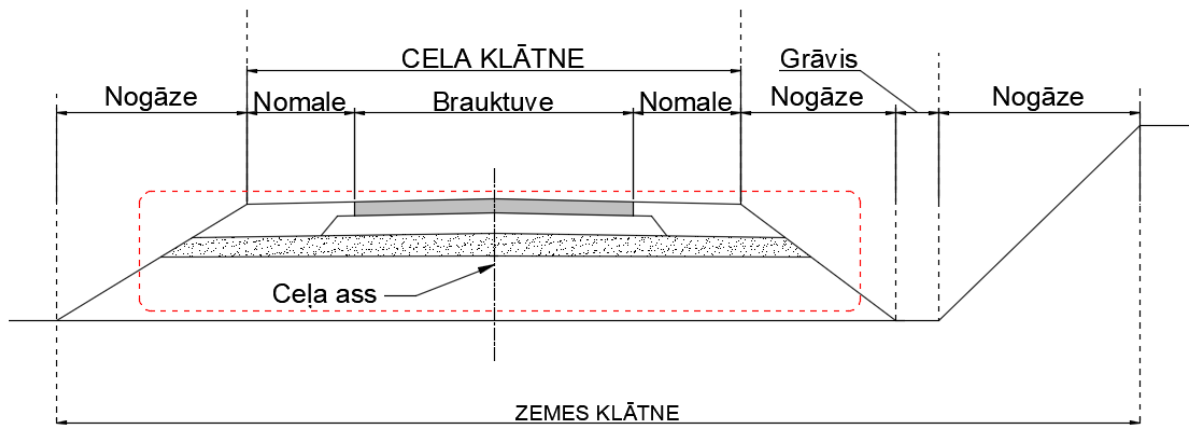
3.2. attēls. Ceļa konstrukcija, kur zemes klātnē ir gruntis ar zemām mehāniskajām īpašībām

B. Būvprojekta risinājums, kur nepieciešama atbalstkonstrukcija vai jāapskata stāvas ceļa uzbēruma vai ceļa uzbērumam pieguļošās nogāzes (skat. 3.3. attēls).



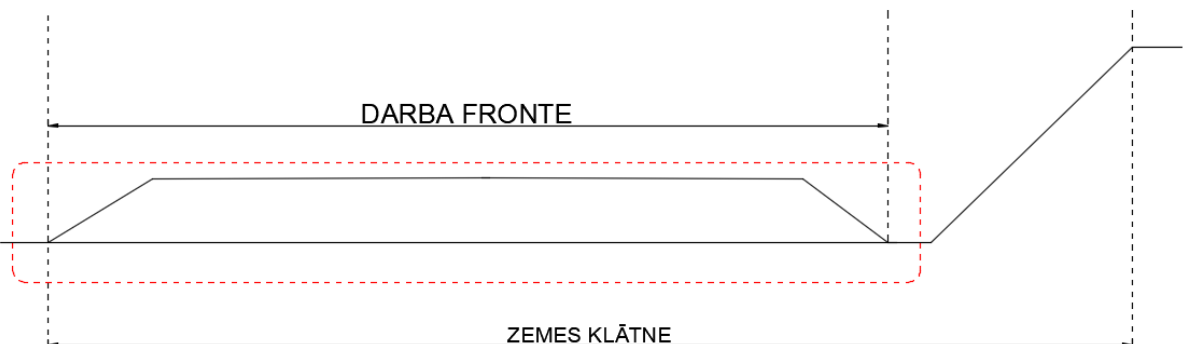
3.3. attēls. Ceļa konstrukcija, kur zemes klātnē ir gruntis ir atbilstošas kvalitātes, bet nepieciešama atbalstkonstrukcija vai jāpastiprina stāvas ceļa uzbēruma vai ceļa uzbērumam pieguļošās nogāzes

C. Ceļa segas pamatkārtas slāņi vai zemes klātnes augšējie slāņi, kurus nepieciešams stabilizēt vai uzlabot nelielā biezumā (skat. 3.4. attēls).



3.4. attēls. Ceļa konstrukcija, kur nepieciešams stabilizēt vai uzlabot ceļa segas pamatkārtas, vai zemes klātnes augšējo slāni nelielā biezumā

- D. Vājas nestspējas darba platforma, kura traucē vai liedz veikt būvdarbus atbilstoši būvprojekta risinājumam (skat. 3.5. attēls). Darba platforma tiek uzskatīta kā pagaidu konstrukcija, bet var būt ļoti būtiska sastāvdaļa – īpaši, ja nepieciešams veikt grunšu pastiprināšanu ļoti sarežģītos ģeotehniskajos apstākļos, kur zemes klātnē sastopamas vājas nestspējas gruntis.



3.5. attēls. Ceļa konstrukcija, kur nepieciešams pastiprināt darba fronti būvniecības laikā

[1] Tiek identificēti ceļa segas specifificētie nestspējas un lietojamības kritēriji.

Svarīgākie kritēriji ir sekojoši:

- A. Būvniecības laika un ekspluatācijas laika kopējā vai nevienmērīgā deformācija (horizontāli un vertikāli).
- B. Minimālais pieļaujamais nogāzes stabilitātes drošības koeficients.
- C. Ceļa segas stinguma parametri.
- D. Drenāžas nosacījumi.

E. Būvniecībai pieejamais laiks.

[2] Tiek identificēti un noteikti jebkādi vietas un vides nosacījumi un ierobežojumi:

- A. Konkrēti nosacījumi būvniecības vietai – pieejamība un darba platformas ģeometrija, kas ļauj noteiktai būvniecības tehnikai brīvi piekļūt un droši veikt būvdarbus.
- B. Vides ierobežojumi var būt saistīti ar esošās grunts pārvietošanu vai deponēšanu, ja grunts ir piesārņota. Iespējami ierobežojumi būvniecības laikā radītajām vibrācijām, skaņai, putekļiem u.c.

[3] Ģeotehniskās izpētes veikšana. Ģeotehniskās izpētes apjoms un detalizācijas pakāpe var ļoti atšķirties dažāda veida transportbūvju projektiem. Neatkarīgi no projekta, gruntīm, kuras ietekmēs ceļa segas specificētos nestspējas un lietojamības kritērijus (skat. [2] punktu), ir jābūt identificētām un klasificētām, kā arī ir nepieciešams noteikt šo grunšu fizikāli-mehāniskās īpašības, lai izstrādātu sākotnējos būvprojekta risinājumus. Kā minimums nepieciešams noteikt sekojošo:

- A. Katra atšķirīgā grunts slāņa identifikācija un klasifikācija.
- B. Katra atšķirīgā grunts slāņa izplatības zonas.
- C. Gruntsūdens līmenis.

Savukārt, būvprojektos, kur ceļa konstrukcijas zemes klātni veido gruntis ar zemām mehāniskajām īpašībām, ir nepieciešama detalizētāka ģeotehniskā izpēte, lai sākotnēji noteiktu šo grunšu bīdes pretestību un saspiežamības rādītājus.

[4] Tiek veikta sākotnējā iespējamo grunšu pastiprināšanas metožu izvēle, izvērtējot visus iepriekšminētos kritērijus, nosacījumus un ierobežojumus:

- A. Ceļa segas specificētie nestspējas un lietojamības kritēriji katrā atšķirīgā grunts slāņa izplatības zonā.
- B. Jebkādi vietas un vides nosacījumi un ierobežojumi.
- C. Sākotnējās ģeotehniskās izpētes dati.
- D. Iespējamie projekta riski – kļūdainas darba grafika vai budžeta prognozes, atšķirīgi ģeotehniskie apstākļi (nepietiekama ģeotehniskā izpēte), kas var radīt uzbēruma nogāžu stabilitātes problēmas, sēšanās, piesārņojuma izplatīšanās

[5] Tiek izstrādāts sākotnējais būvprojekta risinājums, kur veikti nepieciešamie aprēķini un sagatavotas tehniskās specifikācijas katrai no apskatāmajām metodēm, kā arī veikta sākotnējā būvniecības izmaksu kalkulācija.

Piezīme: Šajā stadijā, lai kvalitatīvi salīdzinātu un izvēlētos starp dažādām grunšu pastiprināšanas metodēm, bieži ir nepieciešams veikt papildus ģeotehnisko izpēti, lai precīzāk novērtētu grunšu fizikāli-mehāniskās īpašības gadījumā, ja ceļa konstrukcijas zemes klātni veido gruntis ar zemām mehāniskajām īpašībām.

[6] Noslēdzošā izvēle starp dažādām grunšu pastiprināšanas metodēm tiek veikta izmantojot daudz parametru analīzi un salīdzinājumu. Katrs no šiem faktoriem tiek vērtēts relatīvi, tiem piešķirot nozīmības rādītāju no nulles (0) līdz trīs (3), kas kalpo kā faktoriālais svarīguma koeficients – jo lielāka faktora nozīme, jo lielās nozīmīguma rādītājs.

Šie rādītāji ir apkopoti tabulā – skat. 3.1. tabula. Atkarībā no projekta un līguma veida, šo izvēli izdara pasūtītājs – risinājuma ieviesējs.

3.1. tabula. Dažādu parametru nozīmīguma analīze

<b>Faktors, kurš ietekmē tehnoloģijas izvēli</b>	<b>Faktoriālais svarīguma koeficients</b>
Iespēja realizēt un izbūvēt konkrēto risinājumu, tai skaitā, iespējamie traucēkļi – blakusesošās būves, transporta kustība u.c.	0-3
Risinājuma izbūves cena	0-3
Risinājuma dzīves cikla izmaksas	0-3
Iespējamo būvdarbu veicēju pieejamība, izbūvējot konkrēto risinājumu	0-3
Materiālu pieejamība	0-3
Pieejamie kvalitātes kontroles risinājumu, izbūvējot konkrēto risinājumu	0-3
Izbūves laiks	0-3
Risinājuma ietekmes uz vidi līmenis	0-3
Papildus projekta nosacījumi vai ierobežojumi	0-3
Projekta riski	0-3

Papildus tiek izmantots relatīvs novērtējums no viens (1) līdz pieci (5), kur augstāku novērtējumu iegūst katrs risinājums, kurš konkrētajam faktoram (skat. 3-1 tabula) nodrošina



vislabāko rādītāju un otrādi. Novērtējums 1 – ļoti zems, 2 – zems, 3 – vidējs, 4 – augsts, 5 – ļoti augsts.

Abi rādītāji – faktoriālais svarīguma koeficients un novērtējuma skaitlis tiek sareizināti, lai iegūtu gala rezultātu. Risinājums ar kopējo lielāko summu ir uzskatāms par visoptimālāko. Tabulā – skat. 3.2. tabula, parādīts piemērs, kur salīdzināti trīs dažādi risinājumi.

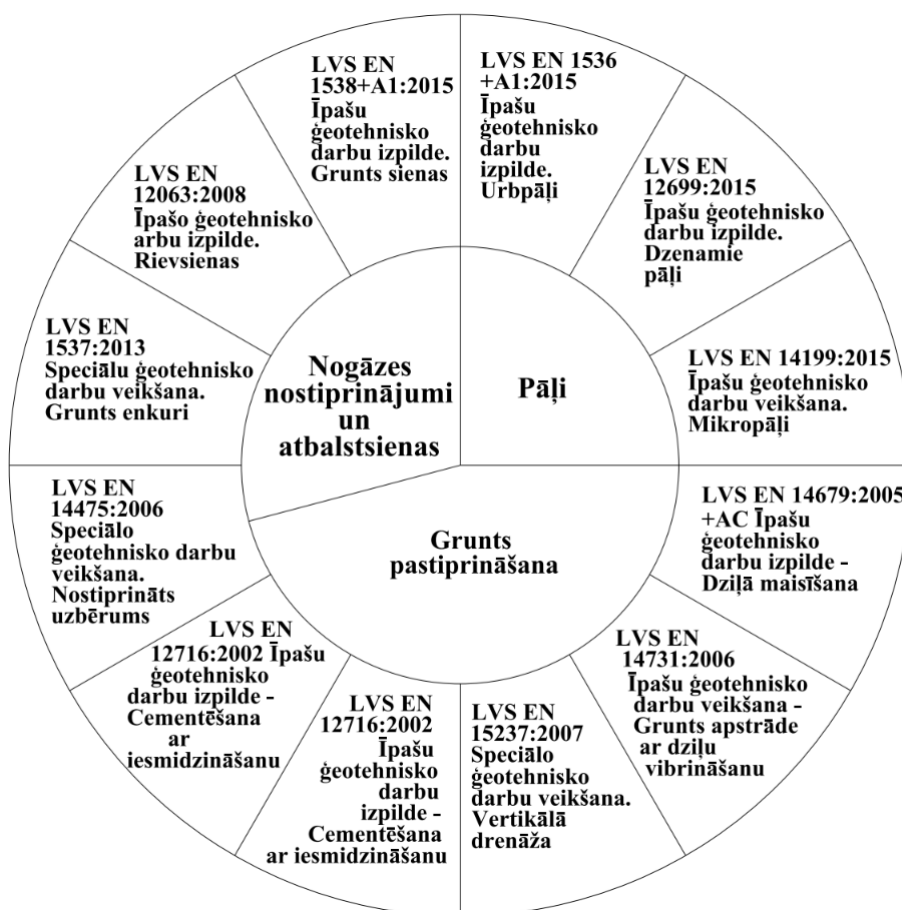
3.2. tabula. Risinājuma izvēles piemērs

Faktors, kurš ietekmē tehnoloģijas izvēli	Faktoriālais svarīguma koeficients	A risinājums	Kopā	B risinājums	Kopā	C risinājums	Kopā
Iespēja realizēt un izbūvēt konkrēto risinājumu, tai skaitā, iespējamie traucēkļi – blakusesošās būves, transporta kustība u.c.	3	3	9	4	12	2	6
Risinājuma izbūves cena	3	4	12	3	9	2	6
Risinājuma dzīves cikla izmaksas	2	4	8	2	4	1	2
Iespējamo būvdarbu veicēju pieejamība, izbūvējot konkrēto risinājumu	1	2	2	3	3	4	4
Materiālu pieejamība	2	3	6	2	4	4	8
Pieejamie kvalitātes kontroles risinājumi, izbūvējot konkrēto risinājumu	0	3	0	3	0	3	0
Izbūves laiks	3	5	15	1	3	1	3
Risinājuma ietekmes uz vidi līmenis	1	4	12	1	1	1	1
Papildus projekta nosacījumi vai ierobežojumi – būvniecības sezona	3	4	12	2	6	2	6
Projekta riski – kavēšanās darbu grafikā	3	3	9	3	9	3	9
Projekta riski – kvalitātes pārbaudes	2	2	4	4	8	4	8
<b>KOPĀ</b>		<b>A</b>	<b>89</b>	<b>B</b>	<b>59</b>	<b>C</b>	<b>53</b>

Šajā piemērā redzams, ka risinājums A ir tehniski un ekonomiski pamatotāks risinājums nekā B un C, tādēļ tas tiek pieņemts, kā optimālais un tiek izstrādāts būvprojekta un tehnisko specifikāciju galējais variants, kā arī precizēta būvniecības cenu aplēse.

### 3.2. Grunšu uzlabošanas un pastiprināšanas metodes

Lai gan nacionālais standarts LVS 190-5:2011 un "Ceļu specifikācijas 2019" apraksta vairākus ceļa konstrukcijas zemes klātnes pastiprināšanas (uzlabošanas) risinājumu variantus, tie aptver tikai dažas no vairākiem desmitiem grunšu pastiprināšanas, uzlabošanas un stabilizācijas metožu, kuras tiek plaši izmantotas. LVS EN 1997-1:2005A/NA:2013 [3] un LVS EN 1997-2:2007A/NA:2013 [2] normatīvos ir atsauces uz virkni grunšu pastiprināšanas metožu – speciālu ģeotehnisko darbu veikšanas (skat. 3.6. attēls).



3.6. attēls. Grunšu pastiprināšanas metodes – speciālie ģeotehniskie darbi [24]

Grunts pastiprināšanas tehnoloģijas un speciālās ģeotehniskās būvniecības metodes tiek izmantotas, lai sasniegtu ceļa konstrukcijas zemes klātnei definētās prasības [25]. Šīs prasības tiek sasniegtas, modificējot un stabilizējot zemes klātnē esošās gruntis ar vai bez papildu materiāla pievienošanas. Ceļa konstrukcijas zemes klātnes pastiprināšanas metodes šajā Darbā

tiek sadalītas sekojošās grupās atbilstoši grunts uzlabošanas un pastiprināšanas metožu klasifikācijai pēc Starptautiskās Grunts Mehānikas un Ģeotehniskās projektēšanas savienības (ISSMGE) [26].

3.3. tabula. Grunšu pastiprināšanas tehnoloģiju kategorijas

Kategorija	Metode	Princips
A. Nesaistīgu grunšu (smilts, grants u.c.) uzlabošana bez papildu materiāla pievienošanas	A.1. Dinamiskā blīvēšana	Grunts blīvēšana, metot no noteikta augstuma liela smaguma un speciālas izmēra stampu
	A.2. Vibroblīvēšana	Grunts blīvēšana, izmantojot speciālu vibrācijas zondi, līdz nepieciešamajam dziļumam
	A.3. Virsmas blīvēšana (tai skaitā triecienvēda blīvēšana)	Grunts virsmas blīvēšana līdz salīdzinoši nelielam dziļumam, izmantojot dažāda veida blīvēšanas metodes
B. Saistītu grunšu (putekļainas grunts, māls, organiskas izcelsmes grunts u.c.) uzlabošana bez papildu materiāla pievienošanas	B.1. Grunts apmaiņa (tai skaitā slodzes samazināšana, uzbērumos izmantojot vieglu materiālu)	Vājā grunts tiek izrakta vai izspiesta, to aizstājot ar atbilstošas kvalitātes grunti. Iespējams atvieglot uzbērumu, izmantojot vieglus materiālus
	B.2. Grunts pieslogošana ar papildus uzbērumu (tai skaitā izmantojot vertikālās drenas)	Grunts tiek pieslogota ar papildus uzbērumu un vertikālā drenāža ievērojami paātrina konsolidācijas laiku. Papildus pieslodze pēc konsolidācijas beigām tiek noņemta.
	B.3. Grunts pieslogošana ar papildus uzbērumu (tai skaitā izmantojot vakuuma konsolidāciju un vertikālās drenas)	Grunts tiek pieslogota ar vakuumu (līdz pat 90kPa) un vertikālā drenāža ievērojami paātrina konsolidācijas laiku.
C. Grunts pastiprināšana ar dažāda stinguma lokāliem pastiprinājumiem	C.1. Vibroapmaiņas vai grunts kolonnas	Gruntī tiek iespiesta un ievibrēta apvalkcaurule, kurā tiek pildīts un blīvēts minerālmateriāls (grants, smilts-grants)
	C.2. Dinamiskās apmaiņas kolonnas	Minerālmateriāls gruntī tiek blīvēts ar triecienerģiju (no liela augstuma metot liela smaguma speciālas ģeometrijas stampu), tā izveidojot liela diametra minerālmateriāla (smilts, grants, šķembas, drupināts betons u.c.) kolonnas
	C.3. Smilts kolonnas (tai skaitā kolonnas, kuras izbūvētas ģeosintētiskā materiāla apvalkā)	Gruntī tiek iespiesta un ievibrēta apvalkcaurule, kurā tiek pildīta un blīvēta smilts (vājās gruntīs ( $c_u < 15 \text{ kPa}$ ) iespējams izmantot ģeosintētiskā materiāla apvalku)
	C.4. Stingie pastiprinājumi	Vājas grunts pastiprināšana tajā izbūvējot rūpnieciski sagatavotus vai būvlaukumā izgatavotus pāļus, stingus vai vidēji-stingus pastiprinājumus

Kategorija	Metode	Princips
	C.5. Uzbērumi uz stingiem pastiprinājumiem (tai skaitā tādi, kuri papildus nostiprināti ar ģeosintētiskajiem vai cita veida stiegrojumu)	Vājas grunts pastiprināšana tajā izbūvējot rūpnieciski sagatavotus vai būvlaukumā izgatavotus pāļus, stingus vai vidējstingus pastiprinājumus zem uzbērumiem (ģeosintētisko materiālu vai cita veida stiegrojums uzbēruma apakšdaļā, lai samazinātu horizontālo spiedienu malējiem pastiprinājumiem)
D. Grunts pastiprināšana ar dažāda veida injekcijām un grunts cementācija	D.1. Grunts solidifikācija ("masas" stabilizācija)	Grunts stabilizācija tajā ieviecot saistvielu (cements, neveldzētie kaļķi, vieglie pelni, sārņu izdedži u.c., kā arī to kombinācijas) visā tilpumā
	D.2. Grunts dziļā stabilizācija	Grunts stabilizācija tajā ieviecot saistvielu (cements, neveldzētie kaļķi, vieglie pelni, sārņu izdedži u.c., kā arī to kombinācijas) noteikta diametra pastiprinājumus, saistvielu ieviecot javas (kopā ar ūdeni) vai sausā veidā (bez ūdens)
	D.3. Strūklas cementācija	Gruntī ar augsta spiediena strūklu tiek iespiesta saistviela, veidojot noteikta diametra pastiprinājums
	D.4. Grunts cementācija ar tās horizontālo izspiešanu un blīvēšanu	Gruntī tiek iespiesta plastiskas konsistences java, tā izveidojot stingu pastiprinājumu un vienlaicīgi sablīvējot grunti ap pastiprinājumu
	D.5. Grunts stabilizācija plānos slāņos	Grunts stabilizācija tajā ieviecot saistvielu (cements, kaļķi) ar recikleri
E. Grunts pastiprināšana ar ģeosintētiskajiem materiāliem vai cita veida stiegrojumu	E.1. Ģeosintētiskie materiāli	Grunts pastiprināšana tajā izbūvējot ģeosintētiskos materiālus vai cita veida stiegrojumu, lai uzlabotu grunts bīdes pretestību un nogāzes stabilitāti ceļu uzbērumiem, tiltu un viaduktu estakādēm, nogāzēm u.c.
	E.2. Grunts enkuri	Grunts pastiprināšana ar enkuriem, tos iebūvējot dabīgās nogāzēs gar ceļiem vai ceļa uzbērumos un tiltu/ viaduktu estakādes

Grunts uzlabošanas un pastiprināšanas metodes ceļu būvniecībā tiek plaši izmantotas un ir neskaitāmi veiksmīgi realizēti projekti. Visplašāk grunšu uzlabošanas un pastiprināšanas metodes ceļa konstrukcijās tiek lietotas sekojošos veidos:

- pamatnes pastiprināšanai zem tiltu, viaduktu un cita veida pamatiem;
- pamatnes (zemes klātnes) uzlabošanai un pastiprināšanai zem ceļu uzbērumiem, tā ierobežojot kopējās deformācijas un nodrošinot uzbēruma nogāzes stabilitāti;

- pamatnes (zemes klātnes) uzlabošanai esošu ceļu pārbūves laikā to paplašinot, lai novērstu nevienmērīgās un kopējās deformācijas, kā arī nodrošinātu nogāzes stabilitāti.

Tehniski – ekonomiskais grunšu pastiprināšanas un uzlabošanas metožu pamatojums katram konkrētajam projektam ir atkarīgs no metodes/žu izvēles un tās/to funkcijām. Lai novērtētu konkrētas grunšu uzlabošanas un pastiprināšanas metodes lietošanas pamatojumu, nepieciešams ņemt vērā ceļa konstrukcijas tehniskos parametrus, projekta būvniecības etapus un tehnoloģiskās prasības, projektā definētās prasības un kvalitātes kritērijus, ierobežojumus un cita rakstura (nevis tehnisku apsvērumu) risku novērtēšanas rezultātus. Salīdzinot un novērtējot optimālākās grunšu pastiprināšanas un uzlabošanas metodes konkrētam projektam ir jāizvērtē ģeotehniskās izpētes atskaites un ceļa konstrukcijas parametru datus. Lai novērtētu grunšu pastiprināšanas un uzlabošanas nepieciešamību, nepieciešams apskatīt zemāk uzskaitītos gadījumus un robežnosacījumus:

- zemes klātnē esošās grūtis nevar nodrošināt pietiekošu nestspēju, vai arī paredzamās nevienmērīgās un kopējās deformācijas pārsniegs drošas ceļa ekspluatācijas prasības;
- projektā paredzētas stāvas nogāzes, atbalstsienas u.c.;
- nepieciešams izbūvēt darba platformu vai pieved/apvedceļu;
- identificēt vai noteikt ceļa konstrukcijas ekspluatācijas prasības;
- identificēt laika, telpiskos un ietekmes uz vidi un vides aizsardzības ierobežojumus;
- noskaidrot projektā noteiktos un būvlaukumā sagaidāmos ierobežojumus;
- identificēt dažādu grunšu pastiprināšanas un uzlabošanas metožu lietošanas ierobežojumus;
- savā starpā salīdzināt dažādas grunšu pastiprināšanas un uzlabošanas metodes.

Ceļa konstrukcijas zemes klātnes pastiprināšanai ir sekojošas galvenās funkcijas [25]:

- palielināt ceļa konstrukcijas nestspēju vai bīdes pretestību;

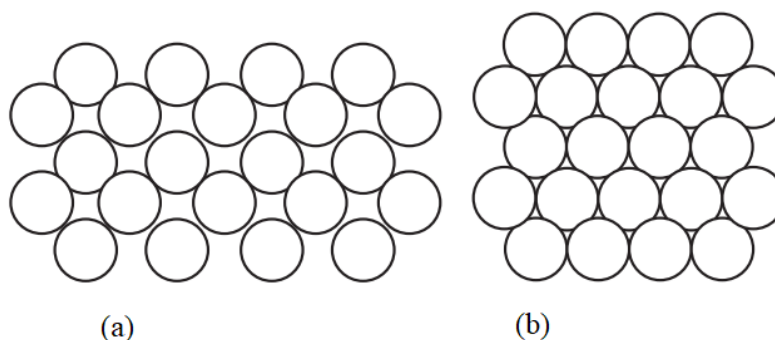
- palielināt blīvumu un relatīvo blīvuma indeksu Id;
- ierobežot un kontrolēt ceļa segas kopējās un nevienmērīgās deformācijas;
- paātrināt primāro konsolidāciju un drenēšanās īpašības;
- samazināt iedarbes no pašas ceļa konstrukcijas (pašsvara (minerālmateriāla – saistīta vai nesaistīta) slodzes ceļa segai);
- nodrošināt ceļa uzbēruma nogāzes stabilitāti;
- pārnest slodzi no uzbēruma uz augstākas nestspējas grunts slāņiem.

3.4. tabula. Ceļa konstrukcijas zemes klātnes pastiprināšanas galvenās funkcijas

Funkcija	Tehnoloģijas	Komentāri
Palielināt ceļa konstrukcijas nestspēju vai bīdes pretestību	Visas metodes, kuras minētas 1. tabulā (A. – E.)	Dažas metodes piemērotas visa veida gruntīs, bet dažas tikai saistītās vai nesaistīgās
Palielināt blīvumu un relatīvo blīvuma indeksu Id	A.1.; A.2.; A.3.; B.2.; B.3.; D.1.; D.4.	Dažas metodes piemērotas visa veida gruntīs, bet dažas tikai saistītās vai nesaistīgās
Ierobežot un kontrolēt ceļa segas kopējās un nevienmērīgās deformācijas	Visas metodes, kuras minētas 1. tabulā (A. – E.)	Visu tehnoloģiju pamatprincips ir lokāli pastiprināt vājo grunts slāni vai arī to modificēt un uzlabot
Paātrināt primāro konsolidāciju un drenēšanās īpašības	B.2.; B.3.; C.2.; C.3.	Konsolidācija tiek paātrināta samazinot drenēšanās ceļa garumu
Samazinātu iedarbes ceļa konstrukcijā (pašsvara slodzes ceļa segai)	B.1.	Lai samazinātu uzbēruma slodzi var tikt izmantoti dažādi materiāli ar blīvumu no 160kg/m <sup>3</sup> līdz 1400kg/m <sup>3</sup>
Nodrošinātu ceļa uzbēruma nogāzes stabilitāti	E.1.; E.2.	Gruntī tiek iestrādāti dažāda veida materiāli
Pārnest slodzi no uzbēruma uz augstākas nestspējas slāņiem	C	Slodze no uzbēruma tiek nodota uz stingiem vai daļēji stingiem pastiprinājumiem, izmantojot slodzes pārejas platformu

#### 4. A.1. NESAISTĪGU GRUNŠU (SMILTS, GRANTS U.C.) UZLABOŠANA BEZ PAPILDU MATERIĀLA PIEVIENOŠANAS – VIRSMAS BLĪVĒŠANA

Nesaistīgu grunšu (smilts, grants u.c.) dažāda veida blīvēšana ir viena no vissenākajām un plašāk lietajām grunšu pastiprināšanas metodēm. Dažāda veida grunšu blīvēšanas metodes pamatprincips ir grunšu daļiņu pārorientēšana no mazāk blīva blīvākā stāvoklī (skat. 4.1. attēls). Pareizi sablīvējot grunti, tiek uzlabotas to fizikāli-mehāniskās īpašības – samazinās grunšu porainības koeficients un palielinās grunšu stinguma un stiprības parametri.



4.1. attēls. Grunšu daļiņu shematiskais attēlojums (a) – irdenā un (b) – blīvā stāvoklī [27]

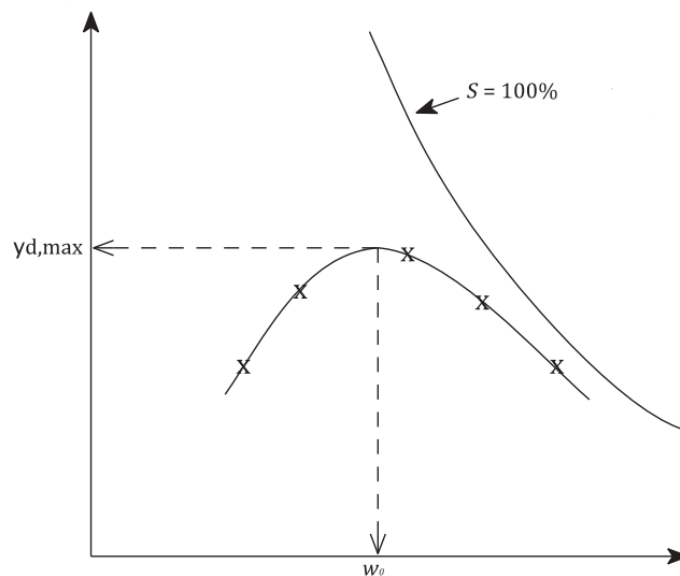
Pastāv ļoti dažādas grunšu blīvēšanas metodes un tehnoloģijas, bet tās var iedalīt divās lielās grupās – virsmas jeb seklā grunšu blīvēšana un dziļā grunšu blīvēšana. Virsmas blīvēšana parasti tiek veikta tieši no esošās grunts virsmas vai arī gadījumos, kad tiek veidots uzbērums pa slāņiem. Veidojot uzbērumu, slāņu biezums nedrīkst pārsniegt virsmas blīvēšanas ietekmes dziļumu, kurš parasti tiek pieņemts 20–30 cm. Grunšu virsmas blīvēšana parasti tiek veikta ar dažāda veida veltņiem vai maza izmēra mobilajām iekārtām (piem., vibroblietes). Mūsdienās tiek izmantoti arī veltņi, kuri ir aprīkoti ar dažāda veida sensoriem un mēriekārtām. Šādi iespējams noteikt precīzu veltņa atrašanās vietu, pamatnes stinguma vērtību un to sadalījumu, kā arī paša veltņa iedarbības enerģiju u.c. parametrus – tā lokalizējot vietas, kur novērojamas jebkādas stinguma atšķirības.

#### 4.1. Vispārēji principi un lietošanas joma

Nesaistīgu grunšu (smilts, grants u.c.) virsmas blīvēšana ir plaši lietota metode, lai sablīvētu gruntis nelielā dziļumā uz esošās grunts virsmas vai veidotu uzbērumus pa slāņiem, tai skaitā ceļa un dzelzceļa uzbērumiem. Parasti nesaistīgas gruntis tiek blīvētas ar dažāda veida veltņiem un maza izmēra mobilajām blīvēšanas iekārtām, iedarbojoties ar atkārtotu statisku vai

dinamisku slodzi. Lai sasniegtu atbilstošu sablīvējuma efektu, ir jāizvēlas atbilstoša iekārta, jānodrošina atbilstošs slāņa biezums un grunts mitruma saturs (tuvu optimālajam mitruma saturam), kā arī jāpielieto optimāla sablīvēšanas enerģija.

Vispārēji pieņemts, ka ar izmantoto blīvēšanas enerģiju un metodi, grunts tilpumsvars būs atkarīgs no grunts mitruma satura. Lai novērtētu sablīvējuma efektivitāti pie noteiktās blīvēšanas enerģijas, tiek izmantots sausas grunts tilpumsvars –  $\gamma_d$ . Tādā veidā iespējams novērtēt un salīdzināt, cik grunts daļiņu ir noteiktā tilpumā. Atbilstoši grunšu sablīvēšanas teorijai – sausas grunts tilpumsvars pieaug palielinoties grunts mitrumam no zema līdz noteiktai pakāpei, pēc kuras atkal samazinās, vēl vairāk palielinoties grunts mitrumam. Sausas grunts tilpumsvara vērtības kā ordinātas pret atbilstošo grunts svāra mitrumu blīvēšanas laikā kā abscisas var tikt attēlotas grafiski, ja tiek veikti mērījumi pie dažādiem grunts mitrumiem (skat. 4.2. attēls). Parasti grafikā tiek attēlota 100% piesātinātas grunts (piesātinājuma pakāpe –  $S_r = 100\%$ ) līkne, pieņemot noteiktu grunts daļiņu blīvumu  $\gamma_d$ . Maksimālo sausas grunts tilpumsvaru apzīmē kā  $\max(\gamma_d)$ , bet optimālo grunts mitruma saturu –  $w_{opt}$ .



4.2. attēls. Sausas grunts tilpumsvars  $\gamma_d$  kā funkcija no grunts mitruma  $w_{opt}$  [27]

## 4.2. Priekšrocības un trūkumi

Virsmas blīvēšanas priekšrocība ir tā, ka metode ir vienkārša, labi aprobēta, kā arī ir plaši pieejamas būvmašīnas. Galvenie grunšu virsmas blīvēšanas metožu trūkumi ir sekojoši:

- Sekls sablīvēšanas dziļums;
- Parasti izmantojams tikai uzbūrtām gruntīm, bet ne dabīgām;



- Gruntīm jānodrošina noteikts (tuvu optimālajam) mitrums;
- Ir salīdzinoši sarežģīti sasniegt vienmērīgu sablīvējumu visā laukumā.

### 4.3. Grunts pastiprināšanas projekta izstrāde

Tabulā – skat. 4.1. tabula, apskatīti projekta parametri virsmas blīvēšanas risinājumam.

4.1. tabula. Parametri, kurus nepieciešams novērtēt (pirms un pēc) projektējot un analizējot virsmas blīvēšanas risinājumu.

<b>Pastiprināšanas kritēriji</b>	Sausas grunts tilpumsvars/blīvums
	Pieļaujamās deformācijas ceļa konstrukcijai – stinguma parametri
	Grunts mitrums
	Filtrācijas koeficients
	Prokora blīvums
<b>Pamatnes raksturošana</b>	Grunts granulometriskais sastāvs
	Grunts identifikācija un klasifikācija
	Grunts mitrums
	Konsistences rādītāji
	Putekļaino un mālaino daļiņu īpatsvars (<0.063mm)
<b>Grunts materiāla īpašības</b>	Grunts granulometriskais sastāvs
	Grunts identifikācija un klasifikācija
	Grunts mitrums
	Konsistences rādītāji
	Putekļaino un mālaino daļiņu īpatsvars (<0.063mm)
	Maksimālais sausas grunts tilpumsvars/blīvums
	Optimālais grunts mitrums
<b>Būvniecības tehnoloģija</b>	Veltņa tips
	Iedarbības enerģija
<b>Ģeometrija</b>	Blīvējamā uzbērtā slāņa biezums un laukums, kurā nepieciešams blīvēt grunti

Projektējot grunšu virsmas blīvēšanu, nepieciešams ņemt vērā projekta kritēriji, kur atbilstoši *Ceļu specifikāciju* prasībām tiek specificēti – grunts sablīvējums katrai kārtai vai pamatnei, kā arī deformāciju modulis ar saistvielām nesaistītām kārtām – skat. 4.2. tabula.

4.2. tabula. Zemes klātnes kvalitātes prasības un nosacījumi testēšanai un mērījumiem.

Parametrs	Prasība	Metode	Izpildes laiks un apjoms
Grunts sablīvējums katrai kārtai vai pamatnei	$\geq 98\%$ no Prokora blīvuma vai veicot dubulto sloģošanu ar statisko plātni $E_{v2}/E_{v1} \leq 3,5$	LVS EN 13286-1 LVS EN 13286-2 EN ISO 22476-13	Visā būvobjektā katrā joslā ik pēc 1000 m pirms nosedzošās kārtas būvniecības

Parametrs	Prasība	Metode	Izpildes laiks un apjoms
Deformāciju modulis ar saistvielām nesaistītām kārtām	Kopējais deformācijas modulis $E_{v2}$ nedrīkst būt zemāks par 45 MPa vai ne zemāks par 25 MPa katrai zemākajai kārtai, ja nav paredzēts citādi, papildus jānosaka grunts mitrums mērījuma izpildes vietā, kā arī, ja iepriekš nav noteikts, tad jānosaka grunts Proktora blīvums un optimālais mitrums	LVS EN 1097-5 LVS EN 13286-2 EN ISO 22476-13	Visā būvobjektā katrā joslā ik pēc 1000 m vai vismaz 1 mērījums katrai zemākajai kārtai, ja nav paredzēts citādi

Svarīgi raksturot – identificēt un klasificēt, pamatnē esošās grūtis, kā arī grūti, kura tiek pievesta uzbēruma izbūvei. Kā izejas dati ir jādefinē blīvējamā grunts slāņa biezums, laukums, veltņa tips un iespējamā iedarbības enerģija. Tiek rekomendēts veikt lauka pārbaudes testu konkrētajos lauka apstākļos, lai pārbaudītu izvēlēto blīvēšanas tehnoloģiju, blīvējamā slāņa biezumu un blīvēšanai nepieciešamo pārbraucienu skaitu konkrētajai grūtij.

#### 4.4. Būvniecības tehnoloģijas

Virsmas blīvēšana ir vienkārša un labi aprobēta metode, kā arī ir paši pieejamas būvmašīnas un mehānismi. Bieži tiek lietoti dažāda veida grunts vibroveltni ar gludiem vai dūru valčiem, pneimoveltni. Sablīvējamās kārtas biezumu, veltņu tipu, statisko lineāro slodzi, vibrācijas frekvenci un centrifugālo trieciena spēku ieteicams izvēlēties saskaņā ar 4.3. tabula[1].

4.3. tabula. Maksimāli pieļaujama sablīvēta slāņa biezums (m) dažādiem materiāliem un blīvēšanas iekārtām (informatīvi – blīvēšanas iekārtu tipa un blīvēšanas režīma noteikšanai) [1].

Blīvēšanas iekārta	Grunts			
	Akmeņi, grants	Smilts	Putekļaina vai mālaina smilts/grants	Grunts ar būtisku putekļu vai māla frakcijas daudzumu
<b>Vibroveltnis ar vienu valci*, statiskā slodze:</b>				
min. 15 kN/m <sup>2</sup> (apmēram 2 t)		0.30 m	0.25 m	0.20 m
min. 30 kN/m <sup>2</sup> (apmēram 6 t)	1.00 m	0.60 m	0.50 m	0.30 m
min. 45 kN/m <sup>2</sup> (apmēram 10 t)	2.00 m	0.80 m	0.60 m	0.40 m

Blīvēšanas iekārta	Grunts			
	Akmeņi, grants	Smilts	Putekļaina vai mālaina smilts/grants	Grunts ar būtisku putekļu vai māla frakcijas daudzumu
min. 65 kN/m <sup>2</sup> (apmēram 15 t)	3.00 m	1.20 m	0.80 m	0.60 m
<b>Vibrācijas divvalču veltnis**, statiskā slodze:</b>				
min. 5 kN/m <sup>2</sup> (apmēram 1 t)		0.15 m	0.10 m	
min. 10 kN/m <sup>2</sup> (apmēram 2 t)		0.25 m	0.20 m	0.15 m
min. 20 kN/m <sup>2</sup> (apmēram 6 t)		0.40 m	0.35 m	0.20 m
min. 30 kN/m <sup>2</sup> (apmēram 10 t)		0.60 m	0.50 m	0.30 m
<b>Statisks trīsvalču veltnis, statiskā slodze:</b>				
min. 50 kN/m <sup>2</sup> (apmēram 10 t)		0.25 m	0.20 m	0.20 m
<b>Statisks dūrvalču veltnis:</b>				
min. 45 kN/m <sup>2</sup> (apmēram 20 t)		0.25 m	0.25 m	0.25 m
<b>Pneimoveltnis, slodze/ritenis:</b>				
min. 15 kN/m <sup>2</sup>		0.20 m	0.20 m	0.20 m
min. 25 kN/m <sup>2</sup>		0.25 m	0.25 m	0.25 m

\* Attiecas uz piekabināmo veltni ar vienu valci. Pašgājēju veltņiem slodze attiecas uz valci.

\*\* Ja blīvē ar aktīvām vibrācijas iekārtām abos valčos, tad noteikto pārbraucienu skaitu var samazināt divas reizes.

Vairāki svarīgākie vispārīgie grunts virsmas blīvēšanas pamatprincipi [1]:

- Laistāmajām mašīnām, ja tādas ir nepieciešamas, jāspēj operatīvi un efektīvi izliet nepieciešamā apjomā ūdeni, neaizkavējot sablīvēšanu.
- Zemes klātnes uzbērumu var būvēt, ja gaisa temperatūra ir virs 0 °C un pamatne nav sasalusi. Darbu var veikt arī tad, ja gaisa temperatūra ir zemāka par 0 °C, kā arī uz sasalušas pamatnes, bet šajā gadījumā jāsablvē iespējami ātri, to pabeidzot pirms materiāla sasalšanas. Ieteicams lietot smagākus veltņus par 4.3. tabula norādītajiem. Jāizvairās lietot gruntis ar lielu mitrumu. Pirms segas būvniecības jānosaka uzbēruma slogošanas laiks (tehnoloģiskais pārtraukums) līdz zemes klātnes pilnīgai atkuššanai. Tālākās kārtas drīkst būvēt tikai pēc tam, kad ir pārbaudīta un ir atbilstoša uzbūvētās zemes klātnes kvalitāte.
- Zemes klātnes uzbēruma būvniecībai nedrīkst lietot sasalušu materiālu.

- Zemes klātnes ierakuma izstrādei temperatūras vai citu klimata ierobežojumu nav, bet, ja ierakums izstrādāts sasalušās gruntīs vai ziemas periodā, tad segu drīkst būvēt tikai pēc tam, kad ierakuma pamatne pilnībā atkususi, kā arī pārbaudīta un ir atbilstoša tās kvalitāte.
- Augu zeme un grunts ar vairāk nekā 6 masas % organisko savienojumu jānovāc, nesajaucot ar citiem materiāliem, pirms zemes klātnes būvniecības sākšanas. Noraktā grunts jāaizved uz atbērtni vai arī, ja paredzēts, ierakuma grunts jāiestrādā uzbērumā.

Uzbērums būvējams horizontālās kārtās. Vienā kārtā nav pieļaujams izmantot dažāda tipa gruntis; gruntis ar augstāku nestspēju izmantojamas virsējā kārtā, izņemot gadījumu, ja paredzēts nostiprināt vājas nestspējas (dabīgo) grunti, piemēram, būvējot starpkārtu no akmens materiāla, kas stiegrots ar ģeorežģiem. Sablīvēšana veicama, ievērojot optimālo grunts mitrumu un pieļaujamās novirzes, nepieciešamības gadījumā laistot vai žāvējot. Pirms darba izpildes jānosaka katra izmantojamās grunts tipa Proktora blīvuma un ūdens satura attiecību izmaiņu grafiks, norādot tilpuma blīvumu, kad ir optimāls ūdens saturs, kā arī norādot ūdens satura pieļaujamās novirzes no optimālā. Putekļainu vai mālainu grunti, ja paredzams lietus, jāblīvē ar gludo valču veltni. Lietus laikā darbs jāpārtrauc. Ja paredzams sals, jāsablvē nekavējoties pēc materiāla izlīdzināšanas, ieteicams izvēlēties efektīvākas blīvēšanas iekārtas un lietot materiālu, kura optimālais ūdens saturs ir iespējami zemāks [1].

Būvniecības gaitā jāveic efektīvi pasākumi, kas pēc iespējas samazina grunts samirkšanu. Būvējot zemes klātni, laikus jāplanē un jāsablvē darba virsmas, izveidojot šķērskritumu, kas nodrošina ūdens novadi ārpus ceļa konstrukcijas. Ieplakas un citi lokālie iesēdumi, kuros var uzkrāties ūdens, pieberami ar nedrenējošu grunti un sablvējami [1].

Katras kārtas sablvēšana jāpabeidz pirms nākamās kārtas vai konstruktīvā slāņa būvniecības. Uzbērums zonā 4 metrus zemāk par zemes klātnes virsmu jāblīvē ar vismaz 4 veltna pārbraucieniem pa vienu vietu, savukārt zonā līdz 4 metriem no zemes klātnes virsmas jāblīvē ar vismaz 6 veltna pārbraucieniem pa vienu vietu. Sablvējamās kārtas biezumu ieteicams noteikt atbilstoši norādēm 4.3. tabulā [1].

Statiskie veltni ar gludo valci (skat. 4.3. attēls (a)) praksē tiek izmantoti visbiežāk – gan grunšu, gan bituminēto ceļa segumu blīvēšanai un iestrādei. Šādi mehānismi iedarbojas ar vienmērīgi izkliedētu statisku spiedienu (parasti 300 – 380 kPa) zem veltna, nodrošinot, ka pēc blīvēšanas būs vienmērīga un līdzena virsma. Tomēr šāda tipa veltni nodrošina iedarbības enerģiju tikai, lai atbilstoši sablvētu gruntis līdz salīdzinoši nelielam dziļumam - parasti sablvēšanas dziļums tiek ierobežots līdz 300 mm [28].

Vibroveltni ar gludo valci izskatās līdzīgi kā statiskie veltni (skat. 4.3. attēls (a)), bet aprīkoti ar papildus mehānismu, kas rada vibrāciju. Vibrācija, kas apvienota ar statiska spiediena slodzes iedarbi, var nodrošināt labāku sablīvējuma efektu. Vibroveltni darbojas parasti 17 – 60 Hz diapazonā. Nesaistīgas gruntis ar vibroveltni iespējams sablīvēt pat līdz 2 m dziļumam, bet jāņem vērā, ka tikai augšējie 30 cm tiek sablīvēti visefektīvāk, sablīvējuma efektam samazinoties dziļākiem slāņiem [28].

Pneimatiskie (gumijas riepu) veltni (skat. 4.3. attēls (b)) nodrošina lielāku iedarbības enerģiju (līdz 1000kPa [29]) un ir efektīvi gan grunšu, gan bituminēto ceļa segumu blīvēšanai un iestrādei. Augsta spiediena gumijas riepas (parasti no 7 – 9) gruntī nodrošina papildus blīvēšanas efektu, kas rodas grunšu daļiņas pārorientējot zonās starp riepām [28].

Kombinētie veltni (skat. 4.3. attēls (c)) apvieno gan statiskā, gan pneimatiskā veltna priekšrocības – dziļāku blīvēšanas efektivitāti un līdzenu virsmu pēc blīvēšanas [28].

Statiskie veltni ar izciļņotu valci (skat. 4.3. attēls (d)) var nodrošināt ievērojami lielākus blīvēšanas iedarbības spiedienus (līdz pat 2000–7000 kPa [11]), jo slodze no veltna tiek pielikta daudz mazākā laukumā. Šāda tipa veltni parasti tiek lietoti saistītās putekļainās vai mālainās gruntīs, kā arī lai nodrošinātu labāku un vienmērīgāku sablīvējumu starp dažādiem slāņiem, ja tiek veidots uzbērumus [28].



(a)



(b)



(c)



(d)

4.3. attēls. Dažāda veida veltni: (a) – statiskais veltnis ar gludo valci; (b) – pneimatiskais veltnis; (c) – kombinētais veltnis; (d) – statiskais veltnis ar izciļņotu valci



Veltņi ar sieta valci (skat. 4.4. attēls) arī nodrošina lielāku kontaktspriegumu (1500 – 6500 kPa), jo slodze tiek pielikta mazākā laukumā, bet kontaktvirsmā ir aptuveni 50% no kopējās virsmas. Šāda tipa veltņi ir labi piemēroti, lai sablīvētu un arī drupinātu smilšainas, grantainas un akmeņainas grūtis.



4.4. attēls. Veltnis ar sieta valci

Mobilie vai velkamie veltņi (skat. 4.5. attēls) var būt jebkurš no iepriekš aprakstītajiem veltņu veidiem, taču šajā gadījumā tas tiek piestiprināts un vilkts aiz citas traktortehnikas vienības. Blīvēšanas pamatprincips ir tieši tāds pats, bet šie veltņi var attīstīt lielāku ātrumu, tomēr parasti tie ir vieglāki un tādēļ pieliktā blīvēšanas enerģija ir zemāka.



4.5. attēls. Velkamais veltnis

Triecienvēda veltņi (skat. 4.6. attēls ) ievērojami atšķiras no parastajiem veltņiem, kur tiek izmantotas gluds valcis, pneimatiskās riepas vai valcis ar izciļņiem vai sieta veida virsmu. Triecienvēda veltņa valcis ir neregulāras formas (parasti trijstūris vai piecstūris) ar noapaļotiem stūriem. Kad rullis tiek velts no stūra uz stūri, tā masa (līdz pat 15 t [30]) rada līdz pat 100 kJ kinētisko triecienvēda enerģiju [31] ar 90–130 sitieniem minūtē [32]. Blīvējot nesaistīgas gruntis šādā veidā, iespējams sasniegt 2 līdz 5 reizes augstāku sablīvēšanas efektivitāti, kā arī parastajiem virsmas blīvēšanas veltņiem. Augstāka iedarbības enerģija ļauj sasniegt augstāku grunts blīvumu, pie dažādiem mitrumiem, kas šajā gadījumā nav tik svarīgs parametrs, kā izmantojot citas metodes. Ar šo metodi iespējams sablīvēt gruntis vairāk kā 2–3 m dziļumam. Veidojot uzbērumu, parasti tiek pieņemts, ka var veidot slāņus no 1–2 m augstumam. Lielās veiktspējas dēļ, triecienvēda veltņi sāk iegūt lielu interese visā pasaulē. Kā trūkumu tiem var minēt to, ka tiek radītas būtiskas vibrācijas (parasti 10 m attālumā) un grunts virsma vēlreiz jāpārblīvē ar parasto statisko veltņi.



4.6. attēls. Triecienvēda veltņis

Bieži tiek lietotas arī dažāda veida vibroblietes, vibrokājas, mini veltņi un citi mobilie maza izmēra grunšu blīvēšanas mehānismi (skat. 4.7. attēls), kuras ir efektīvas lokālās vietās, stūros, malās, lokālos izrakumos, pie dažāda veida komunikācijām u.c. Praksē tiek lietotas neskaitāma veida, masas, jaudas iekārtas un mehānismi.



4.7. attēls. Dažāda veida mobilie maza izmēra grunšu blīvēšanas mehānismi (a) – vibrokāja; (b) – vibropliete; (c) – tāl vadības mini veltnis; (d) – vibrokājas pielietojuma piemērs uz lauka [27]

#### 4.5. Kvalitātes kontrole

Daļēji kvalitātes kontrole un pārbaudes, kā arī kvalitātes kritēriji jau apskatīti 4.3. nodaļā, bet detalizētāk apkopoti 4.4. tabula.

4.4. tabula. Kvalitātes kontrole, pārbaudes un kritēriji.

<b>Kvalitātes kontrole un pārbaudes</b>	Kvalitātes kontrole būvniecības laikā	Materiāli	Grunts mitruma un tilpumsvara/blīvuma parametri Filtrācijas parametri
	Kvalitātes pārbaudes pēc būvniecības	Materiāli	Statiskā un/vai dinamiskā zondēšana (CPT un/vai DP) Statiskās plātnes tests (PLT) Dinamiskās plātnes tests (LWD, FWD) Dinamiskais bīdes un junga deformāciju modulis (mikro seismiskas izpētes) Grunts mitruma un tilpumsvara/blīvuma mērījumi Filtrācijas mērījumi



<b>Kvalitātes kritēriji</b>	Materiāli	Stingums – deformāciju modulis ( $E_m$ ; $E_s$ ) Bīdes pretestība ( $\varphi'$ , $c'$ ) Tilpumsvars Filtrācijas parametri Sēšanās aplēses Proktora blīvums Stinguma modulis uz virsmas un tā attiecība $E_{v2}$ un $E_{v2}/E_{v1}$
<b>Iespējamās inteligētās kvalitātes kontrole un pārbaudes</b>	Materiāli	Inteligētās blīvēšanas sistēmas
	Būvniecības process	Inteligētās blīvēšanas sistēmas

Tabulā – skat. 4.4. tabula, apskatītas arī citas iespējamās kvalitātes kontroles metodes, kuras var būt svarīgas, ja nepieciešams apskatīt grunšu sablīvējumu biežākā slānī nekā statiskās vai dinamiskās plātnes testu ietekmes dziļums. Atsevišķos projektos var būt arī būtiski citi grunšu fizikāli-mehāniskie parametri – ne tikai Proktora blīvums vai stinguma modulis uz virsmas un tā attiecība  $E_{v2}$  un  $E_{v2}/E_{v1}$ . Tie apkopoti pie iespējamajiem kvalitātes kritērijiem.

#### 4.6. Cenas un izmaksas

Elektroniskajā pielikumā pievienots grunts virsmas blīvēšanas cenu aplēses algoritms. Izmaksu aplēses rīks paredzēts sākotnējam izmaksu novērtējumam, tas nav paredzēts jebkādam citam nolūkam. Aprēķinātā precizitātes un ticamības pakāpe ir tieši atkarīga no lietotāja ievadītajiem datiem, kā arī nepieciešams pievērst uzmanību specifiskiem projekta uzstādījumiem, kas var būtiski mainīt kopējās iespējamās izmaksas. Izmaksu aplēses kalkulācijā norādītās vienību izmaksas ir orientējošas – to iespējamais diapazons ir atkarīgs no izbūves tehnoloģijas izvēles un citiem papildus faktoriem. Kalkulācijā iekrāsotās šūnas nepieciešams aizpildīt.

## 5. A.2. NESAISTĪGU GRUNŠU (SMILTS, GRANTS U.C.) UZLABOŠANA BEZ PAPILDU MATERIĀLA PIEVIENOŠANAS – DZIĻĀ BLĪVĒŠANA

Gruntis iespējams blīvēt lielākā dziļumā ar triecienveida blīvēšanas, dinamiskās blīvēšanas un vibroflotācijas metodēm. Triecienveida blīvēšana nodrošina vidēja dziļuma sablīvēšanu, kur triecienenerģija tiek pielikta salīdzinoši augstā frekvencē, izmantojot hidraulisko sistēmu. Dinamiskā blīvēšana nodrošina nesaistīgu grunšu sablīvēšanu līdz ievērojami dziļākiem grunšu slāņiem, nododot triecienenerģiju ar atkārtotiem liela svara stampas metieniem no noteikta augstuma pret grunti. Savukārt, vibroflotācija sablīvē nesaistīgas gruntis, izmantojot speciālu vibrējošu uzgali, kurš nodod vibrāciju gruntī noteiktā frekvencē ap to.

Pastāv dažādas grunšu dziļās blīvēšanas metodes, kas ļauj blīvēt nesaistīgas gruntis ievērojami dziļāk kā iepriekš apskatītas virsmas blīvēšanas metodes. Katrai no metodēm ir savas priekšrocības un trūkumi atkarībā no grunšu veida, nevienmērīguma, nepieciešamā blīvēšanas dziļuma un viendabīguma, kā arī citiem mainīgajiem. Triecienveida blīvēšana, dinamiskās blīvēšana un vibroflotācija ir populārākās no grunšu dziļās blīvēšanas metodēm.

### 5.1. Vispārēji principi un lietošanas joma

#### 5.1.1. *Dinamiskā blīvēšana*

Dinamiskā grunšu blīvēšanas metodes pamatprincips ir vienkāršs – liela smaguma un speciālas ģeometrijas stampa (parasti no 10 līdz 40 tonnām) tiek mesta no noteikta augstuma (parasti no 10 līdz 30 m). Šādi iespējams gruntis līdz pat 10 m dziļumam. Dinamiskās blīvēšanas koncepts ticis izmantots jau Romāņu laikā (ap pirmo gadsimtu mūsu ērā), bet mūsdienu tehnoloģiju kopš 1960-tajiem gadiem attīstīja franču inženieris Luijs Menards (Luoīs Menard). Metodes pamatprincips ir gruntī radīt lielas enerģijas trieciena vilni.

Dinamiskā blīvēšana ir piemērota sekojošās gruntīs:

- irdenās un daļēji piesātinātās nesaistīgās gruntīs (tai skaitā uzbērtās);
- piesātinātās, labi drenējošās gruntīs;
- putekļainās gruntīs ar plasticitātes rādītāju (indeksu)  $I_p < 8$ ;
- mālainās gruntīs ar konsistences rādītāju (indeksu)  $I_c > 1$ .

Viena no dinamiskās blīvēšanas priekšrocībām ir augstā veiktspēja un zemās izmaksas. Ar dinamisko blīvēšanu iespējams ļoti efektīvi blīvēt nesaistīgas irdenas grunts, kurās nesatur vairāk kā 15% smalkgraudainās frakcijas (putekļu un māla daļiņas). Kā vienu no metodes trūkumiem var minēt dinamiskās blīvēšanas procesā radīto augsto skaņas līmeni un vibrācijas, kas var apdraudēt tiešā tuvumā esošās būves. Tādēļ parasti dinamiskās blīvēšanas laikā tiek paredzēts vibrāciju monitorings. Jāņem vērā arī ievērojamās dinamiskās blīvēšanas iekārtas mobilizācijas izmaksas.

### 5.1.2. *Triecienveida blīvēšana*

Grunšu triecienveida blīvēšanas iekārta paredzēta irdeni nesaistīgu grunšu blīvēšanai vidējā dziļumā – no 4 līdz 7 m dziļumam. Triecienveida blīvēšanas iekārta sastāv no hidrauliskā āmura, kurš cikliski (40–80 sitieni minūtē) iedarbojas uz plātņi. Parasti triecienveida blīvēšanas iekārta sastāv no 5 līdz 12 tonnām smagas stampas, kura tiek pacelta un mesta no 1,2 m augstuma uz plātņi, kuras diametrs ir 1,5 m (skat. 5.1. attēls).



5.1. attēls. *Triecienveida blīvēšanas iekārta [27]*

Trieciena enerģija, kas tiek nodota uz grunts virsmas ir aptuveni 61 kNm, bet sablīvējuma efektivitāte un dziļums ir atkarīgs no grunts fizikāli-mehāniskajām īpašībām, gruntsūdens līmeņa u.c. parametriem.

### 5.1.3. Virboflotācija

Vibroflotācija (vibroblīvēšana) ir nesaistītu grunšu (smilšainas un grantainas grunts) pastiprināšana metode, kuras laikā ar cikliskām vibrācijām tiek izmainīta grunts daļiņu struktūra. Rezultātā grunts tiek sablīvēta un samazināts porainības koeficients.

Galvenais izmantotais mehānisms ir speciāls smags gruntī iedziļināms vibrators. Vibrācijas mehānisms, kas atrodas vibratora apakšējā daļā, var radīt vibrācijas ar amplitūdu no 5 mm līdz 20 mm. Parasti vibratora galā atrodas arī speciālas sprauslas, caur kurām gruntī var iespiest gaisu vai ūdeni, tā paātrinot grunts sablīvēšanu. Gruntī vibrators iedziļinās pašsvara un vibrāciju rezultātā, bet gadījumā, ja tas tiek piestiprināts pie ekskavatora vai urbšanas agregāta, tam var pielikt papildus slodzi. Grunts tiek sablīvēta, vibratoru pārvietojot augšup un lejup. Irdenās smiltīs sablīvētās grunts kolonnas diametrs ir robežās no 1,5 m līdz 2,0 m, atkarībā no vibroflotācijas punktu izvietojuma un grunts fizikālajām īpašībām.

Kad irdenā grunts (smilts vai grants) tiek sablīvēta, pamatnes virsma pazeminās, un tas ir atkarīgs no sablīvējamā slāņa biezuma un grunts fizikālajām īpašībām (porainības koeficients, relatīvās blīvuma pakāpes u.c.). Jebkurā gadījumā augšējais grunts slānis no 0,5 m līdz 1,0 m pēc vibroflotācijas ir jāsablīvē ar tradicionālajām metodēm – vibroveltni.

Vibroflotācija (VF) vislabāk ir piemērota nesaistītās gruntīs, tādās kā irdenas smiltis, grantis un smilšainas grantis. Smalkās frakcijas (< 0,063 mm) – putekļi un māls, daudzumam jābūt mazākam par 10 %. Vibroflotācijas (VF) metode bieži tiek lietota, lai sablīvētu biezus putekļainas grunts smilts slāņus uzskalotās teritorijās. VF metode var tikt pielietota dažādām būvēm – stāvlaukumi, lidlauki, ceļu uzbērums, ēkas, atgūstamās teritorijas (ostās, dažādas hidrotehniskās būves). Šī metode īpaši piemērota, ja slodze no būves ir vienmērīgi izkliedēta.

Izmantojot vibroflotācijas metodi nesaistītās gruntīs, tiek ievērojami palielināts pamatnes stingums, samazinātas filtrācijas īpašības, kā arī pamatne tiek homogenizēta (tādā veidā samazinot nevienmērīgu deformāciju riskus). Sablīvēšana tiek veikta noteiktos punktos – vai nu trīsstūrveidā, vai taisnstūrveidā ar attālumu starp punktiem no 1,5 m līdz 5,0 m. Blīvēšanas dziļums parasti ir no 3,0 m līdz 20,0 m, bet ir iespēja izmantot VF, lai sablīvētu grunts līdz pat 40,0 m dziļumam. Sasniegta grunts relatīvā blīvuma pakāpe ( $I_d$ ) ir robežās no 0,4 līdz 0,9. Vibroflotācija tiek pielietota vietās, kur citādi nevar izvairīties no dziļo pamatu risinājuma. Ar vibroflotācijas metodi šādos gadījumos tiek sasniegta pietiekama sablīvējuma pakāpe.

## 5.2. Priekšrocības un trūkumi

Dziļo blīvēšanas metožu priekšrocība ir sekojošas:

- Ekonomija – vienas no visekonomiskākajām grunšu pastiprināšanas metodēm, un īpaši efektīvas šīs metodes ir, ja pamatnē ir irdenas nesaistīgas (smilts vai grants) gruntis.
- Ievērojams uzlabojums – metodes tiek pielietotas, lai uzlabotu grunšu fizikālos un mehāniskos parametrus visam grunts tilpumam.
- Viegls pielietojums – metožu pielietojumam nav nepieciešamas papildus materiāla piegādes (tikai smilts/grants planējuma veidošanai), vai kāds papildu aprīkojums. Veiksmīgai darbu veikšanai nepieciešams izvēlēties pareizo iekārtu katram konkrētam gadījumam.
- Deformāciju kontrole – pielietojot dziļās blīvēšanas metodes, tiek palielināts pamatnes stingums un samazināti iespējamo deformāciju un nevienmērīgas sēšanās riski (pēc slodzes pielikšanas), tā ievērojami uzlabojot konstrukciju drošuma līmeni.
- Darbības mērogs – iespējams uzlabot nesaistītas gruntis līdz pat 5,0 m (triecienvēda blīvēšanu), 10,0 m (dinamisko blīvēšanu) un 40,0 m dziļumam ar vibroflotācijas metodi.
- Augsta veiktspēja – ar dziļās blīvēšanas metodēm iespējams uzlabot vairākus tūkstošus kubikmetrus grunts (izmantojot vienu iekārtu) vienā maiņā.

Galvenie dziļo blīvēšanas metožu trūkumi ir sekojoši:

- Ievērojamas mobilizācijas izmaksas.
- Augšējais grunts slānis tehnoloģiski tiek uzirdināts un ir nepieciešama virsmas blīvēšana ar vibroveltniem.
- Dinamiskās blīvēšanas gadījumā tiek radītas ievērojamas virsmas vibrācijas, tādēļ nepieciešams tās mērīt un, ja blakus atrodas esošas būves, nepieciešams veikt monitoringu un iespējams paredzēt pret vibrāciju pasākumus.

### 5.3. Grunts pastiprināšanas projekta izstrāde

#### 5.3.1. Dinamiskā blīvēšana

Tabulā – skat. 5.1. tabula, apskatīti projekta parametri dinamiskās blīvēšanas risinājumam.

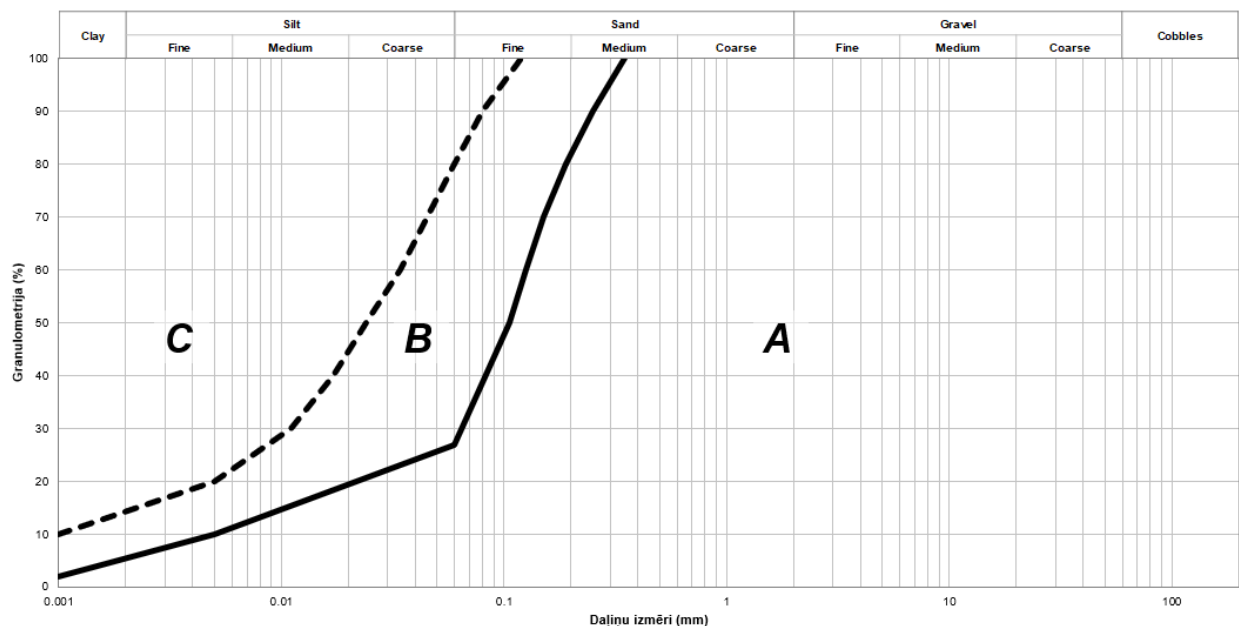
5.1. tabula. Parametri, kurus nepieciešams novērtēt (pirms un pēc) projektējot un analizējot dinamiskās blīvēšanas risinājumu

<b>Pastiprināšanas kritēriji</b>	CPT zondes gala pretestības pieaugums un sānu pretestības pieaugums ( $q_c$ un $f_s$ )
	DMT vai PMT mērīta no sāniem ierobežotas grunts deformāciju moduļa $E_m$ pieaugums
	Šķērsviļņa ātruma gruntī pieaugums - $v_s$
	Pieļaujamās pēc-būvniecības deformācijas
<b>Pamatnes raksturošana</b>	Grunts granulometriskais sastāvs
	Grunts identifikācija un klasifikācija
	Grunts piesātinājuma pakāpe ( $S_r$ ) un gruntsūdens līmenis
	Relatīvais blīvuma rādītājs (indekss) - $I_d$
	CPT zondes gala pretestības un sānu pretestības vērtības ( $q_c$ un $f_s$ )
	DMT vai PMT mērīta no sāniem ierobežotas grunts deformāciju moduļa $E_m$ vērtības
	Šķērsviļņa ātrums gruntī - $v_s$
	Grunts sašķidrināšanās potenciāls
<b>Slogošanas nosacījumi</b>	Uzbērums
	Konstrukcija
<b>Grunts materiāla īpašības</b>	Grunts īpašības pēc blīvēšanas
<b>Būvniecības tehnoloģija</b>	Celtņa tips
	Stampas/blietes masa
	Monitoringa sistēma un testēšanas iekārtas
<b>Ģeometrija</b>	Blīvēšanas punktu izvietojums plānā
	Blīvēšanas augstums
	Blīvēšanas punktu izvietojums plānā katrā no blīvēšanas fāzēm
	Blīvēšanas fāzes

Lai izstrādātu dinamiskās blīvēšanas projektu, vispirms nepieciešams veikt detalizētu ģeotehnisko izpēti, lai raksturotu ģeoloģisko griezumam (skat. 5.1. tabula). Pastāv virkne citu faktoru, kuri ietekmē dinamiskās blīvēšanas blīvēšanas projektēšanu:

- Pamatnē esošās grunts;
- Plānotais blīvēšanas laukums un dziļums;
- Blietes/stampas masa un ģeometrija;
- Blietes/stampas mešanas augstums un iedarbības enerģija;
- Blīvēšanas punktu izvietojums plānā;
- Blīvēšanas krāteru dziļums;
- Sītienu skaits vienā punktā un blīvēšanas fāzes;
- Plānotā sablīvējuma efektivitāte (relatīvais blīvuma rādītājs (indekss) -  $I_d$ );
- Ietekme uz vidi (vibrācijas, troksnis, horizontālie grunts pārvietojumi);
- Ļoti vāju vai ļoti stingu slāņu ieslēgumi;
- Iespējami augsts gruntsūdens līmenis;
- Laiks, kurā izzūd papildus radītais porūdens spiediens;
- Triāla testa izveide (kūkumošanās testa rezultāti).

Pamatnē esošo grunšu granulometriskais sastāvs norāda uz to, cik labi vai slikti šis materiāls ir blīvējams (skat. 5.3. attēls). Svarīgs ir ne tikai daļiņu izmērs, bet arī neviendabīguma koeficients  $C_U$  un granulometriskās līknes izliekuma koeficients  $C_C$  – jo neviendabīguma koeficients lielāks, jo sagaidāmais sablīvēšanās efekts augstāks.



**A: Lieliski sablīvējams B: Daļēji sablīvējams C: Sablīvējams tikai, ja  $PI < 12$ ,  $LL < 25\%$  un  $w < w_{opt}$**

5.2. attēls. Grunšu sablīvēšanas efektivitātes novērtējums pēc granulometrijas līknes



Dinamiskās blīvēšanas ietekmes dziļums tiek aprēķināts pēc sekojošas izteiksmes:

$$D_i = \sqrt[n]{W_t \cdot H_d} \quad (5.3.1.)$$

kur:

$D_i$  – sablīvējuma ietekmes dziļums, m;

$W_t$  – stampas/blietes masa, t;

$H_d$  – stampas/blietes mešanas augstums, m;

$n$  – empīriskā konstante, kura atkarīga no grunts tipa, piesātinājuma pakāpes, sitiena ātruma – smilšainās/granšainās gruntīs  $n = 0.5 - 0.6$  ; putekļainās gruntīs ( $I_p < 8$ )  $n = 0.35 - 0.5$ ; mālainās gruntīs ( $I_p > 8$ )  $n = 0.35 - 0.4$ , bet tikai sīkstas konsistences mālainās gruntīs.

Lai noskaidrotu nepieciešamo iedarbības enerģiju vienā blīvēšanas punktā un punktu izvietojumu plānā, parasti tiek veikti testi triāla laukumā. Triāla laukumā tiek veikts kūkumošanās tests, lai noteiktu punktu, kurā krātera dziļums vairs nepalielinās. Tā pat tiek testēti grunšu parametri krāteros, kā arī starp krāteriem, lai noskaidrotu stinguma uzlabojuma efektivitāti. Parasti tiek izmantots viens vai vairāki no sekojošiem grunšu lauku testiem un no tiem iegūtie parametri - CPT zondes gala pretestības un sānu pretestības vērtības, DMT vai PMT mērīta no sāniem ierobežotas grunts deformāciju moduļa vērtības.

### 5.3.2. Triecienveida blīvēšana

Tabulā – skat. 5.2. tabula, apskatīti projekta parametri triecienveida blīvēšanas risinājumam.

5.2. tabula. Parametri, kurus nepieciešams novērtēt (pirms un pēc) projektējot un analizējot triecienveida blīvēšanas risinājumu

<b>Pastiprināšanas kritēriji</b>	CPT zondes gala pretestības pieaugums un sānu pretestības pieaugums ( $q_c$ un $f_s$ )
	DMT vai PMT mērīta no sāniem ierobežotas grunts deformāciju moduļa $E_m$ pieaugums
	Šķērsviļņa ātruma gruntī pieaugums - $v_s$
	Pieļaujamās pēc-būvniecības deformācijas
<b>Pamatnes raksturošana</b>	Grunts granulometriskais sastāvs
	Grunts identifikācija un klasifikācija
	Grunts piesātinājuma pakāpe ( $S_r$ ) un gruntsūdens līmenis



	Relatīvais blīvuma rādītājs (indekss) - $I_d$
	CPT zondes gala pretestības un sānu pretestības vērtības ( $q_c$ un $f_s$ )
	DMT vai PMT mērīta no sāniem ierobežotas grunts deformāciju moduļa $E_m$ vērtības
	Šķērsviļņa ātrums gruntī - $v_s$
	Grunts sašķidrināšanās potenciāls
	Grunts granulometriskais sastāvs
	<b>Slogošanas nosacījumi</b>
<b>Grunts materiāla īpašības</b>	Grunts īpašības pēc blīvēšanas
<b>Būvniecības tehnoloģija</b>	Sitienu skaits vienā punktā
	Enerģija no viena punkta
	Pēdas diametrs
<b>Ģeometrija</b>	Blīvēšanas punktu izvietojums plānā
	Blīvēšanas dziļums

Tā kā triecienveida blīvēšanas process atšķiras no dinamiskās blīvēšanas, tad nav iespējams izmantot 5.3.1 formulu, lai noteiktu blīvēšanas iedarbības dziļumu. Iespējams izmatot [33] vai [34] rekomendācijas – skat. 5.3. tabula un 5.4. tabula.

5.3. tabula. Tipiskais sablīvējuma dziļums atkarībā no iedarbības enerģijas [33]

Grunts veids	Iedarbības enerģija, t-m/m <sup>2</sup>	Sablīvējuma dziļums, m
Irdeni tehnogēnie nogulumu	150	4.0
Izdedži vai pelni	150	3.5
Mainīgu grunšu uzbērums	150	4.0
Smilšaini putekļi	80	2.0
Putekļaina smilts	190	3.0

5.4. tabula. Testi ar 9 tonnu triecienveida blīvēšanas iekārtu [34]

Grunts veids	SPT N vērtība pēc blīvēšanas	Sablīvējuma dziļums, m
Smilts	20-30	6.0
Putekļaina smilts	15	4.5
Smilšaini putekļi	10-15	3.5-4.5
Mainīgu grunšu uzbērums	>10	3.0-5.0

Pieņemot 1,5x1,5 m triecienveida blīvēšanas punktu tīklojumu, 30 sitienus ar 9 tonnu āmuru no 1,2 m augstuma, tiek radīta aptuveni 150 t – m/m<sup>2</sup> enerģija. Izbūves tīkojums var būt arkas veida, kvadrātveida vai trīstūrveida. Parasti tiek pielietoti no 10 līdz 40 sitieniem katrā

punktā. Sitienu skaitu katrā punktā iespējams noteikt, pieņemot iedarbības enerģijas līmeni [35]:

$$N_d = \frac{AE \cdot A_e}{W_t \cdot H_d} \quad (5.3.2.)$$

kur:

$N_d$  – sitienu skaits katrā punktā;

$W_t$  – stampas/blietes masa, t;

$H_d$  – stampas/blietes mešanas augstums, m;

$A_e$  – iedarbības (ekvivalentais) laukums katram punktam ( $A_e = s^2$  – kvadrāta izvietojumā;  $A_e = 0.867 \cdot s^2$  – trīstūrveida izvietojumā);

$s$  – punktu izvietojumu solis.

### 5.3.3. Virboflotācija

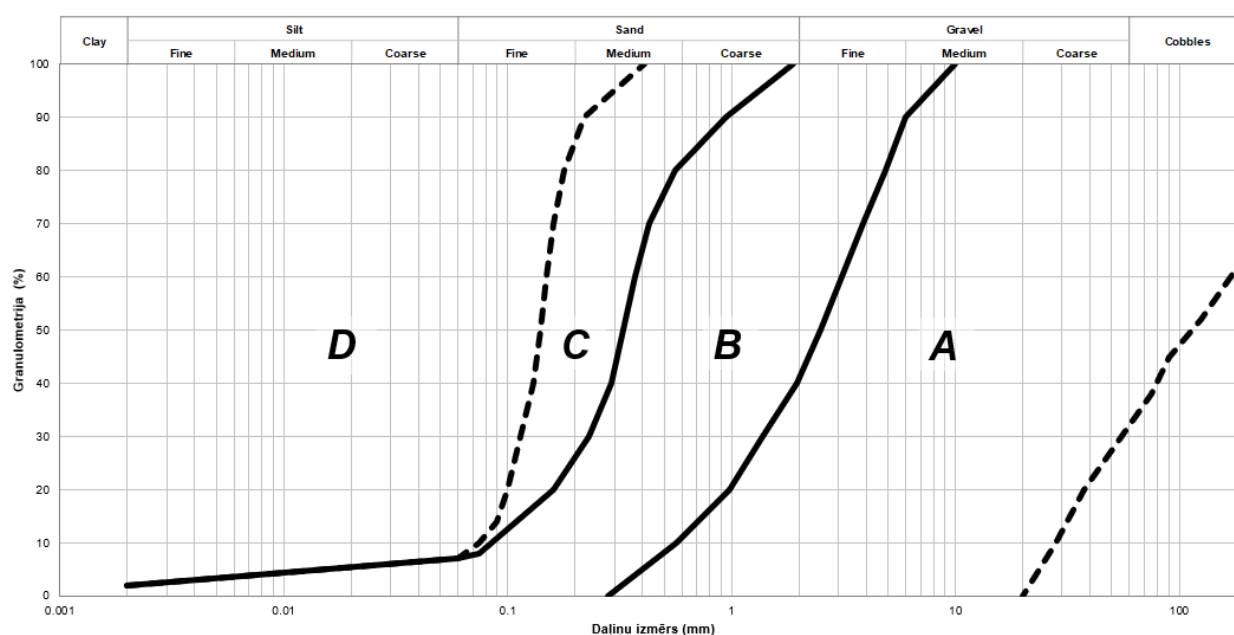
Tabulā – skat. 5.6. tabula, apskatīti projekta parametri triecienveida blīvēšanas risinājumam.

5.5. tabula. Parametri, kurus nepieciešams novērtēt (pirms un pēc) projektējot un analizējot vibroflotācijas risinājumu

<b>Pastiprināšanas kritēriji</b>	CPT zondes gala pretestības pieaugums un sānu pretestības pieaugums ( $q_c$ un $f_s$ )
	DMT vai PMT mērīta no sāniem ierobežotas grunts deformāciju moduļa $E_m$ pieaugums
	Šķērsviļņa ātruma gruntī pieaugums - $v_s$
	Pieļaujamās pēc-būvniecības deformācijas un relatīvais blīvuma rādītājs (indekss) - $I_d$
<b>Pamatnes raksturošana</b>	Grunts granulometriskais sastāvs
	Grunts identifikācija un klasifikācija
	Grunts piesātinājuma pakāpe ( $S_r$ ) un gruntsūdens līmenis
	Relatīvais blīvuma rādītājs (indekss) - $I_d$
	CPT zondes gala pretestības un sānu pretestības vērtības ( $q_c$ un $f_s$ )
	DMT vai PMT mērīta no sāniem ierobežotas grunts deformāciju moduļa $E_m$ vērtības
	Šķērsviļņa ātrums gruntī - $v_s$
	Grunts sašķidrināšanās potenciāls

	Grunts granulometriskais sastāvs
<b>Slogošanas nosacījumi</b>	Uzbērums
	Konstrukcija
<b>Grunts materiāla īpašības</b>	Grunts īpašības pēc blīvēšanas
<b>Būvniecības tehnoloģija</b>	Vibratora ekscentritātes spēks
	Vibrāciju frekvence
	Blīvēšanas ilgums
	Vibrācijas uzgaļa tips un forma
<b>Ģeometrija</b>	Režģis (trīsstūrveida vai kvadrātveida)
	Viena punkta iedarbības zonas rādiuss
	Diametrs un dziļums

Vibroflotācijas projekta izstrāde, līdzīgi, kā citām blīvēšanas metodēm, atkarīga no iepriekšminētajiem pastiprināšanas projekta kritērijiem. Tomēr vibroflotācija ir visjūtīgākā metode attiecībā uz blīvējamo grunšu granulometrisku sastāvu. Projektējot vibroflotāciju, jāņem vērā, cik labi iespējams šo materiālu sablīvēt – skat. 5.4. attēls



**A: Sablīvējams ar nosacījumiem B: Lieliski blīvējams C: Sablīvējams D: Jālieto grunts pāļi**

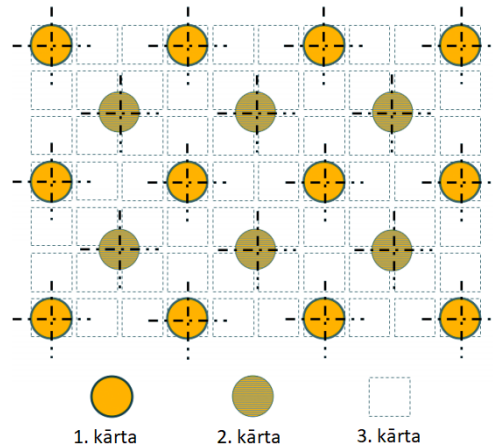
### 5.3. attēls. Grunšu sablīvēšanas efektivitātes novērtējums pēc granulometrijas līknes

Ja grunts materiāls ir atbilstošs vibroflotācijai, tad nepieciešams novērtēt tā sākotnējo porainības koeficientu  $e_0$  un relatīvo blīvuma rādītāju (indeksu) –  $I_d$ . Atkarībā no projekta nosacījumiem, tiek izvēlēts blīvēšanas punktu solis. Papildus nepieciešams aprēķināt arī grunts tilpuma izmaiņu – atsevišķos gadījumos paredzot papildus uzbēruma izveidi, ja plānotais iesēdums pārsniedz projekta nosacījumus.

## 5.4. Būvniecības tehnoloģijas

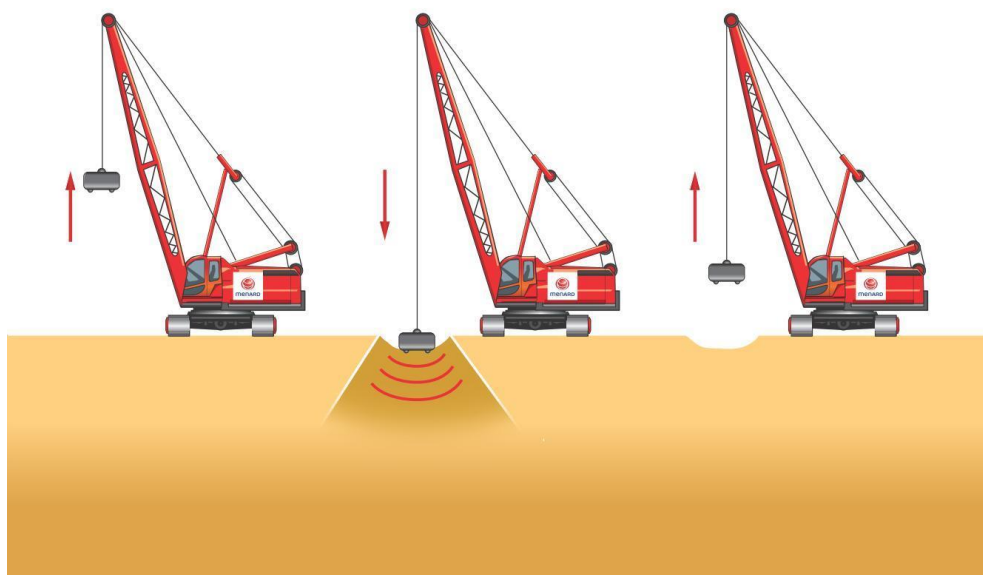
### 5.4.1. Dinamiskā blīvēšana

Dinamiskās blīvēšanas (DC) uz lauka tiek parasti veikta divās blīvēšanas kārtās, kur pirmajā kārtā tiek sablīvēti dziļākie slāņi, bet otrajā kārtā vidēji dziļie slāņi. Pēc tam tiek sablīvēta virsma (tā sauktā "gludināšanas" – izlīdzināšanas kārtā) visā laukumā (skat. 5.4. attēls):



5.4. attēls. Dinamiskās blīvēšanas darbu secība

Parasti dinamiskās blīvēšanas metode sākotnēji tiek testēta pārbaudes laukumā, lai noteiktu blīvēšanas tīklojumu un iedarbības enerģiju, kas nepieciešama, lai sasniegtu nepieciešamo sablīvējuma pakāpi, tas ir, stampas masa un forma, kā arī mešanas augstums. Dinamiskās blīvēšanas shēma (skat. 5.5. attēls), bet darbībā uz lauka (skat. 5.6. attēls).



5.5. attēls. Dinamiskās blīvēšanas darbu shēma [36]



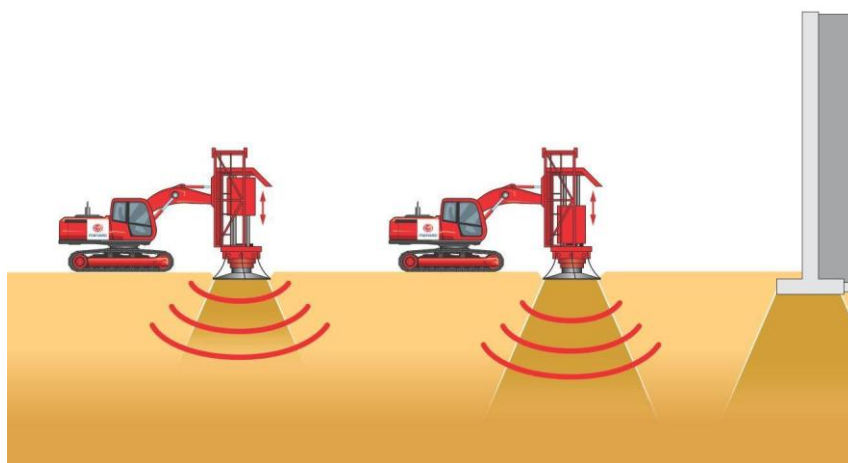
5.6. attēls. Grunšu dinamiskā blīvēšanas uz lauka [36]

Pastāv būtiskas atšķirības starp nesaistīgu (rupjgraudainu) un saistītu (smalkgraudainu) grunšu darbību, ja tiek pielikta liela triecienenerģija [37]. Iedarbojoties ar augstu enerģijas pakāpi nesaistīgās gruntīs, tik pārorientētas daļiņas, tā samazinot porainības koeficientu –  $e$ , palielinot relatīvo blīvuma indeksu –  $I_d$ , kas palielina gan grunts stiprības, gan stinguma mehāniskos parametrus. Parādība, kas parasti tiek novērota dinamiski blīvējot rupjgraudainas gruntis, tiek saukta par "korķa" efektu, kas nodrošina spriegumu pārnesanu grunšu dziļākos slāņos. Tomēr, kad nesaistīgas gruntis atrodas zem gruntsūdens līmeņa, liela daļa no dinamiskās enerģijas tiek pārnesta uz porūdeni, kur pēc atkārtotiem sitieniem tiek radīts porūdens pārspiediens un tādā veidā izsaukta lokāla materiāla sašķidrināšanās. Šo fenomenu pirmoreiz izskaidroja Louis Menard [38]. Grunšu dabīgais blīvums un granulometrija ir galvenie faktori, kas ietekmē sašķidrināšanās ātrumu, bet tālākās zemas frekvences vibrācijas, kuras izsauc tālākas iedarbības spriegumi, pārorientē grunšu daļiņas blīvākā stāvoklī. Šis process ir salīdzināms ar vibroflotāciju, kas tiks aprakstīta tālākajās nodaļās, kur D'Appolonia pētījumi parādījuši, ka nepieciešamās vibrācijas, lai sasniegtu optimālu sablīvējumu, ir jāpārsniedz 0,5 g [39]. Porūdens pārspiediena izkliede un virsējo slāņu pieslodze, nodrošina vēl papildus grunšu sablīvēšanos laikā. Tas parasti notiek 1–2 dienu laikā smiltīs un grantīs ar neviendabīguma koeficientu  $C_U > 3$  un līdz 1–2 nedēļu laikā putekļainās gruntīs. Šis faktors jāņem vērā pārbaudot sablīvējuma efektivitāti arī nesaistīgās, labi drenējošās gruntīs.

#### 5.4.2. Triecienveida blīvēšana

Triecienveida blīvēšanas tehnoloģija, kas pēc būtības ir līdzīga citām dinamiskajām grunšu blīvēšanas metodēm, tika ieviesta 20. gadsimta 90. gados, lai piedāvātu grunšu blīvēšanu

tuvu esošām būvēm. Trieciņveida blīvēšanas laikā izmanto hidraulisku āmuru, kas piestiprināts uz ekskavatora. Āmura masa ir robežās no 5 līdz 12 tonnām un tas tiek mests no 1,2 m augstuma uz 1,5 m diametra pēdas. Darbības režīmā tiek veikti no 10 līdz 40 sitieniem minūtē. Grunti sablīvējot, tajā tiek izveidots iesēdums. Kontroles sistēma ļauj novērtēt sablīvēšanas procesu un reģistrēt parametrus – iedarbības enerģiju un iesēduma dziļumu. Iespējams mainīt iedarbības enerģiju. Pirms trieciņveida blīvēšanas visā laukumā, parasti tiek veikti pārbaudes testi, mainot punktu izvietojumu un iedarbības enerģiju, trieciņu skaitu vienā punktā. Atkarībā no ģeoloģiskajiem apstākļiem, parasti tiek veikti 10 līdz 40 trieciņi vienā punktā.



5.7. attēls. Trieciņveida blīvēšanas shēma [36]

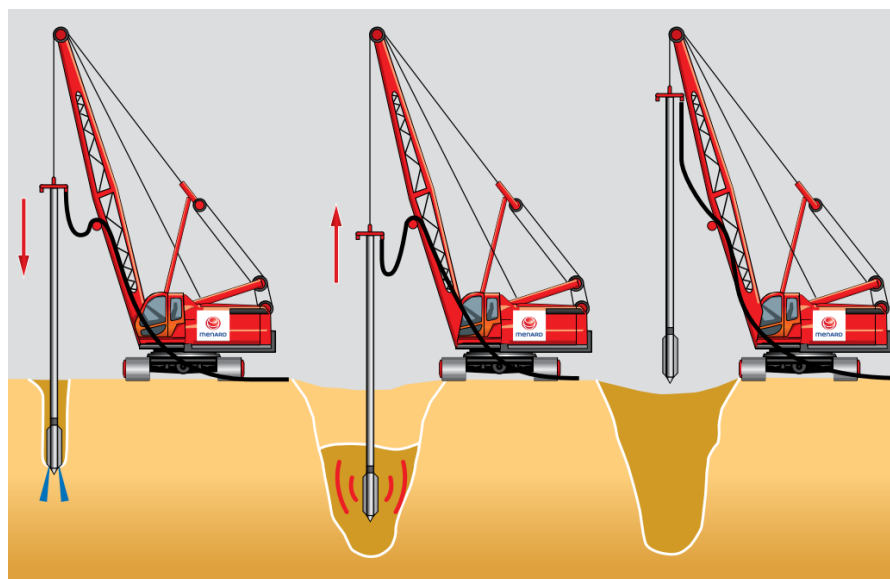
Trieciņveida blīvēšanas tehnoloģija ir piemērota dažāda veida nesaistītās gruntīs, īpaši smiltīs un grantī. Metode izmantojama arī rekultivētās teritorijās, vietās, kur ir uzskalotas gruntis, ostās un citur. Visbiežāk RIC tiek izmantots, lai pastiprinātu irdenas gruntis zem pamatu plātnēm/grīdām ar lielu slodzi, ceļu un dzelzceļu uzbērumu blīvēšanā, kā arī dažādu laukumu, lidlauku un citu būvju pamatiem. Sablīvējuma efektu iespējams sasniegt 4,0 m līdz 5,0.

#### 5.4.3. Virboflotācija

Vibroflotācija, zināma arī kā vibroblīvēšanas metode, tiek lietota grunšu pastiprināšanā/uzlabošanā kopš 1934. gada. Kopš tā laika, metode ir tikusi veiksmīgi izmantota irdenās smilšainās un grantainās (nesaistītās) gruntīs. Šobrīd vibroflotācijas metode ir viena no visbiežāk pielietotajām metodēm nesaistītu grunšu pastiprināšanā/uzlabošanā visā pasaulē.



Vibroflotācija (vibroblīvēšana) ir nesaistītu grunšu (smilšainas un grantainas gruntis) pastiprināšanas/uzlabošanas metode, kuras laikā ar cikliskām vibrācijām tiek izmainīta grunts daļiņu struktūra. Rezultātā grunts tiek sablīvēta un samazināts porainības koeficients. Galvenais izmantotais mehānisms ir speciāls smags gruntī iedziļināms vibrators. Tas ir cilindriskas formas diametrā no 30 cm līdz 50 cm; vibrācijas mehānisms, kas atrodas vibratora apakšējā daļā, var radīt vibrācijas ar amplitūdu no 5 mm līdz 20 mm. Parasti vibratora galā atrodas arī speciālas sprauslas, caur kurām gruntī var iespiest gaisu vai ūdeni, tā paātrinot grunts sablīvēšanu. Gruntī vibrators iedziļinās pašsvara un vibrāciju rezultātā, bet gadījumā, ja tas tiek piestiprināts pie ekskavatora vai urbšanas agregāta, tam var pielikt papildus slodzi. Grunts tiek sablīvēta, vibratoru pārvietojot augšup un lejup. Irdenās smiltīs sablīvētās grunts kolonnas diametrs ir robežās no 1,5 m līdz 2,0 m, atkarībā no vibroflotācijas punktu izvietojuma un grunts fizikālajām īpašībām. Kad irdenā grunts (smilts vai grants) tiek sablīvēta, pamatnes virsma pazeminās, un tas ir atkarīgs no sablīvējamā slāņa biezuma un grunts fizikālajām īpašībām (porainības koeficients, relatīvās blīvuma pakāpes u.c.). Jebkurā gadījumā augšējais grunts slānis no 0.5m līdz 1.0m pēc vibroflotācijas ir jāsablvē ar tradicionālajām metodēm – vibroveltni.



5.8. attēls. Vibroflotācijas shēma [36]

Vibroflotācija (VF) vislabāk ir piemērota nesaistītās gruntīs, tādās kā irdenas smiltis, grantis un smilšainas grantis. Smalkās frakcijas (<0.063mm) – putekļi un māls, daudzumam jābūt mazākam par 10%. Vibroflotācijas (VF) metode bieži tiek lietota, lai sablīvētu biezus putekļainas grunts smilts slāņus uzskalotās teritorijās. VF metode var tikt pielietota dažādām būvēm – stāvlaukumi, lidlauki, ceļu uzbērumi, ēkas, atgūstamās teritorijas (ostās, dažādas hidrotehniskās būves). Šī metode īpaši piemērota, ja slodze no būves ir vienmērīgi izkliedēta.

Izmantojot vibroflotācijas metodi nesaistītās gruntīs, tiek ievērojami palielināts pamatnes stingums, samazinātas filtrācijas īpašības, kā arī pamatne tiek homogenizēta (tādā veidā samazinot nevienmērīgu deformāciju riskus). Sablīvēšana tiek veikta noteiktos punktos – vai nu trīsstūrveidā, vai taisnstūrveidā ar attālumu starp punktiem no 1,5 m līdz 5,0 m. Blīvēšanas dziļums parasti ir no 3,0 m līdz 20,0 m, bet ir iespēja izmantot VF, lai sablīvētu gruntis līdz pat 40,0 m dziļumam. Sasniegta grunts relatīvā blīvuma pakāpe ( $I_d$ ) ir robežās no 0,4 līdz 0,9.

## 5.5. Kvalitātes kontrole

### 5.5.1. Dinamiskā blīvēšana

5.6. tabula. Parametri, kurus nepieciešams novērtēt (pirms un pēc) projektējot un analizējot dinamiskās blīvēšanas risinājumu.

Esošās kvalitātes kontrole un pārbaudes	Kvalitātes kontrole	Materiāli	Grunts relatīvais blīvuma rādītājs $I_d$ pirms un pēc blīvēšanas Plātnes tests uz virsmas
		Būvniecības process	Punktu izvietojums plānā Stampas mešanas augstums Metienu skaits katrā punktā Poru spiediena monitorings Vibrāciju monitorings Krātera dziļuma monitorings Kūkumošanās monitorings pie krātera
	Kvalitātes pārbaudes	Materiāli	Grunts relatīvais blīvuma rādītājs $I_d$ pirms un pēc blīvēšanas Plātnes tests uz virsmas
		Būvniecības process	Punktu izvietojums plānā Stampas mešanas augstums Metienu skaits katrā punktā Poru spiediena monitorings Vibrāciju monitorings Krātera dziļuma monitorings Kūkumošanās monitorings pie krātera
Kvalitātes kritēriji	Materiāli	Plātnes spiedes testa rezultāti CPT, DP, DMT testa rezultāti	
	Būvniecības process	Ekspluatācijas perioda aprēķinātā sēšanās	
Iespējamās inteligentās kvalitātēs kontrole un pārbaudes	Būvniecības process	Automātiskās sēšanās nolasīšanas sistēmas	



### 5.5.2. Triecienvēida blīvēšana

5.7. tabula. Parametri, kurus nepieciešams novērtēt (pirms un pēc) projektējot un analizējot triecienvēida blīvēšanas risinājumu.

Esošās kvalitātes kontrole un pārbaudes	Kvalitātes kontrole	Materiāli	Grunts relatīvais blīvuma rādītājs $I_d$ pirms un pēc blīvēšanas Plātnes tests uz virsmas
		Būvniecības process	Punktu izvietojums plānā Stampas mešanas augstums Metienu skaits katrā punktā Poru spiediena monitorings Vibrāciju monitorings Krātera dziļuma monitorings Iedarbības enerģijas monitorings
	Kvalitātes pārbaudes	Materiāli	Grunts relatīvais blīvuma rādītājs $I_d$ pirms un pēc blīvēšanas Plātnes tests uz virsmas
		Būvniecības process	Punktu izvietojums plānā Stampas mešanas augstums Metienu skaits katrā punktā Vibrāciju monitorings Krātera dziļuma monitorings Kūkumošanās monitorings pie krātera
Kvalitātes kritēriji	Materiāli	Grunts tilpumsvars/blīvums Grunts stingums – deformācijas moduļa vērtība ( $E_m$ , $E_s$ )	
	Būvniecības process	Ekspluatācijas perioda virsmas sēšanās	
Iespējamās inteliģentās kvalitātes kontrole un pārbaudes	Materiāli	Ģeofizikālie mērījumi	

### 5.5.3. Virboflotācija

5.8. tabula. Parametri, kurus nepieciešams novērtēt (pirms un pēc) projektējot un analizējot vibroflotāciju risinājumu.

Esošās kvalitātes kontrole un pārbaudes	Kvalitātes kontrole	Materiāli	Grunts relatīvais blīvuma rādītājs $I_d$ pirms un pēc blīvēšanas Granulometriskais sastāvs materiālam, kurš tiek izmantots papildus Plātnes tests uz virsmas
		Būvniecības process	Punktu izvietojums plānā
	Kvalitātes pārbaudes	Materiāli	Grunts relatīvais blīvuma rādītājs $I_d$ pirms un pēc blīvēšanas Plātnes tests uz virsmas
		Būvniecības process	Punktu izvietojums plānā Virsmas sēšanās būvniecības laikā

Kvalitātes kritēriji	Materiāli	Plātnes spiedes testa rezultāti CPT, DP, DMT testa rezultāti Grunts relatīvais blīvuma rādītājs
	Būvniecības process	Ekspluatācijas perioda virsmas sēšanās

## 5.6. Cenas un izmaksas

Elektroniskajā pielikumā pievienots grunts virsmas blīvēšanas cenu aplēses algoritms. Izmaksu aplēses rīks paredzēts sākotnējam izmaksu novērtējumam, tas nav paredzēts jebkadam citam nolūkam. Aprēķinātā precizitātes un ticamības pakāpe ir tieši atkarīga no lietotāja ievadītajiem datiem, kā arī nepieciešams pievērst uzmanību specifiskiem projekta uzstādījumiem, kas var būtiski mainīt kopējās iespējamās izmaksas. Izmaksu aplēses kalkulācijā norādītās vienību izmaksas ir orientējošas – to iespējamais diapazons ir atkarīgs no izbūves tehnoloģijas izvēles un citiem papildus faktoriem. Kalkulācijā iekrāsotās šūnas nepieciešams aizpildīt.

## 6. B.1. GRUNTS APMAIŅA (TAI SKAITĀ SLODZES SAMAZINĀŠANA, UZBĒRUMOS IZMANTOJOT VIEGLU MATERIĀLU)

### 6.1. Vispārēji principi un lietošanas joma

Grunts apmaiņa ir viena no tradicionālajām un relatīvi bieži izmantotajām pamatnes pastiprināšanas metodēm, kuras pamatā ir vājās nestspējas slāņa aizvietošana ar nepieciešamās nestspējas materiālu. Grunts apmaiņas metode ir pielietojama arī gadījumos, kad nepieciešams samazināt sāniskā grunts spiediena aktīvo komponenti uz atbalsta konstrukcijām, lai nodrošinātu to nestspēju, kā arī samazinātu atbalsta konstrukcijas materiāla patēriņu.

### 6.2. Priekšrocības un trūkumi

Tā kā šajā sadaļā aprakstāmās grunts apmaiņas metodes skar divus principiāli pretējus virzienus (grunti aizvieto ar augstākas nestspējas minerālmateriālu parasti tiek "iets uz leju" jeb zemas nestspējas grunts tiek izrakta, savukārt, izmantojot vieglāku uzbēruma materiālu, tādējādi samazinot slodzi uz pamatni, vājos slāņus nav nepieciešams izrakt vai arī to ir nepieciešams izrakt mazākā apjomā), galvenās grunts apmaiņas metožu priekšrocības un trūkumi apkopoti zemāk redzamajās tabulās.

6.1. tabula. Grunts apmaiņas ar minerālmateriāliem metodes priekšrocības un trūkumi

Metodes priekšrocības	Metodes trūkumi
Liela pieredze metodes izbūvē	Relatīvi lēna izbūve Būvmašīnu izmantošana ir nepieciešama visos pastiprināšanas metodes posmos
Būvtehnikas un speciālistu pieejamība.	Palielināta slodze uz zemāk esošo pamatni Aizvietojošo materiālu relatīvi augstā blīvuma dēļ tiek palielināts slodzes īpatsvars, tādējādi izraisot papildu deformācijas pamatnē
Relatīvi vienkārša projekta izstrāde	Problemātiska izbūve augsta gruntsūdens līmeņa apstākļos
Gruntij līdzīgi siltumtehnikie parametri – siltuma vadītspēja, termiskā izplešanās, u.c.	Materiālu pieejamība Grunti aizvietojošo materiālu pieejamība ir atkarīga no situācijas apkārtnē – ja tajā netiek ražoti (iegūti) vai pārstrādāti iepriekšminētie materiāli, tad ir jāreķinās ar materiāla transportēšanas izmaksām.

6.2. tabula. Grunts apmaiņas ar zemāka blīvuma blokiem metodes priekšrocības un trūkumi

Metodes priekšrocības	Metodes trūkumi
Paātrināta izbūve Nav nepieciešams paredzēt papildus laiku pamatnes konsolidācijas norisei	Materiālu pieejamība un cena Tā kā šī metode Latvijā nav plaši iepazīta, var rasties problēmas ar materiālu iegādi.
Samazināta slodze uz zemāk esošo pamatni Aizvietojošo materiālu relatīvi zemā blīvuma dēļ tiek samazināts slodzes īpatsvars un pamatnes sēšanās.	Izbūves tehnoloģiju sarežģītība Atsevišķu materiālu sablīvēšanā var būt nepieciešamas specifiskas zināšanas un tehnoloģijas.
Samazināta sāniskā slodze uz atbalstsienų konstrukcijām Aizvietojošo materiālu relatīvi zemā blīvuma dēļ tiek samazināta sāniskā slodze uz atbalstsienām, tādējādi pieļaujot samazināt tajās izmantojamā materiāla apjomu.	Materiālu ilgmūžība Naftas produktu ietekme uz putupolistirolu
Samazināta tilpumizmaiņa dažādu mitruma un temperatūras režīmu ietekmē.	Ietekme uz vidi
Blokus ir iespējams pārvietot bez papildus tehnikas palīdzības.	No grunts atšķirīgi siltumtehniekie parametri – siltuma vadītspēja, termiskā izplešanās u.c.
Materiāla izbūve tiešā veidā neietekmē laikapstākļu maiņu.	Problemātiska izbūve augsta gruntsūdens līmeņa apstākļos
Bloku formu ir iespējams pielāgot, izmantojot vienkāršas rokas ierīces (piemēram, rokas zāģis)	Zemā blīvuma dēļ augsta gruntsūdens līmeņa gadījumā iespējama materiāla uzpeldēšana, tāpēc jāveic papildus pasākumi materiāla nostiprināšanai.

### 6.3. Grunts apmaiņas projekta izstrāde

Zināmākais izmantojamais materiāls grunts apmaiņai ir smilts, akmeņi vai šķembas, tomēr, ja pēc uzbēruma izveides ir sagaidāmas nevēlamas papildus pieslodzes izraisītās pamatnes sēšanās, kā arī tehnoloģiski nav iespējams pilnā apmērā atrakt vājos slāņus, tad grunts apmaiņai ir ieteicams izmantot zemāka blīvuma materiālu. Šādi materiāli var būt, piemēram, putupolistirola bloki vai keramzītbetona oļi. Tāpat ir iespējams izmantot dažādus reciklētus materiālus, piemēram, samaltas riepas vai kurināmā izdedžus, tomēr, tā kā iepriekšminētie materiāli vairāk tiek izmantoti kā piedeva nevis pamatmateriāls, šajā sadaļā tie detalizētāk netiks apskatīti.

Izmantojamie materiāli pēc to strukturālajām īpašībām iedalās šādās kategorijās:

- Materiāli ar vērā ņemamu spiedes stiprību (putupolistirola bloki, mākslīgā akmens izstrādājumi);
- Materiāli ar līdzīgiem fizikāli mehāniskajiem parametriem grunts struktūrai (iekšējās berzes leņķis, filtrācijas spēja u.c.).

Grunts apmaiņai izmantojamais materiāls nedrīkst saturēt organiskas izcelsmes vielas, kā arī tam ir jābūt ar skaidriem fizikāli mehāniskajiem parametriem (grunts gadījumā – optimālais mitruma saturs, blīvums ūdens nepiesātinātā stāvoklī, saiste, iekšējās berzes leņķis, elastības modulis un saspiežamības rādītāji).

Grunts apmaiņas projektu iespējams izstrādāt šādā secībā [40]:

1. Saskaņā ar projektu tiek noteiktas ceļa šķērsriezuma dimensijas un slogojuma (ceļa sega, satiksmes slodze) parametri;
2. Ar ģeotehnisko izpēti noteikti mehāniskie parametri esošai pamatnei;
3. Tiek noteiktas prasības nepieciešamajiem aizvietojošajiem materiāliem;
4. Tiek apzināti kritēriji maksimālajam pieļaujamam sēšanās apjomam un nepieciešamās drošības pakāpes noteikšanai;
5. Tiek noteikts aptuvenais ekskavācijas apjoms un pamatnes jaunais (ar aizvietotu zemas nestspējas slāņi) šķērsriezums;
6. Tiek aprēķināta pieslodzes izraisītā pamatnes sēšanās (skatīt 2.3 sadaļu);
7. Tiek aprēķina nogāzes noturība (skatīt 7.3.4 sadaļu).

### 6.3.1. Projekta izstrāde, izmantojot smilti, akmeni un šķembas

6.3. tabula. Nepieciešamie izejas dati un iegūstamie rezultāti grunts apmaiņas projektam [40]

<b>Sasniedzamo darba rezultātu parametri</b>	Kopējā pieļaujamā sēšanās
	Pieļaujamā sēšanās pēc būvniecības
	Nogāžu stabilitāte
	Pamatnes stingums
	Pamatnes nestspēja
	Aizvietojamās grunts ekskavācijas dziļums, malu slīpums
	Pamatnes sagatavošana azvietojošā materiāla izbūvei
	Aizvietojošā materiāla izbūves cikli, sablīvēšanas procesi
	Uzbēruma ģeometrija
<b>Pamatnes rādītāji</b>	Informācija par pamatnes slāņiem
	Gruntsūdens līmeņa rādītāji
	Porainības koeficients
	CPT rezultāti, konsolidācijas parametri
	Bīdes pretestība
	Deformāciju modulis
	Puasona koeficients
<b>Slogošanas parametri</b>	Satiksmes slodze
	Uzbēruma augstums un blīvums
	Izbūves ātrums (slodzes pieaugums)

<b>Materiālu parametri</b>	Materiāla granulometrija
	Aizvietojošā materiāla blīvums
	Materiāla deformāciju modulis
	Materiāla iekšējās berzes leņķis

Kā vājā slāņa aizvietotāju var paredzēt gan dabīgus minerālas izcelsmes materiālus (smilts, šķembas) gan reciklētos materiālus, kuri atbilst šādām prasībām [4]:

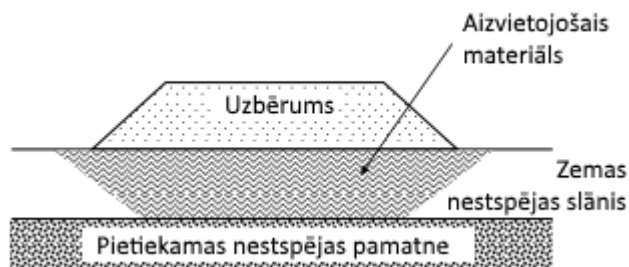
- Organisko vielu saturs nepārsniedz 2% metra dziļumā no grunts klātnes virsmas un 6% zemākos slāņos;
- Grunts deformatīvās īpašības atbilst LVS 190-5 5.2.p prasībām par minimālās nestspējas nodrošināšanu un sablīvējuma pakāpi;
- Plastiskuma rādītājs  $I_p < 7$ .

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

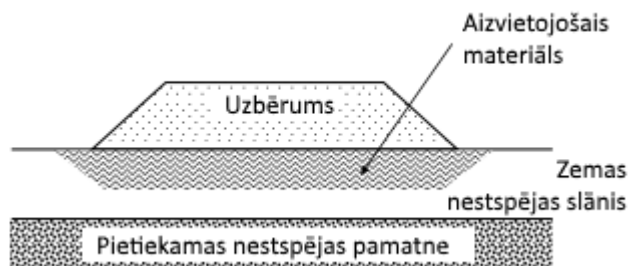
Salizturīgai kārtai uz tās virsmas ir jānodrošina CS prasību izpilde [1] norādītajiem parametriem.

Grunts aizvietošana iespējama vairākos veidos – skat. zemāk:

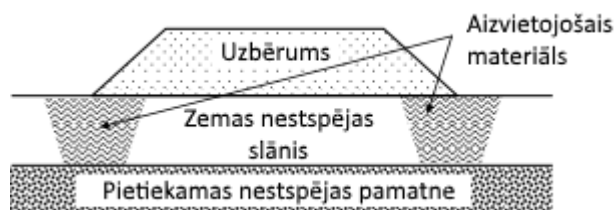
1. Vājā slāņa ekskavācija pilnā augstumā zem uzbēruma – tiek uzlabota pamatnes nestspēja un samazināta deformējamība, uzlabota nogāzes noturība;
2. Vājā slāņa ekskavācija nepilnā augstumā zem uzbēruma – tiek samazināta pamatnes deformējamība;
3. Vājā slāņa ekskavācija pilnā augstumā zem uzbēruma malējām daļām – tiek ierobežotas vājā slāņa sāniskās deformācijas un uzlabota nogāzes noturība.



6.1. attēls. Scenārijs 1. Ekskavācija pilnā augstumā. [41]



6.2. attēls. Scenārijs 2. Ekskavācija nepilnā augstumā. [41]



6.3. attēls. Scenārijs 3. Ekskavācija zem malējām uzbēruma daļām. [41]

Pamatnes stiprību zem uzbēruma nosaka, pārbaudot nogāzes noturību. Tās aprēķina principi ir aprakstīti 7.3.4. sadaļā.

### 6.3.2. Projekta izstrāde, izmantojot zemāka blīvuma materiālu

Kā iepriekš minēts, alternatīva grunts aizvietošanai ir zemāka blīvuma materiāla izmantošana. Nepieciešamā informācija projekta izstrādei un sasniedzamie rezultāti uzskaitīti zemāk redzamajā tabulā.

6.4. tabula. Nepieciešamie izejas dati un iegūstamie rezultāti, projektējot uzbēruma izveidi ar zemāka blīvuma materiālu [42]

<b>Sasniedzamo darba rezultātu parametri</b>	Pieļaujamā sēšanās
	Nogāzes stabilitāte
	Pretestība pret hidrostatiskā spiediena radītu pacelšanos
	Pretestība pret izslīdēšanu
<b>Pamatnes rādītāji</b>	Informācija par pamatnes slāņiem
	Gruntsūdens līmeņa rādītāji

	Porainības koeficients
	CPT rezultāti
	Nedrenētā bīdes pretestība
	Deformāciju modulis
	Puasona koeficients
<b>Slogošanas parametri</b>	Satiksmes slodze
	Uzbēruma augstums un izmantojamie materiāli
	Hidrostatiskais spiediens
<b>Materiālu parametri</b>	Aizvietojošā materiāla veids
	Aizvietojošā materiāla blīvums
	Materiāla degamība (uzliesmojamība)
	Materiāla ūdens saturs
	Drenāžas slāņa materiāls, tā parametri
	Materiāla šūde
	Ietekme uz materiālu no naftas produktiem
	Materiāla spiedes/ lieces pretestība, deformāciju modulis
	Materiāla iekšējās berzes leņķis
	Saiste

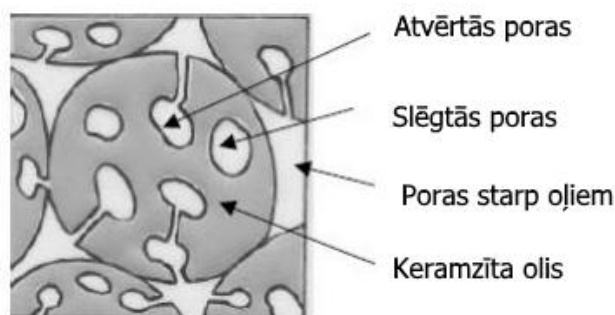
Šajā sadaļā tiek apskatīti šādi materiāli:

- Keramzītbetona oļi;
- Putupolistirola bloki.

Keramzīts ir oļiem vai šķembām līdzīgs šūnu uzbūves porains materiāls, kuru iegūst, apdedzinot viegli kūstošus māla iežus, kas porizējas, tos strauji sakarsējot. Augstā temperatūrā granulas uzpūšas un no virspuses sadeg, veidojot slēgtas poras. Keramzīts nesatur videi kaitīgas vielas, tas ir ar neitrālu pH vērtību, ir ar zemu siltumvadītspēju (0,1-0,14 W/mK), kā arī ir noturīgs pret ūdeni un ķīmikālijām [43] Keramzīta oļu izmērs variē robežās 0 – 32 mm, tomēr priekš grunts aizvietojamā materiāla to ieteicamā frakcija ir 10-20 mm [44].



6.4. attēls. Keramzīta oļi



6.5. attēls. Keramzīta oļa mikrostruktūra [45]



Keramzītbetona oļu fizikālie un mehāniskie parametri un testēšanas metodes uzskaitītas zemāk redzamajā tabulā.

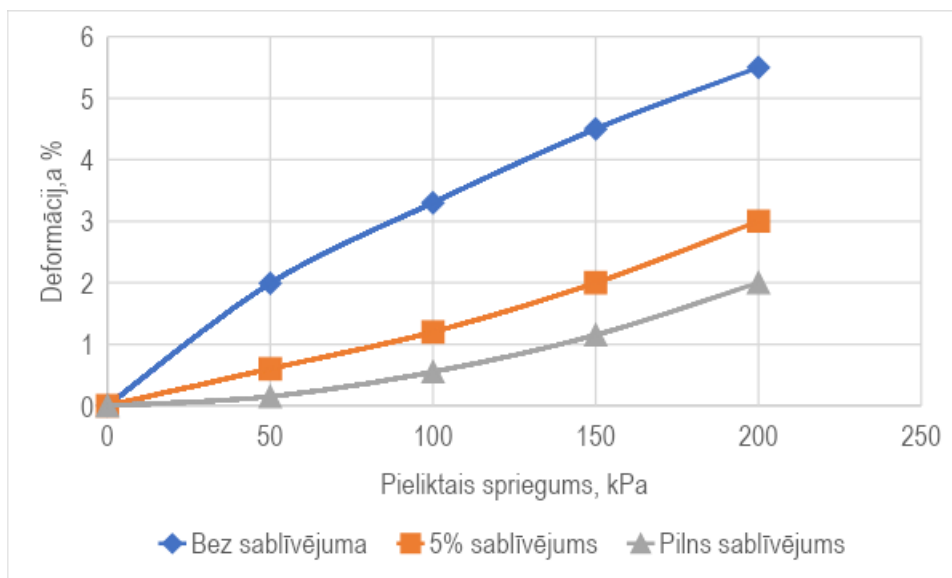
6.5. tabula. Fizikāli mehāniskie parametri keramzīta oļiem [46]

Parametrs, mērvienība	Standarts	Orientējošā vērtība
Daļiņu blīvums ( $\text{kg/m}^3$ )	EN 1097-6	750
Vienmērīguma koeficients ( $D_{60}/D_{10}$ )	EN 933-1;2	1,2
$D_{10}$ , mm	EN 933-1;2	10
Sausa materiāla lielapjoma blīvums ( $\text{kg/m}^3$ )	EN 1097-3	280
Tilpuma samazinājums pēc materiāla sablīvēšanas, %	-	10
Sausa materiāla lielapjoma blīvums pēc sablīvēšanas ( $\text{kg/m}^3$ )	-	310
Vidējais mituma saturs materiāla piegādes brīdī, %	EN 1097-3	7-15
Ilgtermiņa mituma saturs virs gruntsūdens līmeņa esošam materiālam, %	EN 1097-3	25
Ilgtermiņa mituma saturs ūdenī iegremdētam (zem gruntsūdens līmeņa) materiālam, %	EN 1097-3	40
Ilgtermiņa blīvums virs gruntsūdens līmeņa esošam materiālam ( $\text{kg/m}^3$ )	-	3,75
Ilgtermiņa blīvums ūdenī iegremdētam (zem gruntsūdens līmeņa) materiālam ( $\text{kg/m}^3$ )	-	8,35
Iekšējais berzes leņķis, grādi	Trīsasu testi	37
Saiste ( $\text{kN/m}^2$ )	Trīsasu testi	0
Vienass deformāciju (stingruma) modulis pirms materiāla sagraušanas, MPa	Odometru testi	15-20
Materiāla spiedes stiprība pirms daļiņu sagraušanas ( $\text{kN/m}^2$ )	Odometru testi	100

Ņemot vērā keramzītbetona oļu struktūru, šis materiāls daudzējādā ziņā atšķiras no dabiskajiem augsnes materiāliem. Oļu porainības dēļ, pēc to iegremdēšanas šķidrumā tie uzsūc mitrumu – pieredze ar materiālu Skandināvijā liecina, ka ilgtermiņa maksimālais mitruma saturs keramzīta oļiem virs gruntsūdens līmeņa ir aptuveni 25%, tāpēc aprēķinos ieteicams pieņemt blīvuma vērtības, atbilstošas šādam mitruma saturam. Keramzīta oļus nav ieteicams izvietot zem gruntsūdens līmeņa, tomēr teritorijās, kuras pakļautas applūšanai, uzbēruma apakšējās daļas var būt īslaicīgi ūdens piesātinātas. Tādā gadījumā mitruma saturs var pieaugt līdz aptuveni 40%, attiecīgi palielinoties arī blīvumam, tomēr, ņemot vērā oļu labās drenēšanas spējas, mitruma saturs pēc ūdens līmeņa pazemināšanās arī strauji samazinās. Teritorijās, kuras mēdz applūst, virs keramzīta oļu slāņa nepieciešams izvietot augstāka blīvuma materiālu tādā apjomā, lai nenotiktu uzbēruma pārvietošanās. [46]

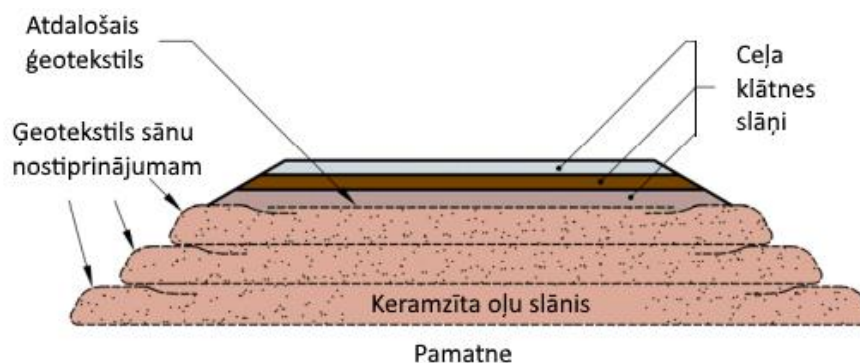
Keramzīta oļu stingrība un nestspēja ir salīdzināma ar parastajiem minerālmateriāliem ar nosacījumu, ka spriegumstāvoklis oļos nerada to lokālu sagraušanu. Keramzīta oļu

mehāniskās īpašības var atšķirties starp dažādiem ražotājiem un granulometrijas, kā arī to nestspēja ir atkarīga no oļu sablīvējuma pakāpes. Parasti keramzīta oļus var sablīvēt par 10 līdz 15% no irdenā blīvuma, būtiski nesaspiežot keramzīta oļus. Aptuvenā spriegumu – deformāciju līkne pie dažādām sablīvēšanas pakāpēm parādīta zemāk redzamajā attēlā.

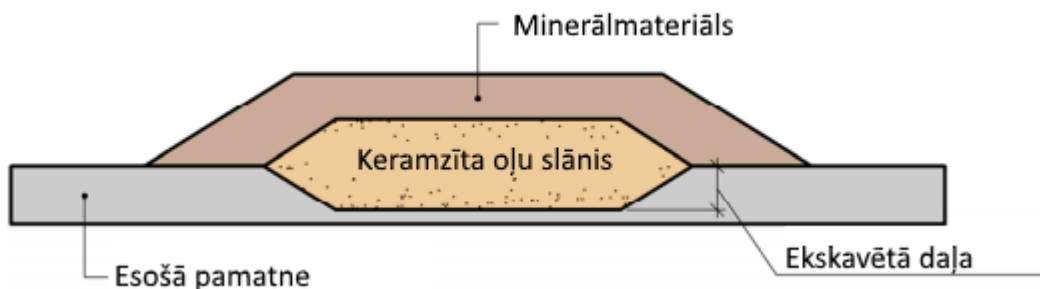


6.6. attēls. Keramzīta oļu spriegumu-deformāciju līkne pie dažādām sablīvējuma pakāpēm. [47]

Ja nav citu papildus nosacījumu, virs keramzītoļu slāņa nepieciešams izbūvēt vismaz 30 cm biezu augškārtu (papildus minerālmateriāls un ceļa sega), lai nodrošinātu vienmērīgāku slodzes sadalījumu uz oļiem. Tāpat, lai ierobežotu nevienmērīgas deformācijas uzbēruma malās, nepieciešams izvietot ģeotekstilu un/ vai minerālmateriāla slāni, vismaz 50 centimetrus biezu. [47]

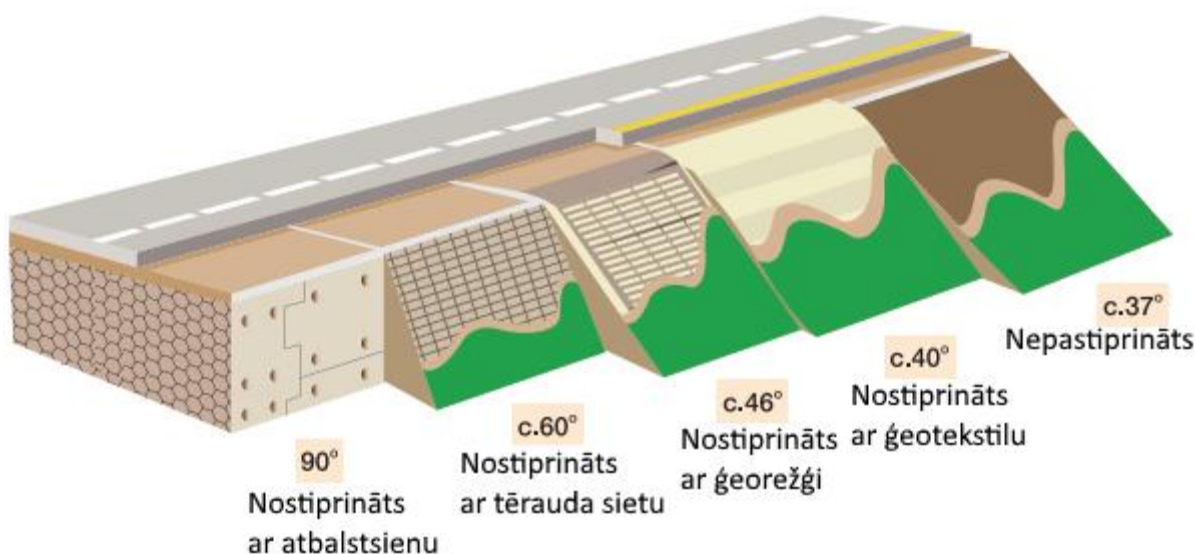


6.7. attēls. Keramzīta oļu uzbēruma risinājums ar nogāzēm, nostiprinātām ar ģeotekstilu. [48]



6.8. attēls. Keramzīta oļu uzbērums ar papildus minerālmateriāla slāni sānos. [48]

Uzbēruma nogāzes stabilitāte bez papildus mehāniskajiem līdzekļiem (neskaitot sāna minerālmateriāla virsslāni) tiek nodrošināta pie aptuveni 37 grādu nogāzes slīpuma (keramzīta oļu iekšējais berzes leņķis), savukārt, ja ir nepieciešama stāvāka nogāze, to ir iespējams panākt ar papildus ģeotekstila vai ģeorežģa kārtām. Ja nogāzes slīpums pārsniedz 60 grādus, nepieciešams tērauda režģa vai atbalstsienas konstrukcijas pastiprinājums [49].



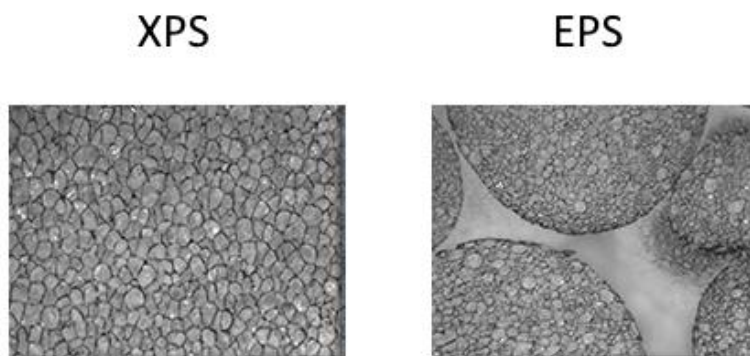
6.9. attēls. Iespējami risinājumi nogāzes stabilitātes nodrošināšanai pie dažādiem nogāzes slīpumiem [49]

Keramzīta oļus iespējams izvietot kā izlīdzinošo slāni zem putupolistirola blokiem.

Putupolistirola bloki kā grunts aizvietošanas materiāls ir ar viszemāko tilpumsvaru, kas atkarībā no nestspējas ir aptuveni 10–50 kg/m<sup>3</sup> jeb 40–100 reizes mazāk par klasiski aizvietošanai izmantojamās grunts (smilts, šķembas) tilpumsvaru.

Putupolistirola bloki pēc to struktūras iedalās:

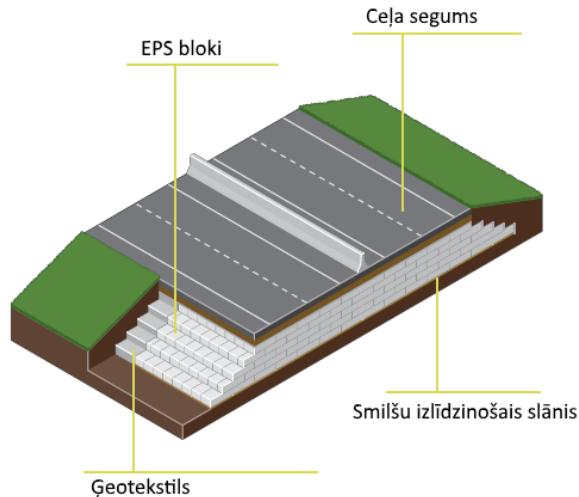
- Ekstrūzijas jeb ekstrudētais putupolistirols (turpmāk *XPS* – *Extruded polystyrene* – no angļu val.);
- Šūnu putupolistirols (turpmāk *EPS* – *Expanded polystyrene* – no angļu val.)



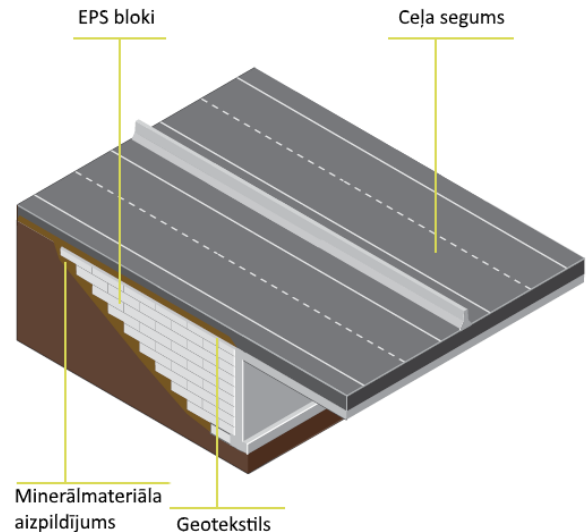
6.10. attēls. Putupolistirola bloku mikrostruktūra (*XPS*; *EPS*) [50]

Iepriekšminēto putupolistirola bloku veidi atšķiras pēc to izmantotā uzpūšanas reaģenta un ražošanas tehnoloģijas [51]. Kā tas ir redzams 6.10. attēls, *XPS* bloku mikrostruktūra ir blīvāka, jo putupolistirola granulas cieši piekļaujas cita citai, savukārt *EPS* blokiem ir raksturīgāka lielāka porainība, kas palielina putupolistirola bloku spēju uzņemt ūdeni. Tomēr kā materiālam grunts aizvietošanai, tieši *EPS* ir vairākas priekšrocības – atšķirībā no *XPS* tas nesatur papildu krāsvielas, tādējādi ir videi draudzīgāks, kā arī no *EPS* ir iespējams izgatavot lielāka biezuma blokus un tie ir lētāki [52], tāpēc turpmākajā pētījumā padziļināti tiks apskatīti *EPS* bloki.

*EPS* bloki kā grunts aizvietojamais materiāls tiek izmantoti kopš 20. gadsimta 60. gadiem, un to izmantojums, salīdzinot ar citiem materiāliem, ir relatīvi mazs, kaut arī *EPS* blokiem ir priekšrocība tos lietot dažādos sarežģītos inženiertehniskos apstākļos, kad nepieciešams nodrošināt iespējami mazāku uzbēruma vai grunts apmaiņas materiāla svaru.

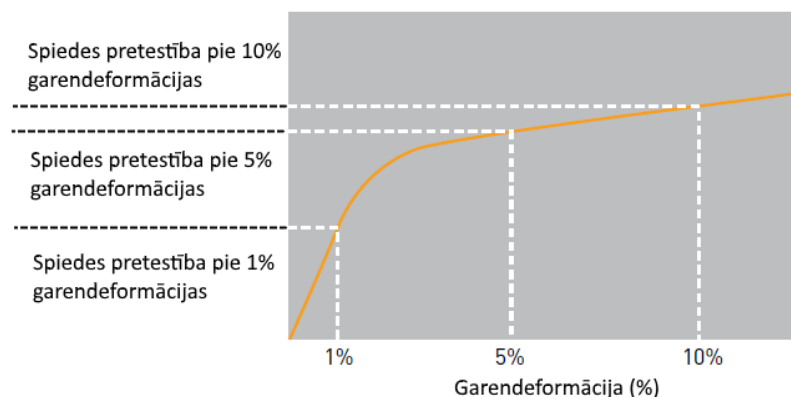


6.11. attēls. EPS bloku izmantošana zem ceļa klātnēm [53]



6.12. attēls. EPS bloku izmantošana pie atbalstsienu konstrukcijām [53]

EPS bloku fizikāli mehāniskie parametri ir doti ASV materiālu testēšanas biedrības (American Society of Testing and Materials – no angļu val., turpmāk ASTM) standartā D6817 “Standarta specifikācijas priekš cietā šūnu polistirola”, kur norādīts materiāla tilpumsvars, kā arī stiprība spiedē pie dažādām relatīvajām garendeformācijām. Kā norāda ražotāji [53], EPS bloki uzskatāmi par elastīgu materiālu līdz aptuveni 1% relatīvajām garendeformācijām, tāpēc slodzi uz blokiem ir būtiski ierobežot līdz tehniskajās specifikācijās norādītajai spiedes stiprībai pie minētās garendeformācijas vērtības, kuru pārsniedzot iespējams saskarties ar pārmērīgām deformācijām, kā arī šļūdi (deformāciju palielināšanos pie nemainīga slogojuma). Materiāla šķērsdeformāciju (Puasona) koeficients ir aptuveni 0,12.



6.13. attēls. EPS bloku principiāla spriegumu – deformāciju līkne [53]

Fizikāli mehāniskie parametri EPS blokiem uzrādīti zemāk redzamajā tabulā.

6.6. tabula. Fizikāli mehāniskie parametri EPS blokiem saskaņā ar ASTM D6817

Rādītājs	Mērv.	EPS12	EPS14	EPS19	EPS22	EPS29	EPS39	EPS46
Tilpummasa	Kg/m <sup>3</sup>	11,2	14,4	18,4	21,6	28,8	38,4	45,7
Spiedes stiprība pie $\epsilon=1\%$	KPa	15	25	40	50	75	103	128
Spiedes stiprība pie $\epsilon=5\%$	KPa	35	55	90	115	170	241	300
Spiedes stiprība pie $\epsilon=10\%$	KPa	40	70	110	135	200	276	345
Lieces stiprība	KPa	69	172	207	240	345	414	517

EPS bloki ir ūdensizturīgi, tomēr tie var tikt bojāti, saskaroties ar ķīmiskām vielām, kas uzskaitītas 6.7. tabula, tāpēc projektā nepieciešams nodrošināt nepieciešamo aizsardzību, lai nodrošinātu materiāla ilgmūžību.

6.7. tabula. EPS bloku ķīmiskā noturība pret dažādām iedarbēm [53]

EPS bloki ir noturīgi pret:	EPS bloki nav noturīgi pret:
Sārmainu vidi	Ogļūdeņradi (t. sk., hlorētu ogļūdeņradi)
Ģipsi	Organiskiem šķīdinātājiem (piemēram, acetons)
Lielāko daļu spirta izstrādājumu	Ēteri
Portlandcementu	Esteri
Silikonēļļām	Benzīnu un dīzeļdegvielu
Bitumenu bez šķīdinātāju piejaukumiem ( <i>Solvent – free bitumen – no angļu val.</i> )	Koncentrētām skābēm
	Augu eļļām
	Parafīnu
	Dzīvnieku taukiem un eļļām

Ņemot vērā, ka EPS ir ar relatīvi viegli saspiežami, virs blokiem ieteicams izbūvēt 15–20 centimetrus biezu dzelzsbetona kārtu [54], kas spēj vienmērīgi sadalīt slodzi uz putupolistirola blokiem. Tādā veidā iespējams samazināt nepieciešamo minerālmateriāla uzbēruma slāni uz EPS blokiem, kā arī dzelzsbetona plātne sniedz zināmu aizsardzību pret dažādām ķīmiskām vielām, kas varētu kaitēt putupolistirolam. Taču jāņem vērā, ka dzelzsbetona kārtas izbūve ir visai dārga, tāpēc kā alternatīva tai ir biežāks minerālmateriāla slānis virs EPS blokiem [55].



6.14. attēls. Uzbēruma, veidota no EPS blokiem, principiāls šķērsgriezums. [56]

## 6.4. Grunts apmaiņas darbu tehnoloģija

### 6.4.1. Grunts atrakšana

Grunts atrakšana ir būtiska grunts apmaiņas procesa sastāvdaļa, kurā jāapzina un jānodrošina vairāki būtiski aspekti:

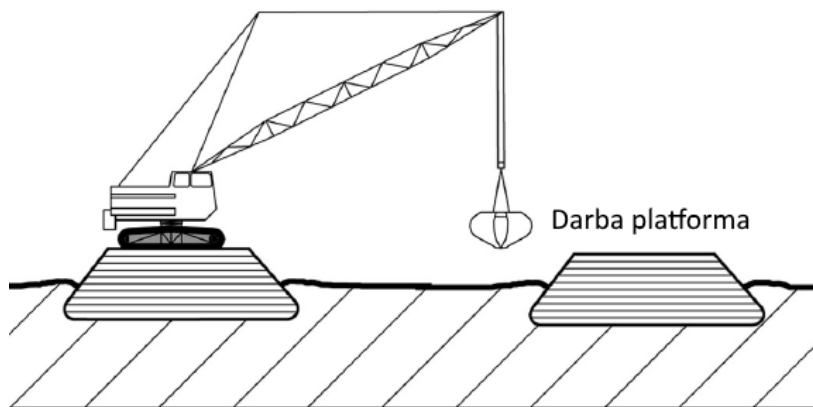
- Apmaināmās grunts slāņu ekskavāciju jāveic pēc iespējas mazākā apjomā, neietekmējot pietiekamas nestspējas zemākos grunts slāņus;
- Darbu gaitā jānodrošina būvbedres nogāžu stabilitāte;
- Regulāri jāaizgādā atraktā grunts, kā arī jāsaplāno grunts apmaiņai izmantojamā materiāla piegādes grafiks;
- Ar iepriekšēju pārbaužu palīdzību jāapzina esošais gruntsūdens līmenis un tā potenciālās izmaiņas, lai nepieciešamības gadījumā laikus veiktu gruntsūdens līmeņa pazemināšanas pasākumus.

Ja platība ap nostiprināmās grunts laukumu nav ierobežota, ir ieteicams grunti atrakt ar malu slīpumu robežās no 1:4 līdz 1:2 – atkarībā no grunts parametriem un ekskavācijas dziļuma. Ja apkārtnē ap pastiprināmo apjomu ir ierobežota, nepieciešams izmantot pagaidu atbalstsienas, tās kombinējot ar spraišļu konstrukciju. Bāzes slānim, uz kura tiks veidots jauns uzbērums, jābūt ar pietiekami zemu mitrumu, lai nodrošinātu iespējami augstu pamatnes stiprību un zemu deformatīvos rādītājus.

Veicot grunts ekskavāciju, nepieciešams nodrošināt pienācīgu darba platformu, lai ekskavators ar savu svaru pārlietu daudz nesētos vājā slānī, tāpēc reizē ar vājā slāņa ekskavāciju nepieciešams veikt minerālmateriāla atbēršanu ekskavētajā posmā tādā apjomā, lai



ar ekskavatoru būtu iespējams doties uz priekšu. Pēc darba platformas izveidošanas ekskavatoram un transportam, ar kuru tiek aizgādāts zemas nestspējas slānis, iespējams atrakt apjomu pie darba platformas sānu malām.



6.15. attēls. Darba platformas sagatavošana – teorētisks šķērs griezum. [56]



6.16. attēls. Grunts ekskavācija no sagatavotas darba platformas. [56]

#### 6.4.2. Aizvietojošā materiāla izbūve

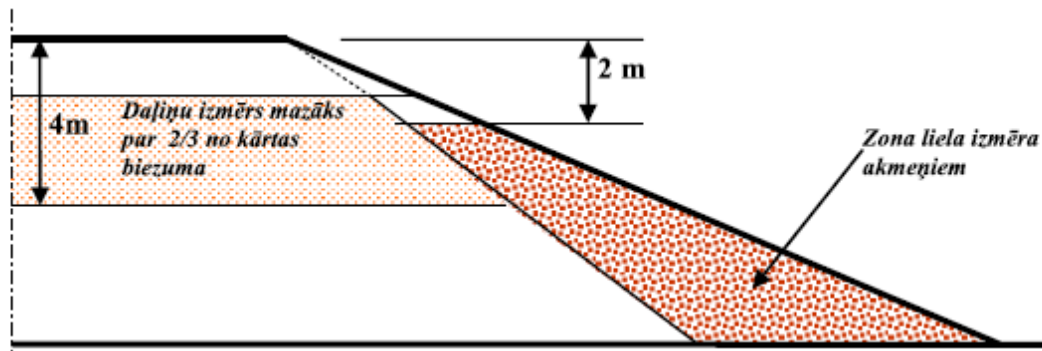
##### 6.4.2.1. Smilts, akmens un šķembas

Zemes klātnes uzbērumu var būvēt, ja gaisa temperatūra ir virs  $0^{\circ}$  C un pamatne nav sasalusi.

Uzbēruma augšējā daļā (līdz 4 metriem no ceļa virsmas) saskaņā ar Ceļu specifikācijām 2019 [1] akmeņu vai citu materiālu lielākais izmērs nedrīkst pārsniegt divas trešdaļas no vienas blīvējāmās kārtas biezuma, savukārt apakšējā daļā (zemāk par 4 metriem no ceļa virsmas)



lielākie akmeņi nedrīkst pārsniegt projektā norādīto būvējamās kārtas biezumu (skat. 6-17 attēls). Būvniecības darbi jāveic vienlaikus, gan būvējot zemes klātnes kārtas, gan kārtas nogāzes zonā.



6.17. attēls. Uzbēruma zonas [1]

Uzbērums jābūvē horizontālās kārtās. Vienā kārtā nav pieļaujams izmantot dažāda tipa gruntis. Sablīvēšanu veic, ievērojot optimālo grunts mitrumu un pieļaujamās novirzes un nepieciešamības gadījumā laistot vai žāvējot. Pirms darbu izpildes jānosaka katra izmantojamās grunts tipa Proktora blīvuma un ūdens satura attiecību izmaiņu grafiks, norādot tilpuma blīvumu, un optimālo ūdens saturu, kā arī norādot ūdens satura pieļaujamās novirzes no optimālā. Putekļainu vai mālainu grunti, ja paredzams lietus, jāblīvē ar gludo valču veltni. Lietus laikā darbs jāpārtrauc. Ja tiek prognozēts sals, nekavējoties pēc materiāla izlīdzināšanas tas jāsablvē, ieteicams izvēlēties efektīvākas blīvēšanas iekārtas un materiālu, kura optimālais ūdens saturs ir iespējami zemāks. Būvniecības gaitā jāveic efektīvi pasākumi, kas pēc iespējas vairāk samazina grunts samirkšanu. Būvējot zemes klātņi, tā laikus jāplanē un jāsablvē, izveidojot šķērskritumu, kas nodrošina ūdens novadi ārpus ceļa konstrukcijas. Ieplakas un citi lokālie iesēdumi, kuros var uzkrāties ūdens, jāpieber ar nedrenējošu grunti un jāsablvē. Katras kārtas sablīvēšana jāpabeidz pirms nākamās kārtas vai konstruktīvā slāņa būvniecības. Uzbērums zonā 4 metrus zemāk par zemes klātnes virsmu jāblīvē ar vismaz 4 veltņa pārbraucieniem pa vienu vietu, savukārt zonā līdz 4 metriem no zemes klātnes virsmas jāblīvē ar vismaz 6 veltņa pārbraucieniem pa vienu vietu. [1]

#### 6.4.2.2. Keramzīta oļi

Pirms keramzīta oļu ieklāšanas kā atdalošais slānis starp esošo grunti un keramzītu jāizvieto ģeotekstils (detalizētāku aprakstu par ģeotekstilu skatīt 13. sadaļu).

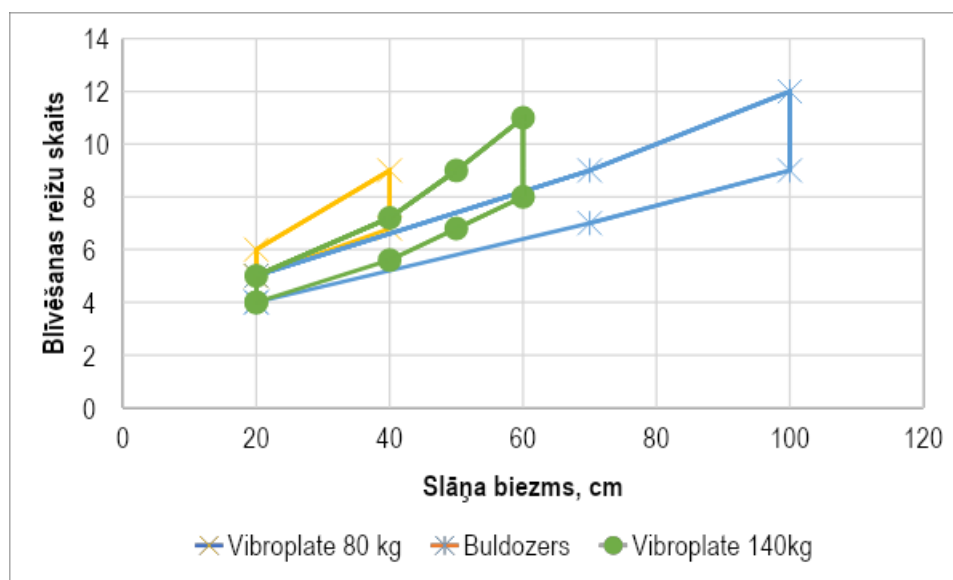
Keramzīta oļi uz objektu tiek piegādāti ar kravas transportu, tāpat kā tas tiktu darīts ar minerālmateriālu, savukārt tā izklāšanu un noblīvēšanu ieteicams veikt ar transportlīdzekļiem,

kas aprīkoti ar kāpurķēdēm, kuru spiediens uz pamatni nepārsniedz  $50 \text{ kN/m}^2$ , lai novērstu materiāla sagraušanu. Slāņus ieteicams izbūvēt kārtās, kuru biezums nepārsniedz 1 metru. Keramzīta oļu sablīvēšanas procesā jāņem vērā, ka to blīvēšanai 1 metra dziļumā pieliktā enerģija ir ekvivalenta 250 mm bieza minerālmateriāla slāņa sablīvēšanai [46] (detalizētu aprakstu par slāņu sablīvēšanu skat. 5. sadaļu). Kā iepriekš minēts, keramzīta oļus iespējams sablīvēt aptuveni par 10% no sākotnējā blīvuma, tāpēc sablīvēšanas procesā jāreķinās ar aptuveni 10 cm nosēdi par 1 metru no slāņa sākotnējā biezuma.

6.8. tabula. Keramzītoļu kārtas sablīvēšanas iekārtas un komentāri

Iekārta	Komentāri
Transportlīdzeklis ar kāpurķēdēm (buldozers, ekskavators)	Ieteicams materiāla ieklāšanu kombinēt ar blīvēšanu. Kontaktspiediens nedrīkst pārsniegt $50 \text{ kN/m}^2$
Vibroplate	Ieteicams vietās ar ierobežotu pieejamību. Lai novērstu vibroplates iegrimšanu materiālā, ieteicams izvēlēties palielinātu plati Tipiskais svars 50–140 kg, platums 50–80m, kontaktspiediens līdz $5 \text{ kN/m}^2$ , ar frekvenci 75–100 Hz

Grafiska sakarība izmantotajai sablīvēšanas tehnoloģijai un tās blīvēšanas atkārtojumu orientējošam skaitam pie noteikta slāņa biezuma parādīta zemāk:



6.18. attēls. Nepieciešamais blīvēšanas reižu skaits atkarībā no blīvēšanas tehnoloģijas un sablīvējamā slāņa biezuma. [48]

Keramzīta oļus iespējams iestrādāt arī ar saspīestu gaisu (pūšot), tādējādi materiālu jau sākotnēji noblīvējot par 4–5%, kas ļauj samazināt turpmāku blīvēšanas darbu apjomu. Izklājot keramzīta oļus ar saspīesta gaisa palīdzību, vienas kārtas biezums drīkst sasniegt 0,5 metrus,

savukārt atlikušais sablīvēšanas process norisinās tāpat kā brīvi izvērtu keramzīta oļu sablīvēšana. [46]



6.19. attēls. Keramzītoļu izklāšana ar pūšanas paņēmienu [48]



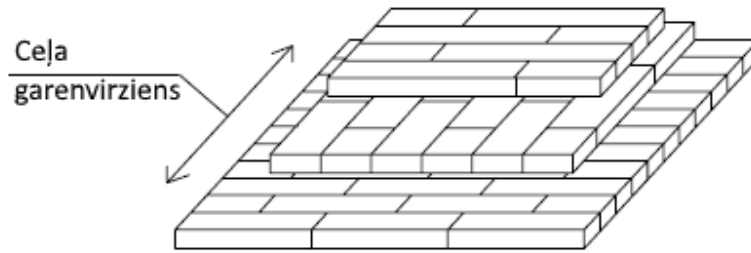
6.20. attēls. Keramzītoļu izklāšana ar kāpurķēžu ekskavatoru [48]

Virš keramzīta oļu augšējās kārtas nepieciešams izklāt ģeotekstila slāni, lai atdalītu keramzīta oļus no augšējā slāņa materiāla. Pēc augšējā minerālmateriāla slāņa izbūves, pie tā sablīvēšanas ir ieteicams izmantot kombinētos veltņus [48] (skat. 4. sadaļu).

#### 6.4.2.3. Putupolistirola bloki

Lai EPS bloku pamatni varētu uzskatīt par vienotu veselumu, būvniecības procesā nepieciešams ievērot šādus pamatnosacījumus [57]:

- Bloki savstarpēji jāsavieno, izmantojot mehāniskus savienotājlīdzekļus (gan horizontāli, gan vertikāli);
- Bloki jāizvieto tā, lai to šuves iespējami maz pārklātos ar blakus rindu, tādējādi veidojot savstarpēju nobīdi (skat. 6.21. attēls)
- Bloki jāizvieto ar to mazāko dimensiju (biezumu) vertikāli;
- Bloki jāizvieto savstarpēji cieši pret visām saskarsmes virsmām;
- Bloki jāizbūvē vismaz divās vertikālās kārtās.

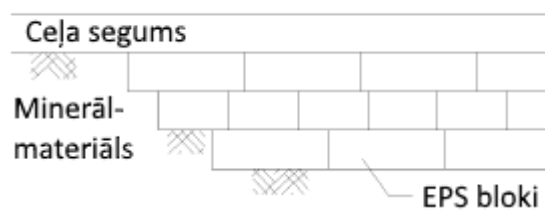


6.21. attēls. EPS bloku shematisks izvietojums [57]



6.22. attēls. EPS bloku izbūves process [53]

Posmos, kur *EPS* bloki tiek pārtraukti, to nepieciešams izdarīt pakāpeniski pa slāņiem, kā tas ir parādīts zemāk redzamajā attēlā.



6.23. attēls. *EPS* bloku izvietojuma galu principiāls risinājums [57]

Ņemot vērā bloku zemo tilpumsvaru, pēc to piegādes objektā ir jāveic bloku pagaidu nostiprināšana, lai vēja brāzmas blokus nenogāztu un neradītu tajos bojājumus.



6.24. attēls. Bloku pagaidu nostiprināšana objektā [58]

## 6.5. Kvalitātes kontrole

Uzbūvētajam zemes klātnes ierakumam vai uzbērumam, kā arī katrai uzbūvētai kārtai ir jābūt profilētai un jānodrošina pilnīga ūdens notece.

Kvalificētam personālam, saņemot būvizstrādājumus (minerālmateriāli, putupolistirola bloki vai keramzītbetona oļi), jāpārlicinās par tā tehnisko atbilstību, vispirms vizuāli apskatot atvesto preci – vai nav redzami vizuāli defekti un bojājumi vai nav acīm redzamas nesakritības ar pasūtījumu. Katram no piegādātajiem materiāliem līdzī jābūt tā ekspluatācijas īpašību deklarācijai (EID) un CE marķējumam, kas apliecina materiālu atbilstību noteiktajām mehāniskajām u.c. prasībām.

Uzbēruma izveides gaitā ir jākontrolē katra zona vai slānis, ņemot vērā projekta nosacījumus attiecībā uz sasniedzamo sablīvējuma pakāpi un citiem mehāniskajiem rādītājiem. Par sablīvējuma pakāpi ir iespējams pārliecināties gan laboratorijā, gan pēc lauka mērījumiem. Pakāpi nosakot laboratorijā, tā jāpārbauda ar kādu no sekojošajām metodēm [59]:

- Materiāla blīvums sausā stāvoklī (LVS EN 13286-2:2011 A /AC:2013 Nesaistītie un hidrauliski saistītie maisījumi. 2. daļa: Laboratorijas atsauces blīvuma un ūdens satura testēšanas metodes. Proktora sablīvēšana) vai, ja tas noteikts, ūdens satura īpatsvara mērījumi paraugā (LVS ISO 17892-1:2014 Grunšu testēšana laboratorijā: Mitruma noteikšana);
- Statiskās plātnes slogošanas tests (LVS EN ISO 22476-13 Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka izmēģinājumi. 13. daļa: Statiskās plātnes slogošanas tests);
- LVS EN ISO 22476-2:2005 /A1:2012 Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka izmēģinājumi. 2. daļa: Dinamiskā zondēšana. 1. grozījums (ISO 22476-2:2005/Amd 1:2011);

- LVS EN ISO 22476-1:2013 /AC:2013 Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Lauka izmēģinājumi. 1. daļa: Penetrācijas testi ar elektrisko un pjezokonusu. 1. tehniskais koriģējums (ISO 22476-1:2012/Cor 1:2013).’

Īpašas piezīmes keramzīta oļu slāņu izbūves kvalitātes kontrolei [46]:

- Keramzīta oļu slāņa virsmu nepieciešams vizuāli apskatīt un novērtēt iespējamās slāņa ģeometriskās novirzes un to, vai oļi izbūves procesā nav lielā apmērā sabojāti. Ja ir redzamas manāmas novirzes, jāpaņem paraugi un tie jānodod laboratorijas pābaudēm;
- Sablīvēšanas pakāpi nosaka, pārbaudot relatīvo blīvumu pret nesablīvēta materiāla blīvumu;
- Ja tiek izmantots statistiskās plātnes slogošanas tests tieši uz keramzīta oļu slāņa, nepieciešams izmantot slogošanas plātni ar diametru vismaz 0,6 metri.

Kvalitātes kontroles prasību kopsavilkums pēc kontroles kritērijiem skatāms zemāk redzamajā tabulā.

6.9. tabula. Parametri, ko nepieciešams novērtēt, projektējot un analizējot grunts aizvietošanu ar minerālmateriālu vai zemāka tilpumsvara materiālu [60]

Kontroles kritērijs	Apraksts
Materiāla kvalitātes pārbaude	Minerālmateriāla granulometrija
	Minerālmateriāla mehāniskie parametri
	Minerālmateriāla ekspluatācijas īpašību deklarācija
Darbu kvalitātes pārbaude	Ekskavētās zonas dziļuma un platuma pārbaude
	Ekskavētā materiāla tilpuma pārbaude
	Gruntsūdens līmeņa monitorings
	Pārlicināšanās par darba vides stabilitāti pēc vājā slāņa ekskavācijas
	Beramā materiāla faktiskais sablīvējums izbūves laikā un/vai EPS bloku izvietošanas un savstarpējās nostiprināšanas kontrole
Sasniedzamā rezultāta pārbaude	Pamatnes mehāniskie parametri – stingums un stiprība
	Deformāciju pieauguma ātrums

## 6.6. Cenas un izmaksas

Elektroniskajā pielikumā pievienots grunts apmaiņas metožu izmaksu aplēses algoritms. Tas paredzēts sākotnējam izmaksu novērtējumam, tas nav paredzēts citam nolūkam. Aprēķinu precizitātes un ticamības pakāpe ir tieši atkarīga no lietotāja ievadītajiem datiem, kā arī nepieciešams pievērst uzmanību specifiskiem projekta uzstādījumiem, kas var būtiski mainīt

kopējās iespējamās izmaksas. Izmaksu kalkulācijā norādītās vienību cenas ir orientējošas – to iespējamais diapazons ir atkarīgs no izbūves tehnoloģijas izvēles un citiem papildu faktoriem. Kalkulācijā iekrāsotās šūnas nepieciešams aizpildīt.

Papildu piezīmes un paskaidrojumi grunts apmaiņas izmaksu aplēses rīkam:

- Izmaksu aprēķina rīks sastāv no 3 kalkulācijām – grunts ekskavācija un aizvietošana ar minerālmateriālu; uzbēruma izbūve ar *EPS* blokiem; uzbēruma izbūve ar keramzīta oļiem;
- Grunts ekskavācijas un aizvietošanas ar minerālmateriālu izmaksu aplēsē ir iekļauts ekskavējamā un uzbēruma tilpuma aprēķins, kā arī pieskaitīts papildu nepieciešamais tilpums pieslodzes radītās sēšanās dēļ. Tāpat gadījumā, ja ir nepieciešama gruntsūdens līmeņa pazemināšana, jāpieskaita ar to saistītie izdevumi. Kalkulācijā nav iekļautas ģeotekstila izmaksas, kā arī nav ierēķināts beramā materiāla sablīvējuma koeficients;
- Uzbēruma izbūves ar *EPS* blokiem izmaksu aplēsē iekļauts ekskavējamā tilpuma aprēķins (ja nepieciešams), sagataves kārtas apjoma, kā arī *EPS* bloku un minerālmateriāla aizsargslāņa tilpuma aprēķins. Ja nepieciešams, iespējams paredzēt dzelzsbetona plātņi kā slodzi izlīdzinošu elementu – tādā gadījumā no minerālmateriāla aizsargslāņa tiek atņemts dzelzsbetona plātnes apjoms. Izmaksu aplēsē iekļauta vājās grunts ekskavācija un transportēšana uz atbērtni; sagataves kārtas izbūve; *EPS* bloku izbūve; ģeotekstila izbūve; dzelzsbetona plātnes izbūve; minerālmateriāla aizsargslāņa izbūve;
- Uzbēruma izbūves ar keramzīta oļiem izmaksu aplēses forma ir tāda pati kā uzbēruma izbūves ar *EPS* blokiem aplēse, tikai ar nomainītu pamatmateriālu – keramzīta oļiem.



## 7. B.2. GRUNTS PIESLOGOŠANA AR PAPILDU UZBĒRUMU (TAJĀ SKAITĀ IZMANTOJOT VERTIKĀLĀS DRENAS UN VAKUUM-KONSOLIDĀCIJU)

### 7.1. Vispārēji principi un lietošanas joma

Vāju saistītu grunšu konsolidāciju ar vertikālajām drenām izmanto kopš divdesmitā gadsimta divdesmitajiem gadiem. Vertikālās drenas samazina grunts porās esošā ūdens drenāžas ceļa garumu. Vēsturiski izmanto smilšu drenas, kartona vertikālās drenas, savukārt mūsdienās aizvien vairāk izmanto vertikālās drenas ar ģeotekstila apvalku, kuras tiek gatavotas rūpnieciski. Vertikālās drenas ievērojami paātrina vāju saistītu grunšu konsolidāciju zem pieslogojoša uzbēruma slodzes.

Vertikālās drenas kopā ar pieslogojošo uzbērumu galvenokārt izmanto, lai konsolidētu vājas gruntis, kurām ir zemas filtrācijas īpašības. Citi vertikālo drenu izmantošanas veidi ir papildu poru spiediena samazināšana pazemes ūdeņu plūsmas ietekmē pagaidu augsta ūdens līmeņa celšanās gadījumā, kā arī grunšu sašķidrināšanās riska mazināšanai seismiski aktīvās zonās. Izmantojot vertikālās drenas kopā ar pieslogojošo uzbērumu vai cita veida pieslodzi, tiek [35]:

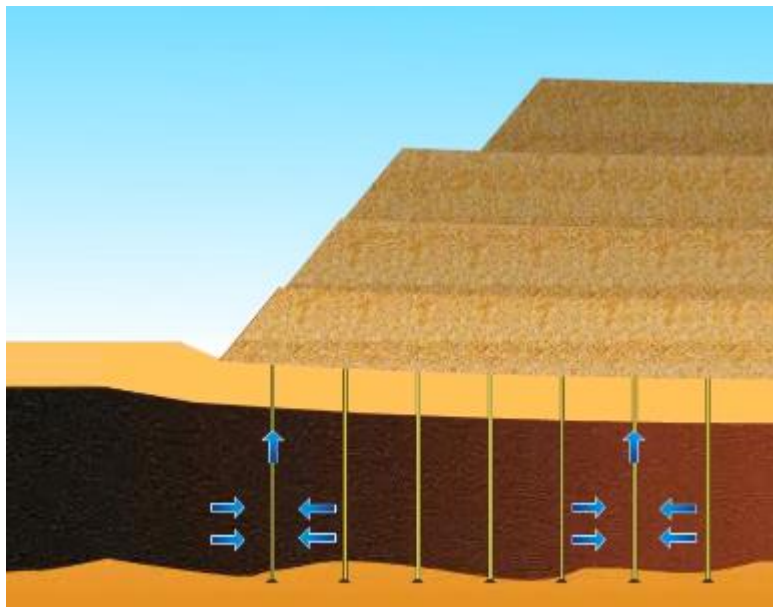
- Samazināts grunšu konsolidācijas laiks, un samazinātas iespējamās deformācijas ekspluatācijas periodā;
- Samazināts nepieciešamais pieslodzes lielums, lai noteiktā termiņā sasniegtu vajadzīgo konsolidācijas pakāpi;
- Uzlaboti grunšu mehāniskie stiprības rādītāji, tādā veidā ievērojami uzlabojot nogāzes stabilitāti.

Parasti vertikālās drenas lieto ūdens piesātinātās gruntīs ar zemu filtrāciju un zemu stingumu (deformācijas īpašībām), t.i., dažāda veida organiskas izcelsmes gruntīs (kūdra, dūņas, sapropelis) un vājās minerālajās gruntīs (putekļainas gruntis, māli) vai minerālajās gruntīs ar būtisku organisko vielu saturu. Lai vertikālās drenas pilnībā būtu efektīvas, pieslogojošajam uzbērumam vai cita veida pieslodzei jārada spriegums uz grunti, lai tas pārsniegtu pirms-konsolidācijas spriegumu.

Vertikālo drenu izbūves mērķis ir paātrināt konsolidāciju zem uzbērumiem, ko izmanto ne tikai zemes līmeņa paaugstināšanai, bet arī dažāda veida ceļu, viaduktu, tiltu estakāžu



uzbērumiem, kuri izbūvēti vietās, kur zemes klātnē sastopamas vājas saspiežamas saistītas gruntis ar vājām filtrācijas īpašībām un prognozējamās kopējās deformācijas pārsniegs noteiktās robežas. Vertikālās drenas ļauj zemas nestspējas slāņos esošajam ūdenim ātrāk nokļūt virspusē, tādā veidā pakāpeniski palielinot spriegumu uz grunts skeletu. Pieslogojot grunts masīvu, saistīgā gruntī esošais ūdens vispirms pārvietojas horizontāli starp slāņiem ar zemu vertikālās filtrācijas spēju, līdz tas sasniedz vertikālo drenu, pa kuru pieslodzes radītā virsspiediena rezultātā ūdens plūst uz augšu (skatīt 7.1. attēls). Uzbērums tiek veidots atbilstošā augstumā, ieskaitot plānoto uzbēruma augstumu, kompensācijas daļu, kas veidojas, uzbērumam deformējoties, un pieslodzes daļu, kas atkarīga no plānotās transportlīdzekļu slodzes. Uzbēruma pieslodzes daļa, kas noteikta ekvivalenta transporta slodzei, pēc zemes klātnes konsolidācijas beigām tiek noņemta.



7.1. attēls. Ūdens plūsmas virziens pieslodzes rezultātā, izmantojot vertikālās drenas [61]

Kā viena no senākajām metodēm atzīmējama smilšu drenu izveides metode, tās patents tika iegūts 1933. gadā Kalifornijas ceļu un materiālu testēšanas un pētniecības departamentā, kur veica laboratorijas un lauka testus [62], [63]. Smilšu drenu izbūve pēc savas būtības nozīmē daļēju grunts aizvietošanu ar augstākas nestspējas grunts materiālu, kas parasti tiek izbūvēts visā vājā slāņa biezumā. To ņemot vērā, smilšu drenām bez uzlabotas vertikālās drenāžas spējas ir vairākas citas noderīgas funkcijas, kuru dēļ šo metodi izmanto – tādas kā grunts sablīvēšana un pastiprināšana, kā arī vertikālo spriegumu pārdalīšana. [35] Lai arī, kā iepriekš minēts, dažāda veida smilšu drenas nodrošina vāju saistītu grunšu konsolidāciju zem pieslogojoša uzbēruma, ir atklātas metodes (aprakstītas zemāk) ar augstāku efektivitāti un zemākām izmaksām, tāpēc smilšu drenu izbūve ar nolūku tikai paātrināt konsolidācijas ātrumu netiek

uzskatīta par ekonomiski pamatotu risinājumu. Plašāku informāciju par pamatnes pastiprināšanu ar smilšu drenām (grunts kolonnām) skatīt C.1 nodaļā.

20. gadsimta 30. gados, neilgi pēc smilšu drenu atklāšanas, Zviedrijas Ģeotehnikas institūta direktors [62] sāka izmantot iepriekš izgatavotās vertikālās drenas, jo nebija pietiekami labi drenējošu smilšu resursi. Šīs drenas sastāvēja no trim kartona slāņiem, kur divi malējie pildīja filtrējošu funkciju, bet vidējais kalpoja kā 10-kanālu atdalošais slānis. Drena bija apmēram 10 cm gara un 3 mm bieza. Šādas drenas Zviedrijā izmantoja pēc 1939. gada, kad tika izgatavota speciāla iekārta to izbūvei. Vēlāk šādas drenas izmantoja arī citās valstīs. Neskatoties uz iepriekš paveikto, Zviedrijā atgriezās pie smilšu drenu izmantošanas, jo vertikālajām drenām bija salīdzinoši zema filtrācija, vāja spiediena izturība un zema ūdens caurteces spēja. Zviedrijas Ģeotehnikas institūta direktora kolēģis ticēja, ka iepriekš izgatavotajām vertikālajām drenām ir potenciāls attīstīties, un 1972. gadā patentēja *Geodrain*. Šīs drenas bija ļoti līdzīgas kartona drenām, taču to uzbūve atšķīrās. *Geodrain* sastāvēja no plastmasas centrālās daļas ar 27 gropēm, kas nodrošina ūdens drenāžu, un apkārtesošu filtrpapīru. Neilgi pēc tam Japānā tika izgudrotas līdzīgas plastmasas vertikālās drenas, bet ar ģeotekstila, nevis filtrpapīra apvalku [25].

Var tikt izmantoti trīs alternatīvie risinājumi rūpnieciski izgatavotajām vertikālajām drenām:

- Konsolidācijas laiks nav būtisks un nav nepieciešams to samazināt;
- Izmanto citus grunts pastiprināšanas risinājumus, lai slodzi pārnestu no saspiežamā slāņa uz dziļākiem grunšu slāņiem;
- Var samazināt slodzi uz ceļa konstrukcijas zemes klātni ar atvieglojošu uzbērumu, izmantojot vieglus materiālus.

Pirmajā gadījumā gruntis var tikt konsolidētas ar pieslogojošo uzbērumu bez vertikālajām drenām, ja filtrācijas īpašības vai slāņa biezums to ļauj veikt paredzētajā laikā. Savukārt, ja gruntis netiek konsolidētas vai tikai daļēji konsolidētas, iespējams paredzēt un plānot lielākas uzturēšanas izmaksas ceļa konstrukcijas kalpošanas laikā.

Pastāv virkne citu grunšu pastiprināšanas metožu kā alternatīva vertikālajām drenām, lai pārnestu slodzi uz dziļākiem grunšu slāņiem:

- Betona stingie pastiprinājumi;
- Grunts pāļi;
- Grunts dziļās stabilizācijas kolonnas;

- grunts apmaiņa (skatīt 6. sadaļu).

## 7.2. Priekšrocības un trūkumi

Galvenās vertikālo drenu tehnoloģijas izmantošanas priekšrocības un trūkumi apkopoti 7.1. tabula.

7.1. tabula. Vertikālo drenu metodes priekšrocības un trūkumi

Metodes priekšrocības	Metodes trūkumi
Zemas izmaksas: Parasti rūpnieciski izgatavotās vertikālās drenas ir ievērojami lētākas salīdzinājumā ar minerālmateriāla (smilts, grants u.c.) drenām	Izbūves masta augstums: Lai iebūvētu iepriekš izgatavotās VD, izbūves masta augstumam jābūt 1,5–3 m augstāk par plānoto VD izbūves dziļumu
Izbūves ātrums: Vienā maiņā ar vienu izbūves mašīnu iespējams izbūvēt vidēji 4000 m vertikālo drenu	Materiāla uzglabāšanas nosacījumi: Iepriekš izgatavoto VD materiālu ietekmē saules gaisma, tāpēc tas atbilstoši jāglabā. Saules gaismai ir būtiska ietekme uz ģeotekstila apvalku, taču tikai tad, ja tieša iedarbība ir ilgāka par 1 mēnesi
Drenas mehāniskā stiprība: Rūpnieciski izgatavotās vertikālās drenas nodrošina nepārtrauktu drenāžas ceļu, pat ja zemes klātnes deformāciju rezultātā ir būtisks vertikālo drenu sāniskais pārvietojums	Iespējama priekšurbšana Ja virs vai starp konsolidējamajiem grunšu slāņiem atrodas blīvi grunšu slāņi (blīva smilts, ciets māls vai citi), tad VD izbūves laikā nepieciešama priekšurbšana vai drenu ieskalošana
Minimāla grunts struktūras traucēšana: Izbūvējot VD no speciāla masta, gruntis praktiski netiek traucētas un nerodas deformācijas to izbūves laikā	
Droša izbūves kontrole: VD izbūves kvalitātes kontrole ir vienkārša, jo tiek nodrošināta drenas strukturālā noturība un drenēšanās ceļa nepārtrauktība. Svarīgi nodrošināt pietiekami labu drenas enkurojumu augšējā daļā un sasniegt nepieciešamo izbūves dziļumu	
Izbūves iekārtu fleksibilitāte: Ir dažāda veida VD izbūves tehnoloģijas un iekārtas (būvmašīnas, masti un citas palīgiekārtas). Parasti drenas iebūvē ar statisku (iespiežot) vai dinamisku (ievibrējot) metodi. Gruntīs ar ļoti zemu nedrenēto bīdes pretestību var izmantot vieglas konstrukcijas būvmašīnas un VD izbūves mastus	
Mazais vertikālo drenu izmērs un svars: Iepriekš izgatavotās vertikālās drenas parasti piegādā ruļļos, kur katrā ruļlī ir 150–300 m VD. Ruļļa diametrs ir apmēram 1 m, bet platums 10 cm, tāpēc tās ir viegli pārvietot un uzglabāt	
Netiek radīts lieka materiāla apjoms, kas jāpārvieto:	

Metodes priekšrocības	Metodes trūkumi
Tikai tad, ja tiek veikta priekšurbšana, var rasties papildu liekā materiāla apjoms, kas jāpārvieta. Var izmantot arī skalošanas metodi, ja tas iespējams.	
<p>Sekundārā konsolidācija:</p> <p>Sekundārā konsolidācijas jeb grunts šļūdes laikā grunts deformācija notiek, grunts daļiņām pārorientējoties ar nemainīgu spriegumu. Svarīgi novērtēt sekundārās konsolidācijas apmēru un ilgumu. Sekundārā deformācija tiek ierobežota, papildu uzbērumu vai cita veida pieslodzi noturot ilgāku laiku vai palielinot pieslodzes sprieguma lielumu</p>	

### 7.3. Vertikālo drenu izbūves projekta izstrāde

Vertikālo drenu izbūves projekts sastāv no šādiem izstrādes posmiem:

1. Izejas datu apzināšana – ģeoloģija, nepieciešamais uzbēruma augstums un laiks, kādā paredzēts sasniegt pasūtītāja noteikto grunts konsolidācijas pakāpi;
2. Pastiprināšanas metodes un materiālu izvēle atkarībā no pamatnes nestspējas parametriem;
3. Masīva sēšanās aplēse (deformācijas primārās un sekundārās konsolidācijas periodā);
4. Drenu izvietojuma projektēšana, vadoties pēc izejas datiem;
5. Uzbēruma konstrukcijas projektēšana – nepieciešamā ģeorežģa aprēķins un nogāzes stabilitātes pārbaude.

#### 7.3.1. Izejas datu apzināšana

Lai varētu veiksmīgi izstrādāt drenu izbūves projektu, nepieciešams zināt vairākus būtiskus nosacījumus, kā arī nepieciešams definēt projektā norādāmo informāciju. Galvenie izejas dati un projektā norādāmā informācija uzrādīta zemāk apskatītajā tabulā.

7.2. tabula. Drenu izbūves projekta galvenie izejas dati un projektā norādāmā informācija (rezultāti) [64]

Izejas dati	Sasniedzamo darba rezultātu parametri	Sēšanās ātrums
		Sēšanās apjoms
		Nedrenētā bīdes pretestība
	Pamatnes rādītāji	Pastiprināmās pamatnes apjoms
		Gruntsūdens līmeņa rādītāji
		Sākotnējais poru spiediens uz pamatnes dziļumu
		Vertikālā, horizontālā ūdens caurlaidība, kā arī ūdens caurlaidība apvalkcaurules ietekmētajā zonā
		Porainības koeficients

		Sākotnējais blīvums
		Mitruma saturs
		Organisko vielu saturs
		Saspiežamības un sekundārās saspiežamības indeksi
		Horizontālās un vertikālās konsolidācijas koeficienti
		Grunts sāniskais spiediens miera stāvoklī
		Aterberga robežas
		CPT rezultāti
		Nedrenētā bīdes pretestība
		Deformāciju modulis
		Puasona koeficients
	Slogošanas parametri	Transporta slodze
		Uzbēruma augstums un izmantojamie materiāli
	Materiālu parametri	PVD hidrauliskie parametri ( <i>permittivity</i> )
		PVD mehāniskie parametri
		PVD caurlaides spēja ( <i>discharge capacity</i> )
		Drenu caurlaidi ietekmējošie parametri
		Drenāžas slāņa materiāls, tā parametri
	Izbūves tehnoloģijas	PVD izbūves tehnoloģija
Slogošanas pakāpes		
Sasniedzamie rezultāti/ projektā norādāmā informācija	Drenu izvietojuma solis	
	PVD garums	
	PVD platums un biezums	
	Drenāžas slāņa biezums (minerālmateriālam) vai horizontālo drenu solis un ģeometrija	
	Primārās/ sekundārās konsolidācijas koeficients	
	Virsslodzes slogojuma augstums	

### 7.3.2. Izmantojamie materiāli un pastiprināšanas metodes izvēle

Lai novērtētu, vai vertikālās drenas ir vispiemērotākā metode ceļa konstrukcijas zemes klātnes pastiprināšanai, pirms būvdarbu veikšanas nepieciešams novērtēt grunšu fizikāli mehāniskos parametrus, vides nosacījumus, kā arī ceļa posma stāvokli un izbūves nosacījumus.

Tas, cik augsts ir paredzēts attiecīgais uzbērums, ietekmē pastiprināšanas metodes izvēli, jo vertikālās drenas nodrošina tikai augstāku ūdens filtrācijas spēju, respektīvi, tās tūlītēji neuzlabo pamatnes nestspējas rādītājus, savukārt pārlietu liela slodze no uzbēruma uz pamatni var izraisīt nogāžu stabilitātes zudumu. Tāpēc gadījumā, ja pamatnes nestspēja nav pietiekama paredzētā uzbēruma augstumam, nepieciešams izvērtēt citas pastiprināšanas metodes.

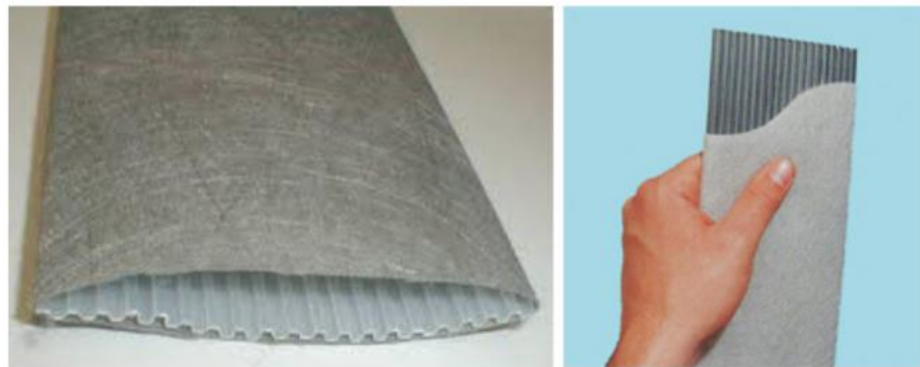
Galvenie izmantojamie materiāli šai metodei:

- Plastmasas vertikālās drenas ar ģeotekstila apvalku;

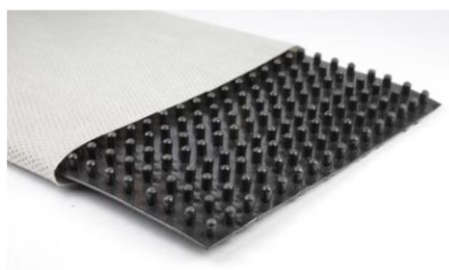
- Drenāžas materiāls – minerālmateriāli (smilts, šķembas) vai rūpnieciski izgatavota horizontālā lokšņu drenāžas sistēma;
- Ģeotekstils zem uzbēruma kā atdalošais elements;
- Ģeorežģis nogāžu nostiprināšanai gadījumos, ja nogāžu stabilitāte ir nepietiekama (skat. E.1 nodaļu).

Rūpnieciski izgatavotā drena (turpmāk – PVD) sastāv no profilētas plastmasas kodola, kuram ir apvilks filtrējošs ģeotekstila materiāls. Vertikālā drena nodrošina augstas ūdens filtrācijas spējas kanālu, kas augšup vadītu poru virsspiediena rezultātā radīto ūdens plūsmu. PVD ir speciālas formas, lai nodrošinātu ūdens drenāžu vertikālā virzienā visā tās garumā. Parasti PVD ir aptuveni 100 mm plata un 3–10 mm bieza.

Pieejami vismaz 50 rūpnieciski izgatavoto vertikālo drenu veidi, tomēr vispopulārākās ir ribota veida (skat. 7.2. attēls) vai izciļņu veida (skat. 7.3. attēls) drenas. Parasti ekonomiski izdevīgākas un biežāk lietotas ir ribotas plastmasas veida drenas. [25]



7.2. attēls. Ribota veida PVD [25]



7.3. attēls. Izciļņu veida PVD [25]

Ģeotekstila apvalka pamatfunkcija ir aizsargāt drenas kodolu no grunts daļiņām, tajā pašā laikā ļaujot brīvi caur to filtrēties ūdenim. Ģeotekstila sieta acs izmēru izvēlēlas atkarībā no tā, kā tiek paredzēta PVD darbība.

Abas iepriekš minētās sastāvdaļas – apvalks un kodols – raksturo drenas filtrācijas spēju, tāpēc projektā, izvēloties konkrētu drenas veidu, nepieciešams definēt:

- Apvalka filtrācijas spēju;

Ja tiek pieļauta tikai minimāla grunts daļiņu caurlaidība, tad filtram jābūt ar nelielu acs izmēru, lai tas nodrošinātu minētās prasības, savukārt, ja tiek paredzēts, ka grunts daļiņas ap ģeotekstila filtru arī darbosies kā filtrējošs elements, iespējams palielināt acs izmēru.

7.3. tabula. Vertikālās drenas apvalka hidrauliskās īpašības [65], [66]

Parametrs, mērvienība	Standarts	Orientējošā vērtība
Sieta acs atvērums $O_{90}$ , mm	EN ISO 12956	0,06–0,10
Ūdens caurlaidība, mm/s	EN ISO 11058	20–70

- VD mehāniskos parametrus (elementa nestspēja stiepē, deformatīvie rādītāji sāniskā spiediena ietekmē u.c.);

Vertikālās drenas mehāniskie parametri un orientējošās vērtības uzskaitītas zemāk redzamajā tabulā.

7.4. tabula. Vertikālās drenas mehāniskie parametri [65], [66]

Parametrs, mērvienība	Standarts	Orientējošā vērtība
Drenas stiepes pretestība, kN	EN ISO 10319	2,5–3
Relatīvais pagarinājums pie 1kN slodzes, %	EN ISO 11058	1,5–3

- VD ūdens caurlaides spēju;

Plastmasas vertikālās drenas caurlaides spēju (*discharge capacity* – angļu val.) var samazināt vairāki faktori [67]:

- Zemes spiediens, kura ietekmē drena tiek saspiesta;
- Pamatnes sēšanās – konsolidācijas procesā drena deformējas kopā ar pamatni, tādējādi lokot drenu;
- Drenas aizsērēšana – kad kopā ar ūdeni drenā nonāk mazākās grunts daļiņas, tās var palikt drenas iekšpusē;
- Aizsargcaurules izraisītā grunts nobīde ap to iedzišanas laikā (*Smear effect* – angļu val.) u.c.



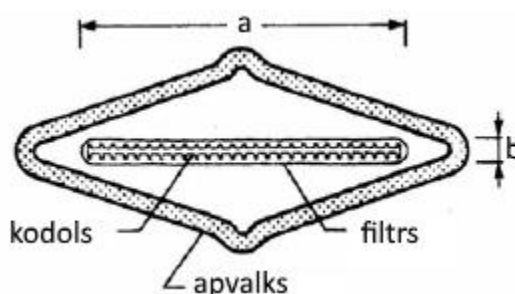
Ņemot vērā uzskaitītos faktorus, ražotāji tehnisko datu lapās parasti uzrāda caurlaides spējas parametrus pie dažādām slodzes un deformācijas pakāpēm, parametru orientējošās vērtības uzrādītas zemāk redzamajā tabulā.

7.5. tabula. Vertikālās drenas hidrauliskie parametri [65], [66]

Parametrs, mērvienība	Standarts	Orientējošā vērtība
Sākotnējā caurlaides spēja nedeformētā stāvoklī pie sāniskā spiediena 200 kPa, ml/s	EN ISO 12958	80–100
Ilgtermiņa caurlaides spēja nedeformētā stāvoklī pie sāniskā spiediena 300 kPa, ml/s	EN ISO 12958	25–40
Ilgtermiņa caurlaides spēja deformētā stāvoklī (saliektai drenai) pie sāniskā spiediena 200 kPa, ml/s	EN ISO 12958	20

- VD ekvivalento diametru.

Ņemot vērā drenu izvietojumu un pieņēmumu, ka tās strādā radiāli ap centrālo (drenas) asi, tiek pieņemts, ka arī plastmasas drenām, kas lielākoties ir taisnstūra formas, ir noteikts ekvivalentais diametrs – telpā tām ir cilindriska forma. [15]



7.4. attēls. PVD drenas shematiskais šķērs griezumā [63], [15]

Ekvivalentā diametra aprēķina pēc vienādojuma [68]:

$$d_w = \frac{(a + b)}{2} \quad (7.3.1.)$$

Gruntij, kura paredzēta drenāžas slāņa konstrukcijai, ir jābūt brīvai no organiskiem piejaukumiem un citiem ieslēgumiem, kas var pazemināt uzbēruma konstrukcijas nestspēju.

Uzbēruma daļas, kas pilda drenāžas slāņa funkciju, biezumam jābūt tik lielam, lai tas nodrošinātu ūdens caurlaidību, kas ir ne mazāka par VD kopējo ūdens caurlaidības kapacitāti. Smilšu drenāžas slānis var būt aptuveni 0,5 līdz 1 metra biezumā ar 95% daļiņu lielumu, lielāku par 0,06 mm [69], savukārt, izmantojot šķembu kārtu, drenāžas slāņa biezumu var samazināt, tomēr tad jārēķinās ar papildu divu ģeotekstila kārtu izveidi, lai novērstu šķembu kārtas aizsērēšanu un filtrācijas spējas samazināšanos.



Maksimāli pieļaujamo uzbēruma augstumu iespējams aprēķināt pēc formulas:

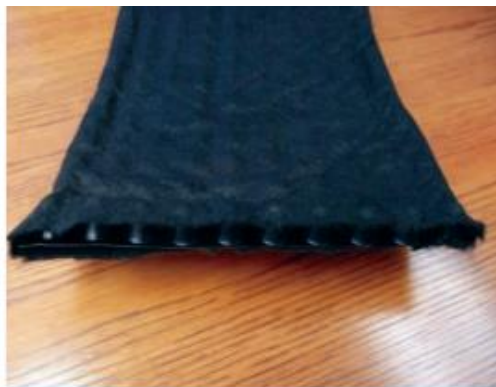
$$(\pi + 2) * c_u > \Delta\sigma \quad (7.3.2.)$$

kur:

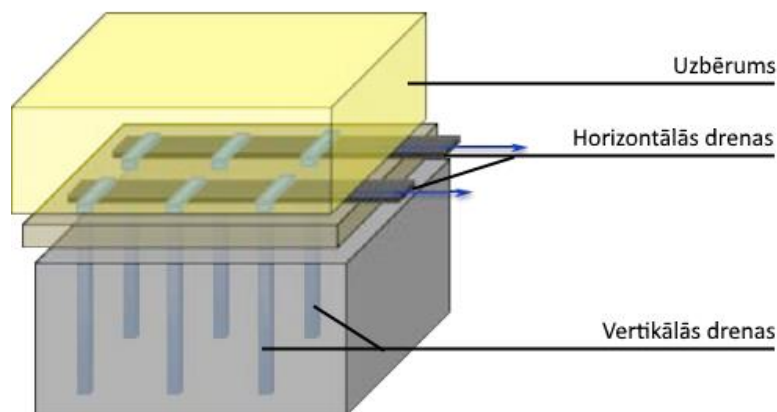
$c_u$  – nedrenētā bīdes pretestība;

$\Delta\sigma$  – uzbēruma pieslodzes radītie papildu spriegumi gruntī.

Minerālmateriālu kā drenāžas slāņa trūkums ir tajā, ka var tikt pārvērtēta to ūdens filtrācijas spēja ilgtermiņā, tādējādi palēninot paredzēto konsolidācijas ilgumu un aizkavējot turpmākos darbus. Kā alternatīva minerālmateriālam, šajā metodē var izmantot horizontālās rūpnieciski izgatavotās drenas, kuru priekšrocība ir relatīvi augsta filtrācijas spējas paredzamība un viegla uzstādīšana, kas potenciāli var samazināt kopējās izbūves izmaksas. Horizontālās rūpnieciski izgatavotās drenas pēc to uzbūves ir līdzīgas vertikālajām drenām – tās sastāv no profilētas plastmasas kodola, kuram ir apvilks filtrējošs ģeotekstila materiāls. Būtiskākā atšķirība starp horizontālo un vertikālo drenu ir to platums – tā kā parasti divas vertikālās drenas tiek pievienotas vienai horizontālai drenai (skatīt 7.6. attēls), tās platums attiecīgi ir lielāks. Drenu tehniskie parametri uzskaitīti 7.6. tabula



7.5. attēls. Rūpnieciski izgatavota horizontālā дрена [70]



7.6. attēls. Principiāla drenu izvietojuma shēma [71]

7.6. tabula. Horizontālo drenu tehniskie parametri [71]

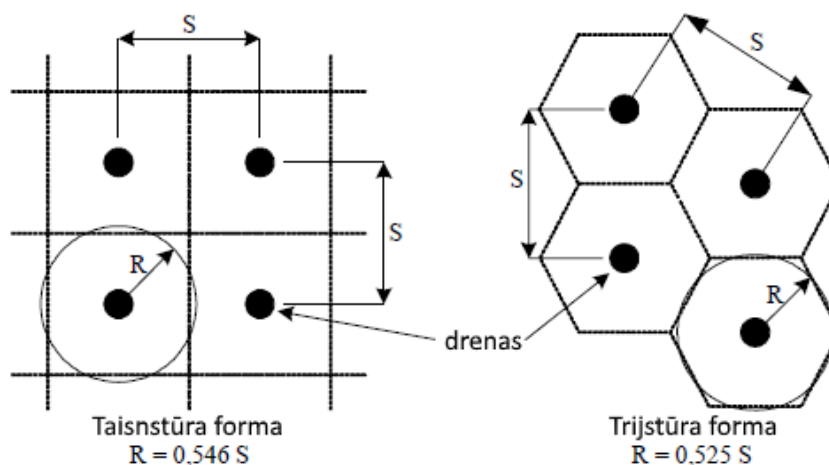
Parametrs, mērvienība	Standarts	Orientējošā vērtība
Drenas platums, mm	–	200–300
Drenas biezums, mm	ASTM D5199	10
Drenas horizontālā caurlaidība, m/s	ASTM D4491	0,15
Drenas caurlaides spēja, m <sup>3</sup> /s	ASTM D4716	2,4–3,6*10 <sup>-5</sup>
Drenas spiedes stiprība, kN/m <sup>2</sup>	ASTM D1621	600
Filtra stiepes stiprība ( <i>grab strength</i> ), N	ASTM D4632	>450

Bez drenu parametru definēšanas projektā ieteicams norādīt ieteicamos apvalkcaurules ģeometriskos parametrus, jo apvalkcaurule iedzīšanas gaitā ietekmē apkārtesošās grunts parametrus, izspiežot grunti uz sāniem, kā rezultātā pasliktinās grunts slāņa horizontālā ūdens caurlaidība, tādējādi palēninot poru virspiediena samazināšanos un kopējo sēšanos laikā.

### 7.3.3. *Konsolidācijas ātruma aprēķins, drenu izvietojuma projektēšana*

Aprēķinot ar ūdeni piesātinātu vājo grunts slāņu sēšanos, jāprecizē nepieciešamā minimālās pieslodzes intensitāte un VD izvietojums, lai iegūtu atbilstošu konsolidācijas pakāpi būvdarbu organizācijas projektā noteiktajā laikā. [15]

Vertikālās drenas var izvietot taisnstūra vai trijstūra formā. Izvietojums taisnstūra formā ir vieglāk izbūvējams, tomēr trijstūra formā izbūvētas drenas nodrošina vienmērīgāku sēšanos [72].



7.7. attēls. Drenu iespējamais izvietojums plānā [73]

Konsolidācijas ātrumu raksturo ar noteiktu konsolidācijas pakāpi laikā. Ja vertikālās drenas izbūvētas vājā slānī dziļumā  $h$  un ir izveidots filtrējošais slānis, tad viendimensijas uzdevuma gadījumā pamatnes konsolidācijas pakāpi noteiktā laika brīdī iegūst pēc vienādojuma [74]:

$$U_t = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h) \quad (7.3.3.)$$

kur:

$U_t$  – konsolidācijas pakāpe laikā;

$U_v$  – konsolidācijas pakāpe laikā vertikālā virzienā;

$U_h$  – konsolidācijas pakāpe laikā horizontālā (radiālā) virzienā.

Konsolidācijas pakāpe vertikālā virzienā ir atkarīga no grunts slāņu vertikālā filtrācijas koeficienta, un tā tiek izmantota kā vienīgā komponente konsolidācijas aprēķinam bez papildu izbūvētām vertikālām drenām. Savukārt konsolidācijas pakāpe radiālā virzienā ir būtiskākā komponente vertikālo drenu izbūves gadījumā, jo vājiem saistīgiem grunts slāņiem ir raksturīga ievērojami labāka ūdens filtrācijas spēja horizontālā virzienā, kā arī mērojamais ceļš ūdenim parasti ir mazāks (atkarīgs no izbūvētā drenu savstarpējā attāluma).

Vidējās konsolidācijas pakāpi vājā slānī vertikālā virzienā iegūst pēc šāda vienādojuma:

$$U_{vid,v} = \left(1 + \frac{1}{2 * T_v^3}\right)^{-\frac{1}{6}} \quad (7.3.4.)$$

kur:

$T_v = \frac{C_v * t}{h_{dr}^2}$  – bezdimensiju laika faktors;

$C_v$  – konsolidācijas koeficients;

$h_{dr}$  – garākais iespējamais drenāžas ceļa garums (ja vājo slāni ietver slāņi ar labām ūdens filtrācijas spējām, tad drenāžas ceļš ir vienāds ar pusi no vājā slāņa biezuma; savukārt, ja vājam slānim apakšā ir slānis ar sliktām ūdens filtrācijas spējām, drenāžas ceļš ir vienāds ar vājā slāņa biezumu);

$$C_v = \frac{k_v}{\gamma_w m_v} \quad (7.3.5.)$$

kur:

$k_v$  – filtrācijas koeficients vertikālā virzienā;

$m_v$  – relatīvais grunts saspiežamības rādītājs [15].

Konsolidācijas pakāpi radiālā virzienā, ievērtējot 7.3.2 sadaļā minētos drenāžu negatīvi ietekmējošos faktoros, aprēķina pēc vienādojuma [75]:

$$U_{vid,h} = 1 - \exp\left(-\frac{8T_r}{\mu}\right) \quad (7.3.6.)$$

$T_r = \frac{C_r * t}{D^2}$  – bezdimensiju laika faktors, kur  $c_h$  – radiālās konsolidācijas koeficients.

$$c_r = \frac{k_r}{k_v} * c_r \quad (7.3.7.)$$

kur:

$k_r/k_v$  – radiālās (horizontālās) un vertikālās filtrācijas koeficientu attiecība. Radiālās konsolidācijas koeficienta noteikšana ir iespējama, veicot laboratorijas testus, tomēr ir iespējams balstīties arī uz empīriskiem pieņēmumiem, kas balstīti uz iepriekšējiem pētījumiem. Tā kā saistīgās gruntīs horizontālais filtrācijas koeficients gandrīz vienmēr būs lielāks par vertikālo, radiālās filtrācijas koeficientu iespējams pieņemt 2-4 reizes lielāku nekā vertikālās filtrācijas koeficients [15].

Parametru  $\mu$  iespējams noteikt pēc vienādojuma [75]:

$$\mu = \ln\left(\frac{n}{s_{nob}}\right) + \left(\frac{k_r}{k_r'}\right) * \ln(s) - 0,75 + \pi * \frac{z(2h_{dr} - z)k_r}{q_w} \quad (7.3.8.)$$

$$s_{nob} = r_s / r_w \quad (7.3.9.)$$

$$n = R_{gr} / r_w \quad (7.3.10.)$$

kur:

$k_r / k'_r$  – horizontālās filtrācijas koeficientu attiecība grunts nobīdes zonā (robežās 2..6);

$s_{nob}$  – nobīdes zonas ietekmes faktors;

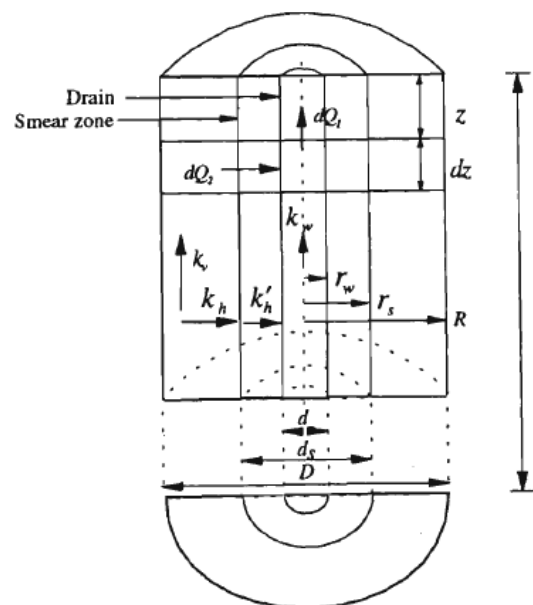
$r_s$  – nobīdes zonas (*smear zone* – no angļu val.) rādiuss (robežās  $1.5..3r_w$ );

$r_w$  – ekvivalents drenas rādiuss;

$l_{dr}$  – drenas garums;

$R_{gr}$  – efektīvais grunts cilindra rādiuss;

$q_w$  – vertikālās drenas caurlaides spēja.



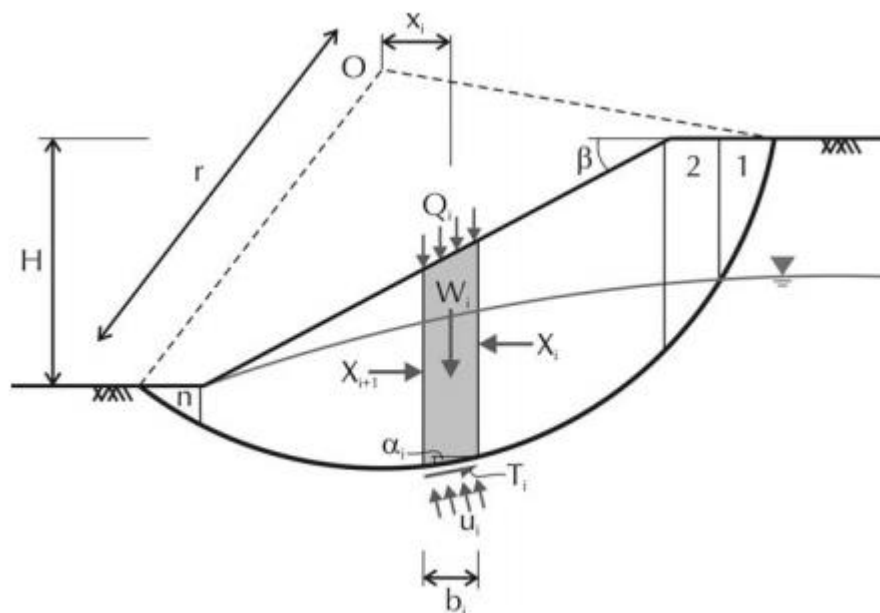
7.8. attēls. Grunts cilindra aprēķina shēma [76]

### 7.3.4. Nogāzes noturības pārbaude

Nogāzes noturība jāpārbauda saskaņā ar LVS EN 1990 un LVS EN 1997, pārbaudot GEO/STR robežstāvokļus. Un lietojot slodžu, pretestību un materiālu īpašību aprēķina vērtības, kas iegūtas, izmantojot atbilstošos parcelālos koeficientus.

Latvijā atbilstoši LVS EN 1997-1 noteikts, ka nogāzes jāaprēķina atbilstoši DA3 pieejai. DA (*Design approach* – no angļu val.) jeb projektēšanas pieeja nosaka parcelālos drošības koeficientus materiālu īpašībām un iedarbēm uz konstrukciju (pastāvīgām un mainīgām). Nedrenētam aprēķinam atbilstoši DA3 jālieto šādi parcelālie koeficienti:

- Parcelālais koeficients pastāvīgai iedarbei –  $\gamma_G = 1.0$
- Parcelālais koeficients mainīgai (nelabvēlīgai) iedarbei –  $\gamma_Q = 1.3$
- Parcelālais koeficients nedrenētai bīdes pretestībai –  $\gamma_{cu} = 1.4$



7.9. attēls. Nogāzes noturības aprēķins, izmantojot rotācijas tipa virsmu pēc Bišopa metodes

Nogāžu noturības aprēķinā atbilstoši Bišopa rotācijas tipa slīdvirsmas aprēķina metodikai (skat. 7.9. attēls), slīdēšanas veicinošajam faktoram  $M_{Ed}$  ir slodzes efekts, bet slīdēšanas noturošajam momentam  $M_{Rd}$  piemīt pretestības efekts. LVS EN 1997-1:2005 nosaka, ka nogāzes līdzsvara vienādojums nedrenētā aprēķinā ir sekojošs:

$$\mu_{\max} = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{\sum_i \{(W_{d,i} + Q_{d,i}) \cdot \sin \alpha_i\}}{\sum_i \{c_{ud,i} \cdot l_i\}} \leq 1 \quad (7.3.11.)$$

jeb:

$$\mu_{\max} = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1 \quad (7.3.12.)$$

kur:

 $W_{d,i}$  – katra elementa aprēķina pašsvars; $Q_{d,i}$  – jebkāda aprēķina slodze uz katru elementu; $c_{ud,i}$  – aprēķina nedrenētā saiste katra elementa apakšā, kPa; $\alpha_i$  – leņķis starp cilindriskās virsmas pieskari un horizontālo asi, °; $\mu_{\max}$  – maksimālā izmantošanas pakāpe (*utilization degree* – no angļu val.).

### 7.3.5. Piemērs konsolidācijas aprēķinam

Izejas dati sēšanās aprēķinam:

Uzbēruma augstums: 1,5 metri, tilpumsvars:  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ ;Aprēķina posma garums un platums:  $a = b = 10 \text{ m}$ ;Gruntsūdens līmeņa augstums no zemes virsmas:  $Z_{G\bar{U}L} = 1,0 \text{ m}$ ;

7.7. tabula. Grunts slāņu tabula

N.p.k.	Nosaukums	Ūdens piesātinātais grunts tilpumsvars		Deformāciju modulis	Slāņa dziļums	Kopējais dziļums
		virs GŪL	zem GŪL			
		$\gamma$ , kN/m <sup>3</sup>	$\gamma'$ , kN/m <sup>3</sup>	$E_m$ , kN/m <sup>2</sup>	$h_i$ , m	$Z$ , m
1	Kūdra – labi sadalījusies	14,3	4,3	1200	4	4
2	Smilts putekļaina, irdena, mitra un ūdenspiesātināta	15,5	5,5	8400	2	6
3	Smilts smalka, vidēji blīva, mitra un ūdenspiesātināta	19,2	9,2	24 000	4	10

Pieslodzes vērtība uz pamatnes virsmu ( $Z = 0$ ):  $\sigma_0 = \gamma * h_{uzb} = 18 * 1,5 = 27 \text{ kN/m}^2$

Sēšanos aprēķina, summējot sēšanās rezultātus pa slāņiem līdz robežai, kad  $\sigma_{g,z} > 10\sigma_{v,z}$ , sēšanās rezultāti apkopoti 7.8. tabula.

7.8. tabula. Sēšanās rezultāti

N.p.k.	$z_i$ , m	$Z$ , m	$\gamma_i$ , kN/m <sup>3</sup>	$\xi=2z/b$	$\eta=l/b$	$a$	$\sigma_{zg}$ , KPa	$\sigma_{zp}$ , KPa	$\sigma_{zp}/\sigma_{zg}$	$E_m$ , kN/m <sup>3</sup>	$S_i$ , mm
0	0	0	14,3	0	1	1,000	0,0	36,0	0,0	1200	0,0
1	0,5	0,5	14,3	0,1	1	0,990	7,2	35,6	0,2	1200	14,9
2	0,5	1	14,3	0,2	1	0,980	14,3	35,3	0,4	1200	14,7
3	0,5	1,5	4,3	<b>0,3<sup>1</sup></b>	1	<b>0,970<sup>2</sup></b>	<b>16,5<sup>3</sup></b>	<b>34,9<sup>4</sup></b>	0,4	1200	<b>14,6<sup>5</sup></b>
4	0,5	2	4,3	0,4	1	0,960	18,6	34,6	0,4	1200	14,4
5	0,5	2,5	4,3	0,5	1	0,920	20,8	33,1	0,5	1200	13,8
6	0,5	3	4,3	0,6	1	0,880	22,9	31,7	0,5	1200	13,2
7	0,5	3,5	4,3	0,7	1	0,840	25,1	30,2	0,5	1200	12,6
8	0,5	4	4,3	0,8	1	0,800	27,2	28,8	0,6	1200	12,0
9	0,5	4,5	5,5	0,9	1	0,752	30,0	27,1	0,7	8400	1,6
10	0,5	5	5,5	1	1	0,703	32,7	25,3	0,8	8400	1,5
11	0,5	5,5	5,5	1,1	1	0,655	35,5	23,6	0,9	8400	1,4
12	0,5	6	5,5	1,2	1	0,606	38,2	21,8	1,0	8400	1,3
13	0,5	6,5	9,2	1,3	1	0,567	42,8	20,4	1,2	24000	0,4
14	0,5	7	9,2	1,4	1	0,528	47,4	19,0	1,5	24000	0,4
15	0,5	7,5	9,2	1,5	1	0,488	52,0	17,6	1,8	24000	0,4
16	0,5	8	9,2	1,6	1	0,449	56,6	16,2	2,1	24000	0,3
17	0,5	8,5	9,2	1,7	1	0,421	61,2	15,1	2,4	24000	0,3
18	0,5	9	9,2	1,8	1	0,393	65,8	14,1	2,7	24000	0,3
19	0,5	9,5	9,2	1,9	1	0,364	70,4	13,1	3,2	24000	0,3
20	0,5	10	9,2	2	1	0,336	75,0	12,1	3,6	24000	0,3
21	0,5	10,5	9,2	2,1	1	0,316	79,6	11,4	4,1	24000	0,2
22	0,5	11	9,2	2,2	1	0,297	84,2	10,7	4,6	24000	0,2
23	0,5	11,5	9,2	2,3	1	0,277	88,8	10,0	5,2	24000	0,2
24	0,5	12	9,2	2,4	1	0,257	93,4	9,3	10,1	24000	0,2
										$\sum S_i$ , mm	119,4

Aprēķina piemērs uzrādīts slānim no  $z=1m$  līdz  $z=1,5m$  ( $z_i=0,5m$ ):

$$1: \xi_3 = 2 * \frac{1,5}{10} = 0,3 \text{ (pēc (2.3.12))}$$

$$2: \text{Interpolējot no 7.8. tabula: } a = 0,960 + (1 - 0,960) * 0,3/0,4 = 0,970$$

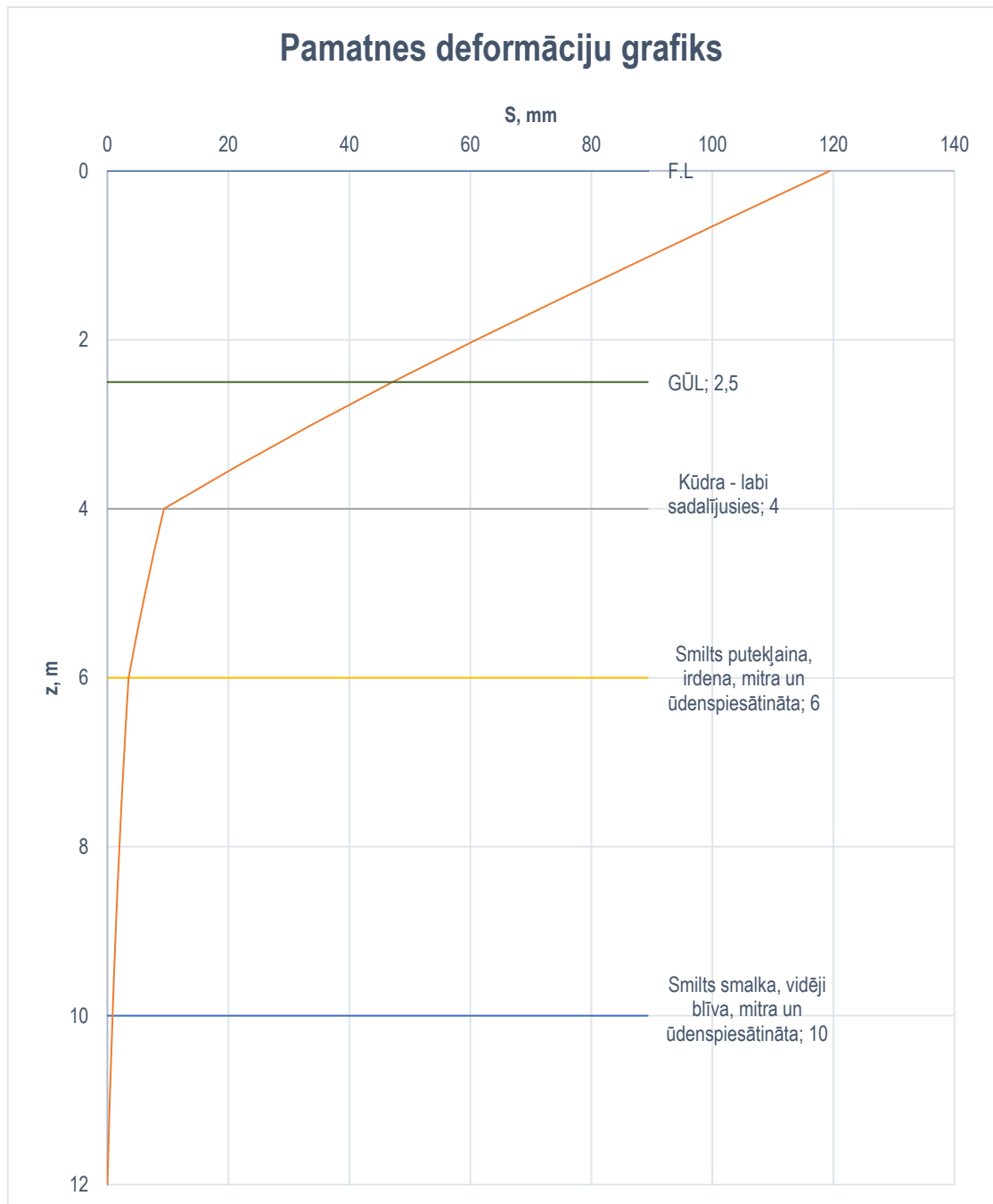


$$3: \sigma_{zg} = 14,3 + 4,3 * 0,5 = 16,5 \text{ KPa (pēc (2.3.9))}$$

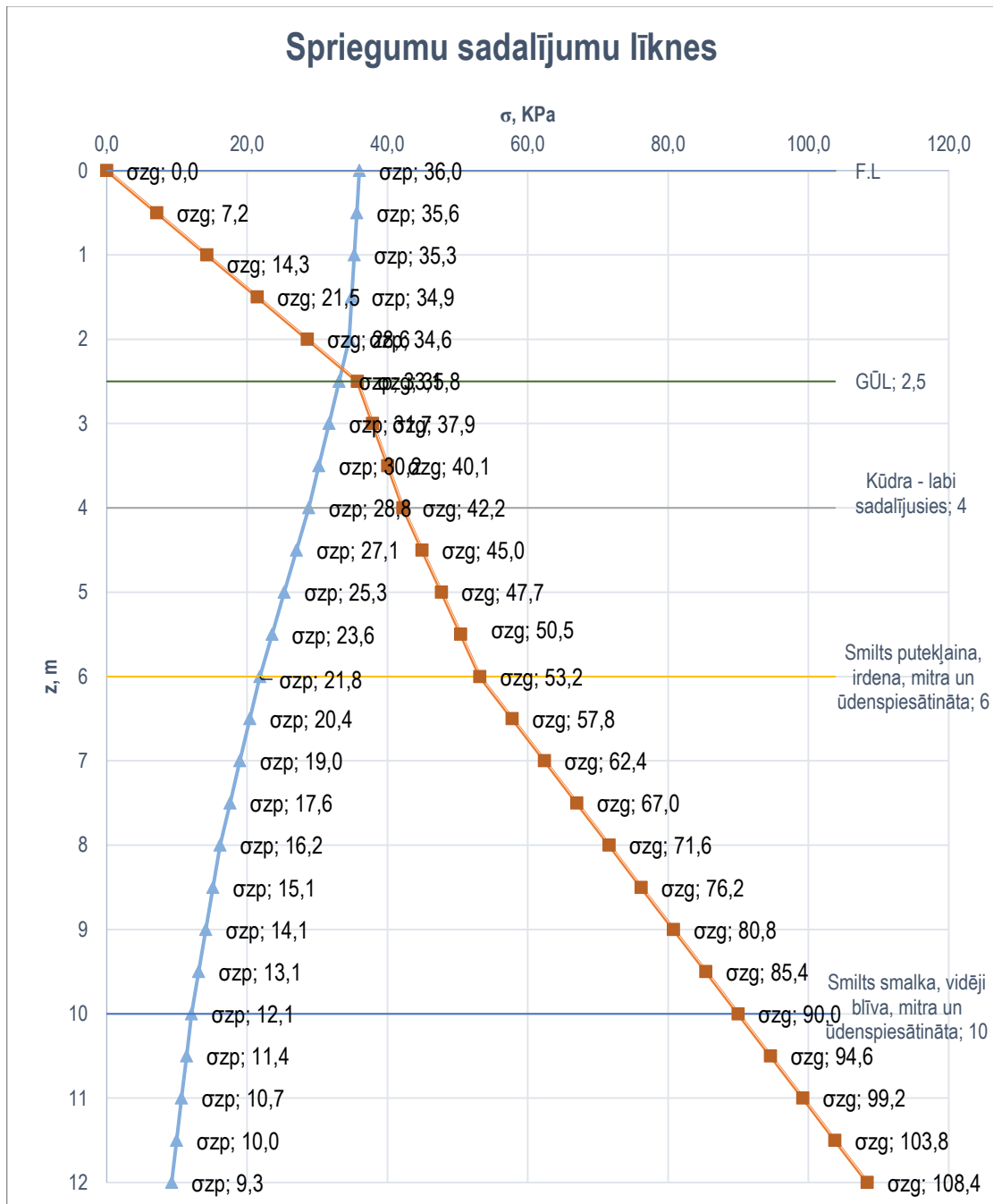
$$4: \sigma_{zp} = 0,970 * 36 = 34,9 \text{ KPa (pēc (2.3.11))}$$

$$5: S_3 = \frac{0,5 * 34,9}{1200} * 1000 = 14,6 \text{ mm (pēc (2.3.15))}$$

Pamatnes sēšanās un spriegumu sadalījums pa slāņiem dziļumā parādīts zemāk redzamajos grafikos.



7.10. attēls. Pamatnes deformāciju grafiks



7.11. attēls. Spriegumu sadalījuma pa slāņiem grafiks

Kā no rezultātiem redzams, kopējais vājā slāņa (kūdra) sēšanās apjoms ir 110,1 mm. Lai aprēķinātu konsolidācijas norises ātrumu, nepieciešami papildu parametri par zemās nestspējas slāni, norādīti 7.9. tabula. Aprēķina piemērs veikts gadījumam, kad drenas izvietojums ar 2,5 m soli, taisnstūra formā (skat. 7.7. attēls ) pie  $z=2m$  (skat. 7.8. attēls).

7.9. tabula. Papildu parametri zemās nestspējas slānim primārās konsolidācijas laika aprēķinam

Parametrs	Apz.	Mērv.	Vērtība	Piezīmes
Saspiežamā slāņa biezums	h	m	4	

Parametrs	Apz.	Mērv.	Vērtība	Piezīmes
Drenas platums	a	mm	120	
Drenas biezums	b	mm	3	
Ekvivalentais drenas diametrs	d <sub>e</sub>	mm	61,5	Pēc (7.3.1)
Vājā slāņa vienass deformāciju modulis	E <sub>m</sub>	KPa	1200	No izejas datiem
Vājā slāņa vertikālais filtrācijas koeficients	k <sub>z</sub>	m/diena	0,0001	
Vājā slāņa radiālais filtrācijas koeficients	k <sub>r</sub>	m/diena	0,00025	
Drenas caurlaides spēja	q <sub>w</sub>	m <sup>3</sup> /diena	0,068	
Nobīdes zonas ( <i>smear zone</i> ) diametrs	d <sub>s</sub>	mm	92,25	
Drenu lauka izvietojuma forma	-	-	Taisnstūra forma	
Efektīvā drenas darbības lauka rādiusa koeficients	k <sub>R</sub>	-	0,546	7-7 attēls
Vertikālās konsolidācijas koeficients	c <sub>v</sub>	m <sup>2</sup> /gads	4,38	Pēc (7.3.5)
Radiālās konsolidācijas koeficients	c <sub>r</sub>	m <sup>2</sup> /gads	10,95	Pēc (7.3.7)
Filtrācijas ceļš	-	-	Abos virzienos	

Aprēķina gaita:

$$1: R = 0,546 * 2,5 = 1,365 \text{ m};$$

$$2: n = \frac{1,365}{0,5 * 61,5 * 10^{-3}} = 44,39 \text{ (pēc (7.3.10))};$$

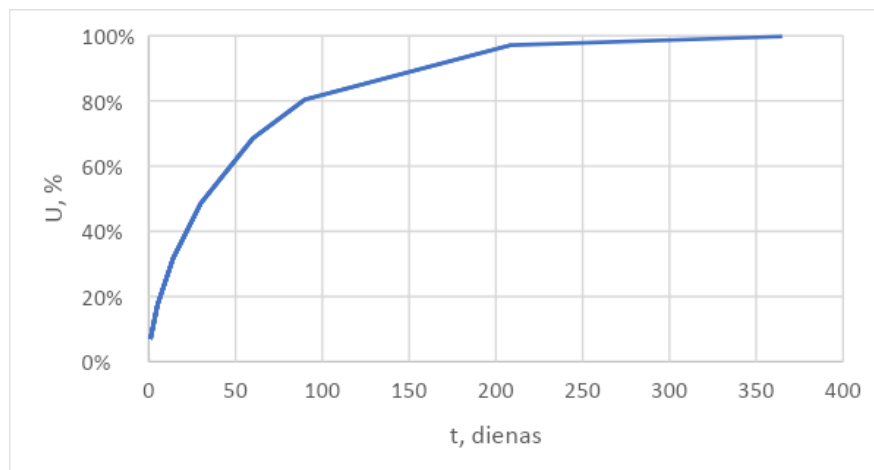
$$3: s = 2 \text{ (tiek pieņemts, pēc (7.3.9))};$$

$$4: \frac{k_r}{k_r'} = 2 \text{ (tiek pieņemts)};$$

$$4: \mu = \ln \ln \left( \frac{44,39}{2} \right) + (2) * \ln \ln (2) - 0,75 + \pi * \frac{2(2*2-2)*0,00025}{0,068} = 3,78 \text{ (pēc (7.3.8))};$$

7.10. tabula. Konsolidācijas pakāpes aprēķina rezultāti

t, dienas	$T_r$	$T_v$	$U_r$	$U_v$	$U, s=2.5m$
1	0,00	0,0	0,8%	6,1%	6,9%
5	0,02	0,0	4,2%	13,7%	17,3%
14	0,06	0,0	11,2%	23,0%	31,7%
30	0,12	0,1	22,5%	33,7%	48,6%
60	0,24	0,2	40,0%	47,5%	68,5%
<b>90</b>	<b>0,36<sup>1</sup></b>	<b>0,3<sup>2</sup></b>	<b>53,5%<sup>3</sup></b>	<b>58,0%<sup>4</sup></b>	<b>80,5%<sup>5</sup></b>
209	0,84	0,6	83,1%	83,1%	97,2%
365	1,47	1,1	95,5%	94,8%	99,8%



7.12. attēls. Vājā slāņa konsolidācijas pakāpes grafiks laikā

Aprēķina piemērs uzrādīts konsolidācijas pakāpei pēc 90 dienām no slogošanas sākuma:

$$1: T_{r,90} = \frac{\frac{10,95}{365} \cdot 90}{(2 \cdot 1,365)^2} = 0,36$$

$$2: T_{v,90} = \frac{\frac{4,38}{365} \cdot 90}{(2)^2} = 0,27$$

$$3: U_{r,90} = 1 - \exp \exp \left( -\frac{8 \cdot 0,36}{3,78} \right) = 0,535 = 53,5\%$$

$$4: U_{v,90} = \left( 1 + 1 / \frac{1}{2 \cdot 0,27^3} \right)^{-\frac{1}{6}} = 0,580 = 58\% \text{ (pēc (7.3.4.) (2.3.9.))}$$

$$5: U_{90} = 1 - (1 - 0,58)(1 - 0,535) = 80,5\% \text{ (pēc (7.3.3.))}$$

Tātad teorētiskais vājā slāņa sēšanās apjoms pēc 90 dienām ir:

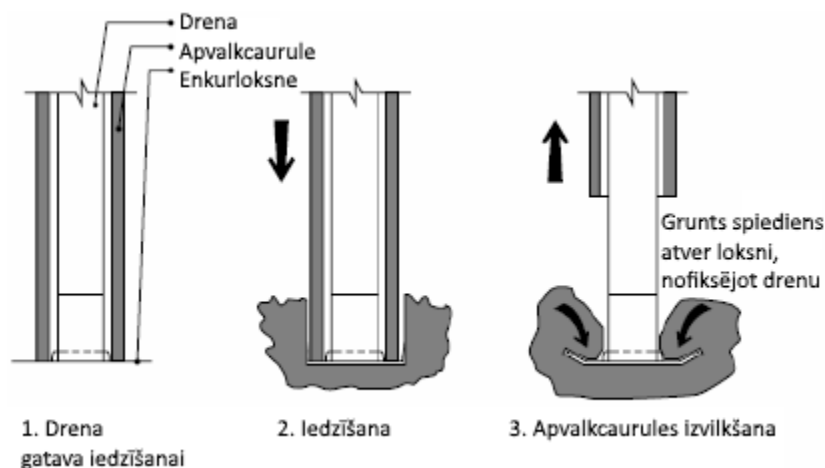
$$S_{90} = 110,1 \cdot 0,805 = 81,38 \text{ mm}$$

## 7.4. Vertikālo drenu un uzbēruma izbūves tehnoloģijas

### 7.4.1. Vertikālo drenu izbūve

Pirms vertikālo drenu izbūves uzsākšanas izbūves teritorija ir jāatbrīvo no veģetācijas un citiem organiskas izcelsmes materiāliem, pēc tam jāveic pamatnes virsmas sagatavošana (profilēšana, planēšana). Nepieciešamības gadījumā pirms darbu izpildes jāveic ģeodēziskie mērījumi. Kad pamatne ir sagatavota, jāizbūvē minerālmateriāla (šķembas, smilts – skat. 7.4.2 sadaļu) drenāžas slānis, kas drenu izbūves laikā kalpo ne tikai kā drenējošs materiāls ūdens aizvadīšanai, bet arī kā stabila pamatne, kura nodrošina drošu būvmašīnu pārvietošanos. Ja uzbērums tiek veidots tieši uz vājas nestspējas slāņa, ieteicams ieklāt ģeorežģi pirms drenējošā slāņa izveides. Slānim nepieciešams sasniegt sablīvējumu 98% apmērā.

Pēc pamatnes sagatavošanas veic vertikālo drenu (VD) montāžu saskaņā ar projektu, tās iedzenot gruntī ar apvalkcauruli līdz noteiktai atzīmei, pēc kuras sasniegšanas apvalkcaurule tiek izvilktā. Lai, izvelkot apvalkcauruli, дрена paliktu noteiktajā vietā, tās lejasdaļā tiek pievienota enkurloksne, kurai ir atskabargas darbības princips – apvalkcaurules iedzīšanas procesā loksne ir nolocīta, bet, velkot apvalkcauruli ārā, loksnes gali grunts pretestības iespaidā atlokas un tādējādi nofiksē vertikālās drenas apakšējo atzīmi. Enkurloksne iedzīšanas procesā neļauj gruntij nokļūt apvalkcaurules iekšpusē, neradot papildus riskus ietekmēt drenas materiālu.



7.13. attēls. Iepriekš izgatavotās vertikālās drenas izbūve [73]

VD iedzīšanai parasti izmanto kāpurķēžu ekskavatoru, kuram pievienots VD izbūvei paredzēts masts. Pie masta ir pievienota apvalkcaurule un drenai izmantojamais materiāls, kas lielākoties tiek sagatavots ruļļos. Pēc VD iedziļināšanas pamatnē un apvalkcaurules izvilkšanas drenas materiālu nogriež, kuram pēcāk atkārtoti apakšā tiek pievienota enkurloksne, lai drenu

būtu iespējams izbūvēt nākamajā punktā. Drenas iespējams savienot ar pārlaidumiem, tās savstarpēji sakniedējot. Pārlaiduma garumam jābūt 20–25 cm [69], kā arī savienojumu nepieciešams sakniedēt pa četrām skavām katrā pusē un divām skavām pa vidu.



7.14. attēls. VD pārlaiduma izveide [25]



7.15. attēls. VD savienojuma nostiprināšana [25]

VD iedziļināšana var tikt veikta ar šādām metodēm:

- Statisko metodi;
- Ievibrēšanu;
- Ieskalošanu (*jetting* – no angļu val.);
- Kombinējot iepriekšminētās metodes.

Metodes izvēli pamato ar pamatnes mehāniskajiem rādītājiem – papildu vibrēšanu un ieskalošanu izmanto gadījumos, kad iedzišanas procesā paredzēts skart tādu slāni, kuru varētu būt sarežģīti caurspiest ar statisko metodi. Gadījumos, kad nav iespējamas iepriekš minētās metodes (piemēram, tiek skarti liela izmēra laukakmeņi), veic iepriekšēju urbšanu vietās, kur paredzēts ievietot VD. Ja nav iespējama iepriekšēja urbšana, maina iedziļināmo drenu izvietojumu. Papildus izmantojamai tehnikai un tās vadībai nepieciešams personāls, kas var sagatavot drenu iedzišanai (pievienot enkurloksni), nomainīt drenu ruļļus, kā arī veikt to savienošanu.

#### 7.4.2. *Uzbēruma izveide*

Pēc drenu izbūves, virszemē ir nepieciešams nodrošināt ūdens tālāku novadīšanu, tāpēc, veidojot uzbērumu, pirmajā slānī jāparedz horizontālās drenāžas caurules un/ vai augstas filtrācijas spējas grunts slānis (graudaina smiltis vai šķembas).

Uzbērumu veido horizontālās kārtās. Vienā kārtā nav pieļaujams izmantot dažāda tipa grunts [1]. Ja pēc drenu izbūves veidojamais uzbērums ir ar tik lielu augstumu, ka to nevar izveidot vienā piegājienā, kā arī vājo slāņu nestspēja var izrādīties nepietiekama, ieteicams uzbēruma izveidi sadalīt posmos, tādējādi nodrošinot grunts vienmērīgu sēšanos un pakāpenisku nestspējas paaugstināšanos, jo jāērēķinās, ka grunts masīvs var konsolidēties tikai tik ātri, cik to pieļauj drenu ūdens caurlaides spēja. Izvēlētais laiks starp pieslogošanas posmiem ir atkarīgs no paredzētās nepieciešamās konsolidācijas pakāpes sasniegšanas.

Uzbēruma nogāžu slīpums projektā jāparedz un jāizbūvē saskaņā ar LVS 190-2 un LVS 190-5 standartiem. Uzbērumos līdz 2 metru augstumam ieteicamais nogāžu slīpums ir 1:3, savukārt, ja uzbēruma slīpums ir stāvāks par izmantotā minerālmateriāla dabīgā nobiruma leņķi vai arī uzbērums ir augstāks par 6 metriem, tad ieteicams ar aprēķinu pārbaudīt zemes klātnes stabilitāti (pēc vienādojuma (7.3.2.)) un nepieciešamības gadījumā jāizmanto ar aprēķinu pamatots risinājums nogāžu nostiprināšanai [1].

Darbu secība:

1. Būvniecības teritorijas sagatavošana, pamatnes planēšana;
2. Ģeotekstila ieklāšana, drenāžas slāņa uzbēruma izveide, noblīvēšana;
3. Vertikālo drenu izbūve;
4. Uzbēruma pirmā slāņa izveide, noturēšana aptuveni 2 nedēļas;
5. Pilna uzbēruma izveide un noblīvēšana. Uzbērumu veido un noblīvē par noteiktu pakāpi augstāk (1–2 metri), kā paredzēts tā gala augstums, lai kompensētu ekspluatācijas laikā paredzētās slodzes;
6. Konsolidācijas procesa norise, deformāciju monitoringa;
7. Noņem lieko uzbēruma augstumu, veido projektā paredzētos nogāžu slīpumus;
8. Blakus uzbērumam izbūvē ūdens novadgrāvjus;
9. Uzbēruma izveide pabeigta, uzsāk ceļa konstrukcijas virskārtas būvniecību.

## 7.5. Kvalitātes kontrole

Kvalitātes kontrole šai metodei tiek veikta:

- Ar kvalificēta personāla uzraudzību darbu procesā;
- Ar mērījumu (monitoringa) veikšanu pēc drenu iedziļināšanas un uzbēruma izveides.

Tāpat kā minēts 6.5 sadaļā, pirms darbu uzsākšanas, kvalificētam personālam, saņemot būvizstrādājumu (ģeotekstils, ģeorežģis, drenas), jāpārlicinās par tā tehnisko atbilstību, vispirms vizuāli apskatot atvesto preci – vai nav redzami vizuāli defekti un bojājumi vai acīm redzamas nesakritības ar pasūtījumu. Piegādātajiem materiāliem jābūt līdzīgi tā ekspluatācijas īpašību deklarācijai (EID) un CE marķējumam, kas apliecina materiālu atbilstību noteiktajām mehāniskajām u.c. prasībām.

Lai kvalificētais personāls pārlicinātos par drenu izbūves tehnoloģisko atbilstību projekta prasībām, to izbūves procesā nepieciešams nodrošināt šādu informāciju:

- Drenas numurs, datums un laiks, kad tā tiek dzīta;
- Drenas iedzīšanas dziļums;
- Vertikalitāte un drenas izvietojuma novirze no projektā paredzētā.

Katras drenas izvietojumam plānā ir jābūt ar ne lielāku novirzi kā 15 cm no projektā paredzētā izvietojuma. Drenas izbūves vertikālītātes attiecībai pret horizontālo projekciju jābūt vismaz 50 (vertikāli) : 1 (horizontāli). [77]

Kvalitātes kontroles prasības uzbēruma izveidei skatīt 6.5 sadaļā.

Pēc uzbēruma izveides nepieciešams veikt deformāciju mērījumus (monitoringu) pamatnē, lai pārlicinātos par aprēķina pieņēmumiem projekta izstrādē un noteiktu faktisko konsolidācijas pakāpi.

Konsolidācijas pakāpi iespējams noteikt, izmantojot šādas mērierīces:

- Inklinometru – ar zondes palīdzību caur apvalkcauruli mēra leņķisko pagriezienu uzbēruma šķērsprofilā;



7.16. attēls. Horizontālā inklinometra zonde [78]



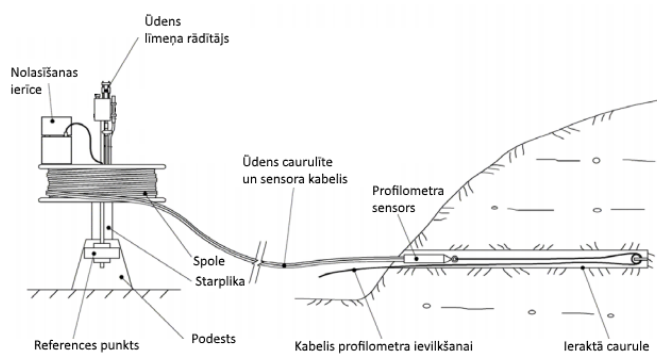
7.17. attēls. Inklinometra apvalkcaurule [78]



- Profilometru – ar zondes palīdzību caur apvalkcauruli mēra augstuma izmaiņas pēc svērto trauku principa;



7.18. attēls. Profilometrs [79]

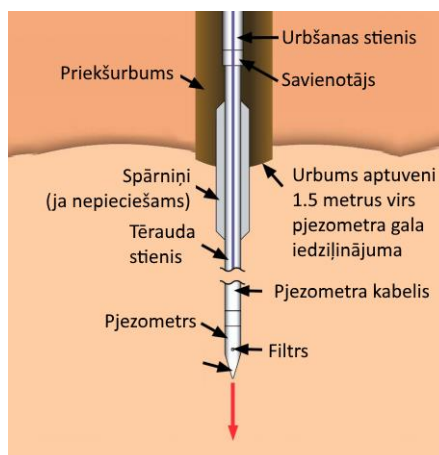


7.19. attēls. Profilometra darbības shēma [79]

- Pjezometru – mēra poru spiediena izmaiņas;



7.20. attēls. Pjezometri [80]

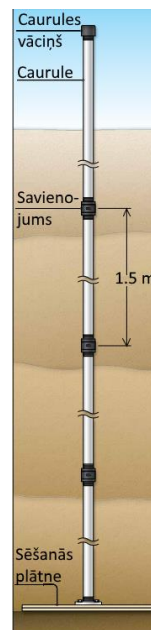


7.21. attēls. Pjezometra principiāla shēma [80]

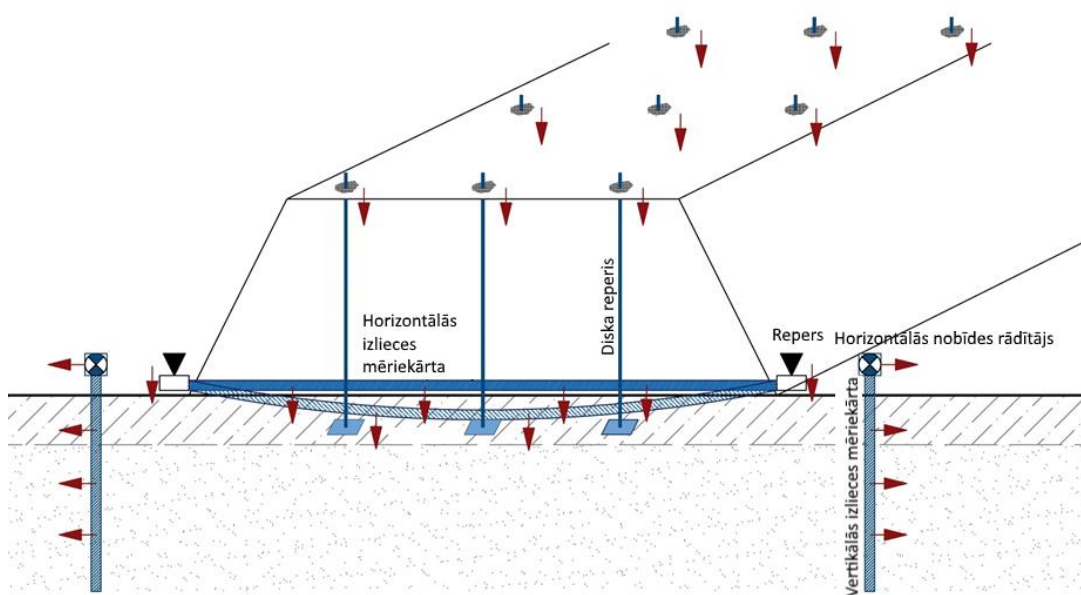
- Diska reperi (deformāciju mērīšanas plātnes) – mēra pamatnes deformācijas tieši zem izbūvējamā uzbēruma.



7.22. attēls. Diska reperi [81]



7.23. attēls. Diska repera principiāla shēma [81]



7.24. attēls. Deformāciju mērierīču principiāls izvietojums [15]

Kvalitātes kontroles prasību kopsavilkums pēc kontroles kritērijiem skatāms zemāk redzamajā tabulā.

7.11. tabula. Parametri, ko nepieciešams novērtēt, projektējot un analizējot grunts aizvietošanu ar minerālmateriālu vai zemāka tilpumsvara materiālu

Kontroles kritērijs	Apraksts
Materiāla kvalitātes pārbaude	Pamatnes vājā slāņa konsolidācijas parametri
	Pamatnes bīdes pretestības rādītāji
	Vertikālās drenas raksturlielumu novērtēšana, ekspluatācijas īpašību deklarācijas pārbaude
	Minerālmateriāla uzbēruma slāņa ekspluatācijas īpašību deklarācija, granulometriskā sastāva analīze
Darbu kvalitātes pārbaude	Darba vides izveides kvalitātes kontrole
	Drenu iedzīšanas žurnāla pārbaude (iespiešanas dziļums, laiks un ilgums, iespējamās novirzes)
	Uzbēruma izbūves pārbaude – slāņu sablīvējums, izbūves augstums
Sasniedzamā rezultāta pārbaude	Poru virsspiediena monitorings
	Uzbēruma deformāciju monitorings

## 7.6. Cenas un izmaksas

Elektroniskajā pielikumā pievienots rūpnieciski izgatavotu vertikālo drenu cenu aplēses algoritms. Tas paredzēts sākotnējam izmaksu novērtējumam un nav paredzēts citam nolūkam. Aprēķināto izmaksu precizitāte un ticamība ir tieši atkarīga no lietotāja ievadītajiem datiem, kā arī nepieciešams pievērst uzmanību specifiskiem projekta uzstādījumiem, kas var būtiski mainīt kopējās iespējamās izmaksas. Kalkulācijā norādītās vienību izmaksas ir orientējošas – to iespējamais diapazons ir atkarīgs no izbūves tehnoloģijas izvēles un citiem papildu faktoriem. Kalkulācijā iekrāsotās šūnas nepieciešams aizpildīt.

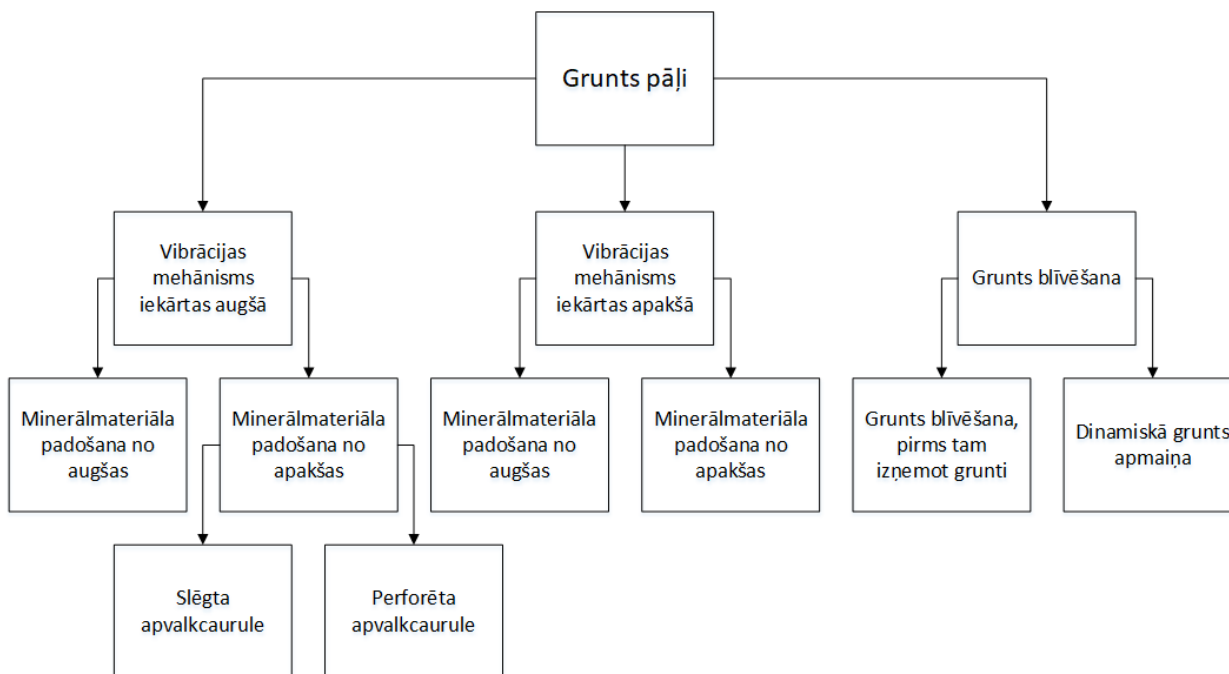
Papildu piezīmes un paskaidrojumi izmaksu aplēses rīkam:

- Vertikālo drenu skaita aprēķinā nepieciešams izvēlēties drenu izvietojuma formu (taisnstūra vai trijstūra, 2. punkts) – no tās ir atkarīgs drenu skaits uz laukuma vienību;
- Izmaksu aplēses rīkā ir iekļauts nevis kopējā uzbēruma, bet drenāžas slāņa, sākotnējās darba platformas un virsslodzes uzbēruma izveides izmaksu aprēķins (punkti 3.;5.;6.) . Visi šie ievadāmie parametri ir opcionali – ja izmaksu aplēse par citu posmu izbūvi nav aktuāla, iepriekš minētos parametrus iespējams astāt nedefinētus;
- Ja vertikālo drenu izbūvei nepieciešama papildu priekšurbšana, tad jānorāda caururbjamā slāņa biezums (4. punkts);

- Virsslodzes uzbēruma noņemtais apjoms ir mazāks, nekā sākotnēji tas tiek veidots, masīva sēšanās dēļ. Virsslodzes uzbēruma ekskavācijas galējo apjomu un izmaksas iespējams aprēķināt, ievadot aprēķināto masīva sēšanās apjomu 7. punktā. Ja masīva sēšanās vērtība pārsniedz virsslodzes uzbēruma augstumu, aprēķina papildu izmaksas uzbēruma izveidei sēšanās kompensācijai.

## 8. C.1. VIBROAPMAIŅAS VAI GRUNTS PĀĻI

Grunts vai vibroapmaiņas pāļi ir esošajā gruntī izveidoti nesaistīga minerālmateriāla stabi (kolonnas) ar augstāku stingumu nekā grunts, tādā veidā paaugstinot pamatnes kopējo stingumu. Pastāv virkne tehnoloģisko veidu, kā grunts pāļi tiek izbūvēti (skat. 8.1. attēls).



8.1. attēls. Grunts pāļu dažādi izbūves veidi

Vēsturiski vibroapmaiņas un grunts pāļi attīstījās no vibroflotācijas metodes, ar kuru, ievibrējot apvalkcauruli līdz noteiktajam dziļumam, izveido pagaidu atvērumu, kurā tiek pildīts atbilstošais minerālmateriāls pa slāņiem no atvēruma augšas, to blīvējot ar vibrācijas mehānismu, kas atrodas apvalkcaurules apakšā. Šī ir grunts pāļu metode, ar kuru atvērums gruntī tiek izveidots bez gaisa vai ūdens strūkļas palīdzības un minerālmateriāls tiek padots no augšas. Metodi joprojām izmanto grunšu pastiprināšanas projektos visā pasaulē.

Minerālmateriāla padošanai no augšas ar apvalkcauruli izveidotā atvērumā liels trūkums ir tas, ka atvērums var aizbirt pirms minerālmateriāla padošanas. Tāpēc tika radītas metodes, kā minerālmateriālu padot caur apvalkcauruli – no atvēruma apakšas. Mūsdienās tieši šāda veida grunts pāļi ir vispopulārākie.

Ļoti vājās ( $c_u < 5 \text{ kPa}$ ) gruntīs vibroapmaiņas un grunts pāļus neizmanto nepietiekamās sānu stabilitātes dēļ. Šajā gadījumā izmanto speciālu grunts pāļu risinājumu, kur grunts pāļi tiek izveidoti ģeosintētiskā materiāla apvalkā, lai nodrošinātu tā laterālo stabilitāti.

## 8.1. Vispārējie principi un lietošanas joma

Vibroapmaiņas vai grunts pāļi var tikt lietoti dažāda veida konstrukcijās gan zem dažāda veida ēku pamatiem, gan ceļu un dzelzceļu uzbūrumiem. Apkārtesošās grunts spiediens ir noteicošais faktors tam, kāda grunts pāļu izbūves metode tiek izmantota un kāda būs sagaidāmā grunts pāļa nestspēja.

Vājās un konsolidējamās gruntīs (dažāda veida organiskas izcelsmes gruntis, minerālās dūņas, vājās konsistences putekļainās un mālainās gruntis), kuru slāņkopu biezums pārsniedz 50 cm un nedrenētā bīdes pretestība  $c_u < 20$  kPa vai statiskās zondēšanas konusa pretestība  $q_c < 300$  kPa, pirms grunts pāļu izbūves jāveic speciāli pasākumi – jāizmanto tāds grunts pāļu risinājums, kur grunts pālis tiek izveidots ģeosintētiskā materiāla apvalkā, vai, piemēram, pirms grunts pāļu izbūves vājās gruntis jākonsolidē, tā paaugstinot to stingumu un nedrenēto bīdes pretestību. Pirms grunts pāļu izbūves jāveic aprēķini, lai pārbaudītu grunts pāļa laterālo stabilitāti un sagaidāmās kopējās vertikālās deformācijas. Grunts pastiprināšanas projekta izstrāde ar grunts pāļiem apskatīta turpmākajās nodaļās.

## 8.2. Priekšrocības un trūkumi

Dažādu grunts pāļu metožu priekšrocības un trūkumi apkopoti tabulā (skat. 8.1. tabula)

8.1. tabula. Dažādu grunts pāļu metožu priekšrocības un trūkumi

Metode	Priekšrocības	Trūkumi
<b>Dinamiskā grunts apmaiņa</b>	<p>Ievērojams uzlabojums: uzlabo arī īpašības gruntij, kas atrodas starp pāļiem, un gan blīvēšanas laikā, gan pēc tam papildus paātrina konsolidācijas laiku</p> <p>Videi draudzīga tehnoloģija: pāļus izveido no pārveidota materiāla (betona šķembas, frēzēts asfaltbetons) vai blakusproduktiem (izdedži, smagie pelni u.c.). Iespējams izmantot nešķirotu minerālmateriālu</p> <p>Augsta produktivitāte: tehnoloģija ir ļoti efektīva metode un iespējams stabilizēt pat vairākus simtus kvadrātmetru dienā ar vienu iekārtu</p>	<p>Jāizmanto salīdzinoši smaga tehnika – dinamisko grunts apmaiņu veic no kāpurķēžu celtņa bāzes</p> <p>Dinamisko grunts apmaiņu iespējams veikt tikai līdz aptuveni 6 m dziļiem slāņiem</p>
<b>Grunts blīvēšana, pirms tam izņemot grunti</b>	Nelielas, robustas, vienkāršas un lētas būvmašīnas (< 20 t)	Jānodrošina atvēruma stabilitāte (sausā saistīga grunts) – nepieciešams

Metode	Priekšrocības	Trūkumi
	<p>Izbūvē arī caur blīviem starpslāņiem (priekšurbšana)</p> <p>Iespējams lietot dažādus minerālmateriālus (hidrauliski saistītus minerālmateriālus, smilti, granti u.c.)</p>	<p>nodrošināt grunts nedrenēto bīdes pretestību <math>c_u &gt; 40</math> kPa;</p> <p>Nepiemērota metode, ja gruntsūdens līmenis un ūdens pietece ir liela</p> <p>Maksimālais izbūves dziļums (4–6 m) – atvēruma stabilitāte un blīvējamās iekārtas maksimālā dziļuma ierobežojumi</p> <p>Tipiskais diametrs 400 – 600 mm;</p> <p>Izbūve 2 posmos – divas būvmašīnas</p> <p>Grunts apmaiņa, kas rada noteiktu izņemtās grunts apjomu</p>
<p><b>Grunts pāļi ar vibrācijas iekārtu augšā un minerālmateriāla padošanu no apakšas slēgtā apvalkcaurulē</b></p>	<p>Izbūvē arī caur vidēji blīviem grunšu slāņiem (<math>q_c &lt; &lt; 10 / 15</math> MPa smilti; <math>q_c &lt; &lt; 2 / 3</math> MPa mālā)</p> <p>Iespējams aprīkot ar gaisa un ūdens sprauslām</p> <p>Var izbūvēt gan no ekskavatora, gan urbšanas iekārtas un celtņa bāzes</p>	<p>Grūti iestrādāt materiālu ļoti vājās piesātinātās gruntīs (jānodrošina grunts nedrenēto bīdes pretestību <math>c_u &gt; 20</math> kPa);</p> <p>Iespējams izmantot tikai noteiktas granulometrijas materiālu (fr. 20/40);</p> <p>Var izmantot smilti, bet tad nepieciešamas gaisa sprauslas</p> <p>Tipiskais diametrs 400–600 mm</p>
<p><b>Grunts pāļi ar vibrācijas iekārtu augšā un minerālmateriāla padošanu no apakšas perforētā apvalkcaurulē</b></p>	<p>Robusta un vienkārša sistēma</p> <p>Ļoti vienkārša minerālmateriāla padošanas sistēma</p> <p>Iespējams izbūvēt caur vidēji blīviem grunšu slāņiem (<math>q_c &lt; 10 / 15</math> MPa smilti; <math>q_c &lt; 2 / 3</math> MPa mālā);</p> <p>Var aprīkot ar gaisa un ūdens sprauslām</p>	<p>Grūti iestrādāt materiālu ļoti vājās piesātinātās gruntīs (jānodrošina grunts nedrenētā bīdes pretestība <math>c_u &gt; 20</math> kPa);</p> <p>Izmanto tikai noteiktas granulometrijas materiālu (fr. 20/40)</p> <p>Var izmantot smilti, bet tad nepieciešamas gaisa sprauslas</p> <p>Tipiskais diametrs 400–600 mm</p> <p>Dziļuma ierobežojums (&lt; 10 / 12 m) – grunts iespiešanās perforētajā apvalkcaurulē</p>

Metode	Priekšrocības	Trūkumi
<b>Grunts pāļi (ģeosintētiskā materiāla apvalkā) ar vibrācijas iekārtu augšā un minerālmateriāla padošanu no augšas/apakšas</b>	<p>Izmanto dažāda veida minerālmateriālu, izņemot šķembas, kas bojā ģeosintētisko materiālu</p> <p>Vienkārša minerālmateriāla padošanas sistēma</p> <p>Izmanto arī ļoti vājās piesātinātās gruntīs (<math>c_u &lt; 5</math> kPa);</p> <p>Var izbūvēt gan no ekskavatora, gan urbšanas iekārtas un celtņa bāzes</p>	<p>Nevar izmantot šķembas, jo bojā ģeosintētisko materiālu</p> <p>Ģeosintētiskā apvalka diametrs ir fiksēts – no 600 līdz 800 mm</p> <p>Ģeosintētiskā apvalka cena ir augsta</p> <p>Ģeosintētiskā apvalka izgatavošana un piegāde</p> <p>Ierobežota iestrādājamība – <math>q_c &lt; 5/10</math> MPa smiltī; <math>q_c &lt; 1/1,5</math> MPa mālā</p>
<b>Grunts pāļi ar vibrācijas iekārtu apakšā un minerālmateriāla padošanu no augšas bez ūdens strūkļas</b>	<p>Neliels un lēts aprīkojums (&lt; 30 t)</p> <p>Izmanto arī dažādu grants vai šķembu maisījumu (līdz pat 60 mm)</p> <p>Var izbūvēt gan no ekskavatora, gan urbšanas iekārtas un celtņa bāzes</p>	<p>Jānodrošina atvēruma stabilitāte (sausā saistīga grunts) – nepieciešams nodrošināt grunts nedrenēto bīdes pretestību <math>c_u &gt; 30</math> kPa;</p> <p>Nepiemērota metode, ja gruntsūdens līmenis un ūdens pietece ir liela</p> <p>Maksimālais izbūves dziļums (4–6 m) – atvēruma stabilitāte un blīvēšanas iekārtas maksimālā dziļuma ierobežojumi</p> <p>Tipiskais diametrs 450–600 mm</p> <p>Ierobežota iestrādājamība – <math>q_c &lt; 5/10</math> MPa smiltī; <math>q_c &lt; 1/1,5</math> MPa mālā;</p> <p>Ārējs generators vibrācijas iekārtai</p>
<b>Grunts pāļi ar vibrācijas iekārtu apakšā un minerālmateriāla padošanu no augšas ar ūdens strūkļu</b>	<p>Izmanto arī dažādu grants vai šķembu maisījumu (līdz pat 80 mm), bet ne smilti</p> <p>Izbūvē gan no ekskavatora, gan urbšanas iekārtas un celtņa bāzes</p> <p>Izmanto arī ļoti vājās gruntīs (<math>c_u &gt; 10</math> kPa)</p> <p>Ar ūdens strūkļu var izbūvēt caur vidēji blīviem gruntis slāņiem (<math>q_c &lt; 15/25</math> MPa smiltī; <math>q_c &lt; 2/3</math> MPa mālā)</p> <p>Nav iebūves dziļuma ierobežojuma (praktisku apsvērumu dēļ 25/30 m)</p>	<p>Tipiskais diametrs no 800 līdz 1200 mm</p> <p>Jāstrādā ūdens piesātinātā gruntī</p> <p>Grūta blīvēšana tiksotropiskās gruntīs – puteklainas gruntis (Si) ar ļoti viendabīgu granulometrisko sastāvu</p> <p>Grūta pārvietošanās objektā (ārējais generators, sūkņi, kompresors, ūdens tvertne u.c.)</p> <p>Nepieciešams liela ūdens pievade (30 m<sup>3</sup>/h)</p>



Metode	Priekšrocības	Trūkumi
		Daļēja grunts apmaiņas metode, kas rada samērā daudz izņemtās grunts apjomu
<b>Grunts pāļi ar vibrācijas iekārtu apakšā un minerālmateriāla padošanu no apakšas slēgtā apvalkcaurulē</b>	<p>Izmanto arī ļoti vājās gruntīs (<math>c_u &gt; 10</math> kPa)</p> <p>Nav dziļuma ierobežojuma (praktisku apsvērumu dēļ 25 / 30 m)</p> <p>Izbūvē gan no ekskavatora, gan urbšanas iekārtas un celtņa bāzes</p>	<p>Parasti diametrs ir no 500 līdz 1000 mm</p> <p>Ārējais ģenerators vibrācijas iekārtai</p> <p>Parasti lieto tikai noteiktas granulometrijas grants vai šķembu materiālu (fr. 20/40). Tomēr lieto arī smilts un smilts-grants maisījumu</p> <p>Ierobežota caurdurības spēja – <math>q_c &lt; 5/10</math> MPa; smiltī un <math>q_c &lt; 1/1,5</math> MPa mālos (pārkaršana, apvalkcaurules savienojumu bojājumi u.c.)</p>

### 8.3. Grunts pastiprināšanas projekta izstrāde

Grunts pāļi vājās gruntīs samazina grunšu konsolidācijas laiku un kopējo sēšanos, kā arī uzlabo grunts nestspēju un bīdes pretestību. Grunts pāļu projektēšanu veic sekojošos posmos:

1. Aprēķina uzbēruma sēšanos un nogāzes kopējo stabilitāti, lai novērtētu grunšu pastiprināšanas nepieciešamību;
2. Pieņem grunts laukuma aizvietošanas attiecību un grunts pāļa diametru;
3. Atkarībā no grunts pieņemtā aizvietošanas attiecības un grunts pāļa diametra pieņem grunts pāļu izvietojuma režģi;
4. Veic grunts pāļa nestspējas aprēķinu;
5. Veic sēšanās aprēķinu, nosaka konsolidācijas parametrus – laiku un konsolidācijas pakāpi laikā, kā arī iespējamās pēcbūvniecības deformācijas;
6. Pārbauda uzbēruma kopējo stabilitāti.

Parametri, kas jānovērtē pirms un pēc grunts pāļu būvprojekta izstrādes, apkopoti tabulā (skat. 8.2. tabula).

8.2. tabula. Parametri, ko nepieciešams novērtēt (pirms un pēc), projektējot un analizējot grunts pāļu risinājumu

Pastiprināšanas kritēriji	$FS_{min}$ - nogāzes stabilitātes minimālais drošības koeficients
	Pieļaujamās deformācijas
Pamatnes raksturošana	Nedrenētā bīdes pretestība ( $c_u$ ) vājajiem grunts slāņiem
	Grunts identifikācija un klasifikācija
	Grunts mitrums
	Granulometriskais sastāvs
	Grunts tilpumsvars
	Vājās grunts stingums – deformāciju modulis $E_m/E_s$
	Puasona koeficients ( $\nu$ )
	Vājā slāņa saspiežamības rādītāji ( $c_v, C_c, C_a, e_0$ )
	Filtrācijas parametri ( $k_h, k_v$ )
	Vājā slāņa biezums
	Grunts reakcijas koeficients – $k_s$
	Grunts sākotnējās īpašības, kas iegūtas ar statisko zondēšanu – $q_c, f_s, R_f, u$
	Slogošanas nosacījumi
Konstrukcija	
Grunts materiāla īpašības	Grunts īpašības pēc blīvēšanas statistiskās zondēšanas gala pretestība – $q_c$
	Iekšējās berzes leņķis – $\varphi'$
	Materiāla tilpumsvars
	Granulometriskais sastāvs
	Filtrācijas īpašības
	Stingums – deformāciju modulis $E_m/E_s$
Ģeometrija	Grunts pāļu izvietojums plānā
	Diametrs
	Garums
	Laukums
	Grunts apmaiņas attiecība visā laukumā

Grunts pāļa nestspēju apskata vienkāršoti. Maksimālais horizontālais atbalsts, ko var nodrošināt dabiskā grunts ap grunts pāli, pieņemot noteiktu grunts nedrenēto bīdes pretestību  $c_u$  noteiktā dziļumā  $z$  [82]:

$$\sigma_h = \gamma \cdot z + 2 \cdot c_u \quad (8.4.1.)$$

kur:

$\sigma_h$  – horizontālais grunts pretspiediens;

$\gamma$  – grunts tilpumsvars.

Ja pieņem, ka grunts pasīvais spiediena koeficients:

$$K_p = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2}\right) \quad (8.4.2.)$$

kur:

$\varphi'$  – grunts pāļi esošā materiāla efektīvais iekšējās berzes leņķis, – tad maksimālais vertikālais spriegums, kuru var uzņemt grunts pāļi, ir šāds:

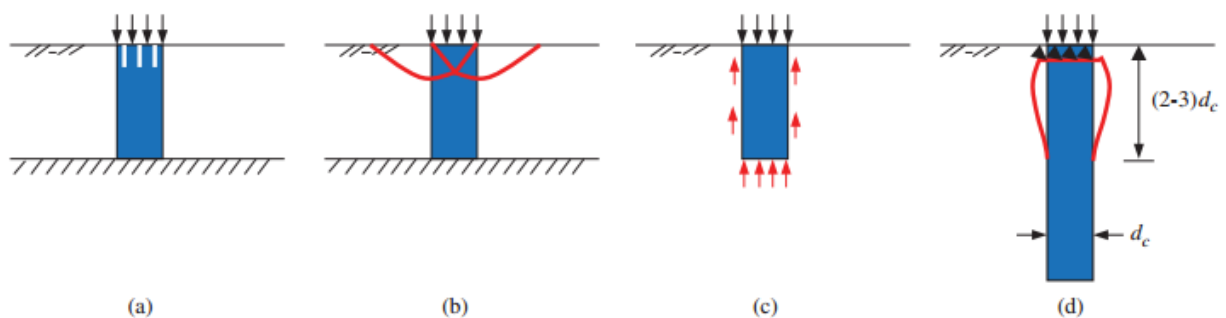
$$\sigma_0 = K_p(\gamma \cdot z + c_u) \quad (8.4.3.)$$

kur:

$\sigma_0$  – vertikālais spiediens.

Minimālā grunts nedrenētā bīdes pretestība ( $c_u$ ), kad vēl iespējams izmantot grunts pāļus, parasti tiek pieņemta –  $c_u > 15 \text{ kPa}$ , lai gan grunts pāļus izbūvē arī gruntīs ar zemākām īpašībām. Pie tam iespējams arī gruntis konsolidēt pirms to pastiprināšanas.

Ja tiek apskatīti grunts pāļa GEO/STR robežstāvokļa nosacījumi un iespējamie sabrukuma veidi (skat. 8.2. attēls), tad deformācijas jau pārsniedz lietojamības robežstāvokļa nosacījumus. Tieši tāpēc būtiskāk ir apskatīt tieši lietojamības robežstāvokli – sēšanās aprēķins, novērtējot pieļaujamās iedarbes uz grunts pāli.



8.2. attēls. Iespējamie grunts pāļu sabrukuma veidi, iedarbojoties ar vertikālu slodzi: (a) sadrupšana, (b) lokāla bīdes pretestības zaudēšana, (c) caurspiešana, (d) izspiešanās [35]

Pastāv vairākas metodes, ko izmanto grunts pāļu aprēķinam lietojamības (SLS) robežstāvoklī:

1. Elastīgas grunts analītiskie modeļi:
  - Homogenizēšanas metode;
  - *Balaam&Booker* metode [83].
2. Elasto-plastiskie grunts analītiskie modeļi:

- Priebe metode [84];
- *Ghionna&Jamiolkowski* metode;
- *Goughnour&Bayuk* metode [85].

### 3. Skaitliskās metodes.

Ar homogenizēšanas metodi iespējams vienkāršoti novērtēt grunts sēšanās samazinājuma faktoru:

$$\beta = \frac{E_{eq}}{E_s} = 1 + \frac{A_c}{A} \left( \frac{E_c}{E_s} - 1 \right) \quad (8.4.4.)$$

ekvivalentais grunts deformāciju modulis visam slānim:

$$E_{eq} = \frac{A_c}{A} E_c + \left( 1 - \frac{A_c}{A} \right) E_s \quad (8.4.5.)$$

kur:

$\beta$  – grunts sēšanās samazinājuma faktors;

$E_s$  – grunts deformāciju modulis;

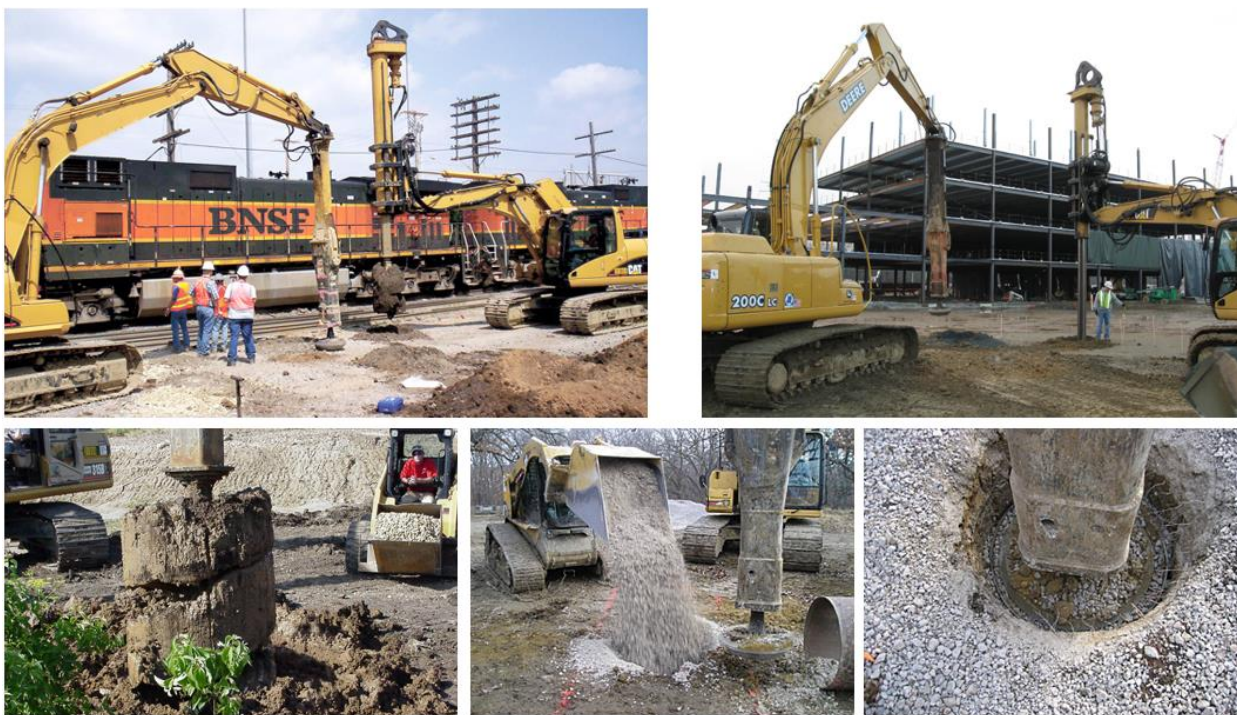
$E_c$  – grunts pāļa materiāla deformāciju modulis;

$A$  – kopējais piekļaujošais laukums grunts pālim;

$A_c$  – grunts pāļa laukums.

## 8.4. Būvniecības tehnoloģijas

Pastāv vismaz astoņi dažādi veidi, kā tiek izbūvēti grunts pāļi (skat. no 8.3. attēls līdz 8.9. attēls), taču pamatprincips ir viens. Gruntī tiek sablīvēts noteiktas granulometrijas minerālmateriāls.

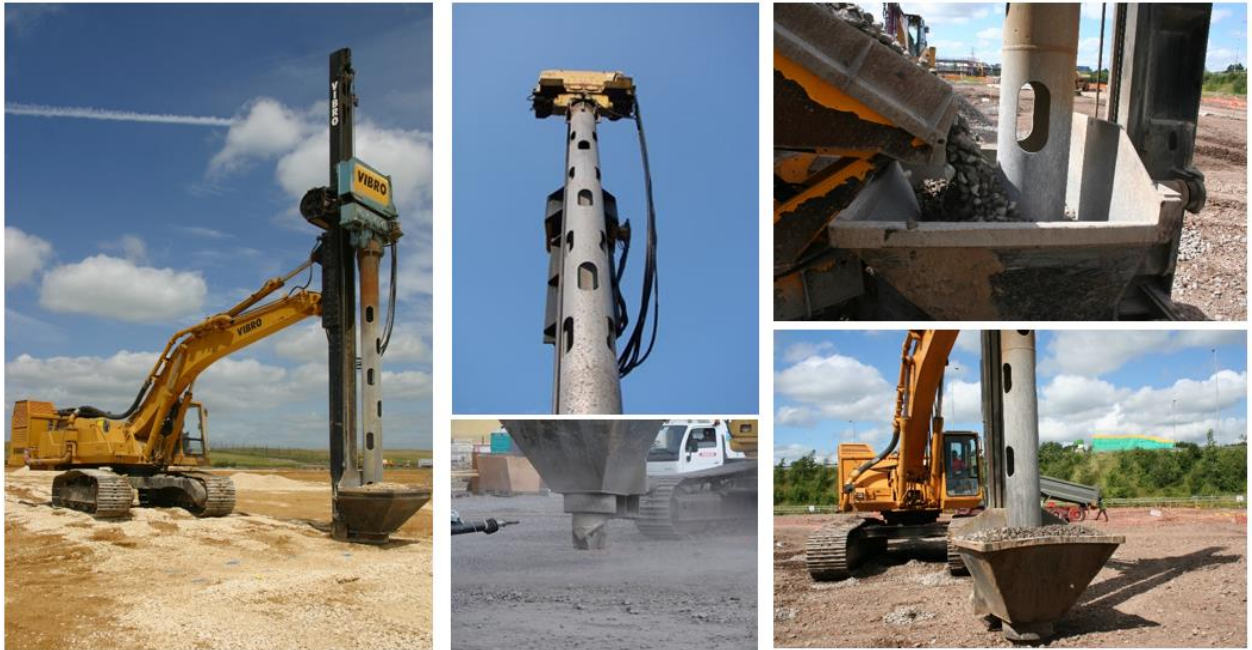


8.3. attēls. Grunts pāļu izbūve ar blīvēšanu urbumā

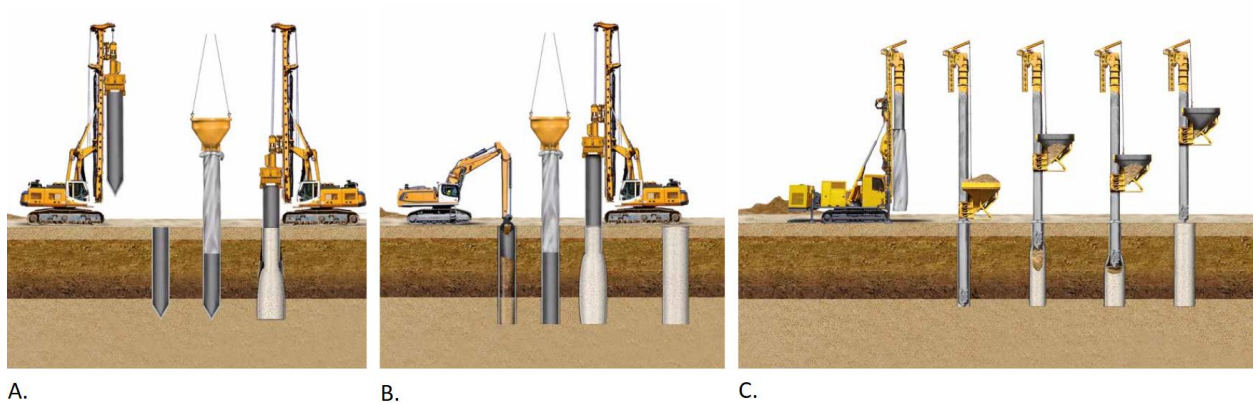


8.4. attēls. Grunts pāļu izbūve ar minerālmateriāla padošanu no apakšas un vibrācijas iekārtu augšā





8.5. attēls. Grunts pāļu izbūvē ar vibrācijas iekārtu augšā un minerālmateriāla padošanu no apakšas perforētā apvalkcaurulē



A.

B.

C.

8.6. attēls. Grunts pāļu izbūves veidi ar vibrācijas iekārtu augšā un minerālmateriāla padošanu no augšas/apakšas (ģeosintētiskā materiāla apvalkā); A– izspiežot grunti ar apvalkcauruli; B – izņemt grunti no apvalkcaurules; C– ar vibrācijas iekārtu apakšā un minerālmateriāla padošanu no apakšas slēgtā apvalkcaurulē



8.7. attēls. *Grunts pāļu izbūve ar vibrācijas iekārtu apakšā un minerālmateriāla padošanu no augšas bez ūdens strūklas*





8.8. attēls. Grunts pāļu izbūve ar vibrācijas iekārtu apakšā un minerālmateriāla padošanu no augšas ar ūdens strūklu



A.



B.



C.

8.9. attēls. Grunts pāļu izbūve ar vibrācijas iekārtu apakšā un minerālmateriāla padošanu no apakšas slēgtā apvalkcaurulē; A – no urbšanas iekārtas bāzes; B – no ekskavatora bāzes; C – no celtņa bāzes

## 8.5. Kvalitātes kontrole

Vibroapmaiņas vai grunts pāļu kvalitātes kontrole jāveic atbilstoši LVS EN 14731:2006 Īpašo ģeotehnisko darbu izpilde: Grunts apstrāde ar dziļu vibrēšanu. Galvenie kvalitātes kontroles un pārbaužu parametri doti tabulā (skat. 8.3. tabula).



8.3. tabula. Parametri, ko nepieciešams novērtēt (pirms un pēc), projektējot un analizējot grunts pāļu risinājumu

Esošās kvalitātes kontrole un pārbaudes	Kvalitātes kontrole	Materiāli	Grunts mitruma un tilpumsvara/blīvuma parametri Granulometriskais sastāvs
		Būvniecības process	Pāļa diametrs Pāļa garums Pāļu izvietojums plānā, izpildshēma Pāļa integritāte Pāļa vertikālitate Pāļa stingums – deformāciju modulis
	Kvalitātes pārbaudes	Materiāli	Grunts mitruma un tilpumsvara/blīvuma parametri Granulometriskais sastāvs
		Būvniecības process	Pāļa diametrs Pāļa garums Pāļu izvietojums plānā, izpildshēma Pāļa integritāte Pāļa vertikālitate Pāļa stingums – deformāciju modulis
Kvalitātes kritēriji	Materiāli	Grunts sablīvējums starp pāļiem	
	Būvniecības process	Pāļa nestspēja un sēšanās pie noteiktas slodzes Sēšanās kopējai sistēmai	

## 8.6. Cenas un izmaksas

Elektroniskajā pielikumā pievienots grunts pāļu cenu aprēķina algoritms. Izmaksu aprēķina rīks paredzēts sākotnējam izmaksu novērtējumam un nav paredzēts citam nolūkam. Aprēķinu precizitāte un ticamība ir tieši atkarīga no lietotāja ievadītajiem datiem, uzmanība jāpievērš specifiskiem projekta uzstādījumiem, kas var būtiski mainīt kopējās iespējamās izmaksas. Izmaksu kalkulācijā norādītās vienību izmaksas ir orientējošas – to iespējamais diapazons ir atkarīgs no izbūves tehnoloģijas izvēles un citiem papildu faktoriem. Kalkulācijā iekrāsotās šūnas nepieciešams aizpildīt.

## 9. C.4./C.5. STINGIE UN PUSSTINGIE PASTIPRINĀJUMI. UZBĒRUMI UZ PASTIPRINĀJUMIEM

Ar jēdzienu stingie pastiprinājumi parasti apzīmē betona stingos pastiprinājumus, savukārt pusstingie pastiprinājumi ir kaut kas starp vibroapmaiņas/grunts pāļiem (skat. 8. nodaļu) un stabilizētas grunts stingajiem pastiprinājumiem (skat. 11. nodaļu) – to stingums ir lielāks nekā grunts pāļiem, bet zemāks nekā betona stingajiem pastiprinājumiem. Pastāv arī tehnoloģiskās iespējas kombinēt betona stingos pastiprinājumus ar grunts pāļiem, tā iegūstot mainīga stinguma pastiprinājumus. Šajā nodaļā apskatīsim betona stingos pastiprinājumus un mainīga stinguma pastiprinājumus.

Ceļu un dzelzceļu uzbēruma konstrukcijā uz grunts pāļiem, stingajiem vai pusstingajiem pastiprinājumiem transporta slodze un slodze no ceļa segas pašsvara tiek samazināta uz zemes klātnē esošo grunti (parasti 60–90%), tādā veidā ievērojami ierobežojot kopējās un arī nevienmērīgās pēcbūvniecības deformācijas (skat. 9.1. attēls).



9.1. attēls. Ar dažāda stinguma pastiprinājumiem pastiprināta ceļa uzbēruma shēma

Kā slodzi sadalošais slānis kalpo slodzes pārnesšanas slānis (*load transmission platform* – *LTP*). Slodzes pārnesšanas slānis ir būtiska komponente, apskatot stingos pastiprinājumus. Tas parasti var būt sekojošs:

- Labi sablīvēta minerālmateriāla slānis;
- Hidrauliski saistīta (stabilizēta vai uzlabota) minerālmateriāla slānis;
- Minerālmateriāla slānis, kas ir stiegrots ar ģeositētisko materiālu vai kāda cita veida stiepes stiegrojumu.

Vairākās valstīs ir izstrādātas savas rekomendācijas un projektēšanas vadlīnijas ar dažāda stinguma pastiprinājumiem pastiprināta ceļa uzbūrumiem, kā arī joprojām tiek strādāts pie tā, lai uzlabotu analītiskos aprēķinu modeļus. Eiropas Savienībā vien eksistē sešas dažādas rekomendācijas:

- Holandiešu CUR 226 (izstrādāts 2010. gadā, bet atjaunots 2015. gadā) [86] [87];
- Vācu EBGeo (izstrādāts 2010. gadā) [88];
- Britu standarts BS 8006 (izstrādāts 1995. gadā, bet atjaunots 2010. gadā) [89];
- Somu Liikennevirasto (izstrādāts 2012. gadā) [90];
- *Nordic Guidelines of Reinforced Soils and Fills* (izstrādāts 2004. gadā) [91];
- Franču ASIRI (izstrādāts 2012. gadā) [92].

## 9.1. Vispārējie principi un lietošanas joma

Stingo un arī pusstingo pastiprinājumu risinājums atšķiras no pāļu pamatu risinājuma. Stingie pastiprinājumi konceptuāli samazina slodzes ietekmi (parasti 60–90%) uz vājas nestspējas un lietojamības dabiskās grunts slāņiem, lai ierobežotu kopējās un nevienmērīgās grunšu deformācijas.

## 9.2. Priekšrocības un trūkumi

Atšķirībā no grunts pāļiem un, piemēram, grunts pastiprinājumiem, kur tiek stabilizēta esošā grunts (dziļās stabilizācijas kolonnas vai grunšu solidifikācija) [93], betona stingo pastiprinājumu izbūve un darbība ir ievērojami mazāk atkarīga no apkārtesošās grunts īpašībām. Tā kā betona stingo pastiprinājumu deformāciju modulis parasti ir 50–5000 reižu augstāks nekā apkārtesošās grunts deformāciju modulis [94], iespējams ievērojami lielāks deformāciju samazinājums salīdzinājumā ar grunts pāļiem vai pusstingajiem pastiprinājumiem, piemēram, dziļās stabilizācijas kolonnām. Betona stingo pastiprinājumu priekšrocības ir šādas:

- Liels stingums;
- Horizontālā stabilitāte neatkarīgi no apkārtesošās grunts;
- Augsta veiktspēja un iespēja kontrolēt un reģistrēt urbšanas parametrus;

- Necīgi izņemtās grunts apjomi vai arī tādu nav.

Kā viens no trūkumiem tiek minēts tas, ka nepieciešamas betona piegādes objektā un paša betona salīdzinoši augstās izmaksas. Tomēr salīdzinājumā ar grunts pāļiem izmanto mazāka diametra pastiprinājumus, tātad patērētais materiāla daudzums ir mazāks. Betona stingie pastiprinājumi ir ekonomiski pamatoti arī to augstās veiktspējas dēļ.

Ar dažāda stinguma pastiprinājumiem pastiprināta ceļa uzbēruma galvenā priekšrocība salīdzinājumā ar citām ceļa zemes klātnes pastiprināšanas metodēm ir tā, ka parasti visus pastiprināšanas darbus veic vienlaikus nepārtraukti. Piemēram, nav nepieciešams gaidīt vājas grunts konsolidāciju – papildus radītā poru spiediena samazināšanos. Šādā veidā pastiprināts uzbērums ir daudz ekonomiski pamatotāks risinājums salīdzinājumā ar grunts apmaiņu, ja vājās grunts slāņi ir dziļi un biezi, kā arī gruntsūdens līmenis ir augsts.

Ja apkārtējās būves vai vide nepieļauj vibrācijas, izmanto tādu stingo pastiprinājumu metodi, kur apkārtējā vidē netiek radītas būtiskas vibrācijas.

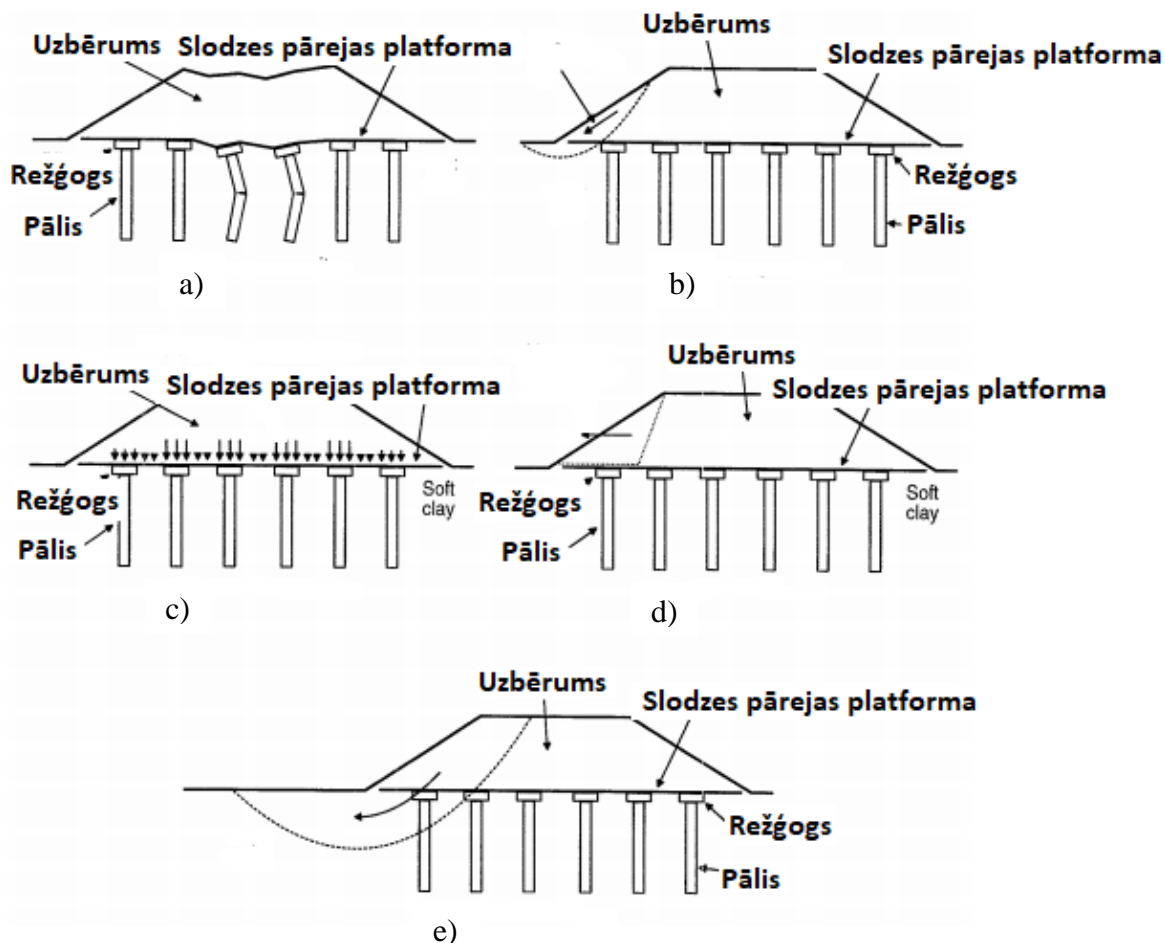
Uzbērumi uz stingajiem pastiprinājumiem ievērojami samazina kopējās un nevienmērīgās uzbēruma deformācijas.

Vēl viena no priekšrocībām ar dažāda stinguma pastiprinājumiem pastiprinātiem ceļa uzbērumiem ir tā, ka var izvēlēties un pielāgot (vai arī kombinēt) dažādas metodes atkarībā no konkrētā projekta vajadzībām.

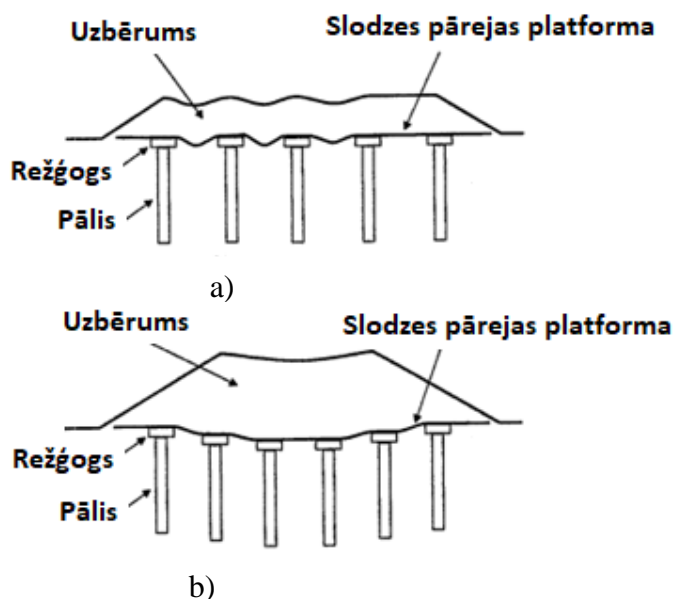
Viens no trūkumiem šai metodei ir augstās izbūves izmaksas, tomēr tas nav viennozīmīgi un katrs gadījums jāizskata atsevišķi. Tāpat šādi pastiprinātu uzbērumu dzīves cikla izmaksas var būt ievērojami zemākas salīdzinājumā ar citām metodēm, jo ceļa segas uzturēšanas izdevumi dzīves cikla laikā samazinās – ceļa sega kalpo ilgāk.

### **9.3. Grunts pastiprināšanas projekta izstrāde**

Grunts pastiprinājumu projektēšana jāveic atbilstoši iepriekš minēto rekomendāciju prasībām, izmantojot atbilstošos Eiropas Savienības normatīvus un citus standartus. Grunts pastiprinājumiem zem uzbērumiem veic aprēķinu gan pēc nestspējas, gan lietojamības robežstāvokļa. Tipiskie nestspējas un lietojamības sabrukumu veidi parādīti attēlos (skat. 9.2. attēls un 9.3. attēls).



9.2. attēls. Pastiprinātu ceļa uzbērumu sabrukums nestspējas robežstāvoklī. A – pāļu grupas nestspēja; B – pāļu grupas izvirzījums, lai izvairītos no lokālas nogāzes nestabilitātes; C – slodzes nevienmērīga pārdalīšanās; D – horizontālā noslīdēšana; E – kopējā stabilitāte.



9.3. attēls. Pastiprinātu ceļa uzbērumu sabrukums lietojamības robežstāvoklī. A – slodzes pārejas platformas relatīvās deformācijas; B – pamatu sēšanās

Parametri, ko nepieciešams novērtēt, analizējot pastiprinājumus un ceļa uzbērumus uz pastiprinājumiem (skat. 9.1. tabula).

9.1. tabula. Parametri, ko nepieciešams novērtēt (pirms un pēc,) projektējot un analizējot uzbērumus uz stingajiem pastiprinājumiem

Pastiprināšanas kritēriji	Pieļaujamās kopējās deformācijas
	Pieļaujamās nevienmērīgās deformācijas
	$FS_{min}$ nogāzes stabilitātei
	$FS_{min}$ horizontālajai atdalīšanās stabilitātei
	Ģeosintētisko materiālu parametri
Pamatnes raksturošana	Ģeoloģiskais griezumums – stratigrāfija
	Nedrenētā bīdes pretestība ( $c_v$ ) vājajiem grunts slāņiem
	Grunts identifikācija un klasifikācija
	Grunts mitrums
	Gruntsūdens līmenis
	Granulometriskais sastāvs
	Grunts tilpumsvars
	Vājās grunts stingums – deformāciju modulis $E_m/E_s$ )
	Puasona koeficients – $\nu$
	Vājā slāņa saspiežamības rādītāji ( $c_v, C_c, C_\alpha, e_0$ )
	Filtrācijas parametri ( $k_h, k_v$ )
	Vājā slāņa biezums
	Grunts reakcijas koeficients – $k_s$
	Grunts sākotnējās īpašības, kas iegūtas ar statisko zondēšanu – $q_c, f_s, R_f, u$
	Grunts horizontālā spiediena koeficients miera stāvoklī ( $K_0$ )
Nestspējīgā slāņa dziļums	
Slogošanas nosacījumi	Transportslodze – $q$ [kPa]
	Slodzes no uzbēruma
	Slodzes no konstrukcijām
Grunts materiāla īpašības	Pastiprinājuma veids
	Pastiprinājuma īpašības (spiedes, lieces, stiepes stiprība un stingums – deformāciju modulis)
	Pieļaujamā aprēķinu un lietojamības slodze uz pastiprinājumu
	Slodzes pārnesšanas platformas tilpumsvars, iekšējās berzes leņķis, deformāciju modulis $E_s$ , Puasona koeficients – $\nu$
	Pārējās ceļa segas nesaistīto slāņu iekšējās berzes leņķis ( $\varphi'$ ), deformāciju modulis $E_s$ , Puasona koeficients un grunts horizontālā spiediena koeficients miera stāvoklī ( $K_0$ )
	Ģeosintētisko materiālu maksimālā stiepes pretestība ( $T_{ult}$ )
	Ģeosintētisko materiālu stingums ( $J$ )
	Ģeosintētisko materiālu aprēķina/ šļūdes –robežas stiprība



	Savstarpējās iedarbības raksturojošās vērtības starp ģeosintētiskajiem materiāliem un minerālmateriālu
	Ģeosintētiskā materiāla anizotropiskās īpašības (garenvirzienā un šķērsvirzienā)
Būvniecības tehnoloģija	Ģeosintētiskā materiāla ieklāšanas virziens, pārslaidumi, ieloces u.c.
Ģeometrija	Pastiprinājumu izvietojums plānā
	Pastiprinājumu diametrs, ekvivalentais diametrs un laukums
	Režģoga diametrs vai platums, biezums un forma, ja tiek lietots
	Slodzes pārnesšanas platformas biezums, kopējā uzbēruma (ceļa segas) biezums
	Ģeosintētiskā materiāla ieklāšanas ģeometrija

## 9.4. Būvniecības tehnoloģijas

Betona stingos pastiprinājumus izbūvē ar dažādām metodēm, un tās ir līdzīgas tām, kuras tiek izmantotas dažāda veida betona pāļu izbūvē. Tiks apskatītas trīs populārākās metodes – urbtie betona berzes pāļi bez grunts izņemšanas, vibrotipa betona berzes pāļi bez grunts izņemšanas un urbtie betona pāļi ar grunts izņemšanu. Grunts pāļu izbūves tehnoloģija apskatīta 8.5. nodaļā, bet dziļās stabilizācijas pāļu izbūves tehnoloģija apskatīta 10.4. nodaļā.

Betona stingo pastiprinājumu izbūve ir aprakstīta sekojošos darbu izpildes standartos:

- LVS EN 1536+A1:2015 Īpašu ģeotehnisko darbu izpilde. Urbpāļi;
- LVS EN 12699:2015 Īpašo ģeotehnisko darbu izpilde: Pāļi bez grunts izņemšanas.

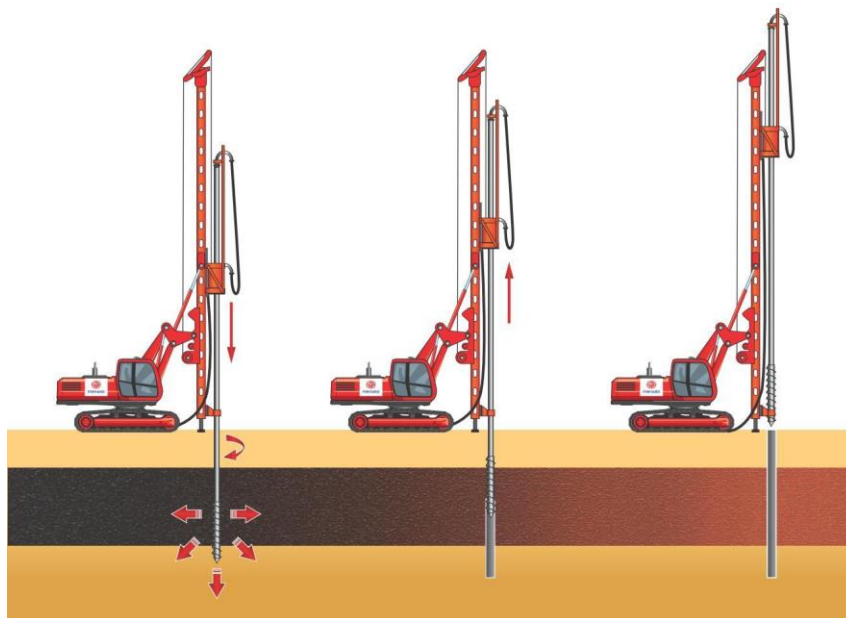
### 9.4.1. Urbtie betona berzes pāļi bez grunts izņemšanas

Betona stingos pastiprinājumus pēc urbto berzes pāļu tehnoloģijas bez grunts izņemšanas izbūvē, urbim ar noteiktu vērpes apgriezību (parasti vismaz 20 tm) un vertikālu spiedienu (parasti vismaz 20 t) izspiežot grunti horizontāli. Betonu ar spiedienu padod urbja izvilšanas laikā. Betona berzes stingā pastiprinājuma izbūves laikā netiek traucēta apkārtesošā grunts un netiek radītas vibrācijas uz apkārtējām konstrukcijām. Būvdarbu efektivitāte sasniedz vairākus simtus lineāro metru vienā maiņā. Pāļu izbūves shēma attēlota 9.4. attēls.

Pāļu urbšanas laikā kontrolē un ieraksta visus datus par katru pāli, tā nodrošinot nepārtrauktu urbšanas kontroli. Rezultātā iegūst urbšanas datus – pāļa profils, vertikālais spiediens, vērpes apgriezību u.c. Pāļus lieto dažādos grunšu tipos. Tehnoloģija labi piemērota irdenās smiltīs, plastiskās mālainās gruntīs, gruntīs ar augstu organisko vielu saturu (kūdra, dūņas, sapropelis) ar mitrumu virs 100% un antropogēnās gruntīs (nesablīvētos uzbērumos, uzskatotās gruntīs u.c.).



Pāļa garums un diametrs ir atkarīgs no plānotajām slodzēm un pieļaujamajām deformācijām. Šī tehnoloģija piemērota visu veidu infrastruktūras būvēm un ir tehnoloģiski un arī ekonomiski pamatota alternatīva grunts apmaiņai.

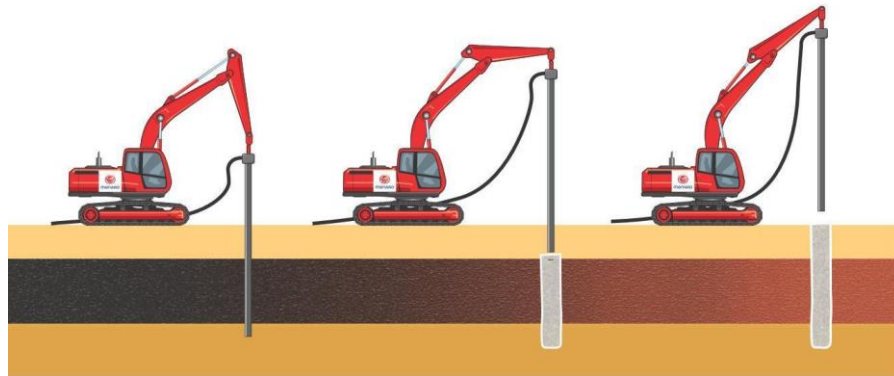


9.4. attēls. Urbto berzes paļu tehnoloģijas bez grunts izņemšanas izbūves shēma

#### 9.4.2. Vibrotipa betona berzes pāļi bez grunts izņemšanas

Vibrotipa betona pāļus bez grunts izņemšanas izbūvē, gruntī iespiežot speciālu apvalkcauruli. Līdz projektētajai atzīmei apvalkcauruli iespiež ar ekskavatora vertikālo spiedienu un vibrācijām, kas tiek pieliktas apvalkcaurules augšā. Atbilstošā sastāva betonu vai cementa javu padod pa apvalkcauruli, to vienlaikus velkot ārā no grunts. Vibrotipa betona berzes pāļu priekšrocība ir to izbūves produktivitāte, kas var pārsniegt pat 1000 lineāro metru vienā maiņā.

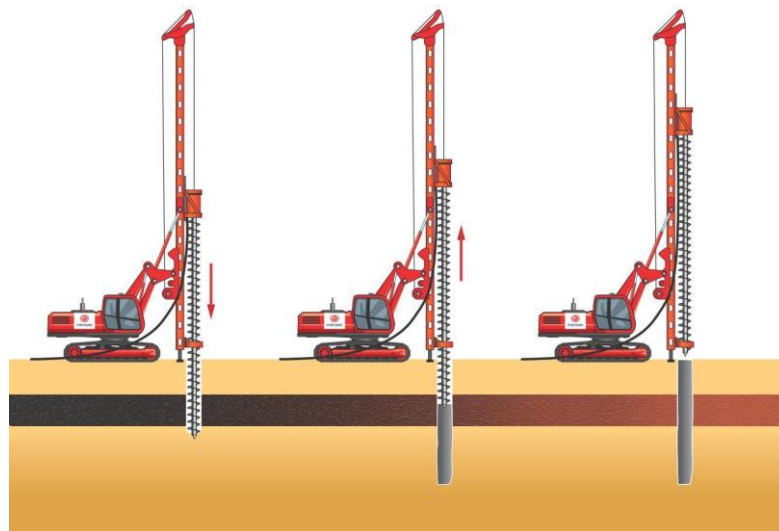
Pāļu izbūves laikā tiek mērīts izbūves dziļums, katram pālim patērētais betona vai javas tilpums, kas ļauj sekot līdzi darba kvalitātei. Pāļus izbūvē no darba platformas līmeņa, un tie ir īpaši piemēroti vājās gruntīs – organiskās izcelsmes (kūdrā, dūņās, sapropelī u.c.), irdenās smiltīs un plastiskas/ plūstošas konsistences mālos ( $I_L > 0.6$ ). Vibrotipa betona berzes pāļi parasti veido no betona vai cementa javas atbilstoši projektam, diametrā no 150 līdz 360 mm un 1,5–2,5 m tīklojumā. Pāļu izbūves shēma attēlota 9.5. attēls.



9.5. attēls. Vibrotipa berzes paļu tehnoloģijas bez grunts izņemšanas izbūves shēma

#### 9.4.3. Urbtie betona pāļi ar grunts izņemšanu

Pāļu urbšana ar gliemežurbi (CFA) ir pāļu urbšanas tehnoloģija, kur betons tiek iestrādāts pa urbja kātu un grunts tiek nevis izspiesta uz sāniem, bet gan aizvietota. Pāļus betonē, kamēr urbis tiek vilkts ārā no grunts. Šo tehnoloģiju lieto gadījumos ar lielām vertikālajām un horizontālajām slodzēm visās grunts tipos. Urbto betona pāļu parametri – garums, betona patēriņš, izbūves laiks, griezes moments u.c. –, tiek automātiski reģistrēti, tā kontrolējot pāļu izbūves procesu. CFA pāļus izbūvē dažādu tipu gruntīs zem dažāda veida konstrukcijām un atkarībā no slodzes uz pāli un grunšu fizikāli mehāniskajām īpašībām izbūvē dažādā diametrā ( $D = 300 - 1200 \text{ mm}$ ) un garumā ( $L < 25 \text{ m}$ ). Pāļu izbūves shēma attēlota 9.6. attēls.



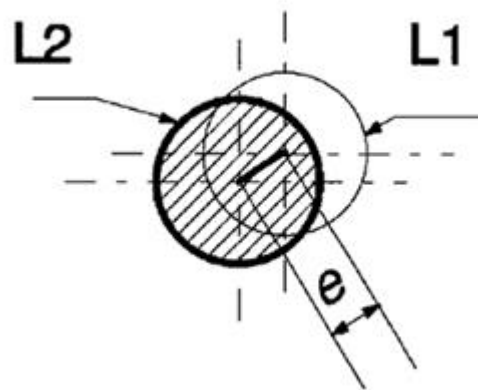
9.6. attēls. Urbto betona pāļu tehnoloģijas ar grunts izņemšanu izbūves shēma

## 9.5. Kvalitātes kontrole

Urbto betona pāļu kvalitātes kontrole jāveic atbilstoši standartiem LVS EN 1536+A1:2015 (Īpašu ģeotehnisko darbu izpilde. Urbpāļi) un LVS EN 12699:2015 (Īpašo ģeotehnisko darbu izpilde: Pāļi bez grunts izņemšanas). Grunts pāļu un dziļās stabilizācijas pastiprinājumu kvalitātes kontrole apskatīta 8.6. un 11.5. nodaļā.

Saskaņā ar LVS EN 1536+A1:2015 (Īpašu ģeotehnisko darbu izpilde. Urbpāļi) 7.2. paragrāfa 7.2.1. punktu, urbto pāļu ģeometriskās pielāgšanas darba virsmas līmenī ir sekojošas (skat. 9.7. attēls):

- $e \leq e_{\max} = 0,10$  m pāļiem ar diametru  $D \leq 1,0$  m;
- $e \leq e_{\max} = 0,1 \times D$  pāļiem ar diametru  $1,0 \text{ m} < D \leq 1,5$  m;
- $e \leq e_{\max} = 0,15$  m pāļiem ar diametru  $D > 1,5$  m;



9.7. attēls. Urbto pāļu nobīdes shēma, kur L1 – projektētais pāļa novietojums; L2 – izbūvētais pāļa novietojums; e – pāļa ģeometriskā nobīde

Pēc darbu pabeigšanas izvērtē veikto darbu kvalitātes kritērijus. Pamatojoties uz tiem, tiek sastādīta izpilddokumentācija, kas sastāv no:

- Pāļu statistiskās pārbaudes rezultātiem;
- Pāļu žurnāla, kur norādīti izmantotie materiāli un iekārtas, pāļa numurs, urbšanas sākuma laiks, garums, diametrs, betona/ šķembu/ javas apjoms u.c.
- Segto darbu aktiem ar pievienotu izpildshēmu;
- Visu pāļu izgatavošanas materiālu atbilstības deklarācijas un sertifikāti.

Kvalitātes nodrošināšanai urbto pāļu izbūvei tiek sastādīts kvalitātes kontroles akts (KKA):

1. Pārbaude pirms urbto pāļu ierīkošanas:
  - a. Izmantojamo materiālu atbilstība (pavadošie dokumenti);
  - b. Stiegrojuma pārbaude (garums, garenstieģrojuma diametrs un skaits, pārlaidumi, izvadu novietojums);
2. Betonēšana:
  - a. Piegādātā betona atbilstība;
  - b. Betona iestrādājamības klase S4 vai S5 un temperatūra, ne zemāka kā +5<sup>0</sup> C;
  - c. Pareizs paņemto kubiņu skaits;
3. Pārbaude pēc betonēšanas:
  - a. Ģeometriskā pārbaude – pāļu novietojums plānā pēc betona nociršanas (izpildshēma);
  - b. Visiem pāļiem pārbauda pāļa stobra betona viendabīgumu un nepārtrauktību;
  - c. Kubiņu pārbaudes rezultāti (pēc 28 dienām).

## 9.6. Cenas un izmaksas

Elektroniskajā pielikumā pievienots stingo pastiprinājumu un uzbērumu uz stingajiem pastiprinājumiem aprēķinu algoritms. Izmaksu aprēķinu rīks paredzēts sākotnējam izmaksu novērtējumam un nav paredzēts citam nolūkam. Aprēķinu precizitāte un ticamība ir tieši atkarīga no lietotāja ievadītajiem datiem. Nepieciešams pievērst uzmanību specifiskiem projekta uzstādījumiem, kas var būtiski mainīt kopējās iespējamās izmaksas. Kalkulācijā norādītās vienību izmaksas ir orientējošas – to iespējamais diapazons ir atkarīgs no izbūves tehnoloģijas izvēles un citiem papildu faktoriem. Kalkulācijā iekrāsotās šūnas nepieciešams aizpildīt.

## 10. D.1. GRUNTS SOLIDIFIKĀCIJA ("MASAS" STABILIZĀCIJA)

### 10.1. Vispārējie principi un lietošanas joma

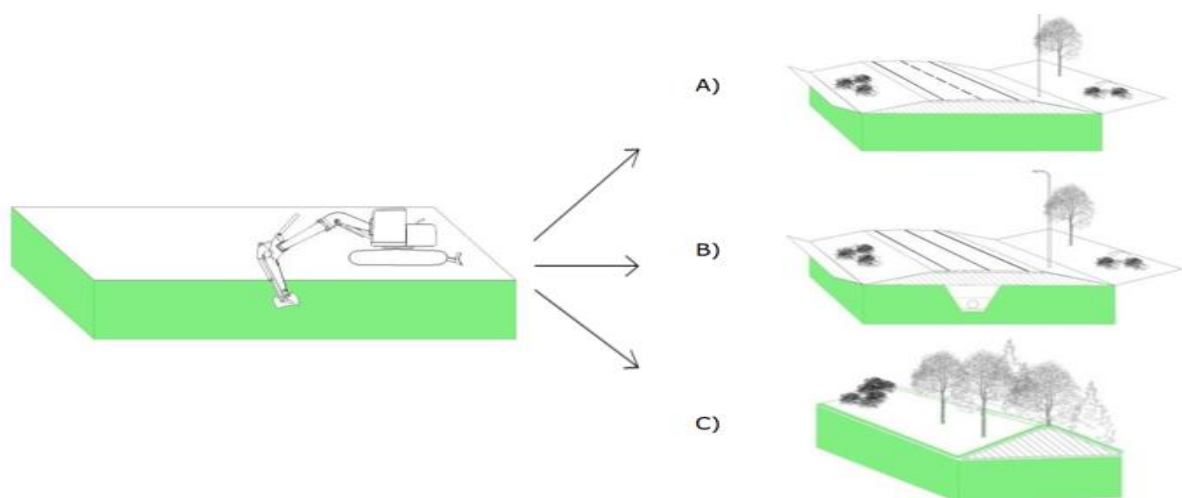
Grunts solidifikācija jeb "masas" stabilizācija ir metode, kas balstās uz esošās grunts pastiprināšanu, lietojot saistvielas un tās vienmērīgi iemaisot, lai iegūstu vienmērīgu masīvu ar homogēnām īpašībām. Šī ir relatīvi jauna pastiprināšanas metode, un nepieciešamās grunts īpašības iegūst, lietojot sausas vai samitrinātas saistvielas, tādas kā cementu, kaļķi, pelnus vai citus ražošanas procesa blakusproduktus ar atbilstošām ķīmiskajām īpašībām.

Grunts solidifikācija uzskatāma par piemērotu šādiem gadījumiem:

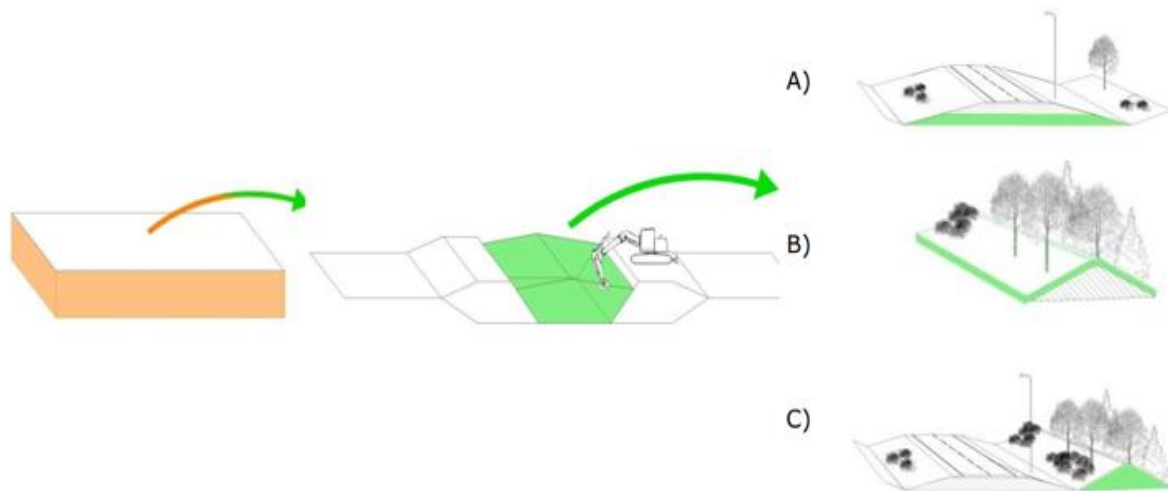
- Vāju grunts slāņu nestspējas/ stiprības palielināšanai;
- Vāju grunts slāņu deformāciju (sēšanās) samazināšanai;
- Vāju grunts slāņu dinamiskā stinguma palielināšanai (dinamisko slodžu ietekmes samazināšanai);
- Piesārņotu grunts slāņu izolēšanai un/ vai tālākai piesārņojuma izplatīšanās samazināšanai.

Izšķir divus galvenos stabilizācijas veidus pēc to lietojuma:

- Būvlaukumā esošās grunts stabilizācija, tādējādi izveidojot nestspējīgu pamatu, uz kura tiek izbūvētas konstrukcijas (skat.10.1. attēls);
- Stabilizējot iepriekš izstrādātu grunti, to pārvietojot uz nepieciešamo atrašanās vietu (skat.10.2. attēls).



10.1. attēls. Būvlaukumā esošās grunts pastiprināšana



10.2. attēls. Stabilizēta iepriekš izstrādāta grunts, kas lietota citā būvlaukumā

Masas stabilizāciju var lietot kopā ar citām grunts stabilizācijas metodēm. Visbiežāk masas stabilizāciju lieto kombinācijā ar dziļo stabilizāciju.

## 10.2. Priekšrocības un trūkumi

10.1. tabula. Masas stabilizācijas priekšrocības un trūkumi

Priekšrocības, lietojot masas stabilizāciju	Iespējamie trūkumi, lietojot masas stabilizāciju
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Relatīvi ātra un universāli lietojama dažādu vāju grunšu stabilizācijai</li> <li>2. Iespējams stabilizēt lielus grunts masīvus</li> <li>3. Noteiktos gadījumos ir ekonomiski izdevīga, ietaupot būvlaukumā ievadamā materiāla patēriņu un enerģiju</li> <li>4. Uzlabo grunts mehāniskās īpašības, kā arī dod iespēju veidot savienojošus elementus ar citām apkārtējām konstrukcijām</li> <li>5. Samazina virsmas sēšanos</li> <li>6. Realizācijai nav nepieciešama grunts pārvietošana, ir mazākas grunts transportēšanas izmaksas un iespējams piesārņojums apkārtējai videi transportēšanas laikā, kā arī iespēja stabilizētu izvesto grunti nedeponēt speciāli izveidotās deponēšanas vietās</li> <li>7. Ņemot vērā vides ietekmi, masas stabilizācija nodrošina mazas vibrācijas un</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ierobežots stabilizācijas dziļums</li> <li>2. Ar organiku piesātinātu grunšu stabilizācijai nepieciešams augstāks saistvielu saturs un specifisks ķīmiskais sastāvs</li> <li>3. Rentabilitāte ir tieši atkarīga no precīzi noteiktas saistvielas nepieciešamā daudzuma</li> <li>4. Šķēršļi grunts struktūrā, piemēram, laukakmeņi vai celmi traucē izbūves procesā</li> </ol>

Priekšrocības, lietojot masas stabilizāciju	Iespējamie trūkumi, lietojot masas stabilizāciju
troksni izbūves laikā. Pievienotās saistvielas negatīvā ietekme uz vidi ir daudz mazāka salīdzinājumā ar bīstamo vielu piesārņojumu, kas rodas grunts apmaiņas un transportēšanas laikā	

Pateicoties grunts masas stabilizācijas tehnoloģijai ir iespējams lietot vājas gruntis kā pamatu dažādu konstrukciju un transportbūvju izbūvei, kā arī pastiprināt arī jau izstrādātu un pārvietotu grunti, piemēram, ostas teritorijas padziļināšanā izsmeltās saneses.

Masas stabilizācija, kā grunts uzlabošanas metode, ir īpaši piemērota projektiem, kuriem nepieciešama ekonomiska teritorijas paplašināšana. Visbiežāk grunts masas stabilizāciju lieto ceļu, ielu un dzelzceļa uzbērums, kā arī pagalmu un uzglabāšanas laukumu izbūvē, kur mīkstākie grunts slāņi ir biežāki par dažiem metriem un atrodas maksimālā dziļumā līdz 5–7 m no zemes virsmas.

Grunts masas stabilizācijas tehnoloģija ir piemērota realizācijai šādos izbūves projektos:

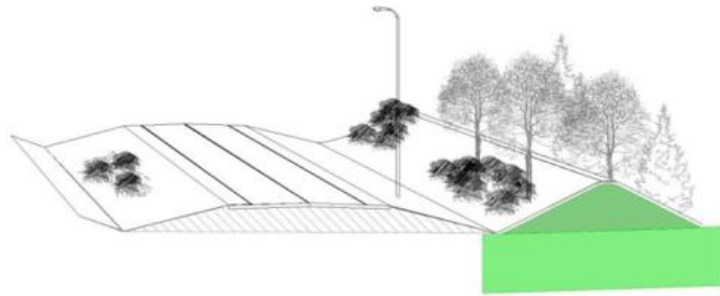
- ceļu, ielu, gājēju ietvju un dzelzceļa pamati;
- laukumi, autostāvvietas, sporta laukumi un būvlaukuma krautuves vietas;
- pamati rūpniecisko ēku un tiltu, baseinu un zemes līmeņa pacelšanas vajadzībām;
- trokšņu barjeras un nogāžu nostiprinājums un plūdu aizsardzības konstrukcijas upēm, ezeriem, ceļiem u.c.;
- satiksmes vibrācijas novēršana (skat.10.3. attēls– b);
- izstrādāto nogulumu/sanešu cietināšana/ stabilizācija;
- ļoti mīkstu grunšu stabilizācija tuneļa urbšanai;
- kabeļu/ cauruļu kanālu izbūve būvlaukumos;
- blakus esošo konstrukciju aizsardzība;
- grunts spiediena samazināšana;
- aizsardzības slāņi zem ūdens krātuvēm (skat.10.3. attēls– c);
- gruntsūdens aizsardzības slāņi (skat.10.4. attēls– a);
- sala un mūžīgā sasaluma aizsardzības slāņi;
- atkritumu un piesārņotās grunts apstrāde: attaukošana, izolācija un neitralizācija (skat.10.4. attēls– c);
- vibrācijas samazinošas sienas (piemēram, dzelzceļos) (skat.10.3. attēls– b).



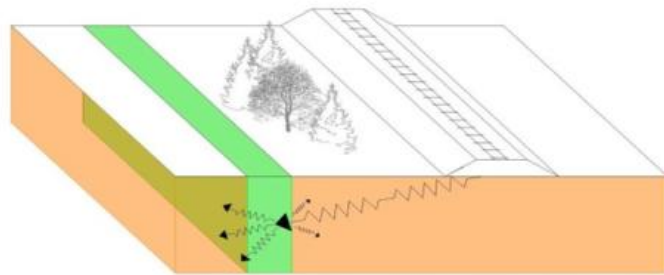
Masas stabilizācija tiek lietota sekojošos veidos:

- Vājā grunts slāņa stabilizācija pilnā biezumā;
- Daļēja slāņa stabilizācija, līdz noteiktam dziļumam (t.i., "peldošā" struktūra);
- Kombinēta struktūra – masas stabilizācija virs dziļās kolonnu stabilizācijas.

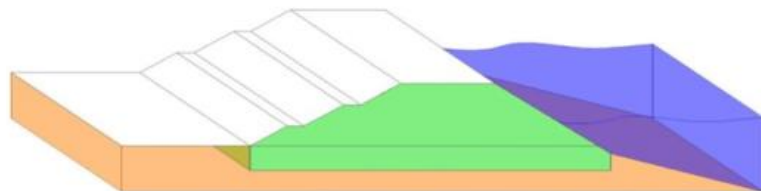
a) Skaņas barjera, kur pamats ir pastiprināts ar masas stabilizācijas palīdzību un uzbērums veidots no iepriekš stabilizētas grunts



b) Vibrāciju samazinoša konstrukcija, kas izveidota kā siena no stabilizētas grunts

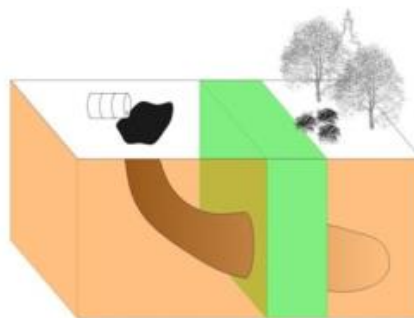


c) Pretplūdu dambis, kur pamats ir pastiprināts ar masas stabilizācijas palīdzību un uzbērums veidots no iepriekš stabilizētas mālainas grunts

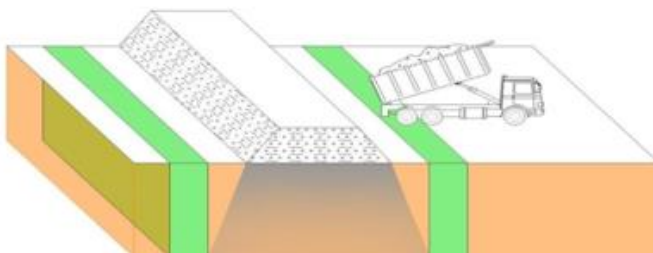


10.3. attēls. Dažādi stabilizētu grunšu lietojuma veidi

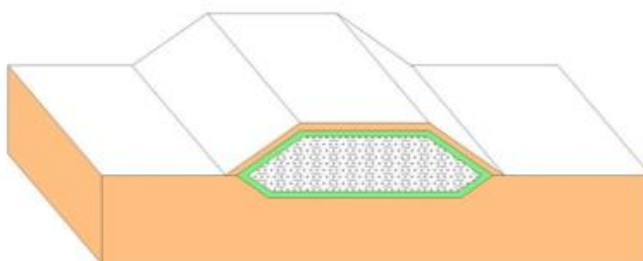
a) Piesārņojumu aizturoša siena



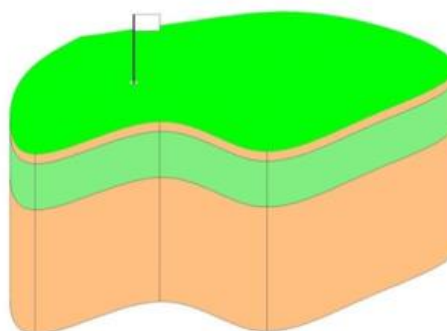
b) Barjeru sienas



c) Izolējošie slāņi, apakšējie un augšējie



d) Piesārņotu grunšu apstrāde un pielietošana uzbērumu un apzaļumošanas projektos



10.4. attēls. Dažādi stabilizētu grunšu lietojuma veidi

### 10.3. Masas stabilizācijas (solidifikācijas) projekta izstrāde

Vispārīgi aplūkojot projektus masas stabilizācijai, izšķir sekojošas daļas:

- Izvēlas grunts sajaukšanas metodiku un apjomu, kāds nepieciešams, lai tiktu sasniegtas noteiktās grunts īpašības, kas iegūtas, balstoties uz sēšanās un stabilitātes testu rezultātiem;
- Saistvielu maisījuma izveide, kas nodrošina izvīrīto prasību sasniegšanu. Saistvielu sastāvs ir mainīgs atbilstoši grunts veidam, saistvielu tipam un lietojumam. Saistvielu sastāvu bieži nosaka laboratoriski, un to var uzlabot, veicot lauka testus. Plānotās stiprības un sēšanās vērtības nosaka ar tradicionāliem ģeotehniskiem paņēmieniem.

#### Aprēķina/ analīzes kopsavilkums: nedrenēta bīdes stiprība

Pietiekama bīdes stiprība stabilizētā gruntī nodrošina atbilstošu grunts nestspēju un/ vai nogāžu stabilitāti. Nepieciešamo bīdes stiprību nosaka, lietojot sekojošu sakarību:

$$q_{all} = \frac{N_c c_u}{FS} \quad 10.3.1.$$

kur:

$q_{all}$  = pieļaujamā nestspēja [kPa];

$N_c$  = grunts nestspējas koeficients;

$c_u$  = plānotā nedrenētā bīdes stiprība [kPa];

$FS$  = drošības koeficients.

Lai noteiktu paredzamo bīdes stiprību, ir nepieciešams ticams pieņēmums gan par drošības koeficientiem, gan grunts nestspējas koeficientu. Pieņem stabilizētas grunts īpašības līdzīgas kā stingai mālainai gruntij un lieto grunts nestspējas koeficientu  $N_c = 5$  kā lentveida pamatiem [95]. Drošības koeficienti tiek izvēlēti, ņemot vērā dažādās nenoteiktības, tostarp stabilizētās grunts viendabīgumu.

#### Aprēķina/ analīzes kopsavilkums: sēšanās aprēķins

Stabilizētas grunts masīva sēšanās tiek noteikta, pieņemot, ka stabilizētās grunts masīvs ir homogēns, lineāri elastīgs un perfekti plastisks, kā arī slodze pilnā apjomā ir nodota uz stabilizēto grunti:

$$S_m = \sum \Delta h \frac{q}{E_m} \quad 10.3.2.$$

kur:

$S_m$  = stabilizētā grunts masīva sēšanās [m];

$\Delta h$  = slāņa biezums [m];

$q$  = slodze, kas pielikta uz stabilizēto masīvu [kPa];

$E_m$  = saspiežamības modulis stabilizētam masīvam [kPa].

Jāatzīmē, ka iegūtā sēšanās vērtība, pēc iepriekš minētā aprēķina, tiek noteikta visam konstrukcijas kalpošanas laikam, kas var būt neliels. Pieslodzes uzbērumu jāizbūvē neilgi pēc stabilizācijas darbu pabeigšanas, lai saspiestu (sablīvētu) stabilizēto grunts masīvu un tādējādi palielinātu grunts stiprību (pieslodzes uzbēruma augstums var būt 30–35% no samaisītā slāņa augstuma). Sēšanās, ko rada pieslodzes uzbērumi, jāapskata atsevišķi. Šo sēšanos nosaka, balstoties uz iegūtajiem laboratorijas testu rezultātiem atbilstoši zemāk minētajai metodikai.

Stabilizētās grunts sēšanās ātrums un apjoms ir atkarīgs no efektīvā sprieguma attiecības pret pirmskonsolidācijas spriegumu. Ja efektīvais spriegums nepārsniedz pirmskonsolidācijas spriegumu, sēšanās noris ātri un tā neietekmēs uz stabilizētās grunts slāņa paredzētās konstrukcijas ekspluatāciju. Kad efektīvais spriegums pārsniedz pirmskonsolidācijas spriegumu, sēšanās apjomu nosaka, lietojot klasiski lietotās metodes vertikāli drenētu grunšu aprēķinam.

Izmaiņas grunts filtrācijā, kas izriet no grunts stabilizācijas, ir jāņem vērā konsolidācijas aprēķinā.

Tā kā iepriekš minētajā aprēķinā tiek pieņemts, ka visa slodze ir nodota tikai uz stabilizēto grunts masīvu, aplūkojot pamatā esošās gruntis, aprēķins jāveic līdzīgi kā pāļu režģoga sēšanās gadījumā.

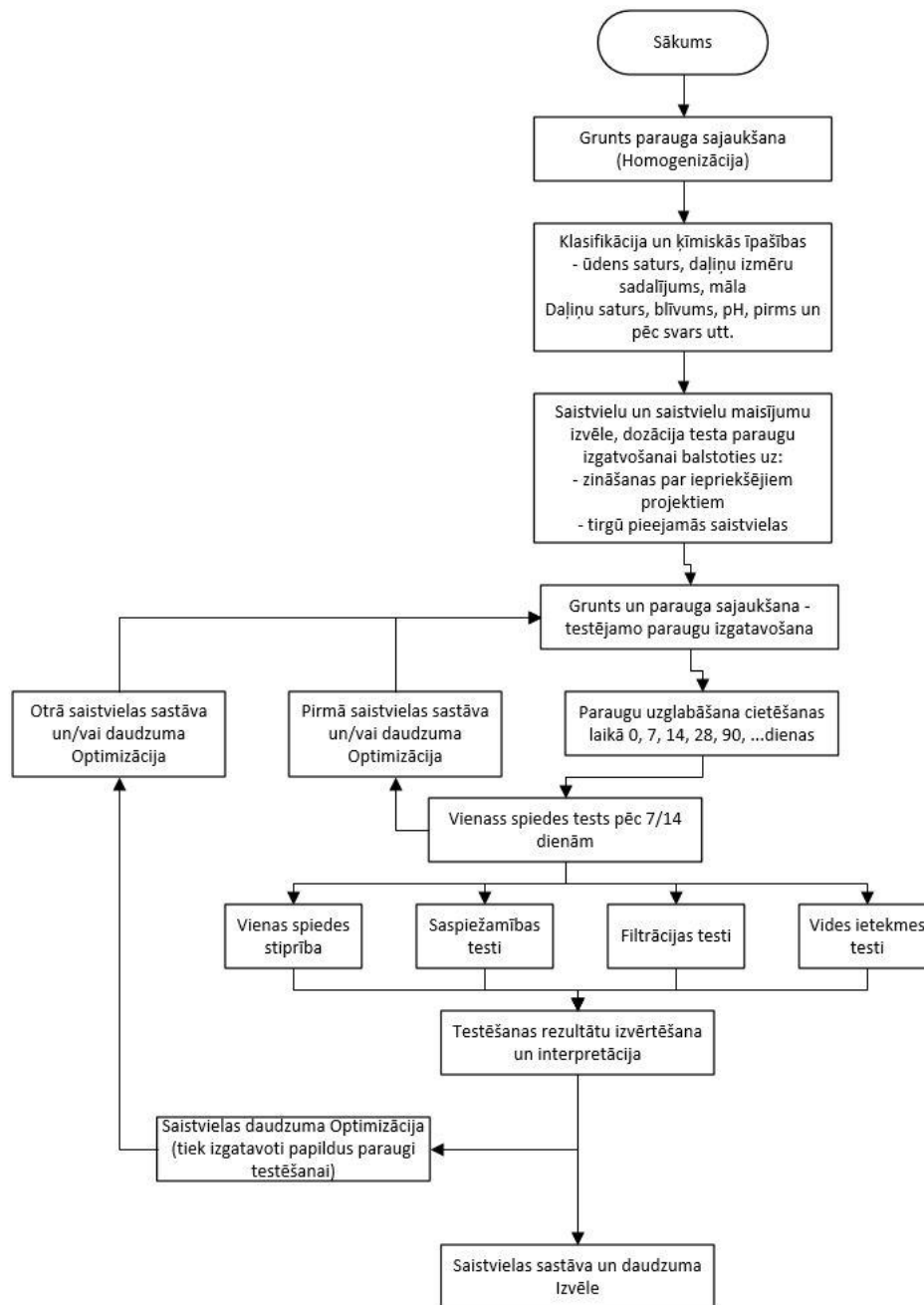
**Aprēķina/ analīzes kopsavilkums: apstrādes robeža (*Extent of treatment*)**

Apstrādes robežas ir būtisks aspekts, kas parāda, vai tiek nodrošināta stabilizētās grunts parametru sasniegšana saistībā ar grunts nestspēju, nogāžu stabilitāti un sēšanos. Stabilizētās grunts ģeometriskās robežas projektē, lietojot ģeotehniskās aprēķinu metodes vai izmantojot skaitlisko modelēšanu. Lai iegūtu optimālu ģeometrisko formu, rekomendē izveidot un aplūkot dažādus risinājuma variantus, ko salīdzināt atbilstoši iegūtajai grunts nestspējai un sēšanās vērtībām.

Atbilstoši aprēķinam [95] jālieto galīgo elementu analīzi, lai noteiktu sēšanās apjomu un to, kā paredzētā pamata pēda nodos slodzi uz stabilizēto grunts masīvu. Šādi tiek apskatīti iespējamie risinājumi un izvērtēta paredzēto pamatu ietekme atbilstoši izvirzītajām prasībām.

**Aprēķina/ analīzes kopsavilkums: saistvielas izveide (*Mix Design*)**

Sastāda un izpilda laboratorijas testēšanas programmu, lai atlasītu piemērotu saistvielu "recepti" un optimizētu tās daudzumus, kā arī, lai apmierinātu apstrādātās grunts stiprības parametrus, spriegumu deformāciju un apkārtējās vides prasības. Pirms saistvielu izvēles ir jānoskaidro esošie grunts apstākļi, ņemot grunts slāņus raksturojošus paraugus un testējot tos laboratoriski, lai noskaidrotu to fizikāli ķīmiskās īpašības un veiktu klasifikāciju atbilstoši spēkā esošajiem standartiem. Zinot grunts īpašības, ir iespējams atlasīt saistvielas un to dozāciju, kas pēc iepriekšējās pieredzes parādījušas labākos rezultātus. Tipiska saistvielas izvēles shēma parādīta 10.5. attēls.



10.5. attēls. Tipiska saistvielas izvēles shēma

Šis ir iteratīvs process, kā rezultātā vairākkārt jāveic testi ar dažādiem saistvielu sastāviem, līdz tiek sasniegti rādītāji, kas atbilst projektēšanas kritērijiem. 10.2. tabula parādīti orientējošie dažādu saistvielu tipi un to piemērotība atbilstoši grunts tipam.



10.2. tabula. Grunts tipu un tipisko saistvielu lietojums

	Putekļainas gruntis	Mālainas gruntis	Grunts ar organikas piejaukumu (organiskais māls)	Dūņas un kūdra
<b>Tipiskais organikas saturs</b>	<b>0–2%</b>	<b>0–2%</b>	<b>2–30%</b>	<b>50–100%</b>
<b>Saistviela</b>				
Cements	xx	x/xx	x/xx	xx/xxx
Cements+ģipsis	x	x	xx	xx
Cements+pelni/izdedži	xx/xxx	xx/xxx	xx	xx/xxx
Kaļķis+cements	xx	xx	x	-
Kaļķis+ģipsis	xx	xx	xx	-
Kaļķis+pelni	x	x	x	-
Kaļķis+ģipsis+pelni	xx	xx	xx	-
Kaļķis+ģipsis+cements	xx	xx	xx/xxx	-
Kaļķis	-	x/xx	-	-

xxx – ļoti laba saistviela dažādos gadījumos

xx – laba saistviela dažādos gadījumos

x – laba saistviela dažos gadījumos

- nav piemērota saistviela

Veicot masas stabilizācijas darbus un lietojot sausu saistvielas maisījumu paredzētajā testēšanas laikā, nosaka dažādas grunts un saistvielas attiecības (t.i., svars uz tilpuma vienību). Samitrinātas saistvielas gadījumā pārbauda dažādas saistvielas/ grunts/ ūdens attiecības un/ vai mitrās saistvielas masas attiecību pret grunts tilpumu. Maisījuma sastāva testēšanas programmas mērķis ir sasniegt nepieciešamos grunts stiprības parametrus ar visefektīvāko (t.i., finansiāli izdevīgāko) saistvielu daudzumu.

Rūpnieciskie blakusprodukti, piemēram, malti granulēti katlu izdedži, pelni un akmeņogļu pelni var tikt apsvērti kā alternatīva vai kā piedeva tradicionālajām saistvielām, piemēram, kaļķu, cementa un kaļķa cementa maisījumiem, kas bieži nodrošina vēlamās stabilizētās grunts īpašības, ietaupa izmaksas un nodrošina videi labvēlīgu ietekmi, ņemot vērā lietoto materiālu otrreizēju pielietojumu.

Masas stabilizēšanai nav negatīvas ietekme uz vidi. Plašā pētījumā, lietojot laboratoriskās izpētes, ir parādīts, ka kaitīgo vielu filtrācija izskalošanās vai iesūkšanās vidē ir nenozīmīga [96].

Organisku grunšu gadījumā pastāv riski nepietiekamai grunts un saistvielu mijiedarbībai. Izvēloties saistvielu bioloģisko/ organisko grunšu stabilizēšanai, ir jābūt piesardzīgiem. Papildu informāciju par saistvielu (uz kalcija bāzes) un organisko grunšu reakciju var atrast literatūrā [97].

Svarīgs aspekts saistvielas sastāva testēšanas laikā ir tam, lai tiktu nodrošināti konstanti paraugu sagatavošanas apstākļi visā projektēšanas procesā. Literatūras avotā [98] ir aprakstīta laboratorijas procedūra paraugu maisīšanai, cietināšanai un stiprības pārbaudei masas stabilizācijas projektiem. Sajaukšanas procedūrā grunti un saistvielu vispirms sajauc atsevišķi. Grunts sajaukšanai lieto mikseri ar lāpstiņām, savukārt saistvielas jaukšanai lieto speciālu mikseri vai blenderi. Pēc grunts un saistvielas sagatavošanas pie grunts pievieno saistvielu un tad sajauc kopā. Kad maisījums ir gatavs, to ievieto veidnēs. Kauss tiek izmantots, lai pārvietotu stabilizēto grunts un saistvielas maisījumu no lāpstiņu maisītāja uz veidnēm, veicot aptuveni trīs pacēlienus. Lai novērstu tukšumu veidošanos, paraugus sablīvē, lietojot nelielu stieni vai veicot parauga īsu vibrēšanu. Pēc veidņu aizpildīšanas tās aiztaisa ar vāciņiem un novieto mitrā telpā cietēšanai. Ja mitra telpa nav pieejama, paraugus var uzglabāt zem ūdens visu cietēšanas laiku. Ieteicamais cietēšanas laiks ir 7, 14, 28 un 56 dienas. Pēc cietēšanas paraugus testē ar vienas spiedes testu saskaņā ar ASTM D2166.

Laboratorijas paraugu cietēšanas un glabāšanas apstākļi ietekmē saistvielas sastāva izvēles rezultātus. Sajaukšanas un uzglabāšanas apstākļi paraugiem ietver mitrumu, temperatūru un pieslodzi, kam maksimāli tuvu jāatbilst lauka apstākļiem. Literatūras avotā [99] parādīta tiešā sakarība starp cietēšanas un glabāšanas temperatūru un vienas spiedes testa rezultātiem. Šajā literatūras avotā arī rekomendēts, izvēloties saistvielas sastāvu, veikt lauka testus, lai pārliecinātos par saistvielas piemērotību un kopējo stabilizācijas darbu kvalitāti. Literatūras avotā [100] parāda laboratorijas testēšanas programmu, lai simulētu lauka apstākļu sajaukšanos un sloģošanos nosacījumus masas stabilizācijai kūdrainas grunts apstākļos. Saskaņā ar [101] paraugus var sagatavot stabilizācijas un pēcblīvēšanas testus saskaņā ar [102].

Saskaņā ar [96] laboratorijas testi definē noteiktus materiālu raksturojošos parametrus: tūlumpusvaru  $\gamma_k$  (kN / m<sup>3</sup>), nedrenētas bīdes pretestību  $c_{uk}$  (kPa) un moduli  $E_k$  (kPa). Moduli  $E_k$  parasti pieņem ar vērtību, kas ir 50–100 reižu lielāks par nedrenētas bīdes stiprību, organisko grunšu raksturošanai lietojot apakšējās vērtības, bet putekļainu mālainu grunšu gadījumā lietojot augšējās vērtības. Tomēr atšķirības starp lauka un laboratorijas testu rezultātiem rodas dažādā sajaukšanas apjoma, slodzes pielikšanas ātruma un ģeometrisko atšķirību dēļ. Visi šie faktori ir rūpīgi jāapsver, interpretējot laboratorijas testu rezultātus. Saistvielas sastāva un

proporcijas apjoms lauka testu laikā tiek optimizēts, lai sasniegtu iespējami izdevīgu risinājumu būvniecības procesa laikā. Stiprības pieaugumu pārbauda cietēšanas laikā, jo tas tieši ietekmē pieļaujamās slodzes uz stabilizētās grunts izbūves un ekspluatācijas laikā.

Stabilizētās grunts sēšanās visbiežāk notiks tieši pēc pieslodzes uzbēruma izveides. Sēšanās palielinās stiprību un samazinās stabilizētās grunts saspiežamību ekspluatācijas laikā. Pieslodzes spriegumi uzbērumā ir jāsimulē jau laboratorijas apstākļos pirms lauka testu veikšanas, lai noskaidrotu stiprības un saspiežamības īpašības, kas var rasties ekspluatācijas slodzes rezultātā.

10.3. tabula. Parametri, ko nepieciešams novērtēt (pirms un pēc), projektējot un analizējot solidifikācijas risinājumu

Pastiprināšanas kritēriji	Bīdes stiprība/ vienas spiedes stiprība
	Grunts nestspēja
	Stabilitātes drošības koeficients
	Pieļaujamās kopējās deformācijas
	Filtrācija
	Tilpuma izmaiņa
	Blīvums
Pamatnes raksturošana	Iestrādes dziļums
	Grunts veids, ieskaitot organisko grunšu raksturlielumus
	Šķēršļi (pazemes komunikācijas, lieli akmeņi, blīvas smiltis u.c. )
	Gruntsūdens dziļums
	Bīdes stiprība
	Saspiežamība
	Organikas saturs
	pH
	Organisko grunšu ķīmiskās īpašības
	Grunts mitrums
Slogošanas nosacījumi	Slodzes no konstrukcijām
	Slodzes no uzbēruma
	Transporta slodze – $q = [kPa]$
	Slodze no iekšējo konstruktīvo slāņu masas
	Seismiskās slodzes
Grunts materiāla īpašības	Saistvielas tips
	Stabilizētās grunts bīdes pretestība
	Stabilizētās grunts saspiežamība

	Saistvielas un stabilizētās grunts viendabība
	Kalcija saturs
	Stabilizētās grunts pH
	Stabilizētās grunts filtrācija
Būvniecības tehnoloģija	Saistvielas apjoms, kas tiek iestrādāts gruntī (saistviela/ apjoms)
	Maisītāja galvas rotācijas ātrums
	Maisītāja galvas veids un to skaits
	Maisīšanas laiks
Ģeometrija	Stabilizācijas zona un apjoms
	Viena stabilizācijas nodalījuma izmēri
	Grunts stabilizācijas dziļums

## 10.4. Būvniecības tehnoloģijas

### 10.4.1. Nepieciešamās iekārtas un materiāli

Masas stabilizācijai lieto sekojošu aprīkojumu (skat.10.6. attēls):

- Maisīšanas galva (*Power Mix*);
- Spiediena saistvielas padevējs (*Pressure Feeder*);
- Datu apstrādes iekārta (*Data Acquisition Control*).



10.6. attēls. Masas stabilizācijai nepieciešamais aprīkojums

Grunts stabilizācijas tehnoloģijās lielākoties lieto sausu saistvielu un saspīestu gaisu, lai transportētu to no konteineru/ tvertņu uz grunti. Saistvielu piegādā pa šļūteni tieši no

sajaukšanas tvertnes vidus uz maisīšanas galvu. Ar datu apstrādes iekārtu operators kontrolē visas saistvielas padevēja funkcijas un precīzi nosaka saistvielas daudzumu, kas paredzēts iemaisīšanai gruntī. Maisīšanas galva ir daudzfunkcionāla hidrauliska maisīšanas ierīce, kas tiek piestiprināta pie ekskavatora.

#### 10.4.2. Gruntī esošo bīstamo vielu saistīšana un negatīvās ietekmes samazināšana

Grunts stabilizāciju var izmantot kā piesārņotu grunšu ierobežošanas veidu. Bīstamie ķīmiskie elementi, kas veido piesārņotās gruntis, pēc stabilizācijas tiek ieslēgti grunts struktūrā, samazinot to kustību un izveidojot mazāk šķīstošus elementus. Pirmais solis ir noteikt kaitīgo vielu koncentrāciju, lai vēlāk varētu izstrādāt piemērotu saistvielu recepti, kas samazina noplūdes apjomu (*leaching*).

Viena no saistvielām, kas izrādījusies piemērota sanācijas darbiem, ir pelni. Pelni ir tipisks ogļu sadedzināšanas blakusprodukts.

No piesārņojošo vielu neitralizēšanas viedokļa masas stabilizācija ir piemērota eļļu, policiklisko aromātisko ogļūdeņražu (PAO) un neorganisko piesārņotāju, kā, piemēram, smago metālu un sāļu, neitralizēšanai.

Piesārņotās gruntis var stabilizēt būvlaukumā vai tās pārvietot uz noteiktu apstrādes vietu. Būvlaukumā veiktajai apstrādei nav nepieciešama grunts noņemšana, kas ievērojami samazina iespējamo ķīmisko reakciju risku saistībā ar rakšanas darbiem.

Ķīmisko īpašību izmaiņš nozīmē tādu saistvielu pievienošanu, kas izraisīs ķīmisku reakciju ar kaitīgajām vielām un pārveidos tās mazāk šķīstošā formā. Tas nozīmē, ka kaitīgās vielas paliek ieslēgtas gruntī, bet to kaitīgums neitralizēts zemas šķīdības (caurlaidības) dēļ, piemēram, hroma jonu oksidēšanās gadījumā.

Ķīmisko reakciju rezultātā tiek pārveidotas sākotnējā piesārņojuma vielas, tās noārdot. Pievienotā saistviela var tieši reaģēt ar piesārņojumu vai kalpot kā katalizators starp vielu, kas atrodas materiālā (piemēram, ūdenī), un piesārņotājielā, tāpēc ir svarīgi pievērst uzmanību grunts masas homogenizācijai visa procesa laikā.

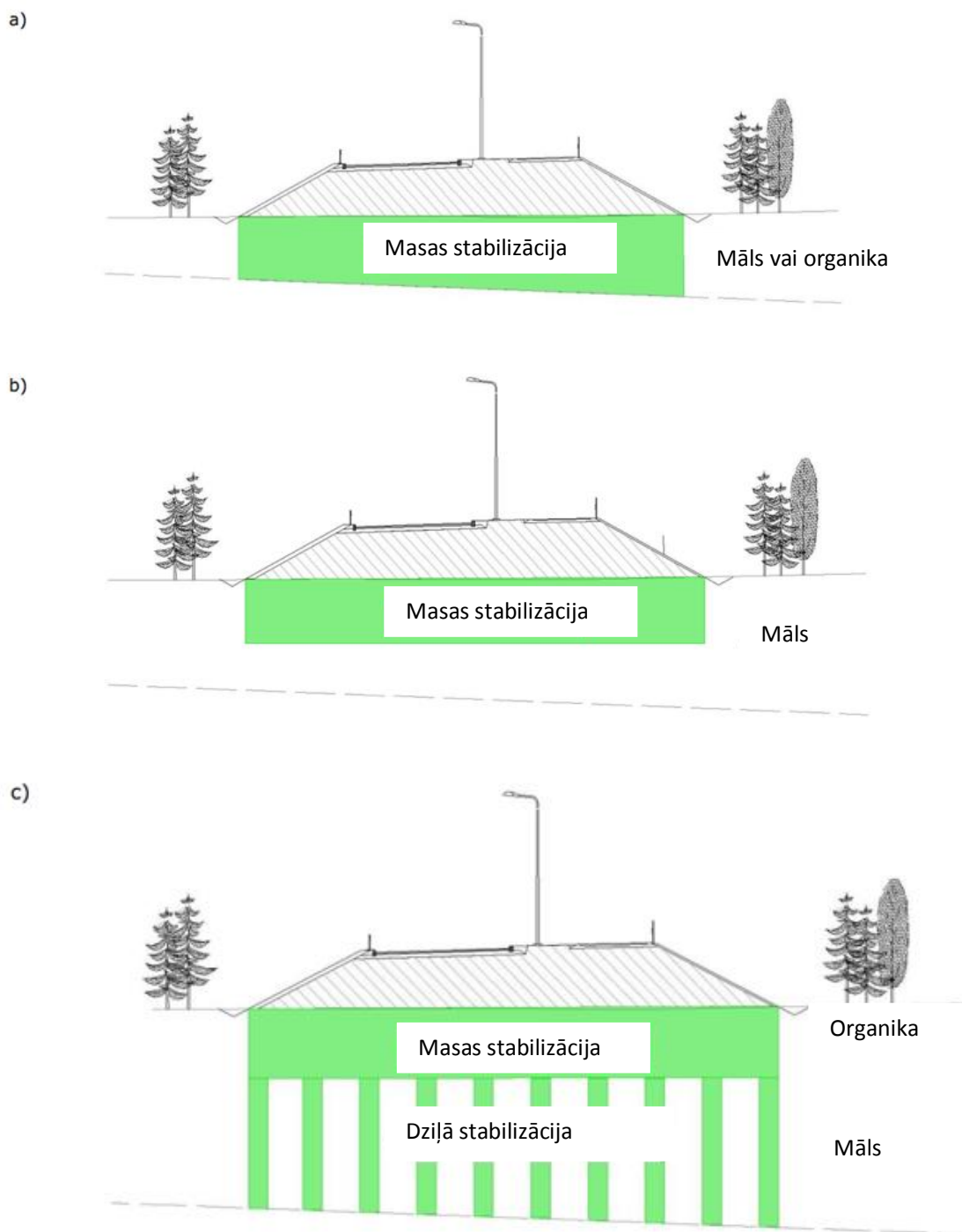
#### 10.4.3. Ceļi

Ceļu konstrukcijās grunts stabilizāciju parasti lieto kā zemes klātnes uzlabošanas metodi mīkstajām gruntīm, lai iegūtu pamatni, kas ļauj veidot atbilstoši sablīvētu uzbēruma un ceļu konstrukciju slāņus. Masas stabilizācija šādos gadījumos nodrošina:

- Samazinātu pamatā esošo grunts slāņu sēšanos, palielinot to stingumu;

- Uzlabotu kopējo stabilitāti, palielinot pamatnes stiprību;
- Palielinātu grunts nestspēju (uzlabota bīdes pretestība);
- Uzlabotas zemas kvalitātes grunts mehāniskās īpašības un palielinātu to izmantošanas potenciālu.

**Stabilizācija pirms rakšanas.** Būvobjektos, kur nepieciešama vājās grunts izņemšana (piemēram, grunts apmaiņa, zemūdens rakšana vai līdzīgi), pirms rakšanas stabilizē mīksto grunts masu. Šajā gadījumā masas stabilizācija atvieglo rakšanu un uzlabo izrakto grunts kvalitāti. Izraktās stabilizētās grunts transportēšana ir vieglāka, un to iespējams atkārtoti izmantot, piemēram, kā ainavas vai zaļās teritorijas attīstības projekta uzbērumu.



10.7. attēls. Masas un dziļās stabilizācijas principiālie lelietjumi zem ceļa konstrukcijas

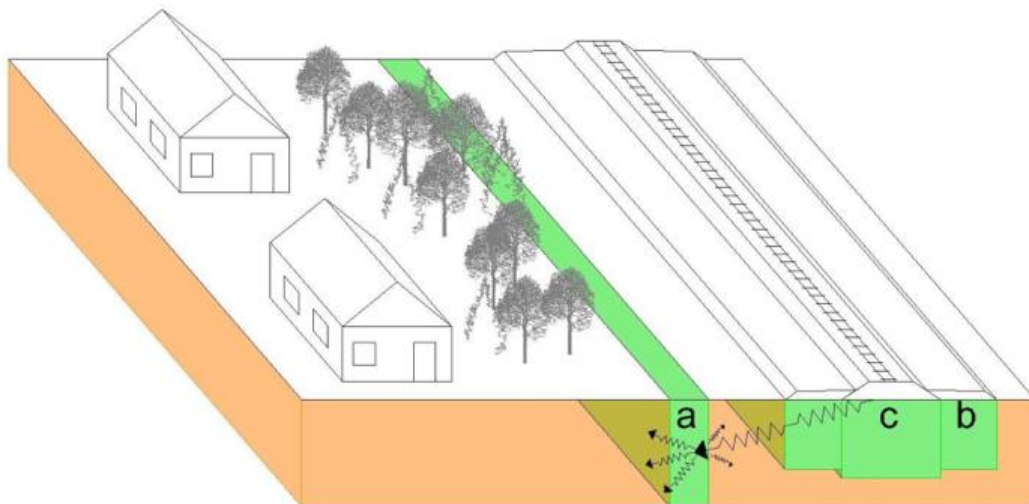


#### 10.4.4. Dzelzceļš

Grunts stabilizācija risina arī dažādas vajadzības dzelzceļa līniju izbūvē vai rekonstrukcijā. Grunts masas stabilizāciju lieto, piemēram, šādās situācijās:

- stiprinot grunts slāņus blakus iepriekš izbūvēta dzelzceļa uzbērumam;
- pastiprinot grunti zem jaunu vai esošu dzelzceļa uzbērumu daļas, kam nepieciešama atjaunošana;
- izbūvējot vibrācijas neitralizējošas sienas;
- uzlabojot zemas kvalitātes grunti pirms izņemšanas (stabilizācija pirms rakšanas).

Iepriekš minētie masas stabilizācijas pasākumi dzelzceļa projektos ir parādīti 10.8. attēls. Piemēram, Somijā kolonnās stabilizētās sienas ir izbūvētas vairākās vietās, lai ierobežotu vilcienu radītās zemes vibrācijas. Atbilstošos apstākļos iespējams izbūvēt vibrāciju samazinošu sienu, lietojot masas stabilizāciju.



10.8. attēls. Grunts stabilizācija zem dzelzceļa uzbēruma (c), blakus esošā uzbēruma pastiprinājumam (b) un vibrāciju aizzurošajai sienai (a)

Daudzviet ir veci dzelzceļa uzbērumi ar zemu uzbēruma stabilitāti. Tā rezultātā, lai paaugstinātu esošo uzbērumu nestspēju un/vai uzlabotu sliežu ceļus un pielāgotos jaunākajiem smagākajam ritošajiem sastāviem ir nepieciešami pamatu nostiprināšanas pasākumi. Ja atjauno vecus dzelzceļa uzbērumus, ekonomiski pamatots risinājums ir pretmasas pastiprināšanas uzbēruma būvniecība (skat.10.8. attēls).

#### 10.4.5. Ielas, velosipēdu celiņi un ietves

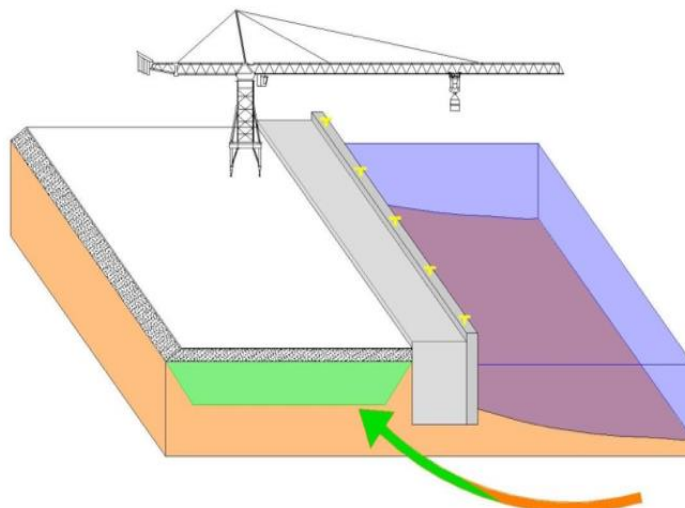
Līdzīgi kā ceļu būves projektos, grunts stabilizāciju lieto ielu, velosipēdu celiņu un ietvju izbūvē, pastiprinot pamatā esošo grunti vai veidojot uzbērumus. Būtisks aspekts, kas uzskatāms par priekšrocību, ir esošo un plānoto komunikāciju cauruļu un kabeļu apkalpošanas atvieglojums. Kā galvenos ieguvumus jāmin:

- Samazinātu grunts seguma sēšanos, palielinot slāņu stingumu;
- Palielināta kopējā stabilitāte, palielinot pamatnes stingumu;
- Palielināta grunts nestspēja (uzlabota bīdes stiprība);
- Uzlaboti grunts apstākļi vāju grunšu gadījumā, iespējama esošo grunšu izmantošana.

#### 10.4.6. Ostas un piestātnes

Ostām attīstoties, kuģu ceļu padziļināšanas darbi rada lielu apjomu grunts, kas ne vienmēr tiek izmantota piesārņojuma dēļ. Lai materiāls netiktu izgāzts atklātos ūdeņos, to iespējams stabilizēt un lietot ostas paplašināšanas un labiekārtošanas nolūkiem. Veiksmīgs piemērs ir Helsinku ostas paplašināšana, kur izstrādātais materiāls tika stabilizēts un lietots kā pamats piestātnes laukumiem. Šāds risinājums ievērojami samazina piegādājamās grunts apjomu no karjeriem vai citiem būvobjektiem.

Ja izņemtā grunts ir piesārņota ar toksiskām vai bīstamām vielām, to iespējamā iesūkšanās apkārtējā vidē samazinās līdz ar grunts stabilizācijas realizēšanu.



10.9. attēls. Ostas akvatorija padziļināšanai lietotais materiāls stabilizēts un lietots piestātnes pamata uzpildīšanai

## 10.5. Kvalitātes kontrole

Izšķir diva veida kvalitātes kontroles:

- a) Kvalitātes kontrole (*QC*), kas tiek veikta darbu izpildes laikā, lai nodrošinātu to kvalitāti. Šīs pārbaudes veic darbu izpildītājs.
- b) Kvalitātes pārbaude (*QA*), kas tiek veikta darbu laikā vai pēc to pabeigšanas, lai pārbaudītu iegūto rezultātu. Šīs pārbaudes veic būvdarbus uzraugošā iestāde vai pasūtītāja pārstāvis.

Lai nodrošinātu kvalitātes pasākumu izpildi, lieto dažādas metodes – veic būvuzraudzību, penetrācijas pretestības testus un ņem paraugus, kas tiek laboratoriski pārbaudīti. Visu iepriekš minēto metožu kombināciju rekomendē *QC* un *QA* programmas ietvaros.

Izšķir trīs galvenos mērķus *QC* un *QA* programmas izstrādē:

- Nodrošināt sajakšanas procesu atbilstību tehniskajām specifikācijām;
- Pārbaudīt stabilizētās grunts bīdes stiprību vai sēšanās raksturlielumus;
- Pārbaudīt, vai stabilizējot tiek iegūts homogēns grunts sastāvs.

*QC* un *QA* ir pasākumi, ko piemēro procedūrām, mērījumiem un novērojumiem, lai nodrošinātu konstrukcijas atbilstību projektam un tehniskajām specifikācijām. Kvalitātes kontrole attiecas uz procedūrām, mērījumiem un novērojumiem, ko nodrošina būvuzņēmējs, lai kontrolētu celtniecības kvalitāti un tā atbilstu izvirzītajām prasībām un tehniskajām specifikācijām. Kvalitātes pārbaudes attiecas uz pasūtītāja vai īpašnieka pārstāvi (būvuzraugu), lai pārstāvētu pasūtītāja intereses un projekts tiktu izbūvēts atbilstoši plāniem un tehniskajām specifikācijām. Kvalitātes kontrole un kvalitātes pārbaude ir saistītas un var ietekmēt viena otru, dažādos literatūras avotos tās tiek apvienotas, iegūtie testēšanas rezultāti var tikt izmantoti abpusēji.

Kvalitātes kontroli un kvalitātes pārbaudi piemēro gan izbūves procesa monitoringam (būvuzraudzībai), gan laboratorijas testēšanas metodēm. Visbiežāk lietotās metodes kvalitātes nodrošināšanai ir sekojošas: konusu penetrācijas testi (*CPT*), kolonnu penetrācijas testi (*KPS*) un lauka lāpstiņas bīdes testi stabilizētā grunts masīva stiprības un viendabīguma pārbaudei. Sēšanās plātnes un inklinometrus lieto, lai sekotu līdzī sēšanās apjomam. Bīdes pretestību, stingumu un filtrāciju novērtē laboratorijā, testējot stabilizētās grunts masīva paraugus. Reti lietots masas stabilizācijas projektos ir rentgena fluorescences tests pirms stabilizācijas, stabilizācijas laikā un pēc grunts stabilizācijas, lai kontrolētu saistvielu saturu un grunts

maisījuma viendabīgumu. Tabulā (skat 10.4. tabula) parādītas masas stabilizācijas *QC* un *QA* monitoringa programmas sastāvdaļas. Tabulā minētas lietotās metodes, nevis visu to metožu saraksts, kuras jāizmanto *QC* un *QA*.

10.4. tabula. Parametri, ko nepieciešams novērtēt Kvalitātes kontroles un Kvalitātes novērtēšanas rezultātā

<b>Kvalitātes kontrole un pārbaude</b>	Kvalitātes kontrole	Materiāli	Saistvielas kvalitāte Ūdens kvalitāte (sašķidrinātai saistvielai)
		Būvniecības process	Saistvielas dozēšana Saistvielas sastāva proporcijas Sajaukšanas laiks Maisītāja galvas veids Maisītāja galvas rotācijas ātrums un iedziļināšanas reižu skaits Cik reižu vienā vietā atkārtoto stabilizācijas procesu Stabilizācijas izvietojums plānā ("raksts") Stabilizācijas dziļums Kolonnu izvietojuma attālumi Viena stabilizācijas nodalījuma izmēri
	Kvalitātes pārbaude	Materiāli	<i>CPT</i> testa rezultāti grunts stiprības parametru noteikšanai Grunts paraugu stiprības testi <i>KPS</i> stiprība / <i>KPS</i> resistance Saistvielas sastāvs
		Būvniecības process	<i>CPT</i> testa rezultāti grunts viendabības parametru noteikšanai Grunts paraugu viendabības testi
<b>Efektivitātes kritēriji</b>		Materiālu parametri	Vienass spiedes tests Saspiežamība Blīvums Filtrācijas parametri Viendabība
		Būvniecības process	Pieļaujamās kopējās deformācijas Horizontālais pārvietojums Pjezometriskais līmenis, plūsmas ātrums līdz akai
<b>Kvalitātes kontrole un pārbaude</b>	Kvalitātes kontrole	Materiāli	Saistvielas kvalitāte Ūdens kvalitāte (sašķidrinātai saistvielai)
		Būvniecības process	Saistvielas dozēšana Saistvielas sastāva proporcijas Sajaukšanas laiks Maisītāja galvas veids Maisītāja galvas rotācijas ātrums un iedziļināšanas reižu skaits Cik reižu vienā vietā atkārtoto stabilizācijas procesu Stabilizācijas izvietojums plānā ("raksts") Stabilizācijas dziļums Kolonnu izvietojuma attālumi Viena stabilizācijas nodalījuma izmēri

	Kvalitātes pārbaude	Materiāli	CPT testa rezultāti grunts stiprības parametru noteikšanai Grunts paraugu stiprības testi Saistvielas sastāvs
		Būvniecības process	CPT testa rezultāti grunts viendabības parametru noteikšanai Grunts paraugu viendabības testi
<b>Efektivitātes kritēriji</b>		Materiālu parametri	Spiedes tests Saspiežamība Blīvums Filtrācijas parametri Viendabība
		Būvniecības process	Pieļaujamās kopējās deformācijas Horizontālais pārvietojums Pjezometriskais līmenis, plūsmas ātrums līdz akai

### 10.5.1. QC un QA vadlīnijas

Masas stabilizācija tiek izmantotas, lai uzlabotu grunts stiprību un samazinātu sēšanās īpašības līdz pat 8 m dziļumā no zemes virsmas. Lai sasniegtu vēlamu grunts uzlabojumu, saistviela jāiemaisa gruntī pietiekamā daudzumā un pareizās proporcijās visā stabilizētās grunts masīvā. Materiālu un procesu kvalitātes kontrole ir būvuzņēmēja atbildība izbūves procesa laikā.

Svarīgākie parametri, kam jāseko līdzī masas stabilizācijas kvalitātes kontroles laikā, ir saistvielu piegādes ātrums, sajaukšanas enerģijas un sajaukšanas dati. Projekta realizācijas izdošanās ir tieši saistīta ar stabilizācijā lietoto ierīču un procesu izvēli. Plānotās saistvielas kvalitāte un dozācija, kas tiek noteikta laboratorijā un koriģēta lauka sajaukšanas testu rezultātā, ir rūpīgi jākontrolē, lai sasniegtu noteiktos grunts parametrus. Stabilizētās grunts piemērotību un līdz ar to stabilizētā apjoma viendabīgumu novērtē kvalitātes nodrošināšanas darbību ietvaros. Penetrācijas testiem, paraugu ņemšanai un laboratorijas pārbaudes rezultātiem jāapstiprina, ka projektā paredzētās īpašības ir sasniegtas vienmērīgi visā stabilizētajā tilpumā.

Novērojumi būvniecības procesā, ikdienas apsekošanu žurnāli un rezultātu uzskaitē ir būtiska QC un QA visām stabilizēšanas tehnoloģijām. Šīs darbības nodrošina, lai:

- Tiktu ievērota laba būvniecības prakse un projekta tehniskās specifikācijas;
- Dažreiz potenciālās problēmas vai defekti tiktu novērsti pirms to rašanās;
- Problēmas vai defekti tiktu identificēti relatīvi ātri un noskaidroti to iemesli;
- Visām iesaistītajām pusēm būtu laba savstarpējā saziņa;

- Projekts iekļautos laika grafikā.

### **10.5.2. Būvniecības procesa novērojumu metode (QC un QA metodes kopsavilkums)**

Būvniecības novērojumu metode saistās ar nozīmīgo mērījumu fiksēšanu, lai nodrošinātu, ka būvniecības process veikts saskaņā ar projekta prasībām. Būvniecības procesā veiktie novērojumi un mērījumi galvenokārt ir kvalitātes kontroles sastāvdaļa, ko realizē būvuzņēmējs, lai nodrošinātu darbu izpildi atbilstoši pasūtītāja apstiprinātam kvalitātes pārbaudes plānam. Novērojumi un veikto mērījumu dokumentācija kopā ar pēc izbūves testiem un kvalitātes plānu tiek izskatīti, lai noskaidrotu, vai sasniegta nepieciešamā grunts stabilizācijas pakāpe. Masas stabilizācijas tehnoloģijā ir vairāki aspekti, kas rūpīgi jāuzrauga:

- Sajaukšanas dati (apstrādes laukums, dziļums, atstatums u.c.);
- Maisīšanas rīka rotācijas ātrums;
- Enerģija, kas patērēta sajaukšanai;
- Sajaukšanas atkārtojumu skaits vienā vietā;
- Saistvielas daudzums.

Masas stabilizācijas laikā sajaukšanas enerģiju un saistvielas dozēšanu novēro un dokumentē, lietojot iekārtās iebūvētās elektroniskās sistēmas. Datus rūpīgi kontrolē un dokumentē būvuzņēmējs, un to uzrauga pasūtītāja pārstāvis, lai nodrošinātu, ka stabilizācijas process notiek pareizajās robežās un apjomā, kā arī ar pareizu dziļumu un virsmas augstumu.

#### **10.5.2.1 Precizitāte**

Novērošanas metode nenodrošina tiešu izmērāmu darbības rādījumu, tāpēc to nevar uzskatīt par pilnīgi precīzu. Par labu novērojumu metodes izmantošanu norāda pozitīvi būvniecības kvalitātes pārbažu rezultāti, ievērotas tehniskās specifikācijas un izpildīts pasūtītāja apstiprinātais kvalitātes plāns.

#### **10.5.2.2 Pārklājuma pietiekamība**

Būvniecības laikā visos raksturīgajos būvlaukuma punktos jānodrošina pastāvīgi novērojumi. Šādā gadījumā pārklājuma līmenim jābūt pilnīgam, lai sniegtu priekšstatu par būvniecības kvalitāti visam projektam.

### 10.5.2.3 Īstenošanas prasības

Būvuzraudzībai nepieciešams proaktīvs būvuzraugs/inspektors ar zināšanām par materiāliem un masas stabilizācijas procedūru veikšanu. Pneimatiski piegādātas vai sūknētas saistvielas, kā arī rotācijas ātruma un caurdres/izņemšanas apjoma kontrolei ir nepieciešamas elektroniskās sistēmas, kas bieži ir daļa no būvtehnikas aprīkojuma.

### 10.5.2.4 Vispārīgas piezīmes

Aktīva būvniecības uzraudzība ir vissvarīgākā *QC* un *QA* procedūra masas stabilizācijas projektiem. Lai projekts būtu veiksmīgs, projektā izvirzītajām tehniskajām specifikācijām jābūt ievērotām un sajaukšana jāveic rūpīgi un pietiekamā daudzumā.

### 10.5.3. Konusa penetrācijas tests (*CPT*) (*QC* un *QA* kopsavilkums)

Konusa penetrācijas testi (*CPT*) vai pjezometriskie konusa iespiešanās testi (*CPTu*) (ASTM D5778 un ASTM D6067) tiek izmantoti, lai novērtētu bīdes stiprību un poru spiediena izmaiņu stabilizētas grunts tilpumos. *CPT* tests dod nepārtrauktu datu plūsmu visā mērījumu dziļumā. Konusa iespiešanās tests ir kvalitātes nodrošināšanas pasākumu sastāvdaļa, kas tiek izpildīts pēc maisīšanas pabeigšanas, lai pārliecinātos, ka ir sasniegts nepieciešamais stabilizācijas apjoms. Salīdzinot iegūtos datus visos izpētes šķēsgriezumos, novērtē stabilizētā tilpuma viendabīgumu.

#### 10.5.3.1 Precizitāte

Konusa iespiešanās testi nodrošina nepārtrauktus šķēsgriezuma profilus visā testēšanas dziļumā. Līdz ar to pastāv risks, ka neliels nenostabilizētas grunts ieslēgums var radīt izteiktu stiprības kritumu konkrētā izpētes punktā, kaut gan realitātē tas ir lokāls, kas neietekmē kopējo stabilizētās grunts stiprību un sēšanos. Lietojot *CPT* testus, iegūtie rezultāti ir rūpīgi jāinterpretē.

#### 10.5.3.2 Pārklājuma pietiekamība

*CPT* testu veikšanas apjoms ir atkarīgs no stabilizētās grunts izvietojuma. Tomēr, lai precizētu *CPT* testu daudzumu, būvuzrauga lēmums vai viedoklis ir nepieciešams, lai izvērtētu konkrētās situācijas apstākļus, tādus kā stabilizējamās grunts apjoms, grunts apstākļu mainīgums, kā arī piedāvātā stabilizācijas veida un produktivitātes prognozes. *CPT* testu skaits ir jāpalielina, ja testu rezultāti un grunts homogenitāte ir ar lielu mainīgumu, pat ja tehniskās specifikācijas prasības ir ievērotas.



### 10.5.3.3 Īstenošanas prasības

Konusa penetrometrs un CPT iekārtas ir tipiskas inženiertehniskās iekārtas. Šādas iekārtas un pieredzējuši operatori ir viegli pieejami.

### 10.5.3.4 Vispārīgas piezīmes

Uzkrātā pieredze, lietojot CPT, padara to par ērtu un piemērotu metodi *QC* un *QA* testēšanai. Tests nodrošina nepārtrauktu mērījumu visā tā dziļumā. CPT nodrošina rezultātus, kas labi korelē ar grunts stiprību. Dažreiz iegūstot nekorektus rezultātus, CPT var būt vērtīgs stabilizētās grunts parametru noteikšanas instruments pat tad, kad stabilizētā grunts ir sasniegusi augstu bīdes stiprību un lāpstiņu testa izpilde nav iespējama.

### 10.5.4. Kolonnu penetrācijas tests (KPS) (QC un QA kopsavilkums)

Kolonnas penetrācijas tests (KPS sākotnējā nosaukuma zviedru valodā) ir lauka testēšanas metode kvalitātes kontrolei, kas līdzīga *CPT*. Tests tika izstrādāts, lai novērtētu vidējo bīdes stiprumu lielākā mērogā (pēc skaita) nekā *CPT*. KPS tests tiek veikts tieši pēc grunts sajaukšanas pabeigšanas, lai pārliecinātos, ka ir sasniegts norādītais uzlabojuma līmenis. KPS ierīce ir līdzīga konusa penetrometram, bet tai ir pievienoti divi spārniņi 180 grādu leņķī viens no otra (skat.10.10. attēls).



10.10. attēls. KPS spārniņus izmanto, lai novērtētu stabilizētās grunts bīdes stiprību (Garbin and Mann, 2010)

Lāpstiņas palielina zondes virsmas laukumu, mērot vidējo bīdes stiprību daudz lielākā stabilizētās grunts masīvā. Slodzes šūna (mēriekārta pieliktā spēka mērīšanai) mēra spēku, kas nepieciešams, lai iespiestu mēriekārtu gruntī, kamēr citi sensori reģistrē iespiešanas dziļumu.

Iegūto spēku tieši pārvērš uz nedrenētas grunts bīdes stiprību, izmantojot nestspējas koeficientu 10:

$$T = \frac{1Q}{10A} \quad 10.5.1$$

kur:

$T$  = šķērsspēks [psi]

$Q$  = penetrācijas pretestība [lbs]

$A$  = zondes šķērsriezuma laukums [ $in^2$ ]

Plašāka informācija par kolonnas penetrācijas testu ir pieejama literatūras avotā [103] un [104].

#### 10.5.4.1 Precizitāte

*KPS* testa dati ir ticamāki nekā tradicionālo *CPT* testu dati stabilizētām gruntīm, jo grunts apjoms, kas tiek mērīts ar zondi, ir lielāks. Tests nodrošina nepārtrauktu mērījuma profilu visā testēšanas dziļumā. Iespiešanās spēku un dziļumu uzrauga elektroniski, un tie ir tik precīzi, cik precīzs ir lietotais aprīkojums. Bīdes stiprības vērtību precizitāte ir atkarīga no nestspējas koeficienta precizitātes.

#### 10.5.4.2 Pārklājuma atbilstība

Testēšanas apjomam jābūt pietiekamam. Veicamo testu skaitu ietekmē sekojoši kritēriji: stabilizētās grunts laukums, grunts sastāva mainīgums, sajaukšanas tehnoloģija un citi faktori, kas var ietekmēt viena testa rezultātus, kā arī sasniedzamos parametrus atkarībā no paredzētās konstrukcijas. Saskaņā ar [105] iesaka vienu testu uz 2500 m<sup>2</sup> stabilizētās platības. Vietās, kur iegūtie testēšanas rezultāti neatbilst izvirzītajām prasībām, tie ir jāatkārto 60 cm attālumā no sākotnējās mērījumu vietas, lai noteiktu, vai slikto rezultātu iemesls bija izolēts grunts ieslēgums vai arī ir vajadzīgi papildu uzlabojuma darbi.

### 10.5.4.3 Īstenošanas prasības

Mērierīces KPS testu veikšanai ir pieejamas Skandināvijas valstīs, bet tās nav viegli pieejamas Latvijā, jo tad būtu jāizveido īpaši konstruēti instrumenti saskaņā ar literatūrā norādītajām specifikācijām (skat. [105]).

### 10.5.4.4 Vispārīgas piezīmes

Pateicoties lielākai KPS malas virsmai, var būt apgrūtināti veikt testu, ja pēc uzlabošanas grunts bīdes stiprība ir augsta. Šādos gadījumos *CPT* var tikt izmantots, lai veidotu dziļāku mērījumu profilu stabilizētās grunts masīvos [105].

### 10.5.5. Spārņņgrieža bīdes tests/kolonnas šķērsspēka pārbaudei (*QC un QA kopsavilkums*)

Spārņņgrieža bīdes testā un kolonnas lāpstiņas bīdes testā aprēķina grunts bīdes spēku. Šie lauka bīdes testi ir kvalitātes pārbaudes daļa, ko veic pēc grunts sajaukšanas, lai pārbaudītu, vai ir sasniegts norādītais grunts stabilizācijas līmenis. Kolonnas lāpstiņas (saukts arī par Somijas lāpstiņas) bīdes tests atšķiras no parastā lāpstiņas bīdes testa ar to, ka tiek lietotas citas formas lāpstiņas, padarot to piemērotāku augstākai bīdes izturībai, kas būs sastopama, testējot stabilizētu grunti. Spārņņgriezi iedziļina, lietojot apvalkcauruli, un iespiešanas laikā veic mērījumus un nosaka sānu berzes parametrus. Liela diametra urbumu lieto, lai iedziļinātu spārņņgriezi, taču tas parasti nemaina un neietekmē iegūto rezultātu. Lāpstiņgriezi tiek iespiests stabilizētās grunts masīvā un tiek rotēts paredzētajā dziļumā. Nepieciešamais spēks, kas pielikts spārņņgriezim, lai sasniegtu stabilizētās grunts bīdes stiprības robežu, tiek korelēts. Bieži, lai kalibrētu šo rezultātu precizitāti, veic vairākus izmēģinājumus ar dažādām testēšanas metodēm *CPT* un *KPS* (t.i., lai noteiktu grunts nestspējas koeficientu).

#### 10.5.5.1 Precizitāte

Spārņņgrieža testa precizitāte ir atkarīga no attiecīgā standarta ievērošanas procedūras.

#### 10.5.5.2 Pārklājuma atbilstība

Ar spārņņgrieža testu novērtē tikai lokālo bīdes pretestību. Dažāda veida testi saskaņā ar būvuzrauga norādēm jāveic, lai pareizi raksturotu stabilizētās grunts masīvu. Lāpstiņas bīdes testi un kolonnas spārņu bīdes testi ir lēnāki, tādejādi dārgāki nekā *CPT* un *KPS* un netiek lietoti kā vienīgās kvalitātes pārbaudes metodes, tomēr šie testi var būt vērtīgi kā instrumenti kalibrēšanai, apvienojot tos ar *CPT* un *KPS*, lai nodrošinātu pietiekamu stabilizētās grunts parametru raksturojumu.

### 10.5.5.3 Īstenošanas prasības

Lai arī lāpstiņas bīdes testi ir inženiertehniskās pārbaudes elementi, to izpildei nepieciešama pieredze un specializētas ierīces. Kolonnu lāpstiņu tests ir mazāk sastopams nekā tradicionālais lāpstiņu griezes tests.

### 10.5.5.4 Vispārīgas piezīmes

Lāpstiņu bīdes un kolonnu lāpstiņu testus reizēm lieto, lai pārbaudītu grunti, kas stabilizēta, lietojot masas stabilizāciju. Tā kā daudzi grunts stabilizācijai lietotie materiāli ir trausli, lāpstiņas iespiešanas rezultātā var rasties grunts struktūras bojājumi, kas ietekmē iegūtos rezultātus.

Īpaši sarežģīti apstākļi ir ar augstas stiprības gruntīm. Jāņem vērā arī paredzēto iekārtu elementu stiprības robežas, kā arī paredzamās bīdes stiprība, lai noteiktu, kāda iekārta spēs sasniegt grunts stiprības robežas.

Daudzos gadījumos KPS izmantošana, ievietojot iepriekš noteikto grunts nestspējas koeficientu, var būt daudz uzticamāka un precīzāka nekā spārņgriezļa tests.

### 10.5.6. Laboratoriskā testēšana (QC un QA kopsavilkums)

Laboratoriskā testēšana ir kvalitātes pārbaude, ko veic pēc grunts sajaukšanas, lai pārbaudītu, vai ir sasniegts nepieciešamais grunts īpašību uzlabojums. Visbiežāk izmantotais tests, lai pārlicinātos par lauka testēšanas rezultātu atbilstību, ir vienas spiedes tests (ASTM D2166). Ir arī citi testi bīdes stiprības noteikšanai laboratorijā (t.i., triaksiālie testi), kas dažos gadījumos var tikt lietoti, bet tie ir dārgāki nekā vienas spiedes testi un līdz ar to iespējamaistu apjoms būs mazāks. Ņemot vērā stabilizētās grunts konsistenci, vienas spiedes testus parasti uzskata par pietiekamiem. Laboratorijas testus veic stabilizētās grunts paraugiem, kas ņemti ar plānsieniņas cauruli, to iespiežot gruntī vai, ja grunts paredzēta ar augstiem stiprības parametriem, paņemot grunts paraugu stabilizācijas laikā un veicot cietēšanas procesu laboratorijā. Šādus paraugus ņem, izmantojot speciālu paraugu ņemšanas ierīci, kas paredzēta diskrētu paraugu ņemšanai no dažādiem dziļumiem grunts masīvā, un paraugu ievietošanu veidnē, kas paredzēta konservēšanai un cietēšanai [106].

### 10.5.6.1 Precizitāte

Laboratorisko testu procedūras un rezultātus regulē standarti (ASTM, AASHTO u.c.). Šie standarti ir paredzēti, lai nodrošinātu, ka testus veic ar standartizētām procedūrām un rezultāti ir atkārtojami. Pārbaudes, kas veiktas saskaņā ar šiem standartiem, sniedz precīzu pārbaudīto paraugu īpašību atskaiti. Diskusija par testu paredzamo precizitāti un novirzēm parasti ir iekļauta ASTM standarta testa metodē. Precizitāti var ietekmēt paraugu bojājumi paraugu ņemšanas laikā, kā arī atšķirības laboratorijā un uz lauka esošajiem cietēšanas apstākļiem.

### 10.5.6.2 Pārklājuma atbilstība

Testus veic paraugiem, kas paņemti noteiktā apstrādātā tilpuma vietā. Lai precīzi pārbaudītu visas stabilizētās grunts īpašības, testi jāveic paraugiem, kas ņemti no dažādām vietām visā apstrādātā grunts masīvā. Nosakot atbilstošu pārbaudīto skaitu, jāizmanto inženiertehniskais novērtējums. Nosakot testēšanas un paraugu ņemšanas biežumu, jāņem vērā apstrādājamās platības lielums, mainīgums apakšzemes apstākļos, kā arī piedāvātā objekta veids un veiktspējas prognozes. FHWA dziļās grunts sajaukšanas projektēšanas rokasgrāmata (Bruce et al. 2013) rekomendē, ka paraugu ņemšanas biežumu nosaka procentuāli no elementiem vai elementu un apstrādes zonas procentuālo daļu. Paraugu ņemšanai nesacietējušas grunts gadījumā rokasgrāmatā ir norādīts, ka par katrām 1500 m<sup>3</sup> grunts, kas apstrādāta krastmalu un pamatu atbalsta lietojumos, jāņem vismaz vienu paraugu ik pēc divām ražošanas dienām.

### 10.5.6.3 Īstenošanas prasības

Testi stiprības, saspiežamības vai stinguma un filtrācijas/ caurlaidības noteikšanai ir tipiskas ģeotehniskās pārbaudes, ko veic lielākajā daļā ģeotehnisko testēšanas laboratoriju. Ķīmiskie testus, piemēram, iesūkšanās testus vides aizsardzības lietojumprogrammām nodod specializētām laboratorijām.

### 10.5.6.4 Vispārīgas piezīmes

Atkarībā no projekta specifiskajiem mērķiem veic dažādus laboratorijas testus, lai nodrošinātu kvalitātes pārbaudi. Visbiežāk veic testus, lai pārbaudītu pēcapstrādes bīdes izturību, kā arī testus, lai noteiktu pēcapstrādes filtrāciju/ caurlaidību vai ķīmisko sastāvu. Laboratorijas testu rezultāti parāda, ka apstrādātā grunts atbilst stiprības un viendabīguma

kritērijiem. Iespējams salīdzināt testēšanas rezultātus no dažādām apstrādātās grunts daļām, kas dod priekšstatu par kopējās stabilizētās grunts viendabību.

#### **10.5.7. Atrakuma pārbaude (QC un QA kopsavilkums)**

Pēc stabilizācijas pabeigšanas grunts viendabību un stingumu iespējams novērtēt, veicot lokālu atrakumu. To veidošana ir kvalitātes pārbaudes metode, ko lieto, lai pārbaudītu stabilizētās grunts sajaukšanas pakāpi un viendabīgumu. Stabilizētās grunts maisījuma daļas konstrukciju izrok un vizuāli pārbauda. Dažāda veida pārbaudes, kas minētas iepriekš (CPT, spārniņgriezis u.c.), var nodrošināt pietiekami plašu informāciju par grunts stiprības parametriem un atrakumos redzamās fotofiksācijas parasti tikai papildina kvalitātes pārbaudes materiālus. Izmanto arī rokas rentgena fluorescences analizatoru, kā aprakstīts nākamajā sadaļā, vienlaikus ar paraugiem, kas ņemti no testa vietas, lai parādītu grunts maisījuma viendabīgumu. Būvlaukumā uzņemtie infrasarkanie attēli sniedz papildu informāciju par sajaukšanas viendabīgumu. Zonas, kurās ir vairāk cementa, būs siltākas nekā zonas, kurās ir mazāk cementa hidratācijas siltuma dēļ. Atrakumus izveido no 7 līdz 28 dienām pēc stabilizācijas.

##### **10.5.7.1 Precizitāte**

Atrakuma izveide ir noderīga novērojumu kvalitātes nodrošināšanas metode. Lai gan precizitāte nav viegli nosakāma, rezultāti ir atkarīgi no būvuzrauga pieredzes.

##### **10.5.7.2 Pārklājuma atbilstība**

Pārbaudes rezultāti raksturo tikai apstākļus rakšanas vietā, bet pārbaudes atrakums parāda relatīvi lielu stabilizētās grunts daudzumu un virsmas laukumu. Šīs pārbaudes apjomu un skaitu nosaka, pamatojoties ar būvuzrauga lēmumu, ņemot vērā stabilizētās grunts virsmas laukumu plānā, mainīgumu pazemes apstākļos un veidu.

##### **10.5.7.3 Īstenošanas prasības**

Pārbaudes atrakumu veikšanai ir nepieciešamas speciālas rakšanas iekārtas un pieredzējis būvuzraugs (inspektors). Atrakums pēc pārbaudes jāaizber ar materiālu, kas ir identisks pēc savām fizikāli mehāniskajām īpašībām, tāpēc bieži sastopama izraktā materiāla atkārtota sajaukšana un iestrāde.

#### **10.5.7.4 Vispārīgas piezīmes**

Atrakuma metode ļauj vizuāli pārbaudīt apstrādāto grunti. Pat ja masīvs ir labi sajaukts un stabils, apstrādātās grunts var neatbilst noteiktajām stiprībām, filtrācijas un citām prasībām, tāpēc šī metode paredzama kopā ar lauka un laboratorijas testiem, lai pārbaudītu konstrukcijas īpašības. Ja stabilizētā grunts ir ar pārāk lielu stiprību, atrakuma izveide var būt apgrūtināta, lietojot parasto rakšanas tehniku.

#### **10.5.8. Rentgena fluorescences analīze (QC un QA kopsavilkums)**

Lai arī masas stabilizācijas projektos parasti neizmanto rentgena fluorescenci, īss apraksts par metodi ir iekļauts, jo tā varētu būt noderīga kā izpētes līdzeklis. Esošajā tehnoloģijas attīstības posmā nebūtu praktiski pieprasīt noteiktu rentgena fluorescences testēšanas apjomu kā sadaļu no projekta tehniskajām specifikācijām.

##### **10.5.8.1 Metodes kopsavilkums**

Rentgenstaru fluorescences analīzi izmanto, lai pārbaudītu pareizu saistvielu daudzumu pēcapstrādes gruntīs. Būvuzņēmējs var izmantot rentgena fluorescences testu kā kvalitātes kontroles metodi, lai veiktu izmaiņas maisījuma parametros. Rentgena fluorescences analīze nosaka parauga saistvielu saturu, mērot fluorescējošos rentgena starus, ko emitē no parauga pēc tam, kad to apstaro ar gamma starojumu. Lai izmantotu šo metodi, izstrādā kalibrēšanas līkni no laboratoriski sagatavotiem un testētiem grunts paraugiem. Kalibrēšanas līkni lieto, lai analizētu un noteiktu pēcapstrādes paraugu saistvielu daudzumu no lauka ņemtajiem paraugiem.

##### **10.5.8.2 Precizitāte**

Rentgena fluorescences analīzes rezultātus pārbauda, izmantojot titrēšanu. Ja konstatē ievērojamas atšķirības, tiek koriģēta kalibrēšanas līkne.

##### **10.5.8.3 Pārklājuma atbilstība**

Rentgena fluorescenci veic atsevišķiem paraugiem, nodrošinot lokālus rezultātus. Pārklājuma atbilstība ir atkarīga no pārbaudīto paraugu skaita. Testu skaits, atrašanās vieta un dziļums jāizvēlas, pamatojoties uz būvuzņēmēja lēmumu, ņemot vērā stabilizācijas apjomu, grunts mainīgumu un paredzamo īpašību rādītājus.



#### **10.5.8.4 Īstenošanas prasības**

Rentgena fluorescences analīzei nepieciešama specializēta iekārta un apmācīts laboratorijas personāls. Ir pieejamas dažādas iekārtas šajā jomā.

#### **10.5.8.5 Vispārīgas piezīmes**

Ar rentgena fluorescenci nosaka saistvielu daudzumu maza izmēra paraugiem. Homogēnums un stiprības parametri stabilizētās grunts masīvam ir jāpārbauda ar testēšanas un novērojumu metodēm, kas aprakstītas iepriekšējās sadaļās.

#### **10.5.9. Grunts sēšanās monitorings (QC un QA kopsavilkums)**

Grunts stabilizācijas galvenais mērķis ir samazināt grunts sēšanās apjomu. Lai pārliecinātos par efektivitāti, grunts sēšanās ir jānovēro pirms stabilizācijas, stabilizācijas laikā un pēc grunts stabilizācijas. Sēšanos uzrauga galvenokārt ar tradicionālajiem ģeotehniskajiem paņēmieniem, veicot apsekošanu un uzmērīšanu un lietojot plātnes testu.

##### **10.5.9.1 Precizitāte**

Sēšanās monitoringa metodes ir plaši izplatītas. Šo testu rezultāti ir precīzi.

##### **10.5.9.2 Pārklājuma atbilstība**

Ar veicamajiem uzmērījumiem var aptvert visu darba zonu, turpretī citas metodes dod rezultātu tikai lokālos punktos. Atkārtoti uzmērījumi jāveic tādā apjomā, lai tie raksturotu visu stabilizētās grunts masīvu.

##### **10.5.9.3 Īstenošanas prasības**

Sēšanās uzraudzības metodes ir plaši lietotas ģeotehnikā. Dažām metodēm nepieciešams specializēts aprīkojums un kvalificēti speciālisti. FHWA ģeotehnisks rokasgrāmatā (Dunnicliff, 1998) sniegti detalizēti apraksti par aprīkojumu un prasībām sēšanās programmas plāns.

##### **10.5.9.4 Vispārīgas piezīmes**

Sēšanās uzraudzība ir svarīga, lai noteiktu masas stabilizācijas efektivitāti. Paaugstināts sēšanās apjoms norāda uz kļūdām projektēšanas vai izbūves procesā.

Stabilizētās gruntīs pēc pieslodzes uzlikšanas var veidoties ievērojams sēšanās apjoms, kas stabilizējas līdz ar saistvielas sacietēšanu. Pēc stabilizācijas procesa pabeigšanas papildu sēšanās procesiem jābūt nelielam, papildu sēšanās var rasties pēc papildu slodzes pielikšanas.

Kā norādīts masas stabilizācijas projektēšanas vadlīnijās, neapstrādātās gruntis, kas atrodas zem stabilizētā grunts masīva, ilgtermiņā var radīt sēšanos tālāku konsolidācijas procesu rezultātā. Sēšanās procesi ir arī iespējami ar organisku piesātinātās gruntīs virs gruntsūdens līmeņa organisko saistvielu sadalīšanās rezultātā. Šādi apstākļi ir jāievērtē projekta izstrādes laikā un jāparedz atbilstoši kritēriji un tehniskās specifikācijas sēšanās uzraudzības plānā.

## 10.6. Cenas un izmaksas

Masas stabilizācijas izmaksas tehniskajos projektos uzskaita un tāmē, lietojot mērvienību kubikmetri [m<sup>3</sup>]. Šajā pozīcijā iekļauj materiāla, aprīkojuma, darbaspēka un neparedzēto izdevumu izmaksas. Mobilizācija, kvalitātes kontrole un testēšana, kas saistīta ar masas stabilizāciju, var tikt novērtētas un apmaksātas atsevišķi.

### 10.6.1 Informācija par izmaksām

Šajā tabulā (10.6. tabula) ir uzskaitītas būvniecības izmaksu pozīcijas, kas saistītas ar grunts masas stabilizācijas metodi, kā arī aptuveno cenu diapazons, kas balstīts uz 2009.–2011. gada datiem. Gadījumos, kad nepieciešamas darba platformas, šīs izmaksas jāiekļauj vienības cenu aprēķinā. Vēsturiskā informācija par masas stabilizācijas izmaksām īpaši sarežģītu projektu gadījumos nav pieejama.

10.5. tabula. Orientējošās izmaksas masas stabilizācijas projektiem.

Izmaksas pozīciju apraksts	Apjoma intervāls	Vienības	Zemākā vienības cena	Augstākā vienības cena	Faktori, kas potenciāli var ietekmēt izmaksas
Masas stabilizācija	Vairāk par 3 822	m <sup>3</sup>	60	125	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Izmaksas atbilst sausas saistvielas metodei</li> <li>▪ Saistvielas izmaksas ir atkarīgas no projekta materiālu tehniskajām specifikācijām un ierakuma attāluma</li> <li>▪ Vienības izmaksas samazināsies palielinoties iestrādes dziļumam</li> </ul>
Mobilizācija	1	komplekts	15000	40000	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hidroliskais ekskavatoram uzmontētas iekārtas (masas</li> </ul>

					stabilizācijas galva) var tikt lietota līdz 7m dziļumam <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mobilizācijas izmaksas var palielināties, ja projekts atrodas tālāk par 800 km</li> <li>▪ Projektos ar vairākām izbūves kārtām var rasties atkārtotas mobilizācijas izmaksas</li> </ul>
Uzbērums	Vairāk par 3 822	m <sup>3</sup>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lietot vēsturiskus datus no citiem projektiem, kas ir ar līdzīgu apjomu un konstruktīvo risinājumu</li> </ul>

### 10.6.2 Informācija par izmaksām

Oficiāla informācija par masas stabilizācijas izmaksām nav pieejama. Tomēr, ņemot vērā masas un dziļās stabilizācijas līdzību, tiek parādīti trīs piemēri dziļās stabilizācijas projektiem. Tabulā 10.6 apkopotas faktiskās izmaksas dziļās stabilizācijas projektiem.

10.6. tabula. Faktiskās izmaksas dziļās stabilizācijas projektiem, kas tiek pielīdzināti masas stabilizācijai

Izmaksas pozīciju apraksts	Apjoms	Vienības	Zemākā vienības cena EUR	Augstākā vienības cena	Vidēja vienības cena	Piedāvājumu skaits	Piedāvājumu iesniegšanas datums
Dziļā grunts sajaukšana (Sausa saistviela)	3721	m <sup>3</sup>	79	n/a	n/a	1	29.04.2009
Dziļā grunts sajaukšana (kaļķa un cementa kolonnas)	17408	m <sup>3</sup>	60	92	70	7	01.08.2011
Dziļā grunts sajaukšana (kaļķa un cementa kolonnas)	9785	m <sup>3</sup>	62	122	83	7	01.08.2011

## 11. D.2. GRUNTS DZIĻĀ STABILIZĀCIJA

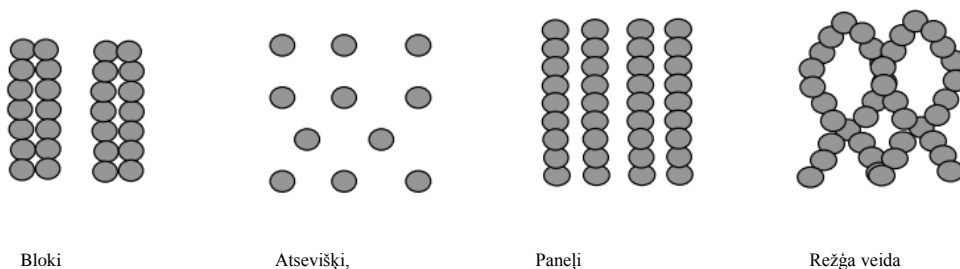
### 11.1. Vispārējie principi un lietošanas joma

Grunts dziļo stabilizāciju lieto gadījumos, kad virs nestspējīga pamatslāņa atrodas vājas nestspējas grunts, uz kuras nepieciešams izbūvēt konstrukciju, kam jānodrošina vienmērīgas un paredzamas deformācijas. Šī metode bieži tiek lietota kopā ar masas stabilizāciju (skat. 10.3. attēls - c attēlā).

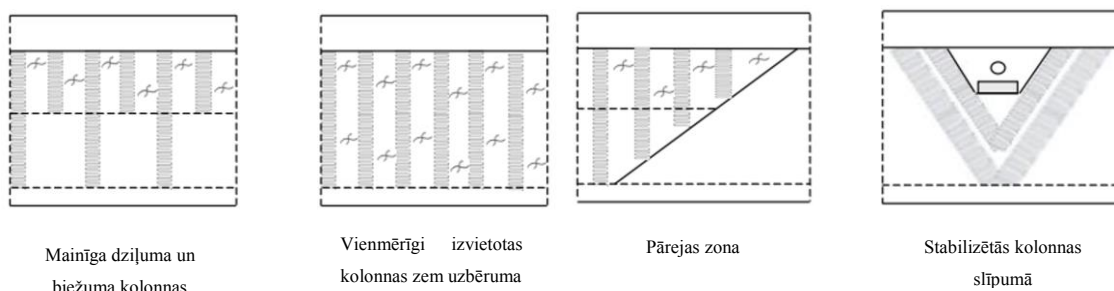
Dziļo stabilizāciju lieto:

- Ceļu, stāvvietu, ielu, tiltu, dzelzceļu un ostu infrastruktūras projektos;
- Dārzu, sporta laukumu, peldbaseinu, poligonu pastiprināšanā;
- Ražošanas ēku un noliktavu teritorijas pastiprināšanā;
- Trokšņa barjeru veidošanā;
- Ūdenstilpju nogāžu nostiprināšanā;
- Satiksmes izraisīto vibrāciju samazināšanā;
- Vājas grunts pastiprināšanā tīklu kanālu būvniecībā;

Grunti pastiprina, veidojot stabilizētas kolonnas, kas tiek izvietotas atbilstoši nesošās konstrukcijas konfigurācijai un tehniskajām prasībām. Dziļo grunts stabilizāciju iespējams izbūvēt līdz 40 m dziļumam, kolonnu diametri visbiežāk ir 0,5 – 1 m, tomēr pastāv iespēja šo diametru palielināt līdz pat 2,5 m. Kolonnu izvietojumus plānā un griezumā skat. 11.1. attēls un 11.2. attēls.



11.1. attēls. Dziļās stabilizācijas kolonnu izvietojuma veidi (blokos, atsevišķi, paneļos, režģa veidā)



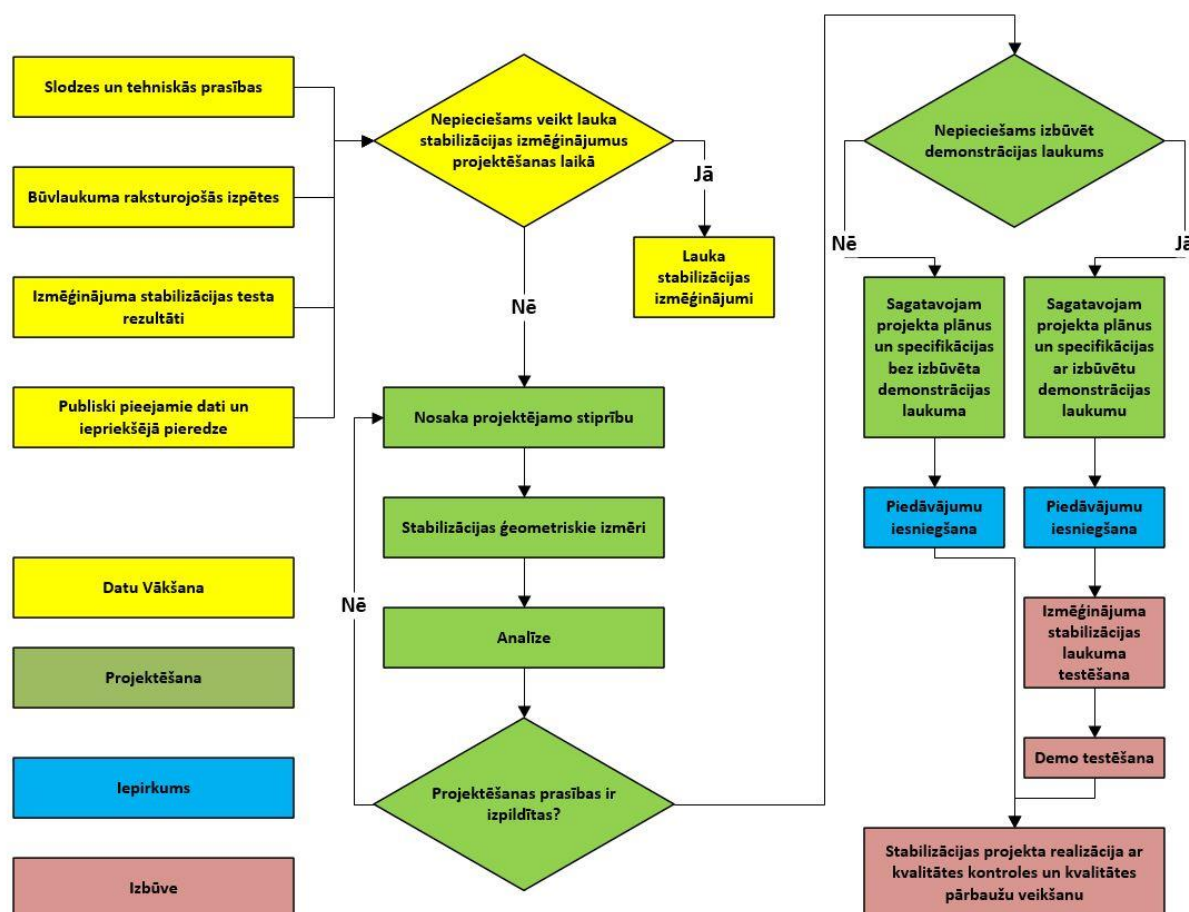
11.2. attēls. Dziļās stabilizācijas kolonnu iestrādes dziļuma veidi

## 11.2. Priekšrocības un trūkumi

Priekšrocības	Trūkumi
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ekonomiski izdevīga</li> <li>• Var pielāgoties dažādiem apstākļiem</li> <li>• Ietaupa būvlaukumā ievedamā materiāla patēriņu un enerģiju</li> <li>• Uzlabo būvlaukumā esošās grunts mehāniskās īpašības</li> <li>• Realizācijai nav nepieciešama grunts pārvietošana, ir mazākas potenciālās grunts transportēšanas izmaksas un iespējamais piesārņojums apkārtējai videi transportēšanas laikā, kā arī iespēja stabilizēto izvesto grunti nedeponēt speciāli izveidotās deponēšanas vietās</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nepiemērota augstiem uzbērumiem</li> <li>• Nepiemērota ļoti vāju grunšu stabilizācijai</li> <li>• Nepieciešams laiks, lai lietotās saistvielas sacietētu un kolonnas sasniegtu paredzēto stiprību</li> </ul>

## 11.3. Grunts dziļās stabilizācijas projekta izstrāde

Parādīta plūsmas diagramma, kurā attēlots dziļās stabilizācijas projektēšanas un būvniecības kopējais process (skat. 11.3. attēls). Stratēģijas diagramma ietver četrus galvenos projekta posmus: (1) datu vākšana, (2) projektēšana, (3) iepirkumi un (4) būvniecība ar nepārtrauktu Qc / QA (Filz et al. 2012; un to atkārtu Bruce et al., 2013).



11.3. attēls. Dziļās stabilizācijas projektēšanas un būvniecības kopējais process

### 11.3.1. Datu vākšana

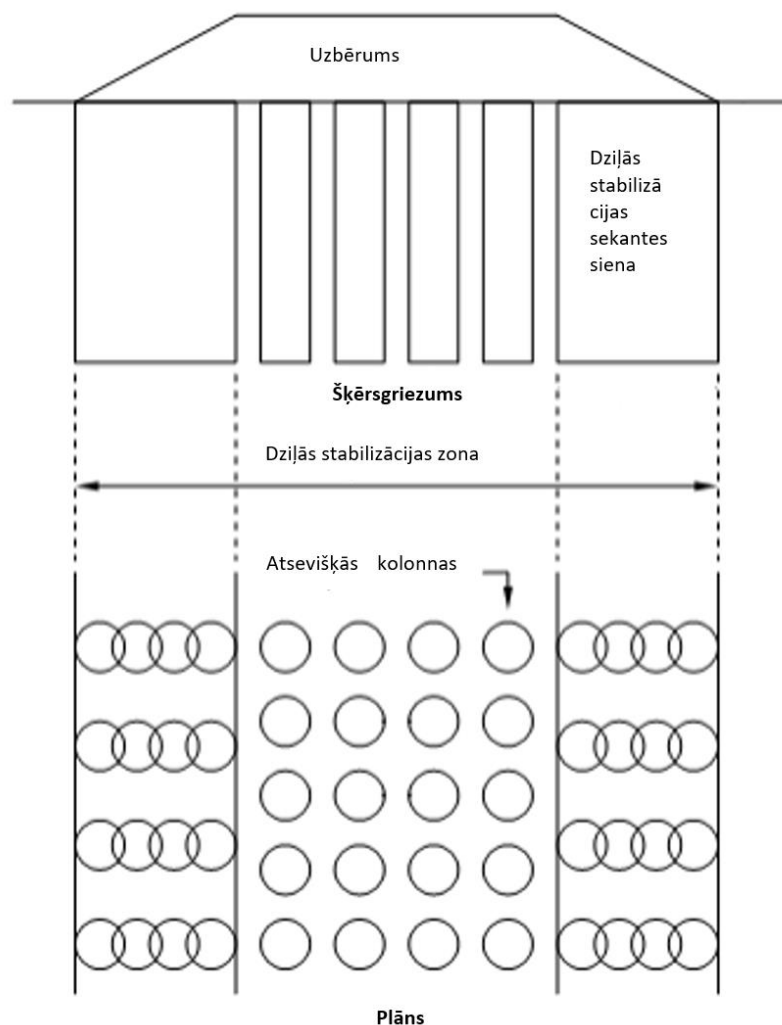
Datu vākšana ietver konstrukcijas sagaidāmo parametru noteikšanu, apkopojot konkrētās vietas specifiskās grunts īpašības un informāciju par gruntsūdeni, kā arī pārskatot pieejamo informāciju, kas saņemta no arhīviem.

Laboratoriskās izpētes un iespējamie demonstrācijas laukumi ir daļa no datu vākšanas. Ja iepriekšējā pieredze nav pieejama, saistvielas maisījumu laboratoriskā testēšana (t.i., neliela mēroga izmēģinājuma testi) parasti jāveic pirms vai vienlaikus ar situācijas analīzi un saistvielas sastāva izstrādi, lai noteiktu stiprības robežas, kādas sagaidāmas projekta realizācijas rezultātā. Projekta izstrādes laikā veic pilna mēroga izmēģinājumus, lai pārlicienātos par grunts stiprības rezultātiem. Šādus pilna mēroga testus parasti veic sarežģītiem un lieliem projektiem. Mazāka apjoma projektiem veic laboratorijas testus un lauka testus nelielā mērogā.

### 11.3.2. Analīze un aprēķins

Analīzes un projektēšanas fāzē ietilpst risinājumu izvērtēšana atbilstoši piedāvātajam dziļās stabilizācijas kolonnu izvietojumam un laboratorijas paraugu testēšanas un/ vai lauka izmēģinājuma testu rezultātiem.

Atsevišķas kolonnas un savstarpēji savienotu kolonnu sekantes sienas (skat. 11.4. attēls) ir izplatītākie dziļās stabilizācijas elementi, kas tiek lietoti zem infrastruktūras uzbērumiem. Parasti atsevišķas kolonnas ir izvietotas zem uzbēruma centrālās daļas, lai nodrošinātu kontrolētu sēšanās apjomu, un nepārtrauktas kolonnu sekantes līnijas zem sānu nogāzēm, kas orientētas perpendikulāri uzbēruma centrālajai līnijai. Šādu kolonnu izvietojumu lieto, lai novērstu uzbērumu stabilitātes zudumu.



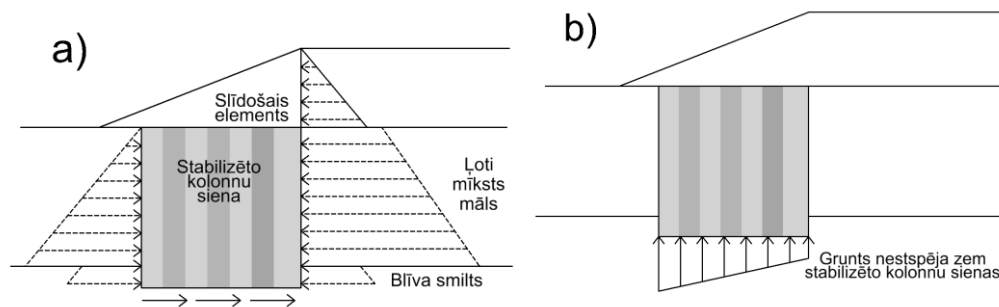
11.4. attēls. DMM kolonnu tipiskā konfigurācija transporta vajadzībām

Projektēšana ietver ārējās (globālās) stabilitātes un iekšējās materiālu stiprības (stabilitātes) novērtējumu pret iespējamiem sabrukuma scenārijiem, lai nodrošinātos, ka



spriegumi, kas rodas konstrukcijā un blakus esošajā grunts masīvā, nepārsniedz materiālu stiprības robežas un kopējais sēšanās apjoms ir projektā paredzētajās robežās.

Lai nodrošinātu globālo stabilitāti, stabilizēto grunti zem uzbēruma modelē kā stingu masīvu un tā stabilitāti izvērtē dažādos sabrukuma režīmos, ieskaitot horizontālo nobīdi, apgāšanos, grunts nestspēju un rotācijas/ nobīdīšanos pa potenciālajām nobīdes virsmām (skat. 11.5. attēls).



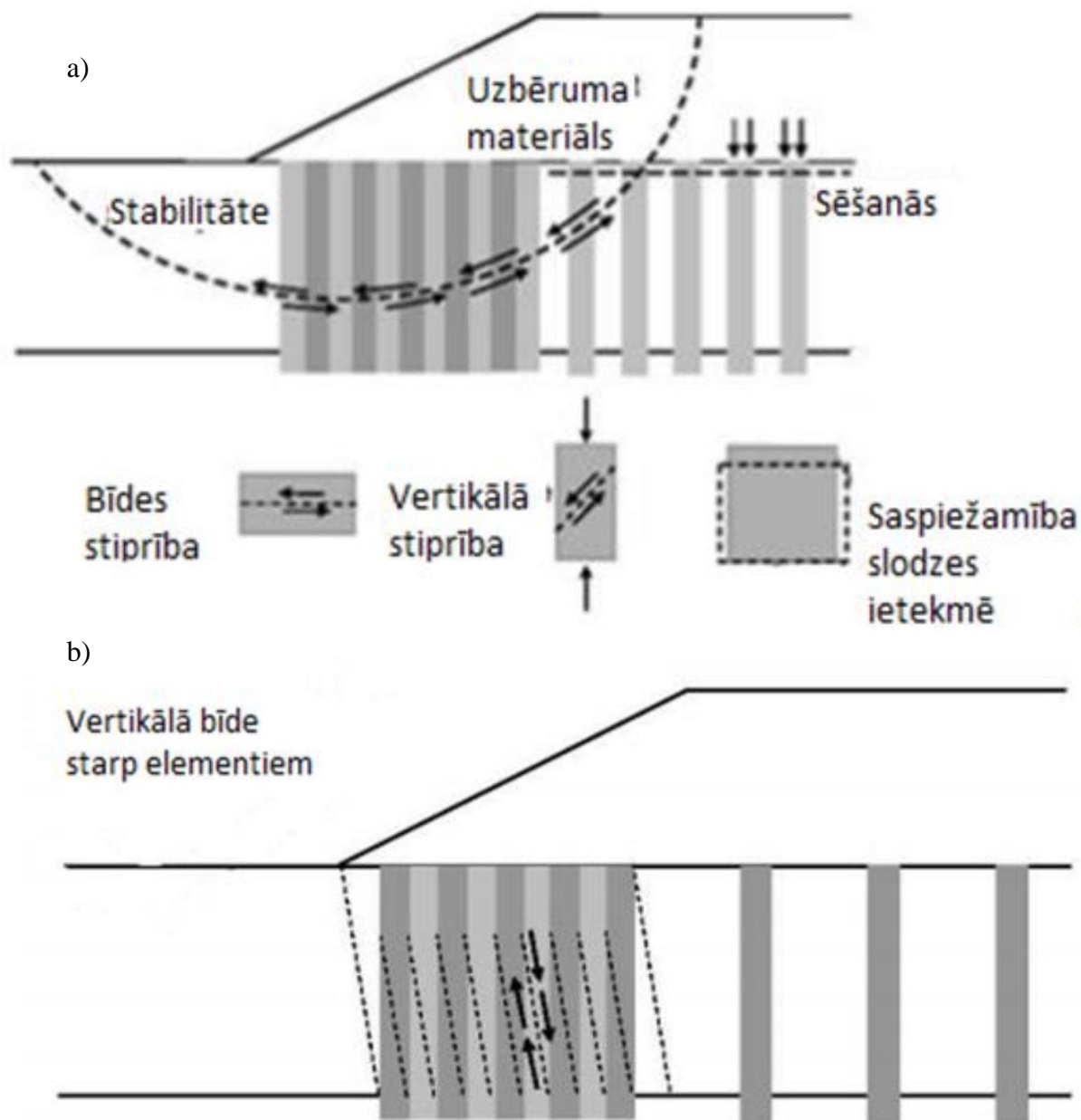
11.5. attēls. Ārējās stabilitātes sabrukuma režīmi: a) apgāšanās un nobīdīšanās režīmi un b) grunts nestspēja

Uzbēruma konstrukcijas sēšanās aprēķini balstās uz pieņēmumu, ka spriegumi ir vienmērīgi sadalīti kolonnās un blakus esošās neapstrādātas grunts dziļās stabilizācijas zonā zem centrālās uzbēruma daļas. Tas ir līdzvērtīgi pieejai, kurā tiek izvērtēti saliktie (kompozītie) moduļi dziļi stabilizētai un blakus esošai gruntij. Augšā esošā uzbēruma atbilstību dziļās stabilizācijas masīva nestspējai pārbauda, lietojot līdzīgas metodes kā uzbērumam uz kolonnām.

Divi iekšējā stabilitātes zuduma modeļi ir parādīti 11.6. attēls: slīdošā virsma iet cauri dziļās stabilizācijas kolonnu zonai un vertikālā bīde pāriet dziļajā stabilizācijas zonā. Ja zem dziļās stabilizācijas masīva atrodas nestspējīga grunts, slodzes horizontālā virzienā var radīt spriegumus, kas pārsniedz dziļās stabilizācijas masīva stiprību.

Analizējot konstrukciju, jāpārlicinās par ārējo kolonnu sienu bīdes stiprību. Kolonnu pārklāšanās laukumam jābūt pietiekamam, lai novērstu noslīdēšanu (kolonnu atdalīšanos) vertikālo spēku ietekmē. Salīdzina arī kritisko bīdes spriegumu vertikālajā plaknē ar konstrukcijas stiprības vērtībām. Analizējot iekšējo stabilitāti, pārbauda arī iespējamās bīdāmās virsmas, kas iziet cauri dziļās stabilizācijas kolonnām un starp tām esošajai gruntij. Pārbaudot dziļās stabilizācijas kolonnu sienu ģeometriju jāpārlicinās, vai grunts starp kolonnām

neizspiežas nelīdzsvarotu spēku sadalījuma dēļ, kas rodas no aktīva un pasīva zema spiediena iedarbes uz dziļās stabilizācijas masīvu.



11.6. attēls. Iekšējās stabilitātes sabrukuma režīmi a) apļveida bīdes virsmas un b) vertikālā nobīde

Iekšējās stabilitātes analīzēm izmanto: kombinētās bīdes stiprības un tilpumsvara vienības, lai modelētu dziļās stabilizācijas zonas zem uzbēruma, pamatojoties uz kolonnu konfigurāciju. Atsevišķas saliktas bīdes stiprības vērtības vertikālajai un horizontālajai plaknei novērtē sānu sienām zem nogāzēm.

Būves tehniskajās specifikācijās jānorāda nepieciešamā ģeometrija, nepārtrauktība un dziļās stabilizācijas rezultātā sasniedzamā grunts stiprība. Tehniskajās specifikācijās arī jānorāda pieņemšanas kritēriji, lai nodrošinātu nepieciešamās izbūves prasības.

### **11.3.3. Iepirkumi**

Dziļās stabilizācijas projektos (projektēšana–piedāvājums–būvniecība) tradicionāli iepirkums ietver būvuzņēmēja piedāvājuma iesniegšanu līguma dokumentu (ieskaitot plānu un tehnisko specifikāciju) sagatavošanai.

Tomēr shēmā projektēšana–būvniecība agrīna būvuzņēmēja iesaiste ir vērtīga, jo tiek piedāvāti un noteikti diametri, kas atbilst būvuzņēmēja tehnikas iespējām un procedūrām, kas var tikt lietotas, lai ekonomiski optimizētu projekta risinājumus.

### **11.3.4. Būvniecība**

Būvuzņēmējs ir atbildīgs par dziļās stabilizācijas elementu ģeometrijas kontroli atbilstoši līguma prasībām, izmantojot noteiktus tehniskos parametrus un izbūves vietas precizitāti, dziļumus un vertikālās pielaiides. Būvuzņēmējs dokumentē darbu kvalitāti un katru dienu sniedz kvalitātes kontroles datus. Pasūtītājs būvuzņēmēja klātbūtnē veic kvalitātes pārbaudes, ieskaitot paraugu ņemšanu un testēšanu, lai nodrošinātu dziļās stabilizācijas darbu kvalitāti.

Lauka validācijas programma ietver pilna mēroga dziļās stabilizācijas elementu izbūvi, lai pierādītu būvuzņēmēja materiālu un metodes atbilstību projektam, tostarp dziļās stabilizācijas stiprību un viendabīgumu. Materiālu apstiprināšanas pārbaudes veic pēc līguma noslēgšanas, bet pirms saistvielas ražošanas uzsākšanas. Lauka validācijas programmas ir biežāk izplatītas nekā izmēģinājuma kolonnu izbūve projektēšanas posmā.

### **11.3.5. Projektēšanas/ analīzes apkopojums: būvbedres sienu nostiprinājums**

Vadlīnijas un galvenās nepieciešamās darbības, lai izstrādātu būvbedres sienu nostiprināšanu, lietojot dziļo stabilizāciju plašāk apskatāmas literatūras avotā [107].

Projektos, kur dziļā stabilizācija ir izdevīgākais tehniskais un ekonomiskais risinājums, jānosaka funkcionālie un konstruktīvie kritēriji un jāveic atbilstoša būvlaukuma izpēte. Pamatojoties uz projekta prasībām, izvēlas stabilizācijas saistvielu un nostiprinājuma sienas tipu. Neatkarīgi no gruntsūdens apstākļiem, analīzes ir vajadzīgas, lai nodrošinātos, ka būvbedres atbalsta sienas konstrukcija spēj izturēt ūdens spiedienu, kas saistīts ar ūdens

filtrāciju aiz un zem atbalstsienas, – tā saucamo izskalošanas un pamata pacelšanās efektu. Nav noteikta specifiska procedūra vai aprēķini; tomēr vairākas galīgo elementu programmas spēj modelēt filtrācijas un poru ūdens spiediena sadalījumu. Ārējās stabilitātes analīze un sienas vertikālās stiprības pārbaude arī ir nepieciešama. Piedāvā klasiskās metodes (Bišopa un Janbu) konstrukcijas aprēķinu veikšanai un drošības faktoru noteikšanai dziļās stabilitātes pārbaudei.

Vienādojums horizontālā grunts spiediena aprēķinam aiz atbalstsienas ar vienu enkurojuma rindu [107]:

$$\sigma_h = k\sigma'_{ov} + \alpha u \quad 11.3.1.$$

kur

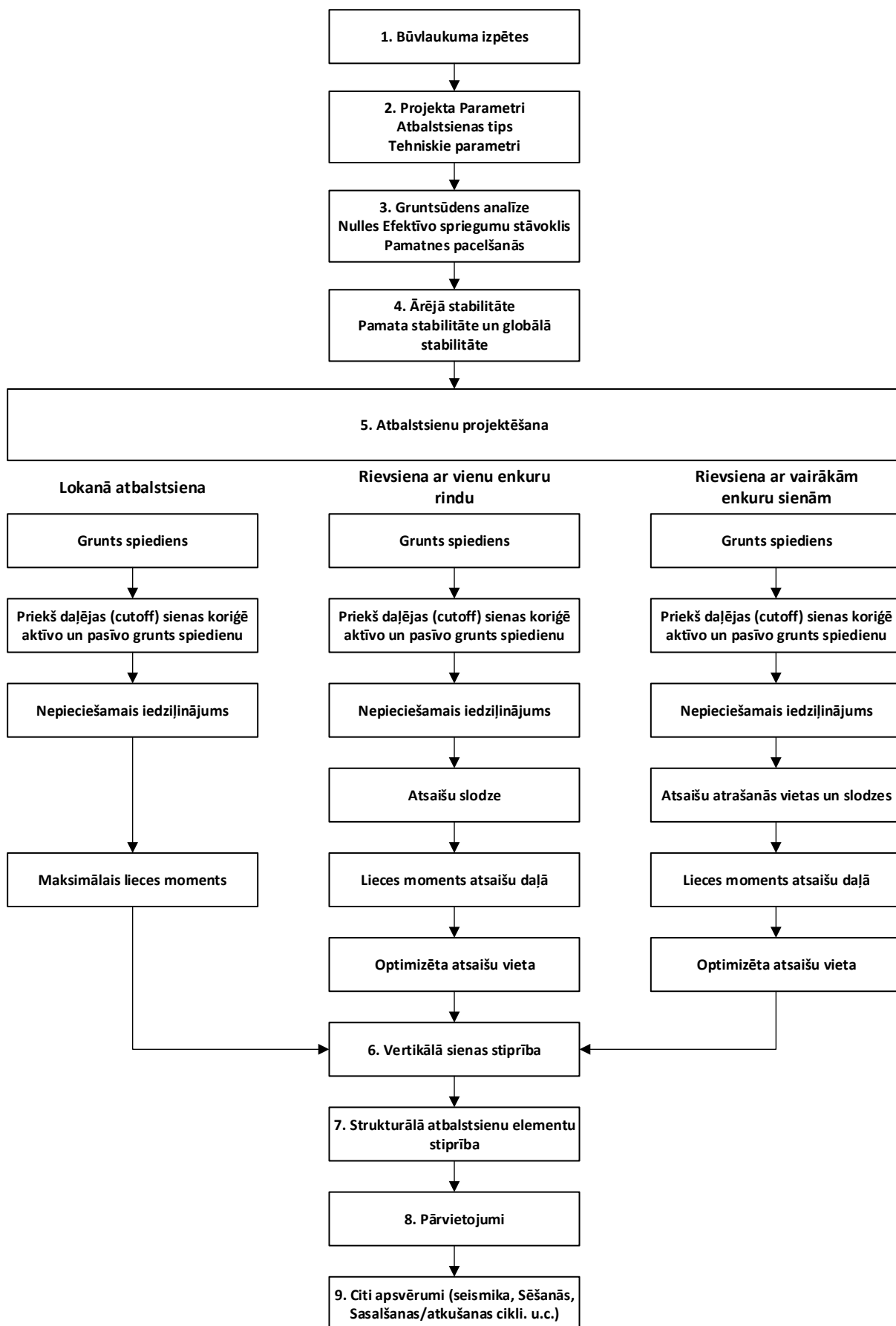
$\sigma_h$  – ir nemainīgs kopējais horizontālais spiediens virs būvbedres ierakuma;

$k$  – ir zemes spiediena koeficients, iegūts no skaitļiem, kas attiecas uz  $k$  līdz sienas novirzei;

$\sigma'_{ov}$  – ir efektīvs vertikālais spriegums atbalstsienas iekšējā pusē;

$\alpha$  – ir ūdens poru šķērsriezuma laukuma attiecība pret kopējo poru šķērsriezuma laukumu ( $\alpha=1$  piesātinātā grunts, sausai gruntij  $\alpha=0$ );

$u$  – ir poru ūdens spiediens.



11.7. attēls. Dziļās stabilizācijas atbalstsienu projektēšanas shēma

11.1. tabula. Parametri, ko nepieciešams novērtēt (pirms un pēc,) projektējot un analizējot dziļās grunts stabilizācijas risinājumu

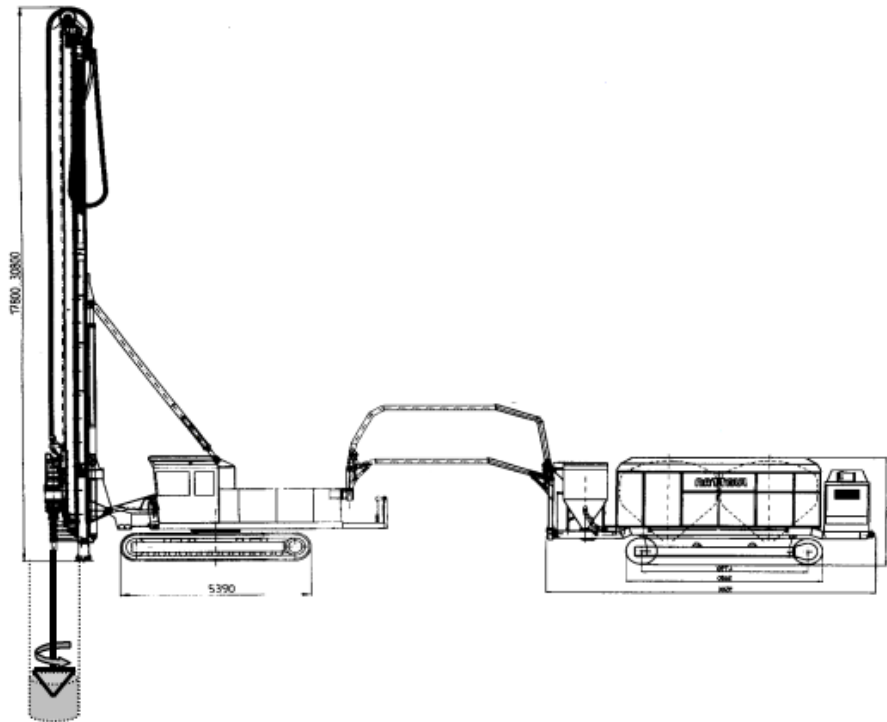
<b>Pastiprināšanas kritēriji</b>	Pieļaujamās kopējās deformācijas
	Pieļaujamās deformācijas nevienmērība
	Horizontālās deformācijas
	Ārējā stabilitāte
	Iekšējā stabilitāte
	Grunts nestspēja
<b>Pamatnes raksturojums</b>	Grunts slāņu izvietojums
	Gruntsūdens apstākļi
	Granulometriskais sastāvs
	Grunts plasticitātes rādītāji
	Grunts mitrums
	Organikas saturs
	pH
	Bīdes stiprība
	Saspiežamība vai deformāciju modulis
	Filtrācija
	Deformāciju modulis nestabilizētai gruntij
<b>Slogošanas nosacījumi</b>	Uzbēruma slodze
	Struktūras slodze
	Transporta slodze
	Horizontālais grunts spiediens
	Seismiskā slodze
<b>Grunts materiāla īpašības</b>	Vietējās pieejamās saistvielas
	Saistvielas tips
	Saistvielas sastāvā esošo vielu proporcijas
	Bīdes pretestība stabilizētai gruntij
	Deformācijas modulis pastiprinātai gruntij
	Filtrācijas īpašības stabilizētai gruntij
<b>Būvniecības tehnoloģija</b>	Pildvielas īpašības
	Sajaukšanas metode: sausa vai samitrināta saistviela
	Vietējā pieejamā iestrādes tehnika
	Grunts spiediens
<b>Ģeometrija</b>	Gaisa pielietojums
	Pastiprināšanas veids – kolonnas, siena, masīvs u.c.
	Stabilizācijas dziļums (peldošais vai slodzi nesošais pastiprinājums)
	Diametrs vai platums
<b>Pastiprināšanas kritēriji</b>	Izvietojums
	Pieļaujamās kopējās deformācijas
	Pieļaujamās nevienmērīgās deformācijas

	Horizontālās deformācijas
	Ārējā stabilitāte
	Iekšējā stabilitāte
	Grunts nestspēja
<b>Pamatnes raksturojums</b>	Grunts slāņu izvietojums
	Gruntsūdens apstākļi
	Granulometriskais sastāvs
	Konsistences rādītāji
	Grunts mitrums
	Organikas saturs
	pH
	Bīdes stiprība
	Saspiežamība vai deformāciju modulis
	Filtrācija
	Deformāciju modulis nestabilizētai gruntij
<b>Slogošanas nosacījumi</b>	Uzbēruma slodze
	Transporta slodze
	Horizontālais grunts spiediens
<b>Grunts materiāla īpašības</b>	Vietējās pieejamās saistvielas
	Saistvielas tips
	Saistvielas sastāvā esošo vielu proporcijas
	Bīdes pretestība stabilizētai gruntij
	Deformācijas modulis pastiprinātai gruntij
	Filtrācijas īpašības stabilizētai gruntij
<b>Būvniecības tehnoloģija</b>	Pildvielas īpašības
	Sajaukšanas metode: sausa vai samitrināta saistviela
	Vietējā pieejamā iestrādes tehnika
	Spiediens javai sprauslās
<b>Ģeometrija</b>	Gaisa pielietojums
	Pastiprināšanas veids – kolonnas, siena, masīvs u.c.
	Diametrs vai platums
	Izvietošanas veids

#### 11.4. Būvniecības tehnoloģijas

Stabilizēto kolonnu izbūve sastāv no grunts sajaukšanas ar saistvielu, maisot ar rotējošiem “asmeņiem”, kuros ir sprauslas saistvielas padošanai. Tehnoloģija sastāv no jaucamās iekārtas, kas aprīkota ar rotējošu mastu un saistvielas padevēja, kurš nodrošina saistvielas padošanu noteiktā apjomā un spiedienā (skat. 11.8. attēls un 11.9. attēls).





11.8. attēls. Tipiskais dziļās stabilizācijas aprīkojums

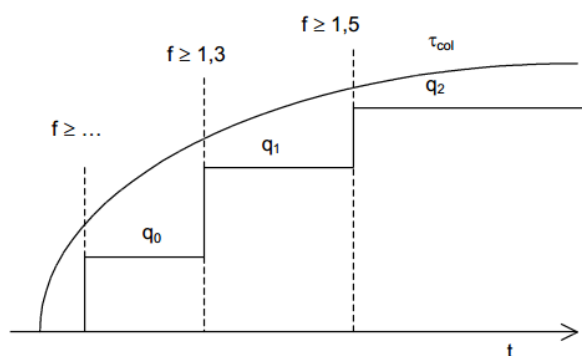
Izmantojot kolonnas stabilizācijas sauso metodi, izbūvi parasti sāk ar rotējošās vārpstas iedziļināšanu līdz paredzētajam dziļumam un tad lēnām ar noteiktu rotāciju skaitu minūtē un ātrumu asmeni paceļ līdz grunts virskārtai. Tā rezultātā tiek izbūvēta stabilizētās grunts kolonna ar cilindrisku formu.



11.9. attēls. Tipiskais dziļās stabilizācijas aprīkojums

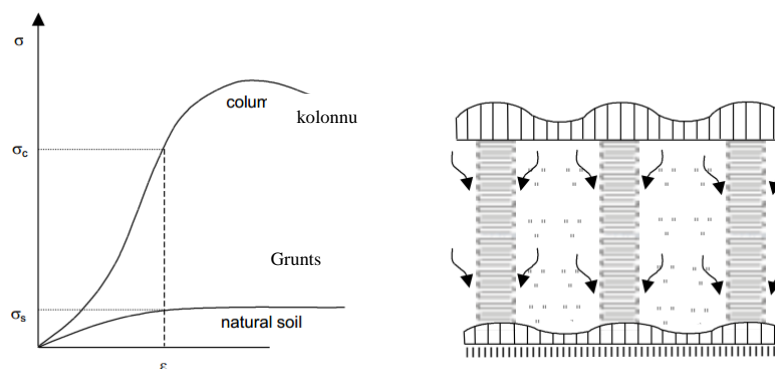
Stabilizētās grunts stiprība ir atkarīga no saistvielu veida un daudzuma, kā arī no grunts īpašībām pirms stabilizācijas. Turklāt sajaukšanas viendabība acīmredzami ietekmē iegūto stiprumu. Tomēr stabilizētās grunts nedrenētais bīdes spriegums parasti ir robežās no 50 līdz 150 kPa. Jāatzīmē, ka laboratorijas sagatavotajiem stabilizētās grunts paraugiem bīdes stiprība var būt vairāki simti kPa. Tik liela bīdes stiprība tiek iegūta no paraugiem, kas paņemti no lauka, un tas saistīts ar dažādajiem cietēšanas ilgumiem un stabilizētās grunts pieslodzi. Šī attiecība ir atkarīga arī no grunts tipa un saistvielu veida.

Lietojot cementu, vislielākais stiprības pieaugums attīstās pirmajā mēnesī pēc stabilizācijas. Izmantojot tādas saistvielas kā kaļķi, ģipsi, krāsns izdedžus un/vai pelnus, stiprības pieaugums var turpināties ilgākā laika posmā, tāpēc padziļināta izpēte ļauj optimizēt konstrukcijas izbūves grafiku (skat. attēlu 11.10. attēls.)



11.10. attēls. Optimizācijas grafiks cietēšanas laikam un pieslodzei

Kopējais projektēšanas mērķis ir radīt stabilizētu grunti, kas mehāniski mijiedarbojas ar apkārtējo nestabilizēto grunti, vienmērīgi sadalot pielikto slodzi. Pieliktā slodze daļēji tiek uzņemta kolonnās un atlikusī slodze nodota apkārt esošajā gruntī, tāpēc pārāk stingas kolonnas ne vienmēr ir labākais risinājums. Slodze netiks vienmērīgi sadalīta un pati kolonna darbosies kā pālis (skat. 11.11. attēls).



11.11. attēls. Shematisks dziļo pamatu aprēķina princips

## 11.5. Kvalitātes kontrole

Būvniecības kvalitāti sasniedz, izpildot noteiktas prasības, kas detalizēti aprakstītas projekta plānos, piemēram, ASTM un AASHTO piemērojamās testēšanas standartus.

Kvalitātes kontrole (QC) un kvalitātes pārbaude (QA) ir procesi, ko piemēro procedūrām, mērījumiem un novērojumiem, kas izmantoti, lai nodrošinātu, ka konstrukcija atbilst projektam. QC un QA bieži pārprot un lieto kā savstarpēji aizvietojamus, taču tie papildina viens otru.

QC attiecas uz procedūrām, mērījumiem un novērojumiem, ko izmanto būvuzņēmējs, uzraugot un kontrolējot būvniecības kvalitāti, lai visas piemērojamās prasības būtu izpildītas. QA attiecas uz būvuzrauga veiktajiem mērījumiem un novērojumiem, ka iekārta ir būvēta saskaņā ar plāniem un tehniskajām specifikācijām. Līguma dokumentos var prasīt, lai būvuzņēmējs palīdz un/ vai veic to noteiktas kvalitātes nodrošināšanas darbības.

Atsevišķās QC un QA izpētes aprakstītas nodaļā par masas stabilizāciju.

11.2. tabula. Parametri, ko nepieciešams novērtēt kvalitātes kontroles un kvalitātes pārbaudes pasākumu rezultātā

<b>Kvalitātes kontrole un pārbaude</b>	Kvalitātes kontrole	Materiāli	Procedūras: laboratoriskie saistvielas sastāva testi, saistvielas javas tilpumsvars, lauka kolonnu testi, paraugu ņemšana, stiprības pārbaudes, hidroloģiskās caurlaidības testi  Mērījumi: stiprības un filtrācijas mērījumi
		Būvniecības process	Procedūra: monitoringa sistēmas izveidošana, uzraudzība un datu apkopošana  Mērījumi: lāpstiņu rotācijas ātrums, iedziļināšanas ātrums, saistvielas iestrādes apjoms, vertikālitate, saistvielas padeves spiediens, stabilizētās grunts ģeometrija
	Kvalitātes pārbaude	Materiāli	Procedūra: serdes paraugu testēšana, nesacietējušu paraugu ņemšana, iedziļināšanas ātrums, ģeofiziskā pārbaude  Mērījumi: stiprības un filtrācijas mērījumi
		Būvniecības process	Procedūra: serdes paraugu testēšana, atrakšana, ģeofiziskie testi, datu vākšana  Mērījumi: vertikālitate, saistvielas viendabīgums, stabilizētās grunts ģeometrijas atbilstība

<b>Efektivitātes kritēriji</b>	Materiālu parametri	Šķērsspēka vērtība, grunts nestspēja, stingums, filtrācija
	Būvniecības process	Sēšanās vērtība, horizontālās deformācijas, kolonnu strukturālie bojājumi

## 11.6. Cenas un izmaksas

Izmaksas, kas saistītas ar dziļās stabilizācijas lietojumu tehniskajos projektos, parasti ietver tāmē līguma ietvaros un mēra kubikmetros [m<sup>3</sup>]. Šajā izmaksu pozīcijā ietilpst materiāls, aprīkojums, darbaspēks un citi ar dziļo stabilizāciju saistītie darbi. Mobilizācija, kvalitātes kontrole un testēšanas darbi tiek aprēķināti un apmaksāti atsevišķi.

Tabulā ir norādītas būvniecības izmaksas, kas saistīti ar dziļās stabilizācijas aptuvenām vienības cenām un to diapazonu. Izmaksu diapazons ir balstīts uz datiem no 2009. līdz 2011. gadam.

Daudzos dziļās stabilizācijas projektos nepieciešama darba platforma un ģeosintētiskie materiāli, atbilstoši iepirkuma noteikumiem šo darbu izmaksām jābūt iekļautām vienības cenā, vai atsevišķi norādītām piedāvājuma tāmē.

11.3. tabula. Provizoriskās izmaksas dziļās stabilizācijas projektos

<b>Izmaksas pozīciju apraksts</b>	<b>Apjoma intervāls</b>	<b>Vienības</b>	<b>Zemākā vienības cena</b>	<b>Augstākā vienības cena</b>	<b>Faktori kas potenciāli var ietekmēt izmaksas</b>
Masas stabilizācija	Vairāk par 3 822	m <sup>3</sup>	52	110	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Izmaksas atbilst sausas saistvielas metodei</li> <li>▪ Saistvielas izmaksas ir atkarīgas no projekta materiālu tehniskajām specifikācijām un ierakuma attāluma</li> <li>▪ Vienības izmaksas samazināsies palielinoties iestrādes dziļumam</li> </ul>
Mobilizācija	1	komplekts	66000	110000	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mobilizācijas izmaksas var palielināties, ja projekts atrodas tālāk par 800 km</li> <li>▪ Projektos ar vairākām izbūves kārtām var rasties atkārtotas mobilizācijas izmaksas</li> </ul>
Uzbērums	Vairāk par 3 822	m <sup>3</sup>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lietot vēsturiskus datus no citiem projektiem, kas ir ar līdzīgu apjomu un konstruktīvo risinājumu</li> </ul>

Tabulā 11.4 apkopotas faktiskās projekta izmaksas.

11.4. tabula. Dziļās stabilizācijas projekta faktiskās izmaksas

Izmaksas pozīciju apraksts	Apjoms	Vienības	Zemākā vienības cena EUR	Augstākā vienības cena	Vidējā vienības cena	Piedāvājumu skaits	Piedāvājumu iesniegšanas datums
Dziļā grunts sajaukšana (Sausa saistviela)	3721	m <sup>3</sup>	69	n/a	n/a	1	29.04.2009
Dziļā grunts sajaukšana (kaļķa un cementa kolonnas)	17408	m <sup>3</sup>	52	81	61	7	01.08.2011
Dziļā grunts sajaukšana (kaļķa un cementa kolonnas)	9785	m <sup>3</sup>	54	107	73	7	01.08.2011

## 12. D.5. GRUNTS STABILIZĀCIJA PLĀNOS SLĀŅOS AR CEMENTU VAI/ UN KAĻĶI

### 12.1. Vispārējie principi un lietošanas joma

Paaugstinot zemes klātnes grunts kvalitāti, to stabilizējot, tiek paaugstināta šādas stabilizētas konstrukcijas spēja izkļiedēt uzņemamo slodzi vienmērīgāk un lielākā platībā, līdz ar to samazināt nepieciešamo ceļa segas konstruktīvo kārtu biezumu.

Grunts stabilizācijas mērķis ir gan grunti stabilizēt, t.i., paaugstināt, piemēram, tās nestspēju, mitruma un sala noturību, gan arī grunti uzlabot, lai pārmitrinātu grunti varētu iestrādāt. Grunts uzlabošanas galvenais mērķis nav sasniegt kādas konkrētas grunts funkcionālās īpašības gatavā konstrukcijā, bet gan atvieglot zemes klātnes būvniecības procesu.

Būvprojekta izstrādes gaitā, paredzot grunšu stabilizāciju, jāveic esošo grunšu testēšana un novērtēšana. Jānovērtē grunts piemērotība stabilizācijai, kā arī stabilizācijas nepieciešamība. Vienkāršākos gadījumos, ja ir iepriekšēja pieredze, un mērķis nav būvprojekta, bet, piemēram, skiču projekta izstrāde, izvērtēšanu drīkst veikt arī tikai teorētiski, vadoties pēc šajā rokasgrāmatā dotajiem kritērijiem un nosacījumiem. Projektēšanas ietvaros jāizstrādā grunts stabilizācijas projekts, veicot nepieciešamo testēšanu laboratorijā.

Grunts stabilizācija plānos slāņos vienā tvērienā paredzama līdz 50 cm biezumā. Biezāku kārtu stabilizācija zemes klātnes ierakumā būs apgrūtināta un nav ieteicama, bet uzbēruma veidošanā stabilizētās kārtas kopējais biezums nav ierobežots, turklāt, ja nepieciešams, būvējamajiem slāņiem iespējams izstrādāt dažādus stabilizācijas risinājumus. Minimālais ieteicamais vienas kārtas biezums ir 20 cm.

Stabilizācijai izmanto pieejamo reciklēšanā plaši izmantoto tehniku – recikleru, autogreideru, veltņus, ūdens un saistvielu piegādes un iestrādes mašīnas u.c.

Grunts stabilizācija vienā plānā slānī (tehnoloģiski vienā tvērienā līdz 50 cm biezumā) racionāli iespējama gadījumos, ja nepieciešams salīdzinoši nedaudz uzlabot esošās grunts īpašības. Grunts stabilizāciju plānos slāņos plašāk lieto, būvējot zemes klātnes uzbērumus gadījumos, ja ierakuma grunts nav atbilstoša izmantošanai uzbēruma būvniecībā, bet, to stabilizējot ar kaļķi vai cementu, iespējams nodrošināt zemes klātnei izvērztās nestspējas un kalpotspējas prasības.



Būvdarbu izpildes līgumā ir jānosaka konkrēti kritēriji un prasības zemes klātnes grunšu stabilizācijai ar hidrauliskajām saistvielām – kaļķi un cementu, tos iemaisot esošajā, pievestajā vai pārvietotajā gruntī, lai sasniegtu zemes klātnes nepieciešamo nestspēju un salizturību, tādējādi sagatavojot piemērotu pamatu ceļa segai, kā arī nodrošinot turpmāko ceļa segas kalpotspēju visā tās paredzētajā ekspluatācijas periodā.

Projekta izstrādes gaitā jānoskaidro, vai, izmantojot esošās gruntis, tiks nodrošināts vismaz prasītais elastības modulis. Ja to nevarēs sasniegt ar lietošanai paredzētajām gruntīm vai materiāliem, tad būvprojektā jāizstrādā adekvāti risinājumi, vai nu nomainot grunti, vai būvējot papildu kārtas, vai lietojot ģeosintētiskus materiālus, vai stabilizējot esošās gruntis ar kaļķi vai cementu. Būvprojektā jārod racionālākais stabilizācijas metodes risinājums. Tam jābūt piemērotam un iespējamam izmantošanai konkrētajos apstākļos.

Būvprojekta izstrādēm jābūt kompleksām, dodot skaidru un konkrētu tehnisko risinājumu, piemēram, gan par stabilizācijas veidiem, gan nepieciešamām salizturīgajām vai atdalošajām starpkārtām, uzbēruma sloģošanas laiku pirms ceļa segas būvniecības, nogāžu papildu nostiprināšanu u.c., kas nepieciešams, lai plānotu un sagatavotos būvdarbu izpildei.

Ceļa segas projektā jāparedz, lai, izbūvējot konstruktīvās kārtas atbilstoši "Ceļu specifikācijās 2019" noteiktajām minimālajām prasībām, lietotie materiāli un izpildītie darbi nodrošinātu katras kārtas funkcionalitāti bez paliekošām deformācijām un priekšlaicīga noguruma radītiem defektiem visā plānotajā kalpošanas laikā. Paaugstinot zemes klātnes grunts noturību ar stabilizāciju, tiek paaugstināta stabilizētās konstrukcijas spēja izkļaidēt uzņemamo slodzi vienmērīgāk un lielākā platībā, līdz ar to iespējams samazināt nepieciešamo ceļa segas konstruktīvo kārtu biezumus.

## 12.2. Priekšrocības un trūkumi

Apstrāde ar hidrauliskajām saistvielām – kaļķi un/ vai cementu – paplašina grunts izmantošanas iespējas, kā arī atvieglo vai padara iespējamu būvdarbu izpildi. Atkarībā no konkrētās situācijas grunti var "izzāvēt", uzlabot (modificēt) vai stabilizēt.

### Pārmitrināta grunts

Pārmitrinātā gruntī nav iespējama tās sablīvēšana, bet izžāvēšana prasa ļoti daudz laika vai dažkārt var būt neiespējama, līdz ar to nevar turpināt būvdarbus. Iemaisot gruntī nelielu kaļķa daudzumu, kaļķis piesaista lieko ūdeni, grunti ir iespējams sablīvēt un turpināt būvdarbus.



Novērtēt kaļķa izmantošanas lietderību mitruma negatīvās ietekmes novēršanai gruntī var, salīdzinot to ar citām alternatīvām:

- Izžāvēšana – lēta, ļoti lēna (zaudētais laiks vienmēr būs papildu izmaksas vai nu pasūtītājam, vai būvniekam, vai ceļu lietotājiem, vai sabiedrībai, bet visbiežāk visiem), var turpināt līt, līdz ar to nenoteiktība, neprognozējami aizkavēsies līgumā noteiktie būvdarbu izpildes termiņi, kas var būt saistīti ar citiem būvdarbiem vai procesiem, un rezultātā radīsies arī juridiska rakstura problēmas;
- Grunts apmaiņa – ļoti efektīva, lēna, dārga, ietekmē apkārtējo vidi (nepieciešama jaunu materiālu ieguve, kā arī esošās grunts utilizācija, kas saistīta ar apkārtējās vides piesārņošanu, līdz ar to var radīt apgrūtinājumus gan sabiedrībai, gan infrastruktūrai);
- Kaļķa iestrāde – efektīva, ātra iedarbība, uzlabo grunts īpašības, izmanto esošo grunti – nav utilizācijas problēmu, rentabla.

### **Grunts uzlabošana**

Iemaisot kaļķi un /vai cementu gruntī, lai to uzlabotu, grunts tiek modificēta, uzlabojot tās īpašības:

- Samazina grunts plasticitāti un uzbriestamību;
- Nodrošina grunts labāku stabilitāti, kā arī sablīvējamību;
- Izveido nostiprinātu un noturīgu pamatni tālāko būvdarbu izpildei.

### **Grunts stabilizācija**

Grunti stabilizējot ar kaļķi un/vai cementu, tiek:

- Paaugstināta grunts stiprība un nestspēja;
- Nodrošināta grunts stiprība un nestspēja ilgtermiņā;
- Samazināta ūdens absorbcija gruntī;
- Paaugstināta grunts salumkusumizturība.

Trūkumi hidraulisko saistvielu izmantošanai:

- Dažkārt izmaksas var būt samērā augstas;
- Ne visām gruntīm risinājums var būt piemērots;
- Var būt apgrūtināta vai neiespējama hidraulisko saistvielu iestrāde grunts pārlietu liela mitruma dēļ vai apgrūtinātas piekļuves;

- Grunšu neviendabība ir tik liela, ka nav iespējama saprātīgi korekta maisījuma projekta izstrāde.

### 12.3. Stabilizācijai lietojamās gruntis

Plānos slāņos lietderīgi stabilizēt smilšainas, mālainas vai putekļainas gruntis, kuru funkcionālās īpašības ir zemākas par nepieciešamajām ceļa zemes klātnei. Projektējot ceļa konstrukciju, vispārīgā gadījumā ieteicams nodrošināt, ka kopējais elastības modulis  $E_{V2}$  uz zemes klātnes virsmas ir vismaz 45 MPa (vai  $CBR \geq 20\%$ ), bet elastības modulis uz uzbūvētajām zemes klātnes zemākajām kārtām ir vismaz 25 MPa (vai  $CBR \geq 8\%$ ) [1]. Izstrādājot individuālus risinājumus, prasības grunšu nestspējai var būt arī atšķirīgas vai augstākas, kā arī tiek izvirzītas papildu prasības grunšu noturībai pret mitruma vai sala iedarbību.

Nav ieteicams stabilizēt grūtis, kurām, pievienojot pat ļoti lielu cementa vai kaļķa saturu, neiespējami adekvātā apmērā paaugstināt nestspēju un salizturību vai arī stabilizāciju nevar veikt, izmantojot tipisku ceļu būves tehniku un iekārtas. Par stabilizācijai plānos slāņos nepiemērotām uzskatāmas šādas grūtis:

- Augsti plastiskas grūtis – CIH, SiH;
- Grūtis ar organiku vai organiskas grūtis – Or;
- Dabiski vai reciklēti materiāli, kas satur atšķirīgas stiprības akmeņus vai materiālus, kuri tādējādi nevar tikt pienācīgi sadrupināti un sagatavoti.

### 12.4. Saistvielas izvēle

Saistvielas izvēle, kā arī tās izlietotais daudzums būs atkarīgs no konkrētās grunts veida, tās novietojuma ceļa klātnes konstrukcijā, ekspluatācijas mitruma apstākļiem, kā arī no sasniedzamajām zemes klātnes un ceļa konstrukcijas funkcionālajām īpašībām. Svarīgi ievērtēt arī saistvielu pieejamību, tehniskās iespējas, kopējās izmaksas, vides faktoros u.c. būtiskus nosacījumus vai ierobežojumus.

Atkarībā no konkrētās grunts veida un īpašībām jāizvēlas saistviela, kā arī tās daudzums. Visbiežāk vienam grunts tipam stabilizācijai izmanto vairāk nekā vienu saistvielu, tāpēc svarīgi ir veikt sākotnējo grunts īpašību testēšanu un izvērtēšanu.

Saistvielas izvēle stabilizācijai:

- Kā saistviela grunts stabilizācijai var būt kaļķis, cements, CHCS un ar cementu bagātinātas saistvielas;
- Lieto arī dažādas piedevas, kas uzlabo saistvielu efektivitāti (paaugstina stiprību, uzlabo izturību pret ūdens iedarbību vai/ un salizturību, atvieglo iestrādājamību u.c.);
- Stabilizācijas saistviela jāizvēlas, balstoties uz grunts testēšanas rezultātiem, lai nodrošinātu izvirzītās prasības atkarībā no grunts tipa, tās īpašībām, kā arī paredzamajiem mitruma apstākļiem;
- Grunts piemērotība vai tās konkrētā saderība ar saistvielu jānovērtē, testējot grunts pH līmeni;
- Smilšainām un putekļainām gruntīm ieteicams izvēlēties cementu vai saistvielas uz cementa bāzes, savukārt plastiskām mālainām gruntīm ieteicams izvēlēties kaļķi;
- Vidēji plastiskām gruntīm ieteicams izvērtēt kaļķa un cementa lietošanas iespēju, tādējādi iespējams ar mazāku kopējo saistvielu patēriņu izpildīt izvirzītās prasības;
- Smilšainām un akmeņainām gruntīm ar nelielu putekļu daļiņu saturu ( $< 0,063 \text{ mm} \leq 5 \%$ ), lai nodrošinātu augstākus un prasībām atbilstošus spiedes stiprības rādītājus ar mazāku cementa saistvielas izlietojumu, ieteicams piemaisīt putekļainu grunti (ja tāda grunts ir pieejama un tas ir tehniski un ekonomiski pamatoti) vai cementa apvedkanāla putekļus, vai citu minerālo aizpildītāju.

Grunšu stabilizācijai lietojamāko saistvielu tipi un to atbilstības izvērtēšanai lietotie standarti:

- Cementam jāatbilst LVS EN 197-1 izvirzītajām prasībām, klases: 32,5N; 42,5N vai 52,5 N, vai EN 197-4. Jālieto lēni cietējošs cements, lai būtu pietiekami daudz laika būvdarbu izpildei līdz cementa saistīšanās sākumam;
- CHCS (cementa hidrauliskā ceļa saistviela) jāatbilst LVS ENV 13282 izvirzītajām prasībām ar stiprības klasi HRB 22,5 E vai HRB 32,5 E;
- Dzēstajam vai nedzēstajam kaļķim jāatbilst LVS EN 459-1, klasei CL 90 vai CL 80;
- Stabilizācijas maisījumam pievienojamajam ūdenim jāatbilst LVS EN 1008.

Papildu vai autonomi lieto arī cita veida hidrauliskās saistvielas vai kādas piedevas. Šādā gadījumā jādeklarē saistvielu vai piedevu veids un īpašības, kā arī jānorāda to izmantošanas mērķis vai domātie ieguvumi.

Stabilizācijai paredzētās grunts granulometriskais sastāvs jātestē saskaņā ar LVS EN 933-1 vai LVS ISO 11277. Ja nepieciešams, grunts iepriekš jāuzzirdina.

Gruntij, pievienojot saistvielu, tās proktora blīvums samazināsies, savukārt optimālais mitruma daudzums palielināsies.

Grunti paredz uzlabot ar hidrauliskajām saistvielām, piemēram, lai padarītu iespējamu pārmitrinātas grunts sablīvēšanu. Šādā gadījumā jāņem vērā, ka:

- 1% cementa pievienošana piesaista aptuveni 0,3% ūdens;
- 1% kaļķa pievienošana piesaista aptuveni 2,0–2,5% ūdens.

Pārmitrinātai gruntij, pievienojot apmēram 1–3% kaļķi, lielākajā daļā gadījumu grunti iespējams atbilstoši sablīvēt, un būvdarbu izpilde iespējama bez pārtraukumiem, kā arī neapšaubāmi paaugstināsies uzlabotās grunts īpašības – noturība pret mitruma un sala iedarbību, samazināsies plasticitāte un paaugstināsies nestspējas rādītāji.

Pārlietu liels organisko daļiņu saturs gruntī padara to skābāku un līdz ar to nelabvēlīgi ietekmē cementa saistīšanās procesus. Lai cements nodrošinātu pietiekami efektīvu sasaistīšanos, grunts–cementa–ūdens maisījuma pH līmenim jābūt  $\geq 12,1$  pēc literatūras avota [108]. Grunts skābuma samazināšanai pievieno kaļķi, tādējādi nepieciešamības gadījumā padarot iespējamu cementa izmantošanu grunts stabilizācijai.

Savukārt, mālainas grunts stabilizācijai paredzot kaļķi, jāatrod, ar kādu pievienotā kaļķa daudzumu sasniegs  $\text{pH} = 12,4$  [109]. Tas ir ieteicamais minimālais kaļķa daudzums, lai uzsāktu stabilizācijas sastāva sagatavošanu.

12.1. tabula. Ieteikumi saistvielas un tās daudzuma izvēlei atkarībā no grunts tipa

<b>Grunts tips</b> (saskaņā ar LVS EN ISO 14688-1, LVS EN ISO 14688-2)	<b>Ieteicamā saistviela, aptuvenais daudzums</b>
<b>Grunts stabilizācija</b>	
Smilts, putekļaina vai mālaina smilts (Sa, siSa, clSa)	cements* 4 – 10 % vai kaļķis + cements* 6 – 12 %
Putekļaina grunts (Si)	cements* 5 – 12 %
Mālaina grunts (Cl)	kaļķis** 4 – 15 %
<b>Grunts uzlabošana</b>	
Smilts, putekļaina vai mālaina smilts (Sa, siSa, clSa)	cements* 3 – 6 % vai kaļķis + cements* – ap 6 %
Putekļaina grunts (Si)	cements* 3 – 6 %
Mālaina grunts (Cl)	kaļķis** 3 – 5 %

\*cementa vietā var lietot arī CHCS, cementa putekļus, ar cementu bagātinātas saistvielas.

\*\*kaļķa sākotnējais daudzums jānosaka katrai konkrētajai gruntij individuāli.

## 12.5. Grunts stabilizācijas projekta izstrāde

### 12.5.1. Vispārējie nosacījumi

Lai grunts apstrāde ar saistvielām – stabilizācija būtu veiksmīga, ir nepieciešama rūpīga projekta izstrāde, ievērtējot visus nosacījumus, testēšanas metodikas, paraugu sagatavošanas un kondicionēšanas procedūras un citu, kas jāņem vērā, lai būtu racionāla un pamatota nepieciešamā saistvielas satura noteikšana, kas ir galvenais stabilizācijas projekta izstrādes mērķis.

Stabilizācijas projekta izstrādes galvenais mērķis ir noteikt lietojamo saistvielu vai saistvielas un/ vai pievienojamās piedevas, pārlicināties par izvēlētais saistvielas piemērotību, noteikt nepieciešamo saistvielas daudzumu, kā arī gūt pārliecību, ka stabilizētā grunts (kārtā, konstrukcija) būs noturīga un spējīga nodrošināt atbilstošu funkcionalitāti visā plānotajā kalpošanas periodā.

Grunts stabilizācijas projekta izstrāde ietver:

- Grunts paraugu noņemšanu;
- Paraugu testēšanu un informācijas iegūšanu par grunts īpašībām;
- Saistvielas izvēli;
- Stabilizēto maisījumu izgatavošanu un testēšanu;

- Stabilizētā maisījuma darba formulas noformēšanu vai grunts atzīšanu par nepiemērotu stabilizācijai – cita risinājuma izstrāde.

Lai novērtētu grunts stabilizācijas iespējas, jāveic grunts nestspējas īpašību novērtēšana, kā arī jātestē tās īpašības, lai noskaidrotu grunts tipu un grunts piemērotību izmantošanai, kā arī veiktu grunts stabilizācijas provizorisku sākotnēju projektēšanu. Testē sekojošas stabilizēšanai domātās grunts īpašības:

- Uz lauka, ja tas iespējams, testē elastības modulis ar statisko plātni saskaņā ar DIN 18134, vēlams grunts optimālajā mitrumā vai ne vairāk kā +/- 2% no optimālā mitruma. Ja grunts mitrums ievērojami atšķiras no optimālā mitruma, tad jāizvērtē, vai veiktie elastības moduļa mērījumi konkrētajā situācijā ir izmantojami kā raksturojoši, īpaši gadījumos, ja grunts mitrums ir būtiski mazāks par optimālo, jo tad nomērītais elastības modulis esošo situāciju var raksturot pārāk optimistiski;
- Vai arī testē CBR laboratorijā saskaņā ar LVS EN 13286-47. Ieteicams modelēt situāciju un izvērtēt, kādi būs reālie mitruma apstākļi būves ekspluatācijas periodā. Ja to var prognozēt, tad ieteicams paraugus sagatavot un veikt to testēšanu paredzamajos mitruma un sablīvējuma apstākļos;
- Esošais mitrums saskaņā ar LVS EN 1097-5;
- Optimālais mitrums un tilpumsvars (proktora blīvums) saskaņā ar LVS EN 13286-2;
- Granulometriskais sastāvs saskaņā ar LVS EN 933-1;
- Aprēķina grunts viendabības koeficientu  $C_u = d_{60}/d_{10}$  ( $d_{60}$  – daļiņu izmērs milimetros, par kuru mazāk ir 60% no parauga kopējās masas;  $d_{10}$  - daļiņu izmērs milimetros, par kuru mazāk ir 10% no parauga kopējās masas);
- Plastiskuma indekss, plūstamības un plastiskuma robeža saskaņā ar LVS EN ISO/TS 17892-12 (testē, ja konkrētajai gruntij šo testēšanu ir iespējams veikt);
- Organisko savienojumu saturs saskaņā ar Ceļu specifikāciju 2019 12.5. punktu (testē, ja ir novērojami organiskie savienojumi);
- Ūdenī šķīstošo sulfātu saturs saskaņā ar LVS EN 1744-1 (testē, ja gruntij novērojama tendence izplešoties sairt – gruntīm Latvijā parasti nav novērojama šāda tendence).

Būvprojekta izstrādes gaitā, lai pārliecinātos par stabilizāciju pamatotību, ieteicams laboratorijā izgatavot iecerēto grunts un saistvielas kontrolmaisījumu (vismaz ar vienu saistvielas saturu), testē maisījuma TNI un saformētu, kondicionētu paraugu spiedes stiprību.

Veicot ceļa segu aprēķinus, ja netiek veikta konkrētās grunts stabilizācijas projektēšana laboratorijā (piemēram, nav iespējama konkrētās grunts paraugu iegūšana nepieciešamajā apjomā), izmanto norādītos stabilizētu grunšu elastības moduļus (skat. 12.2. tabula) atkarībā no esošās grunts tipa un paredzētās spiedes stiprības.

12.2. tabula. Stabilizētu un uzlabotu grunšu elastības modulis

<b>Grunts tips (saskaņā ar LVS EN ISO 14688-1, LVS EN ISO 14688-2)</b>	<b>Spiedes stiprība<sup>1</sup>, MPa</b>	<b>Elastības modulis<sup>1</sup>, MPa</b>
<b>Grunts stabilizācija</b>		
Smilts (Sa)	$\geq 1,0$	<b>500</b>
	$\geq 0,5$	<b>300</b>
Putekļaina vai mālaina smilts (siSa, c1Sa)	$\geq 1,0$	<b>400</b>
	$\geq 0,5$	<b>200</b>
Putekļaina grunts ar nelielu vai vidēju plasticitāti (SiL, SiI)	$\geq 1,0$	<b>300</b>
	$\geq 0,5$	<b>200</b>
	$\geq 0,2$	<b>100</b>
Mālaina grunts ar nelielu plasticitāti (CIL)	$\geq 0,5$	<b>100</b>
	$\geq 0,2$	<b>45</b>
Mālaina grunts ar vidēju plasticitāti (CII)	$\geq 0,5$	<b>45</b>
	$\geq 0,2$	<b>25</b>
<b>Grunts uzlabošana<sup>2</sup></b>		
Grunts	---	Elastības modulis jāpieņem tāds, kāds tas ir konkrētajai nesaistītajai gruntij

<sup>1</sup> Pēc 28 dienu kondicionēšanas  $\geq 95\%$  mitrumā un, ja paredzēts, arī 5 salizturības cikliem.

<sup>2</sup> Grunts uzlabošanas mērķis nav panākt konkrētus nestspējas vai salizturības rādītājus, bet gan atvieglot vai padarīt iespējamu grunts iestrādi vai sagatavot grunti tālākajai apstrādei u.c.

Var testēt arī stabilizētās grunts elastības moduli saskaņā ar LVS EN 13286-47. Neatkarīgi no laboratorijā iegūtajām paraugu elastības moduļu vērtībām, ceļa segas aprēķinos nav ieteicams pieņemt augstākas elastības moduļa vērtības par norādītajām (skat. 12.2. tabula).

Saistvielas izvēli galvenokārt ierobežo grunts tips, bet bieži pastāv arī izvēles iespējas, kādu saistvielu vai kāda ražotāja piedāvāto saistvielu lietot, jo gala īpašības un efektivitāte var būt ievērojami atšķirīga, izdarot vienu vai otru izvēli. Stabilizācijas maisījuma uzstādījumus projektā neapšaubāmi var ietekmēt papildu piedevu pieejamība. Katrā konkrētajā gadījumā atkarībā no iespējām izvēlas racionālāko risinājumu, kas spēj apmierināt gan izvirzītās prasības



stabilizējamajai kārtai, gan arī ir pietiekami un ekonomisks, salīdzinot ar citiem alternatīviem risinājumiem. Stabilizācijas projekta izstrādes gaitā izvērtē arī tehniskās iespējas, vai ar pieejamo tehniku, iekārtām, domāto saistvielu, konkrēto grunti būs tehniski iespējams samaisīt ar saistvielu, izlīdzināt un sablīvēt.

Pēc tam, kad ir izvēlēta grunts stabilizācijai lietojamā saistvielu, veic grunts un saistvielas maisījumu sagatavošanu, kondicionēšanu un testēšanu, galarezultātā iegūstot grunts stabilizācijas darba formulu.

Ja grunti nav iespējams stabilizēt ar tradicionālajām saistvielām, var lietot dažādas piedevas. Šādā gadījumā jāreķinās ar, iespējams, ievērojamu izmaksu pieaugumu, un ir rūpīgi jāizvērtē, vai, piemēram, grunts apmaiņa vai kāda cita pastiprinājuma izbūves metode tomēr nebūs racionālāks un lētāks risinājums.

Nosakot projektētā maisījuma sastāvdaļu proporcijas darbu izpildei objektā, ieteicams pievienojamās saistvielas daudzumu sākotnēji paredzēt par 0,5% lielāku nekā projektētais, lai kompensētu kādas iestrādes tehnoloģijas iespējamās novirzes. Ja projektējot paredzēti dzēsti kaļķi, bet objektā tiks izmantoti nedzēsti kaļķi, tad kaļķa daudzumu objektā ieteicams palielināt par 1% attiecībā pret projektēto.

Ieteicams izvērtēt arī grunts uzlabošanas iespējas, samaisot to ar kādu citu grunti vai materiāliem un tādējādi uzlabojot un sasniedzot vēlamās konstruktīvās kārtas īpašības.

Kā stabilizācijas projektēšanas gala kritērijs ir noteikta spiedes stiprība. Norādītie elastības moduļi paredzēti kā ieteikumi ceļa segas aprēķinam. Ja testē gan spiedes stiprību, gan elastības moduli un rodas domstarpības vai strīdi par stabilizētās kārtas atbilstību vai neatbilstību novērtējumam vai papildu testēšanai, jālieto spiedes stiprības rādītāji.

Grunts un saistvielas maisījumi jāgatavo sekojoši. Grunts jāizžāvē saskaņā ar LVS EN 1097-5. Ja nepieciešams, grunti uzirdina. Nosver paredzamo, paraugu izgatavošanai nepieciešamo izžāvētas grunts daudzumu. No nosvērtā grunts daudzuma aprēķina pievienojamo plānoto saistvielas daudzumu. No kopējā grunts un saistvielas daudzuma aprēķina pievienojamo ūdens daudzumu.

### Piemērs stabilizētā maisījuma sastāvdaļu daudzumu aprēķinam

Izejas dati:

Nepieciešamais stabilizētā maisījuma daudzums paraugu izgatavošanai – 23,100 kg

Maisījuma optimālais mitrums – 10%

Plānotais pievienojamās saistvielas daudzums – 5%

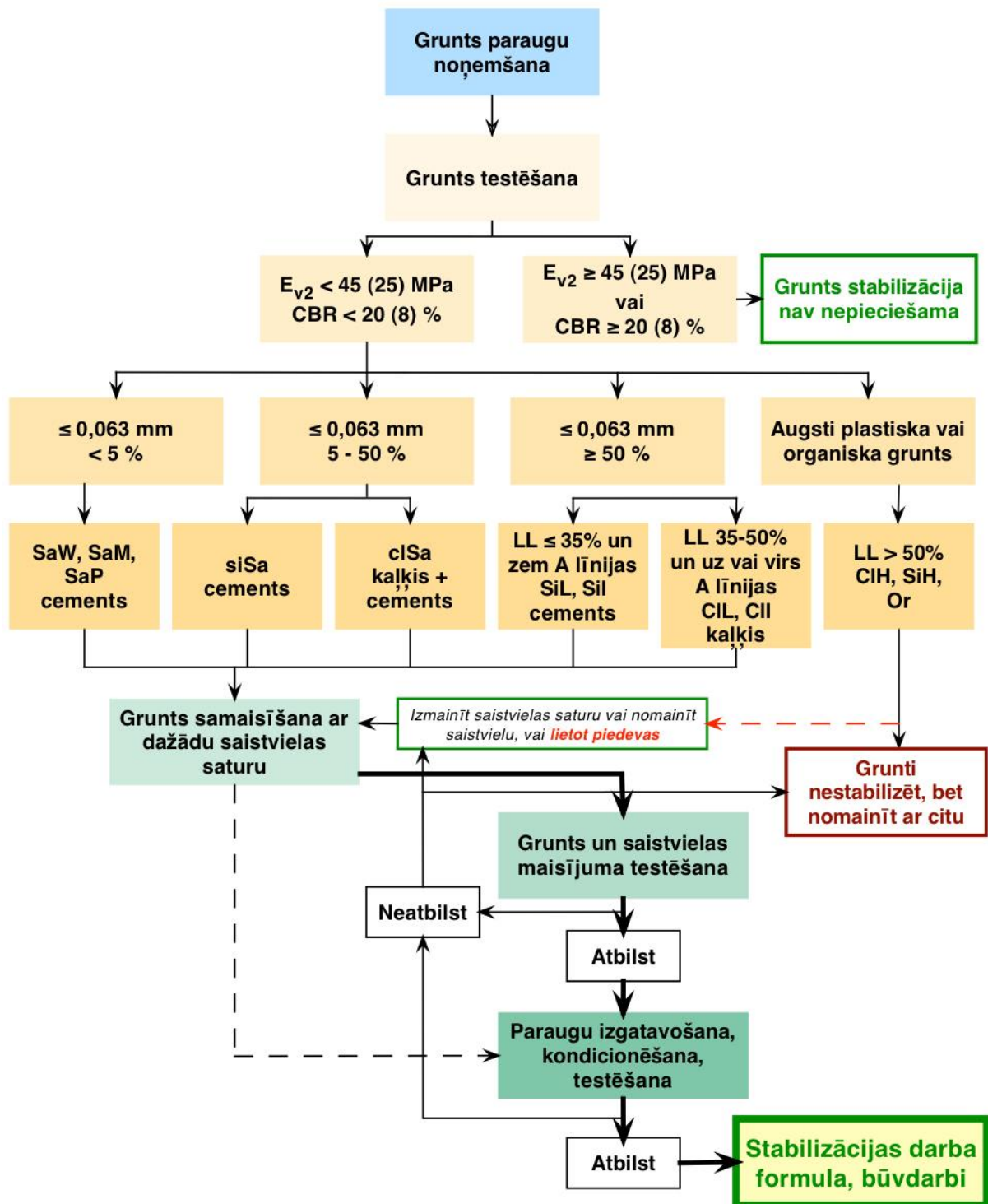
Aprēķins:

Izzāvētas sausas grunts un saistvielas kopējā masa =  $(23,100 \text{ kg} \times 100) / (100 + 10) = 21,000 \text{ kg}$

Izzāvētas sausas grunts masa =  $(21,000 \text{ kg} \times 100) / (100 + 5) = 20,000 \text{ kg}$

Nepieciešamā saistvielas masa =  $21,000 \text{ kg} - 20,000 \text{ kg} = 1,000 \text{ kg}$

Pievienojamā ūdens masa =  $23,100 \text{ kg} - 21,000 \text{ kg} = 2,100 \text{ kg}$



12.1. attēls. Grunts stabilizācijas projekta izstrādes struktūrshēma

### 12.5.2. Projektēšana ar cementu vai cementu un kaļķi

Lai grunti stabilizētu ar cementu, vispirms pārlicinās, vai cements būs piemērots stabilizācijai, respektīvi, vai gruntī esošās organikas daļiņas nebūs traucējošas stabilizācijas procesam. Testē grunts un cementa 10:1 maisījuma pH līmeni saskaņā ar Ceļu specifikācijās 2019 12.11. punktā doto metodiku. Ja  $\text{pH} \geq 12,1$ , tad gruntī esošā organikas daļa neietekmēs cementa stabilizācijas mehānismu un grunts ir uzskatāma par piemērotu tālākai projektēšanai.

Atkarībā no grunts tipa un īpašībām un konkrētās saistvielas veida (tīrs cements, cements ar dažādiem piemaisījumiem u.c.) paraugu sagatavošanai izvēlas optimālāko pievienojamās saistvielas daudzumu. Lai paātrinātu projekta izstrādi, ieteicams uzreiz plānot un veikt paraugu sagatavošanu ar vismaz 2 vai 3 atšķirīgiem saistvielas daudzumiem.

Sagatavo grunts maisījumu ar izvēlēto vidējo saistvielas daudzumu un testē grunts un saistvielas maisījuma Proktora īpašības – optimālais ūdens saturs un tilpumsvars saskaņā ar LVS EN 13286-2. Sagatavojot grunts paraugus ar nedaudz atšķirīgu saistvielas saturu, var lietot ar vidējo saistvielas saturu iegūto pievienojamo optimālo ūdens saturu. Ja plānots atšķirīgs pievienojamās saistvielas daudzums, tad Proktora īpašības testē grunts maisījumam ar katru izvēlēto saistvielas daudzumu.

Pēc tam sagatavo grunts un saistvielas maisījumus un veic to tūlītējās nestspējas indeksa (TNI) testēšanu saskaņā ar LVS EN 13286-47. Ja TNI atbilst prasībām – veic tālāko projektēšanu, ja TNI neatbilst prasībām – tālāko grunts stabilizācijas projektēšanu ar šo saistvielas saturu neveic (vai nu palielina saistvielas saturu, vai izvēlas citu saistvielu vai piedevas, vai izvērtē citu papildu pasākumu iekļaušanu grunts uzlabošanai, vai atzīst grunti par nepiemērotu stabilizācijai). Grunts un grunts–saistvielas maisījuma deklarējamajām īpašībām un TNI jāatbilst līguma tehnisko specifikāciju prasībām.



12.2. attēls. Paraugu mērcēšana ūdenī pirms CBR testa



12.3. attēls. TNM vai CBR testēšana

Tālākajā grunts stabilizācijas projekta posmā sagatavo visus nepieciešamos paraugus testēšanai saskaņā ar LVS EN 13286-50 un LVS EN 13286-2. Maisījumu paraugus, kuru rupjās daļiņas  $D \leq 22,4$  mm, sagatavo Proktora A veidnē, bet maisījumu paraugus, kuru rupjās daļiņas  $D > 22,4$  mm, sagatavo Proktora B veidnē. Izņemot stabilizētā maisījuma paraugus tūlītējā nestspējas indeksa testēšanai, tie neatkarīgi no rupjo daļiņu  $D$  izmēra jāgatavo Proktora B veidnē.

Katrai testējamajai īpašībai, t.sk. salizturības testam, izgatavo vismaz 3 paralēlus paraugus, izņemot tūlītējā nestspējas indeksa testēšanai var izgatavot vienu paraugu. Cementa vietā var lietot arī CHCS.

Ja grunti paredzēts stabilizēt ar cementu vai CHCS, sagatavo grunts – saistvielas – ūdens maisījumu un uzglabā 4 stundas (h) laboratorijas telpā slēgtā traukā vai pārklātu ar mitru audumu (ja lieto cietēšanas paātrinātājus vai palēninātājus, uzglabāšanas laiks var būt atšķirīgs), pēc tam attiecīgi izgatavo paraugus pēc Proktora saskaņā ar LVS EN 13286-50.

Mālainām gruntīm papildu cementam izmanto arī kaļķi. Šajā gadījumā kaļķi izmanto kā sākotnējo piedevu, lai uzlabotu grunts iestrādājamību, samazinot tās plastiskumu. Ieteicamais lietojamā kaļķa daudzums 3–4%.

Ja papildu cementam paredzēts izmantot arī kaļķi, šo grunts maisījumu sagatavo sekojoši: vispirms sagatavo grunts – kaļķa – ūdens maisījumu un uzglabā 24 h (ja izmanto dzēstu kaļķi, uzglabāšanas laiks var būt 4 h) laboratorijas telpā slēgtā traukā vai pārklātu ar mitru audumu. Pēc tam šo grunts – kaļķa maisījumu samaisa ar plānoto cementa daudzumu, ja nepieciešams, vēl pievieno ūdeni un uzglabā 4 h laboratorijas telpā slēgtā traukā vai pārklātu ar mitru audumu, pēc tam attiecīgi izgatavo paraugus pēc Proktora saskaņā ar LVS EN 13286-50 un LVS EN 13286-2.



12.4. attēls. Sagatavoto grunts un saistvielas maisījuma paraugu uzglabāšana pēc samaisīšanas pirms paraugu izgatavošanas Proktora veidnē

Ar Proktora iekārtu izgatavotajiem paraugiem pirms to testēšanas ļauj sacietēt, nodrošinot piemērotus cietēšanas (kondicionēšanas) apstākļus. Paraugu kopējais kondicionēšanas periods ir 28 dienas (neskaitot salizturības testiem nepieciešamo laiku). Paraugu kondicionēšanas secība ir sekojoša:

- Pēc izgatavošanas paraugus kondicionē veidnē  $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  vienu dienu, tad atveidņo. Paraugus var izņemt no veidnes arī tūlīt pēc izgatavošanas, ja paraugi ir pietiekami noturīgi un atveidņojot netiek bojāti;
- Paraugus uzglabā 90–100% mitrumā  $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  (90–100% mitruma apstākļi būs nodrošināti, paraugu cieši ietinot plastikāta iesaiņojumā un iegremdējot zem ūdens, vai arī paraugus novieto uz piemērota režģota paliktņa virs ūdens vannas un pārsedz ar mitrumu necaurļaidīgu plēvi). Uzglabāšanas ilgums ir atkarīgs no stabilizācijas kārtai izvirzītajiem nosacījumiem:

- Ja paredzami normāli stabilizētās kārtas eksplataācijas apstākļi, tad 90–100% mitrumā uzglabā 26 dienas (vai 27 – ja uzreiz atveidnoti);
- Ja paredzams, ka kārtas eksplataāciju ietekmēs paaugstināta mitruma iedarbība, tad 90–100% mitrumā uzglabā 13 dienas (vai 14 – ja uzreiz atveidnoti);
- Paraugus atbrīvo no iesaiņojuma (ja tāds bija) un iegremdē ūdenī ( $20 \pm 2$ )<sup>0</sup> C:
  - Ja paredzami normāli stabilizētās kārtas eksplataācijas apstākļi, tad uz 24 h;
  - Ja paredzams, ka kārtas eksplataāciju ietekmēs paaugstināta mitruma iedarbība, tad uz 14 dienām;
- Ja paredzēta arī salizturības novērtēšana, tad paraugiem pēc to kondicionēšanas, kā aprakstīts iepriekš, veic paredzētos sasaldēšanas/ atkausēšanas ciklus saskaņā ar LVS CEN/TS 12390-9 noteikto procedūru, lietojot 12 h sasaldēšanas/ atkausēšanas grafiku (standarta LVS CEN/TS 12390-9 10. attēls);
- Testē paraugu spiedes stiprību, un tai jāatbilst noteiktajām prasībām. Lai atvieglotu kvalitātes kontroli būvobjektā darbu izpildes laikā, ieteicams iegūt spiedes stiprības rezultātus, piemēram, arī pēc 3 vai/ un 7 dienu cietēšanas.



12.5. attēls. Kondicionēšanai 90–100 % mitrumā sagatavoti paraugi





12.6. attēls. Paraugu kondicionēšana ūdenī

### 12.5.3. Projektēšana ar kaļķa lietošanu

Stabilizācijai ar kaļķi būs piemērotas plastiskas mālainas grunts. Lai noteiktu minimālo nepieciešamo kaļķa daudzumu, lai grunti stabilizētu, testē grunts un kaļķa maisījuma pH līmeni saskaņā ar Ceļu specifikācijas 2019 12.10. punktu. Ir jāatrod, ar kādu kaļķa saturu pH ir 12,4. Šis būs gruntij nepieciešamais minimālais pievienojamais kaļķa daudzums.



12.7. attēls. Ar dažādu kaļķa saturu sagatavota grunts pH līmeņa testēšanai

Lai paātrinātu projekta izstrādi, ieteicams uzreiz plānot un veikt paraugu sagatavošanu ar vismaz 2 vai 3 atšķirīgiem kaļķa daudzumiem.

Atkarībā no pH testēšanas rezultātiem laboratorijas maisījumiem izvēlas pievienojamo kaļķa daudzumu. Sagatavo grunts maisījumu ar izvēlēto vidējo kaļķa daudzumu un testē grunts un saistvielas maisījuma Proktora īpašības – optimālais ūdens saturs un tilpumsvars saskaņā ar LVS EN 13286-2. Sagatavojot grunts paraugus ar nedaudz atšķirīgu kaļķa saturu, pieļaujams lietot ar vidējo kaļķa saturu iegūto pievienojamo optimālo ūdens saturu. Ja plānots atšķirīgs pievienojamā kaļķa daudzums, tad Proktora īpašības testē grunts maisījumam ar katru izvēlēto kaļķa daudzumu.

Pēc tam sagatavo grunts un kaļķa maisījumus un veic TNI testēšanu saskaņā ar LVS EN 13286-47. Ja TNI atbilst prasībām – veic tālāko projektēšanu, ja TNI neatbilst prasībām – tālāko grunts stabilizācijas projektēšanu ar šo kaļķa saturu neveic (vai nu palielina kaļķa saturu, vai izvēlas citu saistvielu vai piedevas, vai izvērtē citu papildu pasākumu grunts uzlabošanai, vai atzīst grunti par nepiemērotu stabilizācijai).

Ar dzestu kaļķi sagatavotu grunts maisījumu pēc samaisīšanas uzglabā 4 h, bet ar nedzestu kaļķi –24 h laboratorijas telpā slēgtā traukā vai pārklātu ar mitru audumu, pēc tam attiecīgi veicot paraugu izgatavošanu pēc Proktora saskaņā ar LVS EN 13286-50. Katrai testējamai īpašībai, t.sk. salizturības testam, izgatavo vismaz 3 paralēlus paraugus, izņemot tūlītējā nestspējas indeksa testēšanai var izgatavot vienu paraugu. Grunts un grunts–kaļķa maisījuma īpašībām un TNI jāatbilst līguma tehnisko specifikāciju prasībām.

Tālākajā grunts stabilizācijas projekta posmā sagatavo nepieciešamos paraugus testēšanai saskaņā ar LVS EN 13286-50 un LVS EN 13286-2. Maisījumu paraugus, kuru rupjās daļiņas  $D \leq 22,4$  mm, sagatavo Proktora A veidnē, maisījumu paraugus, kuru rupjās daļiņas  $D > 22,4$  mm, sagatavo Proktora B veidnē. Izņemot stabilizētā maisījuma paraugus tūlītējā nestspējas indeksa testēšanai – tos neatkarīgi no rupjo daļiņu D izmēra sagatavo Proktora B veidnē.

Ar Proktora iekārtu izgatavotajiem paraugiem pirms to testēšanas ļauj sacietēt, nodrošinot piemērotus cietēšanas (kondicionēšanas) apstākļus. Paraugu kopējais kondicionēšanas periods (neskaitot salizturības testiem nepieciešamo laiku) ir 28 dienas. Nepieciešamības gadījumā kondicionēšanu periodu (neskaitot salizturības testiem nepieciešamo laiku) realizē krāsnī  $40^{\circ}\text{C}$  7 dienas. Paraugu kondicionēšanas secība ir sekojoša:

- Pēc izgatavošanas paraugus kondicionē veidnē ( $20 \pm 2$ )<sup>0</sup> C vienu dienu, tad atveidņo. Paraugus no veidnes var izņemt arī tūlīt pēc izgatavošanas, ja paraugi ir pietiekami noturīgi un atveidņojot nav bojāti;
- Paraugus uzglabā 90–100% mitrumā ( $20 \pm 2$ )<sup>0</sup> C (90–100% mitruma apstākļi būs nodrošināti, paraugu cieši ietinot plastikāta iesaiņojumā un iegremdējot zem ūdens, vai arī paraugus novieto uz piemērota režģota paliktņa virs ūdens vannas un pārse dz ar mitrumu necaurlaidīgu plēvi). Uzglabāšanas ilgums ir 26 dienas (vai 27 – ja uzreiz atveidņoti). Vai arī paraugus blīvā plastikāta iesaiņojumā ievieto krāsnī 40<sup>0</sup> C uz 7 dienām;
- Paraugus atbrīvo no iesaiņojuma (ja tāds bija), ietin mitrā audumā un kapilāri piesūcina ( $20 \pm 2$ )<sup>0</sup> C 24 h (paraugus novieto uz poraina akmens, ūdens līmenim ir jābūt līdz akmens virsmai un kontaktā ar iesaiņojumu, bet ūdens nedrīkst būt tiešā kontaktā ar paraugu);
- Ja paredzēta arī salizturības novērtēšana, tad paraugiem veic paredzētos sasaldēšanas/ atkausēšanas ciklus saskaņā ar LVS CEN/TS 12390-9 noteikto procedūru, lietojot 12 h sasaldēšanas/ atkausēšanas grafiku (standarta LVS CEN/TS 12390-9 10. attēls);
- Pēc stabilizēto paraugu kondicionēšanas testē paraugu spiedes stiprību, un tai jāatbilst paredzētajām prasībām.



12.8. attēls. Paraugu kondicionēšana krāsnī 40° C



12.9. attēls. Paraugu kapilāra piesūcināšana 24 h

## 12.6. Būvniecības tehnoloģijas

Grunts stabilizācijas mērķis ir uzlabot esošās grunts īpašības, lai nodrošinātu augstāku noturību pret klimata iedarbību un ceļa slodzēm. Līdz ar to ir svarīgi, lai stabilizāciju veiktu pienācīgi un labā kvalitātē, jo tikai tad būs nodrošināta uzbūvētā autoceļa drošība, kalpotspēja un ilgmūžība.

Viens no galvenajiem ieguvumiem, kas ietekmē autoceļa ilgmūžību, ir tas, ka ar mazākiem finansiāliem ieguldījumiem tas kļūst īpaši noturīgs pret meteoroloģiskiem apstākļiem un tam ir paaugstinājusies noturība pret deformācijām.

Grunts stabilizācijas tehnoloģiskā procesa laikā paaugstinās grunts daļiņu savstarpējā sasaiste, kā arī iekšējā berze. Jo augstāka ir grunts iekšējā berze, jo rezultātā labāka ir sasaistes spēja starp grunts daļiņām. Galarezultātā tiek sasniegta lielāka grunts noturība pret deformācijām. Daļiņu sasaistes spēja ir atkarīga no grunts tipa un veiksmīgi izvēlētas stabilizācijas saistvielas un tās daudzuma. Ja kļūdaini noteikts stabilizācijas sastāvs vai arī pienācīgi nav veikti grunts stabilizācijas darbi būvobjektā, netiek sasniegta pietiekama grunts daļiņu iekšējā berze. Rezultātā klimatisko faktoru vai transporta slodžu ietekmē ceļa konstrukcija tiek deformēta, kas negatīvi ietekmē autoceļa kalpotspēju, ilgmūžību un drošību.

Grunts stabilizācijas tehnoloģiskais process ietver šādus galvenos darbu posmus:

- Esošās grunts profilēšana;
- Esošās grunts pārmaisīšana, smalcināšana;

- Saistvielas dozēšana;
- Grunts mitrināšana līdz optimālam mitrumam;
- Grunts samaisīšana ar saistvielu;
- Grunts sablīvēšana;
- Stabilizētās kārtas kopšana, līdz tā sasniedz nepieciešamos parametrus.

Lai stabilizācijas tehnoloģiskā procesa realizācija notiktu veiksmīgi, uzmanība jāpievērš sekojošiem faktoriem:

- Meteoroloģiskiem apstākļiem darbu veikšanas laikā – tiem jābūt bez nokrišņiem, bet gaisa temperatūra nedrīkst būt zemāka par  $0^{\circ}\text{C}$  (ieteicamā  $\geq +5^{\circ}\text{C}$ );
- Darbu izpildi nedrīkst plānot un veikt stipru lietusgāžu laikā, bet, ja stabilizācija un blīvēšana ir veikta, neliels nokrišņu daudzums tūlīt pēc tam neietekmēs rezultātu, tas kompensēs no kārtas virsmas iztvaikojošo mitrumu, līdz ar to nebūs nepieciešama kārtas virsmas mitrināšana profilēšanas un blīvēšanas laikā vai kopšanas periodā, līdz ar to bez materiāliem ieguldījumiem un darba samazināsies risks rasties rukuma plaisām stabilizētajā kārtā;
- Precīzai saistvielas dozācijai un stabilizētā maisījuma optimālā ūdens satura nodrošināšanai. Īpaši svarīgi tas ir tādā gadījumā, ja kā saistvielu izmanto cementu.

Lai darbu veiktu kvalitatīvi, ar saprātīgām izmaksām, ir svarīgi izvēlēties atbilstošu un konkrētajiem apstākļiem piemērotu tehniku un iekārtas. Ieteicams izmantot grunts stabilizatorus (reciklerus), kas ir konstruēti tieši šādam mērķim. Grunts neatkarīgi no lietotās saistvielas ir rūpīgi jāsamaisa, jo reciklera samaisīšanas cilindri ir dažādi, piemēram, asfalta frēzes cilindriem zobu skaits, tips un to izvietojums atšķiras. Lai par to pārlicinātos, vizuāli novērtē un salīdzina samaisītās grunts daļiņu izmēru un krāsu. Pasaulē ir pieejama dažāda grunts stabilizācijas tehnika – gan uzkarināmi stabilizācijas agregāti, gan speciālie grunts stabilizatori ar nepieciešamajām dozācijas ierīcēm, bet katrā konkrētajā gadījumā ir jāizvērtē pieejamās iespējas un jāsalāgo tās ar vēlmēm vislabākajā racionālajā risinājumā. Izvēloties tehniku, galveno vērību pievērš:

- Kādā dziļumā ar konkrēto iekārtu var veikt grunts stabilizāciju, kāda ir tās ražība;

- Vai ar konkrēto tehniku grunts stabilizāciju iespējams veikt vienā pārgājienā, ja to pieļauj darbu izpildes vieta un stabilizācijas projekta nosacījumi darba procesam;
- Vai un kādu piedevu, arī ūdens, dozācija ir iespējama, dozācijas precizitāte, automatizācija u.c.;
- Vai tehnika un iekārtas ir aprīkotas, vai ir iespējams aprīkot ar datorizētu darba vai procesu vadību un automātiskās kontroles un uzskaites sistēmām.

Īpaša vērība jāvelta arī darbinieku apmācībai – kā tehniski pareizi rīkoties ar tehniku, kā orientēties kopējos tehnoloģiskajos procesos, apzināties būtiskos faktorus un to nozīmīgumu augstas kvalitātes galarezultāta nodrošināšanā.

### **12.6.1. Vispārīgie nosacījumi**

Pirms stabilizācijas darbu uzsākšanas izlīdzina stabilizējamās grunts virsmu. Ja ir nepieciešams, pieved un iestrādā papildu paredzētos materiālus.

Stabilizējot grunti ar cementu, saistvielas iestrādi veic vienā tvērienā. Cementa iestrādes laiks no brīža, kad cements ir saskaries ar stabilizējamo grunti, līdz kārtas sablīvēšanas beigām nedrīkst pārsniegt 4 h, izņēmuma gadījumos iestrādes laiks var tikt palielināts, bet nedrīkst pārsniegt 8 h (ja lieto cietēšanas paātrinātājus vai palēninātājus, iestrādes laiks tiek noteikts atšķirīgs). Pārsniedzot šo laiku, veic atkārtotu cementa pievienošanu – ja 24 h laikā, tad no jauna pievienojamā cementa daudzums 50% no projektētā, ja vēlāk, tad no jauna pievieno visu projektēto cementa daudzumu. Līdz ar to rūpīgi un detāli jāizstrādā stabilizācijas darbu norises tehnoloģiskais process.

Stabilizējot grunti ar kaļķi un cementu, saistvielu iestrādi veic divos tvērienos: pirmajā tvērienā iestrādā kaļķi (ieteicamais iestrādes laiks līdz 24 h), otrajā tvērienā (ieteicams ne vēlāk kā 7 dienu laikā pēc kaļķa iestrādes) – cements.

Stabilizējot grunti ar kaļķi, tā iestrādi realizē vienā vai divos tvērienos. Divos tvērienos iestrāde var būt nepieciešama gruntīs, ko ir ļoti smagi safrēzēt (pārmaisīt). Šādā gadījumā otrs tvēriens izpildāms 2–3 dienas pēc pirmā tvēriena.

Darbu izpildes laikā pievieno pietiekamu ūdens daudzumu, lai nodrošinātu maisījuma ūdens saturu tuvu optimālajam. Nepieciešamais ūdens daudzums jāpievieno pirms samaisīšanas vai samaisīšanas laikā. Ja pēc samaisīšanas konstatē, ka ūdens daudzums ir nepietiekams, tad



veic atkārtotu pārmaisīšanu, pievienojot ūdeni un ievērojot saistvielu iestrādei gruntī šajā rokasgrāmatā noteiktos laika limitus.

Stabilizētās kārtas sablīvēšanu ieteicams pabeigt, izsmidzinot uz stabilizētās kārtas virsmas nelielu ūdens daudzumu un blīvējot ar pneimoriteņu veltni.

Pēc kārtas stabilizācijas darbu pabeigšanas tā jāpasargā no strauja mitruma zuduma. Ja nepieciešams, veic regulāru stabilizētās kārtas virsmas laistīšanu ar ūdeni, lai to uzturētu mitru.

Pēc stabilizācijas darbu pabeigšanas stabilizētajai kārtai nodrošina vismaz septiņu dienu miera periodu, kura laikā stabilizētā kārta netiek pakļauta transporta slodzēm. Miera periods nav nepieciešams, ja nākamās diennakts laikā pēc stabilizācijas darbu pabeigšanas tiek uzbūvēta nosedzošā kārta.

Jāņem vērā, ka ar hidrauliskajām saistvielām (īpaši ar kaļķi) stabilizētās kārtas noformējas ilgākā laika periodā – no viena līdz pat trim mēnešiem. Tā kā stabilizētā kārta savas īpašības un konstruktīvo nestspēju neiegūst uzreiz, tad nestspēju vai stiprību raksturojošie mērījumi neilgi pēc stabilizācijas darbu pabeigšanas būs zemāki un neatspoguļos rezultātus, kādi tie būs, kad stabilizētā kārta būs pilnībā noformējusies.

#### **12.6.2. Būvdarbu izpilde**

Cementu kā saistvielu aģentu galvenokārt izmanto smilšainu un putekļainu grunšu stabilizācijai. Kaļķi izmanto mālainu grunšu stabilizācijai. Savukārt jauktām gruntīm ir racionāli kā saistvielu vienlaikus lietot kaļķi un cementu.

Pirms būvdarbu sākšanas izstrādā grunts stabilizācijas sastāva projektu. Atbildīgie par būvdarbu izpildi iepazīstas ar projektu, izstrādā būvdarbu izpildes tehnoloģisko plānu, kā arī aprēķina lietojamās saistvielas un izmantojamo papildu materiālu (ja tādi ir) daudzumu un iestrādes normas.

Cementam jāatbilst LVS EN 197-1 prasībām, bet kaļķim – LVS EN 459-1 prasībām.

Būvdarbu izpildi nosacīti var iedalīt trijos tehnoloģiskajos posmos:

- Pirmajā posmā veic sagatavošanas darbus – tas nav tieši tehnoloģiski saistīts ar pārējiem diviem posmiem, turklāt atkarībā no projekta plāna šī posma darbietilpība un saturs katrā objektā var būt ļoti atšķirīgs. Pirmais posms var tikt plānots un izpildīts neatkarīgi no tā, kad veiks grunts stabilizācijas darbus;



- Otrajā tehnoloģiskajā posmā veic grunts un saistvielas samaisīšanu, kā arī sablīvēšanu. Šajā posmā ievēro noteikto darbu izpildes laiku pēc saistvielas izbēršanas (iemiesīšanas);
- Trešajā tehnoloģiskajā posmā nodrošina pietiekamu stabilizētās kārtas cietēšanas procesu, vai nu kopjot stabilizēto virsmu, neļaujot tai pārlietu zaudēt mitrumu (laistot), vai arī plānojot uzbūvēt nosedzošo kārtu, kas arī ļauj saglabāt stabilizētajā kārtā tās cietēšanai nepieciešamo mitruma saturu.

#### **12.6.2.1. Pirmais tehnoloģiskais posms**

Pirmajā tehnoloģiskā procesa posmā veic visus nepieciešamos sagatavošanas darbus:

- Stabilizācijai paredzētās teritorijas sagatavošanu (ierakuma vai/un uzbēruma izstrādi, apauguma un dzīvās augu zemes nodalītu novākšanu, esošo konstrukciju demontāžu u.c.), ja nepieciešams, profilēšanu un blīvēšanu;
- Ja nepieciešams (atbilstoši projektam), jauna materiāla pievienošanu, to izklīdējot vienmērīgi pa visu apstrādei paredzēto teritoriju.

#### **12.6.2.2. Otrais tehnoloģiskais posms**

Pēc tam kad stabilizācijai paredzētā teritorija ir sagatavota, pārbaudītas sagatavotās virsmas augstuma atzīmes un ģeometriskie parametri (novietojums plānā, garums, platums, šķērsprofili u.c.) atbilstoši konkrētajām būvprojekta prasībām, otrajā tehnoloģiskā procesa posmā veic grunts stabilizācijas darbus, kuri atkarībā no lietotās saistvielas vai to kombinācijas un lietotās tehnikas var realizēt ar dažādām metodēm:

- Metode Nr.1 (stabilizācija, ūdeni un saistvielu pievienojot atsevišķi):
  - Ja nepieciešams, grunti iepriekš mitrina (Latvijas apstākļos ļoti bieži var gadīties, ka gruntī ir pārāk liels ūdens daudzums, tad tā pirms stabilizācijas darbu izpildes ir vai nu jāžāvē, vai arī gruntī papildus jāiemaisa kaļķis), lai nodrošinātu stabilizētā maisījuma optimālo mitrumu;
  - Vienmērīgi izklīdē saistvielu (kaļķi vai cementu) atbilstoši noteiktajai (aprēķinātajai) patēriņa normai;
  - Nekavējoties pēc tam veic saistvielas un grunts samaisīšanu projektētajā dziļumā, izmantojot speciālu grunts stabilizācijai paredzētu tehniku – recikleri;

- noslēgumā veic stabilizētās grunts profilēšanu un gala sablīvēšanu, ko uzsāk nekavējoties pēc saistvielas iemaisīšanas gruntī;
- Metode Nr.2 (stabilizācija, saistvielu pievienojot atsevišķi):
  - Vienmērīgi izklidē saistvielu (kaļķi vai cementu) atbilstoši noteiktajai (aprēķinātai) patēriņa normai;
  - Nekavējoties pēc tam veic saistvielas, grunts un nepieciešamā ūdens (ūdeni pievieno tieši reciklera maisītājā) samaisīšanu projektētajā dziļumā, izmantojot speciālu grunts stabilizācijai paredzētu tehniku – recikleri;
  - Noslēgumā veic stabilizētās grunts profilēšanu un gala sablīvēšanu, ko uzsāk nekavējoties pēc saistvielas iemaisīšanas gruntī;
- Metode Nr.3 (stabilizācija, kad ūdeni un saistvielu pievieno ar recikleru):
  - Ūdeni un saistvielu pievieno tieši reciklera maisītājā, kā arī reciklers veic samaisīšanu projektētajā dziļumā;
  - Noslēgumā veic stabilizētās grunts profilēšanu un gala sablīvēšanu, ko uzsāk nekavējoties pēc saistvielas iemaisīšanas gruntī;
- Metode Nr.4 (stabilizācija ar kaļķi un cementu):
  - Vispirms pilnībā veic kaļķa iestrādi atbilstoši metodei Nr.1; Nr.2 vai Nr.3;
  - Pēc tam veic cementa iestrādi atbilstoši metodei Nr.1, Nr.2 vai Nr.3.
- Metode Nr.5 (ja paredzēts papildus pievienot jaunu minerālo materiālu):
  - Pieved, izlīdzina un sablīvē jauno papildu materiālu;
  - Ar pirmo reciklera tvērienu veic grunts un no jauna pievienotā materiāla samaisīšanu un sablīvēšanu;
  - Pēc tam realizē stabilizācijas procedūru atbilstoši metodei Nr.1, Nr.2, Nr.3 vai Nr.4.

### **12.6.2.3. Trešais tehnoloģiskais posms**

Trešajā tehnoloģiskajā posmā nodrošina stabilizētās kārtas virsmas kopšanu, vismaz septiņas dienas pēc izbūvēšanas to regulāri mitrinot vai izolējot, vai arī uzbūvējot nosedzošo kārtu.

Virš stabilizētās kārtas plāno operatīvi (nākamajā dienā) būvēt arī nākamo nosedzošo konstruktīvo kārtu, tādējādi aizsargājot jau stabilizēto kārtu no pārlieku straujas mitruma

zaudēšanas tās cietēšanas sākumposmā. Atklāt transporta kustību pa stabilizētās kārtas nosedzošo kārtu nedrīkst ātrāk kā pēc septiņām dienām pēc stabilizācijas darbu pabeigšanas.

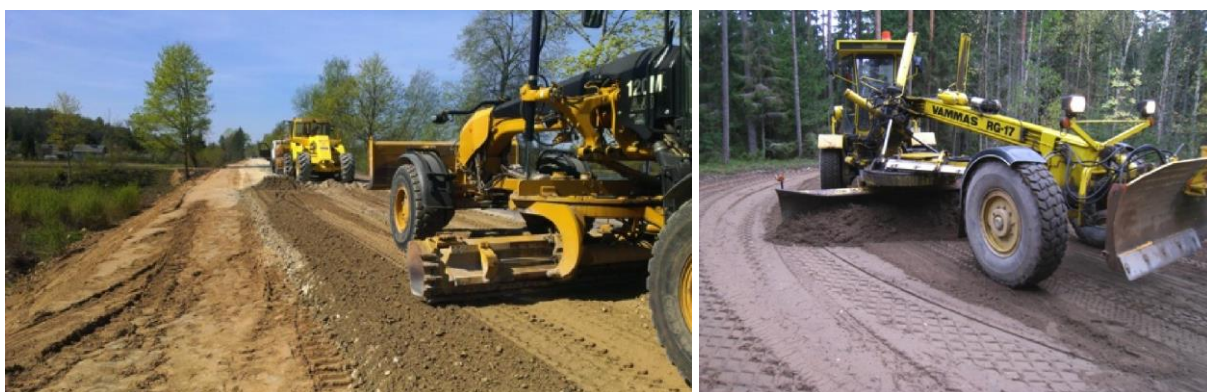
Tālāk doti fotoattēli, kas raksturo grunts stabilizācijas darba procesu.



12.10. attēls. Saistvielas izbēršana uz stabilizējamās grunts



12.11. attēls. Saistvielas iemaisīšana ar recikleru, vienlaikus pievienojot ūdeni



12.12. attēls. Stabilizētās kārtas profilēšana

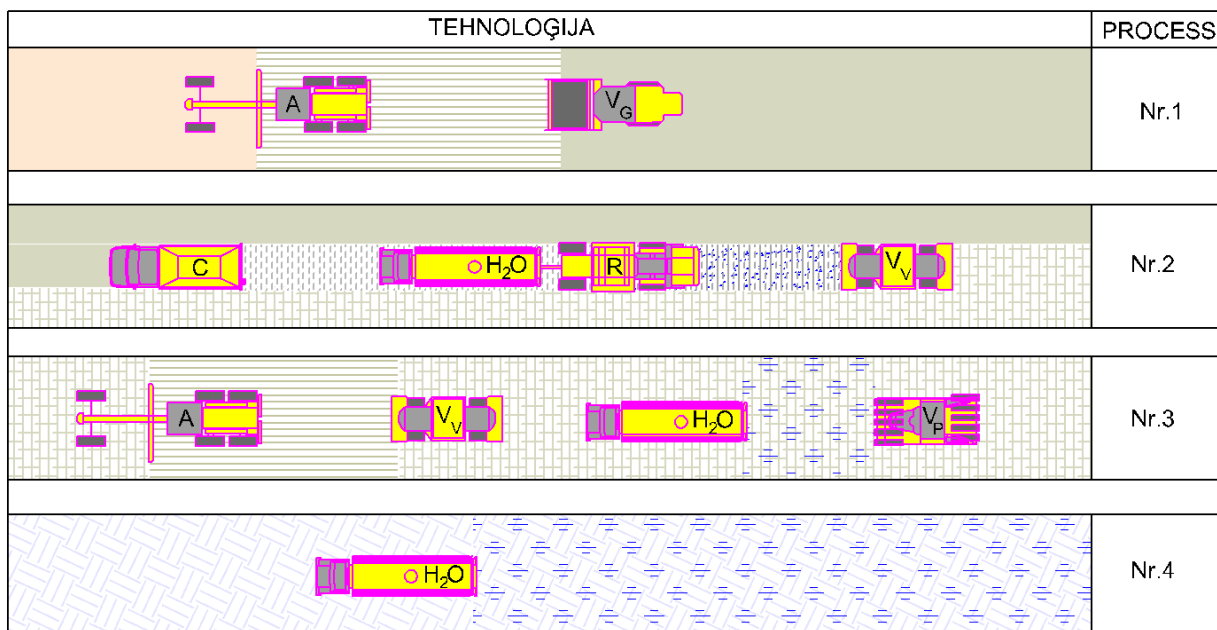









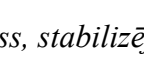
12.13. attēls. Stabilizētās kārtas sablīvēšana

Stabilizētās grunts intensīvākais cietēšanas laiks ir pirmās 3–7 dienas pēc stabilizācijas darbu izpildes, tāpēc, lai netraucētu sākotnējās cietēšanas procesu, stabilizētās kārtas virsma ir jāuztur mitra, nodrošinot regulāru virsmas mitrināšanu ar ūdeni vai apstrādājot ar emulsiju un sīkšķembām (fr. 2/5mm), bet tas nav jā dara, ja uz stabilizētās kārtas nekavējoties (nākamajā dienā) tiek būvēta pietiekama biezuma nākamā konstruktīvā kārtā.

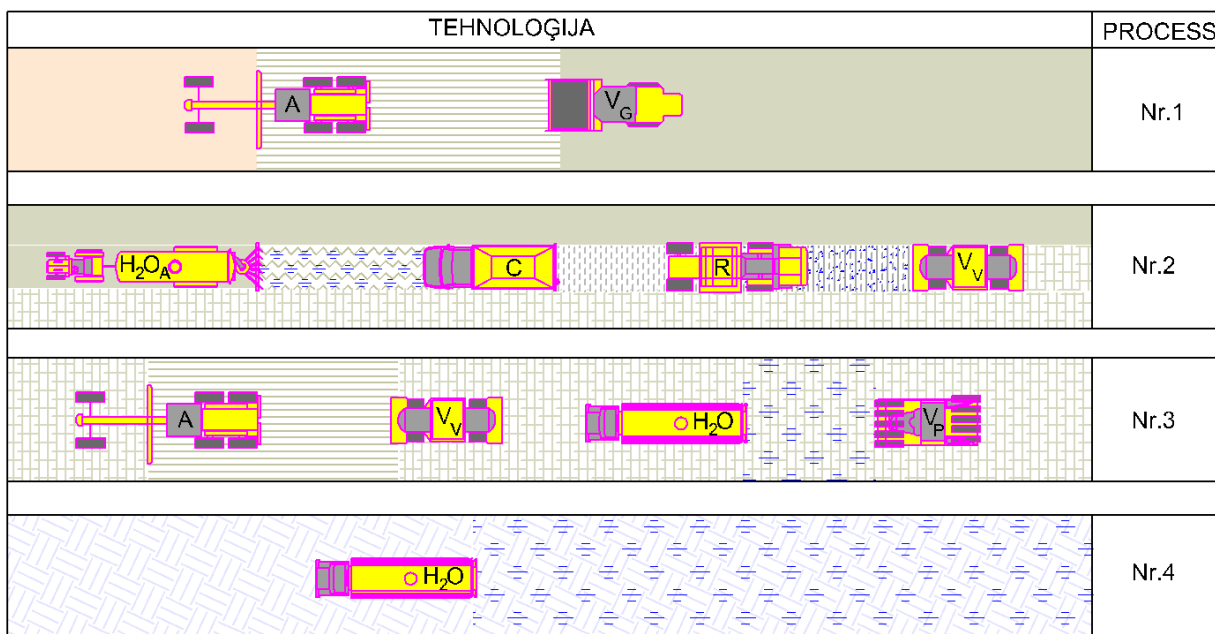
Tālākajos attēlos (12.14. attēls un 12.15. attēls) parādīts ieteicamais tehnoloģiskais process, ja kā saistvielu grunts stabilizācijai izmanto cementu vai kaļķi. Nākamajā attēlā (12.16. attēls) redzams ieteicamais tehnoloģiskais process, ja kā saistvielu grunts stabilizācijai izmanto kaļķi un cementu.









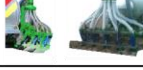




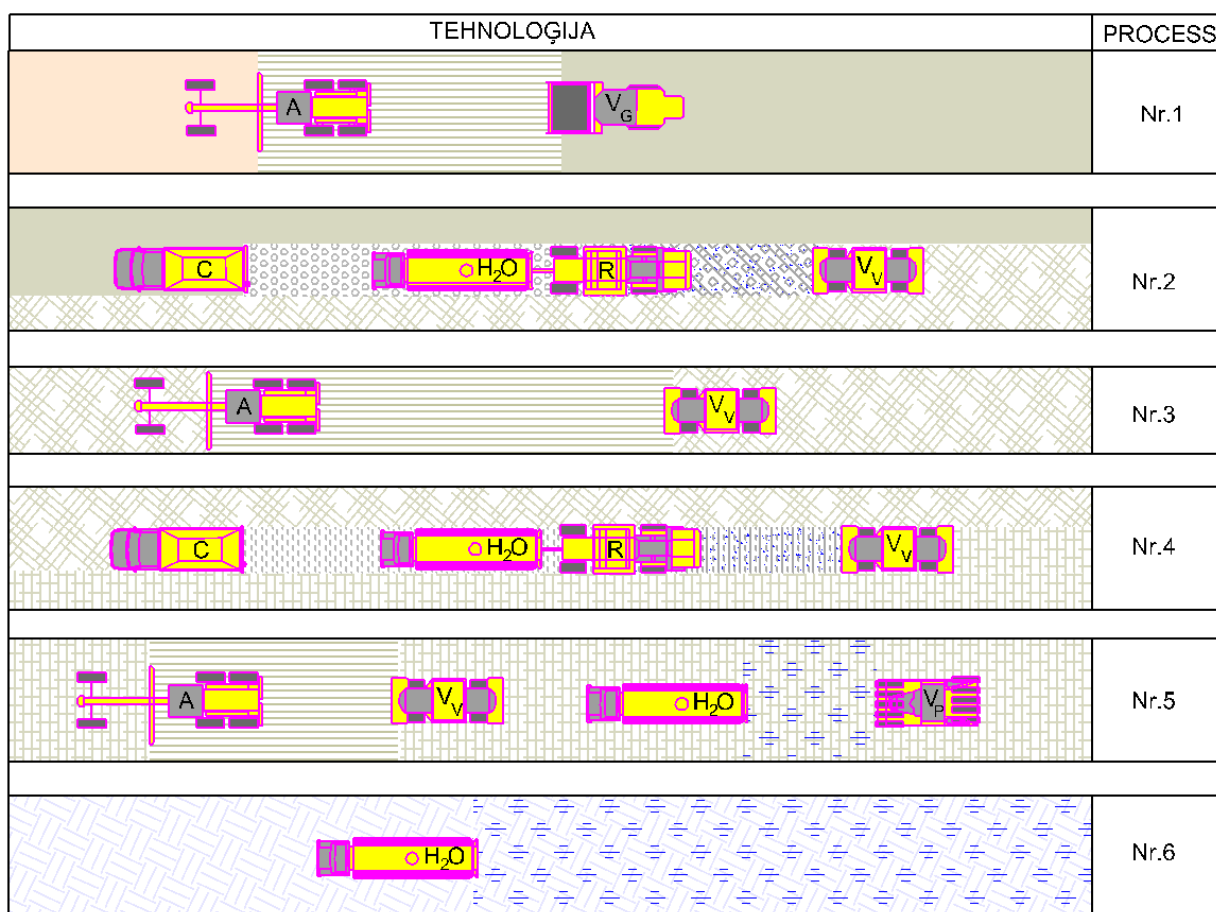
Nr.	PROCESS	TEHNIKA		TEHNIKAS APZĪMĒJUMS
				
1	Grunts virsmas nopofilēšana un pieblīvēšana		Reciklers	R
			Cementa/ kaļķa izklieģētājs	C
2	Cementa izbēšana Ūdens pievienošana un samaisīšana vajadzīgajā dziļumā, pieblīvēšana		Autogreiders	A
			Grunts veltnis	V <sub>G</sub>
3	Profilēšana, mitrināšana, sablīvēšana		Valču veltnis	V <sub>V</sub>
			Pneimo veltnis	V <sub>P</sub>
4	Kopšana, laistot virsmu ar ūdeni		Ūdens cisterna	H <sub>2</sub> O







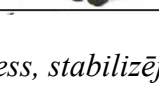
12.14. attēls. Tehnoloģiskais process, stabilizējot grunts ar cementu vai kaļķi



Nr.	PROCESS	TEHNIKA		TEHNIKAS APZĪMĒJUMS
				
			Reciklers	R
			Cementa/ kaļķa izklieģētājs	C
			Autogreiders	A
			Grunts veltnis	V <sub>G</sub>
			Valču veltnis	V <sub>V</sub>
			Pneimo veltnis	V <sub>P</sub>
			Ūdens cisterna	H <sub>2</sub> O
			Ūdens cisterna ar arkliem	H <sub>2</sub> O <sub>A</sub>

12.15. attēls. Tehnoloģiskais process, stabilizējot grunti ar cementu vai kaļķi, ūdeni pievienojot pirms cementa izbēršanas



Nr.	PROCESS	TEHNIKA		TEHNIKAS APZĪMĒJUMS
				
1	Grunts virsmas nopofilēšana un pieblīvēšana		Reciklers	R
2	Kaļķa izbēršana		Cementa/ kaļķa izklieģētājs	C
	Ūdens pievienošana un samaisīšana vajadzīgajā dziļumā, pieblīvēšana		Autogreiders	A
3	Profilēšana un sablīvēšana		Grunts veltnis	V <sub>G</sub>
4	Cementa izbēršana		Valču veltnis	V <sub>V</sub>
	Ūdens pievienošana un samaisīšana vajadzīgajā dziļumā, pieblīvēšana		Pneimo veltnis	V <sub>P</sub>
5	Profilēšana, mitrināšana, sablīvēšana		Ūdens cisterna	H <sub>2</sub> O
6	Kopšana, laistot virsmu ar ūdeni			

12.16. attēls. Tehnoloģiskais process, stabilizējot grunti ar kaļķi un cementu

Vienas ceļa joslas ieteicamais stabilizācijas tvēriena garums ir 500 – 800 m.

Periodā, kamēr stabilizētā kārtā netiek nosepta ar nosedzošo kārtu (vai vismaz 7 dienas), ir jānodrošina, lai stabilizētās kārtas virsma nezaudētu pārlietu lielu ūdens daudzumu. To realizē, vai nu regulāri virsmu mitrinot ar ūdeni – sausā laikā vismaz katru dienu vai vairākas



reizes dienā, atkarībā no klimatiskajiem apstākļiem, vai arī izolējot virsmu – izlejot bitumena emulsiju un nekavējoties pārberot to ar, piemēram, 2/5 sīkšķembām.

Pēc stabilizācijas darbu pabeigšanas nodrošina stabilizētās kārtas vismaz septiņu dienu miera periodu, kura laikā stabilizētā kārtā netiek pakļauta transporta slodzēm. Miera periods nav nepieciešams, ja nākamās diennakts laikā pēc stabilizācijas darbu pabeigšanas tiek uzbūvēta nosedzošā kārtā, kuras biezums nav mazāks par 30 cm.

Jāņem vērā, ka ar hidrauliskajām saistvielām (īpaši ar kaļķi) stabilizētās kārtas noformējas ilgā laika periodā, kas var aizņemt no 1 līdz pat 3 mēnešiem. Tā kā stabilizētā kārtā savas īpašības un konstruktīvo nestspēju neiegūst uzreiz, neilgi pēc stabilizācijas darbu pabeigšanas nestspēju vai stiprību raksturojošie mērījumi ir zemāki un neatspoguļo rezultātus, kādi tie būs, kad stabilizētā kārtā būs pilnībā noformējusies.

Pēc uzbūvētās kārtas sacietēšanas (28 dienas vai cits periods) veic paraugu izurbšanu un spiedes stiprības testēšanu.

## 12.7. Kvalitātes kontrole

Grunts stabilizācijas procesā tiek nodrošināta gan efektīva un racionāla priekšizpēte un stabilizācijas sastāva izstrāde, gan arī rūpīga būvdarbu un izpildīto darbu kvalitātes kontrole. Kvalitātes kontroles plānu izstrādā pirms būvdarbu izpildes, atbilstoši apmāca personālu un nozīmē par būvdarbu izpildes kvalitāti atbildīgos darbiniekus, kas veic kvalitātes uzraudzību, seko būvdarbu izpildei un kvalitātes uzmērījumiem un nepieciešamības gadījumā realizē preventīvās un korektīvās darbības atbilstības nodrošināšanai.

12.3. tabula. Ieteikumi esošās grunts testēšanai un mērījumiem

Parametrs	Metode	Apjoms
Grunts nestspēja – elastības modulis $E_{v2}$ vai CBR	DIN 18134	Katrai raksturīgajai gruntij un posmam, bet ne mazāk kā viens mērījums vai grunts īpašību testēšana katriem 5000 m <sup>2</sup>
Grunts esošais mitrums	LVS EN 1097-5	
Grunts optimālais mitrums un tilpumsvars	LVS EN 13286-2	
Grunts granulometriskais sastāvs un Cu	LVS EN 933-1	
Grunts plasticitātes rādītāji	LVS EN ISO/TS 17892-12	
Grunts organisko savienojumu saturs (ja gruntij ir novērojami organiskie savienojumi)	<i>Ceļu specifikācijas 2019 12.5 punkts</i>	
Grunts ūdenī šķīstošo sulfātu saturs (ja gruntij novērojama tendence izplešoties sairt)	LVS EN 1744-1	

12.4. tabula. Ieteicamā testēšana, izstrādājot grunts stabilizācijas projektu

Parametrs	Metode
pH līmenis	Ceļu specifikācijas 2019 12.10. vai 12.11. punkts
Tūlītējais nestspējas rādītājs stabilizētajam maisījumam	LVS EN 13286-47
Stabilizēto paraugu izgatavošana pēc Proktora (izgatavo ne mazāk kā divus paralēlus paraugus katram paredzētajam testam, ieteicams izgatavot ne mazāk kā trīs paralēlus paraugus)	LVS EN 13286-50 LVS EN 13286-2
Stabilizēto paraugu kondicionēšana cietēšanas periodā	Atbilstoši dotajai metodikai šajā rokasgrāmatā
Stabilizēto paraugu salizturības cikli, ja paredzēts	LVS CEN/TS 12390-9
Stabilizēto paraugu spiedes stiprība vai CBR	LVS EN 13286-41 vai LVS EN 13286-47

12.5. tabula. Stabilizētas grunts kārtas būvniecības laikā ieteicamie kontrolējamie parametri un prasības

Parametrs	Prasības	Metode	Periodiskums
Izpildīto sagatavošanas darbu atbilstība projektam (novietojums plānā, garums, platums, šķērsprofili, augstuma atzīmes, līdzenums, sablīvējums)	Jāatbilst projektam	Vizuāli un veicot uzmērījumus	Pirms stabilizācijas darbu uzsākšanas
Stabilizētā maisījuma ūdens saturs	$\leq 2$ masas % no optimālā ūdens satura	Vizuāli Paraugu noņemšana un testēšana	Pastāvīgi Vienu reizi maiņā
Izlietotās saistvielas daudzums	$\pm 15$ % / 1 m <sup>2</sup> $\pm 5$ % no paredzētā kopējā daudzuma	Veicot kontroļsvēršanu Aprēķinot izlietojumu	Vienu reizi maiņā maiņas beigās
Stabilizētās kārtas sablīvējums	$\geq 98$ % no Proktora vai $E_{v2}/E_{v1} \leq 3,5$	Veicot testēšanu ar operatīvām iekārtām: LVS EN 13286-1 LVS EN 13286-2 AASHTO T205 ASTM D2167-08 ASTM D1556-07 BS 1377-9 DIN 18134	Pastāvīgi Vienu reizi katrā tvēriena joslā*

\* Pēc sablīvēšanas tajā pašā dienā, ja saistviela cements; un ne vēlāk kā nākamajā dienā pēc sablīvēšanas, ja saistviela kaļķis.

Izbūvētajai stabilizētajai kārtai jāatbilst līguma tehnisko specifikāciju prasībām. Mērījumus, pārbaudes un testēšanu jāveic pirms nosedzošās kārtas būvniecības, izņemot izurbto paraugu spiedes stiprību.

## 12.8. Cenas un izmaksas

Izmaksu analīzei lieto aktuālās būvdarbu un materiālu kopējās prognozējamās izmaksas. Piemēram, tabulā tālāk tekstā ir norādītas vienas vienības VAS "Latvijas Valsts ceļi" aprēķinātās vidējās cenas 2017. gadā reciklēšanas darbiem, ko varētu izmantot izmaksu aprēķināšanai.

12.6. tabula. Vidējās būvdarbu un materiālu izmaksas 2017. gadā (saskaņā ar VAS "Latvijas Valsts ceļi" apkopotajiem datiem reciklēšanai)

Nr.	Darba nosaukums	Mērv.	Daudzums	Izmaksa, EUR bez PVN
1	Zemes klātnes grunts uzlabošana, samaisot ar cementu ... cm biežumā	m <sup>2</sup>	1	1,13 – 1,98
	pievienojot cementu ... t	t	1	127,55
2	Zemes klātnes grunts uzlabošana, samaisot ar kaļķi ... cm biežumā	m <sup>2</sup>	1	1,13 – 1,98
	pievienojot kaļķi ... t	t	1	nav datu*
3	Zemes klātnes grunts uzlabošana, samaisot ar kaļķi un cementu ... cm biežumā	m <sup>2</sup>	1	1,13 – 1,98
	pievienojot kaļķi ... t	t	1	nav datu*
	pievienojot cementu ... t	t	1	127,55
4	Zemes klātnes grunts stabilizācija, samaisot ar cementu ... cm biežumā	m <sup>2</sup>	1	1,13 – 1,98
	pievienojot cementu ... t	t	1	127,55
5	Zemes klātnes grunts stabilizācija, samaisot ar kaļķi ... cm biežumā	m <sup>2</sup>	1	1,13 – 1,98
	pievienojot kaļķi ... t	t	1	nav datu*
6	Zemes klātnes grunts stabilizācija, samaisot ar kaļķi un cementu ... cm biežumā	m <sup>2</sup>	1	1,13 – 1,98
	pievienojot kaļķi ... t	t	1	nav datu*
	pievienojot cementu ... t	t	1	127,55

\* Ja nav citu pieejamu datu, kaļķa pievienošanas izmaksas pieņem tādas pašas kā cementa pievienošanai.

Izmaksu aprēķina algoritms elektroniskā formātā atrodams rokasgrāmatas pielikumā. Algoritma modelī visas šūnas, izņemot nepieciešamās šūnas datu ievadei, ir bloķētas. Ja nepieciešams papildināt vai modificēt aprēķina algoritmu, parole šūnu atbloķēšanai ir "123".

## 13. E.1. ĢEOSINTĒTISKIE MATERIĀLI ZEMES KLĀTNES PASTIPRINĀŠANAI

### 13.1. Vispārējie nosacījumi

Ģeosintētiskie materiāli salīdzinoši īsā laikā ir strauji attīstījušies, piedāvājot gan autoceļu būvniecībā, gan citās nozarēs daudz un dažādus materiālus, kā arī to sistēmas. Ģeosintētiskie materiāli ir ievērojami izmainījuši autoceļu projektēšanu, ļaujot izstrādāt dažādus efektīvus alternatīvus risinājumus, gan paaugstinot ceļu kalpotspēju, gan arī samazinot izmaksas. Lielais piedāvāto ģeosintētisko materiālu spektrs, kā arī samērā agresīvā ražotāju savstarpējā konkurence liek ceļu pārvaldītājiem un projektētājiem skaidri klasificēt ģeotekstila priekšrocības, kā arī definēt to izvēles kritērijus. Pieejamā informācija no ražotāja pārsvarā nav pietiekama, it īpaši, kas attiecas uz ceļa konstrukciju pastiprināšanu.

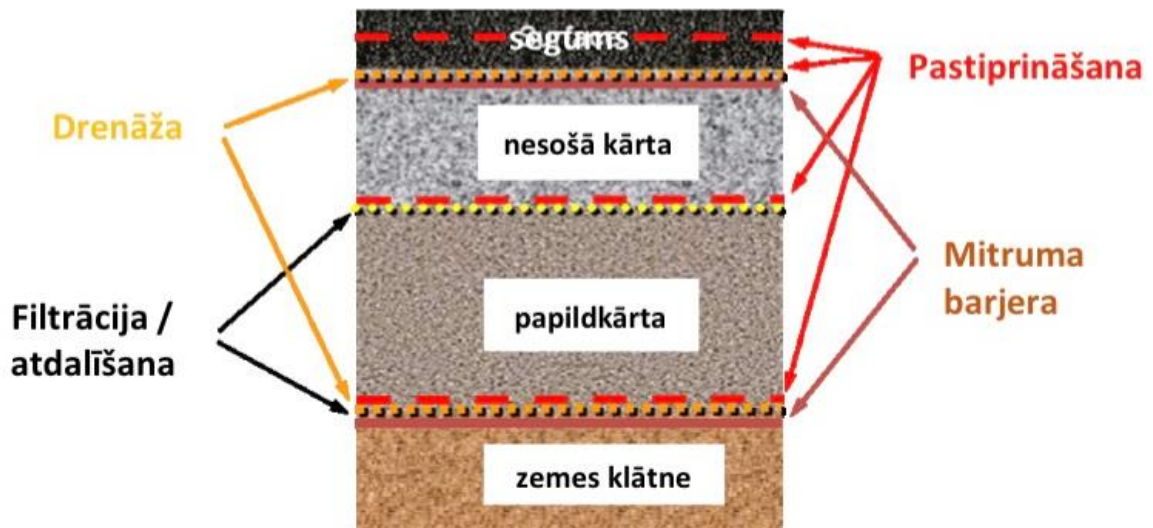
Inženieriem, ņemot vērā, ka ģeosintētiskie materiāli tiek lietoti jau vairākus gadu desmitus, to izmantošanas pamatota izvērtēšana konkrētu projektu risinājumos arvien ir apgrūtināta, jo pietiekami skaidras, aptverošas un pamatotas metodikas piedāvātā ģeotekstilu klāsta izvērtēšanai. Nepareiza ģeosintētisko materiālu specificēšana vai arī to efektivitātes pārvērtēšana, var radīt kļūdas, kas nenodrošina paredzēto konstrukcijas funkcionalitāti, līdz ar to iespējamās neparedzētas papildu izmaksas. Šīs nodaļas mērķis ir dot pamatinformāciju par ģeosintētiskajiem materiāliem, to pamatfunkcijām un galvenajām īpašībām, lai palīdzētu izdarīt pēc iespējas pareizāku materiāla izvēli un tā pielietojumu konkrēta mērķa sasniegšanai.

Ģeosintētisko materiālu lietošanu ceļa konstrukcijā parasti paredz šādu funkciju pildīšanai:

- Atdalīšana;
- Filtrācija;
- Drenāža;
- Pastiprināšana;
- Izolācija;
- Plaisu izplatības ierobežošana;
- Eroziņas ierobežošana.

Atkarībā no ģeosintētiskā materiāla veida un tā konstruktīvā novietojuma, ģeosintētiskais materiāls veic vienu vai vienlaikus arī vairākas funkcijas. Galvenais uzdevums, projektējot potenciālu ģeosintētiskā materiāla lietošanu, ir definēt ģeosintētiskā materiāla

funkcionalitāti, pēc tam nosakot nepieciešamās īpašības un kritērijus adekvāta produkta izvēlei, arī aprakstot prasības pareizai ģeosintētiskā materiāla iestrādes tehnoloģijai konstrukcijā, lai tādējādi nodrošinātu šī materiāla un visas konstrukcijas paredzēto funkcionalitāti un ilglaicību.



13.1. attēls. Ģeosintētisko materiālu lietošanas iespējas ceļa konstrukcijā [110]

### Standarti

Ģeosintētisko materiālu raksturojumu lietošanai ceļu būvniecībā nosaka standarts LVS EN 13249 "Ģeotekstīlijas un ģeotekstīliju izstrādājumi. Nepieciešamie raksturojumi to lietošanai ceļu un citu satiksmes platību būvniecībā (izņemot dzelzceļus un asfalta segumus)".

Ģeosintētisko materiālu raksturojumu lietošanai dzelzceļu būvniecībā nosaka standarts LVS EN 13250 "Ģeotekstīlijas un ģeotekstīliju izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai dzelzceļu būvniecībā".

Ģeosintētisko materiālu raksturojumu lietošanai zemes darbos, pamatu un balstu konstrukciju būvniecībā nosaka standarts LVS EN 13251 "Ģeotekstīlijas un ģeotekstīliju izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai zemes darbos, pamatu un balsta konstrukciju būvniecībā".

Ģeosintētisko materiālu raksturojumu lietošanai drenāžai nosaka standarts LVS EN 13252 "Ģeotekstīlijas un ģeotekstīliju izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai drenāžas sistēmās".

Ģeosintētisko materiālu raksturojumu lietošanai erozijas ierobežošanai nosaka standarts LVS EN 13253 "Ģeotekstīlijas un ģeotekstīliju izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai zemes erozijas regulēšanai (piekrastes aizsardzībai, krastu nostiprināšanai)".

Ģeosintētisko materiālu raksturojums lietošanai ūdenskrātuvju un dambju būvniecībā nosaka standarts LVS EN 13254 "Ģeotekstīlijas un ģeotekstīliju izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai ūdenskrātuvju un dambju būvniecībā".

Ģeosintētisko materiālu raksturojums lietošanai kanālu būvniecībā nosaka standarts LVS EN 13255 "Ģeotekstīlijas un ģeotekstīliju izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai kanālu būvniecībā".

Ģeosintētisko materiālu raksturojums lietošanai tuneļu un pazemes būvju būvniecībā nosaka standarts LVS EN 13256 "Ģeotekstīlijas un ģeotekstīliju izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai tuneļu un pazemes būvju būvniecībā".

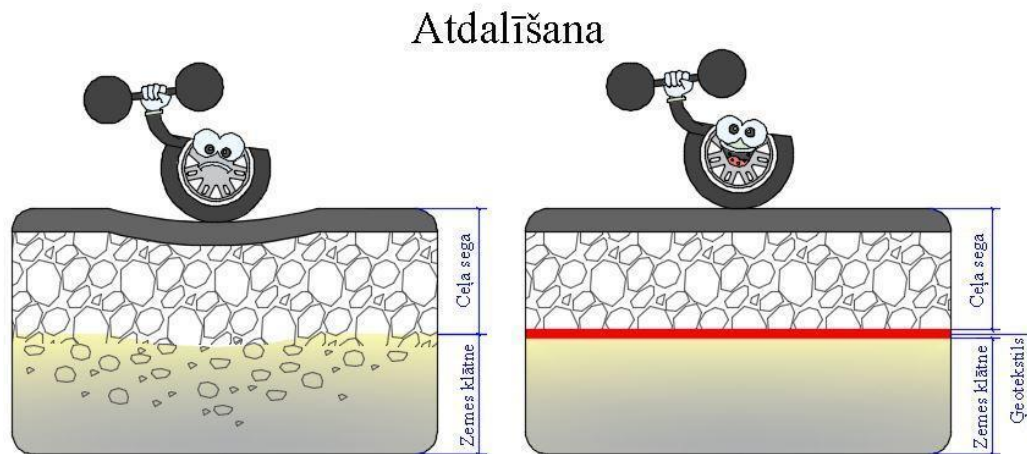
Ģeosintētisko materiālu raksturojums lietošanai cieto atkritumu novietnēs nosaka standarts LVS EN 13257 "Ģeotekstīlijas un ģeotekstīliju izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai cieto atkritumu novietnēs".

Ģeosintētisko materiālu raksturojums lietošanai šķidro atkritumu norobežojošajās būvēs nosaka standarts LVS EN 13265 "Ģeotekstīlijas un ģeotekstīliju izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai šķidro atkritumus norobežojošās būvēs".

## 13.2. Lietošanas joma

### 13.2.1. Ģeosintētisko materiālu funkcionālais pielietojums

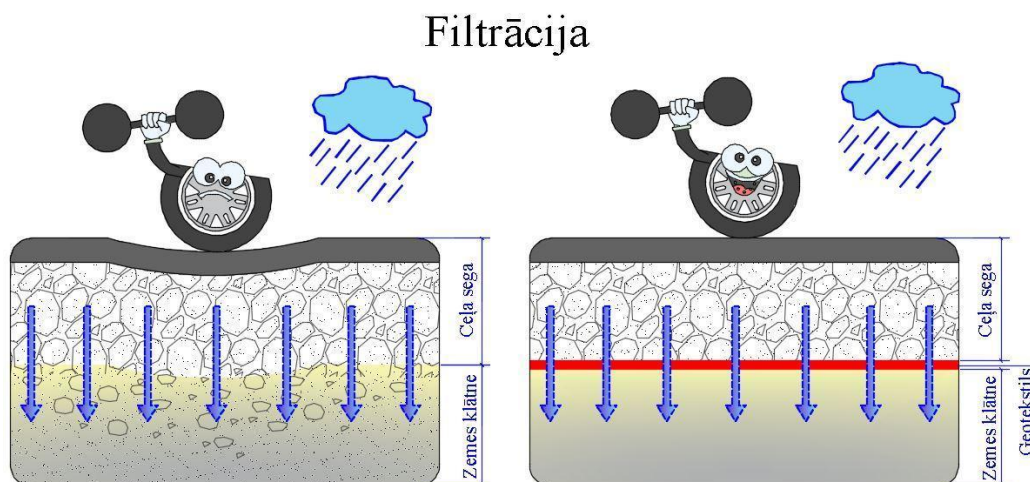
#### 13.2.1.1 Atdalīšana



13.2. attēls. Atdalīšana

Atdalīšanu lieto, lai atdalītu rupjāku grunts (piemēram, ceļa segas kārtu) no smalkākas (piemēram, zemes klātnes slāņa), lai smalkās grunts daļiņas neiekļūtu rupjākajās, nepieļaujot grunts daļiņu migrāciju un sajaukšanos, bet ļaujot brīvi plūst ūdenim, kuram, piemēram, caur ceļa konstrukciju ir jānokļūst zemes klātnes gruntī. Lai pielāgotos potenciālai grunts uzbriešanai vai dažādiem pārvietojumiem klimatisko u.c. faktoru iedarbībā, ģeosintētiskajam materiālam ir jābūt ar pietiekamu defomējamību un stiepes izturību. Parasti atdalīšanu vienmēr kombinē ar vēl kādu funkciju, piemēram, atdalīšanu un filtrāciju, atdalīšanu un pastiprināšanu [111].

#### 13.2.1.2. Filtrācija

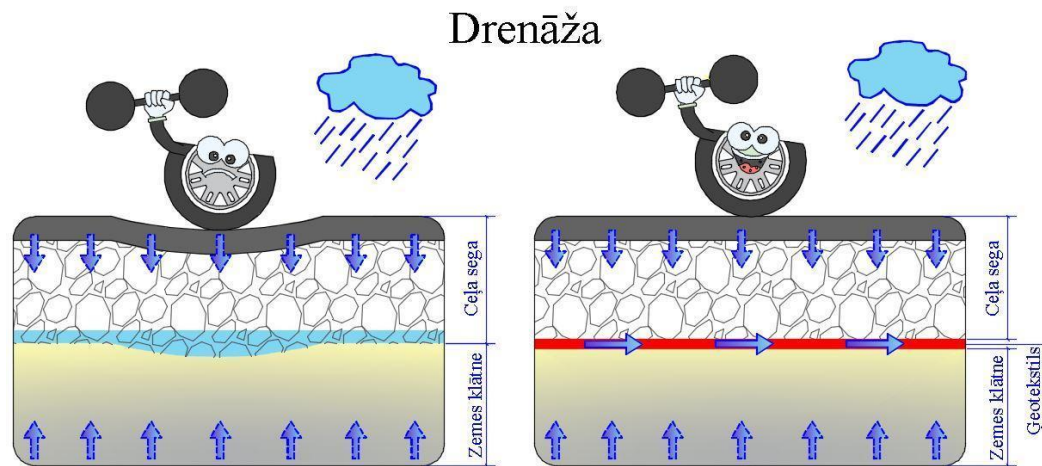


13.3. attēls. Filtrācija



Filtrācija nodrošina ūdens plūsmu caur ģeosintētisko materiālu, kas ievietots starp diviem grunts slāņiem, neļaujot caurkļūt grunts daļiņām. Grunts daļiņu migrācija starp slāņiem mazina nestspējas kapacitāti, tāpēc no tā var izvairīties, lietojot ģeosintētiskos materiālus.

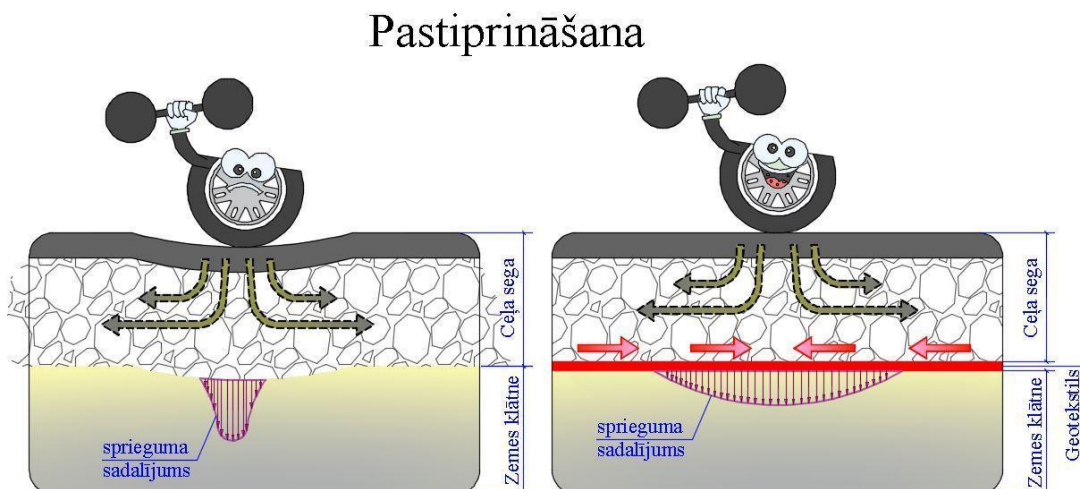
### 13.2.1.3. Drenāža



13.4. attēls. Drenāža

Ar drenāžas palīdzību ūdeni (aiz)vada ģeosintētiskā materiāla plāknē. Dažkārt drenāžas nodrošināšanai lieto biezu, neustu, ar adatām perforētu ģeosintētisko materiālu, kas ievietots pazemes drenāžas sistēmā, lai aizvadītu ūdeni pa šo ģeosintētisko materiālu.

### 13.2.1.4. Pastiprināšana



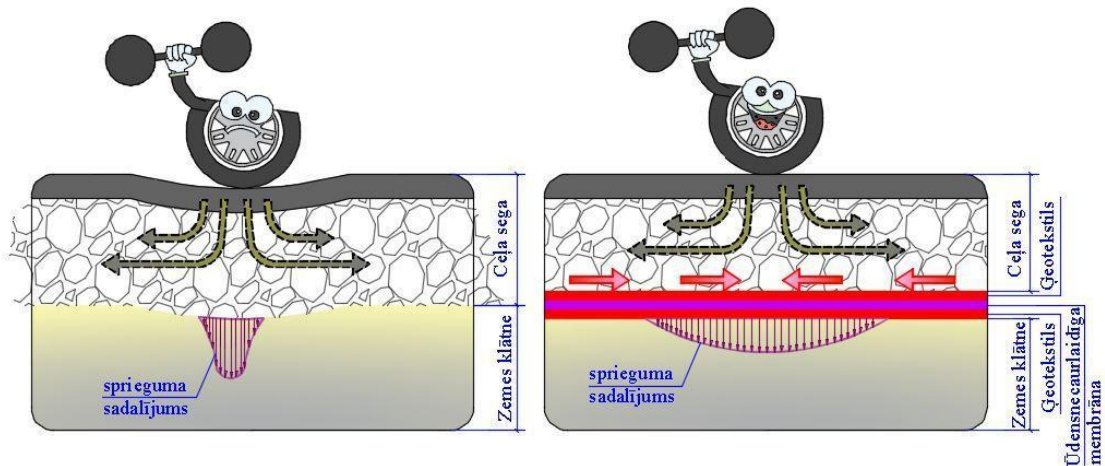
13.5. attēls. Pastiprināšana

Pastiprināšana nodrošina grunts masas noturības paaugstināšanu, lietojot ģeosintētiskos materiālus ar augstu stiepes stiprību. Pastiprināšana absorbē stiepes spēkus, ko nevar pārnest nesaistīga grunts. Spēki no grunts uz ģeosintētisko materiālu var nodoties ar saķeri (audumi un neausti audumi) vai ar noķīlēšanu (ģeosieti). Piemēram, nostiprinot grunti ar

kompozītmateriāliem, izveido ievērojami stāvākas un augstākas nogāzes nekā tikai no dabiskas grunts. Tādējādi samazina būvdarbiem nepieciešamo teritoriju, pārvietojamās un iestrādājamās grunts apjomus, kā arī ietaupa resursus un līdzekļus.

### 13.2.1.5. Aizsardzība (izolācija)

## Aizsardzība (izolācija)

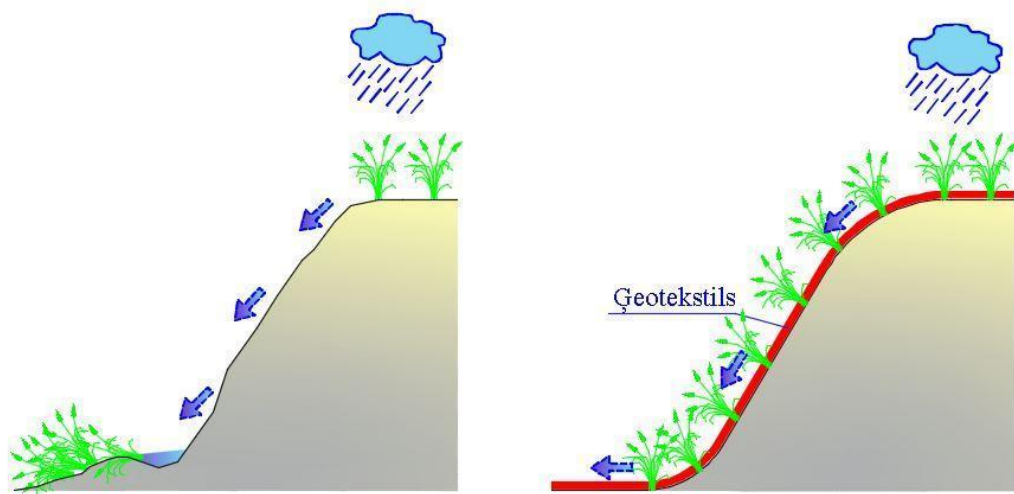


13.6. attēls. Aizsardzība

Aizsardzība nodrošina slodzes sadalījumu lielākā laukumā, tādējādi samazinot maksimālo slodzi uz laukuma vienību, vai arī, piemēram, ievietojot ģeosintētisko materiālu abās pusēs ūdensnecaurlaidīgai membrānai, to pasargā no caurduršanas.

### 13.2.1.6. Erozijas ierobežošana

## Erozijas ierobežošana

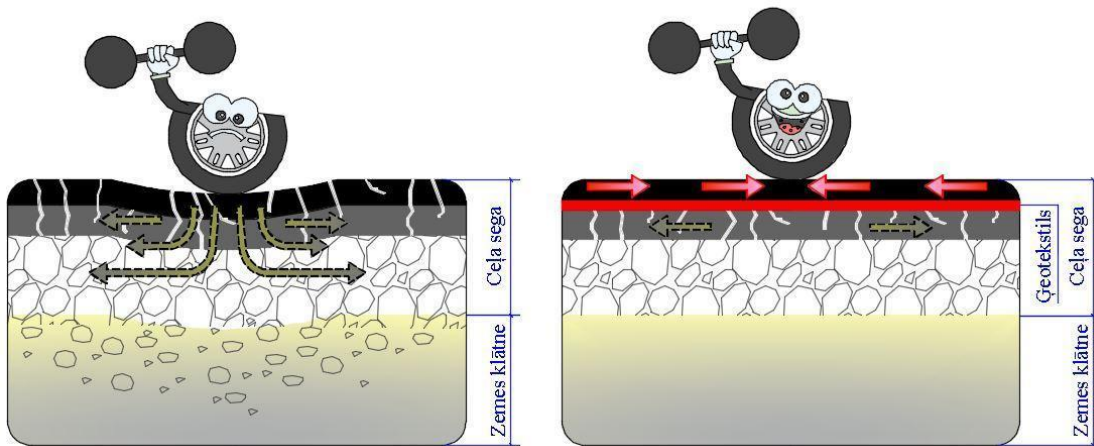


13.7. attēls. Erozijas ierobežošana

Tiek samazināta nestabilas vai būvdarbu rezultātā pārraktas (pārvietotas) grunts daļiņu migrācija pa grunts virsmu ūdens iedarbībā, piemēram, ūdenstilpnēs vai to tuvumā.

### 13.2.1.7. Plaisu izplatīšanās ierobežošana

## Plaisu izplatīšanās ierobežošana

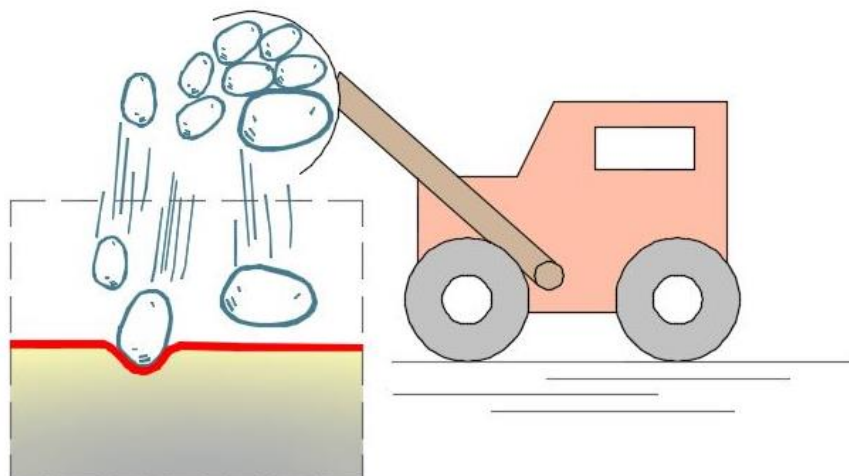


13.8. attēls. Plaisu izplatīšanās ierobežošana

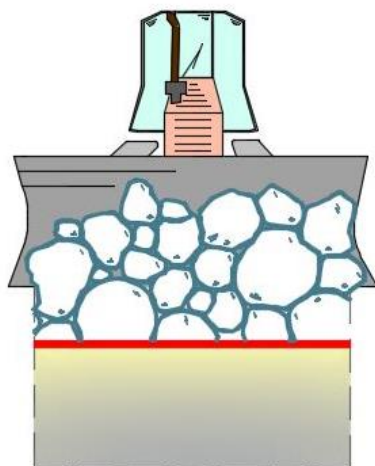
Tiek samazināta plaisu migrācija starp dažādiem (saistīto materiālu) konstruktīvajiem slāņiem. Piemēram, SAMI, tērauda režģi un citas sistēmas.

### 13.2.2. Nepieciešamās ģeosintētisko materiālu mehāniskās īpašības

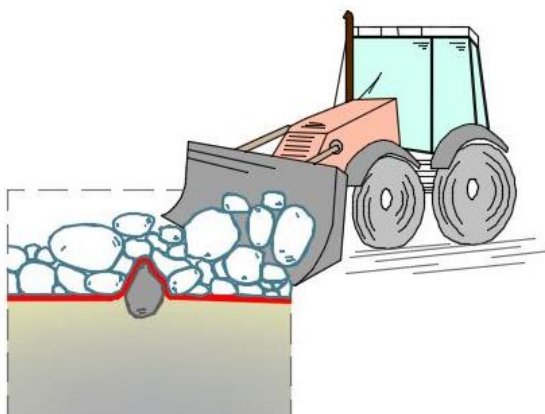
Nepieciešamās ģeosintētisko materiālu mehāniskās īpašības ir atkarīgas no iespējamo deformāciju rakstura (skat. no 13.9. attēls līdz 13.15. attēls).



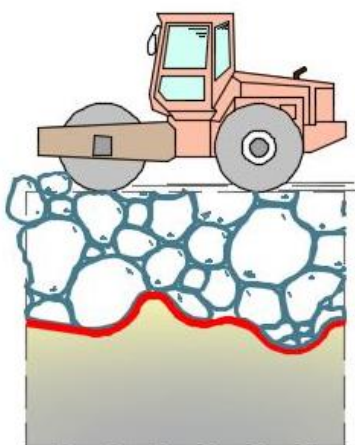
13.9. attēls. Ģeosintētiskā materiāla elastība un dinamiskās perforācijas izturība nodrošina, ka ģeotekstils netiek sabojāts tā ieklāšanas laikā



13.10. attēls. Ģeosintētiskā materiāla elastība un stiepes stiprība nodrošina, ka ģeotekstils netiek sabojāts minerālmateriālu saķīlēšanas (sablīvēšanas) laikā

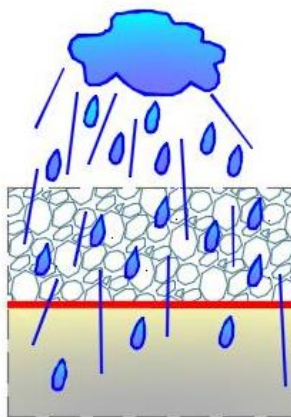


13.11. attēls. Ģeosintētiskā materiāla elastība un pretestība statiskai caurspiešanai ļauj ģeotekstilam izstiepties ap neregulārām virsmām.

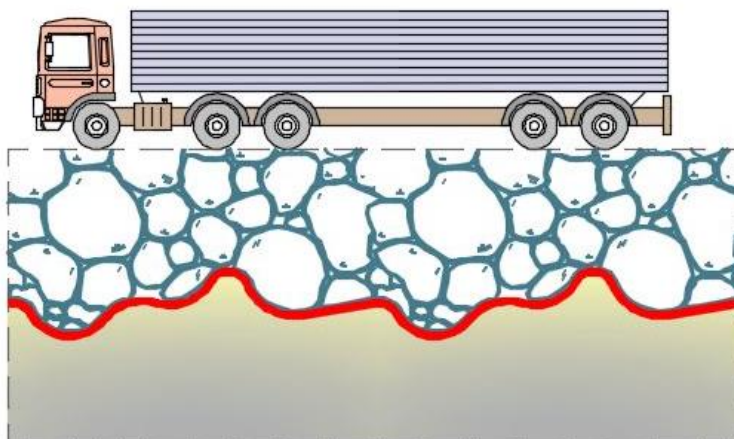


13.12. attēls. Ģeosintētiskā materiāla elastība un pretestība statiskai caurspiešanai pasargā no ģeotekstila pārplīšanas, ja pieliktā slodze izsauc zem ģeotekstila atrodošās grunts deformācijas

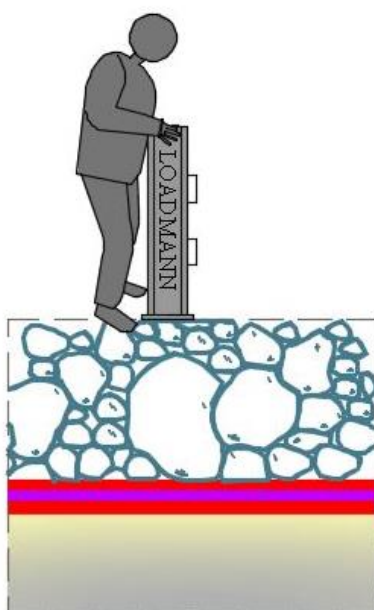




13.13. attēls. Ģeosintētiskā materiāla pareizas īpašības nodrošina, ka tiek norobežota grunts smalko daļiņu pārvietošanās (migrācija), neierobežojot ūdens caurplūdi



13.14. attēls. Ģeosintētiskā materiāla izstiepšanās spēja nodrošina ģeosintētiskā materiāla apkļaušanos neregulārām virsmām



13.15. attēls. Ģeosintētiskā materiāla pareizs biezums un noturība pret punkta slodzēm nepieļauj ūdensnecaurlaidīgas membrānas bojājumus

### 13.3. Priekšrocības un trūkumi

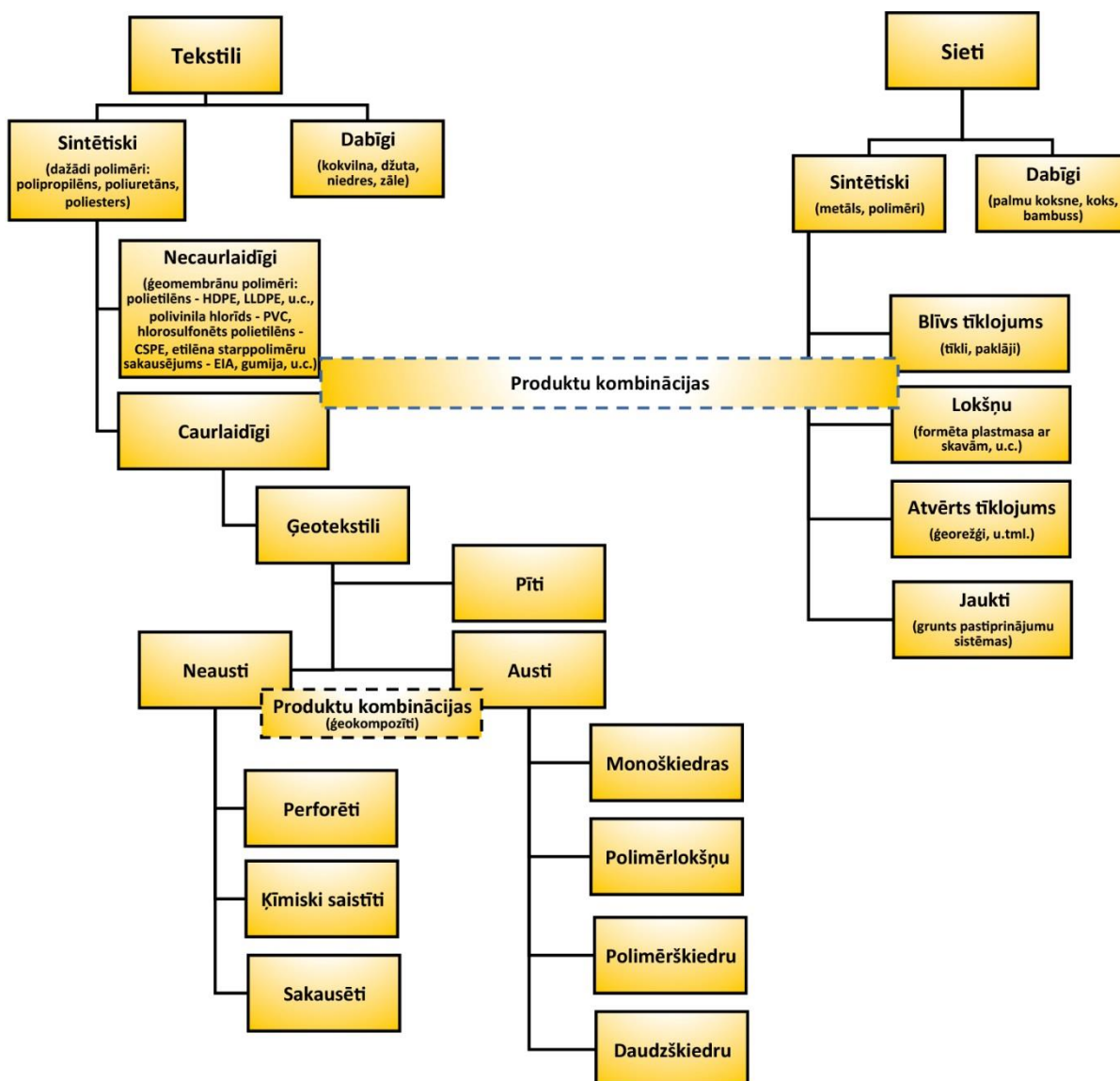
#### 13.3.1. *Priekšrocības:*

- Iespējams darbus izpildīt ātri, radot minimālus traucējumus satiksmei;
- Piemērots ātrai transporta kustības atjaunošanai;
- Minimāli traucējumi transporta kustībai;
- Samazina zemes klātnes grunts sliktas nestspējas risku;
- Ģeosintētiskos materiālus mitrums būtiski neietekmē;
- Vājām gruntīm nodrošina ilgmūžīgas pastiprinājuma sistēma;
- Izmaksas ir zemākas nekā, piemēram, uz pāļiem balstītām platformu sistēmām.

#### 13.3.2. *Trūkumi:*

- Nav pieejama pieņemama metodika, lai novērtētu ģeosintētisko materiālu iespējas vai atšķirības, tos lietojot vienā vai vairākos slāņos;
- Ģeosintētisko materiālu projektēšanai nav izstrādāts EN standarts;
- Apgrūtināši veikt dzīves cikla izmaksu ieguvumu analīzi (LCCA), tādējādi iegūstot pārlicinoši korektus pierādījumus salīdzinošai efektivitātei.

## 13.4. Ģeosintētisko materiālu veidi



13.16. attēls. Ģeosintētisko materiālu veidi [112]

Ģeosintētiskos materiālus identificē pēc šādiem parametriem:

- Polimēra (identificējot raksturīgās īpašības, piemēram, augsts vai zems blīvums u.c.);
- Elementu tipa (piemēram, pavedieni, šķiedras, loksnes, lentes u.c.), ja ir piemērojams;
- Ražošanas procesa atšķirībām (piemēram, austs, neausts, karstumizturīgs, saistītām šuvēm, ekstrudēts, adīts, metināts, vienass, biaksāls, rūdītas loksnes, gludas loksnes), ja ir piemērojams;



- Ģeosintētiskā materiāla galvenā tipa (piemēram, ģeotekstils, ģeorežģis, ģeomembrāna u.c.);
- Masas laukuma vienībā (piemēram, geotekstili, ģeorežģi, eroziju ierobežojošie segumi) vai biezuma, ja ir piemērojams (piemēram, ģeomembrānas);
- Kā arī saskaņā ar jebkādu papildu informāciju vai fizikālajām īpašībām, kas ir nepieciešamas, lai definētu materiālu saistībā ar tā paredzēto pielietojumu.

Identifikācijas piemēri:

- Polipropilēna šķiedru neausts ģeotekstils, 340 g/m<sup>2</sup>;
- Polietilēna 5 mm biezs ģeosiets;
- Polipropilēna ekstrudēts divasu ģeorežģis ar 25 mm x 25 mm acīm;
- Augstas stiprības rūdīta polietilēna membrāna, 1,5 mm bieža.

### **Ģeotekstili**

Pirmais izstrādātais un visplašāk lietotais ģeosintētiskais materiāls ir ģeotekstils. Tas ir caurlaidīgs ģeosintētisks materiāls, kas sastāv tikai no tekstilmateriāliem.

#### **Austie ģeotekstili**

Sagrieztas polimēru lentes, monopavedienu šķiedras, fibrilētas dzijas vai daudzšķiedru pavedieni, vienkārši sausti kopā. Austi ģeotekstili parasti ir ar salīdzinoši augstu izturību un stiprību un, izņemot monopavedienu audumus, ar relatīvi sliktām drenējošajām īpašībām.

#### **Neaustie ģeotekstili**

Loksne no secīgām vai haotiskām aķveida šķiedrām, perforēta ar adatām uz filca, saspiesta un sakausēta kopā šķiedru saskares punktos. Neaustie ģeotekstili parasti ir ar zemu līdz vidēju izturību un stiprību, ar lielu pagarinājumu slogojot, un relatīvi labām drenāžas īpašībām. Labas izstiepšanās īpašības nodrošina neausto ģeotekstilu lielisku spēju apkļauties ap akmeņiem un citiem priekšmetiem.

### **Ģeorežģi**

Ģeorežģis ir izveidots kā regulārs izstieptu elementu tīkls ar pietiekama izmēra atverēm, kuras ir jāsalāgo ar aizpildāmā materiāla izmēru. Ģeorežģus galvenokārt izmanto pastiprināšanai.

## Ģeomembrānas

Ģeomembrānas ir zemas caurlaidības ģeosintētiskie materiāli, ko izmanto izolācijai.

## Ģeokompozīti

Ģeosintētiskos materiālus, lai izmantotu katra materiāla labākās īpašības, var savstarpēji kombinēt, piemēram, tīklus un režģus lieto kopā ar ģeomembrānām un citiem ģeosintētiskajiem materiāliem. Šādus produktus sauc par ģeokompozītiem, piemēram, ģeotekstili-ģeosieti, ģeotekstili-ģeorežģi, ģeotekstili-ģeomembrānas, ģeomembrānas-ģeosieti, ģeotekstili-polimēri, kā arī trīsdimensiju polimēru šūnu struktūras.

Projekta izstrādes rezultātā ir jādefinē lietojamo ģeosintētisko materiālu tehniskās specifikācijas. Nav ieteicams lietot tādu metodi, kā, piemēram, nosaukt konkrēta ražotāja izstrādājumu un norādīt, ka lietojams šāds vai ekvivalents izstrādājums. Tehniskajās specifikācijās ietver šādus ģeosintētisko materiālu parametrus:

- Vispārējās prasības;
- Konkrētas ģeosintētiskā materiāla īpašības;
- Šuves un savienošanu;
- Iekļāšanas procedūras;
- Defektu novēršanu;
- Izpildītā darba pieņemšanas vai neakceptēšanas kritērijus.

## 13.5. Projektēšanas principi

Projektēšanas principi, lietojot ģeosintētiskos materiālus, ir vienādi visiem ceļu konstrukciju veidiem neatkarīgi no projektēšanas metodes vai ģeosintētiskā materiāla veida. Ceļa konstrukcijas projektēšana ietver visu ietekmējošo komponentu apzināšanu un analīzi (segums, pamats, zemes klātne), kā arī kalpotspējas izvērtēšanu ar konkrētām transporta slodzēm un klimatiskajiem apstākļiem. Jebkura ceļa konstrukcija balstās uz esošās zemes klātnes gruntis. Tādējādi no grunts īpašībām būs atkarīgas ģeosintētisko materiālu nepieciešamās funkcionālās īpašības.

Projektējot stabilizācijas darbus, identificē ģeosintētisko materiālu (ģeotekstils vai ģeorežģis) un minerālmateriālu kārtas nepieciešamo biežumu, lai stabilizētu zemes klātnes grunti, nodrošinot adekvātu pamatu ceļa segas konstrukcijai. Šajā gadījumā ģeosintētiskie materiāli faktiski pildīs vairākas funkcijas: atdalīšanu, filtrāciju un pastiprināšanu.

Ģeosintētisko materiālu projektēšana ietver trīs galvenos projektēšanas kritērijus:

- Izturība;
- Ūdens caurlaidība;
- Noturība pret aizsērēšanos.

Kā projektēšanas sastāvdaļa ir arī kalpotspējas izvērtējums.

### **13.6. Ģeosintētiskie materiāli un sistēmas kārtu atdalīšanai, filtrācijai, drenāžai**

Kārtu atdalīšanas projektēšanā netiek ietverta pamata kārtu biezuma samazināšana ģeosintētisko materiālu lietošanas dēļ. Atdalot konstruktīvās kārtas ar ģeotekstilu, tiek veicināta segas konstrukcijas kopējā noturība, pasargājot to no smalko grunts daļiņu iekļūšanas rupji graudainajās ceļa segas kārtās. Ar ģeotekstilu atdala arī atšķirīgus ceļa segas konstruktīvos slāņus vai kārtas.

Lielākā daļa ģeotekstilu nodrošinās atdalīšanas funkciju pietiekami ilgi, ja būs nodrošināta pietiekama tā noturība instalācijas būvdarbu laikā. Pie atdalīšanas filtrācija ir pakārtota. Tomēr ģeotekstilam ir jābūt ar pietiekami mazām atverēm, lai nepieļautu augšējās kārtas piesārņošanu ar apakšā esošās kārtas smalkajām daļiņām, tajā pašā laikā ģeotekstilam jābūt pietiekami caurlaidīgam (caurlaidīgākam par apakškārtu), lai nepieļautu poru ūdens spiediena izveidošanos apakškārtā. Katrā ziņā atdalīšanas funkcija vienmēr būs kombinācijā ar citu funkciju.

Ģeosintētiskos materiālus galvenokārt lieto kā filtrus drenāžas sistēmās, piemēram, tranšeju un uztvērēju drenāžā, ceļa segas un nomaļu drenāžā, dažādu konstrukciju drenāžā un zem filtrējošām ceļa pamatnēm. Filtrs ierobežo grunts daļiņu kustību, jo ūdens ieplūst drenā vai drenāžas slānī, to savāc un/ vai transportē lejup. Ģeokompozītus, kas iekļauj drenāžas funkciju, ieskauj ar ģeotekstila filtru, kurš bieži tiek izmantots kā drena. Ģeosintētiskos materiālus izmanto arī kā filtrus erozijas kontroles sistēmām. Atbilstoši izvēlēti ģeosintētiskie materiāli var tikt lietoti, lai aizstātu vai lietotu tos kopā ar attiecīgiem filtrējošiem minerālmateriāliem praktiski jebkādas drenāžas sistēmās. Var tikt lietoti arī ģeokompozīti.

Ģeosintētiskie materiāli tiek lietoti, piemēram, šādās drenāžas sistēmās:

- Kā filtrs ap drenējošu minerālmateriālu tranšejā vai malu drenās, lai aizsargātu drenējošo materiālu no grunts daļiņu migrēšanas tajā, ļaujot caur ģeosintētisko materiālu izplūst ūdenim;
- Kā filtri ceļa konstruktīvajās kārtās, zem ceļa segas, ceļa segas malu, ceļa segas un zemes klātnes drenāžai. Kā horizontālas drenas ceļa segu sistēmās lieto ģeokompozītu drenas;
- Kā apvalks drenāžas caurulēm un to savienojumiem, lai pasargātu no drenējošā materiāla iekļūšanas caurulē, ļaujot tur brīvi ieplūst ūdenim;
- Lai drenētu dažādas konstrukcijas, piemēram, atbalstsienas vai tiltu balstus, atdalot drenējošo minerālmateriālu no piebērtās grunts, ļaujot nodrenēt grunti un izfiltrēt ūdeni. Šajā gadījumā ir piemērotas arī ģeokompozītu drenas;
- Uztvērēju un virsmu drenāžai, lai pastiprinātu nogāzes un novērstu to eroziju;
- Dambju un krastu nostiprināšanai, lai kontrolētu ūdens caurplūdi.

Visos minētajos gadījumos ūdens plūsma caur ģeotekstilu notiek perpendikulāri. Savukārt citos gadījumos, piemēram, vertikālās drenas vājas pamatnes gruntīs, sānu drenas zem plātnēm, kā arī aiz atbalstsienām vai gāzes pārvades iekārtām, ūdens plūsma var būt gan perpendikulāra, gan arī garenvirziena. Daudzos gadījumos lieto arī ģeokompozītu sistēmas.

### **13.6.1. Mehāniskās īpašības slogotām konstrukcijām**

Ģeosintētisko materiālu svarīgākās mehāniskās īpašības atdalīšanai, filtrācijai un drenāžai:

- $F$  – stiepes stiprība [kN/m] (minimālā vērtība), testējot saskaņā ar LVS EN ISO 10319;
- $\varepsilon$  – pagarinājums pie maksimālās slodzes [%] (minimālā vērtība), testējot saskaņā ar LVS EN ISO 10319;
- $P$  – statiskās caurspiešanas tests (CBR tests) [N] (minimālā vērtība), testējot saskaņā ar LVS EN ISO 12236;
- $D_c$  – dinamiskā perforācijas izturība (krītošā konusa tests) [mm] (maksimālā vērtība), testējot saskaņā ar LVS EN ISO 13433.

Ģeosintētiskajiem materiāliem, ko izmanto konstrukcijās, kuras ekspluatācijā tiek slogotas (ceļi, dzelzceļi, dambji), izvirzāmās prasības stiprībai ir atkarīgas no paredzamās slodzes lieluma un pastiprināmās grunts īpašībām:

- CBR – Kalifornijas nestspējas vērtība [%] – grunts plastiskās deformācijas raksturojoša relatīva vērtība, testējot saskaņā ar LVS EN 13286-47;
- $E_{V1}$  – deformācijas modulis [MPa], testējot saskaņā ar DIN 18134.

Zinot vienu no šiem diviem parametriem (CBR vai  $E_{V1}$ ), kā arī slodzi, kāda ir jāuzņem konstrukcijai, nosaka minimālo nosedzošās minerālmateriālu kārtas biezumu, kā arī ģeotekstila mehāniskās īpašības (skat. 13.1. tabula).

13.1. tabula. Izvirzāmās prasības ģeotekstila mehāniskajām īpašībām atkarībā no grunts īpašībām un uzņemamās slodzes

Grunts īpašības		Min. nosedzošā kārtā, m	Ģeotekstila īpašības									
			Īpašības	Ceļu un zemes darbi						Dzelzceļi		
Grunts stiprība				Noslodze $\leq 500 \text{ MN}^a$			Noslodze $> 500 \text{ MN}^a$					
CBR, %	$E_{V1}$ , MPa		A*	B**	C***	A*	B**	C***	A*	B**	C***	
< 3	< 6	0,4	F, kN/m	12	14	16	14	16	18	14	16	18
			$\varepsilon$ , %	40	40	50	40	50	50	40	50	50
			P, N	2000	2400	2700	2400	2700	3000	2400	2700	3000
			De, mm	24	21	20	21	20	15	21	20	15
3 – 6	6 – 15	0,3	F, kN/m	10	12	14	12	14	16	14	16	18
			$\varepsilon$ , %	40	40	40	40	40	50	40	50	50
			P, N	1900	2000	2400	2000	2400	2700	2400	2700	3000
			De, mm	25	24	21	24	21	20	21	20	15
> 6	> 15	0,2	F, kN/m	6	8	10	8	10	12	14	16	18
			$\varepsilon$ , %	30	40	40	40	40	40	40	50	50
			P, N	1250	1450	1900	1450	1900	2000	2400	2700	3000
			De, mm	27	26	25	26	25	24	21	20	15

*a – kopējā slodze aprēķina kalpošanas periodā*

*\* aizpildījums A – apaļa grants,  $d \leq 150 \text{ mm}$*

*\*\* aizpildījums B – rupjgraudaina grants  $d \leq 150 \text{ mm}$*

*\*\*\* aizpildījums C – cits nosedzošais materiāls, apaļš vai rupjgraudains (drupināti vai dabīgi minerālmateriāli u.c.)*

Norādītās F,  $\varepsilon$  un P vērtības ir minimālās, savukārt De vērtības ir maksimālās. Lai būtu pārliecība, ka ģeotekstila funkcionalitāte atbildīs paredzētajam mērķim, jāizpilda visi turpmāk tekstā minētie nosacījumi.

### 13.6.2. Mehāniskās īpašības neslogotām konstrukcijām filtrācijai un drenāžai

13.2. tabula. Prasības ģeosintētiskajiem materiāliem, ja filtrācija platībās bez slodzes

Nosedzošais materiāls	F (kN/m)	$\varepsilon$ (%)	P (N)	D <sub>c</sub> , mm
Apaļš	6	40	1500	25
Drupināts	8	40	1500	25

13.3. tabula. Prasības ģeosintētiskajiem materiāliem, ja drenāža platībās bez slodzes

	F (kN/m)	$\varepsilon$ (%)	P (N)	D <sub>c</sub> , mm
Vertikālā drena	8	40	1500	25

### 13.6.3. Nepieciešamās hidrauliskās īpašības

Lai pareizi darbotos, ģeotekstila atvērumu izmēriem jāatbilst konkrētās grunts īpašībām un apstākļiem. Ja atvērumi ir pārāk lieli, grunts daļiņas izies cauri ģeotekstilam, bet, ja tie ir pārāk mazi, ūdens plūsma būs nepietiekama. Ģeotekstila svarīgākie hidrauliskie parametri ir:

$O_{95\%}$  – ģeotekstila (raksturīgais) atvērumu izmērs, par kuru 95% atvērumu ir ar mazāku izmēru [mm] saskaņā ar EN ISO 12956;

$k_n$  – minimālā ūdens caurlaidība normālai plaknei [m/sek] (minimālā vērtība) saskaņā ar EN ISO 11058.

Konkrētās prasības attiecībā uz šīm hidrauliskajām īpašībām atšķiras atkarībā no konstrukcijas veida, kā arī no tā, kāda ir ūdens plūsma – statiska vai dinamiska.

### 13.6.4. Statiska ūdens plūsma

$$O_{95\%} \leq BD_{85\%} \quad (13.6.1.)$$

kur:

B – koeficients;

D<sub>85%</sub> – grunts daļiņu izmērs, par kuru 85% daļiņas ir ar mazāku izmēru.

Koeficients B ir robežās no 0,5 līdz 2,0 kā funkcija atkarībā no filtrējamās grunts tipa, tās blīvuma, viendabības koeficienta ( $C_u$ ), ja grunts ir graudaina, ģeotekstila tipa (austs vai neausts) un ūdens plūsmas apstākļiem.

Smiltij, granšainai, putekļainai un mālainai smiltij (ar daļiņu saturu zem  $0,063 \text{ mm} \leq 50\%$ ) B ir funkcija no viendabības koeficienta  $C_u$ :

$$C_u \leq 2 \text{ vai } \geq 8 \quad B = 1 \quad (13.6.2.)$$

$$2 \leq C_u \leq 4 \quad B = 0,5 C_u \quad (13.6.3.)$$

$$4 < C_u < 8 \quad B = \frac{8}{C_u} \quad (13.6.4.)$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (13.6.5.)$$

Neviendabīgas smilšainas grunts mēdz pārklāt ģeotekstila atveres. Līdz ar to atveres faktiski var būt līdz pat divām reizēm lielākas ( $B \leq 2$ ) par grunts lielākajām daļiņām, jo divas daļiņas vienlaikus nevar iziet caur vienu atveri. Tāpēc kritērija  $B = 1$  izmantošana varētu būt samērā droša.

Ja grunts satur ievērojamu smalko daļiņu saturu, grunts raksturošana ģeotekstila izvēlei jāveic, izmantojot tikai to grunts daļu, kas iziet caur 4 mm sietu.

Putekļainām un mālainām gruntīm (ar daļiņu saturu zem  $0,063 \text{ mm}$  sieta  $> 50\%$ ), B koeficienta vērtība ir atkarīga no ģeotekstila veida:

$$\text{Austiem ģeosintētiskajim materiāliem } O_{95} \leq D_{85} \quad B = 1 \quad (13.6.6.)$$



$$\left| \begin{array}{l} \text{Neaustiem ģeosintētiskajiem materiāliem } O_{95} \leq 1,8 D_{85} B = 1,8 \end{array} \right. \quad (13.6.7.)$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{Abiem } O_{95} < 0,3 \text{ mm} \end{array} \right. \quad (13.6.8.)$$

Pateicoties neaustu ģeotekstilu nejaušām poru īpašībām un to dabiskai funkcionalitātei, neaustie ģeotekstili parasti aiztur smalkākas daļiņas nekā austie ģeotekstili ar vienādu  $O_{95\%}$ . Tāpēc kritērija  $B = 1$  izmantošana neaustiem ģeosintētiskajiem materiāliem varētu būt samērā droša.

### 13.6.5. *Dinamiska ūdens plūsma*

Ja ģeotekstils nav labi iestrādāts un ciešā saskarē ar grunti vai ja ir dinamiska, cikliska vai pulsējoša slodze, kas rada augstu lokālo hidraulisko gradientu, tad grunts daļiņas var pārvietoties caur ģeotekstilu. Tādējādi kritērija  $B = 1$  lietošana nav pietiekami droša, jo neizveidojas aizsargtīkls, lai ģeotekstils spētu aizturēt pat smalkākas grunts daļiņas. Gadījumos, kad šāda aizsardzība ir kā galvenais kritērijs, tad  $B$  ir jāsamazina līdz 0,5, t.i.:

$$\left| \begin{array}{l} O_{95\%} \leq 0,5 D_{85\%} \end{array} \right. \quad (13.6.9.)$$

Dinamiska ūdens plūsma var izveidoties arī drenāžas risinājumos. Lai mainītu ieplūdi–izplūdi vai austa hidrauliskā gradienta situācijas, vislabāk ir uz filtra nodrošināt pietiekamu svaru, lai pasargātu ģeotekstilu pārvietošanos.

### 13.6.6. *Nestabilas gruntis*

Iepriekš minētie kritēriji redzēti noturīgām un stabilām gruntīm. Ja gruntis nav noturīgas, lai izvēlētos piemērotus ģeosintētiskos materiālus, jāveic to veiktspējas testēšana. Piemēram, plaši gradētas gruntis ar  $C_u > 20$  parasti ir nestabilas.

Nestabili materiāli var būt arī ceļa segas pamata slāņos – pārstrādāts betons vai blīvi gradēts ceļa pamats ar erozijas putekļiem. Ja šos materiālus izmanto blakus drenai (piemēram, ceļa malas drenas), lai izvairītos no ģeotekstila filtra aizsērēšanas, ģeotekstilu nedrīkst novietot starp šiem nestabilajiem materiāliem un kā tranšejas drenāžas materiālu. Šādā gadījumā, lai izvairītos no ceļa segas pamata un zemes klātnes slāņu infiltrācijas, tie jāparedz zem un ārpus drenāžas.

### 13.6.7. Ūdens caurlaidība

Ģeotekstila minimālajai ūdens caurlaidībai normālā plaknē ir jābūt lielākai par grunts ūdens caurlaidību:

$$k_{n,\text{ģeotekstils}} > k_{n,\text{grunts}} \quad (13.6.10.)$$

Lai pārliecinoši nodrošinātu ūdens plūsmu atkarībā no grunts apstākļiem un paredzamā dzīves cikla ilguma, lieto grunts ūdens caurlaidības koeficientu no 1 līdz 100.

Piemēram, apgrūtinošiem grunts apstākļiem:

$$k_{n,\text{ģeotekstils}} > 10 k_{n,\text{grunts}} \quad (13.6.11.)$$

### 13.6.8. Noturība pret aizsērēšanu

Mazāk smagiem apstākļiem ar  $C_u > 3$ :

$$O_{95\%} \geq 3 D_{15\%} \quad (13.6.12.)$$

Ja  $C_u \leq 3$ , ģeotekstils jāizvēlas saskaņā ar 13.6.3 punktu.

Apstākļos, kad ir iespējama aizsērēšana, papildus izvēlas šādus kritērijus:

- neaustiem ģeotekstiliem:

$$\text{ģeotekstila porainība, } n \geq 50 \% \quad (13.6.13.)$$

- austiem monošķiedru un polimērlokšņu ģeotekstiliem:

$$\text{poru atvērtais laukums, } P_{AL} \geq 4 \% \quad (13.6.14.)$$

### 13.6.9. Ūdens caurlaidības kapacitāte drenāžai

Lielākā daļa neaustu ģeotekstilu ir ar porainību, kas lielāka par 70%. Lielākai daļai monošķiedru ģeotekstilu poru atvērtais laukums ir lielāks par 4%. Savukārt cieši austie polimērlokšņu ģeotekstili nenodrošinās vajadzīgo poru atvērto laukumu, tāpēc lietošanai nav ieteicami.

$$q_p = \frac{Q}{W \times i} \quad (13.6.15.)$$

kur:

$q_p$  – ūdens caurplūdes kapacitāte ( $m^2/s$ );

$Q$  – drenējamā ūdens daudzums pilnā drenas platībā ( $m^3/s$ );

$W$  – drenas platums ( $m$ );

$i$  – hidrauliskais gradients ( $\Delta h/\Delta l$ );  $\Delta h$  – ūdens līmeņu starpība,  $\Delta l$  – ūdens tecēšanas ceļa garums); vertikālām drenām  $i = 1$ .

Lai nodrošinātu bezattecēs drenāžas darbību, ieteicams lietot drošības koeficientu 1 ... 5. Drošības koeficientu pieņem, izvērtējot konkrētos grunts apstākļus un nepieciešamo drenāžas sistēmas kalpošanas ilgumu.

## 13.7. Ģeosintētiskie materiāli un sistēmas zemes klātnes pastiprināšanai

Ģeosintētiskos materiālus zemes klātnes pastiprināšanai lietderīgi izmantot vājām gruntīm, kuru  $CBR \leq 3$ , vai augsts gruntsūdens līmenis, augsta ūdens jutība u.c. Šādos apstākļos ģeosintētiskie materiāli nodrošina vairākas funkcijas: atdalīšanu, lai nesajauktos zemes klātnes grunts ar ceļa segas pamata materiālu, filtrāciju, jo grunts ar  $CBR \leq 3$  parasti ir mitras un ūdens piesātinātas, un pastiprināšanu.

13.4. tabula. Ģeosintētisko materiālu pielietojums un funkcionalitāte

Pielietojums	Funkcijas	Grunts nestspēja	Grunts īpašības
Atdalīšana	Atdalīšana, filtrācija	$3 \leq CBR \leq 8$	Gruntis ar lielu māla un putekļu daļiņu saturu
Stabilizācija	Atdalīšana, filtrācija, pastiprināšana (īpaši, ja $CBR < 1$ ), transmisija	$CBR < 3$	Mitras, piesātinātas smalkas gruntis (putekļi, māls un organiskas gruntis)
Pamata pastiprināšana	Pastiprināšana, atdalīšana	$3 \leq CBR \leq 8$	Visi zemes klātnes apstākļi (pastiprinājums ap 15 – 30 cm no augšas)

Pielietojums	Funkcijas	Grunts nestspēja	Grunts īpašības
Drenāža	Transmisija, filtrācija, atdalīšana	nav piemērojams	Vāji drenējoša zemes klātnes grunts

Ģeosintētisko materiālu izmantošana vājās zemes klātnes gruntīs dod vairākus izmaksu un veiktspējas ieguvumus:

- Samazina spriegumus uz zemes klātņi (funkcija – pastiprināšana);
- Aizsargā ceļa segas pamata materiālu iespiešanos mīkstā zemes klātnes gruntī;
- Aizsargā no zemes klātnes grunts smalko daļiņu migrāciju augšup ceļa segas pamatā;
- Aizsargā ceļa segas pamata materiālu no piesārņošanās, ļaujot izmantot atvērtas gradācijas filtrējošu materiālu (funkcija – filtrēšana);
- Samazina aizvācamās vājās grunts apjomu (funkcija – atdalīšana un pastiprināšana);
- Samazina jaunā minerālmateriāla daudzumu, kas nepieciešams zemes klātnes stabilizācijai (funkcija – atdalīšana un pastiprināšana);
- Samazina iedarbību uz vājo zemes klātnes grunti būvniecības laikā (funkcija – atdalīšana un pastiprināšana);
- Laika gaitā paaugstina vājās grunts noturību (funkcija – filtrācija);
- Nodrošina vienmērīgāku atbalsta laukumu, samazinot sēšanās atšķirības, ja ceļa segu būvē uz dažādām gruntīm (no mīkstām līdz stingrām), kas palīdz nodrošināt ceļa seguma līdzenumu un viendabību (funkcija – pastiprināšana). Grunšu sēšanos konsolidācijas dēļ ar ģeosintētiskiem materiāliem nevar novērst vai atrisināt;
- Samazina ieguldījumus uzturēšanā, pagarina ceļa konstrukcijas dzīves ilgumu un nodrošina ceļa segas pamata/ zemes klātnes ilgtermiņa integritāti ceļa seguma atjaunošanas projektos (funkcijas – visas).

Ģeosintētisko materiālu izmantošana arī noturīgākās un stabilākās gruntīs ( $3 \leq \text{CBR} \leq 8$ ) dod gan izmaksu, gan veiktspējas ieguvumus:

- Nodrošina strukturālas un drenējošas īpašības, izmantojot ceļa segas pamata un zemes klātnes grunts materiālus ar atvērtāku gradāciju, samazinot grunts smalko daļiņu migrāciju augšup (funkcijas – atdalīšana un filtrācija);
- Paaugstina ceļa segas pamata/ zemes klātnes pretestību deformācijām (funkcija – pastiprināšana);

- Pagarina dzīves ilgumu vai paaugstina strukturālo noturību, uzlabojot drenāžu, ja tiek izmantotas, t.sk. ģeokompozītu drenas, vai ir kā daļa no ceļa drenāžas sistēmas (funkcijas – filtrācija un atdalīšana);
- Izmanto brīvi drenējošu akmeņu (šķembu) kārtas ar ģeotekstila filtru vai ģeokompozītu starp tām, nodrošinot kapilāru pārrāvumu un samazinot sala ietekmi sala jūtīgās gruntīs (funkcija – drenāža);
- Izveido pilnīgi vai daļēji izolētas grunts kārtas, lai samazinātu sezonālas ūdens satura izmaiņas uzbriestošās, mālainās gruntīs (funkcija – izolācija).

### 13.7.1. Ģeorežģi ceļiem ar nesaistītu segumu

Ģeorežģus lieto, lai atvieglotu būvniecību un paaugstinātu kalpotspēju zemas intensitātes ceļiem ar nesaistītu segumu. Šajā gadījumā ģeorežģa galvenā funkcija ir pastiprināšana, ka ļauj samazināt nepieciešamo minerālmateriālu daudzumu, pagarināt kalpošanas laiku un samazināt uzturēšanas izmaksas. Kā sekundāra funkcija ir atdalīšana.

Pamata kārtas biezuma aprēķins balstīts uz nestspēju, lai nepieļautu risu veidošanos virs noteiktajiem kritērijiem (75 mm).

$$h = \frac{0,868 + (0,661 - 1,006J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1,5} \log N}{[1 + 0,204((R_E - 1))]} \left( \sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\frac{S}{f_s} \left(1 - 0,9e^{-\left(\frac{r}{h}\right)^2}\right) f_c CBR_{sg}}} - 1 \right) r \quad (13.7.1.)$$

kur:

$$(0,661 - 1,006J^2) > 0$$

$h$  – nepieciešamais pamata kārtas biezums (m);

$J$  – stabilitātes modulis (N-m<sup>0</sup>);

$P$  – riteņa slodze (kN);

$r$  – riteņa projekcijas rādiuss (m);

$N$  – pārbraucošo asu skaits;

$R_E$  – moduļa pakāpe =  $E_{bc}/E_{sg} = 3,28 CBR_{bc}^{0,3} / CBR_{sg}$ , aprēķinos jālieto  $\leq 5$ ;

$E_{bc}$  – pamata kārtas elastības modulis (MPa);

$E_{sg}$  – zemes klātnes grunts elastības modulis (MPa);

$CBR_{bc}$  – pamata kārtas CBR;

$CBR_{sg}$  – zemes klātnes grunts CBR;

$f_s$  – risu dziļuma faktors;

$s$  – maksimālais risu dziļums (m);

$N_c$  – nestspējas faktors:

- 3,14 nepastiprinātiem ceļiem;
- 5,14 ceļiem, pastiprinātiem ar ģeotekstilu;
- 5,71 ceļiem, pastiprinātiem ar ģeorežģi;

$f_c$  – faktors, kas saistīts ar zemes klātnes mitras grunts CBR ( $c_u = 30$  kPa).

Metodes ierobežojumi:

- risu dziļums 50 – 100 mm;
- grunts  $CBR < 5$ ;
- $E_{sg} \leq 5$ ;
- maksimālais pārbraucienų skaits 10 000 ass slodzes;
- sprieguma membrānas efekts netiek ievērtēts, jo ir nenozīmīgs;
- ģeorežģa pastiprinājuma ietekme tiek novērtēta ar nestspējas faktoru  $N_c = 5,71$  un ģeorežģa stabilitātes moduli  $J$ ;
- ģeotekstila pastiprinājuma ietekme tiek novērtēta ar nestspējas faktoru  $N_c = 5,14$  un ģeorežģa stabilitātes moduli  $J = 0$ ;
- nepastiprinātām nesaistītām ceļa konstrukcijām risinājums būs derīgs ar nestspējas faktoru  $N_c = 3,14$  un stabilitātes moduli  $J = 0$ ;
- minimālais pamata kārtas biezums 10 cm.

Vispirms aprēķina ekvivalento riteņa kontakta rādīšus:

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi p}} \quad (13.7.2.)$$

kur:

$P$  – riteņa slodze (kN);

$r$  – riepas kontakta rādīšs (m);

$p$  – riepas spiediens (kN/m<sup>2</sup>).

Ja nepieciešams, definē mitras grunts bīdes pretestību.

Pēc tam pārbauda zemes klātnes grunts spēju uzņemt riteņa slodzi bez pastiprinājuma:

$$P_{h=0, nepastiprināta} = \left(\frac{s}{f_s}\right) \pi r^2 N_c c_u \quad (13.7.3.)$$

kur:

$P_h$  – grunts nestspējas kapacitāte (kN);

$s$  – pieļaujamais risu dziļums (mm);

$f_s = 75 \text{ mm}$ ;

$r$  – riepas kontakta rādiuss (m);

$N_c = 3,14$ ;

$c_u$  – mitras grunts bīdes pretestība (kN/m<sup>2</sup>).

Ja  $P < P_{h=0, nepastiprināta}$ , zemes klātnes grunts nestspēja ir pietiekama un pamata kārtā nepieciešama vismaz 10 cm biezumā.

Ja  $P > P_{h=0, nepastiprināta}$ , ir nepieciešams pastiprinājums, aprēķinot tā biezumu  $h$  saskaņā ar iepriekš doto formulu. Aprēķinā ieteicams iekļaut, gan ģeorezģa lietošanu, gan bez tā, lai būtu iespējams salīdzināt un novērtēt alternatīvu risinājumu izmaksas.

### 13.7.2. Ģeotekstilu izmantošana ceļiem ar saistītu segumu

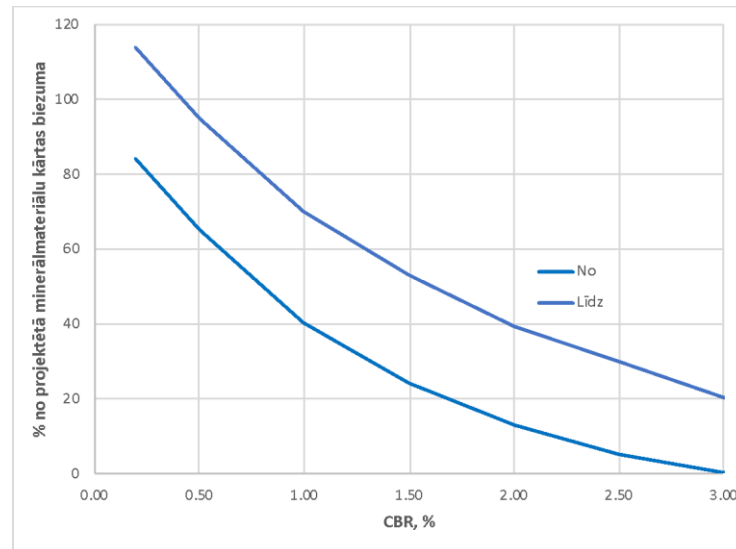
Ģeotekstilu var izmantot gan atdalīšanai, gan stabilizācijai.

Izskatot ģeosintētisko materiālu lietošanu zemes klātnes konstrukcijas stabilizācijai ceļiem ar saistītu segumu, veic sekojošo:

- Novērtē zemes klātnes grunts apstākļus un īpašības: veic grunts īpašību testus laboratorijā, t.sk. CBR, grunti klasificējot, kā arī nosaka augstāko gruntsūdens līmeni;
- Novērtē ģeotekstila izmantošanas nepieciešamību, pamatojoties uz grunts nestspēju ( $CBR \leq 3$ ) un iepriekšēju pieredzi ar līdzīgām gruntīm;
- Izstrādā zemes klātnes konstrukcijas risinājumus bez ģeotekstila izmantošanas;
- Nosaka nepieciešamību izmantot papildu minerālmateriālus zemes klātnes augšējā daļā, balstoties uz iepriekšēju pieredzi vai skatīt grafikā zemāk. Ja ir nepieciešams papildu minerālmateriāls, nosaka kārtas biezumu  $t_1$ , to samazina



par 50% un starp ceļa segas pamata apakšu un zemes klātnes virsmu paredz ģeotekstilu;



### 13.17. attēls. Minerālmateriālu kārtas samazinājums vājām gruntīm

- Nosaka stabilizācijai nepieciešamo minerālmateriālu papildkārtas biezumu  $t_2$ ;
- Nosaka  $N_c$ :
  - $N_c = 5$  nelielām risēm ( $< 50$  mm);
  - $N_c = 5,5$  vidējām risēm ( $50 - 100$  mm);
  - $N_c = 6$  lielām risēm ( $> 150$  mm)
 (salīdzinājumam bez ģeotekstila, attiecīgi:  $N_c = 2,8; 3,0$  un  $3,3$ );
- Salīdzina minerālmateriālu–ģeotekstila sistēmu biezumu  $t_2$  un  $50\%$   $t_1$ , izvēlas lielāko biezumu;
- Nosaka prasības ģeotekstila filtrācijai, izvērtējot grunts granulometrisko sastāvu, ūdens caurlaidību, gruntsūdens līmeni, kritēriji ir:
  - $AOS \leq D_{85}$  (austi ģeotekstili);
  - $AOS \leq 1,8D_{85}$  (neausti ģeotekstili);
  - $k_{\text{ģeotekstils}} \geq k_{\text{grunts}}$ ;
  - $\psi \geq 0,1s^{-1}$ ;
- Nosaka prasības ģeotekstila dzīves ilgumam, balstoties uz ģeotekstila stiprības rādītājiem, kā norādīts iepriekš;
- Izvēlas ģeotekstilu, kas nodrošina nepieciešamo dzīves ilgumu;
- Nosaka ieteikumus būvdarbu veikšanai.

### 13.7.3. Ģeorežģa izmantošanai pastiprināšanai ceļiem ar saistītu segumu

Ģeorežģus pastiprināšanai ceļu konstrukcijās galvenokārt lieto divās zonās: ceļa segas pamata pastiprināšanai un zemes klātnes pastiprināšanai. Pastiprinot ceļa segu, ģeoreģi novieto pastiprināmajā nesaistītajā kārtā vai kārtas apakšā, tādējādi tiek paaugstināta ceļa segas konstrukcijas transporta slodžu noturība. Pastiprinot zemes klātni, ģeorežģi izmanto pastiprinājuma platformas būvniecībā virs vājās grunts ( $CBR \leq 3$ ), lai atvieglotu un padarītu iespējamu ceļa segas konstrukcijas izbūvi un balstītu to bez pamatnes vājās grunts pārmērīgām deformācijām.

Ģeosintētisko materiālu izmantošana pastiprināšanai ietver sekojošo:

- Sākotnējo novērtējumu ģeosintētisko materiālu iespējamajai izmantošanai:
  - zemes klātnes grunts nestspēju;
  - nepieciešamās minerālmateriālu kārtas biezumu nepastiprinātai konstrukcijai;
  - grunts īpašības;
  - sezonālās mitruma svārstības;
  - pastiprināšanas iespējas un ģeosintētisko materiālu izmantošanas iespējas;
- ceļa segas konstrukcijas projektēšanu bez ģeosintētisko materiālu izmantošanas pastiprināšanai;
- potenciālo priekšrocību izpēti, pastiprināšanai izmantojot ģeosintētiskos materiālus;

13.5. tabula. Potenciālās ģeosintētisko materiālu izmantošanas iespējas pastiprināšanai ceļiem ar saistītu segumu

Grunts apstākļi		Ģeosintētiskā materiāla veids					
Zemes klātnes grunts	Ceļa segas pamata ar ģeotekstilu biezums (cm)	Ģeotekstils		Ģeorežģis <sup>1</sup>		Kompozīts	
		Neausts	Austs	Ekstrudēts	Lodēts vai austs	Atvērti gradēts pamats <sup>2</sup>	Labi gradēts pamats
CBR < 3	15 – 30	Pastiprinājums iespējams	Pastiprinājumu lieto bez ierobežojumiem	Pastiprinājumu lieto bez ierobežojumiem		Pastiprinājumu lieto bez ierobežojumiem	Visbiežāk nav pielietojams
	> 30	Pastiprinājums iespējams	Pastiprinājums iespējams	Lieto atsevišķos gadījumos	Lieto atsevišķos gadījumos	Lieto atsevišķos gadījumos	Visbiežāk nav lietojams
3 ≤ CBR ≤ 8	15 – 30	Nelieto	Lieto atsevišķos gadījumos	Pastiprinājumu lieto bez ierobežojumiem		Pastiprinājumu lieto bez ierobežojumiem	Visbiežāk nav lietojams
	> 30	Nelieto	Nelieto	Nelieto	Nelieto	Nelieto	Nelieto

<sup>1</sup> ar atvērti gradētu pamatu vai ar plānu pamatu virs mitras grunts, jālieto ģeotekstils atdalīšanai ar ģeorežģa pastiprinājumu

<sup>2</sup> iespējams, ka pamata kārtā tiek novietota tieši virs grunts

- Definē pastiprināšanas priekšrocības, pamatojot ar uzlabojumu līmeni transportam (SIL – TBR – Traffic Benefit Ratio) vai pamata kārtas biezuma samazinājumu (PBS – BCR – Base Course Reduction Factor), balstoties arī uz iepriekšēju pieredzi, lauka testiem un laboratorijas testu rezultātiem:
  - SIL – normatīvo ass slodžu pārbraucienu skaita attiecība, lai sasniegtu pieļaujamo defektu apjomu, starp nepastiprinātu konstrukciju un ar ģeosintētiskiem materiāliem pastiprinātu konstrukciju;
  - PBS – procentuālais kārtas biezuma samazinājums pastiprinātai ceļa segas konstrukcijai salīdzinājumā ar nepastiprinātu konstrukciju pie nosacījuma, ka tiek nodrošināta līdzvērtīga transporta kapacitāte;
- Veic pastiprinājuma projektēšanu:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,20 \quad (13.7.4.)$$

$$+ \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}}$$

$$+ 2,32 \log_{10}(M_R \times 145) - 8,07$$

kur:

$W_{18}$  – iespējamā transporta slodze (standartasu pārbraucieni);

$Z_R$  – standarta normāla novirze pie 95% atkārtojamības,  $Z_R = -1,282$ ;

$S_o$  – sandartnovirze = 0,49;

$SN$  – struktūrskaitlis;

$\Delta PSI$  – izmaiņas pašreizējā uzturēšanas indeksā;

$M_R$  – attiecīgi zemes klātnes vai pamata elastības modulis (MPa);

13.6. tabula. Struktūrskaitļa aprēķina piemērs

Materiāls	Biezums (cm)	Kārtas koeficients	Drenāžas koeficients	Struktūrskaitlis
	A	B	C	AxBxC
Asfalta virskārta	4,0	0,165	nav	0,66
Asfalta apakškārta	6,0	0,157	nav	0,94

Materiāls	Biezums (cm)	Kārtas koeficients	Drenāžas koeficients	Struktūrskaitlis
	A	B	C	AxBxC
Minerālmateriālu pamata virskārta	28,0	0,055	1,2	1,85
Ģeorežģis	Ekvivalentais SN priekš SIL =4			0,7
Zemes klātnes papildkārtas	15,0	0,039	0,7	0,41
Kopējais struktūrskaitlis (NS)				4,56

- Veic dzīves cikla izmaksu analīzi;
- Definē tehniskās specifikācijas lietojamajiem materiāliem un prasības izpildāmajiem būvdarbiem.

### 13.8. Ģeosintētiskie materiāli un sistēmas aizsardzībai

Ģeosintētiskie materiāli bieži vienlaikus pilda vairākas funkcijas. Piemēram, tie aizsargā ūdensnecaurlaidīgu membrānu un vienlaikus tās plaknē novada arī ūdeni. Šādā gadījumā mehāniskajai aizsardzībai ļoti svarīga ir ģeosintētiskā materiāla pretestība punkta slodzēm, savukārt ūdens novades nodrošināšanai svarīgas ir hidrauliskās īpašības.

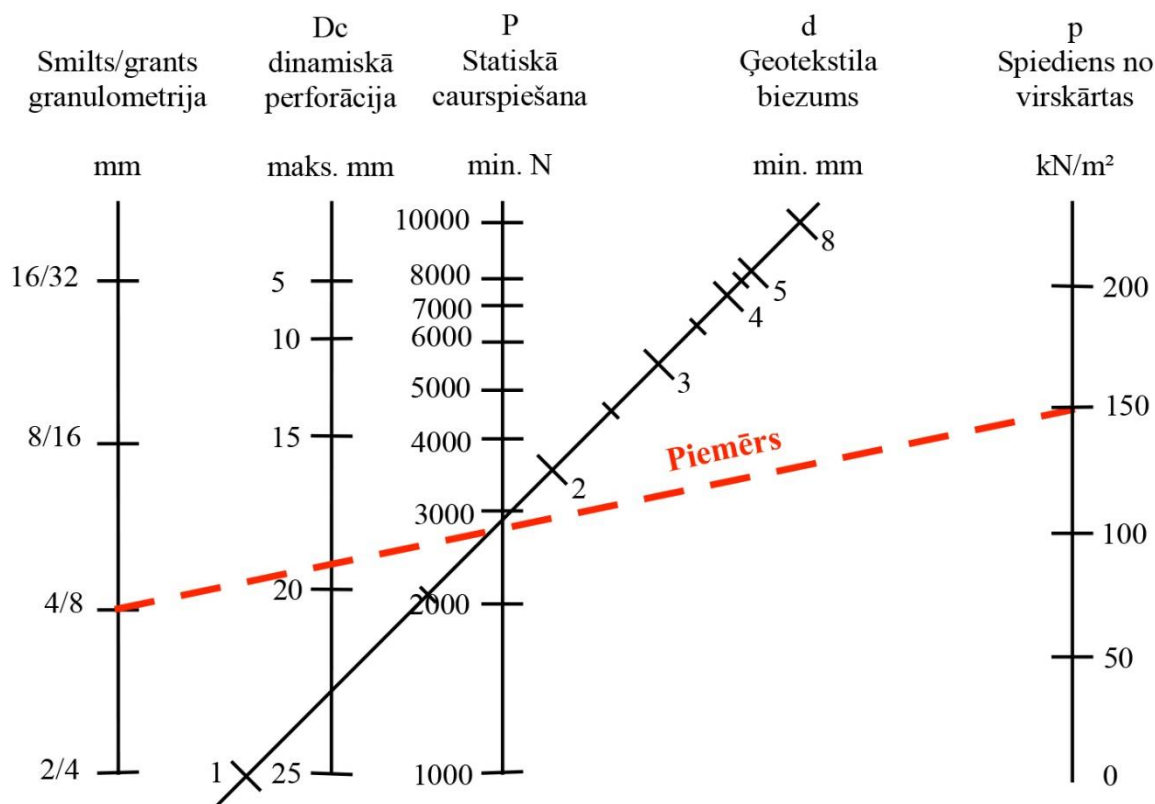
Tehniskajās specifikācijās ir jāparedz prasības, ievērtējot, ka galvenais mērķis ir aizsargāt konkrētu elementu vai materiālu, tāpēc būtiskākas ir mehāniskās īpašības, savukārt hidrauliskās īpašības ir mazāk svarīgas. Ģeosintētiskajam materiālam jāspēj atdalīt aizsargājamo materiālu no augšējo kārtu iedarbības, nepieļaujot tā bojājumus.

Ģeosintētisko materiālu svarīgākās īpašības aizsardzībai:

- Dc – dinamiskā perforācijas izturība (krītošā konusa tests) [mm] (maksimālā vērtība), testējot saskaņā ar LVS EN ISO 13433;
- P – statiskās caurspiešanas tests (CBR tests) [N] (minimālā vērtība), testējot saskaņā ar LVS EN ISO 12236;
- d – biezums pie 2 kPa [mm] (minimālā vērtība), testējot saskaņā ar EN ISO 964-1.

Ģeosintētiskā materiāla īpašības ir atkarīgas no šādiem minerālmateriāla parametriem:

- Granulometriskā sastāva;
- Slodzes no virsējiem materiāliem.



13.18. attēls. Prasības ģeosintētiskajiem materiāliem aizsardzībai

Dc, P un d nolasa, novelkot līniju no minerālmateriāla granulometrijas ass uz spiediena no virskārtas asi. Vertikāla slodze  $1 \text{ kg} \approx 10 \text{ N} \approx 0,01 \text{ kN}$ .

### 13.9. Ģeotekstili un sistēmas erozijas ierobežošanai

Ģeotekstilus izmanto nogāžu aizsardzībai, lai smazinātu to eroziju nokrišņu rezultātā: izskalojumu un noslīdējumu. Šādā gadījumā ģeotekstilu nogāzē iekļāj vienā vai vairākās kārtās ar filtrējoša minerālmateriāla starpkārtu.

Erozijas kontroles sistēma ar ģeosintētiskajiem materiāliem var būt nepieciešama pie ūdens krātuvēm, lai aizsargātu ceļa zemes klātnes nogāzes.

Arī dažādām hidrauliskajām būvēm, kā caurtekas, to ietece un iztece, kanāli u.c., var būt nepieciešama speciālu nostiprinājumu izveide ar ģeosintētiskajiem materiāliem, īpaši gadījumos, ja dabiska veģetācija nav pietiekama, vai esošās grunts ir ļoti jutīgas pret eroziju.

Piemēram, ģeosintētiskie erozijas paklāji vai trīsdimensiju matricas no sintētiskā auduma, tīkla vai sieta, kas nostiprina augu saknes un nodrošina izturību pret tekošu ūdeni nogāzēs, grāvjos, kanālos. Šie trīsdimensiju paklāji aizsargā esošo grunts un sēklas, kā arī saglabā mitrumu, tādējādi pasargājot un veicinot aizsargsējumu veģetāciju.

### 13.9.1. Projektēšanas kritēriji

Gadījumos gan ar ciklisku, gan dinamisku ūdens plūsmu, ja ģeotekstils nebūs ciešā kontaktā ar grunti, grunts daļiņas zem ģeotekstila var pārvietoties. Ģeotekstils ir nepieciešams, lai nepieļautu grunts smalko daļiņu caurskalošanos.

Gadījumos, ja ģeotekstilu erozijas sistēmās izmanto, piemēram, kādu savienojumu aizsardzībai, lai nodrošinātu caurlaidību un efektīvu ūdens plūsmu caur ģeotekstilu:

$$q_p = q_g \left( \frac{A_g}{A_t} \right) \quad (13.9.1.)$$

kur:

$q_p$  – nepieciešamā ūdens caurplūdes kapacitāte ( $m^2/s$ );

$q_g$  – ģeotekstila caurplūdes kapacitāte ( $m^2/s$ );

$A_g$  – ģeotekstila pieejamā platība plūsmai ( $m^2$ );

$A_t$  – ģeotekstila kopējā platība ( $m^2$ ).

Tā kā erozijas aizsardzības sistēmas bieži lieto nestabilās gruntīs gan ar ciklisku, gan pastāvīgu ūdens plūsmu, grunts hidrauliskie apstākļi pārsvarā ir smagi un nelabvēlīgi. Līdz ar to projektā atspoguļo patieso situāciju un apstākļus, veic grunts–ģeotekstila filtrācijas testus. Īpaši tas attiecas uz tādām gruntīm kā plūstoši putekļi, mainīgas struktūras gruntis, mainīgas smilšu–puteķļu gruntis, plūstošas māla gruntis, jebkādas kūdrainas vai dūņainas gruntis.

Sistēmas dzīvotspējas nodrošināšanai paredz ģeosintētiskos materiālus ar īpašībām, kas nodrošinās to ieklāšanu, tos nesabojājot. Parasti ģeosintētisko materiālu īpašības, izvēloties tos erozijas aizsardzībai, būs augstākas, nekā tos izvēloties, piemēram, kārtu atdalīšanai.

Lai paaugstinātu erozijas aizsardzības sistēmas funkcionalitāti, ir jāsalāgo ģeosintētisko materiālu un esošās grunts īpašības ar reālajiem hidrauliskajiem apstākļiem.

### 13.9.2. Projektēšanas principi

#### 13.9.2.1 Kritisko apstākļu identifikācija

Vispirms novērtē faktiskos apstākļus un iespējamo ietekmi, nosaka svarīgākos un mazsvarīgākos kritērijus:

- Vai aizsargājamās grunts ir vājas un nestabilas;
- Vai grunts pārsvarā ir puteklainas vai arī neviendabīgas smiltis;
- Vai erozijas aizsardzības sistēma ir pakļauta atkārtotošām vai cikliskām ūdens plūsmām, piemēram, viļņi vai plūdi;
- Vai aizsargājamajās gruntīs ir hidrauliskais gradients;
- Vai no grunts sūcas vai plūst ūdens, vai šādas ūdens plūsmas pārtraukšana rada augstu hidraulisko spiedienu;
- Ja uzbūvētajai erozijas aizsardzības sistēmai kalpošanas laikā radīsies bojājumi, vai pastāv risks, ka pārtrūks visas konstrukcijas dzīves cikls;
- Vai erozijas aizsardzības sistēma aizsargā konkrētu būvi vai bojājums būs tikai erozijas aizsardzības sistēmas strukturāls bojājums;
- Ja ģeotekstils aizsērēs, vai šis defekts būs bez sekām vai sekas būs katastrofālas;
- Vai erozijas aizsardzības sistēmas bojājumu izmaksas ievērojami pārsniegs sākotnējās būvniecības izmaksas.

Ja projekta ietvaros konstatē iepriekš minētos kritērijus, šādi apstākļi ir kritiski, un attiecīgi tos ievērtē projekta izstrādē.

#### 13.9.2.2 Nosaka grunts īpašības

- Granulometriskais sastāvs un daļiņu saturs zem 0,063 mm sieta;
- Plasticitātes indekss ( $I_p$ );
- Aprēķina  $C_u = \left(\frac{D_{60}}{D_{10}}\right)$ ;
- Nosaka  $D_{85}$  sliktākajai gruntij, t.i., mazākais  $B \times D_{85}$ .

Nosaka grunts caurlaidības koeficientu ( $k$ ):

- Izvēlas sliktāko grunti, t.i., grunti ar augstāko caurlaidības koeficientu:

tīras smiltis (zem 0,063 mm < 5%), ar  $D_{10} < 3$  mm un  $C_u < 5$  caurlaidības koeficientu  $k$  (cm/s) aprēķina pēc formulas  $k = (D_{10})^2$ . Šo formulu nevar lietot, ja grunts satur vairāk par 5% smalkās daļiņas.



13.7. tabula. Grunšu ūdens caurlaidības robežas

Materiāls	Hidrauliskā caurlaidība (cm/s)
Māls	$10^{-9} - 10^{-6}$
Putekļi, smilšaini putekļi, mālaina smilts, augsne	$10^{-6} - 10^{-4}$
Putekļaina smilts, smalkne	$10^{-5} - 0,001$
Smilts, labi gradēta smilts	$0,001 - 0,1$
Labi gradēta grants	$0,01 - 1$

1 m/diennaktī  $\approx 0,001$  cm/s

### 13.9.2.3 Aizsargmateriāls

Nosaka aizsarmateriālu, tā izmēru, izvietojumu un ieklāšanas tehniku (maksimālo pieļaujamo krišanas augstumu).

### 13.9.2.4 Plūsma

Nosaka paredzamo plūsmu caur erozijas aizsardzības sistēmu:

$$q = k \times i \times A \quad (13.9.2.)$$

kur:

$q$  – caurplūde ( $m^3/s$ );

$k$  – grunts efektīvā caurplūde;

$i$  – grunts vidējais hidrauliskais gradients;

$A$  – grunts un drenējošā materiāla normālā platība plūsmas virzienā ( $m^2$ ).

Specifiskos gadījumos hidrauliskie parametri, kas atkarīgi no nokrišņiem, straumēm un plūsmām, ūdens līmeņu izmaiņām, viļņu vai plūdu iedarbības, aprēķina atbilstoši konkrētajiem specifiskajiem apstākļiem.

### 13.9.2.5 Nosaka prasības ģeotekstilam

#### 13.9.2.5.1 Noturība

- Izmantojot iepriekš noteiktos  $D_{85}$  un  $C_u$ , nosaka lielāko pieļaujamo acu izmēru:

$$O_{95}(\text{ģeotekstils}) < B \times D_{85}(\text{grunts}) \quad (13.9.3.)$$

kur:

$B = 1$  – drošai projektēšanai.

Precīzai projektēšanai gruntīm ar daļiņu saturu zem  $0,063 \text{ mm} \leq 50 \%$ :

$$\left| \begin{array}{l} C_u \leq 2 \text{ vai } \geq 8 \\ B = 1 \end{array} \right. \quad (13.9.4.)$$

$$\left| \begin{array}{l} 2 \leq C_u \leq 4 \\ B = 0,5 C_u \end{array} \right. \quad (13.9.5.)$$

$$\left| \begin{array}{l} 4 < C_u < 8 \\ B = \frac{8}{C_u} \end{array} \right. \quad (13.9.6.)$$

Gruntīm ar daļiņu saturu zem  $0,063 \text{ mm} \geq 50 \%$ :

$B = 1$  – austiem ģeotekstiliem;

$B = 1,8$  – neaustiem ģeotekstiliem

un  $O_{95}(\text{ģeotekstils}) \leq 0,3 \text{ mm}$ .

Ja ģeotekstils un aizsargājamā grunts var pārvietoties, lieto  $B = 0,5$ .

#### 13.9.2.5.2 Caurlaidības kritērijs

- Mazāk kritiskām konstrukcijām:

$$\left| \begin{array}{l} k_{\text{ģeotekstils}} \geq k_{\text{grunts}} \end{array} \right. \quad (13.9.7.)$$

- Kritiskām konstrukcijām:

$$\left| \begin{array}{l} k_{\text{ģeotekstils}} \geq 10 \times k_{\text{grunts}} \end{array} \right. \quad (13.9.8.)$$

- caurlaidības  $\psi$  prasības:

- ja zem zem  $0,063 \text{ mm} < 15 \%$  –  $\psi \geq 0,7 \text{ s}^{-1}$

- ja zem zem  $0,063 \text{ mm} 15 - 50 \%$  –  $\psi \geq 0,2 \text{ s}^{-1}$

- ja zem zem  $0,063 \text{ mm} > 50 \%$  –  $\psi \geq 0,1 \text{ s}^{-1}$

### 13.9.2.5.3 Prasības plūsmas kapacitātei

$$q_{\text{ģeotekstils}} \geq \left(\frac{A_t}{A_g}\right) \times q_p \quad (13.9.9.)$$

vai:

$$\left(\frac{k_{\text{ģeotekstils}}}{t}\right) \times h \times A_g \geq q_p \quad (13.9.10.)$$

kur:

$q_p$  – caurplūde (m<sup>3</sup>/s) – noteikta iepriekš;

$k_{\text{ģeotekstils}} / t = \psi$  – caurlaidība (s<sup>-1</sup>);

$h$  – vidējais augstums (m);

$A_g$  – ģeotekstila piejamais laukums caurplūdei, piemēram, ja 50% no ģeotekstila laukuma ir noklāta ar plakaniem akmeņiem,  $A_g = 0,5$  no kopējā laukuma (m<sup>2</sup>);

$A_t$  – ģeotekstila kopējais laukums (m<sup>2</sup>).

### 13.9.2.5.4 Aizsērēšanas kritēriji

- Gruntīm ar  $C_u > 3$  nosaka minimālo acu izmēru:

$$O_{95} \geq 3 \times D_{15} \quad (13.9.11.)$$

- Gruntīm ar  $C_u < 3$  izvēlas ģeotekstilu ar maksimālo acu izmēru;

- Citi kritēriji:

13.8. tabula. Citi kritēriji

Daļiņu saturs zem 0,063 mm sietā	> 5 %	< 5 %
Austie monošķiedru ģeotekstili: atvērtā platība procentos	≥ 4 %	≥ 10 %
Neaustu ģeotekstili: porainība	≥ 50 %	≥ 70 %

- Alternatīvi var tikt veikta arī filtrācijas testēšana.

#### 13.9.2.5.5 Lietojamība un izturība

Ģeotekstila īpašības jānosaka arī ņemot vērā paredzamo būvniecības specifiku un apstākļus, lai nodrošinātu, ka ģeotekstils netiek bojāts būvniecības norises procesā.

### 13.10 Ģeosintētisko materiālu iestrāde

Lai ģeosintētisko materiālu izmantošana dažādos risinājumos un struktūrās būtu sekmīga, tiktu nodrošināta paredzētā funkcionalitāte un ilgzturība, nepieciešama rūpīga un pareiza to iebūve paredzētajās konstrukcijās un vietās.

#### 13.10.1. Ieklāšana

Vispirms paredzamo ģeosintētisko materiālu ieklāšanas vietu attīra, sakārto un veic nepieciešamos zemes darbus, novācot nederīgās gruntis, izlīdzinot, sablīvējot u.c., lai iegūtu paredzētos kritumus un augstuma atzīmes.

Pēc tam, kad ģeosintētiskā materiāla ieklājamā platība ir sagatavota, ģeosintētisko materiālu izrullē tā instalācijas vietā ceļa garenvirzienā. Ja lieto kopā ģeotekstilu un ģeorežģi, tad ģeorežģi novieto tieši uz ģeotekstila. Ģeosintētisko materiālu nedrīkst vilkt pa grunti. Ģeosintētiskā materiāla rulli novieto paredzētajā vietā un izrullē, cik vien vienmērīgi iespējams. Krunkas un ieloces, ja nepieciešams, likvidē, ģeosintētisko materiālu nostiepjot un nostiprinot pēc vajadzības.

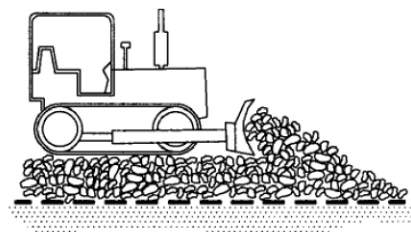
Paralēlos ģeosintētisko materiālu ruļļus ieklāj ar pārklājumu, sašuj vai savieno atbilstoši konkrētām prasībām.

Pagriezienos (līkumos, līknēs) ģeosintētisko materiālu ieklāj ielokot vai ar pārklājumu no atsevišķiem gabaliem pagrieziena virzienā. Ģeotekstila ieloces sastiprina, piemēram, ar naglām ik pa 0,6 m. Ģeorežģi sagriež gabalos un ieklāj ar pārklājumu pagrieziena virzienā.

Ja esošie ģeosintētiskie materiāli savienojas ar esošo konstrukciju, pievienojamos materiālus pagarina virzienā uz esošo ģeosintētisko materiālu malu. Vislabāk ir daļēji atrakt esošo konstrukciju un mehāniski savienot esošos un jaunus ģeosintētiskos materiālus, tos sašujot, sasienot vai savādāk atbilstoši paredzētajam, piemēram, ar pārklājumu, skavām vai tapām.

Pirms ieklāto ģeosintētisko materiālu pārklāšanas ar minerālo materiālu, pārbauda, vai ieklātais ģeosintētiskais materiāls nav bojāts. Ja konstatēti bojājumi, virs bojātās vietas ieklāj jaunu ģeosintētisko materiālu, pārklājot bojāto vietu visos virzienos. Var arī veikt bojātā ģeosintētiskā materiāla nomaiņu ar jaunu.

Ieklāto ģeosintētisko materiālu apber no "gala". Pa ģeosintētisko materiālu nedrīkst braukt. Minimālais uzberamās kārtas biezums virs ģeosintētiskajiem materiāliem ir no 15 līdz 30 cm, atkarībā no grunts faktiskās nestspējas pamatnē. Uzberamās kārtas kopējam izbūves biezumam jāatbilst projekta tehnisko specifikāciju prasībām. Pēc minerālā materiāla uzbēršanas un izlīdzināšanas to sablīvē. Transporta kustību var atklāt tikai pa sablīvētu uzbērto kārtu, ja tas nerada bojājumu draudus zemas nestspējas grunšu dēļ pamatnē. Maksimāli pieļaujama risu dziļums ir 75 mm, ja risas ir dziļākas, samazina pāri braucošā transportlīdzekļu masu vai uzbūvē papildu kārtu. Piemēram, transportlīdzekļos piegādājamus minerālmateriālus var bērt nevis pilnu kravu, bet puskravu.



### 13.19. attēls. Ieklātā ģeosintētiskā materiāla apbēršana un uzbērtā materiāla izlīdzināšana

Pirmais uzbērtās minerālmateriālu kārtas pieblīvējums tiek iegūts ar dozējamo vai izlīdzināšanas tehniku. Pēc tam veic blīvēšanu ar gludo valču vibroveltni, lai iegūtu minimāli nepieciešamo blīvumu. Ja pamatnes grunts ir ļoti vāja, pirmo uzbērto slāni nevarēs sablīvēt, un

šādā gadījumā prasības sablīvējumam pirmajam uzbērtajam slānim būtu jāsamazina, ieteicams, par 5% zemāk par prasīto minimālo Proktora blīvumu.

Būvdarbus veic paralēli ceļa virzienam. Apgriešanos uz pirmā uzbērtā slāņa nebūtu jāatļauj. Apgriešanās vietas plāno un ierīko ceļa malās.

Ja pamatnes grunts ir ļoti vāja un ģeosintētiskie materiāli paredzēti pastiprināšanai, ģeosintētiskos materiālus nospriego. Piemēram, pēc pirmā slāņa uzbēršanas piebraukā ar uzkrautu transportlīdzekli ar gumijas riepām, nepārsniedzot maksimālo pieļaujamo slodzi konkrētajam objektam vai palaižot transporta kustību pirms pamata vai seguma būvniecības.

Būvniecības laikā izveidojušās risu vietas papildus aizpilda ar tādu pašu materiālu. Risu vietas nedrīkst likvidēt "nogriežot" blakus esošo materiālu, jo tas var samazināt ģeosintētiskos materiālus nosedzošās kārtas biezumu.

Vienā tvērienā uzbūvējamā slāņa biezums nedrīkst pārsniegt 25 cm, un tas jāsablvē, nodrošinot tehniskajās specifikācijās paredzēto blīvumu.

### 13.10.2. Ģeosintētisko materiālu savienojumi

Ģeosintētiskos materiālus savienojumos var pārklāt. Pārklājumam ir jābūt pietiekamam, lai tas nodrošinātu viendabīgu funkcionalitāti visā platībā, nepieļautu augšējo un apakšējo materiālu sajaukšanos. Savienojuma platums vispirms ir atkarīgs no pamatnes grunts īpašībām.

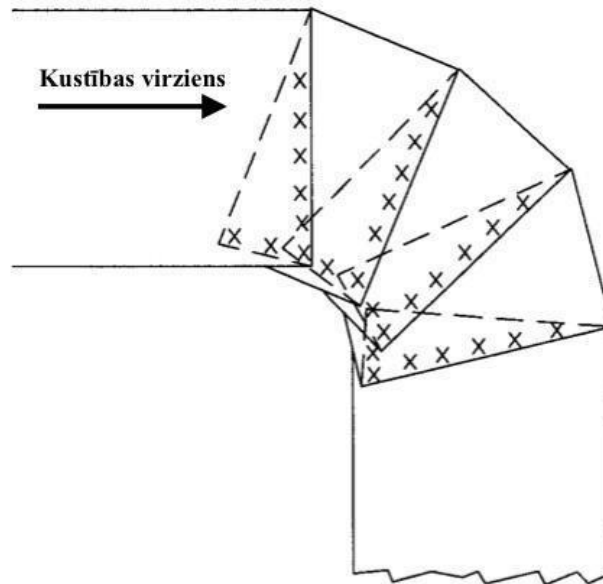
13.9. tabula. Ieteicamie minimālie ģeotekstila pārklājumi

CBR	Minimālais pārklājums
> 2	30 – 45 cm
1 – 2	60 – 90 cm
0,5 – 1	90 cm vai sašūt
< 0,5	sašūt
Ruļļu galu savienojumi	90 cm vai sašūt

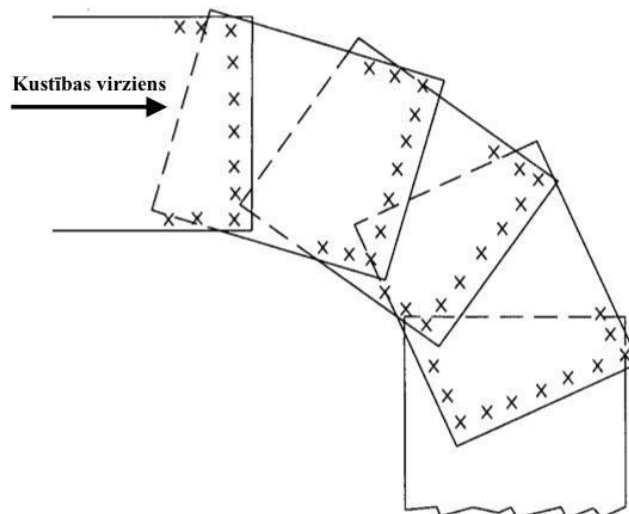
Ģeorežģus savienojumos nevarēs sašūt, tāpēc lieto cita savienošanas metodi, piemēram, sastiprinot ar skavām.

Ģeosintētisko materiālu pārklājumus, lai nodrošinātu to noturību būvniecības laikā, var sastiprināt ar skavām vai naglām.

Ruļļu platumu un izvietojumu plāno lai savienojumi būtu ceļa brauktuves vidū vai nomalēs. Pārklājumus nevajadzētu paredzēt risu vietās. Ruļļu galu savienojumiem jābūt minerālmateriālu uzbēršanas virzienā (pirmais rullis augšpusē, pievienojamais rullis apakšā).



13.20. attēls. Ģeotekstila ieklāšana pagriezienos ar ielocīšanu



13.21. attēls. Ģeotekstila vai ģeoražģa ieklāšana pagriezienos, izmantojot sagrieztus gabalus



### 13.11. Specifikācijas

Ģeosintētisko materiālu un izstrādājumu galvenās funkcijas ceļu būvē ir filtrācija, atdalīšana un pastiprināšana. Konstruktijā var būt integrēta arī drenāžas vai erozijas novēršanas sistēma. Tā kā atdalīšanas funkcija vienmēr tiek izmantota kopā ar citu funkciju, tehniskajā specifikācijā atdalīšanas funkciju nenorāda atsevišķi.

Tehniskajās specifikācijās definē ģeosintētisko materiālu atbilstošās funkcijas un lietošanas apstākļus.

13.10. tabula. Lietošanas veidam atbilstoša standarta izvēle

Nr. p.k.	Lietojums	Standarts	Drenāža	Erozijas kontrole	Tuneļi un pazemes būves	Zemes darbi, pamati un balsti
1.	Ceļi un citas brauktuvju būves	LVS EN 13249	LVS EN 13252	LVS EN 13253	LVS EN 13256	ja $H < H_c$ : LVS EN 13249 ja $H > H_c$ : LVS EN 13251
2.	Dzelzceļš	LVS EN 13250				ja $H < H_c$ : LVS EN 13250 ja $H > H_c$ : LVS EN 13251
3.	Ūdens krātuves un dambji	LVS EN 13254				LVS EN 13251
4.	Kanāli	LVS EN 13255				
5.	Cieto atkritumu krātuves	LVS EN 13257				
6.	Šķidro atkritumu krātuves	LVS EN 13256				
7.	Tuneļi un pazemes būves	LVS EN 13256			Nav piemērojams	
8.	Zemes darbi, pamati un balsta konstrukcijas	LVS EN 13251			Nav piemērojams	Nav piemērojams

H – konstrukcijas augstums.

$H_c$  – autoceļiem un citām satiksmes platībām: augstums, kur dominē transporta slodze; dzelzceļiem: augstuma starpība starp sliežu apakšējo vietu un zemes klātni (platformu).

Ģeosintētisko materiālu raksturojumi, to atbilstība izmantošanas nosacījumiem un testēšanas metodēm, norādīti 13.11. tabula, kurā ir iekļauti būtiskie raksturlielumi, kas atbilst visiem lietošanas apstākļiem (A), un tādi, kuri atbilst specifiskiem lietošanas apstākļiem (S). Norāde "–" nozīmē, ka raksturlielums neattiecas uz šo funkciju. Ja attiecībā uz kādu raksturlielumu ir jāsniedz dati vairāk nekā par vienu funkciju, ievēro šādu prioritāro secību: "A" atceļ "S", un "S" atceļ "–".

13.11. tabula. Ceļu un citu brauktuvju būvē lietojamie ģeosintētiskie materiāli, to funkcijas un ar funkcijām saistītie raksturlielumi un lietojamās testa metodes

Nr. p.k.	Raksturlielumi	Testa metode	Funkcijas		
			Filtrācija	Atdalīšana	Pastiprināšana
1	Stiepes izturība	LVS EN ISO 10319	A	A	A
2	Pagarinājums pie maksimālās slodzes	LVS EN ISO 10319	A	A	A
3	Stingums pie 2%, un 10 %	LVS EN ISO 10319	–	–	S
4	Šuvju un savienojumu stiepes izturība <sup>c d</sup>	LVS EN ISO 10321	S	S	S
5	Statiskās caurdures pretestība (CBR tests) <sup>a b</sup>	LVS EN ISO 12236	S	A	A
6	Dinamiskā caursišanas pretestība (krītošā konusa tests <sup>a</sup> )	LVS EN ISO 13433	A	A	A
7	Berze	LVS EN ISO 12597-1 LVS EN ISO 12597-2	S	S	S
8	Stiepes slīde	LVS EN ISO 13431	–	–	S
9	Izturība pret bojājumiem uzstādīšanas laikā	LVS EN ISO 10722	S	S	S
10	Raksturīgais atvēruma izmērs	LVS EN ISO 12956	A	A	–
11	Ūdens caurlaidība normālai plaknei (ātruma indekss)	LVS EN ISO 11058	A	A	S
12	Ilgizturība	LVS EN 13249 B pielikums	A	A	A

A – attiecas uz visiem lietošanas apstākļiem.

S – attiecas uz konkrētiem lietošanas apstākļiem.

– neattiecas uz šo funkciju.

<sup>a</sup> – Caurdures pretestības tests var nebūt piemērots dažiem produktu tipiem, piemēram > GGR, GCO-R un GST.

<sup>b</sup> – Ja mehāniskās īpašības (stiepes izturības robeža un caurdures pretestība) šajā tabulā ir apzīmētas ar burtu "A", projekta tehniskajās specifikācijā parasti pietiek ar viena raksturojuma – stiepes izturības robežas vai caursiētes pretestības izmantošanu.

<sup>c</sup> – Ģeosintētisko materiālu šūnu iekšējo savienojumu stiepes izturību testē saskaņā ar LVS EN ISO 13426-1.

<sup>d</sup> – Ģeokompozītu iekšējo savienojumu stiepes izturību testē saskaņā ar LVS EN ISO 13426-2.

Dati par stingumu 2%, 5% un 10% (cietību) nepieciešami pastiprināšanas funkcijai, ja nepieciešams novērtēt struktūras deformāciju.

Dati par šuvju un savienojumu stiepes izturību nepieciešami visām funkcijām, ja izstrādājumu mehāniski savieno vai slodze tiek nodota pa savienojumiem un šuvēm.

Dati par statisko caurduri vai (kā alternatīva) par stiepes izturību attiecībā uz filtrācijas funkciju nepieciešami, ja konstrukcijas slodzes apstākļi ir tādi, ka pastāv filtra kārtas statistiskas caurdures risks.

Dati par berzes raksturlielumiem nepieciešami atdalīšanas un filtrācijas funkcijai, ja ģeosintētiskos materiālus izmanto situācijā, kad starp ģeosintētisko materiālu un blakus materiālu var rasties diferenciāla kustība, kas apdraud darba stabilitāti. Berzes raksturlielumus izmēra, izmantojot būvobjektam raksturīgus materiālus, ar tiešas berzes testu atbilstoši standartam EN ISO 12957-1 vai, ja slodze ir līdz 5 kPa, ar slīpas plaknes testu atbilstoši standartam EN ISO 12957-2. Jāņem vērā arī berzes iedarbība uz apkārtējiem materiāliem, piemēram, grunti vai ģeosintētisko izolāciju.

Datus par stiepes slīdi izmanto, lai norādītu izturību pret pastāvīgu slodzi, kad izstrādājums izpilda pastiprināšanas funkciju.

Izturības pret bojājumiem uzstādīšanas laikā novērtēšanai izmanto standartu LVS EN ISO 10722 kā ideksa testu, norādot izstrādājumu relatīvo veikspēju. Testējot ar grunti un būvobjektam raksturīgajos apstākļos, iegūst konkrētam projektam vispiemērotākos rezultātus.

Dati par ūdens caurlaidību normālai plaknei nepieciešami, ja pastiprināta konstrukcija ir pakļauta ūdens plūsmai.

Var būt nepieciešama pārbaude attiecībā uz bīstamajām vielām, to izdalīšanos un sastāvu, ja to nosaka likumdošana. Jāņem vērā spēkā esošie normatīvie akti par izdalīšanās/sastāva pārbaudīšanu un paziņošanu.

Ģeosintētisko materiālu ilgizturību novērtē atbilstoši LVS EN 13249 B pielikuma prasībām.

## **13.12. Izejas dati dzīves cikla izmaksu analīzei**

### **13.12.1. Cenas un izmaksas**

Izmaksu analīzei lieto aktuālās būvdarbu un materiālu kopējās prognozējamās izmaksas. Tabulā norādītas vienas vienības VAS "Latvijas Valsts ceļi" aprēķinātās vidējās cenas 2017. gadā.

13.12. tabula. Vidējās būvdarbu un materiālu izmaksas 2017. gadā (saskaņā ar VAS "Latvijas Valsts ceļi" apkopotajiem datiem)

Nr.	Darba veida nosaukums	Mērv.	Daudzums	Izmaksas, EUR bez PVN
1.	Armēšana ar kombinēto ģeotekstila un ģeorežģu kompozītu	m <sup>2</sup>	1	2,00
2.	Ģeotekstila izbūve zem ceļa segas konstrukcijas	m <sup>2</sup>	1	1,93
3.	Ģeorežģis stabilizācijai (pārlaidums 0,50 m)	m <sup>2</sup>	1	2,79
4.	Nogāžu nostiprināšana ar kokosa preterozijas paklāju	m <sup>2</sup>	1	3,69
5.	Nogāžu nostiprināšana ar šūnveida ģeorežģi h = 10 cm	m <sup>2</sup>	1	9,34
6.	Nogāžu nostiprināšana ar polipropilēna trīsdimensiju preterozijas paklāju	m <sup>2</sup>	1	4,79
7.	Nogāžu nostiprināšana ar preterozijas paklāju	m <sup>2</sup>	1	3,33
8.	Nogāžu nostiprināšana ar ģeopaklāju un fracionētām šķembām 20 cm biezumā uz ģeotekstila	m <sup>2</sup>	1	14,02
9.	Nogāžu nostiprināšana ar ģeopaklāju	m <sup>2</sup>	1	6,85
10.	Nogāzes ietīšana ģeotekstilā	m <sup>2</sup>	1	2,69
11.	Nogāzes ietīšana ģeorežģī	m <sup>2</sup>	1	3,98

### 13.12.2. Izmaksu aprēķina algoritms

Izmaksu aprēķina algoritms elektroniskā formātā atrodams rokasgrāmatas pielikumā. Algoritmā visas šūnas, izņemot nepieciešamās šūnas datu ievadei, ir bloķētas. Ja nepieciešams papildināt vai modificēt aprēķina algoritmu, parole šūnu atbloķēšanai ir "123".

## 14. DZĪVES CIKLA IZMAKSU ANALĪZE (LCCA)

### 14.1. Vispārējie principi

Visbiežāk konkrēta risinājuma izvēles galvenais nosacījums ir izmaksas. Daudzos gadījumos galvenais izvēles kritērijs ir būvniecības izmaksas. Zemas būvniecības izmaksas bieži vien var būt saistītas ar nepieciešamām lielām uzturēšanas izmaksām, kas ilgtermiņā ir dārgāk, nekā izvēloties risinājumu ar augstākām būvniecības izmaksām, bet zemām uzturēšanas izmaksām. Līdz ar to, lai izvēlētais zemes klātnes pastiprināšanas būvniecības risinājums būtu racionāls un visekonomiskākais, iepriekš projektē vairākas prasībām atbilstošas zemes klātnes grunts pastiprināšanas metodes ar līdzvērtīgu efektivitāti un veic katras izvēlētas metodes pilna dzīves cikla (visām metodēm noteikts vienāds laika nogrieznis) analīzi, tādējādi iegūstot iespēju ar pamatotu lēmumu izvēlēties atbilstošu lētāko risinājumu.

*LCCA (life cycle cost analysis – dzīves cikla izmaksu analīze)* izstrādāta, lai pasūtītāji un būvprojektu izstrādātāji varētu veikt dažādu zemes klātnes grunts pastiprināšanas risinājumu objektīvu ekonomisko salīdzināšanu un lai izvēlētos ilgtermiņā ekonomiski izdevīgāko un efektīvāko risinājumu.

*LCCA* ir ekonomiska metode, lai salīdzinātu alternatīvus, mērķim atbilstošus risinājumus un izvēlētos risinājumu ar zemākajām izmaksām. Dzīves cikla izmaksas ietver visas būves izmaksas visā būves kalpošanas periodā. Izmaksas ietver:

- Sākotnējās būvniecības izmaksas;
- Nākotnes uzturēšanas, atjaunošanas un pārbūves izmaksas;
- Ceļa lietotāju izmaksas;
- Vispārējās izmaksas, ievērtējot apgrūtinājumus lietotājiem.

Dzīves cikls sākas, kad uzsāk būvniecību, un beidzas, kad sākotnējā uzbūvētā struktūra vairs nav kalpotspējīga un ir nepieciešama tās atjaunošana vai pārbūve, vai pieņemts kāds garāks periods, ja tas nepieciešams.

### 14.2. LCCA komponenti

#### 14.2.1. LCCA periods un diskonta likme

*LCCA* minimālo periodu gadījumos, ja tiek veikta jauna ceļa būvniecība vai esošā ceļa segas pārbūve, ieteicams noteikt 40 gadi.

LCCA minimālo periodu gadījumos, ja tiek veikta ceļa segas pastiprināšana vai atjaunošana, ieteicams noteikt 20 gadi.

Diskonta likmi aprēķiniem ieteicams pieņemt 4% (0,04). Diskonta likme jāpieņem atbilstoši noteiktajām makroekonomisko pieņēmumu un prognožu skaitliskajām vērtībām (šobrīd aktuālās skatīt:

[http://www.fm.gov.lv/files/publiskapriyatapartneriba/180412\\_info\\_FEA.pdf](http://www.fm.gov.lv/files/publiskapriyatapartneriba/180412_info_FEA.pdf)). Vai, ja nepieciešams, faktisko diskonta likmi aprēķina pēc formulas [113]:

$$i = \left[ \frac{(1+i_b)}{(1+i_{infl})} \right] - 1, \text{ vai } i = \frac{[b-infl]}{100} \quad (14.2.1.)$$

kur:

$i$  – diskonta likme – % daļas;

$i_b$  – bankas procentu likme – % daļas vai  $b$  – bankas procentu likme – %;

$i_{infl}$  – inflācija – % daļas vai  $infl$  – inflācija – %.

Diskonta likmi piemēro visām nākotnes izmaksām atbilstoši paredzētajai nepieciešamībai.

Visām izvēlētajām metodēm aprēķinos lieto vienādu LCCA periodu un vienādu diskonta likmi.

#### 14.2.2. Pieņēmumi un konstantes

Ja savstarpējam novērtējumam alternatīvi izvēlētie zemes klātnes pastiprināšanas risinājumi neprasa būtiski mainīt ceļa segas konstrukciju, tad ceļa segas konstrukciju aprēķinos var pieņemt kā konstantu vērtību, ņemot vērā paredzētās ceļa noslodzes (ekvivalentās ass slodzes) atbilstoši paredzētajam seguma tipam.

Ceļa segas un zemes klātnes uzturēšanas un atjaunošanas izmaksas – pieņem saistībā ar nepieciešamajām ceļa segas un zemes klātnes remontu izmaksām, kas izsauktas ar zemes klātnes pastiprinājuma kalpotspējas kritumu LCCA periodā.

Izmaksu noteikšanai ieteicams lietot pēc iespējas aktuālākus datus par izmaksām, kā arī, ja nepieciešams, ievērtē zināmās aktuālās un adekvātās nākotnes prognozes.

#### **14.2.3. Jūtīguma analīze**

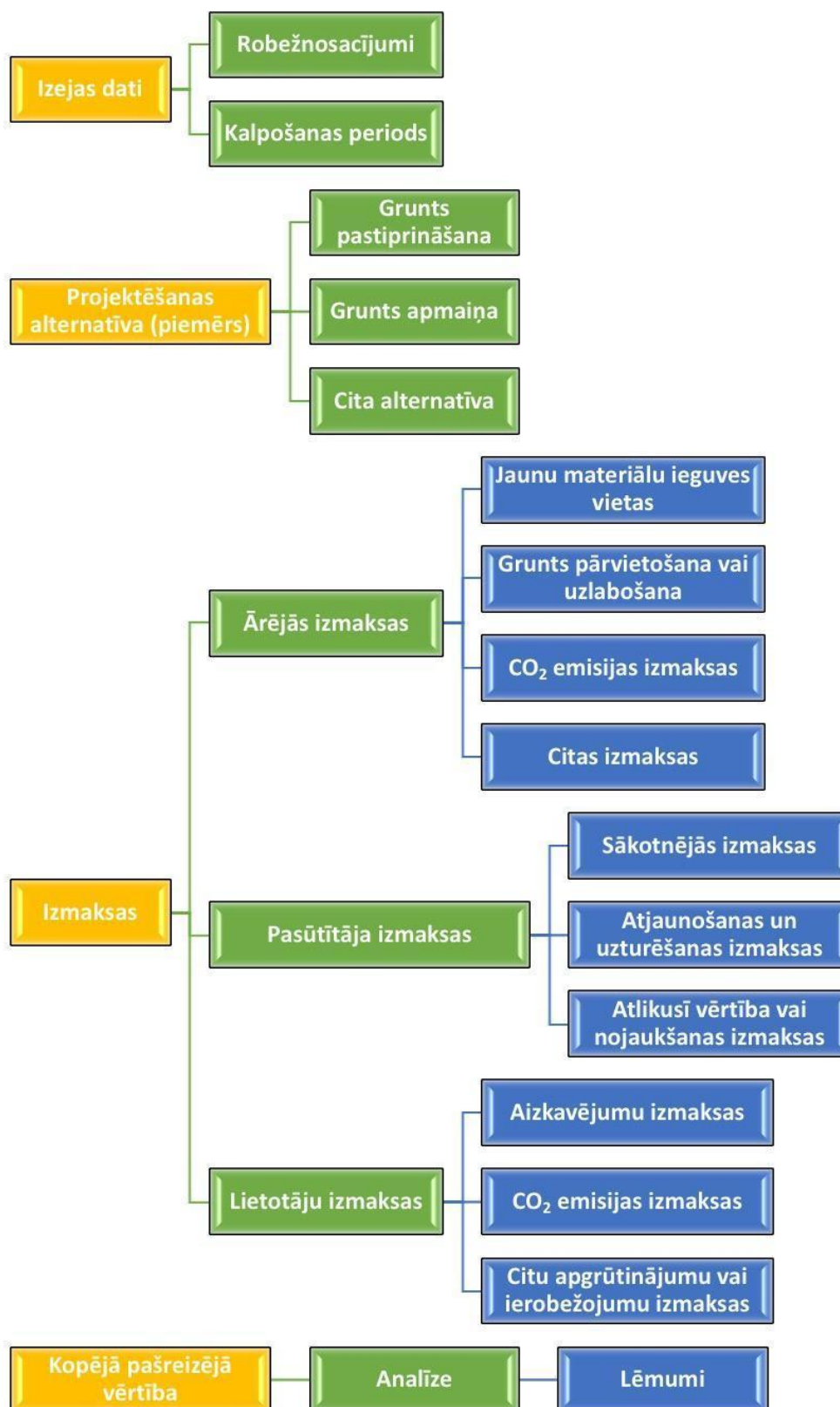
Veicot jebkādu aprēķinu vai analīzi, noskaidro, kurš faktors vai kuru faktoru kopums visvairāk ietekmē galarezultātu. Piemēram, ceļa segu aprēķinos rezultātu visbūtiskāk ietekmē zemes klātnes pamatnes nestspēja un transporta slodžu lielums. Grunšu dziļās stabilizācijas (zemes klātnes pastiprināšanas) gadījumā rezultātu visbūtiskāk ietekmēs sākotnējās izmaksas un izvēlēta konstruktīvā risinājuma dzīves cikla ilgums.

LCCA rezultātus var ietekmēt arī izvēlētais aprēķina periods un laiks, kas nepieciešams konkrētu darbu un pasākumu veikšanai.

Liela ietekme uz aprēķinu rezultātiem ir pieņemtajai vai aprēķinātajai diskonta likmei, tāpēc, nosakot lietojamo diskonta likmi aprēķinos, rūpīgi jāizvērtē tās pamatotība un atbilstība faktiskajai konkrētajai situācijai.



### 14.3. LCCA izmaksu aprēķins



14.1. attēls. LCCA modeļa shematiskas diagrammas piemērs [114]

### 14.3.1. Robežnosacījumi un kalpošanas periods

Vispirms, balstoties uz izpētes un veiktās testēšanas datiem, izvēlas iespējamās alternatīvos zemes klātnes pastiprināšanas risinājumus. Piemēram, alternatīvi var lietot vai nu grunts apmaiņu, vai grunts stabilizāciju ar hidrauliskajām saistvielām, vai tās pastiprināšanu ar ģeosintētiskajiem materiāliem.

Formulē dažādus iespējamās robežnosacījumus, piemēram, objekta novietojumu, pieejamību, piekļuves iespējas blakus teritorijām u.c., no kā var būt atkarīga iespējamo alternatīvu izvēle.

Identificē paredzamos konkrēto risinājumu kalpošanas periodus – paredzamo kalpošanas periodu pēc uzbūvēšanas, nosakot arī nepieciešamo atjaunošanas un uzturēšanas periodiskumu.

Visus minētos identificētos faktorus attiecīgi ievērtē tālākajos aprēķinos.

### 14.3.2. Ārējās izmaksas būvdarbu laikā

#### 14.3.2.1. Izmaksas, kas saistītas ar jaunu materiālu ieguves vietām

Šīs izmaksas var būt iekļautas arī būvniecības un atjaunošanas izmaksās.

$$AI_{JM} = \sum JMD \times JM \quad (14.3.1.)$$

kur:

$AI_{JM}$  – izmaksas, kas saistītas ar jaunu materiālu ieguves vietām;

$JMD$  – jaunu materiālu daudzums –  $m^3 / t$ ;

$JM$  – izmaksa –  $EUR/(m^3 / t)$ .

#### 14.3.2.2. Izmaksas, kas saistītas ar grunts pārvietošanu vai/ un uzlabošanu objektā

Darbi, materiāli, piedevas, saistvielas u.c. Šīs izmaksas var būt iekļautas arī būvniecības un atjaunošanas izmaksās.

$$AI_{MO} = \sum OMD \times MO \quad (14.3.2.)$$

kur:

$AI_{MO}$  – izmaksas, kas saistītas ar grunts pārvietošanu vai/ un uzlabošanu objektā;

$OMD$  – materiālu daudzums –  $m^3 / t$ ;

$MO$  – izmaksa –  $EUR/(m^3 / t)$ .

#### 14.3.2.3. Izmaksas, kas saistītas ar emisiju

14.1 tabula. Vidējie emisijas faktori (ja nepieciešams, lieto detalizētāku emisijas faktoru sadalījumu, piemēram, skatīt "Guidlines for Measuring and Managing CO2 Emission from Freight Transport Operations", ECTA, Issue 1 / March 2011)

Transporta veids	$gCO_2/t\text{-km}$ (EM)
Transports pa autoceļiem	<b>62</b>
Dzelzceļa transports	<b>22</b>
Jūras transports	<b>31</b>
Kombinētais ceļš/ dzelzceļš	<b>26</b>
Kombinētais ceļš/ jūra	<b>34</b>
Transports ar tankkuģiem	<b>5</b>
Gaisa transports	<b>602</b>

$$CO_{EMT} = \sum MD \times A \times EMT \quad (14.3.3.)$$

kur:

$CO_{EMT}$  – kopējā  $CO_2$  emisija –  $tCO_2$ ;

$MD$  – materiāla daudzums –  $t$ ;

$A$  – vidējais piegādes attālums turp–atpakaļ –  $km$ ;

$EMT$  –  $CO_2$  emisija –  $gCO_2/t\text{-km}$ .

$$AI_{EM} = \sum CO_{EMT} \times EM \quad (14.3.4.)$$

kur:

$AI_{EM}$  – izmaksas, kas saistītas ar emisiju;

$EM$  – Eiropas  $CO_2$  emisijas atlīdzības cena  $\approx 20$   $EUR/t$  (precīzāk skatīt, piemēram,

<https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-emissionsrechte>).

#### 14.3.2.4. Papildu ārējās izmaksas

$$AI_{PAI} = PAI \quad (14.3.5.)$$

kur:

$AI_{PAI}$  – papildu ārējās izmaksas;

$PAI$  – papildu ārējās izmaksas – EUR.

#### 14.3.2.5. Ārējās izmaksas kopā

$$AI = AI_{JM} + AI_{MO} + AI_{EM} + AI_{PAI} \quad (14.3.6.)$$

### 14.3.3. Pasūtītāja izmaksas

#### 14.3.3.1. Sākotnējās izmaksas

$$PI_{SI} = BI + Adm \quad (14.3.7.)$$

kur:

$BI$  – būvniecības izmaksas – EUR;

$Adm$  – administrācijas izmaksas (administrēšana, būvuzraudzība, kvalitātes uzraudzība, u.c.) – EUR.

#### 14.3.3.2. Atjaunošanas un uzturēšanas izmaksas

$$PI_{AtI} = AtI + UI \quad (14.3.8.)$$

kur:

$PI_{AtI}$  – atjaunošanas un uzturēšanas izmaksas;

$AtI$  – atjaunošanas izmaksas – EUR;

$UI$  – uzturēšanas izmaksas – EUR.

#### 14.3.3.3 Atlikusī vērtība:

Būvei *LCCA* perioda beigās var definēt atlikušo vērtību. Dažāda veida konstrukcijām atlikusī vērtība var būt dažāda. Ja būvi aprēķina perioda beigās paredzēts nojaukt, tad nojaukšanas rezultātā atgūtos materiālus var izmantot jaunai būvniecībai, līdz ar to aprēķina šādi atgūtu materiālu vērtību. Savukārt gadījumos, ja tiek veikta grunšu dziļā stabilizācija, tad uzbūvēto pastiprinājumu konstrukciju nojaukšana lielākajā daļā gadījumu nebūs iespējama vai arī praktiski varētu būt iespējama tikai konstrukcijas augšējās daļas nojaukšana. Visticamāk arī pēc aprēķina perioda beigām būves ekspluatācija turpināsies un būvei vēl būs atlikusī "dzīve", ja nepieciešams, veicot atjaunošanas pasākumus vai uzbūvējot lokālus papildu pastiprinājumus. Novērtēt šādu būves vai konstrukcijas papildu atlikušās dzīves ciklu var izrādīties samērā sarežģīti. Lai nesarežģītu aprēķinu, būves vai apskatāmās konstrukcijas atlikušo vērtību aprēķinā var neiekļaut.

$$PI_{AV} = AV \quad (14.3.9.)$$

kur:

$PI_{AV}$  – konstrukcijas atlikusī vērtība;

$AV$  – atlikusī vērtība – EUR.

Ja paredzams, ka pēc kalpošanas laika būve vai konstrukcija jānojauc, tad šādas izmaksas iekļauj aprēķinā.

$$PI_{Noj} = Noj \quad (14.3.10.)$$

kur:

$PI_{Noj}$  – būves vai konstrukcijas nojaukšanas izmaksas;

Noj – nojaukšanas izmaksas – EUR.

#### 14.3.3.4. Pasūtītāja izmaksu pašreizējā vērtība (PV)

Pašreizējās vērtības (PV, arī NPV – *Net Present Value*) metode ietver sākotnējo un nākotnes izmaksu summu šīsdienu naudas izteiksmē. Sākotnējās izmaksas pirmajā gadā ir vienādas ar aktuālajām būvniecības izmaksām. Nākotnes uzturēšanas, atjaunošanas vai pārbūves aktivitāšu PV izmaksas ir zemākas nekā aprēķina perioda sākumā fiksētās šo darbu izmaksas, jo kopējās nākotnes izmaksas tiek diskontētas (pazeminātas). Tas nozīmē, ka darbi, kas tiek veikti vēlāk, maksās mazāk atkarībā no gadu skaita, kas tiek diskontēti. Tas dod priekšstatu par dažādu alternatīvu risinājumu izmaksām aprēķina periodā, ļauj tos korekti salīdzināt un izvēlēties objektīvi lētāko risinājumu [75].

$$PV = PI_{SI} + \sum_{k=1}^n PI_{AtI} \times \left[ \frac{1}{(1+i)^k} \right] + PI_{Noj} \times \left[ \frac{1}{(1+i)^n} \right] - PI_{AV} \times \left[ \frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (14.3.11.)$$

kur

ja tiek paredzēta būves nojaukšana, tad  $PI_{AV} = 0$ .

#### 14.3.3.5. Pasūtītāja izlīdzinātās ikgadējās izmaksas (III)

Izlīdzinātās ikgadējās izmaksas (III, arī *EUAC – equivalent uniform annual cost*) izsaka vidējās gada izmaksas aprēķina periodā, t.i., visas izmaksas, gan sākotnējās, gan nākotnes, tiek vienmērīgi izlīdzinātas. Praksē šīs izlīdzinātās izmaksas nav patiesas konkrētu gadu griezumā, kad nav nepieciešama vai nepieciešama tikai nelielu uzturēšanas darbu veikšana. III var lietot, lai novērtētu un salīdzinātu alternatīvus risinājumus.

$$III = PV \times \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (14.3.12.)$$

kur:

III – izlīdzinātās ikgadējās izmaksas – EUR;

i – diskonta likme – % daļas;

n – aprēķina periods – gadi.

#### 14.3.4. Ceļa lietotāju izmaksas

Ceļa lietotāju izmaksas – izmaksas, kas rodas ceļu lietotājiem, atkarīgas no paredzamās transporta intensitātes un sastāva.

Ceļa lietotāju izmaksu aprēķinu veic, ja izvēlētajiem risinājumiem ir atšķirīgs būvniecības laika grafiks un/ vai ir atšķirīgi satiksmes ierobežojumi, kas saistīti ar paredzēto uzturēšanas vai atjaunošanas darbu izpildi. Ja būvniecības laika grafiks un/ vai paredzamie satiksmes ierobežojumi pēc tam paredzami vienādi, tad ceļa lietotāju izmaksas nav jāaprēķina, jo šīs izmaksas dažādiem risinājumiem būs vienādas un ietekmi uz dzīves cikla izmaksu atšķirībām nedos.

Vispārējās izmaksas un ceļa pieejamības izmaksas ir saistītas ar laika periodu, kurā kustība ir ierobežota vai slēgta konkrētajā ceļa posmā visā *LCCA* periodā, būvniecības un uzturēšanas darbu izpildei.

Aprēķiniem identificē šādus parametrus:

- Transporta kustības intensitāti (vēlams sadalījums pa stundām gadījumos, ja paredzami laika periodi, kad caurbraucošo transportlīdzekļu skaits prognozējams lielāks par ceļa posma caurlaides spēju);
- Ceļa posma satiksmes caurlaides spēju;
- Ceļa posmu garumu, kuros tiks realizēti būvdarbi;
- Satiksmes ierobežojumi būvdarbu un uzturēšanas vai atjaunošanas darbu, ja tādi paredzami, laikā:
  - Transporta kustības ātruma ierobežojumi,
  - Luksofori, gaidīšanas laiks tajos;
  - Apvedceļi, to garums, transporta kustības ātrums un ierobežojumi tajos;
  - Citi ierobežojumi;
- Transporta kustības ātrums un ierobežojumi, ja tādi būs, pēc būvdarbu pabeigšanas;
- Paredzētie satiksmes ierobežojumi, kas saistīti ar uzturēšanas vai atjaunošanas vai jebkādiem citiem darbiem visā *LCCA* periodā.

##### 14.3.4.1. CO<sub>2</sub> emisijas izmaksas

Nosaka kustības intensitāti un sastāvu un aprēķina to radīto CO<sub>2</sub> emisiju visam *LCCA* periodam. Aprēķiniem pieņem šādas vidējās vērtības:



- vieglo a/m vidējā CO<sub>2</sub> emisija – 0,18 kg/km = 0,00018 t/km;
- smago a/m vidējā CO<sub>2</sub> emisija – 1,00 kg/km = 0,001 t/km.

$$| \quad CLI_{EM,B} = VAxkm_AxVID_{EM,VA}xEM + SAxkm_AxVID_{EM,SM}xEM, \text{ kur:} \quad (14.3.13)$$

kur:

CLI<sub>EM,B</sub> – transporta radītās CO<sub>2</sub> emisijas izmaksa būvniecības laikam un uzturēšanas vai atjaunošanas periodam, ja paredzēti arī apvedceļi – EUR;

VA – kopējais aprēķinātais pārbraucošo vieglo a/m skaits – gab.;

SA – kopējais aprēķinātais pārbraucošo smago a/m skaits – gab.;

km<sub>A</sub> – kopējais objekta ar apvedceļiem garums – km;

VID<sub>EM,VA</sub> – vieglo a/m vidējā CO<sub>2</sub> emisija – t/km;

VID<sub>EM,SM</sub> – smago a/m vidējā CO<sub>2</sub> emisija – t/km;

EM – Eiropas CO<sub>2</sub> emisijas atlīdzības cena ≈ 20 EUR/t (precīzāk skatīt, piemēram,

<https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-emissionsrechte>).

$$| \quad CLI_{EM,L} = VAxkmxVID_{EM,VA}xEM + SAxkmxVID_{EM,SM}xEM \quad (14.3.14.)$$

kur:

CLI<sub>EM,L</sub> – transporta radītās CO<sub>2</sub> emisijas izmaksa LCCA periodam (izņemot būvniecības, un uzturēšanas vai atjaunošanas periodus, ja tādi tiek paredzēti un tajos paredzēti apvedceļi) – EUR;

km – kopējais objekta garums – km.

$$| \quad CLI_{EM} = CLI_{EM,B} + CLI_{EM,L} + CLI_{EM,U} \quad (14.3.15.)$$

kur:

CLI<sub>EM</sub> – transporta radītās kopējās CO<sub>2</sub> emisijas izmaksa – EUR;

CLI<sub>EM,U</sub> – transporta radītās CO<sub>2</sub> emisijas izmaksas nepieciešamiem uzturēšanas vai atjaunošanas periodiem, ja tādi tiek paredzēti un tajos paredzēti apvedceļi (aprēķina tāpat kā CLI<sub>EM,B</sub>).

#### 14.3.4.2. Aizkavējums, transportlīdzekļiem samazinot ātrumu pirms darba zonas

$$d_d = \frac{2s}{v_f + v_z} - \frac{s}{v_f} \quad (14.3.16.)$$

kur:

$d_d$  – aizkavējums, transportlīdzekļiem samazinot ātrumu pirms darba zonas – h;

$s$  – ātruma samazinājuma posma garums – km (var pieņemt, ka ātruma samazinājuma posma garums par katriem 10 km/h = 200 m);

$v_f$  – transporta kustības ātrums pirms darba zonas – km/h;

$v_z$  – ierobežotais transporta kustības ātrums darba zonā – km/h.

#### 14.3.4.3. Aizkavējums, transportlīdzekļiem caurbraucot darba zonu

$$d_z = L \left( \frac{1}{v_z} - \frac{1}{v_f} \right) \quad (14.3.17.)$$

kur:

$d_z$  – aizkavējums, transportlīdzekļiem caurbraucot darba zonu – h;

$L$  – darba zonas posma garums – km;

$v_f$  – transporta kustības ātrums bez ierobežojumiem – km/h;

$v_z$  – ierobežotais transporta kustības ātrums darba zonā – km/h.

#### 14.3.4.4. Aizkavējums, transportlīdzekļiem paātrinoties pēc darba zonas

$$d_a = \frac{(v_f - v_z)^2}{2av_f} / 3600 \quad (14.3.18.)$$

kur:

$d_a$  – aizkavējums, transportlīdzekļiem paātrinoties pēc darba zonas – h;

$v_f$  – transporta kustības ātrums pēc darba zonas – km/h;

$v_z$  – ierobežotais transporta kustības ātrums darba zonā – km/h;

$a$  – vidējais paātrinājums – km/h/s (ja nav citu datu, vidējo paātrinājumu var pieņemt 1,0 km/h/s).

#### 14.3.4.5. Vidējais piebraucošo transportlīdzekļu gaidīšanas laiks rindā pie luksoforiem ( $d_{lf}$ )

$$d_{lf} = d_{dlf} + d_{zlf} + d_{alf} + d_{stop} \quad (14.3.19.)$$

Aprēķina  $d_{dlf}$  un  $d_{alf}$  pirms un pēc katra luksofora, aprēķina  $d_{zlf}$  katra luksofora posmā, kā arī pieskaita paredzēto stāvēšanas ("sarkanā" signāla) laiku pie katra luksofora –  $d_{stop}$ .

#### 14.3.4.6. Aizkavējums, s transportlīdzekļiem stāvēt rindās

Transportlīdzekļu gaidīšanas laiks rindā, ja darba zonas caurlaides spēja ir lielāka par darba zonu caurbraucošo transportlīdzekļu skaitu:

$$d_w = \frac{F_a}{F_c(F_c - F_a)} \quad (14.3.20.)$$

kur:

$d_w$  – vidējais transportlīdzekļu aizkavējums, piebraucot darba zonai;

$F_a$  – piebraucošo transportlīdzekļu skaits;

$F_d$  – ceļa posma caurlaides spēja.

Kopējais piebraucošo transportlīdzekļu gaidīšanas laiks rindā, ja darba zonas caurlaides spēja ir mazāka par darba zonu caurbraucošo transportlīdzekļu skaitu:

$$D_i = \frac{[Q_{i-1} + (F_{ai} - F_d)]^2 \times t}{2F_d} \quad (14.3.21.)$$

kur:

$D_i$  – kopējais aizkavējums, transportlīdzekļiem stāvēt rindās – h;

$Q_{i-1}$  – rindā esošo transportlīdzekļu skaits sākumā;

$F_{ai}$  – piebraucošo transportlīdzekļu skaits laika vienībā  $t$ ;

$F_d$  – ceļa posma caurlaides spēja (aizbraucošo transportlīdzekļu skaits) laika vienībā  $t$ ;

$t$  – aprēķina laika vienība (ieteicams pieņemt – 1 h).

#### 14.3.4.7. Kopējās aizkavējumu izmaksas

Kopējās aizkavējuma izmaksas, ja posma caurlaides spēja ir lielāka par caurbraucošo transportlīdzekļu skaitu:

$$AizkIzm_i = \sum[F_{ai}(d_d + d_z + d_a + d_{lf} + d_w)] \times TC \quad (14.3.22.)$$

Kopējās aizkavējuma izmaksas, ja posma caurlaides spēja ir mazāka par caurbraucošo transportlīdzekļu skaitu:

$$AizkIzm_i = \sum[F_{ai}(d_d + d_z + d_a + d_{lf}) + D_i] \times TC \quad (14.3.23.)$$

Transporta aizkavējuma aprēķiniem laika cenu (TC), ja nav nepieciešama precīzākas detaļas, pieņem 30 EUR/h vai arī nosaka atbilstoši VAS "Latvijas Valsts ceļi" Metodiskajiem norādījumiem autoceļu projektu izmaksu/ ieguvumu novērtēšanai (skatīt: <https://lvceļi.lv/sadarbibas-partneriem/#instrukcijas-tehniskie-noteikumi-metodiskie-noradījumi>)

#### 14.3.4.8. Aprūtinājumi un ierobežojumi publiskiem vai ražošanas objektiem

Ja būvdarbu darbu izpildei nepieciešamie satiksmes ierobežojumi rada traucējumus publiskiem vai ražošanas objektiem, tad šādu aprēķinu veikšana ir neadekvāti sarežģīta un var ietekmēt kopējo LCCA izmaksu salīdzinošo novērtējumu dažādiem risinājumiem, tāpēc ieteicams aprēķināt arī šādu radītu traucējumu izmaksas (AIPRO).

#### 14.3.4.9. Ceļa lietotāju izmaksas kopā

$$CLI = CLI_{EM} + AizkIzm_i + AIPRO \quad (14.3.24.)$$

Izmaksas, kas aprēķinātas periodam pēc būvniecības, diskontē.

#### 14.3.5. LCCA aprēķinu rezultātu lietošana un interpretācija

Kopējā pašreizējā vērtība (KV):

$$KV = AI + PV + CLI \quad (14.3.25.)$$

Aprēķina kopējo pašreizējo vērtību katram izvēlētajam risinājumam. Izvēlas lētāko risinājumu.

Ja kopējās LCCA izmaksas dažādiem pieņemtajiem risinājumiem neatšķiras, izvēlas risinājumu, kurā izmanto materiālus un tehnoloģijas, kas ir drošākas, jau pārbaudītas praksē un populāras nozarē, vai risinājumu, kurā ir zemākas ceļa lietotāju izmaksas.

## 15. IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- [1] VAS Latvijas Valsts ceļi, Ceļu specifikācijas 2019.
- [2] LVS EN 1997-2:2007 A /NA:2013 7. Eirokodekss. Ģeotehniskā projektēšana. 2. daļa: Pamatnes grunts izpēte un testēšana. Nacionālais pielikums.
- [3] LVS EN 1997-1:2005 A /NA:2013 7. Eirokodekss. Ģeotehniskā projektēšana. 1. daļa: Vispārīgie noteikumi. Nacionālais pielikums.
- [4] LVS 190-5:2011 Ceļu projektēšanas noteikumi. 5. daļa: Zemes klātne.
- [5] T. Lunne, CPT in geotechnical practice, 1997.
- [6] P. Cabal, Estimating soil unit weight from CPT, %1 *2nd International Symposium on Cone Penetration Testing*, Huntington Beach, CA, USA, 2010.
- [7] S. Marchetti, In situ tests by flat dilatometer, *Jornal of the geotechnical engineering division*, pp. 299-321, 1980.
- [8] S. Gravesen, Iastic Semi-Infinite Medium Bounded by a Rigid Wall with a Circular Hole, Copenhagen: Laboratoriet for Bygninsteknik, Danmarks Tekniske Højskole, Meddelelse No. 10, 1960.
- [9] S. Marchetti, The flat dilatometer test (DMT) in soil investigations. Report of ISSMGE Technical Committee 16 on Ground Property Characterisation from In-situ Testing, %1 *International Conference on in-situ measurement of soil properties*, Bali, Indonesia, 2001.
- [10] www.sciencelearn.org.nz, [Tiešsaiste]. Available: <https://www.sciencelearn.org.nz/images/1062-relative-size-of-sand-silt-and-clay-particles>. [Piekļūts 20 May 2019].
- [11] R. Holtz, An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice Hall, 853 pp, 2011.
- [12] M. Rollings, Geotechnical Materials in Construction, New York: McGraw-Hill, 1996.
- [13] Braja M. Das, Advanced Soil Mechanics. Third Edition, New York: Taylor & Francis, 2008.
- [14] Filipenkovs V., Tūna M., Grabis J., Ģeotēnikas pamatkurss. Lekcijas un praktiskās nodarbības, Rīga: RTU, 2006.
- [15] Senkāns, U., Negatīvās berzes ietekmes uz pāļu pamatiem novērtējums: Bakalaura darbs., Rīga: RTU, 2017.
- [16] Casagrande, A., Characteristics of cohesionless soils affecting the stability of slopes and earth fills, *Journal of the Boston Society of Civil Engineers*, 1936.
- [17] www.essie.ufl.edu, Engineering School of Sustainable Infrastructure & Environment, [Tiešsaiste]. Available: <https://www.essie.ufl.edu/~slinn/Structures/06a%20Consolidation%20and%20Settlement%20in%20Clay.pdf>. [Piekļūts 20 May 2019].
- [18] Onyejekwe, S. u.c., Assessment of empirical equations for the compression index of fine-grained soils in Missouri, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2014.

- [19] Skempton, AW., Notes on the compressibility of clays,» *The Quarterly journal of the Geological Society of London*, 1944.
- [20] Rendon-Herrero, O., Universal compression index equation., *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 1983.
- [21] Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 207-15. Ģeotehniskā projektēšana, 2015.
- [22] Braja M. Das, Principles of Foundation Engineering, SI Seventh Edition, Global Engineering: Christopher M. Shortt, 2011.
- [23] T. T. Gustaffson P., Numerical study of different creep models used for soft soils, Gothenburg, Sweden: Chalmers university of technology, 2011.
- [24] Bond, A., Harris, A., Decoding Eurocode 7, London: Taylor & Francis, 616pp, 2008.
- [25] U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR NO. 13 GROUND MODIFICATION METHODS-REFERENCE MANUAL VOLUME I&II., Washington, DC 20590: National Highway Institute U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2016.
- [26] J. Chu, Construction Process, %1 *17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Alexandria, Egypt, 2009.
- [27] P. G. Nicholson, Soil improvement and ground modification methods, Elsevier Inc., 2015.
- [28] www.dynapac.com, [Tiešsaiste]. Available: <http://www.dynapac.com>. [Piekļūts 12 02 2018].
- [29] V. Murthy, Geotechnical Engineering: Principles and Practice of Soil Mechanics and Foundation Engineering, CRC Press, 1056 pp., 2002.
- [30] www.impactor2000.com, [Tiešsaiste]. Available: <http://www.impactor2000.com/soil.html>. [Piekļūts 12 02 2018].
- [31] www.broons.com, [Tiešsaiste]. [Piekļūts 12 02 2018].
- [32] www.landpac.co.za, [Tiešsaiste]. [Piekļūts 12 02 2018].
- [33] B. Research, Specifying Dynamic Compaction, BRE Report, BR458, 2003.
- [34] Innovative new ground improvement method uses, Engineering, South African Institution Of Civil Eng., 14(5): 3–6., 2006.
- [35] J. Han, Principles and Practice of Ground Improvement, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- [36] www.menard.lv, [Tiešsaiste]. Available: <http://menard.lv/tehnologijas/dinamiska-blivesana-dc/>. [Piekļūts 12 02 2018].
- [37] M. Moseley, Ground Improvement, Second Edition, NY: Spon Press, 2004.
- [38] L. Menard, Theoretical and practical aspects of dynamic compaction., *Geotechnique*, sēj. 25, nr. 1, pp. 3-18, 1975.
- [39] E. D'Appolonia, Loose sands – their compaction by vibroflotation, %1 *Symposium on Dynamic Testing of Soils, American Society of Testing Materials, STP*, p. 156, 1953.
- [40] Geotechtools - Excavation and replacment. Design guidance, [Tiešsaiste]. Available: [http://www.geotechtools.org/documents/er\\_design\\_r1.pdf](http://www.geotechtools.org/documents/er_design_r1.pdf).



- [41] Geotechtools: Excavation and replacement - design guidance, [Tiešsaiste]. Available: [http://www.geotechtools.org/documents/er\\_design\\_r1.pdf](http://www.geotechtools.org/documents/er_design_r1.pdf).
- [42] Geotechtools: Lightweight fill - Design guidance, [Tiešsaiste]. Available: [http://www.geotechtools.org/documents/leps\\_design\\_r1.pdf](http://www.geotechtools.org/documents/leps_design_r1.pdf).
- [43] Boudaghpor S., Hashemi S., A study on light expanded clay aggregate (LECA) in a Geotechnical view and its application on Greenhouse and greenroof cultivation, *International Journal of Geology*, sēj. 2, nr. 4, 2008.
- [44] www.leca.co.uk, [Tiešsaiste]. Available: <https://www.leca.co.uk/lecar/lecarcharacteristics>. [Piekļūts 20 May 2019].
- [45] Working with Leca LWA and Water, Weber, [Tiešsaiste]. Available: [http://www.netweber.co.uk/fileadmin/user\\_upload\\_leca/leca-activity/Working\\_with\\_Leca\\_R\\_\\_LWA\\_and\\_Water\\_\\_2010\\_.pdf](http://www.netweber.co.uk/fileadmin/user_upload_leca/leca-activity/Working_with_Leca_R__LWA_and_Water__2010_.pdf).
- [46] Technical Specification for the use of Lightweight Expanded Clay Aggregate (Optiroc LWA) as a Structural Backfill material,» [Tiešsaiste]. Available: <https://www.weber.com.pt/uploads/media/TechSpecsBackfill.pdf>.
- [47] A. Watn, u.c., LWA geolight. LWA for Roads and Railways. Internordic Research and Development Project - Final technical report, SINTEF Civil and Environmental Engineering , Trondheim, Norway, 2004.
- [48] Lightweight fill and thermal insulation products for civil engineering applications. Installation and structural quality control on site., Leca, 2009. [Tiešsaiste]. Available: <https://www.leca.pt/sites/default/files/2017-05/Expanded%20clay%20LWA%20in%20CEA%20-%20Leca.pdf>.
- [49] Leca Geotechnical Fill, [Tiešsaiste]. Available: <https://www.bpindex.co.uk/res/pdfs/b576bb27b09028.pdf>.
- [50] J. Woestman, Selecting polystyrene foam where moisture exposure occurs, 30 03 2015. [Tiešsaiste]. Available: <https://www.constructionspecifier.com/selecting-polystyrene-foam-where-moisture-exposure-occurs/>.
- [51] Hänninen M., Comparison of standard- and low energy expanded polystyrene, Lahti university of applied sciences, 2017.
- [52] Differences between XPS & EPS, Geofoam international, 8 1 2016. [Tiešsaiste]. Available: <http://geofoamintl.com/styrofoam-vs-eps-2/>. [Piekļūts 1 3 2018].
- [53] Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam Applications & Technical Data, Crofton, MD 21114: Th EPS Industry Alliance.
- [54] Timothy D. Stark u.c., NCHRP REPORT 529 - Guideline and Recommended Standard for Geofoam Applications in Highway Embankments, Transportation Research Board, WASHINGTON, D.C, 2004.
- [55] N.O Rygg, A. Sorlie, Polystyrene Foam for Lightweight Road Embankment, [Tiešsaiste]. Available: [https://www.issmge.org/uploads/publications/1/35/1981\\_02\\_0050.pdf](https://www.issmge.org/uploads/publications/1/35/1981_02_0050.pdf). [Piekļūts 29 09 2018].
- [56] Marcio de Souza S. Almeida, Maria Esther Soares Marques, Design and Performance of Embankments on Very Soft Soils, London, UK: CRC Press / Balkema, Taylor & Francis Group, 2013.

- [57] Timothy D. Stark, u.c., Geofam applications in the design and construction of highway embankments, 2004.
- [58] en.wikipedia.org, [Tiešsaiste]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Geofam#/media/File:Geofam\\_Rix%C3%B6\\_5.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Geofam#/media/File:Geofam_Rix%C3%B6_5.jpg). [Pieklūts 20 May 2019].
- [59] LVS EN 1997-1. 7. Eirokodekss - Ģeotehniskā projektēšana - 1.daļa: Vispārīgie noteikumi.
- [60] GeotechTools - Excavation and replacement: QC/QA Procedures, [Tiešsaiste]. Available: [http://www.geotechtools.org/documents/er\\_qcqa\\_r1.pdf](http://www.geotechtools.org/documents/er_qcqa_r1.pdf).
- [61] Vertikālās drenas VD, Menard, [Tiešsaiste]. Available: <http://menard.lv/tehnologijas/vertikalas-drenas-vd/>. [Pieklūts 29 04 2018].
- [62] Kjellman, W., Accelerating Consolidation of Fine Grained Soils by Means of Cardboard Wicks, %1 *2nd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, VOL2*, Rotterdam, The Netherlands, pp. 302-305, 1948.
- [63] Stapelfeldt, T., Preloading and vertical drains, Helsinki: Helsinki University of Technology, 2006.
- [64] Geotechtools - Prefabricated vertical drains and fill preloading: design guidance, [Tiešsaiste]. Available: [http://www.geotechtools.org/documents/pvdfp\\_design\\_r1.pdf](http://www.geotechtools.org/documents/pvdfp_design_r1.pdf).
- [65] Vertical drainage - MebraDrain, Cofra, [Tiešsaiste]. Available: <http://cofra.com/activities/vertical-drainage/>. [Pieklūts 2018 06 13].
- [66] enka-solutions.com, Enka-Solution, [Tiešsaiste]. Available: <https://enka-solutions.com/en/products/composites/colbondrain/>. [Pieklūts 2018 06 13].
- [67] u. Bergado D.T, Soft ground improvement in lowland and other environments, New York: ASCE press, 1996.
- [68] Rixner, J.J., u.c., Report No. FHWA-RD-86/169: Prefabricated Vertical Drains, Vol. I, II and III: Summary of research Report - Final Report, Federal Highway Administration., Washington D.C, 1986.
- [69] LVS EN 15237:2007 - Speciālo ģeotehnisko darbu veikšana. Vertikālā drenāža.
- [70] HB Wick drains - Horizontal strip drains, [Tiešsaiste]. Available: <https://www.haywardbaker.com/uploads/solutions-techniques/wick-drains/Hayward-Baker-Horizontal-Strip-Drains-Brochure.pdf>.
- [71] Ceteau Horizontal Composite Strip Drain, [Tiešsaiste]. Available: [http://www.ceteau.com/assets/09-ceteau\\_strip\\_drain\\_brochure-1.pdf](http://www.ceteau.com/assets/09-ceteau_strip_drain_brochure-1.pdf).
- [72] Holtz R.D, u.c., Prefabricated vertical drains: Design and performance, Oxford: Butterworth – Henemann Ltd., 1991.
- [73] T., Stapelfeldt, Preloading and vertical drains, Helsinki: Helsinki University of Technology, 2006.
- [74] C. N., Simple two and three dimensional cases in the theory of consolidation of soils., sēj. 21, nr. 1-5, 1942.
- [75] Hansbo S., Consolidation of clay by band-shaped prefabricated drains, sēj. 12., nr. 5, 1981.

- [76] Redana, W., I., Effectiveness of vertical drains in soft clay with special reference to smear effect: Doctor of Philosophy thesis, Wollongong: Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, University of Wollongong, 1999.
- [77] LVS EN 15237:2007 Speciālo ģeotehnisko darbu veikšana. Vertikālā drenāža.
- [78] www.geokon.com, [Tiešsaiste]. Available: <https://www.geokon.com/Inclinometers>. [Piekļūts 20 May 2019].
- [79] www.geokon.com, [Tiešsaiste]. Available: [https://www.geokon.com/content/manuals/4651\\_Settlement\\_Profiler.pdf](https://www.geokon.com/content/manuals/4651_Settlement_Profiler.pdf). [Piekļūts 20 May 2019].
- [80] www.geokon.com, [Tiešsaiste]. Available: [https://www.geokon.com/content/manuals/4500\\_Piezometer.pdf](https://www.geokon.com/content/manuals/4500_Piezometer.pdf). [Piekļūts 20 May 2019].
- [81] GEOKON instruments, Model 4625 - Settlement plate, [Tiešsaiste]. Available: [https://www.geokon.com/content/datasheets/4625\\_Settlement\\_Plate.pdf](https://www.geokon.com/content/datasheets/4625_Settlement_Plate.pdf).
- [82] A. Bell, The lateral pressure and resistance of clay and the supporting power of clay foundations 2, %1 *Proceedings of Institution Civil Eng.*, 1915.
- [83] N. B. J. Balaam, Analysis of rafts and granular piles, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, sēj. Vol.5, 1981.
- [84] H. Priebe, The design of vibro replacement, *Ground engineering*, 1995.
- [85] R. ,. B. A. Goughnour, Analysis of stone column–soil matrix interaction under vertical load., %1 *C.R. Coll. Int. Renforcement des Sols*, Paris, 1979.
- [86] C. 226, *Ontwerprichtlijn paalmatrassystemen (Design Guideline Piled Embankments)*, ISBN 978-90-376-0518-1, 2010.
- [87] C. 226, *Ontwerprichtlijn paalmatrassystemen (Design Guideline Piled Embankments)*, 2015.
- [88] EBGEO, *Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements EBGEO*, ISBN 978-3-433-02983-1, 2011.
- [89] BS8006-1, *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills. British Standards Institution*, ISBN 978-0-580-53842-1, 2010.
- [90] Liikennevirasto, *Geolujitetut maarakenteet, Tiegeotekniikan käsikirja, Liikenneviraston oppa 2/2012*, ISBN 978-952-255-104-7, 2012.
- [91] NGI, Nordic guidelines for reinforced soils and fills, 2003.
- [92] IREX, *Recommendations for the design, construction and control of rigid inclusion ground improvements*, Projet National ASIRI. Presses des Ponts, ISBN 978-2-85978-462-1, 2012.
- [93] R. D. Barksdale, Design and Construction of Stone Columns, Volume 1, FHWA/RD-83/026, 1983.
- [94] F. Masse, Controlled Modulus Columns for Support of above, %1 *40th Ohio River Valley Soil Seminar (ORVSS)*, Lexington, Kentucky, 2009.
- [95] E. Garbin, Mass Stabilization for Settlement Control of Shallow Foundation on Soft Organic Clayey Soil, *Geo-Frontier*, 2011.

- [96] ALLU, Mass Stabilization Manual, ALLU Group, Teterboro, New Jersey, 2008.
- [97] P. Harris, Mitigating the effects of organics in stabilized soils, Texas Transportation Institute, Austin, Texas 78763-5080, 2007.
- [98] D. Hodges, Laboratory mixing, curing, and strength testing of soil-cement specimens applicable to the wet method of deep mixing, Blacksburg: Virginia Tech Center for Geotechnical Practice and Research, 2008.
- [99] R. Andersson, Stabilization of Organic Soils by Cement and Pozzolanic Reactions, A feasibility study within the project Swedish deep stabilization, Report 3, 2002.
- [100] Tielaitos, Deep Stabilization at Veittostensuo. Research Report (in Finnish), Tielaitoksen selvityksia 81/1993. TIEL 3200205, 1993.
- [101] P. Lahtinen, Development of Mass Stabilization Technique for Contaminated Sediments, %1 *5th International SedNet Conference*, Oslo, Norway, 2008.
- [102] EuroSoilStab, Development of Design and Construction Methods to Stabilize Soft Organic Soils: Design Guide for soft soil stabilization, European Commission, Industrial and Materials Technologies Programme (Rite-EuRam III), Bryssel, 2002.
- [103] M. Axelsson, Field methods for quality control at the dry jet mixing method, %1 *Proceedings of the International Conference on Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization*, Stockholm, Sweden, 1999.
- [104] G. Holm, Column penetration tests and extraction of lime/cement columns, %1 *Int. Conf. on Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization*, Stockholm, 1999.
- [105] J. Garbin, Mass stabilization for settlement control of shallow foundation on soft organic clayey soils advances in geotechnical engineering, %1 *Geo-frontiers*, Dallas, 2011.
- [106] C. Aldridge, Shallow soil mixing is one of several in situ mixing techniques for on site treatment and or containment of contaminated soils, 1992.
- [107] C. J. Rutherford, Design Manual for Excavation Support Using Deep Mixing Technology, 2004.
- [108] Soil stabilization for pavements, Department of the Army, the Navy and the Air Force, 1994.
- [109] N. L. Association, Mixture Design and Testing Procedures for Lime Stabilized Soil, [https://www.lime.org/documents/publications/free\\_downloads/tech-brief-2006-v2.pdf](https://www.lime.org/documents/publications/free_downloads/tech-brief-2006-v2.pdf), 2006.
- [110] N. T. Jorge G. Zornberg, Application Guide and Specifications for Geotextiles in Roadway Applications, The University of Texas Austin, Austin: Center for Transportation Research, 2010.
- [111] R. D. Holtz, Geosynthetic Design and Construction Guidelines, Washington, D.C: National Highway Institute Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation, 2008.
- [112] J. Muller-Rochholz, *Gekunststoffe in erd-und verkehrswegebau*, 2008.
- [113] Life Cycle Cost Analysis, Administration, Federal Highway, 2011.

- [114] F. Praticò, Comprehensive Life-Cycle Cost Analysis for Selection of Stabilization Alternatives for Better Performance of Low-Volume Roads, Article in Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2011.
- [115] German Geotechnical society, Recommendations on piling (EA-Pfahle), Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 2014.
- [116] LVS EN 1537:2013 Speciālu ģeotehnisko darbu veikšana. Grunts enkuri.
- [117] LVS EN 1536+A1:2015 Īpašu ģeotehnisko darbu izpilde. Urbpāļi.
- [118] LVS EN 14731:2006 Īpašu ģeotehnisko darbu veikšana – Grunts apstrāde ar dziļu vibrināšanu.
- [119] LVS EN 14679:2005 +AC Īpašu ģeotehnisko darbu izpilde – Dziļā maisīšana.
- [120] LVS EN 14490:2010 Īpašo ģeotehnisko darbu izpilde. Grunts stiprināšana.
- [121] LVS EN 14475:2006 Speciālo ģeotehnisko darbu veikšana. Nostiprināts uzbērums.
- [122] LVS EN 14199:2015 Īpašu ģeotehnisko darbu veikšana. Mikropāļi.
- [123] LVS EN 12716:200 Īpašu ģeotehnisko darbu izpilde – Cementēšana ar iesmidzināšanu.
- [124] LVS EN 12715:2002 Īpašu ģeotehnisko darbu izpilde – Cementēšana.
- [125] LVS EN 12699:2015 Īpašu ģeotehnisko darbu izpilde. Dzenamie pāļi.
- [126] K. Terzaghi, Theoretical soil mechanics, New York: John Wiley & Sons Ltd., 1943.
- [127] S. Hansbo, Consolidation of clay by band-shaped prefabricated drains, sēj. 12., nr. 5, 1981.
- [128] Bergado D.T, u.c., Soft ground improvement in lowland and other environments, New York: ASCE press, 1996.
- [129] S., Hansbo, Consolidation of fine-grained soils by prefabricated drains, Stokholm, 1979.
- [130] Yeung, A.T., Design curves for pefabricated vertical drains, Sēj. %1 no %2123, No8, 1997.
- [131] Bitainis A., Rosihins J., Praktiskā gruntsmehānika, Rīga: Cīņa, 1985.
- [132] www.virginiadot.org, [Tiešsaiste]. Available: <http://www.virginiadot.org/business/resources/Materials/bu-mat-LLCA.pdf>. [Piekļūts 20 May 2019].
- [133] R. J. Bitainis A., Bitainis A., Rosihins J., Praktiskā gruntsmehānika, Rīga: Cīņa, 1985.
- [134] R. Barron, Consolidation of fine-grained soils by drain wells, sēj. 113, 1948.

## 16. PIELIKUMI

Cenas aprēķinu algoritmi Excel failā "CENAS\_aprekini" (elektroniskā formā)