



LATVIJAS VALSTS MEŽI

KOKSNE • STĀDI • ATPŪTA



STARPATSKAITE

PĒTNIECĪBAS PROJEKTAM

**“MONITORINGA VEIKŠANA VĀJAS NESTPĒJAS
GRUNTS MEŽA AUTOCEĻIEM, KAS UZBŪVĒTI UZ
KOKSNES PĀĻIEM”**

1.ETAPS:


DARBU IZPILDES PERIODS: 2021.GADA SEPTEMBRIS – DECEMBRIS.

Pētniecības projekta vadītāja:
Pētniecības projekta izpildītāji:

Sigita Liše

Pēteris Šķēle
Mareks Millers
Madara Černuho
Valters Jēkabsons

2021. gada decembris



Saturs

Anotācija	3
Annotation	4
Attiecināmie standarti un noteikumi.....	5
Terminu skaidrojums	7
Attēlu saraksts	9
Tabulu saraksts	10
Pētījuma ietvars.....	11
Ievads.....	13
1 Citu valstu pieredzes izpēte un to analīze	14
1.1 Pāļu pamatu veidi un to darbība.....	14
1.2 Koksnes pāļu izmantošana	16
1.3 Koksnes pāļu raksturojums un izbūves shēmas	21
1.4 Koksnes pāļu nestspēja un lietojamība.....	25
1.5 Pāļu slodzes pārneses konstrukcijas	30
1.6 Grunts deformācijas būvdarbu un ekspluatācijas laikā	32
1.7 Koksnes pāļu bojājumi un to aizsardzība	36
1.8 Secinājumi un rekomendācijas.....	39
2 Ģeotehniskā izpēte.....	42
2.1 Ģeotehniskās izpētes plānošana	42
2.2 Ģeotehniskās izpētes punktu izvietojums plānā un dziļums	44
2.3 Grunšu identifikācija un klasifikācija.....	46
3 Koksnes pāļu izbūve un slogošana	53
3.1 Koksnes pāļu izbūve.....	54
3.2 Pāļu slogošana un analīze.....	61
3.3 Secinājumi un rekomendācijas.....	66
4 Monitoringa sistēmu uzstādīšana un izbūve	68
4.1 Vertikālo deformāciju novērojumu sistēma	69
4.1.1 Vertikālo deformāciju novērojumu sistēmas raksturojums	69
4.1.2 Vertikālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūve	71
4.2 Horizontālo deformāciju novērojumu sistēma	72
4.2.1 Horizontālo deformāciju novērojumu sistēmas raksturojums	72
4.2.2 Horizontālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūve	73
4.3 Grunts spiediena novērojumu sistēma.....	74
4.3.1 Grunts spiediena mērītāju apraksts	74
4.3.2 Grunts spiediena mērītāju izbūve	75
4.4 Grunts poru spiediena novērojumu sistēma	75
4.5 Gruntsūdeņu līmeņa novērojumu sistēma	76
4.5.1 Grunts spiediena mērītāju apraksts	76
4.5.2 Gruntsūdeņu līmeņa novērojuma sistēmas izbūve	77
4.6 Trīsdimensiju lāzerskanēšana kā ceļa segas konstrukcijas deformācijas novērojuma sistēma	78
5 Pētījumu darba uzdevumi un to izpildes īpatsvars	80
Bibliogrāfiskais avotu saraksts	82
Pielikumi	85

Anotācija

SIA “Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūts” Starpziņojums pētniecības projektam “Monitoringa veikšana vājas nestspējas grunts meža autoceļiem, kas uzbūvēti uz koksnes pāļiem” sagatavots par pētījuma periodu no 2021.gada septembra līdz 2022.gada janvārim.

Starpziņojumā uzsākta citu valstu pieredzes izpēte un analīze koksnes pāļu konstrukcijas izmantošanai meža autoceļu būvniecībā, vietās, kur nepieciešams šķērsot vājas nestspējas, saspiežamas gruntis – dažādas biogēnas izcelsmes gruntis (kūdra, dūņas, sapropelis), plūstošas konsistences māli un citas. Lai pārbaudītu koksnes pāļu piemērotību Latvijas apstākļiem un pilnveidotu tehniskos un tehnoloģiskos risinājumus koksnes pāļu izmantošanai meža autoceļu būvniecībā, AS “Latvijas Valsts meži” meža autoceļa “Tēvgāršas ceļa turpinājums” būvprojektā no PK 02+50 līdz PK 07+50, iekļauta monitoringa sistēmas koksnes pāļu konstruktīvā risinājuma efektivitātes novērtēšanai. Starptaskaitē apskatīti pirmo 12 testa pāļu statiskās slogošanas testēšanas rezultāti.

Citu valstu pieredze norāda, ka viens no efektīvākajiem variantiem, kā būvēt autoceļu segu virs vājas nestspējas gruntīm, kur šo slāņu biezums pārsniedz 3 m, ir zemes klātnes pastiprināšana ar koksnes pāļiem. Balstoties uz informācijas apkopojumu, noteiktas Latvijas apstākļiem piemērotākās koku sugas koksnes pāļiem un konstruktīvie risinājumi, kuros tos pielietot.

Meža autoceļa “Tēvgāršas ceļa turpinājums” pirmie statiskās spiedes pāļu testi norāda uz to, ka svarīgi pāļus iedziļināt nestspējīgā gruntī un sasniegt noteiktu atkodu, kad pie noteiktas pāļdziņa slodzes tālāka pāļa iedziļināšana nenotiek vai var tikt uzskatīta par nenožīmīgu. Pāļu slodzes – deformāciju sakarības atšķiras pāļiem, kuri sasnieguši atkodu no tiem, kuri to nav sasnieguši. Šīs atšķirības atkarīgas arī no lokālajiem ģeotehniskajiem apstākļiem. Pāļi, kuri sasnieguši atkodu var uzņemt vismaz 100 kN statisku vertikālu slodzi.

Monitoringa programma sevī iekļauj dažādu mērījumu veikšanu - uzbēruma deformāciju (vertikālo un horizontālo), porūdens spiediena, spiediena uz pāli, gruntsūdens līmeņa, pēc 500 metru garā autoceļa posma pk 02+50 līdz pk 07+50 izbūves brīža.

Starpatskaite ir pirmā atskaite no pavisam paredzētajām sešām atskaitēm. Pēdējā atskaite pasūtītājam iesniedzama 2024.gada 1.pusgadā.

Starpatskaite sagatavota uz 89 lpp., tajā ir 48 attēli, 16 tabulas un 47 informācijas avoti.

Pētījuma atslēgas vārdi: meža autoceļa konstrukcija, koksnes pāļi, slogošana, vertikālās un horizontālās deformācijas, pjezometrs, inklinometrs, profilogrāfs, grunts spiediena mērītājs, gruntsūdens mērītājs, trīsdimensiju lāzerskanēšana.

Annotation

Ltd. "Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūts" Interim report for the research project "Monitoringa veikšana vājas nestspējas grunts meža autoceļiem, kas uzbūvēti uz koksnes pāļiem" has been prepared for the period from September 2021 to January 2022.

The Interim report includes the research and analysis of the foreign experiences in the use of timber pile solutions in the construction of forest roads in places, where it is necessary to cross low load bearing and highly compressible soils – various organic soils (Peat, Dy, Gitty), very soft clay and others. The monitoring program is implemented in technical project of JSC "Latvijas Valsts Meži" forest road "Tēvgāršas ceļa turpinājums" in chainages from 02+50 to 07+50 in order to evaluate the suitability of timber piles for Latvian conditions and to improve these technical solutions. The results of the first 12 timber pile static loading tests are evaluated.

The experience of other countries shows that one of the most effective options for building road embankment over low load bearing soil, where the thickness of soft soil exceeds 3 m, is to improve ground with timber piles. Based on the collection of information, the most suitable tree species for timber piles and the technical solutions in which to use them have been determined.

Timber pile static loading tests for forest road "Tēvgāršas ceļa turpinājums" indicate that it is important to embed the piles into the load-bearing soil to achieve a certain set when further pile driving does not take place or can be considered insignificant under the certain driving force. Pile load – deformation relation is different for piles that have achieved the certain final set than those that have not. These differences also depend on local geotechnical conditions. Piles that have reached the certain final set and properly embedded into load-bearing soil can withstand a static vertical load of at least 100 kN.

The monitoring program includes the performance of various measurements – embankment deformations (vertical and horizontal), porewater pressure, pressure on pile head, groundwater level. These measurements are planned after construction of the 500 m long section in chainages from 02+50 to 07+50.

The interim report is the first of total of six reports. The final report shall be submitted to the customer in the first half of 2024.

This interim report contains 48 figures, 16 tables and 47 references. Its volume is 89 pages

Keywords: forest road structure, timber piles, pile loading, vertical and horizontal deformations, piezometer, inclinometer, profilometer, pressure cells, groundwater measuring, 3D laser scanning

Attiecināmie standarti un noteikumi

STANDARTA/ INSTRUKCIJAS /VADLĪNIJAS/ NOTEIKUMI/ CEĻU SPECIFIKĀCIJAS	Skaidrojums	PIEZĪMES
LVS EN - 1997-1:2005A/NA:2013	7.Eirokekss. Ģeotehniskā projektēšana. 1. daļa: Vispārīgie noteikumi.	-
LVS EN 1997-2:2007A/NA:2013	7. Eirokekss. Ģeotehniskā projektēšana. 2. daļa: Pamatnes grunts izpēte un testēšana. Nacionālais pielikums.	-
LVS EN 1536+A1:2015	Īpašu ģeotehnisko darbu izpilde. Urbpāļi.	-
LVS EN 12699:2015	Īpašu ģeotehnisko darbu izpilde. Pāļi bez grunts izņemšanas	-
LVS EN 14199:2015	Īpašu ģeotehnisko darbu veikšana. Mikropāļi.	-
TK Geo 13	Zviedrijas vadlīnijas koka pāļu projektēšanai (Trafiksverkets tekniska krav för geokonstruktioner)	-
TR Geo 13	Zviedrijas koka pāļu projektēšanas tehniskie noteikumi (Trafiksverkets tekniska råd för geokonstruktioner)	-
SS-EN 338	Zviedrijas standarts par izturības klasēm (pilnā nosaukumā - SVENSK STANDARD SS-EN 338:2016)	-
LVS EN 1997-1:2005	7. Eirokekss. Ģeotehniskā projektēšana. 1.daļa: Vispārīgie noteikumi	-
LVS EN 1997-1 7.2	Pāļu projektēšanā atbilstoši standarta nodaļai nepieciešams pārbaudīt sekojošus robežstāvokļus	-
LVS EN 1995-1-1+A1+A2+AC:2014	5.Eirokekss. Koka konstrukciju projektēšana. 1-1.daļa: Vispārīgi. Kopīgie noteikumi un noteikumi būvēm	-
LVS NE 338:2021	Latvijas standarts. Konstrukciju kokmateriāli. Stiprības klases.	-
LVS EN 1912:2012	Latvijas standarts. Konstrukciju kokmateriāli. Stiprības klases. Koku sugu un vizuālo stiprības klašu atbilstība.	-
CUR 226	Nīderlandes manuālis/vadlīnijas uzbēruma pamata stiprināšanai ” (izstrādāts 2010. gadā, bet atjaunots 2015. gadā)	-
EBGEO	Vācu standarts (izstrādāts 2010. gadā). Vadlīnijas augsnes struktūru projektēšanai un aprēķināšanai ar ģeosintētisko pastiprinātāju	-
BS 8006	Britu standarts. (izstrādāts 1995. gadā, bet atjaunots 2010. gadā). Kodekss/Standarts nostiprinātai /stiprinātai augsnei un citiem pildījumiem	-
FTIA	Somijas Transporta infrastruktūras aģentūra vadlīnijas (izstrādātas 2012. gadā) (FTIA - Finnish Transport infrastructure Agency manual 2021)	-
Nordic Guidelines of Reinforced Soils and Fills	Ziemeļvalstu vadlīnijas augšņu pastiprināšanai un pildījumi (izstrādāts 2004. gadā).	-
LVS EN ISO 14688-1:2003	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes identificēšana un klasificēšana 1.daļa:Identificēšanas un aprakstīšana	-
LVS EN ISO 14688-2:2004	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes identificēšana un klasificēšana 2.daļa:Klasificēšanas principi	-
ASTM	ASV standarta augsnes klasifikācijas sistēma	-
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)”	-
LVS CEN ISO/TS 17892-1	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes laboratoriskā testēšana. 1.daļa: Ūdens satura noteikšana.	-
LVS EN ISO 17892-2:2015	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes laboratoriskā testēšana. 2.daļa: Tīlpummasas noteikšana	-

STANDARTA/ INSTRUKCIJAS /VADLĪNIJAS/ NOTEIKUMI/ CEĻU SPECIFIKĀCIJAS	Skaidrojums	PIEZĪMES
LVS EN ISO 17892-3:2016	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes laboratoriskā testēšana. 3.daļa:	-
LVS EN ISO 17892-4:2017	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes laboratoriskā testēšana. 4.daļa: Daļiņu izmēra sadalījuma noteikšana	
LVS EN ISO 17892-5:2017	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes laboratoriskā testēšana. 5.daļa: Pakāpeniskas sloģošanas tests ar oedometru	Stinguma, saspiežamības un konsolidācijas parametri
LVS EN ISO 17892-6:2017	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes laboratoriskā testēšana. 6.daļa: Krītošā konusa tests	Konsistences rādītāji (plastiskuma indekss, plūstamības un plastiskuma robeža) Nedrenētā bīdes pretestība
LVS EN ISO 17892-7:2018	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes laboratoriskā testēšana. 7.daļa: Neierobežots spiedes tests	Nedrenētā bīdes pretestība
LVS EN ISO 17892-8:2018	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes laboratoriskā testēšana. 8.daļa: Konsolidēti trīsasu spiedes testi ūdenspiesātinātām gruntīm	Stiprības (iekšējās berzes leņķis un saiste) un saspiežamības parametri
LVS EN ISO 17892-9:2018	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes laboratoriskā testēšana. 9.daļa: Konsolidēti trīsasu spiedes testi ūdenspiesātinātām gruntīm	Stiprības (iekšējās berzes leņķis un saiste) un saspiežamības parametri
LVS EN ISO 17892-10:2019	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes laboratoriskā testēšana. 10.daļa: Tiešās bīdes testi	Stiprības parametri (iekšējās berzes leņķis un saiste)
LVS CEN ISO/TS 17892-11:2013 L	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes laboratoriskā testēšana. 11.daļa: Ūdenscaurlaidības noteikšana ar patstāvīgu un samazinātu spiedaugstumu	Filtrācijas parametri
LVS EN ISO 17892-12:2018	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes laboratoriskā testēšana. 12.daļa: Plūstamības un plastiskuma robežu noteikšana	Konsistences rādītāji (plastiskuma indekss, plūstamības un plastiskuma robeža)
LVS EN 13286-2	Proktorblīvums un optimālais mitrums	-
Ceļu specififikācijas 2019 p.12.3	Grunts filtrācijas koeficients	-
Ceļu specififikācijas 2019 p.12.5	Grunts organisko vielu saturs	-
LVS EN ISO 22477-1:2019	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Ģeotehnisko konstrukciju testēšana. 1.daļa. Pāļu testēšana: testēšana ar statisko spiedes slodzi	-
Pohjarakennus ja maamekaniikka II (1957)	Somu instrukcijas par koksnes pāļiem	-
Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita (1970)	Grunts ūdens plūsmas ātrums, kā indikators par caurlaidību un iekšējo struktūru	-
LPO-79	Triecienu pāļu uzstādīšanas instrukcijas (1979, LPO-79)	-
LPO-87	Triecienu pāļu uzstādīšanas instrukcijas (1989, LPO-87)	-

Terminu skaidrojums

Anizotropija	koksnes fizikāli mehānisko īpašību nevienādība dažādos virzienos tās iekšienē.
Apaugums	ceļa un grāvja trasē (gultnē, nogāzē, atbērtņē un bermā) augoši koki, krūmi un atvases.
Atkoda	maksimālais pāļa iegremdēšanas dziļums gruntī, pēc kura vibropāļdziņa darbības laikā nav novērojams pāļa pārvietojums.
Berzes pāļi	to apakšējais gals balstās uz saspiežamām gruntīm un slodzi uz pamatni nodod caur pāļa sānu virsmu un apakšējo galu.
Braukšanas josla	brauktuves garenvirziena josla, pa kuru transportlīdzekļi var braukt vienā rindā.
Brauktuve	ceļa daļa, kas paredzēta transportlīdzekļu braukšanai.
Būvdarbi	būvniecības procesa sastāvdaļa, darbi, kurus veic būvlaukumā vai būvē, lai radītu būvi, novietotu iepriekš izgatavotu būvi vai tās daļu, pārbūvētu, atjaunotu, restaurētu, iekonservētu, ierīkotu vai nojauktu būvi.
Būvdarbu veicējs	būvkomersants, kas, pamatojoties uz pušu savstarpēji noslēgto līgumu, veic būvdarbus.
Būvizstrādājums	ikviens iestrādāšanai būvē paredzēts izstrādājums vai rūpnieciski izgatavota konstrukcija.
Būvniecība	visu veidu būvju projektēšana un būvdarbi.
Būvprojekts	būvniecības ieceres īstenošanai nepieciešamo grafisko un teksta dokumentu kopums.
Ceļa klātne	šķērsprofila sastāvdaļa starp ceļa šķautnēm, kas sastāv no brauktuves un nomalēm.
Ceļa konstrukcija	ietver zemes klātņi, ceļa klātņi un ceļa sāngrāvjus ar nogāzēm.
Ceļa nomale	ceļa daļa, kas atrodas starp brauktuves malu un ceļa klātnes šķautni.
Ceļa plaukts	ceļa konstrukcijas daļa starp uzbēruma pēdu un sāngrāvi.
Ceļa sāngrāvis	ceļa konstrukcijas sastāvdaļa, kas uztver un novada ūdeni no brauktuves virsmas un zemes klātnes.
Ceļa sega	ceļa konstrukcijas daļa virs zemes klātnes, kas sastāv no seguma materiāla un segas pamata materiāla.
Ceļa segas pamats	ceļa segas apakšējā kārtā, kas izpilda drenējošu, izolācijas, sala aizsardzības funkciju un pārnes slodzi uz zemes klātņi.
Ceļa segums	ceļa segas virsējā kārtā, kas tieši uzņem transportlīdzekļu slodzi un pārnes to uz ceļa segas pamatu.
Datu reģistrators	iekārta, kura nolasa un uzkrāj informāciju no lauka mērinstrumentu automātiskajiem vai pusautomātiskajiem sensoriem.

Grunts spiediena mērītājs	novērtē spiedienu gruntī, grunts slāņu un ceļa klātnes konstrukcijas spiedienu uz konstrukcijām (pāļiem), kā arī kopējo spiedienu, ievērtējot transportlīdzekļu radīto slodzi.
Inklinometrs	horizontālo deformāciju novērojuma sistēma, kas novērtē grunts slāņu sānu kustību nestabilās nogāzēs un ceļu konstrukcijās.
Inženierģeoloģiskā izpēte	grunts fizikālo, mehānisko un hidroģeoloģisko īpašību noteikšana.
Krustojums	vieta, kur krustojas, piekļaujas vai atzarojas ceļi vienā līmenī.
MAC (meža autoceļš)	atbilstoši tehniskajiem parametriem uzbūvēts komersanta ceļš ar segumu, kas nodrošina meža apsaimniekošanu un ir ekspluatējams koksnes un zemes dzīļu produktu transportēšanai visu gadu, izņemot šķīdoņa periodu.
MAC būve	ķermeniska lieta, kas tapusi cilvēka darbības rezultātā un ir saistīta ar pamatni (zemi vai gultni).
MAC monitorings	meža autoceļa konstrukcijas sprieguma, deformācijas stāvokļa un noguruma pakāpes salīdzinājums ar pieļaujamām slodzēm tā izbūves un ekspluatācijas procesā.
Nobrauktuve	vienlīmeņa ceļu mezgla elements, pa kuru tiek organizēta nobraukšana no pamatbrauktuves.
Normālprofils	normēta platuma ceļa klātne brīvā ceļa posmā starp mezgļiem, virāžām un transporta maiņas vietām.
Pjezometrs	grunts poru spiediena mērīšanas sistēma ceļu konstrukcijās.
Profilogrāfs	grunts profila vertikālo deformāciju novērojuma sistēma, kas novērtē grunts slāņu sēšanos vai celšanos ceļu konstrukcijās.
Statnpāļi (dzenamie)	to apakšējais gals balstās uz klinšainām vai mazsaspiežamām gruntīm ar noteiktu deformāciju moduli.
Šķērsprofils	vertikālais griezumš plānē, kas perpendikulārs ceļa vai grāvja asij.
Šķērsslīpums	ceļa elementu slīpums šķērsgriezumā, izteikts procentos.
Uzbēruma pēda	uzbēruma nogāzes un zemes virsmas līnijas krustojums.
Zemes klātne	pamatnes grunts vai uzbēruma virsmas daļa, uz kuras tiek balstīta ceļa sega jeb ceļa konstrukcijas daļa, kura uzņem slodzi no ceļa segas.

Attēlu saraksts

1.1.att. Pētījumos pielietās pāļu formas:	15
1.2.att. Celtnes vietas paliekas — stāvkoku konstrukcijas (stabu) izvietojums pamatzemē	16
1.3.att. Koksnes pāļu atsegums Venēcijas ēku būvniecībā	18
1.4.att. Koksnes pāļu izbūves shēmas	23
1.5.att. Koksnes pāļu izvietojuma shēma	24
1.6.att. Pāļa nestspējas zudumi:.....	26
1.7.att.Pāļa nestspējas parametri	27
1.8.att. Slodzes deformāciju līknes:	27
1.9.att. Vertikāli slogota pāļa darbības shēma.....	29
1.10.att. Atšķirības starp 2D un 3D modeļa pieeju	31
1.11.att. 3D modeļa teorija - slodzes sadalījums starp pāļiem	31
1.12.att. Pāļu slodzes pārnese konstrukcijā ar austu ģeotekstilu.....	32
1.13.att. Grunts pārvietojuma lauka shematiskais attēlojums pāļu uzstādīšanas laikā:.....	33
1.14.att. Grunts sēšanās pēc būvniecības:	34
1.15.att. Tukšums zem uzbēruma plātnes	35
1.16.att. Noklātā materiāla (dzeltens, zaļš un sarkans) izraisīta grunts sānu kustība zem uzbēruma, kuras rezultātā pāļi tiek salauzti	36
2.1.att. Ģeotehniskās izpētes secība un saturs	44
2.2.att. Uzbēruma un ierakuma shēma (LVS EN 1997-2:2007):	45
2.3.att. Ceļa un tranšējas shēma (LVS EN 1997-2:2007):	45
2.4.att Pāļi un pāļu grupas (LVS EN 1997-2:2007)	46
2.5.att. Grunšu plasticitātes grafiks atbilstošs LVS EN ISO 14688-2.....	50
3.1.att. Meža ceļa „Tēvgāršas ceļa turpinājums” trase.....	53
3.2.att. Sīkbaļķu klājumu izbūve objektā 2019.gadā.....	53
3.3.att. Pāļu sagatavošanas platforma objektā.....	54
3.4.att. Kokmateriālu novietojums uz pāļu sagatavošanas platformas	55
3.5.att. Kokmateriālu diametra pārbaude tievgalī.	55
3.6.att. Sagatavoto pāļu piegāde objektā.	56
3.7.att. Pāļu mizošanas varianti.....	57
3.8.att. Meža ceļa „Tēvgāršas ceļa turpinājums” ceļa segas un koksnes pāļu raksturlielumi un izbūves shēmas.....	58
3.9.att. Kāpurķēžu ekskavators ar pievienotu hidrovibratoru	58
3.10.att. Pāļu vienā no ceļa brauktuves pusēm tehnikai, atrodoties uz sīkbaļķu klājuma	59
3.11.att. Pāļu vietu atzīmes pirms iedzīšanas	60
3.12.att. Grunts kustība ap pāli dzīšanas laikā	61
3.13.att. Pāļu slogošanas sistēma objektā.....	63
3.14.att. Koksnes pāļu izbūve un atkoda sasniegšana no PK 02+50 līdz PK 03+50	64
3.15.att. Slogošanas rezultāti atkodu nesasniedzīgiem koksnes pāļiem	65
3.16.att. Slogošanas rezultāti atkodu sasniegīgiem koksnes pāļiem	65
4.1.att. Profilogrāfa shematiskais attēlojums.....	70
4.2.att. Profilogrāfa sistēma objektā:.....	70
4.3.att. Profilogrāfa pamatnes un cauruļu izbūves shēma	71
4.4.att. Vertikālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūves process būvobjektā:.....	72
4.5.att. Horizontālo deformāciju novērojumu sistēma.	73
4.6.att. Horizontālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūves shēma	74
4.7.att.Grunts spiediena novērojumu sistēma zem uzbēruma grunts	74
4.8.att. Grunts spiediena mērītāju izbūves shēma	75
4.9.att. Grunts poru spiediena mērītājs (pjezometrs).....	76
4.10.att. Gruntsūdeņu līmeņa novērojumu sistēma	77
4.11.att. Gruntsūdeņu līmeņa novērojumu sistēmas shēma	77

Tabulu saraksts

1.1.tabula Citu valstu pieredze vājas nestspējas grunts pārvarēšanai.....	20
1.2.tabula Koksnes īpašības pēc standarta DIN 68100 datiem.....	22
1.3.tabula Koksnes pāļu apstrādes metodes un konservanti.....	39
2.1.tabula Daļiņu izmēru frakcijas	46
2.2.tabula Rupju grunšu granulometriskā sastāva forma	47
2.3.tabula Grunšu ar organisku, ar daļiņu izmēru ≤ 2 mm klasifikācija	48
2.4.tabula Grunšu klasifikācijas principi atbilstoši LVS EN ISO 14688-2	48
2.5.tabula Paskaidrojumi 2.6.attēlam	50
2.6.tabula Grunšu testēšana uz lauka un testu interpretācijas	51
2.7.tabula Grunšu testēšana laboratorijā.....	52
3.1.tabula Testa koksnes pāļu izbūves darbu apjoma saraksts	61
3.2.tabula Slogojamo koksnes pāļu dimensionālie raksturlielumi un atrašanās vieta	63
4.1.tabula Objekta apsekošanas un mērījuma veikšanas intensitāte monitoringa laikā	69
4.2.tabula Vertikālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūves statuss	72
4.3.tabula Inklinometra ABS korpusu (cauruļu) izbūves statuss	73
4.4.tabula Gruntsūdens līmeņa novērošanas PVC cauruļu izbūves statuss.....	78
5.1.tabula Pētījuma darba uzdevumi un to izpildes īpatsvars.....	80

Pētījuma ietvars

Pētījuma mērķis - veikt zinātnisko pētījumu “Monitoringa veikšana vājas nestspējas grunts meža autoceļiem, kas uzbūvēti uz koka pāļiem”.

Pētījuma uzdevumi

Mērķa sasniegšana saskaņā ar noslēgtā Līguma Pielikumu Nr. 1 norādītajiem darba uzdevumiem nodrošinās šādu uzdevumu veikšanu:

1. Sadarbībā ar meža autoceļa būvniecības darbu veicēju, piedalīties meža autoceļa monitoringa iekārtu un aprīkojuma uzstādīšanas kontrolē:
 - 1.1. Līdzdalība 11 PVS/ABS cauruļu un profilogrāfa pamatņu iebūvē;
 - 1.2. Līdzdalība 12 inklinometra ABS korpusa komplektu iebūvē;
 - 1.3. Līdzdalība 4 grunts spiediena mērītāju iebūvē;
 - 1.4. Līdzdalība 8 PVC cauruļu komplektu iebūvē;
 - 1.5. Līdzdalība 21 testa koka pāļu statiskā pārbaudē;
 - 1.6. 21 testa koka pāļu statiskā pārbaudē iegūto datu apstrāde.
2. 500 metru garā (PK 2+50 līdz PK 7+50) pārvaramā kūdras posma meža ceļa konstrukcijas iespējamās nosēšanās dinamikas noteikšana:
 - 2.1. Datu ievākšana profilogrāfa sistēmas ietvaros;
 - 2.2. Datu ievākšana inklinometra sistēmas ietvaros;
 - 2.3. Datu ievākšana grunts spiediena mērītāju sistēmas ietvaros;
 - 2.4. Datu ievākšana gruntsūdens līmeņa novērojuma sistēmas ietvaros;
 - 2.5. Datu ievākšana grunts poru spiediena mērīšanas sistēmas ietvaros;
 - 2.6. Iegūto datu apstrāde monitoringa ietvaros.
3. Veikt meža autoceļa iespējamās nosēšanās kontroli, izveidojot trīsdimensiju (3D) modeli:
 - 3.1. Datu ievākšana autoceļa posmā;
 - 3.2. Iegūto datu apstrāde, izveidojot trīsdimensiju (3D) modeli.
4. Koka pāļu optimālā diametra aprēķins atkarībā no koku sugas, kūdras dziļuma, kūdras sadalīšanās pakāpes, pāļu garuma, un koka pāļu optimālā izvietoējuma noteikšana:
 - 4.1. Koka pāļu optimālās aprēķinu metodes un apraksts;
 - 4.2. Koka pāļu izvietoējuma shēmas.
5. Citu valstu pieredzes izpēte un analīze koka pāļu konstrukcijas izmantošana meža ceļu būvniecībā, pārvarot kūdras ieslēgumus:
 - 5.1. Literatūras avotu apkopošana (zinātniskās publikācijas, projektu atskaites utt.);
 - 5.2. Citu valstu konstruktīvo risinājumu izpēte un izvērtēšana.

Pētījuma objekts atrodas Ziemeļvidzemes zemienes Burtnieku līdzenumu rietumu malā Tēvgāršas (Puikules-Tēvgāršas) augstā purva ziemeļu galā. Meža ceļa „Tēvgāršas ceļa turpinājums” atrodas Alojās novadā, Brīvzemnieku un Braslavas pagastos, AS Latvijas valsts meži Limbažu meža iecirkņa 200., 201., 203., 204. kvartālos (kadastra Nr. 66480020093, 66440050064).

Monitoringa objekts – meža autoceļa “Tēvgāršas ceļa turpinājums” 500 m garš koksnes pāļu posms un saskaņā ar būvprojektā iestrādātajiem monitoringa veikšanai atbilstošajām mēriekārtām un to elementiem, tiks nodrošināts 24 mēnešu ilgs monitorings minētajā koksnes pāļu posmā no to izbūves nobeiguma.

Pētījumu var sadalīt divos etapos, t.i., :

1. etaps – meža autoceļa monitoringa iekārtu un aprīkojumu uzstādīšanas uzraudzība, kā arī koka pāļu slogošanas procesa uzraudzība un citu valstu pieredzes analīze;

2. etaps – monitoringa īstenošana veicot datu ievākšanu un apstrādi, kā arī koka pāļu optimālo dimensionālo raksturlielumu aprēķina sagatavošana, kur iegūs mērījumus no sekojošajā novērojuma sistēmām:

- vertikālo deformācijas novērojuma sistēmas;
- horizontālo deformācijas novērojuma sistēmas;
- grunts spiediena mērījuma sistēmas;
- gruntsūdeņa līmeņa novērojuma sistēmas;
- grunts poru spiediena mērīšanas sistēmas;
- ceļa segas virs pāļu konstrukcijas deformācijas novērojuma sistēmas.

Pēc koka pāļu konstrukcijas izbūves paredzētajā meža autoceļa posmā, tiek uzsākts intensīvs uzraudzības monitorings ar dažādu datu iegūšanu intensitāti, piemēram, katru nedēļu, reizi divās nedēļās un reizi mēnesī. Mērījuma intensitāte pielāgota plānotai transporta kustības plūsmai ceļa būvniecības laikā un plānotajiem mežizstrādes darbiem, kas ļaus iegūt datus savlaicīgi par meža autoceļa un koka pāļu konstrukcijas stāvokli, novērtēt tās izmaiņas un ietekmi. Detalizēta informācija par monitoringa sistēmas atrodas 4.nodaļā, bet par mērījumu veikšanas intensitāti atrodama 4.1.tabulā. Saskaņā ar plānoto mērījumu veikšanas grafiku kopējais mērījumu sēriju skaits ir 75, izņemot datu ieguvē 3D modeļa izveidei, kam paredzēts veikt 3 mērījumu reizes monitoringa periodā. Monitoringa programmas īstenošana veic fotofiksāciju un videomateriālu sagatavošanu par projekta laikā būtiskākajiem izpildes procesiem, t.i., par meža ceļa un koka pāļu konstrukcijas izbūvi, par transporta kustību ceļa posmā, kur ir koksnes pāļu konstrukcija, kā arī no mērījumu veikšanas, uzsākot monitoringa programmas īstenošanu un tās laikā.

Pētījuma rezultāti:

- 1) par lokālo ceļa posma izmaiņām un to izraisošajiem cēloņiem, ļaus izstrādāt potenciālos risinājumus (rekomendācijas) ceļos ar koka pāļu konstrukcijas risinājumu;
- 2) par to, vai ir un ja ir, tad kur un kāpēc novērojama meža autoceļa konstrukcijas sēšanās vai sāniskā nobīde, kas ļaus izstrādāt rekomendācijas stabilitātes nodrošināšanai, lai izvairītos no negatīvas tendences turpmākajos ceļa projektos;
- 3) par ceļa segas konstrukcijas un transporta radītā spiediena dinamikas izmaiņu ietekmi uz koka pāļu konstruktīvo risinājumu un tā kalpot spēju ekspluatācijas apstākļos;
- 4) par koka pāļu kalpotspēju pie mainīgajiem gruntsūdeņa līmeņiem, vērtējot uzstādītās konstrukcijas noturību ūdens līmeņa izmaiņu rezultātā;
- 5) par izmaiņām gruntī un grunšu spriegumu izmaiņām koka pāļu konstrukcijā ekspluatācijas laikā, ļaujot izstrādāt rekomendācijas analoģu objektu izveidē;
- 6) par meža ceļa konstrukciju un koka pāļu konstruktīvo risinājumu noturību un ilgtspējību, atspoguļot trīsdimensiju modelī ceļa konstrukcijas noturību vājas nestspējas gruntī ar koka pāļu konstruktīvo risinājumu;
- 7) par koka pāļu optimālo diametru un izvietojuma teorētiskajiem aprēķiniem, balstoties uz dažādiem kūdras slāņa dziļumiem, kūdras sadalīšanās pakāpēm un pāļu garumiem.

Pirmais starpziņojums no sešām projekta īstenošanas laikā paredzētām atskaitēm. Saskaņā ar pasūtītāja saskaņoto darba uzdevumu izriet, ka ik pēc sešiem mēnešiem veidota starpatskaite ar aktuālo informāciju un iegūtiem datiem, to rezultātiem. Pēc pirmā starpziņojuma iesniegšanas un apstiprināšanas paredzētas 4 starpatskaites (uz 2022.gada 30.jūniju, 2022.gada 31.decembri, 2023.gada jūniju un 2024.gada 31.decembri), bet pētījumu projekta noslēgumā (uz 2024.gada 1.martu) jā sagatavo Gala atskaite un tā Kopsavilkums (uz 2024.gada 15.aprīli.).

Ievads

Ceļu nozīme meža apsaimniekošanā ir ļoti daudzpusīga, tievisintensīvāk izmanto mežizstrādes periodā, kad sagatavotie kokmateriāli ir jāizved no meža un jānogādā patērētājiem. Pārējā laikā meža autoceļi ir mazāk noslogoti un tos izmanto meža atjaunošanas un kopšanas darbu veikšanai, meža apsardzības un aizsardzības vajadzībām, meliorācijas sistēmu uzturēšanai, mežu saimniecības organizēšanai, rekreācijas un sociālajām vajadzībām. Kopumā meža ceļa īpašniekam vai tiesiskajam valdītājam jā rūpējas par tā uzturēšanu lietošanas kārtībā un ieguldījumi meža autoceļu būvē un tā uzturēšanā palielina meža vērtību, kas ir viens no svarīgākajiem ilgtspējīgas mežsaimniecības faktoriem. AS "Latvijas Valsts meži" meža autoceļi tiek lietoti meža ugunsdrošības nodrošināšanai, koksnes un zemes dzīļu produktu piegādēm klientiem, mežkopības un citu darbu plānošanai, veikšanai, uzraudzībai, tūrismam, rekreācijai, kā arī citām ar meža apsaimniekošanu vai lietošanu saistītām vajadzībām. Lielākajā LVM meža autoceļu tīkla daļā jānodrošina nepārtrauktas koksnes produktu piegādes cauru gadu (izņemot 2 nedēļas pavasara šķīdoni) ar autotransportu, kura slodze uz asi 10 t vai arī atbilstoši Ceļu satiksmes noteikumos noteiktajiem masas ierobežojumiem. Meža autoceļi īpaši aizsargājamās dabas teritorijās, kuri galvenokārt paredzēti meža ugunsdrošībai, jānodrošina pieejamība 8 mēneši gadā.

Puse no Latvijas mežiem ir pārmitrie meži, no kuriem savukārt puse ir uz kūdras gruntīm. Tādēļ, projektējot meža autoceļu tīklu, nevaram izvairīties no šādām gruntīm. Vispārējās lietošanas autoceļu būvniecībā kūdras slāni izrok un ceļa segas konstrukciju veido, balstot to uz minerālgrunts pamata. Meža autoceļu būvniecībā kūdras slāni izrok tikai tad, ja tā biezums ir līdz 1 m. Ja kūdras slānis dziļāks, jāparedz citi konstruktīvie pasākumi, kuru uzdevums ir pārnest slodzi uz iespējami lielāku atbalsta laukumu. Lai pārvarētu meža autoceļu būvniecībā lokālos kūdras ieslēgumus, nepieciešami ievērojami materiālie ieguldījumi zemes klātnes stabilizācijai, uz kuras var būvēt ceļa segas pamatu un ceļa segu. Vienkāršākais risinājums ir neplānot meža autoceļa būvniecību, taču ir gadījumi, kad dažādu ierobežojumu dēļ nav iespējams ieplānot meža autoceļu citā vietā. Tāpēc nepieciešams rast risinājumu, kā izbūvēt meža autoceļu šķērsojot, piemēram, kūdras ieslēgumu. Šobrīd ir dažādi ceļa konstruktīvie risinājumi, lai pārvarētu lokālus kūdras ieslēgumus, ja kūdras slānis ir līdz 3,5 m dziļš. Taču kopumā Latvijā nav pieredze šādu konstrukciju risinājumu izmantošanā dziļākos kūdras slāņos, it īpaši meža teritorijās.

Analizējot citu valstu pieredzi un arī pētījuma pasūtītāja sniegto informāciju, izriet, ka viens no variantiem, kā pārvarēt salīdzinoši dziļus kūdras ieslēgumus, ir koksnes pāļu izmantošana vietās, kur tā slāņa biezums ir no 3,5 m līdz 8,0 m. Šāda konstrukcija ļauj nodrošināt, ka meža autoceļa konstrukcija pēc izbūves būtiski nesēžas un nodrošina projektēto nestspēju tās ekspluatācijas laikā. Tāpēc AS "Latvijas valsts meži", ņemot vērā ārvalstīs izmantoto pieredzi un, lai šķērsotu salīdzinoši dziļi kūdrainu posmu, pieņēma lēmumu meža autoceļa segu balstīt uz koksnes pāļiem.

Lai pārbaudītu izvēlēto risinājumu piemērotību Latvijas apstākļiem un pilnveidotu tehniskos un tehnoloģiskos risinājumus koksnes pāļu izmantošanai meža autoceļu būvniecībā, AS "Latvijas valsts meži" meža autoceļa "Tēvgāršas ceļa turpinājums" būvprojektā iekļautas monitoringa sistēmas koksnes pāļu konstruktīvā risinājuma efektivitātes novērtēšanai, kā arī pētniecības realizācijas laikā iegūs objektīvus rezultātus par pārvaramā kūdras posma iespējamām ceļa konstrukcijas deformācijām un to attīstības dinamiku, kas ļaus novērtēt izmantotā konstruktīvā risinājuma efektivitāti atkarībā no dažādiem to ietekmējošiem faktoriem (skat. sadaļu "Pētījuma ietvars").

1 Citu valstu pieredzes izpēte un to analīze

Laika gaitā pasaulē dažādās valstīs inženierbūvju nozarē ir izstrādāta virkne paņēmieni, lai uzbūvētu ceļa uzbēruma konstrukcijas uz vājas nestspējas gruntīm. Vairumā gadījumu slodzes pārnesšanai uz noturīgākiem grunts slāņiem tiek izmantoti dažāda materiāla pāļi. Šīs konstrukcijas pēc nodošanas ekspluatācijā uzrāda salīdzinoši nelielu atlikušo sēšanos vai arī tādas vispār nav. Ir vairākas konstruktīvas metodes, kurās ņemti vērā dažādi aspekti, kas var dot atšķirīgus rezultātus. Lai izvērtētu dažādu valstu pieredzi koksnes pāļu konstruktīvā risinājuma pielietošanā, veikta to pieredzes analīze no sendienām līdz mūsdienām. Pirmajā nodaļā sniegta informācija par pāļu pamatu veidiem un to darbību, koksnes pāļiem un to izbūves shēmām, koksnes pāļu netspēju un lietojamību, pāļu slodzes pārneses konstrukcijām, grunts deformācijām būvdarbu un jau ekspluatācijas laikā, koksnes pāļu bojājumiem un to aizsardzību.

1.1 Pāļu pamatu veidi un to darbība

Pāļus iedala pēc konstrukcijas materiāla, izbūves veida un darbības principa. Pāļu būvniecībā lieto koksnes, betona, dzelzsbetona, grunts un tērauda pāļus, kā arī to kombinācijas (Cajs & Mandrikovs, 1991). Mūsdienas palielinoties polimērmateriālu izmantošanai būvniecībā, izmanto arī polimēra (plastmasas) pāļus.

Pāļu pamati ir sava veida kolonnas gruntī vai klintsiežos, kas izgatavoti no betona, metāla, koksnes un plastmasas, tos iedzenot vai iebūvējot. Pāļu pamati parasti tiek izmantoti kā dziļais pamats dažāda veida būvēm, pārnesot slodzi nepieciešamajā dziļumā. Pāļu pamatu nestspēja atkarīga no tā gala un sānu berzes pretestības (nestspējas). Tieši tādēļ, atkarībā no slodzes uzņemšanas mehānisma un darbības principa, visi pāļi tiek iedalīti trīs galvenajās grupās – statņpāļi, berzes pāļi, vai to kombinācija.

Statņpāļu gals tiek izbūvēts un balstīts nestspējīgā gruntī vai klintsiežā un slodzes, ko uzņem pālis, tiek nodota uz pāļu gala. Šāda veida pāļus izvēlas tajās vietās, kur augstas nestspējas grunts vai klintsiežis atrodas seklākajos grunts dziļumos.

Berzes pāļi uzņem slodzi ar sānu pretestību, kas attīstās starp pāļa virsmu un tam apkārt esošo grunti. Šādus pāļus parasti izmanto vietās, kur augstas nestspējas grunts atrodas dziļākos grunts līmeņos.

Parasti pāļi uzņem slodzi gan ar sānu pretestību, gan gala pretestību. Pāļa gala pretestība tiek mobilizēta pie noteikta pāļa vertikālā pārvietojuma, kad slodzes ietekmē, pāļa sānu berze to vairs nespēj uzņemt.

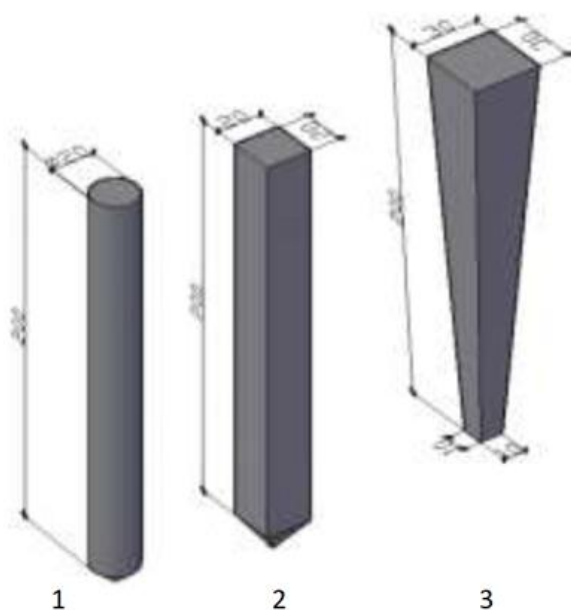
Dažādu konstrukciju pāļus projektē, izgatavo un lieto atbilstoši valsts vai nozaru standartiem, instrukcijām un individuāliem projekta risinājumiem. Latvijā pāļu projektēšana notiek, vadoties pēc standarta LVS EN 1997-1+A1+AC:2015 “7. Eurokodekss. Ģeotehniskā projektēšana 1.daļa: Vispārīgie noteikumi” un LVS EN 1997-2+AC:2014 L “7. Eurokodekss. Ģeotehniskā projektēšana. 2. daļa: Pamatnes grunts izpēte un testēšana”, kuros ir atsauces uz virkni dziļo pamatu, grunšu pastiprināšanas metožu un citu speciālo ģeotehnisko darbu veikšanas standartiem. Uz pāļiem attiecas, piemēram, standarts “LVS EN 1536+A1:2015 “Īpašu ģeotehnisko darbu izpilde. Urbpāļi” un “LVS EN 12699:2015 Īpašu ģeotehnisko darbu izpilde. Pāļi bez grunts izņemšanas”. Tieši šādi tiek iedalīti pāļi pēc to izbūves principa.

Pāļu konstrukcijās galējās nestspējas noteikšana balstās galvenokārt uz teoriju, un ir ļoti sarežģīti to noteikt, jo ir daudz faktoru, kas vairumā gadījumu netiek ņemti vērā. Teorijā lielākoties pieņem, ka grunts ir viendabīga un izotropiska, un vienīgais pāļu formas

faktors, kas tiek ņemts vērā, ir trīsdimensionāls. Turklāt grunts saspiešanas īpašības aprēķinus padara vēl sarežģītākus (Murthy, 2007).

Pāļus galvenokārt izmanto vertikālas slodzes pārnešanai, kā arī pretestības palielināšanai horizontālām un slīpām slodzēm (pāļi, kas virzīti noteiktā leņķī, lai palielinātu konstrukcijas noturību) un pārne slodzi no relatīvi vājas grunts uz grunts noturīgākiem slāņiem dziļāk, tādējādi, samazinot slodžu ietekmi uz pamatni. Pāļi kā konstrukcijas pamats ir ieteicams, lai nodrošinātu drošu nestspējas balsta struktūru, ja grunts nespēja, nav pietiekama (Adejumo, 2015). Pētījumos konstatētas būtiskas nestspējas atšķirības starp pāļu formām, to iebūves veidu un iekļaujošo grunts sastāvu (Sitnikov et al., 1980).

Viendabīgās, mālainās gruntīs un smilšainās gruntīs konusveida pāļiem ir augstāka nestspēja nekā cilindriskās un prizmatiskās formas pāļiem. Smilšainā gruntī, dzenot pāļus ar vibrāciju, ir lielāka slodzes nestspēja nekā, ja tiek pielietota urbšana. Tomēr pāļu urbšanas ietekme uz nestspēju ir nedaudz lielāka, ja tā tiek pielietota mīkstās smilts gruntīs, kuras atrodas starp rupjākiem smilšu grunts slāņiem. Cilindriskās formas pāļiem, kas uzstādīti, izmantojot urbšanu, smilšainās gruntīs, ir lielāka nestspēja nekā prizmatiskās formas pāļiem, kas uzstādīti dzenot. Savukārt dzenot prizmatiskās formas pāļus, ir iespēja panākt augstāku nestspēju slāņveida gruntīs ar mīkstu mālu virs smilšainiem grunts slāņiem. Konusveida pāļiem nestspēja ir 1,5-2 reizes augstāka nekā prizmatiskās formas pāļiem un 2-3 reizes augstāka nekā cilindriskās formas pāļiem (Adejumo, 2015).



Avots: Adejumo, 2015

1.1.att. Pētījumos pielietās pāļu formas:

1 – cilindrisks, 2 – prizmatisks un 3 – konusveida

Apaļos kokmateriālus, kurus uzņem kā koksnes pāļus, ir nošķelta konusa forma, kas var ietekmēt arī tā nestspēju noteiktos grunts apstākļos. Šajā gadījumā nošķelta konusa forma kalpo kā nespēju veicinošs faktors, īpaši gadījumos, kad koksnes pāļus izmanto kā berzes pāļus. Nākamajā nodaļā analizēta informācija par koksnes pāļu izmantošanu un to ietekmējošajiem faktoriem vājas nestspējas gruntīs.

1.2 Koksnes pāļu izmantošana

Kopš aizvēsturiskiem laikiem cilvēki ir būvējuši mājokļus un apmetnes ezeru vai upju krastos, gan ūdens pieejamības, gan aizsardzības uzbrukumam dēļ. Lai balstītu mājokļus virs ūdens līmeņa dūņainās gruntīs, jau tad tika pielietota dzīto pāļu metode (Amir, 2017).

Lai paildzinātu koksnes kalpošanas ilgumu, kopš seniem laikiem cilvēki veic koksnes impregnēšanu, izmantojot dzīvnieku un augu taukus vai minerāleļļas. Senās Romas laikos koksne tika ieeļļota ar ciedra koksnes eļļām un sveķiem, pēc tam koksnes virsma tika apdedzināta, lai pagarinātu tās kalpošanas laiku. Daži romiešu uzbūvētie ceļi ir labā stāvoklī vēl 1 900 gadus pēc to būvniecības (Hooli, 2020).

Koksnes pāļi pilda ēkas balsta funkciju jau vairāk nekā 6000 gadu (Hooli J., 2020). Mūsdienās ar radioaktīvā oglekļa datēšanas metodi konstatēts, ka Londonā atklātie koksnes pāļi ir vairāk nekā 6000 gadus veci un joprojām to kvalitāte vērtējama kā atbilstoša (Amir, 2017).

Pāļu izmantošana bija nozīmīga arī ne tikai agrākajos laikos, bet arī mūsdienās, un par to liecina citu valstu pieredzes veiktā analīze. Šī pētījuma ietvaros par pāļu, t.sk., koksnes pāļu, lomu un to izmantošanu veikta informācijas avotu analīze par sekojošām valstīm - Latviju, Lietuvu, Lielbritāniju, Itāliju, ASV, Īriju, Krieviju, Zviedriju un teritorijām citviet Skandināvijā.

Latvijas teritorijā koksnes pāļu būvniecības pirmsākumi meklējumi krietnu laiku pirms mūsu ēras. Uz to norāda 2008. gadā veiktie pētījumi ar radioaktīvā oglekļa datēšanas metodi Lubānas mitrāja apkārtnē, vēlā neolīta Aboras apmetnē. Veicot arheoloģiskos izrakumus, tika atrastas divas lielās stabu vietas (diametri 0,17–0,19 m). Savukārt aiz tām dienvidu virzienā izvietotās, mazākās stabu vietas un tās atradās uz vienas līnijas. Paralēli esošās līnijas (vienu lielu un otru mazu stabu vietu) varēja veidot ēkas konstrukcijas daļu (skat. 1.2. att.). Par celtnes fundamentālo raksturu nav jāšaubās, jo pēc tai pielietoto stāvkoku vietām bedrē, var secināt, ka koksnes pāļu diametri ir lieli (Loze & Eberhards, 2008).



1.2.att. Celtnes vietas paliekas — stāvkoku konstrukcijas (stabu) izvietojums pamatzemē

Latvijā koksne izmantota ne tikai ēku būvniecībā, bet arī ceļu būvniecībā. Cenas tīreļa laipu takas pusceļā ir novērojamas sena ceļa aprises, kurš tika izbūvēts no apaļiem kokmateriāliem 1. pasaules kara laikā kara tehnikas un armijas transportēšanas vajadzībām. Ceļu purvā viegli var atpazīt pēc dabiski izveidojušās lielu koku alejas, kas ir pavisam neraksturīga ainava purvam. Tomēr pārvietoties pa to ir gandrīz neiespējami un nav ieteicams, jo laika gaitā un ārējo apstākļu ietekmē ceļš ir krietni vien cietis un kļuvis nedrošs (www.rigasmezi.lv/lv).

Lietuvas veiktajā pētījumā konstatēts, ka pāļus kā konstruktīvo risinājumu ēku celtniecībā jau izmantoja vēlajā neolīta laikmetā, veidojot apmetnes pie ezeriem, kad piejūras lagūnas tika savienotas ieplūstošām un izplūstošām upēm un jūru. Lielākā daļa apmetņu tika atklāta zem kūdras slāņiem, un visām apmetnēm bija raksturīgi atrastie vertikāli dzīti pāļi. Tika analizēti vairāk nekā 300 pāļu paraugi. Secināts, ka lielāko daļu konstrukciju veidoja Eiropas osis (*Fraxinus excelsior* L.) sastādot 57,1%, un tas ir raksturīgs platlapju mežam, kas dominēja Atlantijas periodā. Otrā koku suga bija melnalksnis (*Alnus glutinosa*) – 11,3%, trešā koku suga bija lazda (*Coryllus avellana* L.) – 10,0%, un citas raksturīgās platlapju sugas, piemēram, goba (*Ulmus* sp.) – 5,3%. Savukārt kļava (*Acer platanoides* L.) un ozols (*Quercus robur* L.) netika izmantots, bet skuju koku suga kā priede (*Pinus sylvestris* L.) tika izmantota vien 6% gadījumos (Girininkas, 2010).

Koksnes pāļu izmantošana grunts stabilitātes uzlabošanai ir bijusi zināma kopš vēsturiski seniem laikiem. Arhitekts Palladio (1508-1580) apgalvoja, ka vājas nestspējas gruntīm nepieciešams pielietot koksnes pāļus, kuru garumam jābūt 1/8 no ēkas augstuma, un diametram - 1/12 no pāļa garuma, un dzītiem vienam otram blakus. Savukārt venēciešu arhitekts V.Scamozzi (1548-1616), papildināja koksnes pāļu tehnoloģiju, norādot, ka koksnei jābūt konkrētā sezonā sagatavotai, mizotai, savādāk tā ātrāk bojājas, un šādu materiālu ēku būvniecībai nevajadzētu izmantot, jo samazinās koksnes mehāniskās īpašības (Ceccato & Simonini, 2013).

Saistībā ar koksnes izmantošanu ceļu būvē, ir pierādīts, ka ceļi pāri purviem ir būvēti jau aptuveni 4000 gadu pirms mūsu ēras, un sākumā tās ir bijušas kā koksnes klājumu ceļa trases (Munro, 2004).

Koksnes pāļu konstrukcijas izmantošana 19. un 20. gadsimtā ēku pamatu slodzes pastiprināšanai Skandināvijā bija ierasta prakse, kā, piemēram, parlamenta ēka Stokholmā, kas celta 1890. gadā, ir būvēta uz 15 000 koksnes pāļiem, kuru kalpošanas ilgums tika prognozēts vismaz 100 gadus. Ziemeļeiropā, Austrumeiropā un Centrāleiropā, kā arī Krievijā ir zināmas vairākas būves uz koksnes pāļiem, bet Dienvideiropā tie nav izplatīti, izņemot Venēciju (Klaassen & Creemers, 2012), jo tā celta uz salām, kuras veido dažādi grunts slāņi, sākot ar vidēji smalkām smiltīm līdz mīkstiēm dūņainiem māliem. Līdz ar to, ēku celtniecībai bija nepieciešams ievērojami uzlabot pamatnes konstrukcijas, kas tika risināts, veidojot koksnes pāļus pamatus, kuri sastāvēja no īsiem, neliela diametra cieši dzītiem koksnes pāļiem (Ceccato & Simonini, 2013).

Venēcijas būvniecībā izmantotā koksne sastāv no 5-6 koku sugām (melnalksnis, lapegle, ozols, priede, goba un egle (tā, iespējams, ir uzsākta izmantot nesen)). Arī ēku pamatu sistēmā izmanto pāļus no dažādām koku sugām, lai gan ierasts uzskatīt, ka galvenokārt visizplatītākie ir melnalkšņi. Pāļu diametrs konstatēts no 10 līdz 25 cm, un parasti bija līdz 9 pāļiem uz kvadrātmētru (skat. 1.3. att.), un to dzīšana noritēja no ārpuses uz vidu. Pāļu garums atsevišķos gadījumos bija 1 m, bet lielākoties no 3,5 m (Macchioni et al, 2016).



Avots: Macchioni et al, 2016

1.3.att. Koksnes pāļu atsegums Venēcijas ēku būvniecībā

Pamatojoties uz Macchioni un līdzautoru pētījuma publiskotajiem rezultātiem 2016.gadā, secināts, ka liela daļa materiālu un tehniskie risinājumi balstīti uz vēsturiskajām tradīcijām (kas pārmantotas no paaudzes uz paaudzi), kas tajā laikā nebija tehniski pamatoti. Pāļi netika atlasīti ne pēc kvalitātes, ne pēc koksnes sugām. Ņemot vērā lielo pāļu daudzumu, kas iedzīti gruntī, iespējams, ka kvalitāti zināmā mērā noteica apjoms: liels daudzums zemas kvalitātes materiāla, pat diezgan īss, tika uzskatīts par pietiekamu, lai nodrošinātu ilgtermiņa stabilitāti ēkām. Lielākā daļa pāļu tika veidoti no melnalkšņa apaļiem kokmateriāliem, kas sagatavoti blakus esošās mežaudzēs, un mazākas dimensijas lapegles apaļiem kokmateriāliem. Venēcijas būvniecības pieredzē bija ļoti svarīgi nodrošināt nepārtrauktu augstas kvalitātes koksnes materiālu plūsmu, ko izmantoja kuģu būvē un galdniecības uzstrādājumu ražošanā, nevis pāļu izbūvē. Līdz ar to var saprast, ka koksnes kvalitāte tika uzskatīta par mazāk svarīgu faktoru, kad pāļus vajadzēja izmantot zemas nestspējas gruntīs, un arī tāpēc, ka vide tika uzskatīta par mazāk agresīvu, jo līdz šim ir fiksētas tikai nelielas uz koksnes pāļiem attiecināmas problēmas (Macchioni et al, 2016).

Savukārt Nīderlandes rietumu daļa uzcelta upju deltu zonās. Grunts šajā zonā sastāv no nogulumiem, kuri radušies, nogulsējoties upes nestajam materiālam, līdz ar to mīksts grunts nav pietiekami stabils, lai atbalstītu vienkāršas konstrukcijas pamatus, tāpēc gadsimtiem ilgi cilvēki izmantojuši koksnes pāļus, lai atbalstītu konstrukcijas uz noturīgākiem grunts slāņiem zem vājās nestspējas grunts kārtas. Līdz Otrajam pasaules karam, koksnes pāļu pamati Nīderlandes rietumos bija visizplatītākā konstrukciju pamatu veidošanas metode, kas mūsdienās joprojām izmantot (Schreurs, 2017).

Tajā laikā apgūtā Eiropas pieredze tiek izmantota arī Sanktpēterburgas būvniecībā un izplatījās visā Krievijā. Koksnes izmantošanai komplicētos grunts pamatos bija vairākas funkcijas. Pirmkārt, slodžu pārnese uz blīvākiem grunts slāņiem, piemēram, Kazanā katedrālē Sarkanajā laukumā Maskavā (Krievija). Otrkārt, slodzes izlīdzināšana ēku pamatnē zem laukakmeņu šķembām, veicot vājas grunts saspiešanu zem masīvām ēkām, piemēram, Sv. Īzaka katedrālē, kuras celtniecībā izmantoti vairāk kā 11 tūkst. koksnes pāļi, un zem Pētera un Pāvila cietokšņa - vairāk nekā 40 tūkst. koksnes pāļi. Šādi tehnoloģiskie risinājumi vēl joprojām saglabā ēkas un zem tās esošās grunts nestspēju (Cherkasova, 2016).

Savukārt, 2013. - 2014. gadā Zviedrijā veikta 685. ceļa "Vibbyn - Skogså" pārbūve, kurā ietilpa apjomīgi ceļa konstrukcijas stiprināšanas darbi, palielinot ceļa nestspēju. Pārbūve ietvēra 3,6 un 3,7 km garus ceļa posmus, kur atsevišķās vietās ceļa konstrukcija tiek balstīta uz koksnes pāļiem (Hugosson & Nilsson, 2014). Minētie ceļa posmi balstījās uz vājas nestspējas grunti, un uzskatīti par nozīmīgiem, jo pa tiem ikdienu pārvietoja aptuveni 80 smagās kravas automašīnas. Ceļa rekonstrukcijā koksnes pāļu izbūves vietās kopumā izmantoti aptuveni 5 tūkst. skujkoku koksnes pāļi, un iestrādāti tā, lai slodze sadalās attiecīgi pa slāņiem, ko Zviedrijā dēvē par "Norrländspålning" metodi (Hugosson & Nilsson, 2014).

Tajā pašā laikā 2013. gadā ASV uzsāka vērienīgu 10 gadus ilgu "Eligin O'Hare" ātrgaitas šosejas pārbūvi. Tajā ietilpa arī Ilinoisas 53. šosejas (IL53) pārbūve, un posmā, kas atrodas Kuka apgabalā un Čikāgas pilsētas teritorijā, bija nepieciešams 183 m ceļa posmu paplašināt no 12 m līdz aptuveni 24 m. Ceļa posms stiepās pāri līdz pat 6 m dziļas kūdrainas, mīksta organiskā māla un dūņu sajaukuma gruntij (Snider et al., 2017). Kā risinājums tika pieņemta koksnes pāļu metode, un to slodze tika noteikta, balstoties uz uzbēruma laukumu, nosakot to nepieciešamo nestspēju no 415 līdz 680 kN. Pāļi tika izstrādāti atbilstoši IDOT (Illinois Department of Transportation) noteiktajam LRFD (Load and Resistance Factor Design) ģeotehniskās pretestības koeficientam 0,55 (IDOT 2012) un to garumu noteica no 9 līdz 11 m atkarībā no grunts organisko nogulumu biezuma un atrašanās vietas (Snider et al., 2017).

Savukārt Īrijā, ņemot vērā būvniecības izmaksas, koksnes pāļus meža autoceļu būvniecībā izmanto reti, bet valsts nozīmes ceļu būvniecībā grunts stiprināšana ar pāļiem ir plašāk izplatīta. Neskatoties uz sākotnējām salīdzinoši lielām būvniecības izmaksām, bieži vien šis ir vispiemērotākais risinājums ilgtermiņā uz vājas nestspējas gruntīm (Ryan & McGill, 2004). Viens no šādiem meža autoceļiem izbūvēts Īrijas ziemeļrietumu daļā, kur 120 m garš ceļa posms stiepās pāri aptuveni 8 m dziļam kūdras grunts slānim. Standarta Īrijas meža autoceļu trases tiek veidotas 5,5 m platumā, no kuriem 3,4 m aizņem brauktuve. Meža autoceļu izbūvē izvēlējās kūdrainas grunts, kuras dziļums pārsniedz 4 m. Sākotnēji minētajam ceļa posmam tika izmantota cita būvniecības metode, un 6 gadus pirms būvniecības tika izveidotas notekas ar mērķi susināt grunti, kas palielinātu tās stabilitāti. Pēc šī procesa tika ieklāts polipropilēna biaksiālais ģeorežģis, un virs tā ieklāja smilts un māla slāni ar 0,75 m augstiem laukameņiem (Ryan & McGill, 2004). Sākotnēji atsevišķus ceļa posmus izbūvēja sekmīgi, bet būtiskas deformācijas veidojās vietās, kur kūdras dziļums pārsniedza 3 m. Pabeigtajos ceļa posmos konstatēja nepieņemamas deformācijas, kā rezultātā būvniecību apturēja. Turpmāko ceļa izbūvi veica pa 20 m gariem posmiem, lai nepieciešamības gadījumos mainītu tā konstrukciju. Lai mazinātu izdevumus, pielietojot koksnes pāļus, nolēma maksimāli palielināt atstarpes starp tiem. Sākotnēji bija plānots pāļus dzīt 2,1 m attālumā vienam no otra un starp rindām atstājot 2 m. Koksnes pāļus sagatavoja no tuvējos mežos augošās Sitkas egles (*Picea sitchensis*), un to tievgaļa diametrs bija no 140 līdz 150 mm, bet garums aptuveni 5,5 m. Projektēšanas laikā pieņemts, ka kūdra atbalstīs aptuveni 20% no vertikālās slodzes, un atlikusī slodze tiek pārnesta uz pāļiem, uzbērtu grunti un tērauda sietu virs tiem (Ryan T. & McGill C., 2004). Būvniecības noslēgumā tērauda sietu nomainīja pret augstas izturības ģeotekstilu, ieklājot to divos slāņos (Ryan & McGill, 2004). Izvērtējot būvniecības procesu secināts, ka turpmāk meža ceļiem ieteicams pāļus izvietot ciešāk, izmantojot 1,2 x 1 m izvietojuma režģi, kā arī jāizmanto divi vai trīs ģeorežģa slāņi. Lai paildzinātu ceļa ekspluatācijas laiku, jāizvērtē pāļu degradācijas novēršanu tajās daļās, kas atrodas virs gruntsūdens līmeņa (Ryan & McGill, 2004). Balstoties uz Īrijas valstu pieredzi, šajā pētījumā LVM meža autoceļa "Tēvgāršas turpinājums" būvniecībā izmantots tieši 1,2 x 1 m izvietojuma režģa risinājums koksnes pāļus izbūvē.

Somijā, “Suuri Rantatie” ceļu izbūvēja jau 14.gs., un visplašāk to izmantoja 18.gs, ar kura palīdzību tika nodrošināta transporta kustība ar Sanktpēterburgu. Tā posms Ylästö rajonā, “Kuninkaantie” ceļš, atrodas blakus Vantaanjokea upei un tās tuvākā vieta pieklaujas 14 m attālumā (Hooli, 2020). “Kuninkaantie” ceļa grunts, galvenokārt, sastāv no māla, ko austrumos ierobežo iežu atsegumi, bet rietumos dūņu un morēnas iegulumu zonas (Hooli, 2020).

2018. gadā “Kuninkaantien” ceļā pirms rekonstrukcijas darbu uzsākšanas izvērtēja dažādas grunts nostiprinošas metodes. Priekšizpētes projektā kā iespējamie risinājumi izvēlēti koksnes pāļi un ģeosintētiskie materiāli. Dēļ lielām gruntsūdens līmeņa svārstībām objektā plānots izmantot arī dzelzsbetona pāļus, kurus novietoja tādā pašā vai lielākā slīpumā un dziļāk nekā koksnes pāļus (Hooli, 2020). Pēc galīgo elementu metodes, tika konstatēts, ka dzelzsbetona pāļu un koksnes pāļu konstrukcija kā grunts stiegrojuma metode ir uzskatāma par patstāvīgu grunts stabilizēšanas metodi (Hooli, 2020). Tika atzīts, ka, plānojot koksnes pāļu izmantošanu, ir arī jāizvērtē gruntsūdeņu līmenis un sastāvs, jo šie rādītāji ietekmē koksnes pāļu izturību, kā arī lietojamību. Uzstādot kompozītpāļu savienojumu, starp betona un koksnes pāļiem jābūt līdzsvarotai spēka pārnei. Būtiski ir arī tas, ka uz slīpumā novietotajiem pāļiem, uzklātā grunts nevar būt ar lielu ūdens piesātinājumu, jo tas ļautu gruntij noslidēt gar pāļiem (Hooli, 2020). “Kuninkaantien” ceļa posmā, gruntsūdeņu līmeņa svārstības apkārt esošā teritorijā ir lielas, un jāņem vērā, ka gruntsūdeņu līmeņa izmaiņām nav tik kritiskas ietekmes uz koksnes pāļu saglabāšanos kā pastāvīga gruntsūdens līmeņa pazemināšanās. Ja koksnes pāļu augšējie gali atrodas māla slānī, tad pazeminoties gruntsūdens līmenim, tas mitrā stāvoklī ilgi notur ūdeni dēļ māla grunts kapilaritātes, kā rezultātā kavēta koksni noārdāmo sēņu attīstība (Hooli, 2020).

Dažādās valstīs inženierbūvju nozarē ir izstrādāta virkne paņēmieni, lai uzbūvētu ceļa uzbēruma konstrukcijas uz vājas nestspējas gruntīm. Atsevišķos gadījumos arī valsts nozīmes ceļu būvniecībā slodzes pārnešanai uz noturīgākiem grunts slāņiem izmanto dažādu koku sugu koksnes pāļus. Projektēšanas laikā, ievērtējot visus ietekmējošos faktorus, būves pēc nodošanas ekspluatācijā uzrāda pietiekamu noturību. Tai pašā laikā jāatceras, ka dažādi konstruktīvie risinājumi var dot atšķirīgus rezultātus (skat. 1.1. tab.).

1.1.tabula Citu valstu pieredze vājas nestspējas grunts pārvarēšanai

Valsts	Ceļa nosaukums, izmantošanas veids	Izbūvētā pāļu posma garums un platums	Vājas nestspējas grunts dziļums	Pāļu raksturojums un meža ceļa izbūves shēma	Rekomendācijas pēc meža ceļa izbūves
Īrija	Corravokeen North Co. Mayo, meža ceļš	120 m garumā, platums 5,5 m (brauktuve 3,4 m)	Dziļākā vieta ~ 8 m	Četrstūra režģis – 2,1 * 2 m un 1,2 m * 1 m. Tievgaļa caurmērs 14 un 15 cm. Garums - 5,5 m. Koku suga: Sitkas egles (<i>Picea sitchensis</i>)	Sākotnēji tika dzīti 2,1 m attālumā viens no otra, un 2m starp rindām – tehnoloģija pirmajos 20 m. Sākās deformācijas, jo pāļi bija pārāk lielā attālumā viens no otra. Tika samazināts attālums – 1,2 m * 1 m, kas arī ir rekomendācija nākotnes pāļu ceļu izbūvei meža ceļos.

Valsts	Ceļa nosaukums, izmantošanas veids	Izbūvētā pāļu posma garums un platums	Vājas nestspējas grunts dziļums	Pāļu raksturojums un meža ceļa izbūves shēma	Rekomendācijas pēc meža ceļa izbūves
Zviedrija	685. ceļš "Vibbyn - Skogså", valsts nozīmes šoseja	Pārbūvēti 3,6 un 3,7 km gari ceļa posmi, no kuriem daļa balstās uz koksnes pāļiem	-	Kvadrātveida – 1,2 m attālumā brauktuves vidusdaļā, un 1 m attālumā brauktuves malās. Garums 8 – 17 m, caurmērs 15 – 25 cm. Koku sugas: priede un egle.	Nav rekomendācijas, jo pētījums analizēja augsnes ietekmi uz koku pāļiem, nevis pāļu izbūvi.
ASV	Ilinoisas 53. šosejas, Kuka apgabals, valsts nozīmes šoseja	Garums 185 m, platums 24 m	Līdz ~ 6 m	Kvadrātveida – 7 pēdu (2,13 m) attālumā viens no otra, Garums 9 - 11 m. Koku sugas: nav identificējamās.	Uz pāļiem balstīta ceļa konstrukcija ir rentabla alternatīva strukturālajiem risinājumiem vietās, kur ir kūdras un vājas nestspējas grunts.
Somija	Ylästö rajonā, "Kuninkaantie" ceļš	-	No 1,8 līdz ~ 7,2 m	Gruntsūdeņu svārstības ietekmes rezultātā, objektā tika izbūvēti gan skuju koku koksnes pāļu, gan dzelzsbetona.	Ja koksnes pāļu augšējie gali atrodas māla slānī, tad pazeminoties gruntsūdens līmenim, tas mitrā stāvoklī ilgi notur ūdeni dēļ māla grunts kapilaritātes, kā rezultātā samazinās koksnes pāļu bojāšanās.

1.3 Koksnes pāļu raksturojums un izbūves shēmas

Plašā koksnes izmantošana būvniecībā lielākoties izskaidrojama ar to, ka koksnei ir augsta stiprība, neliela tilpummasa, maza siltumvadītspēja, un koksni var bez grūtībām mehāniski apstrādāt. Taču šim būvmateriālam ir arī būtiski trūkumi: fizikālo īpašību atkarība no koksnes šķiedru virziena, ātra trupēšana un viegla degamība, augsts hidroskopiskums un dažāda veida koksnes vainas (Popovs, 1990).

Koksnes pāļus var lietot pie pastāvīga gruntsūdeņu līmeņa. Koksnes pāļiem jābūt veselīgiem, izturīgiem un taisniem. Šādos gadījumos vislabākā koku suga ir ozols, tad skuju koki (no tiem piemērotākā ir priede, kura satur daudz sveķu). Koksnes pāļu ilgizturība pie pareizas ekspluatācijas nav ierobežota. Koksnei nav vajadzības būt sausai, piemēram, spundētām sienām sausi pāļi pat neder, jo ūdenī tie samirkst, sabriest un var izjaukt spundēto sienu. Koku ciršana rekomendējama ziemas laikā (Zariņš, 1927).

Labākais laiks koka ciršanai ziemā ir tādēļ, ka koki ir miera stāvoklī. Ziemā ir zems gaisa mitrums, kas uzlabo arī nocirsto kokmateriālu kvalitāti, jo tādējādi tiek novērsts spriegums koksne un saglabāta vienmērīga koksnes krāsa (Puuproffa & Ajankohta, 2020).

Miera periodā nocirstajai koksnei ir labāka izturība pret trapes sēnēm. Vasarā nocirstā koka šūnās ir ar augšanu saistīti vielmaiņas produkti, kurus var viegli izmantot arī sēņu augšana (Hammar, 2009).

Pasaulē labākās vietas atbilstošas koksnes audzēšanai ir klimata zonas, kur mijas aukstas ziemas un siltas vasaras, piemēram, Ziemeļeiropa, kurā pēc Eiropas Savienības ieteiktās definīcijas ietilpst trīs Baltijas valstis — Igaunija, Latvija, Lietuva, piecas Ziemeļvalstis — Dānija, Islande, Norvēģija, Somija, Zviedrija. Ziemeļeiropā vasaras sezona ir salīdzinoši īsa (aptuveni 100 dienas), tāpēc koku augšana ir lēna. Lēnās augšanas dēļ zari ir mazi, stumbrs ir simetrisks, ikgadējie gadskārtu pieaugumi ir šauri un blīvi, un aplievas koksnes īpatsvars ir mazs, bet kodolkoksnes īpatsvars ir liels. Šo faktoru rezultātā tiek iegūts izturīgs, blīvs un taisns apaļais kokmateriāls (Puuinfo, Lujaa puuta pohjoiselta havumetsävyöhykkeeltä, 2020).

Koksnes struktūras nozīmīgākā iezīme ir tās anizotropija, kuras dēļ koksnes pretošanās spēja mehāniskai iedarbībai dažādos virzienos ir atšķirīga. Turklāt koksnes mehāniskās īpašības ir atkarīgas no koka sugas, koksnes mitruma, blīvuma un koksnes vainām. Šīs koksnes īpatnības jāņem vērā, izmantojot kokmateriālus būvniecībā (Grīnberga, 1997).

Koksne mehāniskās īpašības apraksta materiālu izturēšanos mehānisku slodžu iedarbībā, kuru rezultātā materiāli deformējas, un tajos rodas spriegums. Mehāniskās īpašības raksturo materiālā pretestību deformācijām un pretestību sagraušanai. Koksnes mehāniskās īpašības var raksturot ar sekojošiem rādītājiem:

- stiprību – spēja pretoties sagraušanai;
- deformācijas rādītājiem – pretošanās spēja izmēru un formas izmaiņām spēku ietekmē;
- tehnoloģiskie un ekspluatācijas rādītājiem, kas raksturo koku sugu piemērotību noteiktajam izmantošanas veidam.

Galvenais mehānisko īpašību ietekmējošais faktors ir koksnes blīvums - jo lielāks ir koksnes blīvums, jo lielāka ir tās stiprība. Koksnes materiāli īpaši izceļas ar labām mehāniskajām īpašībām, it īpaši, ja izturību attiecinām pret vielas blīvumu. Koksnes fizikāli mehāniskos rādītājus, tajā skaitā arī koksnes blīvumu, profesionālajā literatūrā norāda pie koksnes standarta mitruma 12 %. Daži no tiem aplūkoti 1.2. tabulā.

1.2.tabula Koksnes īpašības pēc standarta DIN 68100 datiem

Koku suga	Koksnes raksturlielumi								
	ρ_s	W_{\max}	W_s	R_v	R_{ts}	R_{rs}	K_{bt}	K_{br}	A_r
Priede	490	130	11,5	12,4	4,5	3,0	0,36	0,19	1,5
Egle	430	140	11,9	12	4,0	2,0	0,36	0,19	2,0
Lapegle	560	100	13,0	11,6	4,5	3,0	0,30	0,14	1,5
Ozols	650	73	13	14,9	7,5	4,0	0,34	0,18	1,9
Osis	650	51	10,8	13,4	7,0	4,5	0,38	0,21	1,6
Alksnis	510	116	13,0	14,0	6,5	4,0	0,27	0,16	1,6

ρ_s – koksnes blīvums pie standarta klimata (RH = 65 %; t = 20 °C), kg m⁻³;

W_{\max} – maksimālais koksnes mitrums svaigi cirstā stāvoklī, %;

W_s – koksnes mitrums pie standarta klimata, %;

R_v – maksimālais tilpuma rukums, %;

R_{ts} – rukums tangenciālajā virzienā līdz standarta mitrumam (12 %);

R_{rs} – rukums radiālajā virzienā līdz standarta mitrumam (12 %);

K_{bt} – briešanas koeficients tangenciālajā virzienā;

K_{br} – briešanas koeficients radiālajā virzienā;

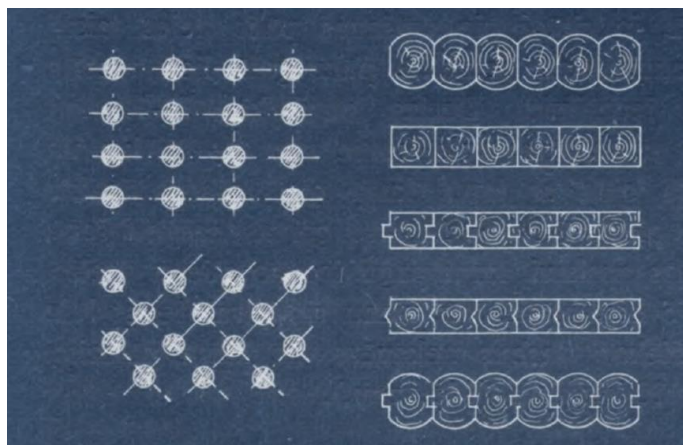
A_r – rukšanas anizotropijas koeficients.

Projektējot izstrādājumus un būves no koksnes produktiem, jāparedz koksnes elementu slogošana vai nu stiepē, vai spiedē šķiedru virzienā, lai sasniegtu augstākus iespējamus stiprības rādītājus. Arī liecē koksnes izstrādājumu uzrāda ļoti augstus stiprības rādītājus, pateicoties spēku sadalījumam šķērsgrīzumā. Skuju koku un lapu koku koksnes produktu stiprības klases ar garantēto mehānisko īpašību raksturlielumiem raksturotas atskaites 1. un 2. pielikumā. Koksnes produktu stiprības klases izriet no standartā DIN 68100 minētiem koksnes blīvuma rādītājiem.

Līdz 10 m gariem koksnes pāļiem lietojama egle vai priede ar stiprības klasi vismaz C14 atbilstoši standartam LVS EN 338. Garākiem pāļiem par 10 m rekomendēts lietot koksni ar stiprības klasi C30 un lielāku. Stiprības klases, kuras dotas 1. un 2. pielikumā norāda, ka, piemēram, C14 klases skuju koka koksnei var pieņemt noteiktu raksturīgo spiedes stiprību šķiedras garenvirzienā – $f_{c,0,k}=16$ MPa. Pieļaujamā koksnes stiprība šķiedru garenvirzienā nosaka, kādu maksimālo vertikālo slodzi un spiedienu var pielikt noteikta diametra koksnes pālim.

Koksnes pāļus galvenokārt izgatavo no nomizotiem skuju koku apaļiem kokmateriāliem (priedes, baltegles, lapegles, egles), bet nepieciešamības gadījumā arī no ozola un melnalkšņa ar raukumu līdz 1 cm/m un liekumu līdz 1%. Pāļa tievgali noasina trīsstūra vai četrstūra piramīdas veidā (Cajs & Mandrikovs, 1991).

Pāļus dzen pēc vajadzības, atsevišķi stāvošus vai ciešām rindām kā sienu. Būves pamatam pāļus sīt taisnām rindām vai rombveidīgi (skat. 1.4. att.). Attālums starp pāļiem atkarīgs no būves svara un pamatnes īpašībām, pāļu garuma un resnuma. Ja izturīga pamatne ir pietiekamā dziļumā, tad pāļus sīt līdz izturīgai pamatnei. Pretējā gadījumā vājā pamatnē pāļus dzen līdz iespējamam dziļumam, un pāļi turas pamatnē caur berzi. Pāļu sišanu sāk no ārējām rindām un otrādi, pāļus dzenot var pamatni izspiest uz ārpusi, kas pie vājas pamatnes nav vēlams. Vājās pamatnes nostiprināšanai pāļus dzen rombveidīgi grupām, 2 — 3 pāļu caurmēra attālumā. Pāļus dzen zemē ar tievgali, izņēmuma gadījumos — otrādi. Pirmajā gadījumā pāļi var izturēt lielāku slodzi, jo viņi ir iedzīti kā konusi, ar tievgali uz leju (Zariņš, 1927).



1.4.att. Koksnes pāļu izbūves shēmas

Ciešas pāļu sienas izgatavo divējādi - no apaļiem vai rievotiem kokiem. Pirmajā gadījumā pāļus tikai aizkar vienu aiz otra, otrā gadījumā - pāļus visā garumā salaiž ar rievu, un tā dabūjam rievoto pāļu sienu. Rievotus pāļus lieto ūdens ciešai sienai. Vienlaidu sienai pāļus notēs uz 2 vai 4 šķautnēm, turklāt apakšu pālim notēs slīpi uz vienu malu zem 15° — 30° , lai pie iesišanas pālis piespiestos cieši pret iepriekšējo pāli, panākot ciešāku sienu (Zariņš, 1927).

Somu instrukcijās par koksnes pāļiem (*Pohjarakennus ja maamekaniikka II* (1957); *Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita* (1970); LPO-79 un LPO-87) norādīts, ka vienkāršākajā pāļu klasē koksnes pāļu pieļaujamo slodzi normālos slodzes gadījumos var konstruēt tā, lai tā atbilstu 5 MPa (slodzes tiek aprēķinātas kā īpatnēja slodze bez drošības koeficientiem), ņemot vērā tālāk apskatītos apsvērumus (SGY ry., 1980).

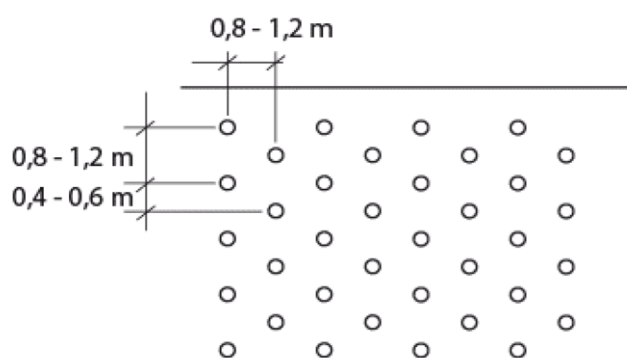
Somijā taisnas priedes un egles galvenokārt izmanto kā koksnes pāļus, un, lai uzlabotu kalpošanas ilgumu, un parasti izmanto svaigi cirstus apaļos kokmateriālus. Pāļi tiek mizoti pirms to dzīšanas gruntī, lai miza nedarbotos kā berzi samazinošs apvalks (Juvankoski & Viitanen, 1989).

Jāizvairās no pāļu lietošanas, kas īsāki par 3 m, un dzītos pāļus, kuru garums ir mazāks par 1,5 m, jo tos vairs nevar uzskatīt par pāļiem. Apstākļos, kad tiek prognozēta ievērojama konstrukcijas iegrimšana, jāizvairās no slīpu pāļu izmantošanas. Mazākie attālumi starp pāļiem ir izvēlēti tā, lai pāļi nesamazinātu viens otra nestspēju un neveidotos deformācijas dēļ grunts un pāļu sāniskās kustības uzstādīšanas laikā. Atbalsta un berzes pāļiem savstarpējais attālums nedrīkst būt mazāks par 0,8 m. Pāļa diametram resgalī jābūt vismaz 150 mm (SGY ry., 1980).

Nīderlandē pāļu garumi svārstās no 5 -23 m, un pāļu darba slodze ir no 5 kN līdz 350 kN. Galvenā izmantotā koku suga ir egle, bet Nīderlandes būvniecības standarts (NEN 5491), pieļauj izmantot arī lapegli un duglāziju. (Reynold, 2009).

Zviedrijā koksnes pāļu projektēšanu veic Zviedrijas Transporta aģentūra (Trafiksverket) saskaņā ar vadlīnijām koksnes pāļu projektēšanai *Trafiksverkets tekniska krav för geokonstruktioner-TK Geo 13* un tehniskiem noteikumiem *Trafikverkets tekniska råd för geokonstruktioner-TR Geo 13*. Kritērijus un ieteikumus koksnes pāļiem var atrast zem nosaukuma *Lätt bänkpålning med träpålar*. Koksnes pāļus ar stiprības klasi C14 izmanto vietās, kur uzstādīšanas dziļums pārsniedz 6 m, un koksnes pāļus ar stiprības klasi C30 izmanto vietās, kur uzstādīšanas dziļums pārsniedz 10 m. Pāļu materiālam jābūt nebojātam no priedes vai egles koksnes, un stiprības klasi C14 saskaņā ar standartu LVS EN 338.

Pāļi iestrādājami pēc trīsstūra shēmas ar attālumu no 0,8 līdz 1,2 m (skat. 1.5. att.). Pāļi jāuzstāda tā, lai tie neizžūtu un netiktu pakļauti trapes iedarbībai. Virs koka pāļu galiem jāiekļāj izlīdzinošs slānis, kas sastāv no blīvas ar ūdeni piesātinātas smalkgraudainas grunts.



1.5.att. Koksnes pāļu izvietojuma shēma

Būvniecībā izmantotajiem pāļu materiāliem pārbaudes laikā jāatbilst sekojošām prasībām:

- pāļi sagatavoti no svaigi cirstiem un veseliem koku stumbriem;
- pāļi nedrīkst būt zaraini ar izteiktām zaru pamatnēm;
- nedrīkst būt trupe vai dziļas kukaiņu ejas;

- nedrīkst rasties glabāšanas laikā trupe;
- vaļējā miza ir jānoņem;
- pāļi nedrīkst izžūt;
- pāļu viduslīnijai jāatšķiras ne vairāk kā par 1% starp diviem brīvi izvēlētiem punktiem 3 m attālumā (līkumainība 1%).

1.4 Koksnes pāļu nestspēja un lietojamība

Lai projektētu grunšu pastiprināšanas risinājumu ar koksnes pāļiem un slodzes pārnese konstrukciju, vispirms nepieciešams veikt koksnes pāļu nestspējas un lietojamības aprēķinus. Koksnes pāļu nestspējas (STR/GEO) un lietojamības (SLS) robežstāvoklī tiek projektēti atbilstoši standartu LVS EN 1997-1:2005 (7.Eirokekss. Ģeotehniskā projektēšana. 1.daļa: Vispārīgie noteikumi) un LVS EN 1997-2:2007 (7.Eirokekss. Ģeotehniskā projektēšana. 2. daļa: Pamatnes grunts izpēte un testēšana) pamatprincipiem un rekomendācijām.

Turpmāk būtiski sniegt informāciju vienotai izpratnei par to, kādus raksturlielumus izmantos aprēķinos un savstarpējo likumsakarību interpretēšanai, novērtējot koksnes pāļu nestspēju. Koksnes pāļu nestspējas un lietojamības ģeotehniskajiem aprēķiniem ir ieteicamas šādas mērvienības un to reizinātāji, izņemot īpaši atrunātos gadījumus:

- lineārās – m (cm);
- spēki (slodzes) – kN;
- spriegumi, spiediens, deformāciju moduļi – kPa;
- blīvums – kN/m³.

Atbilstoši standartam LVS EN 1997-1 2.4.7.3 nodaļai, STR un GEO nestspējas robežstāvoklī jāizpildās sekojošai pārbaudei (1.1.formula):

$$E_d \leq R_d, \quad (1.1.)$$

kur

E_d - aprēķina slodze

R_d - aprēķina pretestība

Atbilstoši LVS EN 1997-1 2.4.8 nodaļai, SLS lietojamības robežstāvoklī jāizpildās sekojošai pārbaudei (1.2.formula):

$$E_d \leq C_d, \quad (1.2.)$$

kur

C_d - aprēķina robežvērtība.

Koksnes pāļi pēc izbūves un darbības principa ir berzes pāļi, kuri izbūvēti bez grunts izņemšanas. Šādu pāļu izbūve jāveic atbilstoši standartam LVS EN 12699:2015 “Īpašu ģeotehnisko darbu izpilde. Pāļi bez grunts izņemšanas” Pāļu projektēšanā atbilstoši standarta LVS EN 1997-1 7.2 nodaļai nepieciešams pārbaudīt sekojošus robežstāvokļus:

- kopējā noturības pārbaude;
- nestspējas pārbaude pāļiem;
- stiepes pārbaude pāļiem;
- konstruktīvā pārbaude pāļiem spiedē, stiepē, liecē, bīdē un uz izkļaušanos;
- kombinētā grunts masīva un pāļu nestspējas pārbaude;
- kombinētā grunts masīva un konstrukcijas nestspējas pārbaude;
- sēšanās pārbaude;

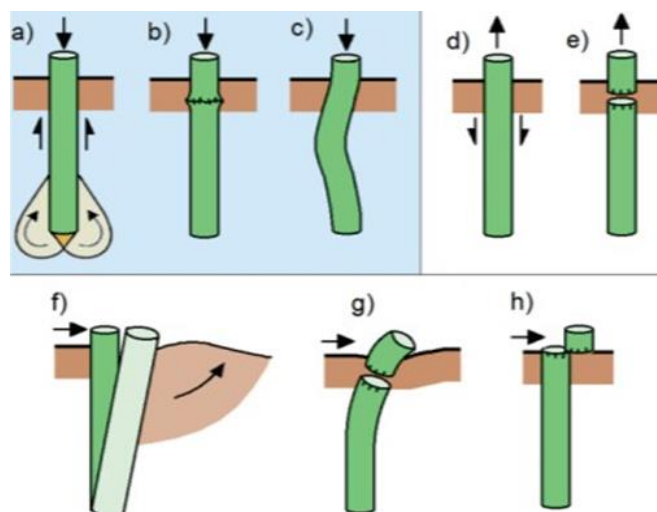
- grunts pacelšanās pārbaude;
- horizontālā pārvietojuma pārbaude;
- pārmērīgas vibrācijas.

No slodzēm, kuras minētas standartā LVS EN 1997-1 2.4.2, koksnes pāļu aprēķinos jāņem vērā sekojoši rādītāji:

- grunts un ūdens pašsvars;
- spriegums gruntī;
- grunts un gruntsūdens spiediens;
- gruntsūdens plūsmas spiediens;
- konstrukciju slodzes, pašsvars;
- uzbēruma slodzes;
- atslogošana vai grunts rakšana;
- transporta slodze;
- slodze, kuru rada dažāda veida pārvietojumi, vibrācijas, un cita veida dinamiskās slodzes;
- temperatūras efekti, tai skaitā grunts sasalšana;
- negatīvā berze.

Koksnes pāļi var tikt slogoti gan vertikāli, gan šķērsvirzienā, un aprēķinā nepieciešams apskatīt dažādas projektēšanas situācijas atbilstoši standarta LVS EN 1997-1 2.2 punktam. “Robežstāvokļi”, kurus nepieciešams apskatīt pāļu projektēšanā ir sekojoši (LVS EN-1997-1, §7.2.(1) P):

- pāļu pamatu nestspējas zudums;
- nepietiekama pāļa vertikālā; nestspēja (1.6. att. a);
- pāļa izstumšana vai nepietiekama stiepes nestspēja (1.6. att. d);
- grunts nestspējas zudums šķērsvirziena slodzes ietekmē (1.6. att. f);
- pāļa konstruktīvs noturības zudums spiedē (1.56. att. b), stiepē (1.6. att. e), liecē (1.6.att. g), uz izklaušanas (1.6. att. c) un bīdē (1.6. att. h);
- kombinēts grunts un pāļa nestspējas zudums;
- pārmērīgas deformācijas;
- kopējās stabilitātes zudums;
- nepieļaujamās vibrācijas.



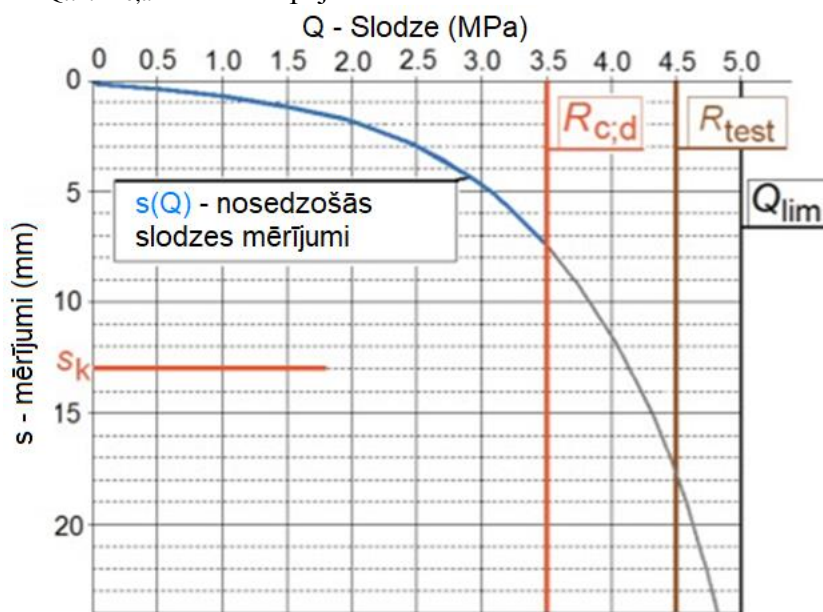
Avots: Wrana, 2015

1.6.att. Pāļa nestspējas zudumi:
a-c spiedē; d-e stiepē; f-h šķērsvirzienā slogoti pāļi

Svarīgākais jautājums ir tieši pāļu vertikālā nestspējas pārbaude (1.6. att. a). Pāļa vertikālās nestspējas gadījumā tiek apskatīti sekojoši galvenie parametri (skat. 1.7. att.):

- $s(Q)$ – slodzes – sēšanās sakarība pāļa augšējā punktā;
- $s(Q)$ - raksturīgā pāļa sēšanās vērtība, kas aprēķināta pieņemot pustelpas modeli (Boussinesq teorija);
- $R_{c,d}$ - pāļa aprēķina nestspēja;
- R_{test} - pāļa nestspēja statistiskās slodzes testā;
- Q_{lim} – pretestība, pie kuras sākas straujš deformāciju pieaugums un pālis zaudē nestspēju.

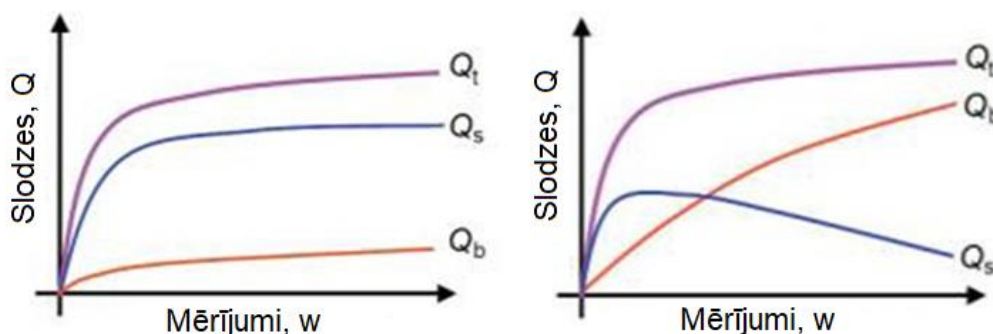
Attiecība $Q_{lim}/R_{c,d}$ nosaka kopējo drošības faktoru.



Avots: Wrana, 2015

1.7.att.Pāļa nestspējas parametri

Berzes pāļiem un statņpāļiem atšķiras slodzes deformāciju līkne (skat. 1.8. att.), kur Q_s ir sānu berzes pretestība, Q_b ir pāļa gala pretestība, un Q_t - kopējā pretestība.



Avots: Wrana, 2015

1.8.att. Slodzes deformāciju līknes: pa kreisi – berzes pālis; pa labi – statņpālis

Atbilstoši LVS EN 1997-1 §7.4(1)P pāļus nepieciešams projektēt atbilstoši vienai no sekojošajām pieejām:

- empīriskas vai analītiskas aprēķinu metodes, kuru atbilstība ir noteikta ar pāļu statistiskās slodzes datiem;

- pāļu statiskās slogošanas testa datiem;
- pāļu dinamiskās slodzes testiem, kuru atbilstība ir noteikta ar pāļu statiskās slogošanas datiem;
- novērtēšanas metode, salīdzinot ar līdzīgu pieredzi, nodrošinot, ka tas tiek precizēts ar ģeotehniskās izpētes datiem.

Aprēķinot pāļu vertikālo nestspēju, jāizpildās sekojošai pārbaudei (1.3.formula):

$$F_{c;d} \leq R_{c;d}, \quad (1.3.)$$

kur

$F_{c;d}$ – aprēķina slodze;

$R_{c;d}$ – pāļa aprēķina pretestība,

Latvijā, atbilstoši standarta LVS EN 1997-1 nacionālajam pielikumam, pāļu projektēšana jāveic atbilstoši projektēšanas pieejai DA2. Šī projektēšanas pieeja nosaka parciālo koeficientu lietošanu slodzēm, materiāliem un pretestībā. Attiecīgi Latvijā pāļu projektēšanā nepieciešams lietot parciālo koeficientu grupu, atbilstoši LVS EN 1997-1 pielikumam A. Atbilstoši standartam iespējami vairāki veidi, kā noteikt pāļu raksturīgo vertikālo nestspēju $R_{c;k}$:

- tiešā veidā no pāļu slogošanas testiem, izmantojot korelācijas koeficientus ξ_1 un ξ_2 noteiktam statiskās slogošanas testu skaitam A.9 tabula LVS EN 1997-1 pielikumā A;
- izmantojot aprēķinus atbilstošajai ģeotehniskajai situācijai un grunšu fizikāli-mehāniskajiem parametriem;
- tiešā veidā no pāļu dinamiskajiem testiem, izmantojot koeficientus, kuri doti A.11 tabula LVS EN 1997-1 pielikumā A.

Standarta LVS EN 1997-2 apskata metodes, kā pāļa nestspēju $R_{c;cal}$ iespējams noteikt tiešā veidā no grunšu lauka testiem:

- pielikumā D.6 un D.7 dotas metodes, kā pāļa nestspēju rēķināt atbilstoši statiskās zondēšanas testa rezultātiem;
- pielikumā E.3 dota metode, kā pāļa nestspēju rēķināt atbilstoši presiometra testa rezultātiem.

Pāļa kopējā nestspēja $R_{c;k}$ vai pāļa gala un sānu pretestība $R_{b;k}$ un $R_{s;k}$ var tikt noteikta tiešā veidā, izmantojot korelācijas koeficientus ξ_3 un ξ_4 un datus, kuri iegūti atbilstoši lauka mērījumiem.

Raksturīgā pāļa gala un sānu pretestība var tikt aprēķināta tiešā veidā no grunts parametriem, izmantojot sekojošu izteiksmi atbilstoši LVS EN 1997-1 §7.6.2.3(8):

$$R_{b;k} = A_b \times q_{b;k}; \quad (1.4.)$$

$$R_{s;k} = \sum A_{s;i} \times q_{s;i;k}, \quad (1.5.)$$

kur,

$R_{b;k}$ – pāļa gala pretestība;

$R_{s;k}$ – pāļa sānu pretestība;

A_b – pamatnes laukums zem pāļa;

$A_{s;i}$ – pāļu virsmas laukums i-tajā grunts slānī;

$q_{b;}$ – grunts pretestība zem pāļa apakšējā gala;

$q_{s;}$ – sānu virsmas pretestība i-tajā grunts slānī.

Aprēķina pretestība $R_{c;d}$ var tikt iegūta no kopējās raksturīgās pretestības (1.6.formula) vai arī sadalot pāļa gala un sānu pretestības komponentēs (1.7.formula):

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t}; \quad (1.6.)$$

$$R_{c;d} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}, \quad (1.7.)$$

kur

$R_{c;d}$ – aprēķina pretestība;

$\gamma_t, \gamma_b, \gamma_s$ – parciālie koeficienti atbilstoši LVS EN 1997-1 pielikumam A.

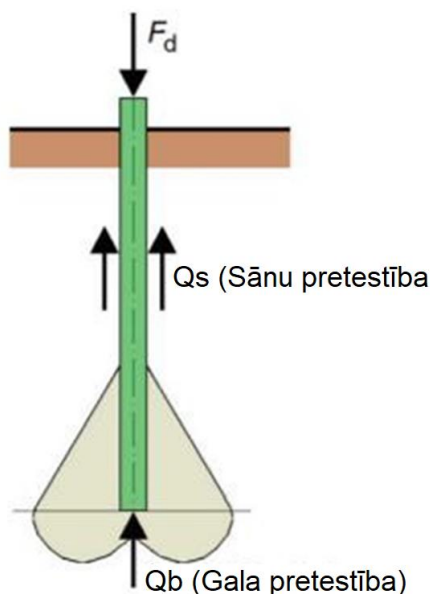
Pāļu nestspēja ir atkarīga no daudziem faktoriem:

- pāļa īpašībām – pāļa garums, pāļa diametrs, forma, materiāls;
- grunšu īpašībām – gan drenētajām, gan nedrenētajām;
- pāļu izbūves tehnoloģijas.

Pāļu analītiskās metodes, kur izmantoti grunšu parametri, tiek sadalītas divās lielās grupās:

- α – metode apskata nedrenēto pāļu darbību. Tā ir īslaicīgā darbība galvenokārt saistīgās gruntīs, kur pāļu aprēķinā tiek izmantota kopējo spriegumu metode;
- β – metode apskata drenēto pāļu darbību. Tā ir ilglaicīgā darbība gan saistīgās, gan nesaistīgās gruntīs, kur pāļu aprēķinā tiek izmantots efektīvais spriegums.

Pāļi slodzi uzņem ar sānu pretestību (berzi) un pāļa gala pretestību (skat. 1.9. att.)



Avots: Wrana, 2015

1.9.att. Vertikāli slogota pāļa darbības shēma

Berzes pāļi lielu daļu no slodzes uzņem ar sānu pretestību, bet statnpāļi slodzi galvenokārt uzņem ar pāļa gala pretestību. Parasti statnpāļi tiek lietoti, lai pārnestu vertikālo slodzi uz nestspējīgiem grunts slāņiem, kuri atrodas noteiktā dziļumā no zemes virsmas atzīmes. Pāļa aprēķina pretestība tiek noteikta atbilstoši sekojošai izteiksmei (1.8. formula):

$$R_{c;d} = R_{b;k} + R_{s;k} = A_b \times q_{b;k} + \sum A_{s;i} \times q_{s;i;k} \quad (1.8.)$$

Daudzējāda ziņā koksne ir ideāls materiāls pāļu izgatavošanai. Koksnei ir augsta stiprības un svara attiecība, to ir viegli apstrādāt, kā arī labvēlīgos apstākļos noteiktām

koku sugām piemīt arī ļoti labas ilgizturības īpašības. Kokmateriālu sagatavošana un to transportēšana no tiešā tuvumā esošajām mežaudzēm sekmē koksnes pāļu izgatavošanu ar zemākām izmaksām, kā arī tie var tikt uzskatīti par ilgtspējīgu un videi draudzīgu risinājumu salīdzinājumā ar metāla vai betona pāļiem.

Koksnes pāļi, kas izvietoti pilnībā zem gruntsūdens līmeņa, ir pasargāti no pūšanas un tādā veidā nodrošina ļoti labas ilgizturības īpašības, tikmēr, pāļa daļas, kas atrodas virs gruntsūdens līmeņa, ir pakļautas dažādu kaitēkļu iedarbībai. Standarts LVS EN 12699:2015 “Īpašu ģeotehnisko darbu izpilde. Pāļi bez grunts izņemšanas” atļauj izmantot koksnes pāļus arī virs gruntsūdens līmeņa, ja vien tiek veikti noteikti pasākumi. Viena no iespējām ir sagatavot koksnes pāļus tieši zem zemākā iespējamā prognozētā gruntsūdens līmeņa, bet pagarināt ar dažāda veida betona vai cita izturīgāka materiāla uzlikām.

Standarts LVS EN 1995-1-1+A1+A2+AC:2014 “5.Eirokekss. Koka konstrukciju projektēšana. 1-1.daļa: Vispārīgi. Kopīgie noteikumi un noteikumi būvēm” nosaka, kā tiek aprēķinātas pašas koksnes konstrukcijas, tai skaitā arī koksnes pāļi. Kā referenci nepieciešams izmantot arī standartu LVS EN 338:2021 “Konstrukciju kokmateriāli. Stiprības klases”, kas nosaka koksnes raksturīgās stiprības klases atbilstošajai koksnes pēc standarta LVS EN 1912:2012 “Konstrukciju kokmateriāli. Stiprības klases. Koku sugu un vizuālo stiprības klašu atbilstība”. Koksnes pāļu aprēķinos nepieciešams izmantot aprēķina slodzes, pārbaudot koksnes materiālu, aprēķina spiedes spriegumus paralēli šķiedrai. Aprēķinos tiek izmantoti nacionālajā pielikumā noteiktie daļējie koeficienti.

Aprēķinot spriegumus koksnes pāļus, nepieciešams noteikt lieces spriegumu robežas ekscentriski un šķērsvirzienā pieliktās slodzes dēļ, kā arī paša koksnes pāļa ģeometriskos neprecizitāšu dēļ. Pielaidei jābūt arī attiecībā uz koksnes pāļa ģeometriju, kas var mainīties pāļu dzīšanas laikā. Tipiskais pāļa garums ir no 5 līdz 18 m un pieliktā slodze no 5 līdz 350 kN (Woodward & Tomlinson, 2014). Standarts LVS EN 12699 atļauj pāļa dzīšanas laikā izmantot 80% no koksnes pāļa materiāla maksimālā pieļaujamā raksturīgās spiedes sprieguma vērtības paralēli šķiedrai. Šis ierobežojums nepieciešams, lai nepieļautu koksnes bojāšanu pāļu dzīšanas laikā. Pieņemot, ka tiek izmantota C14 skujkoku koksne, tad maksimālais dzīšanas spriegums ir sekojošs: $f_{c,0,k} \cdot 0,8 = 12,8 \text{ MPa}$. Ja pieņemam, zāģbalki ar minimālo (tievgalī) diametru 200 mm, tad maksimālā slodze, kas atļauta pāļa dzīšanas laikā ir 400 kN jeb aptuveni 40 t .

1.5 Pāļu slodzes pārnese konstrukcijās

Vairākās valstīs 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. Eiropā eksistē vismaz piecas dažādas rekomendācijas uzbūrumu projektēšanai uz stingajiem pastiprinājumiem:

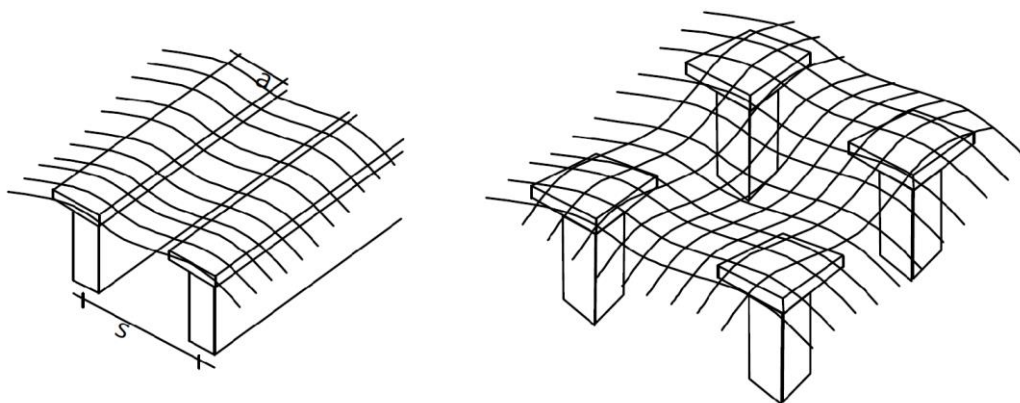
- Nīderlandes vadlīnijas “CUR 226” (izstrādāts 2010. gadā, bet atjaunots 2015. gadā);
- vācu standarts “EBGEO” (izstrādāts 2010. gadā);
- britu standarts “BS 8006” (izstrādāts 1995. gadā, bet atjaunots 2010. gadā);
- Somijas Transporta infrastruktūras aģentūra vadlīnijas (izstrādātas 2012. gadā);
- Ziemeļvalstu vadlīnijas “Nordic Guidelines of Reinforced Soils and Fills” (izstrādāts 2004. gadā).

Tikai Lielbritānija un Vācija ir oficiāli noteikušas ģeosintētisko materiālu standartus. Lielbritānijas standarts tiek apšaubīts dēļ aprēķiniem ģeosintētiskajā materiāla stiegtumam pie vertikālām slodzēm un slīpuma nestabilitāti, kas rodas horizontālo slodžu rezultātā. (Horgan et al., 2006).

Gan Vācijā, gan Lielbritānijā standarti nosaka aprēķinos nepieciešamo stiegrojuma stiepes stiprību ceļa garenprofilā, pamatojoties uz vertikālo slodzi. Ceļa šķēršprofilā aprēķini tiek veikti tādā pašā veidā, izņemot to, ka tiek papildus ņemts vērā stiepes spēka izkliede, kas darbojas uz uzbērumu (CUR Bouw & Infra, 2007).

Vācijas noteiktais standarts ņem vērā tikai šo papildus stiepes spēka izkliedi gar ceļa malām, savukārt Lielbritānijas standarts nosaka, ka tas tiek ņemts vērā aprēķinos visa ceļa platumā. Aprēķinos tika pierādīts, ka vislielākais stiepes spēks atrodas vidū zem uzbēruma, nevis tā malās, un tas rada pretrunas ar Vācijas pieeju (CUR Bouw & Infra, 2007).

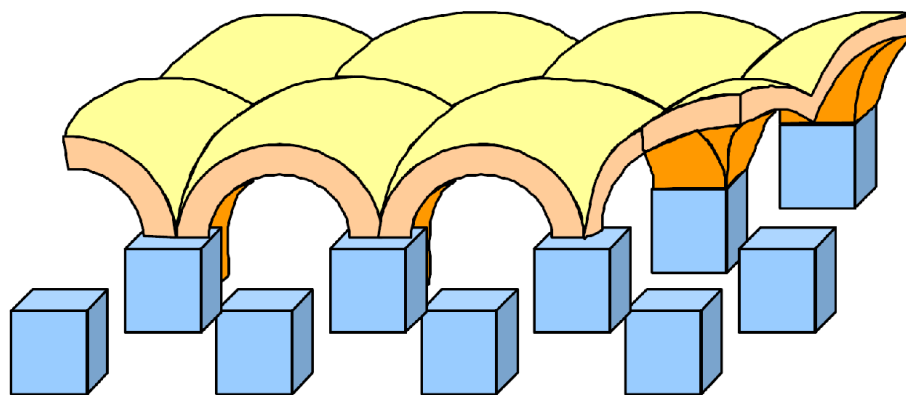
Izmanto vairākas metodes, projektējot stiepes stiegrojumu grunts uzbērumiem uz pāļiem, tai skaitā divdimensionālu (2D) un/ vai trīsdimensionāla (3D) analīze tiek pielietota arvien biežāk. Jāņem vērā, ka dažādās metodēs matemātiskie aprēķini var būt nepietiekami ģeosintētisko materiālu izturības novērtējumā (CUR Bouw & Infra, 2007). 1.10. attēlā parādīta atšķirība starp 2D un 3D modeļa pieeju. Atšķirības starp 2D un 3D modeļa pieeju var būt diezgan lielas. Modeļa aprēķinos tiek novēroti ievērojami lielāki uzbēruma grunts rādītie spriegumi. (Kempton et al., 1998).



Avots: Kempton et al., 1998

1.10.att. Atšķirības starp 2D un 3D modeļa pieeju

Hewlett Randoph et al. (1988) veica vairākus vienkāršus eksperimentus un, pamatojoties uz tiem, sagatavoja pilnīgu 3D modeļa teoriju, ņemot vērā 3D smilšu loka stabilitāti (skat.1.11. att.). Tika sniegti vienādojumi, lai aprēķinātu slodzes sadalījumu starp pāļiem un stiegrojumu, bet nav aprēķina metodes, lai noteiktu stiegrojuma spriegumu.

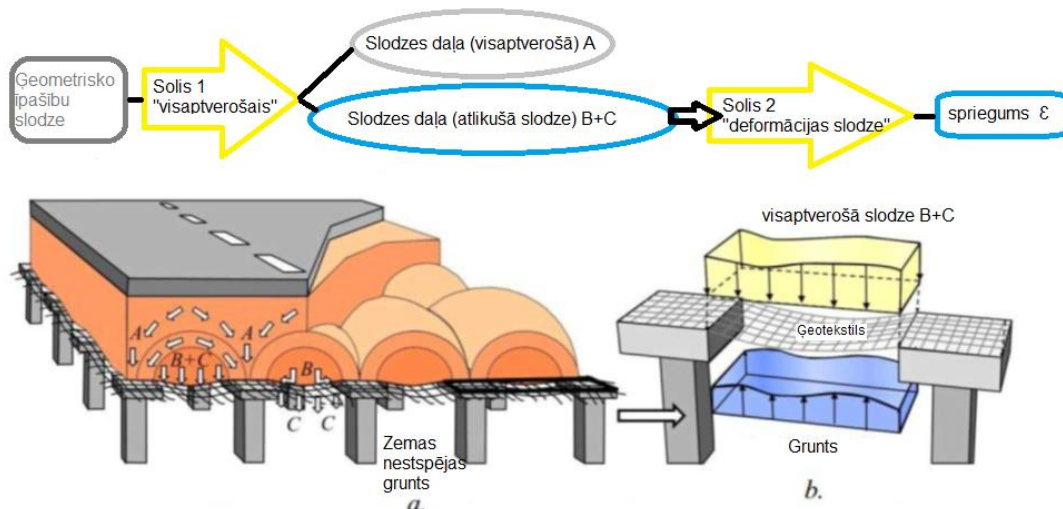


Avots: Hewlett et al., 1988

1.11.att. 3D modeļa teorija - slodzes sadalījums starp pāļiem

Laika gaitā šī metode tika apvienota ar membrānas teoriju saskaņā ar BS 8006, lai varētu aprēķināt stiepes spriegumu ģeosintētikai. Turklāt tika ņemts vērā vājās nespējas grunts pamata atbalsts (Kempfert et al, 1999 & 1997).

Pāļu slodzes pārnese konstrukcijas veidošanai Nīderlandē izmanto augstas stiprības austo ģeotekstilu, ko veido vismaz divas stieģrojuma kārtas dažādos virzienos (CUR 226, Van Eekelen & Brugman, 2016) (skat.1.12.att.). Aušanas tehnika un slodzes virziens būtiski ietekmē konstrukcijai izvēlēta austā ģeotekstila izturību un deformācijas. Pastiprinot zemes klātni ar augstas stiprības ģeotekstilu, var palielināt zemes klātnes nestspēju un uzlabot konstrukcijas stabilitāti, jo stieģrojums, uzņemot konstrukcijā radušos spriegumus, tos izlīdzina un pārnese uz plašāku laukumu (Forsman & Koivisto, 2012).



Avots: Van Eekelen, 2015

1.12.att. Pāļu slodzes pārnese konstrukcija ar austu ģeotekstilu

Neatkarīgi kāds materiāls un kādā konfigurācijā tiek izmantoti stingie pastiprinājumi zemes klātnes pastiprināšanai zem ceļa uzbūrumiem, slodzes pārnese platforma tiek veidota, izmantojot arī ģeosintētiskos materiālu, metāla vai citu materiālu stiepes stieģrojumus. Galvenās divas funkcijas šim stiepes stieģrojumam ir sekojoši:

- nodrošināt uzbūruma pašsvara un transportslodzes radītās slodzes pārnese starp pastiprinājumiem;
- uzņemt uzbūruma pašsvara un transportslodzes radītos horizontālos spēkus.

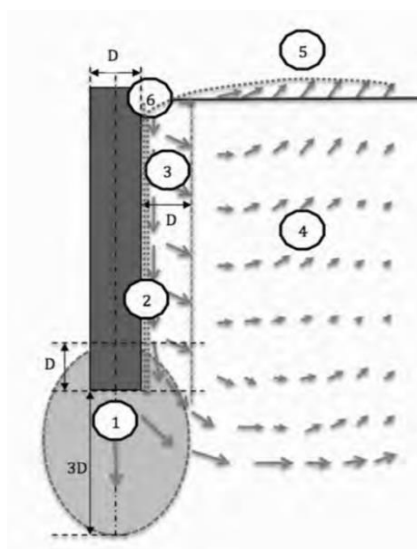
Arī meža autoceļa „Tēvgāršas ceļa turpinājums” būvprojektā projektēts un paredzēts augstas stiprības austais ģeotekstils atbilstoši Nīderlandes vadlīnijām “CUR 226”.

1.6 Grunts deformācijas būvdarbu un ekspluatācijas laikā

Grunšu fizikāli mehāniskās īpašības raksturo to spēju pretoties ārējām slodzēm. Gruntis nevar uzskatīt par cietiem, porainiem ķermeņiem. Saītes starp atsevišķām daļiņām ir samērā nelielas vai arī to nemaz nav. Tādēļ gruntis nevar pretoties stiepes un lieces spēkiem. Ārējās slodzes gruntī izraisa tikai spiedes un bīdes spriegumus. Vertikālie spēki pie nelielām slodzēm gruntī izraisa spiedes deformācijas, bet pie lielām slodzēm gan spiedes, gan bīdes deformācijas. Tādēļ turpmāk veiktajā monitoringā 24 mēnešu periodā iegūtos datus, lai vērtētu meža autoceļa “Tēvgāršas ceļa turpinājums” posma vertikālās un horizontālās deformācijas, t.sk., savstarpējo mijiedarbību.

Arī pāļu dzišana mīkstos māla un dūņu nogulumos izraisa horizontālu un vertikālu grunts kustību, kas izpaužas kā zemes virsmas kāpums. Lai arī grunts ir pārvietojas uz sāniem, šādas sāniskās kustības noteikšana būvdarbos ir grūts uzdevums. Tai pašā laikā grunts sāniskā kustība var nelabvēlīgi ietekmēt konstrukcijas pamatu stabilitāti. Svarīgi ir novērtēt pāļu grupas dzišanas un grunts pārvietošanās ietekmi uz jau uzstādītiem pāļiem, ievērtējot aksiālos spēkus un lieces momentus (Massarsch & Wersäll, 2013).

Lai analizētu pāļu dzišanas ietekmi mālā, ir svarīgi saprast grunts pārvietošanas lauku, kas veidojas pāļu iedzīšanas laikā (Massarsch, 1976). Ir pieņemts, ka grunts pārvietošanos izraisa cilindriskā dobuma izplešanās, ņemot vērā grunts pārvietošanos ap to un zem tā (Massarsch & Wersäll, 2013). Pētniecībā tika izmantota radiogrāfijas metode, lai fiksētu deformācijas ap mālā iedzītu pāli, un šie pētījumi tiek uzskatīti par būtiskiem izpratnei par grunts pārvietošanos, ko rada pāļu dzišanas process (Randolph et al., 1979). Intensīvas dzišanas procesā pālis ietekmē grunti viena pāļa diametra zonā uz sāniem, viena pāļa diametra zonā uz augšu no pāļa tievgaļa, un trīs pāļu diametra zonā uz leju no priekšgala. Dzenot pāli, grunts no pāļa priekšgala galvenokārt pārvietojas uz leju un sāniem, kā rezultātā notiek ievērojama grunts sāniskā kustība (Randolph et al., 1979; Ni et al., 2010). Radiālā grunts pārvietošanās notiek tad, kad pālis ir iedzīts noteiktajā līmenī un grunts pārvietošanas vektori ir vērsti uz sāniem un, palielinoties attālumam no pāļa, tie pakāpeniski virzās uz zemes virsmu (skat. 1.13. att.).



Avots: Massarsch & Wersäll, 2013

1.13.att. Grunts pārvietošanas lauka shematiskais attēlojums pāļu uzstādīšanas laikā:

1 - pāļa – tievgaļa ietekmes zona; 2 - pāļa sānu virsmas ietekmes zona; 3 - tieši pāļa ietekmes zona uz sāniem; 4 - grunts pārvietošanās blakus tiešai ietekmes zonai; 5 - grunts pacēlums uz zemes virsmas

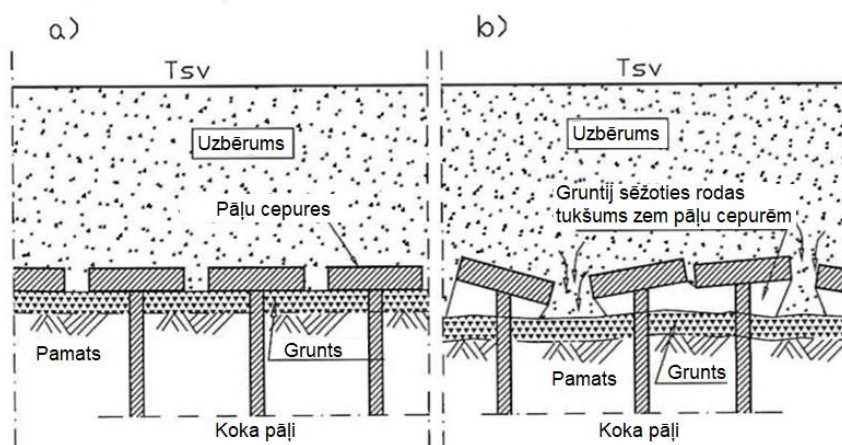
Praktiskos nolūkos tiek uzskatīts par pietiekamu pieņemt, ka grunts kustība pāļa tievgaļi aptuveni viena pāļa diametra attālumā no pāļa notiek galvenokārt sānu virzienā. Tādējādi kopējās radiālās sprieguma izmaiņas un grunts pārvietojumu var novērtēt, pamatojoties uz pāļu uzstādīšanas modelēšanu kā cilindriskā dobuma izplešanos. Pieņemot nesaspiežamu grunti un vienkāršus deformācijas apstākļus pāļu ass virzienā, iespējams aprēķināt grunts sānisko kustību (Randolph, 1979). Kad pāli iedzen ar ūdeni piesātinātā mīkstā mālā, pārvietotais grunts tilpums atbilst gruntī iedzītā pāļa tilpumam (Massarsch & Wersäll, 2013).

Ir veikti laboratoriju testa modeļi, lai izpētītu grunts pārvietojumu pāļu grupas uzstādīšanas laikā māla gruntī. Pēc noteiktiem parametriem tika izveidota pāļu dzīšanas vide, un tests veikts, veicot stereofotogrammetriskos mērījumus. Pēc pirmo astoņu pāļu iedzīšanas novērots, ka grunts kustības galvenokārt notika virzienā prom no pāļiem. Pēc 20 pāļu iedzīšanas, novēroja, ka pirmo pāļu iedzīšanas grunts kustības ir ievērojami lielākas, nekā vēlāk uzstādīto. Pēdējā pāļa dzīšanas procesā novērots, ka pēdējais dzītais pālis netiek ietekmēts no citu pāļu radītajām sānu kustībām. Tika novērots arī tas, ka jau uzstādītie pāļi pārvietojas kopā ar grunti un nodrošina nelielu sānu pretestību grunts kustībām (Massarsch et al, 1976). Līdz ar to tiek uzskatīts, ka jau uzstādīto pāļu pastiprinošais efekts uz grunts sānisko pārvietojumu ir niecīgs (Massarsch & Wersäll, 2013).

Apkopojot iegūtos rezultātus, secināts, ka līdzenas zemes virsmas gadījumā pāļu grupas ieskaujošās grunts sāniskā pārvietošanās ir simetriska un gandrīz identiska. Savukārt pāļu pārvietošanās gruntī ir atkarīga no to izbūves kārtības. Tika novērots, ka grunts un pāļu kustības nenotiek pēc taisnām līnijām, bet ir atkarīgas no pāļu izbūves kārtības. Iedzīto pāļu pārvietojums novērojams dēļ grunts pārvietošanās tikai nākamo pāļu izbūves procesā, savukārt grunts pārvietojums ir atkarīgs no visu uzstādīto pāļu kumulatīvās ietekmes neatkarīgi no to uzstādīšanas kārtības (Massarsch & Wersäll, 2013).

Veicot pāļu dzīšanu māla gruntīs uz slīpa reljefa, ir nozīme kārtībai, kā to dara. Sākot pāļu dzīšanu nogāzes augšdaļā, ir ievērojami mazākas pāļu kustības salīdzinājumā ar gadījumu, kad pāļu dzīšana sāktā nogāzes lejas daļā. Aprēķinos netika ņemts vērā kopējais un ūdens poru spiediens, kas var ietekmēt grunts kustības (Massarsch & Wersäll, 2013).

Dēļ papildu slodzes grunts sēžas arī pēc būvdarbu veikšanas. Grunts sēšanās visintensīvāk norit organiskās augsnēs, tāpat grunts sēšanos ietekmē uzbēruma biezums - jo biezāks uzbērums, jo lielāka rezultējošā deformācija, kuras rezultātā var izveidoties avārijas situācija (Ratahallintokeskus, 2006). Piemēram, slodzes pārnese konstrukcijā ar pāļu galos uzstādītām atbalsta plāksnēm (cepures) var izveidoties tukšumi zem tām. Šajā gadījumā pāļu plāksnes viegli noliecas (skat. 1.14. att.), jo tām nav vajadzīgā atbalsta un tajā pašā laikā uzbēruma materiāls var aizplūst gar pāļu plāksnēm (Mara, 2000). Grunts zem pāļu galos uzstādītām atbalsta plāksnēm pēc uzstādīšanas nedrīkst sēsties vairāk nekā 100 mm (Liikennevirasto, 2014).



1.14.att. Grunts sēšanās pēc būvniecības:

- a) situācija pirms grunts sēšanās b) situācija pēc grunts sēšanās – pāļu cepures sasvēršanās un tukšumu izveidošanās

Uzbēruma konstrukcijā grunts sēšanās zem plātnes ne vienmēr izraisa uzbēruma materiāla aizplūšanu, bet dēļ tukšuma, kas izveidojies starp atbalsta plātni un pamatni,

koksnes pāļi vairs nav apstākļos ar zemu skābekļa saturu (skat. 1.15. att.). Līdz ar to trapes sēnēm ir lieliski apstākļi, un sabrukšana koksnes pāļu resgalī var notikt diezgan ātri. Tas var izraisīt arī plāksņu struktūras nevienmērīgu slodžu sadalījumu, un pārmērīgas pāļu noslodzes dēļ iespējama konstrukcijas sabrukšana.

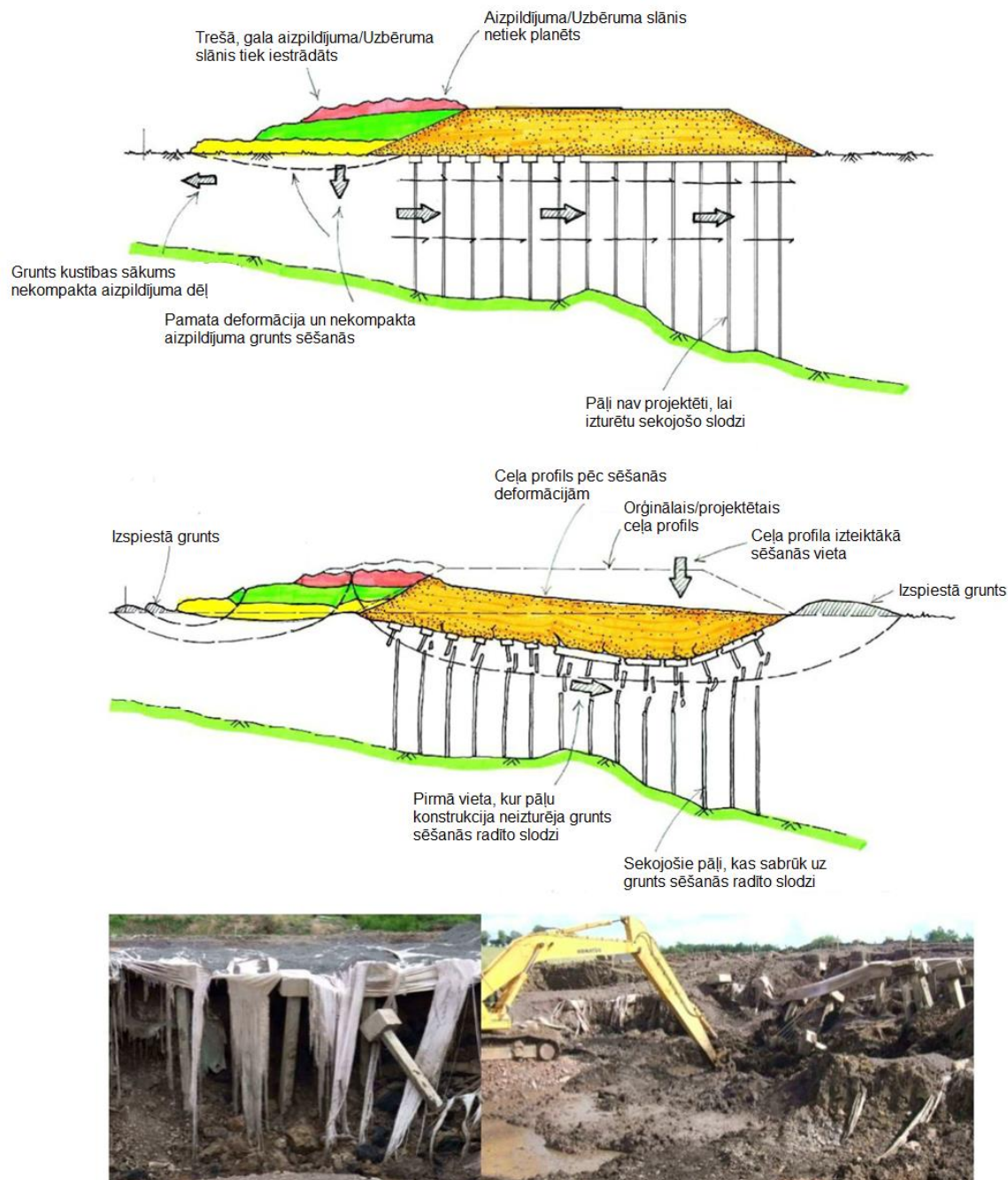


Avots: Pitkänen et al., 1999

1.15.att. Tukšums zem uzbēruma plātnes

Veidojot uzbēruma konstrukcijas koksnes pāļus parasti izbūvē tā, lai koksnes pāļu augšējie gali būtu zem gruntsūdens līmeņa. Tomēr bieži vien, lai atvieglotu pašu būvniecību, pāļu izbūves līmenis ir paaugstināts. Pirms koka pāļu uzstādīšanas darba platforma tiek izbūvēta no grants vai drupinātas grants, kas, labas ūdens un gaisa caurlaidības dēļ, paātrina koksnes sabrukšanu ekspluatācijas laikā (Mara, 2000).

Projekta risinājumos jāņem vērā arī nepastiprinātas grunts sloģošanas sekas blakus pāļu zonai, piemēram, grunts pagaidu novietne būvdarbu laikā. Ja materiāls tiek novietots ārpus uzbēruma, tiek radīta slodze horizontālā plaknē un iespējama grunts pārvietošanās zem uzbēruma, bet koksnes pāļi ir konstruēti tā, lai tie uzņemtu tikai vertikālu slodzi, kā rezultātā pāļi nevar izturēt ārējās horizontālās slodzes (skat 1.16. att.). Horizontālais grunts spiediens un kustība izraisa grunts materiāla virzīšanos pāļos, kā rezultātā pāļi tiek salauzti (Orsmonda, 2012).



Avots: Orsmond, 2012

1.16.att. Noklātā materiāla (dzeltens, zaļš un sarkans) izraisīta grunts sānu kustība zem uzbēruma, kuras rezultātā pāļi tiek salauzti

1.7 Koksnes pāļu bojājumi un to aizsardzība

Viena no koksnes pāļu iezīmēm ir to bioloģiskā sadalīšanās. Koksnes pāļi trupē virs gruntsūdens līmeņa. Projektēšanā un būvniecībā jāņem vērā pāļu sadalīšanās iespēja, tās novēršana vai palēnināšanās. Projektēšanas un būvniecības laikā rastie risinājumi var būtiski ietekmēt koksnes pāļu kalpošanas laiku. Izmantojot pareizos risinājumus, ir

iespējams nodrošināt optimālus apstākļus pielietotiem koksnes materiāliem ekspluatācijas laikā un panāktu ilgāku kalpošanas laiku.

Ievērojot to, ka kokmateriāls labi saglabājas, ja tas nepārtraukti un pilnīgi atrodas ūdenī, pāļu augšgals būtu jānovieto vismaz 0,5 m zemāk nekā viszemākais gruntsūdeņu līmenis. Turklāt, lai pasargātu no trupēšanas, pāļus var piesūcināt ar antiseptiskām vielām (Cajs & Mandrikovs, 1991).

Apaļie kokmateriāli, kurus ilgstoši uzglabā neapstrādātus, paliek uzņēmīgi pret bioloģiskiem bojājumiem, jo veidojas labvēlīga vide mikrobioloģisko organismu attīstībai. Apstākļi ļauj dažāda veida baktērijām piekļūt tieši koksnes aplievas daļai, nevis kodolam, jo aplieva ir salīdzinoši bagāta ar barības vielām un nesatur fenolus un koksnes ekstraktvielas, kas kavē mikroorganismu augšanu (Uzunovic et al., 2008).

Bioloģisko bojājumu attīstību uz apaļiem kokmateriāliem ar mizu, iespējams, veicina labvēlīgi apstākļi joslā starp mizu un koksni, kas izraisīti koku gāšanas, stumbru sagarumošanas un kokmateriālu transportēšanas procesā (Uzunovic et al, 1998). Apaļo kokmateriālu sānu virsmas bojājumi, ko izraisa harvestera galvas padeves veltni, atzarošanas laikā arī veicina piemērotus apstākļus ātrākai bioloģisko bojājumu attīstībai.

Atkarībā no apaļo kokmateriālu sānu virsmas bojājumu intensitātes un uzglabāšanas apstākļiem pirmās aplievas sēņu bojājumu pazīmes parādās pēc 10 – 15 dienu uzglabāšanas, bet pirmās trupes pazīmes parādās jau pēc 30 – 35 dienu ilgas uzglabāšanas.

Trupēšanas laikā koksnes struktūra sadalās mehāniski fermentatīvas vai baktēriju iedarbības dēļ. Kukaiņi, piemēram, skudras, trupējušu koksni sadala mehāniski. Baktēriju iedarbība uz koksni ir lēna, salīdzinot ar trupi izraisošām sēnēm (TKK, 2020). Koksnes pāļu sabrukšana notiek virzienā no sānu virsmas uz serdi. Trupēšanas gaitā egles koka pāļi sabrūk ātrāk, jo tiem ir mazāks kodolkoksnes koksnes īpatsvars salīdzinājumā ar priedēm (VTT, 1991).

Koksnes pāļu resgaļi parasti jānovieto krietni virs zemākā gruntsūdens līmeņa. Ir dažādas metodes, kā palēnināt koksnes pāļu sabrukšanas procesu ar konservantiem un ķīmikālijām, taču ir grūti apturēt sabrukšanas procesu, kas jau ir sācies. Tomēr līdzekļi koksnes pāļu sabrukšanas aizkavēšanai parasti ir ar īslaicīgu iedarbību, un koksnes pāļu apstrāde ir jāatjauno noteiktajos intervālos (Juvankoski & Viitanen, 1989).

Koksnei ir diezgan laba izturība pret organisko un neorganisko iedarbību, ja tā tiek pastāvīgi turēta zem gruntsūdens līmeņa. Zem tīra ūdens vai gruntī zem gruntsūdeņiem sēnes nevar bojāt koksni, ja gruntsūdeņi nav ļoti plūstoši vai netīri. Spēcīga ūdens plūsma palielina skābekļa saturu ūdenī, un ir konstatēts, ka periodiska destrukcija intensīvāk norit plūstošā ūdenī nekā stāvošā ūdenī. Arī gruntsūdeņu piesārņojums var veicināt koksnes sabrukšanu, palielinot barības vielu daudzumu, kas nepieciešams trūdēšanas procesam ūdenī. Baktērijas var bojāt koksni arī zem gruntsūdeņiem, kur ūdens nevar plūst, piemēram, māla zemās ūdens caurlaidības dēļ. Tomēr baktēriju bojājumi koksnei ir mazāki un lēnāki nekā sēņu izraisītā sabrukšana. Kritiskais laiks no gruntsūdens līmeņa pazemināšanās līdz mikroorganismu ietekmei uz koksni lielā mērā ir atkarīgs no vides apstākļiem un, jo īpaši no augsnes ūdens caurlaidības. Pāļus var pasargāt no trupi izraisīto sēņu iedarbības smalkgraudainās gruntīs, lai gan gruntsūdens līmenis ir nokrities zem koksnes pāļu resgaļiem. Grunts ūdens kapilārais pacēlums, parasti nav pietiekams, lai nodrošinātu, ka koksne paliek piesātināta virs gruntsūdens līmeņa, bet to iespējams nodrošināt ar ūdens kapilāro pacelšanos koksnē, piemēram, egles gadījumā ūdens kapilārās pacelšanās augstums ir 150 – 200 mm. Rupjgraudainie materiāli ap pāļiem parasti ir pildvielas, kuras pašas var saturēt destrukciju izraisošus elementus un to barības vielas, kā rezultātā, pazeminoties gruntsūdens līmenim, izveidojas optimāli apstākļi destrukcijas sākumam. Intensīvākos trupes bojājumus koksnes pāļu pamatiem rada gruntsūdens līmeņa pazemināšanās (Juvankoski & Viitanen, 1989).

Lai novērstu vai palēninātu koksnes pāļu sabrukšanu, pāļu apstrādei var izmantot dažādus koksnes konservantus. Galvenokārt izšķir ūdens bāzes un eļļas bāzes koksnes aizsardzības līdzekļus, kas pieder pie ķīmiskās koksnes aizsardzības tipa. Koksnes aizsardzības līdzekļu sastāvā vienmēr ietilpst bāzes savienojums, kas nodrošina nepieciešamās aizsardzības īpašības un bāze, kas palīdz šīs vielas ievadīt koksnes slāņos. Protams, ir arī koksnes aizsardzības līdzekļi uz šķīdinātāju bāzes, bet to pielietošana aizvien vairāk tiek ierobežota dēļ to ķīmiskās agresivitātes, toksiskās ietekmes uz vidi un kaitīguma cilvēkiem un dzīvniekiem (Stūriška, 2017).

Koksnes piesūcināšana ar taleļļu tiek pētīta kopš divdesmitā gadsimta deviņdesmito gadu sākuma. Taleļļa ir viena no lētākajām dabīgajām eļļām pasaules tirgū, jo tā ir celulozes ražošanas procesa blakusprodukts (Dias & Barreiros, 2017). Taleļļa ir atbrīvota no Biocīdu direktīvas, tāpēc to var brīvi izmantot koksnes aizsardzībā. Ar taleļļu piesūcinātu koksnī var pasargāt no trupēšanas (Boren, 2010).

Lignīna veidošanās augos tiek plaši pētīta, un dažādu apstrādes metožu izstrāde ar to strauji attīstās, un paredzams, ka nākotnē tas aizstās eļļas bāzes koksnes aizsardzības līdzekļus. Lignīns iegūts kā celulozes ražošanas blakusprodukts un darbojas kā līmjava koksnē šūnās. Lignīns padara koksnī cietu un piešķir tai labu apstrādājamību, izturību un siltumspēju. Celulozes un papīra rūpniecībā šķiedru atdalīšanas laikā lignīns tiek ķīmiski noņemts. Mūsdienās lignīns, ko atdala ķīmiskās celulozes ražošanā, parasti tiek sadedzināts enerģijas iegūšanai, bet vēl to izmanto kā mīkstinātāju betona ražošanā vai arī kā saistvielu dažādās līmēs un sveķos (Gauthier et al., 2016).

Bors ir elements, kas dabiski sastopams augsnē, un ir vajadzīgs augiem nelielos daudzumos. No bora savienojumiem boraks un borskābe tiek izmantota kā konservants. Bora savienojumi ir videi pieņemami koksnes konservanti, jo tie ir efektīvi gan pret trupi izraisošām sēnēm, gan kaitēkļiem (Alfredsen et al., 2008).

Kreozots ir viena no vecākajām un plašāk izmantotajām uz eļļas bāzes izveidotām koksnes aizsardzības vielām. Kreozotu iegūst akmeņogļu darvas destilācijas procesā, un tā ir melna vai tumši brūna eļļa. Kreozotam ir nepārspējamās īpašības koksnē bioloģiskajā aizsardzībā, tas nešķīst ūdenī un ir mazāk gaistošs savienojums, kuram piemīt vienkārša iestrādes tehnoloģija un ir zemas izmaksas. Apstrādātās konstrukcija nodrošina koksnē aizsardzību un lietojamības stāvokli pat pēc 90 gadu kalpošanas laika ārējās vides iedarbībā. Tomēr Eiropas Savienībā kreozots tiek klasificēts kā kancerogēna viela, kuras pielietojums tiek stingri ierobežots. Biežāk ar kreozotu apstrādā dzelzceļa sliežu gulšņus un tilta konstrukcijas. Vielai piemīt specifisks aromāts, kura dēļ to kategoriski aizliegts izmantot iekštelpās vai vietās, kur pastāv regulārs cilvēku vai dzīvnieku saskarsmes risks (Stūriška, 2017).

Koksnes virsmas apdedzināšana ir sena pieeja, ko izmanto, lai palielinātu koksnē izturību. Ir maz pētījumu par koksnē virsmas apdedzināšanu, un šobrīd zināšanas galvenokārt balstās uz pieredzi un tradīcijām. Tiek uzskatīts, ka koksnē apdedzināšanas rezultātā izveidojies apogļojums samazina ūdens absorbciju, jo ogleklis ir daudz hidrofobiskāks, nekā neapstrādāta koksne (Hautamäki et al., 2017).

Šobrīd pasaulē tiek izvērtēts arī nanotehnoloģiju izmantošanas potenciāls koksnē virsmu apstrādē, jo īpaši jaunu zemas toksicitātes un augstas efektivitātes konservantu izstrādē.

Impregnēšanas metožu funkcionalitāte un izmantojamība koksnē pāļos ir atkarīga no daudziem faktoriem. Attiecībā uz metožu ilgtspējību, vides draudzīgumu un nākotnes potenciālu, impregnēšanas metožu kopsavilkuma tabulā (1.3. tab.) aprakstītas apstrādes metodes un konservanti. Pašreizējie pētījumi par impregnēšanas metodēm var nebūt pietiekami visaptveroši vai pietiekami plaši, lai par visām metodēm varētu izdarīt ticamus secinājumus par to efektivitāti koksnē pāļu sabrukšanas novēršanā (Hooli, 2020).

1.3.tabula Koksnes pāļu apstrādes metodes un konservanti

Konservants	Apraksts	Lietderība
Kreozots	Akmeņogļu darvas destilāts, efektīvs un toksisks. Raksturīga smarža, izmantota gulšņu un elektrisko stabu impregnēšanai. Nedrīkst izmantot vietās, kur ir iespējama saskare ar cilvēku ādu.	Koksne virs zemes virsmas, kas piesūcināts ar kreozotu praktiski netrupē.
Taleļļa	Viena no lētākajām dabīgajām eļļām tirgū, papīra un celulozes rūpniecības blakusprodukts. Koksni aizsargājošais efekts ir saistīts ar tā hidrofobiskajām īpašībām.	Atbrīvots no Biocīdu direktīvas, impregnēto koksni var utilizēt sadedzinot. Lauka izmēģinājumi ar taleļļu ir pierādījuši efektivitāti pret trupi, bet ne tādā efektivitātē kā apstrāde ar borskābi.
Bors	Bors dabiski sastopams augsnē nelielos daudzumos, un ir būtisks augiem. Bora savienojumi ir videi pieņemami koksnes konservanti. Zemāka viskozitāte nekā gruntsūdeņiem un osmozes palīdzību pa kapilāriem iekļūst koksnē.	Efektīva pret trupi sēnēm, kā arī kaitēkļiem, lēta, bezkrāsaina, bez smaržas un nav kodīga. Pilnībā neaizsargā koksni, jo tā ir ļoti labi šķīst ūdenī. Laboratorijas pētījumos ir pierādīts, ka kombinējot ar taleļļu, iespējams, sasniegtu labākus rezultātus pret sabrukšanu nekā vien ar taleļļu vai boru.
Koksnes virsmas koalizācija	Tiek uzskatīts, ka kokogles samazina ūdens absorbciju. Zemāks higroskopiskums kopā ar mehānisko un bioloģisko izturību nodrošina augstāku izturību.	Ir maz pētījumu par koksnes virsmas apdedzināšanu. Koksnes pāļu augšējos galos ogles novērš vai palēnina sabrukšanu, ja pāļu gali ir virs gruntsūdeņu līmeņa
Lignīns	Dabisks fenola polimērs. Celulozes un papīra rūpniecības blakusprodukts (galvenokārt izmanto enerģijai), tas darbojas kā līmjava koka šūnās. Padara koksni cietu un nodrošina tai labu apstrādājamību, izturību un siltumspēju.	Neskatoties uz augsto koksnes hidrofilītāti, ar ūdeni bāzētu sārmu lignīnu piesūcinātas priedes izturība pret trupi tika uzlabota.
Nanodaļiņas	Visizplatītākās jaunās paaudzes nanodaļiņas ir titāns (Ti), cinks (Zn), alumīnijs (Al) un dzelzs (Fe).	Nanotehnoloģiju izmantošanai ir potenciāls, jo īpaši jaunu zemas toksicitātes un augstas efektivitātes konservantu izstrādē. Var sasniegt augstu hidrofobiskumu un tālāk omnifobisku virsmu.

1.8 Secinājumi un rekomendācijas

Zemāk esošie secinājumi attiecas uz koksnes pāļu izbūves un pāļu slogošanas procesiem, kas projekta 1.etapā vēl nav pilnībā pabeigti. Papildināti secinājumi tiks iekļauti projekta nākamajā, t.i., 2.etapa secinājumos.

Secinājumi

1. Meža autocēļa konstrukcijas uzbērums izbūvē tieši virs zemes klātnes, kur veidojas papildu slodze uz esošo grunti, un šīs papildus slodzes dēļ grunts sēšanās novērojama arī pēc būvdarbu veikšanas. Grunts sēšanās visintensīvāk norit organiskās augsnes, un grunts

sēšanos ietekmē uzbēruma biezums - biežāka uzbēruma gadījumā veidojas lielāka rezultējošā deformācija (radot pat avārijas situāciju, kas nozīmē meža autoceļa konstrukcijas sabrukumu), no kuras iespējams izvairīties, pielietojot koksnes pāļus uzbēruma konstrukcijas balstīšanai un slodzes pārvešanai.

2. Pāļus galvenokārt izmanto vertikālas slodzes pārvešanai, kā arī pretestības palielināšanai horizontālām un slīpām plaknēm un pārnēs slodzi no relatīvi vājas nestspējas grunts (kūdras) uz grunts noturīgākiem slāņiem dziļāk, tādējādi, samazinot slodzi ietekmi uz pamatni. Līdz ar to koksnes pāļu konstrukcija kā grunts stiegrojuma metode ir uzskatāma par patstāvīgu grunts stabilizēšanas metodi.

3. Ziemeļvalstīs koksnes pāļus sagatavo no visizplatītākajām koku sugām, t.i., no priede un egles, kuras plaši izplatītas arī Latvijā, kuru koksnei raksturīga atbilstoša spiedes stiprība šķiedru garenvirzienā. Vēl iespējams izmantot arī melnalksni, kura koksne ir trupes neizturīga un spēj kalpot ilgi ūdeni.

4. Koksnes pāļi lietojami pie pastāvīga gruntsūdeņu līmeņa un tiem jābūt veselīgiem, izturīgiem un taisniem, kas nodrošina koksnes pāļu ilgizturību (pie pareizas ekspluatācijas tā nav ierobežota).

5. Viena no koksnes pāļu iezīmēm ir to bioloģiskā sadalīšanās un koksnes pāļi trupē virs gruntsūdens līmeņa, tādēļ meža autoceļa projektēšanā un būvniecībā jāņem vērā pāļu sadalīšanās un sabrukšanas iespēja, paredzot pasākumus tās novēršanai vai palēnināšanai.

6. Līdz 10 m gariem koksnes pāļiem lietojama egles vai priedes koksne ar stiprības klasi vismaz C14 atbilstoši EN 338, savukārt garākiem koksnes pāļiem par 10 m rekomendēts lietot koksni ar stiprības klasi C30 un lielāku. Minimālajam koksnes pāļu garumam jābūt vismaz 3 m un dzītiem koksnes pāļiem garums, kas mazāks par 1,5 m netiek uzskatīts par pāli.

7. Meža autoceļa būvniecībā, kur paredzēta koksnes pāļu konstruktīvais risinājums lokālo kūdras ieslēgumu šķēršošai, var izmantot pāļus, taču, lai to dzīšanas laikā trieciena radītie spriegumi neatstātu paliekošanas deformācijas, koksnes pāļa resgaļa diametram jābūt vismaz 150 mm.

8. Meža autoceļu būvniecībā lokālos kūdras ieslēgumos koksnes pāļi jāuzstāda taisnās rindās, rombveidīgi vai pēc trīsstūra shēmas, un to attālums starp pāļiem atkarīgs no būves svara un pamatnes īpašībām, pāļu garuma un resnuma (svārstās robežās no 0,8 līdz 1,2 m). Lai koksnes pāļi nesamazinātu un nesabojātu viena otra nestspēju, kā arī to dzīšanas rezultātā neveicinātu jau iedzīto koksnes pāļu pārvietošanu, šajā meža autoceļa posmā ir izvēlēts mazāks centra attālums starp atbalsts un berzes pāļiem, t.i., ne mazāks 0,8 m.

9. Konusveida pāļu nestspēja ir ievērojami augstāka nekā prizmatiskās un cilindriskās formas pāļiem, attiecīgi 1,5 - 2 reizes un 2 - 3 reizes, un to nestspēju palielinošs faktors ir nošķelta konusa forma.

10. Īslaicīgām gruntsūdeņu līmeņa svārstībām apkārt esošajā teritorijā nav būtiska ietekme uz koksnes pāļu ilgizturību meža autoceļa posmos nekā tajos gadījumos, kur novērojamas pastāvīga gruntsūdeņa līmeņa pazemināšanās. Ja koksnes pāļu augšējie gali atrodas māla slānī, pazeminoties gruntsūdens līmenim un māla grunts kapilaritātes dēļ, tie atradīsies mitrā stāvoklī un ilgi spēj noturēt ūdeni koksnes pāļos.

11. Lai novērstu vai palēninātu koksnes pāļu sabrukšanu, pāļu apstrādei var izmantot arī ūdens bāzes un eļļas bāzes koksnes aizsardzības līdzekļus, kas pieder pie ķīmiskās koksnes aizsardzības tipa.

12. Ar augstas stiprības ģeotekstilu var pastiprināt zemes klātni, kā rezultātā var palielināt zemes klātnes nestspēju un uzlabot tās konstrukcijas stabilitāti, jo stiegrojums, ņemot konstrukcijā radušos spriegumus, tos izlīdzina un pārnēs uz plašāku laukumu.

Zemāk esošās rekomendācijas izriet no projekta tikai 1.etapā paveiktā. Projekta nākamā etapa rekomendācijas sagatavojot, tiks ņemtas vērā arī projekta 1.etapa jeb šīs rekomendācijas.

Rekomendācijas

1. Pamatojoties uz citu valstu pieredzi par koksnes pāļu izmantojamību, “Meža infrastruktūras objektu projektēšanas tehniskie noteikumi 2021” papildināmi ar tipveida konstrukcijas risinājumu grunts pastiprināšanai vietās, kur vājas nestspējas grunts dziļums, balstoties uz inženierģeoloģiskās izpētes datiem, pārsniedz 3m, norādot:

- pāļiem piemērotās koku sugas - egles vai priedes koksne ar stiprības klasi vismaz C14 un melnalksnis ar koksnes stiprības klasi D18 atbilstoši LVS EN 338;
- optimālos pāļu dimensionālos raksturlielumus (garums 4,0 – 10,0 m, tievgaļa caurmērs 15 – 30 cm);
- izbūves shēmu - pēc trīsstūra shēmas ar attālumu starp pāļu centriem no 0,8 līdz 1,2 m.
- atbilstošo slodzes pārnese konstrukciju izmantojot austu ģeotekstilu.

2. Koksnes pāļi jāuzstāda tā, lai tie neizzūtu un netiktu pakļauti trapes iedarbībai. Virs koka pāļu galiem jāiekļāj izlīdzinošs slānis, kas sastāv no blīvas ar ūdeni piesātinātas smalkgraudainas grunts (māls).

3. Gadījumos, kad koksnes pāļus plānots izbūvēt krietni virs zemākā gruntsūdens līmeņa, jāveic koksnes piesūcināšana ar taleļļu. Taleļļa ir viena no lētākajām dabīgajām eļļām pasaules tirgū, jo tā ir celulozes ražošanas procesa blakusprodukts un tā ir atbrīvota no Biocīdu direktīvas, tāpēc to var brīvi izmantot koksnes aizsardzībā.

4. Pāļu slodzes pārnese konstrukcijas veidošanai rekomendējams augstas stiprības austais ģeotekstils, kas veidots no vismaz divām stieģrojuma kārtām dažādos virzienos. Aušanas tehnika un slodzes virziens būtiski ietekmē konstrukcijai izvēlēta austā ģeotekstila izturību un deformācijas.

2 Ģeotehniskā izpēte

Jebkurš attīstītājs, pasūtītājs, kā arī zemes darbu un speciālo ģeotehnisko darbu veicējs zina, ka zemes klātne, kā pamatne tālākajiem būvdarbiem, ir ļoti svarīgs elements. Tomēr bieži tas ir arī vissliktāk zināmais un izpētītais process pirms būvdarbu sākuma. Pieredze rāda, ka vislielākie tehniskie un finansiālie riski būvniecības procesā var tikt saistīti ar pamatnēm un pamatiem. 2015. gadā veiktā pētījumā Lielbritānijā tika secināts, ka gandrīz katrs otrais projekts saskaras ar būvdarbu kavējumiem tieši neparedzētu ģeotehnisko apstākļu dēļ (Maliphant et.al., 2015).

Ģeotehniskās izpētes mērķis ir noteikt grunšu, iežu un gruntsūdens apstākļus, kā arī grunts un iežu fizikālās un mehāniskās īpašības. Ģeotehniskās izpētes laikā tiek izmantoti gan lauka, gan laboratoriskās izpētes metodes.

Lai veiktu korektus ģeotehniskos aprēķinus un izvairītos no iepriekšminētajiem riskiem vai arī tos ierobežotu, katram būvprojektam nepieciešams veikt atbilstošas kvalitātes ģeotehnisko izpēti. Lai ģeotehniskā izpēte tiktu veikta kvalitatīvi, nepieciešams veikt vēsturisko datu izpēti, definēt pietiekamu izpētes punktu skaitu, atbilstošu izpētes dziļumu, skatrakumus un citus izpētes veidus atbilstoši katra projekta vajadzībām. Parasti ģeotehnisko izpēti veic pēc zemākas cenas principa, kas arī bieži nozīmē mazāk izpētes punktu, mazāk testu uz lauka un laboratorijā, kas ievērojami palielina nenoteiktību un riskus - neparedzētus ģeotehniskos apstākļus būvniecības laikā. Profesors Stuart Littlejohn ir teicis: “Par atbilstošas kvalitātes ģeotehnisko izpēti ir jāmaksā – vai nu tā ir veikta vai nav”. Tas nozīmē, ka ģeotehniskās izpētei jāpievērš uzmanība katrā meža autoceļa projektā, bet īpaša uzmanība gadījumā, ja zemes klātnē konstatētas vājas nestspējas gruntis.

Kvalitatīva ģeotehniskā izpēte nenozīmē tikai palielināt tās budžetu. Ģeotehniskās izpētes plānošana un datu apstrāde un interpretēšana iesaista daudz zināšanas un pieredzes, kuru var nodrošināt kvalificēti ģeotehniskās izpētes veicēji un projektētāji. Projektētājam nepieciešams sagatavot kvalitatīvu ģeotehniskās izpētes uzdevumu un ģeotehniskās izpētes veicējam nepieciešams darbus veikt saskaņā ar šī darba izpildes dokumentāciju un sastāda to, ievērojot Latvijas būvnormatīvā par ģeotehnisko projektēšanu noteiktās prasības.

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

2.1 Ģeotehniskās izpētes plānošana

Ģeotehniskā izpēte jāplāno tā, lai nodrošinātu atbilstošu ģeotehniskās informācijas apjomu, kas nepieciešams visiem būvniecības posmiem, kā arī identificētu un ierobežotu jebkādu projekta riskus (kavējumi, bojājumi u.c.), kas varētu būt saistīti ar grunšu pamatni. Lai varētu izpildīt ģeotehniskās izpētes mērķi, nepieciešama uzmanīga datu savākšana, reģistrēšana un to pareiza interpretēšana. Ģeotehniskajā izpētē izvērtē 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. Arī šīs projekta ietvaros veikta ģeotehniskā priekšizpēte, lai pieņemtu lēmumu par konstruktīvo risinājumu meža autoceļa “Tēvgāršas ceļa turpinājums” izbūvē.

Pašlaik pastāv iedalījums trīs dažādās ģeotehniskās sarežģītības kategorijās. Tie ir - 1. ģeotehniskās sarežģītības kategorija 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 arī ģeotehniskie apstākļi pieprasa būtisku papildu izpēti.

Ģeotehniskās sarežģītības klasi parasti definē ģeotehniskās izpētes veicējs. Atbilstoši esošā pētījuma objekta “Tēvgāršas ceļa turpinājums” ģeotehniskās izpētes atskaitei, projektējamā būve atbilst 1. ģeotehniskajai kategorijai, tā ir līnijbūve, kuras pamatne pakļauta dinamisko slodžu ietekmei.

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 papildināma pēc sākotnējo pieņēmumu pārbaudes dabā – ar izpētes punktu skaitu un izpētes dziļumu, r laboratorijas testēšanas apjomu, ja nepieciešams, precizēt grunšu fizikāli mehāniskos parametrus. Šāda pieeja var tikt lietota, ja ģeotehniskā izpēte tiek sadalīta divos vai vairākos posmos, kur katrā nākamajā plānots precizēt ģeotehnisko informāciju. Tā nav parasta prakse Latvijā, tomēr to tādā veidā var organizēt pats būvprojekta izstrādātājs.

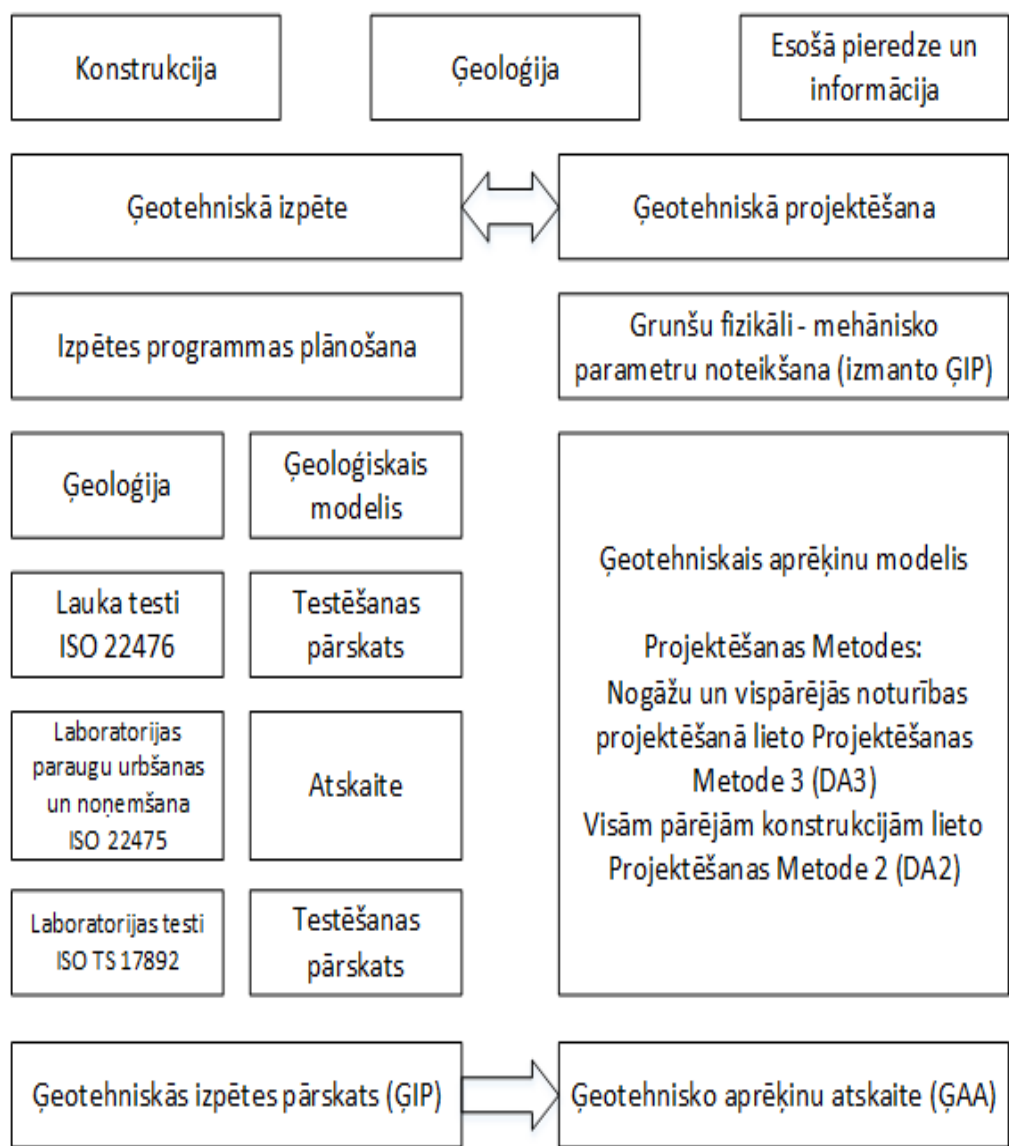
Ģeotehniskās izpētes laikā nepieciešams noteikt grunšu fizikāli mehāniskās īpašības tādā apjomā, lai ir iespējams novērtēt sekojošus aspektus:

- grunšu sēšanās, sēšanās izkriede 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 sanācības 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 2.1. attēlā.



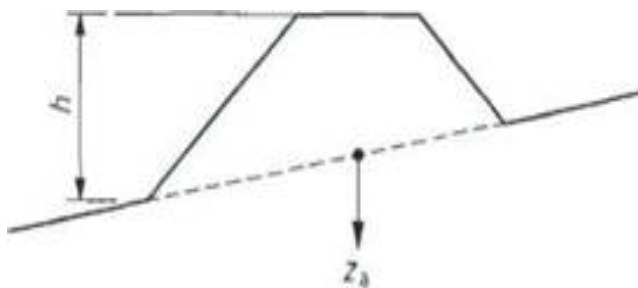
2.1.att. Ģeotehniskās izpētes secība un saturs

Ģeotehniskā izpēte un ģeotehniskā projektēšana ir savstarpēji saistītas. Ģeotehniskās izpētes rezultātā sagatavo izpētes pārskatu (ĢIP), bet ģeotehniskā aprēķinu atskaitē (ĢAA), izmantojot šos datus, sagatavo nepieciešamos aprēķinus.

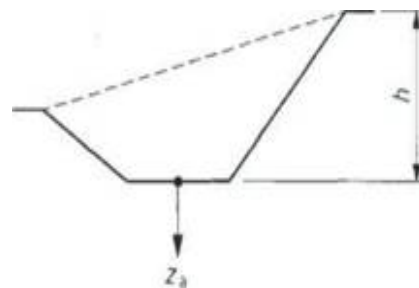
2.2 Ģeotehniskās izpētes punktu izvietojums plānā un dziļums

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 ģeoloģiski un hidroģeoloģiski vienkāršos un homogēnos apstākļos iespējams definēt par 100 m lielāku attālumu starp izpētes punktiem. Vietās, kur sastopamas vājās grūtis, ieteicams veikt izpēti šķērsgriezumos ik pēc 20 – 30 m. Tāda rekomendācija būtu līdzīgos projektos, kā meža autoceļš "Tēvgāršas ceļa turpinājums".

Izpētes dziļums ir atkarīgs no būves veida. Uzbūrumiem un ierakumiem izpētes dziļums atkarīgs no uzbūruma augstuma vai ierakuma dziļuma – h (skat. 2.2. attēls).



(a) Uzbērums



(b) Ierakums

2.2.att. Uzbēruma un ierakuma shēma (LVS EN 1997-2:2007):

a) Uzbērumiem:

$$0.8h < z_a < 1.2h$$

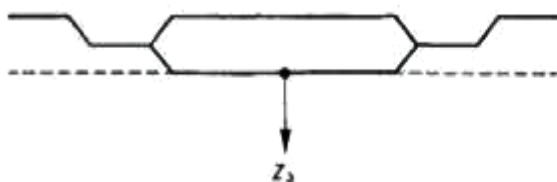
$$z_a \geq 6m$$

b) Ierakumiem:

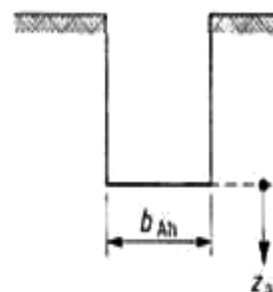
$$z_a > 2.0m$$

$$z_a \geq 0.4h$$

Lineārām konstrukcijām izpētes dziļums apskatīts 2.3. attēlā.



(a) Ceļš



(b) Tranšēja

2.3.att. Ceļa un tranšejas shēma (LVS EN 1997-2:2007):

a) Ceļiem, dzelzceļiem un lidlaukiem:

$$z_a > 2.0m$$

b) Tranšējās:

$$z_a > 2.0m$$

$$z_a > 1.5b_{Ah}$$

kur: b_{Ah} - tranšejas platums.

Ja tas attiecas arī uz ceļiem un tranšējām, jāattiecina uzbērumu un ierakumu nosacījumi. Pāļiem un pāļu grupām tiek rekomendēti sekojoši nosacījumi – skat. 2.4. attēls:

$$z_a > 1.0b_g$$

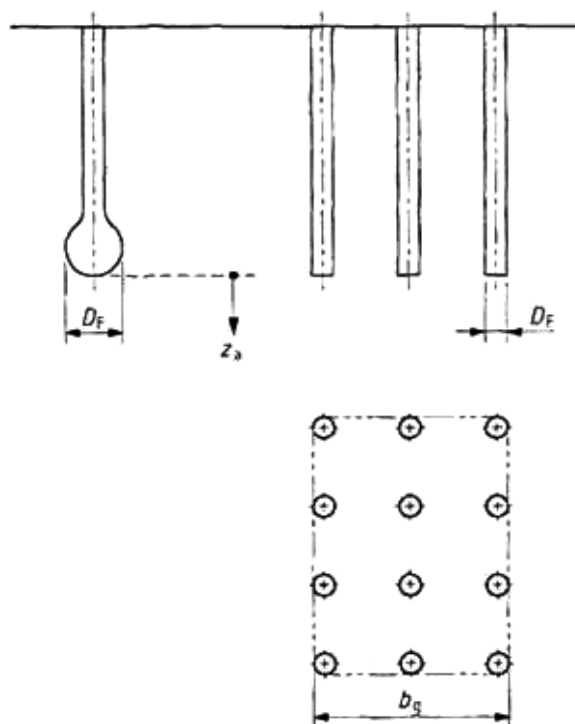
$$z_a > 5m$$

$$z_a > 3D_F,$$

kur

D_F – pāļa gala diametrs

b_g – mazākā no pāļu grupas malām



2.4.att Pāļi un pāļu grupas (LVS EN 1997-2:2007)

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

2.3 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 tas 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 (skat. 2.1.tab.).

2.1.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 grants (cGr)	> 20 to ≤ 63

Grunts grupa	Daļiņu izmēru frakcijas (simbols)	Daļiņu izmēru sadalījums(mm)
	Vidēja grants (mGr)	$> 6,3 \text{ līdz } \leq 20$
	Smalka grants (fGr)	$> 2,0 \text{ līdz } \leq 6,3$
	Smilts (Sa)	$> 0,063 \text{ līdz } \leq 2,0$
	Rupja smilts (cSa)	$> 0,63 \text{ līdz } \leq 2,0$
	Vidēja smilts (mSa)	$> 0,20 \text{ līdz } \leq 0,63$
	Smalka smilts (fSa)	$> 0,063 \text{ līdz } \leq 0,20$
Smalka grunts	Putekļi (Si)	$> 0,002 \text{ līdz } \leq 0,063$
	Rupji putekļi (cSi)	$> 0,02 \text{ līdz } \leq 0,063$
	Vidēji putekļi (mSi)	$> 0,0063 \text{ līdz } \leq 0,02$
	Smalki putekļi (fSi)	$> 0,002 \text{ līdz } \leq 0,0063$
	Māls (Cl)	$\leq 0,002$

Pirmo pakārtoto rupjo 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) granulometriskā sastāvu apzīmē ar divu burtu simboliem, no kuriem pirmais ir lielais burts, bet otrais ir mazais burts:

- Gr – grants;
- Sa – smilts.

Pirmo pakārtoto rupjo 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 rupjo 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 (skat. 2.2.tab.).

2.2.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) granulometriskā 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) granulometriskā 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. 2.3. tab.).

2.3.tabula Grunšu ar organisku, ar daļiņu izmēru ≤ 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 (CaCO_3) satura, relatīvā blīvuma, bīdes pretestības, konsistences indeksa un citiem parametriem (ūdens saturs, saussais tilpumsvars, māla aktivitāte, mineraloģiskais sastāvs, piesātinājuma indekss, ūdens caurlaidība, sablīvējamība, uzbriestamība, nestspējas u.c.).

Grunšu klasifikācija atbilstoša LVS EN ISO 14688-2 principiem norādīta tabulā (skat. 2.4. tab.). Papildu šai tabulai ir jāizmanto arī plasticitātes grafiks (skat. 2.5 att.).

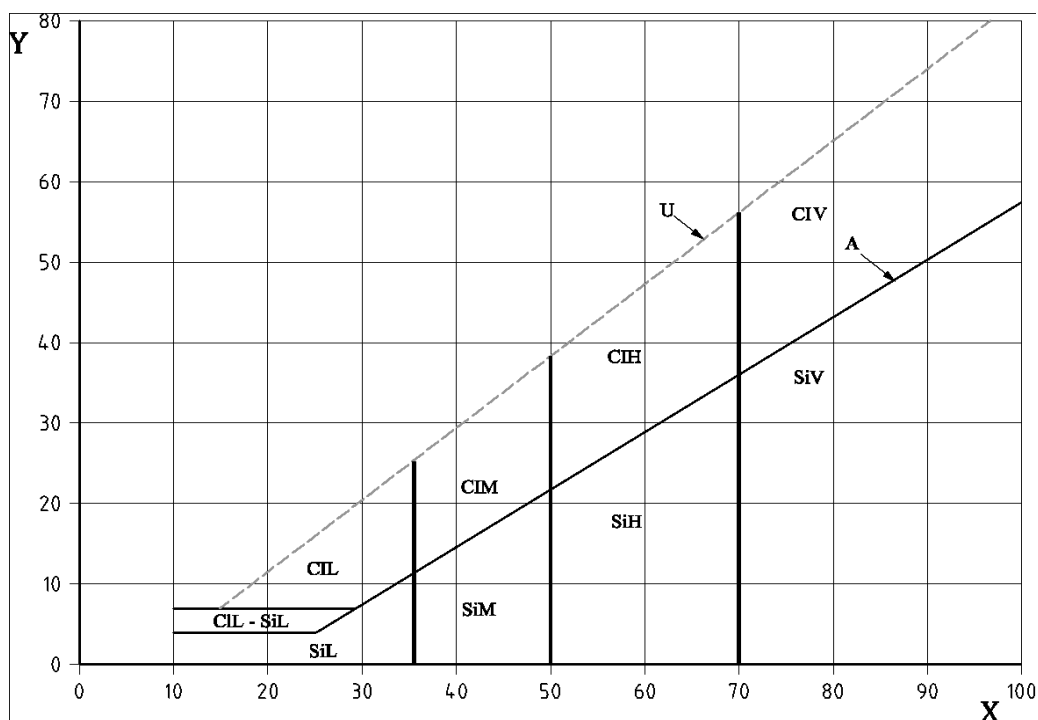
2.4.tabula Grunšu klasifikācijas principi atbilstoši LVS EN ISO 14688-2

Grunts grupa	Kvantifikācija	Grunts grupas nosaukums			Papildu iedalījums pēc vajadzības
		Primārā frakcija (simbols)	Frakcijas		
Ļoti rupja	> 50% masas daļiņas ≥ 200 mm	Laukakmeņi (Bo)	Laukakmeņi Laukakmeņi ar akmeņiem	Laukakmeņi ar smalkāku grunti	Nepieciešami īpaši apsvērumi konkrētai situācijai
	> 50% masas daļiņas < 200 mm un ≥ 63 mm	Akmeņi (Co)	Akmeņi Akmeņi ar laukakmeņiem	Akmeņi ar smalkāku grunti	
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 $\geq 0,063$ mm	Smilts (Sa)	Granšaina smilts, Smilts	Smilts ar māliem vai putekļiem	Mineraloģija, Graudu forma

Grunts grupa	Kvantifikācija	Grunts grupas nosaukums			Papildu iedalījums pēc vajadzības
		Primārā frakcija (simbols)	Frakcijas		
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, mālains 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

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.



2.5.att. Grunšu plasticitātes grafiks atbilstošs LVS EN ISO 14688-2

2.5.tabula Paskaidrojumi 2.6.attēlam

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

Visi testēšanas rezultāti, kas atrodas, virs vai pa kreisi no U līnijas, rūpīgi jāizvērtē. U līnija (skat. 2.5. att.) ir noteikta empīriski un ir aptuvena dabīgas grunts augšējā robeža. Organiskas izcelsmes grunts saturs var ietekmēt grunts plasticitātes rādītājus, jo būs lielāka ietekme uz plūstamības robežu nekā uz plasticitātes indeksu, līdz ar to, palielinoties organisko vielu saturam gruntī, grunts tieksies pa labi.

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

Šajā atskaitē pieminēta vispārīga informācija par grunšu paraugošanu, gruntsūdens testēšanu, grunšu testēšanu uz lauka un grunšu testēšana laboratorijā. Nākamajās starpatskaitēs detalizētāks paskaidrojums par grunšu identifikāciju un klasifikācijas nozīmi, t.sk. arī šajā pētījumu objektā.

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)”.

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)”.

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 (skat. 2.6 tab.).

2.6.tabula Grunšu testēšana uz lauka un testu interpretācijas

Metode	Grunšu parametri												
	Grunts tips	Grunts profils	u	φ'	c_u	I_D	E_m	c_v	k	G_0	σ_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 – Spārņņgriezies tests

u – Porūdens spiediens;

φ' – 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

σ_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

Grunšu testēšana laboratorijā

Laboratorijā tiek testētas visas grunšu fizikāli – mehāniskās īpašības. Biežāk veiktie grunšu fizikāli – mehāniskie testi apkopoti tabulā (skat. 2.7. tab.).

2.7.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 ($< 0,002\text{mm}$). Jāaprēķina grunts neviendabības koeficients $C_u = d_{60}/d_{10}$ (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).
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	Ceļu specifikācijas 2019 p.12.3	-
Grunts organisko vielu saturs	Ceļu specifikācijas 2019 p.12.5	-

Monitoringa izpētes grupa nākamajās starpatskaitēs papildinās šo nodaļu ar iegūtajiem secinājumiem un potenciālajām rekomendācijām.

3 Koksnes pāļu izbūve un slogošana

Meža ceļa „Tēvgāršas ceļa turpinājums”, (skat. 3.1. att.) būvniecības darbi, t.sk., koksnes pāļu izbūve un slogošana, kā arī ceļa konstrukcijas monitorings norisinās Alojās novadā, Brīvzemnieku un Braslavas pagastos, AS Latvijas valsts meži Limbažu meža iecirkņa 200., 201., 203., 204. kvartālos (kadastra Nr. 66480020093, 66440050064).



3.1.att. Meža ceļa „Tēvgāršas ceļa turpinājums” trase

Ceļa trase sākas ar pieslēgumu meža autoceļam „Tēvgāršas ceļš” un beidzas ar T-veida apgriešanās laukumu 200. kvartāla 10. un 12. nogabalā. Meža autoceļam “Tēvgāršas ceļa turpinājums” būvniecība uzsākta 2018.gada decembrī, balstoties uz iepriekš izstrādātu būvprojektu. Saskaņā ar vides aizsardzības pasākumiem, būvniecības darbus 201., 203., un 204. kvartālā aizliegts veikt laika periodā no 1.marta līdz 31. augustam. Projektēšanas laikā, balstoties uz inženierģeoloģiskās izpētes datiem un “Meža infrastruktūras objektu projektēšanas tehniskajiem noteikumiem 2015”, par risinājumu grunts pastiprināšanai vietās, kur kūdras dziļums pārsniedz 2 m, pieņemts lēmums veikt grunts pastiprināšanu ar sīkbaļķu klājumu (skatīt 3.2.att.).



3.2.att. Sīkbaļķu klājumu izbūve objektā 2019.gadā

Iepriekš minētās būvniecības laikā konstatēts, ka pieņemtais risinājums nespēj nodrošināt konstrukcijas nestspēju. Veicot padziļinātu grunts ģeotehnisko izpēti, objektā konstatēta ne tikai kūdra, bet arī plūstošas dūņas un sapropelis lokālās vietās zem gruntsūdens līmeņa.

Tā kā esošo grunti nomainīt būtu ekonomiski neizdevīgi, tika izstrādāts alternatīvs un inovatīvs risinājums – koksnes pāļu izmantošana, lai šķērsotu lokālus un salīdzinoši dziļus kūdras ieslēgumus.

3.1 Koksnes pāļu izbūve

Jaunā, papildinātā būvprojekta risinājums paredz, ka koksnes pāļi izbūvējami no PK 02+50 līdz PK 07+50, un būvdarbi atsākās 2021.gada septembrī.

Kokmateriāli pāļu būvniecībai tika iegūti Vidzemes reģionā, kurā atrodas objekts, lai maksimāli samazinātu loģistikas izdevumus. Koksnes pāļiem kā materiāls izmantoja II šķiras egles un priedes zāģbaļķi. Objektā ievestie kokmateriāli izvietoti krautnē, un tālāk pievedējtraktors tos izkārtoja uz pāļu sagatavošanas platformas (skat.3.3.att.). Katrā kravā ievestie zāģbaļķi tika uzskaitīti, un reģistrēti Ražošanas apspriedes protokolā, kuru parakstīja visas būvniecībā iesaistītās puses – pasūtītāja pārstāvji, izpildītāja pārstāvji, būvuzraugs, un tas reģistrēts Būvniecības informācijas sistēmā.



3.3.att. Pāļu sagatavošanas platforma objektā

Kokmateriāli izkārtoti pēc vienotas metodes – tievgaļi vērsti prom no ceļa trases, jo tos paredzēts noasināt, un, lai asināšanas process netraucētu transportlīdzekļu plūsmai objektā, kā arī pastiprinātu drošības pasākumus objektā (skat.3.4.att.), jo tie asināti manuāli ar motorzāģi. Pāļu tievgaļi uzasināti ~40 cm garumā, izveidojot konusveida spici 45° leņķī.



3.4.att. Kokmateriālu novietojums uz paļu sagatavošanas platformas

Saskaņā ar būvprojektu paredzētais koksnes pāļu minimālais diametrs tievgalī tika noteikts 18 cm – pāļiem ar 3,1 m garumu, savukārt un 20 cm - pāļiem ar 4,3 m un 5,5 m garumu. Tomēr uzsākot būvdarbus, pāļu faktiskos parametru bija nepieciešams mainīt, un to garumi bija 4,2 m un 5,4 m, minimālais diametrs ne mazāk kā 20 cm. Pārmērot objektā ievestos kokmateriālus pāļu sagatavošanai, konstatēts, ka tie tiek piegādāti atbilstoši paredzamajai izbūvei (skat. 3.5. att.).



3.5.att. Kokmateriālu diametra pārbaude tievgalī.

Sākotnēji pāļi tievgalī noasināti trīsdimensionālās un četrdimensionālās formās, lai pāļu dzīšanas procesā pārbaudītu, kuras formas ir pateicīgākas dzīšanas procesam. Rezultātā konstatēja, ka pāļi, kuriem, sagatavots četrdimensionālās formas tievgalis, ir, pirmkārt, vieglāk iedzenami – mazāka grunts pretestība, otrkārt precīzāk novietojami

atzīmētajā pāļa dzīšanas vietā (pāļu iebūves ekskavatora operatoram vieglāk un precīzāk “notēmēt” pāli īstajā vietā). Tādēļ pieņemts lēmums turpmāk visus paredzamos pāļus sagatavot četrdimensionālā formā. Sagatavoti pāļinogādāti ar pievedējtraktoru konkrētā paredzamā dzīšanas vietā (skat. 3.6. att.).



3.6.att. Sagatavoto pāļu piegāde objektā.

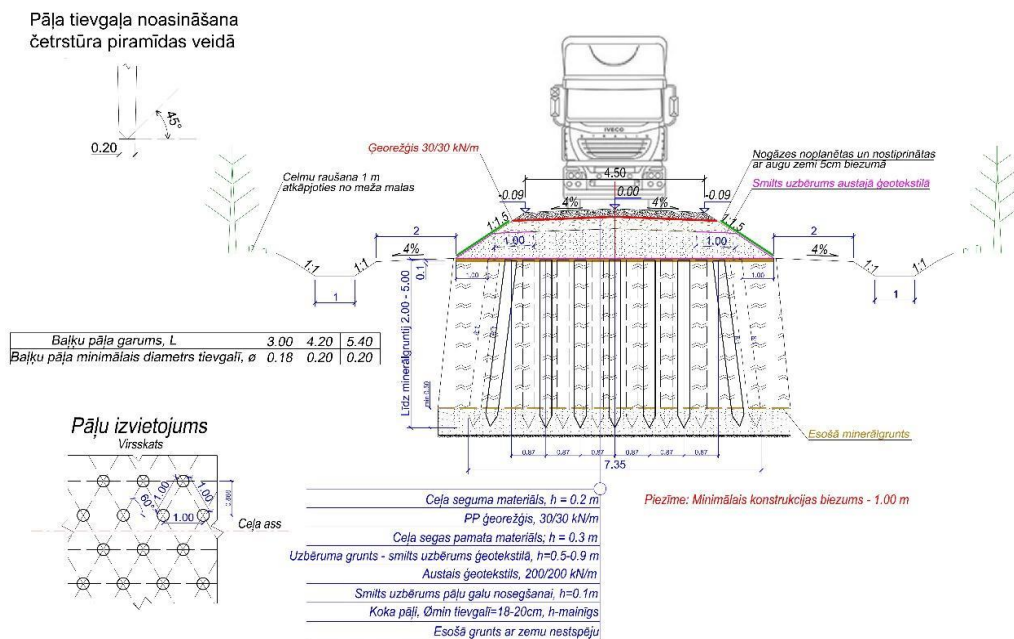
Apkopojot starptautisko pieredzi pāļu izbūvē, tiek rekomendēti mizoti pāļi, jo tādejādi samazinās potenciālā materiāla bojāšanās risks, ko varētu izraisīt dažādas sēnas un baktērijas, kā arī iebūves procesā mizotiem pāļiem ir samazināta berzes ietekme. Tomēr objektā “Tēvgāršas ceļa turpinājums” pāļiem netika paredzēta mizošana. Jāņem arī vērā, ka mizoti pāļi ātrāk izžūst, kas var radīt plaisas pālī, it sevišķi labvēlīgos laikapstākļos – siltā, sausākā gaisā. Neskatoties uz to, ka nemizotiem pāļiem ir lielāka šī berzes ietekme, objektā šis fakts izbūvi neapgrūtināja, un pāļi tika iedzīti, sasniedzot minerālgrunti. Nākotnē pāļu mizošana šādos objektos ir jāapsver, t.sk., gan no ekonomiskās puses, gan no tehniskajām iespējām. Pastāv vairāki pāļu mizošanas iespējas, piemēram, ar motorzāģi, pievienojot ēveles tipa ierīci (skat. 3.7.att. A), traktortehnika ar ēveles tipa ierīci (skat. 3.7.att. B), vai arī piesaistīts ārpalpojums, t.i., sadarbojoties ar uzņēmumiem, kuri veic kokmateriālu mizošanu industriālā līmenī ražotnē (skat. 3.7.att. C), un šajā gadījumā jāapsver arī loģistikas izmaksu pamatojums, jo kokmateriāli papildus jātransportē.



3.7.att. Pāļu mizošanas varianti

Pirms plānota mizotu koksnes pāļu izmantošana, projektēšanas stadijā jāapsver nepieciešamība pēc nomiztiem pāļiem, izvērtējot konkrētā objekta apstākļus, kā arī jāpamato ekonomiskais lietderīgums.

Saskaņā ar būvprojektu, koksnes pāļus izvietojami regulāra trijstūra formā, ar 1 m distanci starp pāļu asīm (skat. 3.8. att.). Pāļu minimālais iebūves dziļums minerālgruntī ir 0,5 m.



3.8.att. Meža ceļa „Tēvgāršas ceļa turpinājums” ceļa segas un koksnes pāju raksturlielumi un izbūves shēmas

Pāju un rievsienu izbūves traktortehnikas izvēle bija būvdarbu veicēja atbildībā, kurš nodrošināja atbilstošu tehniku būvobjektā (skat. 3.9. att.). Tika noteiktas minimālās traktortehnikas prasības: 20 tonnu ekskavators ar papildu hidraulisko līniju un hidraulisko plūsmu 220-250 l/min. Traktortehnikai pie hidrauliskās sistēmas jābūt pievienotam hidrovibratoram ar sekojošiem minimālajiem parametriem:

- centrālās spēks – 374 kN;
- frekvence – 47,5 Hz;
- jauda – 2850 apgriezieni/min.;
- vilces spēks – 120 kN;
- grūdējspēks – 80 kN.



3.9.att. Kāpurķēžu ekskavators ar pievienotu hidrovibratoru

Pirms objektā uzsāka pāļu dzīšanas darbus, iepriekš veikti pāļu dzīšanas testi no piketa 02+50 - 05+50, ik pa 25 m, lai izmērītu faktisko kūdras dziļumu objektā. Šādi izmēģinājuma testi bija pieļaujami tikai konkrētā būvobjektā, jo ceļa konstrukcijā iepriekš bija iestrādāts sīkbaļķu klājums (skat.3.2.att.), kas ļāva tehnikai pārvietoties. Cita veida objektos, kuros iepriekš nav veikta ceļa konstrukcijas izbūve, un ir zemas nestspējas grunts, pa kurām nespēj pārvietoties tehnika, lai veiktu šādus testus, rekomendējama padziļināta ģeodēziskā grunts izpēte. Objektā pēc testu veikšanas, tika pieņemts lēmums, ka, saskaņā ar būvprojektu, 3 m pāļi, kurus bija paredzēts objektā dzīt no 02+50 – 03+50, aizstāti ar 5,4 m pāļiem, jo kūdras ieslēgums ir dziļāks nekā tas tika paredzēts. Lai gan testēts tika līdz piketam 05+50, balstoties uz šiem testa rezultātiem, piketos 7+25 – 7+50 pieņemts lēmums 3 m pāļus nomainīt uz 4,2 m gariem pāļiem.

Būvprojektā pāļu dzīšanas tehnoloģija paredz, ka pāļi tiek dzīti visā ceļa brauktuves platumā vienlaicīgi un uz priekšu. Objektā tika pieņemts lēmums veikt pāļu dzīšanu, demontējot iepriekš uzbūvēto sīkbaļķu klājumu vienā ceļa brauktuves pusē līdz ceļa brauktuves asij, kurā tiek dzīti pāļi, un pāļu dzīšanas tehnika procesa laikā atrodas otra ceļa klātnes pusē – t.i. uz iepriekš uzbūvēto sīkbaļķa klājumu (skat. 3.10.att.). Pēc koksnes pāļu iedzišanas un izlīdzinošās kārtas izbūves, demontēja sīkbaļķu klājumu otrā pusē, un tiek dzīti pāļi, tehnikai atrodoties uz izbūvētās konstrukcijas puses. Šāds risinājums objektā tika veikts no 02+25 – 05+75, un lēmumu pieņēma, balstoties uz konkrētā objekta grunts nestspēju, samazinot iespējamos riskus, kas varētu rasties saistībā ar šo grunts nestspēju un tehnikas svara ietekmi uz to. Objektos, kuros nav iepriekš veikta šāda tipa ceļa konstrukcijas izbūve vājas nestspējas gruntīs, vispirms rekomendējama ir padziļināta grunts izpēte.



3.10.att. Pāļu vienā no ceļa brauktuves pusēm tehnikai, atrodoties uz sīkbaļķu klājuma

Pirms pāļu dzīšanas, atzīmētas vietas, kur tie tiks dzīti, saskaņā ar būvprojektu. (skat. 3.11.att.). Tas tiek darīts manuāli – ar darba staciju nosaka punktus, iekrāsotas un atzīmētas vietas un ekskavatora operators attiecīgajā vietā iedzina pāļus.



3.11.att. Pāļu vietu atzīmes pirms iedzišanas

Nākotnē, veicot līdzīgus darbus, rekomendējama tehnika, kuras operatoram ir digitāli pieejama informācija ar pāļu atzīmēm objektā, un tehnika ir aprīkota attiecīgi ar spēju lasīt faktiskos datus objektā, un sasinchronizēt tos ar projektā paredzamajām pāļu izbūves vietām. Šāda metode būtu daudz precīzāka, un nodrošinātu, ka pāļi iedzīti saskaņā ar būvprojektu. Šādi digitālie risinājumi jau tiek pielietoti autoceļa būvniecībā, piemēram, meliorācijas sistēmu izbūvē.

Līdz 2021.gada decembrim, pāļu izbūve veikta līdz PK 05+50. Posmā no PK 02+25 līdz PK 04+75 un no PK 05+00 līdz 05+50 iebūvēti koksnes pāļi ar garumu 5,4 m, savukārt posmā no PK 04+75 līdz PK 05 +00 ir iebūvēti 4,2 m gari koksnes pāļi. Šajā 25 m posmā īsāki pāļi izbūvēti, jo, testējot tie aizsniedza minerālgrunti. Īsākie koksnes pāļi, t.i., 3 m gari objektā vispār nav izmantoti, kā arī 4,2 m gari koksnes pāļi atsevišķās vietās no PK 03+50 līdz PK 03+75 un no PK 05+00 līdz PK 05+50 nomainīti pret garāko pāļu garumu – 5,4 m.

Veicot objektā pāļu dzišanu mīkstos grunts slāņos un nogulumos (kūdra, sapropelis, mālsmilts), bija iespējams novērot horizontālu un vertikālu grunts kustību, kas izpaužas kā zemes virsmas kāpums. Līdzēnas zemes virsmas gadījumā pāļu grupas ieskaujošās grunts sāniskā pārvietošanās ir simetriska un gandrīz identiska (skat. 3.12. att.).



3.12.att. Grunts kustība ap pāli dzīšanas laikā

Izbūvētajos ceļa posmos visiem pāļiem tiek veikts digitālais uzmērījums. To veic objektā mērnies no būvnieka puses pēc pāļu iebūves, un pirms tiek veikta uzbēruma izbūve. Ievāktie dati integrēti ceļa projekta digitālajā plānā, kurā šādi ir apkopoti dati par iebūvētajiem koksnes pāļiem uz konkrēto brīdi un to reālo atrašanās vietu objektā (skat. 4.pielikumu). Tikai pēc šādas uzmērīšanas, kas tiek nodota ar aktu, būvuzraugs pieņem paveikto pāļu izbūvi kā akceptējamu. Nākotnē šādos vai līdzīgos objektos, ir arī rekomendējama šī digitālā datu savākšana par iebūvētajiem pāļiem, pirms paveikto darbu pieņemšanas, jo tas ļauj sistemātiski uzskaitīt iebūvētos pāļus, t.sk., fiksētas to atrašanās vietas, kā arī nosedz potenciālus riskus par paveikto darbu kvalitāti.

3.2 Pāļu slogošana un analīze

Koksnes pāļu statiskā slogošana ļauj pārbaudīt būvprojekta pāļu nestspējas aprēķinus. Atbilstoši LVS EN 1997-1+A1+AC:2015 7.Eirokodekss. Ģeotehniskā projektēšana 1.daļa: Vispārīgie noteikumi, pāļu nestspējas aplēses veikt tieši no statiskās slogošanas testu rezultātiem. Koksnes pāļu statiskās slogošanas pārbaudes ļauj izdarīt tālākus secinājumus par konstruktīvo risinājumu nestspēju faktiskajos apstākļos, kā arī sagatavot rekomendācijas citiem objektiem pie konkrētā konstruktīvā risinājuma izmantošanas.

Būvobjektā ik pa 25 m paredzēta koksnes pāļu statiskā slogošana (skat. 3.1. tab.). Testa pāļu statiskās pārbaudes atbilstoši LVS EN ISO 22477-1:2019 (Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Ģeotehnisko konstrukciju testēšana. 1.daļa. Pāļu testēšana: testēšana ar statisko spiedes slodzi) līdz pārbaudes slodzei – 100 kN (10 tonnas). Slogošanai izmantot smago tehniku objektā – pāļu dzīšanas ekskavatoru un atbilstošu hidraulisko domkratu.

3.1.tabula Testa koksnes pāļu izbūves darbu apjoma saraksts

Pikets	Attālumi (m)	Zemes virsmas atzīmes (m)	Projekta atzīmes (m)	Darba atzīmes (m)	Testa koksnes pāļu izbūve (gab.)	Koksnes pāļu izbūve* (gab.)
02+50	25	71.14	71.32	0.18	1	1
02+75	25	71.09	71.55	0.46	1	159

Pikets	Attālumi (m)	Zemes virsmas atzīmes (m)	Projekta atzīmes (m)	Darba atzīmes (m)	Testa koksnes pāļu izbūve (gab.)	Koksnes pāļu izbūve* (gab.)
03+00	25	71.08	71.74	0.66	1	168
03+25	25	70.97	71.78	0.81	1	171
03+50	25	70.78	71.72	0.94	1	167
03+75	25	70.74	71.65	0.91	1	224
04+00	25	70.56	71.59	1.03	1	223
04+25	25	70.77	71.52	0.75	1	231
04+50	25	70.71	71.45	0.74	1	207
04+75	25	70.65	71.39	0.74	1	175
05+00	25	70.49	71.32	0.83	1	184
05+25	25	70.31	71.25	0.94	1	179
05+50	25	70.17	71.19	1.02	1	188
05+75	25	69.37	71.16	1.79	1	464
06+00	25	69.60	71.17	1.57	1	270
06+25	25	69.90	71.23	1.33	1	267
06+50	25	70.21	71.31	1.10	1	277
06+75	25	70.30	71.38	1.08	1	177
07+00	25	70.46	71.46	1.00	1	176
07+25	25	70.54	71.53	0.99	1	173
07+50	25	70.59	71.62	1.03	1	178
07+75	25	70.59	71.76	1.17	-	1
Kopā					21	4260

**Koksnes pāļu izbūves apjomi zem nobrauktuvēm, brauktuves paplašinājumiem un izmaiņšanās vietām pieskaitīti pie konstrukcijas apjomiem attiecīgajā piketā.*

Standartā LVS EN 12699 norādīts, ka pāļa dzīšanas laikā var izmantot līdz 80 % no koksnes pāļa materiāla maksimāli pieļaujamās raksturīgās spiedes sprieguma vērtības paralēli šķiedrai. Šis ierobežojums nepieciešams, lai nepieļautu koksnes bojāšanu pāļu dzīšanas laikā.

Pāļu slogošana būvobjektā veikta atbilstoši BŪVPROJEKTA IZMAIŅAS TS-CD, BA Meža ceļa „Tēvgāršas ceļa turpinājums” jauna būvniecība PK 00+00 – PK 16+00 posmā, kur izbūvēti koksnes pāļi - PK 02+50 – PK 07+50. Paredzētas testa pāļu statiskās pārbaudes atbilstoši standartam LVS EN ISO 22477-1:2019 “Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Ģeotehnisko konstrukciju testēšana. 1.daļa. Pāļu testēšana: testēšana ar statisko spiedes slodzi” līdz pārbaudes slodzei – 100 kN (10 tonnas). Lai nodrošinātu atbilstošu pāļu slogošanu nepieciešama smagā traktortehniku objektā – pāļu dzīšanas ekskavators un atbilstošs hidrauliskais domkrats – BVA Hydraulics H-series H1512 (skat. 3.13. att.).



3.13.att. Pāļu slogošanas sistēma objektā

Līdz 2021. gada decembrim notestēti 12 testa pāļi sekojošos piketos: PK 02+55; PK 02+75; PK 03+00; PK 03+25; PK 03+50; PK 03+75; PK 04+00; PK 04+25; PK 04+50; PK 04+92; PK 05+00; PK 05+50 (skat. 3.2. tab.). Slodzes pakāpe visiem testa pāļiem – 10 kN (1 tonna). Atslogošana notiek ar vienu atslogošanas pakāpi. Slogošanas deformāciju rādītāji tiek nolasīti ar digitālo bīdmēru, kura precizitāte ir 0,01 mm.

3.2.tabula Slogojamo koksnes pāļu dimensionālie raksturlielumi un atrašanās vieta

Caurmērs resgalī (m)	Garums (m)	Atrašanās vieta	Caurmērs resgalī (m)	Garums (m)	Atrašanās vieta
0,24	4,3	PK 02+55	0,30	5,5	PK 04+00
0,26	4,5	PK 02+75	0,30	5,5	PK 04+25
0,30	5,5	PK 03+00	0,27	5,5	PK 04+50
0,31	5,5	PK 03+25	0,28	4,3	PK 04+92
0,24	5,5	PK 03+50	0,30	5,5	PK 05+00
0,30	5,5	PK 03+75	0,24	5,5	PK 05+50

Veicot pāļu testēšanu, bija jāņem vērā lokālās ģeoloģiskās nevienmērības – vājo grunšu (dūņas, kūdra, sapropelis, plūstošas konsistences māls, irdena smilts u.c.) ieguluma dziļuma svārstības, tamdēļ atšķīrās arī koksnes pāļu iedziļinājums nestspējas gruntī. Vizuāli šīs svārstības tika novērtētas arī pāļu dzīšanas laikā - zonās, kur vājo grunšu ieguluma dziļums ir seklāks, pāļu atkoda (faktiski nav novērojams pāļa pārvietojums vibropāļdzīņa darbības laikā) tika sasniegta un 5,5 m garo koksnes pāļu gali paliek virs grunts līmeņa (skat. 3.14. att.). Tehnoloģiski tie tiek nozāģēti, sagatavojot uz atbilstošo projekta augstuma atzīmi.



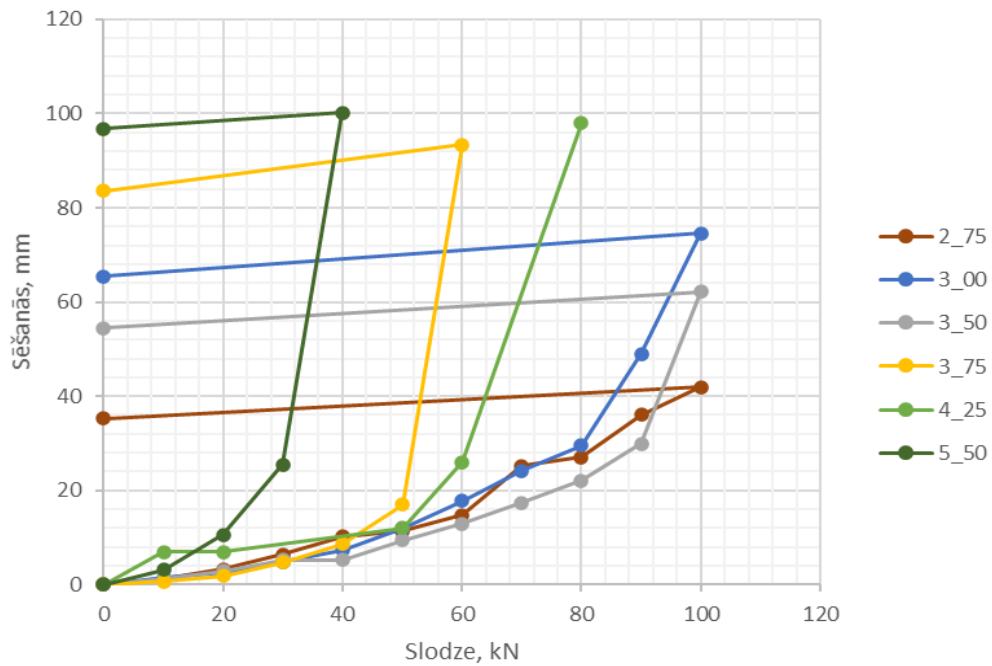
3.14.att. Koksnes pāļu izbūve un atkodas sasniegšana no PK 02+50 līdz PK 03+50

Pāļu dzīšana notika atbilstoši būvprojekta risinājumam, kur pieņemtas Zviedrijā lietotās koksnes pāļu projektēšanas vadlīnijas atbilstoši Zviedrijas Transporta aģentūras (Trafiksverket) *Trafiksverkets tekniska krav för geokonstruktioner-TK Geo 13* un *Trafikverkets tekniska råd för geokonstruktioner-TR Geo 13*. Projektēšanas vadlīnijas Zviedrijā nosaka projektēšanas pieņēmumus un specififikācijas. Tajās apskatīts gan koksnes pāļu izvietojums, gan slodzes pārnese platformas nosacījumi un citi projektēšanas pieņēmumi. Atbilstoši šiem pieņēmumiem “Tēvgāršas ceļa turpinājums” būvprojektā pieņemts pāļu trijstūrveida izvietojums, solis starp pāļiem un tas, ka ārējās rindas izbūvētas slīpumā 1:8 (12,5°).

Analizējot pāļu testēšanas rezultātus, ņemtas vērā lokālās ģeoloģiskās nevienmērības un turpmākā analizē izdalītas 2 pāļu grupas:

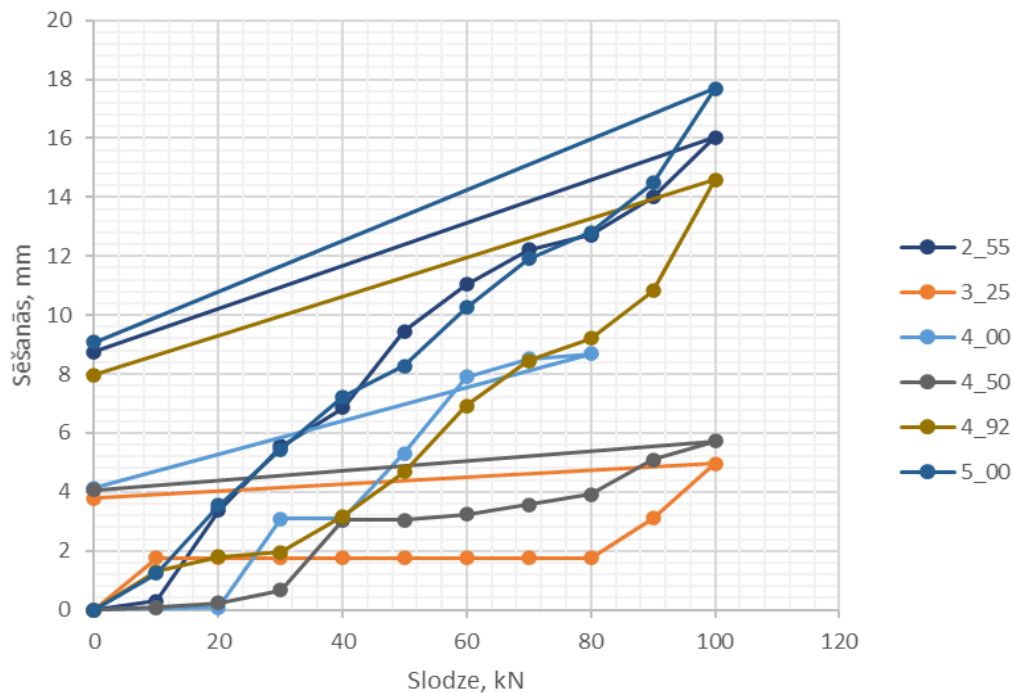
- testa pāļi, kuri nerasniedz atkodu;
- testa pāļi, kuri sasniedz atkodu.

Testa pāļi, kuri nerasniedza atkodu - ar esošo pāļu dzīšanas tehniku būtu iespējama tālāka pāļa iedziļināšana gruntī, atradās sekojošos piketos: 02+75; 03+00; 03+50; 03+75; 04+25; 05+50. Šiem pāļiem maksimālā slodze slogošanas laikā svārstījās no 40 līdz 100 kN, kur rezultātā bija novērojama pāļu sēšanās no 42 līdz 100 mm. Veicot atslogošanu, slogošanas rezultātā radusies pāļa iegrimis samazinājās par 4 – 14 % (skat. 3.15. att.). Tālāka analīze, kur tiks salīdzināti visi slogošanas testēšanas rezultāti ar analītiskajiem aprēķiniem (t.sk. būvprojektā iekļautajiem) tiks sagatavoti nākamajās starpatskaitēs.



3.15.att. Slogošanas rezultāti atkodu nesasniedzušajiem koksnes pāļiem

Iegūtie rezultāti testa pāļiem, kuri dzīšanas laikā, sasniedza atkodu - ar esošo pāļu dzīšanas tehniku nebūtu iespējama tālāka pāļa iedziļināšana gruntī, (PK 02+55; PK 03+25; PK 04+00; PK 04+50; PK 04+92; PK 05+00), būtiski atšķīrās no testa pāļiem, kas nesasniedz atkodu. Šajā gadījumā maksimālā slodze slogošanas laikā 5 no 6 pāļiem bija 100 kN, kur rezultātā bija novērojama pāļu sēšanās no 4,8 līdz 17,6 mm. Veicot atslogošanu, slogošanas rezultātā radusies pāļa ieegrime samazinājās par 25 – 50 % (skat. 3.16. att.).



3.16.att. Slogošanas rezultāti atkodu sasniegušajiem koksnes pāļiem

Var uzskatīt, ka visi testa pāļi, kuri apskatīti šajā starpatskaitē, ir izpildījuši būvprojekta nosacījumus attiecībā uz pāļu nepieciešamo nestspēju, bet sēšanās jeb lietojamības pārbaude norāda uz iespējamām atšķirībām. Tomēr, ja apskatām šobrīd visu testēto koksnes pāļu darbību pie aplēses slodzes atbilstoši būvprojektam – 37,79 kN, tad var redzēt, ka visu pāļu, izņemot testa pāli PK 5+50 (testa pālis nobrauktuvē), deformācija nepārsniedz 10 mm. Tādēļ var uzskatīt, ka visa autoceļa segas konstrukcija darbosies vienmērīgi. Tomēr nākamajos projektos jāņem vērā, ka svarīgi sasniegt atkodu – tas norāda uz to, ka koksnes pālis (atbilstoši esošā projekta specifikācijai) var uzņemt 100kN (aptuveni 10t) slodzi.

Koksnes pāļi, kuri dzīšanas laikā sasniedz atkodu, darbojās stingāk nekā gadījumā, ja atkoda netiek sasniegta. Nākamajos projektos jāņem vērā, ka pāļu nestspēja (līdz pat 100kN) tiek nodrošināta, ja koksnes pālis tiek iedzīts līdz atkodai ar līdzīgu pāļu dzīšanas tehniku, kāda izmantota meža ceļa “Tēvgāršas ceļa turpinājums” projektā. Svarīgi šīs prasības ņemt vērā jau projektēšanas laikā un ģeotehniskās izpētes laikā, nosakot pieļaujamo slodzi uz pāli, kā arī projektējot to noteiktā nestspējīgajā grunt slānī.

3.3 Secinājumi un rekomendācijas

Secinājumi

Zemāk esošie secinājumi attiecas uz koksnes pāļu izbūves un pāļu slogošanas procesiem, kas projekta 1.etapā vēl nav pilnībā pabeigti. Papildināti secinājumi tiks iekļauti projekta nākamajā, t.i., 2.etapa secinājumos.

1. Veicot koksnes pāļu dzīšanu, bija jāņem vērā lokālās ģeoloģiskās nevienmērības – vājo grunšu (dūņas, kūdra, sapropelis, plūstošas konsistences māls, īrdena smilts u.c.) un ieguluma dziļuma svārstības, kuras nebija ievērtētas grunts ģeotehniskā izpētē, tamdēļ atšķīrās arī izmantoto koksnes pāļu garums no būvprojektā norādītā.

2. Veicot objektā koksnes pāļu dzīšanu mīkstos grunt slāņos un nogulumos (kūdra, sapropelis, mālsmilts), bija iespējams novērot horizontālu un vertikālu grunts kustību, kas izpaužas kā zemes virsmas kāpums. Grunts pārvietošanos izraisa nošķelta konusveida dobuma izplešanās, ņemot vērā grunts pārvietošanos ap to un zem tā.

3. Pētījuma objektā esošajiem biogēniem iežiem (kūdrai, sapropelim) un augsnēm raksturīga lielā porainība, līdz ar to netika novērota būtiska jau iedzīto pāļu kustība, kad dzīti nākamie koksnes pāļi.

4. Pētījuma objektā izmantoti nemizoti koksnes (egles un priedes) pāļi un tie neapgrūtināja dzīšanas procesā nestspējīgās grunts sasniegšanu un iedziļināšanu, neskatoties uz to literatūras analīzē secināto, ka nemizotiem pāļiem, dzenot tos, ir lielāka berzes pretestība.

5. Koksnes pāļu statiskās slogošanas pārbaude norāda, ka izvēlētais konstruktīvais risinājums nodrošina slodzes pārneši no relatīvi vājas nestspējas grunts (kūdras) uz grunts noturīgākiem slāņiem dziļāk. Tāpat statiskās slogošanas pārbaude parādīja, ka slogošanas rezultātus būtiski ietekmē lokālās ģeoloģiskās nevienmērības un koksnes pāļa atkodas sasniegšanu.

6. Maksimālā slodze slogošanas laikā svārstījās no 40 līdz 100 kN, kas pārsniedz aplēses slodzi atbilstoši būvprojektam – 37,79 kN, kā rezultātā visa meža autoceļa segas konstrukcija nodrošinās atbilstošu nestspēju ekspluatācijas apstākļos.

7. Veicot atslogošanu, slogošanas rezultātā atkodu nesasniegušiem pāļiem radusies ieegrime samazinājās tikai par 4 – 14 %, bet atkodu sasniegušiem pāļiem radusies ieegrime samazinājās jau par 25 – 50 %. Pēc šīs tendences var prognozēt, ka posmos, kur pāļi sasniedza atkodu būs novērojams mazākas plastiskās ceļa konstrukcijas deformācijas.

Rekomendācijas

Zemāk esošās rekomendācijas izriet no projekta tikai 1.etapā paveiktā. Projekta nākamā etapa rekomendācijas sagatavojot, tiks ņemtas vērā arī projekta 1.etapa jeb šīs rekomendācijas.

1. Objektos, kuros kūdras ieslēgumi ir dziļāki par 2 m, nepieciešama padziļināta ģeodēziskā izpēte, kas detalizēti sniegtu informāciju par konkrētā objekta kūdras ieslēgumu dziļumiem, tādejādi, samazinot riskus kļūdaini izvēlēties ceļa konstrukcijas konstruktīvo risinājumu. Tikai ģeoloģiski un hidroģeoloģiski vienkāršos un homogēnos apstākļos iespējams definēt par 100 m lielāku attālumu starp izpētes punktiem. Vietās, kur sastopamas vājās gruntnis, ieteicams veikt izpēti ik pēc 20 – 25 m.

2. Koksnes pāļu dziļšanai rekomendējama tādas būvtehnikas izmantošana, kuros ir pieejama digitāla veida informācija ar pāļu atzīmēm objektā un attiecīgi spēj nolasīt tekošos datus reālā laikā un vietā. Ātrakas datu sinhronizācija ar projektā paredzamajām koksnes pāļu izbūves vietām paātrinātu būvniecības procesi nekā to darot manuāli.

3. Koksnes pāļu garums būtu jānosaka pēc padziļinātās inženierģeoloģiskās izpētes datiem, nosakot vājo grunšu dziļumu un iedziļināšanas dziļumu nestspējīgā gruntī. Papildus iepriekš minētiem dziļumiem būtu jāievērtē arī iespējamā lokālā ģeoloģiskā nevienmērība, kā rezultātā izmantojamo koksnes pāļu garumam jāparedz garuma rezerve vismaz 1 m, lai nodrošinātu to, ka iedzītie pāļi sasniedz atkodi.

4. No šobrīd AS “Latvijas Valsts meži” gatavotiem koksnes produktiem priedes un egles II šķiras zāģbalki ar tievgaļa caurmēra intervālu no 18 līdz 27,9 cm un garuma intervālu no 4 līdz 6 m, izmantojami arī kā koksnes pāļi.

5. Koksnes pāļus var noasināt ar 3 vai 4 šķautnēm, bet pāļu dziļšanas procesā konstatēts, ka tie pāļi, kuri ir noasināti ar 4 šķautnēm ir vieglāk iedzenami – mazāka grunts pretestība un precīzāk novietojami atzīmētajā pāļa dziļšanas vietā. Pāļu tievgaļi uzasināti, izveidojot konusveida spici 45° leņķī, lai mazinātu grunts pretestību rekomendējamais asināšanas leņķis būtu 60°, kas atvieglotu pāļu iezīlīnāšanu nestspējīgā gruntī.

6. Koksnes pāļu dziļšanas procesā, izmantota iepriekš izbūvētā meža autoceļa konstrukcija (apaļo kokmateriālu klājums), kas samazināja iespējamos riskus, kas varēja rasties saistībā ar grunts nestspēju būvtehnikas pārvietošanās rezultātā. Objektos, kuros iepriekš nebūs veikta šāda klājuma izbūve, būvtehnikas pārvietošanās iespējama tikai pa izbūvēto koksnes pāļu daļu.

7. Pirms mizotu pāļu izmantošanas, ir jāapsver nepieciešamība pēc nomizotiem pāļiem konkrētā objektā, jāizvērtē to sagatavošanas tehnoloģija un darbietilpība, kā arī jāpmato ekonomiskais ieguvums. Jāņem vērā, ka mizoti pāļi ātrāk izžūst un plaisā, kā rezultātā tiek ietekmētas koksnes pāļu mehāniskās īpašības (noturība) ilgtermiņā.

4 Monitoringa sistēmu uzstādīšana un izbūve

Lai pārbaudītu izvēlēto risinājumu piemērotību Latvijas apstākļiem un pilnveidotu tehniskos un tehnoloģiskos risinājumus koksnes pāļu izmantošanu meža autoceļu būvē, meža autoceļa “Tēvgaršas ceļa turpinājums” būvprojektā iekļauti arī risinājumi, kas paredz veikt monitoringu jeb izpēti programmas īstenošanu. Monitoringa programmas īstenošana pēc ceļa posma izbūves ļaus iegūt datus par izmaiņām izbūvētajā meža autoceļa konstrukcijā, kā arī, balstoties uz datu analīzes rezultātiem, noteiks koksnes pāļu meža autoceļa izturību un izmantoto risinājumu turpmāko iespējamo izmantošanu meža autoceļu būvniecībā.

Monitoringa laikā iegūtie dati ļaus izdarīt secinājumus, vai un kāda ir izbūvētā koksnes pāļu ceļa iespējamās nosēšanas dinamika, vai un kādi papildus uzlabojumi nepieciešami gan esošajam posmam, gan arī, kas ņemams vērā, veidojot līdzīgas konstrukcijas meža autoceļus, lai pārvarētu lokālus un salīdzinoši dziļus kūdras posmus. Iegūtie dati ļaus izdarīt provizoriskos secinājumus, vai šāda meža autoceļa izbūve ir lietderīga, vai izveidotā meža autoceļa konstrukcija lokālā kūdras posma pārvarēšanai ir stabila, un, vai izmantotie risinājumi būtu praktiski izmantojami arī ilgtermiņā. Monitorings tiek veikts 500 m garā koksnes pāļu izbūves posmā, un tas ilgs 24 mēnešus no minētā koksnes pāļu ceļa posma izbūves nobeiguma.

Saskaņā ar būvprojektā meža autoceļa “Tēvgaršas ceļa turpinājums” iestrādātajiem monitoringa veikšanas infrastruktūras elementiem (skat. 3.pielikumu), monitoringa programma izstrādājama tā, lai izpēti laikā iegūtu objektīvus rezultātus par pārvaramā kūdras posma iespējamās ceļa konstrukcijas deformāciju attīstības dinamiku, kas ļaus novērtēt izmantotā konstruktīvā risinājumu efektivitāti atkarībā no ietekmējošiem faktoriem.

Monitoringa veikšanai izmantos vairākas novērojuma sistēmas un attiecīgi tajās ietilpstošie mērinstrumenti (skat. 3.pielikumu):

- profilogrāfs – vertikālo deformāciju novērojuma sistēma, kas novērtē grunts slāņu sēšanos vai celšanos ceļu konstrukcijās (izvietojums no PK 02+25 līdz PK 07+75);
- inklinometrs – horizontālo deformāciju novērojuma sistēma, kas novērtē grunts slāņu sānu kustību nestabilās nogāzēs un ceļu konstrukcijās (izvietojums no PK 03+30 līdz PK 07+30);
- grunts spiediena mērītājs - novērtē spiedienu gruntī, grunts slāņu un ceļa klātnes konstrukcijas spiedienu uz konstrukcijām (pāļiem), kā arī kopējo spiedienu, ievērtējot transportlīdzekļu radīto slodzi (izvietojums PK 05+65 un PK 06+05);
- gruntsūdens līmeņa novērojumu sistēma, kas novērtē gruntsūdens līmeņa svārstības būvobjektā (izvietojums no PK 03+20 līdz PK 07+20);
- pjezometrs jeb grunts poru spiediena mērīšanas sistēma ceļa konstrukcijā (izvietojums PK 05+55 un PK 6+15);
- trīsdimensiju (3D) skenēšanas un modelēšanas sistēma – izmantojot lāzerskenēšanas komplektācijā ietilpstošo programmatūru, tā dod iespēju novērtēt ceļa klātnes konstrukcijas deformāciju veidošanos laika gaitā, skenēto objektu attiecinot pret virtuālām plaknēm (skenēšana paredzēta no PK 00+00 līdz PK 08+00).

Ja meža autoceļš uz koksnes pāļiem tiek izbūvēts līdz 2022. gada februāra beigām, tad ar 2022. gada martu paredzēts uzsākt monitoringa programmas, kuras ietvaros divus gadus jeb 24 mēnešus veicami (skat. 4.1. tab.). Līdz ko būvniecības procesā pakāpeniski iebūvētas un uzstādītās daļa no monitoringa nepieciešamajām iekārtām, veikti pirmie testa mērījumi ar attiecīgām mēriekārtām. Iegūtie rezultāti ir testa rezultāti, un tie vairāk paredzēti iekārtu un iebūvētās monitoringa infrastruktūras pirmreizējai testēšanai, iekārtu

kalibrēšanai pirms monitoringa veikšanas. Plānots, ka monitoringa rezultāti tiks publiskoti 6 starpatskaitēs.

4.1.tabula Objekta apsekošanas un mērījuma veikšanas intensitāte monitoringa laikā

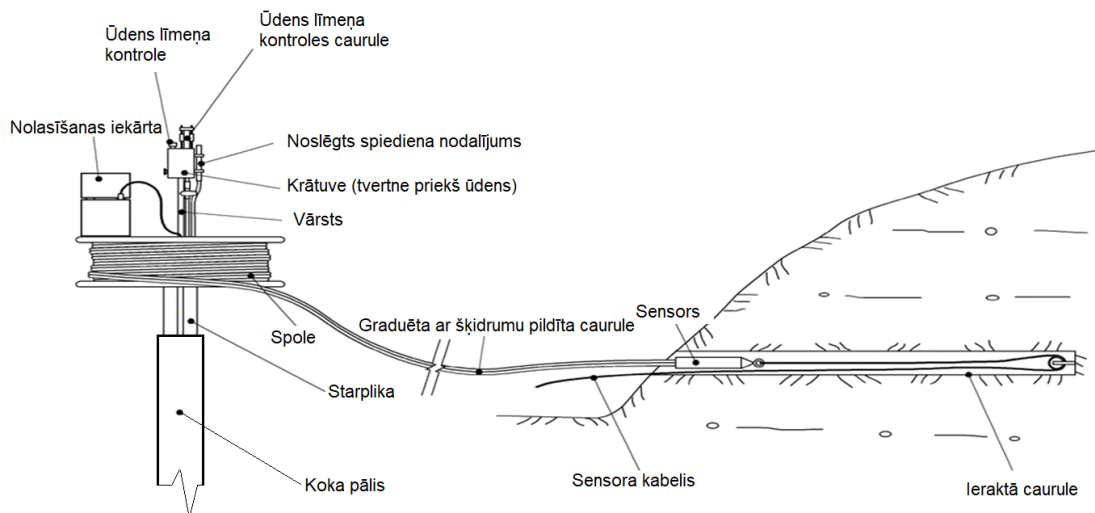
Gads	Mēnesis	Mērījumu intensitāte	Gads	Mēnesis	Mērījumu intensitāte	Gads	Mēnesis	Mērījumu intensitāte
2022	Janvāris	Testēšana*	2023	Janvāris	Reizi ned.	2024	Janvāris	Reizi ned.
	Februāris			Februāris	Reizi ned.		Februāris	Reizi ned.
	Marts	Reizi mēn. 1,2		Marts	Reizi mēn.		Monitoringa programmas mērījumu veikšanas plānotais beigu termiņš - 2024. g. februāris, ja meža autoceļa posms tiek izbūvēts līdz 2022. gada februārim un 2022.gada martā iespējams sākt 24 mēnešu monitoringu. Ja ceļa posma izbūve tiek pabeigta vēlāk, būs nepieciešams pārplānot veicamos ceļabūves darbus attiecībā pret monitoringa datu ieguves periodu un saskaņot tos starp pasūtītāju un izpēti veicēju.	
	Aprīlis	Reizi mēn.		Aprīlis	Reizi mēn.			
	Maijs	Reizi mēn.		Maijs	Reizi mēn.			
	Jūnijs	Reizi mēn.		Jūnijs	Reizi mēn.			
	Jūlijs	Reizi mēn.		Jūlijs	Reizi mēn.			
	Augusts	Reizi mēn.		Augusts	Reizi mēn.			
	Septembris	Reizi ned.		Septembris	Reizi ned.			
	Oktobris	Reizi ned.		Oktobris	Reizi ned.			
	Novembris	Reizi divās ned.		Novembris	Reizi divās ned.			
	Decembris	Reizi ned.		Decembris	Reizi ned.			

*Līdz 2022. gada februārim plānota monitoringa mērinstrumentu sistēmu un to elementu uzstādīšana un izbūve, kā arī kalibrēšana un testa mērījumu veikšana.

4.1 Vertikālo deformāciju novērojumu sistēma

4.1.1 Vertikālo deformāciju novērojumu sistēmas raksturojums

Grunts profila vertikālās deformācijas zem ceļa konstrukcijas uzbēruma fiksēs ar profilogrāfu (skat. 4.1.att.). Iegūtie dati atspoguļos grunts profila izmaiņas, pēc kurām var novērtēt grunts slāņu sēšanos vai celšanos ceļu konstrukcijā, kuras var rasties dēļ uzbēruma konstrukcijas radītās slodzes, kā arī dažādu transportlīdzekļu radītās slodzes un intensitātes dēļ, kas ietekmē izvēlētās koksnes pāļu konstrukcijas ilgzturību uz kūdras gruntīm.

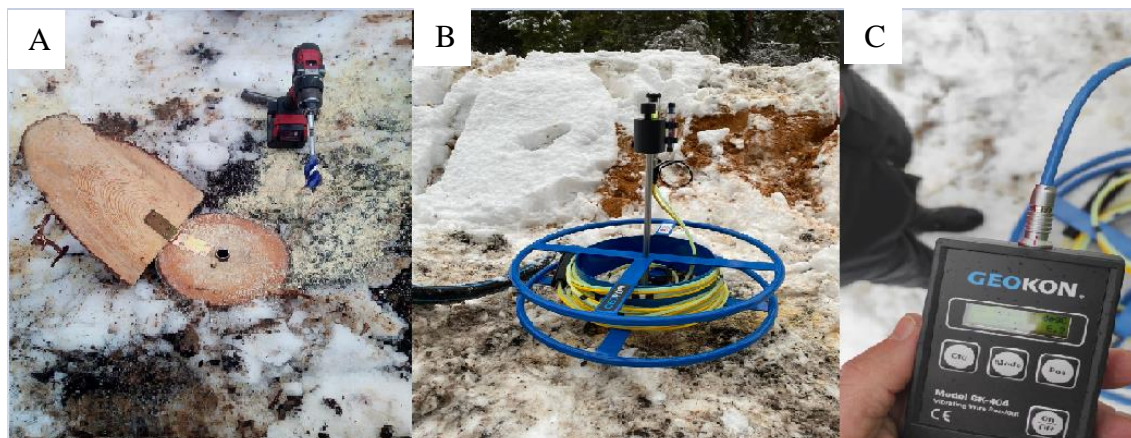


4.1.att. Profilogrāfa shematiskais attēlojums

Būvobjektā vertikālo deformāciju novērojuma sistēma sastāv no:

- profilogrāfa (GEOKON, Model 4651);
- datu lasītāja (GEOKON GK-404);
- profilogrāfa pamatnes – koksnes pālis;
- iebūvētām 11 PVC/ABS caurulēm.

Saskaņā ar būvprojektu, ceļa klātnē tiek horizontāli iebūvētas 11 PVC/ABS caurules (stiprības klase PN-8) un iedzīti atsevišķi koksnes pāļi blakus ceļa konstrukcijai aptuveni 0,5 m no caurules gala, kas pildīs profilogrāfa pamatnes funkciju, profilogrāfa zonde attiecīgi tiek virzīta pa iebūvētajām caurulēm, un dati tiek nolasīti no datu nolasītāja (skat. 4.2.att.).



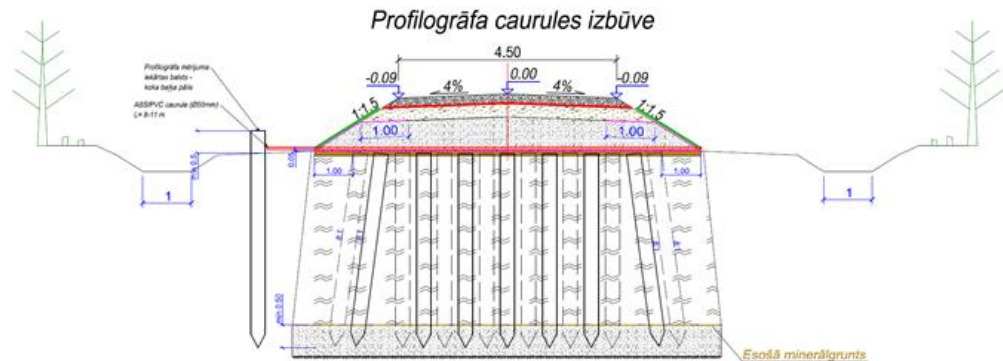
4.2.att. Profilogrāfa sistēma objektā:

A – profilogrāfa pamatne; B – profilogrāfs; C – datu nolasīšanas iekārta

Monitoringa sistēmas rezultātā tiks iegūti dati par lokālās ceļa virsmas vertikālo iespējamo deformāciju, kas paredzēti izmantot tālākai analīzei, lai noskaidrotu deformācijas cēloņus, ja tādi būs, un izstrādāt potenciālos risinājumus (rekomendācijas) ceļa konstrukcijās ar koksnes pāļiem.

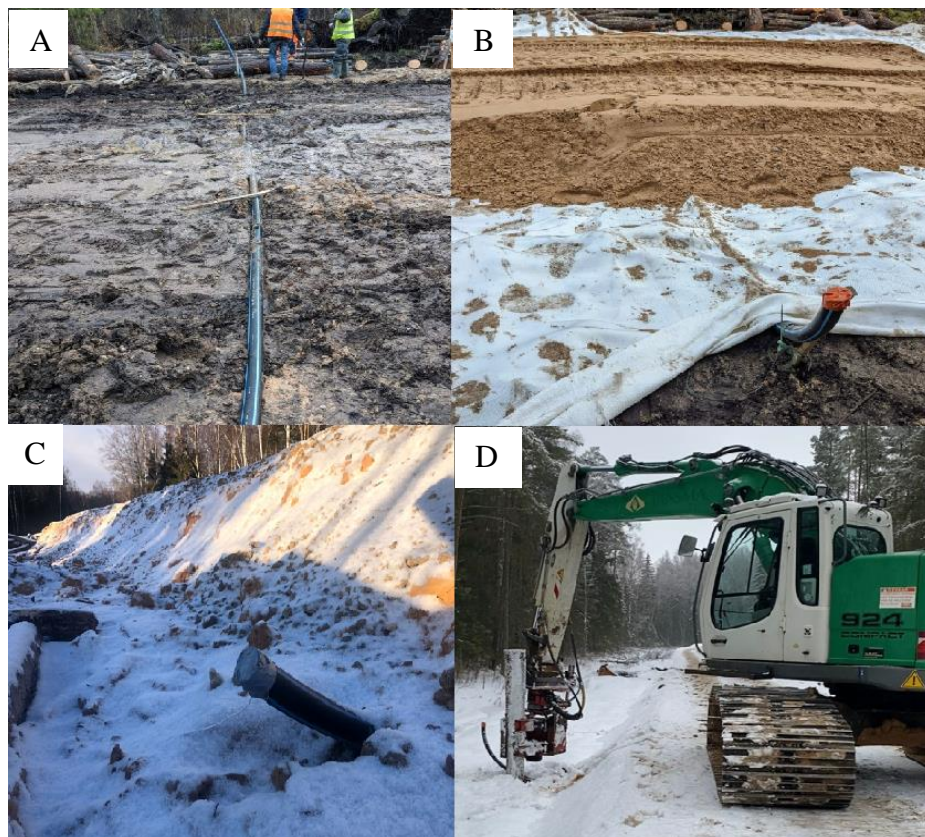
4.1.2 Vertikālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūve

Profilogrāfa datu nolasīšanai izmanto iepriekš iebūvētas 8 un 11 m garas caurules, kuru iekšējais diametrs ir 50 mm, un mērījuma vietas noteiktas saskaņā ar izstrādāto būvprojektu, un to atrašanās vietas: PK 02+25; PK 02+75; PK 03+25; PK 03+75; PK 04+25; PK 04+75; PK 05+25; PK 06+25; PK 06+75; PK 07+25; PK 07+75 (skatīt 3.pielikumu). Profilogrāfa caurules plānots izbūvēt arī 25 m pirms un pēc koksnes pāļu posma, lai iegūtu datus no meža autoceļa posma, kur izmantots standarta/klasiskais meža autoceļa konstrukcijas risinājums.



4.3.att. Profilogrāfa pamatnes un cauruļu izbūves shēma

Ceļa konstrukcijas labajā pusē, pie katras caurules gala, tiek iedzīts/iestrādāts viens koksnes pālis, pie kura tika iestiprināta metāla caurule, profilogrāfa fiksēšanai veicot mērījumus (skat. 4.3. un 4.4.att.).



4.4.att. Vertikālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūves process būvobjektā:

A – profilogrāfa caurules ieklāšana; B – uzbēruma grunts (smilts ģeotekstilā) C – iebūvētās profilogrāfa caurules gals; D – profilogrāfa pamatnes sagatavošana (pāļu dzīšanas process)

Līdz 2021.gada beigām, vertikālo deformācijas sistēma ir izbūvēta no PK 02+75 līdz PK 05+25 (skat. 4.2.tab.). Veikti pirmie testa mērījumi ar profilogrāfa sistēmu, šie iegūtie dati ir testa dati, kas iegūti, testējot un kalibrējot mērinstrumentu un to izbūvēto sistēmu.

4.2.tabula Vertikālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūves statuss

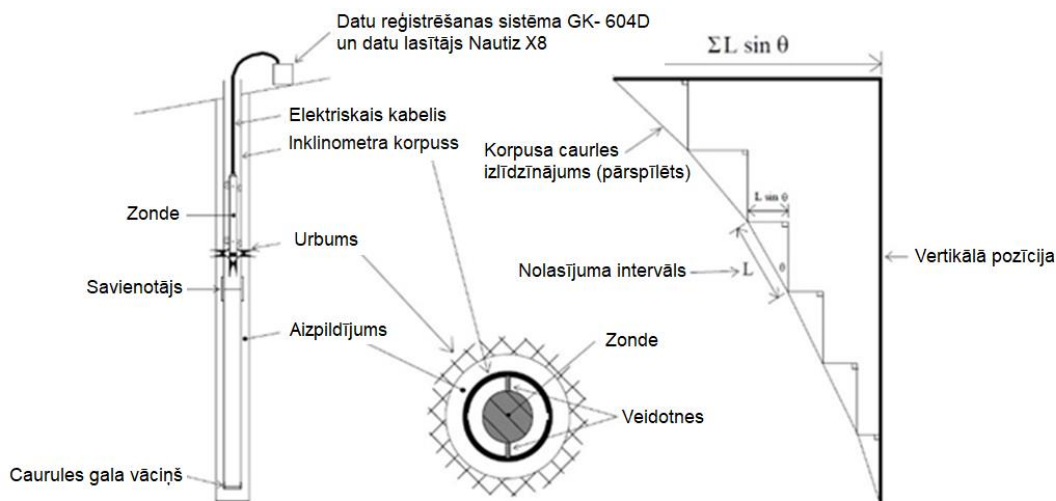
Nr. p. k.	Atrašanās vieta PK	Diametrs, mm	Garums, m	Piezīmes
1.	2+25	50	8	Iebūvētas
2.	2+75*	50	8	
3.	3+25	50	8	
4.	3+75	50	11	
5.	4+25	50	11	
6.	4+75	50	8	
7.	5+25	50	8	
8.	6+25	50	11	Iebūve atkarīga no turpmākā būvniecības procesa
9.	6+75	50	8	
10.	7+25	50	8	
11.	7+75	50	8	

Plānots, ka datu analīze tiks veikta, uzsākot paredzēto monitoringu, sākot ar 2022.gada martu, un pirmie rezultāti tiks iekļauti pētījuma nākamajā starpziņojumā.

4.2 Horizontālo deformāciju novērojumu sistēma

4.2.1 Horizontālo deformāciju novērojumu sistēmas raksturojums

Grunts profila horizontālo deformāciju novērojumi un to izmaiņas fiksēs ar inklinometru (skat. 4.5.att.). Inklinometra sistēmas izbūve nodrošinās datu ieguvī par ceļa konstrukcijas sāniskās jeb horizontālās pārvietošanās dinamikas intensitāti. No iegūtajiem empīriskajiem datiem būs iespējams analizēt, cik efektīvi darbojas koksnes pāļa konstruktīvais risinājums ceļa pamatnē un ja ir, tad kur tieši notiek ceļa konstrukcijas slāņu sāniskās kustības, kuras radušās dēļ ceļa konstrukcijas uzbēruma un transportlīdzekļu radītās slodzes. Veicot mērījumu datu analīzi, tiks identificētas lokālās vietas, kurās novērojamas deformācijas un kurām jārod risinājums turpmākajā darbībā.



4.5.att. Horizontālo deformāciju novērojumu sistēma.

Horizontālo deformāciju novērojumu sistēma sastāv no:

- inklinometra (GEOKON, Model 6100D-M);
- datu reģistrēšanas sistēmas (GEOKON GK – 604D);
- datu lasītāja (Handheld Nautiz X8);
- iebūvētiem 12 ABS korpusiem.

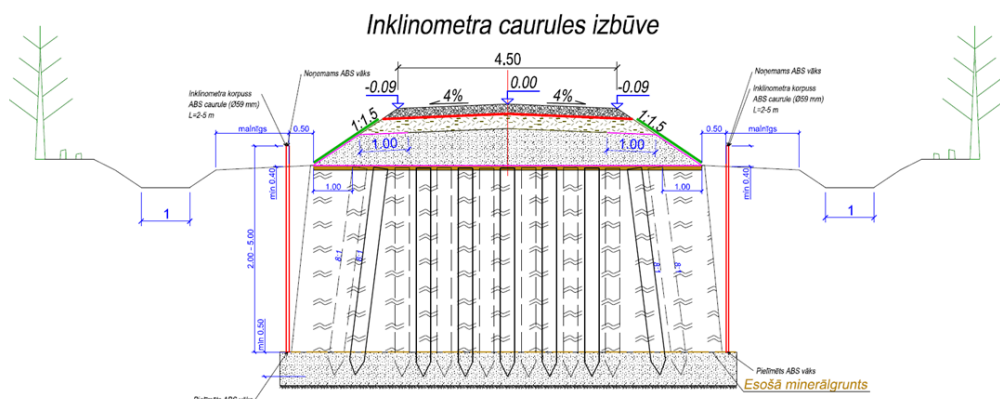
Zemes klātnē blakus ceļa konstrukcijas uzbērumam uz plaukta vertikāli tiek iebūvēti 12 ABS korpusi (caurules), caur kuriem tiek veikti mērījumi un datu nolasīšana, ievadot inklinometru iepriekš minētajos ABS korposos.

4.2.2 Horizontālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūve

Datu nolasīšanai iepriekš meža autoceļa būvniecības laikā tiks iebūvēti 12 inklinometra ABS korpusi, kuru diametrs ir 59 mm. Korpusus iebūvē līdz minerālgrunts slānim 0,5 m attālumā no ceļa uzbēruma konstrukcijas uz ceļa plaukta (skat. 4.6. att.) ar dažādiem iebūves dziļumiem - no 2,5 m līdz 5 m (skat. 4.3. tab.).

4.3.tabula Inklinometra ABS korpusu (cauruļu) izbūves statuss

Nr.	Atrašanās vieta PK+	Iebūves puse		Iekšējais diametrs, mm	Iebūves dziļums, m	Piezīmes
		Labā	Kreisā			
1.	03+30	X	X	59	3,0	Iebūvēts
2.	04+30	X	X	59	4,2	
3.	05+30	X	X	59	4,5	
4.	05+65	---	X	59	5,0	Iebūve atkarīga no turpmākā būvniecības procesa
5.	06+10	X	---	59	5,0	
6.	06+30	X	X	59	5,0	
7.	07+30	X	X	59	2,5	

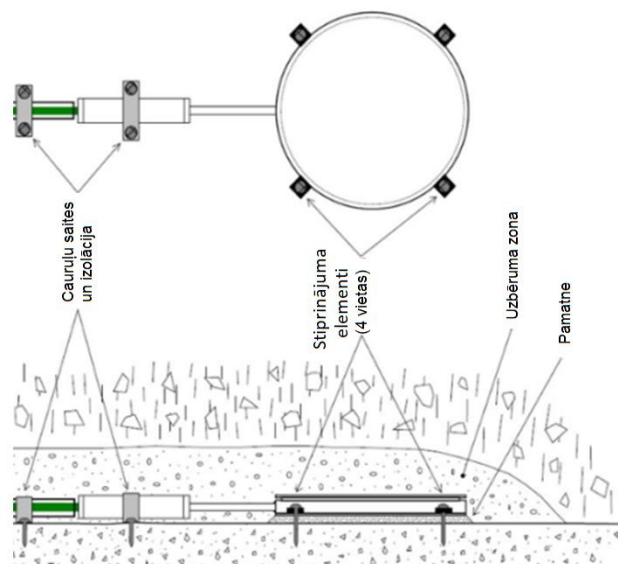


4.6.att. Horizontālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūves shēma

4.3 Grunts spiediena novērojumu sistēma

4.3.1 Grunts spiediena mērītāju apraksts

Grunts spiedienu mērītāju (skat. 4.7.att.) funkcija ir fiksēt kopējo ceļa uzbēruma konstrukcijas un transportlīdzekļu slodzes rezultātā radīto spiedienu uz koksnes pāļu konstrukciju. Grunts spiediena mērītāju izmantošanas laikā iegūto datu dinamika radīs priekšskatu par slodzes sadalījumu uz koka pāļu konstrukciju un nepieciešamības gadījumā ļaus izstrādāt potenciālos risinājumus slodzes aprēķiniem līdzīgos objektos. Koksnes pāļu ceļā tiks iebūvēti 4 grunts spiediena mērītāji jeb to 2 komplekti, kas atradīsies divās dažādās vietās, jo/lai noteiktu un analizētu ceļa uzbēruma konstrukcijas un transportlīdzekļu slodzes rezultātā radīto spiedienu pirms un aiz liela diametra (virs 2 m) caurtekas (PK 05+86).



4.7.att.Grunts spiediena novērojumu sistēma zem uzbēruma grunts

Grunts spiediena mērījumu iekārta veidota no nerūsējoša tērauda aplveida plāksnēm, kuru dobums piepildīts ar eļļu. No plāksnēm tiek atvadīta nerūsējošā tērauda augsta spiediena izturības caurule, kuras galā atrodas spiediena devējs. Tās darbības princips - grunts spiediena izmaiņu rezultātā plāksnes tiek saspīestas, līdz ar to izraisot eļļas

spiediena pieaugumu; stīgas tipa spiediena devējs pārvērš šo spiedienu elektroniskā signālā, kas tiek pārraidīts uz datu reģistrēšanas un uzkrāšanas iekārtu.

Grunts spiediena mērītāju sistēma sastāv no:

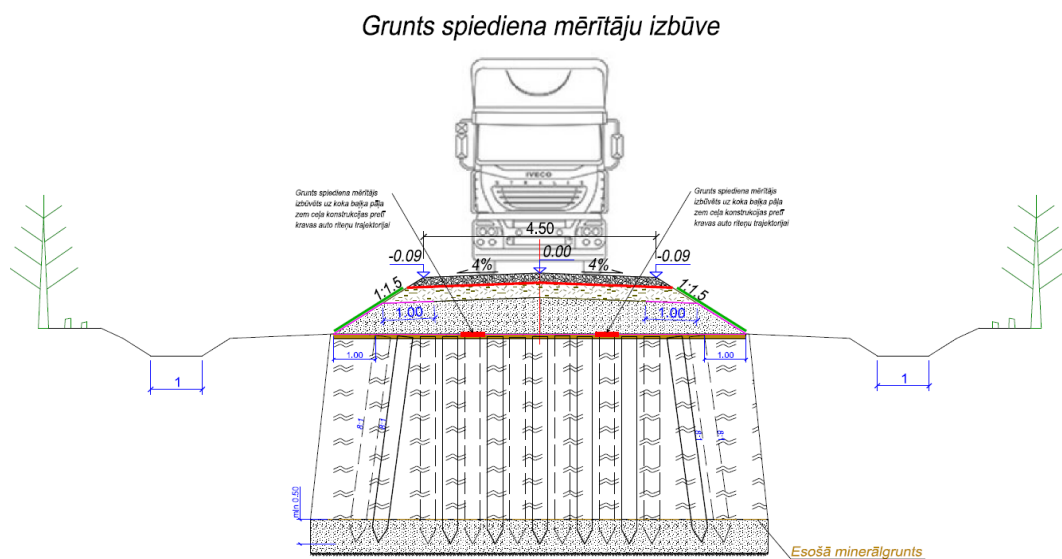
- grunts spiediena mērītāja (GEOKON, Model 4800);
- 16 kanālu datu reģistratora un uzkrājēja (GEOKON, Model 8002-16);
- datu nesēju ierīces (dators vai planšete) ar *Windows* programmatūru.

Grunts spiediena mērītāji patstāvīgi ir savienoti ar datu reģistrēšanas un uzkrāšanas iekārtu, kura uzkrāj saņemtos datus, un tie, periodiski apsekojot objektu, tiek pārnesti uz citām datu nesēju ierīcēm, piemēram, lauku planšetdatoru vai portatīvo datoru, lai varētu analizēt mērījumu datu izmaiņas ilgākā laika periodā.

4.3.2 Grunts spiediena mērītāju izbūve

Līdz 2021. gada beigām, grunts spiediena mērītāju sistēmas izbūve nav uzsākta. Piegādāti nepieciešamie grunts spiediena mērītāji un datu reģistrēšanas un uzkrāšanas komplekts.

Grunts spiediena mērītājus paredzēts iebūvēt PK 05+65 un PK 06+05. Katrā no paredzētajām vietām iebūvēs 2 spiediena mērītājus zem ceļa brauktuves ceļa konstrukcijas uzbēruma, lai uzmērītu kravas automašīnu radīto slodzi. Grunts spiediena mērītājus stiprina zem ceļa konstrukcijas uzbēruma koksnes pāļu resgalī (skat. 4.8. att.), kas ļaus novērtēt tieši radīto spiedienu uz koksnes pāļiem.



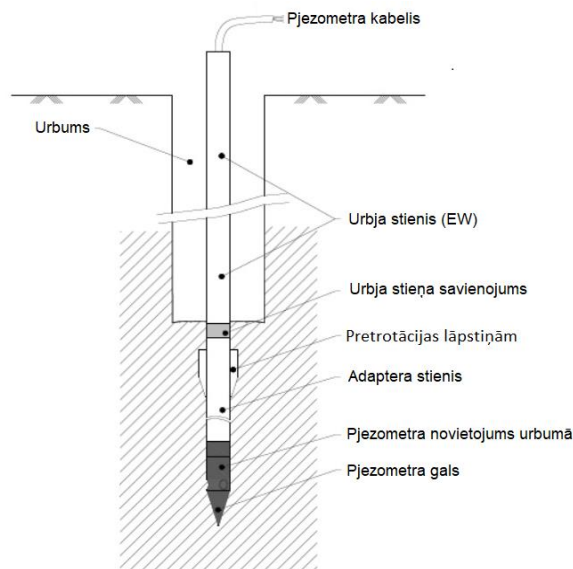
4.8.att. Grunts spiediena mērītāju izbūves shēma

4.4 Grunts poru spiediena novērojumu sistēma

Grunts poru spiediena mērītāji nepieciešami, lai monitoringa laikā noteiktu, kā mainās grunšu spriegumu izmaiņas zem ceļa konstrukcijas uzbēruma ekspluatācijas laikā. Lai to noteiktu, jāiegūst dati par spiedienu no grunts porām, kas atrodas starp koksnes pāļu konstrukcijas izvietojuma daļām. Šādi iespējams analizēt arī grunšu konsolidācijas procesu.

Mērīšanas sistēmai izmanto atbilstošus pjezometrus (skat. 4.9. att.), kas paredzēti uzstādīšanai mīkstās gruntīs. Devējus iespējams uzstādīt, tos iespiežot gruntī vai arī,

izmantojot speciālus adapterus, iebjot tos ar urbja mašīnu. Pēc vajadzīgo mērījumu veikšanas, pjezometru var izņemt no ceļa seguma un nepieciešamības gadījumā uzstādīt citā vietā. Grunts poru spiediens elektroniska signāla veidā tiek pārraidīts uz datu reģistrēšanas un uzkrāšanas iekārtu.



4.9.att. Grunts poru spiediena mērītājs (pjezometrs)

Grunts poru spiediena mērītāju sistēma sastāv no:

- grunts poru spiediena mērītāja (GEOKON, Model 4500);
- 16 kanālu datu reģistratora un uzkrājēja GEOKON, Model 8002-16;
- datu nesēju ierīces (dators vai planšete) ar *Windows* programmatūru.

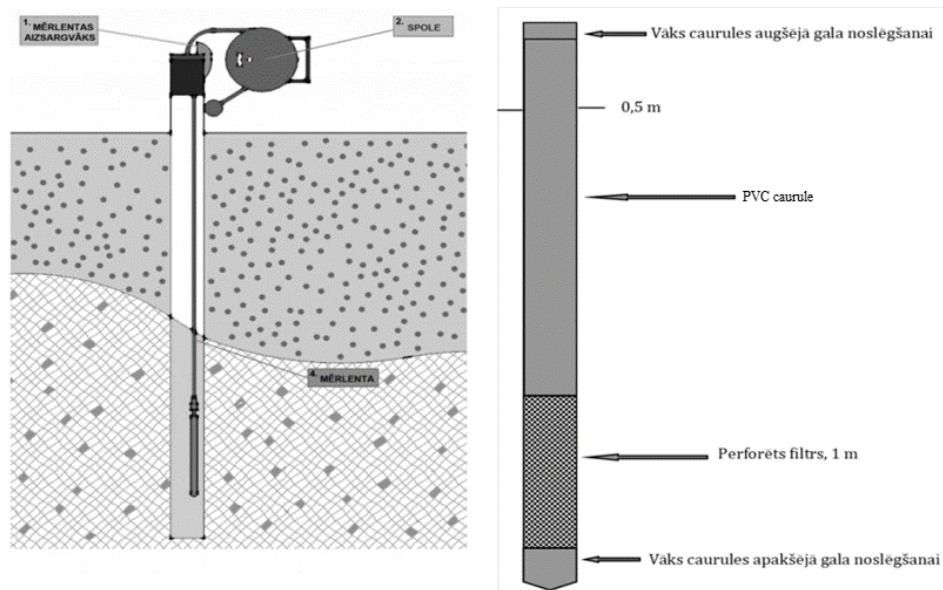
Pjezometrus plānots izvietot PK 05+65 un PK 06+05, turpat, kur izbūvēs grunts spiediena mērītāja sensori, lai, veicot mērījumus un datu analīzi, šo abu mērierīču rādītājus būtu iespējams savienot ar 16 kanālu datu reģistratoru un uzkrājēju.

Līdz 2021. gada beigām, grunts poru spiediena mērījumi nav uzsākti, jo to paredzamā ceļa konstrukcijas mērījumu vieta netika vēl uzbūvēta, un plānots, ka PK 05+65 tā tiks iebūvēta līdz 2022.gada februāra beigām. Piegādāti 2 pjezometri, datu reģistrators un uzkrājējs.

4.5 Gruntsūdeņu līmeņa novērojamā sistēma

4.5.1 Gruntsūdeņu līmeņamērītāju apraksts

Viens no būtiskiem ceļa konstrukcijas ietekmējošajiem faktoriem ir gruntsūdeņu līmeņa izmaiņas, un līdz ar to nepieciešama gruntsūdeņu līmeņa novērošanas sistēma (skat. 4.10. att.), kas ļautu reģistrēt faktisko gruntsūdens līmeni. Iegūtie dati un to veiktā analīze ļaus izdarīt secinājumus par to, cik lielā mērā ceļa konstrukcijas daļa ar izbūvētiem koksnes pāļiem pakļauta gruntsūdens līmeņu izmaiņu ietekmei. Monitoringa sistēma paredz noteikt gruntsūdens līmeņa svārstības visa gada garumā koksnes pāļu izbūves daļā (izņemot sasalmu apstākļos).



4.10.att. Gruntsūdeņu līmeņa novērojumu sistēma

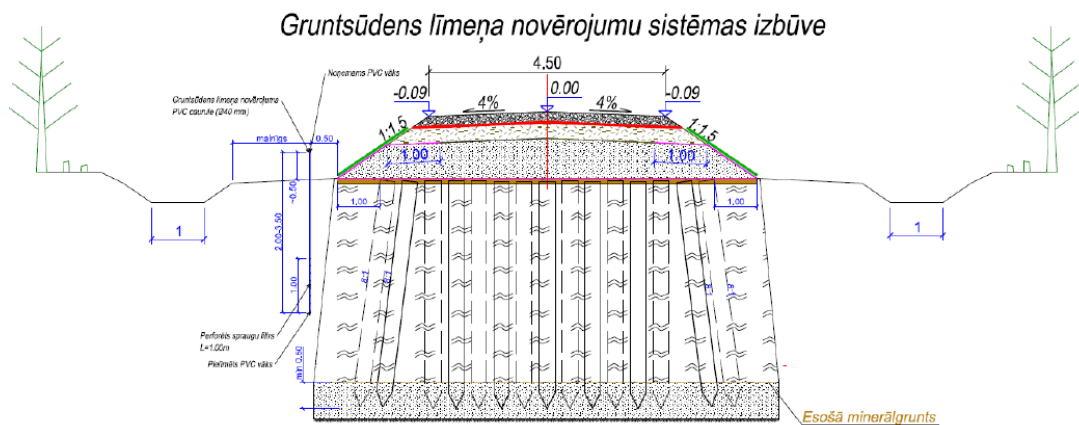
Gruntsūdeņu līmeņa novērojumu sistēma sastāv no:

- marķētas lentas un zondes (Solinst, Model 101 P7);
- iebūvētām 8 PVC caurulēm (stiprības klase SN-4).

Katrā apsekošanas reizē pie katras gruntsūdens novērošanas caurules gruntsūdens līmenis tiek novērtēts, izmantojot nerūsējošā tērauda zondes, kas piestiprinātas pie pastāvīgi marķētas plakanas lentes, kas aptīta ap spoli (skat. 4.10.att.). Zondei sakaroties ar ūdeni, tiek aktivizēts skaņas un/vai gaismas signāls. Ūdens līmeni nosaka, ņemot nolasījumu tieši no lentes novērojuma caurules augšpusē. Dati tiek fiksēti manuāli.

4.5.2 Gruntsūdeņu līmeņa novērojuma sistēmas izbūve

Gruntsūdens līmenis mitrā apvidū vairumā gadījumu ir ļoti tuvu zemes virsmai (0,1-0,5 m), tāpēc urbumu konstrukcija visiem urbumiem ir līdzīga. Visiem 8 urbumiem ir 2,5 – 3,5 m gara un 0,4 m diametra PVC caurule ar stiprības klasi SN-4, no kuras ~0,5 m tiek atstāti zemes virspusē, bet kolonas apakšējā daļā izvietots 1 m garš perforēts filtrs (skat. 4.11.att.).



4.11.att. Gruntsūdeņu līmeņa novērojumu sistēmas shēma

Gruntsūdeņu līmeņa novērojuma caurules izbūvētas noteiktos attālumos (skat. 4.4. tab.) ceļa klātnes konstrukcijas kreisajā pusē uz ceļa plaukta. Urbuma caurule gan no apakšas, gan augšpusē noslēgta ar attiecīga diametra (40 mm) PVC vāciņiem, no kuriem apakšējais tiek nostiprināts, bet augšējais ir noņemams monitoringa mērījumu veikšanai.

4.4.tabula Gruntsūdens līmeņa novērošanas PVC cauruļu izbūves statuss

Nr.	Atrašanās vieta Pk+	Materiāls	Stiprības klase	Iekšējais diametrs, mm	Garums, m	Piezīmes
1.	03+20	PVC	SN-4	40	2,0	Plānots iebūvēt līdz 28. feb.
2.	03+70	PVC	SN-4	40	2,5	
3.	04+20	PVC	SN-4	40	3,5	
4.	04+70	PVC	SN-4	40	3,5	
5.	05+20	PVC	SN-4	40	3,5	
6.	06+05	PVC	SN-4	40	3,5	
7.	06+70	PVC	SN-4	40	3,5	
8.	07+20	PVC	SN-4	40	2,0	

Gruntsūdeņu līmeņa mērītājs piegādāts, gruntsūdeņu līmeņa novērojumu sistēmas izbūve plānota līdz 2022.gada februāra beigām.

4.6 Trīsdimensiju lāzerskanēšana kā ceļa segas konstrukcijas deformācijas novērojuma sistēma

Ņemot vērā izbūvējamā koksnes pāļu ceļa inovitāti gan LVM, gan visas Latvijas mērogā, pieņemts lēmums veikt izbūvējamā ceļa trīsdimensiju (3D) lāzerskanēšanu. Veicot 3D skenēšanu un izveidojot 3D modeli, analizējot iegūtos datus, tiks novērtētas ceļa segas iespējamās horizontālās un vertikālas deformācijas, kas ļaus izdarīt secinājumus un, iespējams, izstrādāt rekomendācijas par pielietojamā konstruktīvā risinājuma noturību un ilgtspējību. Datu apstrādē paredzēts izmantot lāzerskenera komplektācijā ietilpstošo programmatūru, kas dod iespējas novērtēt ceļa klātnes konstrukcijas iespējamo deformāciju veidošanos laika gaitā, skenēto objektu attiecinot pret virtuālām plaknēm.

Lai 24 mēnešus veiktu meža autoceļa monitoringu, tiks definēta koordinātu sistēma, kas ir noturīga šādā laika periodā un ir atkārtojama. Lai tādu koordinātu sistēmu izveidotu, objektā plānots ierīkot ģeodēzisko atbalsta tīklu ar patstāvīgām zīmēm. To plānots veidot, izmantojot metāla cinkotus skrūvpāļus ar garumu 700 – 1000 mm, kas tiks noteiktas koordinātes. Šādi pāļi būs pietiekami stabili un nodrošinās nepieciešamo precizitāti atkārtotas uzmērīšanas laikā.

Pirmā uzmērīšana veicama 2022. gada rudenī (oktobris vai novembris), kad ceļa posms ar koksnes pāļiem būs pilnībā izbūvēts. Pēc ceļa būvdarbu pabeigšanas, paredzēts veikt ceļa 3D skenējums, iegūstot blīvu punktu mākonī. Punktu mākoņa blīvums – ne vairāk kā 5 cm starp punktiem. Šāds punktu mākonis tiks izmantots ceļa deformāciju monitoringa veikšanai, kā izejas dati faktiskajam ceļa stāvoklim. Punktu mākonis tiks attīrīts no liekajiem punktiem, kas radīsies skenēšanas laikā.

Otrajā (2023. g.) un trešajā (2024. g.) uzmērīšanas ciklā objekts tiek apsekots un noteikts, vai nogāžu apaugums ļauj veikt skenēšanas darbus. Ja apaugums ir maznozīmīgs, tiek izmantots iepriekš ierīkotais ģeodēziskais atbalsta tīkls un notiek ceļa skenējums tāpat kā pirmajā uzmērīšanas ciklā. Ja apaugums neļauj veikt skenēšanas darbus, ceļš tiek uzmērīts ar klasisku uzmērīšanas metodi, uzmērot ceļu šķērsprofilu veidā, šķērsprofilus

mērot ik pa 15 m. Pēc ceļa uzmērīšanas tiek salīdzināti pirmā, otrā un trešā uzmērījuma dati un sagatavotas mērījumu izpildshēmas.

Tā kā visiem mērījumu datiem jābūt savstarpēji salīdzināmiem, mērījums veicams bezsala laikā, kad ceļa konstrukcija atkususi vai arī attiecīgi pārceļams uz vēlāku laiku, par to iepriekš vienojoties ar pētījuma pasūtītāju – LVM.

5 Pētījumu darba uzdevumi un to izpildes īpatsvars

Nodaļas 5.1.tabulā sagatavots apkopojums par izpētes projekta “Monitoringa veikšana vājas nestspējas grunts meža autoceļiem, kas uzbūvēti uz koka pāļiem” veiktajiem darba uzdevumiem un to izpildes īpatsvaru uz 2021.gada decembra beigām, kā arī sniegti skaidrojumi par turpmāk veicamajiem darba uzdevumiem līdz 2022.gada 30.jūnijam.

5.1.tabula Pētījuma darba uzdevumi un to izpildes īpatsvars

Darba uzdevums	Izpildes termiņš	Darba uzdevuma izpildes īpatsvars, procentos	Komentārs par nākamajā etapā (līdz 30.06.2022.) veicamo darbu
1. Sadarbībā ar meža autoceļa būvniecības darbu veicēju, piedalīties meža autoceļa monitoringa iekārtu un aprīkojuma uzstādīšanas kontrolē: 1.1. Līdzdalība 11 PVS/ABS cauruļu un profilogrāfa pamatņu iebūvē; 1.2. Līdzdalība 12 inklinometra ABS korpusa komplektu iebūvē; 1.3. Līdzdalība 4 grunts spiediena mērītāju iebūvē; 1.4. Līdzdalība 8 PVC cauruļu komplektu iebūvē; 1.5. Līdzdalība 21 testa koka pāļu statiskā pārbaudē 1.6. 21 testa koka pāļu statiskā pārbaudē iegūto datu apstrāde	2022.gada 28.februāris	70%	Līdzdalība visu iebūvējamo elementu izbūvē un atlikušo pāļu slogošanā saskaņā ar būvniecības procesu un noslēgto izpētes līgumu ar LVM
2. 500 metru garā (PK 2+50 līdz PK 7+50) pārvaramā kūdras posma meža ceļa konstrukcijas iespējamās nosēšanās dinamikas noteikšana: 2.1. Datu ievākšana profilogrāfa sistēmas ietvaros 2.2. Datu ievākšana inklinometra sistēmas ietvaros 2.3. Datu ievākšana grunts spiediena mērītāju sistēmas ietvaros 2.4. Datu ievākšana gruntsūdens līmeņa novērojuma sistēmas ietvaros 2.5. Datu ievākšana grunts poru spiediena mērīšanas sistēmas ietvaros 2.6. Iegūto datu apstrāde monitoringa ietvaros	2024.gada 29.februāris	5%	Līdzko kāds meža ceļa koksnes pāļu posms ir pabeigts, kur iebūvētas iekārtas un/vai ir iespējama datu ievākšana, tur dati tiek ievākti. Pēc mēriekārtu kalibrēšanas un datu pārbaudes, iespējams, jau uzsākt datu iegūvi no profilogrāfa sistēmas. Ja viss meža ceļa koksnes pāļu posms izbūvēts līdz 2022.gada februāra beigām, tad dati tiks ievākti no visām monitoringa sistēmām.
3. Veikt meža autoceļa iespējamās nosēšanās kontroli, izveidojot trīsdimensiju (3D) modeli:	2022.gada 31.marts, 2022.gada	-	Līdzko meža ceļa koksnes pāļu posms tiks izbūvēts, var uzsākt datu ievākšanu

Darba uzdevums	Izpildes termiņš	Darba uzdevuma izpildes īpatsvars, procentos	Komentārs par nākamajā etapā (līdz 30.06.2022.) veicamo darbu
3.1. Datu ievākšana meža autoceļa posmā 3.2. Iegūto datu apstrāde, izveidojot 3D modeli.	30.novembris , 2024.gada 29.februāris 2024.gada 29.februāris		3D modelim. Ja līdz 2022.gada februāra beigām ceļa posms tiek izbūvēts, tad var veikt pirmo izpildmērījumu visam meža autoceļa posmam saskaņā ar iesniegto piedāvājumu LVM
4. Koka pāļu optimālā diametra aprēķins atkarībā no koku sugas, kūdras dziļuma, kūdras sadalīšanās pakāpes, pāļu garuma, un koka pāļu optimālā izvietojuma noteikšana: 4.1. Koka pāļu optimālās aprēķinu metodes un apraksts 4.2. Koka pāļu izvietojuma shēmas	2024.gada 29.februāris	10%	Iesākta aktivitāte un daļējs, vispārīgs informācijas saturs ietverts iesniegtajā starpziņojumā (1.etaps - 2021.g.decembris) LVM
5. Citu valstu pieredzes izpēte un analīze koka pāļu konstrukcijas izmantošana meža autoceļu būvniecībā, pārvarot kūdras ieslēgumus: 5.1. Literatūras avotu apkopošana (zinātniskās publikācijas, projektu atskaites utt.) 5.2. Citu valstu konstruktīvo risinājumu izpēte un izvērtēšana	2021.gada 30.septembris , 2022.gada 31.janvāris, 30.jūnijs un 30.decembris , 2023.gada 30.jūnijs, 2024.gada 31.janvāris	70%	Regulāra informācijas meklēšana un iekļaušana starpatskaitēs, Gala atskaitē un Kopsavilkumā
Pētījums Starpziņojuma iesniegšana	2021.gada 30.decembris	100%	Iesniegts LVM
Pētījuma Starpatskaīšu iesniegšana	2022.gada 30.jūnijs un 30.decembris , 2023.gada 30.jūnijs un 30.decembris	-	Plānots iesniegts saskaņā ar Darbu izpildes grafiku – katrus 6 mēnešus, t.i., 1.starpatskaite – 2022.gada 30.jūnijs.
Pētījuma Gala atskaītes iesniegšana	2024.gada 1.marts	-	-
Pētījuma Kopsavilkuma iesniegšana	2024.gada 15.aprīlis	-	-

Bibliogrāfiskais avotu saraksts

1. Adejumo T. W. 2015. Effects of Shape and Technology of Installation on the Bearing Capacity of Pile Foundations in Layered Soil. *Scholars Journal of Engineering and Technology*, SJET, SAS Publishers, Vol. 3, No. 2A, 104-111.
2. Alfredsen G., Eikenes M., Temiz A., Terziev N. 2008. Decay resistance of wood treated with boric acid and tall oil derivatives. *Biosource Technology* 99. s. 2102-2106.
3. Amir, J.M. Pile Integrity Testing: History, Present Situation and Future Agenda. *Deep Foundations, Proceedings of 3rd Bolivian International Conference*, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 2017. Pp. 17-32.
4. Boren H. 2010. Tulevaisuuden sähköpylväs. *Energiatotalisuus ry / Sähkötutkimuspooli*. s.145. [tiešsaiste] [skatīts 2021. gada 17. septembrī]. Pieejams: https://energia.fi/files/1043/Tulevaisuuden_sahkopylvaat_loppuraportti.pdf
5. Loze I.B and Eberhards G. (2008) Vēlā neolita aboras I apmetnes apdzīvotība. [tiešsaiste] [skatīts 2021.g. 17.septembrī] Pieejams: http://archive.lza.lv/LZA_VestisA/66_5-6/3_IlzeBirutaLoze_GuntisEberhards.pdf
6. Čajs T., Mandrlkovs A., (1991) *Būvkonstrukcijas: Mācību grāmata tehnikumiem*, 2. sējums. Rīga: Izdevniecība "Zvaigzne". 476 lpp.
7. Ceccato F. & Simonini P., 2013. Long-term mechanical behavior of wooden pile foundation in Venice, DOI: 10.1201/b14895-29, https://www.researchgate.net/publication/283714350_Long-term_mechanical_behavior_of_wooden_pile_foundation_in_Venice
8. Dias K. B. & Barreiros R. M. 2017. Potentiality of tall oil as preservative for wood. *Chemical and Biochemical Engineering*. Vol. 2. No. 4. s.180-183.
9. Gauthier A., Kärkönen A., Laitinen T., Väisänen E. 2016. Ligniinisä lepää lupaus.
10. Girininkas A., *The Žemaitiškė 2 Pile-Dwelling Settlement Volume 14* (2010): *Underwater Archaeology in the Baltic Region*, pp. 120-135.
11. Grīnberga M. Kokapstrādes tehnoloģijas.- Rīga: Apgāds "Jumava", 2002. – 293 lpp.
12. Grīnberga M. Koksnes makroskopiskā uzbūve.- Rīga: Apgāds "Jumava", 1997. – 46 lpp.
13. Hautamäki S., Kymäläinen M., Lillqvist K., Rautkari L., Segerholm K. 2017. Surface modification of solid wood by charring. *Journal of Material Science* 52(10). s. 6111-6119.
14. Hooli J. 2000. Puupaalujen käyttö infrarakentamisessa. Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten. Espoossa s.109
15. Hugosson E., Nilsson A., 2014, Träpålning inverkan på den odränerade skjuvhållfastheten i sulfidhaltig kohesionsjord. En fallstudie på väg 685 Vibbyn - Skogså, Bodens kommun. Luleå tekniska universitet Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser, 68 lpp.
16. Juvankoski M. & Viitanen H. 1989. Vanhojen puupaalujen kunnon ja kantokyvyn arviointi. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus tiedotteita 968. Espoo: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. s. 142. ISBN 951-38-3401-8. ISSN: 0358-5085.
17. Liikennevirasto. 2014. Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 5/2014. Helsinki: Liikennevirasto. s. 52. ISBN 978-952-255-407-9.
18. Macchioni, N. et al (2016) An investigation into preservation of wood from Venice foundations, *Construction and Building Materials* 111 (2016) 652-661.

19. Mara J. 2000. Puupaaluilla perustettujen tierakenteiden vauriot ja korjausmenetelmät. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Rakennustekniikan laitos, geotekniikka. Tampere s. 110.
20. Massarsch K. R., Wersäll C. (2013) Cumulative lateral soil displacement due to pile driving in soft clay. In: Sound geotechnical research to practice. ASCE, p. 462–479
21. Massarsch, K. R. (1976). “Soil Movements Caused by Pile Driving in Clay”. Dept. Soil and Rock Mechanics, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, Thesis in partial fulfillment of the requirements for the Degree Doctor of Engineering, Job-Rapport No 6, 261 p.
22. Maliphant P.C., Eynon M, Hannam D. and Wu E. 2015. Managing Geotechnical Risk: Contemporary Challenges.
23. Munro R. (2004) Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat. The Highland Council. 126lpp.
24. Murthy VNS, (2007), Advance Foundation Engineering, Geotechnical Engineering Series, 1st edition, CBS Publisher & Distributors, New Delhi, 251–534.lpp.
25. Orsmond W. 2012. Geotechnics on Irish roads 2000-2010. Piled embankments recent experiences. CPD Conference. s. 49.
26. Pitkänen J., Vähäaho I., raudasmaa P. 1999. Puupaalujen rakenteellisen kantokyvyn tarkastaminen. Helsingin kaupunki. Kiinteistövirasto. Geotekninen osasto julkaisu 79. s. 117.
27. Popovs L., (1990) Būvmateriāli un būvizstrādājumi: Mācību grāmatu celtniecības tehnikumu audzēkņiem, 2. izdevums. Rīga: Izdevniecība “Zvaigzne”. 250 lpp.
28. Puuinfo. 2020. Lujaa puuta pohjoiselta havumetsävyöhykkeeltä. [tiešsaiste] [skatīts 2021. gada 15. septembrī]. Pieejams: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puumateriaalina/lujaa-puuta-pohjoiselta-havumetsävyöhykkeeltä>
29. Puuproffa. 2020. Ajankohta. [tiešsaiste] [skatīts 2021. gada 18. septembrī]. Pieejams: <https://puuproffa.fi/puutieto/puun-kaataminen/ajankohta/>
30. Randolph, M.F., Steinfeld, J.S. and Wroth, C.P. (1979). The effect of pile type on design parameters for driven piles. Proceedings VII ECSMFE 1979, Brighton, Design Parameters in Geotechnical Engineering, Vol. 2, pp.107
31. Ratahallintokeskus. 2006. Vanhojen paalutettujen ratapenkereiden korjaus. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 8/2006. Helsinki: Ratahallintokeskus. s. 35. ISBN 952-445-158-1 (pdf).
32. Reynold T., Bates Ph., 2009, The Potential for Timber Piling in the UK, Buliding Research Establishment, [tiešsaite] [skatīts 2021.gada 02.oktobrī], 4 lpp, Pieejams: <https://cdn.ca.emap.com/wp-content/uploads/sites/13/2009/01/GE-Jan-2009-The-Potential-for-Timber-Piling-in-the-UK-Reynolds-Bates.pdf>
33. Ryan T., McGill C. ,2004, Pavements Unbound - A timber piled road over deep peat in North, National University of Ireland, Galway, Ireland. 455 lpp.
34. Schreurs, E. 2017. Deterioration of timber pile foundations in Rotterdam, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, 160lpp.
35. SGY ry. 1980. Lyöntipaalutusohjeet 1979. LPO 1979. Helsinki: Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. ja Rakentajain kustannus Oy.s. 91. ISBN 951-676-107-0.
36. Sitnikov MA, Shaitarov LD, Lozovik MA (1980) Introduction of rectangular pyramidal piles in Belorussia, Soil Mechanics and Foundation Engineering, 5–10 p.
37. Snider L.Mickey, P.E., M.ASCE, Iordache M.L., P.G., 2017, A Geogrid-Reinforced Timber Piled Embankment over Kettle-Fill Deposits near Chicago, Illinois, Geotechnical Frontiers 2017 GSP 277, <https://doi.org/10.1061/9780784480441.002>

38. Stūriška K. (2017) Koksnes aizsardzība, lai paildzinātu ekspluatāciju. [tiešsaiste] [skatīts 2021. gada 15. septembrī]. Pieejams: <http://new.llkc.lv/lv/nozares/augkopiba-lopkopiba-citi/koksnes-aizsardziba-lai-paildzinatu-ekspluataciju>
39. TKK. 2020. Puuaineksen tuhoutuminen, lahoaminen ja puun väri. [tiešsaiste] [skatīts 2021. gada 16. septembrī]. Pieejams: <http://puukemia.tkk.fi/fi/opinnot/kurssit/19-1000/luennot/L14.pdf>.
40. Uzunovic A., Byrne T., Gignac M., Yang D. 2008. Wood discolorations & their prevention with an emphasis on Bluestain. Special publication SP-50ISSN# 1916-4238, 51 p.
41. Uzunovic, A., and J.F. Webber. 1998. Comparison of bluestain fungi grown in vitro and in freshly cut pine billets. *Eur J For Path* 28(5):323-334.
42. VAS Latvijas Valsts ceļi, Ceļu specifikācijas 2019.
43. VTT. 1991. Paalujen kunnon arviointi Tielaitoksen pengarpaalutuskohteissa. Työnumero: TGL 1421. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. s. 16.
44. Wersäll, C. & Massarsch, K.R., (2013) "Soil Heave due to Pile Driving in Soft Clay," Sound Geotechnical Research to Practice, Geotechnical Special Publication Honoring Robert D. Holtz, ASCE, Reston, Virginia, 17 p.
45. Woodward, J., & Tomlinson, M. (2014). *Pile Design and Construction Practice* (6th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17526>.
46. Wrana B., (2015), Pile load capacity – calculation methods, *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. 37, No. 4, pp. 83–93.
47. Zariņš D., (1927) *Būvmācība: Būvju darbi*, I. Daļa. Rīga: Latvijas Technisko Skolu Skolotāju Biedrība. 150 lpp.

Pielikumi

1. pielikums

Skujkoku zāgmateriālu mehānisko īpašību raksturlielumi (LVS EN 338)

Spriegum- stāvoklis	Apzī- mējums	Skujkoku zāgmateriālu stiprības klases									
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40
Mehāniskās pretestības raksturvērtības, N/mm²:											
Liece	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40
Stiepe šķiedru garenvirzienā	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24
Stiepe šķērsām šķiedrām	$f_{t,90,k}$	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Spiede šķiedru garenvirzienā	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26
Spiede šķērsām šķiedrām	$f_{c,90,k}$	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9
Skalde	$f_{v,k}$	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Elastības modulis šķiedru garenvirzienā, kN/mm²:											
Vidējā vērtība	$E_{0,mean}$	7	8	9	9.5	10	11	11.5	12	13	14
Garantētā (5%- fraktīles) vērtība	$E_{0,05}$	4.7	5.4	6.0	6.4	6.7	7.4	7.7	8.0	8.7	9.4
Elastības modulis šķērsām šķiedrām, kN/mm²:											
Vidējā vērtība	$E_{90,mean}$	0.23	0.27	0.30	0.32	0.33	0.37	0.38	0.40	0.43	0.47
Bīdes modulis, kN/mm²											
Vidējā vērtība	G_{mean}	0.44	0.50	0.56	0.59	0.63	0.69	0.72	0.75	0.81	0.88
Koksnes blīvums, kg/m³											
Raksturvērtība	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420
Vidējā vērtība	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500

2. pielikums

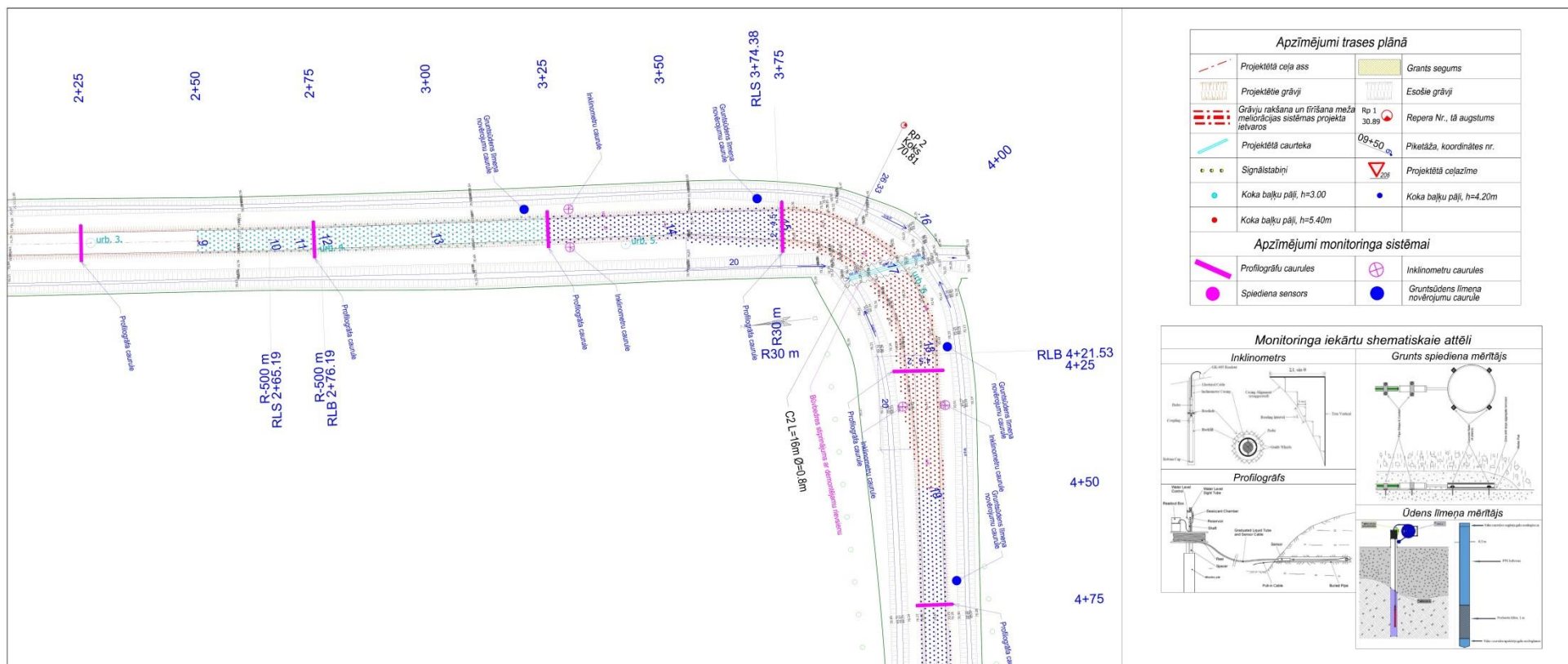
Lapu koku zāģmateriālu mehānisko īpašību raksturlielumi (LVS EN 338)

Spriegumstāvoklis	Apzīmē- jums	Lapkoku zāģmateriālu stiprības klases							
		D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Mehāniskās pretestības raksturvērtības, N/mm²:									
Liece	$f_{m,k}$	18	24	30	35	40	50	60	70
Stiepe šķiedru garenvirzienā	$f_{t,0,k}$	11	14	18	21	24	30	36	42
Stiepe šķērsām šķiedrām	$f_{t,90,k}$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Spiede šķiedru garenvirzienā	$f_{c,0,k}$	18	21	23	25	26	29	32	34
Spiede šķērsām šķiedrām	$f_{c,90,k}$	7.5	7.8	8.0	8.1	8.3	9.3	10.5	13.5
Skalde	$f_{v,k}$	3.4	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.5	5.0
Elastības modulis šķiedru garenvirzienā, kN/mm²:									
Vidējā vērtība	$E_{0,mean}$	9.5	10	11	12	13	14	17	20
Garantētā (5%-fraktils) vērtība	$E_{0,05}$	8	8.5	9.2	10.1	10.9	11.8	14.3	16.8
Elastības modulis šķērsām šķiedru garenvirzienam, kN/mm²:									
Vidējā vērtība	$E_{90,mean}$	0.63	0.67	0.73	0.80	0.86	0.93	1.13	1.33
Bīdes modulis, kN/mm²									
Vidējā vērtība	G_{mean}	0.59	0.62	0.69	0.75	0.81	0.88	1.06	1.25
Koksnes blīvums, kg/m³									
Raksturvērtība	ρ_k	475	485	530	540	550	620	700	900
Vidējā vērtība	ρ_{mean}	570	580	640	650	660	750	840	1080

3. pielikums

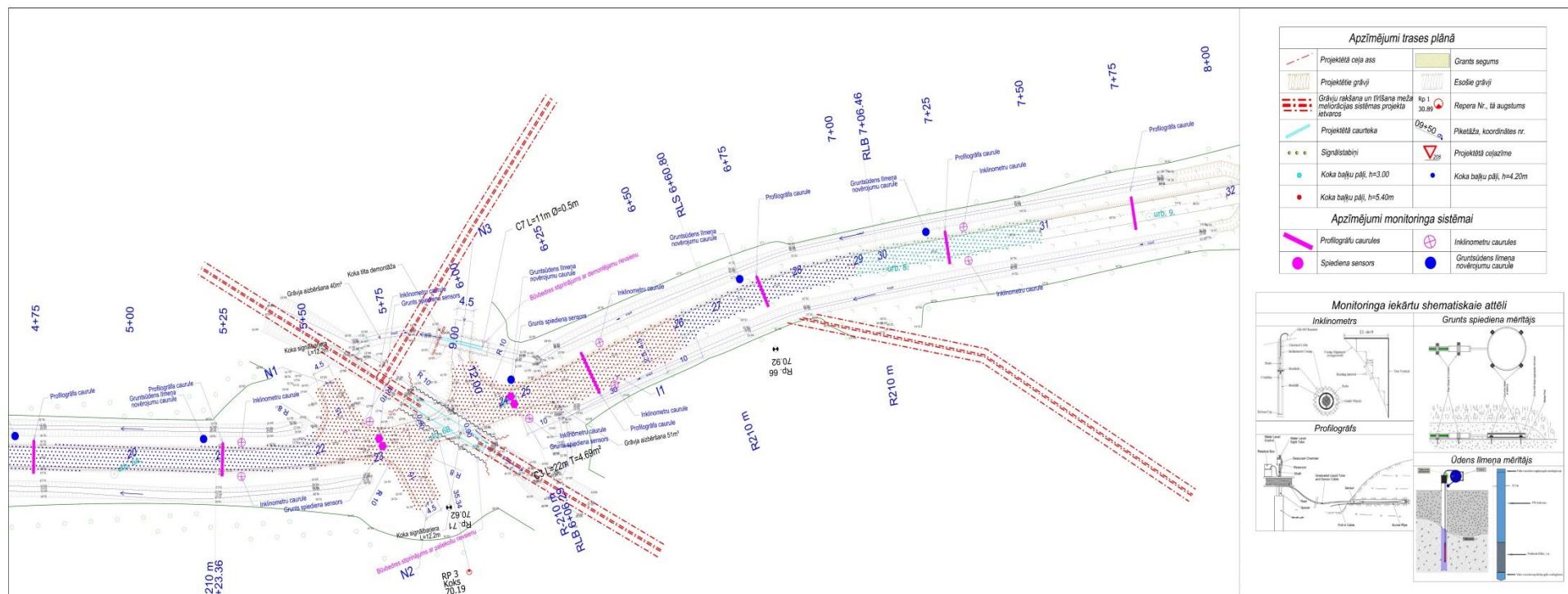
Monitoringa sistēmu uzstādīšanas un izbūves plāns

Monitoringa iekārtu izvietojuma shēma “Tēvgāršas ceļa turpinājumā” (no PK 02+25 līdz 04+75)



3. pielikuma turpinājums

Monitoringa iekārtu izvietojuma shēma “Tēvgāršas ceļa turpinājumā” (no PK 04+75 līdz 07+75)”



4. pielikums

Izbūvēto koksnes pāļu uzmērījums:

Pāļu uzmērījumu shēma "Tēvgāršas ceļa turpinājumā" (no PK 02+50 līdz 06+25)

