



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Instituudi nimetus

**TOLMUVABADE TEEKATETE EHTUS
STABILISEERIMISE MEETODIL**

**STABILIZATION METHOD OF DUST-FREE ROAD
SURFACES CONSTRUCTION**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Raimo Kivi

Üliõpilaskood 211814EAXM

Juhendaja: Sven Sillamäe, projektijuht

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 20.....

Autor: Raimo Kivi

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja: Sven Sillamäe

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina Raimo Kivi

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Tolmuvabade teekatete ehitus stabiliseerimise meetodil“ mille juhendaja on Sven Sillamäe,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (kuupäev)

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Raimo Kivi, 211814EAXM

Õppekava, peeriala: EAXM15/18 Teede- ja sillaehitus

Juhendaja(d): projektijuht, Sven Sillamäe, +372 5302 5265 (amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Tolmuvabade teekatete ehitus stabiliseerimise meetodil

(inglise keeles) Stabilization method of dust-free road surfaces construction

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Objektide monitooring
2. Hanke- ja ehitusdokumentatsioonide läbitöötamine
3. Defektide kirjeldamine
4. Defektide analüüs

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Objektide monitooring	31.04.2023
2.	Väliandmete kirjutamine	1.10.2023
3.	Teooriaosa kirjutamine	30.12.2023
4.	75% tööst on valmis	15.12.2023
5.	Töö on valmis ning esitatakse retsenseerimisele	03.01.2024

Töö keel: eesti **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....20.....a

Üliõpilane: Raimo Kivi ".....".....20.....a
/allkiri/

Juhendaja: Sven Sillamäe ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: Simo Ilomets ".....".....20.....a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu	8
1. SISSEJUHATUS.....	9
2. TEOREETILISED ALUSED	11
2.1. Hüdraulilise sideainega modifitseeritud pinnas (CMS)	12
2.2. Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnas (CSS)	13
2.3. Hüdraulilise sideainega modifitseeritud alus (CTB)	14
2.4. Amortiseerunud konstruktiivsete kihtide segamine (FDR).....	15
2.5. Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnase (CSS) ja hüdraulilise sideainega modifitseeritud pinnase (CMS) võrdlus.....	15
2.6. Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnas (CSS) ja hüdraulilise sideainega modifitseeritud alus (CTB).....	16
2.6.1.Hüdraulilise sideainega amortiseerunud konstruktiivsete kihtide segamine (FDR).....	17
2.7. Seguretsepti koostamine	18
2.7.1.Olemasoleva materjali veesisalduse ja pinnase klassifitseerimine	19
2.7.2.Hüdraulilise sideaine tüübi ja hinnangulise koguse määramine	19
2.7.3.Keemilise ühilduvuse määramine (vajadusel)	19
2.7.4.Kolme erineva hüdraulilise sideaine sisaldusega Atterbergi piiride määramine	20
2.7.5.Optimaalse veesisaldus ja maksimaalse kuivtiheduse määramine	20
2.7.6.Ühetelgse survetugevuse määramine (vajadusel CMS-i jaoks).....	22
2.7.7.Graafiku koostamine ühetelgse survetugevuse andmete põhjal, et määrata hüdraulilise sideaine sisaldust	22
2.7.8.Seguaruande koostamine	23
2.8. Ehitusprotsessi kirjeldus	23
3. Üldosa	27
3.1. Riigitee 18116 Erastvere-Sillaotsa km 0.034-1.623	32
3.1.1 Objekti asukoht	32
3.1.2. Välitööde kirjeldus	33
3.1.3. Dokumentatsioon	33
3.1.4. Materjalide terakoostise ning survetugevuse andmed	34
3.1.5. IRI andmed	37
3.1.6. FWD andmed	38
3.1.7. SCI, BDI, BCI andmed	40
3.1.8. Defektide analüüs.....	41

3.2. Riigitee 18175 Põlgaste-Roosi km 1.536-4.446.....	43
3.2.1.Objekti asukoht.....	43
3.2.2.Välitööde kirjeldus	44
3.2.3.Dokumentatsioon	46
3.2.4.Materjalide terakoostise ning survetugevuse andmed.....	46
3.2.5.IRI andmed	49
3.2.6.FWD ja Ameerika penetromeetri andmed.....	50
3.2.7.SCI, BDI, BCI andmed	53
3.2.8.Defektide analüüs.....	54
3.2.9.Kokkuvõte	58
3.3. Riigitee 18157 Miiaste-Kanassaare km 4.996-9.826	59
3.3.1.Objekti asukoht.....	59
3.3.2.Välitööde kirjeldus	60
3.3.3.Dokumentatsioon	63
3.3.4.Materjali survetugevuse andmed	64
3.3.5.IRI andmed	66
3.3.6.FWD ja Ameerika penetromeetri andmed.....	66
3.3.7.SCI, BDI, BCI andmed	71
3.3.8.Defektide analüüs.....	73
3.3.9.Kokkuvõte	76
3.4. Riigitee 24160 Loodi-Nõmme km 2.595-5.593.....	77
3.4.1.Objekti asukoht.....	77
3.4.2.Välitööde kirjeldus	78
3.4.3.Dokumentatsioon	79
3.4.4.Materjalide terakoostise ning survetugevuse andmed.....	80
3.4.5.IRI andmed	81
3.4.6.FWD andmed	82
3.4.7.SCI, BDI, BCI andmed	83
3.4.8.Defektide analüüs.....	84
3.5. Järeldused	85
3.6. Soovitused.....	88
KOKKUVÕTE	90
SUMMARY.....	92
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	93

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö teema väljatöötamisel oli oluline panus Tallinna Tehnikaülikooli projektijuhil Sven Sillamäel. Töö eesmärgiks oli monotoorida madala liiklusedusega stabiliseeritud muldkeha katselõike ning välja selgitada, milliseid konstruktsioone rajati ning missugused olid lõikudel peamised defektid ning miks defektid võisid tekkida. Autori hinnangul saaks ehitada oluliselt odavamalt kõrvalteedele tolmuvaba katteid, kui olemasolevaid materjale väärindataks.

Soovin tänada Sven Sillamäed, kes abistas kogu protsessi vältel väärtusliku abi ja juhendamisega.

Samuti soovin tänada Tallinna Tehnikakõrgkooli, et töö koostamiseks laenati Ameerika dünaamilist käsipenetromeetrit.

Suured tänud kuuluvad ka Transpordiameti töötajatele, kes jagasid hanke- ja tehtud tööde kohta dokumente ning aitasid lõputöö koostamisele kaasa.

Olen siiralt tänulik oma elukaaslasele, lastele ja perekonnale, kes mind toetasid ning mõistsid kogu õpingute ning magistritöö kirjutamise perioodil. Tean, et eelnev periood on olnud ka teile keeruline ning väljakutseid pakkunud, kuna pole saanud teile piisavalt aega pühendada.

Olen kõigile tänulik, kes aitasid magistritöö valmimisele kaasa.

Võtmesõnad: taristuehitus, muldkeha stabiliseerimine, hüdrauliline sideaine, taaskasutus, magistritöö

Lühendite ja tähiste loetelu

AR – Autorong.

BCI – Base Curvature Index (ingl k) aluse kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D6 ja D7 lugemite vahe ($d_{1200} - d_{1500}$), BCI väärtus iseloomustab katte pinnast 1200 kuni 1500 mm sügavusel asuva kihi seisukorda. [1]

BDI - Base Damage Index (ingl k) aluse vigastatuse tegur – FWD läbivajumisandurite D2 ja D3 lugemite vahe ($d_{300} - d_{600}$), BDI väärtus iseloomustab katte pinnast 300 kuni 600 mm sügavusel asuva kihi seisukorda. [1]

CBR - California Bearing Ratio (ingl k) ehk California kandevõimetegur.

CMS - Cement-Modified Soils (ingl k) ehk hüdraulilise sideainega modifitseeritud pinnas.

CSS - Cement-Stabilized Subgrade (ingl k) ehk hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnas.

CTB - Cement-Treated Base (ingl k) ehk hüdraulilise sideainega modifitseeritud alus.

DCP - dynamic cone penetrometer (ing k) ehk Ameerika dünaamiline käsipenetroomeeter.

FDR - Full-Depth Reclamation (ingl k) ehk asfaltbetoonkihid segatakse kokku (vajadusel) aluses olevate amortiseerunud materjalidega.

FWD - Falling Weight Deflectometer (ingl k) ehk langeva raskuse deflektomeeter, FWD seade simuleerib liikuva veoki ratta poolt tekitatud koormust teatud kõrguselt teatud kaaluga koormuse langemisega 300 mm läbimõõduga koormusplaadile. [2]

GI - Leetjas gleimuld. [3]

Go - Leostunud gleimuld. [3]

LkI - Nõrgalt leetunud muld. [3]

LP - Kahkjäs leetunud muld. [3]

LPg - Gleistunud kahkjäs leetunud muld. [3]

LPG - Kahkjäs leetunud gleimuld. [3]

M` `` - Sügav madalsoomuld. [3]

MDD - Maximum Dry Density (ingl k) ehk maksimaalne kuivtihedus.

OMC - Optimum Moisture Content (ingl k) ehk optimaalne veesisaldus.

ORVindeks - Objekti rekonstrueerimise vajaduse koondindeks

SCI - Surface Curvature Index (ingl k) ehk pinna kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D1 ja D2 lugemite vahe ($d_0 - d_{300}$), SCI väärtus iseloomustab katte pinnast kuni 300 mm sügavusel asuva kihi seisukorda. [1]

UCS - Unconfined Compressive Strength (ingl k) ehk ühetelgne survetugevus.

VAAB – Veoauto ja autobuss.

1. SISSEJUHATUS

Eestis ning tegelikult ka üle maailma on täna arvestatavaks probleemiks maavarade nappus ja suur keskkonna jalajälg. Eelmainitu tõttu pole tänane ehitustava enam jätkusuutlik ning antud probleem aina süveneb. Ehitussektor on üks suurimaid maavarade kasutajaid ning keskkonnajalajälje tekitajad. Seega on oluline leida võimalusi, kuidas väärindada juba olemasolevaid (kohale veetud) materjale, et vähendada seeläbi materjalide väljakaevest tekitatud ning uute materjalide transportimiseks kuluvat energiat, saastet ning ressursi. Mikk Raud leidis oma magistritöös, et kulude kokkuvõtte transpordilt võib pinnase väljavahetamisel võrreldes stabiliseerimisega ulatuda kuni 30%-ni. [4] Transpordiameti esindaja Toomas Tõnurist esines infopäeval „Pindamine ja tolmuva katted“ ning tõi välja, et muldkeha stabiliseerimine oli aastal 2021/2022 kõige odavam meetod ning ka tasasuse tulemused olid ühed parimad. [5]

Autori hinnangul tuleks ehitus ning eriti taristuehituses pöörata rohkem tähelepanu sellele, kuidas oleks võimalik taaskasutada olemasolevaid materjale. Üheks võimaluseks oleks madala liikluskäigusega teedel teostada olemasoleva muldkeha stabiliseerimine tsemendi, lendtuha või lubjaga, et parendada pinnase omadusi ning seeläbi suurendada konstruktsiooni kandevõimet ja vähendada külmakerkelisust. Sellisel juhul hoitakse kokku aega ning ressursi materjalide väljakaevamiselt, transpordilt, uute materjalide tootmiselt ning kaevandamiselt.

Magistritöö esimeses pooles antakse ülevaade teoreetilisest osast ning lõputöö teises osas antakse ülevaade objektipõhiselt.

Objektipõhisel ülevaatel kirjeldatakse lõigu asukohta erinevatel kaartidel, et saada põhjalik ülevaade olemasolevatest muldadest ja maaparandussüsteemidest. Lisaks kirjeldatakse välitöödel nähtut (defektide ulatust ning iseloomu, taimestikku, vee taset jne) ning tuuakse välja hanke tehnilise kirjelduse olulisemaid nõudeid. Lisaks on koostatud kokkuvõtted ehitusdokumentatsioonist (materjalide terakoostis, survetugevuse andmed, tasasuse andmed), kandevõime andmetest, muldkeha seisukorra indeksitest ning Ameerika dünaamilise käsipenetromeetri andmetest.

Ameerika dünaamilise käsipenetromeetriga (Joonis 3.3) on mõõdetud lõikudel, kus teostati aastal 2023 väljakaevaid (riigiteel 18175 Põlgaste – Roosi ja riigiteel 18157 Miiaste – Kanassaare)Joonis 3.3 Ameerika dünaamilise koonus käsipenetromeeter (Autori erakogu). Iga objekti lõpus on defektide analüüs ning kokkuvõte.

Defektide kirjeldamiseks ning põhjuste selgitamiseks on lisatud objektile tehtud illustreerivad pildid.

2. TEOREETILISED ALUSED

Ajakirjas „Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering“ kirjeldatakse muldkeha stabiliseerimist kui protsessi, kus kasutatakse näiteks tsementi, lendtuhka või lupja (koondnimetusega hüdraulilised sideained), et parendada loodusliku pinnase omadusi ja muuta pinnas vastupidavamaks. Stabiliseerimise eesmärk on luua kindel, kandev ja vastupidav konstruktsioon. [6]

Stabiliseeritud katendikihtide uuringus on välja toodud, et [7]:

1. Madala plastsusega materjalidele ja pinnastele sobib Portland tsement. Portland tsement suurendab survetugevust.
2. Eesmärgiga vähendada nidusate pinnaste veetundlikkust ning muuta pinnaseid tugevamaks sobib pinnaste modifitseerimiseks lubi.
3. Pinnase omaduste parandamiseks sobib lendtuhk.

Enne muldkeha stabiliseerimist tuleb hinnata muldkeha materjale ning nende omadusi, kuna sellest sõltub lisatava hüdraulilise sideaine kogus. Muldkeha ja lisatav hüdrauliline sideaine tuleb segada hoolikalt ning tagada ühtlane ning ühtlase jaotusega stabiliseeritud kiht. Stabiliseeritud kiht tuleb tihendada ning tihendatud segul peab laskma kuivada, et hüdrauliline sideaine saaks hakata kivistuma. Stabiliseeritud kiht parendab pinnase vastupidavust, vähendab pundumist ning suurendab kandevõimet. [6] [8]

Kui stabiliseeritud kihtidega esineb probleeme, siis on peamisteks põhjusteks olnud segu koostis, ebakvaliteetsed materjalid, eksimused ehitusnõuete vastu, keskkonnatingimused või näiteks ebakorrekne hooldus. [6]

1. segu koostis: kui stabiliseerimiseks kasutatud materjalide, hüdraulilise sideaine ning segatava pinnase suhe pole õige, võib see mõjutada stabiliseeritud pinnase tugevust ja vastupidavust.
2. Ebakvaliteetsed materjalid: kui kasutatakse madala kvaliteediga või mittesobivaid sideaineid, võib see põhjustada ebapiisava tugevusega sidemeid ja vähendada stabiliseeritud pinnase vastupidavust.
3. eksimused ehitusnõuete vastu: ebasobiv ehitustehnika või -protsessid võivad viia nõrga või ebastabiilse muldkeha tekkeni.
4. Keskkonnatingimused: kliimatingimused, nagu tugevad sademed või külma-kuuma tsüklid, võivad mõjutada stabiliseeritud pinnase struktuuri ja vastupidavust.

5. Hooldusprobleemid: puudulik hooldus ja järelevalve võivad põhjustada probleeme stabiliseeritud muldkeha pikaajalises vastupidavuses.
6. Stabiliseeritud muldkeha vastupidavuse tagamiseks on oluline kasutada õigeid materjale, jälgida ehitusprotsesse ja tagada korralik hooldus. Kui lagunemise probleemid ilmnevad, võib vajalik olla põhjalikum analüüs konkreetsete tingimuste ja ehitustöödega seotud aspektide kohta.

Õige pinnase ja hüdraulilise sideaine suhe sõltub mitmest tegurist, pinnase tüübist, kohalikest tingimustest ja kasutatavast hüdraulilise sideaine liigist. Optimaalset suhet määratledes tuleks lähtuda konkreetsetest vajadustest ja teha vajadusel katsetusi, et hinnata, milline segu pakub parimaid ehitusomadusi. [6]

Pinnase ja hüdraulilise sideaine segu võib varieeruda laias vahemikus sõltuvalt sellest, kas eesmärk on lihtsalt pinnase tugevdamine (stabiliseerimine) või täielikult uue materjali loomine. [6]

Täpne suhe sõltub pinnase omadustest, kuid tavaliselt valitakse suurem hüdraulilise sideaine kogus, kui on vajalik suurem tugevus või kui stabiliseerimiseks kasutatakse kehvema kvaliteediga pinnast. [6]

On oluline mõista, et ühtset "õiget" suhet ei ole ja optimaalse segu määramiseks tuleks teha laboratoorsed katsed, mis võtavad arvesse kohalikke tingimusi ja ehitusnõudeid. Mõnikord kaasatakse protsessi ka muid lisandeid, nagu lubi või lendtuhk, et parandada segu omadusi. Konkreetse projekti jaoks sobiva pinnase- hüdraulilise sideaine segusuhe määratakse põhjalikuma analüüsi abil. [6]

Stabiliseerimist liigitatakse erinevalt sõltuvalt sellest, milliseid kihte soovitakse stabiliseerida.

2.1. Hüdraulilise sideainega modifitseeritud pinnas (CMS)

„Cement-Stabilized Subgrade Soils“ juhendis [8] on välja toodud, et hüdraulilise sideainega modifitseeritud pinnas (Cement-Modified Soils CMS) on töödeldud suhteliselt väikese hulga hüdraulilise sideainega, et saavutada stabiilne alus katendikonstruktsioonide ehitamiseks. Samale järeldusele on jõutud ka juhendis „Guide to Cement-Modified Soil“ [9]. Töötlemise tagajärjel paranevad ebastabiilsete pinnaste omadused, mille tulemusel on vähenenud materjali nidusus ning pinnas on vähem mõjutatud veesisalduse suurenemisest. Selle tulemusel esineb pinnasetes vähem

pundumisi ning suureneb pinnase kandevõime. [8] [9] Pinnase stabiliseerimine (CMS) jaguneb omakorda Cement-Stabilized Subgrade (CSS)-iks. [8]

„Guide to Cement-Modified Soil“ (CMS) juhendis on kirjas, et CMS-i tüüpilised hüdraulilise sideaine kogused varieeruvad tavaliselt 2–6 protsendi vahel pinnase/täitematerjalide kuivmahumassist, enamasti 3–5 protsenti. [9]

Hüdraulilise sideainega modifitseeritud pinnaste peamised eelised (CMS) on järgmised [8] [9]:

1. Parandab aluspinnases olevate materjalid töödeldavust ja nende kasutamise võimalusi ehituses.
2. Vähendab plastilisust ja külmakerkelisust.
3. Vähendab niiskuse imavust ning soodustab pinnase kuivamist.
4. Suurendab ehituskiirust.
5. Suurendab kandevõimet võrreldes töötlemata pinnasega.
6. Pakub oluliselt paremat aluspinda konstruktiivsete kihtide ehitamisel.
7. Kasutatakse olemasolevaid pinnaseid, vältides kulukat eemaldamist ja asendamist uute täitematerjalidega.
8. Tagab püsiva pinnase struktuuri (ei eralda hüdraulilist sideainet).

2.2. Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnas (CSS)

„Cement-Stabilized Subgrade Soils“ juhendis [8] on välja toodud, et hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnas (Cement-Stabilized Subgrade CSS) pakub samasuguseid eeliseid nagu on hüdraulilise sideainega modifitseeritud pinnaste puhul, kuid hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnaste puhul on oluliselt suuremad ka pinnaste jäikus ja tugevus ehk stabiliseerimine võib pakkuda eeliseid nii teekatetele kui ka hoonete vundamentidele. Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnas on segu, mis on loodud kohapealsetest pinnastest, veest ja mõõdukast kogusest hüdraulilisest sideainest (natuke rohkem kui on hüdraulilise sideainega modifitseeritud pinnased). Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinna materjali omadused on sarnased või isegi paremad kui killustiku omad. Võrreldes hüdraulilise sideainega modifitseeritud pinnaseid hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnastega, on viimasena mainitud segul väiksem veeimavus ja külmumiskindlus ning parem survetugevus. Paremad tulemused sõltuvad kasutatud hüdraulilise sideaine kogusest ja pinnase tüübist. Tüüpilised seitsme päeva vanused proovikehade survetugevused jäävad vahemikku 0,7–2,1 MPa. [8]

Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnase peamised eelised on järgnevad [8]:

1. Kõik eelnevalt välja toodud eelised, mis on hüdraulilise sideainega modifitseeritud pinnastel (CMS).
2. Vähendab niiskustundlikkust.
3. Parandab kandevõimet ning suurendab California kandevõimetegurit (CBR).
4. Võimaldab õhemat konstruktsiooni ning suurendab teekatte eluiga.
5. Võib kasutada raudteede, lennuväljade, parklate ja laadimis-/intermodaalsete rajatiste jaoks.

2.3. Hüdraulilise sideainega modifitseeritud alus (CTB)

„Cement-Stabilized Subgrade Soils“ juhendis [8] on kirjeldatud, et hüdraulilise sideainega modifitseeritud alus (Cement-Treated Base CTB) on segu, mis on loodud täitematerjalidest, veest ja hüdraulilisest sideainest. Hüdraulilise sideainega modifitseeritud alust saab segada kohapeal kasutades olemasolevaid pinnaseid või segada tehases uutest täitematerjalidest. Tänu lisatavatele täitematerjalidele kasutatakse segu valmistamiseks ligikaudu sama palju hüdraulilist sideainet kui hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinna (CSS) puhul, kuid siiski tagab hüdraulilise sideainega modifitseeritud alus (CTB) tugevama, vastupidavama ja külmakindlama kihi katendis. Tavaliselt on ameeriklaste nõuetele vastav seitsme päeva vanuste katsekehade survetugevused vahemikus 2,1 kuni 4,1 MPa. [8]

„Guide to Cement-Treated Base“ juhendis leiti, et CTB seitsme päeva vanuste proovikehade survetugevus peaks olema vahemikus 2,1-5,5 Mpa, Lõhestustõmbetugevus peaks olema 0,7-1,4 Mpa. [10]

Hüdraulilise sideainega modifitseeritud aluse (CTB) peamised eelised on järgmised [8]:

1. Tagab jäigema ja tugevama aluse kui sideainetega sidumata killustikalus.
2. Võrreldes sidumata killustikalusega on võimalik ehitada õhemaid kihte.
3. Niiskuskindel alus.
4. Erosioonikindel alus.
5. Talub paremini külmumis-sulamis tsükleid.
6. Tagab kõrge tugevuse isegi veeküllastunud olekus.

2.4. Amortiseerunud konstruktiivsete kihtide segamine (FDR)

„Cement-Stabilized Subgrade Soils“ [8] ja „Guide to full-depth reclamation with cement“ (FDR) juhendites [11] kirjeldatakse, et amortiseerunud konstruktiivsete kihtide segamine (Full-Depth Reclamation FDR) on protsess, mis hõlmab olemasoleva kahjustatud asfaltkatte ja selle aluse ning aluspinna materjalide freesimist ja segamist. Hüdrauliline sideaine segatakse freesitud materjaliga, tihendatakse, niisutatakse ja lastakse kuivada. Tulemuseks on uus homogeenne ja stabiliseeritud alus. Tulemuslikkuse poolest on see meetod soodne, kuna kahjustatud asfaltkate ning aluspinna materjale ei eemaldata ega asendata.

Hüdraulilise sideainega amortiseerunud konstruktiivsete kihtide segamine (FDR) pakub kõiki hüdraulilise sideainega modifitseeritud aluste (CTB) peamisi eeliseid ning lisaks veel järgmist [11]:

1. Olemasolevate materjalidega stabiliseerimine suurendab tee struktuuri võrreldes stabiliseerimata lõiguga.
2. Suurendab vastupidavust võrreldes killustikaluse materjaliga.
3. Tagab märkimisväärse kokkuhoiu võrreldes eemaldamise ja asendamisega.
4. Vähendab keskkonnamõjusid (sh veoautoliiklust ja ohutust) võrreldes eemaldamise ja asendamisega.
5. Võimaldab kiiremat ehitusaega võrreldes eemaldamise ja asendamisega.

2.5. Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnase (CSS) ja hüdraulilise sideainega modifitseeritud pinnase (CMS) võrdlus

„Cement-Stabilized Subgrade“ juhendi kohaselt on CMS ja CSS väga sarnased. Eelnimetatud segud erinevad hüdraulilise sideaine sisalduse poolest. CSSi ja CMS peamine eesmärk on parandada kohapealse aluspinna omadusi nii, et see käituks paremini kui töötlemata alusmaterjal. CSS pakub kõiki CMS-i eeliseid ning lisaks veel niiskuse vastuvõtlikkuse ning plastilisuse vähendamist ja kandevõime suurendamist. CSSi poolt pakutavate tugevusnäitajate tõttu on sageli võimalik konstruktsiooni paksust vähendada. [8]

Mikk Raud toob oma magistritöös samuti välja selle, et pinnase stabiliseerimine tekitab teekonstruktsiooni alla vundamendi, mille tulemusel on võimalik ehitada õhemaid

konstruktiivseid kihte, kuna stabiliseerimine parendas külmakerke kindlust ja kandevõimet ning vee läbilaskvust. [4]

CSS või CMS stabiliseerimise meetodi valiku tegemiseks on vajalik teostada geotehnilised uuringud. Geotehnilised uuringud on vaja teostada planeerimisetapis, et määrata kindlaks pinnasetüüp ja alusmaterjali omadused, sealhulgas veesisaldus, plastsus, külmakerkelisus ja kandevõime. Määratud omadused aitavad kindlaks määrata vajaliku hüdraulilise sideaine koguse pinnaste stabiliseerimiseks. [8] Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnas (CSS) ja hüdraulilise sideainega modifitseeritud alus (CTB)

2.6. Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnas (CSS) ja hüdraulilise sideainega modifitseeritud alus (CTB)

„Cement-Stabilized Subgrade“ juhendi kohaselt seisneb CSS ja CTB peamine erinevus selles, et CSS hõlmab hüdraulilist sideaine segamist olemasoleva peeneteralise materjaliga (0,075 mm sõela läbindi protsent on rohkem kui 35 %), et olemasoleva alusmaterjali omadusi parandada, kuid CTB pakub parema struktuuriga aluskihti ja koosneb tavaliselt, kuid mitte alati, jämedateralisest materjalist. CTB on kavandatud tugevamaks, külmumisele ja koormusele vastupidavamaks kui CSS. Kuna CTB koosneb tavaliselt töödeldud jämedateralistest täitematerjalidest, vajab CTB tavaliselt sama või madalama hüdraulilise sideaine protsenti kui CSS, et saavutada soovitud tugevus ja vastupidavus. [8]

CSS kui ka CTB jaoks vajalik hüdraulilise sideaine protsent sõltub pinnase või täitematerjali omadustest ja tee koormussagedusest. Näiteks oleks vaja vähem hüdraulilist sideainet, et saavutada soovitud omadused, kui alusmaterjalid koosnevad jäme täitematerjalidest, kui võrrelda alusmaterjale, milles esineb olulises koguses savi või liivsavi. [8]

CSS-i võib kasutada otse betoonkatendi all, kuid elastsete katendite korral paigaldatakse tavaliselt CSS-i peale enne katte paigaldamist killustikalus. CSS ja CTB-d võib kasutada otse betoonkatendite all, kuigi CTB ja betooni vahel võib olla lisaks ka asfaldi/killustikaluse vahekiht. Erinevalt CSS-ist võib CTB-d kasutada otse elastsete katendite all, kuid siis tuleks sellistes olukordades kaaluda näiteks CTB tugevuse vähendamist või vuukide lisamist, et vähendada teekattele peegelduvate pragude tekkimise tõenäosust. [8]

2.6.1. Hüdraulilise sideainega amortiseerunud konstruktiivsete kihtide segamine (FDR)

„Guide to full-depth reclamation with cement“ (FDR) ning ka „Cement-Stabilized Subgrade Soils“ juhendite kohaselt on olukordi, kus olemasoleva tee (killustik)aluses kasutatud materjal on halvas seisukorras ja põhjustab suurel hulgal defekte. [8] [11]

Eesti näite põhjal vajab tee rekonstrueerimist, kui ORVindeks on 100. [12] Kui see on nii, on üheks alternatiiviks kaaluda hüdraulilise sideainega amortiseerunud konstruktiivsete kihtide segamist (FDR). CTB meetodil on FDR-il sarnased omadused ja ehitusnõuded. [8] Tabel 2.1 on tehtud kokkuvõtte selles peatükis käsitletud nelja peamise stabiliseerimise meetodi eesmärgid ning nende jaoks kasutatavad materjalid ja ehitustingimused (CMS, CSS, CTB ja FDR). [8]

Kuigi CSS-i on kasutatud tavaliselt sügavamal problemaatiliste pinnaste stabiliseerimisel, siis käesolev töö keskendub hüdraulilise sideainega töödeldud aluspinna omaduste parandamiseks nii jäikadel kui ka elastsetel katenditel. [8]

Tabel 2.1 Stabiliseerimis meetodite põhifunktsioonid [8]

Hüdraulilise sideainega - stabiliseerimise tüübid	Hüdraulilise sideainega modifitseeritud pinnas (CMS)	Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnas (CSS)	Hüdraulilise sideainega töödeldud alus (CTB)	Hüdraulilise sideainega amortiseerunud konstruktiivsete kihtide segamine (FDR)
Eesmärk	<ul style="list-style-type: none"> •Soodustab pinnase kuivamist •Pakub olulist parandust aluspinnale • Tagab püsiva pinnase modifitseerimise (ei leonu) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pakub kõiki CMS eeliseid koos järgmistega: <ul style="list-style-type: none"> -Võimaldab vähendada konstruktsiooni paksust või suurendada katte eluiga -Suurendab kandevõimet 	<ul style="list-style-type: none"> •Pakub tugevat, külmakindlat aluskihti elastsetele ja jäikadele katenditele 	<ul style="list-style-type: none"> •Pakub tugevat, külmakindlat aluskihti elastsetele ja jäikadele katenditele
Materjalid	<ul style="list-style-type: none"> •Peamiselt peeneteralised pinnased (0,075 mm sõela läbindi protsent on rohkem kui 35 %) •2%-4% hüdraulilist sideainet 	<ul style="list-style-type: none"> •Peamiselt peeneteralised pinnased (0,075 mm sõela läbindi protsent on rohkem kui 35 %) •3%-6% hüdraulilist sideainet 	<ul style="list-style-type: none"> •Peamiselt jämedateralised materjalid •3%-6% hüdraulilist sideainet 	<ul style="list-style-type: none"> •Purustatud asfalt segatud olemasoleva teekatte alus-, aluskihi ja/või alusmaterjaliga •3%-6% hüdraulilist sideainet
Valmis kihi omadused	<ul style="list-style-type: none"> •Kuivatab pinnast 	<ul style="list-style-type: none"> •0,7–2,1 MPa seitsmepäeva vanuste proovikehade survetugevus 	<ul style="list-style-type: none"> •2,1–4,1 MPa seitsmepäeva vanuste proovikehade survetugevus 	<ul style="list-style-type: none"> •2,1–4,1 MPa seitsmepäeva vanuste proovikehade survetugevus

Tabel 2.1 järg

Hüdraulilise sideainega - stabiliseerimise tüübid	Hüdraulilise sideainega modifitseeritud pinnas (CMS)	Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnas (CSS)	Hüdraulilise sideainega töödeldud alus (CTB)	Hüdraulilise sideainega amortiseerunud konstruktiivsete kihtide segamine (FDR)
Tihendamine ja segamine	<ul style="list-style-type: none"> •Miinimum 95% labori maksimaalsest Proctor teimi katsest •Kohapeal segatud 	<ul style="list-style-type: none"> •Miinimum 95% labori maksimaalsest Proctor teimi katsest •Kohapeal segatud 	<ul style="list-style-type: none"> •Miinimum 95%–98% labori maksimaalsest Proctor teimi katsest • Segatud kohapeal või segistis/tehas 	<ul style="list-style-type: none"> •Miinimum 95%–98% labori maksimaalsest Proctor teimi katsest •Tavaliselt kohapeal segatud

2.7. Seguretsepti koostamine

„Cement-Stabilized Subgrade Soils“ juhendi kohaselt on vaja enne seguretsepti koostamist välja selgitada geotehniliste uuringutega kohaliku pinnase omadused, et kindlaks teha, milliseid omadusi tuleb muuta või täiendada. [8] [13]

Laboratoorselt on vaja kindlaks teha [8]:

1. Mittetöödeldud pinnase Atterbergi piirid.
2. Töödeldud pinnase Atterbergi piirid.
3. Standardi kohaselt Proctori-meetodil tihendamine.
4. Elastsusmoodul, survetugevus ja deformatsiooniparameetrid.
5. Paisumine (valikuline).
6. Survetugevus ja survetugevus vees hoitud (10-päevase paisumise järel).

Seguretsepti koostamisel on oluline teada materjali omadusi, millest koostatakse segu. Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinna kolm peamist komponenti on hüdrauliline sideaine, vesi ja pinnas [8].

Hüdraulilise sideaine tüüp tuleb valida vastavalt aluspinnase sulfaadi sisaldusele. Vett on vaja hüdraulilise sideaine osakeste reaktsioonide käivitamiseks. Kui hüdrauliline sideaine ja vesi segunevad, algab hüdratatsiooni protsess. Selle reaktsiooni käigus küllastub hüdrauliline sideaine ja pinnasegu kaltsiumiga. Pinnase tüübi kindlaksmääramine on iga teeprojekti kavandamisel oluline, kuid eriti oluline on see siis, kui pinnast kasutatakse aluspinna kihina. Kui pinnas on väga plastiline, väga märg või omab muid vastuvõetamatuid omadusi, võib see põhjustada hiljem teele defekte ning kate võib laguneda. [8]

Järgnevates alapunktides (2.7.1 - 2.7.8) on välja toodud tegevused, mis tuleb teha seguretsepti lõplikuks koostamiseks.

2.7.1. Olemasoleva materjali veesisalduse ja pinnase klassifitseerimine

Vastavalt „Cement-Stabilized Subgrade Soils“ juhendile hinnatakse tavaliselt CSS-i pinnaseid esmalt läbi sõelkõvera ja Atterbergi piiride katsetuste. Sõelkõver määrab pinnase peene ja jämeda materjali protsendid ning Atterbergi piiride katse määrab pinnase plastisuse. Need katsetused viiakse läbi geotehniliste uuringute käigus kogutud proovidest, mis annavad lõpuks teavet erinevate pinnaseomaduste kohta, sealhulgas pinnase veesisalduse ning klassifikatsioonist. Atterbergi ja sõelkõvera katsed tuleb teostada enne segu kavandamise protsessi. [8]

2.7.2. Hüdraulilise sideaine tüübi ja hinnangulise koguse määramine

„Cement-Stabilized Subgrade Soils“ juhendi kohaselt valitakse tavaliselt hüdrauliline sideaine kohalikest kättesaadavatest materjalidest ning seega ei anta otseselt soovitusi, millist hüdraulilist sideainet peaks kasutama. [8]

Üldjuhul jäävad CSS segus hüdraulilise sideaine sisaldus kuiva ühiku massist kolme ja kuue protsendi vahemikku. Hüdraulilise sideaine sisalduse vahemik võib olla esialgsete hinnangute jaoks kasutatav, kuid kui selguvad täpsemad laboratoorsed tulemused, tuleks hüdraulilise sideaine protsent kinnitada või muuta. Analüüsiks tuleks valmistada mitme erineva hüdraulilise sideainega proovikehasid nt kahe, nelja ja kuue protsendi ulatuses, et proovida määrata optimaalset hüdraulilise sideaine kogust. [8]

Mikk Raud on oma magistritöös välja toonud, et laboratoorsed uuringud on näidanud, et kui lisada 3% kustutamata lupja (kuiva pinnase mahumassist) saavutatakse efektiivne kuivatamine. Modifitseerimiseks on vaja lisada 6% ja stabiliseerimiseks on vaja lisada 16%, kuid M. Raud nentis samuti, et sideaine sisaldus sõltub pinnase tüübist. [4]

2.7.3. Keemilise ühilduvuse määramine (vajadusel)

„Cement-Stabilized Subgrade Soils“ juhendi kohaselt tuleks määrata keemiline ühilduvus siis kui on oht, et pinnaste ja hüdraulilise sideaine vaheline reaktsioon võib anda soovimatu tulemuse või kui pinnastes esineb sulfaate ning kui on kahtlusi stabiilsuse tagamisel. [8]

2.7.4. Kolme erineva hüdraulilise sideaine sisaldusega Atterbergi piiride määramine

„Cement-Stabilized Subgrade Soils“ juhendi kohaselt tuleks Atterberg'i piiride tuvastamisel läbi viia erinevate hüdraulilise sideaine sisaldustega CSS-proovid. On oluline, et katsetamine viidaks läbi üks tund pärast segamist. Segu kavandamisel tuleks proovida kasutada sama tüüpi ja päritolu hüdraulilist sideainet nagu välitöödel ehitamisel. Hüdrauliline sideaine tuleks hoida puhtas ja kuivas keskkonnas, et see ei reageeriks niiskusega enne CSS-segusse lisamist. [8]

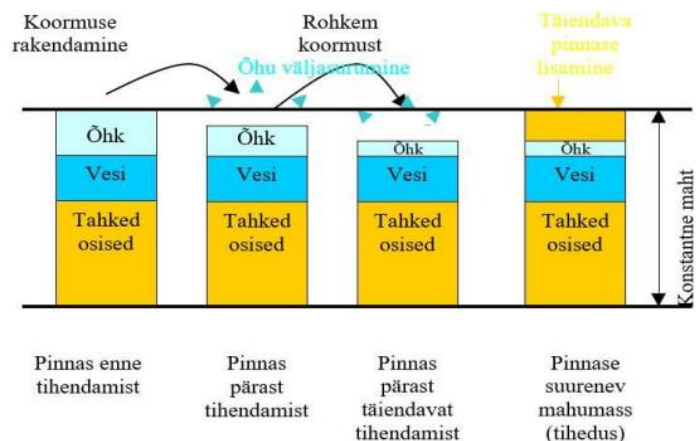
2.7.5. Optimaalse veesisaldus ja maksimaalse kuivtiheduse määramine

„Cement-Stabilized Subgrade Soils“ juhendi kohaselt tuleb määrata CSS-i optimaalne veesisaldus ja maksimaalne kuivtihedus (MDD) ehk segu niiskuse-tiheduse suhe. Need on olulised omadused tugevuse ja tiheduse hindamiseks. Optimaalne veesisaldus (OMC), MDD ja hüdraulilise sideaine protsendi määramine on oluline, et teada optimaalset niiskuse sisaldust, et saavutada maksimaalne tihedus CSS-segus. Antud teave on oluline ka ehituse kvaliteedikontrolli jaoks, kuna uuringud on näidanud, et hüdraulilise sideainega stabiliseeritud materjalidel on parem tugevus ja kvaliteet, kui need on korralikult tihendatud. [8]

Muldkeha pinnaste tihendamise ja tiheduse kontrolli juhendis on samuti viidatud pinnase tihendamise vajalikkusele. Tihendamine on oma olemuselt pinnasest pooride osakaalu vähendamine ning pinnasest liigse vee välja surumine (Joonis 2.1). [14]

Tihendamise peamised eesmärgid on: [14]

1. Pinnase nihketugevus ning sellega kaasnev kandevõime kasv.
2. Pinnase jäikuse suurendamine ning sellega seoses püsivate deformatsioonide vähenemine.
3. Pinnase pooride mahu vähendamine ning sellega seoses veesisalduse ning külmakergete vähenemine.



Joonis 2.1 Pinnase mahukaalu (tiheduse) suurenemine pinnase tihendamise tulemusena [14]

Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnase juhendis on välja toodud, et hüdraulilise sideaine sisaldus (kaalu alusel) põhineb ainult pinnase/kruusa kuiv mahumassil (hüdraulilist sideainet ei lisata) ja seda arvutatakse Valem 2.1-ga. [8]

Valem 2.1 Hüdraulilise sideaine sisalduse % [8]

$$\text{Hüdraulilise sideaine sisaldus } c\% = \left(\frac{\text{tsemendi kaal}}{\text{materjali kuivtihedus}} \right) \times 100 \quad (\text{Valem 2.1})$$

Segu veesisaldus on vee kogus segu koostises suhtena kogu segu massile, sealhulgas nii hüdraulilise sideaine kui ka muude materjalide sisaldusele. Veesisaldust mõõdetakse protsentides ja see väljendab, kui suur osa segust on vesi võrreldes kuivmassiga. Veesisaldust väljendatakse protsendina ning arvutatakse Valem 2.2-ga. [8]

Valem 2.2 Vee sisalduse % [8]

$$\text{Vee sisaldus } w\% = \left(\frac{\text{vee mass segu koostises}}{\text{pinnas/täitematerjal/hüdrauliline sideaine}} \right) \times 100 \quad (\text{Valem 2.2})$$

Hüdraulilist sideainet tuleks lisada töötlemata, stabiliseerimata materjalile enne vee lisamist. Proov tuleks vormida ühe kuni kahe tunni jooksul alates hetkest, millal hüdrauliline sideaine segule lisati. Üldiselt on laborikatsete ajal oluline jälgendada sarnast ehitusprotsessi nii palju kui võimalik. Juhul kui hüdraulilist sideainet tuleb ehituse käigus lisada vedelana, tuleks tagada, et laboritingimused vastaksid ehitustingimustele. [8]

Kui seguretsepti koostajal pole varasemat kogemust ega juhiseid, mis viitaksid sellele, milline peaks olema optimaalne veesisaldus segul, siis on soovitatav teha niiskustiheduse test töötlemata pinnaseproovi puhul enne hüdraulilise sideaine lisamist. Niiskustiheduse testi tulemused töötlemata, stabiliseerimata proovist annavad veesisalduse vahemiku, mida kasutatakse baasjoonena edasiseks niiskustiheduse testimiseks hüdraulilise sideainega töödeldud proovidele. [8]

Soovitav on läbi viia pinnasekatseid enne ehitamist. Näiteks kui savipinnastele kantakse hüdraulilist sideainet, võib tulemus mõnel juhul olla madalam MDD ja kõrgem OMC kui töötlemata pinnases. [8]

2.7.6. Ühetelgse survetugevuse määramine (vajadusel CMS-i jaoks)

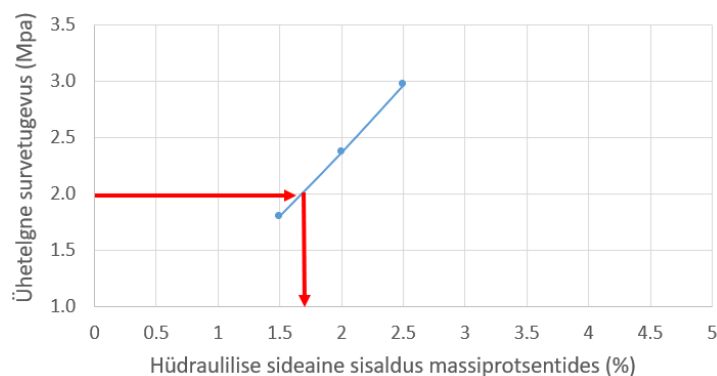
Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinnase juhendi kohaselt, kui materjal on analüüsitud ja määratud on OMC, MDD, terastikkuline koostis ja Atterbergi piirid, saab seejärel määrata survetugevuse (UCS) (CMS-i jaoks on see samm valikuline). [8]

UCS-i jaoks valmistatakse tavaliselt ette proovid vähemalt kolme erineva hüdraulilise sideaine sisaldusega (näiteks kahe, nelja ja kuue protsendi kuivmassi kohta). Iga hüdraulilise sideaine sisalduse jaoks tuleks valmistada vähemalt kaks proovi. Enne survetugevuse katsetamist tuleb proove vees hoida neli tundi. [8]

2.7.7. Graafiku koostamine ühetelgse survetugevuse andmete põhjal, et määrata hüdraulilise sideaine sisaldust

Cement-Stabilized Subgrade Soils juhendi kohaselt tuleb UCS testide tulemustest koostatud graafiline joonis (Joonis 2.2). Selles näites on sihttugevuseks määratud 2,0 Mpa, nagu näitab horisontaalne punane joon. Graafiku tulemused näitavad, et ca 1,6% kuivmaterjali sisaldusega hüdrauliline sideaine saavutab soovitud tugevuse. Siiski on levinud tava suurendada hüdraulilise sideaine sisaldust 0,5%-1,0%, et arvestada ehitusega seotud probleemidega. Seega oleks eelnimetatud näite põhjal mõistlik arvestada 2,0%-2,5% hüdraulilise sideaine sisaldusega. [8]

Kui hüdraulilise sideaine sisaldus on kindlaks määratud, soovitatakse läbi viia Proctor-teimi katse. Katsematerjalile tuleb lisada kindlaks määratud hüdraulilise sideaine kogus, et täpsustada, milline on optimaalne veesisaldus ja maksimaalne kuivtihedus, et ehituse käigus oleks võimalik efektiivselt materjali niisutada ja tihendada. [8]



Joonis 2.2 Ühetelgse survetugevuse sõltuvus hüdraulilise sideaine sisaldusest. [8]

2.7.8. Seguaruande koostamine

Seguaruandes peab kirjas olema vähemalt järgnev teave [8]:

1. Töötlemata pinnase omadused: veesisaldus, terastikkuline koostis, Atterbergi piirid ning niiskuse ja tiheduse katsetulemused (kui kohaldatav).
2. CSS segu MDD ja OMC ning segu Atterbergi piirid.
3. Hüdraulilise sideaine tüüp, mida kasutatakse pinnase stabiliseerimiseks (nt tüüp I, tüüp II, tüüp I/II või tüüp II/V).
4. Soovitatav hüdraulilise sideaine sisaldus kuivmaterjalide protsendina.
5. UCS-iga katsetatava hüdraulilise sideaine sisalduse korral (kui kohaldatav).

Lisaks nendele punktidele peaksid aruandes olema graafikud UCS versus katsetatud hüdraulilise sideaine sisaldus ja niiskustiheduse graafik soovitatud hüdraulilise sideaine sisalduse korral (Joonis 2.2). Kui segamissügavus on teada, peaks seguretsepti aruandes olema välja toodud soovitus hüdraulilise sideaine laotamiskiiruse kohta, et tagada ehituse käigus õige hüdraulilise sideaine kogus. Kulunorm peaks olema määratletud kilogrammides ruutmeetri kohta ja näitama, kas kulunormi peaks vahepeal muutma (soovituslik puistenormi näidis Tabel 2.2 ja Tabel 2.3). [8]

Tabel 2.2 Tüüpilised hüdraulilise sideaine puistenormid [8]

Pinnase kuivkaal (kg/m ³)	Stabiliseerimissügavus (mm) 10,8 kg/m ²				Stabiliseerimissügavus (mm) 16,3 kg/m ²				Stabiliseerimissügavus (mm) 21,7 kg/m ²			
	150	200	250	300	150	200	250	300	150	200	250	300
1,440	5%	4%	3%	3%	7%	6%	4%	4%	10%	7%	6%	5%
1,600	4%	3%	3%	2%	7%	5%	4%	3%	9%	7%	5%	4%
1,760	4%	3%	2%	2%	6%	5%	4%	3%	8%	6%	5%	4%
1,920	4%	3%	2%	2%	6%	4%	3%	3%	7%	6%	4%	4%
2,080	3%	3%	2%	2%	5%	4%	3%	3%	7%	5%	4%	3%

Tabel 2.3 Tüüpilised hüdraulilise sideaine puistenormid [8]

Pinnase kuivkaal (kg/m ³)	Stabiliseerimissügavus (mm) 27,1 kg/m ²				Stabiliseerimissügavus (mm) 32,5 kg/m ²			
	150	200	250	300	150	200	250	300
1,440	12%	9%	7%	6%	15%	11%	9%	7%
1,600	11%	8%	7%	6%	13%	10%	8%	7%
1,760	10%	8%	6%	5%	12%	9%	7%	6%
1,920	9%	7%	6%	5%	11%	8%	7%	6%
2,080	9%	6%	5%	4%	10%	8%	6%	5%

2.8. Ehitusprotsessi kirjeldus

Läti maanteeameti käsiraamatus on koostatud pinnase stabiliseerimise kohta kolm meetodikat, kuidas peaks välja nägema hüdrauliliste sideainetega stabiliseerimine (Joonis 2.3, Joonis 2.4 ja Joonis 2.5). Enne meetodikate kirjeldamist on loetletud tehnikapark, mida kasutatakse stabiliseerimisel ning nende tähised, et järgnevaid

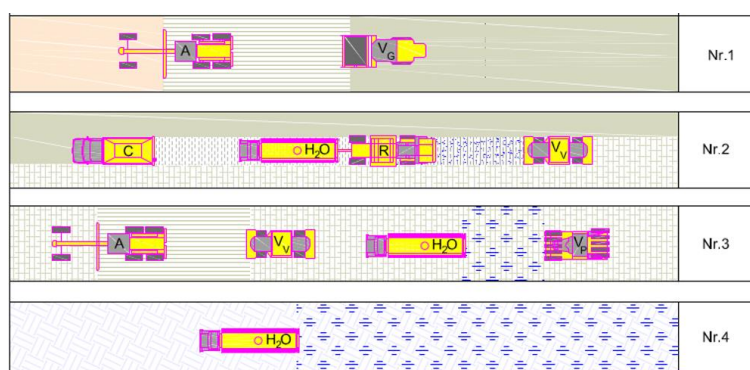
skeeme oleks lihtsam lugeda. [15] Hüdraulilise sideainega stabiliseeritud aluspinna juhendis on samuti välja toodud loetelu, millist tehnikat on vaja, et teostada pinnasestabiliseerimist. [8] Mõlema juhendi masinate loetelu on sarnane, kuid Läti juhendis ei käsitleta tapprulle, mida Ameeriklaste juhendi loetelus on kajastatud. Läti käsiraamatu kohaselt on võimalik kahe erineva masinaga pinda niisutada. Üks võimalusi on adraga veepaak, millega küntakse vesi pinnasesse. Ameeriklaste juhendis kasutatakse sarnast adraga seadet, kuid sellisel juhul küntakse pinnasesse juba valmis hüdraulilise sideaine segu. Teine niisutuse viis on traditsiooniline. [8] [15]

Tehnika märgiste tähendused [15]:

1. A-Greider
2. VG- Silevalts pinnaserull
3. C- Hüdraulilise sideaine/lubja laotur
4. H₂O- Paakauto
5. R- Segamisfrees
6. V_v- Kahe valtsiga teerull
7. V_p- Pneumorull
8. H₂O_A- Adraga veepaak

Esimese variandi tehnoloogilise protsessi kirjeldamine muldkeha stabiliseerimisel (Joonis 2.3) [15]:

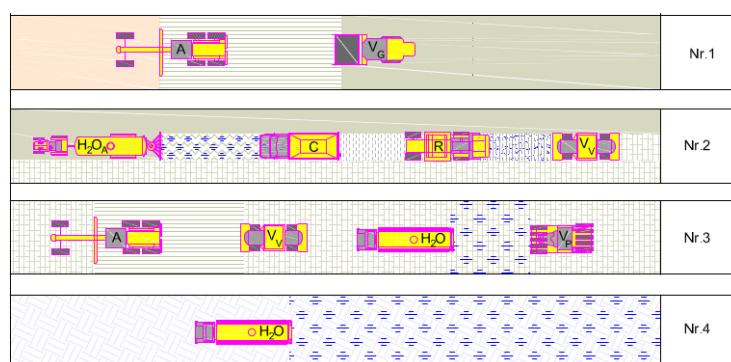
1. Olemasoleva aluse profileerimine ja tihendamine. Aluspind tihendatakse pinnaserulliga.
2. Hüdraulilise sideaine laotamine, vesi doseeritakse läbi stabiliseerimismasina, segatakse ettenähtud sügavuseni ja stabiliseeritud pind tihendatakse kahe valtsilise teerulliga.
3. Profileerimine, tihendamine kahe valtsilise teerulliga, niisutamine ja tihendamine pneumorulliga.
4. Stabiliseeritud ja profileeritud pinna niisutamine.



Joonis 2.3 Tehnoloogiline protsess pinnase stabiliseerimiseks hüdraulilise sideainega (nelja etapiline) [15]

Teise variandi tehnoloogilise protsessi kirjeldamine muldkeha stabiliseerimisel (Joonis 2.4) [15]:

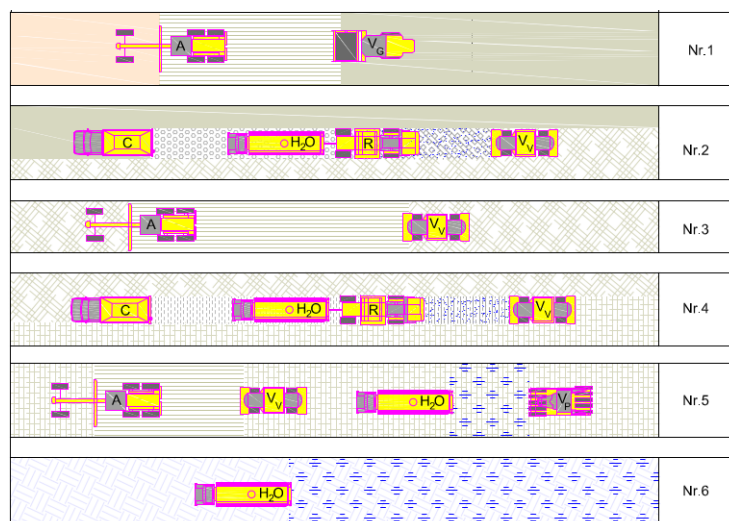
1. Olemasoleva aluse profileerimine ja tihendamine. Aluspind tihendatakse pinnaserulliga.
2. Vee kündmine pinnasesse, hüdraulilise sideaine laotamine, stabiliseerimismasinaga freesitakse ettenähtud sügavuseni ning stabiliseeritud pind tihendatakse kahe valtsilise teerulliga.
3. Profileerimine, tihendamine kahe valtsilise teerulliga, niisutamine ja tihendamine pneumorulliga.
4. Stabiliseeritud ja profileeritud pinna niisutamine.



Joonis 2.4 Tehnoloogiline protsess pinnase stabiliseerimiseks hüdraulilise sideainega, lisades vett enne hüdraulilise sideaine laotamist [15]

Kolmanda variandi tehnoloogilise protsessi kirjeldamine muldkeha stabiliseerimisel (Joonis 2.5) [15]:

1. Olemasoleva aluse profileerimine ja tihendamine. Aluspind tihendatakse pinnaserulliga.
2. Hüdraulilise sideaine laotamine, vesi doseeritakse läbi stabiliseerimismasina ja samal ajal freesitakse ettenähtud sügavuseni ning stabiliseeritud pind tihendatakse kahe valtsilise teerulliga.
3. Stabiliseeritud pind profileeritakse ja tihendatakse kahe valtsilise teerulliga.
4. Teist korda laotatakse hüdraulilist sideainet, vesi doseeritakse läbi stabiliseerimismasina stabiliseerimise ajal, stabiliseeritud pind tihendatakse kahe valtsilise teerulliga.
5. Stabiliseeritud pind profileeritakse uuesti ning tihendatakse kahe valtsilise teerulliga, pärast kahe valtsilise teerulliga tihendamist niisutatakse pinda veega ning rullitakse pneumorulliga.
6. Stabiliseeritud ja profileeritud pinna niisutamine.



Joonis 2.5 Tehnoloogiline protsess pinnase stabiliseerimiseks hüdraulilise sideainega (kuue etapiline) [15]

3. ÜLDOSA

Käesolevas peatükis antakse ülevaade muldkeha stabiliseerimise katselõikudest, 2019. aasta ja 2022. aasta keskmisest ööpäevasest liiklussagedusest ning vajalikust elastsusmoodulist, Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Uuritava lõikude andmed [16]

Tee nr	Lõigu nimi	Ehitus aasta	2019				2022			
			AKÖL	VAAB	AR	Evaj	AKÖL	VAAB	AR	Evaj
18116	Erastvere-Sillaotsa 0.034-1.623	2021	190	8	50	200	210	6	50	200
18175	Põlgaste-Roosi 1.536- 4.446	2021	151	2	26	179	119	0	20	171
18157	Miiaste-Kanassaare km 4.996-9.826	2021	68	2	14	161	41	1	7	140
24160	Loodi-Nõmme km 2.595-5.593	2021	162	18	39	198	99	2	2	115
24132	Kolga-Jaani-Oiu km 5.8-15.54	2022	92	1	3	118	86	1	1	94

Tabel 3.1 on näha veoautode ja autobusside ning autorongide aasta keskmist ööpäevast liiklussagedust ning vajalikku elastsusmoodulit. [16] [17] Kui võrrelda 2019. aasta ning 2022. aasta liiklussagedust, siis on näha, et veoautode ja autobusside ning autorongide liiklussagedus on mõnevõrra langenud. Üksikutel lõikudel on jäänud koormussagedus samaks.

2019. aasta ja 2022. aasta veoautode ja autobusside ning autorongide liiklussagedustest on välja arvatud koormussagedus ning koormussagedusest omakorda E_{vajalik} .

Elastsete teekatendite projekteerimisjuhendist on valitud koormussageduse arvutusveokiks V1 sellepärast, et liiklusvoog koosneb valdavalt sõiduautodest ning veoautodest. Kõik teised füüsilised veokid redutseerisin V1-ks. [17]

Arvutusveokite teljekoormuse taandamise siirdeteguriteks valisin veoautode ja autobusside puhul 2,67 ning autorongi siirdeteguriks 3,76. Sõiduautode siirdegur on null. [17]

Rajategur valiti 0,55, kuna sõidutee laius on üle 6 m. [17]

Valem 3.3 Koormussageduse arvutusvalem on järgmine [17]:

$$(VAAB*2,67+AR*3,76+Sõiduauto*0)*0,55 \quad (\text{Valem 3.3})$$

Valem 3.4 E_{vajaliku} arvutusvalem on järgnev [17]:

$$E_{\text{vajalik}} = a * \log(Q) + b \quad (\text{Valem 3.4})$$

Koormusgrupiks valisin A veoauto $a=70$ ning $b=56$. [17]

Vastavalt Tabel 3.1 on kõige enam langenud liikluskoormus riigiteel 24160 Loodi-Nõmme 42% ja riigiteel 24132 Kolga-Jaani-Oiu 20%.

Mõnevõrra üllatav on, et ka sõiduautode liiklussagedus on antud lõikudel vähenenud. Tavaliselt hakatakse kattega lõike rohkem kasutama ning seega tõusevad liiklussagedused.

Antud töös arvestatakse, et tegemist on kergkatenditega, kuna muldkeha on stabiliseeritud hüdraulilise sideainega. [17] Riigitee 18116 Erastvere-Sillaotsa, riigitee 18175 Põlgaste-Roosi ja riigitee 18157 Miiaste-Kanassaare võiksid kuuluda ka oma konstruktsiooni poolest siirdekateendite hulka, kuna hüdraulilist sideainet on lisatud vähe, kõigest 1% (Tabel 3.5, Tabel 3.11 ja Tabel 3.15) ning soovitud survetugevus oli 0,5 Mpa (vt punkti 3.1.4, 3.2.4 ja 3.3.4). Kuna reaalne seitsme päevase proovikehade survetugevused jäid vahemikku 1,5 – 3,5 Mpa, käsitletakse eelnimetatud lõike antud töös kergkatenditena (vt Tabel 3.6, Tabel 3.7, Tabel 3.9, Tabel 3.10, Tabel 3.12, Tabel 3.13 ja Tabel 3.16).

Riigitee 18175 Põlgaste-Roosi ja riigitee 18157 Miiaste-Kanassaare katselõigul teostati 2023. aasta augustikuus külmakerke kohtade väljakaeveld. Kõikidest katselõikudest teostati FWD uuringud. Uuringud on teostatud (juunis, juulis ning augustis) teedevõrgu seisukorra hindamiseks ning seega ei tohtinud FWD mõõtmisperioodi alustada enne juunit, kuna kevadisel perioodil on teekonstruktsiooni olukord väga kiiresti muutuv. [18]

Käesoleva töö koostamisel oleks olnud parem, kui mõõtmistulemused oleks teostatud aprilli teises pooles või siis (hilis)sügisel, kuna sellel hetkel oleks olnud konstruktsioon niiske/liigniiske ning kõige „haavatavam“. Uurimustöö seisukohalt olid kahjuks suvekuud väga kuivad ja väheste sademetega ning seega peab arvestama asjaoluga, et kõiki nõrkasid kohti ei pruugi hetkel mõõdetud andmetest välja tulla. [19] Madala liiklussagedusega teede katendiprojekterimisejuhendi uuringus tuuakse välja, et kuival ajal saadud tulemused võivad olla 30-40+% suuremad, kui kevadel. [20]

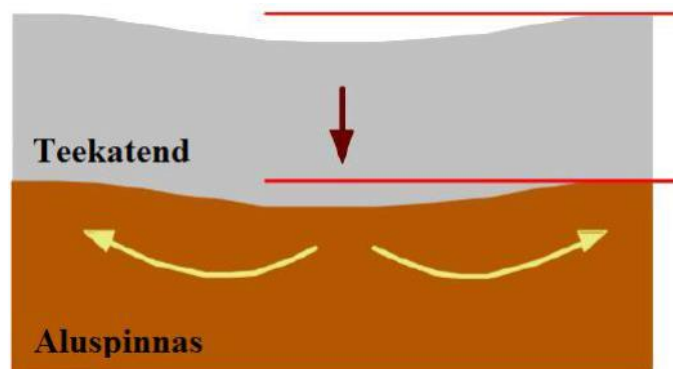
Vajumikausi parameetrite hindamiseks on kasutatud siirde- ja kergkatendite remondi tehnilise kirjelduse juhises välja toodud SCI, BDI ja BCI piirväärtusi. [19]

Mida kõrgem SCI näitaja, seda suurem on tõenäosus, et kattesesse tekivad Joonis 3.1 kujutatud roopad. Kui mõõdetakse vihmamärga teekatet, siis võib ka saada kõrged SCI väärtused. [19] Arvestades, et 2023. aasta suvi oli kuiv, siis ei pea hetkel arvestama eelnimetatud teguriga.



Joonis 3.1 Kui SCI väärtus on kõrge, tekivad kattesse roopad [19]

Kui teekattes esinevad võrkpraod (suhteliselt väikesemõõdulised plokid) viitab see probleemile, mis on vahetult pindamiskihi all (ehk FWD mõõtmistega saadakse kõrged SCI väärtused). Võrkpraod, mis koosnevad suuremõõdulistest ruudustikest, viitavad suuremale probleemile ning katendi üldine kandevõime ei ole piisav (ehk FWD mõõtmistega saadakse kõrged BDI või ka BCI näitajad). Seega on püsivate deformatsioonide põhjus sügavamal (Joonis 3.2). [19]



Joonis 3.2 Kui BCI väärtus on kõrge, on kattel laiad roopad [19]

Tabel 3.2 SCI 300, BDI 600 ja BCI 1500 soovituslikud piirväärtused koos iseloomustusega [19]

Iseloomustus	SCI 0...300 mm	BDI 300...600 mm	BCI 1200...1500
Suurepärase	< 250	-	< 10
Hea	250...400	< 200	10...20
Rahuldav	400...450	200...300	20...60
Halb	450...900	300...450	60...100
Väga halb	> 900	> 450	> 100

Tellijal on hankes IRI väärtusi mõnevõrra karmimaks muutnud kui seda nõuavad „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“ (Tabel 3.3). [21]

Tabel 3.3 Suurim lubatud IRI väärtus mm/m [21]

Tee liik	Suurim lubatud IRI väärtus mm/m	
	Mustkate*	Asfaltkate*
Uutel ja remonditud kahe ja enamakihilistel katetega teedel, millel on mõlemas suunas kaks ja enam sõidurada või LS > 5000 autot/ööpäevas	Ei ehitata	1,6
LS 1500 - 5000 autot/ööpäevas	2,2/2,4	1,9/2,2
LS 501 - 1500 autot/ööpäevas	2,4/2,6	2,2/2,4
LS kuni 500 autot/ööpäevas	2,6/3,0	2,4/2,6

* Murru lugejas - nõuded uuele kahekihilisele ja taastatud kattele, nimetajas - ühekihilisele uuele kattele killustik- või kruusalusel. [21]

Väljakaevete teostamisel mõõdeti kaeviku põhjasid Ameerika dünaamilise käsipenetromeetriga (DCP) (Joonis 3.3).

Ameerika dünaamiline käsipenetromeeter on seade, millega penetreeritakse metallist varrast pinnasesse, metallvarda otsas on 60° tipunurgaga koonus. Pinnasesse penetreerimisel kasutatakse 8 kg raskust, mis kukutatakse alusele 580 mm kõrguselt. [22]

DCP seade sobib kõige paremini pinnase tugevuste hindamiseks, teisendades tulemused tavaliselt jäikuseks (elastsusmoodul, Mpa). Teisendamine elastsusmooduliks arvutatakse Valem 3.5, Valem 3.6 ja Valem 3.7-ga. [22]

Valem 3.5 DCP arvutusvalem [8]

$$DCP = \frac{PR_2 - PR_1}{BC_2 - BC_1} \quad (\text{Valem 3.5})$$

1. PR- Joonlaua näidud.
2. BC-Löökide arv.

Valem 3.6 CBR-i arvutusvalem [8]

$$CBR = \frac{292}{DCP^{1,12}} \quad (\text{Valem 3.6})$$

Valem 3.7 CBR teisendamine elastsusmooduliks (MPa) [22]

$$MPa = 17,6 * CBR^{0,64} \quad (\text{Valem 3.7})$$

RMK metsateede katendite projekteerimise, ehitamise ja hooldamise juhendi kohaselt ei ole DCP seadmega võimalik mõõta väga kiviseid pinnaseid (tera suurus üle 40 mm) ning väga pehmeid pinnaseid. Pehmele pinnaste puhul vajub seade liiga kiiresti pinnasesse ning seega ei ole võimalik eristada väikseid muutusi. Liiga kivise pinnase puhul võib juhtuda, et seadme koonus satub vastu kivi, mille tagajärjel pole tulemused

enam usaldusväärset. DCP-ga on leitud pinnase CBR/E-mooduli väärtused ning kirjeldused on lisatud Tabel 3.4 Aluspinnaste kategooria CBRi tulemuste põhjal

Tabel 3.4 Aluspinnaste kategooria CBRi tulemuste põhjal [22]

CBR väärtus %	E-moodul (Mpa)	Üldine liigitus	
>50	>215	Väga hea	Kattekiht või alus
20-50	120-215	Hea	Kattekiht või alus
7-20	60-120	Rahuldav	Vahekiht
3-7	35-60	Nõrk	Muldkeha / pinnas
0-3	0-35	Väga nõrk	Muldkeha / pinnas



Joonis 3.3 Ameerika dünaamilise koonus käsipenetromeeter (Autori erakogu)

Joonis 3.6 mullastiku kaardilt nähtub, et lõigul esineb enamjaolt kahkjast leetunud mullad (LP), väga õhukesed ja sügavad madalsoomullad (M`M` ``) ning leetjad gleimullad (GI).

Maa-ameti mullastiku kaardi seletuskirja kohaselt on kahkjast leetunud mullad valdavalt saviliiv liivsavi, kerge liivsavi keskmisel ja raskel liivsavi ja harvem raske liivsavi savil (kahekihiline lähtekivim). Tulenevalt mulla kahekihilisusest, kannatavad nad sademeveest tingitud lühiajalise liigniiskuse all. Väga õhukesed ja sügavad madalsoomullad on alaliselt tugevasti liigniisked mullad. Leetjad gleimullad on alaliselt liigniisked mullad, kus liigniiskus on tingitud pidevalt mullaprofiili ulatuvast põhjaveest, rasketele muldadele lisandub ka sademevesi. [3]

Maaparandussüsteemi kaardirakenduse järgi (Joonis 3.4 Erastvere - Sillaotsa asukohaskeem (vasakul) ja Joonis 3.5 maaparandussüsteemide kaardi rakendus (paremal)) on näha, et enamus lõiku ümbritseb maaparandussüsteemid.

3.1.2. Välitööde kirjeldus

Välitööd teostati 23.03.2023 ja 22.04.2023. Esimesel välitööpäeval (23.03.2023), oli näha, et kraavid olid lund täis ning defektsetes kohtades km 0,94 vesi seisis. Lõigule oli kehtestatud ajutiselt raskeveokitele läbisõidu keeld, kuid paraku see ei takistanud kohalikust metsast palgivedu. Teisel välitööpäeval (22.04.2023) oli näha, et terve lõigu ulatuses mõlemale poole teed on kaevatud kraavid. Metsavahelisel lõigul oli vasakul pool teed kraavid kohati lund täis. Paremal pool kraavis oli lumi üldjuhul sulanud (üksikutes kohtades oli näha kraavi põhjas lund). Kraavides ei esinenud vett.

Uuritava lõigu ääres kasvasid kuused, männid ja kased. Harilik kuusk kasvab värsketel ja niisketel muldadel. Kuusikutes on mullad tavaliselt leetunud. Pinnased on saviliivmullased kuni raske liivsavimullased ning ka hästi lagunenenud turvasmuldadel. Kuusk ei talu kuiva mulda ega seisvat vett ning madalat õhuniiskust. [23] [24]

Lõigul esinesid üksikud defektid, valdavalt katte serva lagunemised. Katte serva lagunemised olid sisekurvides km 0,536 - km 1,056 (vp), km 0,921 - 0,943 (pp) ja km 1,024 - 1,051 (pp). Km 1,024 - 1,051 (pp) lagunenenud serva juures oli näha parema ratta jälje kohal võrkpragusid. Km 0,476 (vp) oli näha ka servas üksikut auku. Esines ka kohti, kus pindamine oli lahti tulnud. Üksikutes kohtades esines ka tapptera jälgi. Katte tasetas tundus olevat hea.

3.1.3. Dokumentatsioon

Tehnilise kirjelduse kohaselt tuli olemasolev kruuskate eelnevalt profileerida. Kattekihi põikkalded pidid jääma kahepoolse kalde korral 3,5% ja viraažides 4-6% juurde.

Tihendatud kruusatee kandevõime pidi olema 130 MPa. Olemasolevale tihendatud kruuskattele tuli paigaldada purustatud kruusast segu (positsioon 1) paksusega $h=15$ cm. Olemasolev kruusakiht ning juurde veetav kruuskiht tuli stabiliseerida hüdraulilise sideainega. Stabiliseerimise segamissügavus oli $h=25$ cm. [25]

Mõlema kihi läbisegamise ning hüdraulilise sideaine lisamise eesmärk oli olemasoleva ning juurde veetud materjalide ühtlasemaks muutmise ning kandevõime suurendamine. Stabiliseerimise tulemusena ei tohtinud kiht tööle hakata betoonplaadina. Pinnase stabiliseerimisel võis kasutada järgnevaid lisandeid: CEM I 42,5 või CEM II 42,5. [25]

Enne stabiliseerimistöodega alustamist tuli teostada laboratoorsed katsetused erineva hüdraulilise sideaine sisaldusega ja vähemalt kolmest erinevast kohast objektilt võetud mineraalmaterjaliga (Joonis 3.6). Valminud stabiliseeritud kattele paigaldati kahekordne ümberpööratud pindamine (2xÜ), mille käigus laotati esimene sideaine kiht ja selle peale peene täitematerjali fraktsioon, mis tagab kõva stabiliseeritud pinnaga parema nakke kui suurem kivi. Selle peale tuleb teine sideaine kiht ja jämedama täitematerjali puiste kulumiskiht. [25]

Tabel 3.5 Stabiliseerimistöode vahetusaruannete väljavõte [andmed pärinevad ehitustööde dokumentatsioonist]

Kuupäev	Stabiliseeritud lõik (km)	Hüdrauliline sideaine ning kogus (%)	Õhu temp	Ilm
28.05.2021	0,034 – 1,624	CEM I 42,5N; 1% (4,29 kg/m ²)	+16°C	Kuiv

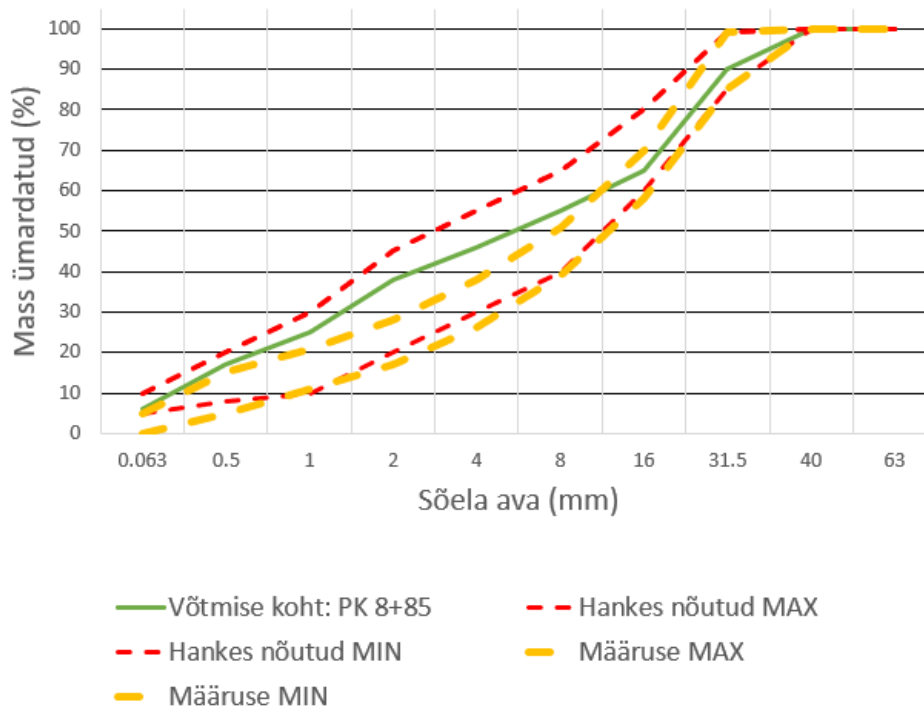
3.1.4. Materjalide terakoostise ning survetugevuse andmed

Hankedokumentide kohaselt on tellija ette andnud purustatud kruusa terastikulise koostise (POS 1). [25] Sõelkõvera Joonis 3.7-le on kantud hanke dokumentides ette nähtud ning määrusekohased sõelade ava läbindite protsendid (POS 1). Tellija poolt etteantud sõelade läbindi protsendid erinevad määrukses ette nähtud sõelade ava läbindi protsentidest selle poolest, et segu on võimalik teha peenem. [25]

Joonis 3.7 on näha, et segu vastab igati hankes ette nähtud nõuetele. Kuna lõik oli lühike ning rohkem terakoostist sellel lõigul ei määratud, on keeruline üksiktulemuse põhjal järeldusi teha.

Purustatud kruusas kasutatava kivi purunemiskindlus oli LA 30.

18116 Erastvere - Sillaotsa POS 1 sõelkõver



Joonis 3.7 Erastvere – Sillaotsa teelt võetud (POS 1) sõelkõvera andmed [andmed on saadud Steigeri katseprotokollidest] [25] [26]

Enne stabiliseerimistöodega alustamist tuli teostada laboratoorsed katsetused erineva hüdraulilise sideaine sisaldusega ning vähemalt kolmest erinevast kohast võetud mineraalmaterjaliga. Tabel 3.6 on näha kolmest erinevast kohast, kolme erineva sideainesisaldusega 7 päeva ning 28 päeva vanused survetugevuse andmed.

Tabel 3.6 Kolme erineva sideaine sisaldusega survetugevuste andmed [andmed pärinevad TalTech katselaboratooriumi katseprotokollidest]

PK	CEM I 42,5 osakaal %	Proovikeha vanus, 7 päeva				Proovikeha vanus, 28 päeva			
		Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevus, N/mm ²	Keskmine surve- tugevus, N/mm ²	Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevus, N/mm ²	Keskmine surve- tugevus, N/mm ²
1+35	2.5	2.135	2.122	3.2	3.1	2.090	2.090	3.8	4.0
		2.114		3.2		2.070		4.0	
		2.118		2.9		2.110		4.2	
	2.0	2.091	2.096	2.4	2.4	2.093	2.085	3.6	3.4
		2.117		2.6		2.044		3.1	
		2.079		2.2		2.119		3.5	
	1.5	2.008	2.024	1.4	1.6	2.015	2.028	2.2	2.1
		2.055		1.8		2.050		2.2	
		2.008		1.5		2.018		1.9	

Tabel 3.6 järg

PK	CEM I 42,5 osakaal %	Proovikeha vanus, 7 päeva				Proovikeha vanus, 28 päeva			
		Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevus, N/mm ²	Keskmine surve- tugevus, N/mm ²	Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevus, N/mm ²	Keskmine surve- tugevus, N/mm ²
15+00	2.5	2.109	2.120	2.8	3.0	2.108	2.108	4.7	4.3
		2.122		3.1		2.096		3.9	
		2.130		3.1		2.119		4.4	
	2.0	2.127	2.120	2.6	2.4	2.102	2.083	3.3	3.3
		2.114		2.2		2.068		3.5	
		2.118		2.3		2.078		3.1	
	1.5	2.089	2.095	2.1	2.0	2.095	2.093	2.4	2.6
		2.100		1.9		2.099		2.8	
		Survepind rikutud, servadest tükid puudu		2.085		2.6			
7+75	2.5	2.120	2.116	3.6	3.6	2.117	2.114	4.8	4.6
		2.110		3.5		2.117		4.3	
		2.118		3.6		2.109		4.8	
	2.0	2.127	2.125	3.0	2.8	2.103	2.108	3.7	3.9
		2.119		2.8		2.102		3.8	
		2.129		2.7		2.118		4.2	
	1.5	2.085	2.092	2.0	2.0	2.109	2.106	2.8	3.0
		2.111		2.4		2.096		2.9	
		2.079		1.5		2.112		3.4	

Tegemist ei ole kompleksstabiliseeritud (KS) seguga, kuid illustreeriva infona toon välja, et kompleksstabiliseeritud segu 7 päeva vanusel proovikehal peab olema survetugevus $\geq 1,5$ Mpa ning 28 päeva vanusel proovikehal ≥ 3 Mpa kuni ≤ 12 Mpa. [26] [27]

Katse tulemusena saadi teada, et hüdraulilise sideaine sisaldusega 2,5% on 7 päeva vanusele proovikehal survetugevus 3,0–3,6 Mpa ning 28 päeva vanusel proovikehal 4,0–4,6 Mpa. Hüdraulilise sideaine sisaldusega 2,0% saadi 7 päeva vanusele proovikehale survetugevuseks 2,4–2,8 Mpa ning 28 päeva vanusele proovikehale 3,3–3,9 Mpa. Mõlema hüdraulilise sideaine sisaldusega saavutati kompleksstabiliseeritud segu survetugevused (Tabel 3.6).

Hüdraulilise sideainesisaldusega 1,5% saavutati 7 päeva vanuse kompleksstabiliseeritud segu survetugevus ning üksik proov andis välja ka 28 päeva vanuse survetugevuse ning teised kaks andsid 2,1 ja 2,6 Mpa. (Tabel 3.6)

Hanke tehnilises kirjelduses oli kirjas, et stabiliseerimise tulemusena ei tohi kiht tööle hakata betoonplaadina. Eesmärgiks oli saavutada survetugevus 0,5 Mpa. Kuna hüdraulilise sideaine sisaldusega saavutati üle ootuste head tulemused, lisati stabiliseerimisel hüdraulilist sideainet 1,0%. Stabiliseeritud segust valmistati kolm proovikeha: kahte proovikeha katsetati 28 päeva vanuselt ning kolmandat proovikeha

32 päeva vanuselt. Viimast proovikeha hoiti eelnevalt 24h vees. Proovikehade survetugevused ületavad taaskord 0,5 Mpa eesmärki (Tabel 3.7)

Enne lõigu stabiliseerimist katsetati proovikehasid, mille hüdraulilise sideaine sisaldus oli 1,5% ning saadi 28 päeva vanuste proovikehade survetugevuseks 2,1 – 3,0 Mpa. Stabiliseerimise käigus lisati kõigest 1,0% (4,29kg/m²) hüdraulilist sideainet ning saadi sisuliselt samad tulemused mis oli 1,5% hüdraulilise sideainesisaldusega (Tabel 3.7 ja Tabel 3.5). Kahjuks pole stabiliseeritud materjalist terastikulist koostist määratud. Sellest tulenevalt on keeruline öelda, kas on võimalik, et segu peenes ning selle tulemusena saadi madalama hüdraulilise sideaine sisaldusega samad tulemused, mis olid 1,5% hüdraulilise sideaine sisaldusega (Tabel 3.7). Vees hoitud proovikeha kaotas ainult 22% on tugevusest.

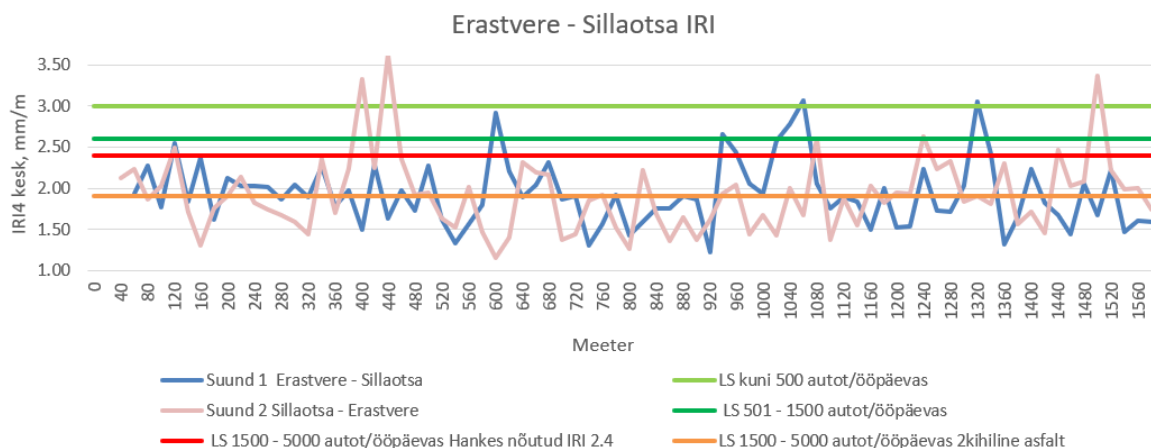
Tabel 3.7 Stabiliseeritud kihist tehtud proovikehade survetugevuse andmed [andmed pärinevad TalTech katselaboratooriumi katseprotokollidest]

PK	CEM I 42,5 osakaal %	Proovikeha vanus, 28 päeva				Proovikeha vanus, 32 päeva 24 h vees			
		Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevus, N/mm ²	Keskmin e surve- tugevus, N/mm ²	Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevus, N/mm ²	Keskmin e surve- tugevus, N/mm ²
2+55	1,0	2.271	2.213	3.3	2.7	2.252	2.252	2.1	2.1
		2.154		2.1					

3.1.5. IRI andmed

Erastvere - Sillaotsa suuna keskmine IRI tulemus on 1,94 mm/m ning Sillaotsa – Erastvere suuna keskmine IRI tulemus on 1,92 mm/m. [28] Üksikud väärtused ületasid 3,0 mm/m, mis enamasti esinesid viraaži üleminekul (Joonis 3.8). [28] Võimalik, et on mingisugune seos viraažilt kahepoolsele kaldele üleminekul. Hankes oli ette nähtud, et katte tasasuse keskmine väärtus ei tohi olla suurem kui 2,4 mm/m. Määruse järgi võib mustkate kruusalusel, liiklussagedusega kuni 500 autot/ööpäevas, olla kuni 3,0 mm/m (Tabel 3.3).

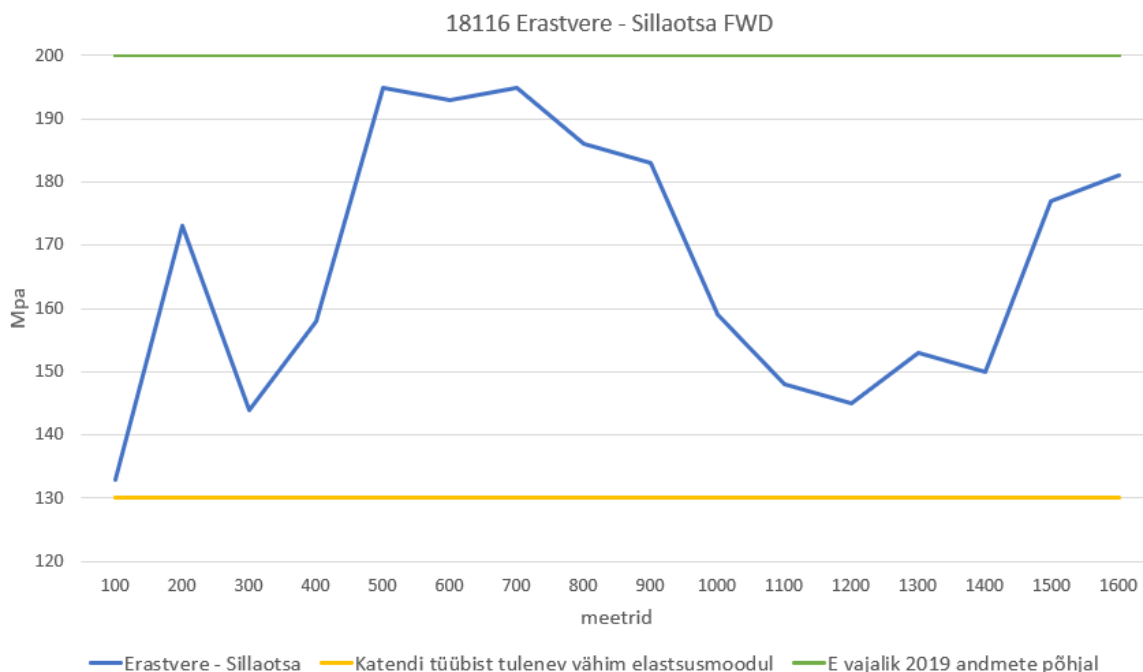
Tellijapoolne nõue vastab määruse järgi mustkattele kruusalusel liiklussagedusel 1500 - 5000 autot/ööpäevas. Arvestades eelnevat, on töövõtja teinud head tööd ning on saanud keskmiseks tulemuseks 1,93mm/m, mis vastab määruse järgi uuele kahekihilisele asfaltkattele või taastatud asfaltkattele. [21] [28]



Joonis 3.8 Erastvere - Sillaotsa IRI [28]

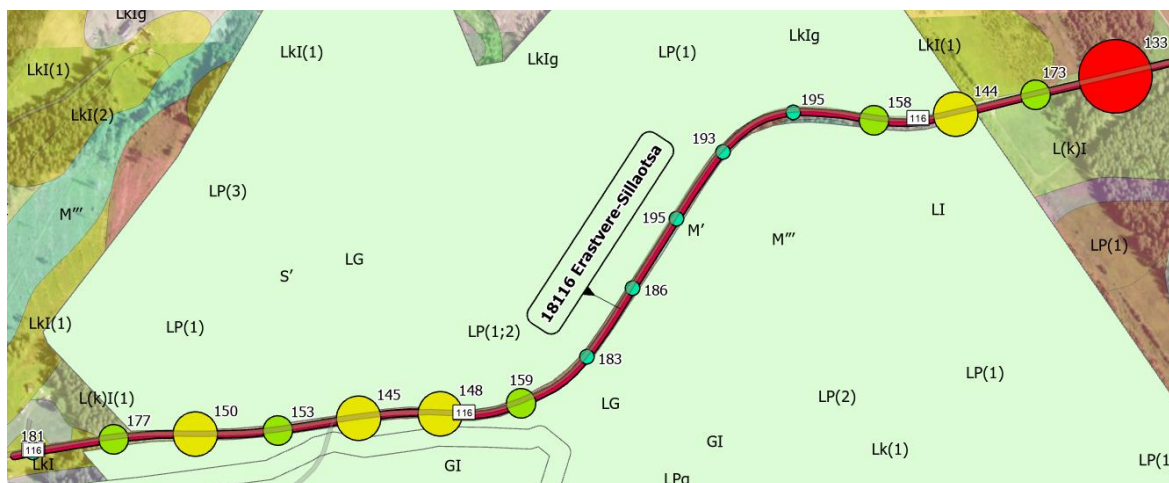
3.1.6.FWD andmed

Joonis 3.9 on kantud koormussagedusest tulenev vajalik elastsusmoodul ning katteliigist vajalik elastsusmooduli. Joonis 3.9 on näha, et konstruktsiooni keskmine elastsusmoodul jääb ca 167 Mpa juurde. Kõige kehvemad kohad jäävad üldjuhul 140-150 Mpa juurde. Üksik tulemus on mõõdetud ka objekti alguses 133 Mpa. Kõige paremad kandevõime tulemused on mõõdetud km 0,5-0,9, tulemuseks 183-195 Mpa. [29]



Joonis 3.9 Riigitee 18116 Erastvere - Sillaotsa FWD [29]

Joonis 3.10 parema loetavuse eesmärgil on tähistatud FWD-ga mõõdetud kohad selliselt, et kohas, kus on lõigu kõige kehvem kandevõime, seda suurem on ring ning



Joonis 3.11 Kandevõime mõõtmise asukohad maaparandussüsteemikaardil [pilt pärineb ArcGIS Pro tarkvarast] [29]

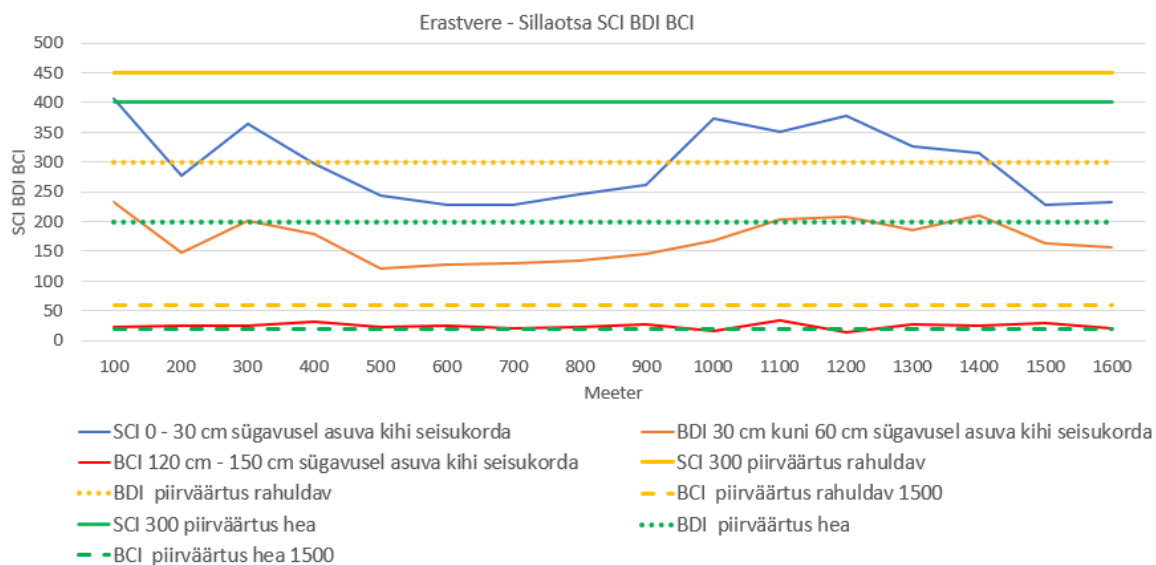
3.1.7. SCI, BDI, BCI andmed

Joonis 3.12 on näha, et kattepinna seisukorda, mis jääb 30 cm sügavusele, on tulemus hea ning mõni koht isegi väga hea. Km 0,1; 0,3; 1,0 – 1,3 on mõnevõrra kõrgemad kui teised, aga jäävad rahuldavatesse piiridesse.

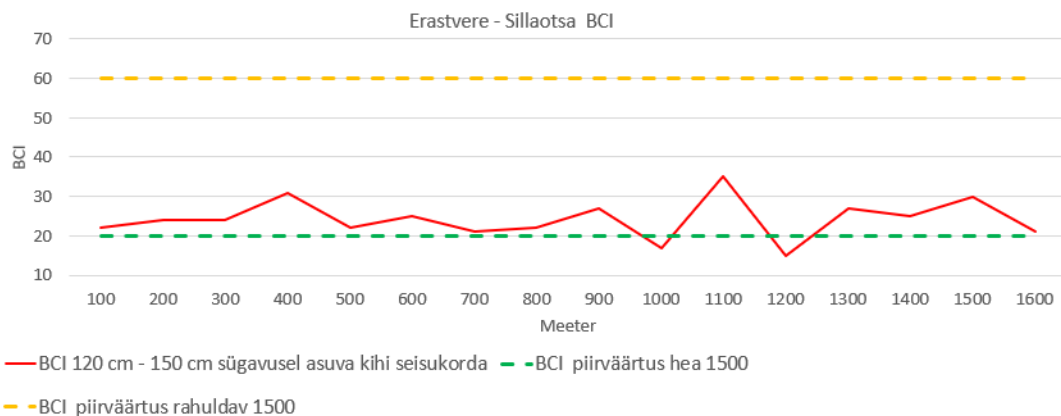
Ka muldkehas sees 60cm sügavusel on olukord tegelikult hea, kuid on näha, et muldkehas sees olevad nõrgemad kohad mõjutavad ka katte seisukorda ning kui vaadata 1,5 meetri sügavusele on näha, et muldkeha seisukorra näitaja liigub pigem üle hea piirjoone rahuldava suunas.

Kui vaadelda nüüd neid kohti kus olid lõigu kehvad kandevõimed, saab järeldada, et km 0,1, kus saavutati kõigest ainult 133 Mpa, on näha, et 1,5 meetri sügavusel pole muldkehas probleeme (Joonis 3.13). Kuid kui vaadelda BDI väärtust, on näha, et see ületab hea piirväärtust ning seega saab järeldada, et muldkehas 30-60 cm sügavusel on mingisugune nõrgem kiht vahel, mis mõjutab muldkeha 0-60cm sügavusel seisukorrategureid (Joonis 3.12).

Km 1,0 – 1,3 tundub olevad mitmeid probleeme (Joonis 3.12). Km 1,1 on näha, et muldkehas 1,5 meetrisügavusel on probleeme muldkeha seisukorraga ning see peegeldub edasi ka BDI seisukorda. Km 1,0-1,3 on muldkeha seisukord 0-60 cm sügavusel mõnevõrra kõrgem, kuid ei ole probleemne. Antud lõigu SCI, BDI ja BCI kõrgemaid väärtusi saab tõlgendada, kui kõrvale võtta ka mullastiku kaart (Joonis 3.10). Kaardilt on näha, et antud lõigus on GI ja LP mullad. Leetjas gleimuld on alaliselt (keskmiselt) liigniiske muld, kus liigniiskus on tingitud pidevalt mullaprofiili ulatuvast põhjaveest ning rasketel muldadel ka ülaveest.



Joonis 3.12 Lõigu SCI, BDI ja BCI väärtused [29]



Joonis 3.13 Lõigu BCI väärtus [29]

3.1.8. Defektide analüüs

Serva lagunemised paiknesid km 0,536-1,056 (vp), km 0,921-0,943 (pp) ja km 1,024-1,100 (pp). Km 0,476 (vp) oli näha ka servas üksikut auku.

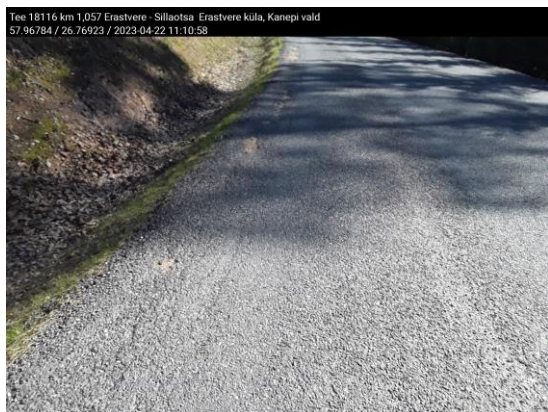
Arvestades, et terve lõigu ulatuses olid kaevatud kraavid ja stabiliseerimismasinaga ei ole võimalik füüsiliselt servani segada, jääb paratamatult mingi osa servast segamata ning seetõttu saavad defektid kergemini tekkida serva.

Defektid asusid üldjuhul kurvi siseservas. Järgnevad illustreerivad joonised km 0,551 (Joonis 3.14), km 1,035 (Joonis 3.15) ja km 1,057 (Joonis 3.15 Servas lagunemine km 1,057 (vasakul) joonis 3.16 Serva lagunemine km 1,035 (paremal) (Autori erakogu)) iseloomustavad kaht erinevat probleemi.

Km 0,551 pole roobast ning võrkpragu näha, kuid pindamiskiht on lagunenu. Antud koht ei väljenda, et muldkeha sügavamates kihtides võiks esineda mingisuguseid probleeme ning seda ei väljenda ka SCI, BDI ja BCI väärtused (Joonis 3.12 ja Joonis 3.13). [28] Objektil välitoid tehes oli näha, et defekt tekkis siis, kui palgiveok sõitis sellest kohast üle (23.03.2023). Autori hinnangul oli pinnatud kruuskiht pealt liiga märg ning koormamise tulemusel hakkas kate kruusakihi peal liikuma/vajuma ning liikuma/vajuma hakkamisel lagunes kate. Tõenäoliselt poleks see koht tegelikult lagunenu, kui metsavedu poleks sellel hetkel korraldatud.



Joonis 3.14 Serva lagunemine km 0,551 (Autori erakogu)

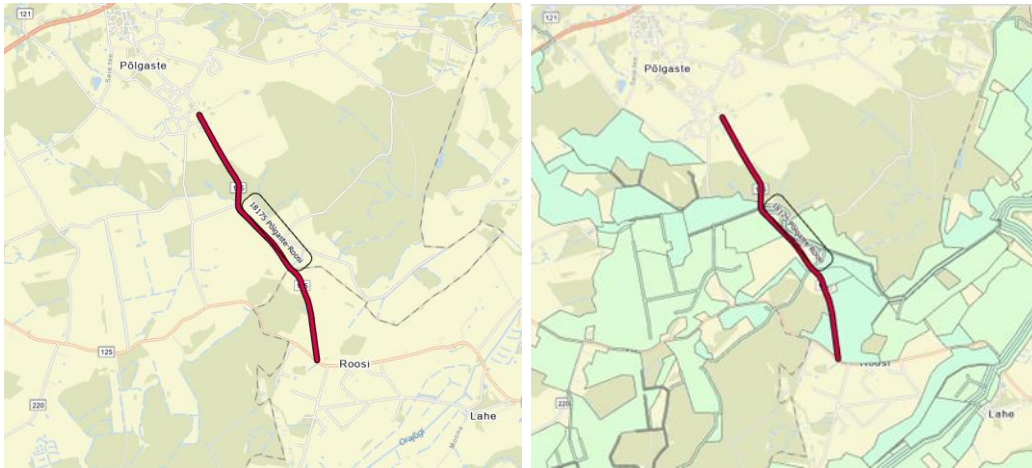


Joonis 3.15 Servas lagunemine km 1,057 (vasakul) joonis 3.16 Serva lagunemine km 1,035 (paremal) (Autori erakogu)

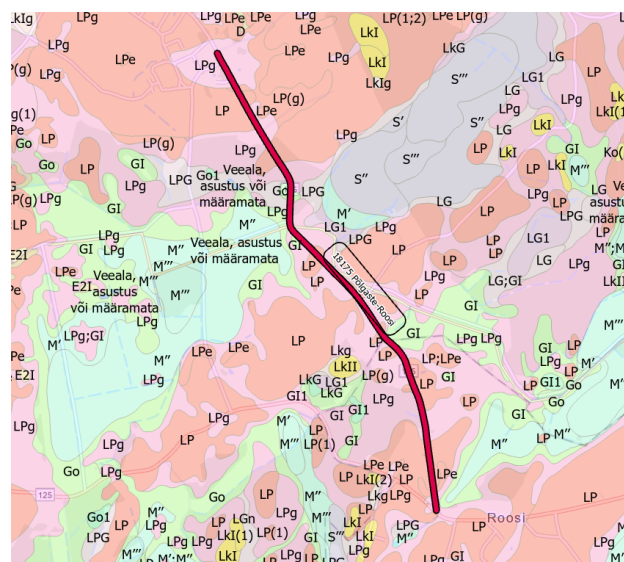
3.2. Riigitee 18175 Põlgaste-Roosi km 1.536-4.446

3.2.1. Objekti asukoht

Objekti asukoht on näidatud Joonis 3.17 ja selle paiknemine Maa-ameti maaparandussüsteemi kaardil Joonis 3.17 Põlgaste–Roosi asukohaskeem (vasakul) joonis 3.18 Maa-ameti maaparandussüsteemide kaardirakendus (paremal) ning Maa-ameti mullastikukaardil Joonis 3.19.



Joonis 3.17 Põlgaste–Roosi asukohaskeem (vasakul) joonis 3.18 Maa-ameti maaparandussüsteemide kaardirakendus (paremal) [pildid pärinevad ArcGIS Pro tarkvarast]



Joonis 3.19 Lõigu paiknemine Maa-ameti mullastikukaardil [pilt pärineb ArcGIS Pro tarkvarast]

Mullastiku kaardilt (Joonis 3.19) nähtub, et lõigul esineb enamjaolt kahkjast leetunud mullad (LP), gleistunud kahkjast leetunud mullad (LPg), leostunud gleimuld (Go) ning leetjad gleimullad (GI).

Maa-ameti mullastikukaardi seletuskirja kohaselt on kahkjäs leetunud mullad valdavalt saviliiv liivsavi, kerge liivsavi keskmisel ja raskel liivsavi ja harvem raske liivsavi savil (kahekihiline lähtekivim). Tulenevalt mulla kahekihilisusest, kannatavad need sademeveest tingitud lühiajalise liigniiskuse all. Väga õhukesed ja sügavad madalsoomullad on alaliselt tugevasti liigniisked mullad. Gleistunud kahkjäs leetunud mullad on nõrgalt (ajutiselt) liigniisked mullad. Leostunud ja leetjad gleimullad on alaliselt liigniisked mullad, kus liigniiskus on tingitud pidevalt mullaprofiili ulatuvast põhjaveest, rasketele muldadele lisandub ka sademevesi. [3]

Maaparandussüsteemi kaardirakenduse järgi on näha (Joonis 3.17 Põlgaste–Roosi asukohaskeem (vasakul) joonis 3.18 Maa-ameti maaparandussüsteemide kaardirakendus (paremal)), et km 2,55-4,4 on maaparandussüsteemid üldjuhul vasakul pool teed ning paremal pool teed on üksikutes kohtades.

3.2.2. Välitööde kirjeldus

Välitööd teostati 23.03.2023, 22.04.2023, 30.06.2023, 15.08.2023, 16.08.2023 ja 17.08.2023. Üldjuhul piirneb lõik põllumaadega, metsaalad olid km 2,1-2,6 ning km 3,75-4,8 (pp).

Esimesel välitööpäeval oli näha (23.03.2023), et km 2,25–2,53 (pp) oli tehtud lageraiet. Varasemate Maa-ameti kaardimaterjalide järgi selgub, et 3,62 ha metsa on maha võetud 2021. aastal.

Kraavides oli lund ning km 3,848–4,013 ja km 2,35 voolas vesi madalamasse kohta kokku, kus esinesid ka probleemid. Sademe- ning ka lumesulamisveel polnud kuhugile mujale võimalik voolata. Vesi sai imbuda ainult pinnasesse, km 4,0 asub ka dreanaažisüsteemikaev, kuhu voolasid ümbruskonnast veed kokku.

Km 3,356–3,425 terve tee ulatuses kate lagunes (Joonis 3.20 Km 3,369 katte lagunemine seisuga 23.03.2023 (vasakul) ja joonis 3.21 km 3,39 katte lagunemine seisuga 22.04.2023 (paremal)), märtsi kuus oli näha, et kraavid olid lund täis ning vesi püüdis katte seest välja saada. Pindamiskihist oli välja ulatuv kühm ning sellele peale astudes tekkis pindamiskihti pragu ning vesi voolas välja.



Joonis 3.20 Km 3,369 katte lagunemine seisuga 23.03.2023 (vasakul) ja joonis 3.21 km 3,39 katte lagunemine seisuga 22.04.2023 (paremal) (Autori erakogu)

Järgnevas loetelus antakse ülevaate, kus esinesid defektid ning lühikirjelduse. Defektid asusid km 2,35(pp, serva lagunemine), km 2,602–2,66 (pp, vp ja teljel olid parandatud augud), km 2,729-2,763 (pp, piki pragu ja parandatud augud), km 2,840–2,869 (pp, võrkpraod), km 2,963–3,0 (pp ja vp võrkpraod), km 3,118–3,231 (pp ratta jäljes võrkpraod), km 3,356–3,425 terve tee ulatuses kate laguneb, km 3,497–3,618 (pp asuvad võrkpraod ning augud), km 3,715–4,05 (üldjuhul asuvad augud ning võrkpraod paremal pool teed, kuid üksikud augud asuvad ka vasakul pool teed), km 4,160-4,258 (pp serva lagunemine).

30.06.2023 proovisin defektsetest kohtadest puurida 150 mm puurkehasid, et katsetada puurkeha survetugevust. Välitööd ebaõnnestusid, kuna puur jäi konstruktsiooni pidevalt kinni.

15.08–16.08.2023 teostati km 2,335-2,385 väljakaevet.

Väljakaeve sügavus teljelt mõõdetuna oli 40+cm ning olemasoleva kruusakihi paksuseks teljelt mõõdetuna oli ca 30 cm. Väljakaeve paremast sõidurajast sai mõõdetud pinnase vastupanu DCP seadmega (Joonis 3.3). Väljakaevet alustati parema sõiduraja siirdekiilude kaevamisega. Siirdekiile kaevates oli konstruktsioon väga tugev ning kui väljakaeve jõudis probleemse kohani, polnud stabiliseeritud pinnas enam tugev vaid pigem pude. Probleemset kohta väljakaevates selgus, et paremas servas ulatus mullakiht katendi konstruktsiooni alla. Lisatöödena teostati mullakihi sügavamalt väljakaevamine ning selle tulemusena selgus, et mulla kiht ulatub peaaegu teljeni.

Vasakpoolne sõidurada oli terves ulatuses väga tugev ning stabiliseeritud kihist murdus suuri tükke. Kruusakiht oli paksem ning mulla kihini ei jõutud.

16.08.2023 – 17.08.2023 teostati väljakaeve lõigus km 3,27-3,44. Väljakaevest oli näha, et kruus oli osaliselt segunenud saviga, väljakaeve sügavus oli 40 cm. Kaeviku teljelt oli näha, et üldiselt ulatus savi kiht 15-25 cm kaeviku põhjast kõrgemale ning

seega oli väljakaevataval lõigul kruusakihi paksus 15-25 cm. Siirdekiilud olid tugevad, kuid defektne osa oli pude. Kaeviku põhjast mõõtsin pinnase vastupanuvõimet DCP seadmega (Joonis 3.3).

3.2.3. Dokumentatsioon

Tehnilise kirjelduse kohaselt tuli olemasolev kruuskate eelnevalt profileerida. Kattekihi põikkalded pidid jääma kahepoolse kalde korral 3,5% ja viraažides 4-6% juurde. Tihendatud kruusatee kandevõime pidi olema 130 MPa. Olemasolevale tihendatud kruuskatele tuli paigaldada purustatud kruusast segu (positsioon 1) paksusega $h=15\text{cm}$. Olemasolev kruusakiht ning juurde veetav kruus tuli stabiliseerida hüdraulilise sideainega. Pinnase stabiliseerimise segamissügavus oli $h=25\text{ cm}$. [30]

Mõlema kihi läbisegamise ning hüdraulilise sideaine lisamise eesmärk oli olemasoleva ning juurde veetud materjalide ühtlasemaks muutmise ning kandevõime suurendamine. Stabiliseerimise tulemusena ei tohtinud kiht tööle hakata betoonplaadina. Pinnase stabiliseerimisel võis kasutada järgnevaid lisandeid: CEM I 42,5 või CEM II 42,5. [30]

Enne stabiliseerimistöödega alustamist tuli teostada laboratoorsed katsetused erineva hüdraulilise sideaine sisaldusega ja vähemalt kolmest erinevast kohast objektilt võetud mineraalmaterjaliga. Valminud stabiliseeritud katele paigaldada kahekordne ümberpööratud pindamine (2xÜ), mille käigus laotati esimene sideaine kiht ja mille peale peene täitematerjali fraktsioon, mis tagab kõva stabiliseeritud pinnaga parema nakke kui suurem kivi. Selle peale tuleb teine sideaine kiht ja jämedama täitematerjali puiste kulumiskihiks. [30]

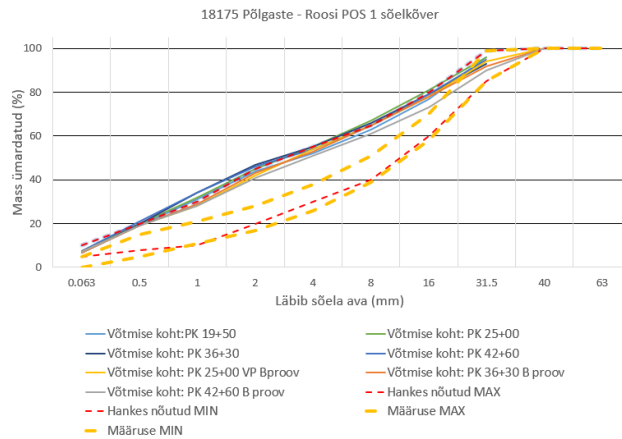
Tabel 3.8 Stabiliseerimistööde vahetus aruannete väljavõte [andmed pärinevad ehitustööde dokumentatsioonist]

Kuupäev	Stabiliseeritud lõik (km)	Hüdrauliline sideaine ning kogus (%)	Õhu temp	Ilm
25.05.2021	1,536-2,986	CEM I 42,5N; 1% (4,29 kg/m ²)	+15°C	Päike/pilved
27.05.2021	2,986-4,446	CEM I 42,5N; 1% (4,27 kg/m ²)	+11°C	Päike/hoovihm

3.2.4. Materjalide terakoostise ning survetugevuse andmed

Materjali esmased sõelkõverad kipuvad maksimaalset läbindi protsenti ületama. Kordusproovid mahuvad tellija poolt ette antud sõelkõverasse, kuid napilt (Joonis 3.22).

Sõelkõvera põhjal saab väita, et segu terastikuline koostis on läbivalt ühtlane. Etteantud sõelkõvera mõistes on segu peenem, kui määruses ette nähtud.



Joonis 3.22 Pölgaste – Roosi teelt võetud (POS 1) sölkövera andmed [andmed on saadud Teede Tehnokeskuse, Taltechi katselaborooriumi ja Steigeri katseprotokollidest] [30] [26]

Enne stabiliseerimistöodega alustamist tuli teostada laboratoorsed katsetused erineva hüdraulilise sideaine sisaldusega ning vähemalt kolmest erinevast kohast võetud mineraalmaterjaliga. Tabel 3.9 on näha kolmest erinevast kohast, kolme erineva sideainesisaldusega 7 päeva ning 28 päeva vanused survetugevuse andmed.

Purustatud kruusas kasutatava kivi purunemis kindlus oli LA 30.

Tabel 3.9 Kolme erineva sideaine sisaldusega survetugevuste andmed [andmed pärinevad TalTech katselaborooriumi katseprotokollidest]

PK	CEM I 42,5 osakaal %	Proovikeha vanus, 7 päeva				Proovikeha vanus, 28 päeva			
		Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevus, N/mm ²	Keskmine surve- tugevus, N/mm ²	Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevus, N/mm ²	Keskmine surve- tugevus, N/mm ²
17+50	2.5	2.162	2.159	2.8	2.8	2.130	2.126	3.5	4.1
		2.149		2.8		2.136		4.6	
		2.166		2.8		2.113		4.1	
	2.0	2.166	2.166	2.3	2.4	2.151	2.149	3.5	3.5
		2.178		2.4		2.153		3.7	
		2.154		2.4		2.142		3.2	
	1.5	2.130	2.135	1.4	1.4	2.129	2.122	2.4	2.2
		2.140		1.5		2.129		2.0	
		2.135		1.3		2.108		2.1	
30+50	2.5	2.137	2.151	2.8	2.9	2.105	2.107	3.5	3.9
		2.152		3.2		2.118		4.5	
		2.164		2.6		2.099		3.8	
	2.0	2.114	2.127	2.0	2.2	2.087	2.103	3.3	2.9
		2.146		2.3		2.121		2.9	
		2.122		2.4		2.102		2.6	
	1.5	2.132	2.124	1.6	1.6	2.118	2.105	1.9	2.0
		2.130		1.7		2.099		2.1	
		2.109		1.5		2.098		2.1	

Tabel 3.9 järg

PK	CEM I 42,5 osakaal %	Proovikeha vanus, 7 päeva				Proovikeha vanus, 28 päeva			
		Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevus, N/mm ²	Keskmine surve- tugevus, N/mm ²	Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevus, N/mm ²	Keskmine surve- tugevus, N/mm ²
43+50	2.5	2.127	2.135	2.9	3.0	2.098	2.110	3.6	3.8
		2.144		2.9		2.103		3.6	
		2.133		3.1		2.129		4.2	
	2.0	2.134	2.126	2.5	2.4	2.114	2.099	3.1	3.0
		2.126		2.4		2.092		3.1	
		2.119		2.2		2.092		2.9	
	1.5	2.106	2.108	1.9	1.8	2.086	2.092	2.1	2.0
		2.117		1.9		2.104		2.1	
		2.102		1.6		2.085		1.9	

Tegemist ei ole kompleksstabiliseeritud (KS) seguga, kuid illustreeriva infona toon välja, et kompleksstabiliseeritud segu 7 päeva vanusel proovikehal peab olema survetugevus $\geq 1,5$ Mpa ning 28 päeva vanusel proovikehal ≥ 3 Mpa kuni ≤ 12 Mpa. [26]

Katsete tulemusena saadi teada (Tabel 3.9), et hüdraulilise sideaine sisaldusega 2,5% on 7 päeva vanusele proovikehal survetugevus 2,8-3,0 Mpa ning 28 päeva vanusel proovikehal 3,8-4,1 Mpa. Hüdraulilise sideaine sisaldusega 2,0% saadi 7 päeva vanusele proovikehale survetugevuseks 2,2–2,4 Mpa ning 28 päeva vanusele proovikeha survetugevuseks saadi 2,9–3,5 Mpa. Mõlema hüdraulilise sideaine sisaldusega saavutati 7 päeva vanustele proovikehadele kompleksstabiliseeritud segu survetugevused. PK 17+50 ning 43+50 saavutati ka 28 päeva vanuse proovikeha survetugevused. PK 30+50 tehtud proovikeha survetugevuseks saadi 2,9Mpa.

Hüdraulilise sideainesisaldusega 1,5% saadi 7 päeva vanuse proovikeha survetugevuseks 1,4-1,8Mpa. Peaaegu saavutati kompleksstabiliseeritud 7 päeva vanuse proovikeha survetugevus. Kompleksstabiliseeritud 28 päeva vanuse proovikeha survetugevust ei saavutatud. Survetugevused jäid 2-2,2 Mpa juurde (Tabel 3.9).

Hanke tehnilises kirjelduses oli kirjas, et stabiliseerimise tulemusena ei tohi kiht tööle hakata betoonplaadina. Eesmärgiks oli saavutada survetugevus 0,5 Mpa. [30] Kuna 1,5% hüdraulilise sideaine sisaldusega saavutati üle ootuste head tulemused, lisati stabiliseerimisel hüdraulilist sideainet kõigest 1,0% (Tabel 3.9 ja Tabel 3.10). Stabiliseeritud segust valmistati kolm proovikeha: kahte proovikeha katsetati 28 päeva vanuselt ning kolmandat proovikeha 31 päeva vanuselt. Viimast proovikeha hoiti eelnevalt 24h vees (Tabel 3.). Proovikehade survetugevused ületavad taaskord 0,5 Mpa eesmärki.

Enne lõigu stabiliseerimist katsetati proovikehasid, mille hüdraulilise sideaine sisaldus oli 1,5% ning saadi 28 päeva vanuste proovikehade survetugevuseks 2,0–2,2 Mpa. Stabiliseerimise käigus lisati 1,0% (4,29kg/m²) hüdraulilist sideainet (Tabel 3.8) ning saadi sisuliselt samad tulemused, mis oli 1,5% hüdraulilise sideainesisaldusega. Kahjuks pole stabiliseeritud muldkehast terastikulist koostist määratud. Sellest tulenevalt on keeruline öelda, kas on võimalik, et segu peenenes ning selle tulemusena saadi madalama hüdraulilise sideaine sisaldusega samad tulemused, mis olid 1,5% hüdraulilise sideaine sisaldusega.

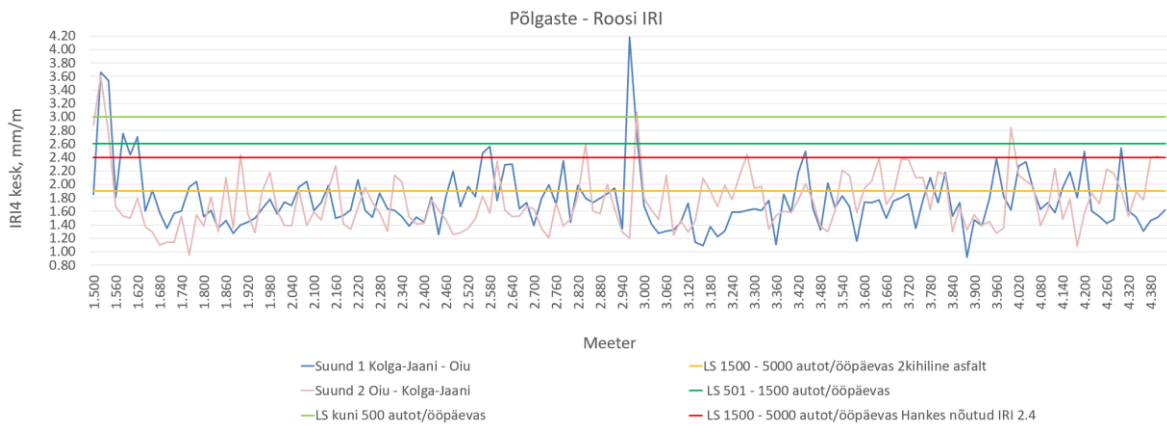
Tabel 3.10 Stabiliseeritud kihist tehtud proovikehade survetugevuse andmed [andmed pärinevad TalTech katselaboratooriumi katseprotokollidest]

PK	CEM I 42,5 osakaal %	Proovikeha vanus, 28 päeva				Proovikeha vanus, 31 päeva 24 h vees			
		Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevus, N/mm ²	Keskmin e surve- tugevus, N/mm ²	Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevus, N/mm ²	Keskmin e surve- tugevus, N/mm ²
15+63	1.0	2.175	2.186	2.1	2.4	2.230	2.230	1.5	1.5
		2.196		2.7					

3.2.5. IRI andmed

Põlgaste – Roosi suuna keskmine IRI4 tulemus on 1,77 mm/m ning Roosi - Põlgaste suuna keskmine IRI4 tulemus on 1,74 mm/m. [31] Üksikud väärtused ületasid 3,0 mm/m (Joonis 3.23 Põlgaste - Roosi IRI). Lõigu alguses olev kõrgem IRI väärtus on põhjendatav objekti kokku viimisega. Km 2,960–2,980 kõrge IRI väärtus on kahtlane. Lõik tundus üldiselt ühesugune, kuigi tänaseks on tekkinud külmakergetest lõigule ebatasasusi. Kuna tee ääres kasvavad üksikud puud, on võimalik, et teele võis sattuda väiksem oks vms, mis tekitas selles kohas kehvema IRI tulemuse.

Hankes oli ette nähtud, et katte tasetasuse keskmine väärtus ei tohi olla suurem kui 2,4 mm/m. [30] Määruse järgi võib mustkate kruusalusel, liiklussagedusega kuni 500 autot/ööpäevas, olla kuni 3,0 mm/m (Tabel 3.3). [21] Tellijapoolne nõue vastab määruse järgi mustkate kruusalusel liiklussagedusele 1500 - 5000 autot/ööpäevas. Arvestades eelnevat, on töövõtja teinud head tööd ning on saanud keskmiseks tulemuseks 1,76 mm/m, mis on parem, kui määruse järgi esitatud nõue uuele kahekihilisele asfaltkattele või taastatud asfaltkattele. [21]

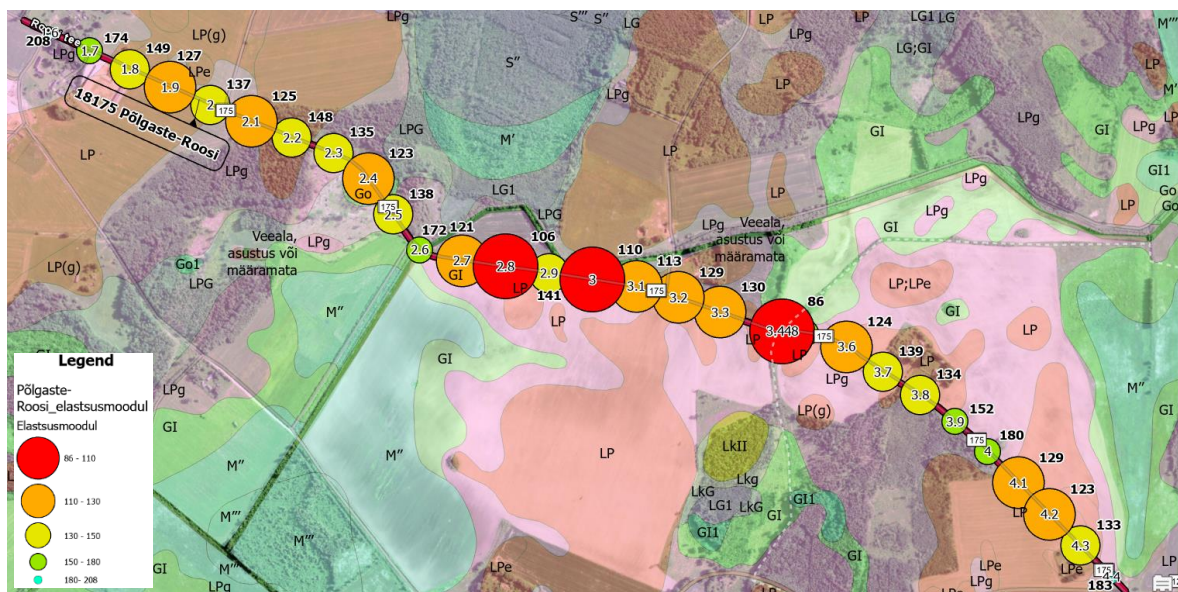


Joonis 3.23 Põlgaste - Roosi IRI (Tabel 3.3) [30] [26] [31]

3.2.6. FWD ja Ameerika penetrometri andmed

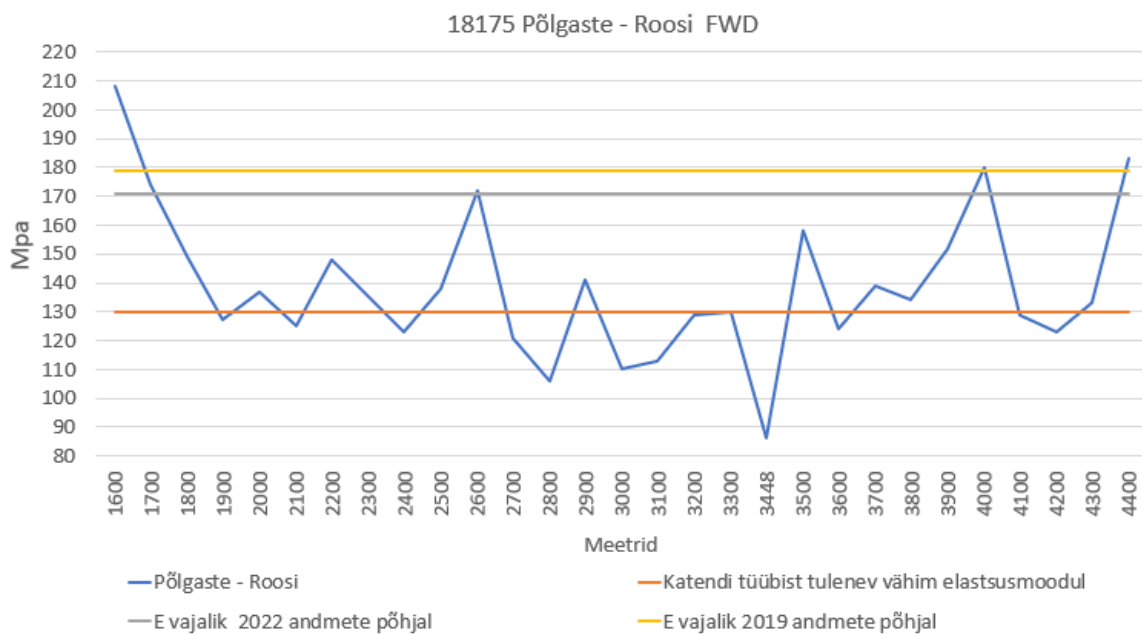
Väljakaevatud lõikudel ei ole teostatud FWD seadmega mõõtmisi, kuna Tehnokeskus käis mõõtmisi teostamas 22.08.2023 ning ehitaja lõpetas ehitustööd 31.08.2023. Tehnokeskus on mõõtnud kandevõimet enne ja pärast väljakaevet. Väljakaeve põhjast on mõõdetud DCP seadmega (Joonis 3.3).

Joonis 3.24 on näha kust kohast on mõõdetud kandevõimet ning mis on tulemuseks saadud. Ringi sees olev number näitab asukohta kilomeetrites ning ringi välisküljel on kandevõime (Mpa). Ringi suuruste järgi on klassifitseeritud kandevõime näidud. Mida suurem ring, seda väiksem on kandevõime ning mida väiksem ring, seda suurem on kandevõime. Lisaks on alla võetud ka mullastikukaart, et oleks lihtsam hinnata mullastiku mõju kandevõimele.



Joonis 3.24 Kandevõime mõõtmise asukohad mullastikukaardil [pilt pärineb ArcGIS Pro tarkvarast] [29]

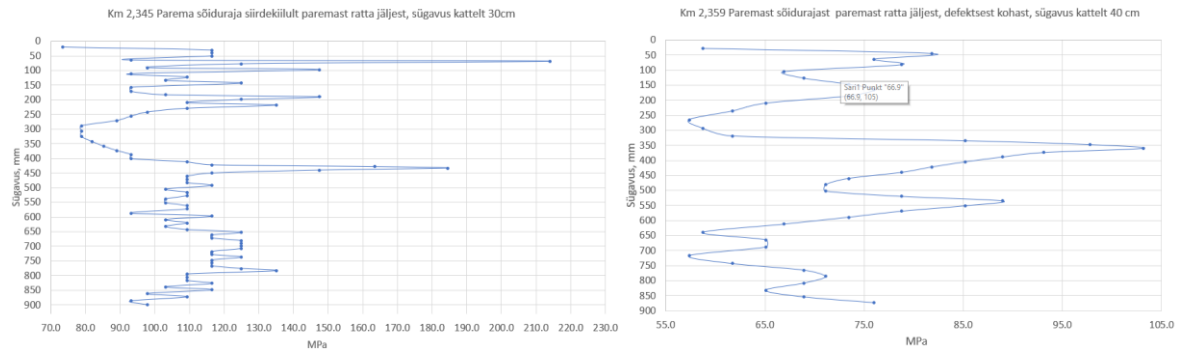
Joonis 3.25 on näha, et lõigul on üldiselt madal kandevõime. Lõigu keskmine kandevõime on 139 Mpa. Liikluskoormusest arvatuna oleks lõigu vajalik kandevõime 170-180 Mpa. Lõigu kõige kehvem kandevõime on vahetult pärast teist väljakaeve lõiku km 3,448. Teised kehva kandevõimega lõigud asuvad km 2,8 ja km 3,0 Terve lõigu ulatuses saavutatakse ainult neljas kohas vajalik kandevõime, kuid siinkohal on oluline taaskord rõhutada, et oli väga kuiv suvi. Kui FWD uuringud oleks teostatud aprilli esimeses pooles, kus maapind oli niiske või isegi liigniiske, siis oleks tulemused olnud veel kehvemad.



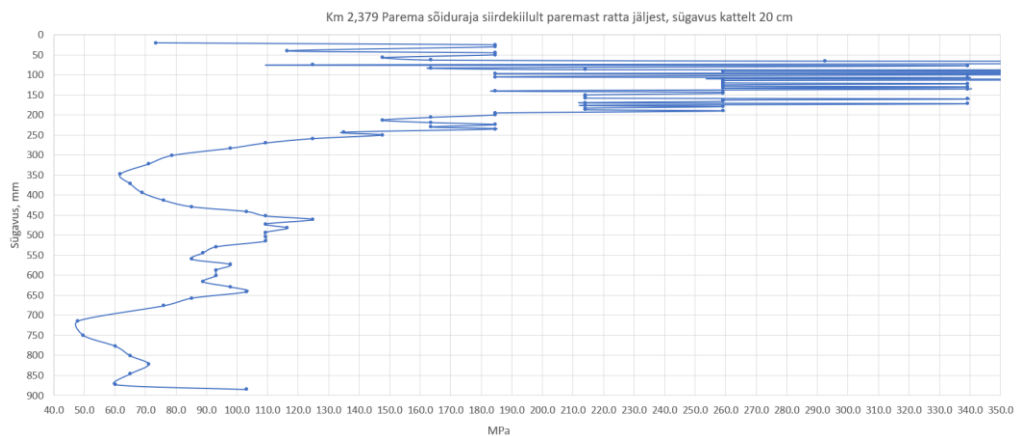
Joonis 3.25 Riigitee 18175 Põlgaste - Roosi FWD (Tabel 3.1) [16] [29]

Joonis 3.26 DCP seadmega pinnase vastupanu mõõdetud km 2,345 (pp) 30 cm sügavuselt (ol.ol katte pinnalt) (vasakul), joonis 3.27 km 2,359 (pp) 40 cm sügavuselt (ol.ol katte pinnalt) (paremal) ja Joonis 3.28 on koostatud km 2,335-2,385 väljakaeve kohta ning algandmed on saadud DCP seadmega. Penetromeetriga on mõõdetud defektsest kohast, lõigu algusest ning lõigu lõpust olevatelt siirdekiiludelt. Siirdekiiludelt mõõdetud tulemused on mõnevõrra erinevad. Km 2,345 siirdekiilu mõõtmist on alustatud 30 cm sügavuselt ning km 2,379 siirdekiilu on mõõdetud 20 cm sügavuselt. Kui võtta kõikide mõõdetud punktide puhul referentspunktiks olemasolev kate, tuleb iga järgneva mõõtmistulemuse juures arvutada välja sama kõrgus olemasoleva katte pinnalt. Kui vaadata kattelt mõõdetuna 270mm sügavuselt aluspinnaseid (Joonis 3.26 DCP seadmega pinnase vastupanu mõõdetud km 2,345 (pp) 30 cm sügavuselt (ol.ol katte pinnalt) (vasakul), joonis 3.27 km 2,359 (pp) 40 cm sügavuselt (ol.ol katte pinnalt) (paremal) ja Joonis 3.28 sügavused 230mm, 240mm ja 250mm) nähtub, et aluspinnased on kehvemad just km 2,359.

Aluspinnaste keskmine kandevõime mõõdetuna 270 mm sügavuselt (olol.kattelt) on km 2,345 (graafikult sügavus 240mm) 110 Mpa ning km 2,379 (graafikult sügavus 250mm) 89 Mpa ja km 2,359 aluspinnase keskmine kandevõime (graafikult sügavus 230mm) on 74 Mpa. Kohati langeb km 2,359 pinnase kandevõime alla 60 Mpa. Kui kandevõime langeb alla 60 Mpa, siis kvalifitseerub aluspinnas nõrgaks pinnaseks (Tabel 3.4).



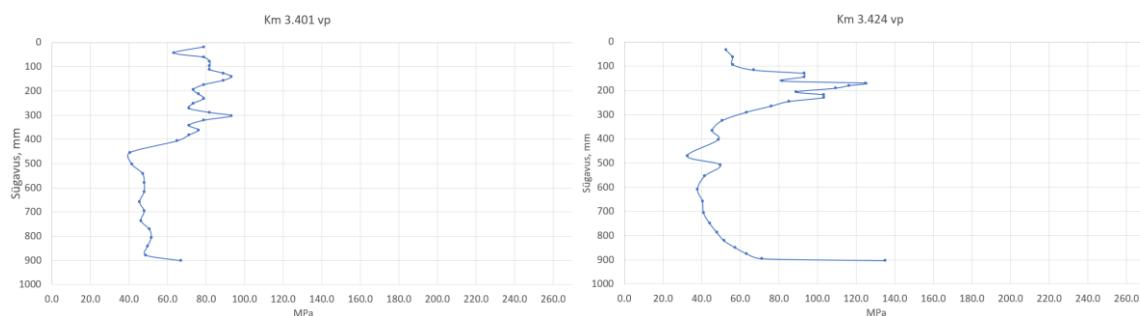
Joonis 3.26 DCP seadmega pinnase vastupanu mõõdetud km 2,345 (pp) 30 cm sügavuselt (ol.ol katte pinnalt) (vasakul), joonis 3.27 km 2,359 (pp) 40 cm sügavuselt (ol.ol katte pinnalt) (paremal) (Autori erakogu)



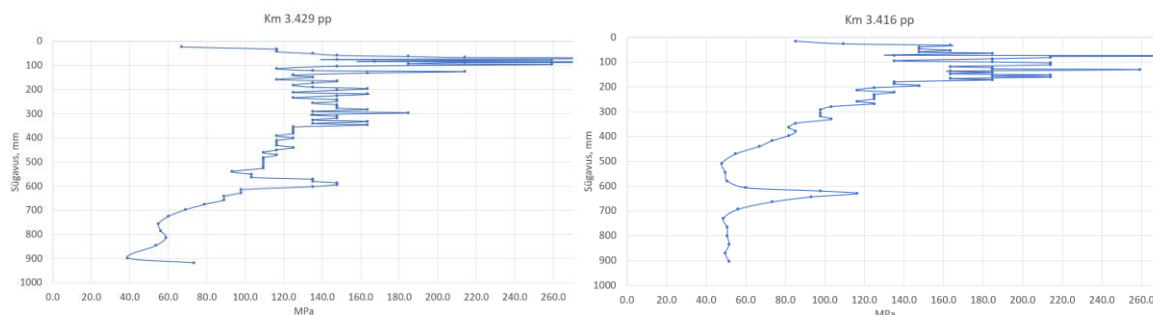
Joonis 3.28 DCP seadmega pinnase vastupanu mõõdetud km 2,379 (pp) 20 cm sügavuselt (ol.ol katte pinnalt) (Autori erakogu)

Km 3,27-3,44 väljakaevest on tehtud penetromeetriga mõned katsetused ning on näha, et muldkeha kandevõime on kehv (Joonis 3.29 DCP pinnase vastupanu vasakul sõidurajal km 3,401 (vasakul) ja joonis 3.30 km 3,424 (paremal), Joonis 3.31 DCP pinnase vastupanu paremal sõidurajal km 3,429 (vasakul) ja joonis 3.32 km 3,416 (paremal)). Vasaku poole kandevõime on algusest saati kehvemapoolne ning 30 cm sügavusel langeb see veel. Parema poole kaevikupõhi on mõnevõrra parem kui vasaku poole oma. Parema poole pinnasevastupanu langeb 50-70cm sügavuselt samale tasemele nagu on vasaku poolel. Antud juhul ei tohi ära unustada, et mõõtmised teostati suve lõpus ning enne seda oli pikk sademetevaene suvi. Vaadates Tabel 3. väärtusi, saab öelda, et isegi pärast sademetevaest suve on aluspinnased kas nõrgad

või väga nõrgad, et vastu võtta liiklusest tekkivat koormust. Kui mõõtmised oleks teostatud kevadel või sügisel sademeterohkel ajal, kus pinnased oleksid niisked/liigniisked, oleksid tulemused tõenäoliselt oluliselt kehvemad.



Joonis 3.29 DCP pinnase vastupanu vasakul sõidurajal km 3,401 (vasakul) ja joonis 3.30 km 3,424 (paremal) (Autori erakogu)



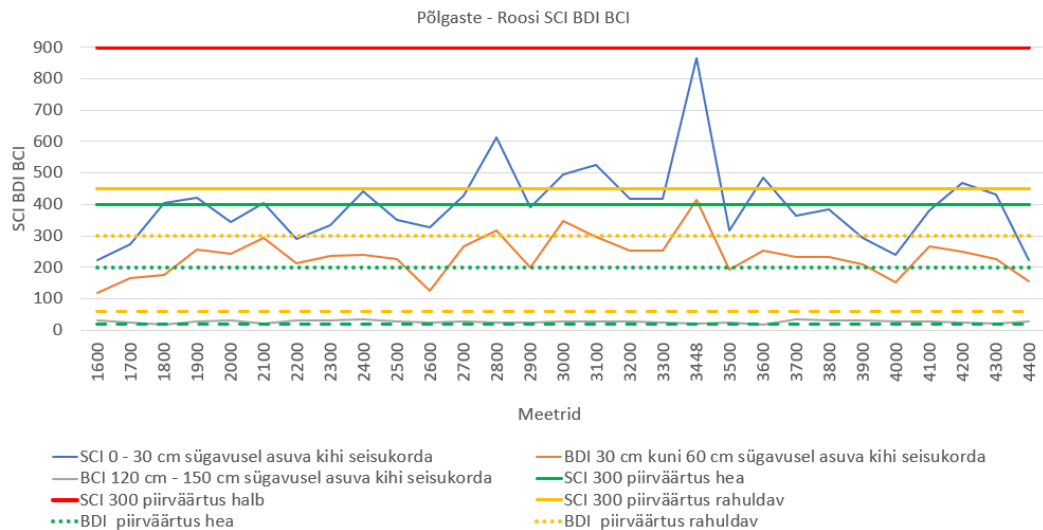
Joonis 3.31 DCP pinnase vastupanu paremal sõidurajal km 3,429 (vasakul) ja joonis 3.32 km 3,416 (paremal) (Autori erakogu)

3.2.7. SCI, BDI, BCI andmed

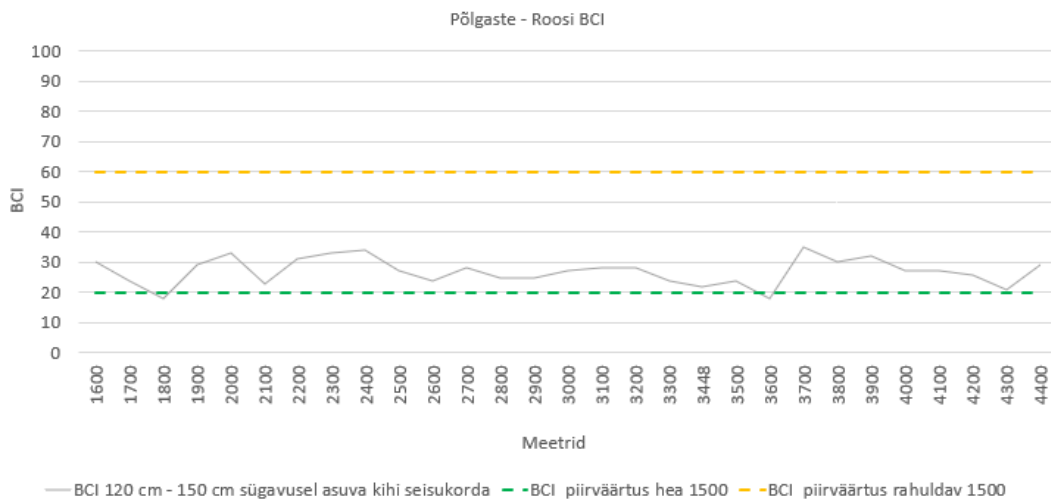
Joonis 3.33 põhjal võiks öelda, et SCI probleemsed kohad on km 2,8; km 3,0-3,1; km 3,448; km 3,6 ja km 4,2.

Joonis 3.33 andmete põhjal saab öelda, et BDI halvad kohad on km 2,8 (defekte ei ole ja kõik on väga hästi, lähim defekt asub km 2,846); km 3,0 (13 meetrit enne on defekt); km 3,1 (defekt asub servas, kuid see tuleneb pigem sellest, et serva ei ole saanud stabiliseerida, lähim tõsisem defekt on km 3,141 – 3,188) ning väga halb koht on km 3,448 (mahasõidu juures, üksik defekt, ei midagi tõsist, esmapilgul oleks arvanud, et defekt on tekkinud mahasõidu kasutamisest).

BCI väärtused on rahuldavad (Joonis 3.33 ja Joonis 3.34)



Joonis 3.33 Põlgaste - Roosi SCI BDI ja BCI väärtused [19] [29]



Joonis 3.34 Põlgaste - Roosi BCI väärtused [19] [29]

3.2.8. Defektide analüüs

Defektid olid üldjuhul paremal pool teed, kohati ka vasakul pool teed, võimalik, et on seos maaparandussüsteemidega (Joonis 3.17 Põlgaste–Roosi asukohaskeem (vasakul) joonis 3.18 Maa-ameti maaparandussüsteemide kaardirakendus (paremal)). Maaparandussüsteemid asuvad üldjuhul vasakul pool teed, kuid mõningates kohtades on ka paremal pool teed.

IRI tulemustest selgus, et lõigule on tehtud väga tasane kate ning selle tulemusena välistan, et ebatasasusest võisid defektid tekkida.

Tabel 3.8 on näha, et stabiliseerimise teisel päeval sadas hoovihma. Teise päeva stabiliseeritud lõigule jäi ka km 3,27-3,44 väljakaeve. Võimalik, et hoovihm mõjutas

stabiliseerimise kvaliteeti, kuid Joonis 3.24 ei ole olulist erinevus märgata ning seega kahtlustan, et probleemide põhjuseks on ikkagi aluspinnased.

Km 2,35 parema sõiduraja servas kate lagunes ning esines ka võrkpragusid (Joonis 3.35 Km 2,35 paremas servas defekt 23.03.2023 seisuga (vasakul) ja joonis 3.36 sama asukoht seisuga 22.04.2023). Kuu aega hiljem (22.04.2023) seisis endiselt kraavis vesi. Defektid olid selles piirkonnas vähesel määral edasi arenenud ning auke oli lapitud asfalt seguga.



Joonis 3.35 Km 2,35 paremas servas defekt 23.03.2023 seisuga (vasakul) ja joonis 3.36 sama asukoht seisuga 22.04.2023 (Autori erakogu)

Joonis 3.37 Km 3,27-3,44 Parema sõiduraja välja kaevamine (vasakul) ja Joonis 3.38 parema sõiduraja parema rattajälje all on muld (paremal) on näha, et seal, kus asusid defektid, oli näha ka mulda. Muld ulatus kuni katendi konstruktiivse kihini. Kuna vesi seisis antud kohas mitu kuud, vettis mulla kiht läbi ning pinnas ei suutnud enam koormust vastu võtta. Lõik asub sisekurvis ning on hea nähtavusega mõlemas suunas ning seega on sõiduki juhtidel, kurvi kiireks läbimiseks hea lõigata, nii Põlgaste – Roosi kui ka Roosi – Põlgaste suunal. Selle tulemusena saab antud koht rohkem koormust, kui sirge lõik, kus ei toimu lõikamist.



Joonis 3.37 Km 3,27-3,44 Parema sõiduraja välja kaevamine (vasakul) ja Joonis 3.38 parema sõiduraja parema rattajälje all on muld (paremal) (Autori erakogu)

Vasakul pool polnud defekte, kuid ühesuguse konstruktsiooni rajamiseks kaevati välja ka vasakpoolne sõidurada. Vasakpoolne sõidurada oli väga tugev ning stabiliseeritud kihist murdus suuri tükke, vaata Joonis 3.39 Vasaku sõiduraja väljakaevamine (vasakul) ja Joonis 3.40 stabiliseeritud tüki suurus ca 20 cm (paremal). Murdunud tükkidest oli näha, et stabiliseeritud kihi paksus ulatus kuni 20cm-ni.



Joonis 3.39 Vasaku sõiduraja väljakaevamine (vasakul) ja Joonis 3.40 stabiliseeritud tüki suurus ca 20 cm (paremal) (Autori erakogu)

Km 3,118–3,231 (pp) ratta jäljes on võrkpraod. Vaadates Joonis 3.34 ei näe BCI väärtustes midagi eriskummalist. Väärtused jäävad hea ja rahuldava vahele.

Joonis 3.33 vaadates jäävad BDI (30-60cm) tulemused üldjuhul rahuldava piiri peale, välja arvatud km 2,8, km 3,0 ja km 3,448. Km 3,448 üksik tulemus ületab piirväärtust halb ning seega kvalifitseerub antud koht väga halvaks. Kaks ülejäänud kohta km 2,8 ja km 3,0 jäävad piirväärtuse halva ja rahuldava vahele.

Kui vaadata Joonis 3.33 SCI tulemusi siis on näha, et SCI väärtust mõjutab 30-60 cm sügavusel olevad pinnased, kuna SCI graafik teeb järele BDI graafiku võnkeid. SCI graafikule lisandub veel kolm kohta (km 3,1, km 3,6 ja km 4,2), mis näitavad, et probleem on ülemises kihis.

Stabiliseeritud kihis on tõesti nüüdseks probleem, kuna kihti on tekkinud võrkpraod ning konstruktsioon on osaliselt lagunenenud. Antud hetkel ei peegeldu Joonis 3.33 ja Joonis 3.34 välja tegelikke probleeme. Võrkpraod iseloomustavad kandevõime kadumist, mis on tingitud madalast kandevõimest muldes.

Kui eelnimetatud SCI, BCI ja BDI andmetele võtta kõrvale ka defektsed kohad, muutub olukord huvitavaks. SCI ja BCI ühised halvad kohad on km 2,8, km 3,0 ja km 3,448

Välitöid tehes polnud km 2,8 näha defekte. Kui liikuda 50 meetrit lõigu alguse või lõpu poole, on näha, et on parandatud üksikuid auke ning esines ka üksik lokaalne võrkpragu. Km 3,0 pole samuti kattel defekte, kuid kui liikuda lõigu alguse poole 26 meetrit on näha Põlgaste – Roosi suunal paremas rattajäljes ühte lokaalset võrkpragu. Kuna defektne koht asub kõigest 26 meetri kaugusel mõõtmistulemusest, siis võib antud juhul mõõtmistulemuse ning defekti omavahel siduda. Km 3,448 mõõtmispunkt asub vahetult pärast teist väljakaeveldõiku. Kui vaadata selles kohast fotomaterjale, on näha, et mahasõidu juures on defektid. Eelmainitud defekti ei oleks osanud seostada kehvade aluspinnastega ega ka kehva kattega, kuna defektide kulgemine ja kuju on just sellised, mis iseloomustaksid, et defektid on tekkinud kattel mahasõidu kasutamisest. Arvestades, et teine väljakaeveldõik oli eelnimetatud mõõtmistulemuse lähedal, saab eeldada, et väljakaevatud lõigu muldkeha oli/on väga kehv. Väljakaevatud lõigul küll ei teostatud FWD seadmega mõõtmisi, kuid tehti DCP seadmega mõningaid mõõtmisi ning selgus, et tegelikult ongi aluspinnased väga kehvad võrreldes teiste väljakaevatud lõikudega. Kahjuks ei ole FWD ja DCP seadmega samast kohast mõõtmistulemusi tehtud ning seega ei saa tulemusi omavahel 1:1 võrrelda.

Antud lõigu lagunemist ning kehva kandevõimet ei saa seleta SCI, BCI ja BDI (Joonis 3.33) tulemuste põhjal, kuna SCI, BCI ja BDI tulemused ei selgita antud hetkel defektide reaalseid põhjuseid.

Joonis 3.41 Paremal sõidurajal esinevad võrkpraod km 3,917 (vasakul) ja Joonis 3.42 km 3,928 (paremal) on näha, et km 3,715 – 4,177 oli Põlgaste – Roosi suunal palju võrkpragusid ning auke, kuid antud hetkel näitavad FWD mõõtmistulemused, et kandevõime on lõigu arvestuses üks parimaid ning SCI ja BDI tulemused on lõigu ühed parimad. BCI väärtus on võrreldes kogu ülejäänud lõiguga sarnane.



Joonis 3.41 Paremal sõidurajal esinevad võrkpraod km 3,917 (vasakul) ja Joonis 3.42 km 3,928 (paremal) (Autori erakogu)

Eelnimetatud lõigul valgus kogu ümberkaudne sademe- ning lumesulamisvesi (k.a metsast) teeäärsesse kraavi. Teeäärses kraavis oli küll maaparanduskaev, kuid maaparandussüsteem ei suutnud kokku valgunud vett vastu võtta ning edasi juhtida. Kokku valgunud vesi seisis kraavis väga pikalt ning seega leotas läbi mulde materjalid ning selle tulemusena ei suutnud muldkeha koormust vastu võtta ning kate hakkas lagunema.

Sellel hetkel, kui teostati FWD mõõtmine, oli muldkeha saanud pikalt kuivada ning seega olid muldkeha materjalid ära tahenenud. Arvestades, et mulkeha sai terve lõigu ulatuses ühtlaselt taheneda, kuid teistes kohtades ei saadud häid kandevõime tulemusi, saab järeldada, et kõrval olev maaparandussüsteem kuivendas konstruktsiooni paremini võrreldes teiste kohtadega. Tõenäoliselt aitas ka kõrval olev mets muldkeha kuivendamisele kaasa, kuna mets vajab kasvamiseks niiskust ning möödunud suvi oli sademetevaene. Seega tarbiti ära ka teekonstruktsioonis olnud niiskus, mis mõjutas teekonstruktsiooni kandevõimet.

3.2.9. Kokkuvõte

Põlgaste – Roosi lõik näitab, et hüdraulilise sideaine lisamisega parendati muldkeha materjale ning saavutati 28 päeva vanustel proovikehadel survetugevus 2,4 Mpa ning 24 tundi vees hoitud proovikeha survetugevus oli 1,5 Mpa (Tabel 3.7). Eelnimetatud proovikeha tulemused näitavad ilmekalt, et vee keskkonnas hoitud proovikeha kaotas survetugevusest 38% (0,9 Mpa). Välitööde käigus oli näha, et kraavis seisis vesi mitu kuud ning selle tulemusel kaotas stabiliseeritud kiht oma tugevusomadusi.

Tehnoloogiliselt oli ette nähtud, et olemasolevale tihendatud kruuskattele tuli paigaldada purustatud kruusast segu (positsioon 1) paksusega $h=15$ cm. Olemasolev kruusakiht ning juurde veetav kruuskiht tuli stabiliseerida hüdraulilise sideainega. Pinnase stabiliseerimise segamissügavus oli $h=25$ cm. Väljakaevete käigus oli näha, et igal pool ei olnud kruusakihi paksus 25 cm ning selle tulemusel stabiliseeriti muldkeha stabiliseerimise käigus purustatud kruusa segusse sisse ka pinnaseid, mille omadused ei ole teada.

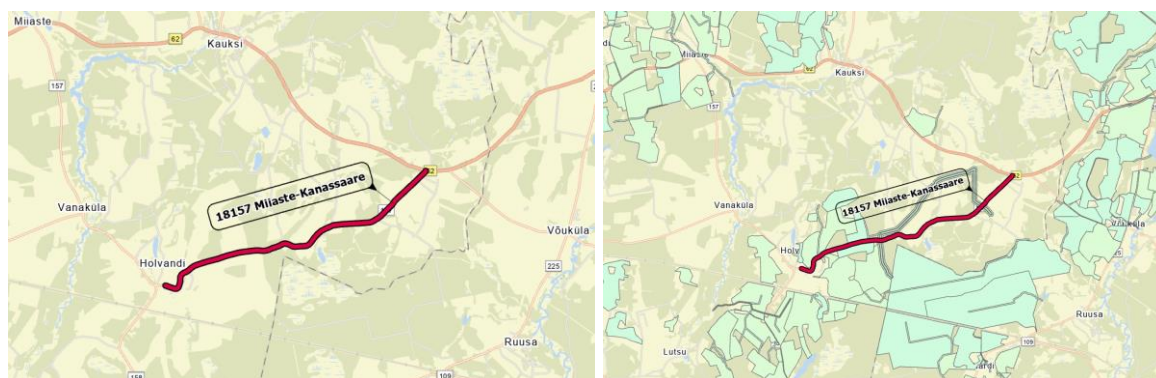
Pärast muldkeha stabiliseerimist ei määratud stabiliseeritud kihist muldkeha terastikulist koostis ning seega on keeruline väita, millise terastikulise koostisega stabiliseeritud segu on. Väljakaevetest nähtus, et purustatud kruusa kiht on kohati alla 20 cm ning segamissügavus oli 25 cm. Paratamatult segatakse stabiliseeritud segu sisse ka kihte, mille omadused pole teada ning seega läheb hüdraulilise sideaine suhte protsent paigast. Lisaks eelnevale võib segamisel jämedam materjal puruneda väiksemateks osadeks ning selle tulemusel muutub segu struktuur.

Üldiselt võiks öelda, et lõigule tekkinud defektid on tekkinud puudulikust veejuhtimisest ning niiskustundlikest muldade (kahkjast leetunud muldadest ja gleistunud kahkjatest leetunud muldadest) koosmõjust.

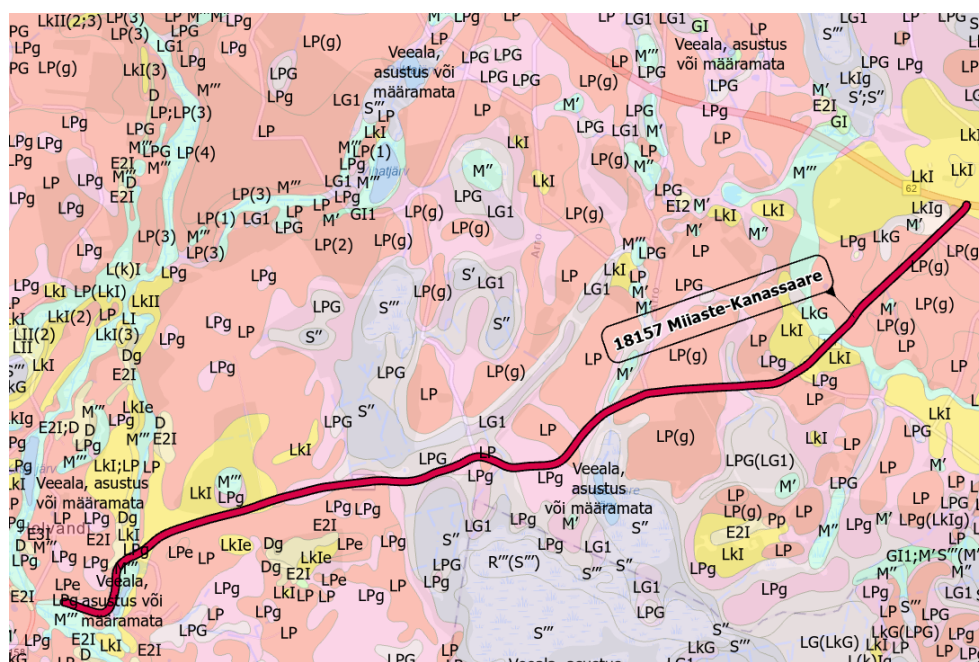
3.3. Riigitee 18157 Miiaste-Kanassaare km 4.996-9.826

3.3.1. Objekti asukoht

Objekti asukoht on näidatud Joonis 3.43 ja selle paiknemine Maa-ameti maaparandussüsteemi kaardil Joonis 3.43 Miiaste - Kanassaare asukoha skeem (vasakul) ja Joonis 3.44 maaparandussüsteemide kaardirakendus (paremal) ning Maa-ameti mullastikukaardil Joonis 3.45.



Joonis 3.43 Miiaste - Kanassaare asukoha skeem (vasakul) ja Joonis 3.44 maaparandussüsteemide kaardirakendus (paremal) [pildid pärinevad ArcGIS Pro tarkvarast]



Joonis 3.45 Lõigu paiknemine Maa-ameti mullastikukaardil [pilt pärineb ArcGIS Pro tarkvarast]

Lõik piirneb enamjaolt nõrgalt leetunud (LkI), kahkjast leetunud (LP), soostunud kahkjast leetunud (LPg ja LPG) ning sügavate madalsoomuldadega (M` ``).

Maa-ameti mullastikukaardi seletuskirja kohaselt on nõrgalt leetunud mullad (LkI) happelised liivad (liiv liivsavi) või harvemini saviliiv liival mullad. Kihisemine 100 cm sügavusel või puudub. A-horisont alati selgelt välja kujunenud, tusedus üle 5 cm või madala huumusesisalduse korral (alla 1,5 %) üle 10 cm. [3]

Kahkjast leetunud mulla (LP) lähtekivimiks on valdavalt punakaspruun või pruun liivsavi moreen. Lõimiseks on valdavalt saviliiv liivsavi, kerge liivsavi keskmisel ja raskel liivsavi ja harvem raske liivsavi savil (kahekihiline lähtekivim). Tulenevalt mulla kahekihilisusest, kannatavad kahkjast leetunud mullad ülaveest tingitud lühiajalise liigniiskuse all. [3]

Soostunud kahkjast leetunud mullad (LPg ja LPG) on liigniisked mullad. Kahekihilisel keskmise raskusega lähtekivimil (saviliiv liivsavi, kerge liivsavi keskmisel liivsavi, kerge ja keskmine liivsavi raskel liivsavi) ja rasked mullad. Liigniiskuse põhjuseks on tavaliselt ülavesi, millele võib lisanduda ka kõrge põhjavesi. Gleistunud kahkjast leetunud muld (LPg) on ajutiselt liigniiske muld ning kahkjast leetunud gleimuld (LPG) on alaliselt liigniiske muld. [3]

Sügav madalsoomuldadega (M` ``) on alaliselt (tugevasti) liigniisked mullad. Turba sügavus on üle 100 cm. [3]

3.3.2. Välitööde kirjeldus

Välitöid teostati 23.03.2023, 22.04.2023, 15.08.2023 kuni 18.08.2023. Augustikuus teostati väljakaeveld järgnevatel lõikudel km 5,39-5,465; km 7,308-7,365; km 7,450-7,490 ja km 7,78-7,82. Lõik üldjuhul piirneb põllumaadega, metsa alad olid km 5,3-5,5 (pp), km 5,9-6,15(vp), km 6,8-7,3(pp), km 6,9-7,0(vp), km 7,25-7,35(vp), km 7,9-8,0(pp), km 8,2-8,35(pp), km 8,4-9,0, km 8,5-8,6(vp), km 8,7-8,85(vp) ja km 9,7-9,8 (vp).

Lõigul esineb poorseid kohti, võrkpragusid, piki- ning ristipragusid. Ristipragusid esines vähem kui pikipragusid. Pikipraad on üldjuhul servades, kuid pragusid esineb nii teljel kui ka mõlema suuna sõidurajal. Poorseid kohti ning võrkpragusid esineb üldjuhul seal, kus stabiliseeritud kiht on paljandunud ning vigastused on suuremad.

Esimesel välitöö päeval 23.03.2023 oli näha, et lõigule on kaevatud enamus lõigu ulatuses kraavid, mõningates kohtades kraavid ka puudusid. Kraavid olid osaliselt lund täis ning seega seisuvett ei olnud näha. Teisel välitööpäeval 22.04.2023 oli näha, et riigiteega ristuvates kraavides ning paremal pool kraavis km 9,3 – 9,4 esines seisuvett.

Km 8,986 ristuv maaparanduskraav oli võrreldes teiste kraavidega „triiki täis“. Miiaste – Kanassaare lõigu kraavid olid üldjuhul kuivad.

Lõigul oli tunda head tasasust, välja arvatud defektsetes kohtades ning lõigu alguses. Lõigu alguses olev ebatasasus oli tingitud kehvast kokkuvimisest ning tekkinud aukudest.

Lõigu alguses km 5,2–5,35 oli näha tiiki. Tiigi ääres kasvasid hundinuiad. Tiik asus teest kaugemal ning lõppes metsaga. Metsa all oli näha 22.04.2023 seisvat vett, mis ulatus ka tee äärde. Teeäärne kraav oli metsast mõnevõrra kõrgemal ning seega kraavis vett ei esinenud.

Defektid algasid km 5,363-5,464 Miiaste–Kanassaare suunal pikipragudega, mis asusid paremas ratta jäljes. Edasi liikudes muutusid praod ja defektid suuremateks ning näha oli ka võrkpragusid ja roobast (Joonis 3.46 Miiaste - Kanassaare vasaku sõiduraja defektid km 5,399 (vasakul) ja Joonis 3.47 parema sõiduraja defektid km 5,431).



Joonis 3.46 Miiaste - Kanassaare vasaku sõiduraja defektid km 5,399 (vasakul) ja Joonis 3.47 parema sõiduraja defektid km 5,431 (Autori erakogu)

Km 6,249-6,290(vp) on näha sõiduraja servas ning sõiduraja keskel pikipragu ning mõnes kohas oli kate lagunenu. Defektide kohal oli näha, et kate oli poorem, kui teistes kohtades ning stabiliseeritud kiht on osaliselt paljandunud. Sama lõigu paremal pool oli pikipragu ning sellest ei ole tekkinud suuremat defekti.

Km 6,391-6,445 Kanassaare - Miiaste suunal paremas rattajäljes on kate lagunenu ning truubi kohal on teega risti tekkinud pragu, km 6,418 on ka paremal pool üks lokaalne defekt.

Km 6,521-6,531 on Kanassaare - Miiaste suunal paremas rattajäljes pikipraost tekkinud augud ning rattajalg on poorne.

Km 6,786-6,924 Kanassaare - Miiaste suunal on kate poorne ning tee serva on koondunud killustiku terad, mis on lahti tulnud poorsest lõigust.

Km 7,132-7,251 lõigul on näha, et kate on poorne ning osaliselt on lagunened kohast paljandunud stabiliseeritud kiht. Defektne koht ise on niiske ning defektsest kohast kaugemal on kate kuiv. Tee ääres puuduvad kraavid ning kasvab puude allee. Lähim puu kasvab peenrast ca ühe meetri kaugusel.

Km 7,319-7,351 mõlemal sõidurajal on defektid. Märgata on pikipragu ning pikiprao kohale on tekkinud roobas. Parem pool on kate mõnest kohast lagunened, defekti ümbritseb võrkpragu ning kate on kohati roopas.

Km 7,45-7,50 lõigul esines väga palju võrkpragusid, kate oli poorne ning kohati oli paljandunud ka stabiliseeritud kiht. Tee serva oli koondunud lagunened kattest pindamis killustikku.

Km 7,691-7,738 Kanassaare - Miiaste suunal oli näha kate lagunemist. Kate oli lagunened ning defekti kohal oli ka roobas. Miiaste - Kanassaare suunal ei olnud kate lagunened, kuid kattes oli näha väikest roobast. Miiaste - Kanassaare suunal roopa lõigul oli näha, et kate on määrdunud kruusaga, justkui kate alt on vesi kate peale imbunud.

Km 7,792-7,846 Enamus defektid olid Miiaste - Kanassaare suunal. Kate lagunes ning kohati oli näha ka stabiliseeritud kihti paljandumas. Kanassaare - Miiaste suunal oli näha üksikut lokaalset defekti.

Km 7,873-7,897 Miiaste - Kanassaare suunal paremas rattajäljes on näha kate lagunemist ning kohati oli stabiliseeritud kiht paljandunud.

Km 8,9-8,988 Kanassaare - Miiaste suunal oli sõiduraja keskel mitmeid pikipragusid.

Km 9,096-9,137 Kanassaare - Miiaste suunal oli möödunud aastal sõidurada ribapindamisega üle pinnatud, seega on keeruline öelda, millised defektid sellest kohas võisid olla.

Km 9,244-9,274 oli näha, et kattes on väike roobas ning kate on määrdunud kruusaga, justkui vesi oleks imbunud läbi pindamise katele. Miiaste - Kanassaare suunal ei olnud kate lagunened, kuid Kanassaare - Miiaste suunal oli km 9,269 üksik defekt. Stabiliseeritud kiht oli paljandunud ning defekti ümber oli näha pragusid.

Km 9,479-9,726 on näha pikipragusid ning pikiprao kohale on tekkinud väikene roobas. Kate on üldiselt heas seisukorras, välja arvatud km 9,49 ja km 9,621. Km 9,49 on kattes defekt. Defekt on tekkinud põllu ristumiskoha juurde ning km 9,621 on tekkinud defekt

kohaliku tee ristmikule. Tõenäoliselt on mõlema defekti põhjuseks ristumiskoha kasutamine raskete veokitega. Võimalik, et raskeveoki järelhaagis on järsul pöördel katet üles keeranud.

3.3.3. Dokumentatsioon

Olemasolev kruuskate tuli eelnevalt profileerida. Kattekihi põikkalded pidid jääma kahepoolse kalde korral 3,5% ja viraažides 4-6% juurde. Tihendatud kruusatee kandevõime pidi olema 130 MPa. Olemasolevale tihendatud kruuskatele tuli paigaldada purustatud kruusast segu (positsioon 1) paksusega $h=15$ cm. Olemasolev kruusakiht ning juurde veetav kruuskiht tuli stabiliseerida hüdraulilise sideainega. Pinnase stabiliseerimise segamissügavus oli $h=25$ cm. [32]

Mõlema kihi läbisegamise ning hüdraulilise sideaine lisamise eesmärk oli olemasoleva ning juurde veetud materjalide ühtlasemaks muutmise ning kandevõime suurendamine. Stabiliseerimise tulemusena ei tohtinud kiht tööle hakata betoonplaadina. Pinnase stabiliseerimisel võis kasutada järgnevat lisandeid: CEM I 42,5 või CEM II 42,5. [32]

Enne stabiliseerimistöödega alustamist tuli teostada laboratoorsed katsetused erineva hüdraulilise sideaine sisaldusega ja vähemalt kolmelt erinevalt objektilt võetud mineraalmaterjaliga (Tabel 3.12). Valminud stabiliseeritud katele paigaldada kahekordne ümberpööratud pindamine ($2 \times \ddot{U}$), mille käigus laotati esimene sideaine kiht ja mille peale peene täitematerjali fraktsioon, mis tagab kõva stabiliseeritud pinnaga parema nakke kui suurem kivi. Selle peale tuleb teine sideaine kiht ja jämedama täitematerjali puiste kulumiskihiks. [32]

Tabel 3.11 stabiliseerimistööde vahetus aruande kohaselt teostati tööd 2021. aasta mai kuus kolmel erineval päeval. Hüdraulilist sideainet tuli lisada 1% ehk $4,2 \text{ kg/m}^2$. Esimesel päeval paistis päike ning esines hoovihma. Esimese päeva stabiliseeritud lõigust teostati väljakaev. Tõenäoliselt ei olnud hoovihmal teelagunemisega põhjus, täpsemalt kirjutan punktis 3.3.8.

Tabel 3.11 Stabiliseerimistööde vahetus aruannete väljavõte [andmed pärinevad ehitustööde dokumentatsioonist]

Kuupäev	Stabiliseeritud lõik (km)	Hüdrauliline sideaine ning kogus (%)	Lisatud kogus	Õhu temp	Ilm
20.05.2021	4,996-6,396	CEM I 42,5N; 1% ($4,2 \text{ kg/m}^2$)	$4,29 \text{ kg/m}^2$	+14°C	Päike/ hoovihm
21.05.2021	6,396-7,846	CEM I 42,5N; 1% ($4,2 \text{ kg/m}^2$)	$4,35 \text{ kg/m}^2$	+12°C	päike/ pilved
24.05.2021	7,846-9,826	CEM I 42,5N; 1% ($4,2 \text{ kg/m}^2$)	$4,24 \text{ kg/m}^2$	+14°C	päike/ pilved

3.3.4. Materjali survetugevuse andmed

Enne stabiliseerimistöödega alustamist tuli teostada laboratoorsed katsetused erineva hüdraulilise sideaine sisaldusega ning vähemalt kolmest erinevast kohast võetud mineraalmaterjaliga. Tabel 3.12 on näha kolmest erinevast kohast, kolme erineva sideainesisaldusega 7 päeva ning 28 päeva vanused survetugevuse andmed.

Purustatud kruusas kasutatava kivi purunemiskindlus oli LA 28.

Tabel 3.12 Kolme erineva sideaine sisaldusega survetugevuste andmed [andmed pärinevad TalTech katselaboratooriumi katseprotokollidest]

PK	CEM I 42,5 osakaal %	Proovikeha vanus, 7 päeva				Proovikeha vanus, 28 päeva			
		Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevus, N/mm ²	Keskmine surve- tugevus, N/mm ²	Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevus, N/mm ²	Keskmine surve- tugevus, N/mm ²
74+30	2.5	2.074	2.074	2.6	2.5	2.068	2.067	3.4	3.3
		2.073		2.5		2.069		3.4	
		2.074		2.5		2.065		3.2	
	2.0	2.059	2.049	2.0	1.9	2.047	2.053	2.3	2.3
		2.034		1.8		2.062		2.4	
		2.053		2.0		2.049		2.3	
	1.5	2.050	2.046	1.5	1.3	2.054	2.060	1.8	2.0
		2.056		1.2		2.059		2.1	
		2.033		1.3		2.068		2.1	
94+80	2.5	2.093	2.100	2.8	2.8	2.066	2.083	3.6	3.6
		2.107		2.8		2.093		3.6	
		2.101		2.8		2.089		3.6	
	2.0	2.105	2.087	2.6	2.6	2.089	2.071	3.3	3.1
		2.072		2.5		2.085		3.1	
		2.083		2.6		2.039		2.8	
	1.5	2.086	2.075	2.0	1.8	2.041	2.070	1.9	2.2
		2.081		1.9		2.072		2.3	
		2.059		1.5		2.098		2.4	
50+85	2.5	2.131	2.127	2.6	2.6	2.100	2.100	3.3	3.2
		2.141		2.7		2.100		3.2	
		2.110		2.4		2.099		3.0	
	2.0	2.127	2.103	2.1	2.0	2.085	2.078	2.2	2.3
		2.085		1.9		2.072		2.6	
		2.098		1.9		2.076		2.0	
	1.5	2.133	2.139	1.9	1.8	2.098	2.097	2.2	2.3
		2.156		1.8		2.098		2.5	
		2.127		1.6		2.096		2.3	

Tegemist ei ole kompleksstabiliseeritud (KS) seguga, kuid illustreeriva infona toon välja, et kompleksstabiliseeritud segu 7 päeva vanusel proovikehal peab olema survetugevus $\geq 1,5$ Mpa ning 28 päeva vanusel proovikehal ≥ 3 Mpa kuni ≤ 12 Mpa. [26] [27]

Katse tulemusena saadi teada, et hüdraulilise sideaine sisaldusega 2,5% on 7 päeva vanusele proovikehal survetugevus 2,5-2,8 Mpa ning 28 päeva vanusel proovikehal 3,2–3,6 Mpa. Hüdraulilise sideaine sisaldusega 2,0% saadi 7 päeva vanusele proovikehale survetugevuseks 1,9–2,6 Mpa ning 28 päeva vanusele proovikeha survetugevuseks saadi 2,3-3,1Mpa. Mõlema hüdraulilise sideaine sisaldusega saavutati 7 päeva vanustele proovikehadele kompleksstabiliseeritud segu survetugevused (Tabel 3.12).

Hüdraulilise sideainesisaldusega 1,5% saadi 7 päeva vanuse proovikeha survetugevuseks 1,3-1,8 Mpa. Peaaegu saavutati kompleksstabiliseeritud 7 päeva vanuse proovikeha survetugevus. Kompleksstabiliseeritud 28 päeva vanuse proovikeha survetugevust ei saavutatud. Survetugevused jäid 2,0-2,3Mpa juurde (Tabel 3.12).

Hanke tehnilises kirjelduses oli kirjas, et stabiliseerimise tulemusena ei tohi kiht tööle hakata betoonplaadina. Eesmärgiks oli saavutada survetugevus 0,5 Mpa. Kuna hüdraulilise sideaine sisaldusega saavutati üle ootuste head tulemused, lisati stabiliseerimisel hüdraulilist sideainet kõigest 1,0%. Stabiliseeritud segust valmistati kolm proovikeha: kahte proovikeha katsetati 28 päeva vanuselt ning kolmandat proovikeha 29 päeva vanuselt (Tabel 3.13). Viimast proovikeha hoiti eelnevalt 24h vees. Proovikehade survetugevused ületavad taaskord 0,5 Mpa eesmärgi.

Enne lõigu stabiliseerimist katsetati proovikehasid, mille hüdraulilise sideaine sisaldus oli 1,5% ning saadi 28 päeva vanuste proovikehade survetugevuseks 2,0 – 2,2 Mpa. Stabiliseerimise käigus lisati 1,0% hüdraulilist sideainet ning saadi paremad tulemused mis oli 1,5% hüdraulilise sideainesisaldusega. Kahjuks pole stabiliseeritud muldkehast terastikulist koostist määratud. Sellest tulenevalt on keeruline öelda kas on võimalik, et segu peeneses ning selle tulemusena saadi madalama hüdraulilise sideaine sisaldusega samad tulemused mis olid 1,5% hüdraulilise sideaine sisaldusega. 28 päeva vanune proovikeha, mida hoiti lisaks 24h vees, kaotas 40%-50% oma survetugevusest.

Tabel 3.13 Stabiliseeritud kihist tehtud proovikehade survetugevuse andmed [andmed pärinevad TalTech katselaboratooriumi katseprotokollidest]

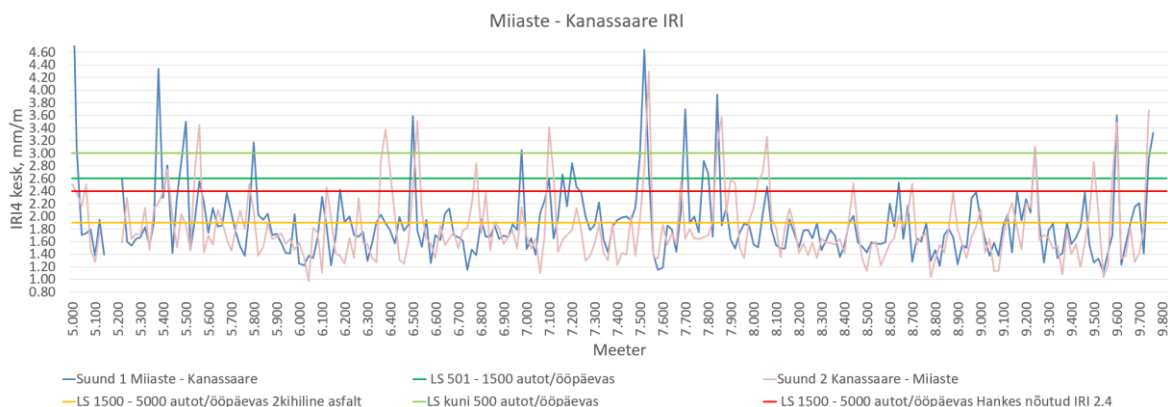
PK	CEM I 42,5 osakaal %	Proovikeha vanus, 28 päeva				Proovikeha vanus, 29 päeva 24 h vees			
		Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevus, N/mm ²	Keskmin e surve- tugevus, N/mm ²	Tihedus, Mg/m ³	Keskmine tihedus, Mg/m ³	Surve- tugevu s, N/mm ²	Keskmin e surve- tugevus, N/mm ²
65+00	1.0	2.272	2.278	1.8	2.2	2.351	2.351	1.3	1.3
		2.283		2.5					
85+46	1.0	2.209	2.264	1.1	1.8	2.306	2.306	0.9	0.9
		2.318		2.4					

3.3.5. IRI andmed

Miiaste - Kanassaare suuna keskmine IRI4 tulemus on 1,91 mm/m ning Kanassaare - Miiaste suuna keskmine IRI4 tulemus on 1,83 mm/m. [32] Üksikud väärtused ületasid 4,2 mm/m (Joonis 3.48 Miiaste – Kanassaare IRI). Lõigu alguses olev kõrgem IRI väärtus on põhjendatav objekti kokku viimisega olemasoleva teega.

Lõik tundus üldiselt ühesugune, kuigi tänaseks on tekkinud külmakergetest lõigule ebatasasusi. Kuna tee ääres kasvavad üksikud puud ning lõiku ümbritsevad mitmed põllumassiivid on võimalik, et teele võis sattuda väiksem oks või kandsid põllumehed masinatega pinnast teele, mis võis tekitada enne mõõtmist ajutist ebatasasust.

Hankes oli ette nähtud, et katte tasasuse keskmine väärtus ei tohi olla suurem kui 2,4 mm/m. Määruse järgi võib mustkate kruusalusel, liiklussagedusega kuni 500 autot/ööpäevas, olla kuni 3,0 mm/m (Tabel 3.3). [21] Tellijapoolne nõue vastab määruse järgi mustkate kruusalusel liiklussagedusele 1500-5000 autot/ööpäevas. Arvestades eelnevat, on töövõtja teinud head tööd ning on saanud keskmiseks tulemuseks 1,76mm/m, mis on parem, kui määruse järgi esitatud nõue uuele kahekihilisele asfaltkatele või taastatud asfaltkatele.



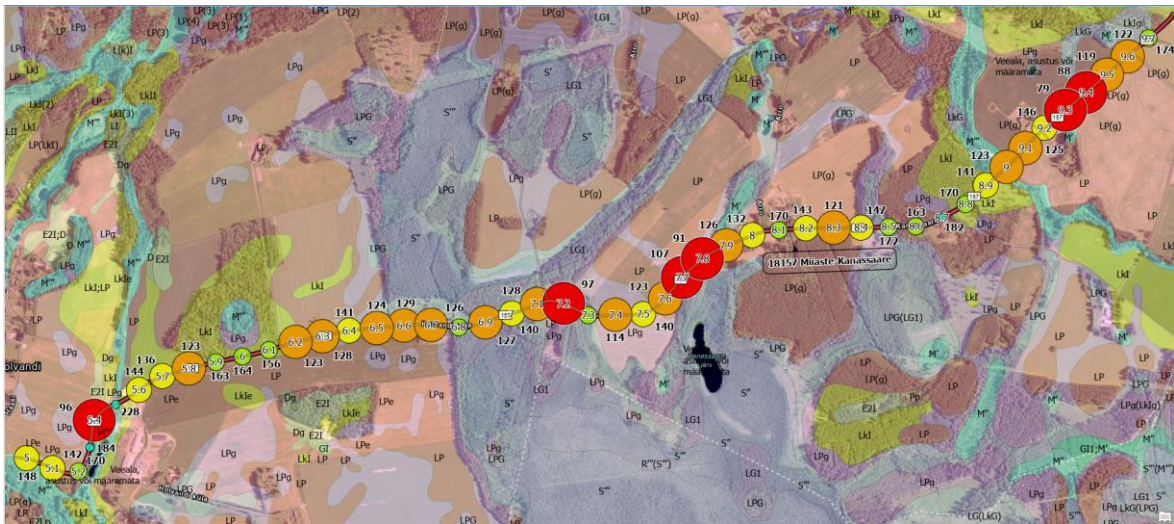
Joonis 3.48 Miiaste – Kanassaare IRI (Tabel 3.3) [21] [32] [33]

3.3.6. FWD ja Ameerika penetromeetri andmed

Välja kaevati Miiaste – Kanassaare tee km 5,39-5,465, km 7,308-7,365, km 7,450-7,490 ja km 7,78-7,82 asuvad lõigud.

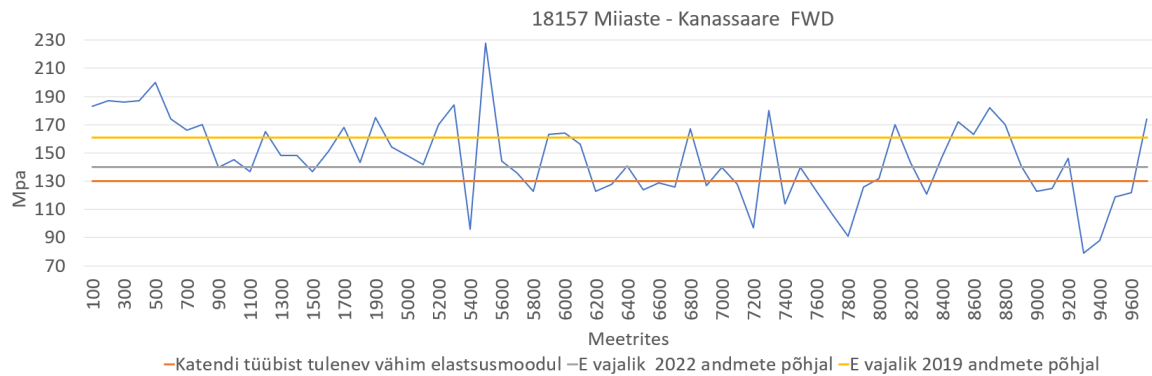
Väljakaevatud lõigud said vahetult enne FWD mõõtmist tehtud. Kahele väljakaevatud lõigule sattusid ka teedevõrgu mõõdistamise käigus tehtavad FWD uuringud km 5,39–5,465 ning km 7,78-7,82. Ülejäänud kahele lõigule (km 7,308-7,365, km 7,450-7,490) ei sattunud FWD mõõtmised. Kõikidest kaevikutest on mõõdetud Ameerika dünaamilise koonus penetromeetriga (Joonis 3.3).

Joonis 3.49 on näha kust kohast on mõõdetud kandevõime ning mis on tulemuseks saadud. Ringi sees olev number näitab asukohta kilomeetrites ja ringi välisküljel on kandevõime (Mpa). Ringi suuruste järgi on klassifitseeritud kandevõime näidud. Mida suurem on ring, seda väiksem on kandevõime ning mida väiksem on ring, seda suurem on kandevõime. Lisaks on alla võetud ka mullastiku kaart, et oleks võimalik hinnata mullastiku mõju kandevõimele.



Joonis 3.49 Kandevõime mõõtmiste asukohad mullastikukaardil [pilt pärineb ArcGIS Pro tarkvarast] [29]

Joonis 3.50 on näha, et lõigu kandevõime ei ole hea. Lõigu keskmine kandevõime elastsusmoodul on kõigest 139 Mpa. Liikluskoormusest arvatuna lõigu vajalik kandevõime elastsusmoodul on 140-161 Mpa. Katendi tüübist tulenev vähim elastsusmoodul on 130 Mpa. Lõigul mõõdetud kandevõimetest ca 50% ei saavuta vajaliku elastsusmoodulit 130 Mpa. Järgnevalt loetletakse ette lõigud, kus on mõõdetud kõige kehvemad kandevõime tulemused. Kõige kehvamateks kandevõime tulemusteks pean silmas lõike, kus kandevõime tulemused on elastsusmooduliga alla 110 Mpa, km 5,4 (kandevõime 96 Mpa, antud kohas teostati ka väljakaevet), km 7,2 (kandevõime 97 Mpa); km 7,7 (kandevõime 107 Mpa); km 7,8 (kandevõime 91 Mpa, antud kohas teostati ka väljakaevet); km 9,3 (kandevõime 79 Mpa) ja km 9,4 (kandevõime 88 Mpa). Arvestades, et kandevõime tulemused mõõdeti suve lõpus, millele eelnes väga kuiv suvi, on mõneti üllatav, et kandevõime tulemused on nii madalad. Kui mõõdistused oleks teostatud aprilli esimeses pooles, kus maapind oli niiske või isegi liigniiske, siis oleks tulemused olnud veel kehvemad, kuid seda täpselt ei ole võimalik hinnata, kui palju kehvemad.



Joonis 3.50 Riigitee 18157 Miiaste - Kanassaare FWD (Tabel 3.1) [16] [29]

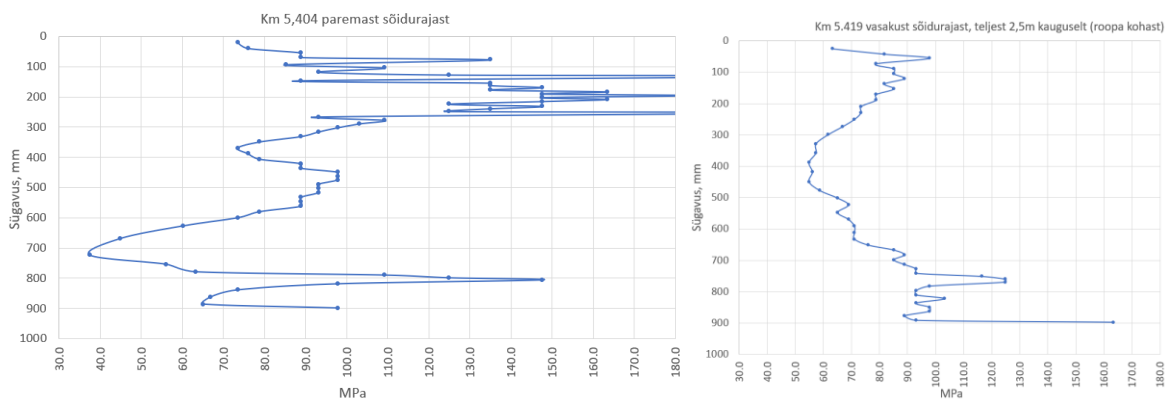
Järgnevalt kirjeldatakse ning iseloomustatakse kõiki väljakaevaid, DCP kahe kuni kolme joonisega (kaeviku kohta), et anda edasi kaevikute põhjadest ning konstruktiivsete kihtide alla jäävatest pinnastest.

Järgnevatelt joonistelt (Joonis 3.51, Joonis 3.51 Km 5,404 paremast sõidurajast mõõdetud andmed (vasakul) ja joonis 3.52 km 5,419 vasakust sõidurajast (paremal) (Autori erakogu) Joonis 3.51 Km 5,404 paremast sõidurajast mõõdetud andmed (vasakul) ja joonis 3.52 km 5,419 vasakust sõidurajast (paremal), Joonis 3.53, Joonis 3.54, Joonis 3.54 Mõõdetud km 7,318 vasakpoolsest sõidurajast, teljest 1,1m (vasakul) ja joonis 3.55 km 7,354 parempoolse sõiduraja teljest 0,8m (paremal) (Autori erakogu) Joonis 3.54 Mõõdetud km 7,318 vasakpoolsest sõidurajast, teljest 1,1m (vasakul) ja joonis 3.55 km 7,354 parempoolse sõiduraja teljest 0,8m Joonis 3.56 Mõõdetud km 7,478 vasakpoolsest sõidurajast, teljest 1,15m (kaevikus sügavus 52cm) (vasakul) ja joonis 3.57 km 7,465 parempoolsest sõidurajast, teljest 1m (paremal), Joonis 3.58 Mõõdetud km 7,817 vasakpoolsest sõiduraja, teljest 1,5 m (vasakul) ja joonis 3.59 km 7,802 vasakpoolsest sõidurajast (paremal)) on näha kõigi nelja kaeviku tugevusnäitajad, mis iseloomustavad pinnase jäikust.

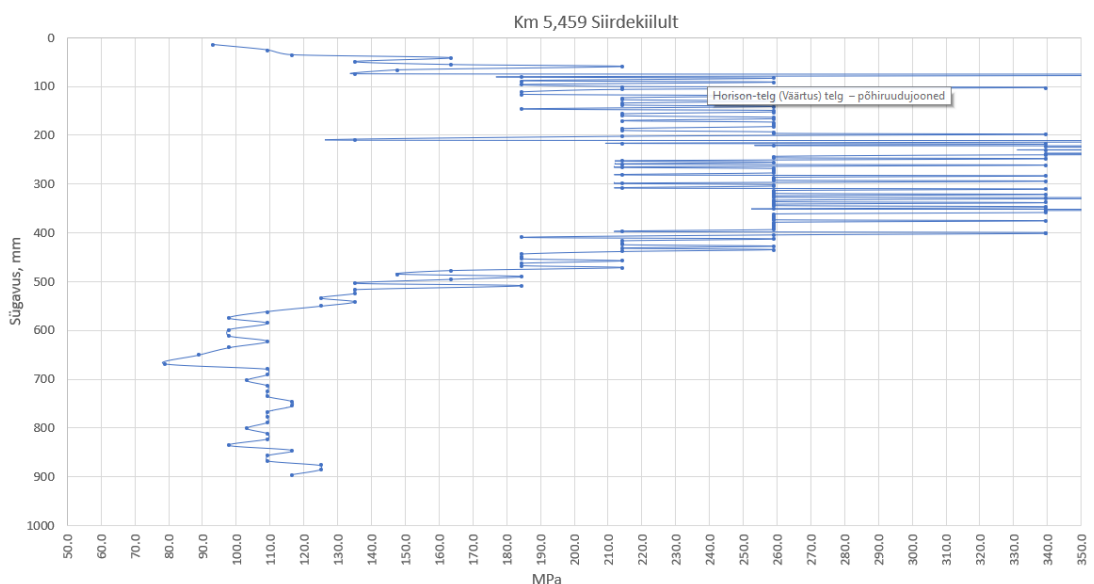
Antud juhul tuleb arvestada, et mõõtmised on tehtud suve lõpus ning sellele eelnes sademetevaene suvi. Joonis 3.51 Joonis 3.51 Km 5,404 paremast sõidurajast mõõdetud andmed (vasakul) ja joonis 3.52 km 5,419 vasakust sõidurajast (paremal) on näha, et esimesel 60 cm sügavusel on rahuldav ja hea kandevõime, 40 cm sügavusel oli küll nõrgem kiht, kuid sellele järgneb 10 cm tugevam kiht, pärast 50 cm läheb pinnases olukord kehvemaks ning 70 cm sügavusel saadakse kätte mõõtetulemuste kõige kehvem kandevõime. 70 cm sügavusel olev kiht kvalifitseerub nõrgaks või siis isegi väga nõrgaks pinnaseks. Joonis 3.51 Km 5,404 paremast sõidurajast mõõdetud andmed (vasakul) ja joonis 3.52 km 5,419 vasakust sõidurajast (paremal) on näha, et sügavamates kihtides kandevõime langeb ning juba 30 cm sügavuselt kvalifitseerub pinnas nõrgaks, 50 cm sügavusel muutuvad pinnase omadused ning kandevõime

suureneb. Joonis 3.53 on hea illustreeriv näide, kui mõõta DCP-ga kivises pinnases. Koonuse ots puutub vastu kivi ning selle tulemusena saab ebaloogilisi väärtusi. Esimese 40-45 cm esialgu välistaksin, kuna jooniselt on näha, et tulemused on väga kõikumavad. Tulemused järjest langevad ning võiks öelda, et 60 cm sügavusel on olukord stabiliseerunud ning muldkeha materjal selles kohas on ühtlaste omadustega. Kui vaadata Tabel 3.4 siis võib öelda, et materjalide tugevusnäitajad on rahuldavad või siis head. Joonis 3.54 Mõõdetud km 7,318 vasakpoolsest sõidurajast, teljest 1,1m (vasakul) ja joonis 3.55 km 7,354 parempoolse sõiduraja teljest 0,8m (paremal) on näha, et esineb nõrgemaid ja tugevamaid kihte vaheldumisi, kuid 70 cm sügavuselt jõutakse nõrka pinnasesse.

1. Väljakaeve km 5,39-5,465.

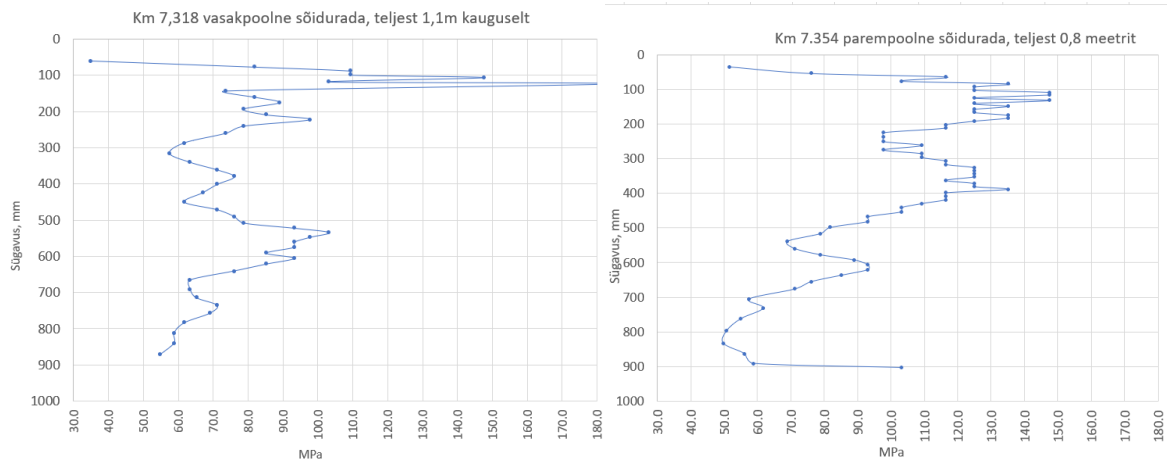


Joonis 3.51 Km 5,404 paremast sõidurajast mõõdetud andmed (vasakul) ja joonis 3.52 km 5,419 vasakust sõidurajast (paremal) (Autori erakogu)



Joonis 3.53 Mõõdetud siirdekiilult km 5,459 (Autori erakogu)

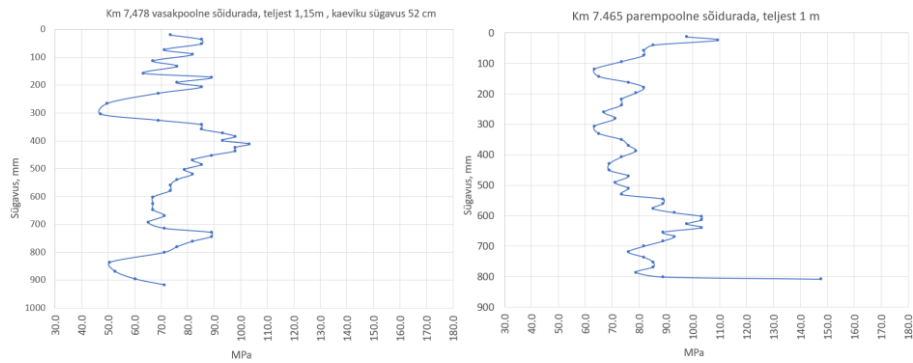
2. Väljakaeve km 7,308-7,365.



Joonis 3.54 Mõõdetud km 7,318 vasakpoolsest sõidurajast, teljest 1,1m (vasakul) ja joonis 3.55 km 7,354 parempoolse sõiduraja teljest 0,8m (paremal) (Autori erakogu)

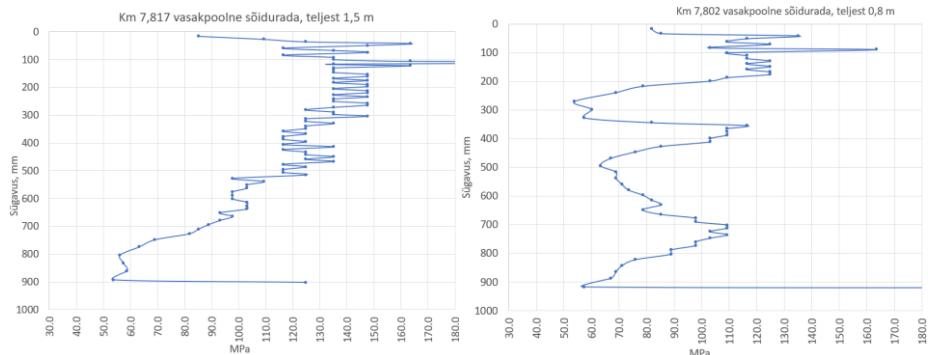
3. Väljakaeve km 7,450-7,490.

Joonis 3.56 Mõõdetud km 7,478 vasakpoolsest sõidurajast, teljest 1,15m (kaevikus sügavus 52cm) (vasakul) ja joonis 3.57 km 7,465 parempoolsest sõidurajast, teljest 1m (paremal) on näha, et 25 cm sügavusel on nõrgem kiht ning pärast seda tuleb tugevam kiht, kuid pärast tugevamat kihti hakkavad tugevusnäitajad liikuma ikkagi nõrgema kihi suunas ning 82 cm sügavusel jõutakse jällegi nõrgemasse kihti. Joonis 3.56 Mõõdetud km 7,478 vasakpoolsest sõidurajast, teljest 1,15m (kaevikus sügavus 52cm) (vasakul) ja joonis 3.57 km 7,465 parempoolsest sõidurajast, teljest 1m (paremal) on näha, et materjal on üldiselt ühesugune ning väga vähe on kõikumist. 10-35 cm sügavusel kulgevad tulemused rahuldava ning nõrga pinnase piiril, kuid jäävad veel rahuldavatesse piiridesse. Pinnase omadused hakkavad 45 cm sügavusel järjest paranema. Joonis 3.58 on näha, et esimesed 50 cm on väga ühtlane ning pärast 50 cm lähevad tulemused järjest kehvemaks, 80 cm sügavusel jõutakse nõrga kihini. Joonis 3.58 Mõõdetud km 7,817 vasakpoolsest sõiduraja, teljest 1,5 m (vasakul) ja joonis 3.59 km 7,802 vasakpoolsest sõidurajast (paremal) puhul pole näha stabiilsust, 25 cm sügavuselt kaotab pinnas oma tugevuse ning hakkab langema, 35 cm sügavusel on jõudnud penetromeeter nõrka pinnasesse ning 40 cm sügavusel jällegi tugevasse kihti ja 50 cm puhul jällegi nõrgemasse kihti. Kuna pinnased olid mõõtmishetkeks ära tahenenud ning tahenemise käigus saavutab ka savikiht väga hea vastupanuvõime, siis võibki antud joonis väljendada sellist situatsiooni.



Joonis 3.56 Mõõdetud km 7,478 vasakpoolsest sõidurajast, teljest 1,15m (kaevikus sügavus 52cm) (vasakul) ja joonis 3.57 km 7,465 parempoolsest sõidurajast, teljest 1m (paremal) (Autori erakogu)

4. Väljakaeve km 7,78-7,82.



Joonis 3.58 Mõõdetud km 7,817 vasakpoolsest sõiduraja, teljest 1,5 m (vasakul) ja joonis 3.59 km 7,802 vasakpoolsest sõidurajast (paremal) (Autori erakogu)

3.3.7.SCI, BDI, BCI andmed

Joonis 3.60 on näha, et SCI väärtused on halvad km 5,4, km 6,9, km 7,2, km 7,4, km 7,8, km 8,3 ja km 9,4. DCP ja FWD andmete võrdlemisel tuleb DCP sügavusandmetele juurde liita 40cm ning Joonis 3.53-le tuleb juurde liita 20 cm (väljakaevati 20 cm). Juurde liitmine on vajalik sellepärast, et DCP seadmega mõõdeti kaeviku põhja, millele rajati 40 cm konstruktsioon peale, millelt teostati FWD seadmega mõõtmised.

Vaadates BDI ja BCI (Joonis 3.61) väärtusi on näha, et tegelik probleem peitub 30-60 cm sügavusel, sest kui BDI väärtus on madal siis on ka SCI väärtus madalam ning ka vastupidiselt. BCI väärtused on kõrgemad km 5,7, km 6,3, km 6,7, km 8,8, km 9,0, km 9,3 ja km 9,4, kuid ükski neist ei ületa rahuldava piiri. Antud juhul on hea võrrelda väljakaeve 1 (km 5,4) ja väljakaeve 4 (km 7,8) DCP mõõtetulemusi. Mainin ära, et DCP ja FWD mõõtmiste vahe on ca kaks nädalat ning seega võiksid tulemused olla võrreldavad.

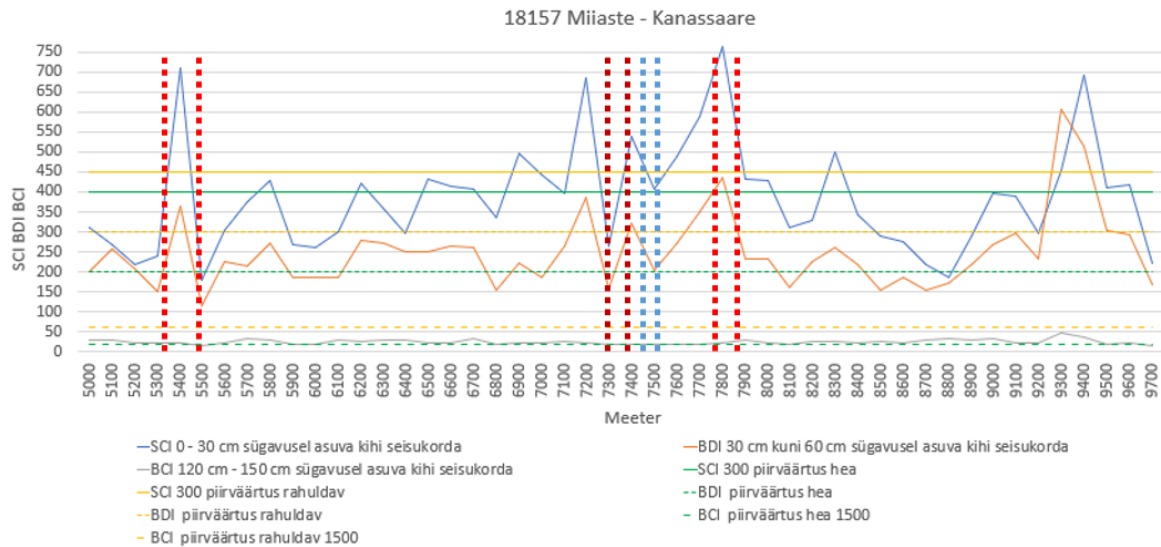
Kui vaadata Joonis 3.60 ning kõrvale võtta ka Joonis 3.51 Km 5,404 paremast sõidurajast mõõdetud andmed (vasakul) ja joonis 3.52 km 5,419 vasakust sõidurajast (paremal) ja Joonis 3.53 on näha, et probleem on aluspinnastes. Kui vaadata ainult FWD väärtusi võib järeldada, et 30-60 cm sügavusel on probleem. Kui võtta kõrvale ka DCP seadmega mõõdetud tulemused on näha, et pinnase tugevused langevad alates 60 cm ning tugevusomadused paranevad, kui jõutakse 120 cm sügavusele ehk siis tegelik probleem ei ole mitte 30-60 cm sügavusel vaid 60-120 cm sügavusel ning need peegelduvad BDI ja SCI väärtustesse.

Hea on tõdeda, et FWD ja DCP seadmete mõõtetulemused lähevad kokku. DCP seadmega on näha, et 120-130 cm juures lähevad pinnase tugevusomadused paremaks ning seda väljendab ka mõõdetud BDI väärtus, kuna jooniselt nähtub, et BDI väärtus on hea piiri lähedal.

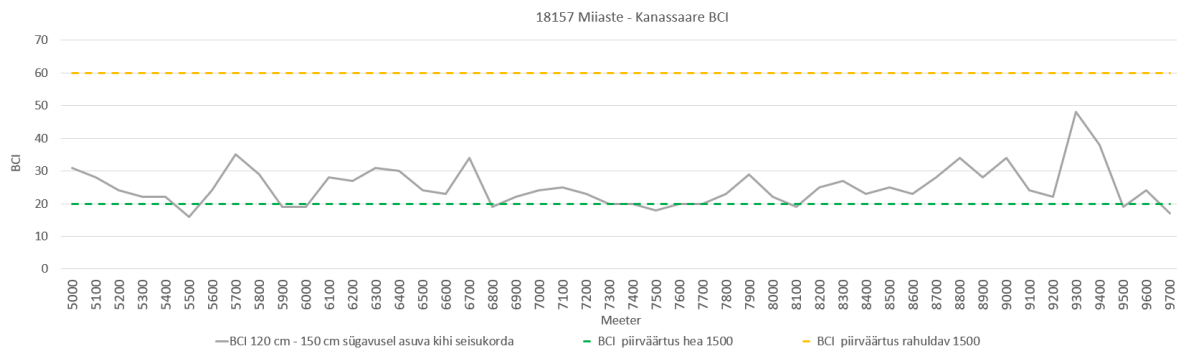
Vaadates neljanda väljakaeve väärtusi, saab nentida, et taaskord 60 cm sügavuselt hakkab langema kandevõime, kuid DCP seadme andmetest ei nähtu, et olukord paremaks muutuks või stabiliseeruks, vaadates BCI väärtusi siis on näha, et joonisel teeb selles kohas BCI väärtus ka kõrgema lainetuse ning selle tõttu ei näe ka DCP graafikul pinnase paranemise märke. Selle põhjal saab järeldada, et BCI väärtused on küll rahuldavad, kuid peamine probleemne koht asub taaskord 60-120 cm vahel, mis omakorda peegelduvad BDI ja SCI väärtustesse.

Km 6,9, km 7,2, km 7,4, km 7,8 ja km 8,3 probleemi põhjus võib olla samuti 60-120cm sügavusel nagu eelneva kahe väljakaeve info põhjal selgitatud.

SCI, BDI ja BCI andmete põhjal on kõige kehvem lõik km 9,3 - km 9,4. SCI väärtus on halb, BDI väärtus on väga halb ning BCI on terve lõigu arvestuses kõige kõrgem. Käesolevas töös punktis 3.3.2 on välja toodud, et välitööde käigus oli näha samas lõigus ka seisuvett. Vaadates Joonis 3.45 ja Joonis 3.49 on näha, et lõik jääb ka kahkjast leetunud muldadele (LP). Kahkjast leetunud mullad kannatavad ülaveest tingitud lühiajalise liigniiskuse all. Antud koha probleemiks saaks lugeda pigem kehva mullastikku ning kehva muldkeha materjali.



Joonis 3.60 Miiaste – Kanassaare SCI, BDI ja BCI väärtused, värvidega on tähistatud väljakaevete ligikaudsed asukohad [19] [29]



Joonis 3.61 Miiaste – Kanassaare BCI väärtused [19] [29]

3.3.8. Defektide analüüs

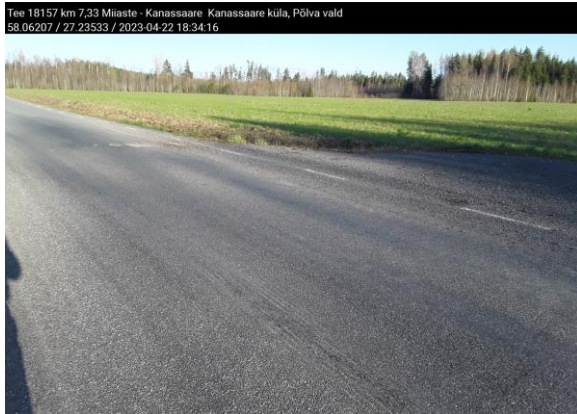
Km 5,39-5,465 peamine defektide tekkepõhjuseks võib lugeda seda, et muldkeha ehitamisel on kasutatud erinevaid täitematerjale. Joonis 3.62 Km 5,442 defektne koht (vasakul) ja joonis 3.63 defektide põhjused (paremal) on näha, et servas kulgeb ligikaudu kahe meetrine laiendus. Sõiduraja keskel on kasutatud kruusakat materjali ning kaugemal on näha, et on kasutatud punakat materjali. Punakat materjali käes pigistades jäi materjalist järgi tugev tükk, mis määris väga palju ehk siis liivaka materjali vahel on saviosakesi, mis seob teisi liivaosakesi ning selle tulemusena on materjali filtratsioon kehv. Lisaks eelnevale on põllumaa pinnakalded tee poole ning kogu põllult tulev vesi jõuab riigitee kraavi ning sealt saab imbuda teekonstruktsiooni. Kuna teekonstruktsioonist ei pääse vesi kiirelt välja, hakkab vesi seal salvestuma ning leotab läbi olemasolevad muldematerjalid ning selle tulemusel ei suuda materjal enam koormust vastu võtta ning pealmine kiht hakkab lagunema.



Joonis 3.62 Km 5,442 defektne koht (vasakul) ja joonis 3.63 defektide põhjused (paremal) (Autori erakogu)

Km 7,308-7,365 defektide tekke põhjuseks on sama, mis oli eelneva väljakaevatud lõigu puhul. Muldkeha koosneb erinevatest täitematerjalidest. Erinevad täitematerjalid käituvad niiskuse vastuvõtmisel ning salvestamisel erinevalt. Joonis 3.64 on näha, et ristumiskoha raadiuse juurest kate laguneb ning Joonis 3.64 Km 7,33 defektne koht paremas sõidurajas (vasakul) ja joonis 3.65 väljakaeve defektsest kohast, teise nurga all on näha probleemi põhjust. Ristumiskoha raadiuse juures on näha, et alt tuleb välja mullakiht, mis on vahetult konstruktsiooni all. Joonis 3.66 on tehtud teiselt poolt ristumiskohta, kus on samuti näha, et kate laguneb. Kui vaadata Joonis 3.66 Km 7,32 defektne koht paremas sõidurajas (vasakul) ja joonis 3.67 on näha, et antud kohas ei ilmne mullakihti, kuid on näha sarnast punakat materjali mis oli esimeses väljakaeves. Antud juhul on olukord, kus tee on viraažis ning vesi on suunatud ühepoolse põikkaldega liikuma pikalt mööda konstruktsioonist välja (teisele poole riigiteed). Punakas materjal imab endasse sademe ning pinnaseveed, kuid sõiduraja all muutuvad materjali omadused ning vesi ei saa enam piisava kiirusega edasi voolata/imbuda. Seega leondub läbi muldkeha materjal ning selle tulemusel materjal kaotab oma tugevusomadused. Lisaks eelnevale leiab vesi alati ka teise tee ning sellistes olukordades hakkab vesi liikuma alt üles kattele, mis omakorda muudab muldkeha ja kattevahelist ühendust. Joonis 3.68, Joonis 3.69 ja Joonis 3.69 Roopad parema suuna sõidurajal (vasakul) ning joonis 3.70 roobas teljel (paremal) (Autori erakogu) on näha kuidas kulgeb roobas, see viitab asjaolule, et kui teed kunagi ehitati, olid ehitajad selle kohaga juba hädas ning aluspind oli nõrk ning ehitustehnika vajas läbi muldkeha. Ehituse käigus on roopad täidetud kruusa ning muu materjaliga, kuid hetkel tekitasid muldkehas olevad roopad probleemi. Probleem seisneb selles, et vesi ei pääse roopast ristisuunaliselt välja ning selle tulemusel salvestub vesi roopas muutes materjali tugevusomadusi kehvemaks. Vesi liigub kapillaartõusuna katte pinnale, mis tekitab stabiliseeritud pinna ning pindamise kihi vahele veekihi, mille tulemusel kate hakkab lagunema. Joonis 3.71 on näha muldkeha stabiliseeritud tükki. Stabiliseeritud kihi tükk on ligikaudu 20 cm

paksune. Väljakaevete tegemisel murdus siirdekiiludelt ning teljelt suuremaid tükke, kuid lagunenuid kohtades oli materjal pigem pude nagu on näha Joonis 3.64 Km 7,33 defektne koht paremas sõidurajas (vasakul) ja joonis 3.65 väljakaeve defektsest kohast, teise nurga all (Autori erakogu) ja Joonis 3.68.



Joonis 3.64 Km 7,33 defektne koht paremas sõidurajas (vasakul) ja joonis 3.65 väljakaeve defektsest kohast, teise nurga all (Autori erakogu)



Joonis 3.66 Km 7,32 defektne koht paremas sõidurajas (vasakul) ja joonis 3.67 defektse koha väljakaeve (paremal) (Autori erakogu)



Joonis 3.68 Ehituse käigus tekkinud roobas (Autori erakogu)



Joonis 3.69 Roopad parema suuna sõidurajal (vasakul) ning joonis 3.70 roobas teljel (paremal) (Autori erakogu)



Joonis 3.71 Stabiliseeritud materjali tük (Autori erakogu)

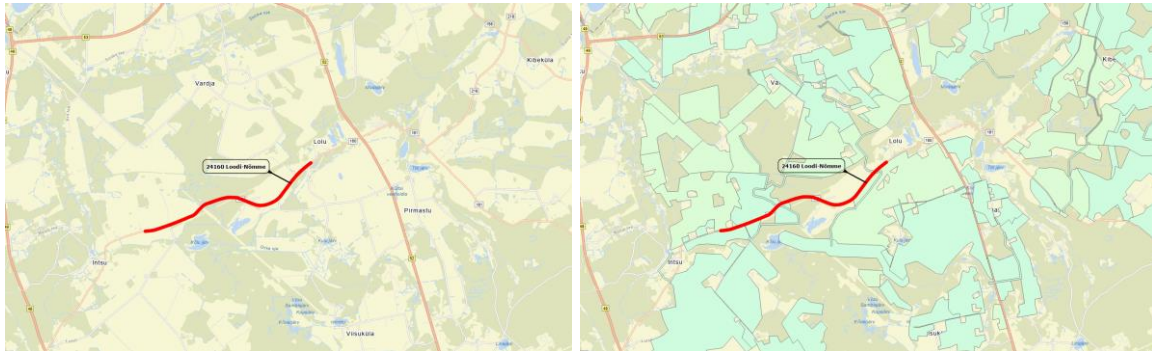
3.3.9. Kokkuvõte

Punktis 3.3.2 on välja loetletud lõigul esinevad defektid. Väga palju esines pikipragusid, poorseid kohti ning võrkpragusid jne. Eelneva analüüsi põhjal saab öelda, et lõigule on tekkinud defektid sellest, et muldkeha ehitamisel on kasutatud erinevaid materjale. Laiendused on tehtud taaskord teistsuguste materjalidega ning selle tulemusel takistatakse muldest vee välja liikumist. Teisalt on loodud ka olukordi, kus vesi peab viraadžis liikuma mööda kõige pikemat teed muldest välja (teisele poole riigiteed) ning tihti pole nendes kohtades ka drenivaid materjale. Selle tulemusel peab vesi salvestuma muldes, muutes olemasolevate materjalide tugevusomadusi. Lisaks eelnevale on lõigul kahkjad leetunud, gleistunud kahkjad leetunud ning kahkjast leetunud gleimullad, mis on ajutiselt või alaliselt liigniisked mullad (Joonis 3.45).

3.4. Riigitee 24160 Loodi-Nõmme km 2.595-5.593

3.4.1. Objekti asukoht

Objekti asukoht on näidatud Joonis 3.72 ja selle paiknemine Maa-ameti maaparandussüsteemide kaardil Joonis 3.72 asukoha skeem (vasakul) ja joonis 3.73 maaparandussüsteemide kaardirakendus (paremal) ning Maa-ameti mullastikukaardil Joonis 3.74



Joonis 3.72 asukoha skeem (vasakul) ja joonis 3.73 maaparandussüsteemide kaardirakendus (paremal) [pildid pärinevad ArcGIS Pro tarkvarast]



Joonis 3.74 Lõigu paiknemine Maa-ameti mullastikukaardil [pilt pärineb ArcGIS Pro tarkvarast]

Mullastikukaardilt nähtub, et lõigul mullastik vaheldub sagedasti. Tinglikult võib lõigu jagada kaheks. Vasakul pool oleksid kahkjad leetunud mullad (LP), gleistunud kahkjad leetunud mullad (LPg), leostunud ja leetjad gleimullad (GI), gleistunud leostunud ja leetjad mullad (KIg), gleistunud deluviaalmuld (Dg) ning paremal pool on leostunud ja leetjad mullad Ko ja KI.

Vasaku poole mullastike ühiseks nimetajaks on vesi. Kahkjad leetunud mullad kannatavad ülaveest tingitud lühiajalise liigniiskuse all ning lõimiseks on pigem savikamad pinnased. Gleistunud kahkjad leetunud mullad on liigniisked mullad.

Liigniiskuse põhjuseks on tavaliselt ülavesi, millele võib lisanduda ka kõrge põhjavesi. Arvestades, et gleistunud kähkjast leetunud muldade lähedal asub ka leostunud ja leetjad gleimullad võib seega järeldada, et põhjavesi ulatub kõrgele. Kuna leostunud ja leetjad gleimullad on alaliselt liigniisked mullad. Liigniiskus on tingitud pidevalt mullaprofiili ulatuvast põhjaveest, rasketel muldadel lisandub ka ülavesi. Gleistunud leostunud ja leetjad mullad on ajutiselt liigniisked. Eelnimetatud muldade vahelt kulgeb ka gleistunud deluviaalmullad, mis paiknevad nõlva alumisel kolmandikul pealeuhtevööndi keskosas või kühmude- ja künnistevahelistes nõgudes, kuhu valguvad pinnaveed ning kus põhjavesi on ajutiselt kõrge. [3]

Joonis 3.72 asukoha skeem (vasakul) ja joonis 3.73 maaparandussüsteemide kaardirakendus (paremal) on näha maaparandussüsteemi kaardirakenduse väljavõtet. Väljavõtte pealt on näha, et enamused maaparandussüsteemid asuvad vasakul pool ning paremal pool on näha maaparandussüsteemid ainult ühel pool teed ning seda ka mitte terves ulatuses. Joonise paremal pool olev mullastik ei ole nii mitmekesine kui on seda joonise vasak pool, sest joonise paremale poole on rajatud karjäärid ning karjääride järgi võib juba eeldada, et kuna ehitusmaterjale kaevandatakse siis järelikult on seal pinnased heade omadustega.

3.4.2. Välitööde kirjeldus

15.04.2023 objektil välitöid tehes oli näha, et lõigul olid olemas kraavid ning sellel hetkel kraavides üldjuhul vett ei esinenud v.a objekti alguses km 3,855-3,999 ning km 3,479-3,533. Km 3,855-3,999 esines kraavi põhjas väga vähe vett ning km 3,479-3,533 seisis vesi.

Km 2,98-3,55 (paremal pool), km 3,58-4,38 (vasakul ja paremal pool) ning km 4,38-4,54 (paremal pool) on tee ümbritsetud kuusemetsaga. Kuusk kasvab värsketel ja niisketel muldadel. Kuusikutes on mullad tavaliselt leetunud. Pinnased on saviliivmullased kuni raske liivsavimullased ning ka hästi lagunened turvasmullad. Kuusk ei talu kuiva mulda ega seisvat vett ning madalat õhuniiskust. [23] [24]

Välitöid tehes oli näha kattes palju auke, pikipragusid, serva lagunemisi ning lõik oli kehva tasasusega. Lõigul oli varasemalt tehtud parendustöid, lapitud auke ning mõlemal suunal oli tehtud pikkades lõikudes katteparandustöid fogsealiga. Kohtades, kus oli teostatud fogsealiga katteparandustöid, ei esinenud vähemalt sellel hetkel ka katte lagunemist.

Üldjuhul esinesid augud teljel ning paremal pool olevas rattajäljes. Kohati esines auke ka rataste vahelisel alal. Katte lagunemist esines tervel lõigul. Kõige enam oli katte lagunemist märgata tõusul km 4,54-4,824.

Lõigul tegutseb Pirmastu 2. karjäär. Maa-ameti ortofoto kaardirakendusest on näha, et km 4,361–6,468 mitmetel kinnistutel on teostatud materjali vedu. Tabel 3.14 on kirjas kinnistud, kus on näha, et tegemist on karjääriga ning lisan tabelisse ka nende ristumiskohad.

Tabel 3.14 Karjäärid ning nende ristumiskohad [andmed pärinevad Maa-ameti maainfo kaardirakendusest]

Kinnistu nimi	Katastritunnus	Ristumiskoht
Pombre karjäär	57001:001:0170	Km 4,269
Pombre 2 karjäär	57001:001:0022	Km 4,361
Sakala	57002:001:0057	Km 5,422
Väike-Sakala	57002:001:0058	Km 5,71 ja km 5,92
Pirmastu kruusakarjäär	57002:001:0020	Km 6,22
Matsi	89801:001:0629	Km 6,36

Pombre ja Pombre II karjääri sissesõit on km 4,269 ja km 4,361 tõusul. Karjääri ristumiskoha vahetus läheduses on kasutatud asfaltsegu. Sakala kinnistu (karjäär) ristumiskoht asub km 5,422 ning selle ristumiskoha juures ei ole kasutatud asfaltbetoonsegu. Teiste karjääride ristumiskohad ei jää analüüsitavasse lõiku. Kuid sellegi poolest on oluline märkida, et riigitee 24160 Loodi-Nõmme ühendab tugimaanteed 49 Imavere - Viljandi - Karksi-Nuia ning tugimaanteed 52 Viljandi - Rõngu. Välitöid tehes oli Transpordiamet kehtestanud veoautodele massipiirangu, kuid see ei olnud mõnele veoautojuhile takistuseks.

3.4.3. Dokumentatsioon

Olemasolev kruuskate tuli eelnevalt profileerida. Kattekihi põikkalded pidid jääma kahepoolse kalde korral 3–4% ja viraažides 4-6% juurde. Olemasolevale tihendatud kruuskatele tuli paigaldada fraktsioneeritud killustiku kiht 4/31,5 h =15cm. Paigaldatud killustiku kiht (15 cm) tuli segada olemasoleva kruusaga. Segamissügavuseks oli 30 cm. Segamise ajal pidi materjal olema märgniiske, et selle tulemusel vähendada täitematerjali purunemist ning saavutada maksimaalne tihedus. [34]

Pärast olemasoleva kruusa ning paigaldatud killustiku kihi segamist tuli lisada hüdraulilist sideainet 13,0 kg/m² ning teostada teine segamine 16 cm sügavuselt, sellest pidi moodustuma TS 32 h=16 cm ning mis tuli katta kahekordse pindamisega 8/12 ja 4/8 (2x) (km 2,590-4,260 ja km 4,400-5,600). Km 4,260-4,400 tuli paigaldada TS32 peale AC 16 surf segu paksusega 5 cm. [34]

Tsementstabiliseeritud kihi TS32 ehitamisel tuli lisada vett vastavalt vajadusele, et materjal oleks märgniiske. TS32 kihile tugevusnõudeid ei esitatud, kuid Töövõtja

kohustus oli teha objektile hüdropressiga kuus proovikeha. Laboratoorselt tuli määrata 7 ja 28 päeva vanustele proovikehadele survetugevused.

Valmis ehitatud TS32 kihilt mõõdetav elastsusmoodul pidi olema Loadman või Inspector tüüpi seadmega vähemalt 190 MPa.

Katte IRI-4 tase ei tohtinud olla suurem, kui 2,7 mm/m.

Tabel 3.15 on kirjas stabiliseerimistöde vahetusaruannete info, sellest selgub, et hüdraulilise sideaine kogus oli 13%. Kahtlustan, et sideaine koguse protsent on valesti välja arvatud, kuna tundub olevat liiga suur. Materjali kuivmahu massi katsetulemusi pole teada ning seega ei saa protsenti täpsustada. Antud juhul tuleks lähtuda infost kg/m^2 , mitte protsentidest.

Tabel 3.15 Stabiliseerimistöde vahetusaruannete väljavõte [andmed pärinevad ehitustööde dokumentatsioonist]

Kuupäev	Stabiliseeritud lõik (km)	Hüdrauliline sideaine ning kogus (%)	Lisatud kogus	Õhu temp	Ilm
30.06.2021	5,600 - 4,400	CEM I 42,5N; 13% (13,0 kg/m^2)	12,97 kg/m^2	+23°C	Päike/ pilves
01.07.2021	4,400 - 3,210	CEM I 42,5N; 13% (13,0 kg/m^2)	13,04 kg/m^2	+24°C	Päike
02.07.2021	3,210 - 2,590	CEM I 42,5N; 13% (13,0 kg/m^2)	13,12 kg/m^2	+24°C	Päike

3.4.4. Materjalide terakoostise ning survetugevuse andmed

Tabel 3.16 Stabiliseeritud kihist tehtud proovikehade survetugevuse andmed [andmed pärinevad TalTech katselaboratooriumi katseprotokollidest]

PK	CEM I 42,5	Proovikeha vanus, 7 päeva				Proovikeha vanus, 28 päeva			
		Tihedus, Mg/m^3	Keskmine tihedus, Mg/m^3	Survetugevus, N/mm^2	Keskmine survetugevus, N/mm^2	Tihedus, Mg/m^3	Keskmine tihedus, Mg/m^3	Survetugevus, N/mm^2	Keskmine survetugevus, N/mm^2
44+50	13 kg/m^2	2,199	2,169	5,0	5,5	2,164	2,171	7,4	7,6
		2,153		5,8		2,188		8,7	
		2,155		5,8		2,162		6,8	

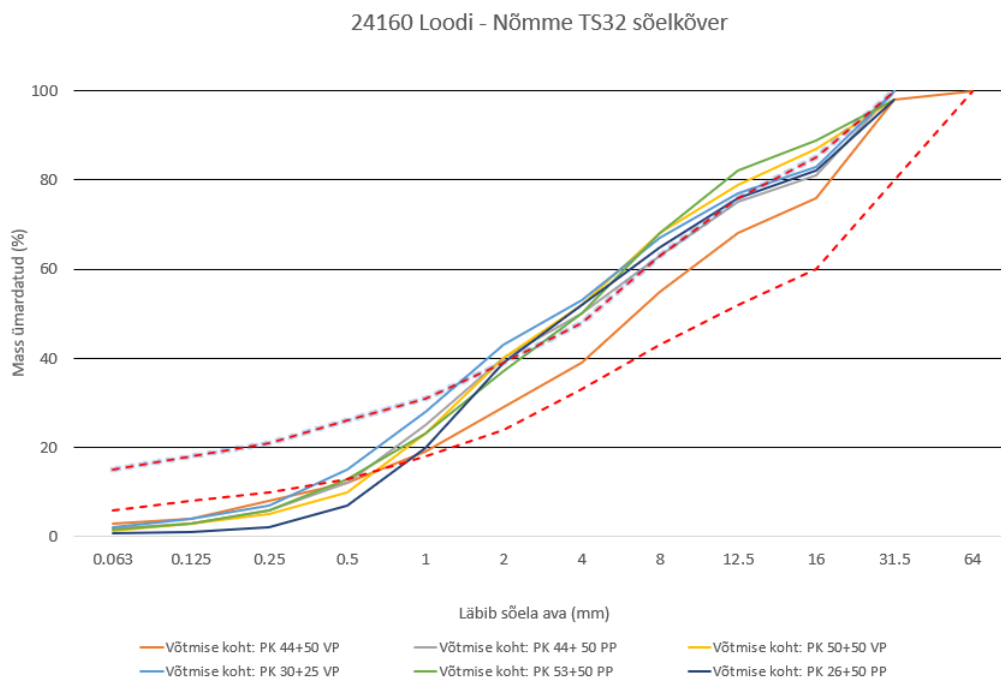
Vastavalt punktis 3.4.3 välja toodud andmetes peaks lõpptulemus vastama tsementstabiliseeritud (TS) 32 segule. Arvestades, et segu sisse segati olemasolevaid materjale, siis ei saa segatud kihti nimetada TS 32 seguks. TS 32 segule on esitatud materjalide nõuded, millele peab segu vastama. Pigem on tegemist muldkeha stabiliseerimisega, kuhu on lisatud hüdraulilist sideainet. [26] [27]

Segatud segu materjali nõuded ei vasta küll TS 32 segule, kuid sellegi poolest toon selle illustreeriva infona välja ning võrdlen juhendi ning määruse kohaseid TS 32 segu survetugevuse andmetega.

Tsementstabiliseeritud segu 7 päeva vanusel proovikehal peab olema survetugevus ≥ 2 Mpa ning 28 päeva vanusel proovikehal ≥ 4 Mpa kuni ≤ 12 Mpa. [26] [27]

Tabel 3.16 on näha, et tegelikult saavutati määruse ning juhendi kohane tsementstabiliseeritud 7 päeva ning 28 päeva vanuste proovikehade survetugevuse nõuded.

Joonis 3.75 on näha, et TS 32 segu ei vasta sõelkõverale. Sõelkõverate põhjal on 0,063-0,5mm vahemikus materjal liiga jäme ning 2,0 mm – 64 mm on materjal liiga peenike. Sõelkõvera järgi tundub materjal olevat ühtlane.

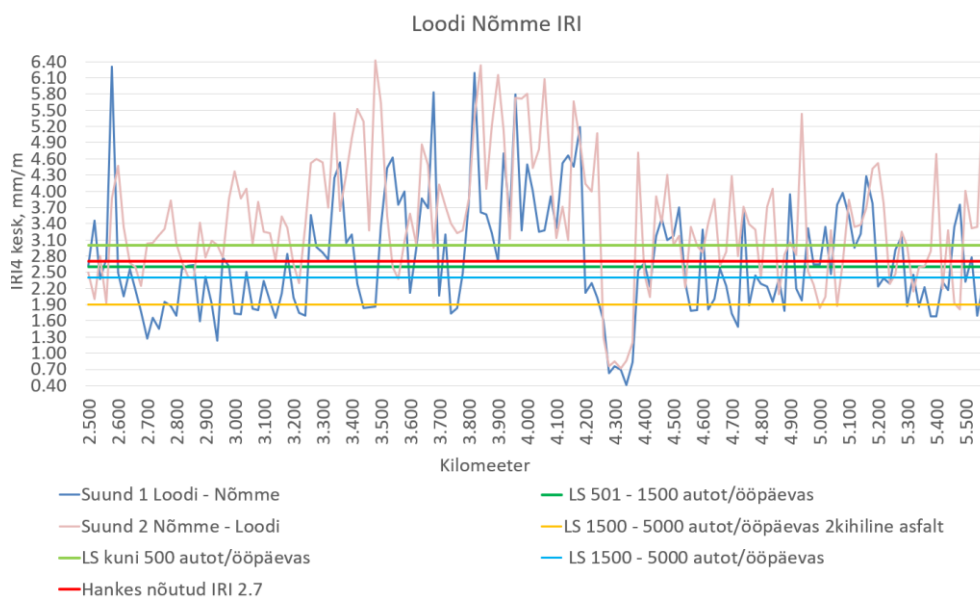


Joonis 3.75 Loodi - Nõmme teelt võetud (TS 32) sõelkõvera andmed [andmed on saadud Teede Tehnokeskuse, Taltechi katselaboratooriumi ja Steigeri katseprotokollidest] [27] [26]

3.4.5. IRI andmed

Loodi - Nõmme suuna keskmine IRI4 tulemus on 2,74 mm/m ning Nõmme – Loodi suuna keskmine IRI4 tulemus on 3,47 mm/m. [26] Üksikud väärtused ületasid 6,40 mm/m (Joonis 3.76). Hankes oli ette nähtud, et katte tasasuse keskmine väärtus ei tohi olla suurem kui 2,7 mm/m. [34] Määruse järgi võib mustkate kruusalusel, liiklussagedusega kuni 500 autot/ööpäevas, olla kuni 3,0 mm/m (Tabel 3.). [26]

Katte tasasus oli väga kehv ning seda oli tunda ka objektil välitoid tehes. Võimalik, et profileerimise käigus ei niisutatud pinda piisavalt ning selle tulemusel kivistus materjal liiga kiiresti. Kivistumise tõttu polnud materjal enam töödeldav ning profileerimise käigus murti stabiliseeritud kihist välja väikseid tükke, mis tekitasid lõigule ebatasasust.



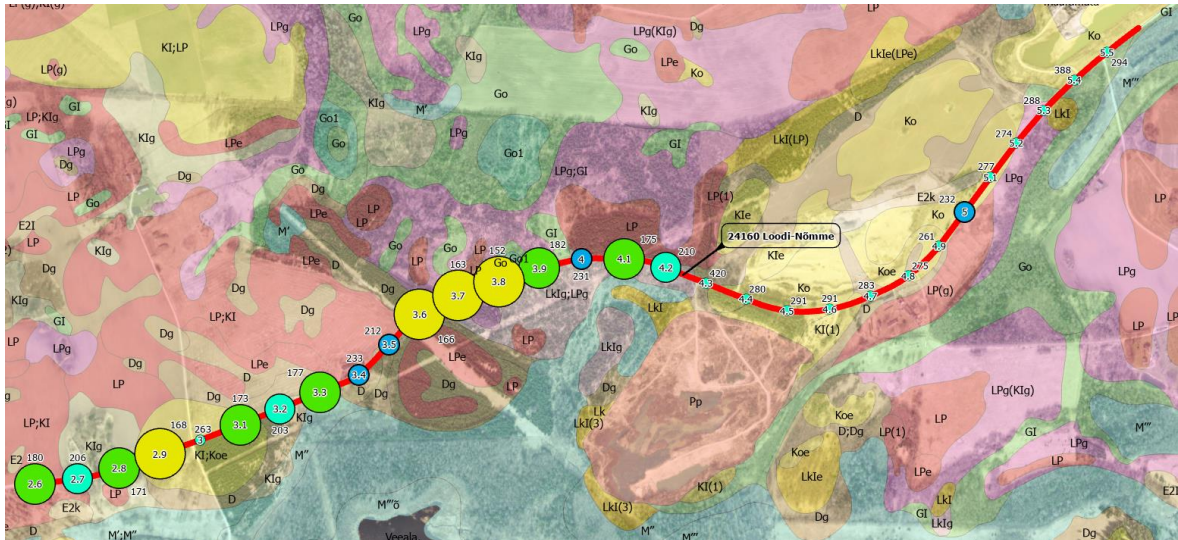
Joonis 3.76 Loodi - Nõmme IRI (Tabel 3.3) [21] [34] [35]

3.4.6. FWD andmed

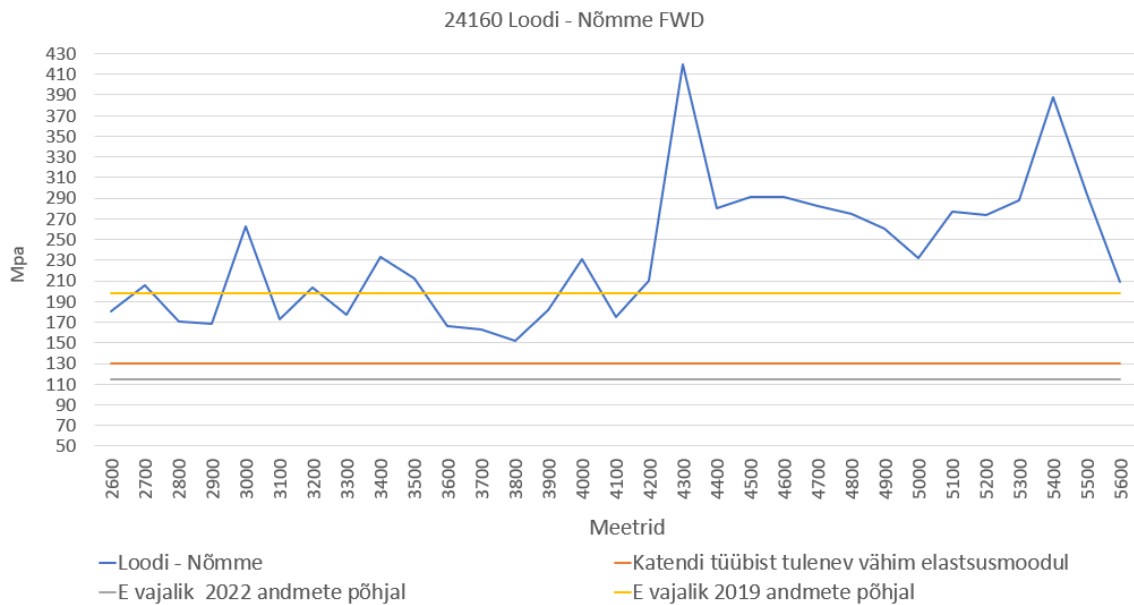
Joonis 3.77 ja Joonis 3.78 on näha, et kust kohast on mõõdetud kandevõimet ning mis on tulemuseks saadud. Ringi sees olev number näitab asukohta kilomeetrites ning ringi välisküljel on kandevõime (Mpa). Ringi suuruste järgi on klassifitseeritud kandevõime näidud. Mida suurem on ring, seda väiksem on kandevõime ning mida väiksem on ring, seda suurem on kandevõime. Lisaks on alla võetud ka mullastiku kaart, et oleks lihtsam hinnata mullastiku mõju kandevõimele.

Joonis 3.78 on peale kantud Tabel 3.1 välja toodud 2019. ning 2022. aasta liikluskoormusest vajalik elastsusmoodul. Liikluskoormusest tingitud elastsusmoodul on ca 42 % vähenenud võrreldes 2019 aastaga.

Üldiselt võiks öelda, et tegelikult on lõigul väga hea kandevõime. Neljandal kilomeetril kasvab kandevõime hüppeliselt ning ületab isegi 2019. aasta liikluskoormusest tingitud elastsusmoodulit. Mõnevõrra üllatav on, et km 4,54–4,824, kus esines väga palju defekte, on lõigul kõige parem kandevõime ning ka mullastiku materjalid on paremad.



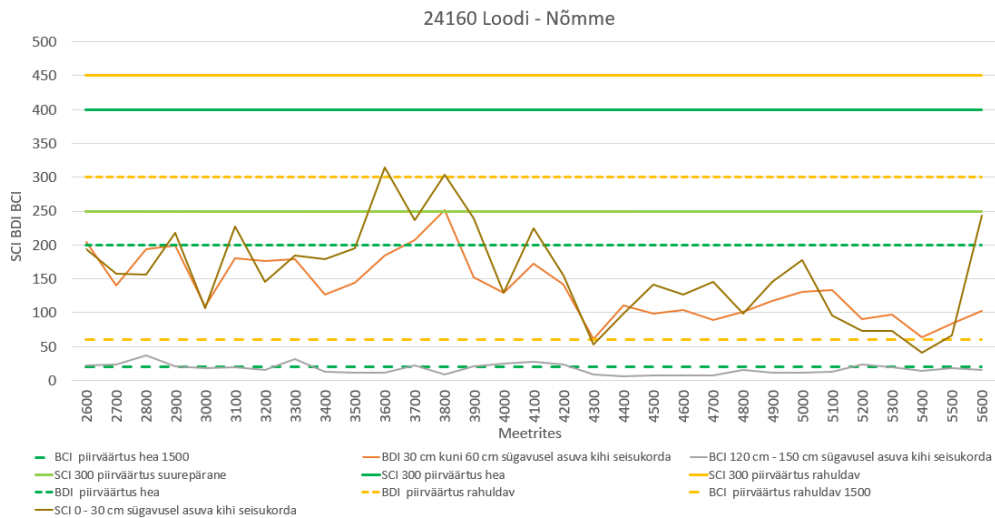
Joonis 3.77 Kandevõime mõõtmiste asukohad mullastikukaardil [pilt pärineb ArcGIS Pro tarkvarast] [29]



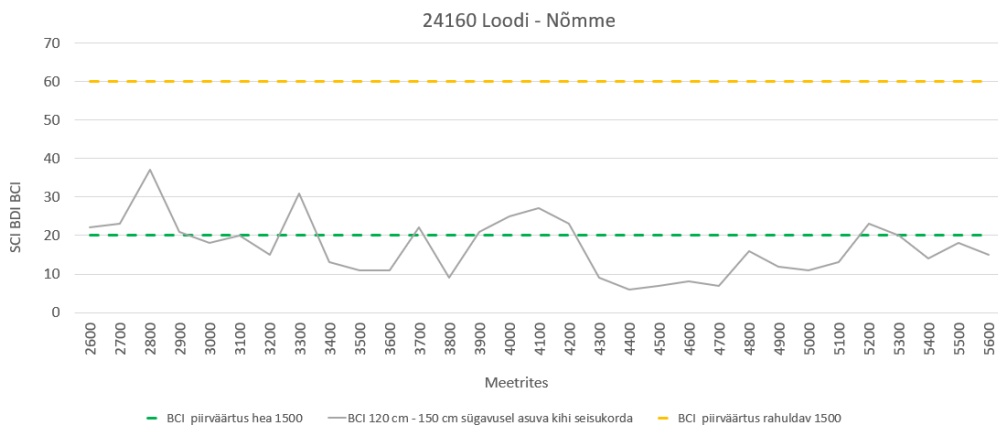
Joonis 3.78 Loodi - Nõmme FWD (Tabel 3.1) [16] [29]

3.4.7.SCI, BDI, BCI andmed

Joonis 3.79 ja Joonis 3.80 on näha, et SCI, BDI ja BCI väärtused on lõigu esimesel poolel veidi kõrgemad, kui lõigu teisel poolel, kuid sellegi poolest on tulemused head või isegi suurepärased.



Joonis 3.79 Loodi - Nõmme SCI, BDI ja BCI väärtused [19] [29]



Joonis 3.80 Loodi - Nõmme SCI väärtused [19] [29]

3.4.8. Defektide analüüs

Punktis 3.4.2 on välja toodud, et kõige enam oli katte lagunemist märgata tõusul km 4,54–4,824. Arvestades, et SCI, BDI, BCI ja elastsusmoodul olid lõigul head või väga head, tekib küsimus, et miks kate vastu ei pidanud.

Tõenäoliselt ei ole siin tegemist ainult ühe probleemiga. Kui võtta kõrvale Tabel 3.14 andmed siis on näha, et antud tõusule jääb Pombre 2 karjääri ristumiskoht. Antud lõigu defektide üheks põhjuseks võib olla ka raskeliikluse mõju. Raskete koormatega veokid hakkavad kiirendama märke ning selle tulemusel ei suuda pinnatud kiht nihketugevusi vastu võtta, kate hakkab koormuse all nihkuma ning selle tulemusel kate laguneb. Kui kate on lagunenu, on sademeveel võimalik lihtsamalt konstruktsiooni pääseda ning tekitada defekte.

Kuna terve lõigu ulatuses esineb suuremaid defekte, siis kindlasti ei ole siin tegemist ainult ühe probleemiga. Vaadates IRI andmeid on näha, et kate on lõigul üldiselt

ebatasane. Teine võimalik defektide põhjus võib olla ebatasasus ehk kui veok õõtsub ning selle tulemusel surutakse kokku vedrud/õhkpandi ning sellel hetkel kattele kantav koormus on oluliselt suurem, kui tasasel teel sõites. Tekkinud resonantsist nõrgestatakse katet kindla aja ja vahemaa järel (amordi liikumisest) ning selle tulemusel aidatakse kaasa uute aukude tekkimisele, mis muudab katte veel ebataasemaks.

Kõige tõenäolisem defektide tekkimise põhjus on, et materjal oli profileerimise ning tihendamise hetkel liiga kuiv. Kuiva stabiliseeritud kihti profileerides on osaliselt stabiliseeritud kiht kivistunud ning profileerimise käigus murtakse osaliselt kivistunud kihist tükke lahti ning hiljem lahti murtud tükid ei moodusta ühtset kihti vaid jäävad eraldiseisvaks osakesteks. Kuna stabiliseeritud kattest murtakse suvalistest kohtadest suvalise suurusega tükke lahti, muudab see ka pinna ebataasaseks.

Stabiliseeritud materjal peab profileerimise ajal olema optimaalse niiskuse juures või natuke niiskem, kuna temperatuur, tuul ja päike muudavad niiskuse sisaldust. Profileerimise ajal peab materjal olema niiske sellepärast, et niiske materjal on voolavam ning paremini töödeldavam. Liigne niisutamine ei ole samuti hea, kuna siis võib hüdrauliline sideaine valguda liigse veega katte pealmisest kihist allapoole ning sellisel juhul võib tekkida olukord, kus katte pealne kiht jääb nõrgaks.

3.5. Järeldused

Kirjandusest leitud ning väliuuringutel nähtu põhjal töötab pinnase muldkeha stabiliseerimine isegi madala hüdraulilise sideaine sisaldusega (Joonis 3.71 ja Joonis 3.41 Paremal sõidurajal esinevad võrkpraod km 3,917 (vasakul) ja Joonis 3.42 km 3,928 (paremal) (Autori erakogu) Joonis 3.39 Vasaku sõiduraja väljakaevamine (vasakul) ja Joonis 3.40 stabiliseeritud tüki suurus ca 20 cm (paremal) (Autori erakogu)). Väliuuringuid tehes oli näha, et katete lagunemise põhjuseid on mitmeid. Keskkonnatingimusi ei oldud arvestatud, stabiliseeritava materjali omadused ei olnud teada. Samuti ei olnud teada ka stabiliseeritava materjali paksused ning sellest tulenevalt oli ka segu suhe vale. Kahjuks esines ka üksikutel lõikudel kehv ehituskvaliteet.

Üks enamlevinud probleem, mida dokumentatsioonidest oli näha, oli see, et olemasolevaid kattmaterjale ning kattmaterjalide all olevaid pinnaseid ei ole piisavalt uuritud või pole üldse uuritud. Eeldati, et objektidel on sarnased olud ning materjalid ja selle tulemusel on määratud üks kindel kulunorm tervele lõigule.

Mitmel lõigul esines probleeme vee juhtimisega, sademeveed valgusid teeäärsesse kraavi kokku ning ei olnud edasi juhitud. Vesi seisis kraavis mitu kuud. Üldjuhul sellistes

kohtades esines ka lagunemist. Viraažides oli muldkeha kalle/kalded ühepoolded ning see loob olukorra, kus vesi peab hakkama imbuma muldest välja kõige pikemat teed mööda. Tihtilugu ei ole materjalid filtreeruvad ning vesi jääb muldesse salvestuma, mille tulemusel kaotab muldkeha materjal tugevusomadusi ning hakkavad tekkima defektid ja lagunemised.

Stabiliseeritavate materjalide omadusi ning paksuseid ei olnud uuritud, vaid eeldati palju olemasoleva kattekihi paksusi. Väliuuringute käigus oli näha, et kihi paksused varieerusid ning tihtilugu oli kruusakihi paksus ca 10 cm õhem kui oli stabiliseerimissügavus. Paraku sellistes olukordades stabiliseeritakse ka pinnaseid, mida on tahetud stabiliseeritud kihtides vältida. Kui stabiliseerimise käigus stabiliseeritakse kruusa asemel pinnast või isegi mulda, siis muutub kardinaalselt segu suhete protsent ning see võib põhjustada nõrka sidumist ja vähendada stabiliseeritud pinnase vastupidavust.

Kuna olemasolevate ning juurde lisatavate materjalide omadusi polnud laboratoorselt uuritud, ei saanud määrata ka segu maksimaalset tihedust ning optimaalset veesisalduse protsenti. Hetkel jääb mulje, et ehituse käigus lisati vett „kõhutunde“ järgi. Kui stabiliseerimisel ning hilisemal niisutamisel ei teata optimaalset veesisalduse protsenti, võib juhtuda olukord kus katet ei suudeta maksimaalselt tihendada ning stabiliseeritud katte pind võib jääda pudetaks ning pide stabiliseeritud kiht ei suuda koormust vastu võtta ja hakkab lagunema. Antud juhul kahtlustan, et Loodi – Nõmme lõigul nii juhtuski, et olemasolev pind oli liiga kuiv ning seega materjali pealmine kiht ei tihenenud.

Stabiliseeritud materjal peab profileerimise ajal olema optimaalse niiskuse juures või natuke niiskem, kuna temperatuur, tuul ja päike muudavad niiskuse sisaldust. Profileerimise ajal peab materjal olema niiske sellepärast, kuna niiske materjal on paremini töödeldavam. Liigne niisutamine ei ole samuti hea, kuna siis võib hüdrauliline sideaine tõusta koos veega katte pinnale ja paakuda.

Kirjandusest leitud materjalide põhjal saab järeldada, et Erastvere – Sillaotsa, Põlgaste – Roosi, Miiaste – Kanassaare ning Loodi – Nõmme puhul tehti stabiliseerimine CTB meetodiga. Esimese kolme lõigu puhul lisati hüdraulilist sideainet $4,29 \text{ kg/m}^2$ ($h=25 \text{ cm}$) ning Loodi – Nõmme lõigule lisati 13 kg/m^2 ($h=16 \text{ cm}$). Erastvere – Sillaotsa, Põlgaste – Roosi, Miiaste – Kanassaare seitsmepäeva vanuste proovikehade survetugevused jäävad vahemikku 1,3-2,0 Mpa. Need on vastavuses CSS segu seitsme päeva vanuste survetugevuse tulemustega, mis jäävad 0,7-2,1Mpa vahele.

CSS segu puhul eeldatakse, et enne elastse katendi paigaldamist tuleb paigaldada killustikalus. Kuid CTB segule võib paigaldada elastse katendi. Kui CTB segule paigaldatakse elastne katend, siis tuleks piirata tugevust või lisada vuuke, et vähendada pragude tekkimist.

Enne stabiliseerimist lisati Erastvere – Sillaotsa, Põlgaste – Roosi ja Miiaste – Kanassaare lõikudele 15 cm paksune purustatud kruusa kiht ning Loodi – Nõmme lõigule lisati 15 cm paksune killustiku kiht. Paigaldatud materjalid segati läbi 25 cm ning 30 cm (Loodi – Nõmme) sügavuselt. Kuna enne stabiliseerimist paigaldati uued materjalid teele, siis selle tegevusega sooviti parendada olemasoleva kruuskatte materjalide omadusi, mitte kruuskatte all olevate pinnaste omadusi (vastab dokumentatsiooni soovitud punktis 3.1.3, 3.2.3 ja 3.3.3).

Tellijal ei saavutanud soovitud 0,5 Mpa, vaid saavutas ligikaudu 3-4 korda kõrgemad survetugevused ning kui vaadata teede defekte, siis läks hästi, et 0,5 Mpa ei saavutatud, kuna sellisel juhul oleks teede lagunemised oluliselt tõsisemad ning remonttööd nõuaksid olulisemalt suuremat investeeringut.

Autori hinnangul lähtuti küll CTB segamise metoodikast, kuid Erastvere – Sillaotsa, Põlgaste – Roosi ja Miiaste – Kanassaare lõikudel oleks pidanud olema soovitud survetugevus 2,1 – 4,1 MPa. Kui survetugevuseks võtta 3,0 Mpa siis Joonis 2.2 kohaselt oleks pidanud hüdraulilise sideaine sisaldus olema 2.5%

Loodi - Nõmme lõigu puhul lisati hüdraulilist sideainet liiga palju, kuna seitsme päeva vanuste proovikeha survetugevused on 5.5 Mpa. CTB nõue on, et kui CTB segule paigaldatakse elastne katend, tuleb piirata segu tugevust.

Kokkuvõtvalt saab järeldada, et enamik probleeme oleksid välditavad ja saadud kvaliteet oleks olnud parem, kui katselõikude planeerimisse ning ka teostamisse oleks kaasatud pädev konsultant, kes oskab ja teab erinevaid aspekte arvesse võtta ning lähtudes erinevatest juhenditest tagab parema ehituskvaliteedi.

Tabel 3.17 Seitsme päeva vanuste proovikehade survetugevuste kokkuvõte [andmed pärinevad TalTech katselaboratooriumi katseprotokollidest]

Proovikeha vanus, 7 päeva						
	CEM I 42,5 osakaal	Keskmine surve-tugevus, N/mm ²	CEM I 42,5 osakaal	Keskmine surve-tugevus, N/mm ²	CEM I 42,5 osakaal	Keskmine surve-tugevus, N/mm ²
Erastvere - Sillaotsa	1.5%	1.6	2.0%	2.4	2.5%	3.1
	1.5%	2.0	2.0%	2.4	2.5%	3.0
	1.5%	2.0	2.0%	2.8	2.5%	3.6
Põlgaste - Roosi	1.5%	1.4	2.0%	2.4	2.5%	2.8
	1.5%	1.6	2.0%	2.2	2.5%	2.9
	1.5%	1.8	2.0%	2.4	2.5%	3.0

Tabel 3.17 järg

Proovikeha vanus, 7 päeva						
	CEM I 42,5 osakaal	Keskmine surve-tugevus, N/mm ²	CEM I 42,5 osakaal	Keskmine surve-tugevus, N/mm ²	CEM I 42,5 osakaal	Keskmine surve-tugevus, N/mm ²
Miiaste - Kanassaare	1.5%	1.3	2.0%	1.9	2.5%	2.5
	1.5%	1.8	2.0%	2.6	2.5%	2.8
	1.5%	1.8	2.0%	2.0	2.5%	2.6
Loodi - Nõmme	13 kg/m ²	5.5	2.0%			

3.6. Soovitused

Enne ehitustöödega alustamist tuleks tutvuda Eesti kontekstis näiteks Transpordiameti kodulehel leitava „Siirde- ja kergkatendite remondi tehnilise kirjelduse koostamise juhiseiga“. [19] Eelmainitud dokumendis on välja toodud, et põhjalikult tasub tutvuda erinevatest andmebaasidest kogutava infoga. Näiteks on võimalik mullastikukaardilt saada olulist infot teed ümbritsevate muldade kohta ning teeregistrist saab infot liiklussageduse, teeklassi ja varasemalt tehtud tööde kohta (kohati on info ka puudulik). Oluline on teha ka tee kevadine ning suvine seisukorra visuaalne vaatlus ning konsulteerida kohaliku teehooldajaga, et saada infot külmakergete ja liigniiskete alade kohta. Lisaks tuleks teostada kandevõime mõõtmised, geoloogilised ning maaradariuuringud. [19]

Kevadel, pärast muldkeha sulamist, on vajalik teostada kandevõime mõõtmised, sest sellel hetkel on muldkeha kõige haavatavam. Lisaks oleks vaja maaradariga määrata olemasoleva katte paksused. Hilisemas analüüsis saab otsustada, kas olemasolev kruuskate segada kruuskatte alla jääva pinnasega või tuleks ajutiselt kruusakiht eemaldada, et muldkeha stabiliseerida CSS meetodiga. Või piisab kui paigaldatakse uus materjal peale ning teostatakse CTB meetodil stabiliseerimine, kus oleks vaja jälgida, et muldkeha kehvemaid materjale ei stabiliseeritaks kihti.

Pärast FWD mõõtmist ning maaradari andmete töötlust tuleks selekteerida välja löigu kõige kehvemad kohad ning teostada kehvadele kohtadele täiendavalt geoloogilised uuringud, et oleks võimalik määrata pinnase omadused nagu sõelkõver, Atenbergi piirid ja pinnase maksimaalne tihedus ja optimaalne veesisaldus.

Segu projekteerimisel tuleks hüdraulilise sideaine margi ning koguse määramisel teostada kolme erineva hüdraulilise sideaine sisaldusega proovikehad ning nende tulemused kanda graafikule nagu Joonis 2.2 näidatud. Saadud tulemuste põhjal valitakse välja sobiv sideaine ja kogus. Projekteeritud segust peab välja tulema segu optimaalne veesisaldus, et ehituse käigus oleks võimalik ehitajal niisutada stabiliseeritud segu õigesti.

Metsastel aladel ning niisketel aladel tuleks hüdraulilise sideaine sisaldust mõnevõrra suurendada, kuna tulevikus võidakse teostada lageraiet. Kui varasemalt tarbis mets kogu sademevee ära, siis pärast lageraiet võib juhtuda, et sademevett ära ei tarbita ning vesi jääb teeäärsesse kraavi seisma. Selle tulemusena hakkab muldkeha materjal leonduma nagu juhtus Pölgaste – Roosi lõigul.

Stabiliseeritud segust tuleb määrata 7 päeva vanuste proovikehade ja 28 päeva vanuste proovikehade survetugevused ning lisaks tuleb määrata 28 päeva vanustel proovikehade survetugevused eelnevalt 24h vees hoitud. Lisaks tuleb määrata stabiliseeritavast segust ning ka stabiliseeritud segust terastikuline koostis, et oleks võimalik hinnata, kuidas on segu terastikuline koostis muutunud pärast segamist.

Autori hinnangul tuleks väga pehmete pinnaste ning lühikeste lõikude puhul teostada mitmekordne segamine. Näiteks kui aluspinnased on väga kehvad ja purustatud kruusakiht paks, tuleks eelnevalt kruusakiht eemaldada ning teostada CSS meetodiga stabiliseerimine. Juhul kui hüdrauliline sideaine ei segunenud pinnastega ühtlaselt, tuleks protsessi korrata ilma hüdraulilist sideainet lisamata. Pärast CSS meetodit tuleks paigaldada eelnevalt eemaldatud purustatud kruusast kate tagasi ning paigaldada täiendavalt uut materjali, millega parendatakse olemasoleva purustatud kruuskatte materjali omadusi. Juhul kui maaradari andmetelt selgub, et purustatud kruusa paksus on õhuke, ei ole vaja eemaldada purustatud kruusakiht, vaid segada see läbi olemasoleva aluspinnasega (CSS meetodiga) ning pärast seda tuleks paigaldada uus purustatud kruusast kiht, millele tuleks teostada CTB meetodiga stabiliseerimine.

Kui olukord alusmaterjalidega ei ole kehv, võiks lähtuda järgnevast. Paigaldada olemasolevale kruuskattele uus purustatud kruusast kiht ning segada see CTB meetodiga läbi. Stabiliseerimise käigus ei tohi sisse segada olemasoleva katte all olevaid kehvaid pinnaseid, kuna vastasel juhul läheb hüdraulilise sideaine segu suhe valeks ning see võib mõjutada stabiliseeritud kihi tugevust ja vastupidavust.

Töö autor on teadlik, et magistritöö teooria osa kattis vaid ameeriklaste nõudeid ning puudu on käsitlused Euroopa nõuetest ning kogemustest ja standarditest. Kindlasti annaks palju juurde ka erinevate juba koostatud uurimustööde põhjalik võrdlemine ja analüüsimine. Kõik eelmainitu annab võimaluse kellelegi teisele uurida oma magistritöö raames neid tulemusi ning võrrelda neid, et saada veelgi parem ja põhjalikum ülevaade erinevustest Eestis saadud tulemustega. Selline käsitlus koos põhjalike uurimistulemustega annaks aluse ka Eesti riigiasutustele tulevasteks sarnasteks töödeks ja sobivate järelduste tegemiseks. Käesoleva magistritöö autor seda kõike lõputöö piiratud mahu tõttu teha ei saanud.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärk oli uurida madala liiklussagedusega teedele tehtud muldkeha stabiliseeritud lõike. Autori hinnangul tuleks pöörata rohkem tähelepanu materjalid väärindamisele, kuna selle tulemusel hoitakse kokku loodusvarasid, ressursse, raha ning vähendatakse CO₂ jalajälge.

Käesolevas lõputöös on toodud esile mitmeid puuduseid/probleeme, mida tehti muldkeha stabiliseerimisel ehituse ajal ja enne ehitamist. Iga objekt on näidatud mullastiku- ning maaparandussüsteemide kaardil. Pärast seda on tehtud lühikokkuvõtte välitöödest ning defektide ulatusest.

Lisaks eelnevale on läbi töötatud ehitus- ning hankedokumentatsioonid. Tellitud töödest on tehtud lühike kokkuvõtte, millised olid tingimused ja nõuded. Ehitusdokumentatsioonist on välja otsitud materjalide survetugevused, sõelkõverate ning tasasuste andmed. Lisaks on kirjeldatud teedevõrgu kandevõime mõõtetulemuste infot.

Kõikidest eelnevatest andmetest on tehtud defektide analüüs. Iga objekti juures on eraldi välja toodud kokkuvõtte.

Välitöödel on mõõdetud olemasoleva materjali vastupanuvõimet DCP seadmega ning tulemusi on võimaluse korral võrreldud ka FWD seadme väärtustega, kui mõõtmistulemused kattusid.

Väliuuringud on näidanud, et olemasolevate kattematerjalide all olevate pinnaste piisav uurimine on oluline, sest eeldused ühtlaste olude kohta võivad olla ekslikud. Veeprobleemide ja lagunemise vältimiseks on oluline teha põhjalikke uuringuid ning arvestada keskkonnamõjudega.

Stabiliseeritavate materjalide omaduste ning olemasolevate katte paksuste uurimine on väga oluline, kuna see mõjutab hüdraulilise sideaine segu suhet kuivmaterjaliga. Vale segu suhe võib mõjutada stabiliseeritud pinnase tugevust ja vastupidavust. Kvaliteetse töö eelduseks on, et enne ehitamist selgitatakse välja materjalide omadused ja optimaalne veesisalduse protsent. Mõõdetud info on oluline ehitajale, et tagada korralikult stabiliseeritud ja tihendatud kiht.

Enne ehitust peaks eelnevalt uurima maaparandussüsteemi ning mullastikukaarte. Kohalike oludega on oluline tutvuda ning sama oluline on konsulteerida kohaliku teehooldajaga.

FWD mõõtmistulemused annavad muldkeha seisundi kohta väga olulist infot, kui seda teha õigel ajal. FWD-ga mõõtmised tuleks teostada kevadel pärast lume sulamist, kuna siis on muldkeha kõige haavatavam. Olemasoleva kruusakihi paksuste kindlaks määramisel annab olulist infot maaradar.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was to investigate stabilized sections of roads with low traffic frequency. The author suggests paying more attention to material enrichment, as it results in saving natural resources, money, and reducing the carbon footprint. The thesis highlights several deficiencies/problems encountered during the stabilization of soil structures both during construction and pre-construction. Each object is depicted on the soil and land improvement systems map, followed by a brief summary of fieldwork and the extent of defects.

In addition to the above, construction and procurement documentation have been reviewed. A brief summary of commissioned works outlines the conditions and requirements. Construction documentation provides information on material compressive strengths, sieve curves, and flatness data. Furthermore, information on the road network's bearing capacity measurement results is described.

Defect analysis has been conducted based on all the preceding data, with a separate summary provided for each object. Fieldwork measured the resistance of existing materials using a DCP device, and results were compared with FWD device values when applicable. Field surveys have shown that thorough examination of soils beneath existing cover materials is crucial because assumptions about uniform conditions may be misleading. To prevent water-related issues and degradation, in-depth studies considering environmental impacts are essential.

Investigating the properties of stabilizable materials and existing cover thickness is crucial as it affects the ratio of hydraulic binder mixture to dry material. An incorrect ratio can impact the strength and durability of the stabilized soil. Quality work necessitates determining material properties and optimal moisture content before construction, as this information is vital for ensuring a properly stabilized and compacted layer.

Before construction, a thorough examination of land improvement systems and soil maps is recommended. Familiarity with local conditions and consultation with the local maintenance supervisor are equally important. FWD measurement results provide valuable information about the soil structure if conducted at the right time. FWD measurements should be carried out in spring after snowmelt when the soil structure is most vulnerable. Ground-penetrating radar offers important information for determining the thickness of the existing gravel layer.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Tallinna Tehnikaülikool, „FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud parameetrite SCI, BDI ja BCI kasutamine teekatendi seisukorra hindamisel,” Transpordiamet, Tallinn, 2007.
- [2] Teede Tehnokeskus, „Teede Tehnokeskus,” Teede Tehnokeskus, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.teed.ee/teenused/katsetamine-ja-mootmine/mootmine/kandevoime/fwd-mootmine/>. [Kasutatud 1 12 2023].
- [3] Maa-amet, *Vabariigi digitaalse suuremõõtkavalise mullastiku kaardi seletuskiri*, Tallinn: Maa-amet, 2001.
- [4] M. Raud, „Pinnaste kihtstabiliseerimine, kui alternatiiv pinnaste asendamisel. Keskkonna- ja majandusliku mõju hindamine,” Tallinna Tehnikaülikool teedeinstituut, Tallinn, 2016.
- [5] T. Tõnurist, „Tolmuvabade katete ehitus 2021/2022, kokkuvõtte tehtust ja kuidas edasi,” %1 *Teede Tehnokeskus*, Tallinn, 2022.
- [6] C. C. Ikeagwuani ja D. C. Nwonu, „Emerging trends in expansive soil stabilisation,” *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, kd. 11, nr 2, pp. 423-440, aprill 2019.
- [7] Tallinna Tehnikaülikool; Sven Sillamäe; Alar Tooming; Mark Meikas; Kristjan Lill, „Stabiliseeritud katendikihtide uuring,” Transpordiamet, Tallinn, 2023.
- [8] National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University , „Cement-Stabilized Subgrade Soils,” Portland Cement Association, Iowa State University , Washington, DC 20001, mai 2020.
- [9] G. E. Halsted, W. S. Adaska ja William T. McConnell, „Guide to Cement-Modified Soil (CMS),” Portland Cement Association, Skokie'is, Illinois, USA, 2008.
- [10] G. E. Halsted, D. R. Luhr ja W. S. Adaska, „Guide to Cement-Treated Base (CTB),” Portland Cement Association, Skokie'is, Illinois, USA, 2006.
- [11] G. D. Reeder, D. S. Harrington, M. E. Ayers ja W. Adaska, „Guide to full-depth reclamation (FDR) with cement,” National Concrete Pavement Technology Center Iowa State University's Institute for Transportation, Ames, IA, USA, märts 2017 ja muudetud jaanuaris 2019.
- [12] Transpordiamet, *Kattega teede rekonstrueerimise objektide valimine*, Tallinn: Transpordiamet, 2023.
- [13] P. Bolander, D. Scholen ja G. Keller, „Stabilization Selection Guide for Aggregate- and Native-Surfaced Low-Volume Roads,” National Technology and Development Program of the Forest Service, U.S. Department of Agriculture and the U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Washington, D.C., märts 2009.
- [14] Transpordiameti , „Muldkeha pinnaste tihendamise ja tiheduse kontrolli juhend,” Transpordiameti , Tallinn, veebruar 2023.
- [15] Latvijas Valsts ceļi, „Grunšu stabilizācija ar hidrauliskajām saistvielām,” Latvijas Valsts ceļi, Rīga, 2015.
- [16] Transpordiamet, „Teeregister,” Transpordiamet, 5 5 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://teeregister.mnt.ee/reet/home>. [Kasutatud 5 5 2023].
- [17] Transpordiamet, *Elastsete teekatendite projekteerimine*, Tallinn: Transpordiamet, 2023.
- [18] T. Kaal, A. Aavik, S. Sillamäe, J. Viljas ja L. Kaal, „Teekonstruktsiooni kandevoime mõõtmis- ja arvutusmetoodika täiendamise uuring,” Maanteeamet, Tallinn, 2020.

- [19] Maanteeamet, „Siirde- ja kergkatendite remondi tehnilise kirjelduse koostamise juhised,“ Maanteeamet, Tallinn, 2020.
- [20] Tallinna Tehnikakõrgkool, „Madala liiklussagedusega teedele katendiprojekteerimisejuhendi loomine lähtuvalt tee tegelikust olukorrast,“ Transpordiamet, Tallinn, 2018.
- [21] Majandus- ja taristuministerium, „Riigi teataja,“ 23 11 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/120112020003>. [Kasutatud 27 12 2023].
- [22] T. Tehnikakõrgkool, S. Sillamäe, T. Kivisto, M. Reimann ja E. Kotli, „RMK metsateede katendite projekteerimise, ehitamise ja hooldamise juhend,“ Tallinna Tehnikakõrgkool; Riigimetsa majandamise keskus, Tallinn, 2022.
- [23] D. Pavel, P. Šamonil ja L. Hort, „Forest floor alteration by canopy trees and soil wetness drive regeneration of a spruce-beech forest,“ *Forest Ecology and Management*, kd. 504, nr 119802, 15 jaanuar 2022.
- [24] Kekila, „Kekila.ee,“ Kekkilä-BVB Eesti OÜ, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kekkila.ee/taimeraamat/harilik-kuusk/>. [Kasutatud 27 12 2023].
- [25] Transpordiamet, *Riigitee 18116 Erastvere-Sillaotsa km 0,034-1,623 tolmuvaabakatte ehituse tehniline kirjeldus*, Tartu: Transpordiamet, 2020.
- [26] Majandus- ja Kommunikatsiooniministerium, „Riigi Teataja,“ 23 11 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/107082015001?leiaKehtiv>. [Kasutatud 12 1 2023].
- [27] Maanteeamet, „Stabiliseeritud katendikihtide ehitamise juhised,“ Maanteeamet, Tallinn, 2016.
- [28] Teede tehnokeskus, *Teekatte tasasuse IRI4 mõõtmine maanteel nr 18116 Erastvere - Sillaotsa*, Tallinn: Transpordiamet, 2021.
- [29] Transpordiamet; Teede Tehnokeskus, „Teeregister,“ Transpordiamet, 15 11 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://teeregister.mnt.ee/reet/search>. [Kasutatud 15 11 2023].
- [30] Transpordiamet, *Riigitee 18175 Põlgaste-Roosi km 1,536-4,446 tolmuvaabakatte ehituse tehniline kirjeldus*, Tartu: Transpordiamet, 2020.
- [31] Teede Tehnokeskus, *Teekatte tasasuse IRI4 mõõtmine maanteel nr 18175 Põlgaste - Roosi*, Tallinn: Transpordiamet, 2021.
- [32] Transpordiamet, *Riigitee 18157 Miiaste-Kanassaare km 0,023-2,012 tolmuvaabakatte ehituse dokumentatsioon*, Tartu: Transpordiamet, 2020.
- [33] Teede Tehnokeskus, *Teekatte tasasuse IRI4 mõõtmine maanteel nr 18157 Miiaste - Kanassaare*, Tallinn: Transpordiamet, 2021.
- [34] Transpordiamet, *Riigitee 24160 Loodi-Nõmme km 2,595 - 5,593 mustkatte ehituse kruusateele*, Pärnu: Transpordiamet, 2021.
- [35] Teede Tehnokeskus, *Teekatte tasasuse IRI4 mõõtmine maanteel nr 24160 Loodi - Nõmme*, Tallinn: Transpordiamet, 2021.
- [36] L. S. Sterling, *The Art of Agent-Oriented Modeling*, London: The MIT Press, 2009.