

GALA ATSKAITE
PĒTNIECĪBAS PROJEKTAM
**“MONITORINGA VEIKŠANA VĀJAS
NESTPĒJAS GRUNTS MEŽA AUTOCEĻIEM, KAS
UZBŪVĒTI UZ KOKSNES PĀLIEM”**

GALA ATSKAITE:
DARBU IZPILDES PERIODS: 2021.GADA SEPTEMBRIS – 2024.GADA JŪNIJS.

Pētniecības projekta vadītāja:
Pētniecības projekta izpildītāji:

Sigita Alksne

Pēteris Šķēle
Mareks Millers
Madara Černuho
Valters Jēkabsons

2024. gada jūnijs

Saturs

Anotācija	4
Annotation.....	5
Attiecināmie standarti un noteikumi	6
Terminu skaidrojums	8
Attēlu saraksts	9
Tabulu saraksts.....	11
Pētījuma ietvars.....	12
Ievads	14
1. Citu valstu pieredzes un ģeotehniskās izpētes analīze	15
1.1 Citu valstu pieredzes analīze	15
1.1.1 Pāļu pamatu veidi un to darbība	15
1.1.2 Koksnes pāļu izmantošana	17
1.1.3 Kūdras grunts klasifikācija	22
1.1.4 Koksnes pāļu raksturojums un izbūves shēmas.....	26
1.1.5 Koksnes pāļu nestspēja un lietojamība.....	29
1.1.6 Pāļu slodzes pārnešanas konstrukcijas	35
1.1.7 Grunts deformācijas būvdarbu un ekspluatācijas laikā	37
1.1.8 Koksnes pāļu bojājumi un to aizsardzība	41
1.1.9 Secinājumi un rekomendācijas	44
1.2 Ģeotehniskā izpēte.....	46
1.2.1 Ģeotehniskās izpētes plānošana	46
1.2.2 Ģeotehniskās izpētes punktu izvietojums plānā un dziļums	48
1.2.3 Grunšu identifikācija un klasifikācija.....	50
2 Koksnes pāļu izbūve un slogošana	57
2.1 Koksnes pāļu izbūve.....	58
2.2 Koksnes pāļu slogošanas analīze.....	64
2.3 Secinājumi un rekomendācijas	69
3 Monitoringa sistēmu izbūve un datu analīze	71
3.1 Monitoringa sistēmu uzstādīšana un izbūve.....	71
3.1.1 Vertikālo deformāciju novērojumu sistēma	72

3.1.2	Horizontālo deformāciju novērojumu sistēma	74
3.1.3	Grunts spiediena novērojumu sistēma.....	76
3.1.4	Grunts poru spiediena novērojumu sistēma	77
3.1.5	Gruntsūdeņu līmeņa novērojumu sistēma	78
3.2	Monitoringa sistēmu analīze.....	80
3.2.1	Vertikālo deformāciju analīze	81
3.2.2	Horizontālo deformāciju analīze	100
3.2.3	Gruntsūdens līmeņa analīze.....	106
3.2.4	Grunts un grunts poru spiediena analīze	109
3.3	Secinājumi un rekomendācijas	117
4	Koksnes pāļu konstruktīvā risinājuma raksturlielumi	121
5	Pētījumu darba uzdevumi un to izpildes īpatsvars	124
	Bibliogrāfiskais avotu saraksts.....	126
	Pielikumi	130

Anotācija

Pētījuma mērķis ir veikt monitoringa veikšanu vājas nestspējas gruntīm, kas raksturīgas meža autoceļiem, kuri uzbūvēti uz koksnes pāļiem. Pētījums tika veikts no 2021. gada septembra līdz 2024. gada jūnijam, un tas aptver citu valstu pieredzes izpēti un analīzi, ģeotehnisko izpēti, kā arī praktisku datu ievākšanu un analīzi no konkrēta meža autoceļa posma “Tēvgāršas ceļa turpinājums”. Pētījuma uzdevumi ietvēra citu valstu pieredzes apkopojumu un analīzi koksnes pāļu izmantošanā ceļu būvniecībā, ģeotehnisko izpēti, lai novērtētu grunts stabilitāti un pāļu nestspēju, praktisku datu ievākšanu un monitoringa sistēmu uzstādīšanu, lai novērtētu koksnes pāļu konstrukcijas kalpotspēju reālos ekspluatācijas apstākļos, kā arī rekomendāciju izstrādi koksnes pāļu optimālai izmantošanai nākotnes ceļu būvniecības projektos.

Pētījuma ietvaros tika veikta plaša literatūras analīze, apkopojot informāciju no zinātniskām publikācijām, projektu atskaitēm un tehniskajiem standartiem. Tika analizēta pieredze no dažādām valstīm, piemēram, Skandināvijas, Ziemeļeiropas un ASV, kurās veiksmīgi izmantoti koksnes pāļi infrastruktūras objektu būvniecībā. Šī pieredze kalpoja par pamatu, lai izvērtētu koksnes pāļu izmantošanas priekšrocības un izaicinājumus Latvijā.

Pētījuma rezultāti parādīja, ka koksnes pāļi var efektīvi nodrošināt nepieciešamo nestspēju un stabilitāti arī sarežģītos grunts apstākļos. Monitoringa sistēmas tika uzstādītas konkrētā meža autoceļa posmā, lai iegūtu datus par koksnes pāļu konstrukcijas kalpotspēju reālos ekspluatācijas apstākļos. Datu ievākšana un analīze tika veikta regulāri, ļaujot novērtēt pāļu konstrukcijas nestspēju un ilgtermiņa izturību.

Galvenie secinājumi parādīja, ka koksnes pāļu izmantošana vājas nestspējas gruntīs ir efektīvs risinājums, kas var nodrošināt ilgtermiņa ceļu konstrukciju stabilitāti. Monitoringa dati liecināja, ka koksnes pāļi ir piemēroti gan vertikālo, gan horizontālo slodžu pārņemšanai, nodrošinot pietiekamu nestspēju un stabilitāti. Rekomendēts izmantot koksnes pāļu konstrukcijas purvainos un kūdrainos apgabalos, kur tradicionālās būvniecības metodes ir maz efektīvas. Tāpat, lai nodrošinātu ilgtermiņa kalpotspēju, būtiska ir koksnes pāļu aizsardzība pret bioloģisko un ķīmisko iedarbību.

Pētījuma rezultāti sniedz būtisku ieguldījumu nākotnes ceļu būvniecības projektos, veicinot inovatīvus un ilgtspējīgus risinājumus vājas nestspējas gruntīm. Rekomendācijas ietver koksnes pāļu optimālu izmantošanu, ņemot vērā specifiskos grunts apstākļus un slodzes prasības, kā arī nepieciešamību pēc regulāra monitoringa un apkopšanas, lai nodrošinātu pāļu konstrukcijas ilgtermiņa izturību un efektivitāti. Šis pētījums uzsver arī nepieciešamību pēc turpmākiem pētījumiem un inovatīvu risinājumu izstrādes, lai uzlabotu ceļu infrastruktūras kvalitāti un drošību, īpaši apvidos ar vājas nestspējas gruntīm.

Annotation

The aim of this study is to conduct monitoring of low bearing capacity soils characteristic of forest roads built on timber piles. The study was conducted from September 2021 to June 2024 and includes an analysis of international experience, geotechnical investigation, as well as practical data collection and analysis from a specific forest road section, "Tēvgāršas ceļa turpinājums." The study's tasks included compiling and analyzing international experiences in using timber piles in road construction, conducting geotechnical investigations to assess soil stability and pile bearing capacity, collecting practical data and installing monitoring systems to evaluate the performance of timber pile structures under real operating conditions, and developing recommendations for the optimal use of timber piles in future road construction projects.

Within the study, an extensive literature review was conducted, gathering information from scientific publications, project reports, and technical standards. The experience from various countries, such as Scandinavia, Northern Europe, and the USA, where timber piles have been successfully used in infrastructure construction, was analyzed. This experience served as a basis for evaluating the advantages and challenges of using timber piles in Latvia.

The study results showed that timber piles can effectively provide the necessary bearing capacity and stability even in complex soil conditions. Monitoring systems were installed in a specific forest road section to obtain data on the performance of timber pile structures under real operating conditions. Data collection and analysis were carried out regularly, allowing the evaluation of pile structure bearing capacity and long-term durability.

The main conclusions showed that the use of timber piles in low bearing capacity soils is an effective solution that can ensure long-term road structure stability. Monitoring data indicated that timber piles are suitable for transferring both vertical and horizontal loads, providing adequate bearing capacity and stability. It is recommended to use timber pile structures in swampy and peaty areas where traditional construction methods are less effective. Additionally, to ensure long-term service life, it is crucial to protect timber piles against biological and chemical effects.

The study results provide a significant contribution to future road construction projects, promoting innovative and sustainable solutions for low bearing capacity soils. Recommendations include the optimal use of timber piles, considering specific soil conditions and load requirements, as well as the necessity of regular monitoring and maintenance to ensure the long-term durability and effectiveness of pile structures. This study also highlights the need for further research and the development of innovative solutions to improve the quality and safety of road infrastructure, especially in areas with low bearing capacity soils.

Attiecināmie standarti un noteikumi

STANDARTI/ INSTRUKCIJAS /VADLĪNIJAS/	Skaidrojums	PIEZĪMES
LVS CEN ISO/TS 17892-1	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes laboratoriskā testēšana. 1.daļa: Ūdens satura noteikšana.	-
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 12699:2015	Īpašu ģeotehnisko darbu izpilde. Pāļi bez grunts izņemšanas	-
LVS EN 13286-2	Proktorblīvums un optimālais mitrums	-
LVS EN 1912:2012	Latvijas standarts. Konstrukciju kokmateriāli. Stiprības klases. Koku sugu un vizuālo stiprības klašu atbilstība.	-
LVS EN 1995-1-1+A1+A2+AC:2014	5.Eirokekss. Koka konstrukciju projektēšana. 1-1.daļa: Vispārīgi. Kopīgie noteikumi un noteikumi būvēm	-
LVS EN 1997-1 7.2	Latvijas nacionālais standarts, kas attiecas uz ģeotehnisko projektēšanu.	-
LVS EN 1997-1:2005	7. Eirokekss. Ģeotehniskā projektēšana. 1.daļa: Vispārīgie noteikumi	-
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 338:2021	Latvijas standarts. Konstrukciju kokmateriāli. Stiprības klases.	-
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	-
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 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 ISO 17892-2:2015	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Augsnes laboratoriskā testēšana. 2.daļa: Tilpummasas noteikšana	-
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

STANDARTI/ INSTRUKCIJAS /VADLĪNIJAS/	Skaidrojums	PIEZĪMES
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 22475-1:2014 L	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Paraugošanas metodes un pazemes ūdens mērījumi. 1.daļa: Darbu izpildes tehniskie principi (ISO 22475-1)”	-
LVS EN ISO 22477-1:2019	Ģeotehniskā izpēte un testēšana. Ģeotehnisko konstrukciju testēšana. 1.daļa. Pāļu testēšana: testēšana ar statisko spiedes slodzi	-
ASCE	Amerikas Būvzinženieru biedrības (ASCE) standarti un vadlīnijas, kas saistītas ar inženierbūvniecību	
ASTM D25	Apaļo kokmateriālu pāļu specifikācijas (ASV)	
BS 8006	Britu standarts, kurā sniegtas vadlīnijas un ieteikumi attiecībā uz nostiprinātām/pastiprinātām gruntīm un citiem pildījumiem.	-
<i>Ceļu specifikācijas</i>	Grunts filtrācijas koeficients	-
<i>Ceļu specifikācijas</i>	Grunts organisko vielu saturs	-
CUR 226	Nīderlandes manuālis/vadlīnijas uzbēruma pamata stiprināšanai ” (izstrādāts 2010. gadā, bet atjaunots 2015. gadā)	-
DIN-1054 : 2010	Standarts attiecas uz zemes darbu un pamatu drošības pārbaudi.	
DIN68100:2010-07	Standarts, kas attiecas uz pielāgšanas robežvērtībām koksnes produktiem un izstrādājumiem.	
EBGEO	Vācu standarts (izstrādāts 2010. gadā). Vadlīnijas grunts struktūru projektēšanai un aprēķināšanai ar ģeosintētisko pastiprinātāju	-
FHWA-HI-97-013	Projektēšana un būvniecība uz pāļu pamatiem (ASV)	
MIOPTN 2021	Meža infrastruktūras objektu projektēšanas tehniskie noteikumi 2021	
Nordic Guidelines of Reinforced Soils and Fills	Ziemeļvalstu vadlīnijas augšņu pastiprināšanai un pildījumi (izstrādāts 2004. gadā).	
RIL 254-2016	Pāļu izbūves rokasgrāmata 2016 (Somija)	
TK Geo 13	Zviedrijas transporta pārvaldes tehniskās specifikācijas (Trafiksverkets tekniska krav för geokonstruktioner)	-
TKP 200-2018 (33200)	Tehniskais kodekss - nosaka publisko ceļu pamatnes projektēšanas noteikumus (Baltkrievija)	
TR Geo 13	Zviedrijas Transporta administrācijas vadlīnijas (Trafikverkets tekniska råd för geokonstruktioner)	-

Terminu skaidrojums

Anizotropija	koksnes fizikāli mehānisko īpašību nevienādība dažādos virzienos tās iekšienē.
Apaugums	ceļa un grāvja trasē (gultnē, nogāzē, atbērtnē 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 dziļu 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.
Statņpāļi (dzenamie)	to apakšējais gals balstās uz klinšainām vai mazsaspiežamām gruntīm ar noteiktu deformāciju moduli.
Šķērsprofils	vertikālais griezumš plāknē, kas perpendikulārs ceļa vai grāvja asij.
Šķērsslipums	ceļa elementu slīpums šķēsgriezumā, 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:	16
1-2.att. Celtņu vietas paliekas — stāvkoku konstrukcijas (stabu) izvietojums pamatzemē	17
1-3.att. Koksnes pāļu atsegums Venēcijas ēku būvniecībā	19
1-4.att. Koksnes pāļu izbūves shēmas	28
1-5.att. Koksnes pāļu izvietojuma shēma	29
1-6.att. Pāļa nestspējas zudumi:	31
1-7.att. Pāļa nestspējas parametri	32
1-8.att. Slodzes deformāciju līknes:	32
1-9.att. Vertikāli slogota pāļa darbības shēma	34
1-10.att. Atšķirības starp 2D un 3D modeļa pieeju	36
1-11.att. 3D modeļa teorija - slodzes sadalījums starp pāļiem	36
1-12.att. Pāļu slodzes pārnese konstrukcijā ar austu ģeotekstilu	37
1-13.att. Grunts pārvietojuma lauka shematiskais attēlojums pāļu uzstādīšanas laikā:	38
1-14.att. Grunts sēšanās pēc būvniecības:	39
1-15.att. Tukšums zem uzbēruma plātnes	39
1-16.att. Noklātā materiāla (dzeltens, zaļš un sarkans) izraisīta grunts sānu kustība zem uzbēruma, kuras rezultātā pāļi tiek salauzti	40
1-17.att. Ģeotehniskās izpētes secība un saturs	48
1-18.att. Uzbēruma un ierakuma shēma (LVS EN 1997-2:2007):	49
1-19.att. Ceļa un tranšējas shēma (LVS EN 1997-2:2007):	49
1-20.att. Pāļi un pāļu grupas (LVS EN 1997-2:2007)	50
1-21.att. Grunšu plasticitātes grafiks atbilstošs LVS EN ISO 14688-2	54
2-1.att. Meža ceļa „Tēvgāršas ceļa turpinājums” trase	57
2-2.att. Sīkbaļķu klājumu izbūve objektā 2019.gadā	57
2-3.att. Pāļu sagatavošanas platforma objektā	58
2-4.att. Kokmateriālu novietojums uz pāļu sagatavošanas platformas	58
2-5.att. Kokmateriālu diametra pārbaude tievgalī	59
2-6.att. Sagatavoto pāļu piegāde objektā	59
2-7.att. Pāļu mizošanas varianti	60
2-8.att. Meža ceļa „Tēvgāršas ceļa turpinājums” ceļa segas un koksnes pāļu raksturlielumi un izbūves shēmas	61
2-9.att. Kāpurķēžu ekskavators ar pievienotu hidrovibratoru	61
2-10.att. Pāļu vienā no ceļa brauktuves pusēm tehnikai, atrodoties uz sīkbaļķu klājuma	62
2-11.att. Pāļu vietu atzīmes pirms iedzīšanas	63
2-12.att. Grunts kustība ap pāli dzīšanas laikā	63
2-13.att. Pāļu slogošanas sistēma objektā	65
2-14.att. Koksnes pāļu izbūve un atkoda sasniegšana no PK 02+50 līdz PK 03+50	66
2-15.att. Slogošanas rezultāti atkodu nesasnējušajiem koksnes pāļiem	67
2-16.att. Slogošanas rezultāti atkodu sasniegušajiem koksnes pāļiem	68
3-1.att. Profilogrāfa shematiskais attēlojums	72
3-2.att. Profilogrāfa sistēma objektā:	72
3-3.att. Profilogrāfa pamatnes un cauruļu izbūves shēma	73
3-4.att. Vertikālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūves process būvobjektā:	74
3-5.att. Horizontālo deformāciju novērojumu sistēma	74
3-6.att. Horizontālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūves shēma	75
3-7.att. Grunts spiediena novērojumu sistēma zem uzbēruma grunts	76
3-8.att. Grunts spiediena mērītāju izbūves shēma	77
3-9.att. Grunts poru spiediena mērītājs (pjezometrs)	77
3-10.att. Gruntsūdeņu līmeņa novērojumu sistēma	78
3-11.att. Gruntsūdeņu līmeņa novērojumu sistēmas shēma	79

3-12.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitāte zem ceļa konstrukcijas ar apaļo kokmateriālu klājumu (PK 2+25).	82
3-13.att. Grunts raksturojums PK 2+25.	83
3-14.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitāte zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem (PK 2+75 un PK 3+25).	84
3-15.att. Grunts raksturojums PK 2+75.	85
3-16.att. Grunts raksturojums PK 3+25.	85
3-17.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitāte zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem (PK 3+75 un PK 4+25).	86
3-18.att. Grunts raksturojums PK 3+75.	87
3-19.att. Grunts raksturojums PK 4+25.	87
3-20.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitāte zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem (PK 4+75 un PK 5+25).	88
3-21.att. Grunts raksturojums PK 4+75.	89
3-22.att. Grunts raksturojums PK 5+25.	89
3-23.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitāte zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem (PK 6+25 un PK 6+75).	90
3-24.att. Smilts profila vertikālās deformācijas uzbēruma virspusē.	91
3-25.att. Arkveida loka pamatprincipi un vertikālās slodzes pārnese:	92
3-26.att. Grunts raksturojums PK 6+25.	93
3-27.att. Grunts raksturojums PK 6+75.	93
3-28.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitāte zem ceļa konstrukcijas ar austu ģeotekstilu (PK 7+75).	94
3-29.att. Grunts raksturojums PK 7+75.	95
3-30.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitātes tendences līkne zem ceļa konstrukcijas ar apaļo kokmateriālu klājumu (PK 2+25).	96
3-31.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitātes tendences līkne zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem (purva nogulumi līdz 3 m).	97
3-32.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitātes tendences līkne zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem (purva nogulumi virs 3 m).	97
3-33.att. Vāji sadalījušās kūdras grunts profila sēšanās intensitātes tendences līkne zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem.	98
3-34.att. Vāji līdz vidēji labi sadalījušās kūdras grunts profila sēšanās intensitātes tendences līkne zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem.	98
3-35.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitātes tendences līkne zem ceļa konstrukcijas uzbēruma (smilts ģeotekstilā, segas pamats, ģeorežģis un ceļa segums).	99
3-36.att. Horizontālo deformāciju uzmērīšanas virzieni ar inklinometra zondi.	101
3-37.att. Inklinometra ABS materiāla caurule pie nobrauktuves N - 1.	105
3-38.att. Gruntsūdens līmeņa svārstību amplitūda no PK 3+20 līdz PK 7+20.	108
3-39.att. Grunts statiskā un dinamiskā spiediena vērtības zem ceļa konstrukcijas uzbērumu ievērtējot būvtehnikas radīto slodzi.	111
3-40.att. Gaisa temperatūras un grunts temperatūras izmaiņas.	113
3-41.att. Ģeotehniskie griezumi pjezometra sensoru iebūves vietās.	114
3-42.att. Grunts poru spiediena un gruntsūdens līmeņa izmaiņas.	116
4-1.att. Koksnes pāļu izvietojuma shēma.	123

Tabulu saraksts

1.1.tabula Citu valstu pieredze vājas nestspējas grunts pārvarēšanai	21
1.2.tabula Kūdras struktūras klasifikācijas	22
1.3.tabula Kūdras sadalīšanās pakāpe	23
1.4.tabula Kūdras sadalīšanās indekss un tā noteikšana	24
1.5.tabula Kūdras grunšu klasifikācija (TKP 200-2018)	25
1.6.tabula Organisko un organiski minerālo dūņu klasifikācija (TKP 200-2018)	26
1.7.tabula Koksnes īpašības pēc standarta DIN 68100 datiem	27
1.8.tabula Koksnes pāļu apstrādes metodes un konservanti	43
1.9.tabula Daļiņu izmēru frakcijas	50
1.10.tabula Rupju grunšu granulometriskā sastāva forma	51
1.11.tabula Grunšu ar organisku, ar daļiņu izmēru ≤ 2 mm klasifikācija	52
1.12.tabula Grunšu klasifikācijas principi atbilstoši LVS EN ISO 14688-2	52
1.13.tabula Paskaidrojumi 1.21.attēlam	54
1.14.tabula Grunšu testēšana uz lauka un testu interpretācijas	55
1.15.tabula Grunšu testēšana laboratorijā	56
2.1.tabula Izbūvēto un testējamo koksnes pāļu apjoms un to izbūve	64
2.2.tabula Slogojamo koksnes pāļu dimensionālie raksturlielumi un atrašanās vieta	66
3.1.tabula Vertikālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūves vietas	73
3.2.tabula Inklinometra ABS korpusu (cauruļu) izbūves vietas	75
3.3.tabula Gruntsūdens līmeņa novērošanas PVC cauruļu izbūves statuss	79
3.4.tabula Grunts īpašību rādītāju pārskats	100
3.5.tabula Grunts horizontālās deformācijas PK 3+30	102
3.6.tabula Grunts horizontālās deformācijas PK 4+30	102
3.7.tabula Grunts horizontālās deformācijas PK 5+30	103
3.8.tabula Grunts horizontālās deformācijas PK 5+65 un PK 6+10	104
3.9.tabula Grunts horizontālās deformācijas PK 6+30	105
3.10.tabula Grunts horizontālās deformācijas PK 7+30	106
4.1.tabula Minimālais uzbēruma augstums atkarībā no pāļa caurmēra un soļa starp pāļiem	121
4.2.tabula Stiepes spēks ģeosintētiskajā materiālā atkarībā no pāļa caurmēra un attāluma	121
4.3.tabula Pāļa aprēķina nestspēja iedziļinoties vismaz 1m nestspējīgā gruntī	122
4.4.tabula Aprēķina slodze uz pāli atkarībā no koksnes pāļa caurmēra un izvietojuma soļa	122
5.1.tabula Pētījuma darba uzdevumi un to izpildes īpatsvars	124

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, piedalījās 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. Koka pāļu optimālā diametra aprēķins atkarībā no koku sugas, kūdras dziļuma, kūdras sadalīšanās pakāpes, pāļu garuma, un koka pāļu optimālā izvietojuma noteikšana:
 - 3.1. Koka pāļu optimālās aprēķinu metodes un apraksts;
 - 3.2. Koka pāļu izvietojuma shēmas
4. Citu valstu pieredzes izpēte un analīze koka pāļu konstrukcijas izmantošana meža ceļu būvniecībā, pārvarot kūdras ieslēgumus:
 - 4.1. Literatūras avotu apkopošana (zinātniskās publikācijas, projektu atskaites utt.);
 - 4.2. Citu valstu konstruktīvo risinājumu izpēte un izvērtēšana.

Viens noslēgtā Līguma Pielikumā Nr. 1 norādītais darba uzdevums netika veikts nesavlaicīgas meža autoceļa izbūves dēļ, t.i., veikt meža autoceļa iespējamās nosēšanās kontroli, izveidojot trīsdimensiju (3D) modeli. Rezultātā netika ievākti dati meža autoceļa posmā, lai izveidotu trīsdimensiju (3D) modeli.

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 iecirkņā 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, tika nodrošināts 24 mēnešu ilgs monitorings minētajā koksnes pāļu posmā no to izbūves nobeiguma.

Pētījumu sadalīja 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;

Pēc koka pāļu konstrukcijas izbūves paredzētajā meža autoceļa posmā, tika uzsākts intensīvs uzraudzības monitorings ar dažādu datu iegūšanu intensitāti saskaņā ar plānoto mērījumu veikšanas grafiku, piemēram, katru nedēļu, reizi divās nedēļās un reizi mēnesī. Mērījuma intensitāte pielāgota plānotai transporta kustības plūsmai ceļa būvniecības laikā un plānotajiem mežizstrādes darbiem, kas ļāva iegūt datus par meža autoceļa un koka pāļu konstrukcijas stāvokli, novērtēt tās izmaiņas un dažādu faktoru ietekmi. Detalizēta informācija par monitoringa sistēmām atrodas 3.nodaļā.

Pētījuma rezultāti:

1. par lokālo ceļa posma izmaiņām un to izraisošajiem cēloņiem, kas ļāva 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 ļāva 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, kas ļāva izstrādāt rekomendācijas analoģu objektu izveidē;
6. par koka pāļu optimālo diametru un izvietojuma teorētiskajiem aprēķiniem, balstoties uz dažādiem kūdras slāņa dziļumiem, kūdras sadalīšanās pakāpēm un pāļu garumiem.

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 tika sagatavotas 4 starpatskaites (uz 2022.gada 30.jūniju, 2022.gada 31.decembri, 2023.gada jūniju un 2024.gada 31.decembri), bet pētījumu projekta noslēgumā sagatavota gala atskaite un tā kopsavilkums (uz 2024.gada jūniju.).

Ievads

Ceļu nozīme meža apsaimniekošanā ir ļoti daudzpusīga. Tie tiek intensīvi izmantoti 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, medību 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 dziļu 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 ir 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 mēnešus 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 pieredzes 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, lai šķērsotu salīdzinoši dziļi kūdrainu posmu, pieņēma lēmumu meža autoceļa konstrukciju balstīt uz koksnes pāļiem.

Lai pārbaudītu izvēlēta risinājuma 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 iekļāva monitoringa sistēmas koksnes pāļu konstruktīvā risinājuma efektivitātes novērtēšanai, kā arī pētniecības realizācijas laikā tika iegūti objektīvi rezultāti par pārvaramā kūdras posma iespējamām ceļa konstrukcijas deformācijām un to attīstības dinamiku, kas ļāva novērtēt izmantotā konstruktīvā risinājuma efektivitāti atkarībā no dažādiem to ietekmējošiem faktoriem.

1. Citu valstu pieredzes un ģeotehniskās izpētes analīze

1.1 Citu valstu pieredzes 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. Turpmākajā nodaļā sniegta informācija par pāļu pamatu veidiem un to darbību, koksnes pāļiem un to izbūves shēmām, koksnes pāļu nestspēju un lietojamību, pāļu slodzes pārneses konstrukcijām, grunts deformācijām būvdarbu un ekspluatācijas laikā, koksnes pāļu bojājumiem un to aizsardzību.

1.1.1 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 ieurbjot. 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 – statnpāļi, berzes pāļi un to kombinācija.

Statnpāļu gals tiek izbūvēts un balstīts nestspējīgā gruntī vai klintsiežī 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.

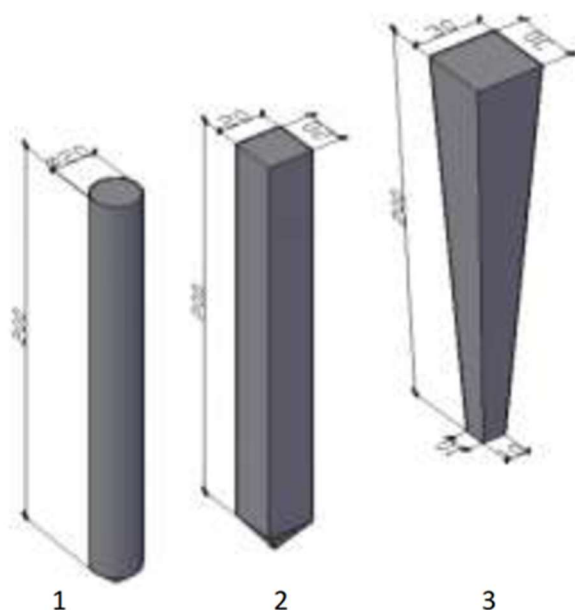
Parasti pāļi uzņem slodzi gan ar sānu pretestību, gan gala pretestību. Pāļa gala pretestība tiek mobilizēta pie noteikta pāļa vertikālā pārvietojuma, kad slodzes ietekmē, pāļa sānu berze to vairs nespēj uzņemt.

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. Eirokodekss. Ģeotehniskā projektēšana 1.daļa: Vispārīgie noteikumi” un LVS EN 1997-2+AC:2014 L “7. Eirokodekss. 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 pārņemšanai, kā arī pretestības palielināšanai horizontālām un slīpām slodzēm (pāļi, kas virzīti noteiktā leņķī, lai palielinātu konstrukcijas noturību) un pārnes 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) (skatīt 1.1.att.).



Avots: Adejumo, 2015

1-1.att. Pētījumos pielietās pāļu formas:

1 – cilindrisks, 2 – prizmatisks un 3 – konusveida

Apaļiem kokmateriāliem, 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.

1.1.2 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 1900 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 staba 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).

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).

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 izmantoti, 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).

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, nogulsņējoties upes nestajam materiālam, līdz ar to mīkstā grunts nav pietiekami stabila, 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, Kazaņas 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 izvairās no 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 Sītkas 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 piekļaujas 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 pārnesei. Būtiski ir arī tas, ka uz slīpumā novietotajiem pāļiem, uzklātā grunts nevar būt ar lielu ūdens piesātinājumu, jo tas ļautu gruntij noslīdēt 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 noārdošo 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.
Zviedrija	685. ceļš “Vibbyn - Skogså”, valsts nozīmes šoseja	Pārbūvēti 3,6 un 3,7 km gari ceļa posmi, no	-	Kvadrātveida – 1,2 m attālumā brauktuves vidusdaļā, un 1	Nav rekomendācijas, jo pētījums analizēja augsnes ietekmi uz

Valsts	Ceļa nosaukums, izmantošanas veids	Izbūvētā pāļu posma garums un platums	Vājas nestpējas grunts dziļums	Pāļu raksturojums un meža ceļa izbūves shēma	Rekomendācijas pēc meža ceļa izbūves
		kuriem daļa balstās uz koksnes pāļiem		m attālumā brauktuves malās. Garums 8 – 17 m, caurmērs 15 – 25 cm. Koku sugas: priele un egle.	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.

1.1.3 Kūdras grunts klasifikācija

Lai atvieglotu pamatnes grunšu izvērtēšanu kūdras grunts iedala trīs veidos (1.2. tabula) – amorfa kūdra, smalkšķiedraina kūdra (vidēji sadalījusies kūdra) un rupjšķiedraina kūdra. Amorfa kūdra ir pilnībā sadalījusies, veidojot viendabīgu masu, smalkšķiedrainā kūdrā redzamas daļēji sadalījušās šķiedras, savukārt rupjšķiedrainā kūdrā šķiedras ir sadalīšanās sākuma stadijā ar izteiktām formām (Munro, MacCulloch, 2006).

1.2.tabula Kūdras struktūras klasifikācijas

Kūdras veids	Kategorija	Apraksts
Amorfa kūdra	1	Amorfa kūdra, pilnīgi viendabīga masa
	2	Nekoksnaina, smalki šķiedraina kūdra
	3	Amorfa kūdra, kas satur smalkas koksnes šķiedras
	4	Amorfa kūdra, kas satur koksnes šķiedras
	5	Kūdra, pārsvarā amorfa, kas satur smalkas koksnes šķiedras ar koksnainu, smalkšķiedrainu ietvaru

Kūdras veids	Kategorija	Apraksts
	6	Kūdra, pārsvarā amorfa, kas satur smalkas koksnes šķiedras ar koksnainu, rupjšķiedrainu ietvaru
	7	Nekoksnes, smalkšķiedru kūdras un amorfas kūdras slāņošanās, kas satur nekoksnes smalkās šķiedras
Smalkšķiedrainā kūdra	8	Nekoksnaina, smalkšķiedru kūdras, kas satur rupjas šķiedras
	9	Koksnes smalkšķiedru kūdra, ar koksnainu, rupjšķiedrainu ietvaru
	10	Koksnainas daļiņas, kas atrodas smalkšķiedru kūdrā, bet nav koksne
	11	Koksnes un nekoksnes daļiņas smalkšķiedru kūdrā
Rupjšķiedrainā kūdra	12	Koksnaina rupja šķiedrainā kūdra
	13	Rupjas šķiedras krusteniski šķērso smalkšķiedru kūdras
	14	Nekoksnaina un koksnaina smalkšķiedru kūdra, ar izteiktām šķiedrām
	15	Koksnainas šķiedras un daļiņas, kas aptver amorfu kūdras ar smalkšķiedru
	16	Koksnaina, rupjšķiedru kūdra, kas satur izkaisītus koksnes gabaliņus
	17	Koksnaina rupjšķiedru kūdra, ar izteiktām koksnes gabaliņiem

Avots: (Munro, 2004)

Svarīgi arī noteikt kūdras sadalīšanās pakāpi (1.3. tabula) un kūdras sadalīšanās indeksu (1.4. tabula). Kūdras sadalīšanās indeksu un kūdras sadalīšanās pakāpi jeb humifikācijas pakāpi nosaka lai izteiktu dabiskas izcelsmes organiskas vielas sadalīšanās pakāpi (Munro, 2004).

1.3.tabula Kūdras sadalīšanās pakāpe

Indekss	Sadalīšanās pakāpe	Krāsa	Plasticitāte
H1	Zema	Gaiši brūna	Elastiska
H2		Dzeltenīgi brūna	
H3			
H4			
H5	Vidēja	Brūna	Plastiska
H6			
H7	Augsta	Tumši brūna	
H8		Melnā	
H9			
H10			

Avots: (Von Post and Granlund, 1926)

1.4.tabula Kūdras sadalīšanās indekss un tā noteikšana

Sadalīšanās indekss	Raksturojums
H1	Pilnīgi nesadalījusies kūdra un bez dūņām, kuru spiežot rokā, izdalās tikai dzidrs ūdens. Augu atliekas joprojām ir viegli identificējamās.
H2	Praktiski nepārveidota kūdra un bez dūņām, kuru spiežot rokā, izdalās gandrīz dzidrs bezkrāsains ūdens. Augu atliekas joprojām ir viegli identificējamās.
H3	Ļoti nedaudz sadalījusies vai ļoti viegli dūņaina kūdra, kuru spiežot rokā, izdalās izteikts duļķains ūdens, bet caur pirkstiem kūdras viela neiziet. Presētais atlikums ir biezs. Augu atliekas ir zaudējušas dažas no savām identificējamām iezīmēm
H4	Nedaudz sadalījusies vai nedaudz dūņaina kūdra, kuru nospiežot rokā, izdalās izteikts duļķains ūdens. Presētais atlikums ir biezs. Augu atliekas ir zaudējušas vairāk no to identificējamām daļām.
H5	Vidēji sadalījusies, dūņaina kūdra. Izcelsmes struktūra saprotama, bet nedaudz zudusi. Dažas kūdras vielas nospiežot iziet cauri pirkstiem, galvenokārt duļķains ūdens. Presētais atlikums ir ļoti biezs.
H6	Vidēji sadalījusies, ļoti dūņaina kūdra ar neizteiktu augu struktūru. Nospiežot, apmēram 1/3 no kūdras iziet cauri pirkstiem. Atlikums ļoti biezs, bet ar saskatāmu izteiktāku augu struktūru.
H7	Diezgan labi sadalījusies, izteikti dūņaina kūdra, bet augu struktūra vēl redzama. Nospiežot, apmēram puse kūdras iziet cauri pirkstiem. Izplūst arī ūdens, tas ir tumšs un kūdrais.
H8	Labi sadalījusies, ļoti dūņaina kūdra ar ļoti neskaidru augu struktūru. Nospiežot, apmēram 2/3 kūdras vielas iziet cauri pirkstiem un izplūst biezs šķidrums. Atlikušo daļu galvenokārt veido izturīgākas šķiedras un saknes.
H9	Praktiski pilnībā sadalījusies, dūņām līdzīga kūdra, kurā gandrīz nav redzama augu struktūra. Gandrīz visa kūdra, nospiežot, iziet cauri pirkstiem kā viendabīga masa.
H10	Pilnībā sadalījusies, dūņu kūdra, kurā nav redzama augu struktūra. Nospiežot, visa kūdras masa iziet cauri pirkstiem.

Avots: (Von Post and Granlund, 1926)

Šo skalu izstrādāja Lennarts fon Posts (Lennart von Post), strādājot pie Zviedrijas grunšu pētījuma 1926. gadā, lai noteiktu atmirušo augu atlieku sadalīšanās pakāpi. Izmantojot tādas parametrus kā šķiedru integritāti, krāsu un viskozitāti, kā arī koloidālo daļiņu klātbūtni, tā veidojot aprakstošu sistēmu plašam organisko augšņu diapazonam un piešķirot skaitlisku vērtību no 1 (nesadalījusies) līdz 10 (sadalījusies). USDA un FAO saspieda fon Posta 10 pakāpes trīs līmeņos tādējādi samazinot tās diagnostisko lietderību lauku apstākļos.

Kūdras grunšu stabilitāte būvniecības laikā ir grūti prognozējama, jo ir daudz faktori, kas var izmainīt kūdras fizikālās un mehāniskās īpašības. Nozīmīgas grunts īpašību atšķirības dabā var būt 10 m robežās horizontāli un vēl kardinālāk vertikāli. Ņemot vērā šo novērojumu nepieciešams ļoti uzmanīgi izvēlēties paraugu ņemšanas vietas (Munro, 2004).

Purva grunts stāvokli iespējams klasificēt pēc dabiskā mitruma un porainības koeficienta (Шишко, Гатальский, 2019). Purva grunts fizikālo un mehānisko īpašību vērtības nosaka, pamatojoties uz ģeotehniskās izpētes datiem un laboratorijas testiem.

Purvaino grunšu fizikālo un mehānisko īpašību vērtības var noteikt pēc sastāva un galvenajiem stāvokļa rādītājiem, izmantojot 1.5. tabulu (kūdras grunšu klasifikācija) un 1.6. tabulu (organisko un organiski minerālo dūņu klasifikācija).

1.5.tabula Kūdras grunšu klasifikācija (TKP 200-2018)

Kūdras tips	Dabīgais mitrums W, %	Porainības koeficients e	Grunts skeleta blīvums ρ_{sk} , g/cm ³	Sadalīšanās pakāpe R, %	Pelnu saturs Z, %	Bīdes pretestība (spārņņgriezies tests) c_u , kPa
Nosusināta (vai sablīvēta)	< 300	< 4	> 0,25	< 25	> 5	> 40
					< 5	> 35
				25–40	> 5	> 30
					< 5	> 33
				> 40	> 5	> 19
					< 5	> 26
Zems mitrums	300 – 600	4 – 9	0,14–0,25	< 25	> 5	40–25
					< 5	35–22
				25–40	> 5	30–17
					< 5	33–16
				> 40	> 5	19–8
					< 5	26–13
Vidēji mitra	600 – 900	9 – 14	0,10–0,14	< 25	> 5	26–10
					< 5	22–10
				25–40	> 5	17–10
					< 5	16–11
				> 40	> 5	8–5
					< 5	13–8
Ļoti mitra	900 – 1200	14 – 18	0,07–0,10	< 25	> 5	15–8
					< 5	13–6
				25–40	> 5	1–5
					< 5	–
				> 40	> 5	5–3
					< 5	–
Pārmērīgi mitra	> 1200	> 18	< 0,07	< 25	> 5	< 5
					< 5	< 5
				25–40	> 5	< 3
					< 5	< 3
				> 40	> 5	< 3
					< 5	< 3

Piezīme - fizikālo un mehānisko īpašību vērtības pie noteiktām vidējām mitruma vērtībām ir noteiktas ar interpolācijas metodi.

1.6.tabula Organisko un organiski minerālo dūņu klasifikācija (TKP 200-2018)

Grunts tips	Grunts apakštips	Organikas saturs, %	Dabīgais mitrums W, %	Porainības koeficients e	Bīdes pretestība (spārņņgriezē tests) c_u, kPa
Organiskie sapropeli	Kūdras sapropelis	> 80	900–1200	16–20	13–2
	Detrits	60–80	600–900	12–16	13–2
Organiski minerālie sapropeli	–	10–60	120–600	3–12	13–8
Smilšmāls, mālsmits	–	< 10	120–80	3–1,1	20–8

Piezīme - fizikālo un mehānisko īpašību vērtības pie noteiktām vidējām mitruma vērtībām ir noteiktas ar interpolācijas metodi.

1.1.4 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 veseliem, izturīgiem un taisniem. Šādos gadījumos vislabākā koku suga ir ozols, tad skuju koki (no tiem piemērotākā ir priele, 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 aplūkojami 1.7. tabulā.

1.7.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;

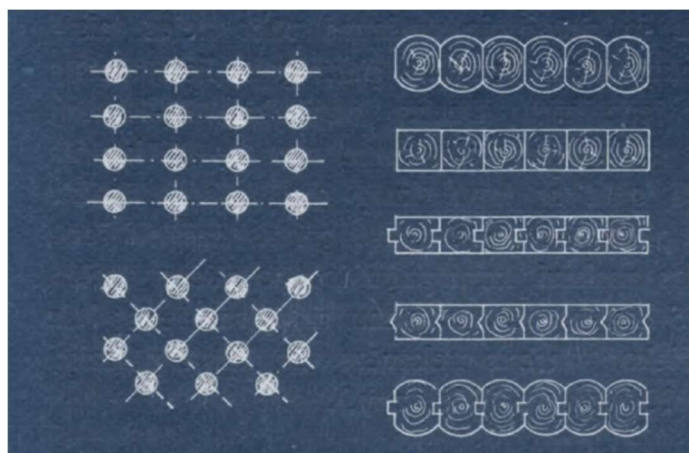
A_r – rukšanas anizotropijas koeficients.

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 sit 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 sit 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 iesīšanas 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 dzišanas gruntī, lai miza nedarbotos kā berzi samazinošs apvalks (Juvankoski & Viitanen, 1989).

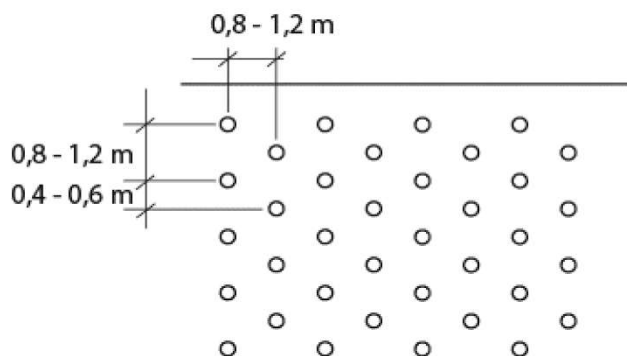
Jāizvairās no pāļu lietošanas, kas īsāki par 3 m, un dzītos pāļus, kuru garums ir mazāks par 1,5 m, jo tos vairs nevar uzskatīt par pāļiem. Apstākļos, kad tiek prognozēta ievērojama konstrukcijas iegrimšana, jāizvairās no slīpu pāļu izmantošanas. Mazākie attālumi starp pāļiem ir izvēlēti tā, lai pāļi 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 veselīgiem 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%).

1.1.5 Koksnes pāļu nestspēja un lietojamība

Lai projektētu grunšu pastiprināšanas risinājumu ar koksnes pāļiem un slodzes pārnešanas 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 izklāušanas;
- kombinētā grunts masīva un pāļu nestspējas pārbaude;
- kombinētā grunts masīva un konstrukcijas nestspējas pārbaude;
- sēšanās pārbaude;
- grunts pacelšanās pārbaude;
- horizontālā pārvietojuma pārbaude;
- pārmērīgas vibrācijas.

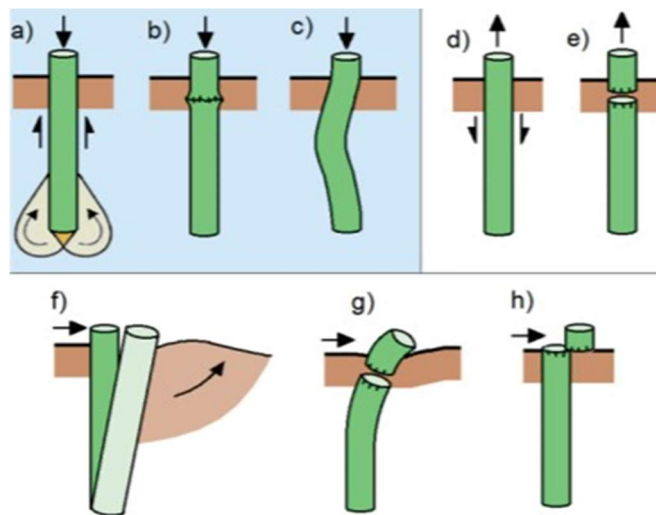
No slodzēm, kuras minētas standartā LVS EN 1997-1 2.4.2, koksnes pāļu aprēķinos jāņem vērā sekojoši rādītāji:

- 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 izklāušanos (1.6. att. c) un bīdē (1.6. att. h);
- kombinēts grunts un pāļa nestspējas zudums;
- pārmērīgas deformācijas;
- kopējās stabilitātes zudums;
- nepieļaujamas vibrācijas.



Avots: Wrana, 2015

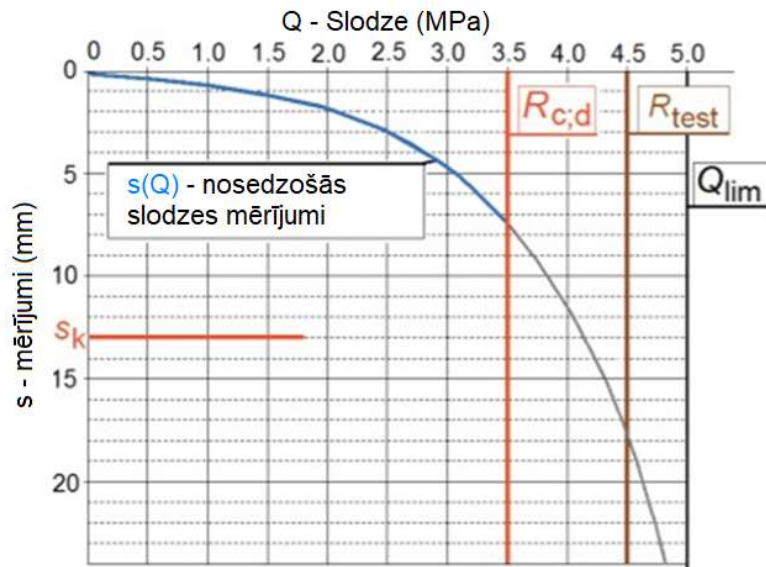
1-6.att. Pāļa nestspējas zudumi:

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_{rest} - pāļa nestspēja statiskās slodzes testā;
- Q_{lim} – pretestība, pie kuras sākas straujš deformāciju pieaugums un pālis zaudē nestspēju.

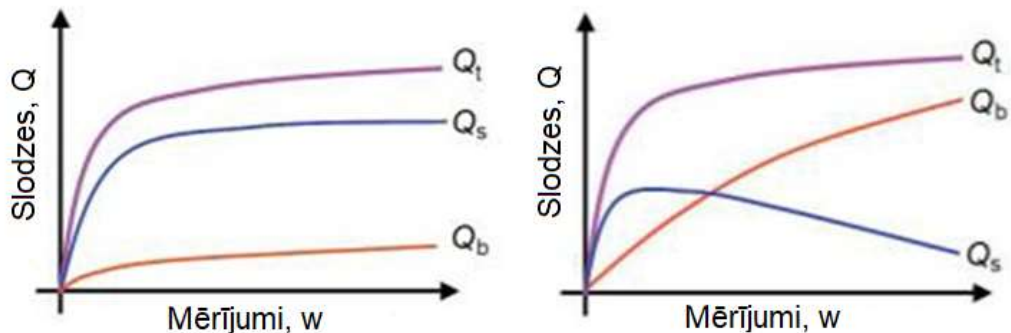
Attiecība $Q_{lim}/R_{c,d}$ nosaka kopējo drošības faktoru.



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 statiskās slogošanas 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_{ck} :

- tiešā veidā no pāļu slogošanas testiem, izmantojot korelācijas koeficientus ξ_1 un ξ_2 noteiktam statistiskās 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 $R_{c,ed}$ iespējams noteikt tiešā veidā no grunšu lauka testiem:

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

Pāļa kopējā nestspēja R_{ck} 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.

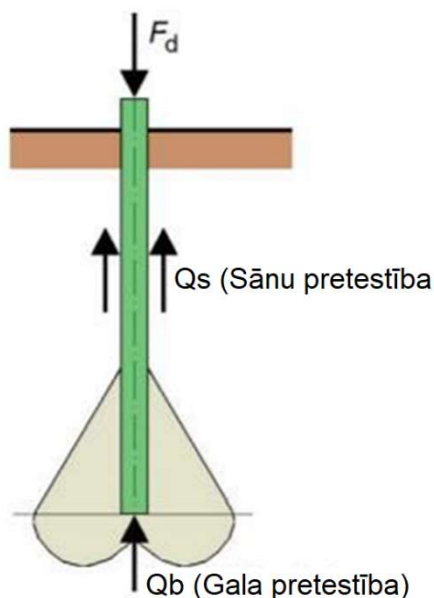
Pāļu nestspēja ir atkarīga no daudziem faktoriem:

- 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 statņpāļi slodzi galvenokārt uzņem ar pāļa gala pretestību. Parasti statņpāļi 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 skuju koku koksne, tad maksimālais dzīšanas spriegums ir sekojošs: $f_{c,0,k-0,8}=12,8\text{MPa}$. Ja pieņemam, zāģbaļķi ar minimālo (tievgali) diametru 200 mm, tad maksimālā slodze, kas atļautā pāļa dzīšanas laikā ir 400kN jeb aptuveni 40t.

1.1.6 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).

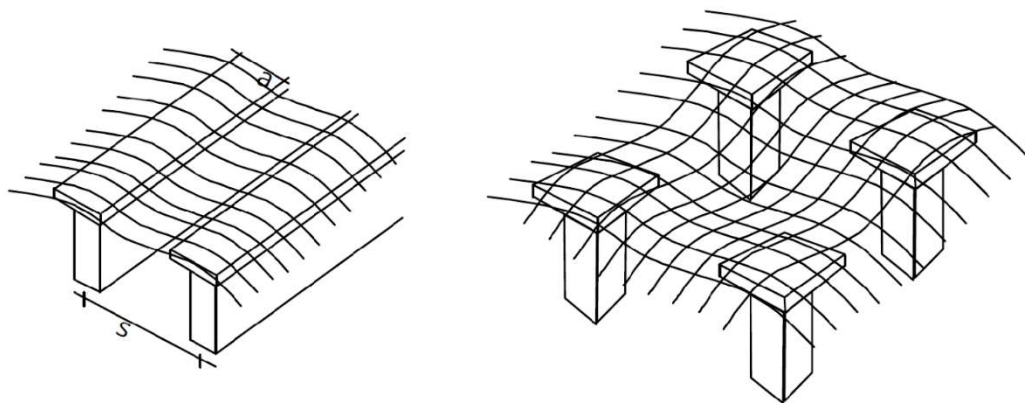
Tikai Lielbritānija un Vācija ir oficiāli noteikušas ģeosintētisko materiālu standartus. Lielbritānijas standarts tiek apšaubīts dēļ aprēķiniem ģeosintētiskajā materiāla stiegrojumā pie vertikālām slodzēm un slīpuma nestabilitāti, kas rodas horizontālo slodžu rezultātā. (Horgan et al., 2006).

Gan Vācijā, gan Lielbritānijā standarti nosaka aprēķinos nepieciešamo stiegrojuma stiepes stiprību ceļa garenprofilā, pamatojoties uz vertikālo slodzi. Ceļa šķērsprofilā aprēķini tiek veikti tādā pašā veidā, izņemot to, ka tiek papildus ņemts vērā stiepes spēka izkliede, kas darbojas uz uzbūrumu (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 uzbūruma, nevis tā malās, un tas rada pretrunas ar Vācijas pieeju (CUR Bouw & Infra, 2007).

Izmanto vairākas metodes, projektējot stiepes stiegrojumu grunts uzbūrumiem 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

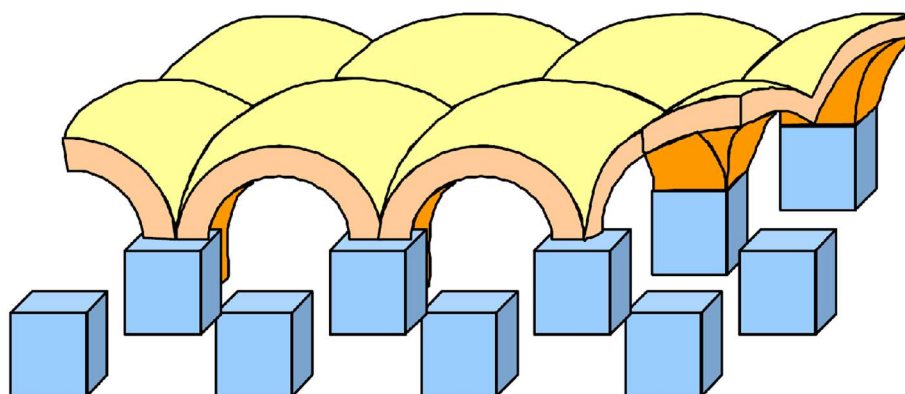
var būt diezgan lielas. Modeļa aprēķinos tiek novēroti ievērojami lielāki uzbēruma grunts rādītie spriegumi. (Kempton et al., 1998).



Avots: Kempton et al., 1998

1-10.att. Atšķirības starp 2D un 3D modeļa pieeju

Hewlett Randolph 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 stiebrojumu, bet nav aprēķina metodes, lai noteiktu stiebrojuma spriegumu.

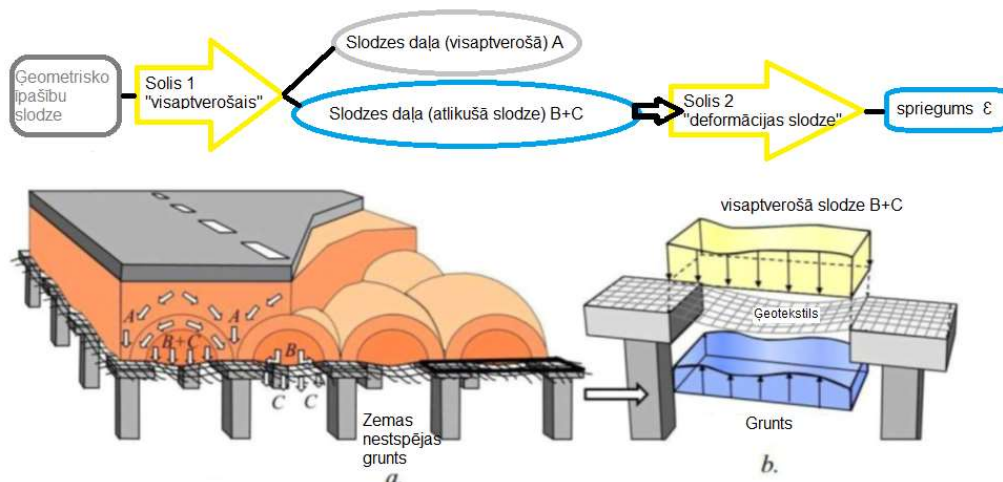


Avots: Hewlett et al., 1988

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 austu ģeotekstilu, ko veido vismaz divas stiebrojuma 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 stiebrojums, uzņemot konstrukcijā radušos spriegumus, tos izlīdzina un pārnēs uz plašāku laukumu (Forsman & Koivisto, 2012).



Avots: Van Eekelen, 2015

1-12.att. Pāļu slodzes pārnese konstrukcija ar austo 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 stiebrojumus. Galvenās divas funkcijas šim stiepes stiebrojumam 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 austa ģeotekstils atbilstoši Nīderlandes vadlīnijām “CUR 226”.

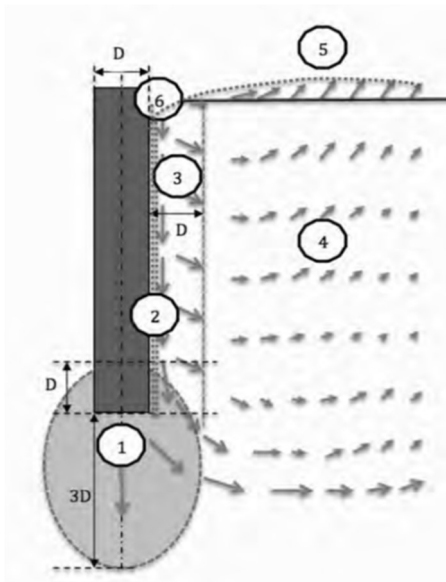
1.1.7 Grunts deformācijas būvdarbu un ekspluatācijas laikā

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 gruntīs 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 veiktajā monitoringā ieguva datus, lai vērtētu meža autoceļa “Tēvgāršas ceļa turpinājums” posma vertikālās un horizontālās deformācijas, t.sk., savstarpējo mijiedarbību.

Arī pāļu dzišana mīksto 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 iedzišanas 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

dzīšanas 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 - tiešā 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 pārvietošanu 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; Wersäll, & Massarsch, 2013).

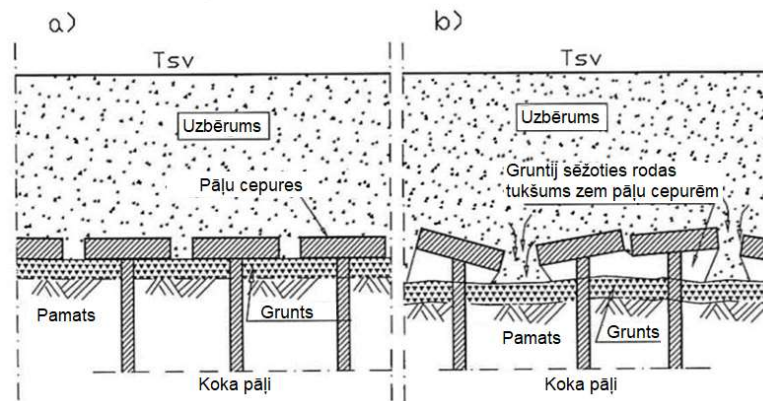
Ir veikti laboratoriju testa modeļi, lai izpētītu grunts pārvietošanu pāļu grupas uzstādīšanas laikā mālā gruntī. Pēc noteiktiem parametriem tika izveidota pāļu dzīšanas vide, un tests veikts, veicot stereofotogrammetriskos mērījumus. Pēc pirmo astoņu pāļu iedzīšanas novērots, ka grunts kustības galvenokārt 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 pārvietošanu ir niecīgs (Massarsch & Wersäll, 2013).

Apkopojot iegūtos rezultātus, secināts, ka līdzienas 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 pārvietoējums novērojams dēļ grunts pārvietošanās tikai nākamo pāļu izbūves procesā, savukārt grunts pārvietoējums ir atkarīgs no visu uzstādīto pāļu kumulatīvās ietekmes neatkarīgi no to uzstādīšanas kārtības (Massarsch & Wersäll, 2013).

Veicot pāļu dzišanu māla gruntīs uz slīpa reljefa, ir nozīme kārtībai, kā to dara. Sākot pāļu dzišanu nogāzes augšdaļā, ir ievērojami mazākas pāļu kustības salīdzinājumā ar gadījumu, kad pāļu dzišana sāka 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 slodzi sadalījumu, un pārmērīgas pāļu noslodzes dēļ iespējama konstrukcijas sabrukšana.

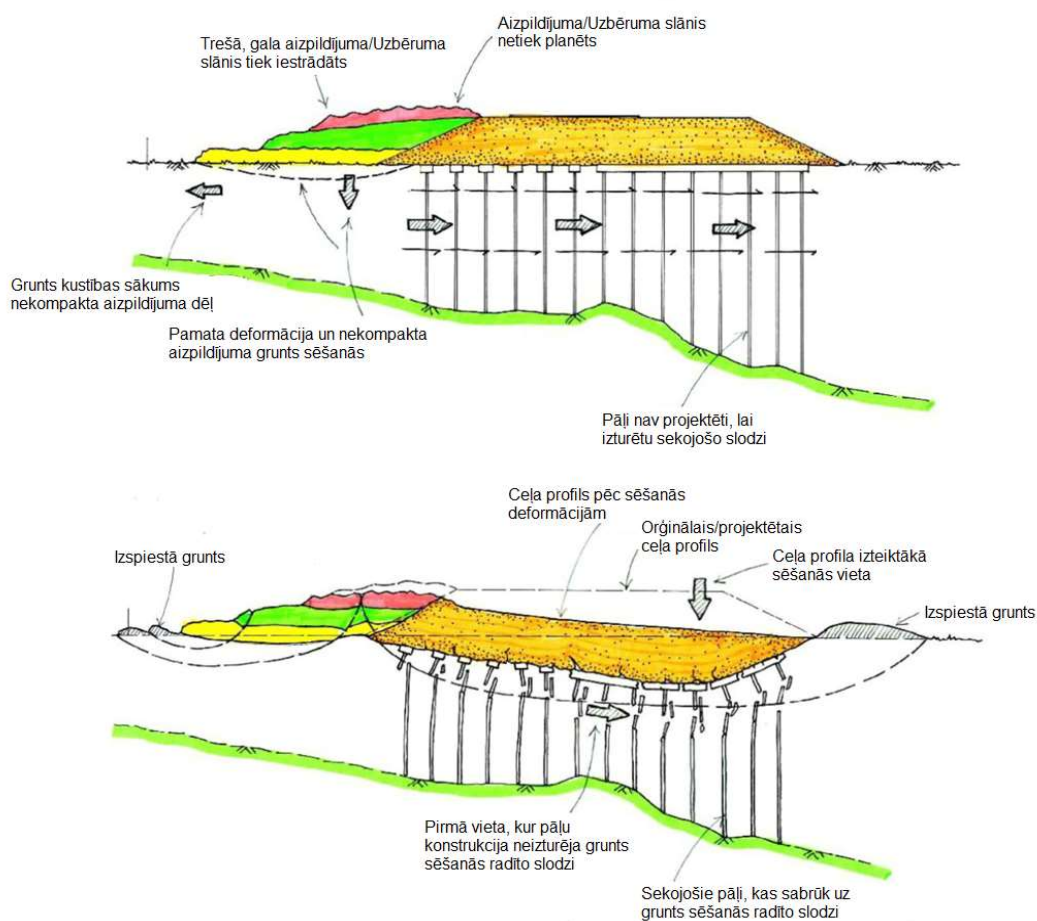


Avots: Pitkänen et al., 1999

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 slogošanas 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

1.1.8 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 sagraumošanas 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 trapes 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 trupī 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 trupī 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 destruktiju izraisošus elementus un to barības vielas, kā rezultātā, pazeminoties gruntsūdens līmenim, izveidojas optimāli apstākļi destruktijas sākumam. Intensīvākos trupes bojājumus koksnēs pāļu pamatiem rada gruntsūdens līmeņa pazemināšanās (Juvankoski & Viitanen, 1989).

Lai novērstu vai palēninātu koksnēs pāļu sabrukšanu, pāļu apstrādei var izmantot dažādus koksnēs konservantus. Galvenokārt izšķir ūdens bāzes un eļļas bāzes koksnēs aizsardzības līdzekļus, kas pieder pie ķīmiskās koksnēs aizsardzības tipa. Koksnēs aizsardzības līdzekļu sastāvā vienmēr ietilpst bāzes savienojums, kas nodrošina nepieciešamās aizsardzības īpašības un bāze, kas palīdz šīs vielas ievadīt koksnēs slāņos. Protams, ir arī koksnēs 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).

Koksnēs 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 koksnēs 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 koksnēs aizsardzības līdzekļus. Lignīns iegūts kā celulozes ražošanas blakusprodukts un darbojas kā līmjava koksnēs 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 koksnēs 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 koksnēs aizsardzības vielām. Kreozotu iegūst akmeņogļu darvas destilācijas procesā, un tā ir melna vai tumši brūna eļļa. Kreozotam ir nepārspējamās īpašības koksnēs bioloģiskajā aizsardzībā, tas nešķīst ūdenī un ir mazāk gaistošs savienojums, kuram piemīt vienkārša iestrādes tehnoloģija un ir zemas izmaksas. Apstrādātās konstrukcija nodrošina koksnēs 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).

Koksnēs virsmas apdedzināšana ir sena pieeja, ko izmanto, lai palielinātu koksnēs izturību. Ir maz pētījumu par koksnēs virsmas apdedzināšanu, un šobrīd zināšanas galvenokārt balstās uz pieredzi un tradīcijām. Tiek uzskatīts, ka koksnēs 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 koksnēs virsmu apstrādē, jo īpaši jaunu zemas toksicitātes un augstas efektivitātes konservantu izstrādē.

Impregnēšanas metožu funkcionalitāte un izmantojamība koksnes pāļos ir atkarīga no daudziem faktoriem. Attiecībā uz metožu ilgtspējību, vides draudzīgumu un nākotnes potenciālu, impregnēšanas metožu kopsavilkuma tabulā (1.8. 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 koksnes pāļu sabrukšanas novēršanā (Hooli, 2020).

1.8.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 hidrofoobiskajām 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 koksne.	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 koalīzācija	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 augšējās 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 hidrofoobiskumu un tālāk omnifobisku virsmu.

1.1.9 Secinājumi un rekomendācijas

Secinājumi

1. Meža autoceļa konstrukcijas uzbērumu 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 augsnēs, 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 pārne slodzi no relatīvi vājas nestspējas grunts (kūdras) uz grunts noturīgākiem slāņiem dziļāk, tādējādi, samazinot slodžu 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 trapes 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 šķēršošana, 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).

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, uzņemot konstrukcijā radušos spriegumus, tos izlīdzina un pārnēs uz plašāku laukumu.

Rekomendācijas

1. Pamatojoties uz citu valstu pieredzi par koksnes pāļu izmantojamību vietās, kur vājas nestspējas grunts dziļums, balstoties uz inženierģeoloģiskās izpētes datiem pārsniedz 3 m, iespējams izmantot koksnes pāļu konstruktīvo risinājumu:

- 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 austo 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 stiegrojuma kārtām dažādos virzienos. Aušanas tehnika un slodzes virziens būtiski ietekmē konstrukcijai izvēlēta austā ģeotekstila izturību un deformācijas.

1.2 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 izpētais 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 (Maliphand 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 palielinātās 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.

1.2.1 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 novērtēts 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 slogošanas 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.

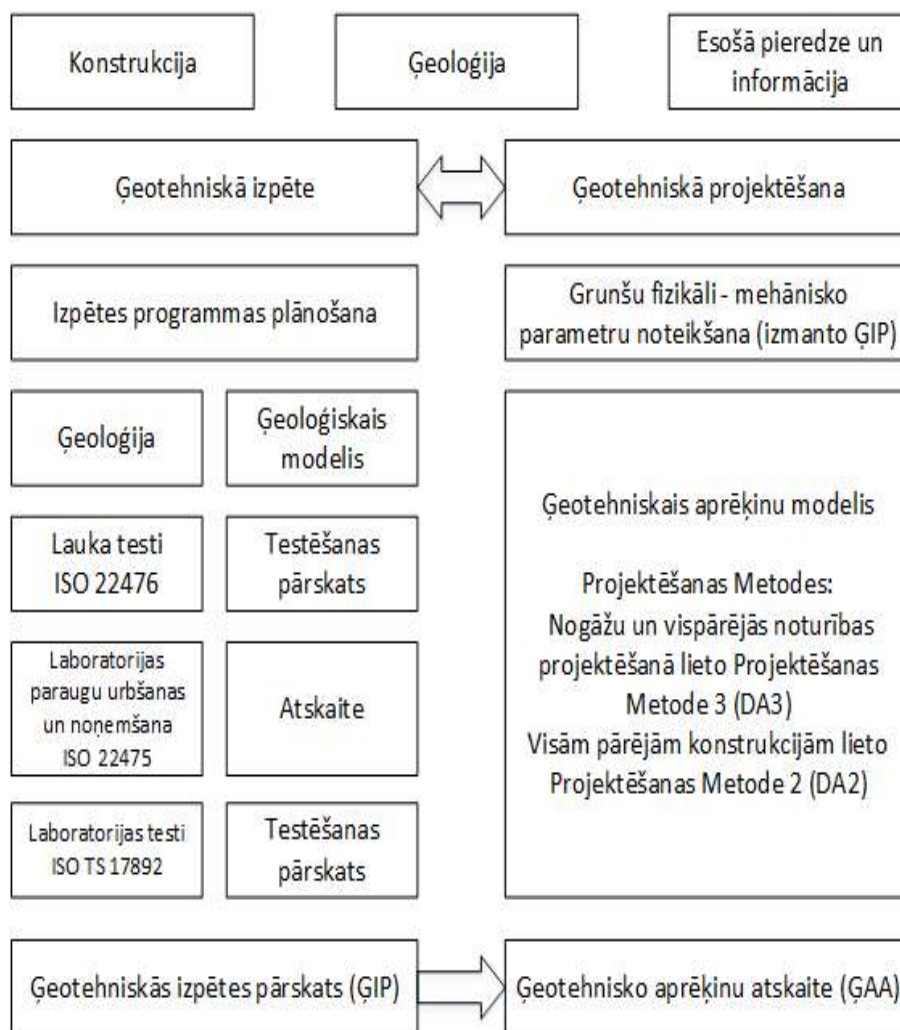
Ģeotehniskās izpētes laikā nepieciešams noteikt grunšu fizikāli mehāniskās īpašības tādā apjomā, lai ir iespējams novērtēt sekojošus aspektus:

- grunšu sēšanās, sēšanās izkliede būves robežās, sēšanās laikā un dažādās būves būvniecības posmos;
- nestspējas un lietojamības robežstāvokļu pārbaudes;
- slodzes no grunts uz būvi (piemēram, horizontālais grunts spiediens uz pāļiem);
- pamatu izbūves metodes (grunšu pastiprināšana, grunts apmaiņa, pāļi, gruntsūdens pazemināšana);
- būvdarbu izbūves secība;
- ietekme uz blakusesošajām būvēm;
- citi būvniecības apsvērumi (piemēram, būvbedres nostiprināšana, grunts enkuri u.c.);
- grunts piesārņojums un iespējamie sanācijas pasākumi.

Tāpat arī jānovērtē hidroģeoloģiskie apstākļi:

- pazemes ūdeņu slāņa dziļums, biezums un izplatība;
- pazemes ūdeņu līmeņu svārstības un to ekstrēmu vērtības;
- porūdens spiedienu sadalījums gruntī;
- gruntsūdens ķīmiskais sastāvs un temperatūra.

Ģeotehniskās izpētes secība un saturs apkopots 1.17. attēlā.



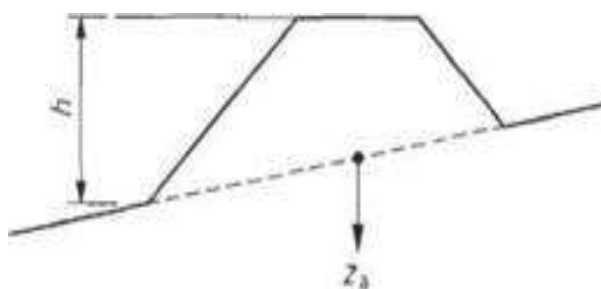
1-17.att. Ģeotehniskās izpētes secība un saturs

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.

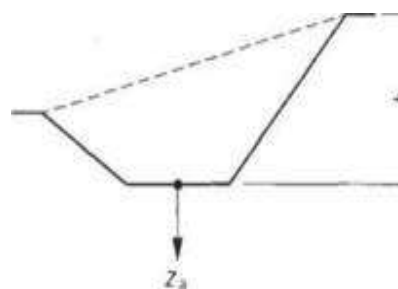
1.2.2 Ģeotehniskās izpētes punktu izvietojums plānā un dziļums

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 gruntis, 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. Uzbērumiem un ierakumiem izpētes dziļums atkarīgs no uzbēruma augstuma vai ierakuma dziļuma – h (skat. 1.18. attēls).



(a) Uzbērums



(b) Ierakums

1-18.att. Uzbēruma un ierakuma shēma (LVS EN 1997-2:2007):

a. Uzbērumiem:

$$0.8h < z_a < 1.2h$$

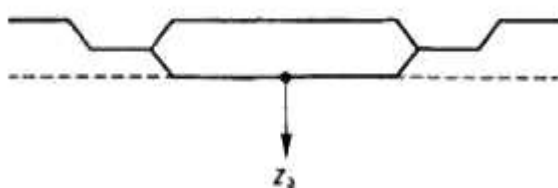
$$z_a \geq 6 \text{ m}$$

b) Ierakumiem:

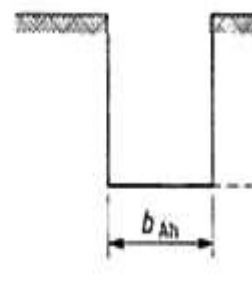
$$z_a > 2.0 \text{ m}$$

$$z_a \geq 0.4h$$

Lineārām konstrukcijām izpētes dziļums apskatīts 1.19. attēlā.



(a) Ceļš



(b) Tranšeja

1-19.att. Ceļa un tranšejas shēma (LVS EN 1997-2:2007):

a) Ceļiem, dzelzceļiem un lidlaukiem:

$$z_a > 2.0 \text{ m}$$

b) Tranšejās:

$$z_a > 2.0 \text{ m}$$

$$z_a > 1.5b_{Ah}$$

kur: b_{Ah} - tranšejas platums.

Ja tas attiecas arī uz ceļiem un tranšejām, jāattiecina uzbērumu un ierakumu nosacījumi. Pāļiem un pāļu grupām tiek rekomendēti sekojoši nosacījumi – skat. 1.20. attēls:

$$z_a > 1.0b_g$$

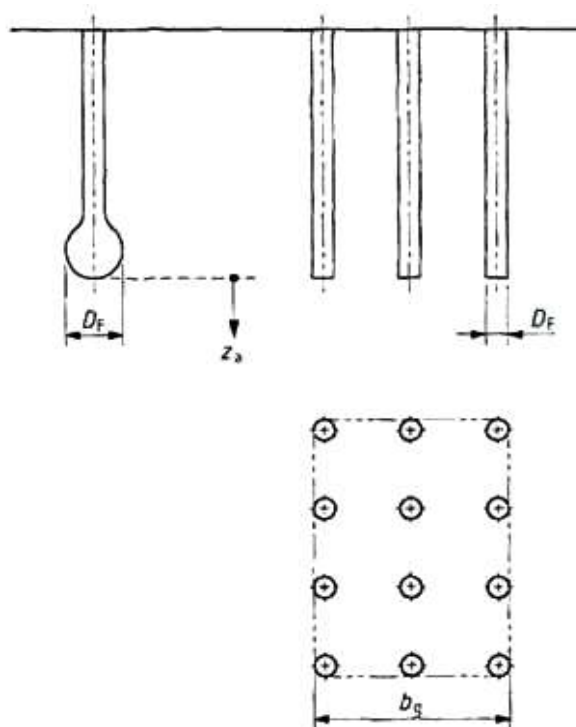
$$z_a > 5 \text{ m}$$

$$z_a > 3DF,$$

kur

DF – pāļa gala diametrs

b_g – mazākā no pāļu grupas malām



1-20.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.

1.2.3 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.1.9.tab.).

1.9.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
	Vidēja grants (mGr)	> 6,3 līdz ≤ 20

Grunts grupa	Daļu izmēru frakcijas (simbols)	Daļu izmēru sadalījums(mm)
	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. 1.10.tab.).

1.10.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) granulometrisku sastāvu apzīmē ar divu burtu simboliem, no kuriem pirmais ir lielais burts, bet otrais – mazais burts:

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

Klasificējot gruntis ar organiku, jānošķir organiskās gruntis (kūdra/ humuss/ sapropelis/ dūņas) un gruntis ar organisko daļiņu saturu (skat. 1.11. tab.).

1.11.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, mineralogiskais sastāvs, piesātinājuma indekss, ūdens caurlaidība, sablīvējamība, uzbriestamība, nestspējas u.c.).

Grunšu klasifikācija atbilstoša LVS EN ISO 14688-2 principiem norādīta tabulā (skat. 1.12. tab.). Papildu šai tabulai ir jāizmanto arī plasticitātes grafiks (skat. 1.21. att.).

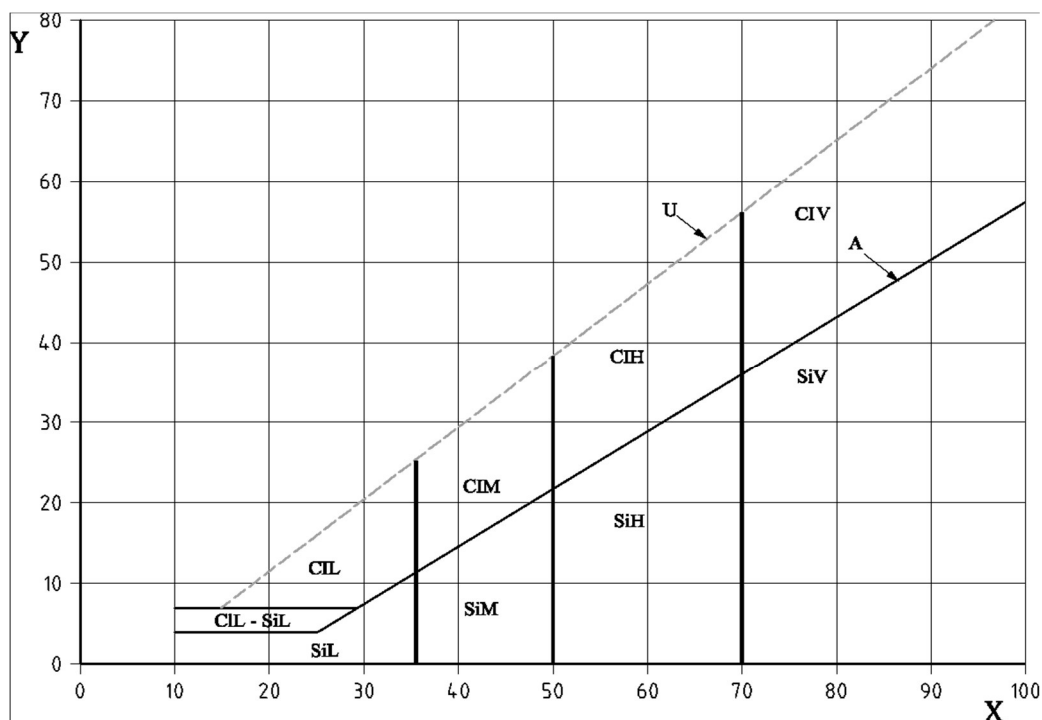
1.12.tabula Grunšu klasifikācijas principi atbilstoši LVS EN ISO 14688-2

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	Mineralogija, 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, mālais 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 – wL un plasticitātes – wP robeža), testējot saskaņā ar ISO 17892-12.



1-21.att. Grunšu plasticitātes grafiks atbilstošs LVS EN ISO 14688-2

1.13.tabula Paskaidrojumi 1.21.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. 1.21. 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. 1.14. tab.).

1.14.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 – Grutns 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

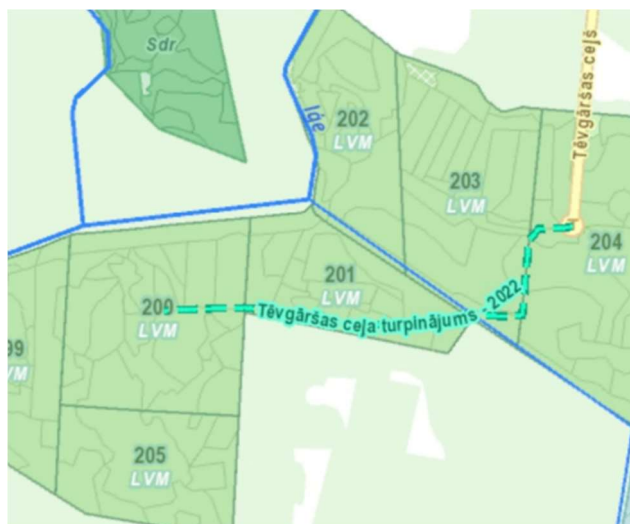
Laboratorijā tiek testētas visas grunšu fizikāli – mehāniskās īpašības. Biežāk veiktie grunšu fizikāli – mehāniskie testi apkopoti tabulā (skat. 1.15. tab.).

1.15.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 slogošanas 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 trīsasus spiedes testi ūdenspiesātinātām gruntīm	LVS EN ISO 17892-8:2018	Stiprības (iekšējās berzes leņķis un saiste) un saspiežamības parametri
Konsolidēti trīsasus 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	-

2 Koksnes pāļu izbūve un slogošana

Meža ceļa „Tēvgāršas ceļa turpinājums”, (skat. 2.1. 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 iecirkņā 200., 201., 203., 204. kvartālos (kadastra Nr. 66480020093, 66440050064).



2-1.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 2.2.att.).



2-2.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.

2.1 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. Apaļie 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.2.3.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.



2-3.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.2.4.att.), jo tie asināti manuāli ar motorzāģi. Pāļu tievgaļi uzasināti ~40 cm garumā, izveidojot konusveida spici 45° leņķī.



2-4.att. Kokmateriālu novietojums uz pāļu 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. 2.5. att.).



2-5.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. 2.6. att.).



2-6.att. Sagatavoto pāļu piegāde objektā.

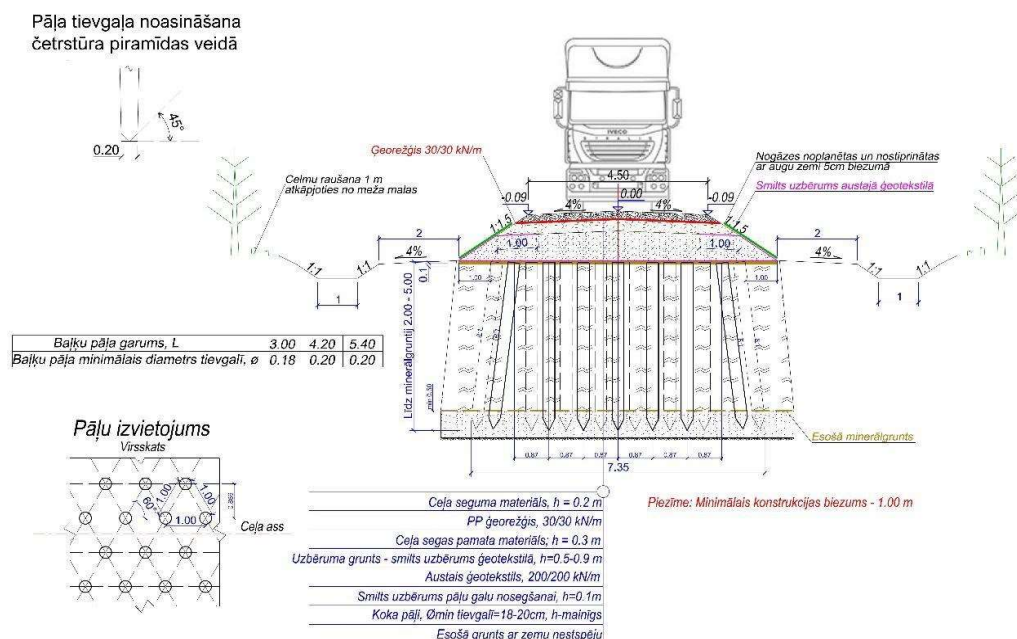
Apkopojot starptautisko pieredzi pāļu izbūvē, tiek rekomendēti mizoti pāļi, jo tādejādi samazinās potenciālā materiāla bojāšanās risks, ko varētu izraisīt dažādas sēnas un baktērijas, kā arī iebūves procesā mizotiem pāļiem ir samazināta berzes ietekme. Tomēr objektā “Tēvgāršas ceļa turpinājums” pāļiem netika paredzēta mizošana. Jāņem arī vērā, ka mizoti pāļi ātrāk izzūst, kas var radīt plaisas pāļi, 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. 2.7.att. A), traktortehnika ar ēveles tipa ierīci (skat. 2.7.att. B), vai arī piesaistīts ārpalpojums, t.i., sadarbojoties ar uzņēmumiem, kuri veic kokmateriālu mizošanu industriālā līmenī ražotnē (skat. 2.7.att. C), un šajā gadījumā jāapsver arī loģistikas izmaksu pamatojums, jo kokmateriāli papildus jātransportē.



2-7.att. Pāļu mizošanas varianti

Pirms plānota mizotu koksnes pāļu izmantošana, projektēšanas stadijā jāapsver nepieciešamība pēc nomizotiem 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. 2.8. att.). Pāļu minimālais iebūves dziļums minerālgruntī ir 0,5 m.



2-8.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. 2.9. 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.



2-9.att. Kāpurķēžu ekskavators ar pievienotu hidrovibratoru

Pirms objektā uzsāka pāju dzīšanas darbus, iepriekš veikti pāju 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.2.2.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 ģeotehniskā 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 pietam 05+50, balstoties uz šiem testa rezultātiem, pietos 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. 2.10.att.). Pēc koksnes pāļu iedzīšanas 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 nestpēju, samazinot iespējamos riskus, kas varētu rasties saistībā ar šo grunts nestpēju un tehnikas svāra ietekmi uz to. Objektos, kuros nav iepriekš veikta šāda tipa ceļa konstrukcijas izbūve vājas nestpējas grūntīs, vispirms rekomendējama ir padziļināta grūnts izpēte.



2-10.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. 2.11.att.). Tas tiek darīts manuāli – ar darba stacijas nosaka punktus, iekrāsotas un atzīmētas vietas un ekskavatora operators attiecīgajā vietā iedzina pāļus.



2-11.att. Pāļu vietu atzīmes pirms iedzīšanas

Veicot objektā pāļu dzīšanu 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. 2.12. att.).



2-12.att. Grunts kustība ap pāli dzīšanas laikā

Izbūvētajos ceļa posmos visiem pāļiem veikts digitālais uzmērījums. To veic objektā mērnīks 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.

2.2 Koksnes pāļu slogošanas analīze

Koksnes pāļu statiskā slogošana ļauj pārbaudīt būvprojekta pāļu nestspējas aprēķinus. Atbilstoši LVS EN 1997-1+A1+AC:2015 7.Eirokekss. 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. 2.1. 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 dzišanas ekskavatoru un atbilstošu hidraulisko domkratu.

2.1.tabula Izbūvēto un testējamo koksnes pāļu apjoms un to izbūve

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
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	22
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 pāļa 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. 2.13. att.) vai analoģu traktortehniku ar 20 t ekskavatoru, kam papildus, ir hidrauliskā līnija un ar hidraulisko plūsmu 220-250l/min.



2-13.att. Pāļu slogošanas sistēma objektā.

Notestēts 21 koksnes testa pālis sekojošu piketos ceļa klātnē: 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. 2.2. tab.). Slodzes pakāpe visiem testa pāļiem – 10 kN (1 tonna). Atslogošana notiek ar vienu atslogošanas pakāpi. Slogošanas deformāciju rādītāji nolasīti ar digitālo bīdmēru, kura precizitāte ir 0,01 mm.

2.2.tabula Slogojamo koksnes pāļu dimensionālie raksturlielumi un atrašanās vieta

Testa pāļa caurmērs resgalī (m) ceļa klātnē	Garums (m)	Atrašanās vieta	Testa pāļa caurmērs resgalī (m) ceļa klātnē	Garums (m)	Atrašanās vieta
0,24	4,3	PK 02+55	0,24	5,5	PK 05+50
0,26	4,5	PK 02+75	0,30	5,4	PK 05+75
0,30	5,5	PK 03+00	0,26	5,4	PK 05+94
0,31	5,5	PK 03+25	0,30	5,4	PK 06+00
0,24	5,5	PK 03+50	0,33	5,4	PK 06+25
0,30	5,5	PK 03+75	0,3	5,4	PK 06+55
0,30	5,5	PK 04+00	0,32	5,4	PK 06+95
0,30	5,5	PK 04+25	0,31	5,4	PK 07+25
0,27	5,5	PK 04+50	0,27	5,4	PK 07+40
0,28	4,3	PK 04+92	0,21	4,2	PK 07+75
0,30	5,5	PK 05+00	-	-	-

Veicot pāļu testēšanu, bija jāņem vērā lokālās ģeoloģiskās nevienmērības – vājo grunšu (dūņas, kūdra, sapropelis, plūstošas konsistences māls, irdena smiltis u.c.) ieguluma dziļuma svārstības, tamdēļ atšķīrās arī koksnes pāļu iedziļinājums nestspējas gruntī. Vizuāli šīs svārstības novērojamas arī pāļu dzīšanas laikā, t.i., zonās, kur vājo grunšu ieguluma dziļums ir seklāks, pāļu atkoda (faktiski nav novērojams pāļa pārvietojums vibropāldziņa darbības laikā) sasniegta un 5,4m garo koksnes pāļu gali paliek virs grunts līmeņa (skat. 2.14. att.). Tehnoloģiski tika nozāģēti, sagatavojot uz atbilstošo projekta augstuma atzīmei.



2-14.att. Koksnes pāļu izbūve un atkoda sasniegšana no PK 02+50 līdz PK 03+50.

Pāļu dzīšana tika veikta atbilstoši būvprojekta risinājumam, kur pieņemtas Zviedrijā lietotās koksnes pāļu projektēšanas vadlīnijas atbilstoši Zviedrijas Transporta aģentūras (Trafiksverket)¹ vadlīnijām. Projektēšanas vadlīnijas Zviedrijā nosaka projektēšanas

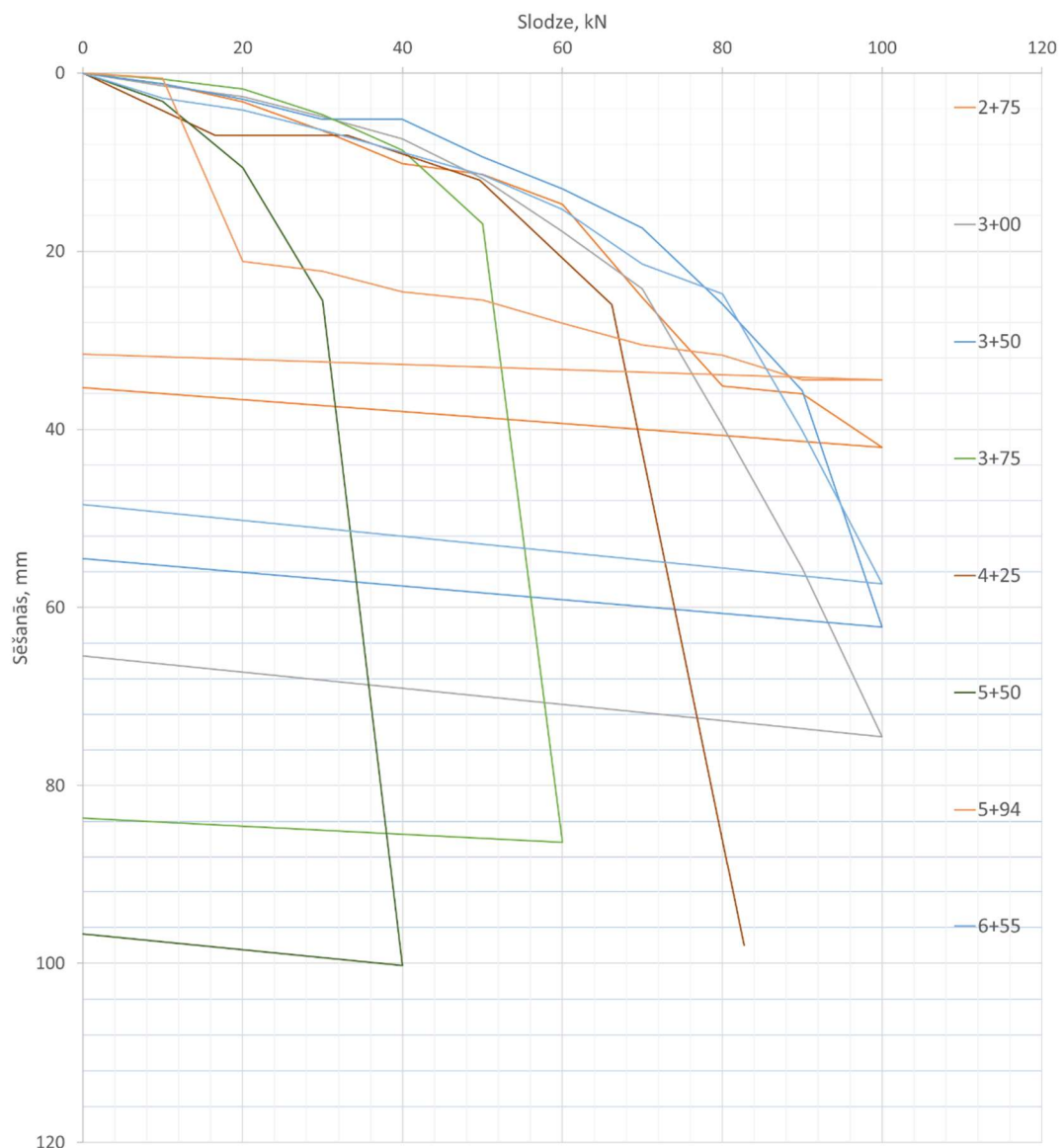
¹ Trafiksverkets tekniska krav för geokonstruktioner-TK Geo 13 un Trafikverkets tekniska råd för geokonstruktioner-TR Geo 13.

pieņēmumus un specifikācijas. Tajās apskatīts gan koksnes pāļu izvietojums, gan slodzes pārneses platformas nosacījumi un citi projektēšanas pieņēmumi. Atbilstoši šiem pieņēmumiem “Tēvgāršas ceļa turpinājums” būvprojektā pieņemts pāļu trīsstūrveida 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 analīzē izdalītas 2 pāļu grupas:

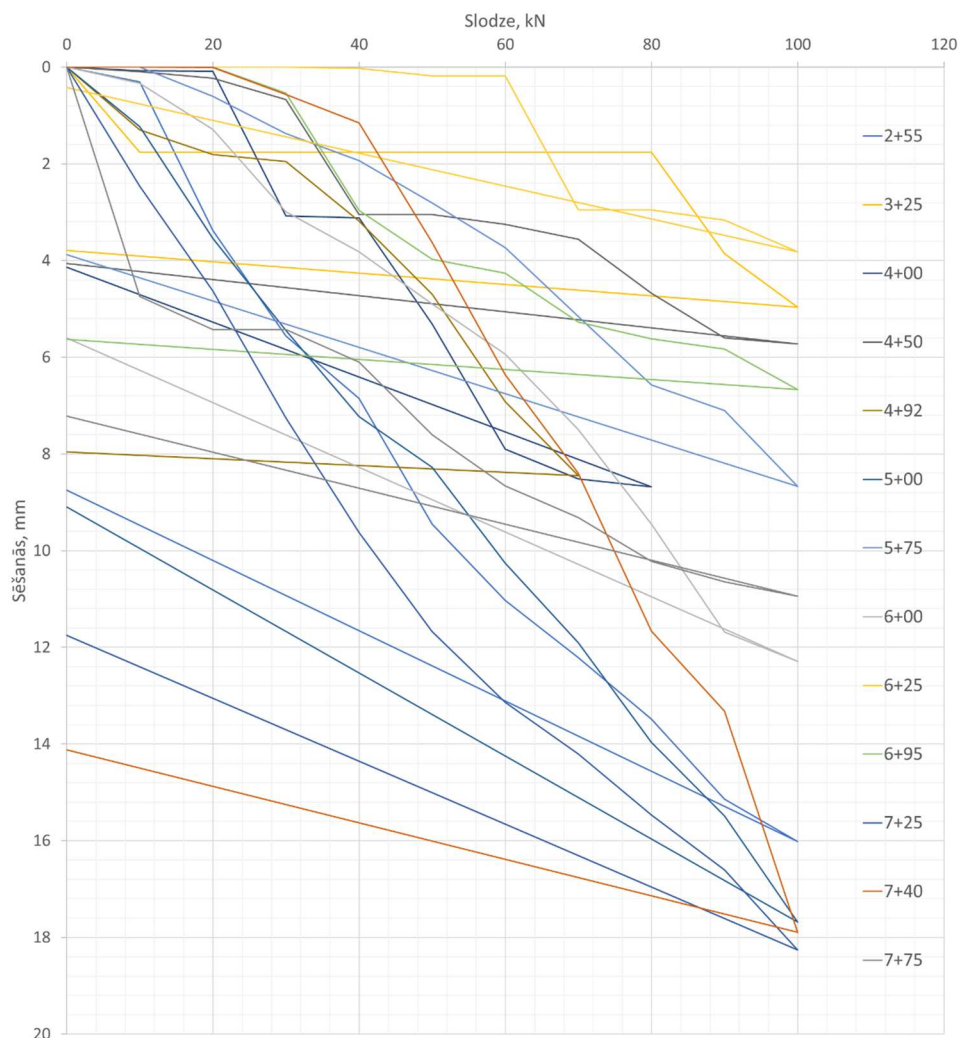
- testa pāļi, kuru deformācija pie maksimālās slodzes pārsniedz 30 mm;
- testa pāļi, kuru deformācijas pie maksimālās slodzes nepārsniedz 30 mm.

Testa pāļi, kuru deformācija pie maksimālās slodzes pārsniedz 30mm, atradās sekojošos piketos: 02+75; 03+00; 03+50; 03+75; 04+25; 05+50; 05+94; 6+55. Šiem pāļiem maksimālā slodze slogošanas laikā svārstījās no 40 līdz 100 kN, kur rezultātā bija novērojama pāļu sēšanās no 34, līdz 100 mm. Veicot atslogošanu, slogošanas rezultātā radusies pāļa ieigrime samazinājās par 4 – 14 % (skat. 2.15. att.). Tālāka analīze, kur tiks salīdzināti visi slogošanas testēšanas rezultāti ar analītiskajiem aprēķiniem (t.sk. būvprojektā iekļautajiem) tiks sagatavoti nākamajās starpatskaitēs.



2-15.att. Slogošanas rezultāti atkodu nesasnējušajiem koksnes pāļiem.

Iegūtie rezultāti testa pāļiem, kuru deformācijas pie maksimālās slodzes nepārsniedz 30 mm, (PK 02+55; PK 03+25; PK 04+00; PK 04+50; PK 04+92; PK 05+00; PK 05+75; PK 06+00; PK 06+25; PK 06+95; PK 07+25; PK 07+40; PK 07+75), darbība būtiski atšķīrās no testa pāļiem, kuru deformācijas pārsniedz aptuveni 10% no pāļa diametra. Šajā gadījumā maksimālā slodze slogošanas laikā 11 no 13 pāļiem bija 100 kN, kur rezultātā bija novērojama pāļu sēšanās no 3,82 līdz 18,26 mm. Veicot atslogošanu, slogošanas rezultātā radusies pāļa iegrime samazinājās par 25 – 50 % (skat. 2.16. att.).



2-16.att. Slogošanas rezultāti atkodu sasniegušajiem koksnes pāļiem.

Visu testēto koksnes pāļu darbību pie aplēses slodzes atbilstoši būvprojektam – 37,79 kN, norāda, 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, kas ir <1 cm (pāli faktiski nav iespējams iedzīt, pieliekot konkrētā pāļa dzīšanai paredzēto hidrovibratoru) – tas norāda uz to, ka koksnes pālis (atbilstoši esošā projekta specifikācijai) var uzņemt 100kN (aptuveni 10t) slodzi. Svarīgi, protams, ņemt vērā arī izmantoto pāļu dzīšanas tehniku un esošās rekomendācijas attiecas tikai uz tehniku, kura ir līdzīga (vai jaudīgāka) tai, kura izmantota meža ceļa “Tēvgāršas ceļa turpinājums” projektā. Projektēšanas un ģeotehniskās izpētes laikā, nosakot pieļaujamo slodzi uz koksnes pāli un to paredzamo atrašanos vietu noteiktā nestspējīgajā gruntī, ļauj noteikt konkrētas prasības traktortehnikai objektā un atkodas sasniegšanai.

2.3 Secinājumi un rekomendācijas

Secinājumi

1. Veicot koksnes pāļu dzīšanu, iepriekš jāņem vērā lokālās ģeoloģiskās nevienmērības – vājo grunšu (dūņas, kūdra, sapropelis, plūstošas konsistences māls, īrdena smilts u.c.) un ieguluma dziļuma svārstības, kas nebija ievērtētas grunts ģeotehniskā izpētes laikā. Tādēļ atšķīrās arī izmantoto koksnes pāļu garums no būvprojekta. Precīzākus rezultātus vājo grunšu un iegulumu dziļuma svārstības uzrādīja veiktā, padziļinātā inženierizpēte ar radiolokācijas metodi un dati sakrīt ar būvprojektā norādīto informāciju.

2. Veicot objektā koksnes pāļu dzīšanu, bija novērojama horizontāla un vertikāla grunts kustība, kas izpaužas kā zemes virsmas pacēlums. Grunts pārvietošanos izraisa nošķelta konusveida dobuma izplešanās, ņemot vērā grunts pārvietošanos ap to un zem tā.

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

5. Koksnes pāļu statiskās slogošanas pārbaude norāda, ka izvēlētais konstruktīvais risinājums nodrošina slodzes pārnesei no relatīvi vājas nestspējas grunts (kūdras) uz dziļumā nestspējīgajiem slāņiem. 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 atbilstošo nestspēju ekspluatācijas apstākļos.

7. Veicot atslogošanu, slogošanas rezultātā pāļiem, kuru deformācija slogošanas laikā pārsniedza aptuveni 10% no pāļa diametra, radusies ieģrime samazinājās tikai par 4 – 14 %, bet pāļiem, kuru deformācija slogošanas laikā nepārsniedza aptuveni 10 % no pāļa diametra, radusies ieģrime samazinājās jau par 25 – 50 %.

8. Visu testēto koksnes pāļu darbību pie aplēses slodzes atbilstoši būvprojektam – 37,79 kN, norāda, ka visu pāļu, izņemot testa pāli PK 5+50 (testa pālis nobrauktuvē), deformācija nepārsniedz 10 mm.

9. Pāļu slogošanas rezultāti norāda, ka sasniedzot deformāciju, kas ir aptuveni 10 % no pāļa diametra, tiek faktiski sasniegta tā nestspēja. Tas sakrīt ar pieņēmumiem literatūrā, piemēram, “EA Pfähle”.

10. Balstoties uz pāļu statiskajām pārbaudēm iespējams veikt pāļu nestspējas aplēses atbilstoši LVS EN - 1997-1:2005A/NA:2013. Šos aprēķinus plānots veikt turpmākajās projekta stadijās.

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

Rekomendācijas

1. Objektos, kuros kūdras ieslēgumi ir dziļāki par 2 m, nepieciešama padziļinātā ģeotehniskā 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. Iespējams izmantot arī ģeofizikālās

izpētes metodes, piemēram, grunts radaru (GPR), elektroizpēti un citas, lai iegūtu precīzāku informāciju par kūdras izplatību garenprofilā.

2. Koksnes pāļu dzīšanai rekomendējama tādas būvtehnikas izmantošana, kuros ir pieejama digitāla veida informācija ar pāļu atzīmēm objektā un attiecīgi spēj nolasīt pašreizējos datus reālā laikā un vietā. Ātrāka datu sinhronizācija ar projektā paredzamajām koksnes pāļu izbūves vietām paātrinātu būvniecības procesu, 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, atkodu, kas < 1 cm.

4. Koksnes pāļus var iegūt no šobrīd LVM gatavotiem koksnes produktiem, t.i., no priedes un egles II šķiras zāģbalkšiem ar tievgaļa caurmēra intervālu no 18 līdz 27,9 cm un garuma intervālu no 4 līdz 6 m.

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

6. Koksnes pāļu dzīšanas 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.

3 Monitoringa sistēmu izbūve un datu analīze

3.1 Monitoringa sistēmu uzstādīšana un izbūve

Lai pārbaudītu izvēlēta 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 ļāva 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 ļāva 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 tika veikts 500 m garā koksnes pāļu izbūves posmā, un tas ilga 24 mēnešus no minētā koksnes pāļu ceļa posma izbūves nobeiguma.

Saskaņā ar būvprojektā meža autoceļa “Tēvgaršas ceļa turpinājums” iestrādātajiem monitoringa veikšanas infrastruktūras elementiem, monitoringa programma izstrādāta tā, kas ļāva izpēti laikā iegūt objektīvus rezultātus par pārvaramā kūdras posma iespējamās ceļa konstrukcijas deformāciju attīstības dinamiku, kas ļāva novērtēt izmantotā konstruktīvā risinājumu efektivitāti atkarībā no ietekmējošiem faktoriem.

Monitoringa veikšanai izmantoja vairākas novērojuma sistēmas un attiecīgi tajās ietilpstošus mērinstrumentus:

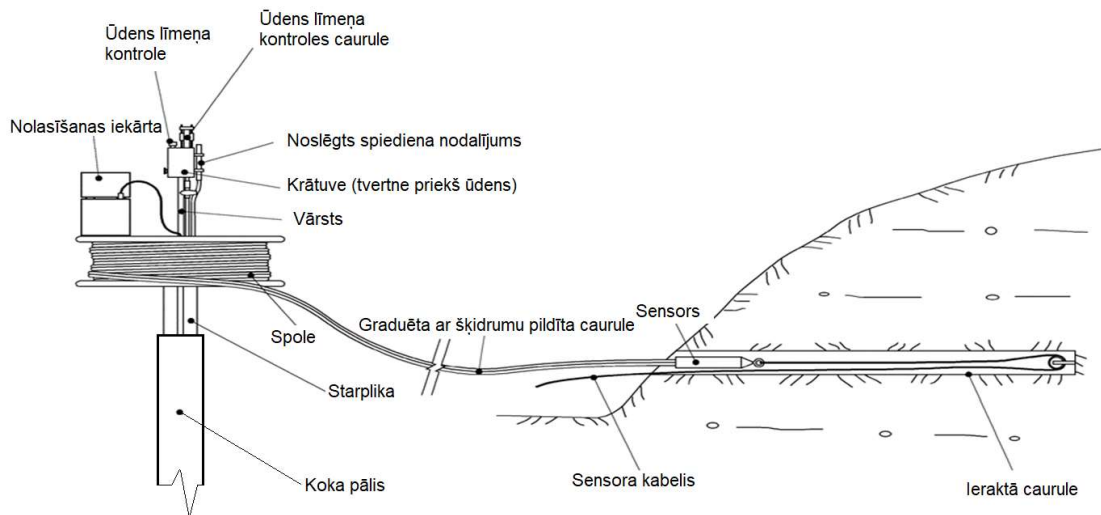
- profilogrāfs – vertikālo deformāciju novērojuma sistēma, kas novērtēja grunts slāņu sēšanos vai celšanos ceļu konstrukcijās (izvietojums no PK 02+25 līdz PK 07+75);
- inklinometrs – horizontālo deformāciju novērojuma sistēma, kas novērtēja grunts slāņu sānu kustību nestabilās nogāzēs un ceļu konstrukcijās (izvietojums no PK 03+30 līdz PK 07+30);
- grunts spiediena mērītājs - novērtēja 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 novērtēja 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).

Meža autoceļš uz koksnes pāļiem tika izbūvēts līdz 2023. gada novembrim un ar 2022. gada martu uzsāka monitoringa programmu, kuras ietvaros divus gadus jeb 24 mēnešus veicami. Līdz ko būvniecības procesā pakāpeniski tika iebūvētas un uzstādītas daļa no monitoringa nepieciešamajām iekārtām, veikti pirmie testa mērījumi ar attiecīgām mēriekārtām. Pētījuma laikā monitoringa rezultāti tika publiskoti 6 starpatskaitēs.

3.1.1 Vertikālo deformāciju novērojumu sistēma

3.1.1.1 Vertikālo deformāciju novērojumu sistēmas raksturojums

Grunts profila vertikālās deformācijas zem ceļa konstrukcijas uzbēruma fiksē ar profilogrāfu (skat. 3.1.att.). Iegūtie dati atspoguļo 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.



3-1.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 tika 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 pildīja profilogrāfa pamatnes funkciju, profilogrāfa zonde attiecīgi tika virzīta pa iebūvētajām caurulēm, un dati tika nolasīti no datu nolasītāja (skat. 3.2.att.).



3-2.att. Profilogrāfa sistēma objektā:

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

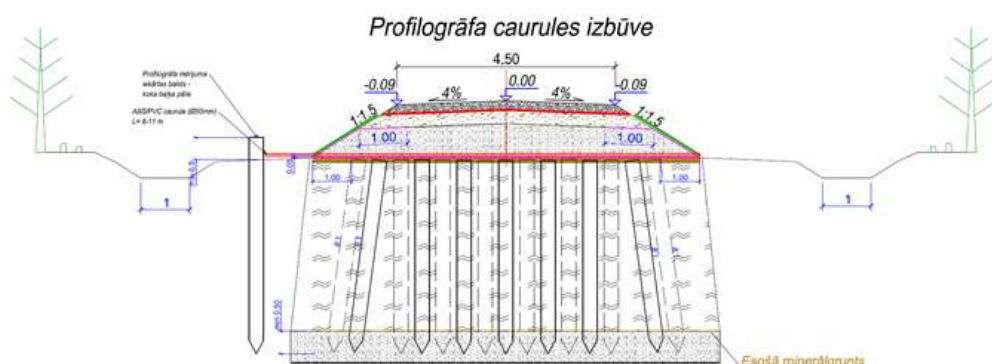
Monitoringa sistēmas rezultātā tika iegūti dati par lokālās ceļa virsmas vertikālo iespējamo deformāciju, kas paredzēti izmantoti datu analīzei, lai noskaidrotu deformācijas cēloņus un izstrādāt potenciālos risinājumus (rekomendācijas) ceļa konstrukcijās ar koksnes pāļiem.

3.1.1.2 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. Profilogrāfa caurules izbūvēja arī 25 m pirms un pēc koksnes pāļu posma, lai iegūtu datus no meža autoceļa posma, kur izmantots tipveida meža autoceļa konstrukcijas risinājums.

3.1.tabula Vertikālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūves vietas

Nr. p. k.	Atrašanās vieta PK	Diametrs, mm	Garums, m
1.	2+25	50	8
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
9.	6+75	50	8
10.	7+25	50	8
11.	7+75	50	8



3-3.att. Profilogrāfa pamatnes un cauruļu izbūves shēma

Ceļa konstrukcijas labajā pusē, pie katras caurules gala, tika iedzīts/iestrādāts viens koksnes pālis, kurā tika iestiprināta metāla caurule, profilogrāfa fiksēšanai veicot mērījumus (skat. 3.3. un 3.4.att.).



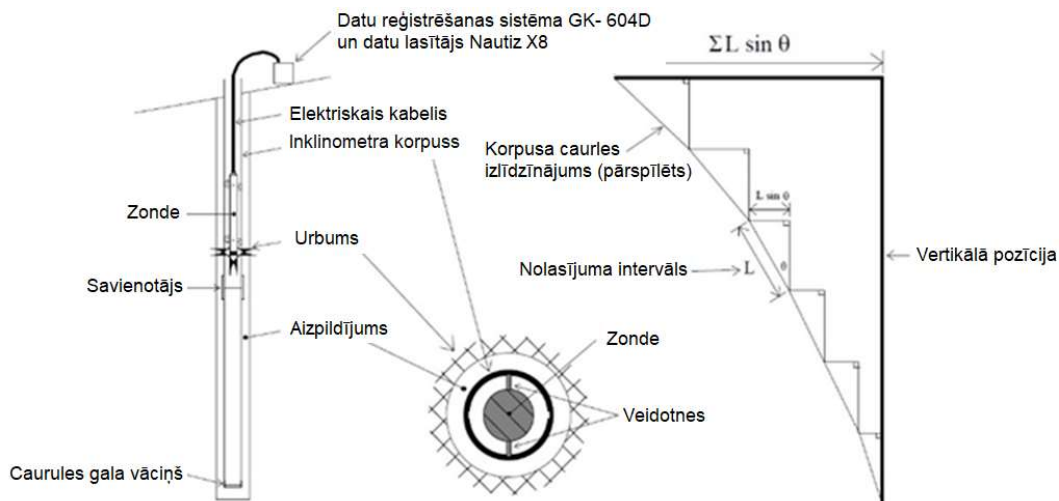
3-4.att. Vertikālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūves process būvobjektā:

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

3.1.2 Horizontālo deformāciju novērojumu sistēma

3.1.2.1 Horizontālo deformāciju novērojumu sistēmas raksturojums

Grunts profila horizontālo deformāciju novērojumi un to izmaiņas fiksēja ar inklinometru (skat. 3.5.att.). Inklinometra sistēmas izbūve nodrošināja datu ieguvu par ceļa konstrukcijas sāniskās jeb horizontālās pārvietošanās dinamikas intensitāti. No iegūtajiem empīriskajiem datiem var 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, identificētas lokālās vietas, kurās novērojamas deformācijas.



3-5.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.

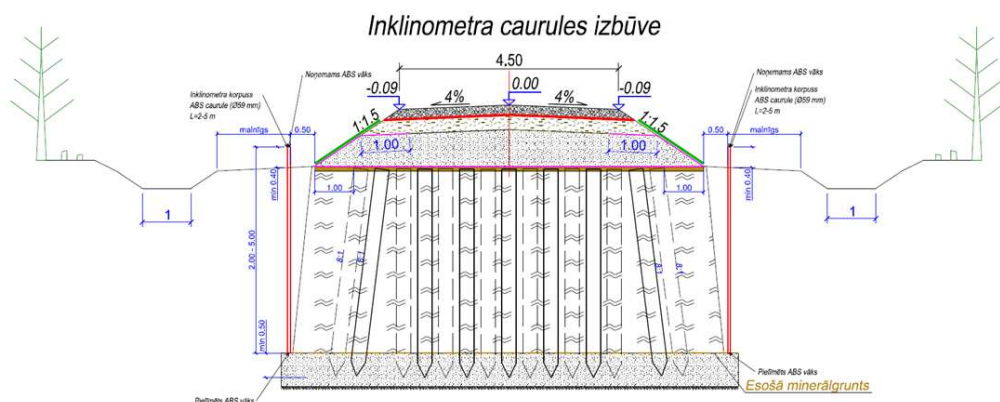
Zemes klātnē blakus ceļa konstrukcijas uzbērumam uz plaukta vertikāli tika iebūvēti 12 ABS korpusi (caurules), caur kuriem tiek veikti mērījumi un datu nolasīšana, ievadot inklinometru iepriekš minētajos ABS korposos.

3.1.2.2 Horizontālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūve

Datu nolasīšanai iepriekš meža autoceļa būvniecības laikā tika iebūvēti 12 inklinometra ABS korpusi, kuru diametrs ir 59 mm. Korpusus iebūvēja līdz minerālgrunts slānim 0,5 m attālumā no ceļa uzbēruma konstrukcijas uz ceļa plaukta (skat. 3.6. att.) ar dažādiem iebūves dziļumiem - no 2,5 m līdz 5 m (skat. 3.2. tab.).

3.2.tabula Inklinometra ABS korpusu (cauruļu) izbūves vietas

Nr.	Atrašanās vieta PK+	Iebūves puse		Iekšējais diametrs, mm	Iebūves dziļums, m
		Labā	Kreisā		
1.	03+30	X	X	59	3,0
2.	04+30	X	X	59	4,2
3.	05+30	X	X	59	4.5
4.	05+65	---	X	59	5,0
5.	06+10	X	---	59	5,0
6.	06+30	X	X	59	5,0
7.	07+30	X	X	59	2,5

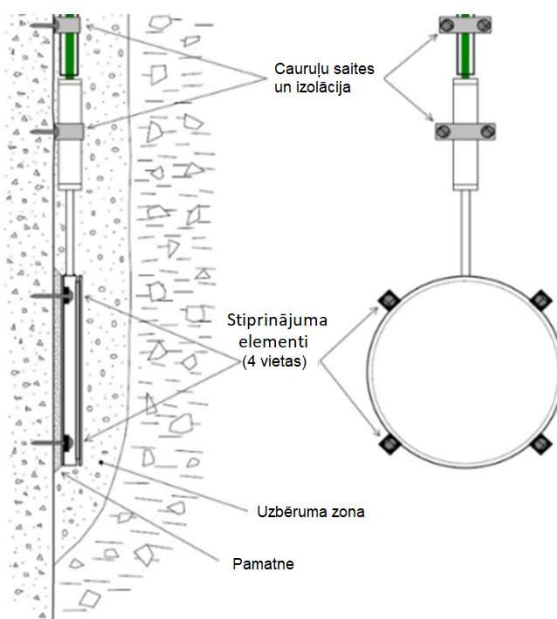


3-6.att. Horizontālo deformāciju novērojumu sistēmas izbūves shēma

3.1.3 Grunts spiediena novērojamu sistēma

3.1.3.1 Grunts spiediena mērītāju apraksts

Grunts spiedienu mērītāju (skat. 3.7.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 radīja priekšskatu par slodzes sadalījumu uz koka pāļu konstrukciju un nepieciešamības gadījumā ļāva izstrādāt potenciālos risinājumus slodzes aprēķiniem līdzīgos objektos. Koksnes pāļu ceļā tika iebūvēti 4 grunts spiediena mērītāji jeb to 2 komplekti, kas atradās divās dažādās vietās, 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).



3-7.att. Grunts spiediena novērojamu 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 saspiestas, 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:

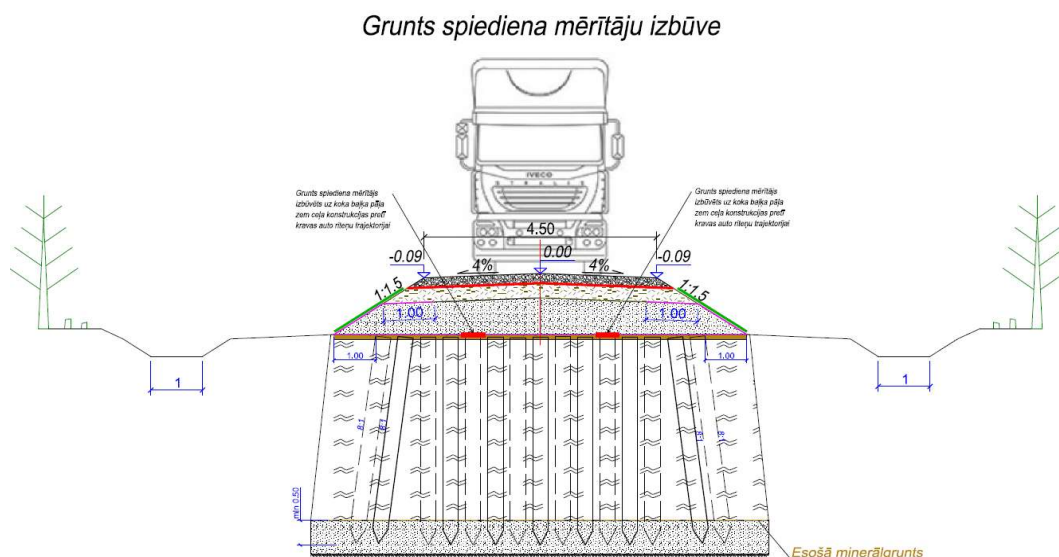
- grunts spiediena mērītāja (GEOKON, Model 4800);
- 16 kanālu datu reģistratora un uzkrājēja (GEOKON, Model 8002-16);
- datu nesēju ierīces (dators vai planšete) ar *Windows* programmatūru.

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.

3.1.3.2 Grunts spiediena mērītāju izbūve

Grunts spiediena mērītājus iebūvēja PK 05+65 un PK 06+05. Katrā no paredzētajām vietām iebūvēja 2 spiediena mērītājus zem ceļa brauktuves ceļa konstrukcijas uzbēruma, lai uzņēmētu kravas automašīnu radīto slodzi. Grunts spiediena mērītājus stiprināja zem ceļa

konstrukcijas uzbēruma koksnes pāļu resgalī (skat. 3.8. att.), kas ļāva novērtēt tieši radīto spiedienu uz koksnes pāļiem.

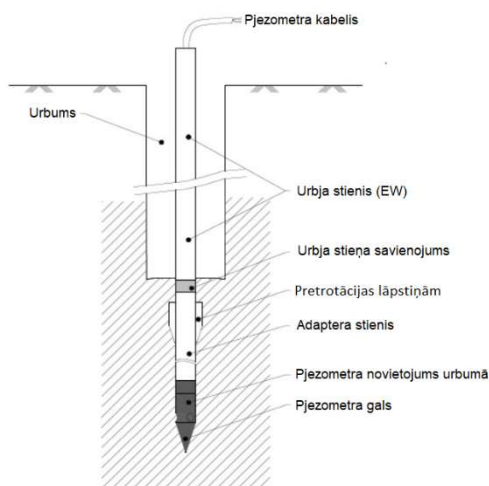


3-8.att. Grunts spiediena mērītāju izbūves shēma

3.1.4 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 izvietošanas daļām. Šādi iespējams analizēt arī grunšu konsolidācijas procesu.

Mērīšanas sistēmai izmanto atbilstošus pjezometrus (skat. 3.9. att.), kas paredzēti uzstādīšanai mīkstās gruntīs. Devējus uzstādīja, tos iespiežot gruntī vai arī, izmantojot speciālus adapterus, iebjot tos ar urbja mašīnu. Grunts poru spiediens elektroniska signāla veidā tika pārraidīts uz datu reģistrēšanas un uzkrāšanas iekārtu.



3-9.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;

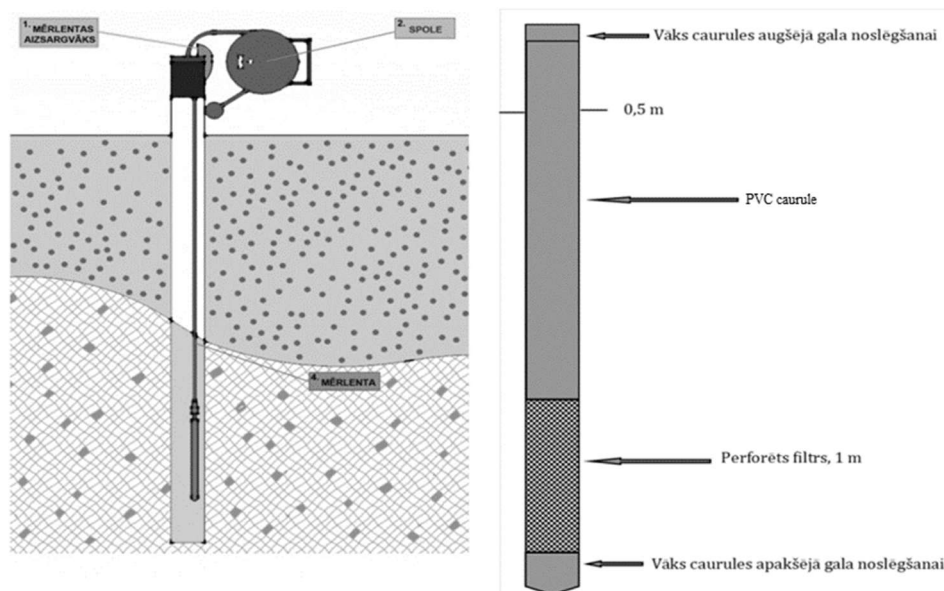
- datu nesēju ierīces (dators vai planšete) ar *Windows* programmatūru.

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.

3.1.5 Gruntsūdeņu līmeņa novērojumu sistēma

3.1.5.1 Gruntsūdeņu līmeņamērītāju apraksts

Viens no būtiskiem ceļa konstrukcijas ietekmējošajiem faktoriem ir gruntsūdeņu līmeņa izmaiņas, un līdz ar to nepieciešama gruntsūdeņu līmeņa novērošanas sistēma (skat. 3.10. att.), kas ļāva reģistrēt faktisko gruntsūdens līmeni. Iegūtie dati un to veiktā analīze ļāva 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).



3-10.att. Gruntsūdeņu līmeņa novērojumu sistēma.

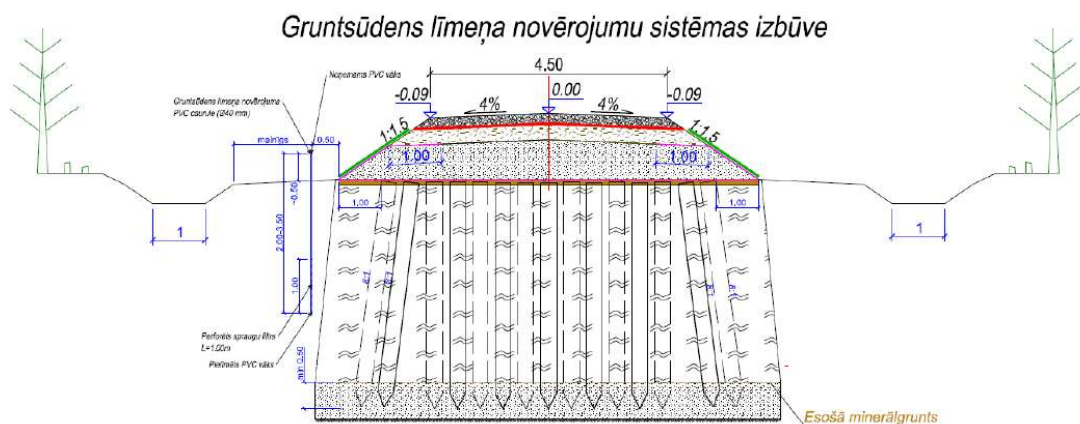
Gruntsūdeņu līmeņa novērojumu sistēma sastāv no:

- 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. 3.10.att.). Zondei sakaroties ar ūdeni, tiek aktivizēts skaņas un/vai gaismas signāls. Ūdens līmeni nosaka, ņemot nolasījumu tieši no lentes novērojuma caurules augšpusē. Dati tika fiksēti manuāli.

3.1.5.2 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. 3.11.att.).



3-11.att. Gruntsūdeņu līmeņa novērojumu sistēmas shēma

Gruntsūdeņu līmeņa novērojuma caurules izbūvētas noteiktos attālumos (skat. 3.3. 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.

3.3.tabula Gruntsūdens līmeņa novērošanas PVC cauruļu izbūves statuss

Nr.	Atrašanās vieta Pk+	Materiāls	Stiprības klase	Iekšējais diametrs, mm	Garums, m
1.	03+20	PVC	SN-4	40	2,0
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

3.2 Monitoringa sistēmu analīze

Dabas apstākļus Latvijā nosaka tās ģeogrāfiskais novietojums Austrumeiropas līdzenuma rietumu daļā. Plašās teritorijās raksturīgais līdzenuma reljefs ļauj no dažādām debess pusēm ieplūst atšķirīgām gaisa masām, kas rada straujas laika apstākļu izmaiņas.

Latvijas reljefa pamatformas ir zemienes un augstienes, zemienes aizņem 60%, bet augstienes 40% no valsts teritorijas. Tās atšķiras ar augstumu virs jūras līmeņa un reljefa formu sakopojumu. Reljefa formu sakopojums ir sarežģīta un salikta sistēma, taču tajā pietiekami skaidri nodalās atsevišķas telpiskas vienības, kas kādā noteiktā pētījumu mērogā var tikt uzskatītas par vienotu veselumu.

Par augsni (augšņu virskārtu) kā meža ekosistēmas komponentu uzskata to zemes virskārtas daļu, kurā koncentrējusies lielākā koku un meža dzīvās zemsedzes augu sakņu sistēmas daļa. Augšņu daudzveidība mežos var būt krietni lielāka nekā līdztīgu teritoriju nemeža zemju augšņu daudzveidība. Augsne veidojas vairāku faktoru ietekmē: klimats, cilmiežis, bioloģiskie faktori, reljefs, ūdens režīms, augsnes vecums un cilvēku darbības. Tā ir viens no būtiskākajiem faktoriem, kas ietekmē meža augšanu un attīstību un ir pamats meža augšanas apstākļu tipu dalījumam.

Pēc LVM GEO 2023. gada datiem visvairāk mežu LVM apsaimniekotajās platībās aug uz normāla mitruma minerālaugsnēm - sausieņu meža tipos (turpmāk tekstā - MT) 50%, uz pārmitrām minerālaugsnēm un kūdras augsnēm - 23% (slapjajiem MT – 12% un purvainiem MT – 11%). 27% mežu ir nosusināti, kas liecina par iepriekšējos gadu desmitos veiktās meža meliorācijas apjomu. No visiem mežiem 15 % aug uz nosusinātām minerālaugsnēm – āreņu MT un 12% uz nosusinātām kūdras augsnēm - kūdreņu MT.

Mežu tipoloģisko atšķirību ietekmi nav iespējams ignorēt nevienā no mežizstrādes plānošanas un īstenošanas līmeņiem, t.i., stratēģiska, taktiska un operatīva rakstura norisēm. Mūsdienās to nākas ņemt vērā, plānojot koksnes izejvielu piegādes ķēdes. Starp plānošanas mērķiem viens no svarīgākajiem ir mežsaimnieciskās ražošanas vienmērīguma nodrošināšana kā ilgtermiņā, tā katra atsevišķa gada garumā, un tas ir cieši saistīts ar meža resursu sadalījumu pa meža augšanas apstākļu tipiem.

Pārmitrās apvidus vietas ar kūdras grunti ir viens no lielākajiem izaicinājumiem meža autoceļu būvniecībā un projektēšanā, lai nodrošinātu atbilstoši tehniskajiem parametriem komersanta ceļa būvniecību, kas nodrošina meža apsaimniekošanu un ir ekspluatējams koksnes un citu produktu transportēšanai visu gadu, izņemot šķīdoņa periodu (2 nedēļas). Optimālos mitruma apstākļos meža ceļiem jānodrošina minimālā nestspēja 35 MN/m², veicot uzmērījumus ar krītošā svara deflektometru Zorn ZFG ([map-plans_2022-2026_-2023.pdf\(lvm.lv\)](http://map-plans_2022-2026_-2023.pdf(lvm.lv))).

Mūsdienās, veicot ceļu būvniecību un rekonstrukciju posmos ar vājas nestspējas grunti, tiek izmantotas dažādas grunts pastiprināšanas metodes. Kā iespējamais konstruktīvais risinājums tiek izvēlēti koksnes pāļi kombinācijā ar ģeosintētiskiem materiāliem. Pāļus galvenokārt izmanto vertikālas slodzes pārņemšanai no relatīvi vājas grunts uz grunti noturīgākiem slāņiem dziļāk, tādējādi samazinot slodžu ietekmi uz pamatni.

Lai pārbaudītu izvēlēto koksnes pāļu konstruktīvā risinājuma efektivitāti meža autoceļā “Tēvgāršas ceļa turpinājums” (no PK 2+25 līdz PK 7+75) veikts monitorings ar būvniecības laikā iebūvētām novērojumu sistēmām (3. un 4. pielikums):

- vertikālo deformāciju novērojuma sistēma;
- horizontālo deformāciju novērojuma sistēma;
- grunts spiediena mērīšanas sistēma;
- gruntsūdens līmeņa novērojumu sistēma;
- grunts poru spiediena mērīšanas sistēma.

Pēc sistemātiskas un regulāras mērījumu datu ievākšanas un analīzes iegūta informācija par vertikālo deformāciju intensitāti zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem, horizontālo nobīdi meža autoceļa konstruktīvajam risinājumam ar koksnes pāļiem, ceļa konstrukcijas uzbēruma radītā spiediena izmaiņām uz koksnes pāļu konstrukciju, gruntsūdeņu līmeņa svārstībām koka pāļu izvietojuma daļā un grunts poru spiediena izmaiņām.

Šajā ziņojumā apkopoti monitoringa laikā iegūtie dati no 2022. gada februāra līdz 2024. gada aprīlim. Minētajā laikā posmā bija iespējams novērot ceļa konstrukcijas uzvedību sākot ar būvniecības sākumu un beidzot ar nodošanu ekspluatācijā.

Meža autoceļa “Tēvgāršas ceļa turpinājums” būvniecības un monitoringa laikā ievērtēti klimatiskie un meteoroloģiskie apstākļi kā arī ņemti vērā vides aizsardzības pasākumi. Klimatiskie apstākļi nosaka vispārējo vides raksturu un tendences noteiktā reģionā, savukārt meteoroloģiskie apstākļi sniedz informāciju par konkrēto laika brīdi un vietu.

Būvniecības gaitā ievērtētas visas tehniskajos noteikumos izvirzītās prasības, tai skaitā vides speciālista izsniegtā ietekmes uz vidi vērtējumu. Lai mazinātu nelabvēlīgu ietekmi uz melnā stārķa *Ciconia nigra* aizsardzībai izveidotu mikroliegumu un tā buferzonu, kā arī Eiropas Savienībā īpaši aizsargājamu meža biotopu, būvniecības darbus 201., 203., un 204. kvartālā aizliegts veikt laika periodā no 1. marta līdz 31. augustam.

Ņemot vērā iepriekš minētos faktorus, šajā ziņojumā monitoringa laikā iegūto datu atspoguļošanā uzsvars likts uz sekojošiem periodiem:

- 2022. februāris – 2022. aprīlis;
- 2022. maijs – 2022. jūnijs;
- 2022. jūlijs – 2022. augusts;
- 2022. septembris – 2022. novembris;
- 2023. decembris – 2023. marts;
- 2023. aprīlis – 2023. jūnijs;
- 2023. jūlijs – 2023. augusts;
- 2023. septembris – 2022. novembris;
- 2023. decembris – 2024. aprīlis.

3.2.1 Vertikālo deformāciju analīze

Ceļa konstrukcijas sēšanās ir viena no iespējamām vertikālām deformācijām. Tā notiek, kad ceļa konstrukcijas slāņi pakāpeniski sēžas laika gaitā, izraisot ceļa konstrukcijas deformācijas. Grunts sastāvs un konsistence ir nozīmīgs faktors, kas ietekmē sēšanos. Daži grunts veidi, piemēram, organiskās grunts, ir pakļautas lielākai sēšanās iespējai, jo tās ir mazāk stabilas. Dēļ porainās struktūras kūdras grunts ir labi kompresējams materiāls, kas nozīmē, ka tā ir pakļauta sēšanās procesam, kad tai tiek piemērota spiediena un slodzes ietekme.

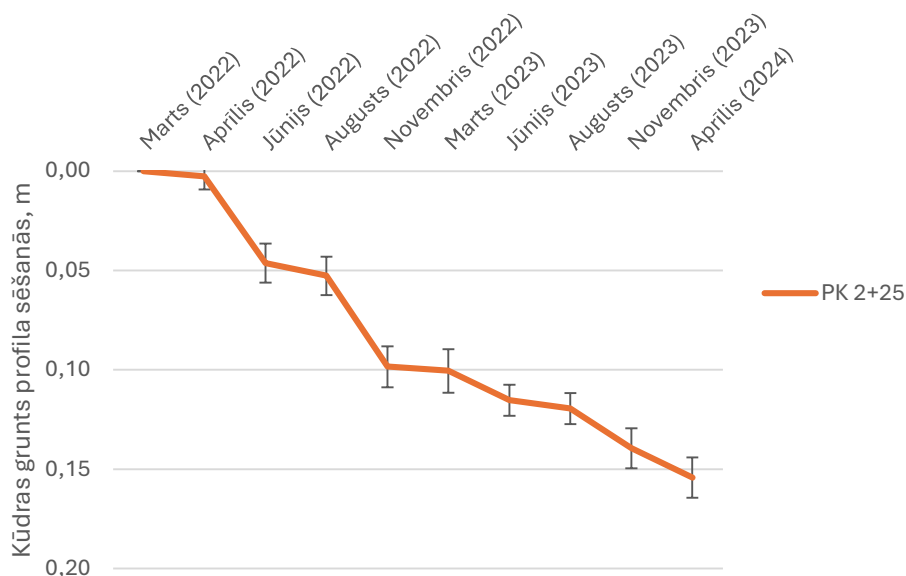
Lai samazinātu vertikālās deformācijas uz kūdras grunts izbūvētām ceļa konstrukcijām, ir svarīgi veikt rūpīgu grunts ģeotehnisko izpēti, lai noteiktu piemērotus konstruktīvos risinājumus meža autoceļa būvniecībā. Tas var ietvert dažādas stabilizācijas metodes piemērotas pamatnes sagatavošanā, izmantojot apaļo kokmateriālu klājumu, koksnes pāļus, ģeosintētiskos materiālus un to kombinācijas, lai nodrošinātu drošu nestspējas balsta struktūru, ja grunts nespēja nav pietiekama. Ir nepieciešams vertikālo deformāciju izvērtējums dažādiem konstruktīviem risinājumiem, lai nākotnē izvēlētos piemērotākus konstruktīvos risinājumus meža autoceļu būvniecībā un nodrošinātu ilgtspējīgu konstrukcijas ekspluatāciju.

Vertikālo deformāciju nolasīšanai izmanto iepriekš iebūvētas 8 un 11 m garas caurules zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem (6. pielikums). Izbūves vietas noteiktas saskaņā ar izstrādāto būvprojektu pie sekojošiem piketiem: PK 2+25 (zem apaļo kokmateriālu klājuma); PK 2+75; PK 3+25; PK 3+75; PK 4+25; PK 4+75; PK 5+25; PK 6+25; PK 6+75; PK 7+25; PK 7+75 (zem ceļa konstrukcijas uzbēruma). Profilogrāfa caurules ir iebūvētas arī 25 m pirms un pēc koksnes pāļu posma, lai iegūtu datus no meža autoceļa posma, kur izmantots cits konstruktīvais risinājums.

Meža autoceļam “Tēvgāršas ceļa turpinājums” vertikālo deformāciju analīzē atsevišķi izdalīti četri ceļa posmi ar trīs dažādiem ceļa konstrukcijas tiem (5. pielikums). Pirmajā posmā no PK 0+00 līdz PK 2+50 saglabāta iebūvētā ceļa konstrukcija, kuras segums papildināts ar 10 cm biezu drupinātas grants slāni. Otrajā posmā no PK 2+50 līdz PK 5+75, veidojot ceļa konstrukciju ar koksnes pāļiem, ceļa trases pārbūvē demontēta iepriekš iebūvētā ceļa sega ar apaļo kokmateriālu klājumu pamatnē. Trešajā posmā no PK 5+75 līdz PK 7+50 veikta koksnes pāļu būvniecība pa jaunu vietu, lai šķērsotu purva nogulumu ieslēgumu. Savukārt ceturtajā posmā no PK 7+50 līdz PK 8+00 ceļa konstrukcija iebūvēta uz esošas grunts ar zemu nestspēju.

Pirmajā posmā zem saglabātās ceļa konstrukcijas ar apaļo kokmateriālu klājumu ceļa segas pamatnē ir iebūvēta viena profilogrāfa caurule vertikālo deformāciju novērojumiem (PK 2+25).

Laika posmā no 2022. gada marta līdz 2024. gada aprīlim kūdras grunts profils nosēdies vidēji par 15,4 cm (3.12. att.). Būtiska kūdras grunts profila sēšanās zem saglabātās ceļa konstrukcijas ar apaļo kokmateriālu klājumu ceļa segas pamatnē novērota laika periodā no aprīļa (2022. g.) līdz jūnijam (2022. g.). Tas skaidrojams ar to ka profilogrāfa caurule vertikālo deformāciju uzmērīšanai tika iebūvēta zem sasalušas ceļa segas un deformācijas sākas pēc ceļa segas pilnīgas atkuššanas. Tālākajā vērtēšanas periodā līdz būvdarbu atsākšanai augustā (2022. g.) nav novērojama būtiska kūdras grunts profila sēšanās. Viens no faktoriem, kas rudenī pēc būvdarbu atsākšanas veicināja kūdras grunts profila pastiprinātu sēšanos zem apaļo kokmateriālu klājuma, ir grunts materiāla transportēšana tālāko ceļa posmu izbūvei. Šajā posmā ceļa konstrukcija ar apaļo kokmateriālu klājumu tika iebūvēta jau 2019. gadā un parasti lielākās deformācijas novērojamas pirmajā gadā, kuras nav atspoguļotas šajā ziņojumā.



3-12.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitāte zem ceļa konstrukcijas ar apaļo kokmateriālu klājumu (PK 2+25).

Vertikālo deformāciju novērojuma vietā līdz 1,9 m ir vidēji labi sadalījusies plūstoši plastiska kūdra. Dziļāk sastopama minerālgrunts – mīksti plastiska mālsmilts (3.13. att.).



Grunts raksturojums:

- līdz 1,90 m kūdra, vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska, tumši brūni pelēka;
- dziļāk mālsmilts, mīksti plastiska.

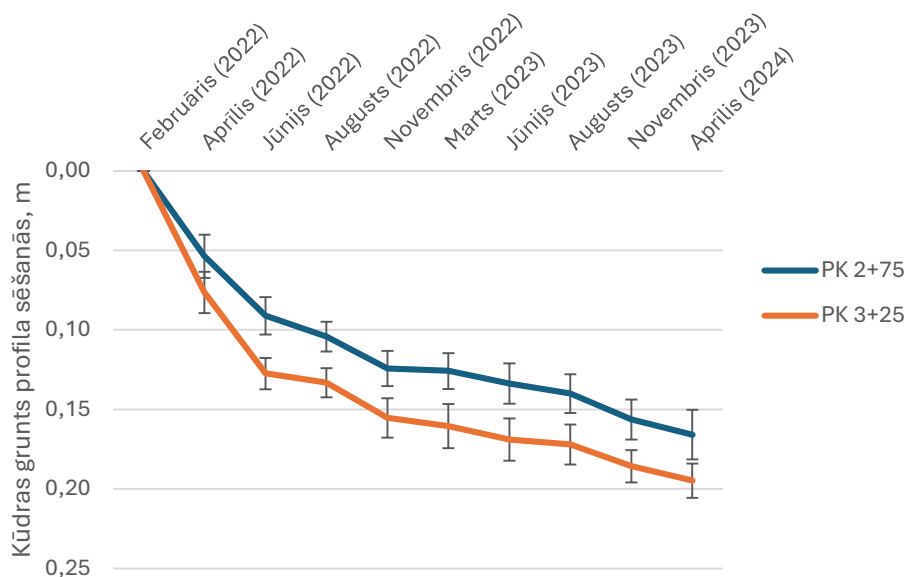
3-13.att. Grunts raksturojums PK 2+25.

Otrajā posmā zem ceļa konstrukcijas uzbēruma koksnes pāļi izbūvēti no PK 2+50 līdz PK 5+75. Pirms pāļu izbūves, zemes klātne tika nolīdzināta, lai pāļu gali virs zemes paliktu vienā līmenī. Koksnes pāļiem izmantoti 4,2 un 5,4 m gari II šķiras egles un priedes zāģbaļķi ar minimālo tievgaļa caurmēru 20 cm (5. pielikums – ceļa klātnes III tips).

Kopumā zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļu galiem ir iebūvētas sešas profilogrāfa caurules vertikālo deformāciju novērojumiem (PK 2+75, PK 3+25, PK 3+75, PK 4+25, PK 4+75, PK 5+25).

Šajā ceļa posmā līdz PK 5+50 pilnīga ceļa konstrukcijas uzbēruma, ceļa segas pamata un ceļa seguma materiāla izbūve veikta līdz 2021. gada beigām. Pēc tam izbūvētā ceļa konstrukcija izmantota tālāko ceļu posmu izbūvēšanai nepieciešamā grunts materiāla transportēšanai.

Monitoringa laikā novērotā kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem PK 2+75 un PK 3+25 zem ceļa konstrukcijas uzbēruma laika posmā no 2022. gada februāra līdz 2024. gada aprīlim attēlota 3.15. att.



3-14.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitāte zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem (PK 2+75 un PK 3+25).

Būtiskākā kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem PK 2+75 novērota pēc ceļa konstrukcijas izbūves laika periodā no februāra (2022. g.) līdz aprīlim (2022. g.). Šajā laika posmā kūdras grunts profils nosēdās pa 5,4 cm. Pavasarī pēc ceļa konstrukcijas uzbēruma atkušanas sēšanās norisinājās līdz jūnijam (2022. g.) vēl par 3,7 cm, kopumā līdz 9,1 cm. Vasarā miera periodā novērojama nebūtiska grunts profila sēšanās, kopumā līdz 10,4 cm. Rudenī būvdarbu veikšanas laikā (2022. g.) kūdras grunts profils starp koksnes pāļiem nosēdās vēl par 2,0 cm, kopumā līdz 12,4 cm. No 2022. gada decembra līdz 2024. gada aprīlim novērojama pakāpeniska kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem, kopumā līdz 16,6 cm.

Būtiskākā kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem PK 3+25 novērota pēc ceļa konstrukcijas izbūves laika periodā no februāra (2022. g.) līdz aprīlim (2022. g.). Šajā laika posmā kūdras grunts profils nosēdās pa 7,6 cm. Pavasarī pēc ceļa konstrukcijas uzbēruma atkušanas intensīva sēšanās norisinājās līdz jūnijam (2022. g.) vēl par 5,1 cm, kopumā līdz 12,7 cm. Vasarā miera periodā novērojama nebūtiska grunts profila sēšanās, kopumā līdz 13,3 cm. Rudenī būvdarbu veikšanas laikā (2022. g.) kūdras grunts profils nosēdās vēl par 2,2 cm, kopumā līdz 15,5 cm. No 2022. gada decembra līdz 2024. gada aprīlim novērojama pakāpeniska kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem, kopumā līdz 19,5 cm.

Balstoties uz ievākto datu kopu tiek prognozēta nebūtiska ceļa konstrukcijas sēšanās arī turpmāk dēļ ceļa konstrukcijas uzbēruma pašsvara radītā sprieguma.

Atšķirīgos sēšanās dziļumus daļēji iespējams skaidrot ar purva nogulumu dziļumu un konsistenci (3.15. un 3.16. att.). Vertikālo deformāciju novērojuma vietā PK 2+75 līdz 2,2 m ir vāji līdz vidēji labi sadalījusies plūstoši plastiska kūdra. Dziļāk sastopama minerālgrunts – mīksti plastiska mālsmilts.



Grunts raksturojums:

- līdz 2,20 m kūdra, vāji līdz vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska, tumši brūni pelēka;
- dziļāk mālsmilts, mīksti plastiska.

3-15.att. Grunts raksturojums PK 2+75.

Savukārt, vertikālo deformāciju novērojuma vietā PK 3+25 līdz 2,7 m ir vidēji labi sadalījusies plūstoši plastiska kūdra. Dziļāk sastopama minerālgrunts – mīksti plastiska mālsmilts.

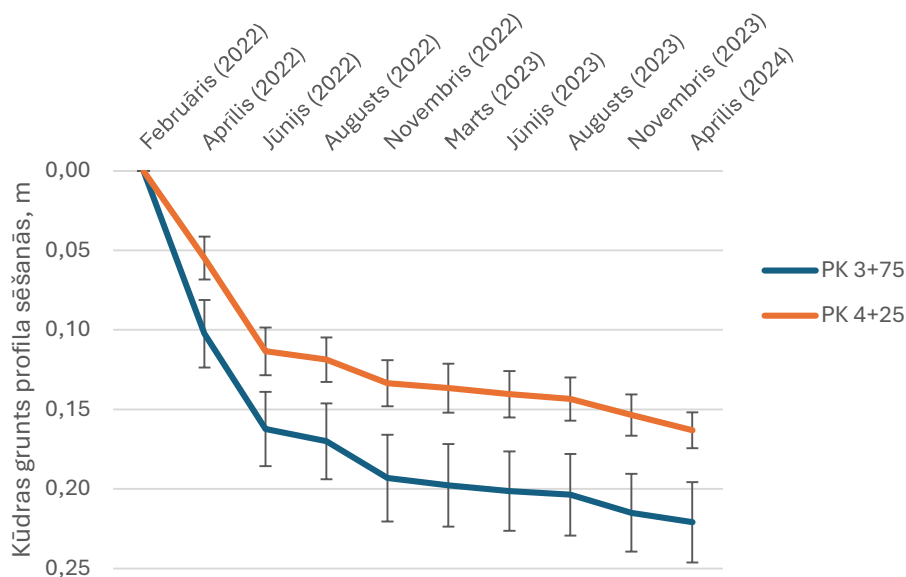


Grunts raksturojums:

- līdz 2,70 m kūdra, vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska, tumši brūni pelēka;
- dziļāk mālsmilts, mīksti plastiska.

3-16.att. Grunts raksturojums PK 3+25.

Monitoringa laikā novērotā kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem PK 3+75 un PK 4+25 zem ceļa konstrukcijas uzbēruma laika posmā no 2022. gada februāra līdz 2024. gada aprīlim attēlota 3.17. att.



3-17.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitāte zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem (PK 3+75 un PK 4+25).

Būtiskākā kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem PK 3+75 novērota pēc ceļa konstrukcijas izbūves laika periodā no februāra (2022. g.) līdz aprīlim (2022. g.). Šajā laika posmā kūdras grunts profils nosēdās pa 10,2 cm. Pavasarī pēc ceļa konstrukcijas uzbēruma atkuššanas intensīva sēšanās turpinājās līdz jūnijam (2022. g.) vēl par 6,0 cm, kopumā līdz 16,2 cm. Vasarā miera periodā novērojama nebūtiska grunts profila sēšanās, kopumā līdz 17,0 cm. Rudenī būvdarbu veikšanas laikā (2022. g.) kūdras grunts profils nosēdās vēl par 2,3 cm, kopumā līdz 19,3 cm. No 2022. gada decembra līdz 2024. gada aprīlim novērojama nebūtiska kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem, kopumā līdz 22,2 cm.

Būtiska kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem PK 4+25 novērota pēc ceļa konstrukcijas izbūves laika periodā no februāra (2022. g.) līdz aprīlim (2022. g.). Šajā laika posmā kūdras grunts profils nosēdās pa 5,5 cm. Pavasarī pēc ceļa konstrukcijas uzbēruma atkuššanas intensīva sēšanās turpinājās līdz jūnijam (2022. g.) vēl par 5,8 cm, kopumā līdz 11,3 cm. Vasarā miera periodā novērojama nebūtiska grunts profila sēšanās, kopumā līdz 11,9 cm. Rudenī būvdarbu veikšanas laikā (2022. g.) kūdras grunts profils nosēdās vēl par 1,4 cm, kopumā līdz 13,3 cm. No 2022. gada decembra līdz 2024. gada aprīlim novērojama nebūtiska kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem, kopumā līdz 16,3 cm.

Pie PK 4+25 novērojama seklāka kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem salīdzinot ar PK 3+75, kas skaidrojama ar vājo biogēno, plastisko un plūstoši plastisko mālsmilts grunšu un plūstošu minerālo dūņu dziļumu (3.18. un 3.19. att.).



- līdz 0,30 m pārrakta grunts - kūdra, melna;
- līdz 1,40 m kūdra, vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska, tumši brūni pelēka (skat. att.);
- līdz 3,40 m minerālās dūņas, plūstošs, pelēkas;
- līdz 3,50 m mālsmilts, plūstoši plastiska, gaiši sārti brūna;
- līdz 3,70 mālsmilts, mīksti plastiska, gaiši sārti brūna;
- līdz 4,30 m morēnas mālsmilts, sīksti plastiska, gaiši pelēki brūna;
- līdz 4,70 m morēnas mālsmilts, puscietā, gaiši pelēki brūna.

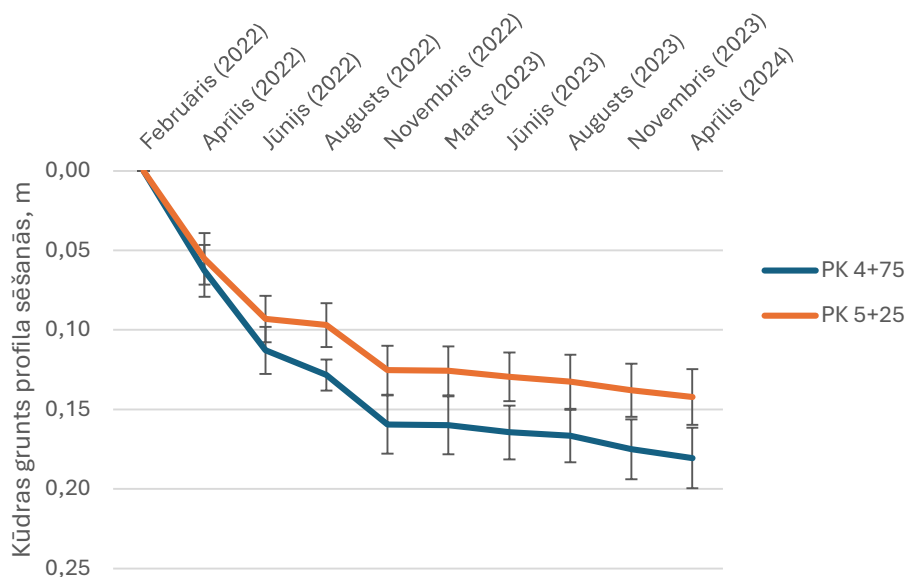
3-18.att. Grunts raksturojums PK 3+75.



- līdz 1,70 m kūdra, vāji līdz vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska, brūna (skat. att.);
- līdz 3,10 m sapropelis, ar dūņu piejaukumu, plūstošs;
- līdz 3,20 m mālsmilts, plūstoši plastiska, gaiši sārti brūna;
- līdz 3,40 mālsmilts, mīksti plastiska, gaiši sārti brūna;
- līdz 4,00 m morēnas mālsmilts, sīksti plastiska, gaiši pelēki brūna;
- līdz 4,40 m morēnas mālsmilts, puscietā, gaiši pelēki brūna.

3-19.att. Grunts raksturojums PK 4+25.

Monitoringa laikā novērotā kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem PK 4+75 un PK 5+25 zem ceļa konstrukcijas uzbēruma laika posmā no 2022. gada februāra līdz 2024. gada aprīlim attēlota 3.20. att.



3-20.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitāte zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem (PK 4+75 un PK 5+25).

Būtiska kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem PK 4+75 novērota pēc ceļa konstrukcijas izbūves laika periodā no februāra (2022. g.) līdz aprīlim (2022. g.). Šajā laika posmā kūdras grunts profils nosēdās pa 6,3 cm. Pavasarī pēc ceļa konstrukcijas uzbēruma atkušanas intensīva sēšanās turpinājās līdz jūnijam (2022. g.) vēl par 5,0 cm, kopumā līdz 11,3 cm. Vasarā miera periodā novērojama nebūtiska grunts profila sēšanās, kopumā līdz 12,8 cm. Rudenī būvdarbu veikšanas laikā (2022. g.) kūdras grunts profils nosēdās vēl par 3,1 cm, kopumā līdz 15,9 cm. No 2022. gada decembra līdz 2024. gada aprīlim novērojama nebūtiska kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem, kopumā līdz 18,1 cm.

Būtiska kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem PK 5+25 novērota pēc ceļa konstrukcijas izbūves laika periodā no februāra (2022. g.) līdz aprīlim (2022. g.). Šajā laika posmā kūdras grunts profils nosēdās pa 5,5 cm. Pavasarī pēc ceļa konstrukcijas uzbēruma atkušanas sēšanās turpinājās līdz jūnijam (2022. g.) vēl par 3,8 cm, kopumā līdz 9,3 cm. Vasarā miera periodā novērojama nebūtiska grunts profila sēšanās, kopumā līdz 9,7 cm. Rudenī būvdarbu veikšanas laikā (2022. g.) kūdras grunts profils nosēdās vēl par 2,8 cm, kopumā līdz 12,5 cm. No 2022. gada decembra līdz 2024. gada aprīlim novērojama nebūtiska kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem, kopumā līdz 14,2 cm.

Atšķirīgos sēšanās dziļumus daļēji iespējams skaidrot ar dažādo purva nogulumu konsistenci un dziļumu. (3.21. un 3.22. att.). Abās novērojumu vietās ir kūdra ar dažādu sadalīšanās pakāpi, kuras dziļums savstarpēji salīdzinot atšķiras. Tāpat atšķiras dziļāko slāņu nogulumi – pie PK 4+75 ir sapropelis ar dūņu piejaukumu, bet pie PK 5+25 ir plūstošs un plastisks sapropelis.



- līdz 1,20 m kūdra, vidēji labi sadalījusies, mīksti plastiska, melna (skat. att.);
- līdz 2,00 m kūdra, vāji līdz vidēji labi sadalījusies, gaiši brūna;
- līdz 2,70 m sapropelis, ar dūņu piejaukumu, plūstošs;
- līdz 4,20 m vidēji rupja smiltis ar rupjas smiltis un grants graudu piejaukumu, vidēji blīva.

3-21.att. Grunts raksturojums PK 4+75.



- līdz 0,50 m kūdra, vidēji labi sadalījusies, plūstoša, tumši brūni pelēka;
- līdz 1,50 m kūdra, vāji sadalījusies, plūstoša, brūna (skat. att.);
- līdz 1,90 m kūdra, labi sadalījusies, vietām ar dūņu piejaukumu, plūstoša, pelēkbrūna;
- līdz 2,30 m sapropelis, plūstošs, zaļi brūns
- līdz 3,00 m Sapropelis, plūstoši plastisks, zaļi brūns;
- līdz 4,00 m smilšmāls, plūstoši plastisks, gaiši pelēkbrūns
- līdz 4,70 m vidēji rupja smiltis ar rupjas smiltis un grants graudu piejaukumu, vidēji blīva.

3-22.att. Grunts raksturojums PK 5+25.

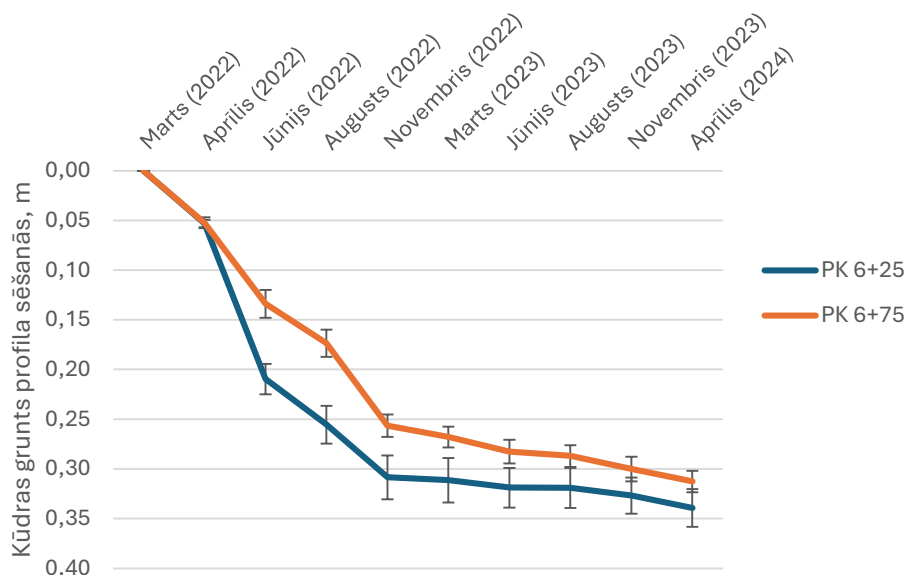
Arī trešajā posmā (no PK 5+75 līdz PK 7+50) koksnes pāļi un ceļa konstrukcijas uzbērums tika izbūvēts pēc 5. pielikumā norādītā III ceļa klātnes tipa shēmas. Tikai šajā gadījumā koksnes pāļu izbūve veikta pa jaunu vietu, lai šķērsotu esošo kūdras ieslēgumu.

Šajā posmā līdz 2022. gada februāra beigām netika līdz galam izbūvēts ceļa konstrukcijas uzbērums virs koksnes pāļiem. Virs koksnes pāļiem tika ieklāta smiltis pāļu galu pārsegšanai un izbūvēts smiltis uzbērums ģeotekstilā, bet netika izbūvēts ceļa segas pamats un segums. Ceļa segas pamata un seguma izbūve tika uzsākta 2022. gada septembrī pēc tehnoloģiskā pārtraukuma.

Kopumā starp koksnes pāļu galiem ir iebūvētas trīs profilogrāfa caurules vertikālo deformāciju novērojumiem (PK 6+25, PK 6+75, PK 7+25). Monitorīnga gaitā iegūtās grunts profila vertikālās deformācijas PK 6+25 un PK 6+75 starp koksnes pāļiem laika posmā no 2022. gada marta līdz 2024. gada aprīlim parādītas 3.23. att.

PK 6+25 pēc smiltis uzbēruma ģeotekstilā izbūves laika periodā no marta (2022. g.) līdz aprīlim (2022. g.) kūdras grunts profils starp koksnes pāļiem nosēdās pa 5,3 cm.

Būtiskākā sēšanās noritēja pavasarī pēc pamatnes grunts atkušanas līdz jūnijam (2022. g.) vēl par 15,7 cm, kopumā līdz 21,0 cm. Vasarā miera periodā novērojama grunts profila sēšanās vēl par 4,5 cm, kopumā līdz 25,5 cm. Rudenī (2022. g.) ceļa segas pamata un seguma izbūves laikā un pēc izbūves kūdras grunts profils nosēdās vēl par 5,3 cm, kopumā līdz 30,8 cm. No 2022. gada decembra līdz 2024. gada aprīlim novērojama nebūtiska kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem, kopumā līdz 33,9 cm.



3-23.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitāte zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem (PK 6+25 un PK 6+75).

PK 6+75 pēc smilts uzbēruma ģeotekstilā izbūves laika periodā no marta (2022. g.) līdz aprīlim (2022. g.) kūdras grunts profils starp koksnes pāļiem nosēdās par 5,2 cm. Būtiskākā sēšanās noritēja pavasarī pēc pamatnes grunts atkušanas līdz jūnijam (2022. g.) vēl par 8,2 cm, kopumā līdz 13,4 cm. Vasarā miera periodā novērojama grunts profila sēšanās vēl par 3,9 cm, kopumā līdz 17,3 cm. Otra būtiskākā sēšanās noritēja rudenī ceļa segas pamata un seguma izbūves laikā un pēc izbūves, kad kūdras grunts profils nosēdās vēl par 8,3 cm, kopumā līdz 25,6 cm. No 2022. gada decembra līdz 2024. gada aprīlim novērojama nebūtiska kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem, kopumā līdz 31,3 cm.

Šajā posmā grunts profila vertikālās deformācijas zem smilts uzbēruma ģeotekstilā rezultējas arī uzbēruma virspusē. 2022. gadā maija mēnesī pēc grunts dziļāko slāņu atkušanas tika novērota straujāka grunts sēšanās intensitāte, kas virspusē rezultējas 9 – 10 cm dziļu iesēdumu veidā starp koksnes pāļiem (3.24. att.).

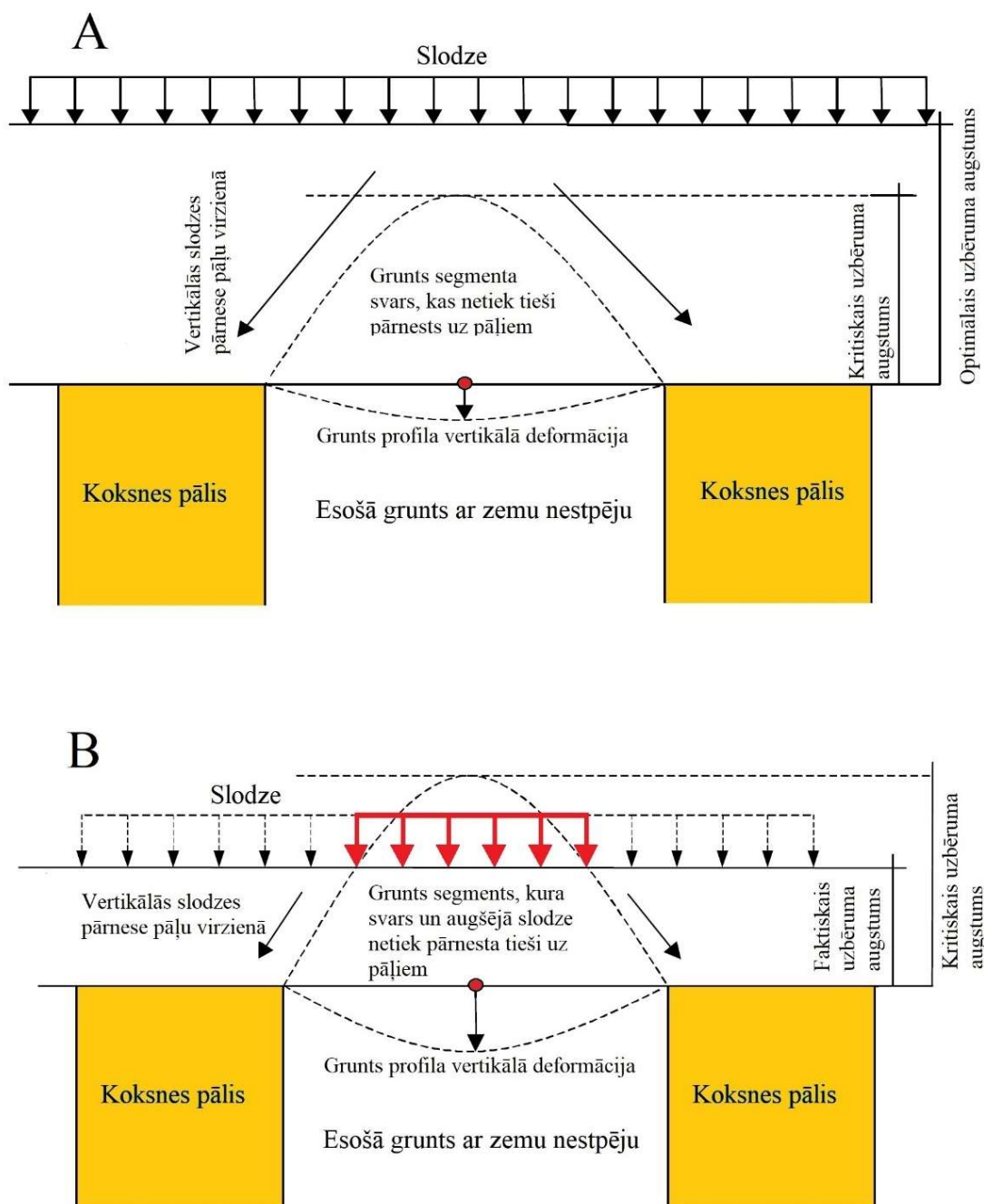


3-24.att. Smilts profila vertikālās deformācijas uzbēruma virspusē.

Smilts profila vertikālās deformācijas uzbēruma virspusē skaidrojamas ar nepabeigtā ceļa konstrukcijas uzbēruma veidošanu virs koksnes pāļiem, kā rezultātā nav sasniegts kritiskais konstrukcijas uzbēruma augstums, kas nodrošinātu arkveida loka pamatprincipu vertikālās slodzes pārnēsē.

Klasiskajā grunts mehānikā pieņem, ka grunts pašsvars un augšējā slodze uz pamatni tiek pārnesta taisni uz leju, bet arkveida loka veidošanās gadījumā slodze tiek pārnesta uz sāniem koksnes pāļu virzienā. Grunts svars un augšējā slodze virs kritiskā uzbēruma augstuma tiek pilnībā pārnesta uz pāļiem. Grunts svars zem “arkas” tiek pārnests uz pāļiem ar stiepes spriegumiem, izmantojot austu ģeotekstilu, stiegrojumā uzbēruma apakšā (skat. 3.25. att. A).

Šis arkveida loka pamatprincips vertikālās slodzes pārnēsē apstiprinās otrajā posmā (PK 02+50 – PK 05+75), kur virs koksnes pāļiem ceļa konstrukcijas uzbēruma augstums pārsniedz kritisko, kā rezultātā nav novērojami lokāli iesēdumi ceļa klātnes profila virspusē.



3-25.att. Arkveida loka pamatprincipi un vertikālās slodzes pārnese:

A – vertikālās slodzes pārnese pāļu virzienā pie optimāla konstrukcijas uzbēruma;

B - vertikālās slodzes pārnese nenodrošinot kritisko konstrukcijas uzbēruma augstumu.

Savukārt trešajā posmā (PK 05+75 – PK 07+50) virs koksnes pāļiem ceļa konstrukcijas uzbēruma augstums nesasniedz kritisko augstumu, kā rezultātā starp koksnes pāļiem novērojami lokāli iesēdumi smilts uzbēruma virspusē. Šajā gadījumā spriegums stiegtumā (skat. 3.25. att. B) var kļūt ievērojami lielāks nekā gadījumā kad tiek nodrošināts arkveida loka pamatprincipi vertikālās slodzes pārnēsē. Neizpildoties arkveida loka pamatprincipam vertikālās slodzes pārnēsē, daļa no augšējās slodzes netiek pārnests tieši uz pāļiem, kā rezultātā veidojas lielākas grunts profila vertikālās deformācijas, kas novērojamas arī grunts uzbēruma virspusē.

Intensīvākā kūdras grunts profila sēšanās starp koksnes pāļiem novērojama pirmajā monitoringa gadā līdz novembrim (izlīdzinās spriegumi ceļa konstrukcijas uzbērumā). Abās novērojumu vietās atšķiras purva nogulumu dziļums un konsistence (3.26. un 3.27. att.).



Grunts raksturojums:

- līdz 0,10 m augsne, dūņaina, tumši pelēka;
- līdz 1,00 m kūdra, vāji sadalījusies, plūstoša, tumši brūni pelēka (skat. att.);
- līdz 1,90 m kūdra, vāji sadalījusies, zāļaina, plūstoša, brūna;
- līdz 2,70 m kūdra, vāji sadalījusies, zāļaina, plūstoši plastiska, brūna;
- līdz 3,20 m sapropelis, ar dūņu piejaukumu, plūstošs, zaļi brūns;
- līdz 4,50 m smilšmāls, plūstošs, gaiši pelēkbrūns;
- līdz 4,70 m morēnas mālsmilts, plūstoši plastiska, gaiši pelēkbrūna;
- līdz 5,00 m morēnas mālsmilts, sīksti plastiska, gaiši pelēkbrūna;
- līdz 5,20 m morēnas mālsmilts, puscietā, gaiši pelēkbrūna.

3-26.att. Grunts raksturojums PK 6+25.

Pētītās vietas (PK 6+25) ģeotehnisko griezumā līdz 4,70 m dziļumam no zemes virsmas viedo vājās biogēnās un plūstošas smilšmāls grūtis. Savukārt PK 6+75 ģeotehniskā griezumā līdz 2,90 m dziļumam no zemes virsmas atrodas biogēnās grūtis – vāji līdz vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska kūdra.



Grunts raksturojums:

- līdz 2,90 m kūdra, vāji līdz vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska, tumši brūni pelēka (skat. att.);
- dziļāk smilšmāls, plūstošs.

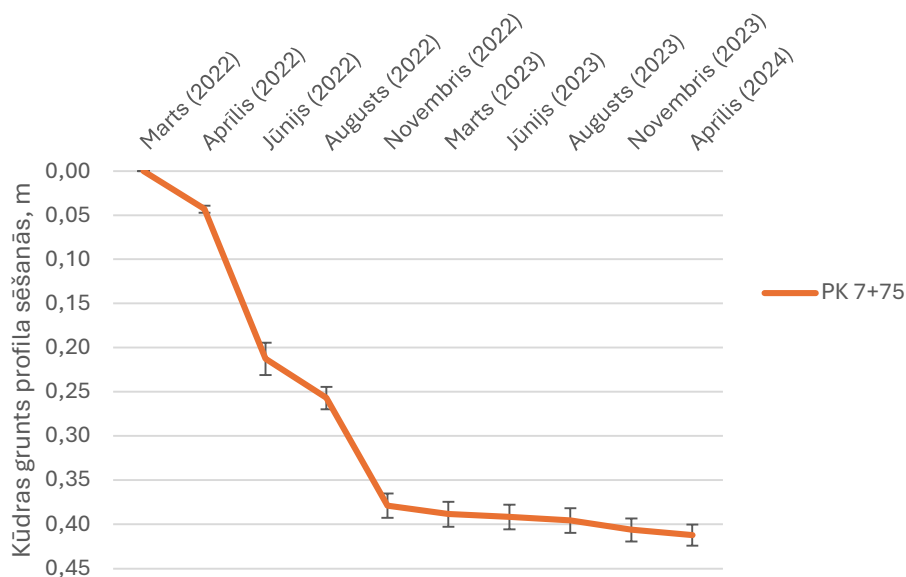
3-27.att. Grunts raksturojums PK 6+75.

PK 7+25 kūdras grunts profila vertikālo deformāciju novērojumi starp koksnes pāļiem veikti 2022. gadā laika posmā no 3. marta līdz 20. aprīlim. Pēc 20. aprīļa dēļ

vertikālās slodzes radītiem profilogrāfa caurules lokāliem izliekumiem nebija iespējams uzmērīt deformācijas ar nepilnus 30 cm garo sensora zondi. Šī iemesla dēļ PK 7+25 kūdras grunts profila vertikālo deformāciju novērojumi nav plašāk izvērtēti.

Ceturtajā posmā no PK 7+50 līdz PK 8+00 ir izbūvēta ceļa konstrukcija uz esošas grunts ar zemu nestspēju (5. pielikums – ceļa klātnes II tips). Līdz 2022. gada 28. februārim tika ieklāts austais ģeotekstils un izbūvēts smilts uzbērums austajā ģeotekstilā. Rudenī (2022. g.) atsākoties būvdarbiem tika ieklāts ceļa segas pamats, ģeorežģis un virs tā ceļa segums.

Monitoringa rezultātā iegūtās grunts profila vertikālās deformācijas PK 7+75 zem ceļa konstrukcijas uzbēruma laika posmā no 2022. gada marta līdz 2024. gada aprīlim parādītas 3.28. att.



3-28.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitāte zem ceļa konstrukcijas ar austu ģeotekstilu (PK 7+75).

PK 7+75 pēc smilts uzbēruma ģeotekstilā izbūves laika periodā no marta (2022. g.) līdz aprīlim (2022. g.) kūdras grunts profils nosēdās par 4,3 cm. Būtiskākā sēšanās noritēja pavasarī pēc pamatnes grunts atkuššanas līdz jūnijam (2022. g.) vēl par 17,0 cm, kopumā līdz 21,3 cm. Vasarā miera periodā novērojama grunts profila sēšanās vēl par 4,4 cm, kopumā līdz 25,7 cm. Otrā būtiskākā sēšanās noritēja rudenī ceļa segas pamata un seguma izbūves laikā un pēc izbūves, kad kūdras grunts profils nosēdās vēl par 12,2 cm, kopumā līdz 37,9 cm. No 2022. gada marta līdz 2024. gada aprīlim novērojama pakāpeniska kūdras grunts profila sēšanās, kopumā līdz 41,2 cm.

Šajā novērojuma vietā (PK 7+75) ģeotehniskā griezumā līdz 2,40 m dziļumam no zemes virsmas atrodas biogēnās gruntis – vāji līdz vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska kūdra (3.29. att.).



Grunts raksturojums:

- līdz 2,40 m kūdra, vāji līdz vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska, tumši brūni pelēka (skat. att.);
- dziļāk smilšmāls, plūstošs.

3-29.att. Grunts raksturojums PK 7+75.

Kūdras grunts profila sēšanās var tikt aprakstīta, izmantojot logaritmiskas funkcijas modeli. Logaritmiskā funkcija ir matemātiska funkcija, kas raksturo ātru sākotnēju pieaugumu, kas pamazām samazinās, līdz funkcija sasniedz stabilu vērtību. Lai izmantotu šo funkciju kūdras grunts sēšanās aprakstīšanai var lietot šādu matemātisko funkciju:

$$s = a \cdot \ln(t) + b, \quad (3.1.)$$

kur

s – sēšanās (vertikālās deformācijas) dziļums (m);

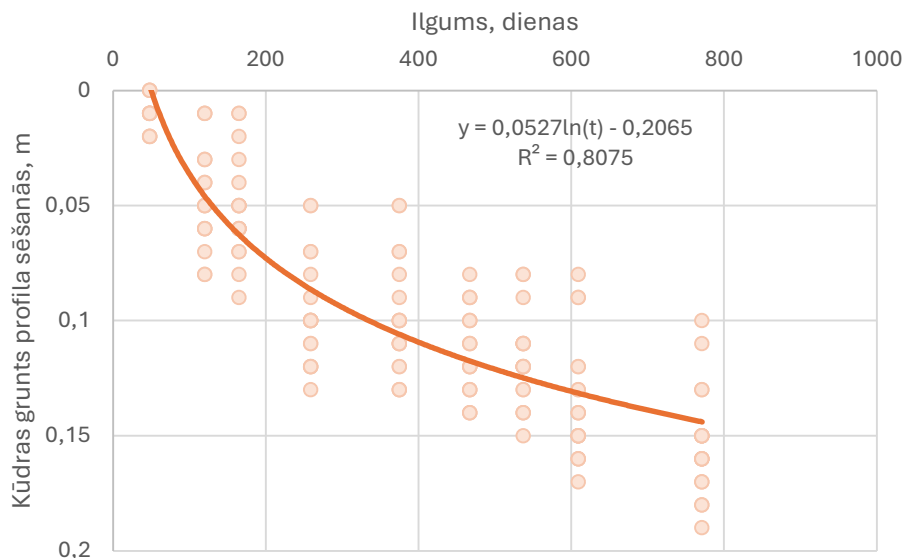
t – laiks kopš sākuma (dienas);

a un b – modeļa koeficienti, kas tiek pielāgoti, lai raksturotu kūdras grunts sēšanās intensitāti dažādās vietās un apstākļos.

Šīs logaritmiskās funkcijas apraksts ļauj iegūt nepieciešamos parametrus, lai novērtētu kūdras grunts sēšanās procesu un prognozētu tā attīstību laika gaitā. Koeficienti a un b tiek noteikti, pamatojoties uz reāliem mērījumiem, kas ļauj aprēķināt un piemērot piemērotus modeļa parametrus konkrētās vietas kūdras grunts īpašībām un apstākļiem.

Ir jāņem vērā, ka šis ir viens no daudziem funkciju modeļiem, kas tiek izmantoti, lai aprakstītu kūdras grunts sēšanās intensitāti, un faktiskais funkcijas modelis var atšķirties atkarībā no konkrētās kūdras grunts īpašībām un apstākļiem. Lai iegūtu precīzākus rezultātus, būtu nepieciešams veikt detalizētu izpēti un analīzi, kas balstās uz konkrētajiem grunts parametriem un laboratorijas testiem.

Kūdras grunts sēšanās intensitāti un tās attīstību laika gaitā zem saglabātās ceļa konstrukcijas ar apaļo kokmateriālu klājumu ceļa segas pamatnē iespējams raksturot ar logaritmisku funkciju (3.30. att.).



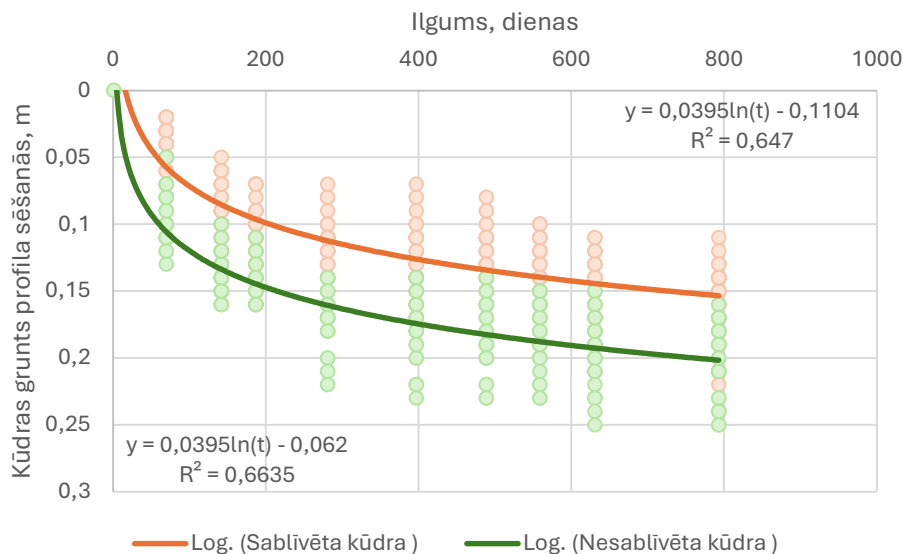
3-30.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitātes tendences likne zem ceļa konstrukcijas ar apaļo kokmateriālu klājumu (PK 2+25).

Šajā gadījumā sākumā novērojams straujš vertikālās deformācijas pieaugums, kas pamazām samazināsies, līdz funkcija sasniegs stabilu vērtību. Pēc šīs tendences var spriest ka ceļa konstrukcijas uzbērums 3,8 gadu laikā nosēdīsies līdz 18 cm. Šajā posmā ceļa konstrukcija ar apaļo kokmateriālu klājumu tika izbūvēta jau 2019. gadā un parasti lielākās deformācijas novērojamas pirmajā gadā, kuras nav atspoguļotas šajā ziņojumā.

Determinācijas koeficients, kas tiek apzīmēts kā R^2 , ir statistisks rādītājs, kas raksturo, cik labi izmantotā logaritmiskā funkcija atbilst faktiskajiem datiem. Tas norāda, cik liela daļa datu variabilitātes tiek skaidrota ar izmantoto funkciju. Šajā gadījumā determinācijas koeficienta vērtība 0,8075 norāda uz to, ka 81% gadījumu sēšanās intensitāti iespējams izskaidrot ar laika periodu kopš sākuma. Atlikušos 19% būtu iespējams izskaidrot ar citiem fona faktoriem, kas sekmē kūdras grunts profila sēšanos zem apaļo kokmateriālu klājuma.

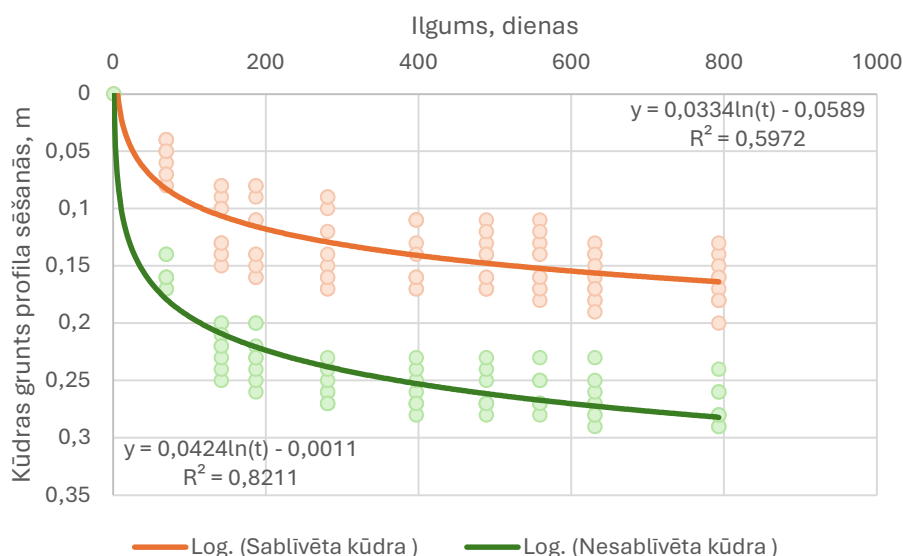
Kūdras grunts profila sēšanās intensitāti un tās attīstību laika gaitā starp koksnes pāļiem ceļa segas pamatnē arī iespējams raksturot ar logaritmisku funkciju no laika vienības. Papildus vērā ņemts arī purva nogulumu dziļums, grunts raksturojums un izvēlēta būvdarbu tehnoloģija, kas sekmēja kūdras grunts sablīvēšanos jau koksnes pāļu dzīšanas laikā.

Objektā tika pieņemts lēmums veikt pāļu dzīšanu, demontējot iepriekš uzbūvēto apaļo kokmateriālu klājumu labajā ceļa trases pusē līdz ceļa asij, bet būvtehnika pāļu izbūves laikā pārvietoja pa apaļo kokmateriālu klājumu ceļa trases kreisajā pusē. Pēc pāļu izbūves ceļa trases labajā pusē tika demontēts apaļo kokmateriālu klājums ceļa trases kreisajā pusē un būvtehnika izbūves darbu laikā pārvietoja pa iepriekš izbūvētiem koksnes pāļiem ceļa trases labajā pusē. Šāda pāļu izbūves tehnoloģiskās shēmas izvēle sekmēja augstāku grunts sablīvēšanās pakāpi ceļa trases labajā pusē, kā rezultātā novērojama arī zemāka grunts sēšanās intensitāte (3.31. un 3.32. att.).



3-31.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitātes tendences likne zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem (purva nogulumu līdz 3 m).

Nepārsniedzot purva nogulumu dziļumam 3 m, pēc logaritmiskās tendences var spriest ka sablīvētas kūdras grunts profils zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem 3 gadu laikā nosēdīsies līdz 17 cm, bet nesablīvētas kūdras grunts profils zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem 3,3 gadu laikā nosēdīsies līdz 22 cm.

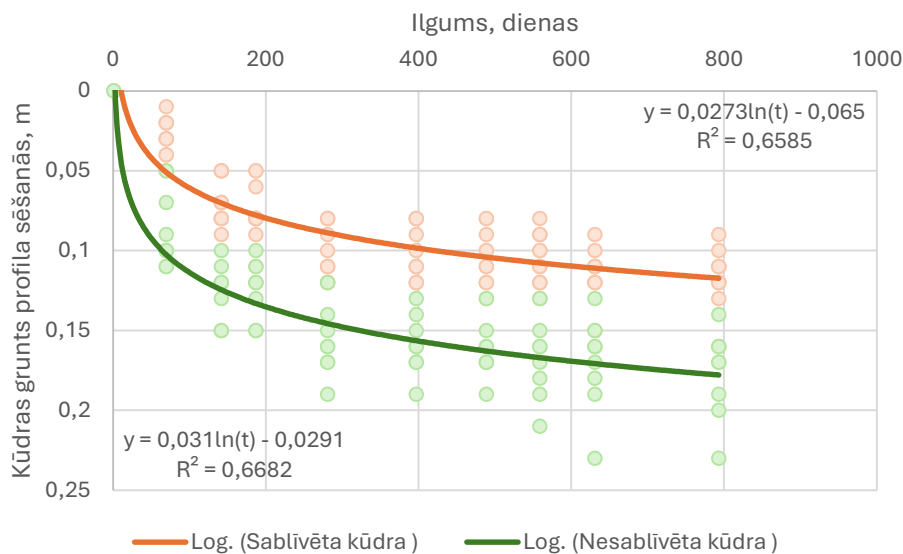


3-32.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitātes tendences likne zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem (purva nogulumu virs 3 m).

Posmos ar purva nogulumu dziļumu virs 3 m, pēc logaritmiskās tendences var spriest ka sablīvētas kūdras grunts profils zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem 3 gadu laikā nosēdīsies līdz 18 cm, bet nesablīvētas kūdras grunts profils zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem 3 gadu laikā nosēdīsies līdz 30 cm.

Šajos koksnes pāļu izbūves posmos dominēja vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska, tumši brūni pelēka kūdra ar mitruma intervālu 600 – 900 %.

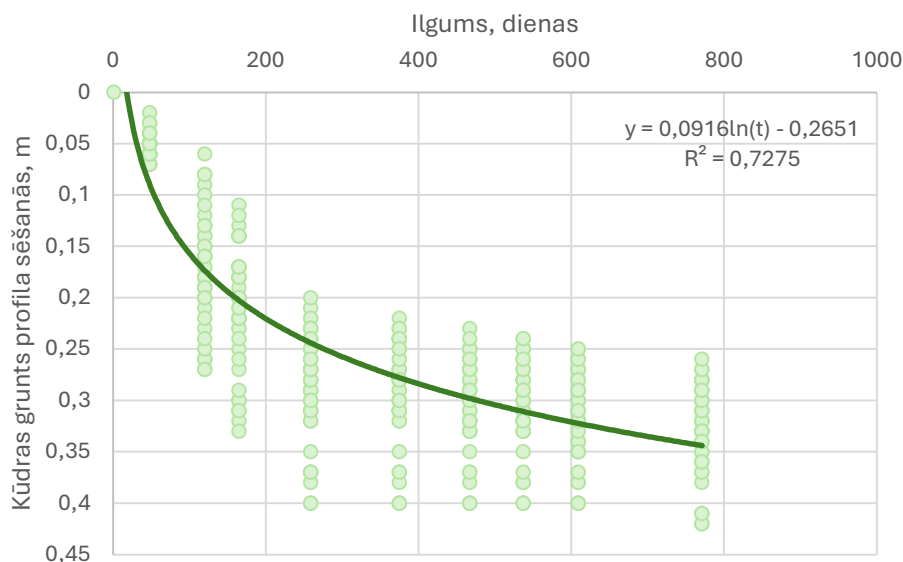
Tālāk apskatīta kūdras grunts profila sēšanās intensitāte posmā, kur dominē vāji sadalījusies, plūstoša, brūna kūdra ar mitruma intervālu 600 – 900 % un kopējais purvu nogulumu dziļums pārsniedz 3 m (3.33. att.)



3-33.att. Vāji sadalījušās kūdras grunts profila sēšanās intensitātes tendences līkne zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem.

Pēc logaritmiskās tendences var spriest ka sablīvētas vāji sadalījušās kūdras grunts profils zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem 2,5 gadu laikā nosēdīsies līdz 12 cm, bet nesablīvētas vāji sadalījušās kūdras grunts profils zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem 2,7 gadu laikā nosēdīsies līdz 19 cm.

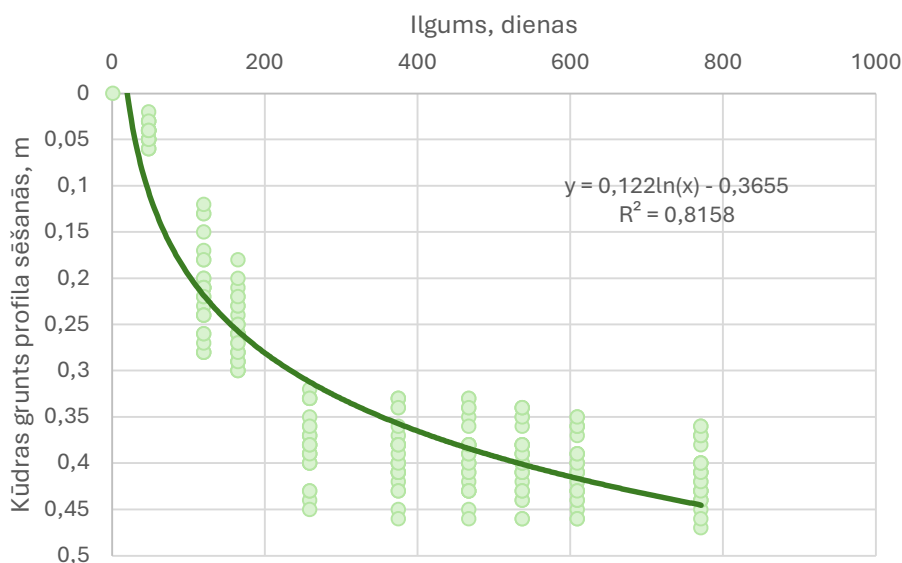
Kūdras grunts profila sēšanās intensitāte posmā (6+25 un 6+75), kur dominē vāji līdz vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska, tumši brūni pelēka kūdra ar mitruma intervālu 900 – 1200 % un kopējais purvu nogulumu dziļums pārsniedz 3 m, attēlota 3.34. att.



3-34.att. Vāji līdz vidēji labi sadalījušās kūdras grunts profila sēšanās intensitātes tendences līkne zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem.

Pēc logaritmiskās tendences var spriest ka vāji līdz vidēji labi sadalījušās kūdras grunts profils zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem 3,8 gadu laikā nosēdīsies līdz 40 cm. Salīdzinoši ilgo un dziļo kūdras grunts profila sēšanos sekmē ģeotehniskā griezumā esošās grunts un to fizikālās un mehāniskās īpašības, piemēram, augsts mitruma rādītājs. Tāpat salīdzinoši augsto sēšanās intensitāti sekmē arī zemā bīdes pretestība, kas atsevišķiem purvu nogulumu slāņiem ir 4 kPa.

Posmā no PK 7+50 līdz PK 8+00 ir izvērtēta sēšanās ceļa konstrukcijai (smilts uzbērumu austajā ģeotekstilā un virs tā ieklāts segas pamats, ģeorežģis un ceļa segums) uz esošas grunts ar zemu nestspēju, kur dominē vāji līdz vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska, tumši brūni pelēka kūdra ar mitruma intervālu 600 – 900 % un kopējais purvu nogulumu dziļums sasniedz 2,4 m (3.35. att.)



3-35.att. Kūdras grunts profila sēšanās intensitātes tendences likne zem ceļa konstrukcijas uzbēruma (smilts ģeotekstilā, segas pamats, ģeorežģis un ceļa segums).

Pēc logaritmiskās tendences var spriest ka kūdras grunts profils zem ceļa konstrukcijas uzbēruma (smilts ģeotekstilā, segas pamats, ģeorežģis un ceļa segums) 5 gadu laikā pakāpeniski nosēdīsies līdz 56 cm.

Purvu nogulumu sēšanās ir cieši saistīta ar kūdras un citu dziļāk esošo grunšu īpašībām, jo to mitrums, blīvums un porainība ietekmē tās stabilitāti un saspiežamību. Ir jāuzsver, ka katras grunts reakcija uz sēšanos var atšķirties atkarībā no tās sastāva, ūdens satura, līmeņa un citiem faktoriem. Tāpēc ir ieteicams veikt konkrētas grunts laboratorisko testēšanu, lai iegūtu precīzāku informāciju par tās sēšanos un noturību (3.4. tab.).

3.4.tabula Grunts īpašību rādītāju pārskats

GTE	Grunts nosaukums	Porainības koeficients	Blīvums, g/cm ³	Mitrums, %	Organika, %	Bīdes pretestība, kPa
		e	ρ _n	W	I	Cu
1-3	Pārrakta grunts - kūdra, melna	14,71-16,20	0,98-1,04	-	-	-
3mp	Kūdra, mīksti plastiska	14,71-16,20	0,98-1,04	595	76,80	-
3p	Kūdra, plūstoša	14,71-16,20	0,98-1,04	686-993	8,07-91,02	4-36
3pp	Kūdra, plūstoši plastiska	14,71-16,20	0,98-1,04	999-1050	-	9
4p	Sapropelis, plūstošs	6,5	1,40	222-397	16,44-28,85	4-15
4pp	Sapropelis, plūstoši plastisks	6,0	1,42	-	-	18
5p	Minerālās dūņas, plūstošas	13,04	1,37	522	40,91	-
8"	Vidēji rupja smiltis, vidēji blīva	0,67	1,99*	-	-	-
10"	Grantaina smiltis, vidēji blīva	0,60	2,02*	-	-	-
14mp	Mālsmitls, mīksti plastiska	0,97	1,85	-	-	15
14pp	Mālsmitls, plūstoši plastiska	1,00	1,90	-	-	8
15p	Smilšmāls, plūstošs	1,15	1,85	-	-	4-7
15pp	Smilšmāls, plūstoši plastisks	1,05	1,90	-	-	14
18pp	Morēnas mālsmitls, plūstoši plastiska	0,75	1,97	-	-	17
18pc	Morēnas mālsmitls, puscietā	0,35	2,30	-	-	300
18sp	Morēnas mālsmitls, sīksti plastiska	0,37	2,25	-	-	180

Viena no kūdras grunts profila sēšanās intensitāti ietekmējošām komponentēm ir kūdras fizikālās īpašības -mitrums, porainība un blīvums. Kūdras mitrums ir būtisks faktors, kas ietekmē citu īpašību raksturlielumus.

Saskaņā ar ģeotehniskās izpētes pārskatu kūdras mitrums izvēlētiem slāņiem svārstās no 595 līdz 1050 %. Pie augstāka kūdras mitruma novērojama arī lielāka kūdras grunts profila sēšanās intensitāte starp koksnes pāļiem.

Porainības koeficients izvēlētiem kūdras slāņiem svārstījās robežās no 14,71 līdz 16,20. Porainība ir apgriezti proporcionāli saistīta ar sadalīšanās pakāpi un zālaugu un koksnes atlieku procentuālo saturu. Palielinoties zālaugu un kokaugu atlieku īpatsvaram, sadalīšanās pakāpe palielinās, bet, palielinoties sūnu atliekām, sadalīšanās pakāpe samazinās.

Blīvums izvērtajos kūdras slāņos svārstās robežās no 0,98 līdz 1,04 g/cm³. Minimālā vērtība novērota kūdrā ar augstāku koksnes atlieku saturu, bet maksimālā vērtība ar augstāku sūnu saturu.

Veicot grunts testēšanu ar spārņingriezi novērtēta bīdes pretestība, kas izvēlētiem kūdras slāņiem svārstījās amplitūdā no 4 līdz 36 kPa. Pie zemākām bīdes pretestības vērtībām novērojama augstāka kūdras grunts profila sēšanās intensitāte zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem.

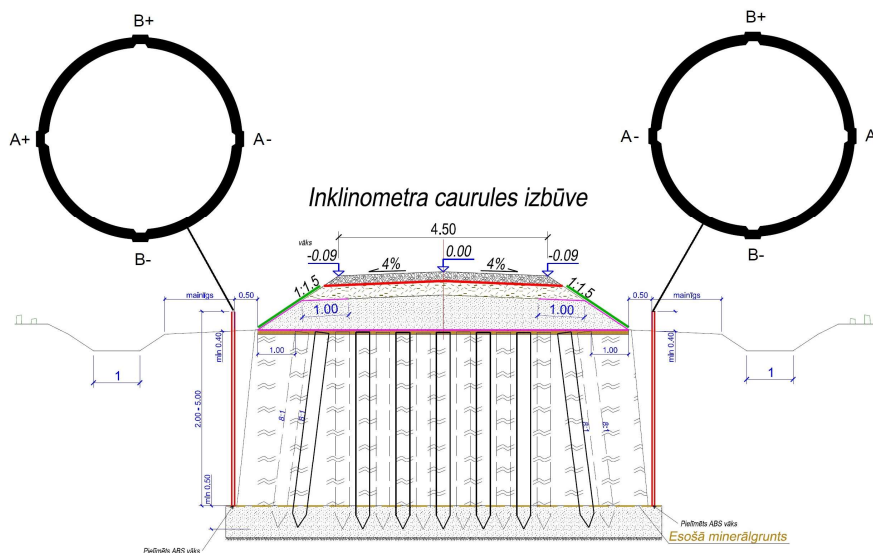
3.2.2 Horizontālo deformāciju analīze

Grunts horizontālo deformāciju novērojumi tiek veikti, lai noteiktu grunts masas pārvietojumu horizontālā plaknē dažādos dziļumos. Šie novērojumi ir nozīmīgi, lai novērtētu grunts stabilitāti meža autoceļu konstruktīvam risinājumam ar koksnes pāļiem. No iegūtajiem empīriskajiem datiem varēs novērtēt, cik efektīvi darbojas izvēlētais koksnes pāļa konstruktīvais risinājums ceļa pamatnē.

Grunts horizontālās deformācijas vai sānisko pārvietošanos dažādos dziļumos var sekmēt dažādi faktori, piemēram, zemes masas svārstības, hidroloģiskie procesi, ceļa konstrukcijas uzbēruma un transportlīdzekļu radītā slodze uz pamatnes grunti.

Monitoringa sistēmā horizontālo deformāciju uzmērīšanai tiek izmantots speciāli izstrādāts mērinstruments – inklinometrs ar 12 speciālām ABS materiāla caurulēm, kas iebūvētas ceļa konstrukcijas labajā un kreisajā pusē (6. pielikums). Izbūves vietas noteiktas saskaņā ar izstrādāto būvprojektu pie sekojošiem piketiem: PK 3+30; PK 4+30; PK 5+30; PK 5+65 (tikai kreisajā pusē); PK 6+10 (tikai labajā pusē); PK 6+30; PK 7+30 (1. un 2. pielikums).

Novērojumi tiek veikti, nolasot inklinometra reģistrētās novirzes no vertikālās ass, pārvietojot portatīvo inklinometra zondi ar ritentiņiem pa ABS materiāla caurulēm ar četrām vadotnēm, kuras veido divas assis, kas orientētas perpendikulāri viena pret otru, veidojot 90° leņķi. Tāpēc, veicot apsekošanu iegūst mērījumus A+ A– virzienā un arī mērījumus B+ B– virzienā. Datu apstrādes laikā šie divi mērījumu komplekti (A+ A– un B+ B–) tiek apvienoti (atņemot vienu mērījumu komplektu no otra). Nolasītie dati tiek reģistrēti un analizēti, lai iegūtu informāciju par horizontālo grunts pārvietošanos vai deformāciju dažādos dziļumos attiecībā pret vertikālo asi A un B virzienā ceļa konstrukcijas labajā un kreisajā pusē (3.36. att.).



3-36.att. Horizontālo deformāciju uzmērīšanas virzieni ar inklinometra zondi.

Horizontālo deformāciju uzmērīšanas sistēmas izbūve pabeigta 2022. gada jūnijā un līdz ar to pirmā mērījumu sērija pret kuru attiecina pārējās mērījumu sērijas turpmākajā novērojuma periodā veikta jūnijā.

Kopumā novērojams, ka grunts masas pārvietojums horizontālā plaknē attiecībā pret vertikālo asi pieaug virzienā no grunts dziļākiem slāņiem zemes virsmas virzienā gan A virzienā, gan B virzienā abās ceļa konstrukcijas pusēs. PK 3+30 ar vērtēšanas dziļumu 2,5 m, grunts masas maksimālais pārvietojums horizontālā plaknē attiecībā pret vertikālo asi monitoringa laikā sasniedz 1,0 cm – ceļa konstrukcijas labajā pusē B virzienā (3.5. tab.).

3.5.tabula Grunts horizontālās deformācijas PK 3+30

Dziļums, m	Horizontālā deformācija A virzienā, cm						Horizontālā deformācija B virzienā, cm					
	Jūn. 2022	Aug. 2022	Nov. 2022	Apr. 2023	Nov. 2023	Apr. 2024	Jūn. 2022	Aug. 2022	Nov. 2022	Apr. 2023	Nov. 2023	Apr. 2024
Kreisā puse												
0,5	0,0	0,2	0,2	0,4	0,6	0,5	0,0	0,1	0,1	0,3	0,5	0,4
1,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,4	0,3	0,0	0,1	0,0	0,2	0,3	0,2
1,5	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1
2,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
2,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Labā puse												
0,5	0,0	0,3	-0,7	-0,9	-0,6	-0,6	0,0	0,0	1,0	0,8	0,9	0,8
1,0	0,0	0,1	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	0,0	-0,1	0,9	0,9	0,8	0,7
1,5	0,0	0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	-0,1	0,3	0,4	0,2	0,2
2,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,2
2,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2

PK 4+30 ar vērtēšanas dziļumu 4,0 m, grunts masas maksimālais pārvietojums horizontālā plaknē attiecībā pret vertikālo asi monitoringa laikā sasniedz -0,9 cm – ceļa konstrukcijas labajā pusē B virzienā (3.6. tab.).

3.6.tabula Grunts horizontālās deformācijas PK 4+30

Dziļums, m	Horizontālā deformācija A virzienā, cm						Horizontālā deformācija B virzienā, cm					
	Jūn. 2022	Aug. 2022	Nov. 2022	Apr. 2023	Nov. 2023	Apr. 2024	Jūn. 2022	Aug. 2022	Nov. 2022	Apr. 2023	Nov. 2023	Apr. 2024
Kreisā puse												
0,5	0,0	0,2	-0,4	-0,6	-0,6	-0,6	0,0	-0,1	-0,2	0,2	0,4	0,4
1,0	0,0	0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1
1,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1
2,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,3	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1
2,5	0,0	0,0	0,3	0,3	0,4	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
3	0,0	0,0	0,3	0,2	0,4	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
3,5	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
4	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Labā puse												
0,5	0,0	0,0	0,3	-0,5	-0,3	-0,3	0,0	-0,2	-0,5	-0,8	-0,9	-0,9
1,0	0,0	0,0	0,2	-0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,5	-0,5	-0,7	-0,8
1,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,4	-0,3	-0,6	-0,6
2,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	-0,3	-0,2	-0,4	-0,5
2,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	-0,2	-0,1	-0,4	-0,4
3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,3
3,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1

PK 5+30 ar vērtēšanas dziļumu 4,0 m, grunts masas maksimālais pārvietojums horizontālā plaknē attiecībā pret vertikālo asi monitoringa laikā sasniedz 1,4 cm – ceļa konstrukcijas kreisajā pusē A virzienā (3.7. tab.).

3.7.tabula Grunts horizontālās deformācijas PK 5+30

Dziļums, m	Horizontālā deformācija A virzienā, cm						Horizontālā deformācija B virzienā, cm					
	Jūn. 2022	Aug. 2022	Nov. 2022	Apr. 2023	Nov. 2023	Apr. 2024	Jūn. 2022	Aug. 2022	Nov. 2022	Apr. 2023	Nov. 2023	Apr. 2024
Kreisā puse												
0,5	0,0	0,4	0,6	1,0	1,3	1,1	0,0	0,0	0,3	-0,1	0,6	0,5
1,0	0,0	0,3	0,6	0,9	1,4	1,2	0,0	0,1	0,3	0,2	0,5	0,4
1,5	0,0	0,2	0,6	0,8	1,2	1,0	0,0	0,1	0,4	0,4	0,6	0,5
2,0	0,0	0,1	0,6	0,7	1,1	0,9	0,0	0,1	0,4	0,4	0,6	0,5
2,5	0,0	0,1	0,5	0,6	0,9	0,8	0,0	0,1	0,4	0,4	0,5	0,5
3	0,0	0,0	0,4	0,4	0,7	0,6	0,0	-0,1	0,3	0,3	0,4	0,4
3,5	0,0	0,0	0,2	0,3	0,4	0,3	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	0,2
4	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Labā puse												
0,5	0,0	0,3	0,1	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	-0,1	0,1	0,1	0,3	0,2
1,0	0,0	0,2	0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,1	0,0
1,5	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1
2,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,2	-0,2
2,5	0,0	-0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,2
3	0,0	-0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,2
3,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1

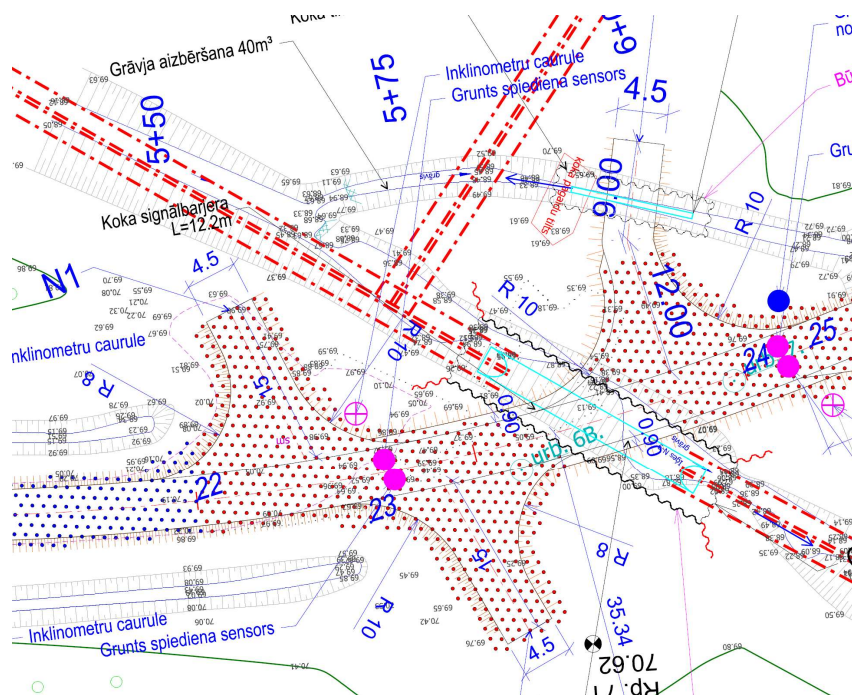
Iepriekš apskatītos koksnes pāļu izbūves posmos dominēja vāji sadalījusies, brūna vai vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska, tumši brūni pelēka kūdra ar mitruma intervālu 600 – 900 % un kopējais purvu nogulumu dziļums nepārsniedz 3,40 m. Šādos apstākļos grunts masas maksimālais pārvietojums horizontālā plaknē attiecībā pret vertikālo asi monitoringa laikā nepārsniedz 1,4 cm.

PK 5+65 inklinometra ABS materiāla caurule iebūvēta ceļa kreisajā pusē, bet PK 6+10 inklinometra ABS materiāla caurule iebūvēta ceļa labajā pusē. Ar vērtēšanas dziļumu 4,5 m, grunts masas maksimālais pārvietojums horizontālā plaknē attiecībā pret vertikālo asi PK 5+65 monitoringa laikā sasniedz sasniedz 8,5 cm B virzienā, bet PK 6+10 – 3,8 cm A virzienā (3.8. tab.). Šajās izpētes vietās dominē vāji līdz vidēji labi sadalījusies kūdra ar mitruma intervālu 900 – 1200 % un kopējais purvu nogulumu dziļums sasniedz 4,7 m.

3.8.tabula Grunts horizontālās deformācijas PK 5+65 un PK 6+10

Dziļums, m	Horizontālā deformācija A virzienā, cm						Horizontālā deformācija B virzienā, cm					
	Jūn. 2022	Aug. 2022	Nov. 2022	Apr. 2023	Nov. 2023	Apr. 2024	Jūn. 2022	Aug. 2022	Nov. 2022	Apr. 2023	Nov. 2023	Apr. 2024
Kreisā puse (PK 5+65)												
0,0	0,0	0,1	1,7	2,1	2,5	3,5	0,0	0,4	5,6	7,1	8,5	6,7
0,5	0,0	0,1	1,3	1,7	1,9	2,9	0,0	0,3	4,0	5,1	6,2	4,6
1,0	0,0	0,0	1,2	1,4	1,7	2,5	0,0	0,2	3,1	3,8	4,6	3,1
1,5	0,0	0,0	1,2	1,4	1,7	2,4	0,0	0,1	2,7	3,0	3,6	2,2
2,0	0,0	0,0	1,1	1,4	1,6	2,2	0,0	0,1	2,4	2,5	2,9	1,7
2,5	0,0	0,0	1,0	1,2	1,4	1,9	0,0	0,1	2,0	2,0	2,3	1,3
3	0,0	0,0	0,8	1,0	1,2	1,6	0,0	0,0	1,5	1,6	1,8	1,0
3,5	0,0	0,0	0,6	0,8	0,9	1,2	0,0	0,0	1,1	1,1	1,3	0,7
4	0,0	0,0	0,4	0,5	0,5	0,8	0,0	0,0	0,6	0,7	0,8	0,4
4,5	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,3	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,1
Labā puse (PK 6+10)												
0,0	0,0	-0,5	-1,9	-2,1	-3,8	-3,3	0,0	0,7	2,0	1,7	3,2	2,5
0,5	0,0	-0,4	-1,5	-1,6	-2,7	-2,4	0,0	0,5	1,6	1,5	2,4	2,0
1,0	0,0	-0,3	-1,2	-1,1	-1,7	-1,6	0,0	0,3	1,2	1,1	1,6	1,4
1,5	0,0	-0,2	-0,9	-0,9	-1,1	-1,0	0,0	0,2	1,0	0,9	1,1	0,9
2,0	0,0	-0,1	-0,8	-0,8	-0,9	-0,8	0,0	0,1	0,8	0,7	0,9	0,7
2,5	0,0	-0,1	-0,8	-0,8	-0,9	-0,8	0,0	0,0	0,7	0,7	0,8	0,7
3	0,0	0,0	-0,6	-0,7	-0,8	-0,7	0,0	0,0	0,6	0,6	0,7	0,6
3,5	0,0	0,0	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	0,0	0,0	0,4	0,4	0,5	0,4
4	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	0,2
4,5	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1

Maksimālais grunts masas horizontālais pārvietojums pret vertikālo asi 8,5 cm pie zemes virsmas atzīmes B virzienā PK 5+65 nav tieši saistīts reālu grunts un ceļa konstrukcijas pārvietošanos horizontālajā plaknē. Šo palielinājumu sekmēja nobrauktuves N – 1 izbūve PK 5+60 pa kreisi (3.37. att.), kuras nogāze noslogoja inklinometra ABS materiāla cauruli B virzienā. Pēc būvdarbu pabeigšanas 2023. gada oktobrī uz 2024. gada aprīli grunts masas maksimālais pārvietojums horizontālā plaknē attiecībā pret vertikālo asi ir samazinājies līdz 6,7 cm.



3-37.att. Inklinometra ABS materiāla caurule pie nobrauktuves N - 1.

PK 6+30 ar vērtēšanas dziļumu 4,0 m, grunts masas maksimālais pārvietojums horizontālā plaknē attiecībā pret vertikālo asi monitoringa laikā sasniedz -1,4 cm – ceļa konstrukcijas labajā pusē B virzienā (3.9. tab.).

3.9.tabula Grunts horizontālās deformācijas PK 6+30

Dziļums, m	Horizontālā deformācija A virzienā, cm						Horizontālā deformācija B virzienā, cm					
	Jūn. 2022	Aug. 2022	Nov. 2022	Apr. 2023	Nov. 2023	Apr. 2024	Jūn. 2022	Aug. 2022	Nov. 2022	Apr. 2023	Nov. 2023	Apr. 2024
Kreisā puse												
0,0	0,0	-0,2	0,2	0,1	-0,1	-0,3	0,0	-0,1	0,1	0,2	-0,1	-0,1
0,5	0,0	-0,2	0,2	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,2	0,2	0,0	0,0
1,0	0,0	-0,2	0,3	0,1	0,2	0,0	0,0	-0,1	0,2	0,2	0,1	0,0
1,5	0,0	-0,2	0,4	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,2	0,0
2,0	0,0	-0,2	0,4	0,2	0,4	0,1	0,0	-0,1	0,3	0,3	0,3	0,1
2,5	0,0	-0,1	0,4	0,2	0,3	0,2	0,0	0,0	0,2	0,1	0,3	0,1
3	0,0	-0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,1
3,5	0,0	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Labā puse												
0,0	0,0	0,1	0,5	0,4	0,2	0,7	0,0	-0,3	-0,3	-0,2	-1,1	-1,4
0,5	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,5	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	-0,9	-1,0
1,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	-0,7	-0,7
1,5	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	0,3	0,0	-0,1	-0,3	-0,2	-0,6	-0,4
2,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,4	0,3	0,0	0,0	-0,3	-0,2	-0,5	-0,3
2,5	0,0	-0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,0	0,0	-0,2	-0,1	-0,3	-0,2
3	0,0	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1
3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Savukārt pie PK 7+30 maksimālais grunts horizontālais pārvietojums attiecībā pret vertikālo asi monitoringa laikā sasniedz -0,7 cm – ceļa konstrukcijas labajā pusē A virzienā (3.10. tab.).

3.10.tabula Grunts horizontālās deformācijas PK 7+30

Dziļums, m	Horizontālā deformācija A virzienā, cm						Horizontālā deformācija B virzienā, cm					
	Jūn. 2022	Aug. 2022	Nov. 2022	Apr. 2023	Nov. 2023	Apr. 2024	Jūn. 2022	Aug. 2022	Nov. 2022	Apr. 2023	Nov. 2023	Apr. 2024
Kreisā puse												
0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	-0,1	0,1	0,4	0,5
0,5	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,2
1,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Labā puse												
0,0	0,0	0,0	-0,7	-0,4	-0,6	-0,4	0,0	-0,3	0,3	0,0	0,1	-0,2
0,5	0,0	0,0	-0,3	-0,3	-0,4	-0,2	0,0	-0,2	0,2	-0,1	0,0	-0,1
1,0	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1

Visās izbūves vietās grunts masas horizontālam pārvietojumam attiecībā pret vertikālo asi ir tendence pieaug virzienā no grunts dziļākiem slāņiem zemes virsmas virzienā gan A virzienā, gan B virzienā abās ceļa konstrukcijas pusēs. Grunts masas maksimālais horizontālais pārvietojums attiecībā pret vertikālo asi nepārsniedz -3,8 cm, izņemot PK 5+65 (kreisā puse).

Meža autoceļa “Tēvgāršas ceļa turpinājums” būvniecībā realizēts būvprojektā pieņemtais risinājums koksnes pāļus izbūvēt pēc trijstūrveida shēmas ar izvietouma soli 1 metrs starp pāļiem un malējo trīsstūru veidojušās rindas slīpumā 1:8 (12,5°). Būvprojektā izvēlētais risinājums (3. pielikums – ceļa klātnes III tips) minimizēja grunts masas pārvietojumu horizontālā plaknē.

3.2.3 Gruntsūdens līmeņa analīze

Viena no koksnes pāļu iezīmēm ir to bioloģiskā sabrukšana. Koksnes pāļi trupē virs gruntsūdens līmeņa. Projektēšanā un būvniecībā jāņem vērā pāļu sabrukšanas iespēja un jāsekmē 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.

Viens no ceļa konstruktīvā risinājuma ar koksnes pāļiem ilgtspējību ietekmējošajiem faktoriem ir gruntsūdeņu līmeņa izmaiņas, un līdz ar to nepieciešama gruntsūdeņu līmeņa novērošanas sistēma, kas ļauj reģistrēt faktisko gruntsūdens līmeni. Monitoringa ietvaros gruntsūdens līmeņa svārstības novērtētas visa gada garumā koksnes pāļu izbūves daļā (3. un 4. pielikums).

Gruntsūdens līmenis slapjā apvidus vietās vairumā gadījumu ir tuvu zemes virsmai, tādēļ urbumu kontruktīvais risinājums visiem urbumiem ir identisks. Visiem 8 urbumiem izmantotas 2,5 – 3,5 m garas un 40 mm diametra PVC caurule ar stiprības klasi SN-4, no kuras ~0,5 m atstāta zemes virspusē, bet caurules apakšējā daļā izvietots 1 m garš perforēts

filtru. Gruntsūdeņu līmeņa novērojuma caurules izbūvētas noteiktos attālumos ceļa klātnes konstrukcijas kreisajā pusē uz ceļa plaukta (6. pielikums).

Ceļa posmos, kur gruntsūdeņu līmeņa svārstības apkārt esošā teritorijā ir lielas, jāņem vērā, ka gruntsūdeņu līmeņa izmaiņām nav tik kritiskas ietekmes uz koksnes pāļu saglabāšanos kā pastāvīga gruntsūdens līmeņa pazemināšanās. Ievērojot to, ka kokmateriāls labi saglabājas, ja tas nepārtraukti un pilnīgi atrodas ūdenī, pāļu augšgals būtu jānovieto vismaz 0,5 m zemāk nekā viszemākais gruntsūdens līmenis. Ja koksnes pāļu augšējie gali atrodas māla slānī, tad pazeminoties gruntsūdens līmenim, dēļ māla grunts kapilaritātes tie atradīsies mitrā stāvoklī un ilgi noturēs ūdeni.

Pētniecības objekta projektēšanā un būvniecībā netika paredzēta koksnes pāļu galu ievietošana māla slānī. Šādu risinājumu parasti izvēlas koksnes pāļu izbūvē uz mālainām gruntīm. Koksnes pāļu izbūves procesā no PK 02+50 līdz PK 07+50 pirms pāļu izbūves, zemes klātni nolīdzināja, lai pāļu gali virs zemes būtu vienā līmenī. Lai atvieglotu izvēlēta ceļa konstrukcijas uzbūruma izbūves tehnoloģisko procesu, pāļu gali tika pārklāti ar 10 cm biezu smilts slāni. Šajā gadījumā koksnes pāļu gali neatrodas zem patstāvīga gruntsūdens līmeņa un līdz ar to projektēšanas un būvniecības laikā rastie risinājumi var būtiski ietekmēt koksnes pāļu kalpošanas laiku. Jāņem vērā pāļu trupēšanas un sabrukšanas iespēja virs patstāvīga gruntsūdens līmeņa.

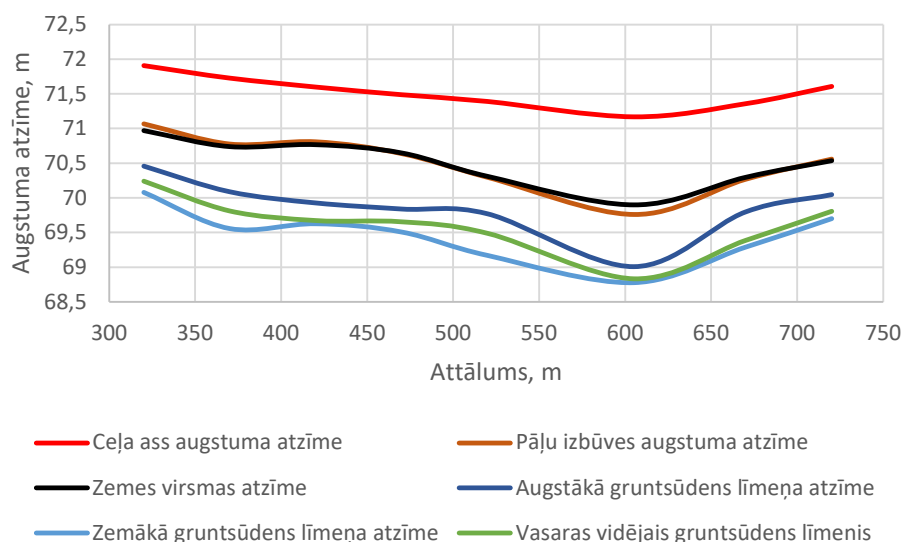
Pie gruntsūdens līmeņa svārstību cēloņiem var pieskaitīt:

- nokrišņu infiltrāciju, virsūdeņu infiltrāciju un dziļāko spiedūdeņu pieplūdumu gruntsūdeņu horizontam;
- gaisa mitruma daudzuma izmaiņas – jo mazāks mitrums, jo lielāka iztvaikošana – un otrādi;
- barometriskā spiediena izmaiņas: spiedienam pieaugot, gruntsūdens līmenis pazeminās – un otrādi;
- temperatūras maiņas, kas ietekmē gāzu spiedienu augsnē, tvaiku kondensāciju un kapilāro spriegumu: temperatūrai ceļoties, gruntsūdens līmenis ceļas – un otrādi;
- ūdens teču un tilpņu līmeņa svārstības, kuru ietekme uz pieguļošajiem pazemes ūdeņu horizontiem samazinās līdz ar attāluma palielināšanos;
- mākslīgos faktorus, piemēram, zemju meliorācija.

Gruntsūdeņiem ir raksturīga pastāvīga kustība. Tie smaguma spēka ietekmē pārvietojas no augstākām vietām uz zemākām vietām. Tajās vietās, kur ūdens nesējslāņi šķērso negatīvās reljefa formas, piemēram, ūdensteces, notiek tā saucamā gruntsūdens plūsmas atslodze. Gruntsūdens līmenis, tuvojoties atslodzes vietai, pazeminās, un veidojas depresijas līkne.

Depresijas līkne ir līnija, ko veido gruntsūdens virsma grunts vertikālajā griezumā ūdens plūsmas virzienā un kas atbilst gruntsūdens līmeņa stāvoklim noteiktajā vietā. Depresijas līkne sevišķi krasi izteikta ūdensteču, grāvju un citu tamlīdzīgu drenējošu objektu tuvumā, kur noris intensīva gruntsūdens noplūšana.

Posmā no PK 3+70 līdz PK 6+70, kā būtiskāko gruntsūdens līmeņa svārstību cēloni var izdalīt valsts nozīmes ūdensnoteku Iģes N-9 (PK 5+86) un meža meliorācijas sistēmas novadgrāvi (PK 4+00), kuru ietekme uz pieguļošajiem pazemes ūdeņu horizontiem samazinās, palielinoties attālumam. Gruntsūdens dziļums pie Iģes N-9 (PK 6+05) novērojuma periodā no zemes virsas atzīmes svārstījās robežās no 1,12 līdz 0,89 m. Palielinoties attālumam no ietekmes zonas gruntsūdens līmeņa svārstību amplitūda samazinās (3.38. att.).



3-38.att. Gruntsūdens līmeņa svārstību amplitūda no PK 3+20 līdz PK 7+20.

Patstāvīgs gruntsūdens dziļums vietās (PK 3+20 un PK 7+20), kur gruntsūdens līmeni tieši neietekmē valsts nozīmes ūdensnotekas Iģes N-9 un meža meliorācijas sistēmas novadgrāvja ietekmes zona, novērojuma periodā no zemes virsas atzīmes svārstījās robežās no 0,49 līdz 0,89 m.

Par pamatu ņemot vasaras vidējo gruntsūdens līmeni, posmā no PK 3+20 līdz PK 7+20 koksnes pāļu augšējā daļa (0,75 – 1,15 m) atrodas virs patstāvīga gruntsūdens līmeņa un līdz ar to projektēšanas un būvniecības laikā rastie risinājumi var būtiski ietekmēt koksnes pāļu kalpošanas laiku, ņemot vērā pāļu trupēšanas sabrukšanas iespējamību.

Klasiskajā meža autoceļu būvniecībā pārmitrās un slapjās apvidus vietās ir paredzēts veidot ceļa sāngrāvjus un atjaunot meliorācijas grāvjus, bet, lai nodrošinātu anaerobu vidi koksnes pāļiem, būtu jāizvairās no ceļa sāngrāvju projektēšanas un būvniecības. Ceļa konstruktīvais risinājums bez sāngrāvjiem nodrošinātu apstākļus, kuros koksnes pāļu augšējie gali atrastos zem patstāvīga gruntsūdens līmeņa.

Lai nodrošinātu optimālus ekspluatācijas apstākļus koksnes pāļiem, tie būtu jāiebūvē 40 – 50 cm zem zemes virsas atzīmes, veicot kūdras grunts virskārtas noņemšanu jo purvainā apvidus virskārtā var iestāties mitruma trūkums, kad ūdens līmenis kūdrā pazeminās, līdz 40 – 50 cm dziļumam. Šādos gadījumos pārtraucas arī purva ūdeņu kapilārā iztvaikošana, tā noris tikai tad, ja ūdens līmenis ir seklāk par 30 cm.

Sevišķa nozīme ūdens līmeņa nodrošināšanai ir kūdrāja virsējam horizontam, ko sauc par segšņiem. Segšņu biezums sasniedz apmēram 0,5 m. Virsējā darbīgajā slānī salīdzinājumā ar dziļāko kārtu kūdras masu notiek sevišķi intensīva ūdens apmaiņa – nokrišņu infiltrācija un ūdens iztvaikošana. Segšņu darbīgais slānis ir savdabīgs ūdens regulētājs no augu atliekām, ko veido kūdra ar lieliem poru diametriem. Šīs īpašības dēļ ūdens kapilārās pacelšanās augstums segšņos parasti nepārsniedz 30 cm. Turklāt vēl segšņu slānim piemīt siltuma izolētāja īpašības, kas pasargā dziļākos kūdras slāņus no sasilšanas. Tādējādi segšņi labi aizsargā purvaino apvidu no ūdens zudumiem iztvaikojot. Segšņu slānim mazā blīvuma un daudzo lielo poru dēļ ir ļoti liela ūdenscaurlaidība. No tā izriet, ka nokrišņu ūdens visai strauji iesūcas dziļākos slāņos un ātri sasniedz tā apakšējo robežu. Pie šīs robežas ļoti krasi samazinās kūdras ūdenscaurlaidība, jo kūdra zem segšņiem ir daļēji sadalījusies un sablīvējusies. Ūdenscaurlaidības kraso atšķirību dēļ, kas pastāv purvainos apvidos starp darbīgo slāni un dziļākajiem kūdras horizontiem, lietuss ūdens nekrājas uz virsas, bet visai ātri sasniedz tuvāko ūdens balstītājslāni.

3.2.4 Grunts un grunts poru spiediena analīze

Pāļus galvenokārt izmanto vertikālas slodzes pārņemšanai, kā arī pretestības palielināšanai horizontālām un slīpām slodzēm (pāļi, kas virzīti noteiktā leņķī, lai palielinātu konstrukcijas noturību) un pārnes slodzi no relatīvi vājas grunts uz grunts noturīgākiem slāņiem dziļāk, tādējādi samazinot slodžu ietekmi uz pamatni.

Dažādu konstruktīvo risinājumu stabilitātes novērtēšanai izmanto dažādus ģeotehniskos instrumentus, kurus iebūvē ceļa konstrukcijas uzbērumā vai zem tā. Parasti, uzbērumi, kas tiek veidoti uz zemas nestspējas gruntīm ir pakļauti grunts konsolidācijas izraisītām deformācijām, kas var ietekmēt kopējo uzbēruma stabilitāti.

Šajā objektā vertikālo slodžu novērtēšanai zem ceļa konstrukcijas uzbēruma, izmanto arī grunts spiedienu mērītājus, kas sākotnēji būvdarbu laikā un sezonālajos pārtraukumos reģistrē ceļa konstrukcijas uzbēruma spriegumu radīto spiedienu uz koksnes pāļu konstrukciju. Pēc būvdarbu pabeigšanas netika ievērtēta kokmateriālu transportēšanā izmantoto transportlīdzekļu radītās slodzes ietekme. Bez grunts spiedienu mērītājiem uzbēruma stabilitātes novērojumiem izmanti ģeotehniskie sensori – pjezometri, kas paredzēti grunts ūdens poru spiediena mērījumiem grunts dziļākos slāņos.

Veicot mērījumus ar ģeotehniskiem instrumentiem, papildus jāņem vērā arī meteoroloģisko un hidroloģisko apstākļu, apvidus grunts ģeoloģiskā uzbūves un apvidus reljefa ietekme uz konstruktīvā risinājuma noturību un stabilitāti. Katra atsevišķa faktora ietekmi ir grūti novērtēt, jo bez tiešās iedarbības šie faktori ir arī savstarpēji saistīti un uzlabo vai pasliktina autoceļu būvniecības un ekspluatācijas apstākļus.

Grunts spiediena mērītāji izbūvēti PK 5+65 un PK 6+05 zem ceļa konstrukcijas uzbēruma koksnes pāļu resgalī (2. un 4. pielikums). Katrā no paredzētajām vietām iebūvēti 2 spiediena mērītāji zem ceļa brauktuves uz koksnes pāļu gala plakņu virsmas, lai iegūtu datus par slodzi, kas rodas uz koksnes pāļu gala plaknes virsmu no ceļa konstrukcijas uzbēruma un transportlīdzekļu slodzes.

Lai pilnvērtīgāk raksturotu grunts konsolidācijas procesu, kura laikā norisinās grunts daļiņu sablīvēšanās kopā ar grunts spiediena mērītājiem PK 05+65 un PK 06+05, zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem ~ 2,5 m dziļumā iebūvēti pjezometri (2. un 4. pielikums).

Monitoringa procesā ir ievērtēta būvtechnikas plūsmas intensitāte, kā rezultātā novērtēta slodze, kurai pakļauta ceļa konstrukcija. Uztādot grunts spiediena mērītāju sistēmu uz koka pāļu augšējiem galiem, tiek reģistrēti dati par ceļa konstrukcijas un būvtechnikas masas radīto ietekmi uz koka pāļu konstrukciju.

Ceļa konstrukcijas uzbēruma radītais spiediens var būt statisks (pastāvīgs) vai dinamisks (mainīgs). Statiskais spiediens rodas no ceļa konstrukcijas uzbēruma masas, bet dinamiskais spiediens rodas no transportlīdzekļu un smagās būvtechnikas radītās slodzes.

Šajā ziņojumā ceļa konstrukcijas uzbēruma radītais spiediens izmantojot atbilstošus inženiertehniskos aprēķinus tiek raksturots kg/cm^2 . Lai arī mērvienība " kg/cm^2 " nav oficiāli atzīta SI sistēmā, to var izmantot kā neformālu spiediena mērvienību, ja ir nepieciešams. Šī mērvienība izsaka spiedienu, ko izdara masa uz kvadrācentimetru. Pēc nepieciešamības spiedienu no kg/cm^2 var pārveidot uz kilopaskāļiem (kPa), izmantot šo sakarību $1 \text{ kg/cm}^2 = 98,0665 \text{ kPa}$.

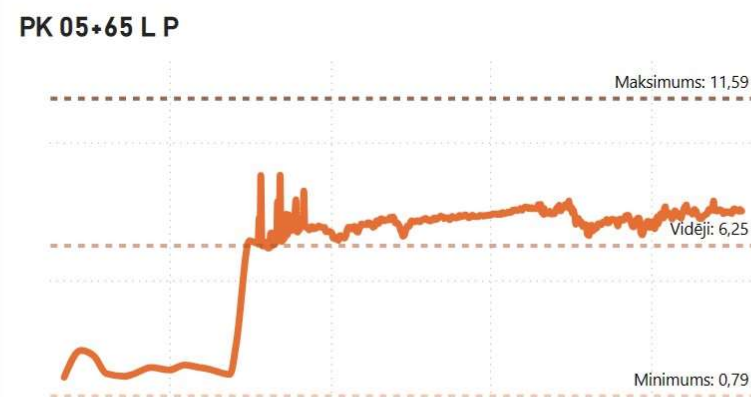
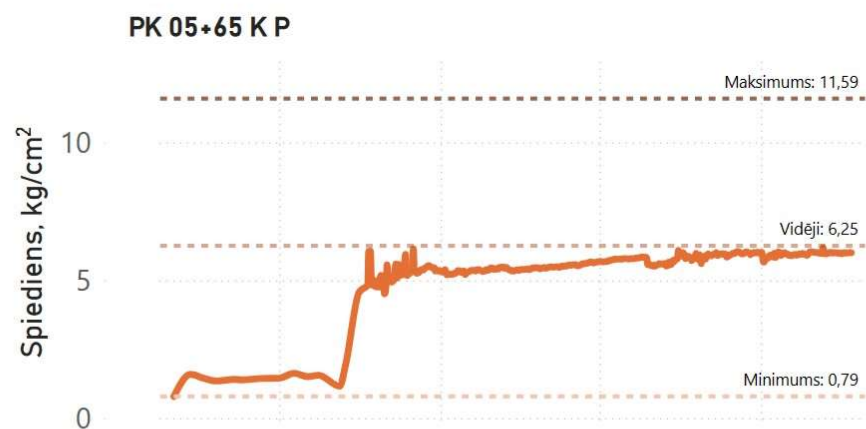
Grunts spiedienu mērītāju izbūve veikta 2022. gada februārī. Datu ieguve no 2022. gada marta līdz 2022. gada septembrim veikta manuālajā režīmā, bet ar 2022. oktobri datu nolasīšana tiek veikta automātiskajā režīmā, izmantojot datu reģistratoru ar iestatītu laika intervālu.

Abās grunts spiediena mērītāju iebūves vietās līdz 2022. gada augustam nebija pabeigta ceļa konstrukcijas uzbēruma izbūve virs koksnes pāļiem. Virs koksnes pāļiem bija

ieklāta smilts pāļu galu pārsegšanai un izbūvēts smilts uzbērums ģeotekstilā, bet netika izbūvēts ceļa segas pamats un segums. Šis apstāklis jāņem vērā analizē, novērtējot nepabeigtā ceļa konstrukcijas uzbēruma sprieguma radīto spiedienu uz koksnes pāļiem. Dēļ kritiskā uzbēruma augstuma nesasniegšanas slodze netiek pilnībā pārnesta pēc arkveida loku principa koksnes pāļu virzienā. Šajā gadījumā grunts svārs zem “arkas” un daļa augšējās slodzes tiek pārnesta uz pāļiem ar stiepes spriegumiem, izmantojot austo ģeotekstilu.

Nepabeigtās ceļa konstrukcijas uzbēruma radītais statiskais spiediens uz koksnes pāļiem pēc smilts uzbēruma ģeotekstilā izbūves martā un aprīļa sākumā PK 5+65 svārstās robežās no 0,79 līdz 2,25 kg/m², bet PK 6+05 svārstās robežās no 1,05 līdz 2,57 kg/m². Šajā periodā zem smilts uzbēruma ģeotekstilā novēroja negatīva temperatūra (no 0 līdz -2,5 °C), kas norāda ka pamatnes grunts ir sasalusis.

Maijā pirmajā pusē paaugstinoties vidējai diennakts gaisa temperatūrai, paaugstinās arī temperatūra zem smilts uzbēruma ģeotekstilā līdz +0,7°C (PK 6+05) un +2,3°C (PK 5+65), kas sekmē pamatnes grunts atkušānu, kā rezultātā dēļ nepabeigtā ceļa konstrukcijas uzbēruma starp pāļiem pastiprināti veidojas lokāli iesēdumi un daļa slodzes caur austo ģeotekstilu tiek pārnesta uz kūdras grūti līdz brīdim, kad ģeotekstils vertikālo deformāciju rezultātā tiek nospriegots. Šajā periodā novērojams uzbēruma grūti radītā statiskā spiediena samazinājums līdz 1,41 – 1,52 kg/m² (PK 5+65) un 1,93 – 2,20 kg/m² (PK 6+05). Pēc ģeotekstila nospriegošanās vertikālo deformāciju un ūdens – siltuma režīma nostabilizēšanās rezultātā maija otrajā pusē un jūnija pirmajā pusē novērojama smilts uzbēruma ģeotekstilā radītā statiskā spiediena palielinājums līdz 1,44 – 1,84 kg/m² (PK 5+65) un 2,70 – 3,03 kg/m² (PK 6+05). Uzbēruma statiskā spiediena palielinājumu sekmē arī spriegums ģeotekstila stiegrojumā, kas tiek pārnesta uz koksnes pāļiem. Turpmākajā vērtēšanas periodā līdz augustam nav novērojamas būtiskas grūti statiskā spiediena svārstības. Augusta mēnesī paaugstinātā vidējā gaisa temperatūra un kopējā nokrišņu summa zem normas būtiski ietekmēja smilts masu un līdz ar to arī grūti statisko spiedienu uz koksnes pāļu gala virsmas plaknēm. Septembra sākumā pirms intensīvas būvdarbu atsākšanas novērojama smilts uzbēruma ģeotekstilā radītā statiskā spiediena samazinājums līdz 1,16 – 1,59 kg/m² (PK 5+65) un 2,09 – 2,70 kg/m² (PK 6+05). Smilts uzbēruma radītās slodzes samazinājums saistīts ar meteoroloģiskiem apstākļiem augustā un septembra pirmajā pusē (3.39. att.).



3-39.att. Grunts statiskā un dinamiskā spiediena vērtības zem ceļa konstrukcijas uzbērums ievērtējot būvtehnikas radīto slodzi.

PK 5+65 kreisajā pusē no septembra līdz novembrim (2022. g.) ceļa konstruktīvo kārtu būvniecības laikā statistiskais grunts spiediens svārstās robežās no 4,47 kg/m² līdz 5,30 kg/m². Dinamiskais spiediens, kas no transportlīdzekļu un smagās būvtechnikas kustības, tiek novirzīts uz koksnes pāļu gala plaknes virsmu, svārstās robežās no 0,47 kg/m² līdz 1,38 kg/m². Statiskā un dinamiskā spiediena kopsumma svārstās robežās no 5,08 kg/m² līdz 6,14 kg/m². Pēc būvdarbu pabeigšanas laika posmā decembra līdz aprīlim statistiskais grunts spiediens svārstās robežās no 5,17 kg/m² līdz 5,50 kg/m². Pēc būvdarbu pabeigšanas decembrī notiek pakāpeniska vidējās gaisa temperatūras pazemināšanās, kas sekmē grunts virskārtu sasalšanu un statiskā grunts spiediena samazināšanos janvārī līdz 5,21 kg/m². Pēc tam novērojama pakāpeniska statiskā grunts spiediena palielināšanās līdz 5,47 kg/m². 2023. gada augusta beigās pirms būvdarbu atsākšanas statistiskais grunts spiediens sasniedz 5,84 kg/cm². Noslēdzoties būvdarbiem statistiskais grunts spiediens nepārsniedz 6,00 kg/cm².

PK 5+65 labajā pusē no septembra līdz novembrim (2022. g.) statistiskais grunts spiediens pakāpeniski pieaug no 6,11 kg/m² līdz 7,00 kg/m², bet dinamiskais spiediens svārstās robežās no 0,53 kg/m² līdz 2,59 kg/m². Līdz ar to statiskā un dinamiskā spiediena kopsumma svārstās robežās no 6,68 kg/m² līdz 8,81 kg/m². Pēc būvdarbu pabeigšanas decembrī notiek pakāpeniska vidējās gaisa temperatūras pazemināšanās, kas sekmē grunts virskārtu sasalšanu un statiskā grunts spiediena samazināšanos janvārī līdz 6,38 kg/m². Pēc tam novērojama pakāpeniska statiskā grunts spiediena palielināšanās līdz 7,20 kg/m². Marta otrajā pusē novērojama strauja vidējās gaisa temperatūras paaugstināšanās, kas sekmē ceļa seguma atkušanu un statiskā grunts spiediena strauju pazemināšanos līdz 6,54 kg/m², kas pēc seguma nožūšanas atgriežas iepriekšējā līmenī. 2023. gada augusta beigās pirms būvdarbu atsākšanas statistiskais grunts spiediens sasniedz 7,60 kg/cm². Noslēdzoties būvdarbiem statistiskais grunts spiediens nepārsniedz 7,88 kg/cm².

PK 6+05 kreisajā pusē no septembra līdz novembrim (2022. g.) statistiskais grunts spiediens pakāpeniski pieaug no 5,68 kg/m² līdz 6,70 kg/m², bet dinamiskais spiediens svārstās robežās no 0,70 kg/m² līdz 2,15 kg/m². Līdz ar to statiskā un dinamiskā spiediena kopsumma svārstās robežās no 6,75 kg/m² līdz 8,83 kg/m². Pēc būvdarbu pabeigšanas decembrī notiek pakāpeniska vidējās gaisa temperatūras pazemināšanās, kas sekmē grunts virskārtu sasalšanu un statiskā grunts spiediena samazināšanos janvārī līdz 6,06 kg/m². Pēc tam novērojama pakāpeniska statiskā grunts spiediena palielināšanās līdz 6,80 kg/m². Marta otrajā pusē novērojama strauja vidējās gaisa temperatūras paaugstināšanās, kas sekmē ceļa seguma atkušanu un statiskā grunts spiediena strauju pazemināšanos līdz 6,16 kg/m², kas pēc seguma nožūšanas atgriežas iepriekšējā līmenī. 2023. gada augusta beigās pirms būvdarbu atsākšanas maksimālais statistiskais grunts spiediens sasniedz 7,46 kg/cm². Būvdarbu laikā maksimālā statiskā un dinamiskā spiediena kopsumma sasniedz 11,59 kg/cm² un līdz ar to dinamiskais spiediens sasniedz 4,10 kg/cm². Noslēdzoties būvdarbiem statistiskais grunts spiediens nepārsniedz 7,59 kg/cm².

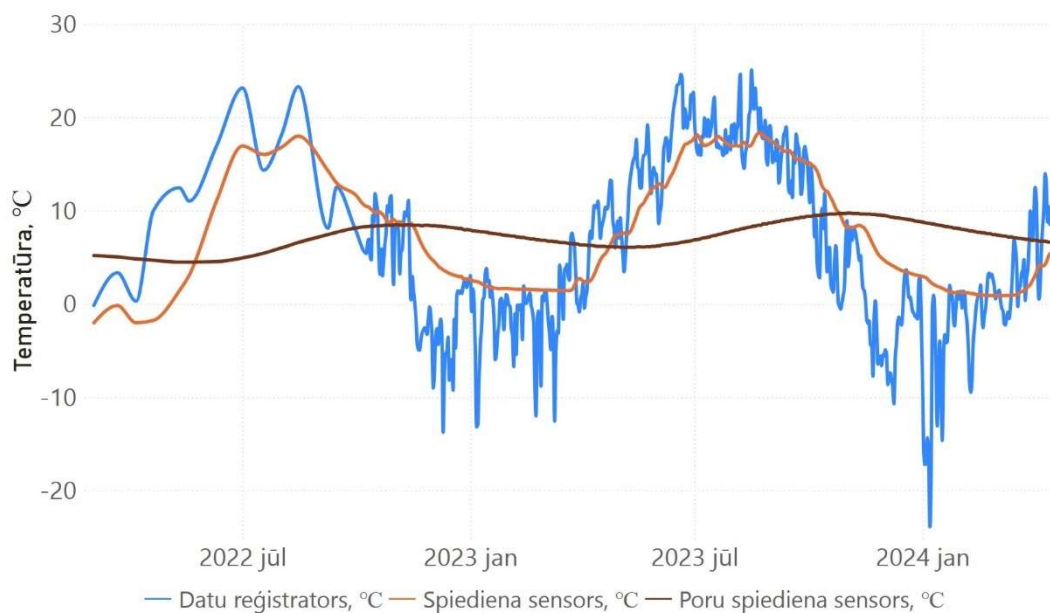
PK 6+05 labajā pusē no septembra līdz novembrim (2022. g.) statistiskais grunts spiediens pakāpeniski pieaug no 5,03 kg/m² līdz 5,40 kg/m², bet dinamiskais spiediens svārstās robežās no 0,43 kg/m² līdz 2,01 kg/m². Līdz ar to statiskā un dinamiskā spiediena kopsumma svārstās robežās no 5,61 kg/m² līdz 7,34 kg/m². Pēc būvdarbu pabeigšanas decembrī notiek pakāpeniska vidējās gaisa temperatūras pazemināšanās, kas sekmē grunts virskārtu sasalšanu un statiskā grunts spiediena samazināšanos janvārī līdz 5,04 kg/m². Pēc tam novērojama pakāpeniska statiskā grunts spiediena palielināšanās līdz 5,40 kg/m². Marta otrajā pusē novērojama strauja vidējās gaisa temperatūras paaugstināšanās, kas sekmē ceļa seguma atkušanu un statiskā grunts spiediena strauju pazemināšanos līdz 5,12 kg/m², kas pēc seguma nožūšanas atgriežas iepriekšējā līmenī. 2023. gada augusta beigās pirms būvdarbu atsākšanas statistiskais grunts spiediens sasniedz 5,56 kg/cm². Rudenī būvdarbu laikā maksimālā statiskā un dinamiskā spiediena kopsumma sasniedz 7,02 kg/cm² un līdz ar to

maksimālais dinamiskais spiediens sasniedz $1,46 \text{ kg/cm}^2$. Noslēdzoties būvdarbiem statiskais grunts spiediens nepārsniedz $5,88 \text{ kg/cm}^2$.

Kopumā izvērtējot 4 iebūvēto spiediena sensoru datu kopu vidējais grunts spiediens pilnībā izbūvētam ceļa konstrukcijas uzbērumam ir $6,25 \text{ kg/cm}^2$. Pēc teorētiskiem aprēķiniem pieņemot, ka virs pāļa izveidots $1,4 \text{ m}$ augsts ceļa konstrukcijas uzbēruma ar tilpumsvaru 2 t/m^3 un pāļi izbūvēti trīsstūrveida režģī ar attālumu starp pāļu asīm 1 m , veidojas $5,96 \text{ kg/cm}^2$ liels spiediens. Faktiski reģistrētais spiediens ir par $4,6 \%$ augstāks, jo iespējams slodze starp pāļiem pārdalās nevienmērīgi. Šie rezultāti norāda, ka pie esošiem grunts apstākļiem (vāji līdz vidēji labi sadalījusies kūdra ar mitruma intervālu $900 - 1200 \%$ un kopējais purvu nogulumu dziļums pārsniedz 3 m) visu slodzi uzņem koksnes pāļi.

Klimatiskie apstākļi un gaisa temperatūras izmaiņas ietekmē ceļa konstrukcijas uzbēruma spiedienu. Piemēram, ilgstoša pazemināta gaisa temperatūra ziemā var izraisīt grunts materiāla sasalumu, kas laika gaitā var radīt paaugstinātu spriegumu ceļa konstrukcijas uzbērumā, kā rezultātā paaugstinās spiediens zem uzbēruma uz koksnes pāļu galu plakņu virsmām. Savukārt gaisa temperatūras paaugstināšanās gadījumā var nonākt pie spiediena samazināšanās. Gaisa temperatūras izmaiņas ietekmē vertikālo slodzes pārnesei ceļa konstrukcijā ar koksnes pāļiem.

Mainoties gaisa temperatūrai, ko reģistrē datu reģistrators, novērojamas arī temperatūras izmaiņas zem ceļa konstrukcijas uzbēruma pēc grunts spiediena sensoru datiem (3.40. att.).



3-40.att. Gaisa temperatūras un grunts temperatūras izmaiņas

Gada garumā mazākā temperatūras svārstību amplitūda novērojama pēc poru spiediena sensora datiem – $2,5 \text{ m}$ dziļumā zem ceļa konstrukcijas uzbēruma. Dziļākos purva nogulumu slāņos temperatūra svārstās robežās no $4,5$ līdz $9,7^\circ\text{C}$. Līdz ar to temperatūra nav faktors, kas tieši ietekmētu grunts poru spiediena izmaiņas dziļākos purva nogulumu slāņos.

Temperatūra $2,5 \text{ m}$ dziļumā zem smilts uzbēruma ģeotekstilā laika periodā no marta līdz jūnija pirmajai pusei pie PK 5+65 svārstās robežās no $+4,1$ līdz $+4,8^\circ\text{C}$, bet laika periodā no jūnija otrās puses līdz septembrim novērojams temperatūras paaugstinājums no $+5,2$ līdz $+9,5^\circ\text{C}$. PK 6+05 laika periodā no marta līdz jūnijam temperatūra $2,5 \text{ m}$ dziļumā svārstās robežās no $+4,7$ līdz $+5,6^\circ\text{C}$, bet laika periodā no jūlija līdz septembrim novērojams temperatūras paaugstinājums no $+4,8$ līdz $+6,8^\circ\text{C}$. Pēc šiem novērojumiem var secināt, ka

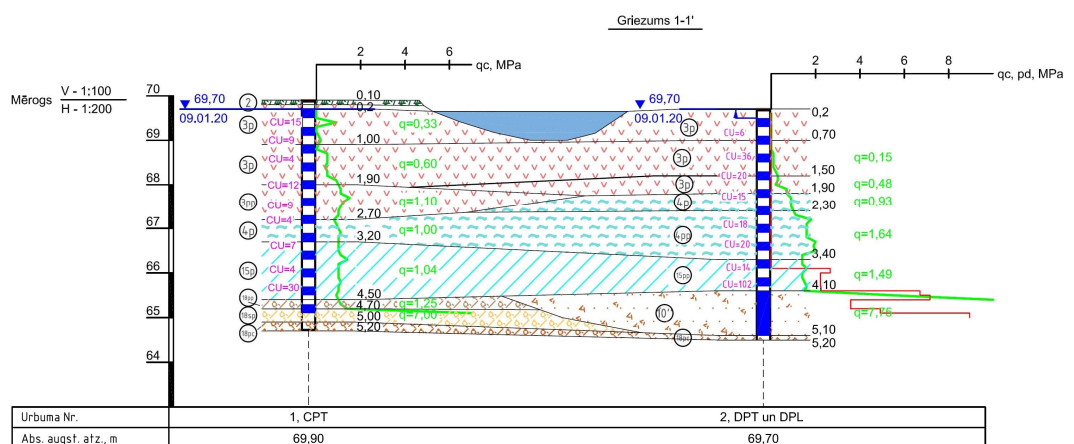
pie dažādiem grunts horizontiem iebūves dziļumā novērojams atšķirīgs grunts ūdens-siltuma režīms.

Ūdens spiediens gruntī ir spiediens, ko ūdens izdara uz apkārtējo grunts masu. Ūdens spiediens gruntī tiek ietekmēts arī ar gruntsūdeņu līmeni. Jo augstāks ir gruntsūdeņu līmenis, jo lielāks ir ūdens spiediens gruntī. Ūdens spiediens gruntī tiek noteikts, pamatojoties uz hidrostatisko spiedienu principu, kas ir atkarīgs no ūdens blīvuma, gravitācijas paātrinājums un ūdens dziļuma.

Grunts poru spiediens ir spiediens, kas tiek izdarīts uz grunts porām vai mikroskopiskajām porām, kas atrodas grunts struktūrā. Grunts poru spiediens ir atkarīgs no grunts sastāva, tā porozitātes un mitruma satura. Ja poras ir piesātinātas ar ūdeni poru spiediens būs lielāks, bet, ja poras ir sausas, vai ar zemu mitruma saturu poru spiediens būs mazāks.

Grunts poru spiediens ir saistīts ar hidrostatisko spiedienu ūdenī un grunts spēkiem, kas rodas no apkārtējās grunts struktūras un slodzes. Tas var ietekmēt grunts noturību pret deformācijām, ietekmējot kopējo konstrukcijas stabilitāti. Grunts poru spiediens var mainīties atkarībā no vides apstākļiem, slodzēm un grunts īpašībām.

Lai iegūtu izejas datus, pjezometra sensorus (spiediena sensorus) ievieto urbumā, lai tie būtu tieši kontaktā ar ūdeni piesātinātu grunti. Pēc detalizētās ģeotekhniskās izpētes raksturojama, pjezometru iebūve veikta atšķirīgos grunts slāņos – PK 5+65 (2. urbums) plūstoši plastiskā sapropelī un PK 6+05 (1. urbums) un plūstoši plastiskā kūdrā (3.41. att.).



APZĪMĒJUMI



3-41.att. Ģeotekhniskie griezumā pjezometra sensoru iebūves vietās.

Pjezometru sensoru iebūve veikta 2022. gada februārī un martā sāka datu ieguve. Pjezometra datu iegūšanai tiek izmantotas divu veidu datu nolasīšanas sistēmas, kas nodrošina gan manuālu spiediena vērtību nolasīšanu (no marta līdz septembrim), gan automātisku datu ierakstīšanu un uzkrāšanu izmantojot datu reģistratoru, kur dati tiek iegūti pēc noteikta laika intervāla (sākot ar oktobri).

Abās pjezometru iebūves vietās laika posmā no marta līdz augustam novērojams pakāpenisks grunts poru spiediena samazinājums, izņemot 06.04.2022. veikto mērījumu. Pie PK 05+65 grunts poru spiediens pakāpeniski samazinās no 16,4 līdz 13,0 kPa, bet pie PK 06+05 grunts poru spiediens pakāpeniski samazinās no 23,2 līdz 17,7 kPa. 06.04.2022. nolasītais rezultāts ir ievērojami mazāks, ko sekmēja būvniecības periodā sasalušās grunts pamatnes atkušana. 2022. gada augusta mēnesī novērojama grunts poru spiediena paaugstināšanās, ko sekmēja meliorācijas sistēmas ūdensnotekas un grāvju gultņu atjaunošanas darbi.

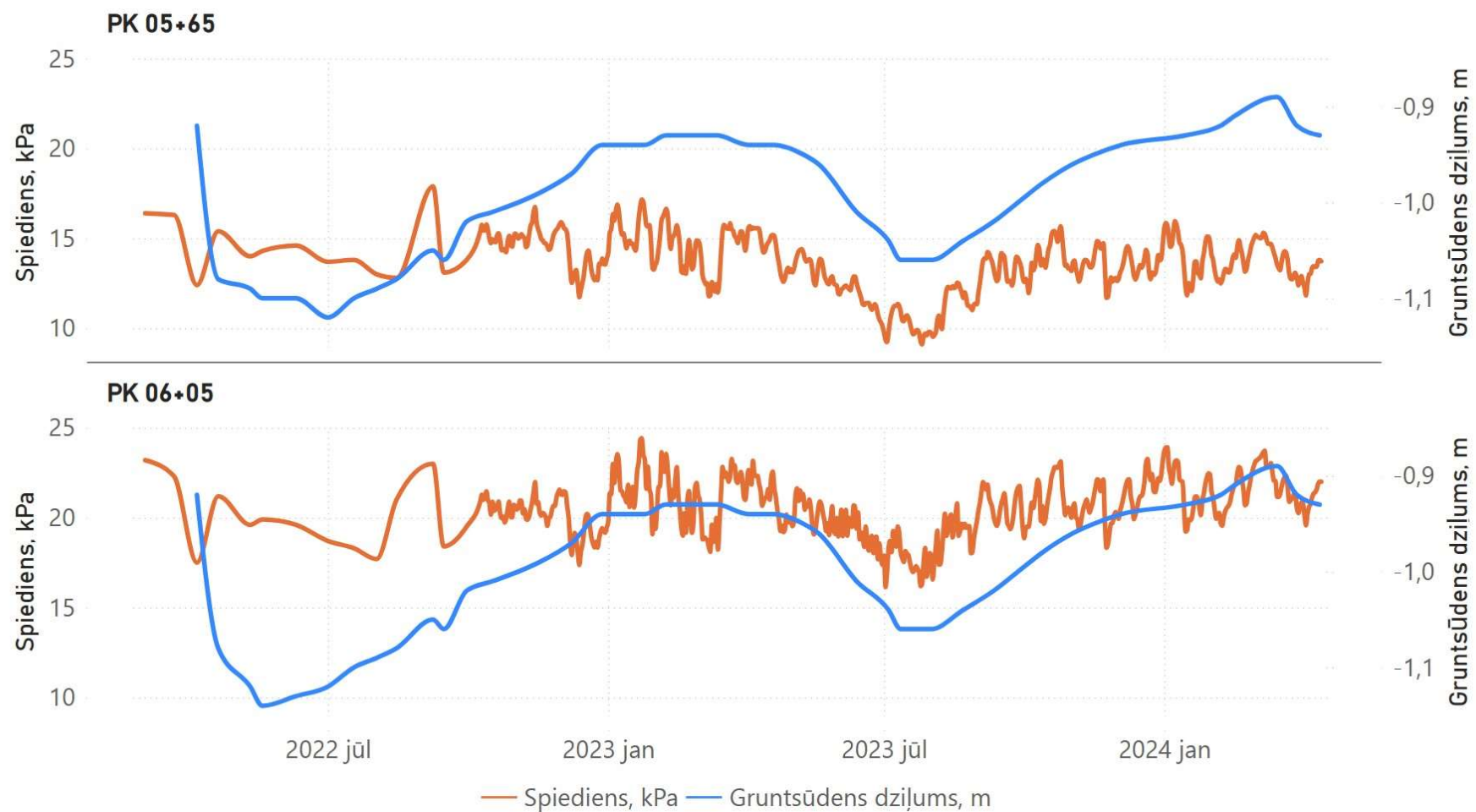
Atšķirīgie grunts poru spiedieni norāda uz to, ka pjezometri iegūlas gruntīs dažādu blīvumu:

- plūstoši plastisks sapropelis – 1,42 g/cm³;
- plūstoši plastiskā kūdrā – 0,98-1,04 g/cm³.

Pēc pakāpeniskā grunts poru spiediena samazinājuma abās iebūves vietās var secināt, ka arī dziļākos grunts slāņos notiek grunšu saspiešanas jeb konsolidācijas process pašsvara un smilts uzbēruma ģeotekstilā radītās slodzes ietekmē, kas sekmē grunts ūdens poru tilpuma samazināšanos, izspiežot no tām tur esošo ūdeni.

PK 5+65 būvdarbu laikā no septembra līdz novembrim (2022. g.) grunts poru spiediens svārstās robežās no 14,2 kPa līdz 15,8 kPa, bet atsevišķās dienās maksimālā vērtība sasniedz līdz 16,8 kPa. Grunts ūdens dziļums šajā periodā svārstās robežās no 102 līdz 99 cm. Laika periodā no decembra līdz martam novērojams pakāpeniska gruntsūdens līmeņa celšanās līdz 93 cm dziļumam. Šajā laika novērojamas augstākas grunts poru spiediena maksimālās vērtības, kas svārstās robežās no 16,6 kPa līdz 17,2 kPa. Šo grunts poru spiediena izmaiņas sekmēja gruntsūdens dziļuma samazināšanās. Vasaras periodā palielinoties gruntsūdens dziļumam (106 cm), novērojams grunts poru spiediena samazinājums līdz 11,4 kPa. Savukārt rudenī un ziemā pakāpeniski samazinoties gruntsūdens dziļumam novērojams grunts poru spiediena palielinājums, bet pavasarī palielinoties gruntsūdens dziļumam novērojams grunts poru spiediena samazinājums.

PK 6+05 pjezometra sensors iebūvēts plūstoši plastiskā kūdrā ar mazāku blīvumu (0,98-1,04 g/cm³), līdz ar to gruntij ir lielāks poru īpatsvars, kas tiek aizpildīts ar ūdeni, kā rezultātā novērojams augstāks grunts poru spiediens. Būvdarbu laikā no septembra līdz novembrim (2022. g.) grunts poru spiediens vidēji svārstās robežās no 19,7 kPa līdz 22,0 kPa. Pēc būvdarbu beigšanas laika periodā no decembra līdz aprīlim novērojama lielāka grunts poru spiediena svārstību amplitūda no 17,4 kPa līdz 24,4 kPa. Šo grunts poru spiediena izkliedi sekmēja ne tikai gruntsūdens līmeņa svārstības, bet arī gaisa temperatūras izkliede diennaktī. Šajā iebūves vietā novērojama lielāka grunts poru spiediena izkliede diennaktī, ko sekmēja gaisa temperatūras svārstību amplitūda diennaktī (3.42. att.).



3-42.att. Grunts poru spiediena un gruntsūdens līmeņa izmaiņas.

Gaisa temperatūras ietekme uz grunts poru spiediena izmaiņas ir saistīta ar ūdens, grunts un gaisa īpašībām, kas mainās temperatūras izmaiņu ietekmē. Paaugstinoties gaisa temperatūrai, izplešas arī gaiss un aizņem lielāku tilpumu, kas var izraisīt spiediena samazinājumu grunts porās. Gaisa temperatūras izmaiņas var ietekmēt arī ūdens saturu grunts porās. Gaisa temperatūra paaugstināšanās var izraisīt ūdens iztvaikošanu no grunts, tādējādi samazinot ūdens saturu porās un potenciāli samazinot grunts poru spiedienu. Gaisa temperatūra pazemināšanās var izraisīt ūdens kondensāciju grunts porās, palielinot ūdens saturu un potenciāli palielinot grunts poru spiedienu. Gaisa temperatūras izmaiņas var ietekmēt arī grunts fizikālās īpašības, piemēram, tilpumu, blīvumu un tās elastību. Šādas izmaiņas var izraisīt spiediena izmaiņas grunts porās. Tomēr ir jāņem vērā, ka grunts poru spiediena izmaiņas, kas saistītas ar gaisa temperatūru, var būt salīdzinoši nelielas, salīdzinot ar citiem faktoriem, kas ietekmē grunts uzvedību.

Biogēno grunts poru spiediens, ūdens spiediens un konsolidācijas process ir cieši saistīti un ietekmē viens otru. Biogēno grunšu poru spiediena vērtība ietver gan slodzi no virspuses (ceļa konstrukcijas uzbērums), gan arī hidrostatisko spiedienu no ūdens grunšu porās.

Zem ceļa konstrukcijas uzbēruma biogēno grunšu konsolidācijas process norisinājās no būvniecības uzsākšanas 2022. gada sākumā līdz 2022. gada decembrim. Tālākajā novērošanas periodā nav novērojams grunts poru spiediena samazinājums dēļ grunts poru saspiešanas. Grunts poru spiediena svārstību amplitūdu iespējams izskaidrot ar gruntsūdens līmeņa izmaiņām. Noslēdzoties grunts konsolidācijas procesam gruntsūdens līmenis būtiski ietekmēt kūdras un citu biogēnu grunšu poru spiedienu. Šī ietekme ir saistīta ar hidrostatisko spiedienu, kas rodas, kad ūdens izplūst cauri grunšu porām.

3.3 Secinājumi un rekomendācijas

Secinājumi

1. Izpētes teritorijas ģeotehniskie apstākļi raksturojami, kā sarežģīti jo pētītajā teritorijā visos izpēte punktos konstatēti bieži biogēno grunšu slāņi un salīdzinoši augsts gruntsūdens līmenis. Pēc ģeotehniskajā izpētē apskatītiem urbumiem tiek pieņemts, ka līdzīga ģeoloģiskā un ģeotehniskā situācija ir arī starp tiem, bet ir iespējams, ka ģeoloģiskā vai ģeotehniskā situācija ir atšķirīga, kas netika konstatēta ģeotehniskās izpētes laikā.
2. Organiskās gruntis ir pakļautas lielākai sēšanās iespējai, jo tās ir mazāk stabilas. Dēļ porainās struktūras kūdras grunts ir labi kompresējams materiāls, kas nozīmē, ka tā ir pakļauta sēšanās procesam, kad tai tiek piemērota spiediena un slodzes ietekme.
3. Būtiskākās kūdras grunts profila sēšanās intensitāti ietekmējošās komponentes ir purvu nogulumu dziļums, kūdras sadalīšanās pakāpe un fizikālās īpašības – mitrums, porainība un blīvums. Kūdras mitrums ir būtiskākais faktors, kas ietekmē citu īpašību raksturlielumus.
4. Saskaņā ar ģeotehniskās izpētes pārskatu kūdras mitrums izvēlētiem slāņiem svārstās no 595 līdz 1050 %. Pie augstāka kūdras mitruma novērojama arī lielāka kūdras grunts profila sēšanās intensitāte starp koksnes pāļiem.
5. Būvdarbu laikā tehnoloģiskās shēmas izvēle vispirms pāļus dzīt ceļa trases labajā pusē, bet pēc tam ceļa trases kreisajā pusē sekmējusi atšķirīgu kūdras sablīvēšanās intensitāti un nesimetrisku grunts profila pārvietojumu ceļa šķersgriezumā un atšķirīgu sēšanās intensitāti ceļa konstrukcijas kreisajā un labajā pusē.
6. Koksnes pāļu izbūves posmos, kur dominē vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska, tumši brūni pelēka kūdra ar mitruma intervālu 600 – 900 % un kopējais purvu nogulumu dziļums nepārsniedz 3 m, sablīvētas kūdras grunts profils zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem 3 gadu laikā nosēdies līdz 17 cm, bet nesablīvētas kūdras grunts

profils zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem 3,3 gadu laikā nosēdīsies līdz 22 cm. Posmos ar purva nogulumu dziļumu virs 3 m, sablīvētas kūdras grunts profils zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem 3 gadu laikā nosēdīsies līdz 18 cm, bet nesablīvētas kūdras grunts profils zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem 3 gadu laikā nosēdīsies līdz 30 cm.

7. Koksnes pāļu izbūves posmos, kur dominē vāji sadalījusies, plūstoša, brūna kūdra ar mitruma intervālu 600 – 900 % un kopējais purvu nogulumu dziļums pārsniedz 3 m, kūdras grunts profils zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem 2,5 gadu laikā nosēdīsies līdz 12 cm, bet nesablīvētas kūdras grunts profils zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem 2,7 gadu laikā nosēdīsies līdz 19 cm.

8. Koksnes pāļu izbūves posmos, kur dominē vāji līdz vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska, tumši brūni pelēka kūdra ar mitruma intervālu 900 – 1200 % un kopējais purvu nogulumu dziļums pārsniedz 3 m, kūdras grunts profils zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem 3,8 gadu laikā nosēdīsies līdz 40 cm.

9. Ceļa konstrukcijas uzbēruma (smilts uzbēruma austajā ģeotekstilā un virs tā ieklāts segas pamats, ģeorežģis un ceļa segums) uz esošas grunts ar zemu nestspēju, kur dominē vāji līdz vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska, tumši brūni pelēka kūdra ar mitruma intervālu 600 – 900 % un kopējais purvu nogulumu dziļums sasniedz 2,4 m, 5 gadu laikā pakāpeniski nosēdīsies līdz 56 cm.

10. Porainības koeficients izvēlētiem kūdras slāņiem svārstījās robežās no 14,71 līdz 16,20. Porainība ir apgriezti proporcionāli saistīta ar sadalīšanās pakāpi un zālaugu un koksnes atlieku procentuālo saturu. Palielinoties zālaugu un kokaugu atlieku īpatsvaram, sadalīšanās pakāpe palielinās, bet, palielinoties sūnu atliekām, sadalīšanās pakāpe samazinās.

11. Blīvums izvēlētajos kūdras slāņos svārstās robežās no 0,98 līdz 1,04 g/cm³. Minimālā vērtība novērota kūdrā ar augstāku koksnes atlieku saturu, bet maksimālā vērtība ar augstāku sūnu saturu.

12. Veicot grunts testēšanu ar spārņingriezies testu novērtēta bīdes pretestība, kas izvēlētiem kūdras slāņiem svārstījās amplitūdā no 4 līdz 36 kPa. Pie zemākām bīdes pretestības vērtībām novērojama augstāka kūdras grunts profila sēšanās intensitāte zem ceļa konstrukcijas uzbēruma starp koksnes pāļiem.

13. Koksnes pāļu izbūves posmā no PK 05+75 līdz PK 07+50 grunts profila vertikālās deformācijas zem smilts uzbēruma ģeotekstilā rezultējas arī uzbēruma virspusē 9 – 10 cm dziļu iesēdumu veidā starp koksnes pāļiem, dēļ grunts dziļāko slāņu atkuššanas un straujākas grunts sēšanās intensitātes uzsākšanās. Smilts profila vertikālās deformācijas uzbēruma virspusē skaidrojamas ar nepabeigtā ceļa konstrukcijas uzbēruma veidošanu virs koksnes pāļiem, kā rezultātā nav sasniegts kritiskais konstrukcijas uzbēruma augstums, kas nodrošinātu arkveida loka pamatprincipu vertikālās slodzes pārnēsē koksnes pāļu virzienā.

14. Visās izbūves vietās grunts masas horizontālam pārvietojumam attiecībā pret vertikālo asi ir tendence pieaug virzienā no grunts dziļākiem slāņiem zemes virsmas virzienā gan A virzienā, gan B virzienā abās ceļa konstrukcijas pusēs. Grunts masas maksimālais horizontālais pārvietojums attiecībā pret vertikālo asi nepārsniedz -3,8 cm, izņemot PK 5+65 (kreisā puse).

15. Koksnes pāļu izbūves posmos, kur dominē vāji sadalījusies, brūna vai vidēji labi sadalījusies, plūstoši plastiska, tumši brūni pelēka kūdra ar mitruma intervālu 600 – 900 % un kopējais purvu nogulumu dziļums nepārsniedz 3,40 m, grunts masas maksimālais pārvietojums horizontālā plaknē attiecībā pret vertikālo asi monitoringa laikā nepārsniedz 1,4 cm.

16. Par pamatu ņemot vasaras vidējo gruntsūdens līmeni, posmā no PK 3+20 līdz PK 7+20 koksnes pāļu augšējā daļa (0,75 – 1,15 m) atrodas virs patstāvīga gruntsūdens līmeņa un līdz

ar to projektēšanas un būvniecības laikā rastie risinājumi var būtiski ietekmēt koksnes pāļu kalpošanas laiku, ņemot vērā pāļu trupēšanas sabrukšanas iespējamību.

17. Vidējais grunts spiediens virs koksnes pāļiem pilnībā izbūvētam ceļa konstrukcijas uzbērumam ir $6,25 \text{ kg/cm}^2$. Pēc teorētiskiem aprēķiniem pieņemot, ka virs pāļa izveidots $1,4 \text{ m}$ augsts ceļa konstrukcijas uzbēruma ar tilpumsvaru 2 t/m^3 un pāļi izbūvēti trīsstūrveida režģī ar attālumu starp pāļu asīm 1 m , veidojas $5,96 \text{ kg/cm}^2$ liels spiediens.

18. Faktiski reģistrētais grunts spiediens ir par $4,6 \%$ augstāks salīdzinot aprēķināto, jo iespējams slodze starp pāļiem pārdalās nevienmērīgi. Šie rezultāti norāda, ka pie esošiem grunts apstākļiem (vāji līdz vidēji labi sadalījusies kūdra ar mitruma intervālu $900 - 1200 \%$ un kopējais purvu nogulumu dziļums virs 3 m) visu slodzi uzņem koksnes pāļi.

19. Zem ceļa konstrukcijas uzbēruma biogēno grunšu konsolidācijas process norisinājās no būvniecības uzsākšanas 2022. gada sākumā līdz 2022. gada decembrim. Tālākajā novērošanas periodā nav novērojams grunts poru spiediena samazinājums dēļ grunts poru saspiešanas. Grunts poru spiediena svārstību amplitūdu iespējams izskaidrot ar gruntsūdens līmeņa izmaiņām. Noslēdzoties grunts konsolidācijas procesam gruntsūdens līmenis būtiski ietekmēt kūdras un citu biogēnu grunšu poru spiedienu. Šī ietekme ir saistīta ar hidrostatisko spiedienu, kas rodas, kad ūdens izplūst cauri grunšu porām.

Rekomendācijas

1. Meža autoceļu izbūves vietās ar sarežģītiem ģeotehniskiem apstākļiem (biogēno grunšu slāņu dziļums virs 2 m un augsts gruntsūdens līmenis) ir nepieciešama padziļināta ģeotehniskā izpēte, kas detalizēti sniegtu informāciju par konkrētā objekta apvidus grunts ģeoloģisko uzbūvi un hidroloģiskiem apstākļiem, lai nākotnē ceļu projektēšanas un būvniecības laikā būtu prognozējami konstrukcijas nosēšanās un konsolidācijas apmēri. Padziļināta ģeotehniskā izpēte būtu izdalāma kā atsevišķa sadaļa meža autoceļu projektēšanā, uz kuru balstoties projektētājs sagatavotu būvprojektu.

2. Izmantojot meža autoceļa būvniecībā koksnes pāļus vertikālas slodzes pārnešanai no relatīvi vājas grunts uz grunts noturīgākiem slāņiem dziļāk projektēšanas laikā būtu jānorāda atbilstoša būvdarbu tehnoloģiskā shēma. Izvēlētie risinājumi var būtiski ietekmēt kūdras grunts profila pārvietojumu zem ceļa konstrukcijas uzbēruma ceļa šķersgriezumā un vertikālās slodzes pārneši koksnes pāļu virzienā.

3. Purvu nogulumu sēšanās ir cieši saistīta ar kūdras un citu dziļāk esošo grunšu īpašībām, jo to mitrums, porainība un blīvums ietekmē tās stabilitāti un saspiežamību. Ir jāuzsver, ka katras grunts reakcija uz sēšanos var atšķirties atkarībā no tās sastāva, ūdens satura, līmeņa un citiem faktoriem. Tāpēc ir ieteicams veikt konkrētas grunts laboratorisko testēšanu, lai iegūtu precīzāku informāciju par tās sēšanos un noturību.

4. Logaritmiskās funkcijas apraksts ļauj iegūt nepieciešamos parametrus, lai novērtētu kūdras grunts sēšanās procesu un prognozētu tā attīstību laika gaitā. Ir jāņem vērā, ka šis ir viens no daudziem funkciju modeļiem, kas tiek izmantoti, lai aprakstītu kūdras grunts sēšanās intensitāti, un faktiskais funkcijas modelis var atšķirties atkarībā no konkrētās kūdras grunts īpašībām un apstākļiem. Lai iegūtu precīzākus rezultātus, būtu nepieciešams veikt detalizētu izpēti un analīzi, kas balstās uz konkrētajiem grunts parametriem un laboratorijas testiem.

5. Ceļa konstrukcijas uzbēruma būvniecība virs koksnes pāļiem noteiktos posmos būtu jāveic pilnībā, sasniedzot optimālo uzbēruma augstumu, lai nodrošinātu atbilstošu vertikālās slodzes pārneši pēc arkveida loka pamatprincipiem koksnes pāļu virzienā. Tehnoloģiskā vai sezonālā pārtraukuma plānošana pieļaujama pirms vai pēc ceļa konstrukcijas uzbēruma būvniecības.

6. Meža autoceļa “Tēvgāršas ceļa turpinājums” būvniecībā realizēts būvprojektā pieņemtais risinājums koksnes pāļus izbūvēt pēc trijstūrveida shēmas ar izvietojuma soli 1

metrs starp pāļiem un malējo trīsstūru veidojušās rindas slīpumā 1:8 (12,5°). Būvprojektā izvēlētais risinājums minimizēja grunts masas pārvietojumu horizontālā plaknē. Šāds konstruktīvais risinājums saglabājams arī citu tamlīdzīgu objektu projektēšanā, lai izvairītos no būtiskām grunts horizontālām deformācijām

7. Klasiskajā meža autoceļu būvniecībā pārmitrās un slapjās apvidus vietās ir paredzēts veidot ceļa sāngrāvjus un atjaunot meliorācijas grāvjus, bet, lai nodrošinātu anaerobu vidi koksnes pāļiem, būtu jāizvairās no ceļa sāngrāvju projektēšanas un būvniecības. Ceļa konstruktīvais risinājums bez sāngrāvjiem nodrošinātu apstākļus, kuros koksnes pāļu augšējie gali atrastos zem patstāvīga gruntsūdens līmeņa.

8. Lai nodrošinātu optimālus ekspluatācijas apstākļus koksnes pāļiem, tie būtu jāiebūvē 40 – 50 cm zem zemes virsas atzīmes, veicot kūdras grunts virskārtas noņemšanu jo purvainā apvidus virskārtā var iestāties mitruma trūkums, kad ūdens līmenis kūdrā pazeminās, līdz 40 – 50 cm dziļumam.

4 Koksnes pāļu konstruktīvā risinājuma raksturlielumi

Par pamatu ņemot citu valstu pieredzi un meža autoceļa “Tēvgāršas ceļa turpinājums” monitoringa rezultātus tika sagatavota konstruktīvā risinājuma rokasgrāmata, kurā atpogaļota koksnes pāļu dimensionālo raksturlielumu un izvietojuma aprēķins, ņemot vērā kūdras slāņa dziļumu no 2,5 m līdz 8 m. Aprakstītais konstruktīvais risinājums nodrošina, ka meža autoceļa konstrukcija pēc izbūves nodrošina tā lietojamību un nestspēju.

Pieņemot, ka tiek apskatīti koksnes pāļi caurmērā no 150 mm līdz 450 mm, tabulāri iespējams attēlot uzbēruma minimālo augstumu kā funkciju no pāļu soļa starp asīm (skatīt 4.1. tabulu). Šajā tabulā apskatīts teorētiski iespējamais koksnes pāļu izvietojuma solis no 0,8 m līdz 2 m starp asīm.

4.1.tabula Minimālais uzbēruma augstums atkarībā no pāļa caurmēra un soļa starp pāļiem

Pāļu izvietojuma solis, m	Koksnes pāļu caurmērs, mm						
	150	200	250	300	350	400	450
	Minimālais uzbēruma augstums H, m						
0,8	0,91	0,84	0,77	0,7	0,63	0,56	0,49
1,0	1,19	1,12	1,05	0,98	0,91	0,84	0,77
1,2	1,47	1,4	1,33	1,26	1,19	1,12	1,05
1,4	1,75	1,68	1,61	1,54	1,47	1,4	1,33
1,6	2,03	1,96	1,89	1,82	1,75	1,68	1,61
1,8	2,31	2,24	2,17	2,1	2,03	1,96	1,89
2,0	2,59	2,52	2,45	2,38	2,31	2,24	2,17

Apskatot koksnes pāļus caurmēra intervālā no 150 mm līdz 450 mm, tabulāri iespējams attēlot arī ģeosintētiskā materiāla nepieciešamo stiepes pretestību abos virzienos atkarībā no pāļa soļa, ietverot minimālo uzbēruma augstumu (skatīt 4.2. tabulu).

Izvērtējot teorētiski iespējamo koksnes pāļu izvietojuma soli no 0,8 m līdz 2 m starp asīm, redzams, ka palielinoties pāļu izvietojuma solim, ievērojami pieaug nepieciešamā stiepes stiprība ģeosintētiskajā materiālā. Līdz ar to racionālākais koksnes pāļu izvietojuma solis būtu no 0,8 m līdz 1,4 m starp asīm.

4.2.tabula Stiepes spēks ģeosintētiskajā materiālā atkarībā no pāļa caurmēra un attāluma

Pāļu izvietojuma solis, m	Koksnes pāļu caurmērs, mm						
	150	200	250	300	350	400	450
	Stiepes spēks ģeosintētiskajā materiālā pie minimālā uzbēruma augstuma, kN/m						
0,8	258	152	113	88	69	56	44
1,0	479	280	208	163	131	107	89
1,2	831	465	347	272	220	182	153
1,4	1311	720	539	422	343	285	241
1,6	1932	1101	792	622	505	421	357
1,8	2713	1590	1124	878	714	596	507
2,0	3669	2197	1583	1198	976	815	694

Projektētājam jānodrošina, ka slodzes nepārsniedz pāļa nestspēju. Atbilstoši standartam LVS EN 1997-1 2.4.7.3 nodaļai, STR un GEO nestspējas robežstāvoklī jāizpildās sekojošai pārbaudei (4.1. formula):

$$E_d \leq R_d, \quad (4.1.)$$

kur:

E_d - aprēķina slodze

R_d - aprēķina pretestība

Pāļu nestspēju vienkāršotam gadījumam iespējams noteikt atbilstoši 4.3. tabulai. Šī tabula var tikt izmantota tikai, ja koksnes pālis tiek iedziļināts vismaz 1m nestspējīgā gruntī, kuras parametri ir sekojoši:

- Rupjām gruntīm statiskās zondāžas konusa pretestība $q_c > 10MPa$;
- Smalkām gruntīm konsistences rādītājs $I_c \sim 1$ vai nedrenētā bīdes pretestība $c_u > 150kPa$.

Tabulārās vērtības iespējams palielināt par 25%, ja nestspējīgā grunts atbilst sekojošiem parametriem:

- Rupjām gruntīm statiskās zondāžas konusa pretestība $q_c > 15MPa$;
- Smalkām gruntīm konsistences rādītājs $I_c > 1$ vai nedrenētā bīdes pretestība $c_u > 200kPa$.

4.3.tabula Pāļa aprēķina nestspēja iedziļinoties vismaz 1m nestspējīgā gruntī

Koksnes pāļu caurmērs, mm	Aprēķina nestspēja, kN
150	91
200	136
250	182
300	273
350	364

Piezīme: ja grunšu mehāniskie parametri ir zemāki, tad nepieciešams veikt aprēķinu ar kādu no 2. nodaļā dotajām aprēķinu metodikām.

Aprēķina slodze (ieskaitot arī transporta slodzi) uz pāli atkarībā no pāļa caurmēra un izvietojuma soļa noteikta ievērtējot minimālo uzbēruma augstumu, kas dots 4.1. tabulā. (skatīt 4.4. tabulu)

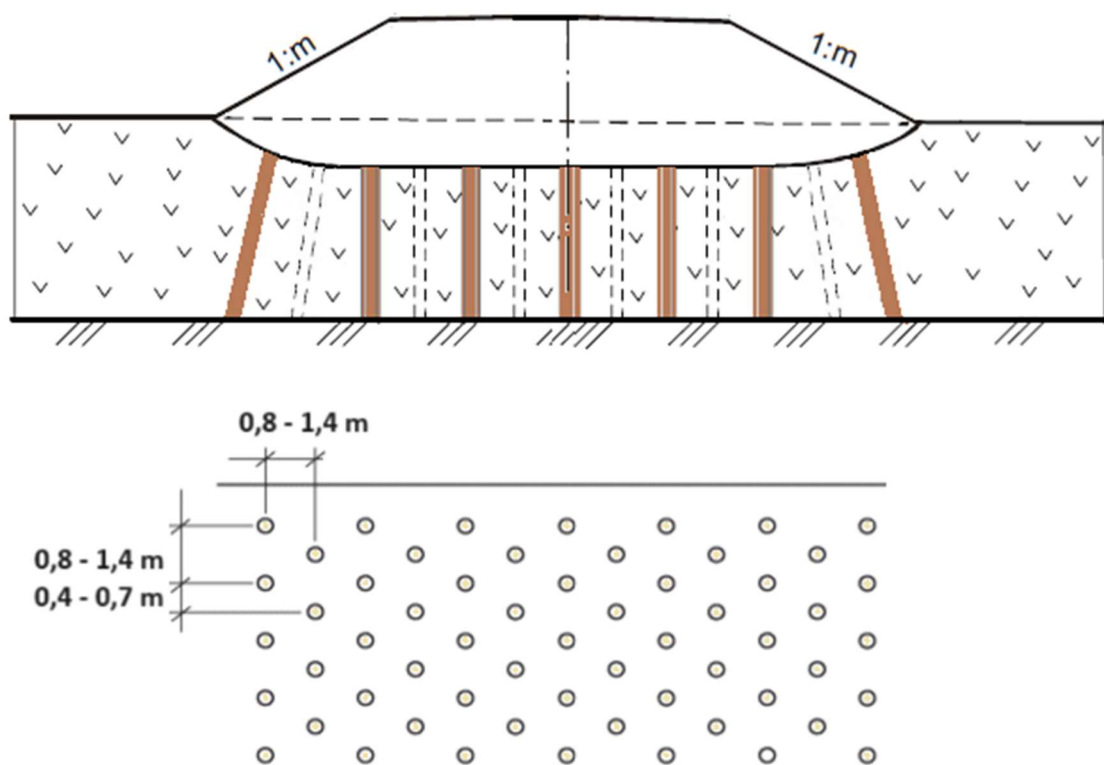
4.4.tabula Aprēķina slodze uz pāli atkarībā no koksnes pāļa caurmēra un izvietojuma soļa

Pāļu izvietojuma solis, m	Koksnes pāļu caurmērs, mm						
	150	200	250	300	350	400	450
	Slodze uz pāli pie minimālā uzbēruma augstuma, kN						
0,8	36	35	34	32	31	30	29
1,0	63	62	60	58	56	54	53
1,2	102	99	97	94	91	89	86
1,4	153	149	146	142	139	135	131
1,6	218	214	209	204	200	195	190
1,8	300	294	288	282	276	270	265
2,0	399	392	385	378	370	363	356

Izvērtējot teorētiski iespējamo koksnes pāļu izvietojuma soli no 0,8 m līdz 2 m starp asīm, redzams, ka palielinoties pāļu izvietojuma solim, ievērojami pieaug aprēķina slodze. Atkarībā no koksnes pāļu caurmēra aprēķina slodze nepārsniedz koksnes pāļu nestspēju pie sekojoša izvietojuma soļa:

- koksnes pāļu caurmērs 150 mm – 1,0 m starp asīm;
- koksnes pāļu caurmērs 200 mm – 1,2 m starp asīm;
- koksnes pāļu caurmērs 250 mm – 1,4 m starp asīm;
- koksnes pāļu caurmērs 300 mm – 1,6 m starp asīm;
- koksnes pāļu caurmērs 350 mm – 1,8 m starp asīm.

No 2,5 m līdz 8 m dziļu purvu nogulumu ieslēgumu šķērsošanai tiek rekomendēts izmantot koksnes pāļu trīsstūrveida izvietojums, nodrošinot 0,8 – 1,4 m soli starp pāļu asīm, malējo trīsstūru veidojušās rindas izbūvējot slīpumā 1:8 (12,5°). Tieši šāds solis nodrošina to, ka nepieciešamais minimālais uzbēruma augstums, slodze uz pāli un stiepes spēks, kas attīstās ģeosintētiskajā materiālā tiek ierobežots līdz līmenim, kurš ir tehniski un ekonomiski pamatots.



4-1.att. Koksnes pāļu izvietojuma shēma.

No šobrīd AS “Latvijas Valsts meži” ražotiem koksnes produktiem priedes un egles II šķiras zāgbaļķi ar tievgaļa caurmēra intervālu no 18 līdz 27,9 cm un garuma intervālu no 3 līdz 6 m, izmantojami kā koksnes pāļi. Dziļāku purva nogulumu ieslēgumu pārvarēšanai izmantojami priedes stabi.

5 Pētījumu darba uzdevumi un to izpildes īpatsvars

Nodaļas 5.1.tabulā sagatavots apkopojums par izpēti projekta “Monitoringa veikšana vājas nestspējas grunts meža autoceļiem, kas uzbūvēti uz koka pāļiem” veiktajiem darba uzdevumiem un to izpildes īpatsvaru uz 2024.gada 2.pusgadu.

5.1.tabula Pētījuma darba uzdevumi un to izpildes īpatsvars

Darba uzdevums	Izpildes termiņš	Darba uzdevuma izpildes īpatsvars, procentos	Komentārs par nākamajā etapā (līdz 30.06.2024.) 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 30.jūnijs	100%	Darba uzdevums izpildīts
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	100%	Darba uzdevums izpildīts
3. Veikt meža autoceļa iespējamās nosēšanās kontroli, izveidojot trīsdimensiju (3D) modeli:	2022.gada 31.marts, 2022.gada	-	Vienojoties ar Pasūtītāju darba

Darba uzdevums	Izpildes termiņš	Darba uzdevuma izpildes īpatsvars, procentos	Komentārs par nākamajā etapā (līdz 30.06.2024.) 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		uzdevums netiek veikts
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	100%	Darba uzdevums izpildīts
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	100%	Darba uzdevums izpildīts
Pētījums Starpziņojuma iesniegšana	2021.gada 30.decembris	100%	Darba uzdevums izpildīts
Pētījuma Starpatskaīšu iesniegšana	2022.gada 30.jūnijs un 30.decembris, 2023.gada 30.jūnijs un 30.decembris	100%	Darba uzdevums izpildīts
Pētījuma Gala atskaītes iesniegšana	2024.gada 30.jūnijs	100%	Darba uzdevums izpildīts
Pētījuma Kopsavilkuma iesniegšana	2024.gada 30.jūnijs	100%	Darba uzdevums izpildīts

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. *Energiatallisuus ry / Sähkötutkimuspooli*. s.145. [tiešsaiste] [skatīts 2021. gada 17. septembrī]. Pieejams:
https://energia.fi/files/1043/Tulevaisuuden_sahkopylvaat_loppuraportti.pdf
5. Braam, CR. (2007). CUR Bouw & Infra Aanbeveling 111: Staalvezelbeton bedrijfsvloeren op palen - Dimensionering en uitvoering. Cement: vakblad voor de betonwereld, 2007(3 (mei)), 1-24.
6. Cajs 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. Cherkasova, L., (2016). Wooden foundations history and prospects. doi:10.1051/MATECCONF/20168604021
9. 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.
10. Gauthier A., Kärkönen A., Laitinen T., Väisänen E. 2016. Ligniinisä lepää lupaus.
11. Girininkas A., The Žemaitiškė 2 Pile-Dwelling Settlement Volume 14 (2010): Underwater Archaeology in the Baltic Region, pp. 120–135.
12. Grīnberga M. Kokapstrādes tehnoloģijas.- Rīga: Apgāds “Jumava”, 2002. – 293 lpp.
13. Grīnberga M. Koksnes makroskopiskā uzbūve.- Rīga: Apgāds “Jumava”, 1997. – 46 lpp.
14. 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.
15. Hooli J. 2000. Puupaalujen käyttö infrarakentamisessa. Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten. Espoossa s.109
16. Horgan, Graham, 2006, Code breaking, technical note in Ground engineering, October 2006, pp. 38-41.
17. Hugosson E., Nilsson A., 2014, Träpålningens 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.
18. 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.

19. Liikennevirasto. 2014. Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 5/2014. Helsinki: Liikennevirasto. s. 52. ISBN 978-952-255-407-9.
20. 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
21. Kempfert, H.G., Stadel, M., Zaeske, D. (1997). Berechnung von geokunststoffbewehrten Tragschichten über Pfahlelementen. Bautechnik, Vol. 74, Heft 12, pp. 818-825.
22. Kempfert, H.G., Zaeske, D., Alexiew, D. (1999). Interactions in reinforced bearing layers over partial supported underground. Proc. 12th ICSMGE, Amsterdam, Netherlands; Rotterdam, Balkema, Vol. 3, pp 1527-1532.
23. Koivisto, K., Forsman, J., Korkiala-Tanttu, L., Perttula, T., & Salo, P. (2012). Finnish national design guidelines for georeinforcement following Eurocode 7 - "Georeinforced earth structures 2012". In 5th European Geosynthetic Conference EUROGEO5, Valencia, Spain, September 2012 (pp. 322-329). IGS Spain.
24. Macchioni, N. et al (2016) An investigation into preservation of wood from Venice foundations, Construction and Building Materials 111 (2016) 652–661.
25. Maliphant P.C., Eynon M, Hannam D. and Wu E. 2015. Managing Geotechnical Risk: Contemporary Challenges.
26. Mara J. 2000. Puupaaluilla perustettujen tierakenteiden vauriot ja korjausmenetelmät. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Rakennustekniikan laitos, geotekniikka. Tampere s. 110.
27. 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
28. 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.
29. Munro R. (2004) Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat. The Highland Council. 126lpp.
30. Munro R., MacCulloch F. (2006). *Managing peat related problems on low volume roads*: Roadex III Northern Periphery, 32 lpp.
31. Murthy VNS, (2007), Advance Foundation Engineering, Geotechnical Engineering Series, 1st edition, CBS Publisher & Distributors, New Delhi, 251–534.lpp.
32. Orsmond W. 2012. Geotechnics on Irish roads 2000-2010. Piled embankments recent experiences. CPD Conference. s. 49.
33. Pitkänen J., Vähäaho I., raudasmaa P. 1999. Puupaalujen rakenteellisen kantokyvyn tarkastaminen. Helsingin kaupunki. Kiinteistövirasto. Geotekninen osasto julkaisu 79. s. 117.
34. Popovs L., (1990) Būvmateriāli un būvizstrādājumi: Mācību grāmatu celtniecības tehnikumu audzēkņiem, 2. izdevums. Rīga: Izdevniecība "Zvaigzne". 250 lpp.
35. Puuinfo. 2020. Lujaa puuta pohjoiselta havumetsävyöhykkeeltä. [tiešsaiste] [skatīts 2021. gada 15. septembrī]. Pieejams: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/lujaa-puuta-pohjoiselta-havumetsavyohykkeelta>
36. Puuproffa. 2020. Ajankohta. [tiešsaiste] [skatīts 2021. gada 18. septembrī]. Pieejams: <https://puuproffa.fi/puutieto/puun-kaataminen/ajankohta/>

37. Randolph, M.F., Steenfelt, 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
38. Ratahallintokeskus. 2006. Vanhojen paalutettujen ratapenkereiden korjaus. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 8/2006. Helsinki: Ratahallintokeskus. s. 35. ISBN 952-445-158-1 (pdf).
39. 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>
40. Ryan T., McGill C. ,2004, Pavements Unbound - A timber piled road over deep peat in North, National University of Ireland, Galway, Ireland. 455 lpp.
41. Schreurs, E. 2017. Deterioration of timber pile foundations in Rotterdam, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, 160lpp.
42. SGY ry. 1980. Lyöntipaalutusohjeet 1979. LPO 1979. Helsinki: Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. ja Rakentajain kustannus Oy.s. 91. ISBN 951-676-107-0.
43. Sitnikov MA, Shaitarov LD, Lozovik MA (1980) Introduction of rectangular pyramidal piles in Belorussia, Soil Mechanics and Foundation Engineering, 5–10 p.
44. 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>
45. Stūriška K. (2017) Koksnes aizsardzība, lai paildzinātu ekspluatāciju. [tiešsaite] [skatīts 2021. gada 15. septembrī]. Pieejams: <http://new.llkc.lv/lv/nozares/augkopiba-lopkopiba-citi/koksnes-aizsardziba-lai-paildzinatu-ekspluataciju>
46. TKK. 2020. Puuaineksen tuhoutuminen, lahoaminen ja puun väri. [tiešsaite] [skatīts 2021. gada 16. septembrī]. Pieejams: <http://puukemia.tkk.fi/fi/opinnot/kurssit/19-1000/luennot/L14.pdf>.
47. 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.
48. 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.
49. VAS Latvijas Valsts ceļi, Ceļu specifikācijas 2019.
50. Von Post, L. & Granlund, E., (1926), "Södra Sveriges torvtillgångar I", (Peat resources in southern Sweden), Sveriges geologiska undersökning.
51. VTT. 1991. Paalujen kunnon arviointi Tielaitoksen pengerpaalutuskohdeissa. Työnumero: TGL 1421.Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. s. 16.
52. 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.
53. Woodward, J., & Tomlinson, M. (2014). Pile Design and Construction Practice (6th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17526>.
54. Wrana B., (2015), Pile load capacity – calculation methods, Studia Geotechnica et Mechanica, Vol. 37, No. 4, pp. 83–93.
55. Zariņš D., (1927) Būvmācība: Būvju darbi, I. Daļa. Rīga: Latvijas Technisko Skolu Skolotāju Biedrība. 150 lpp.

56. Klaassen R., & Creemers J. (2012) Wooden foundation piles and its underestimated relevance for cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage* 13S (2012) S123–S128
57. ТКП 200-2018 «Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования». Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. – Мн.: 2018. – 198 с.
58. Шишко Н.И., Р.К. Гатальский (2019) Проектирование земляного полотна автомобильной дороги на слабом основании. Минск: Белорусский национальный технический унине, 58 с.

Pielikumi

1. pielikums

Skujkoku zāģmateriālu mehānisko īpašību raksturlielumi (LVS EN 338)

Spriegum- stāvoklis	Apzī- mējums	Skujkoku zāģmateriālu 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%- fraktilēs) 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

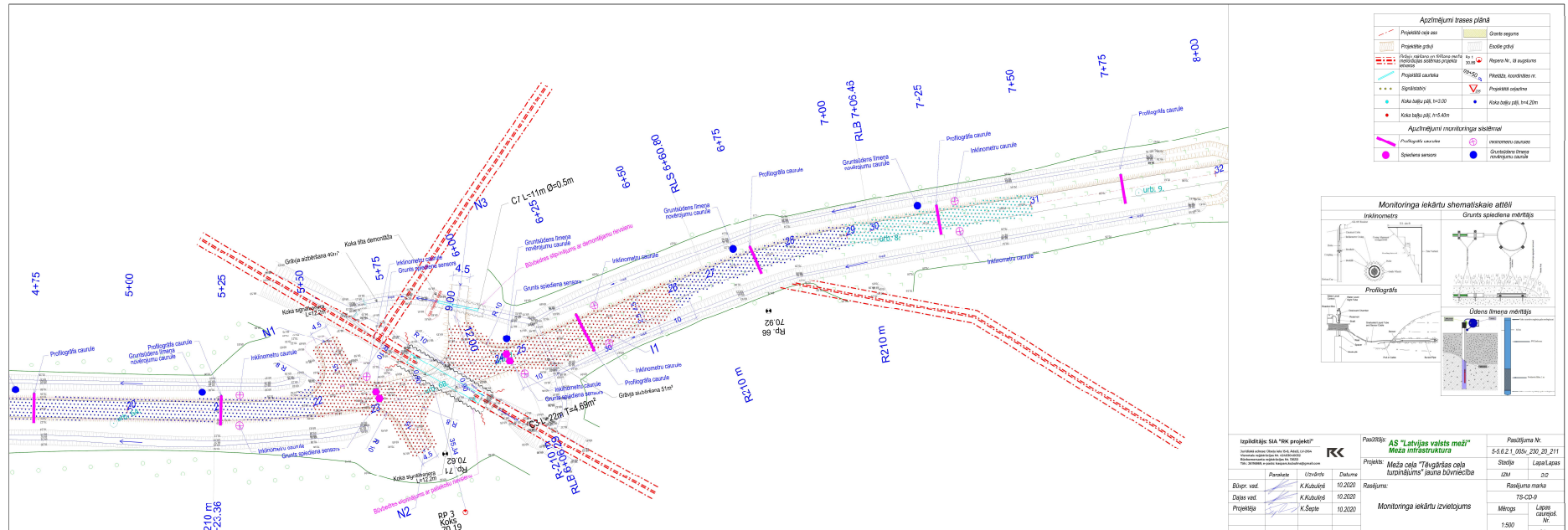
2. pielikums

Lapu koku zāgmateriālu mehānisko īpašību raksturlielumi (LVS EN 338)

Spriegumstāvoklis	Apzīmējums	Lapkoku zāgmateriālu 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%-fraktilēs) 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

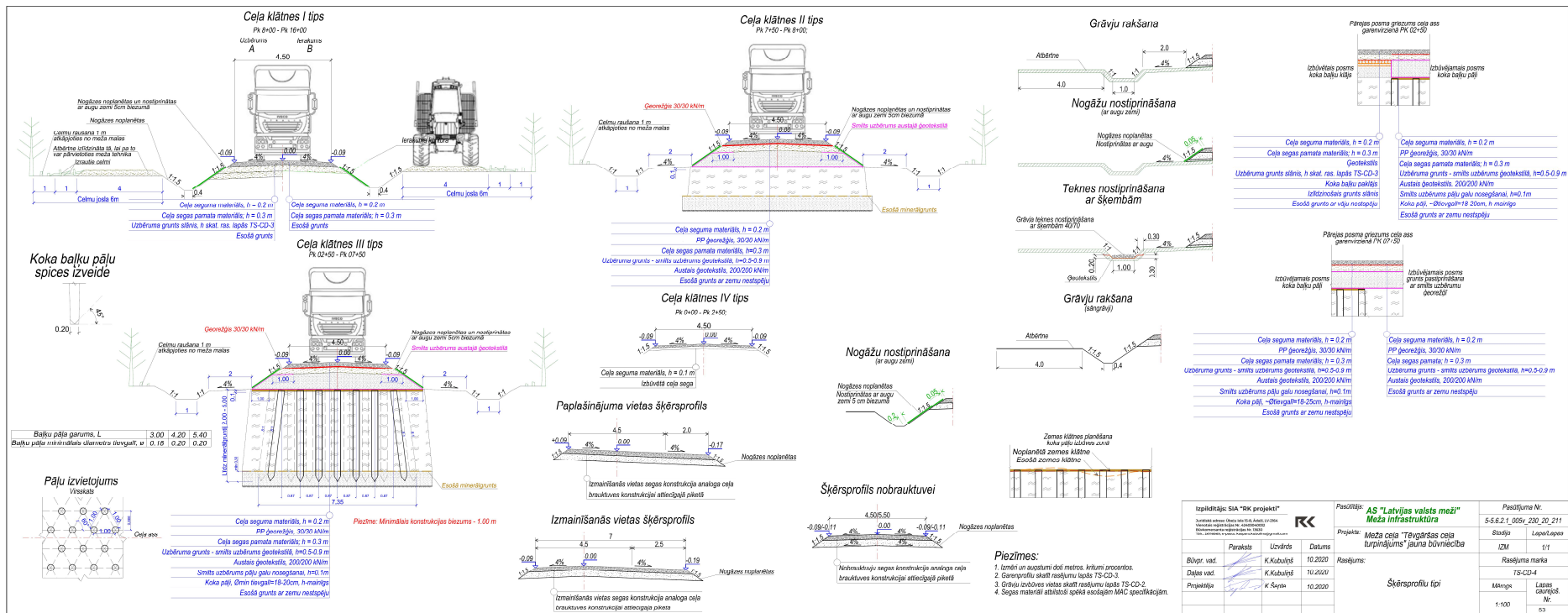
4. pielikums

Monitoringa iekārtu izvietojuma shēma no PK 04+75 līdz 07+75



5. pielikums

Ceļa konstrukcijas tipi



6. pielikums

Monitoringa sistēmu izbūves šķēršņi

