Madalaklassiliste (kruusateede) remondi/uuendamise metoodika laiendamine kattega teedele

Lõpparuanne

Tallinn 2019

Madalaklassiliste (kruusateede) remondi/uuendamise metoodika laiendamine kattega teedele

Tellija:

Maanteeamet

Aadress: Teelise 4, 10916 Tallinn

Kontaktisik: Taavi Tõnts (e-mail: taavi.tonts@mnt.ee)

Teostaja:

Tallinna Tehnikaülikool

Inseneriteaduskond, Ehituse ja arhitektuuri instituut, teedeehituse ja geodeesia uurimisrühm

Aadress: Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn

Kontaktisik: Sven Sillamäe (sven.sillamae@taltech.ee)

Uuringumeeskond:

Sven Sillamäe (TalTech) – lepingu vastutav täitja, aruande autor;

Ain Kendra (TalTech) – konsultant;

Alar Tooming (YIT) – konsultant;

West Coast Road Masters Oy – kandevõimemõõtmised KUAB FWD seadmega;

AS Teede Tehnokeskus – kandevõimemõõtmised Dynatest FWD seadmega;

Infrap Oy – maaradarimõõtmised;

OÜ Geotehnika Inseneribüroo G.I.B. – ehitusgeoloogilised uuringud;

ERC Konsultatsiooni OÜ – teede IRI ja põikkalde mõõtmised;

Eesti Keskkonnauuringute Keskus (KLAB) – pinnaseproovide katsetamised.

© Maanteeamet, 2019

Töö tellija on Maanteeamet, kuid töö tulemus ei pea olema kooskõlas Maanteeameti seisukohaga ega väljenda Maanteeameti poolt heakskiidetud arvamusi. Vastutus antud dokumendis toodud informatsiooni ja esitatud arvamuste eest lasub täies mahus töö teostajal. Tööd võib vabalt tervikuna tasuta kasutamiseks välja anda või tsiteerida allikale viidates.

ABSTRAKT

Käsitletud teede vaatlusega leiti, et allikastes [1] ja [3] kirjeldatud ning näitlikustatud meetodid kruusateede uurimiseks on samahästi sobilikud ka (kerg)kattega teede uuringuteks, kuid sisse tulevad mõned erinevused:

- FWD mõõteandmetest e-mooduli arvutamine peab toimuma allikas [2] peatükis 4 esitatud valemi kaudu. Vajumikausiparameetrite arvutamiseks ja hindamiseks saab kasutada allikas [40] esitatud andmeid;
- väga oluliseks teabeks on bituumensideainega seotud katte paksus ja selle varieerumine, samamoodi ka aluse osas, mistõttu on maaradariuuringul suurem olulisus;
- ehitusgeoloogiliste uuringute tegemisel tuleb lähtuda Maanteeameti Geotehniliste uuringute juhise peatükist 2 (lisaks üldnõuetele), kusjuures aluskihi terastikuline koostis tuleb määrata min. iga 400 m tagant;
- kui plaanitakse kasutada olemasolevat bituumensideainega kihi taaskasutamist seotud kihis (nt segades see BS-iks), tuleb määrata olemasoleva katte terakoostis, bituumenisisaldus ja selle penetratsioon min. iga 400 m tagant;
- olenevalt remondiplaanidest ja tee seisukorrast võib olla vajadus läbi viia ka muid, detailsemaid uuringuid (nt detailsem bituumensideainega kihi omaduste uuring, nõrkasid pinnaseid puudutavad andmed, muldkeha laiendamisvõimalused jne), mille tegemise vajadus ja ulatus sõltub objektist;
- väga soovituslik on lisaks muudele uuringutele kasutada ka IRI ja põikkalde mõõtmisi (peatükk 2).

Uuringus võrreldi omavahel erinevate kandevõimega teede puhul kahemassilist KUAB ja ühemassilist Dynatest FWD-d, mille alusel nähti, et esineme annab hea kandevõimega teedel kuni ca 10% suuremaid väärtusi, kuid mis on paremini kasutatav madala kandevõimega (alla ca 45 MPa) teedel. Mõlemad seadmed on sobilikud nii teedevõrgu tasemel kui projekteerimise jaoks tehtavateks kandevõimemõõtmisteks, kuid madala kandevõimega teedel peab Dynatesti puhul detailsemalt hindama vajumikausiparameetreid, vastasel juhul on oht, et mõõtetulemused on ülehinnatud (peatükk 3).

Kergkatete osas on olemas mitmeid lahendusi, kuid kui nendega seoses kasutatakse taaskasutatavaid materjale (nt freespuru), sõltuvad valmis toote omadused suuresti sellest, mis kvaliteediga ja kui suures hulgas taaskasutatavad materjalid on ning kuivõrd nende omadustega arvestatakse. Erinevad kergkatete variandid on (peatükk 5):

- hüdraulilise sideainega stabiliseeritud (kruus)pinnas ilma kaitsekihita (pindamiseta): sobib kasutamiseks parandamaks vähese liiklusega, nt üksikute elumajadeni viivaid teid, mille puhul on kevadeti probleeme läbitavusega;
- pinnatud hüdraulilise sideainega stabiliseeritud kruuspinnas: võimalik väga lai liiklus- ja koormussageduse vahemik;

- pinnatud kruusatee (ridakillustik, 2x pindamine, 2x eelpuistega pindamine): kuni 200 AKÖL, sh raskeliiklus kuni 5%, mis peab teed läbima ilma manööverdamata;
- pinnatud PS (ilma sideaineta teel olemasoleva katte segamine killustiku lisamisega): kuni 200…500 AKÖL sõltuvalt olemasoleva asfaltkatte või kasutatava freespuru kvaliteedist;
- pinnatud freespuru: kuni 500 AKÖL, sh raskeliiklus kuni 5%, mis peab teed läbima ilma manööverdamata. Katete eluiga sõltub otseselt freespuru omadustest, peamiselt bituumenisisaldusest ja selle aktiivsusest, aga ka materjali terakoostisest;
- pinnatud BS: kuni 800 AKÖL, sh raskeliiklus kuni 10%;
- pinnatud MSE: kuni 1500 AKÖL, sh raskeliiklus kuni 10%;
- kergasfaltbetoon vedela bituumeniga (Soome PAB-V): kuni 500 AKÖL. Võimaldab võrreldes eelnevate lahendustega oluliselt tasasemat/siledamat teekatet;
- kergasfaltbetoon pehme bituumeniga (Soome PAB-B): olenevalt terakoostisest ja bituumeni penetratsioonist kuni 2500 AKÖL.

Eelnevalt nimetatutest saaks PS-i ja BS-i kasutada aluskihina, mille peale paigaldataks liikluskoormusest sõltuvalt projekteeritud kergasfaltbetoon (kasutusel olevad täitematerjalid, terakoostis ja sideaine).

Võib eksimatult väita, et kergkatete ja kohalike materjalide maksimaalne kasutamine selleks sobilikes kohtades võimaldab vähendada tee-ehitussektori kasvuhoonegaaside emissioone, mis on vastavalt Pariisi kliimakokkuleppele üha aktuaalsem, kuid täpsemaks hindamiseks on vajalik koostada vastav uuring.

Jätku-uuringute ettepanekud:

- kasvuhoonegaaside emissioonide arvutamine;
- kergasfaltbetooni segud ning nende sobilikkus erineva liikluskoormuse tingimustes.

SISUKORD

Sissejuhatus 6
1 Valitud teede ülevaade ja analüüs 7
1.1 Üldosa 7
1.2 Riigitee nr 65 Võru - Räpina km 35.007 - 43.1 8
1.3 Riigitee nr 11315 Raasiku-Anija km 0.055 - 5.9 9
1.4 16122 Nõmmküla - Aulepa - Österby km 6.2...12.341 11
1.5 Kokkuvõte vaadeldud teedest 12
2 IRI ja tee põikkalde automaatmõõtmised 14
2.1 Tasasuse mõõtetulemused 14
2.2 Põikkalde mõõtmised 21
2.3 Kokkuvõte tasasuse ja põikkallete mõõtmistest 22
3 KUAB ja Dynatest FWD-seadmete võrdlus 24
3.1 Teoreetiline taust 24
3.2 Mõõtmisandmete võrdlus 29
3.3 Kokkuvõte Dyantesti ja KUABiga tehtud võrdlustest 40
4 Korraldatud töökoosolekud ning info teistest riikidest 41
4.1 Töökohtumised Maanteeameti teehoiu osakondadega 41
4.1.1 Ida teehoiu osakond 41
4.1.2 Lääne teehoiu osakond 45
4.1.3 Lõuna teehoiu osakond 46
4.1.4 Põhja teehoiu osakond 48
4.2 Skandinaavia kogemused 50
4.2.1 Töökohtumine Taani Rambollis 54
4.2.1 Töökohtumine Taani Tehnikaülikoolis (DTU) 55
4.3 Ülevaade Soome kogemustest seoses vähese liiklussagedusega teedega 58
4.3.1 Ülevaade 16.05.2019 toimunud kruusateepäevast Soomes 58
4.3.2 PS segud 65
4.3.3 PAB katetest 66
4.4 Ülevaade Vene Föderatsiooni materjalidest 68
4.5 Kergkatted Eestis 73
5 Järeldused ja kokkuvõtted 75
Kokkuvõte 80
Kasutatud allikad 81
LISAD 83

SISSEJUHATUS

Esimese etapina valmis Tallinna Tehnikakõrgkoolis (Sven Sillamäe) aastal 2016 teadustöö „Madala liiklussagedusega teedele katendi projekteerimise juhendi loomine lähtuvalt tee kandevõimest (tee tegelikust olukorrast)“ tulemusel juhendmaterjali kavand „Kruusateed. Seisukorra uurimine enne remont- ja rekonstrueerimistöid“. Juhendi kavand kirjeldab üksikasjalikult, mis meetodeid ja vahendeid kasutada saamaks uuritavatest teedest vajalikku infot võimaldamaks nendele projekteerida majanduslikult optimaalseima katendi arvestades nii ehitust kui ekspluatatsiooni.

Teise ja kolmanda etapina (Tallinna Tehnikakõrgkool, Sven Sillamäe) testiti koostatud juhendit aastal 2017-2018 reaalsete teeobjektide peal koostades teetööde tehnilised kirjeldused ja kalkuleerides välja nii mahud kui eelarved. Lisaks võimaldas see juhendit korrigeerida leides üles kitsaskohad. Kokkuvõtteks koostati „Kruusateede remondi projekteerimise juhis“.

Testobjektide analüüsimisel aastatel 2017-2018 leiti, et metoodika rakendamisega kaasneb märgatav kvaliteedi tõus projekteerimise protsessis, langevad eeldatavad ehituskulud (kuni 20%) ning koostatavad lahendused vastavad täpsemini teede tegelikele olukordadele, mis võimaldab pikendada ehituse eluiga.

Kuna osadel kruusateedel on juba olemas kergkatend (nt osaliselt amortiseerunud pinnatud mustkate), siis on võimalik, et teatud juhtudel saab ilma põhjalikult katendit rekonstrueerimata ehitada säästlikumad katendilahendused olemasoleva lahenduse peale. Sellest tulenevalt on käesoleva teadustöö peamiseks eesmärgiks laiendada Madalaklassiliste (kruusateede) remondi/uuendamise metoodikat olemasolevate kergkatetega teedele.

Analüüsiks vajalikud andmed ja materjalid koguti katseobjektidelt, mille abil koostati teetööde tehnilised kirjeldused ja näidiseelarved. Teede valimis oli varasemaga võrreldes vaid olemasolevate kergkatenditega lõigud, mida saab potentsiaalselt taastusremontiga tugevdada. See võimaldab võrrelda ja analüüsida majanduslikku efekti kergkatete (taastus)remontimisel. Ühtlasi saab teadus-ja arendustööde näidisobjekte kasutada tavapärasel viisil ning eelduslikult peavad katseobjektid paremini vastu, kui nö klassikalise vana metoodikaga projekteerides, kus kasutatakse mittepidevat alusandmete hulka.

Täiendavalt analüüsiti käesoleva projekti käsigus kergkatete tasasuse (IRI) ja põikkalde mõõtmisandmeid, võrreldi Dynatesti ja KUABi FWD-seadmeid ning koguti infot nii Eesti kui välismaistelt kergkatetega tegelevatelt ekspertidelt.

1 VALITUD TEEDE ÜLEVAADE JA ANALÜÜS

1.1 Üldosa

Käesoleva projekti raames teostati teekatendite seosukorramõõtmised võttes aluseks Kruusateede remondi projekteerimise juhises [1] esitatud põhimõtted järgnevatel teelõikudel (detailsed seisukorraülevaated ja väljatöötatud remondilahendused koos katendiarvutustega on esitatud Lisas 1):

- riigitee nr 65 Võru - Räpina km 35.007…43.1 (8.1 km);
- riigitee nr 11315 Raasiku-Anija km 0.055…5.9 (pikkus 5.9 km);
- riigitee nr 16122 Nõmmküla - Aulepa - Österby km 6.2...12.341 (pikkus 6.1 km).

Kõik teed olid üksteisest erinevad võimaldades näha seega laia spektrit tee seisukordadest, pinnastest ja remondivajadustest. Kõikidele teedele tehti järgnevad analüüsid ja mõõtmised:

- taustauuring, mis hõlmas Maa-ameti mullastiku kaardi analüüsi ning andmeid Teeregistrist;
- detailne visuaalne vaatlus koos defektide olemuse ja asukohtade määramisega;
- kevadised kandevõimemõõtmised FWD-seadmega;
- ehitusgeoloogilised uuringud valitud punktides;
- maaradarimõõtmised koos teelõigu mõlemas suunas pildistamisega iga 5 m tagant;
- koondanalüüs ja tee seisukorrale vastava remondimeetme väljatöötamisega.

Kandevõimemõõtmised tehti malelaua korras iga 50 m tagant. Mõõtmisteks kasutati KUAB FWD-seadet 50 kN koormusrežiimis. Mõõtmistulemused arvutati ümber elastsusmooduliks lähtudes allikast [2]. Enne mõõtmistööde teostamist oli seade läbinud tootjatehases kontrolli ning kalibreerimise.

Maaradarimõõtmised tehti parempoolses sõidusuunas. Lisaks pildistati tee üles iga 5 m tagant mõlemas sõidusuunas.

Ehitusgeoloogiliste uuringupunktide asukohad riigiteedel nr 11315 ja 16122 valiti vastavalt teekattel nähtavatele defektidele ning kandevõimemõõtmise tulemustele selliselt, et vaadeldavast teest oleks võimalik saada piisav ülevaade, mis võimaldaks anda selgituse esinevatele defektidele. Riigiteel nr 11315 tehti kokku 13 uuringupunkti ehk üks punkt keskmiselt iga ca 450 m tagant, mille täpsem jaotus on esitatud joonisel 1.1 ning riigiteel nr 16122 kokku 12 punkti ehk üks punkt keskmiselt iga ca 500 m tagant, mille täpsem jaotus on esitatud joonisel 1.2. Riigiteel nr 65 oli kasutada aastal 2017 Reaalprojekti poolt tehtud uuring (Töö nr GL17014), kus punktid olid võetud iga 50 m tagant.

Vaadeldavate objektide analüüsist nähtus, et kui ehitusgeoloogiliste uuringupunktide asukohad valitakse iseloomulikesse kohtadesse vastavalt teekattel esinevatele defektidele ja kandevõimemõõtmistele ning kui kasutatakse ka maaradarit, siis piisab, kui uuringupunktide keskmine samm on 250…500 m. Oluline on siinkohal rõhutada „iseloomulikesse kohtadesse“ ehk on tähtis, et punktid ei oleks lihtsalt mingisuguse kindlaks määratud sammuga, vaid et need iseloomustaksid tee seisukorda võimalikult hästi ning et nende abil oleks võimalik selgitada esinevate defektide tekkepõhjuseid ja/või madala (või teisalt ka hea) kandevõimega piirkondi.

Punkti nr	Tee nr	Teeosa	Sõidusuund	Kaugus	Km	Eeq 2001-52, MPa	Evaj, Mpa	Eeq, Evaj erinevus (%)	*SCI 200*	SCI*	BDI*	*BCI 1200*	BCI*
6	11315	1	1	300	300	**281**	**186**	51%	*84*	142	118	*38*	23
17	11315	1	2	850	850	**239**	**186**	29%	*86*	167	141	*37*	21
32	11315	1	1	1600	1600	**256**	**186**	37%	*73*	146	112	*48*	31
46	11315	1	1	2300	2300	**244**	**186**	31%	*70*	129	130	*51*	32
54	11315	1	1	2700	2700	**180**	**186**	-3%	*127*	216	189	*59*	44
60	11315	1	1	3000	3000	**327**	**186**	76%	*51*	83	68	*31*	29
65	11315	1	2	3250	3250	**160**	**186**	-14%	*187*	370	185	*47*	42
70	11315	1	1	3500	3500	**308**	**186**	65%	*35*	59	75	*51*	36
81	11315	1	2	4050	4050	**279**	**186**	50%	*84*	131	101	*34*	25
90	11315	1	1	4500	4500	**214**	**186**	15%	*128*	231	123	*45*	30
99	11315	1	2	4950	4950	**189**	**186**	2%	*181*	294	183	*31*	20
107	11315	1	2	5350	5350	**273**	**186**	47%	*37*	97	124	*47*	23
116	11315	1	1	5800	5800	**214**	**186**	15%	*155*	248	149	*34*	23

Joonis 1.1. Ehitusgeoloogiliste uuringupunktide asukohad teel nr 11315 seotuna kandevõimemõõtmise punktidega (kokku oli FWD mõõtepunkte 118).

Punkti nr	Tee nr	Teeosa	Sõidusuund	Kaugus	Km	Eeq 2001-52, MPa	Evaj, Mpa	Eeq, Evaj erinevus (%)	*SCI200*	SCI*	BDI*	*BCI 1200*	BCI*
6	16122	2	1	300	6500	**156**	**170**	-8%	*375*	530	214	*45*	25
19	16122	2	2	950	7150	**165**	**170**	-3%	*211*	375	290	*47*	23
28	16122	2	1	1400	7600	**170**	**170**	0%	*270*	438	188	*44*	31
37	16122	2	2	1850	8050	**148**	**170**	-13%	*228*	397	264	*59*	37
41	16122	2	2	2050	8250	**159**	**170**	-6%	*228*	396	258	*40*	25
42	16122	2	1	2100	8300	**206**	**170**	21%	*171*	300	186	*34*	22
52	16122	2	1	2600	8800	**233**	**170**	37%	*163*	295	170	*15*	9
61	16122	2	2	3050	9250	**153**	**170**	-10%	*241*	437	312	*39*	11
70	16122	2	1	3500	9700	**216**	**170**	27%	*191*	315	163	*24*	17
88	16122	2	1	4400	10600	**293**	**170**	72%	*116*	192	106	*14*	12
106	16122	2	1	5300	11500	**254**	**170**	50%	*151*	236	107	*21*	19
118	16122	2	1	5900	12100	**297**	**170**	75%	*151*	242	110	*11*	6

Joonis 1.2. Ehitusgeoloogiliste uuringupunktide asukohad teel nr 16122 seotuna kandevõimemõõtmise punktidega (kokku oli FWD mõõtepunkte 122).

Analüüsi jaoks oli esimeseks ülesandeks selgitada teekattel nähtavate defektide ning madala kandevõimega punktide põhjused. Kuna vaadeldavate teede katendid on vanad, siis enamasti lähtusid probleemid sellest ning konstruktsioonide mittevastavusest tänastele koormustele. Kõik teed olid siiski üksteisest erinevad nõudes erisugust lähenemist, mida on käsitletud järgnevates peatükkides.

1.2 Riigitee nr 65 Võru - Räpina km 35.007 - 43.1

Teeregistri andmetel koosneb teekate mustsegust, mis on ehitatud vahemikus aastatel 1975…1980. Tee erinevad lõigud on viimati pinnatud aastatel 2010…2012. Katendikihtide kohta infot ei ole.

Ehitusgeoloogilise uuringu alusel koosneb muldkeha liivast, esineb kesk-, peen- kui tolmliiva, mille kihipaksused kokku on enamasti piisavalt suured, et neid arvestada katendiarvutuslikult aluspinnastena. Muldkeha all paikneb kas A- või B-grupi pinnas (viimane ongi tolmliiv).

Muldkeha või liivakihi peal paikneb kruusliivast või kruuskillustikust alus, mille paksus on keskmiselt 10…15 cm, kuid esineb ka kohti, kus teekate paikneb otse liival. Teekatte paksus on 10…15 cm, kohati kuni 25 cm.

Vaadeldud teel nähtud defektid jagati järgmiselt, millest moodustusid ka iseloomulikud lõigud:

- teekonstruktsiooni nõrgast deformatsioonikindlusest nähtavad defektid (pikiroopad, vajunud servad, fotod 1.1 ja 1.2). Taolistes kohtade ühisnäitaja oli see, et aluse paksus oli väga õhuke (ca 10 cm kruuskillustikku), mille all oli liiv;

- võrkpraod, mis on põhjustatud hooajalisest nõrgast kandevõimest, mis omakorda tuleneb pinnase liigsest veesisaldusest, mis on põhjustatud kas kõrgest põhjaveetasemest, millest ulatub vesi läbi kapillaartõusu katendisse või katendi kevadisest sulamisest vabanevast veest;
- muldkehast ja/või aluspinnasest tingitud defektid, mis avaluvad rohketes pikipragudes.

Olenevalt defektide olemusest ning nende astsemisest esitati järgnevad remondilahendused:

- veest ja muldkehast tingitud defektide korral eemaldada olemasolev teekatend kraavi äärest kraavi ääreni, paigaldada vähemalt 1.0 m/ööp filtratsioonimooduliga kruus- või jämeliiv, mille peale 12 cm ridakillustikku ja ülejäänud kattekonstruktsioon. Kaevesügavus peab olema kooskõlas pikiprofiiliga;
- nõrga deformatsioonikindlusega kohtades nähti ette asendada olemasolev alus uue killustikalusega (olenevalt pikiprofiilist peab väljakaeve sügavus olema rohkem, kui olemasoleva aluse paksus) mille peale ülejäänud kattekonstruktsioon.

Kattekonstruktsioonina nähti ette kasutada olemasolevast teekattest segatud BS kiht paksusega 15 cm, mille peale pehmemast bituumenist (160/220) asfaltbetoon. Taoline teekatend on elastne ning rohkem „andestav“ alusest tulenevate võimalike ebaühtlaste liikumiste vastu. Mitmetes kohtades oli olemasolevas teekattes näha pikipragusid, mis üheltpoolt viitab vana katte väsimisele, kuid ka alumiste kihtide ebaühtlusele.

Fotod 1.1 ja 1.2. Riigiteel nr 65 oli näha teekatendi nõrgale deformatsioonikindlusele viitavaid defekte, milleks olid pikiroopad ja servade vajumised. Nende põhjuseks võib lugeda väga õhukest alust (ca 10 cm kruuskillustikku).

Vaadeldava tee liiklusprognoosiks arvestati 20. a. perspektiivis 1250 autot/ööp ning E_{vaj} seejuures 224 MPa. Kui arvestada teele kergkate (mida ka tehti), siis selle minimaalne arvutuslik eluiga on 10 aastat, mille korral tuli liiklussageduseks 973 AKÖL ja E_{vaj} = 216.8 MPa. Nii 20. kui 10. aasta prognoositud liiklussagedus jäi alla 1500 AKÖL, mille puhul ei ole asfaldist katendikihtide ehitamise juhises nõudeid katete deformatsioonikindlusele, mille põhjal järeldades on pehmematest bituumenitest valmistatud asfaltkatted ka tänaste nõuete kohaselt kasutatavad.

1.3 Riigitee nr 11315 Raasiku-Anija km 0.055 - 5.9

Sarnaselt teele nr 65 ei ole ka antud teel oodata liiklussageduse kasvu üle 1500 AKÖL 20 aasta perspektiivis, mistõttu on tegemist IV-klassi teega, kus on sobilik kasutada kergkatet. Prognoositav E_{vaj} = 200…210 MPa.

Teeregistris on teekatteks märgitud (põlevkivi) tuhkbetoon, mille ehitamise aasta on 1987, teekate on viimati pinnatud aastal 2015.

Ehitusgeoloogise uuringu alusel on kogu teed hästi iseloomustav ristlõige järgnev:

1. 5 cm (kohati kuni 10 cm) bituumeniga seotud kiht (pindamine);
2. 10…20 cm tuhkstabiliseeritud kiht;
3. 15…45 cm killustik, kruus või paekivisõelmed (enamasti viimane);
4. peenliiv, mille all võib olla ka moreeni või kruusa.

Tuhkstabiliseeritud kiht on amortiseerunud, mitte ühestki puuraugust ei saadud kätte tervet puurkeha, mille survetugevust testida. Kiht lagunes laiali ning meenutas visuaalselt sidumata segu. Laboris määrati kihi nimetuseks „rohke liivaga möllikas kruus“, „kruusaga savine peenliiv“, „rohke kruusaga savikas peenliiv“ ja „rohke liivaga kruus“, mis sõltus tõenäoliselt sellest, kui hästi või halvasti olid kihis moodustanud klombid.

See on tõenäoliselt põhjuseks, miks ei ole vaadeldava tee kattel näha ulatuslikult põikpragusid – neid leidus, kuid vähe. Laiali lammutades on tuhkstabi kihid külmakerkelised materjalid. Seega, kui teha antud teele remont, tuleb tuhkstabiliseeritud kiht jätta kas puutumata (ehk kihti purustada ei tohi) või täielikult eemaldada. Kolmandaks variandiks on uuesti stabiliseerimine, kuid selle puhul on riskiks kõrge peenosisesisaldus ning täpne segu koostis on vaja määrata läbi laborikatsete.

Tulenevalt defektide jaotumisest ning tee kandevõime üpriski ühtlastest väärtustest on kogu teel sobilik kasutada ühtset katendilahendust koos üksikute defektide korrigeerimisega:

- teel oli näha seitset laia põikpragu, kus ääred on kaardunud üles ja teekattele on sellest tekkinud muhk. Arvatavasti oli või on olnud selles piirkonnas stabiliseeritud kiht tugevam, põhjustades põikpragude teket. Lahendusena tuleb kohtades teha tasandusfreesimine, pragude laiendamine, mastiksiga täitmine ja katmine tasandusseguga, mille peale paigaldada asfaldigeokomposiit, misjärel saab kogu teele paigaldada asfaltkatte (täpsustuseks, et geosünteedi asukoht on tasanduskihi ning 6 cm asfaltbetooni vahel);
- kogu teekate tuleb tasandada kasutades nii tasandusfreesimist kui –segu;
- parandada tuleb ka tee ümbruse kuivendust: puhastada kõik truubid ja kraavid.

Tuhkstabiliseeritud kihi eemaldamine ei ole vajalik, kuna see toimib sisuliselt kui sidumata kiht omades vähesel määral veel ka seotud kihi omadusi ehk ei deformeeru koormuse all kuigi kergesti. Tuhkstabiliseeritud kihi vastupidavust on kindlasti mõjutanud see, et selle paksus on suhteliselt väike või on segamise kvaliteet olnud madal, sideainet vähe või sideaine madalate sideaineliste omadustega, mistõttu ei ole moodustunud paksemat kihti kui vaid see, mis on täna nähtav (ca 10 cm). Teiseks mõjutajaks on asfaltkatte puudumine ehk teekatteks ongi pinnatud tuhkstabiliseeritud kiht.

Kuna teekatendi kandevõime on kõrge ning külmakerkelisi kohti ei esine, siis piisab, kui käsitletud eeltööde tegemisel (põikpraod parandatud ja olemasolev teekate läbi tasandusfreesimise ja –segu tasandatud) paigaldada pehmema bituumeniga (160/220) asfaltsegu, mis talub paremini altpoolt tulenevaid võimalikke ebaühtlasi liikumisi.

1.4 16122 Nõmmküla - Aulepa - Österby km 6.2...12.341

Teelõigule prognoositud liiklussagedus on 800 AKÖL ja E_{vaj} = 170 MPa. Tee paikneb rannikumuldade levikualal ning ümbruskonda võib iseloomustada kui liigniiske, sest pinnaseveetase on kõrgel. Peamisteks teel nähtavateks defektideks on kitsad pikipraod ja katte serva defektid, mis tulenevad nii külmakergetest, muldkeha ebaühtlusest kui sellest, et tee on kitsas, mistõttu saavad ääred ebaproportsionaalselt palju koormust. Ehitusgeoloogiline uuring võimaldas järeldada, et teed on kunagi laiendatud, mis võib samuti olla osade pikipragude põhjuseks.

Objekti ehitusgeoloogilise uuringu punktid valiti välja vastavalt kandevõimemõõtmisele ja objekti visuaalsele vaatlusele. Uuringu alusel on tee tüüpiline ristlõige järgnev:

- 10 cm asfaltkate (kihipaksuse vaheldumine on määratud maaradariga ning täpsem graafik on esitatud lisas 1);
- 25…35 cm kruusliiv („rohke kruusaga mölline keskliiv“);
- vahelduva paksuse ja omadustega täitepinnas (muld, savimöll, peenliiv, kruus);
- aluspinnaseks savimöllmoreen.

Ehitusgeoloogilise uuringu tulemustest järeldub, et asfaltkatte all olev kruusliiv (täpsemalt „rohke kruusaga mölline keskliiv“) on külmakerkeline. Tõenäoliselt on sama lugu kogu teekatendiga, mida kinnitavad ka objektil nähtavad defektid.

Teeregistri andmetel on km 6.2…9.3 paigaldatud mustsegu aastal 1985 ja km 9.3…12.3 aastal 1986. Viimane pindamine on tehtud aastal 2012.

Nii visuaalse vaatluse kui mõõtmiste (kandevõime, tasasus, katte laiused) alusel võib tee jagada kahte osasse:

- km 6.2…9.4, kus teekate ja muldkeha on liiga kitsad (vastavalt veidi alla 6 m ja 7.0…7.5 m) ning amortiseerunud (väga ebatasane, palju pikipragusid, madalam kandevõime). Olemasoleva teekatendi kandevõime on ca 150…170 MPa ning probleemiks on ka külmakerked;
- km 9.4…12.3, kus teekate ja muldkeha on laiemad (vastavalt veidi üle 6 m ja ca 8 m) ning tee seisukord parem (tasasem, vähem defekte, kõrgem kandevõime). Olemasoleva teekatendi kandevõime on ca 200…250 MPa, kuid seoses kas külmakergete või muldkeha ebaühtlusega on kattel näha rohkesti pikipragusid.

Tegemist on hea kandidaadiga kergkatte ehituseks kuid km 6.2…9.4 vajaks sellele eelnevalt muldkeha laiendamist ning tõstmist koos uue teekatendi ehitamisega. Muldkeha laiendamise ja tõstmise osas tuleb teha projekt koos geoalusega. Km 9.4…12.3 vajab teekatendi uuendamist.

Sobilikuks remondilahenduseks on km 6.2…9.4 lisada olemasolevale kruusliivast alusele 25 cm paksune kruusast kiht (sobivad nii killustikalus kui purustatud kruus, pos 1 või 2), mille peale 8 cm kahekordselt pinnatud mustsegu. Km 9.4…12.3 tuleb olemasolev mustsegu eemaldada, alus tasandada ning paigaldada 8 cm kahekordselt pinnatud mustsegu.

1.5 Kokkuvõte vaadeldud teedest

Kõik vaadeldud teed olid iseäralikud, üksteisest väga erinevad ning erinevates asukohtades. See võimaldas saada hea ülevaate erinevatest olukordadest ning lahendusvariantidest, kuidas uuendada suhteliselt madala liiklussagedusega teed parandades selle sõidumugavust optimaalseimal viisil.

Kui kruusateede remondilahenduste koostamisel oli üheks määravaimaks teguriks kevadel mõõdetud kandevõime, siis antud juhul oli lahenduste osas selle mõju oluliselt väiksem. Nimelt oli suurel osal mõõdetud punktidest teele vajalik kandevõime tagatud, mistõttu ei olnud vajadus planeerida suuremahulisi katendi tugevdamisi. Sellegipoolest olid kandevõimemõõtmistest tulevad andmed väga vajalikud selgitamaks teekatendite seisukorda, mistõttu on nende tegemine oluline.

Remondilahenduste koostamisel oli suurema osatähtsusega katendikihtide vanus, seisukord ja paksus. Kõikide vaadeldud teede katted olid üle 30. a. vanad ning olemasolevad konstruktsioonid ei vastanud tänastele liikluskoormustele. Sellegipoolest oli võimalik eristada probleemsemaid ja paremas seisus teelõike (kasutades korraga kõiki kogutud andmeid), mis võimaldab arvestada maksimaalselt juba teel olemasolevate materjalidega. Veelgi täpsemaks analüüsiks võib kasutada andmeid uuritava tee ajaloost: kuidas on muutunud kandevõime, defektide, tasasuse ning liikluse andmed, kuid väiksemate teede puhul on selle takistavaks teguriks andmete puudumine või lünklikkus.

Erinevaid kergkatete liike, nende kasutusvõimalusi ja limiteeringuid on käsitletud peatükis 5, kus on kas kaudselt või otseselt arvestatud ka käesolevas peatükis käsitletud teede vaatlusandmeid.

Kuna käesolevas projektis oli teede valim väike ning kõik teed üksteisest väga erinevad, ei ole nende põhjal võimalik teha piisavalt esinduslikku eeldatava maksumuse võrdlust. Kui jätta kõrvale kõik muud tööd peale otseselt katendit puudutava, võib tööde maksumuseks vastavalt koostatud remondiplaanidele hinnata järgnevalt:

- tabelis 1.1 riigitee nr 65 (8.1 km): ca 1.575 milj. EUR ehk ca 194´500 EUR/km (ilma käibemaksuta), arvestatud on, et katte laius jääb endiseks ehk 7.5 m;
- tabelis 1.2 riigitee nr 11315 (5.9 km): ca 610´600 EUR ehk ca 103´500 EUR/km (ilma käibemaksuta), arvestatud on, et katte laius jääb endiseks ehk 7.0 m;
- tabelis 1.3 riigitee nr 16122 (6.1 km): ca 757´300 EUR ehk ca 124´150 EUR/km (ilma käibemaksuta), arvestatud on, et katte laiuseks on 7.0 m.

Tabel 1.1. Riigitee nr 65 katendi mahud ja hinnanguline maksumus

Artikli nr	Nimetus	Maht	Ühik	Ühikhind	Kokku
40101	Olemasoleva katendi freesimine	60750	m^2	1.5	91 125 €
30603	Oleva mulde pealispinna planeerimine ja tihendamine	109350	m^2	0.1	10 935 €
30102	Ehituseks sobiva täitepinnase kaevandamine	8631	m^3	3.0	25 893 €
40501	20 cm killustikalus	4950	m^2	7.0	34 650 €
40501	12 cm killustikalus	13050	m^2	5.0	65 250 €
40507	30 cm kruusliivast kiht	20250	m^2	4.5	91 125 €
40504	Tehnoloogiline kiht killustikust (10 cm)	50575	m^2	4.5	227 588 €
41201	Bituumenstabiliseerimine BS, 15 cm	68850	m^2	7.0	481 950 €
43002	Asfaltbetoon (160/220), 6 cm	60750	m^2	9.0	546 750 €
					1 575 266 €

Tabel 1.2. Riigitee nr 11315 katendi mahud ja hinnanguline maksumus

Artikli nr	Nimetus	Maht	Ühik	Ühikhind	Kokku
40102	Olemasoleva katte tasandusfreesimine	41300	m^2	1.2	49 560 €
	Põikpragude remont	50	m	50	2 500 €
43503	Asfaldigeovõrgu paigaldamine	200	m^2	5.0	1 000 €
43001	Asfaltsegust (ACbin 8) tasanduskiht (keskmine 2.5 cm)	1033	t	180	185 850 €
43002	Asfaltbetoon (160/220), 6 cm	41300	m^2	9.0	371 700 €
					610 610 €

Tabel 1.3. Riigitee nr 16122 katendi mahud ja hinnanguline maksumus

Artikli nr	Nimetus	Maht	Ühik	Ühikhind	Kokku
40101	Olemasoleva katendi freesimine	36860	m^2	1.5	55 290 €
30103	Ehituseks sobimatu pinnase kaevandamine	3840	m^3	3.0	11 520 €
30402	Muldkeha ehitamine juurdeveetavast pinnasest	6240	m^3	14.0	87 360 €
30603	Oleva mulde pealispinna planeerimine ja tihendamine	46240	m^2	0.1	4 624 €
40507	25 cm kruusast aluskiht	24000	m^2	4.2	100 800 €
40504	Tehnoloogiline kiht kruusast (10 cm)	20880	m^2	4.0	83 520 €
	Mustsegu MSE (8 cm)	42700	m^2	5.5	234 850 €
44005	2x pindamine	42700	m^2	4.2	179 340 €
					757 304 €

Käsitletud teede vaatlusega leiti, et allikastes [1] ja [3] kirjeldatud ning näitlikustatud meetodid kruusateede uurimiseks on samahästi sobilikud ka kattega teede uuringuteks, kuid sisse tulevad mõned erinevused:

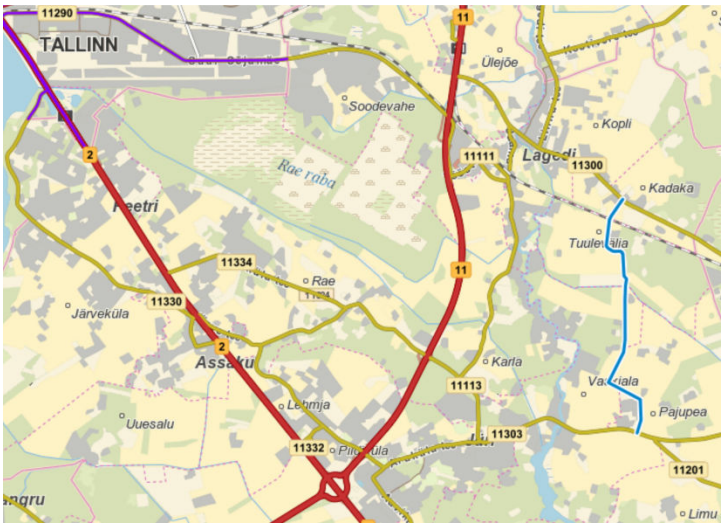
- FWD mõõteandmetest e-mooduli arvutamine peab toimuma allikas [2] peatükis 4 esitatud valemi kaudu. Vajumikausiparameetrite arvutamiseks ja hindamiseks saab kasutada allikas [40] esitatud andmeid;
- väga oluliseks on bituumensideainega seotud katte paksus ja selle varieerumine, samamoodi ka aluse osas, mistõttu on maaradariuuringul suurem olulisus;
- ehitusgeoloogiliste uuringute tegemisel tuleb lähtuda Maanteeameti Geotehniliste uuringute juhise peatükist 2 (lisaks üldnõuetele), kusjuures aluskihi terastikuline koostis tuleb määrata min. iga 400 m tagant;
- kui nähakse ette olemasoleva bituumensideainega kihi taaskasutamine seotud kihis (nt segades see BS-iks), tuleb määrata olemasoleva katte terakoostis, bituumenisisaldus ja selle penetratsioon min. iga 400 m tagant.

2 IRI JA TEE PÕIKKALDE AUTOMAATMÕÕTMISED

IRI ja tee põikkalde mõõtmised koos teekatte visuaalse seisukorra jäädvustamisega teostas ERC Konsultatsiooni OÜ kuupäeval 29.10.2019 järgmistel teedel mõlemas sõidusuunas:

- riigitee nr 11315 Raasiku-Anija km 0.055…5.9 (pikkus 5.9 km);
- riigitee nr 16122 Nõmmküla - Aulepa - Österby km 6.2...12.341 (pikkus 6.1 km);
- tee nr 6530173 Pajupea tee km 0…4.474 (pikkus 4.474 km).

Kui kaks esimest teed olid käesolevas projektis käsitluse all kui mõnevõrra suurema liiklussagedusega kergkatetega teed, siis viimane oli Rae vallas paiknev pinnatud kruusatee (asukoht joonisel 2.1), millel oli näha mitmeid defekte ning mis oli plaanilahenduselt võrreldes riigiteedega mitmekesisem. Seeläbi saadi võrdluseks mahukam ja laialdasem võrdlusbaas.



Joonis 2.1. Sinisega on kantud kaardile tee nr 6530173 Pajupea tee km 0…4.474.

2.1 Tasasuse mõõtetulemused

Mõõtmiseks kasutati seadet Irimeter-2. Mõõteprotokollina esitati suuna 1 ja suuna 2 mõõtmistulemused. Ühe suuna mõõteandmete tabel näeb välja tabelis 2.1 kujutatuna. Alljärgnevatel joonistel on esitatud vaadeldud teede IRI väärtused, millele on lisatud ka kattega teede „väga hea“, „hea“, „rahuldav“ ja „halb“ piirväärtused (nt kui mõõtetulemus ületab joone „rahuldav“, on IRI väärtuseks „halb“ ja kui joone „halb“, on IRI väärtuseks „väga halb“). IRI on kattega teede puhul iseloomustatud kui (allikast Transpordi arengukava 2014-2020):

- hea (piirid 1.5…2.59): üldiselt tasane teekate, esineb kerget pikisuunalist ebatasasust ning üksikuid põiksuunalisi ebatasasusi, mis üldiselt ei mõjuta sõidumugavust. Lubatud sõidukiirust kerge ületada;
- rahuldav (piirid 2.6…3.59): teekate suhteliselt ebatasane. Esineb üksikuid kergeid heitusid. Sõidukiirus üldiselt lähedal lubatule maksimaalsele sõidukiirusele, sõites on vaja teepinda jälgida;

- halb (piirid 3.6…4.69): teekate on ebatasane, esineb rohkesti kergeid heitusid ja üksikuid suuri heitusid. Sõidukiirus kõigub, sõidutrajektoori tuleb muuta, tuleb keskenduda sõitmisele;
- väga halb (piir ≥ 4.7): teekate on väga ebatasane, rohkesti kergeid ja suuri heitusid. Sõitmine ebamugav, sõidukiirus üldiselt allpool maksimaalselt lubatud piiri. Tuleb mööduda defektidest ja ebatasasustest. Tuleb keskenduda sõitmisele.

Tabel 2.1. IRI mõõtmistulemuste protokolli väljavõte

Teekatte tasasuse (IRI) mõõtmine maanteel nr 11315 Raasiku-Anija

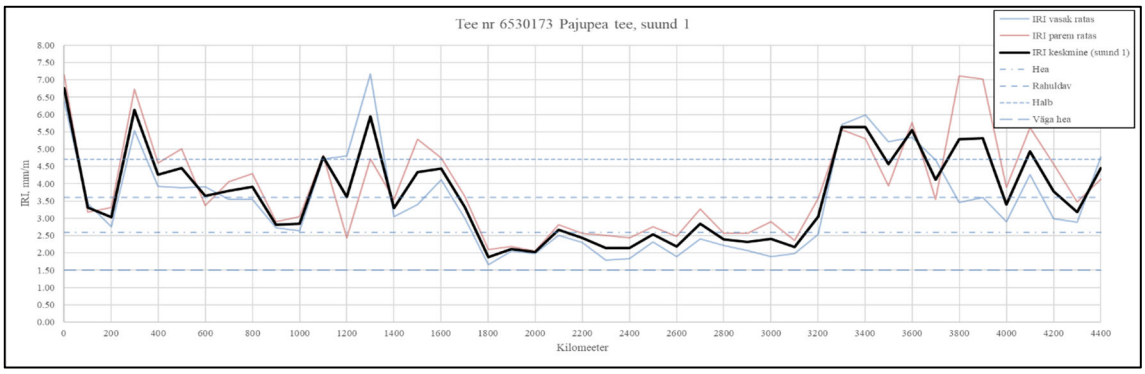
Teelõik 11315_1_1_0 - 11315_1_1_5885, km 0.0 - 5.885

Protokoll nr: IRI/ERC/004-1/2019
Mõõtmiste tellija: Tallinna Tehnikaülikool
Mõõtis: ERC Konsultatsiooni OÜ
Mõõtmiseks kasutatud seade: IRIMETER-2 no 0060218
Mõõtmissamm: 100m
Mõõtmiste alguspunkt: kaugus 0 m maantee algusest
Mõõtmiste lõpp-punkt: teeosa 1 lõpp kaugusel 5885 m
Mõõdetud suund: suund 1
Mõõdetud teelõigu pikkus: 5885 m
Mõõdetud teekate: kergkate

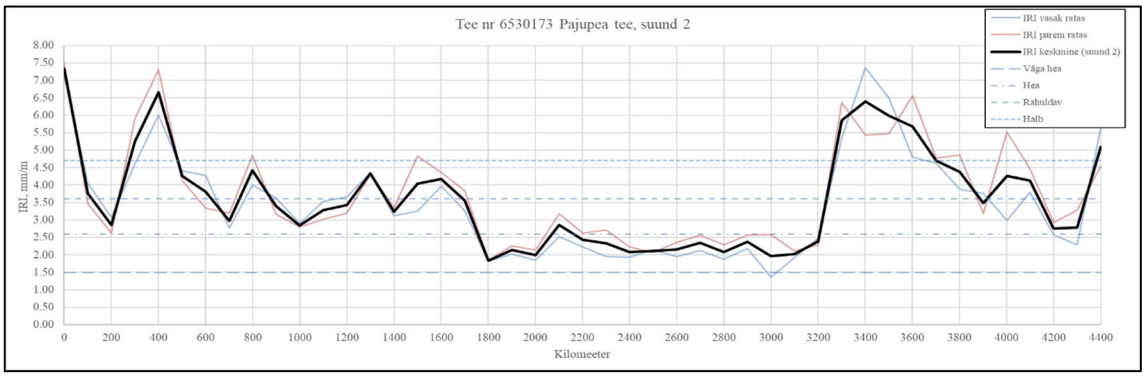
Mõõtmised on seotud Riikliku teeregistriga

Mnt nr	STEE	TO	Suund	A_kaugus	L_kaugus	Alg_km	Lõpp_km	Pikkus, m	Kuupäev	Kiirus1, km/h	Kiirus2, km/h	IRI, mm/m							GPS	
												IRI_vasak			IRI_parem			üldine keskm	LAT	LON
												mõõt_1	mõõt_2	keskm	mõõt_1	mõõt_2	keskm			
11315	1	1	1	0	100	0.000	0.100	100	29.10.2019	40.0	41.8	4.40	4.43	4.42	4.02	4.36	4.19	4.30	59.374416	25.194660
11315	1	1	1	100	200	0.100	0.200	100	29.10.2019	61.2	63.8	2.18	2.33	2.26	1.99	2.09	2.04	2.15	59.374789	25.196259
11315	1	1	1	200	300	0.200	0.300	100	29.10.2019	67.6	68.5	4.27	6.34	5.31	2.77	4.41	3.59	4.45	59.375169	25.197852
11315	1	1	1	300	400	0.300	0.400	100	29.10.2019	69.9	69.4	3.77	3.85	3.81	3.82	3.89	3.85	3.83	59.375554	25.199441
11315	1	1	1	400	500	0.400	0.500	100	29.10.2019	69.3	69.0	3.32	3.40	3.36	3.14	3.24	3.19	3.28	59.375939	25.201030
11315	1	1	1	500	600	0.500	0.600	100	29.10.2019	68.5	68.5	3.06	3.11	3.08	2.34	2.48	2.41	2.75	59.376324	25.202619
11315	1	1	1	600	700	0.600	0.700	100	29.10.2019	68.9	68.0	4.00	3.94	3.97	3.06	3.11	3.08	3.53	59.376695	25.204221

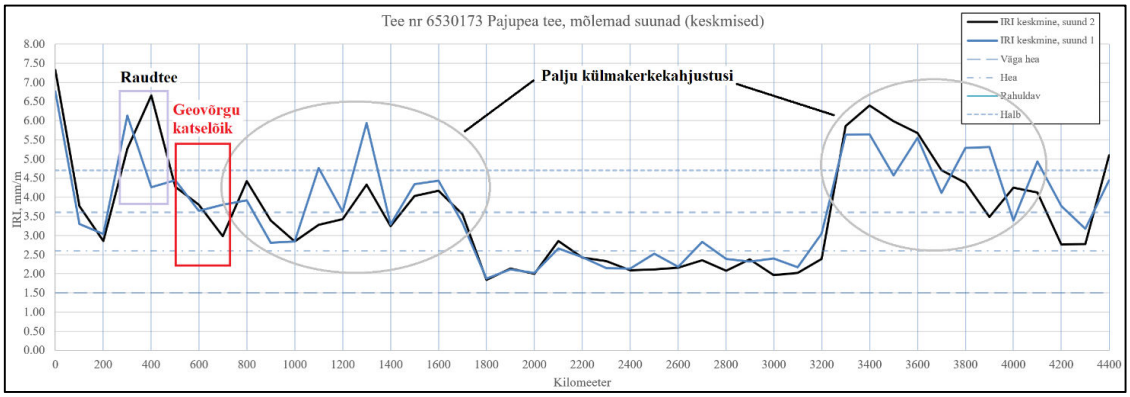
Joonistel 2.2…2.4 kujutatakse Rae vallas asuva Pajupea tee IRI mõõtmise väärtusi, kus on esitatud mõlema sõidusuuna puhul mõlema (nii vasak- kui parempoolse) ratta väärtused ning nende keskmised. Tegemist on, arvestades kruusateede viimist tolmuvaba katte alla, väga huvipakkuva teega, kuna see võimaldab võrrelda teekatte seisukorda ning IRI arvu tugevalt külmakergete poolt kahjustatud ja kahjustamata olukorras. Lisaks on külmakerkelisse tsooni ehitatud geovõrguga armeeritud katselõik, mida käsitleti allikas [3] lk 15.



Joonis 2.2. Tee nr 6530173 Pajupea tee km 0…4.474 suund 1 IRI väärtused.



Joonis 2.3. Tee nr 6530173 Pajupea tee km 0…4.474 suund 2 IRI väärtused.



Joonis 2.4. Pajupea tee mõlema suuna keskmine tasasus koos mõningase taustainfoga.

Mõõtmistulemustest võib järeldada, et kui kruusatee on enne katte paigaldust ebapiisavalt ette valmistatud, mistõttu tekivad teele külmakerkekahjustused, võib seetõttu tasasus halveneda tasemelt „hea“ tasemele „halb“ või „väga halb“. Kruusatee remondil geovõrgu kasutamine on aidanud hoida tee tasasust paremana vältides külmakerkekahjustuste ilmnemist, kuigi tasasus võiks olla parem. Seda võib olla mõjutanud nii katselõigu lühike pikkus kui ka ehituslikud nüansid, sh freespuru kvaliteet.

Ühe nüansina nähtub veel see, et vasaku ja parema ratta IRI väärtused on olnud kohati väga erinevad. See tuleneb nii tee keskel (külmakerkekahjustused vasaku ratta all) kui tee ääres (serva vajumised ja deformatsioonid parema ratta all) olevatest ebatasasustest. Taoline info võib aidata viia läbi täpsemat analüüsi selle kohta, mis on tasasuse väärtuse suuremad mõjutajad ning ebatasasuse põhjustajad.

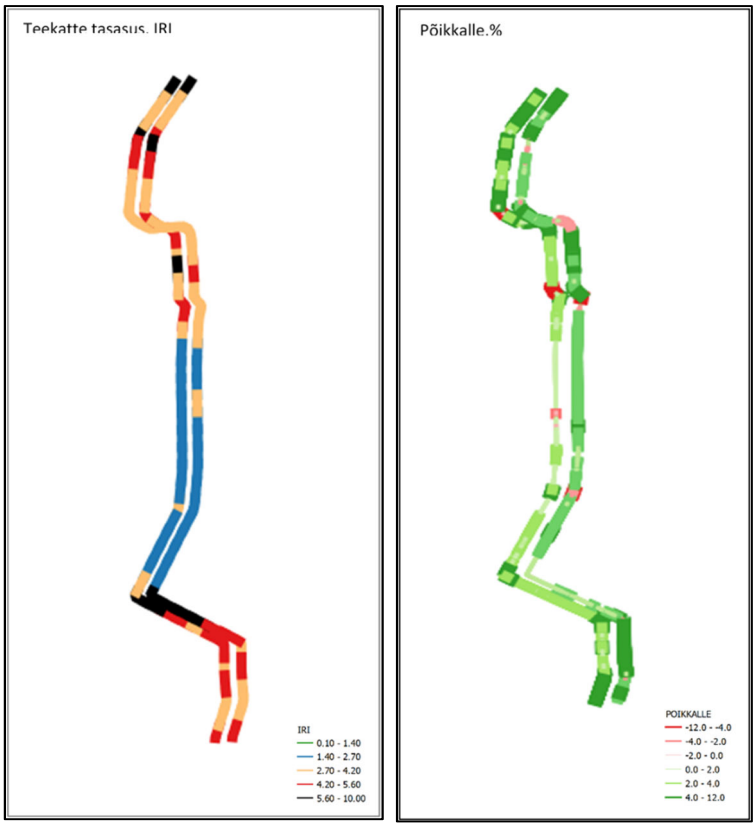
Keskmised IRI väärtused olid teel järgnevad, mille järgi oleks tee napilt „rahuldavas“ seisukorras, kuid keskmist väärtust parandab oluliselt sektsioon, kus külmakerkeid ei ole esinenud:

- suund 1 parem ratas: 3.83 mm/m;
- suund 1 vasak ratas: 3.36 mm/m;
- suund 1 keskmine: 3.60 mm/m;
- suund 2 parem ratas: 3.64 mm/m;
- suund 2 vasak ratas: 3.33 mm/m;
- suund 2 keskmine: 3.48 mm/m;

kogu tee keskmine: 3.54 mm/m.

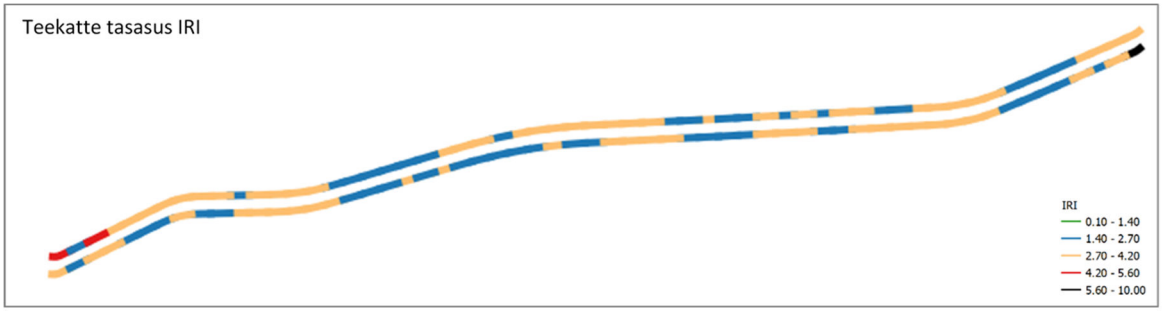
Joonistel 2.5 ja 2.6 on Pajupea tee tasasus ja põikkalle kujutatud asetatuna teetrassile, mis võimaldab tavapärastest graafikutest paremat visualiseerimist. Tulemuste hindamisel on kasulik vaadata nii

graafikut kui teetrassi, kuna mõlemad täiendavad üksteist võimaldades paremat ja täpsemat ülevaadet.

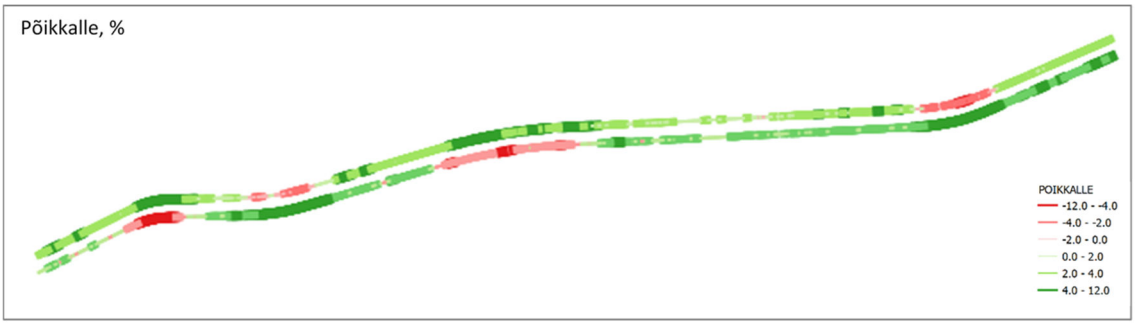


Joonised 2.5 ja 2.6. Pajupea tee tasasus ja põikkalle kujutatuna teetrassile asetatuna.

Joonistel 2.7…2.11 on kujutatud Raasiku – Anija tasasuse mõõtetulemusi, mis on suhteliselt ühtlased. Sama võis järeldada ka teekatte visuaalse vaatluse põhjal. Raasiku – Anija teelõigu tervikanalüüs võimaldas pakkuda kogu teele ühesuguse remondilahenduse, mida toetavad nii käesolevad tasasuse- kui ka saadud kandevõimemõõtmise tulemused.



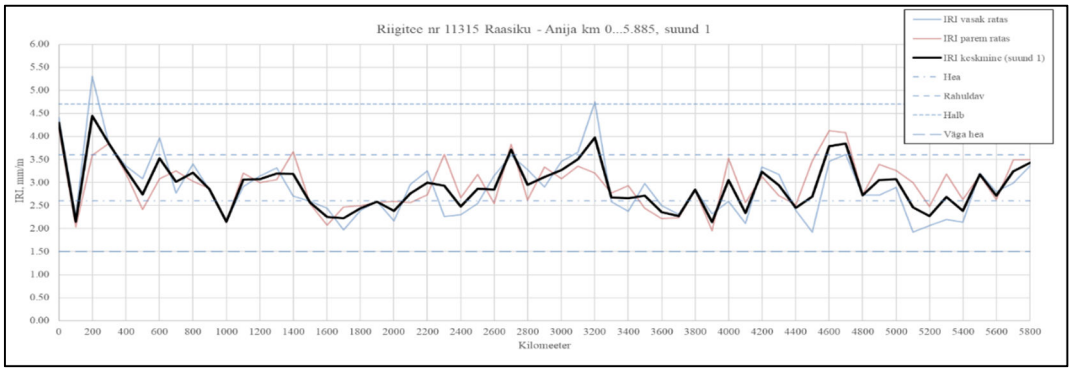
Joonis 2.7. Raasiku – Anija tasasuse andmed kujutatuna teetrassil



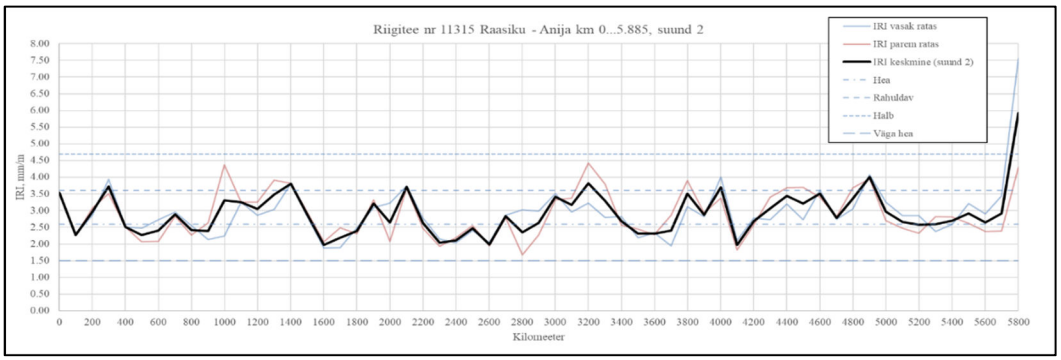
Joonis 2.8. Raasiku – Anija põikkalle kujutatuna teetrassil.

Joonisel 2.11 on lisaks kujutatud tasasuse andmed ka Teeregistri alusel (mõõdetud suunal 1), mille trend on sama, kuid mille tipmised väärtused erinevad märkimisväärselt. Teeregistri alusel saadakse ka keskmine IRI väärtus suurem, kui Irimeter-2´ga mõõtes, samuti on esimesel puhul varieeruvus suurem. Keskmised IRI väärtused olid teel järgnevad, mille järgi oleks tee veenvalt „rahuldavas“ seisukorras:

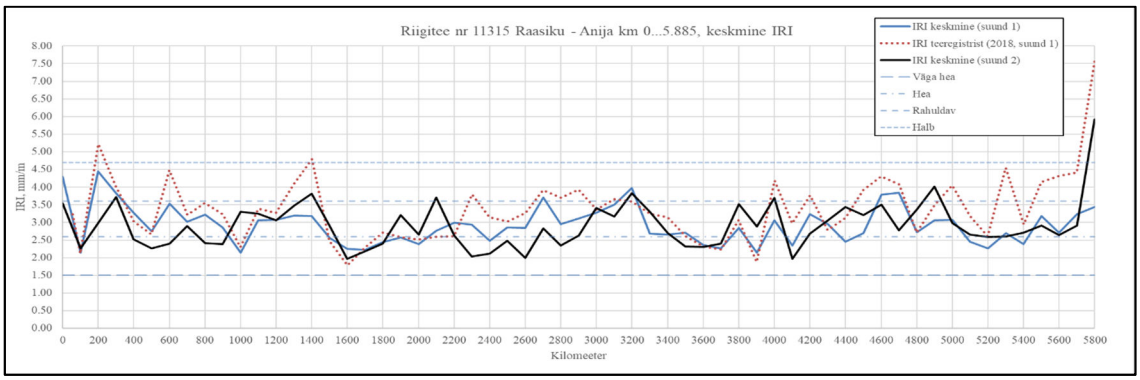
- suund 1 parem ratas: 2.87 mm/m;
- suund 1 vasak ratas: 2.94 mm/m;
- suund 1 keskmine: 2.90 mm/m;
- suund 2 parem ratas: 2.83 mm/m;
- suund 2 vasak ratas: 2.87 mm/m;
- suund 2 keskmine: 2.85 mm/m;
- kogu tee keskmine: 2.88 mm/m;
- Teeregistri alusel (mõõdetud 2018 suunal 1): 3.30 mm/m.



Joonis 2.9. Raasiku – Anija tasasus suunal 1.

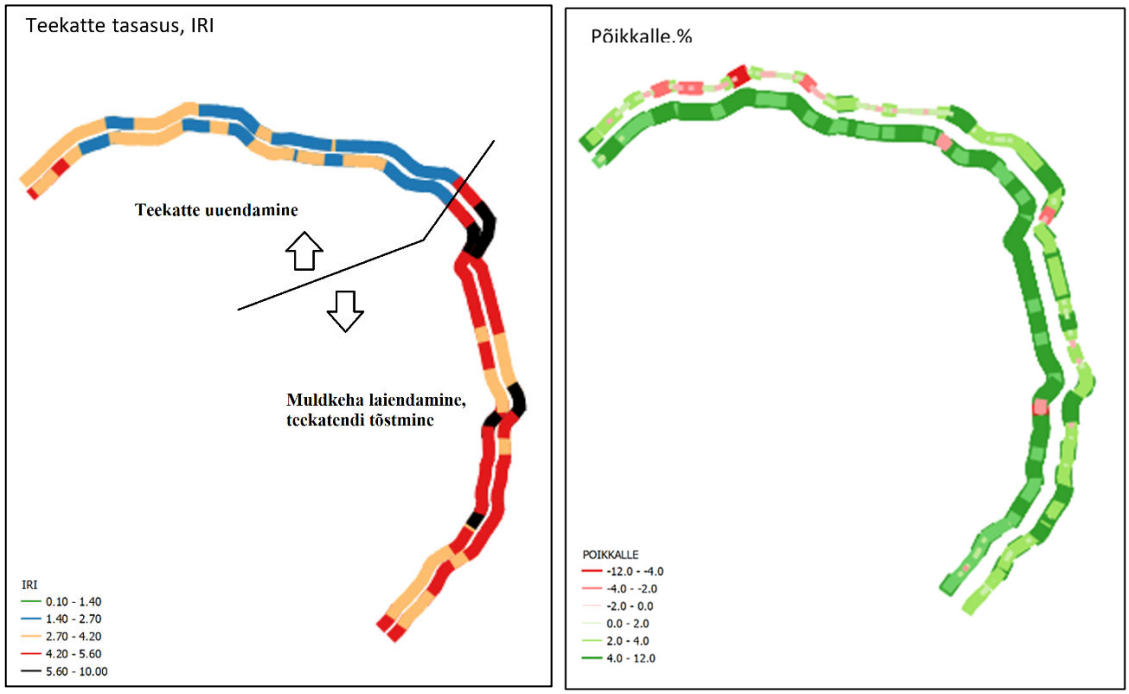


Joonis 2.10. Raasiku – Anija tasasus suunal 2.



Joonis 2.11. Raasiku – Anija tasasused võrdluses suunal 1, 2 ja Teeregistri andmete põhjal (suund 1).

Joonistel 2.12…2.16 on kujutatud Nõmmküla – Aulepa – Österby km 6.2…12.34 tasasuse mõõtetulemusi, mis sarnanevad iseloomult Pajupea tee näitajatega, s.t külmakerkelistes lõikudes, antud juhul teelõigu esimene pool, esineb väga kõrgeid ebatasasuse väärtusi. Mõõtmine korreleerus hästi objekti visuaalse vaatluse tulemusega ning sellega on põhjendatav ka koostatud remondilahendus.



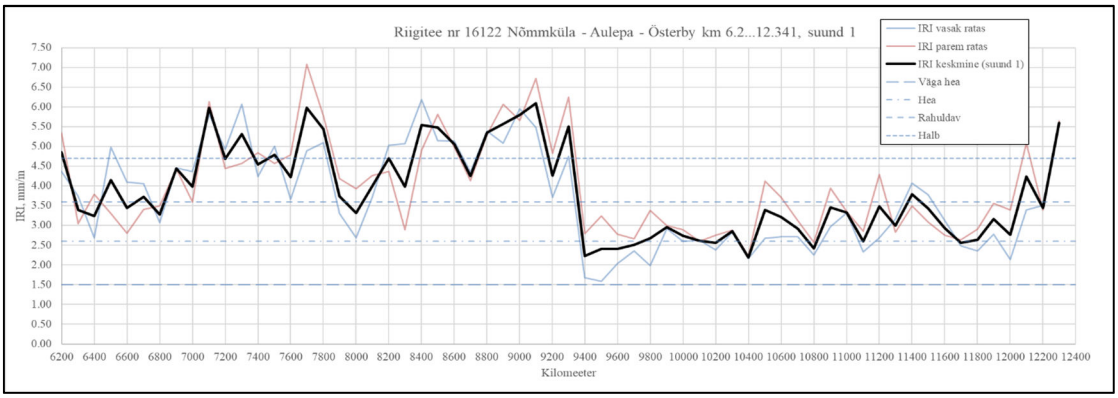
Joonised 2.12 ja 2.13. Nõmmküla – Aulepa – Österby km 6.2…12.34 tasasuse ja põikkalde andmed kujutatuna teetrassil.

Joonisel 2.16 on lisaks kujutatud tasasuse andmed ka Teeregistri alusel (mõõdetud suunal 1), mis erineb märkimisväärselt andes oluliselt kõrgemaid numbreid. Teeregistri alusel saadakse ka keskmine IRI väärtus suurem, kui Irimeter-2´ga mõõtes, samuti on esimesel puhul varieeruvus suurem. Keskmised IRI väärtused olid teel järgnevad:

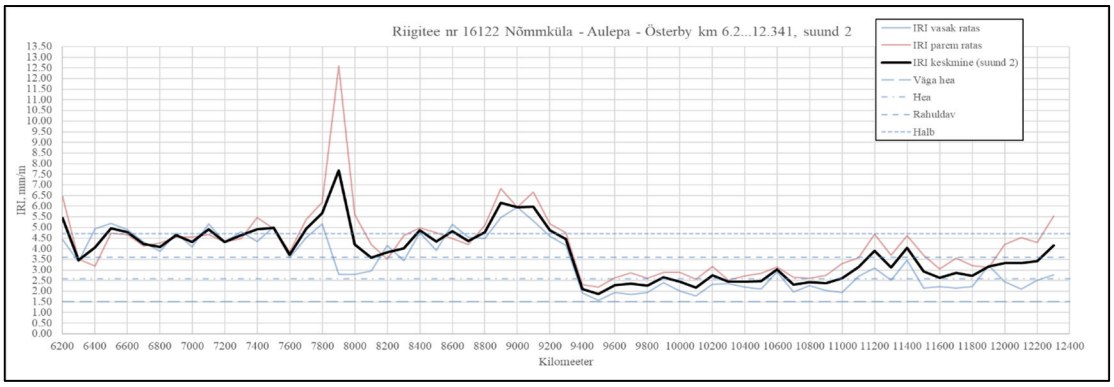
- suund 1 parem ratas: 3.94 mm/m;
- suund 1 vasak ratas: 3.66 mm/m;
- suund 1 keskmine: 3.80 mm/m;

- suund 2 parem ratas: 4.15 mm/m;
- suund 2 vasak ratas: 3.39 mm/m;
- suund 2 keskmine: 3.77 mm/m;
- kogu tee keskmine: 3.79 mm/m;
- Teeregistri alusel (mõõdetud 2018 suunal 1): 4.71 mm/m.

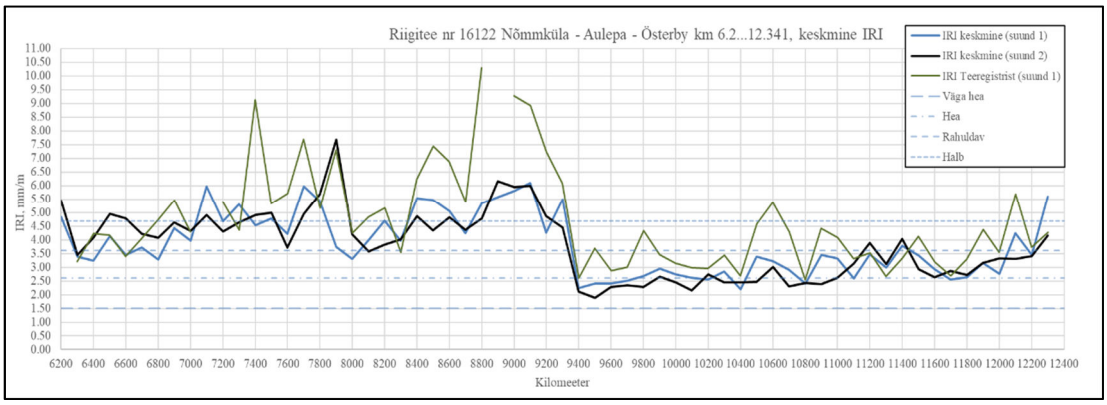
Esiteks nähtub antud tulemustest see, et vaid keskmise IRI väärtusest ei piisa, vaid tulemustest tuleks teha graafik, mis võimaldab paremat visuaalselt ülevaadet, mis seisukorras on erinevad lõigud. Teiseks erinevad Irimeter-2´ga saadud ja Teeregistrist leitavad väärtused üksteisest märkimisväärselt, millest tuleb järeldada, et üks meetod on kõrgete IRI arvude osas tundlikum või ebatäpsem, kuid hinnangut, kumb ja kui palju, saab anda vaid võrdlusmõõtmiste põhjal. Enamasti ilmneb erinevus alates sellistest IRI-arvudest, mis liigituvad juba halvaks või väga halvaks, kuigi märgatav erinevus nähtub joonisel 2.16 ka parema tasasusega sektsioonis ehk km 9.4…12.2.



Joonis 2.14. Nõmmküla – Aulepa – Österby km 6.2…12.34 tasasus suunal 1.



Joonis 2.15. Nõmmküla – Aulepa – Österby km 6.2…12.34 tasasus suunal 2.



Joonis 2.16. Nõmmküla – Aulepa – Österby km 6.2…12.34 tasasused võrreldes Teeregistriga.

Joonisel 2.15 nähtus ca km 7.9 juures parema ratta puhul väga suur hüpe tasasuse väärtuses (IRI = 12.5 mm/m). Antud kohta on kujutatud fotol 2.1 ehk tegemist on ratta jälge jääva pritskillustikuga lapitud kohtadega. Joonisel 2.16 on Teeregistri tasasuse andmete järgi piirkond km 8.8…9.2 väga ebatasane (IRI väärtused kohati üle 10 mm/m), mis on kujutatud fotol 2.2.

Fotod 2.1 ja 2.2. Teekatte seisukord km 7.9 ja km (maaradari fotodel oli ekslikult kasutatud nullina vaadeldava teelõigu algust ehk km 6.2 = km 0.0, mistõttu fotodel nähtavad meetrid ei kattu tee aadressüsteemi kilomeetritega).

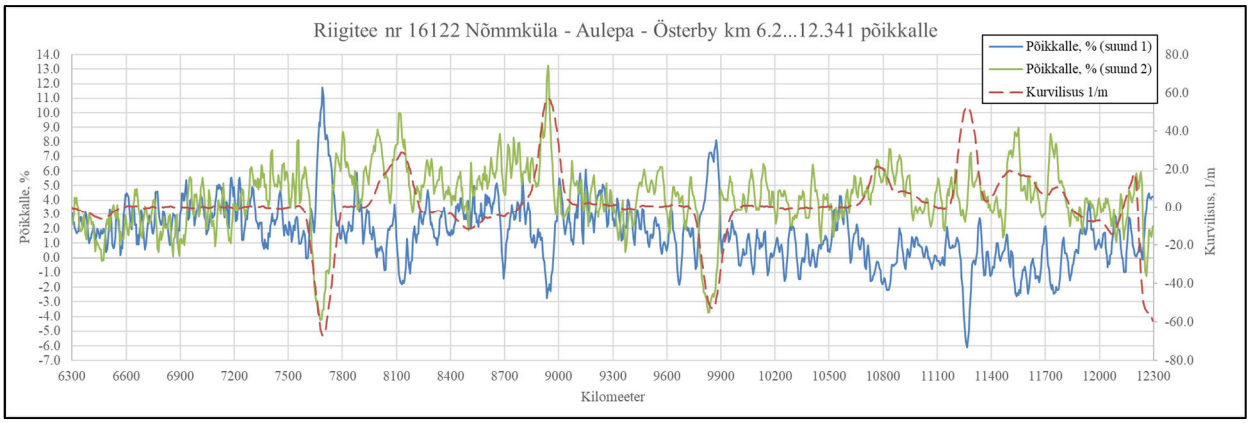
2.2 Põikkalde mõõtmised

Tasasuse peatükis käsitletud teedelt mõõdeti Irimeetr-2´ga ka põikkallet, mille tulemused teede kaupa olid esitatud kantuna teetrassile joonistel 2.6, 2.8 ja 2.13 ning mis on nähtavad graafikutena joonistel 2.17…2.19. Põikkalde mõõtmised on kasulikud teetööde kirjelduse koostamise lähteandmed, kui ei koostata geoalust. See võimaldab saada täieliku ülevaate sirgete ja kurvide põikkalletest ning määrata piirkonnad, kuhu näha ette täitmisi või profiiliparandusi.

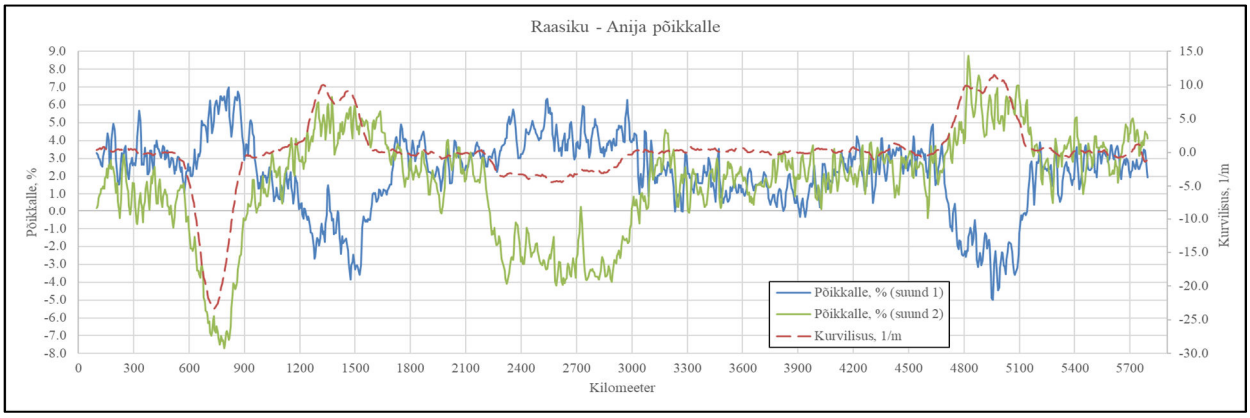
Näiteks nähtub Nõmmküla – Aulepa – Österbyl, et eriti suuna 2 põikkalle on (kerg)kattega teele liiga suured, mistõttu on vaja enne mustsegu paigaldust profileerida olemasolev muldkeha ning lisada tasanduseks profiilikiht (mis on hinnakalkulatsioonis arvestatud kui „tasanduskiht). Raasiku – Anijal on kalded enam-vähem paigas, kuid kohati on vajadust korrigeerimiseks. Selleks nähti ette tasandusfreesimine ja tasanduskihi paigaldus.

Pajupea tee on tolmuvaba katte alla viidud kruusatee, millel esineb palju külmakerkekahjustusi ning mis on kurvide mõttes liigendatud. Andmed näitavad, et tee põikkalle ei ole ühtlane, mis võib

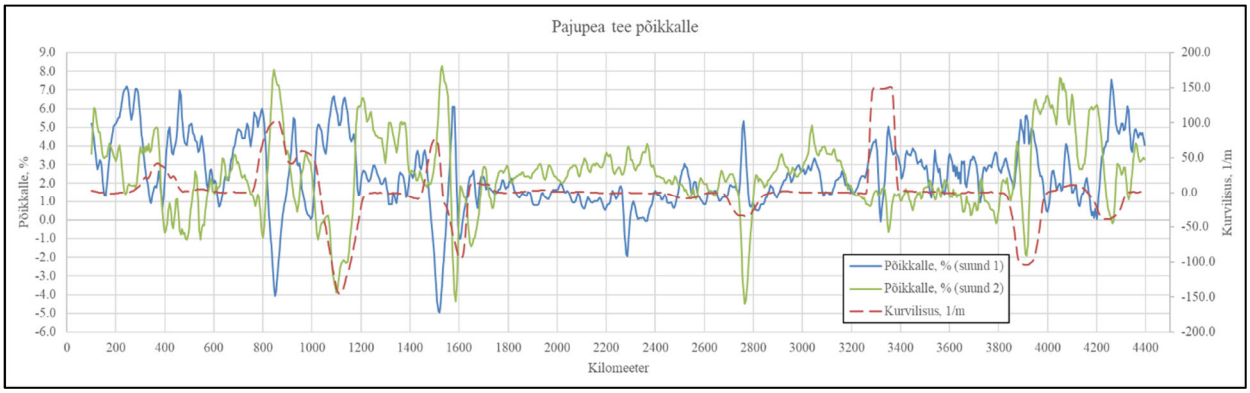
tuleneda nii külmakergetest kui enne katte paigaldust tehtud ebapiisavast ettevalmistusest. Tegemist on hea näidise ning andmebaasiga, mida saab ka tulevikus kaasata võrdlustesse.



Joonis 2.17. Nõmmküla – Aulepa – Österby km 6.2…12.32 mõlema suuna põikkalded ja tee kurvilisus.



Joonis 2.18. Raasiku – Anija mõlema suuna põikkalded ja tee kurvilisus.



Joonis 2.19. Pajupea tee mõlema suuna põikkalded ja tee kurvilisus.

2.3 Kokkuvõte tasasuse ja põikkallete mõõtmistest

Mõõdetud teede keskmised tasasuse väärtused olid rahuldavad või halvad, kuid kui vaadata teid sektsioonide kaupa nähtus, et variatsioon oli kõrge: ebatasastes lõikudes ületasid väärtused veenvalt „väga halb“, kuid tasasemates lõikudes jäid „hea“ või „rahuldava“ piiridesse.

Kergkatetega vähese liiklussagedusega teed on kitsad, mistõttu saavad tee servad suurt koormust deformeerudes kergesti põhjustades ebatasasust – seda võis näha võrdluses Pajupea ja Nõmmküla vs Raasiku – Anija, kus viimane oli laiem ning kus tee servades (vasaku ratta mõõtmistulemused) oli kate tasasem.

Teatud korrelatsiooni saab tuua ka teekonstruktsioonide olemuse ja kandevõime vahel. Peatükis 3 käsitletakse Pajupea tee kandevõimet, ülejäänud on esitatud lisas 1 vastava tee juures, millest nähtub, et Raasiku – Anija on kõrgemate tulemustega, samuti on seal kasutatud stabiliseeritud kihti, mis on kõrge koormustaluvusega. Seega sõltub kergkatetega teede pikaajalise tasasuse väärtused kasutatud konstruktsiooni sobivusest liikluskoormusele ning esinevate pinnastega (muldkeha ja aluspinnase külmakerkelisus, piirkonna niiskuspaikkond). Teisalt näitab see ka (tuhk)stabiliseeritud kihtide eeliseid.

Suur ebatasasuse põhjustaja on külmakergete poolt tekkinud deformatsioonid. Vaadeldud teede võrdlustest saab kahtlemata järeldada, et tee pikaajalist seisukorda, sh ebatasasuse vähendamist, saab parandada hea remondieelse ettevalmistusega, mis hõlmab remondilahenduse koostamist lähtudes tee tegelikust seisukorrast (nt Pajupea tee tasane vs ebatasased sektsioonid). Vähemtähtsam ei ole ka ehitustehnoloogia ja –kvaliteeti puudutav, kuid selle täpsem käsitlemine ei ole käesoleva uuringu eesmärgiks.

Vahemärkuseks, et läbi tasasuse ja põikkalde mõõtmise oleks võimalik kiiresti ja lihtsalt määrata teedel külmakerkeliste kohtade/sektsioonide asukohti, kui ülesõidud tehakse külmunud (hilistalvel/varakevadel) ja sulanud olekus teekatendil. Taolise võrdluse eelduseks on jää- ja lumevaba teekatte olemasolu.

Tasasuse väärtustes nähtus kõrgete IRI-väärtuste osas suur erinevus Irimeter-2´ga mõõdetud ja Teeregistris olnud andmete vahel. Viimase mõõtmised on tehtud laseril põhinevalt, kuid Irimeter-2 tugineb kiirendusanduritele. Näib, et laser registreerib halbu ja väga halbu mõõtetulemusi teravamalt, kui kiirendusanduril põhinev mõõtmistehnoloogia. Teema vajab täpsemat analüüsi, mida käesolevas aruandes kasutada olevate andmete vähesuse tõttu teha ei saa. Selleks oleks vaja teha eesmärgipäraseid võrdlusmõõtmisi ebatasastel teedel.

Põikkalde automaatmõõtmised on väga heaks ja väärtuslikuks andmeliigiks nii tee seisukorra hindamisel kui teetööde kirjelduse koostamisel. Tegemist on kiiresti ja odavalt kogutava andmeliigiga, mis võiks sisalduda iga remondiplaani tegemise koosseisus, sh ka juhul kui on olemas geoalus.

3 KUAB JA DYNATEST FWD-SEADMETE VÕRDLUS

3.1 Teoreetiline taust

FWD ehk *Falling Weight Deflectometer* on mittepurustav mõõteseade, millega hinnatakse teekatendi füüsilisi omadusi, kuid seadet kasutatakse ka raudteede ja lennuväljadega seonduvalt, kui ka muudes sarnastes valdkondades. Seadme põhimõte on, et teatud raskusega koormus kukutatakse koormusplaadile mõõtes samaaegselt koormuse suurust ja selle põhjustatud läbipainet. Tüüpiliselt kasutatakse koormust 50 kN, mis tekitab koormusplaadi alla 707 kPa kontaktpinge, kuid koormuse suuruse ja seega ka kontaktpingega saab varieerida. Iga mõõtepunkti juures mõõdetakse koormust eraldi, mis võetakse kandevõime väärtuse arvutamisel aluseks. Lennuväljadel kasutatakse reeglina suuremaid koormusi (kuni 300 kN) koos 450 mm läbimõõduga koormusplaadiga. Koormuse mõjuaeg on sõltuvalt seadmest 20…60 ms.

Tuntumad FWD tootjad on Dynatest, Sweco (toodetava seadme tänane nimi on PRIMAX, varasemalt Carl Pro ja Phoenix), Jils, PaveTesting ja KUAB. Nimetatutest viimane ehk KUAB töötati välja Rootsis aastaks 1976, kui oli käimas programm kruusateede tolmuvaba katte alla viimise osas. Siis avastati, et ühemassilised ja kiirendusanduritel põhinevad FWD-d ei sobitu kuigi hästi kruusateede mõõtmisteks, kuna võivad anda tegelikkuses kõrgemaid kandevõimeid, mis viib katendi aladimensioonimiseni [info KUABi algusest pärineb Sven Sillamäe suulisest vestlusest seadme autori Olle Tholen´iga aastal 2015].

Artiklis [4] kirjutatakse, et kui nii Dynatesti kui KUABi FWD-seadmed arvestatakse olevat piisavalt täpsed testimaks suhteliselt paksu asfaltkatte ja tasase pinnaga teekatendit, siis KUABi seade arvatakse olevat parem nõrgemate teekatendite mõõtmiseks tänu üksteisest sõltumatutesse sektsioonidesse jaotatud koormusplaadile ja siirdeandurite suuremale mõõtevahemikule, mistõttu avaldatud koormus jaotub mõõdetavale pinnale ühtlasemalt ning ei teki probleeme kiirendusanduri (ing. *geophone*) väiksema mõõtevahemikuga (kuni 2 mm).

Kirjandusest leidub väga vähe informatsiooni, mis käsitleb KUABi ja Dynatesti omavahelist võrdlust. Konkreetsed võrdlusmõõtmised (hea kandevõimega teedel) esitati juba viidatud artiklis [4], milles leiti, et seadmete mõõtetulemused küll erinesid üksteisest mõnevõrra, kuid erinevused jäid veenvalt nendesse piiridesse, mis arvutatud elastsusmoodulid oleksid pidanud olema (ing. „*the differences noted were well within the range of confidence typically applied to moduli determined solely on surface deflections for simple two-layered systems*“). KUABi tulemuste põhjal saadi tagasiarvutusega teekattele (nii asfalt- kui tsementbetoon) umbes 19% väiksemad elastsusmoodulid kui Dynatestiga ning aluspinnase puhul umbes 5% kõrgemad väärtused. Artikli autor leidis siiski, et mõlemad seadmed võimaldavad anda piisavalt täpseid ja järjepidevaid mõõtmistulemusi tingimusel, kui mõõdetava pinna deformatsioonid jäävad anduri mõõtmispiirkonda.

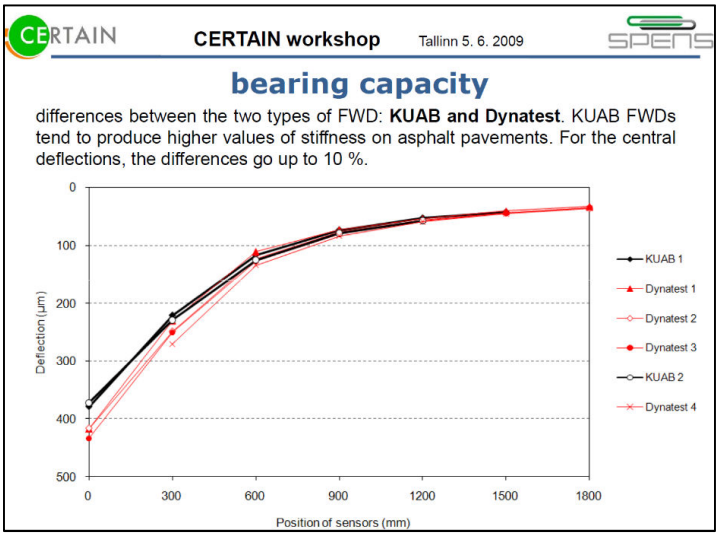
Analüüsides täpsemalt artiklis [4] esitatud andmeid FWD-mõõtmistest ning arvutades artikli tabelites 2 ja 3 leitavad väärtused ümber elastsusmooduliteks, saab näha, et Illinoisi osariigis tehtud mõõtmiste osas andis Dynatest esimeses punktis 3.7%, teises 6.3% ja kolmandas 2.5% kõrgema kandevõime kui KUAB. Saudi Araabias tehtud mõõtmiste puhul andis esimeses punktis KUAB 1.5% ja kolmandas

3.7% kõrgema kandevõime kui Dynatest ning teise punkti puhul saadi Dynatestiga 2.4% kõrgem väärtus. Arvutused olid tehtud taandades läbipainded 50 kN koormusele ehk eeldades 707 kPa kontaktpinget. Seega võib esitatud võrdlusest järeldada, et seadmed annavad suhteliselt sarnase kandevõime ning kinnitada sellega artikli autori järeldust, et mõlemad on edukalt mõõtmisteks kasutatavad.

Nii nagu ühemassilised FWD-d, sobib ka kahemassiline seade püsikatendite mõõtmiseks. KUABi kahemassilised seadmed on laialt levinud USAs (seda kasutab muuhulgas ka riiklik lennundusamet, foto 3.1), Jaapanis (samuti mitmetel lennuväljadel), Soomes ja Rootsis, kuid neid leidub üle kogu maailma (seadmete levik on näidatud www.erikuab.com).

Foto 3.1. KUABi põhiseade ehk kahemassiline FWD. Foto allikast: U.S Department of Transportation. Federal Aviation Administration, [5]

Joonisel 3.1 on esitatud väljavõte allikast [6], mille alusel nähtub, et KUABi seade annab asfaltkatete puhul tulemuseks kuni 10% suurema jäikuse võrreldes Dynatesti seadmega. Joonisel on esitatud KUABi seadmega saadud läbipaindeks ca 380 µm ning Dynatestil ca 420 µm. Oletades, et mõõtmistingimused on olnud identsed (707 kPa kontaktpinge, asfaltkatte temperatuur 15ºC, mõõtmiskuu aprill), tähendavad need allikas [2] toodud valemiga arvutatult kandevõimeid vastavalt 307 MPa ja 284 MPa ehk tulemused erinevad ca 8%.



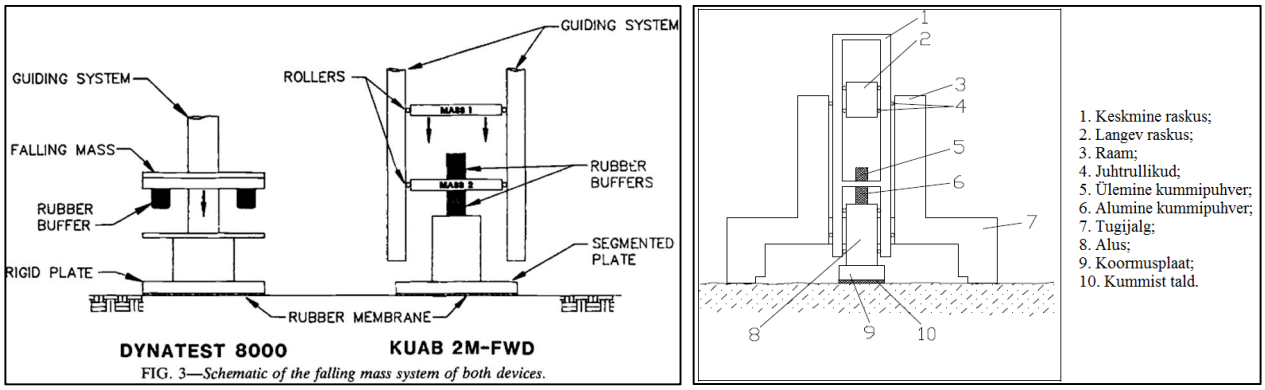
Joonis 3.1. Euroopas tehtud võrdlusmõõtmised KUABi ja Dynatesti vahel, väljavõte allikast [6]

KUABi kahemassilise seadme peamisteks erinevusteks võrreldes teiste tootjate seadmetega on koormussüsteem, kasutatavad siirdeandurid ja segmenteeritud koormusplaat. KUAB kasutab põhiseadmes (standardmudelis) kahemassilist süsteemi ja vajumianduritena seismomeetreid. Kõikides ülejäänud FWD-seadmetes (sh ka KUABi soodsamates mudelites) kasutatakse ühemassilist koormussüsteemi ja anduritena kiirendusandureid (ing. *geophone*).

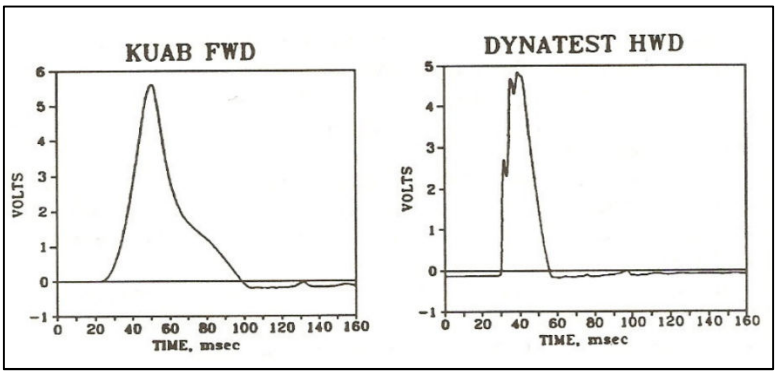
Kahemassiline süsteem võrdluses ühemassilisega on esitatud joonisel 3.2 ning täpsem skeem joonisel 3.3. Kahemassilise süsteemi eelis on see, kuidas koormus mõõdetavale pinnale langevast raskusest tulenevalt jaotub: see võimaldab tekitada pehmema koormusimpulsi avaldumise nagu nähtub jooniselt 3.4.

FWD seadmega mõõdetakse iga anduri juures maksimaalset läbipainet, mille alusel joonistub välja vajumikauss. Vajumikausi analüüsil arvestatakse nö statsionaarse või staatilise „kausiga“, kuid seoses sellega tuleb sisse viga, kuna andurite maksimaalsed läbipainded ei toimu samaaegselt, vaid vastavalt koormusimpulsi jaotumisele mõõdetavas konstruktsioonis. KUABi kahemassilise süsteemi puhul on seda vea komponenti vähendatud, kuna koormuse tõusu aeg on pikem, mis on sarnasem liikuva sõiduki poolt tekitatud mõjule. Kasutades piisavalt pikka koormuse tõusu aega, viiakse andurite maksimaalsete lugemite ajaline erinevus minimaalseks [8]. Taoline nüanss on eelkõige oluline kihilise süsteemi eluea hindamisel.

KUABi tootja väitel on kahemassilisel süsteemil parem korratavus ja annab täpsemaid tulemusi eriti siis, kui mõõdetava pinna läbipaine on suur (s.t kandevõime madal), mis teeb kahemassilise süsteemiga FWD kruusateedel eelistavamaks. Ühemassilise koormussüsteemi puhul olla koormuse impulss häiritud seoses sellega, kui üks mass kukub kummipuhvrile tekitades kõrge sagedusega võnkumise põhjustades madalama korratavusega maksimaalseid koormusi ja koormuse suurenemise aegu. Kasutades lühikesi koormusimpulsi aegu, võib kandevõime suurema läbipaindega kohtades olla ülehinnatud. Kogu koormusimpulsi kestvus ühemassilise süsteemiga seadmetel on olenevalt tootjast vahemikus 22…28 ms, kuid KUAB kahemassilisel on see 55 ms ja koormuse tõusu aeg on ca 22 ms.



Joonised 3.2 ja 3.3. Võrdlus Dynatesti ja KUABi koormussüsteemide vahel ning kahemassilise süsteemi detailsem skeem. Joonised pärinevad allikatest [4] ja [7]

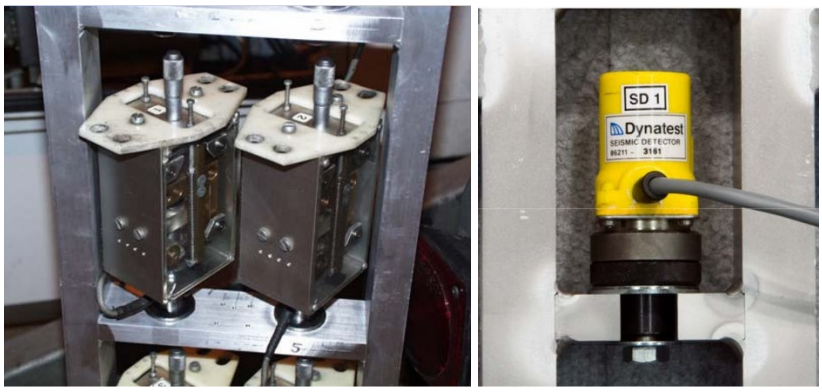


Joonis 3.4. Koormuse avaldumise ajaline graafik KUAB vs Dynatest [9]

Kasutatavad siirdeandurid. KUABi kahemassilises seadmes on kasutusel seismomeetrid (fotod 3.2 ja 3.4), muudes seadmetes kiirendusandurid (fotod 3.3 ja 3.5). Seismomeetrid kasutavad referentspunktina vedrusüsteemi ja vajum mõõdetakse siirde-, mitte kiirendusanduriga, nagu muudel FWD seadmetel. Kasutusel olevad seismomeetrid võimaldavad etteantud täpsuse piires (+/- 1 µm +/- 2%) mõõta 5 mm vajumit (50 kN koormuse juures E-moodul ca 30 MPa), kuid maksimaalne võimalik mõõdetav vajum on kuni 15 mm. Enamasti on kiirendusandureid kasutatavate FWD-seadmete puhul maksimaalse vajumise piiriks antud 2 mm, kuigi ka nende puhul on võimalik mõõta natukene suuremaid läbipaindeid, kuid siiski mitte rohkem, kui ca 3,5 mm.

Nõrga kandevõime puhul võib juhtuda, kui koormamise tagajärjel ei jõua koormustalla all olev andur suure läbipainde tõttu tagasi nullasendisse registreerides väiksema läbipainde, kui sellele järgnev andur. Seetõttu on SCI väärtused negatiivsed. Taolisel olukorral tuleb vähendada langeva koormuse suurust, kuid siis ei ole koormus enam vastavuses normteljele ja koormuse mõju on vertikaalis allapoole liikudes väiksem. Allika [10] alusel on see probleem, kuna koormuse ja deformatsiooni suhe on teekatendite puhul tihti mittelineaarne. Kui kandevõime on mõõdetud madalama koormuse juures ning tulemust on seejärel ekstrapoleeritud suuremale koormusele, võivad sisse tulla tõsised vead.

Hindamaks seega täpselt vaadeldava katendi või konstruktsiooni vastupanuvõimet projektsele koormusele, peaks ka FWD seadmega mõõtes kasutama sarnast koormust (kui normtelg on 10t, millest pool kandub ühele telje poolele, tuleks ka FWD-ga mõõtes kasutada 5t ehk 50 kN koormust). Ka allikas [9] rõhutatakse, et väikese koormusega mõõtmisega võidakse saada väga eksitavaid tulemusi, kui seeläbi üritatakse hinnata katendi toimivust vastavuses kõrgele koormusele.

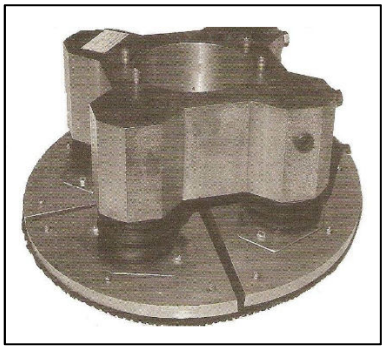
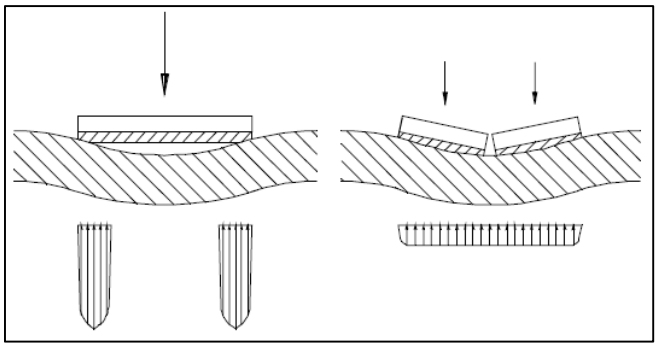


Fotod 3.2 ja 3.3. KUABi seismomeetrid ja Dynatesti andur kalibreerimiseks ette nähtud rakises. Fotod pärinevad vastavalt allikatest [11] ja [12].

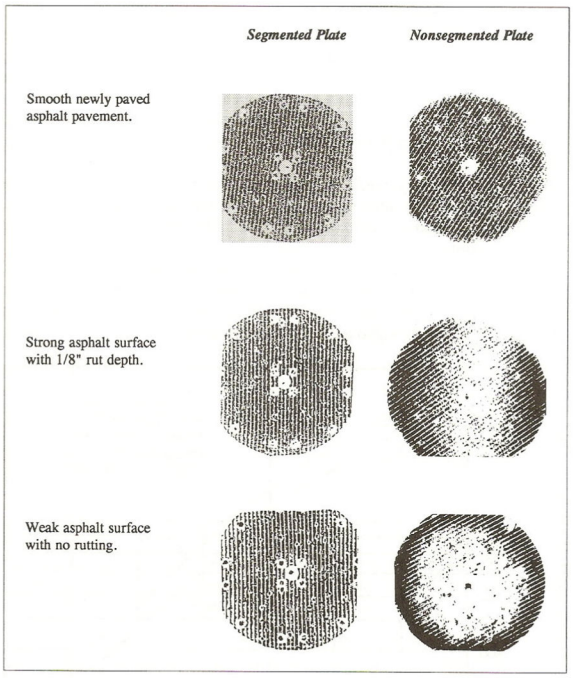
Fotod 3.4 ja 3.5. KUABi sisemus, kus on näha kahemassilist koosmussüsteemi ja seismomeetreid võrdluses Dynatesti anduritega [fotod: Sven Sillamäe]

Koormusplaat. KUABi koormuplaat on parema pingejaotuse huvides jaotatud nelja sektsiooni (joonis 3.5), muudel seadmetel kasutatakse enamasti kas jäika või pooleks jaotatud plaati.

FWDga mõõtmisel on oluline, et koormus jagatakse koormusplaadilt mõõdetavale pinnale ühtlaselt, s.t koosmusplaadi talla ja mõõdetava pinna vahel oleks ühtlane kontakt, nagu näiteks mõõtes heas korras maanteed või lennurada. Kui mõõdetav pind ei ole ühtlane (nagu kulunud asfaltkate) ja/või kui pind lahtine ja/või pehme (nagu kruusateel), tekivad jäiga plaadi all erineva pingekonsentratsiooniga kohad (joonised 3.6 ja 3.7), mis annab mõõtetulemuste kasutamisel analüüsiprogrammides väärasid tulemusi, kuna eeldatakse pingete ühtlast jagunemist koormusplaadi all. Seetõttu on kruusateede mõõtmisel oluline, et koormusplaat suudaks „muganduda“ mõõdetava pinnaga (joonis 3.6), mistõttu on eelistatavam kasutada jäiga plaadi asemel nelja võrdsesse sektsiooni jaotatud plaati.

Joonised 3.5 ja 3.6. KUABi nelja sektsiooni jagatud koormusplaat [9], mille eelis on mugandumine mõõdetava pinnaga, mistõttu koormusjaotus on ühtlasem [7]



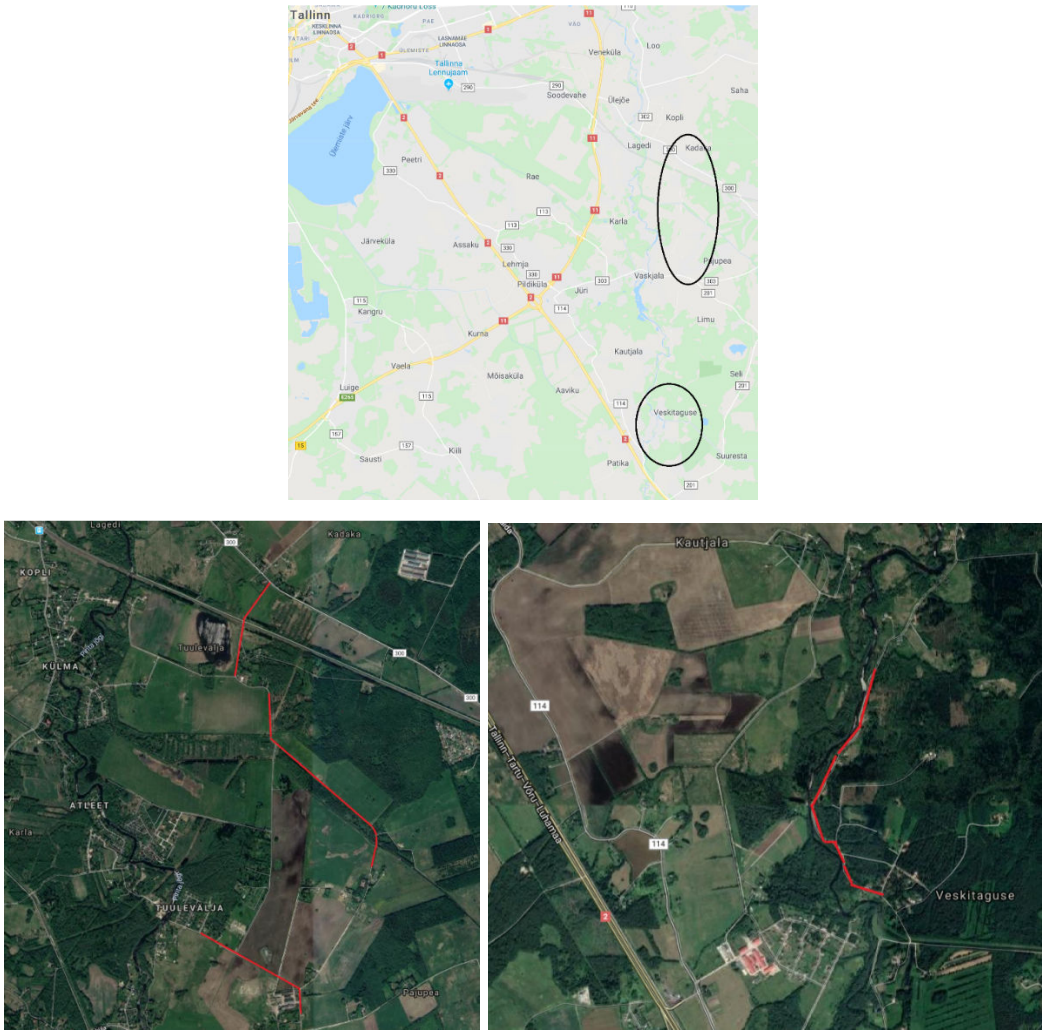
Joonis 3.7. Väljavõte allikas [13] esitatud mõõtmistulemustest pingejaotuse jagunemisest koormusplaadi all olenevalt mõõdetava pinna seisukorrast.

3.2 Mõõtmisandmete võrdlus

Käesoleva projekti raames oli võimalus võrrelda KUABi kahemassilist FWD-d (KUAB FWD 50) Dynatest FWD 8002-ga. Mõõtmised teostati Rae vallas asuvatel valla haldusalasse kuuluvatel teedel, mis olid nii kruus-, kerg- kui asfaltkattega. Kruuskattega teed olid Tankisilla ja Veskitaguse tee (mõned punktid mõõdeti ka kergkattelt), kergkattega oli Pajupea tee (millelt mõõdeti ka peatükis 2 käsitletud tasasust ja põikkallet) ning asfaltkattega oli Vesiroosi tee. Kõik mõõtmistulemused on esitatud lisas 2.

Võrdlusmõõtmiste põhjal nähti, et seadmed annavad mõnevõrra erinevaid tulemusi. KUAB kippus suuremate kandevõimete korral näitama kõrgemaid, kuid väiksemate puhul madalamaid väärtusi kui Dynatest. Tulemused on tõenäoliselt mingil määral mõjutatud sellest, et kandevõimeid ei õnnestunud mõõta samal päeval, vaid mõõtmiste vahele jäi nädal. KUABiga mõõdeti 13.10.19 (pühapäeval vahemikus kell 18…21), kusjuures etteteatamisaeg oli üks päev (antud sügis oli Soomes erakordselt pingeline mõõtmisperiood, mistõttu oli sobilikku aega raske leida ning ette kokku leppida). Dynatestiga õnnestus mõõta alles 22.10.19 ennelõunat. Ilmastikutingimused enne mõõtmisi ning mõõtmiste ajal olid väga sarnased – eelnevatel päevadel oli olnud vihmasadu, 13.10 mõõtmise ajal olid õhutemperatuurid vahemikus 5…8 kraadi, 22.10 ca 9 kraadi, kuid sellegipoolest võisid teede kandevõimed olla sellest ajalisest erinevusest mõjutatud.

Mõõtepunktide asukohad on esitatud joonistel 3.8 ning mõningad iseloomulikud pildid teedest fotodel 3.6…3.11. Üldiselt olid teekatted halvas seisukorras ning nõrga kandevõimega, mis võimaldas täita lepingu lähteülesandes nõutut.



Joonis 3.8. Kandevõimemõõtmiste võrdlusena kasutatud teelõikude asukohad.

Fotod 3.6 ja 3.7. Pajupea tee külmakerkeline sektsioon. Vesiroosi teel leidus hulgaliselt võrkpragusid.

Fotod 3.8 ja 3.9. Tankisilla tee oli nõrga kandevõimega kruusatee.

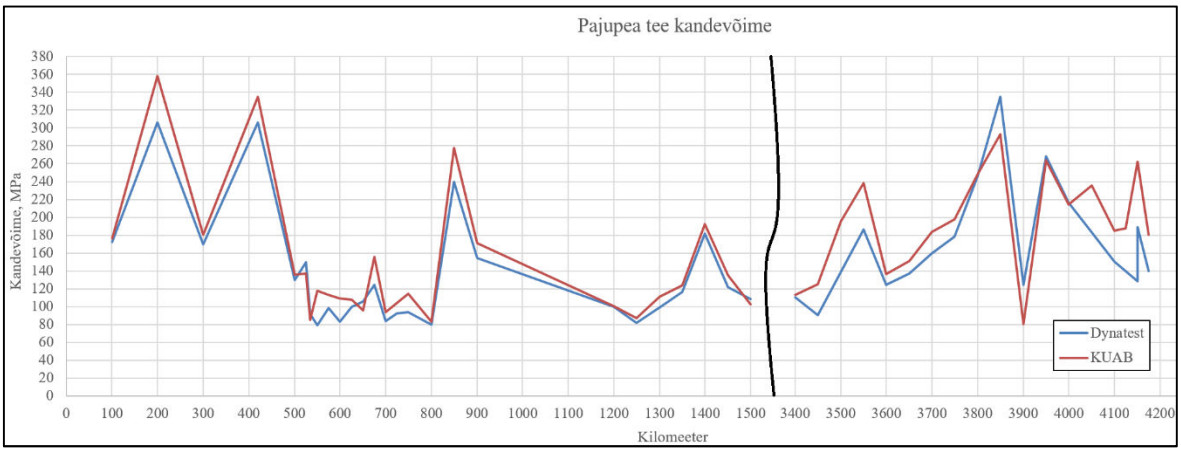
Fotod 3.10 ja 3.11. Veskitaguse tee oli nõrga kandevõimega kruusatee, mille katteks oli freespuru. Mõned mõõtepunktid võeti ka pinnatud sektsioonidelt.

Mõõtetulemused on esitatud joonistel 3.9…3.12, kus kandevõime on arvutatud allika [1] valemi 1 abil nii kruus- kui kergkattega teede puhul. Kergkatete puhul mõõtmistulemustele temperatuuriparandust ei tehtud, kuna eri seadmetega tehtud mõõtmiste ajal olid õhu- ja kattetemperatuurid olid pea võrdsed.

Joonisel 3.9 on esitatud kergkattega (freespuru + pindamine) Pajupea tee külmakerkeliste sektsioonide kandevõimed:

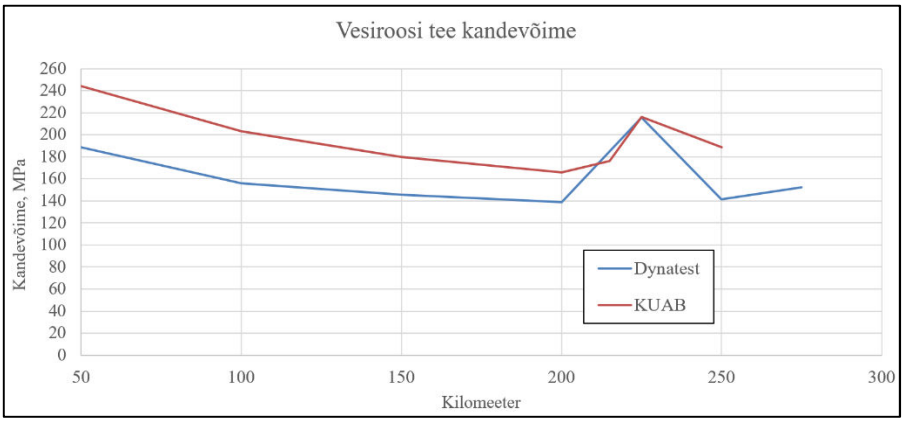
- keskmine kandevõime (44 punkti) Dynatestiga 150 MPa, KUABiga 167 MPa (erinevus ca 10%);
- minimaalne kandevõime Dynatestiga 79 MPa, KUABiga 81 MPa;
- kõrgeim kandevõime Dynatestiga 335 MPa, KUABiga 385 MPa.

Graafikud on vägagi võrreldavad, kõik kõrgema ja nõrgema kandevõimega kohad tulid välja, kuigi kohati olid erinevused oodatust suuremad. Antud mõõtmistega saadi KUABiga keskmiselt veidi kõrgemad väärtused (ca 10%), kuigi tulemused on igati võrreldavad.



Joonis 3.9. Pajupea tee kandevõimemõõtmise võrdlustulemused.

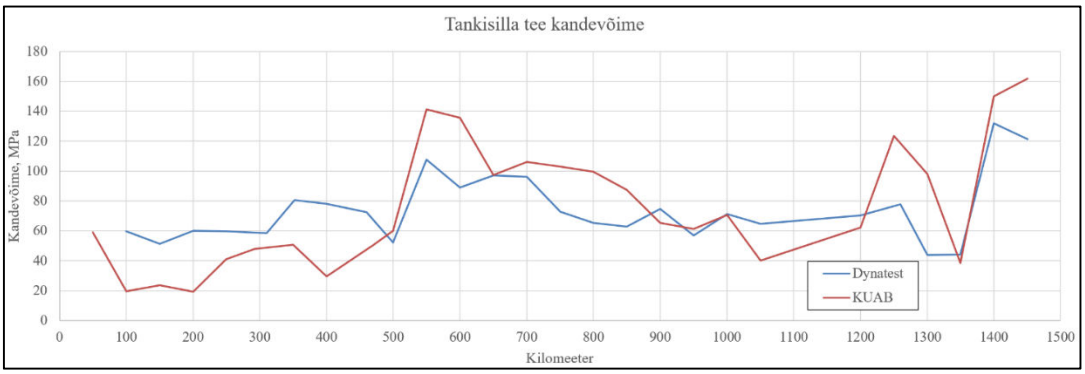
Joonisel 3.10 on esitatud võrkpragudega asfaltkattega Vesiroosi tee kandevõimed, mille tulemused on mõnevõrra vastuolulised. Alguses on kandevõimete erinevus olnud märkimisväärne, kuid lõpus pea identne. Võimalik, et põhjus peitub selles, et kuni kilomeetrini „200“ (ehk 200 m teelõigu algusest) oli tegemist asfaltkattega, kuid sealt edasi lühike geovõrguga armeeritud katselõik. Mõõtmistulemuste erinevus asfaltkattega lõigult on ebaloogiliselt kõrge (ca 20 %), mille põhjus võib olla selles, et mõõtmisi ei saanud teostada samaaegselt. Teisalt on ka mõõtepunkte antud teel võrdluse tegemiseks liiga vähe (7 tk), mistõttu ei saa nende põhjal teha esinduslikke järeldusi.



Joonis 3.10. Vesiroosi tee kandevõimemõõtmise võrdlustulemused.

Joonisel 3.11 on esitatud kruuskattega Tankisilla tee kandevõimed, millest nähtub, et KUABiga saadakse madalamate kandevõimega kohtades väiksemad, kuid suurema kandevõimega paremad väärtused. Kandevõime mõõdeti iga 50 m tagant:

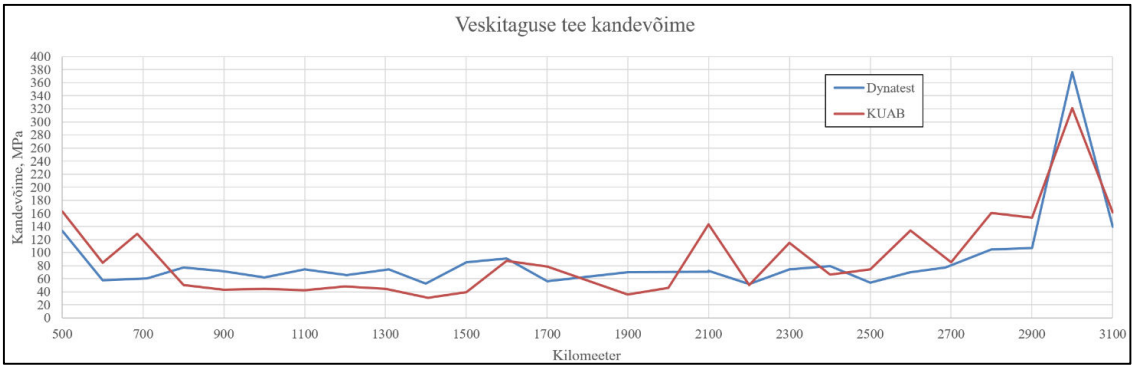
- keskmine kandevõime (27 punkti) Dynatestiga 74 MPa, KUABiga 76 MPa;
- minimaalne kandevõime Dynatestiga 44 MPa, KUABiga 19 MPa;
- kõrgeim kandevõime Dynatestiga 132 MPa, KUABiga 162 MPa.



Joonis 3.11. Tankisilla tee kandevõimemõõtmise võrdlustulemused.

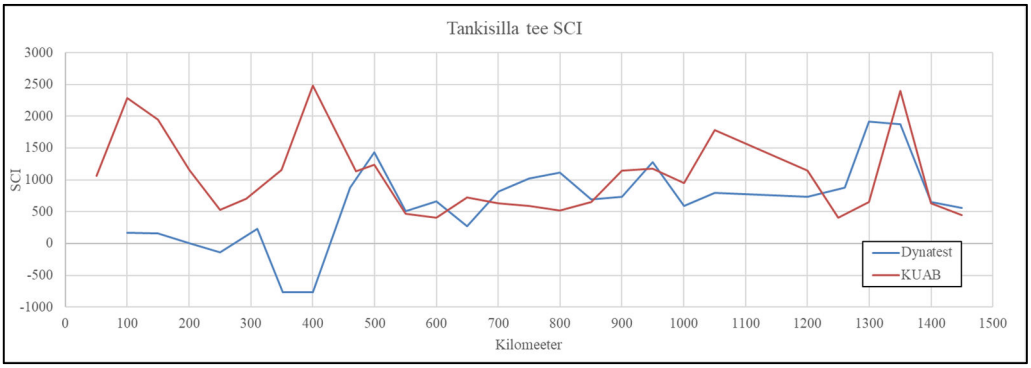
Joonisel 3.12 on esitatud freespurukattega Veskitaguse tee kandevõimed, millest nähtub, et sarnaselt Tankisilla teele saadakse KUABiga madalamate kandevõimega kohtades väiksemad, kuid suurema kandevõimega paremad väärtused. Kandevõime mõõdeti iga 100 m tagant:

- keskmine kandevõime (26 punkti) Dynatestiga 89 MPa, KUABiga 94 MPa;
- minimaalne kandevõime Dynatestiga 52 MPa, KUABiga 30 MPa;
- kõrgeim kandevõime Dynatestiga 376 MPa, KUABiga 321 MPa.

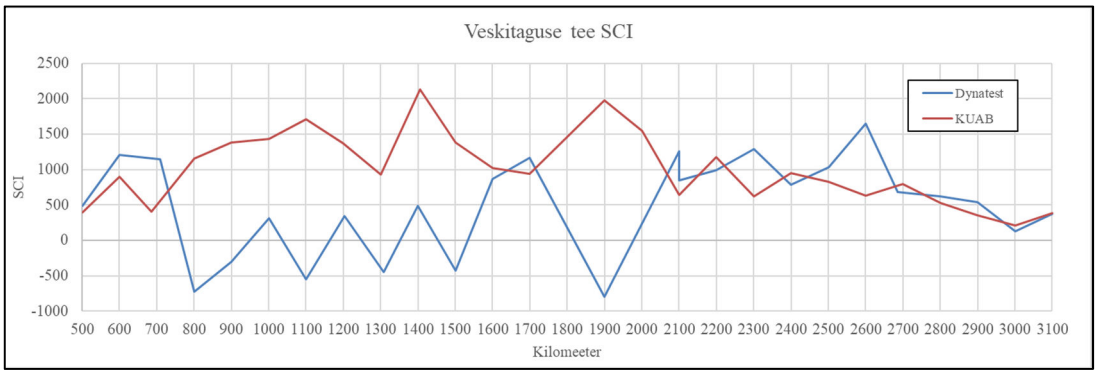


Joonis 3.12. Veskitaguse tee kandevõimemõõtmise võrdlustulemused.

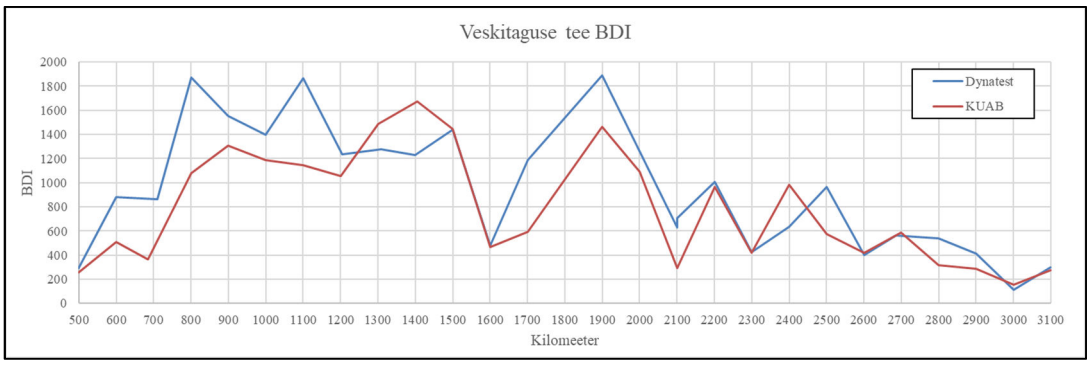
Vaadates nii Tankisilla tee kui Veskitaguse tee SCI väärtusi joonistel 3.13 ja 3.14 nähtuvad nendelt piirkonnad, kus mõõtmise ajal oli Dynatesti seadmel ületatud D0 anduri mõõtepiirkond ning kus saadi 300 mm anduriga D0 anduri näidule mittevastav tulemus: esimesel puhul võib selleks hinnata esimest 400 m, teisel puhul vahemikku 500…2000 m. Muud vajumikausi parameetrid (vahemik 300…600 mm ehk BDI ja 1200…1500 mm ehk BCI) on omavahel paremini võrreldavad ning on üpriski heas korrelatsioonis (joonised 3.15 ja 3.16).



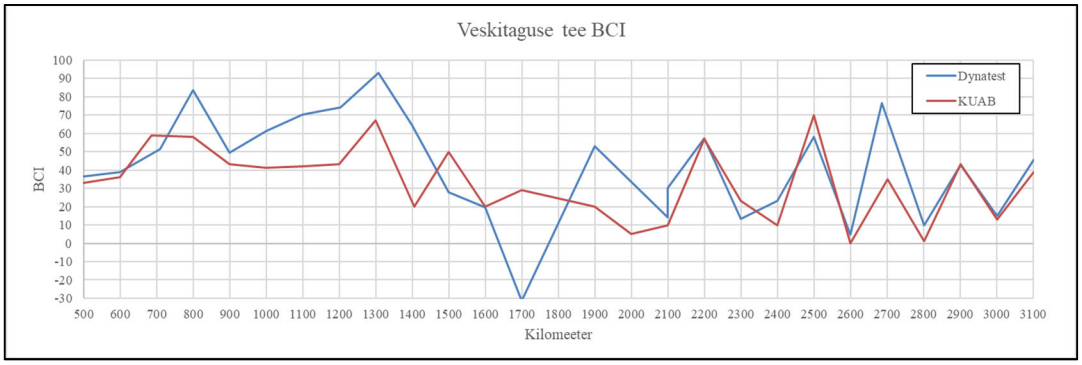
Joonis 3.13. Tankisilla tee SCI väärtuste võrdlus.



Joonis 3.14. Veskitaguse tee SCI väärtuste võrdlus.

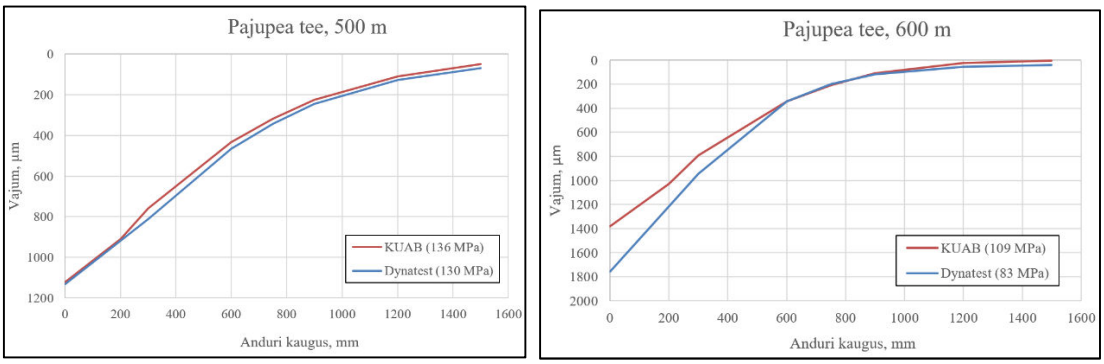


Joonis 3.15. Veskitaguse tee BDI väärtuste võrdlus.



Joonis 3.16. Veskitaguse tee BCI väärtuste võrdlus.

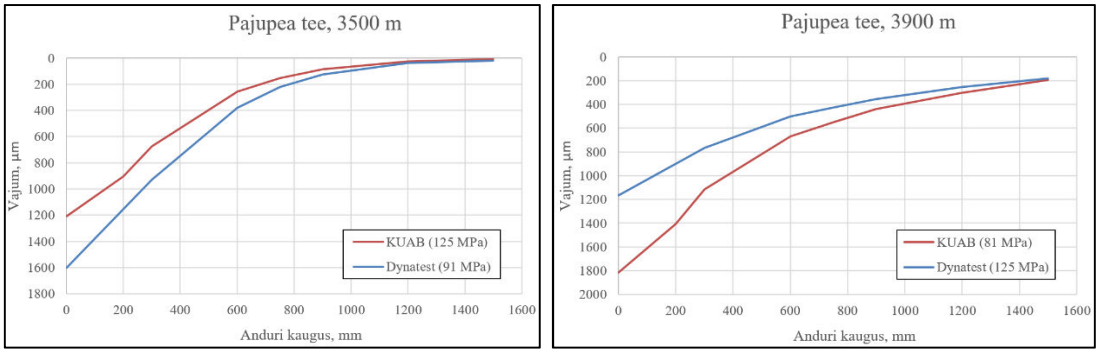
Hindamaks mõõtmistulemusi detailsemalt ning võrdlemaks seadmeid täpsemalt, saab vaadata erinevate individuaalsete mõõtmispunktide juures vajumikaussi, s.t seda, mis väärtusi andurid on näidanud. Joonisel 3.17 on esitatud Pajupea tee vajumikausside võrdlused asukohtades 500 m (KUAB 136 MPa, Dynatest 130 MPa) ja 600 m (KUAB 109 MPa, Dynatest 83 MPa). Punktis „500 m“ on vajumikausid sisuliselt identsed ning punktis „600 m“ on andurite näidud alates 600 mm juures pea samad. Seega võib järeldada, et seadmete tulemused on omavahel vägagi võrreldavad, kuid erinevuse on tõenäoliselt tinginud teekatendi ülemise osa seisukord.



Joonis 3.17. Seadmete vajumikausside võrdlused Pajupea tee punktidest „500 m“ ja „600 m“.

Pajupea tee teises pooles tekkis mõõdetud kandevõimetes sisse suurem erinevus, kus KUABiga saadi enamasti kõrgemad kandevõimed, kuid mitte alati. Nt punktis „3500 m“ saadi KUABiga 125 MPa, Dynatestiga 91 MPa, kuid punktis „3900 m“ vastavalt 81 MPa ja 125 MPa (joonis 3.18). Viimases punktis on näha, et tagumiste andurite (1200 ja 1500 mm) näidud on väga kõrged, mis näitab, et kogu teekatend koos aluspinnasega on olnud liigniiske koosnedes niiskustundlikest materjalidest.

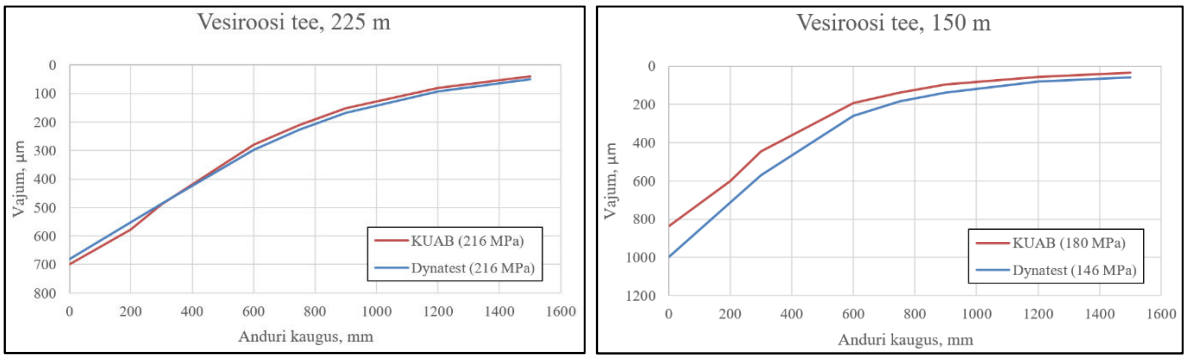
Kui enamasti saadi Pajupea teel KUABiga mõõtes kõrgemad kandevõimed, siis punktides 525, 1500, 3900, 3950 ja 4000 m oli tulemus vastupidine. Kõikide nende punktide ühisnimetajaks on väga kõrge 1500 mm juures oleva anduri väärtus (vahemikus 81…194 µm) ehk olukord, kus aluspinnas on nõrk. Kui viidatud punktid välja arvata, oli 1500 mm anduri keskmine näit KUABiga 27 µm ja Dynatestiga 45 µm, mis teiselt poolt näitab, et ühe nädalaga oli pinnaste veesisaldus tõusnud, mis on järelikult viinud ka madalama kandevõimeni nagu seda Dynatestiga ka mõõdeti.



Joonis 3.18. Seadmete vajumikausside võrdlused Pajupea tee punktidest „3500 m“ ja „3900 m“.

Pajupea tee mõõtmistulemuste erinevused joonisel 3.9 on pidanud tulenema sellest, et mõõdetud punktide asukohad tõenäoliselt ei klappinud 100% ning et kahe mõõtmise vahele jäi nädalane periood. Võrreldes erinevate punktide vajumikausse omavahel saab järeldada, et seadmed on üksteisega suhteliselt hästi võrreldavad ning mõlemad on edukalt kasutatavad nii teedevõrgu kui projektide tasemel kandevõimemõõtmisteks.

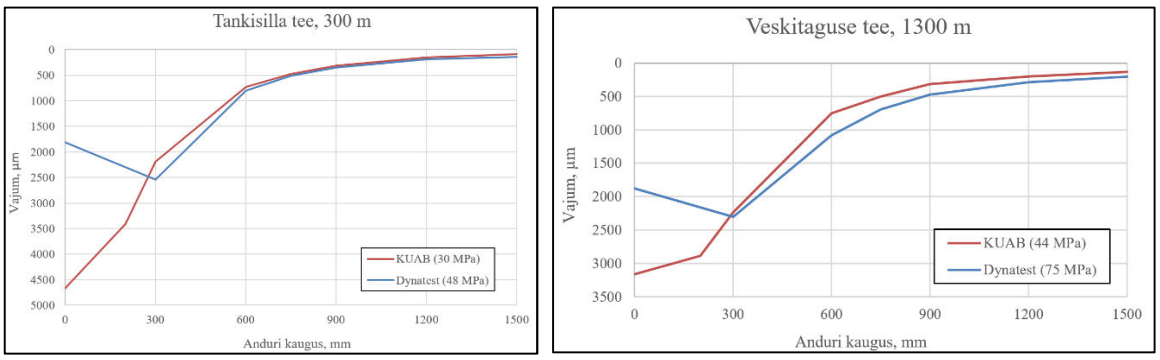
Pajupea tee vajumikaussidest tulnud järeldusi toetavad ka Vesiroosi tee tulemused. Joonisel 3.19 on võrreldud punkte „225 m“, kus kandevõimed on olnud identsed ja „150 m“, kus KUABiga on saadud väiksemad vajumid, aga kus vajumikauss viitab, et hilisema mõõtmise korral on pinnas pidanud olema suurema niiskussisaldusega, s.t väiksema kandevõimega.



Joonis 3.19. Seadmete vajumikausside võrdlused Vesiroosi tee punktidest „225 m“ ja „150 m“.

Põhimõttelised ja suured erinevused seadmete vahel ilmnevad, kui vaadata Tankisilla tee ja Veskitaguse tee madala kandevõimega punkte (alla 50 MPa). Joonise 3.20 vasakpoolsel graafikul on kujutatud Tankisilla tee punkt „300 m“ , kus KUABi alusel saadakse kandevõimeks 30 MPa, kuid Dynatestiga 48 MPa ning joonise 3.20 parempoolsel graafikul Veskisilla tee punkt „1300 m“, kus tulemused on vastavalt 44 ja 75 MPa.

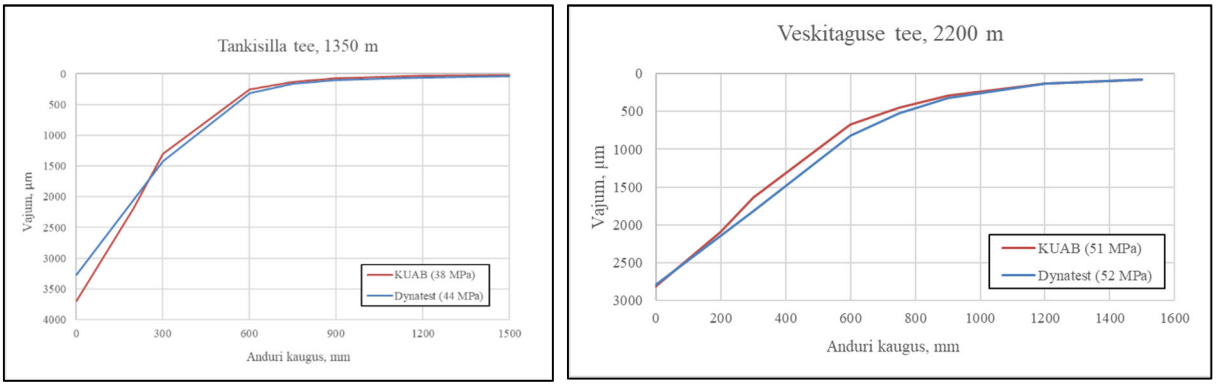
Allikas [14] toodi välja, et kandevõime alla 30 MPa on väga nõrk, 30…60 MPa nõrk ning 60…80 MPa rahuldav ehk antud mõõtmistulemuste näol on tegemist suure erinevusega. Ka Dynatestiga oleks saanud sarnase tulemuse kui KUABiga, kuid seda takistas kasutatava siirdeanduri liiga väike amplituud, mistõttu vaadates lihtsalt kandevõime numbrilist väärtust saab ette vale kujutelma, et olukord ei olegi „väga nõrk“ või et see on „rahuldav“, kuigi peaks olema „nõrk“. Kui Dynatesti mõõtetulemuste põhjal joonistada välja vajumikauss, selgub hoopis teine olukord, mille põhjal saab anda ka adekvaatsema tulemuse. KUABi siirdeandurite pikem amplituud võimaldab probleemideta mõõta ka nõrkasid katendeid (kruusateed, metsateed) 50 kN koormusega, kuid Dynatesti kasutamisel peaks seal koormust vähendama või üritama järeltöötluse käigus D0 anduri näitu ekstrapoleerida.



Joonis 3.20. Seadmete vajumikausside võrdlused Tankisilla tee punktist „300 m“ ja Veskitaguse tee punktist „1300 m“.

Nii Tankisilla kui Veskitaguse teedel leidus punkte, mille vajumikausid on sisuliselt identsed, nt joonis 3.21, mis olid Dynatestiga mõõtes madalaima võimaliku kandevõimega ilma, et vajumikausis oleks sees anomaaliaid. Tankisilla teel saadi Dynatestiga 44 MPa (millele puhul 49.5 kN juures D0 = 3722 µm), KUABiga 38 MPa (48.7 kN juures D0 = 3701 µm), Veskitaguse teel saadi Dynatestiga 52 MPa (49.13 kN juures D0 = 2790 µm), KUABiga 51 MPa (48.7 kN juures D0 = 2871 µm). Nendest andmetest järeldub, et normkoormusega 50 (±2) kN mõõtes on minimaalne kandevõime, mida

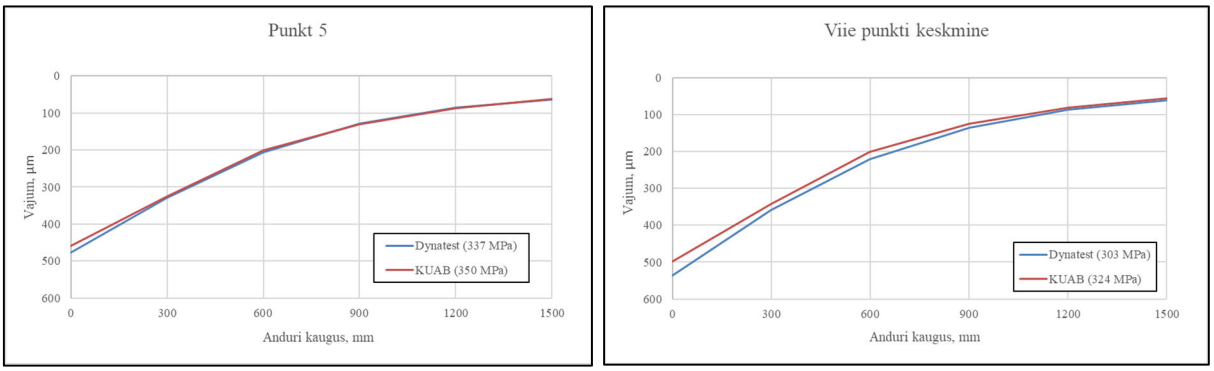
Dynatestiga mõõta saab, 45…50 MPa. See ei tähenda, et Dynatesti ei oleks võimalik kruusateedel üldse kasutada, kuid see nõuab tulemuste hindamisel kas järeltöötlust või mõõtmise ajal koormuse vähendamist.



Joonis 3.21. Tankisilla teel punktis 1350 m ja Veskitaguse teel punktis 2200 m olid seadmete vajumikausid sisuliselt identsed.

Lisaks eelnevalt analüüsitud võrdlusmõõtmistele, on võimalik võrdluseks kasutada veel ka viite mõõtepunkti ühelt Viljandi tänavalt 2017. a kevadest. KUABiga tehti mõõtmised 12.04.17 Dynatestiga võrreldes sarnase õhutemperatuuri juures enam-vähem samadest punktidest. Tegemist ei ole küll konkreetselt võrdlusmõõtmistega ning neid ei tehtud kontrollitult samadest punktidest, kuid teatud ülevaate võimaldavad tulemused anda. Mõõteväärtused on võrdsustatud omavahel kasutades allikas [15] toodud aluseid (temperatuuriparandused ning elastsusmoodul). Arvutatud elastsusmoodulid võrdluspunktide kaupa on esitatud tabelis 3.1.

Võrdlusest nähtub, et keskmine esinevus mõõtetulemuste osas on umbes 7%, kuid viimase punkti (punkt 5) vajumikauss oli pea identne (joonis 3.22 vasakpoolne graafik). Joonise 3.22 parempoolsel graafikul on esitatud viie punkti keskmised vajumikausside väärtused, millest nähtub, et KUAB kipub näitama veidi kõrgemat kandevõimet, kuid erinevus on väike.

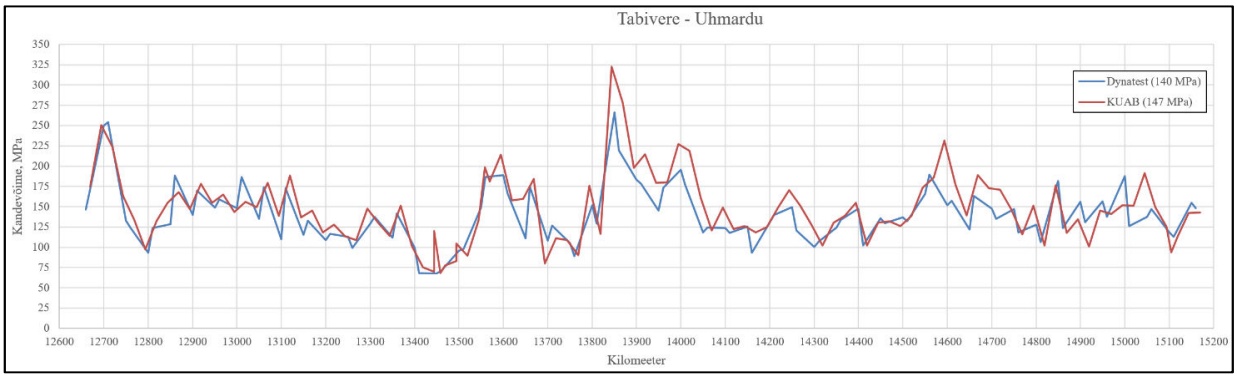


Joonis 3.22. Vajumikausside võrdlus Viljandi tänaval, esimene joonis võrdleb punkti 5, mis on pea identsed ning teine viie punkti keskmisi väärtusi, kus kandevõime erinevus on ca 7%.

Tabel 3.1. Viljandi tänaval saadud mõõtmistulemused

Punkti nr	Seade	Jõud	D0	D30	D60	D90	D120	D150	E-moodul	Erinevus,%
1	KUAB	50.2	585	365	195	117	76	52	273	7
	Dynatest	50.7	635	395	220	127	81	60	254	
2	KUAB	50.5	470	307	166	93	56	38	342	10
	Dynatest	50.7	524	331	187	106	65	44	308	
3	KUAB	50.7	469	326	191	115	71	48	344	10
	Dynatest	50.4	514	348	215	133	86	59	312	
4	KUAB	50.1	510	384	253	166	110	76	313	3
	Dynatest	50.5	528	392	273	180	116	80	305	
5	KUAB	50.5	459	325	201	130	88	62	350	4
	Dynatest	50.5	477	328	205	129	86	64	337	
Keskmine erinevus: ca 7%										

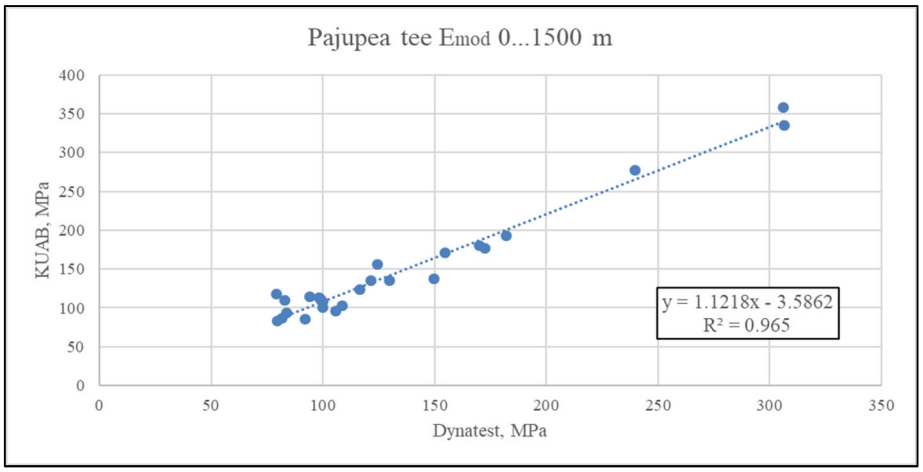
Veel ühe võrdlusena saab kasutada riigitee nr 14209 Tabivere – Uhmardu km 12.6…15.2 mõõtmistulemusi, kus KUABiga mõõdeti kuupäeval 12.05.2016 ja Dynatestiga 13.05.2016. Kandevõime võrdlustulemused on esitatud joonisel 3.24. KUABi tulemustest arvutatud keskmine kandevõime oli 147 MPa ja Dynatestil 147 MPa ehk erinevuseks ca 5%. Ka nendest andmetest on näha, et KUAB kipub näitama veidi kõrgemaid kandevõimeid, antud teel ühtegi väga nõrka punkti ei olnud, mistõttu seda võrdlust teha ei saa.



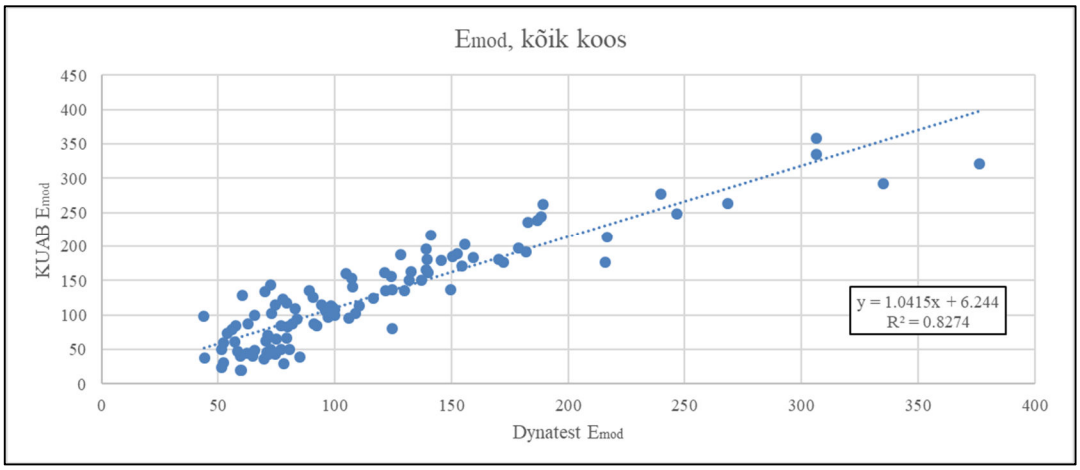
Joonis 3.24. Kandevõimemõõtmiste võrdlus riigiteel nr 14209 Tabivere – Uhmardu km 12.6…15.2.

Lisaks eelnevale saab seadmete omavahelise võrdluse esitada ka punkt-punkti kaupa, mis võimaldab koostada sõltuvusgraafikud ja -valemid. Kõige kõrgem korrelatsioon ilmneb Pajupea tee vahemikus 0…1500 m, kus $R^2 = 0{,}965$ (joonis 3.25) ning kõige madalam Vesiroosi teel, kus $R^2 = 0.03$. Tankisilla ja Veskitaguse tee kandevõimeid ei saa taoliselt võrrelda, kuna D0 anduri siirded ületasid väga mitmest punktis Dynatesti mõõtepiirkonna, kuid kui sellest hoolimata siiski arvestada võrdluses

kõikide Rae vallas mõõdetud teede punktidega, saadakse $R^2 = 0.83$, mis on hea korrelatsioon (joonis 3.26).

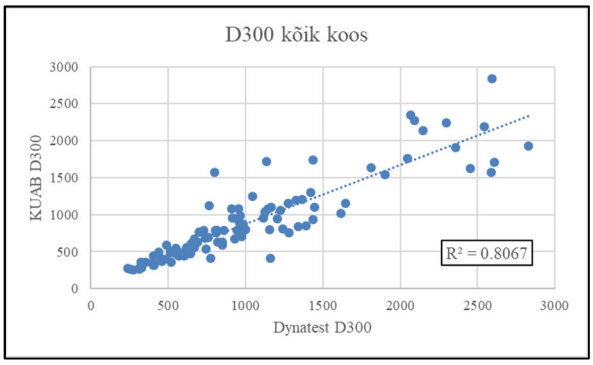


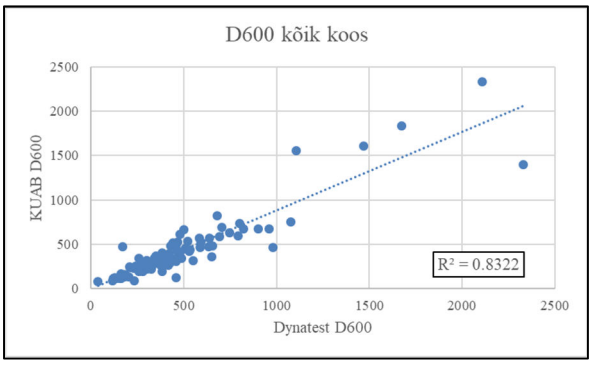
Joonis 3.25. Pajupea tee punktide 0…1500 m kandevõime (MPa) Dynatest vs KUAB võrdlus.



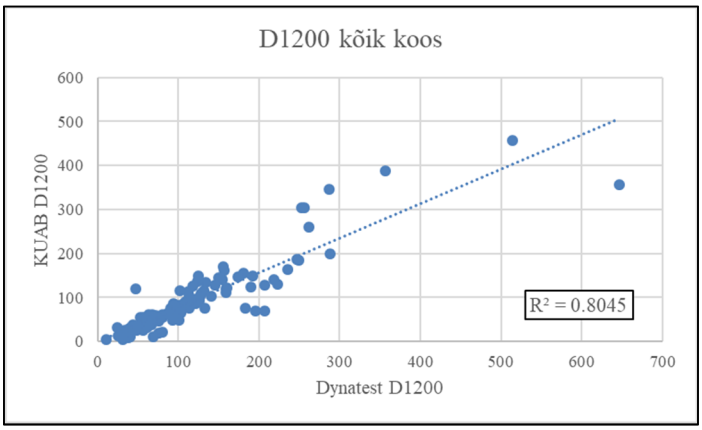
Joonis 3.26. Rae valla teedel mõõdetud kandevõime (MPa) Dynatest vs KUAB võrdlus.

Arvestades seda, et suuremate läbipainete puhul ületati Dynatesti D0 anduri mõõtepiirkond, saaks teha võrdlust kogu andmehulgaga alates andurist D300. Joonistel 3.27…3.29 on esitatud korrelatsioonigraafikud anduritele D300 (võrdlusest on eemaldatud punktid, kus KUAB registreeris siirde üle 3000 µm), D600 ja D1200, mille puhul nähtub, et R^2 ületab kõigil juhtidel 0.8 ehk korrelatsioon on hea.





Joonised 3.27 ja 3.28. Rae valla teede D300 ja D600 anduri mõõtepunktide omavaheline võrdlus.



Joonis 3.29. Rae valla teede D1200 anduri mõõtepunktide omavaheline võrdlus.

3.3 Kokkuvõte Dyantesti ja KUABiga tehtud võrdlustest

Nii kirjandusest leiduva info põhjal, varasemalt Eestis kui käesoleva projekti tarbeks tehtud mõõtmiste põhjal saab järeldada, et mõlemad seadmed on kandevõimemõõtmisteks sobilikud, kuid KUAB kipub andma kõrgemaid väärtusi (keskmiselt 5…10% rohkem). Selle põhjuseks peab olema kahemassilise süsteemi eripära, mistõttu koormuse avaldumise ajaline kestvus on võrreldes ühemassilise süsteemiga pikem. Mõõtmistulemuste erinevused jäävad siiski mõõtevea piiridesse (kui nii võib väljendada) või teisiti öeldes on mõlemad piisavalt täpsed võimaldamaks hinnata teekatendi kandevõimet ja selle struktuurset seisukorda.

Kevadisel või sügisesel ajal, kui kruuskattega teede katted on märjemad ning kandevõimed madalamad, on KUAB mõõtmiseks sobilikum peamiselt seoses kasutatavate siirdeandurite pikema amplituudiga, mis võimaldab normkoormuse (50±2 kN) juures mõõta oluliselt madalamaid kandevõimeid. Dynatestil tuleb „piir“ ette ca 45…50 MPa juures, mil deformatsioon ületab anduri võimalikku piiri. Siiski ka sellisel juhul on võimalik tuletada tegelikult toimunud vajumit, kuid selleks tuleb välja joonistada vajumikauss ning ekstrapoleerida koormustalla all oleva anduri näit. Dynatesti anduri probleemi on võimalik lahendada, kui mõõtmise ajal vähendatakse kasutatavat koormust selliselt, et tekkiv deformatsioon jääks anduri mõõtepiirkonda.

KUABi peamine eelis on kasutusel olevad siirdeandurid, mis võimaldavad mõõta suuremat amplituuti, kuid lisaks ei ole need ka nii tundlikud mõõdetava pinna ebatasasusele. Täiendav väike eelis on KUABi puhul ka sektsioonidesse jagatud koormustald, mis mugandub ebatasasema mõõtepinnaga paremini.

4 KORRALDATUD TÖÖKOOSOLEKUD NING INFO TEISTEST RIIKIDEST

Käesolevas peatükis käsitletakse neljas Maanteeameti regioonis läbiviidud töökoosolekutel arutletut, lisaks infot, mida saadi Taani Rambollist, Maanteeametist (Vejdirektoratet) ning Tehnikaülikoolist (Technical University of Denmark), infot mida jagati seoses väikese liikussagedusega teedest Soome kruusateepäeval („Soratiepäivä“) 16.5.2019 ja infot, mida antud teemaga seoses võib leida Vene normidest.

4.1 Töökohtumised Maanteeameti teehoiu osakondadega

Kõik peatükis 4.1 esitatud info tuleb töökohtumisel arutletust, mis sisaldavad kohtumistel osalenud inimeste isiklikke seisukohti ja kogemusi. Vajadusel on aruteluteemasid käesoleva aruande jaoks veidi laiendatud tuues juurde näiteid, kuid samaaegselt jälgides, et need ei moonutaks arutelu refereeringut.

4.1.1 Ida teehoiu osakond

Kohtumisel osalesid Sven Sillamäe (TalTech), Taavi Tõnts (MNT), Andrus Õis (MNT) ja Alar Tooming (YIT), foto 4.1.

Foto 4.1. Maanteeameti Ida teehoiu osakonna koosolekul osalenud inimesed.

Kohtumisel tutvustati käesoleva uuringu raames tehtud uuringuid ning nende põhjal koostatud teede remondilahendusi (lisa 1). Alar Tooming soovitas kaaluda teel nr 65 kasutada pinnase stabiliseerimise lahendust, kuna objektil on kattele suhteliselt lähedal (ühtlaseterised) liivad, mis põhjustavad probleeme tee deformatsioonikindlusega. Üheks variandiks oleks killustikaluse ehitamine (nagu seda lõiguti remondilahenduse nägemuses ka ette nähti), kuid võimalus oleks ka olemasoleva liivpinnase stabiliseerimine tsemendiga, mis tõstaks kihi kandevõimet märkimisväärselt. Pinnase stabiliseerimise maksumus 3% tsemendiga 15 cm paksuse kihina maksab hinnanguliselt 1.6 EUR/m^2 + km. Sama paksu kihi (15 cm) mehaaniline stabiliseerimine 50% lisatava killustikuga (sideainet ei lisata) maksab umbes 1.7 EUR/m^2. Kui lisaks 50%-le uuele täitematerjalile lisatakse veel ka 3% hüdraulilist sideainet, kujuneb hinnanguliseks maksumuseks 2.9 EUR/m^2. Hinnad on arvutatud 50´000 m^2

mahule. Tegelikud hinnad on sõltuvuses kasutatavate materjalide saadavusest, hinnast ja transpordikaugusest, kihi paksustest, mahust.

Uuringus [3] soovitati kruusateede remondiks erinevate teelõikude korral nii mehaanilist kui sideainega stabiliseerimist (mõlemaid eraldiseisvalt). Muldkeha mehaanilist stabiliseerimist on tehtud näiteks riigiteel nr 35 Tudulinna – Iisaku km 1…16 (ehitus toimus 2018. a suvel), kus killustiku laotamiseks kasutati spetsiaalset buldooseri külge paigaldatud laotuskasti (foto 4.1), misjärel segati see olemasoleva muldkeha pinnasega kasutades stabilisaatorit. Mehaaniliselt stabiliseeritud kihi paksuseks saadi ca 40 cm.

Foto 4.2. riigiteel nr 35 Tudulinna – Iisaku km 1…16 ehitusel kasutatud killustikulaotur [autor: Sven Sillamäe]

Muldkeha pinnase stabiliseerimist (fotod 4.3 ja 4.4) tehti aastal 2019 riigiteel nr 18115 Vooreküla – Puskaru km 6,748-24,158 („Postitee“), kus kasutati 1.5% hüdraulilist sideainet (tsementi CEM 42.5). Üldiselt oli tulemus hea, kuigi ühel ca 100 m lõigul ja teisel ca 50 m lõigul pinnas ei kivinenud (pinnase koostis oli savine ning veesisaldus liiga kõrge), kuhu ehitati geotekstiili ja geovõrguga killustikalus. Katteks kasutati BS32 + 2x pindamine. Bituumenstabis kasutati 1% tsementi. Pinnase stabiliseerimise hinnaks kujunes ca 1.0 eur/m^2 + km.

„Postiteel“ saadi laborikatsetustega olemasoleva pinnase segamisel tsemendiga (CEM 42.5) 7p survetugevusteks 1.0% puhul keskmiselt 0.4 MPa, 1.5% puhul 0.6 MPa ja 2% puhul 0.9 MPa. Allika [16] alusel peab „*qualified soil improvement*“ korral segu 28p survetugevus olema ≥ 0.5 MPa, mis oli kindlasti tagatud 1.5% sideaine sisaldusega. Eestis vastavad nõuded puuduvad.

Fotod 4.3 ja 4.4. „Postitee“ ehitusel kasutati ehitaja poolt üheks kvaliteedi hindamise metoodikaks kandevõimemõõtmisi Dynatesti LWD-ga. Stabiliseerimisel kasutati 1.5% tsementi. [autor: Jaanu Mühlberg]

Arutluse all oli ka muudes riikides vähese liiklussagedusega teedel kasutatavad remondimeetmed. Taanis kasutatakse väikestel teedel metoodikat, kus olemasolev asfaltkate freesitakse, kuid jäetakse maha, tihendatakse ära ning pannakse peale uus asfaltkate. Olenevalt objektist segatakse vanasse kattesse midagi ka sisse (kas täitematerjali ja/või sideainet). V-kategooria teedel kaldeid ei jälgita ega kontrollita, kõik käib looduse järgi vastavalt olemasolevatele pinnavormidele. Rootsis kasutatakse sama lähenemist. Märkuseks veel see, et kui alt tulevad vastu munakivid, siis need kohad jäetakse segamata ehk segamisfrees tõstetakse kõrgemale, et mitte masinat lõhkuda.

Alar Toomingu sõnul, kes on vastavat tööd käinud välisriikides tegemas, ei kontrollita Taanis ega Rootsis teel olemasolevate materjalide segamisel valminud kihi terastikulist koostist, kuna varieeruvus on suur. Samast lähenemisest on räägitud ka Wirtgeni poolt korraldatavatel koolitustel. Segu lihtsalt segatakse ära ning lepitakse sellega, et koostis ongi varieeruv. Seevastu näiteks Eestis ja Soomes on terakoostise määramine üheks kvaliteedi hindamise viisiks.

Kvaliteedikontrolliga seoses on probleeme ka sellega, kui stabiliseeritud segus on segamise ajal liiga vähe vett, mistõttu ei jätku seda piisavalt kihi alaosasse, mida ei saada seetõttu tihedaks ning mistõttu ei saada hiljem kätte ka täispaksuses terviklikku puurkeha, kus alumine osa ei püsi koos.

Arutluse all oli veel mustkatete kvaliteet. Nimelt on võib seguris segatud mustkate olla võrreldes teel segatud mustkattega väga erineva kvaliteediga. See peaks kajastuma ka katendiarvutusega ja olema seotud sideainesisaldusega. Täna on teel segatud ja seguris valmistatud mustsegude elastsusmoodulid katendiarvutuses võrdsustatud. Samamoodi peaks elastsusmoodul sõltuma freespuru osakaalust, killustiku ümardamisest, terakoostisest, sideainest; Alar Tooming pakkus näiteks välja järgmise lähenemise (teel segamisega):

	Olemasolev	40 MPa
OI.OI	50%	-5 MPa
OI.OI	100%	-10 MPa
RAP	50%	4 MPa
RAP	100%	8 MPa
Kild ümar	50%	4 MPa
Kild puru	50%	5 MPa
Kild sõel 0-32	100%	3 MPa
Kild puru 0-32	100%	4 MPa
Aheraine	50%	4 MPa
Tsement	1%	8 MPa
Bituumen	1%	3 MPa
Lisaained		2 MPa

Kasutades eelnevat tabelit saab eeldada kokku segatava kihi arvutuslikku elastsusmoodulit. Näiteks kui teekatendi puhul on probleemiks kandevõimega, mis tuleneb liiga õhukestest kihipaksustest ning nt muldkehas kasutusel olevast liivast, oleks üheks variandiks viimase stabiliseerimine tsemendiga. Eeldades, et liivakihi elastsusmoodul on 40 MPa (millele vastab tolm- või peenliiv), mis stabiliseeritakse 1.5% tsemendiga 20 cm paksuselt. Sellisel juhul oleks valminud kihi elastsusmooduliks: 40 MPa – (10*20) + (1.5*8*20) = 480 MPa. Kui tsemendisisaldust tõsta 3% peale, tuleks elastsusmooduliks 720 MPa.

Tegemist on huvitava lähenemisega, mis vääriks kaalumist, arvutamist ja katsetamist, kuid kuna erinevaid materjale on palju, mistõttu variatsioonide arv läheb väga suureks, on täpsete arvude välja töötamine keerukas ning hindamine saaks toimuda vaid teatud täpsuse/suurusjärkude piirides. Pigem saaks olla tegemist empiirilise lähenemisega. Tõenäoliselt eelpool arvutatud elastsusmoodul ei ole

otseselt seotud kihi paksusega, mistõttu on küsitav, kas nii suurt efekti saavutatakse, kuid on fakt, et pinnase stabiliseerimisega suurendatakse oluliselt vaadeldava pinnase tugevust (elastsusmoodul ja nihketugevus), vähendatakse kokkusurutavust ning külmakerkelisust.

Eestis on tehtud mitmeid lõike mitmete erinevate (odavate) lahendustega, kus on varieeritud sideaine sisaldustega, täitematerjalidega jne. Info taolistest lõikudest on hajutatud ning ülevaatlikke kokkuvõtteid ei ole tehtud, kuid see oleks vajalik. Seeläbi saaks koondada kokku info tehtud töödest, nende õnnestumistest ja ebaõnnestumistest ning teha vajalikke kokkuvõtteid.

Teoreetiliselt võiks tsemendi asemel kasutada ka põlevkivituhka. Katsetused uuetüübilise tuhaga (keevkihikatla elektrifiltrituhk tähistusega „CFB“) olid OSAMATi projekti järelmonitooringu [17] alusel madalaklassilise tee uuendamisel väga edukad ning tuhk võiks olla heaks alternatiiviks tsemendile, mis võimaldaks vähendada ehituse ökoloogilist jalajälge. Nimelt moodustab erinevate uuringute alusel tavapärasel meetodil tsemendi tootmine 5…8% kogu maailma CO_2 emissioonist [18].

Põlevkivituha probleemiks on see, et tsemendiga võrreldava survetugevuse saavutamiseks on vaja kasutada ca 2x rohkem sideainet (otse elektrijaamast väljuv CFB tuhk, kuigi teoreetiliselt on võimalik selle efektiivsust tõsta, kuid uuringud sel teemal alles käivad), mistõttu ei ole selle transport mööda maanteed kuigi tasuv (tasuvuspiiriks on hinnatud ca 200 km, kuid seda ei tuleks võtta jäiga piirina ning majanduslikku otstarbekust peaks kaaluma objektipõhiselt). Lisaks on tuhas sees palju õhku, mistõttu ei mahu materjal korralikult tsemendilaoturisse ega tule sealt hästi välja. Tsemendi osakesed on kuuljad, kuid tuhal nõeljad või muu ebakorrapärase kujuga. Seega tuhk ei liigu tavapärastes seadmetes tsemendiga võrreldes nii hästi, mistõttu kannatab töö tegemise kiirus.

Mustsegude teel segamisega seoses arutleti veel seda, et korraliku tulemuse (loe: tasase teekatte) saavutamiseks on vajadus oskusliku greiderijuhi järele. Näiteks Lätis laotatakse killustikalused (sidumata segud) laoturiga peamiselt seetõttu, et piisavalt oskuslikke greiderijuhte ei leidu. Negatiivne pool on see, et killustiku laotamine lõhub laoturit, mistõttu ei ole see enam sobilik asfaldi paigalduseks. Üheks lahenduseks on eelnev killustiku niisutamine, kuid see ei kõrvalda probleemi täielikult. Teiseks variandiks oleks kasutada spetsiaalselt killustiku laotamiseks ette nähtud laoturit. Selliseid leidub näiteks Ameerika ettevõtte Gomaco toodangust, foto 4.5.

Foto 4.5. Gomaco killustikulaotur [19].

4.1.2 Lääne teehoiu osakond

Kohtumisel osalesid Sven Sillamäe (TalTech), Taavi Tõnts (MNT), Aivo Salum (MNT), Kristjan Reimets (MNT), Meelis Saat (MNT), Margus Eisenschmidt (MNT), Ain Kendra (T-Konsult), Kaido Randalu (StabilRoad), Tarmo Rämmel (Landverk OÜ) ja Ott Ojaperv (Landverk OÜ), foto 4.6.

Foto 4.6. Maanteeameti Lääne teehoiu osakonna koosolekul osalenud inimesed.

Käsitluse all olid Audru – Lavassaare kruusatee remondi küsimused, mille puhul toodi muuhulgas info seoses Keskkonnaministeeriumi plaanidega taastada sooalasid, mistõttu kõrvaldatakse ka kruusateede kraave. Kruusateede (ja ka kergkattega teede osas) seab see täiendavaid nõudmisi teekatendis asuvate materjalide kvaliteedile, tõenäoliselt ka muldkeha kõrgusele, et tee kandevõime püsiks vajalikul tasemel ka liigniisketel perioodidel.

Kergkatetega seoses arutleti mustsegust teekatte ehitamist, mille puhul toodi sarnaselt Ida teehoiu osakonnast arutelule välja see, et greideriga laotamine ei taga piisavat tasasust. Kogemuste põhjal on küsitav ka suhteliselt õhukeste kihtide teel segamise kvaliteet, nt kui MSE kihi paksus on ette nähtud 8 cm, mis segatakse kokku freespurust ja killustikust, siis nii õhukeste kihtide õiges paksuses laotamine kalluri ja greideriga selliselt, et hiljem oleks tagatud ka nõutud terakoostis, on pea võimatu. Lahenduseks oleks kas lähtematerjalide laotamine laoturiga ning teel segamine või MSE segu tootmine tehases ning laotamine laoturiga – viimast lähenemist on Lääne osakonnas edukalt katsetatud.

Koosolekul esitati seisukoht, et teel stabilisaatoriga segamine on kvaliteetse tulemuse saavutamiseks reaalne alates 12…15 cm kihipaksusest. Greideriga laotades ei ole kõiki kihte võimalik välja vedada, kuigi laoturiga oleks see tehtav. Alla 12 cm paksused kihid peaksid olemas kas segurisegud või kõik täitematerjalid tuleb paigaldada laoturiga, misjärel oleks kvaliteetset tulemust võimalik saada ka teel segamisega. Itaalia nõuetes on teel segamine lubatud 20…30 cm paksuse kihi korral, alla 20 cm kiht peab olema valmistatud seguris.

Arutleti ka kruusateede katete stabiliseerimist. StabilRoad [www.stabilroad.ee] esindaja tõi välja, et kui tsemendi kaalust kasutada 2% StabilRoad lisandit, muutub tulemus vastupidavamaks põikpragude tekkele ning segu muutub veekindlaks.

Lisandi katsetamist Eestis on kajastatud allikas [20], kus lisandit nimetati kui „InfraCrete“. Aruande kohaselt neutraliseerib lisand fulvic- ja karboksüülhapped ning seeläbi suurendab tsemendi hüdratsiooni protsesse. Materjali struktuurimuutused tsemendi hüdratsiooni käigus tekkivate uute mineraalide kaudu suurendavad stabiliseeritud pinna elastsust, surve- ja tõmbetugevust ning muudavad ta külma- ja niiskuskindlaks. Nagu aruandes kajastatud, oli ehitusaegselt probleemiks

lisandi laotamine, mistõttu läks katselõigule maha ettenähtust kahekordne kogus. Kasutatud tsemendi kogus oli 43.12 kg/m^2 ehk 7%, Stabilroadi pidi kasutatama 0.88 kg/m^2 ehk 0.15% segust või 2% tsemendist, kuid tegelikult kasutati ca 1.76 kg/m^2 ehk 0.29% segust (4% tsemendist).

Liigse sideainesisalduse tõttu on täna lõigus sees mõned põikpraod. Hoolimata ehitusaegsetest probleemidest võib siiski järeldada, et katsetus oli edukas ning kruusateede katete stabiliseerimine on edukalt kasutatav tehnoloogia. Viga tsemendilisandi doseerimisel tulenes kasutatud laoturi sobimatusest (kasutati tavapärast tsemendilaoturit, mis ei võimaldanud nii väikeste koguste paigaldamist), kuid tänaseks on Eestis sobilik seade olemas, millega taolist probleemi vältida. Kruuskatte stabiliseerimise maksumust tsemendi ja tsemendilisandiga 20 cm paksuse kihi korral saab hinnata alla 10 EUR/m^2.

StabilRoad lisandiga tsementstabiliseerimist on tehtud aastal 2016 Imavere StoraEnso palgisorteerimisliini platsil (foto 4.7). Varasemalt kahjustasid palgitõstukid asfaltkatet niivõrd, et katet pidi lappima iga-aastaselt. Lisaks oli probleeme all oleva pinnase/materjali kvaliteedi ning kõrge pinnaseveetasemega. Platsi segamissügavus oli 30 cm, millega segati kokku olemasolev killustik, liiv, savi ja vana, purunenud asfaltkate. Segu 28p survetugevus oli 10.1 MPa, mis on tänaseks kasvanud 15 MPa peale. Kasutatud tsemendi kogus oli 48 kg/m^2 ehk 8%, Stabilroadi kasutati 0.96 kg/m^2 ehk 0.16% segust või 2% tsemendist. Stabiliseeritud kiht kaeti 5 cm paksuse asfaltbetooniga. Alates sellest ajast ei ole platsiga olnud probleeme, kuigi sisse on tulnud mõned üksikud põikpraod.

Foto 4.7. StoraEnso palgisorteerimisliini platsi stabiliseerimine aastal 2016 tsemendi ja StabilRoadiga [21].

4.1.3 Lõuna teehoiu osakond

Kohtumisel osalesid Sven Sillamäe (TalTech), Taavi Tõnts (MNT), Aivo Salum (MNT), Tasu Prangli (MNT), Tõnis Pleksepp (MNT), Toomas Tõnurist (MNT), foto 4.8.

Arutluse all oli hoolde järelvalveteenuse sisseostmise küsimused – kuidas sellisel juhul jääb Maanteeametisse kompetents ning kas oma töötajatele jääb piisavalt motivatsiooni. Kui inimesi ebaühtlaselt koormata, lähevad nad „rooste“. Varasematel aegadel teadsid teemeistrid täielikult oma piirkonna teedevõrku, kuid praegu on see teave kadumas. Teeregistrisse on võimalus sisse kanda väiksema liiklussagedusega teede külmakerkelised kohad, kuid seda ei ole tehtud piisavalt. Kui ei ole teada tee ajalugu ning selle seisukorda eri aastaaegadel, ei ole võimalik välja töötada ka tee tegelikule

seisukorrale vastavat teetööde tehnilist kirjeldust. See on üks põhjus, miks Kruusateede remondi projekteerimise juhis on vajalik.

Foto 4.8. Maanteeameti Lõuna teehoiu osakonna koosolekul osalenud inimesed.

Lõuna osakonnas on laialdaselt kasutusel nii BS32 kui MSE teel segamine, kuid hea tulemus (tasasus) saavutatakse vaid juhul, kui kasutatav freespuru on eelnevalt purustatud, et sisse ei jääks suuremaid tükke. Freespuru laotamine tehakse laoturiga laotades 2 cm vajaminevast kihipaksusest paksem kiht, kuna materjali järeltihenemine on suur.

Piigaste – Sulaoja oli üks hiljuti tehtud objekt, kus kasutati 8 cm MSE20, mis pinnati 1.5x. Vahetult peale valmimist läbis teed üks RallyEstonia 2019 etapp, mille raames ralliautod keerasid 90º nurga all kõrvalteelt värskelt ehitatud lõigule. Kate pidas hästi vastu, defekte ja kahjustusi sellest ei tekkinud.

Ühe ettepanekuna kõlas see, et kui kruusateede remondile eelnevalt tehakse katendiarvutus ning planeeritakse täitematerjalidega täitmist, võiks katendiarvutuses kasutada kruusa ehk Tm_150 asemel kruusliiva ehk Tm_130, kuna esimest ei ole kõikjal saada.

Lõuna teehoiu osakonna külastusega koos vaadati üle nii Piigaste – Sulaoja objekt kui „Postitee“ (foto 4.9). Viimast käsitleti peatükis 4.1.1 ning selle kohta on kirjutatud ka Maanteeameti kodulehel 15.11.2019 avaldatud uudises „Ajaloolise Postitee viimane lõik läbis innovaatilise taastusremondi“ järgmiselt: „Vooreküla–Puskaru teelõigul katsetasime innovaatilist lahendust ehk uue katte aluse ehitusel kasutati olemasolevat muldkeha pinnast, mis segati 20 cm sügavuselt tsemendiga,“ rääkis Maanteeameti lõuna teehoiu osakonna ehituse projektijuht Tasu Prangli. „Seda tehnoloogiat rakendatakse küll mujal Euroopas, kuid Eestis kasutati esmakordselt. Võitsime ka hinnas, sest muudest materjalidest alused oleksid maksnud üle kahe korra rohkem.“

Foto 4.9. 2019. a. valminud „Postitee“ lõik, kus mulde ülemine kiht stabiliseeriti 20 cm sügavuselt hüdraulilise sideainega.

4.1.4 Põhja teehoiu osakond

Kohtumisel osalesid Sven Sillamäe (TalTech), Taavi Tõnts (MNT), Aivo Salum (MNT), Viktor Kisseljov (MNT), Martti Lilleste (MNT), Lembit Anema (MNT).

Arutelu algas Põhja osakonna kogemustega seoses kruusateede tolmuvaba katte alla viimisega. Taolist tööd tehti enne aastat 2016 nii, et olemasolev kruuskate profileeriti, vajadusel lisati kruusa, paigaldati freespuru fr 0/32 mm (nõuded freespuru terakoostisele tulid 2012 või 2013), mis vajadusel purustati. Freespurule tehti 2x pindamine (8/12 + 4/8 mm).

Aastal 2016 võeti Maanteeameti ehitusvaldkonna kuukoosolekul vastu üldotsus teetööde kirjelduse osas, et puhast freespuru ei kasutata, mindi üle 8 cm MSE peale (70/30 freespuru/kild). Nt riigitee nr 11117 Valingu-Jõgisoo km 3,661-5,058 tolmuvaba katte ehitamise teetööde tehnilises kirjelduses on kirjas nõuded mustsegust katte ehituseks (lisatud lisasse 3).

Põhja teehoiu osakonna kogemuste põhjal ei ole pinnatud freespuruga teekatetega olnud suuremaid probleeme – see on toiminud ja kestnud hästi. Oluline on, et fraktsioon vastaks nõutule ja pindamine oleks tehtud õigel ajal, s.t võimalikult kiiresti. See tuli alati välja tasasem kui praegune MSE tõenäoliselt põhjusel, et MSE paigaldatakse greideriga, kuid freespuru laotamine toimus alati laoturiga, mis tagas tihedama ja homogeensema tulemuse.

Põhja osakonna kogemustel on pinnatud freespurukate sobilik kuni ca 500 autot/ööp korral (Maanteemeti Kergkatete ehitamise juhise 2007-10 punktis 8.2 oli piirmääraks kuni 300 autot/ööp). Puhtast freespurust kvaliteetse katte ehitamine saab toimuda tingimusel, et see pinnatakse võimalikult kiiresti. Mida vähem autosid pindamata kihi, seda parem ning ideaalis peaks katte ehitamisel kasutama liikluse ümbersuunamist.

Mõni aeg tagasi oli kruusateedele katete ehitamise piiriks ca 300 autot/ööp, millal kruusatee seisundinõuete järgse taseme hoidmiseks pidi greider käima teel iga kahe nädala tagant. Täna võib öelda, et kate on kindlasti vajalik alates umbes 100 autot/ööp juures – sellisel juhul kasutab teed keskeltläbi 6…7 autot tunnis, mis on intervall, mil tolm ei jõua enam täielikult hajuda.

Kruusateele katete ehitamise plaane tuleks teha seal, kus tehakse tolmutõrjet – seal on vajadus ning seeläbi saaks hoolde pealt raha kokku hoida.

Kui kruusateele planeeritakse tolmuvaba katet, siis sellistel teedel on kruusatee remont ehk tugevdamine enamasti juba tehtud. Tolmuvaba katet ei ole tihti just nendel teedel, millel on tugevdamine veel tegemata.

Ühe olulise küsimusena peab arvestama seda, et kruusateel on 3 % kalle, kuid katte ehitamisel, minnakse 2.5% peale. Tihti jäetakse sellised vajalikud aluse ettevalmistused tegemata ehk kalded ei ole paigas, mis tingib selle, et tee keskele jääb freespuru vaid ca 3…5 cm.

Põhja osakonnale on üheks probleemiks see, et freespuru tekib palju, olemas oleks ka kruusatee, millele sellest kate ehitada, kuid viimane ei ole „nimekirjas“, mistõttu seda ehitada ei tohi.

Koosolekul arutleti ka seda, et kõige parem freespuru tuleb tasandusfreesimisest. Sellest tulenevalt soovitati kehtestada nõue, et freesimine tehtaks tee-ehitusobjektidel kiht-kihi kaupa. Kui freesitakse korraga terve kiht, siis sealt kipub tekkima tükke, mida peab hiljem hakkama purustama või sõeluma. Kihiline freesimine võimaldaks saada täpsema terakoostise ning bituumenisisaldusega freespuru, mis võimaldaks seda paremini väärtustada.

Mustkatete ehitusest

Freespuru võiks kasutada vaid kergkatete ehitamiseks (mustkatted, BS, KS) ning mitte kasutada seda uue asfaltkatte sees. Kogemused on näidanud, et vastasel korral läheb katte bituumenisisaldus liiga kõrgeks, mistõttu jääb kiht ujuma/voolama põhjustades katete lagunemist ja eluea vähenemist.

Freespuru võiks kasutada vanade mustkatetega teede remondiks. Kuna vanu mustkatteid pinnatakse, siis esinevaid defekte on vähe, mistõttu ei remondinimekirja need ei jõua, kuigi peaks, sest katted on ebatasased. Vanad mustkatted on tehtud põlevkivibituumeniga, mis on nii vananenud, et ei tööta enam. Taolistel teedel võiks olemasoleva katte segada freespuru kasutamisega stabiks, mille peale teha pindamise või paigaldada asfaltkatte. Mustsegu on kallis, kuna bituumenit on palju sees, BS on odavam, mistõttu võiks eelistada seda. Teede remontimisel võiks rohkem kasutada metoodikat, kus freespuru segatakse stabiks või MSE-ks, millele paigaldatakse asfalt. Nii saab hoida kilomeetri ehitusmaksumust madalana ja kasutada raha efektiivselt.

MSE greideriga paigaldamine on keeruline, kuna oskuslikke greiderijuhte ei ole piisavalt, mistõttu ei saada kihti tasaseks. Seetõttu nõutakse laoturiga paigaldust. Kui freespuru või sidumata segu paigaldatakse laoturiga, siis peaks materjali eelnevalt niisutama, mis hõlbustab tööd ja ei kahjusta nii tugevasti seadmeid.

Katsetatud on ka sellist remondimeetodit, kus objektil veetakse eelnevalt freesimata asfaldile killustik, mis segatakse kokku freesimisega samaaegselt. Tulemus ei ole siiski hea, kate jääb ebaühtlaseks, kuna olemasoleva tee tasasus ja asfaldi kihipaksused on erinevad. Parem oleks segada kokku eelnevalt freesitud freespuru, millele lisatakse uut killustikku.

PS seguga, kus killustik ja freespuru segatakse kuivalt 50/50, mille peale paigaldatakse pindamine, ei ole Põhja osakonnas häid kogemusi, ning kihid on kiiresti lagunenud. Ei ole aidanud ka kohe peale segamist tehtud pindamine. Võib-olla saaks parema tulemuse, kui pindamise asemel kasutataks asfaltkatet. Erandina saab siiski mainida Saku – Männiku lõigu, kus tehti PS segu ajutise lahendusena ning mis toimis hästi ning mis jäi hiljem tee aluseks.

Töövõtjad on pakkunud mustsegu asemel lahendust, kus asendavad kihi killustikaluse ja asfaltkattega (12 cm killustik + 5 cm asfalt), mille maksumus tuleb soodsam. Lahendust kasutati näiteks teel nr 11230 km 15…20 aastal 2008. Siiamaani on pidanud väga hästi vastu, katet on vaid pinnatud. Eelnevalt oli muldkeha korda tehtud ning tagatud vajalikud kalded.

Kui ehitada tolmuvaba kate freespurust, peab selle paksus olema vähemalt 8 cm, aga mitte üle 10 cm. Freespuru laotamisel tiheneb see palju rohkem, kui asfaldi puhul. Kui freespuru laotatakse laoturiga arvestades, et see tiheneb sarnaselt asfaldiga, jääb alles liiga õhuke kiht. Kui freespurust tihendatud kihi paksus jääb alla 7 cm, tuleb pärast lasta juurde panna. Kui on tihendatult vähemalt 8 cm, siis võiks seda toimivuse mõttes võrdsustada mustseguga. Freespurukatted peavad väga hästi vastu. Sellega tulevad kaasa ka mustkatte eelised, s.t kiht on elastne ja mängib alusega kaasa ehk ei tule pragusid.

4.2 Skandinaavia kogemused

Skandinaavia kogemuste osas vaadati kõigepealt Lõuna – Rootsi vähese liiklussagedusega teid. Kokkuvõtlikult võib öelda, et kruusateed on võrreldes Eestiga oluliselt paremas seisukorras, kuid seda põhjusel, et kasutada on paremakvaliteedilised materjalid (graniitkillustik), fotod 4.10 ja 4.11. Tuginedes Soome kogemustele peavad graniitkillustikust katteta teed vastu kuni 500 autot/ööp.

Foto 4.10. Lõuna – Rootsi kruusateed.

Foto 4.11. Lõuna – Rootsi kruusateed, kulumiskihi uuendamine graniidist optimaalse seguga (visuaalselt võis hinnata fr 0/31.5 mm).

Kattega vähese liiklusega teedel oli näha samu probleeme, mis Eestis – leidus piki- ja võrkpragusid, serva vajumisi, kandevõimeprobleeme, katte higistamist, irdunud pindamist (foto 4.12 ja 4.13). Täheldada sai halvasti toimivaid drenaažisüsteeme, täiskasvanud kraave. Et Eestis taolisi probleeme vältida, on oluline hoida drenaaž efektiivselt toimivana ning valmistada tee enne tolmuvaba katte alla viimist piisavas mahus ette.

Foto 4.12. Lõuna – Rootsi väikse liiklussagedusega teedel nähtavad probleemid.

Fotod 4.13. Lõuna – Rootsi väikse liiklussagedusega teedel nähtavad probleemid.

Rootsis vaadeldud vähese liiklussagedusega teed asusid joonisel 4.1 esitatud piirkonnas. Lisaks nähti ka Göteburgi ja Malmö vahel olnud betoonkattega teed, joonis 4.2 ja foto 4.14, mis ulatuslikult pragunenud. Probleem oli selles, et esialgselt oli betoonkatte paksuseks ette nähtud 20 cm, kuid kulude kokkuhoiu nimel kärbiti see 18 cm peale. Õhem kiht ole pidanud liikluskoormusele vastu, mistõttu on betoonkattesse tekkinud palju pikipragusid.

Joonised 4.1 ja 4.2. Mustade ringidega on märgitud vaadeldud madala liiklussagedusega teede ning defektse betoontee asukohad.

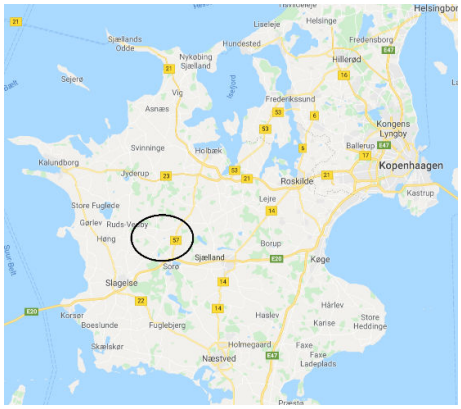
Foto 4.14. Göteburgi ja Malmö vahel oleval betoonteel oli näha katte purunemist.

Võrdluseks võib tuua Taanis Sjælland´i piirkonnas (joonis 4.3) nähtud vähese liiklussagedusega teed fotodel 4.15…4.17. Kui taanlased ütlevad, et avalikus kasutuses kruusateid Taanis ei leidu (ka üksikute elumajade juurde võib viia tolmuvaba kattega tee), siis suures osas on see tõsi, kuid vähemalt üks suhteliselt halvas seisus tee ikkagi leidus.

Kui Rootsi teed ja ehituseks kasutatavad materjalid sarnanevad Soomele, kus kasutatakse graniidist tehtud purustatud pindadega optimaalse terakoostisega killustikusegu, siis Taanit saaks võrdsustada Eestiga. Taanis leidub lisaks liivale vaid kruusa, mis on liivane ja kohati savikas, terad on ümardunud. Tõenäoliselt on see ka üheks põhjuseks, miks pea kõik Taani teed on viidud tolmuvaba katte alla – olemasolev kruus ei võimalda pakkuda sellist teenindustaset, mis nt Soome ja Rootsi graniitkillustik.

Üheks huvitavaks tähelepanekuks seoses Rootsi ja eelkõige Taani väikese liiklussagedusega teedega oli nende laius ja geomeetria. Nimelt olid kattega teed kohati nii kitsad, et ka sõiduautod ei mahtunud üksteisest korralikult mööda ning üks osapool pidi peatuma, et saaks turvaliselt edasi sõita. Teed jälgisid olemasolevat maastikku, künkaid ei oldud õgvendatud, mistõttu võis pikinähtavus olla väga piiratud. Seetõttu olid ka sõidukiirused madalad, kuna teega ei oldud loodud keskkonda, kus oleks saanud „pimesi kihutada“.

Seevastu on Eestis seisukoht, et kui kruusatee viia tolmuvaba katte alla, tuleks tee laiendada teatud katte minimaalse laiuseni (6…8 m sõltudes projektist) ning vertikaal- ja horisontaalkõverikud tuleb õgvendada. Kogu taoline tegevus tõstab paratamatult liikumiskiirusi, kuna tee on siledam, laiem ja sujuvam, mis tekitab näilise turvatunde. Taanis näis kõrvalteedega olevat hoopis vastupidine suhtumine, tee geomeetriaga seoses tajus juht selgelt ka oma vastutust liikluses. Võrdluseks, et kui Taanis on elanikke ca 135 inimest/km^2, siis Eestis on kõigest 28 inimest/km^2.



Joonis 4.3. Taanis vaadeldi vähese liiklussagedusega teid Sjælland´i piirkonnas.

Foto 4.15. Taani vähese liiklussagedusega kattega teede seisukord.

Foto 4.16. Taanis leitud kruusateede näited.

Foto 4.17. Taanis kruuskatetes kasutatav materjal.

4.2.1 Töökohtumine Taani Rambollis

Kohtumisel osalesid Sven Sillamäe (TalTech), Ain Kendra (TalTech), Taavi Tõnts (MNT), Aivo Salum (MNT) ja Shahid Saleem (Taani Ramboll, Senior Engineer), foto 4.18.

Taanis kohapeal saadav täitematerjal on ainult liiv (peenike, ümardunud teradega ja ühtlaseteraline mereliiv) ja kruus. Kruusast sõelutakse välja suuremad osad, mis tehakse killustikuks, teedel kasutatakse fr 0/64 mm kruusal põhinevaid aluseid.

Asfaltkatetes kasutatakse tüüpiliselt bituumenit pen 40/60, kuid madala liiklusega teedel ka 160/220. Materjalinõuded tulenevad vastavatest EN standarditest.

Foto 4.18. Töökohtumine Taani Rambollis Kopenhaagenis.

Taani katendiprojekteerimise normid ja nõuded leiab lingilt, kus on muuhulgas kirjas ka see, millal kasutatakse pehmemaid asfaltkatteid:

http://english-vejregler.lovportaler.dk/ShowDoc.aspx?t=%2fV1%2fNavigation%2fVejreglerEnglish%2fConstruction+and+planning%2fRoad+constructions%2f&docId=vde-2015-0060-full [26]

- pehmet asfaltbetooni (PA) bituumeniga 330/430 kasutatakse teedel, millel liikleb ühes sõidusuunas maksimaalselt kuni 50 normtelge ööpäevas (koormusklass T3);
- pehmet asfaltbetooni (PA) bituumeniga 250/330 kasutatakse teedel, millel liikleb ühes sõidusuunas maksimaalselt kuni 500 normtelge ööpäevas (koormusklass T5).

Varasemalt tehti objektil sidumata segude kvaliteedikontrolli läbi tiheduse, mis oli seotud Proctoriga (kas standard või modifitseeritud). Muudatus nõuete esitamises tuli alates aastast 2018, peale mida antakse töövõtjale ette vaid need nõuded, mida teelt tahetakse (mis kulumiskihti kasutada, mis on

kihipaksused ja kasutatavad kihid). Detailselt asfaltsegude nõudeid ette ei öelda, see on töövõtja otsustada, sama teiste materjalidega. Tihedust ei kontrollita, ka see on töövõtja ülesanne seda tagada.

Kvaliteedikontroll on objektil olemas, aga tema kontrollib seda, et töövõtja kasutaks nõutud materjale. Kui tee ei vasta esitatud nõuetele, peab töövõtja viima selle vastavaks. Kui garantiiajal tekib probleeme, siis uuritakse milles asi – kui töövõtja ei ole täitnud oma kohuseid, peab tema parandama, kuid kui on projekteerija viga, siis töövõtja probleemi eest ei vastuta.

Tellija ütleb ette, et ta tahab saada näiteks asfaltkatet 6 mm teraga, siis töövõtja teeb ise seguretsepti, valib ise bituumeni. Endised nõuded asfaltsegudele (täna enam ei kehti, kuna töövõtjal on vabadus ise otsustada ja kontrollida, et kihtide kvaliteet oleks korras) on siin:

http://vejregler.lovportaler.dk/showdoc.aspx?status=Vedtaget%7cHistorisk&q=AAB+asfalt&docId=vd-udbud-varmblandet-aab-full [27]

Polümeerbituumenit üldjuhul ei kasutata, kuna see on nii kallis, kuid erandjuhtudel kasutatakse seda vaid väga kõrge liikluskoormusega teedel.

Pindamisi ei tehta.

Aluspinnase omaduste määramiseks tehakse geotehnilised katsed ja uuringud (konkreetsed mõõtmised), milleks on muuhulgas ka kandevõimemõõtmised. Aluspinnaselt nõutakse 50 MPa enne kui planeeritakse peale katend. Kui on vähem, siis tehakse stabiliseerimine, kasutatakse paksemaid kihipaksusi vmt. Geosünteetidega armeerimist kasutatakse vaid vastu maapinda, katendi sees mitte. Nõrkade pinnaste puhul tehakse ülekoormamist.

Katendiarvutajad pinnaseuuringuid ei tee – neid teevad geotehnikud. Kui ehituse käigus avastatakse, et mingi piirkond on eeldatust nõrgem, siis töövõtja küsib rohkem raha, et koht korda teha. Seda võidakse välistada läbi rohkema katsetamise / tihedama uuringutega või ka läbi selle, et katend dimensioonitakse üle.

Kui kandevõime on eeldatust parem, on võimalik teha katendit õhemaks. Kui seeläbi läheb ehitus odavamaks, siis töövõtja sellest eelist ei saa, sest ehituse maksumus väheneb tellijale.

Taanis ei kasutata betoonkatendeid, kuid bussipeatustes on kasutusel pooljäigad katted (Confalt). Taolised katted on harva kasutatavad, kuna probleem on selles, et kui see praguneb, ei ole võimalik seda normaalselt parandada.

Geosünteete kasutatakse vähe, sh asfaldivõrke, kuna pole selget teavet/tõestust nende toimimisele. Taanis leitakse, et geosünteetika laialdane kasutamine on raha raiskamine. Teede laiendamisel kasutatakse alumistes kihtides, kuid asfaltkihtide vahel mitte.

4.2.1 Töökohtumine Taani Tehnikaülikoolis (DTU)

Kohtumisel osalesid Sven Sillamäe (TalTech), Ain Kendra (TalTech) Taavi Tõnts (MNT), Aivo Salum (MNT), Erik Nielsen (Vejdirektoratet, pavements) ja Eyal Levenberg (DTU, pavement engineering), foto 4.19.

Foto 4.19. Taani Tehnikaülikoolis toimunud töökohtumine.

Taanlased mõistavad mõiste „limestone“ all materjali kui „chalk“ ehk kriit. „Limestone“ on kui filler ja seda ei mõelda täitematerjalina. Seega mõistetakse mõistet „lubjakivi“ Eestis ja Taanis teisiti.

Vähese liiklussagedusega teedel on taanlased siiamaani kasutanud väga õhukesi (ca 2,5 cm) ja pehme bituumeniga katteid nimetades neid kui „capping layer“, et vesi ei pääseks konstruktsiooni.

Taani katendiarvutusprogramm MMOPP põhineb sisuliselt Odemarki valemil. See ei võimalda tegelikult näiteks päriselt kasutada hüdraulilist kihti. Metoodika töötab, sest see on valideeritud. Sellest tulenevalt ei ole õige võtta välja mingi muu süsteemi eraldi parameetreid, vaid süsteem peab töötama koos. Shell´i Bisar programm/metoodika asfaltkatete arvutamiseks on samuti vana, see tuleneb neljakümnendatest aastatest. Rootsi VTIs tegeleb Sigurdur Erlingsson sellega, et põhjalikult uuendada katendiarvutuse süsteemi.

MMOPP lähenemine moodulitele on tegelikult äärmiselt lihtsustatud. Bituumeniga seotud kihid on seotud sellega, kus need asuvad ja mis temperatuuri saavad. Pehme asfaldiga kihid (mis on neil väga õhukesed, ca 2.5 cm) on nii marginaalse tähendusega, et seda arvutustes ei arvestata. Seoses pehme bituumeniga avastati, et need vananevad kiiresti juba tootmise käigus.

Taanis on olemasolevad looduslikud materjalid kõik külmatundlikud (kruusad), mida ülemistes kihtides kasutada ei saa. Hea kvaliteediga materjalid imporditakse kõik sisse.

Asfaltkatetes täitematerjaliks kasutatava kohaliku šlakikillustikuga oli Taanis probleeme sellega, et bituumen vananes liiga kiiresti. Imporditud šlaki puhul vaadatakse, et see ei sisaldaks ohtlikus koguses raskemetalle (peamiselt kroom).

„*Porous asphalt*“ (dreenasfalt) Taanis ei kasutata, kuna see ei kannata piisavalt hästi külma-sula tsükleid. Taani normides on „*soft asphalt*“ tähisega „PA“. Taani standardis on selle kohta omad nõuded. Nad võtavad seda kui tavalist asfalti ehk terakoostise mõttes nagu EN 13108-1 (Asfaltsegud. Materjali spetsifikatsioon. Osa 1: Asfaltbetoon), mitte kui EN 13108-3 (Asfaltsegud. Materjali spetsifikatsioon. Osa 3: Pehme asfalt), kuid sideaine on pehmem (250/330). Pehmes asfaldis kasutatud sideaine on Taanis läinud aasta-aastalt jäigemaks (v.t lisas 5 olev ettekanne).

Asfaltkatte modifitseerimisel kasutatakse polümeermodifitseeritud asfalti, mitte –modifitseeritud bituumenit. See tähendab, et polümeer lisatakse segu segamisel, mitte ei tule koos bituumeniga. See võimaldab oluliselt operatiivsemat polümeeri kasutamist, nt kui parkimisplatsidel on raskeliikluse sektsioonidesse vaja modifitseeritud asfaldi kasutamist, siis lisatakse lisand sellesse segusse, mis läheb sinna kohta.

Aastal 2018 tühistati Taanis asfaldinormid (seetõttu on nende nõuded tühistatud nagu viidati kohtumisel Rambollis), mis tulenes sellest, et see oli kohalikel kogemustel põhinev, kuid läks

vastuollu EU nõuetega (CE). Sellest tekkisid juriidilised vaidlused, mistõttu omad nõuded tuli tühistada. Tehnilised inimesed (katendispetsialistid) ei ole taolise muutusega sugugi rahul, kuna tellijal ei ole võimalik/lubatud enam spetsifitseerida konkreetselt seda, mida on vaja, vaid võib kasutada ainult EN regulatsioonidele vastavaid nõudeid. Taani vana süsteem (enne 2018) oli väga sarnane Rootsi ja Norra nõuetega, kuid need ei ole täielikus vastavuses EN harmoniseeritud standarditega.

Uus pehme asfalt ei suuda ennast enam kuigipalju ise parandada, kuna kiht on juba väga sarnane asfaltbetooniga, mitte vanale pehmele kattele.

Mida heledam on täitematerjal, seda halvemini see nakkub bituumeniga. Kui on „*open graded*“ kate (terakoostise mõttes), siis selle puhul on sideaine ja täitematerjali omavaheline nake väga problemaatiline. Katte elueaks arvstatakse 10…12 aastat, peale mida vana kulumiskiht eemaldatakse ja asendatakse uuega. Nakkeprobleemide tõttu ei panda sinna peale tihedat asfaltbetooni.

SMA on vahetult peale ehitust libedam ja pikemalt libedam kui tihe AB (2…5 kuud), kuna SMAl on kivi peal veidi paksem bituumeni kiht. Asfaltkatet peale ehitust haardeteguri suurendamiseks liivaga üle ei puistata, kuna see rikub terakoostist.

SMA11 on varasemalt olnud eelistatud kulumiskiht, kuid nüüd on järjest rohkem SMA8 seoses müraga (õhuke kulumiskiht). Kui esialgne bituumen on pealt kulunud, ei ole SMA8 osas probleeme haardeteguriga. Kasutatud on ka SMA6, kuid see on liiga peenike ja vihmasajuga on oht vesiliule.

Suure terasuurusega asfaltkatted on ohtlikumad segregeerumisele. Väiksema teraga pigem mitte – SMA8-ga pole sellega üldse probleeme olnud.

Taanlased ei saa kasutada purustatud teradega sidumata segu („*unbound crushed layer*“), kuna seda lihtsalt ei ole.

Taani tüüpiline teekatend on järgnev:

- asfaltkate;
- kruus;
- kapillaartõusu katkestav liiv (selle ülesanne ei ole võtta vastu koormust, vaid toimida kapillaartõusu katkestava kihina);
- looduslik pinnas.

Asfaldi ettesöötjat võidakse tulevikus nõuda vaid kõige suurematel kiirteelõikudel, kuid need ei ole täna veel levinud. Probleemid seoses sellega on töökorralduses. Nimelt tehakse suurtel maanteedel enamik asfalteerimistest öösiti ning pimedus valmistab raskusi nii manööverdamisel kui muudmoodi visuaalselt saadava infoga. Näiteks tõi Erik Nielsen välja, et ettesöötja kolu kiputakse täitma üle, mistõttu asfalt pudeneb üle ääre maha ning kui see kinni sõidetakse, jääb sellest tükk asfaltkatte alla, mistõttu on paigaldatava kihi paksus liiga õhuke, millest saab alguse katte lagunemine.

Taanis on maanteedel vuugisoojendite kasutamine kohustuslik. Infrapunakaameraid testitakse ja mõeldakse ka tuleviku boonussüsteemile.

Lisas 5 on Erik Nielseni poolt kasutatud presentatsioon seoses pehme asfaltkatte kasutamisega Taanis.

Peale arutelu külastati ka DTU katselaborit, mis sisaldas pea lugematul hulgal erinevaid hüdraulilisi presse tootjalt MTS. Kõige märkimisväärsem nendest oli mitmetelgne seade (foto 4.20), millega on võimalik uuritavat materjali eri nurkade all samaaegselt suruda, tõmmata ja väänata. Üheks huvipakkuvaks töös olnud katseks oli raudteetrassi toetamine asfaldist aluse peale (foto 4.21), mis võimaldab loobuda ballastist (?). Asfaldi kasutamise efektiks olid üliväikesed deformatsioonid.

Fotod 4.20 ja 4.21. Proovikeha mitmetelgset tõmmet, surumist ja väänet võimaldav katseseade. Asfaltbetoonkatte testimine raudteeliiprite all.

4.3 Ülevaade Soome kogemustest seoses vähese liiklussagedusega teedega

4.3.1 Ülevaade 16.05.2019 toimunud kruusateepäevast Soomes

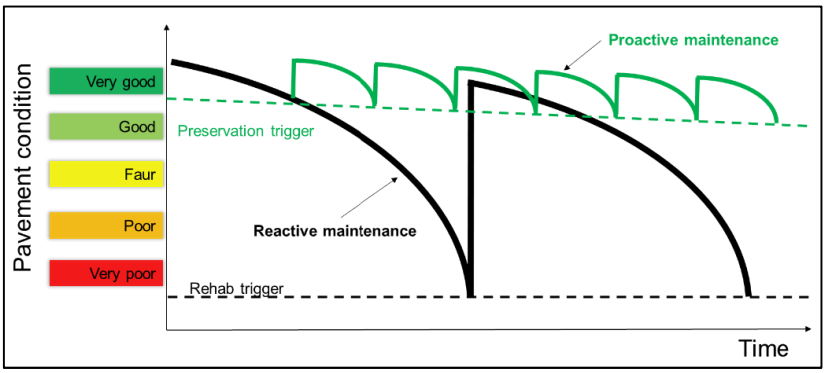
Ilmastiku muutused ja raskemad veokid [presentatsioonid: Östergård Anders, Pauli Kolisoja, Katri Eskola]

Ilmaprognooside kohaselt on näha, et talved muutuvad lühemateks, põhja-aladel toimub suhtelist soojenemist rohkem. Sademete hulk lisandub umbes 10% ning rohkem on oodata hoovihma. Kõik see toob kaasa rohkem probleeme kruusateedega. Sellest hoolimata on Soomes pigem suund mitte ehitada kruusateedele tolmuvabasid katteid, vaid otsitakse paremaid alternatiive, milleks on proaktiivne hooldus (joonis 4.4), teehöövlite tagasitoomine kruusateede hooldustöödeks, drenaaži parandamine ja selle heas korras hoidmine, innovaatilised lahendused, nt kergkruusa kasutamine (foto 4.22). Kruusateede pindamine on jäänud ühe generatsiooni innovatsiooniks.

Soomes täna lubatud maksimaalsed täismassid on järgmised:

- veoki täismass 76 t, kuid 65% järelkäru massist peab olema paarisratastel;
- kaheteljelise teliku maksimaalne koormus 21 t;
- kolmeteljelise teliku maksimaalne koormus 27 t.

Raskemate veokitega seonduvate probleemide üheks võimalikuks lahenduseks on rehvirõhkude reguleerimine – väiksema kandevõimega teedel rehvirõhku alandatakse muutes kontaktpingeid väiksemateks.

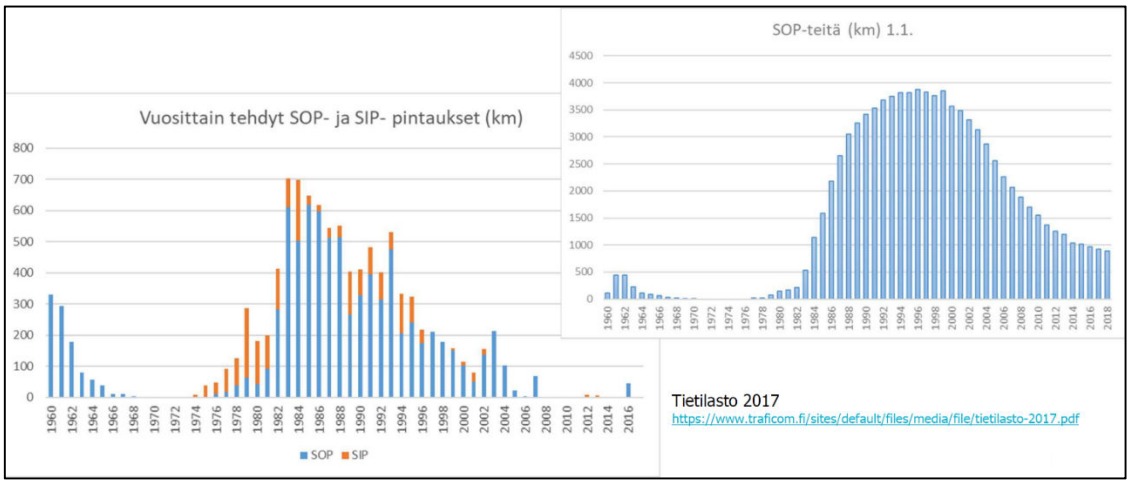


Joonis 4.4. Kruusateede paremaks toimimiseks ja nende eluea pikendamiseks on kriitilise tähtsusega pidev hooldustegevus.

Foto 4.22. Elektrijaama tuhast tehtud kerg-graanulid, millel on liivaga võrreldes oluliselt paremad soojusisolatsiooniomadused [foto: Östergård Anders]. Taolise materjali tegemist on uurinud ka Eesti Energia, see on võimalik, kuid täna veel liiga kallis.

Joonisel 4.4 kujutati proaktiivset teehooldust, mida on täpsemalt käsitletud allikas [34]. Tegemist on mitme-aastase planeeritud strateegiaga valimaks ja kasutamaks kõige efektiivsemaid viise säilitamaks teedevõrku, et takistada tulevikus toimuvat lagunemist ning hoida või parandada teede funktsionaalset seisundit ilma, et suurendataks kandevõimet. Proaktiivne hooldus sisaldab tüüpiliselt korrektiivseid ja preventatiivseid hooldustegevusi koos väikesemahuliste ehitustöödega. Võrreldes tavapärase seisukorrapõhise („*reactive maintenance*“) lähenemisega, kasutatakse proaktiivse hoolduse juures hoolikalt valitud meetmeid, et säilitada teekatendite seisukorda kõige optimaalsemal viisil ja sobilikumal ajahetkel. Taoline tegevus võimaldab pikendada teede eluiga vähendades seeläbi kasvuhoonegaaside emissioone, aitab kaasa majanduse arengule ning parandab liiklusturvalisust. Väga lühidalt öeldes on proaktiivse hoolduse näol tegemist säilitusremondiga („*pavement preservation*“). Viidatud allikas on omakorda viidatud 14-le erinevale artiklile, mis käsitlevad teekatendi säilitamist.

Soomes oli kruusateede tolmuvaba katte alla viimise programm 1980-ndatel. Aastal 1981 anti välja ka vastav juhismaterjal („Sorateiden pintaus, SOP“) ning aastal 2005 uuringu aruanne SOP teede hoiust („SOP teiden ylläpito“). Tänaseks on kruusateede tolmuvabaks viimise maht minimaalne, pigem tehakse vastupidist ehk väikese liiklusega teed viiakse tagasi kruuskatetega teedeks (joonis 4.5).



Joonis 4.5. Parempoolne graafik näitab kruusateedele aastate jooksul tehtud pindamisi ning vasakpoolne pinnatud kruusateede kilometraaži Soome teedel.

Uuringu aruandes [25] tuuakse välja järgmised mõtted:

- kruusateede pindamine on kunagi võetud kasutusele kruusast kulumiskihi alternatiiviks, mis ei ole enam kuigi kasutatav meede, kuna selle kvaliteeti ja püsivust ei peeta olevat piisavalt heal tasemel, mis toob kaasa võrreldes „õigete“ teekatetega suuremamahulisi lappimistöid ja tihedamat katte uuendamise vajadust;
- alternatiiviks on katte muutmine kergkatteks (PAB-V, mis tähendab pehmet asfaltbetooni, kus bituumenit kirjeldatakse läbi viskoossuse) või tagasi kruuskatteks. Kergkatte eelis on see, et selle seisukord ei ole nii sõltuv ilmastikust ja aastaajast, peamiseks sõidumugavuse mõjutajaks on augud ja nende paigad ning praod;
- kerg- vs kruuskatte tasuvuspiiriks hinnati 100 autot/ööp. Erinevad maksumused 2005. a uuringust on kokku võetud tabelisse 4.1.

Tabel 4.1. Uuringust [25] kokkuvõte seoses pinnatud kruusateede seisukorra parandamise kulutustest (aastal 2005)

Remondimeede	**Investeeringu maksumus**	**Hoolduse maksumus**
Pindamise uuendamine kergkatteks (PAB-V)	Katte paigaldus 3.5 EUR/m^2	400 EUR/km/aasta
Kergelt külmakerkelise tee parandus + kergkate	Külmakerke parandus 55´000 EUR/km + katte paigaldus 3.5 EUR/m^2	400 EUR/km/aasta
Külmakerkelise tee parandus + kergkate	Külmakerke parandus 80´000 EUR/km + katte paigaldus 3.5 EUR/m^2	400 EUR/km/aasta
Kruusateeks muutmine (kuiv piirkond, mis vajab regulaarset soolamist)	Katte eemaldamise maksumus 8´400 EUR/m^2	1600 EUR/km/aasta

Tabel 4.1 jätk

Kruusateeks muutmine (külmakerkeline tee)	Katte eemaldamise maksumus 8´400 EUR/m^2	1600 EUR/km/aasta
Kruusateeks muutmine (kergelt külmakerkeline tee)	Katte eemaldamise maksumus 8´400 EUR/m^2	1200 EUR/km/aasta

Kruusateede remondivajaduse hindamine [Eino-Matti Hakala]

Remondivajaduse hindamise uuringud Kesk-Soomes tehti aastatel 2016…2018, mille raames hinnati ka teede kandevõimeid, foto 4.23 (Soomes tehtud uuringud on pea identsed nendega, mida tehti uuringus [3] ka Eestis). Mõõdetud kandevõimete alusel valiti välja kohad, kus tehti täpsemad (pinnase)uuringud. Uuringupunktide kriteeriumiteks olid järgmised näitajad:

- tee kevadine kandevõime E2_T_K2 ≤ 80 MPa;
- BCI ≥ 70 (Soomes on BCI näitaja vahemikus 900…1200 mm);
- SCI ≥ 400 (Soomes on SCI näitaja vahemikus 0…200 mm).

FWD mõõtmistest vajumikausi parameetrite hindamine käib tabelis 4.2 olevate parameetrite järgi.

Tabel 4.2. Soome kruusateede seisukorra hindamiseks kasutatav FWD mõõtmistest tulenevad vajumikausi parameetrid

Seisukord	**SCI (0…200 mm)**	**BCI (900…1200 mm)**
Piisav	< 400	< 50
Rahuldav	400…800	50…100
Halb	800…1200	100…200
Eriti halb	> 1200	> 200

Seisukorrauuringute tulemusel töötati välja remondilahendused. Kohtades, kus oli vaja kaevata künkaid madalamaks (maaradari analüüsil põhinevalt 147 cm sügavuseni 130 tk), kujunes keskmiseks maksumuseks 154´472 EUR/km, kruusateede keskmiseks remondimaksumuseks kujunes 21´809 EUR/km, kusjuures selleni jõuti peale mitmete plaanide kärpimisi.

Kasutatud remondimeetoditeks olid (foto 4.23):

- vana kulumiskihi eemaldamine;
- muldkeha/aluspinnase/aluse homogeniseerimine;
- geotekstiili paigaldamine;
- kandva kihi paigaldus fr 0/45 mm;
- kulumiskihi paigaldus fr 0/16 mm;
- kraavide kaevamine, truupide uuendamine;
- äravoolude puhastamine 100 m ulatuses.

Foto 4.23. Kruusatee kandevõimemõõtmised, aluse homogeniseerimine ja uue katendi ehitamine geotekstiili kasutamisega, kus kattekruusa paigaldamine toimub traktori külge haagitud laoturiga. [fotod: Eino-Matti Hakala]

Kuna kliima on muutumas, õigemini juba muutunud, võib kogu aasta jooksul kruusatee olla märg ja konstruktsioon ei saa puhkust. Kruusateede seisukorra säilitamiseks ja nende parandamiseks on olulised järgmised tegevused:

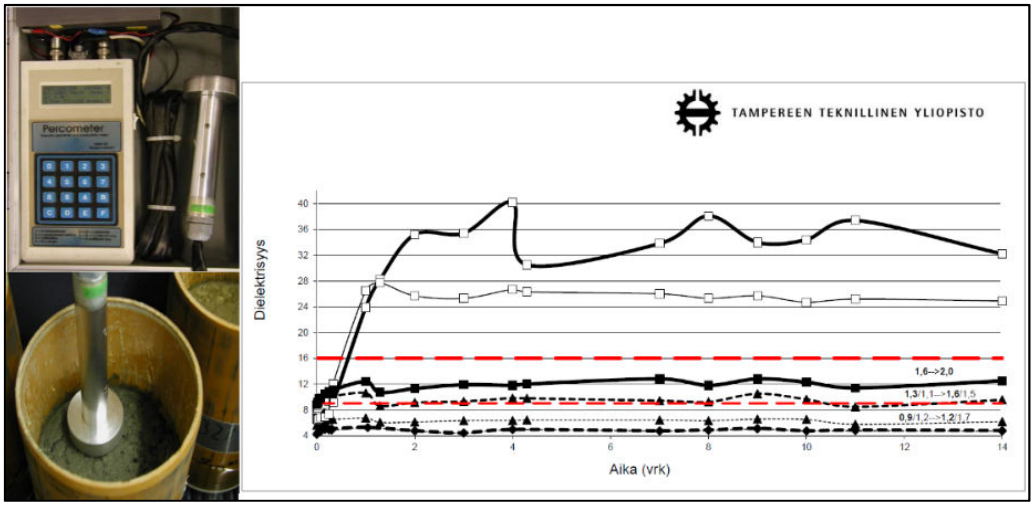
- konstruktsiooni osas:
  - konstruktsiooni remont: külmakerked, drenaaž, tulvakohtadega arvestamine;
  - kulumiskihi materjali valik (möll ja tolm), välistada teesuunalised veevoolud (uhtumised);
- hoolduse osas:
  - lumevallide likvideerimine;
  - jää ummikute avamine, lörtsi väljapääsu avamine, truupide avamine;
  - kevadine profiiliparandus, vee äravoolu takistavate vallide ja teiste takistuste kõrvaldamine;
  - tolmutõrje (peenosise kadumise vältimiseks);
- muud tegevused:
  - varjulised ja muud maastiku probleemkohad;
  - vesi on vaja saada tee maa-alalt ära, vesi peab liikuma õiges suunas ning eesvoolud peavad olema puhtad;
  - kruusatee seisundi seire – sh liiklejate pool tehtav ning sotsiaalmeedia võimalused;
  - liigne koormus nõrgalt kruusateelt ära – koormuse piiramine, muudetava rehvisurvega sõidukid;
  - pidev arendustöö – materjalid, töömeetodid ja konstruktsioonid.

Kruusateede katted [Anne Valkonen]

Kruusateede katetes kasutatav materjal peaks lisaks sõelkõveranõuetele vastama veel järgmistele näitajatele:

- pehmete mineraalide (graniidi puhul vilgukivi) sisalduse maksimaalne hulk alla 30%;

- kulumiskindlus (Nordic katse) < 22;
- TS-väärtus alla 16 (tube suction, joonis 4.6, seade on olemas TalTech teedelaboril). Tabelis 4.4 on esitatud TS katse piirväärtused;
- lisaks oleks vaja hinnata plaatsust (eelkõige graniidist valmistatud segusel) ja peenosiste kvaliteeti.



Joonis 4.6. Tube suction (TS) testi aparaat ja katsetulemuste näidis.

Tabel 4.4. Tube suction (TS) testi piirväärtused kruusatee kulumiskihis kasutatavale materjalile

Dielektrilisuse väärtus (TS-väärtus)	Kvaliteet
< 8	Kruuskatte veesisalduse hoidmise võime on liiga väike, kate hakkab kergesti tolmama ning kulumiskiht kulub kiiresti. Kaaluda tuleks peeosise lisamist ja katte soolamist.
8…12	Tulemus tagab optimaalse kattekihi niiskuse. Katet võib uuendada uue materjaliga ning ka peenosist võib veidi lisada.
12…16	Tulemus tagab optimaalse kattekihi niiskuse. Kui lisatakse uut materjali, peab tähelepanu pöörama selle peenosisesisalduse hulgale (et ei tuleks liiga palju). Hoolitseda tuleb korraliku kuivenduse eest.
> 16 (20)*	Kulumiskiht seob liialt vett ning on oht, et kattekruus pehmeneb kergesti. Vihmasajuga muutub kate libedaks. Kontrollida tuleb peenosisesisaldust ning ka soola hulka. Tee kuivendus peab olema hea.

* Üldiselt on leitud, et sobilikuks maksimaalseks piirmääraks võib lugeda „16“, kuid on ka arvatud, et see võiks olla kuni „20“.

Kruusateede pindamise ajaloost Soomes [Katri Eskola]

Kruusateede pindamine muutus aktuaalseks 1960-ndatel, kui otsiti alternatiive kallinevale suvehooldusele. Eesmärgiks oli saada teed tolmuvabaks. Aluseks võeti Norras välja töötatud Otta-kate kruusateede tolmuvabaks viimiseks.

Katsetöödega alustati 1970-ndatel, teavet ja kogemusi saadi Rootsist. Aastal 1981 anti saadud kogemuste põhjal välja esimene pindamisjuhis („Sorateiden pintaus, SOP“, mis on Googeldades leitav).

1989…90 arendas Neste Oy bituumenõli („bitumiöljy“) asemel keskkonnasõbralikuma bituumenemulsiooni. 1995 katsetati lisaks emulsioonile ka pehmete bituumenite (V3000, B650/900 ja B500/650) kasutamist.

Pinnatud kruusateede säilimise eeldused [Katri Eskola]

Soomes ei ole alates 2000-ndatest üksikuid kohti arvestamata sisuliselt kruusateede pindamisi enam tehtud. Vanad pinnatud teed on:

- uuendatud kergkatetele (PAB);
- muudetud tagasi kruusateedeks (alates aastast 1999);
- hoitud pindamise all.

Alles on sellised teed, mis on olnud soodsamates oludes ja mida on süstemaatiliselt korrastatud, näiteks kus teine pindamine on tehtud 2…4 aasta pärast peale esimest kihti, millele eelnevalt on augud ja vajumid tasandatud ning vajadusel tugevdatud kerge asfaldiga (PAB-V).

Pindamise õnnestumise eeldusteks on:

- hea kandevõimega, tasane, tugev, piisavalt jämedateralise kattega ja õigete kalletega olev külmakerkekindel tee;
- vähese liiklussagedusega teed, mis on suhteliselt sirged ja millel ei liigu kuigivõrd pöördeid tegevad rasked masinad;
- pindamiseks kasutatav kivimaterjal peab olema puhas ja mis nakkub hästi sideainega. Materjalide kulunormid peavad olema õiged;
- tööd tehakse hoolikalt „õige“ ilmastikuga, kõige hilisemalt augustis;
- pinnatav alus võib olla niiske, kuid mitte märg;
- harjamine tehakse alles peale kivimaterjali korralikku nakkumist;
- alguses peab hoidma liikluse kiiruse madalana;
- pinnatud kihti peab regulaarselt hooldama.

Paar näidet Soome pinnatud kruusateedest on fotol 4.24.

Foto 4.24. Mõningad näited pinnatud kruusateedest Soomes [autor: Katri Eskola]

4.3.2 PS segud

Peatükis 1 käsitleti näidisobjektide lahendusi, mis sisaldasid muuhulgas ka teel katte segamist segamisfreesiga. Sarnased teemad olid käsitluse all ka Maanteemati osakondades toimunud töökohtumistel. Kohapealse materjali taaskasutamine segamisfreesiga on väga kuluefektiivne ja ökoloogiline viis teede katete uuendamiseks.

Lihtsamad viisid segamiseks on kasutada traktori külge haagitud freesi (foto 4.25), Soomes kasutatakse seda küll kergkatete ja pindamise purustamiseks, kuid väiksematel teedel oleks võimalik niiviisi teha mehaanilist stabiliseerimist (terakoostise parandamist) ja kruusatee homogeniseerimist. Lisaks freesile on olemas ka purusti, millega purustada suuremaid kive. Sarnast tehnoloogiat on tutvustatud ka Maanteeameti Teelehes aastal 2004 [22], foto 4.26.

Foto 4.25. Kergem frees ja kivipurusti, mida Soomes kasutatakse pinnatud kruusatee muutmiseks kruuskattega teeks. [fotod: Oiva Huuskonen]

Foto 4.26. Eestis aastal 2004 tehtud katsetööd PÖMA tehnoloogiaga. [22]

Teeobjektidel stabilisaatoriga segamist on Soomes põhjalikult käsitletud allikas [23], milles tuuakse välja, et vaadeldava tööliigi eesmärgiks on segada omavahel kokku vana, deformeerunud asfaltkate ning selle all olev alus, misjärel saab tee uuesti asfalteerida. Segamise eesmärk on homogeniseerida ja tugevdada teekatendi kandvat kihti. Antud meetod on Soomes muutumas üha levinumaks asendades stabiliseerimist pea täielikult.

Seega Eesti mõistes on tegemist PS seguga, kus segatakse omavahel kokku killustik ja freespuru sideainet lisamata. Taolist meedet nimetatakse Rootsis mõistetega „*Djupfräsning*“ või „*Infräsning*“ (millest rääkis ka Alar Tooming Maanteeameti Ida teehoiu osakonnas toimunud koosolekul) ja inglisekeelses kirjanduses „*Full-depth Reclamation*“, „*Pulverization*“, „*Mechanical Stabilization*“.

Soomes on teel segamist tehtud kahel viisil:

- korraga segatakse kokku uus täitematerjal, vana olemasolev asfalt ja vana olemasolev killustikalus, mis kaetakse asfaltbetooniga;
- kõigepealt segatakse kokku olemasolev asfalt olemasoleva killustikalusega, mille peale paigaldatakse uus killustikalus, mis kaetakse asfaltbetooniga.

Allikas [32] tuuakse välja , et lisatava uue täitematerjali terakoostis on tavaliselt 0/32 mm, kuid see võiks olla ka kas 0/45 või 0/56 mm. Kui segatud kihile pannakse peale uus kiht, siis fraktsiooniga 0/32 mm. Kui olemasolevas aluses on liiga palju peenosiseid, võidakse nõuda sellise lisatava killustiku fraktsiooni, milles oleks vähe või üldse mitte peenosiseid, nt fr 4/45 mm. Paremaks meetodiks peetakse olemasoleva konstruktsiooni segamist koos uue killustikuga. Asfaltkatte freesimisel on tingimuseks, et tekkiva puru maksimaalne tera läbimõõt ei ületaks 50 mm (võrdluseks, Eestis on maksimaalne läbimõõt 32 mm).

Enne uue asfaltkatte paigaldamist peab alus olema piisavalt tihe (seda mõõdetakse kas teerulliga või kasutades radioaktiivse isotoobi meetodit, nt kasutades Troxler-seadet, ning peab olema vähemalt 95% katselõigul saadud maksimaaltihedusest, mis määratakse läbi kuivmahumassi), kuid samas tuleb vältida ületihendamist, ning tagatud peavad olema vajalikud põikkalded. Läbi segatud segust võetakse proovid terakoostise ja sideainesisalduse määramiseks. Asfaltkattena kasutatakse tavaliselt PAB-B, PAB-V (pehme asfaltbetoon, mille bituumeni liigitlemine tehakse kas vastavalt läbi penetratsiooni või viskoossuse) või tavaline asfaltbetoon.

Kokku segatud kihi täpseid omadusi on raske hinnata, kuna need sõltuvad mitmetest eri teguritest, sh eri komponentide terakoostistest, kivimaterjali peenosisesisaldusest, veesisaldusest, tihedusest ning freespuru omadustest, mida omakorda mõjutavad asfaltkatte tüüp, vanus ja kasutatud bituumen. Asfaldipuru osakaalu suurenedes kihi tugevusomadused vähenevad, mistõttu ei tohi teha alust vaid sellest. Näiteks USAs on antud kriteerium, et freespuru sisaldus kokku segatud aluses ei tohi ületada 50% (samast väärtusest lähtutakse ka Eestis).

Tegurid, millega arvestada teel kokku segatud alustega (Eesti mõistes PS segu):

- olemasoleva asfaltkatte segamine kokku aluse ning uue kivimaterjaliga ilma sideaine kasutamiseta sobitub teedele, mille liiklussagedus on alla 1500 auto/ööp ja mille koormussagedus on väike;
- kokku segatud aluste eluiga on piiratud tingimustes, kui kuivendus on nõrk ja kui segu peenosisesisaldus on liiga kõrge (üle 6…9%);
- kõikide kokku segatavate materjalide terakoostis tuleb määrata, mida saab võrrelda Soome terakoostise graafikutega, mille alusel on võimalik leida segu elastsusmoodul. FWD mõõtmised on võimaldanud järeldada, et kokku segatud kihi elastsusmoodul jääb alla 200 MPa.

4.3.3 PAB katetest

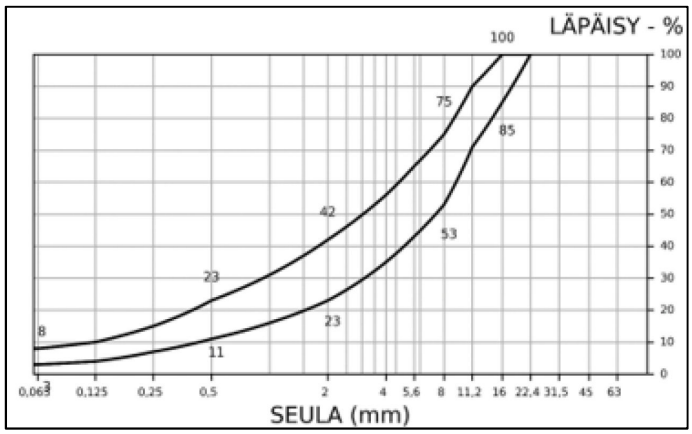
PAB tähendab pehmet asfaltbetooni. PAB-B puhul kasutatakse sideainena bituumeneid pen 250/330, 330/430, 500/650, 650/900 või nendest valmistatud emulsioone. PAB-V puhul liigitletakse bituumenit viskoossuse alusel kas V1500 või V3000. Täitematerjali terakoostis on sarnane vastava terasuurusega asfaltbetoonile, kuid peenosisesisaldus on tavaliselt madalam vahemikus 3…8%. Sideainesisaldus varieerub vahemikus 3,2…4,5% olenevalt täitematerjali terakoostisest.

Allikas [35] tuuakse välja, et PAB-B segude valmistustemperatuur peab olemas vahemikus 110 – 155ºC sõltuvalt bituumenist ning PAB-V puhul 40 – 120ºC. See võimaldab vähendada energiakulusid võrreldes tavapärase 70/100 bituumeniga, kus valmistustemperatuur on vahemikus 170 – 180ºC. Joonistel 4.7 ja 4.8 on esitatud PAB-V 16 ja PAB-B 16 sõelkõverad.

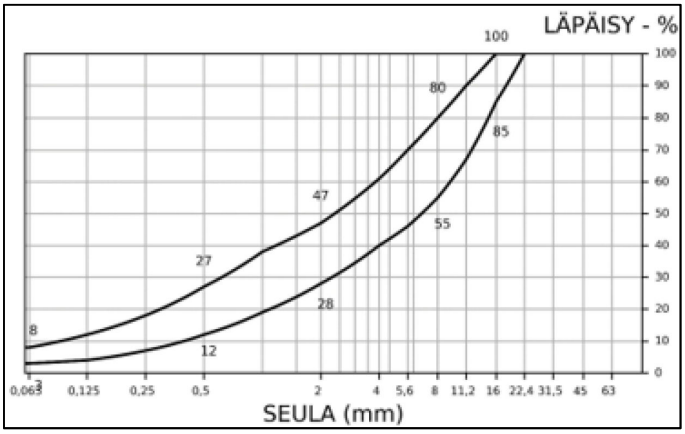
Allikas [24] annab PAB-B segule arvutuslikuks elastsusmooduliks 1650 MPa ja PAB-V osas 1400 MPa (võrdluseks, ACsurf ja ACbase on 2500 MPa, kompleksstabiliseerimine 900…1250 MPa, bituumenstabiliseerimine 700…1050 MPa). PAB-B sobitub kulumiskihiks tavapärase asfaltbetooni asemel teedele liiklussagedusega maksimaalselt 2500 (allika [35] põhjal siiski kuni 1500) ja PAB-V maksimaalselt 500 autot/ööp, kuid mitte teedel, millel toimub kuigivõrd raskeveokite manööverdamisi. PAB katteid ei kasutata regulaarselt soolatatavatel teedel.

Allika [24] alusel vajatakse kõige madalama koormusklassiga teel (0.3 milj. normtelge) järgmisi minimaalseid kandevõimeid aluse pealt (arvutatuna Odemarki valemiga) sõltudes kasutatavast kattest:

- SOP (ehk kruusatee pindamine): 130 MPa (sama ka teekatendi vajalik kandevõime);
- PAB-V: 130 MPa (teekatendi minimaalne kandevõime 145 MPa, katte paksus 40 mm);
- PAB-B: 145 MPa (teekatendi minimaalne kandevõime 165 MPa, katte paksus 40 mm);
- AB ehk asfaltbetoon: 145 MPa (teekatendi minimaalne kandevõime 170 MPa, katte paksus 40 mm).



Joonis 4.7. PAB-V sõelkõver, sideainesisaldus (V-1500, V-3000 või emulsioon) 3.2…3.7 massi-%.



Joonis 4.8. PAB-B sõelkõver, sideainesisaldus (250/330…650/900) 4.0…4.5 massi-%.

4.4 Ülevaade Vene Föderatsiooni materjalidest

Järgnevalt on ülevaade Vene normide arengutest kerg- ja siirdekatendite valguses ning nende võrdlus Eesti projekteerimisnormiga (määrus 106).

Kasutatud lühendite tähendus:

- VSN 46-83 – norm, mis on põhialuseks Eestis tänaseni kehtivas juhendis (kehtis kuni 2001), allikas [28];
- ODN 218.046-01 – Vene senikehtinud katendijuhis, allikas [29];
- MODN 2-2001 – SRÜ juhis, allikas [30];
- PNST 265-2018 – Vene uusim katendijuhis (2018 eelstandard), allikas [31];
- M106 – MKMi määrus nr 106, allikas [32]

Tabelis 4.5 on antud teekatendite liigitus vastavalt normile – mis on kerg- ja mis siirdekatend.

Tabel 4.5. Kokkuvõte Vene normidest, kuidas on aja jooksul liigitletud püsi-, kerg- ja siirdekatendit

	VSN	ODN	MODN	PNST	M106
Püsi-	I margi kuum ja soe asfalt; II margi kuum asfalt	Kuum asfaltbetoon		Asfaltbetoon; SMA	Monoliittsement-betoon; monteeritav raudbetoon; asfaltbetoon
Kerg-	II margi soe asfalt; I margi külm asfalt; III margi kuum asfalt; teel segatud ja pinnatud segu; MUK	Kuum ja külm asfaltbetoon, organomineraalsed segud; teel segatud või immutatud kivimaterjalid ja pinnased; MUK; kahekordselt pinnatud killustik		Organomineraalsed segud, sideainetega töödeldud killustik ja kruus	Pinnatud MSE, pinnatud stabi, sillutis
Siirde-	Kiilutud killustik; sideainega töödeldud kivimaterjal ja pinnased; sillutis			Killustiku-kruusa-liiva segud; sideainetega töödeldud nõrgad kivimaterjalid ja pinnased; sillutis	Pinnatud freespuru; killustik; kruus; pinnatud kruus; bituumenmakadam; sideainetega töödeldud pinnas
Liht	Killustiku-kruusa-liiva segud, nõrgad kivimaterjalid ja šlakid; tugevdatud pinnas				Juhusliku terakoostisega materjal

Katendi liigitus (kuna tegemist on elastsete katendite juhendiga, puudub siit betoon):

- püsikatend – kuum või soe asfaltbetoon; ainult kuum asfaltbetoon ja SMA;
- kergkatend – 2. margi kuumad või soojad asfaltbetoonid, külmad asfaltbetoonid, immutatud kivimaterjalid, MUK, pinnatud poorne asfalt või pinnatud tugev killustik. Kuum asfaltbetoon, külm asfaltbetoon, organomineraalsed segud (BS, KS, TS), MUK, killustik kahekordse pindamisega. Organomineraalsed segud (GOST 30491 – TS, KS), killustik (kruus) mis on orgaanilise sideainega töödeldud (BS);

- siirdekatend – tugevast killustikust kiilutud katted, tugevdatud pinnased või nõrgad kivimaterjalid, sillutiskivid. Kiilutud tugev killustik ilma sideaineta, nõrgemad kivimaterjalid sideainega, sillutiskivid. Killustiku-kruusa-liiva segud, sideainega töödeldud (stabiliseeritud) pinnased ja nõrgemad kivimaterjalid, erinevate kohalike materjalide ja sideainetega tugevdatud pinnased, munakivi- ja sillutiskivikatted;
- lihtkatend – killustiku-kruusa-liiva segud, tugevdatud pinnased killustiku-kruusa-liiva segud, tugevdatud pinnased.

Koormuste jaotus vastavalt normile:

- **VSN** – A-grupi koormused I-III klassi teedel ja mujal kui ebasoodsam koormus on veoki 10t telg, tridem-teliku 8-tonnine telg, autobussi 11-tonnine telg. B-grupi koormused kaheteljelise 6-tonnine telg, tridem 6-tonnine telg, autobussi 7-tonnine telg. A-grupp = 10 tonni, 50/65 kN, 0,6 MPa, 33/37 cm; B-grupp = 6 tonni, 30/39 kN, 0,5 MPa, 28/32 cm. Linnaliikluses A-autobuss = 11 tonni, 55/72 kN, 0,6 MPa, 34/39 cm; B-autobuss = 7 tonni, 35/46 kN, 0,5 MPa, 30/34 cm. Siirdeteguri astendaja 4,4;
- **ODN** – kolm koormusgruppi: A1 = 100 kN, 0,6 MPa, 37/33 cm; A2 = 110 kN, 0,6 MPa, 39/34 cm; A3 = 130 kN, 0,6 MPa, 42/37 cm. Siirdeteguri astendaja püsikatendil 4,4, kergkatendil 3,0, siirdekatendil 2,0;
- **MODN** – kaks koormusgruppi – 10-tonnine ja 11-tonnine. Katendi tööaeg: püsi – 11-18 a, kerg 8-13 a, siirde 3-8 a.
- **PNST** – kaks koormusgruppi – 10-tonnine ja 11,5-tonnine;
- **Määrus 106** – 10-tonnine telg 0,6 MPa rehvirõhuga, siirdeteguri astendaja 4,4.

Eelnevast tulenevalt, kuna E-vajaliku seos tugineb VSN reeglitel ja VSN eeldab püsikatendit I-III klassi teedel, siis madalamate klasside teedel on aluseks kergem telg ja erinevad siirdetegurid. Eesti normis kergemat telge ei käsitleta ja siirdetegurite eri liigid puuduvad. Seega vähemalt kerg- ja siirdekatendite puhul ei pruugi normitekstides toodud seosed üheselt kehtida. Katendi tööea määratlus on muutunud – kui VSNi alus tugineb 15-aastasel tööeal, siis ODN on seda laiendanud püsikattel 11…18 aastani ja PNST 24 aastani.

Mõistetest:

- aluse ülakihid võiksid püsikatendil eelistatult olla monoliitsed, nihkekindlad ja piisavalt vastupidavad tõmbele. Aluse alakihid tehakse vähemtugevatest, kuid piisavalt külma- ja veekindlatest materjalidest;
- alus jaguneb kandvaks aluseks ja lisakihtideks. Kandev alus võtab vastu koormuse ja peab olema külmakindel;
- lisakihid tehakse liivast või teistest looduslikus seisus materjalidest, või ka tugevdatud kohalikest materjalidest. Lisakihid peavad tagama võimaluse nii ehitusaegseks liikluseks kui ehitustehnika liikumiseks;
- lisakihtide hulka kuuluvad ka vee- ja aurutõkke membraanid, kapillaartõusu takistavad ja töökihtide ummistumist takistavad kihid;
- aluse lisakihid – kandva aluse ja aluspinnase vahelised kihid, mis peaksid tagama külmakindluse ja vee väljaviimise konstruktsioonist, samaaegselt võimaldades kahandada ülemiste konstruktsioonikihtide paksust;

- arvutuslik teljekoormus – kaheteljelise sõiduki enamkoormatud telje koormus sõidukile, mille osakaal liikluses remontidevahelise perioodi lõpuks on vähemalt 5%;
- töökiht – muldkeha ülaosa, teekatte aluspinnast sügavuseni mis vastab 2/3 külmumissügavusest, kuid mitte alla 1,5 meetri teekatte pinnast (sama ka ODN).

MODN: kui aluse lisakihis kasutatakse ühtlaseteralist liiva (Cu < 3), tuleb selle peal kasutada kaitsekihti (tehnoloogilist kihti) killustiku(kruusa)liiva segust, moondekivimisõelmetest (märkuseks, et tõenäoliselt sobivad ka tardkivisõelmed), optimaalse koostisega jäme- või keskliivast või tsemendiliivast, paksusega 10 cm, kui Cu > 2 ja 15…20 cm kui Cu < 2. Arvutuslikult loetakse kaitsekiht aluse lisakihi (liiva) koosseisu.

Konstruktiivsete kihtide minimaalsed kihipaksused (ODN ja MODN juhistes need puuduvad):

- AC, jämedateraline – 6-7 cm;
- AC, Dmax 12,5 mm – 4 cm;
- AC, Dmax üle 12,5 mm – 2,5D;
- AC, peeneteraline – 3-5 cm;
- AC, liivasfalt – 3-4 cm;
- AC, külm asfalt – 3 cm;
- asfalt tänavatel – 2D;
- killustik (kruus) stabitud (BS, TS, KS) – 8 cm;
- killustik, kruus, mis on töödeldud bituumeniga – 8 cm;
- immutatud killustik – 8 cm;
- killustik, immutatud – 8 cm;
- sidumata killustik ja kruus liival – 15 cm;
- sidumata killustik ja kruus liival – 15 cm;
- killustik ja kruus tugeval alusel (kivi või tugevdatud pinnas) – 8 cm;
- killustik ja kruus tugeval alusel (kivi või tugevdatud pinnas) – 8 cm;
- sideainega töödeldud pinnased – 10 cm;
- sideainega töödeldud pinnased – 10 cm;
- liiv – 20 cm;
- suurendatud tugevusega pinnased – 50 cm.

Tabelis 4.6 on esitatud minimaalsed elastsusmoodulid seotuna tee klassiga, normtelgede arvuga ja katendi liigiga. Püsikatteid kasutatakse I-IV, kergkatteid III-V klassi teedel.

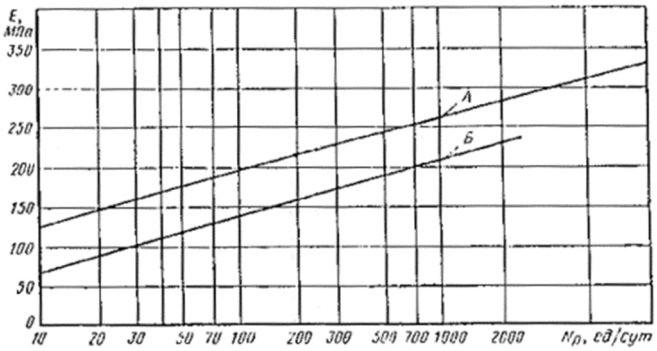
Tabel 4.6. Minimaalsed elastsusmoodulid seotuna tee klassiga, normtelgede arvuga ja katendi liigiga sõltudes vaadeldavast normist

	PNST (2018) järgi				ODN (2001) järgi				VSN järgi (telg/ööp)			
Klass	Telg	Püsi	Kerg	Siirde	Telg	Püsi	Kerg	Siirde	Telg	Püsi	Kerg	Siirde
1	1285000	330			750000	230			500	230		
2	1090000	325			500000	220	210*		250	220	180	
3	820000	310	235		375000	200	200		70	180	100	
4	240000	250	180	110	110000	150	150	100	(70)		125	65
5	50000		150	75	40000		100	50	(50)		100	50

NB! Kuna normteljed on erinevad kerg- ja siirdekatendi jaoks, ei saa üheselt võrrelda. Tabelis on püsi- ja kergkatendite miinimumväärtused vastavuses näidatud valemiga (nii 2001 kui 2018), kuid siirdekatendi osas on koormusest arvutatud numbrid oluliselt suuremad, kui tabelis toodu. Tõenäoliselt on põhjus lühemas elueas ehk remontidevahelises perioodis.

* MODN järgi 2 klassi teedel kergkatet ei kasutata.

E_{min} valitakse graafikust (koormussageduse baasil) vastavalt teljekoormusele (1…3 klass – 10-tonnine telg, 4…5 klassi teedel 7-tonnine telg), joonis 4.9.



Joonis 4.9. E_{min} sõltudes koormussagedusest.

Kui koormus on üle 40´000 telje, siis kasutatakse valemit E_{min} = sqrt(p/0,6)*98,65*log(Q-c), kus c on püsikatendil 3,55 ja teistel 3,20.

VSN versioonis teljekoormused 10 tonni (1…3 klass) ja 7 tonni (4…5 klass). Varasemas (ehk ODN) ei ole rehvirõhu parandust ja konstandid on erinevad: 10 tonni 3,55, 11 tonni 3,25, 13 tonni 3,05 (7-tonnisest teljest on loobutud, 10-tonnine telg kerg- ja siirdekatendil, 11-tonnine püsikatendil, 13-tonnine rahvusvahelistel transiitkoridoridel. Uusimas standardis on loobutud 13-tonnisest teljest ja arvutuste aluseks püsikatendil on tegelik maksimaalne lubatud 11,5 tonni.

Kui eraldi kulumiskihti ei kasutata, arvestatakse ülakihi paksusest maha maksimaalne lubatud roopa sügavus (NB! mitte 1 cm kulumisvaru, vaid kogu lubatud roopasügavuse ulatus).

Kui kandevkihis kasutatakse tsementi, peab bituumeniga kihtide paksus olema vähemalt tsemendiga kihiga võrdne, minimaalne bituumeniga kihtide paksus on seejuures püsikatendil 18 cm, kergkatendil 12 cm. Kui kandevkihi sideaine on aeglaselt kivinev, võib vähendada ülakihtide paksust 20%.

Staatilise koormusega aladel kasutatakse nihkekindlamat asfaldisegu, aluskihis tera suurus min 22,4 mm või tsemendiga stabiliseeritud materjalid.

Siirdekatted IV-V klassi teedele. Kui suurte pooridega materjal (nt fraktsioneeritud killustik) paigaldatakse pinnasele, tuleb kasutada eristavat kihti geosünteedist, sideainega stabiliseeritud pinnasest, sõelmetest, kruusaliiva segust, jäme- või keskliivast.

Siirdeteguri arvestamisel astendaja 4,4. ODN järgi püsikatendi astendaja 4,4. Siirdeteguri arvestamisel ülekoormuse (tegelik/norm) astendaja püsikatendil 4,0 ja teistel 3,0 – see tähendab, et siirdetegurid on erinevatel kattetüüpidel erinevad – järgnevalt püsi/teistel:

- B- kategooria sõiduk (SAPA) – 0,01/0,02;
- C – VA2 – 0,6/1,11;
- C – VA3 – 2,49/3,18;
- C – VA4 – 3,62/4,41;
- E – VA2+2 – 1,81/2,98;
- E – VA3+2 – 2,15/4,03;
- E – VH2+1 – 2,39/3,62;
- E – VH2+2 – 4,13/5,56;
- E – VH2+3 – 6,48/7,42;
- E – VH3+2 – 4,70/6,15;
- E – VH3+3 – 7,94/8,93;
- E – VH7+ – 8,47/9,94;
- D – AB – 0,75/1,46.

ODN – üldistatud siirdetegurid: kergveok kandevõimega 1-2 tonni – 0,05 (0,005/0,003/0,0015); 2…5 tonni – 0,2 (0,2/0,13/0,063); 5…8 tonni – 0,7 (0,7/0,46/0,22); üle 8 tonni – 1,25 (1,25/0,82/0,40); buss – 0,7 (0,7/0,46/0,22); vedukid haagistega – 1,5 (1,5/0,99/0,47). MODN esitab siirdetegurid eraldi kõigile kolmele normteljele.

Kumulatiivne koormus N = 0,7*Na*125*Varu, kus 125 on arvestuslik päevade arv ebasoodsas režiimis ja Varu – liiklusprognoosi korrektuurtegur (tee klassist sõltuv, püsikatendil I-II klassil 1,49; III – 1,38; IV – 1,31; kergkatendil III-1,32; IV – 1,26; V – 1,06; siirde – IV – 1,16; V – 1,04). Katte tööiga I…IV klassil 24 aastat, remont 12-ndal aastal, V klassil 10 aastat (remont 5).

Katte tööiga ODN järgi: püsikatted - I – 14…18 a; II-IV – 11...15 a; kergkatted III – 10-13 a; IV-V – 8-10 a; siirdekatted V – 3-8 a. MODN järgi siirdekatted nii IV kui V klassil 3-8 a.

Katendiarvutus kerg- ja siirdekatendil – elastne läbipaine ja nihkepinged aluspinnases ja vähe seotud kihtides. Staatilise koormuse arvutus on vaid nihkekindluse järgi.

Külmakindlusarvutus – kergkattel lubatud 6 cm, siirdekattel 10 cm. Külmakaitsemeetmed pole vajalikud, kui muldkeha kogu külmumissügavuses on külmakindlatest (I – grSa, CSa, MSa kuni 2% <0,05 mm) või nõrgalt külmakerkelistest pinnastest (II – grSa, CSa, MSa – 2…15% <0,05 mm; FSa

<5% <0,05 mm, JKSL) ja kui katendi kogupaksus on üle 2/3 külmumissügavusest (125 cm puhul seega 83 cm). MODN loeb ka peenliivad kuni 15% peenosise sisaldusega II gruppi.

4.5 Kergkatted Eestis

Eestis käsitletakse kergkatteid:

- Kergkatete ehitamise juhises (juhis enam ei kehti, kuid MA käskkiri 18.06.14 nr 0182 ütleb, et seal sisalduvaid üksikuid nõudeid võib nendele viidates riigimaanteede hangetes tellija nõuetena kasutada, kui õigusaktides või uuemates juhendites ei ole sätestatud hanke objektile sobivaid nõudeid.);
- Pindamisjuhises (pindamise tehnoloogia mh. ka tolmuvaba katte ehitamiseks);
- Stabiliseeritud katendikihtide ehitamise juhises (BS segud);
- Asfaldist katendikihtide ehitamise juhises (MSE).

Varasemalt on nõuetes ja juhendites sisaldunud ka KAB-segud ehk kergasfaltbetoon, nt Teehoiutööde tehnoloogianõuded redaktsiooni kehtivusega kuni 30.06.2014, Asfaldinormid AL ST 1-02 ja Asfaldist katendikihtide ehitamise juhis 2005-3. Hoolimata sellest, et materjali kehtivates juhendmaterjalides enam ei sisaldu, on kergasfaltbetoon olemas katendiarvutusprogrammis „KAP“ ja Elastsete teekatendite projekteerimise juhendis.

KAB-segud (vähemalt varasemalt tuttaval kujul) kadusid Asfaldiliidu standardite asendamisel EVS-iga (EVS 901-1, -2 ja -3). Teisalt, kui vaadata standardeid EVS-EN 13108-1 ja 13108-3, siis need ei välista kergasfaltbetooni kasutamist. Peamine või põhimõtteline erinevus „tavapärase“ asfaltbetooni ning kergasfaltbetooni vahel on sideaine, sõelkõver ning nõuded täitematerjalidele, millest kaks viimast on leebemad (nt laiem sõelkõver, ümaramad kivid). See võimaldaks kasutada madalama liiklussageduse ja –koormusega teedel odavamaid asfaltsegusid, mille omadused ei pruugi olla sugugi kehvemad nt ACbase näitajatest.

Oluline on, et kergasfaltbetoonides saaks kasutada ka kohalikest kruusakarjääridest saadavat materjali (kruuskillustikku), mis tingimata ei tähenda kvaliteedis kaotamist, kuna kruusakarjääride kivimaterjal võib oma omadustelt (LA, külmakindlus) olla lubjakivikarjääridest saadavast materjalist parem.

Allikas [36] on toodud välja järgmist infot:

„Kergasfaltbetoon sobib katete ehitamiseks koormusega kuni 1500 autot ööpäevas teedele ja tänavatele, kuid samuti õuedele, parklatele, jalg- ja kõnniteedele. Varasemalt kehtinud „Teehoiutööde tehnoloogianõuded“ või ka „Asfaldinormid AL ST 1-02“ järgi valmistati KAB (kergasfaltbetoonsegusid) segusid kohalikest materjalidest. Ühekihiliste kergasfaltbetoonist katete minimaalne kihipaksus on 4 cm. Kergasfaltbetoon segu skelett koostatakse killustikust ja liivast või purustatud kruusast ja liivast. Kergasfaltbetoon segu valmistatakse sund- või vabasegamisega seguris, kus doseerimise täpsus võib kõikuda ±5% kogu kivimaterjali massist. Sideaine täpsus ±3% sideaine massist. Segus on soovitatav kasutada lubjakivi fillerit.“

„KAB segudele kehtivad nõuded olid võrreldes muude tihedate ja poorsete asfaltbetoonsegudega võrreldes madalamad. EVS standardite kehtestamisega, mis põhinevad EL standarditel, kadusid ära kergasfaltbetoon (KAB) segud. Selle asemel saab kasutada kas uut poorset asfaltbetooni AC 16 base või pealiskatte segusid AC surf. Paigaldatud KAB segudele kehtisid tihendustegur ja jäävpoorsus

võrreldes uute nõuetega on natuke halvemad (tabel 4.7). Uute standardite tõttu ei saa enam kasutada kohalike kruusakarjääride kivimaterjale.“

Tabel 4.7. Erinevate KAB segude tihendustegurite ja jäävpoorsuse võrdlus AC base ja AC surf/bin segudega.

	KAB 8	KAB 12, 16 ja 20	ACbase	ACsurf/bin
Tihendustegur	≥0,96	≥0,97	≥0,97	≥0,98
Jäävpoorsus, %	2…9,0	2…10,0	5…12,0	1,5…5,0
Vuugi tihendustegur	≥0,91	≥0,92	≥0,92	≥0,94
Vuugi jäävpoorsus, %	≤12,0	≤12,0	≤15,0	≤8,0

Täiendavalt tuuakse allikas [37] mustsegude kohta järgnevalt:

„Arvutuste põhjal võib öelda, et minimaalse paksusega (6-8cm) MSE segu tootmine freesiga hind on sarnane samadest materjalidest minimaalse asfaltbetoonkatte (4-5cm) tootmise ja laotamise kihi hinnaga. Seetõttu peab väga hoolikalt kaaluma erinevaid tehnoloogiaid, unustamata nende teostamise lõpphinda ja sellega kaasnevaid kvaliteetseid lõpptulemusi.“

„Mustsegude valmistamine seguris hind sõltub väga palju tehase kaugusest. Kui kogused on väiksed ja kaugused objektist suured, siis ei ole MSE segude tootmine seguris majanduslikult otstarbekas. Segu hind võib ületada AC base segu hinda.“

Seoses madalama liiklussagedusega teedega on üheks huvitavaks nüansiks allikas [37] peatükis 5 (Töömeetodid) toodu, et liiklussageduse 501 – 1500 autot/ööp korral on töömeetodiks stabiliseerimine ja üks asfaltbetooni kiht. See kinnitab veelgi vajadust hakata (uuesti) kasutama kergasfaltbetooni (endine KAB).

5 JÄRELDUSED JA KOKKUVÕTTED

Allikas [38] on defineeritud erinevaid termineid, kus §4 järgi tähendab tee ümberehitamine ehk rekonstrueerimine olemasoleva tee omaduste olulist muutmist, millena käsitletakse muuhulgas kandevõime olulist muutmist. Selle alusel võib öelda, et kui kruusateele paigaldada tolmuvaba kate, on tegemist rekonstrueerimisega, samuti siis, kui koos katte alla jääva kihiga uuendatakse tolmuvaba kattega teed (nt olemasolev kate segatakse bituumenstabiliseeritud aluseks, mille peale paigaldatakse kergasfaltbetoon). Paragrahvi võib tõlgendada ka nii, et kui planeeritakse tee rekonstrueerimist, siis tuleb arvestada olemasoleva tee kandevõimega ning vajadusel tuleb seda suurendada. Seega rekonstrueeritava tee kandevõime mõõtmine ning uuele lahendusele katendiarvutuse tegemine peavad kuuluma tee ümberehitamise lahenduse koosseisu. Kui teed on vaja rekonstrueerimise käigus ka laiendada, siis seda käsitleb §5. Kui teekatte laiendamine eeldab ka muldkeha laiendamist, tuleb selleks koostada projekt, mis sisaldab ehitusgeoloogilisi uuringuid ja geoalust.

Eelnevaga on oluline arvestada, kuna kui püütakse tõsta madala liiklussagedusega teede taset ilma kruusatee ja/või selle muldkeha tugevdamata (see sõltub loomulikult vaadeldava tee seisukorrast), jääb kasutatud remondilahendus ajutiseks ning katte tasasus halveneb kiiresti. Lühikeses plaanis võib tunduda, et pakutud lahendus on toimiv, kuid pikemas perspektiivis jõutakse katte tasasuse halvenemisega liiga kiiresti „halb“ või „väga halb“ tasemeni.

Allikas [32] nimetatakse kergkatendiks sellist katendit, mille katte pealiskihi liigid on:

- pinnatud mustsegu;
- pinnatud stabiliseeritud segu;
- sillutiskate.

Siirdekatendiks sellist katendit, mille katte pealiskihi liigid on:

- pinnatud freespuru;
- killustik, kruus;
- pinnatud kruus,
- bituumenmakadam,
- sideainetega töödeldud pinnas.

Tabelis 4.5 oli esitatud võrdlus Vene või selle taustaga seotud normides esitatud katendite liigitusest, millest nähtub, et Eestis kasutusel olev määrus nr 106 jätab teema osaliselt lahtiseks. Täna liigituvad kõik asfaltsegud (milleks on ka pehme asfaltbetoon) püsikatendiks, mille nõutav minimaalne elastsusmoodul on 180 MPa ning maksimaalne lubatud arvutuslik külmakerge 4 cm. Kui aga kasutada pehmest asfaltbetoonist katet (nt Soomlaste PAB), siis talub see suuremat külmakerget (Eestis kergkattele 6 cm) ning ei vaja ka nii kõrget kandevõimet. Seega vaadeldakse käesolevas uuringus pehmest asfaltbetoonist kattega teed pigem kerg- kui püsikatenditendina.

Soome juhise [24] alusel on pehmest asfaltbetoonist ehk PAB katteid lubatud kasutada alates koormusklassist 0.8 (ehk ühes sõidusuunas sõidab tee eluea jooksul 0.8 milj. normtelge). Sellele

vastab umbkaudselt peatükis 1 käsitletud tee nr 65 20. a. perspektiiviv, mille järgi sõidab ühes sõidusuunas kuni 0.8 milj. normtelge.

Soome nõuete alusel võib PAB-B olla kasutusel teedel liiklussagedusega kuni 2500 ja PAB-V kuni 500 autot/ööp. Nende erinevuseks on kasutatud sideaine, esimese puhul kasutatakse alates pen 250/330 ja teise puhul V1500 (ehk bituumen on liigitletud kas vastavalt penetratsiooni või viskoossuse järgi). Terakoostis koostatakse sarnaselt „tavapärasele“ asfaltbetoonile.

Taanis kasutatakse sama lähenemist, kuid seoses liikluskoormuse kasvuga on kasutatavad sideained muutunud aasta-aastalt järjest jäigemaks. Täna on levinud sideaineks on kas 250/330 või isegi 160/220. Taanis on täheldatud, et pehmemad/vedelamad bituumensideained vananevad kiiresti, pen 250/330 on juba paari aasta pärast pen 160/220. Peamine ja väga kiire vananemine toimub juba tootmise käigus, mida näiteks nähti ka uuringus [33] bituumeni 160/220 osas, kui materjal lähenes peale RTFOT-i bituumeni 70/100 näitajatele.

Allikas [26] on Taani katendiarvutuse normides kirjas, et:

- pehmet asfaltbetooni (PA) bituumeniga 330/430 võib kasutada teedel, millel liikleb ühes sõidusuunas maksimaalselt kuni 50 normtelge ööpäevas (Eesti mõistes teeb see E_{vaj} umbes 170 MPa);
- pehmet asfaltbetooni (PA) bituumeniga 250/330 võib kasutada teedel, millel liikleb ühes sõidusuunas maksimaalselt kuni 500 normtelge ööpäevas (Eesti mõistes teeb see E_{vaj} umbes 245 MPa).

NB! Taani normi täpsustuseks tuleb öelda, et näidiskatendites on pehmest asfaltbetoonist 250/330 katet kasutatud siiski kuni 200 normtelge ööpäevas korral (Eesti mõistes teeb see E_{vaj} umbes 220 MPa), mille all on kasutatud sideainega seotud alust (GAB ehk „hot mix gravel“).

Lisaks väiksema liiklussagedusega teedele kasutatakse Taanis pehmemaid asfaltkatteid (bituumen pen. 330/430) kergliiklusteedel, mida võiks teha ka Eestis.

Eestis on kergkatetega seonduvalt lähtutud põhimõttest, et neid võiks kasutada liiklussageduse kuni 1500 autot/ööp korral. Kui kergasfaltbetoon liigitleda kergkatte alla, siis Soome ja Taani normid lubaksid selle kasutamist ka veidi kõrgema liiklussageduse juures, kuid mõlemad seavad piiranguid raskeliikluse määrale. Kokkuvõttes määrab mingi kattetüübi kasutamise võimalused selle vastupidavus püsivatele deformatsioonidele.

Nii Soomes kui Taanis koostatakse pehme asfaltkatte terakoostis lähtudes „tavapärasest“ asfaldist ehk kasutades samu kvaliteedikriteeriume. Nimelt on olemas standardid EVS-EN 13108-1 (Asfaltsegud. Materjali spetsifikatsioon. Osa 1: Asfaltbetoon) ja EVS-EN 13108-3 (Asfaltsegud. Materjali spetsifikatsioon. Osa 3: Pehme asfalt), millest kasutatakse esimese nõudeid, kuid pehmema bituumeniga. Kuna mõlemad standardid on ülilaiade vahemikega, mis raskendavad konkreetsesse riiki sobilike omaduste spetsifitseerimise, on Eestis välja antud nö rakendusstandard EVS 901-1, -2 ja -3. Kergasfaltbetoonide jaoks on Eesti standardit vajalik täiendada, kuna see ei ole taolise materjali jaoks mõeldud, teisisõnu täna kehtivate nõuete alusel pehme bituumeniga (kerg)asfaltbetooni kasutada ei saa.

Kergasfaltbetoonil on võrreldes „tavapärase“ asfaldiga leebemad nõuded täitematerjalidele (et saaks kasutada ka kohalikku purustamata kruus ja looduslikku liiva) ning võimalus kasutada vedelamat

bituumenit. See tingib ka suurema lubatava jäävpoorsuse ning häbed terakoostisele ja sideainesisaldusele. AL ST 1-02 alusel kasutati KAB puhul sama terakoostist, kui TAB, kuid lubatav jäävpoorsus oli kõrgem. Tegelikkuses võiks kergasfaltbetooni terakoostis olla TABiga võrreldes laiem.

Kui eelnevalt oli juttu kergasfaltbetoonist, siis on olemas ka teisi katteid, mida liigitleda kergkatteks (antud juhul on „kergkattena“ mõeldud „kerget katet“, millega muuta teekatend tolmuvabaks ja ilmastikukindlamaks, kuid mis katendi definitsiooni alusel võivad kuuluda kas „kergkatendi“ või „siirdekatendi“ mõiste alla). Teema võib võtta kokku alljärgnevalt:

1. pinnatud kruusatee (ridakillustik, 2x pindamine, 2x eelpuistega pindamine): kuni 200 AKÖL, sh raskeliiklus kuni 5%, mis peab teed läbima ilma manööverdamata. Teisisõnu ei sobi see näiteks piirkondadesse, kus on planeeritud metsavedu või mida kasutatakse aktiivseks põllumajandustegevuseks;
2. pinnatud freespuru: kuni 500 AKÖL, sh raskeliiklus kuni 5%, mis peab teed läbima ilma manööverdamata. Teisisõnu ei sobi see näiteks piirkondadesse, kus on planeeritud metsavedu või mida kasutatakse aktiivseks põllumajandustegevuseks;
    a. pinnatud freespurust katete eluiga sõltub otseselt freespuru omadustest, peamiselt bituumenisisaldusest ja selle aktiivsusest, aga ka materjali terakoostisest;
    b. kui sideainet on vähe või see on mitteaktiivne [nt Wirtgeni külmstabiliseerimise käsiraamatus liigitletakse freespuru vastavalt ekstraheeritud bituumeni penetratsioonile kas aktiivseks (üle 25 mm) või mitteaktiivseks (alla 18 mm)], käitub freespuru kui sideainega sidumata (juhusliku terakoostisega) alus;
    c. kui freespuru on sideainevaene ja/või kui bituumen on mitteaktiivne, käitub kiht sarnaselt sidumata segule ning selle vastupidavus sõltub terakoostisest. Maksimaalseks lubatud liiklussageduseks võib lugeda 100…200 AKÖL;
    d. kõige vastupidavam on kuni 10. a. vanuse teekatte tasandusfreesimisest tulnud freespuru, mille kasutamine ilma täiendavate lisandite kasutamiseta (täitematerjal, sideaine) on sobilik liiklussagedusele kuni 500 AKÖL;
    e. Eestis purustatakse/sõelutakse freespuru, mille käigus tekivad fraktsioonid fr 0/25 ja 0/32 mm. Erinevus seisneb on selles, et fr 0/32 mm segusse jääb vähem bituumenit (kogemuslikult max. ca 2.5%), fr 0/25 mm rohkem (ca 3,0…3,5%). Vähema bituumenisisaldusega jämedateralisema freespuru vastupidavus on oluliselt madalam;
3. pinnatud PS (ilma sideaineta teel olemasoleva katte segamine killustiku lisamisega): kuni 200…500 AKÖL sõltuvalt olemasoleva asfaltkatte või kasutatava freespuru kvaliteedist;
    a. kui freespurus on vähe bituumenit, nt alla 3,5%, siis segades sinna ca 50% kivimaterjali väheneb sideaine hulk segus ca 1,7% peale, mistõttu sarnaneb alus pigem juhusliku terakoostisega nõrgalt seotud materjaliga, mille vastupidavus on vaid pindamise korral madal;
4. pinnatud BS: kuni 800 AKÖL, sh raskeliiklus kuni 10%;
5. pinnatud MSE: kuni 1500 AKÖL, sh raskeliiklus kuni 10%;
    a. kui BS on pigem aluse, siis MSE pigem katte segu. Esimesel on jämedam terakoostis, vähem bituumenit ning teisel peenem rohkema sideainega. Reaalsuses on need eriti teel segamise korral üksteisele siiski suhteliselt lähedased, mistõttu võiks neid teatud tingimustel võrdsustada, teisisõnu võiks MSE asendada BS-iga;

b. MSE segudega on olnud palju probleeme. Freespuru sõelumist ja purustamist tuleb teha külmal ajal ning siis lähtutakse fraktsioonist 0/32 mm, kuid see teeb segu terakoostise sarnaseks BS-iga ning tekitab konflikti MSE16 ja 20 segude sõelkõverate osas. Freespuru purustamine ja sõelumine vajalikku suurusesse vahetult enne tööde tegemist suvisel ajal (nt tellija etteantud materjaliga) on keeruline, kuna bituumen on kleepuv ummistades sõelad;
c. seoses freespuru terakoostise varieeruvusega (ka peale purustamist ja sõelumist) ning MSE suhteliselt rangete nõuetega terakoostise hälvetele, on töövõtjatel suur risk mahaarvamistele. Lisaks on teel segamisel vaja arvestada materjali ümberpaigutamisel tekkivate hälvetega, mistõttu peab töövõtja hinna kalkuleerimisel arvestama ilmnevate ülekuludega ning liiga täpse bituumenisisaldusega arvestamisel võib katte tegelik sideainesisaldus jääda lubatavast keskmisest allapoole;
d. probleeme teel segamisega tekitab ka see, et frees peenendab materjale. Ei ole haruldane, kui maha laotatud materjalide terakoostis vastab nõuetele, kuid peale segamist enam mitte. Lahenduseks oleks kõigepealt paigaldada nõutud sõelkõverast väljuv materjal (jämedateralisem) arvestades, et segamisega saab see „korrigeeritud“;
e. eelnevate riskide vältimiseks ja kvaliteedi suurendamiseks võiks MSEd toota seguris, kuid see tõstab hinda sedavõrd, et materjali saaks asendada asfaltbetooniga (erinevus tuleneb kihipaksustest, kuid AB on kõrgema elastsusmooduliga). MSE maksumust asfaltbetooniga võrreldavale tasemele suurendab ka see, kui teel segamisele eelnevalt tuleb kokku segatavad materjalid laotada laoturiga;
f. Seega võiks kaaluda suuremate liiklus- ja koormussageduste (ca 1000…1500 AKÖL, E_{vaj} ca 200 MPa) korral MSE asendamist kergasfaltbetooniga ning väiksema liikluse korral kasutada bituumenstabiliseerimist;

6. kergasfaltbetoon vedela bituumeniga (Soome PAB-V): kuni 500 AKÖL. Võimaldab võrreldes eelnevate lahendustega oluliselt tasasemat/siledamat teekatet;
7. kergasfaltbetoon pehme bituumeniga (Soome PAB-B): olenevalt terakoostisest ja bituumeni penetratsioonist kuni 2500 AKÖL.

Eelnevalt nimetatutest saaks PS-i ja BS-i kasutada aluskihina, mille peale paigaldataks liikluskoormusest sõltuvalt projekteeritud kergasfaltbetoon (kasutusel olevad täitematerjalid, terakoostis ja sideaine). Kergasfaltbetooni kui materjali projekteerimise juhised väljuvad käesoleva uuringu raamidest, mistõttu tuleb sellele läheneda eraldiseisvalt. Kasutatavad kihid ning nende paksused sõltuvad olemasoleva tee seisukorrast, peamiselt külmakergete esinemisest ja kevadisest kandevõimest, millega arvestamist on käsitletud allikates [1], [3]. Katendilahendus tuleb arvutada kasutades katendiarvutusprogrammi KAP, kuigi võimalik on koostada ka tüüpkonstruktsioonid.

Lisaks eelnevatele tasub väikese liiklussagedusega teedel kaaluda veel järgmisi võimalusi, sh erinevate lahenduste omavahelist kombineerimist, mille sobilikkus erineva liiklus- ja koormussagedusele sõltub hüdraulilise sideaine hulgast, teisisõnu survetugevusest. Lisaks tuleb arvestada segu vee- ja külmakindlusega, põikpragude tekkimise võimaluste ning (pinnatud)katte nakkeprobleemidega:

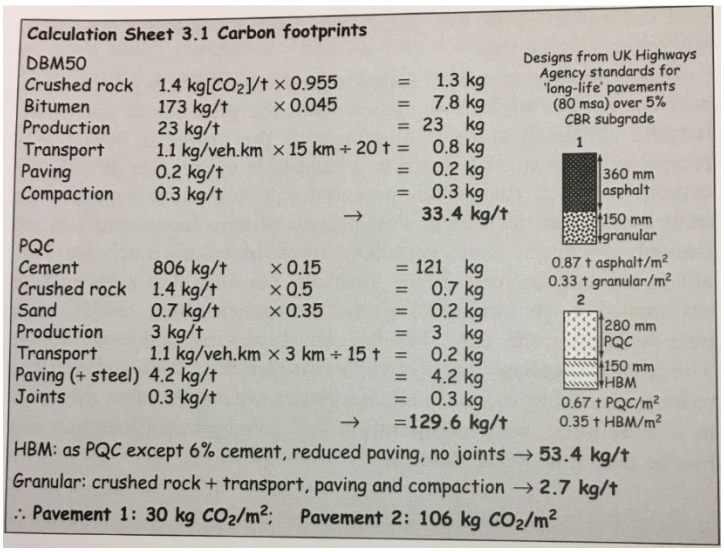
1. pinnatud TS nagu on käsitletud allikas [20] ehk olemasoleva kruuskatte segamine tsemendiga;
2. pinnatud TS olemasoleva kruuskatte terakoostise eelneva parandamisega nagu näiteks teetööde tehnilises kirjelduses „Kõrvalmaantee 13162 Kalma-Avinurme km 8,007 – 14,082

tolmuvaba katte ehitus“ (lisatud lisasse 4). Lisaks killustikule võib kaaluda/katsetada ka freespuru kasutamist;

3. KOVde teede puhul ilma kaitsekihita (pindamiseta) TS katted eesmärgiga vähendada olemasoleva kruusa niiskustundlikkust, et elanikeni viivatel teedel saaks ka kevadisel ajal sõita ilma, et oleks oht „porisse kinni jääda“. Tingimuseks on, et segamissügavuses (min 15 cm) oleks stabiliseerimist võimaldav materjal. Teema on sarnane allikas [20] kasutatud tehnoloogiaga, lisaks on Tallinna Tehnikakõrgkoolis valmimas Eesti Energia poolt tellitud pinnase stabiliseerimist käsitlev uuring (uuring ei olnud käesoleva töö kirjutamise ajaks veel valmis).

Seoses vähese liiklussagedusega teedega peab võtma seisukoha, et eelkõige tuleb ära kasutada juba teel olemasolev materjal, seejärel kohalikest karjääridest leiduv ning alles viimases järjekorras kaugemalt toodav materjal. Seda võimaldaks teha kohapeal segamine ning (erinevate) sideainete kasutamine/omavaheline kombineerimine, nt pinnase parandamine lubjaga (kõrge plastsuse ja veesisaldusega materjalide korral) ja/või hüdraulilise sideainega, ülemiste kihtide kihtstabiliseerimine, katetes vedelamad bituumenid, mis võimaldavad „iseparanemise“ efekti ning taluvad paremini külmakerkeid jne.

Ka ilma vastavaid näiteid ja arvutusi tegemata võib eksimatult väita, et kergkatete ja kohalike materjalide maksimaalne kasutamine selleks sobilikes kohtades võimaldab vähendada tee-ehitussektori kasvuhoonegaaside emissioone, mis on vastavalt Pariisi kliimakokkuleppele üha aktuaalsem. CO_2 emissioonidega arvestamine on väga laiahaardeline ja nüanssiderikas teema, mida ei ole seetõttu võimalik käesolevas uuringus täpsemalt käsitleda ning mis vajab eraldiseisvat uuringut, mille käigus tuleb üle vaadata ja arvestada kõikide erinevate kasvuhoonegaaside allikatega lõpetades sellega, kuidas mõjutab näiteks teekatte tasasuse tagamine ja säilitamine eesmärkide täitmist. Ühe näitena võib tuua allikas [39] esitatu, joonis 5.1.



Joonis 5.1. Näide, kuidas arvutada teekatendi ehitamise CO_2 jalajälge.

KOKKUVÕTE

Käesoleva uuringu peamiseks eesmärgiks oli käsitleda kergkatteid ning nende laiemat kasutusvõimalust teede seisukorra parandamisel läbi kas tee osa asendamise samaväärsega või tee ümberehitamise. Uuringu eesmärgi täitmiseks:

- tehti kolmel eri Eesti paigas oleval kergkattega teel seisukorrauuringud ning koostati remondilahenduse ettepanekud;
- korraldati töökoosolekud neljas Maanteeameti teehoiu osakonnas kogumaks infot kasutatud lahendustest ning saadud kogemustest;
- korraldati töökoosolekud Rootsis ja Taanis ning käsitleti nii Soome kui Vene materjale seoses kergkatetega.

Uuringu käigus saadud info põhjal on võimalik täpsustada kergkatetega seonduvat projekteerimisprotsessi, mille abil täiendati Kruusateede projekteerimise juhist.

Kuna vastavalt [38] §4 alusel käsitletakse tee rekonstrueerimisega eelkõige tee kandevõime olulist muutmist, on kandevõimemõõtmised teedevõrgu monitoorimisel ning teede remondilahenduste projekteerimisel väga oluliseks osaks. Eestis on täna kasutatud selleks kahe erineva tootja seadmeid, millel on mõned olulised erinevused (KUAB ja Dynatest), mida käesoleva uuringu raames võrreldi. Tulemuste osas nähti, et KUABi seade annab hea kandevõimega teedel kuni ca 10% kõrgema e-mooduli, kuid kuna sellega on võimalik mõõta suuremaid läbipaindeid, on see eelistatavam madala kandevõimega (alla 45 MPa) kruuskattega teede mõõtmisteks.

Lisaks katsetati ka kergkattega teede tasasuse ja põikkalde mõõtmisi seadmega Irimeter-2, mille tulemuste põhjal on võimalik eristada probleemseid sektsioone, millele suunata täpsemaid uuringuid (nt ehitusgeoloogia uuringupunkt). Eriti kasulikuks infoks on põikkalde tulemused, mis hõlbustab teekatte profiili projekteerimist ja mahuarvutusi.

Jätkutegevused

On täiesti selge, et kergkatete ja kohalike materjalide maksimaalne kasutamine selleks sobilikes kohtades võimaldab vähendada tee-ehitussektori kasvuhoonegaaside emissioone, kuid selle mõju hindamiseks ei ole Eestis olemas metoodikat. Käesoleva uuringu jätkutegevustena tuleks käsitleda meetodeid, kuidas arvestada tee-ehituse ja kasutuse ökoloogilise jalajäljega, mille abil võrrelda erinevaid lahendusi omavahel.

Kergkatteid on Eestis laialdaselt kasutatud ning sellest tulenevalt on kogunenud ka mitmeid kogemusi, mida käesolevas uuringus kajastati. Puudulikuks osaks võib hinnata kergasfaltbetooni puudutavat temaatikat, mis vajab täiendamist seoses segu projekteerimise ja nõuete osas. Põhimõtteliselt takistab selle kasutust ka asfaltbetooni rahvuslik standard EVS 901, kuna materjali ei ole seal kajastatud, mis vajab seetõttu täiendamist.

KASUTATUD ALLIKAD

1. Kruusateede remondi projekteerimise juhis (MA kavand 2019);
2. Riigiteede pealiskatete vastuvõtukatsetel teostatavate teekatete omaduste mõõtmise metoodika ning mõõteseadmetele esitatavad nõuded. MA 2016-015;
3. Madala liiklussagedusega teedele katendi projekteerimise juhendi loomine lähtuvalt tee tegelikust olukorrast III osa. Metoodika täiendamine ja testimine teeobjektidel. Lõpparuanne. Tallinna Tehnikakõrgkool, Tallinn 2019;
4. Crovetti, J. A., Shahin, M. Y., and Touma, B. E., "Comparison of Two Falling Weight Deflectometer Devices, Dynatest 8000 and KUAB 2M-FWD," Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli, ASTM STP 1026, A. J. Bush III and G. Y. Baladi, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1989, pp. 59-69;
5. [Võrgumaterjal] https://www.airporttech.tc.faa.gov/Airport-Pavement/Non-destructive-Testing-Technologies/FWD-Testing-Evaluation (kasutatud 08.11.19);
6. Stryk, J., Pospisil, K. Non-destructive testing of pavement conditions. Presentatsioon CERTAIN workshop, Tallinn 05.06.2009;
7. Technical Description of Heavy Weight Declectometer KUAB 150. KUAB;
8. Royal Institute of Technology, 1980, Testing Different FWD Loading Times, Bulletin 1980:8, Department of Highway Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm;
9. Shahin, M.Y., 1994, Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots, Chapman & Hall, New York;
10. Federal Aviation Adminiatration (FAA), 2004, Used of Nondestructive Testing Devices in the Evaluation of Airport Pavements, Advisory Circular No. 150/5370-11A, Federal Aviation Adminiatration, Washington, D.C;
11. Lynne H. Irwin presentatsioon 6th ALACPA MeetingSao Paulo, Brazil, October 28, 2009 „FWD Calibration Centers: Equipment, Software, and Protocol“;
12. FWD Calibration Center and Operational Improvements: Final Report. U.S Department of Transportation. Federal Highway Administration;
13. Touma, B.E., Crovetti, J., and Shahin, M.Y., 1990, “The effect of various load distributions on the back calculated moduli values in flexible pavements”, Transportation Research Board No. 1293, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 31-41;
14. Teeleht, sügis 2019/nr 97 „Uus lähenemine kruusateede remondile“;
15. Pudotuspainolaitemittaus (PPL-mittaus). TPPT Menetelmäkuvaus. VTT Yhdyskuntatekniikka, Espoo 2000;
16. Wirtgen. Soil Treatment. Base Layers with Hydraulic Binders;
17. Life+ OSAMAT projekt teelõikude tehniline järelmonitooring. ERC Konsultatsiooni OÜ 2018;
18. [Võrgumaterjal] https://reader.chathamhouse.org/making-concrete-change-innovation-low-carbon-cement-and-concrete# (kasutatud 06.11.19);
19. [Võrgumaterjal] http://www.gomaco.com/Resources/rockhopper.html (kasutatud 06.11.19);

20. Kruusateede tolmutõrje meetodid, II osa. Skepast&Puhkim, Tallinn 2017;
21. [Võrgumaterjal] https://www.stabilroad.ee/site/wp-content/uploads/2017/12/portfolio-2016-imavere-et.pdf (kasutatud 07.11.19);
22. Teeleht nr 2 (38), september 2004, lk 31;
23. Janne, H. Sekotusjyrsinnän soveltuminen alempiasteisen tieverkon parantamistoimepiteeksi. Aalto-yliopisto 2012;
24. Tienrakenteen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 38/2018;
25. Lämsä. V., P. SOP teiden ylläpito. Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito – tutkimusohjelma. Tiehallinto 39/2005.
26. [Võrgumaterjal] http://english-vejregler.lovportaler.dk/ShowDoc.aspx?t=%2fV1%2fNavigation%2fVejreglerEnglish%2fConstruction+and+planning%2fRoad+constructions%2f&docId=vde-2015-0060-full (kasutatud 10.11.19);
27. [Võrgumaterjal] http://vejregler.lovportaler.dk/showdoc.aspx?status=Vedtaget%7cHistorisk&q=AAB+asfalt&docId=vd-udbud-varmblandet-aab-full (kasutatud 10.11.19);
28. ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НЕЖЕСТКОГО ТИПА (ВСН 46-83), МОСКВА, «ТРАНСПОРТ», 1985;
29. ОДН 218.046-01, ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД. ОТРАСЛЕВЫЕ ДОРОЖНЫЕ НОРМЫ. ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА МИНИСТЕРСТВА ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ;
30. МОДН 2-2001 Проектирование нежестких дорожных одежд. ЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЕ ОТРАСЛЕВЫЕ ДОРОЖНЫЕ НОРМЫ. МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННЫЙ СОВЕТ ДОРОЖНИКОВ, Москва 2002;
31. ПНСТ265—2018 Дороги автомобильные общего пользования. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕЖЕСТКИХДОРОЖНЫХ ОДЕЖД;
32. Tee projekteerimine normid. MKM määrus nr 106, 10.08.2015;
33. Uued viisid bituumensideainete kvaliteediomaduste määramiseks ja võimalused nende rakendamiseks, pidades silmas konkreetsetele objektile vastavaid kriteeriume sideaine eeldatavast elueast ja kasutuskohast lähtuvalt. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn 2015;
34. Zofka, A. 2018. Proactive pavement asset management with climate change aspects. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. **356** 012005;
35. PANK Asfalttinormit 2017;
36. Oese, R. 2016. Kerg- ja Siirdekatendid. Tallinna Tehnikakõrgkooli lõputöö;
37. Kattega riigimaanteede rekonstrueerimisobjektide valikumetoodika. Lisa 3 Maanteeameti peadirektori 02.07.2013 käskkirjale nr 0250;
38. Tee ehitamise ja korrashoiu terminid. Majandus- ja taristuministri määrus nr 102. Redaktsiooni jõustumise kp: 10.08.2015;
39. Thom, N. 2008. Principles of Pavement Engineering. Thomas Telford Publishing;
40. FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud parameetrite SCI, BDI ja BCI kasutamine teekatendi seisukorra hindamisel. Lõpparuanne. TTÜ 2007-13/L.

LISAD

Lisa 1: Koostatud remondilahendused

Lisa 2. Võrdlevate kandevõimemõõtmiste tulemused Rae valla teedel

Lisa 3. Riigitee nr 11117 Valingu-Jõgisoo km 3,661-5,058 tolmuvaba katte ehitamise teetööde tehniline kirjeldus

Lisa 4. Kõrvalmaantee 13162 Kalma-Avinurme km 8,007 – 14,082 tolmuvaba katte ehitus

Lisa 5. Erik Nielsen´i ettekanne Taanis kasutatavatest pehmetest asfalditest

LISA 1

Sisukord

1. Riigitee nr 65 km 35.007 – 43.40 (8.4 km) seisukorra analüüs ja remondilahendus 85
1.1. Objekti asukoht 85
1.2. Tee iseloomustus 86
1.2.1. Liiklussagedused 86
1.2.2. Olemasoleva tee seisukord Teeregistri alusel 88
1.3. Visuaalse vaatluse ülevaade 89
1.4. Kandevõime 92
1.5. Ehitusgeoloogia 94
1.6. Analüüs ja tee jagamine homogeenseteks lõikudeks 97
2. Riigitee nr 11315 Raasiku-Anija km 0.055 - 5.9 (pikkus 5.9 km) seisukorra analüüs ja remondilahendus 103
2.1. Objekti asukoht 103
2.2. Tee iseloomustus 104
2.2.1. Liiklussagedused 104
2.2.2. Olemasoleva tee seisukord Teeregistri alusel 106
2.3. Visuaalse vaatluse ülevaade 107
2.4. Kandevõime 109
2.5. Ehitusgeoloogia 111
2.6. Analüüs ja remondilahendus 113
3. Riigitee nr 16122 Nõmmküla - Aulepa - Österby km 6.2...12.341 (pikkus 6.1 km) seisukorra analüüs ja remondilahendus 116
3.1. Objekti asukoht 116
3.2. Tee iseloomustus 117
3.2.1. Liiklussagedused 117
3.2.2. Olemasoleva tee seisukord Teeregistri alusel 118
3.3. Visuaalse vaatluse ülevaade 119
3.4. Kandevõime 121
3.5. Ehitusgeoloogia 122
3.6. Analüüs ja tee jagamine homogeenseteks lõikudeks 124

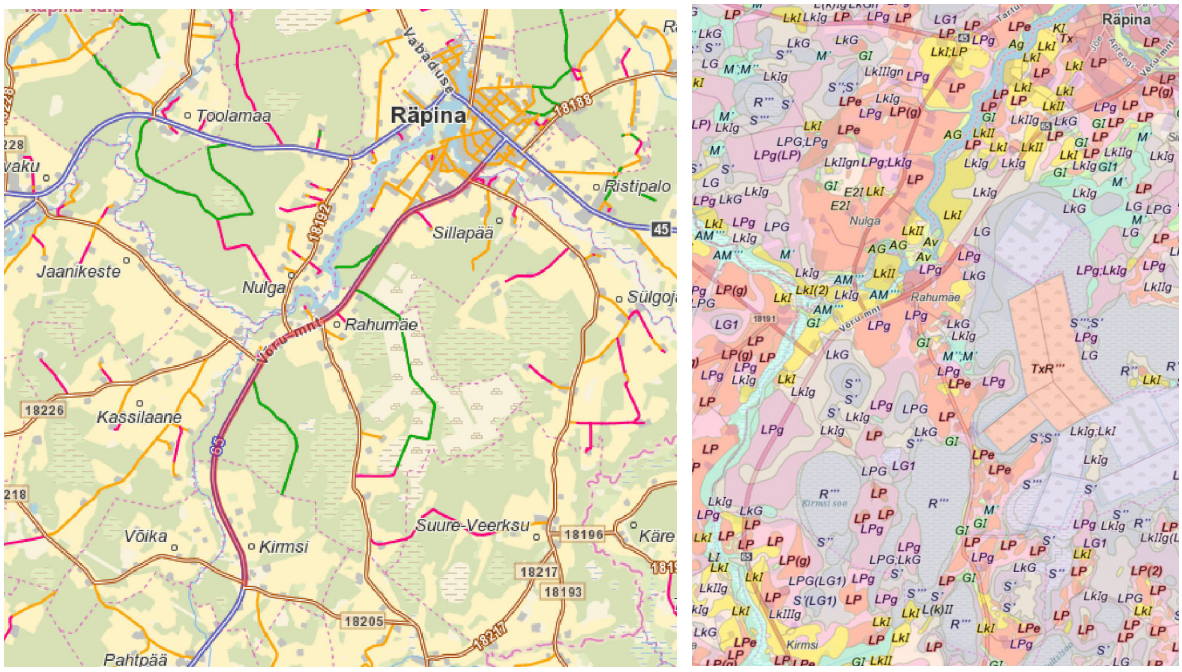
1. Riigitee nr 65 km 35.007 – 43.40 (8.4 km) seisukorra analüüs ja remondilahendus

Tee seisukorra hindamiseks ja sobiliku remondimeetme valikuks kasutati järgnevat infot:

- tee visuaalne vaatlus;
- info kogumine andmebaasidest (Maa-ameti mullakaart ja Teeregister);
- kandevõimemõõtmised FWD-seadmega kevadel;
- maaradari ülesõit koos tee ülesfilmimisega;
- ehitusgeoloogiline uuring.

1.1. Objekti asukoht

Objekti asukoht on näidatud joonisel 1.1, mille kõrval kujutatud tee paiknemine Maa-ameti mullastiku kaardil, mille abil võib saada väga väärtuslikku eelinfot esinevate pinnaseolude osas ning mis võib hõlbustada optimaalseima remondilahenduse leidmist.



Joonis 1.1. Riigitee nr 65 Võru - Räpina km 35.007…43.4 asukoht (Teeregister) ja kujutatuna mullastiku kaardil (Maa-amet).

Mullastiku kaardi alusel asetseb tee enamasti järgmiste muldade levikualal:

- LkI ehk nõrgalt leetunud muld;
- LPg ehk gleistunud kahkjas leetunud muld;
- LkIg ehk gleistunud nõrgalt leetunud muld.

LPg on nõrgalt (ajutiselt) liigniiske muld, mille lähtekivimiks on peamiselt punakaspruun või pruun liivsavimoreen. Liigniiskuse põhjuseks tavaliselt ülavesi, millele võib lisanduda ka kõrge põhjavesi (eriti moreentasandike madalamatel osadel).

Gleistunud leetunud muldasid, mille hulka kuulub ka grupp LkIg iseloomustatakse kui nõrgalt (ajutiselt) liigniiskeid liiv- ja harva saviliivmuldasid. Leetunud mullad on lõimiselt valdavalt liivad,

vaid ca 10% ulatuses saviliivad. Veerežiimilt parasniisked või põuakartlikud. Madala huumusesisaldusega (tavaliselt alla 2%).

Mullakaardilt saadava info alusel võib tee niiskusrežiimi mõjutada pinnavesi, mida saab edukalt reguleerida kraavide kaevamise või olemasolevate süvendamise/puhastamisega. Eraldi tuleb tähelepanu pöörata moreentasandikele, kui nendel on näha teekatte defekte (tõenäoliselt külmakerkekahjustusi). Kui ehitusgeoloogilistel puurtulpadel on esitatud kiht „muld“, siis tegemist on tõenäoliselt madala orgaanikasisaldusega liivsavimoreeniga.

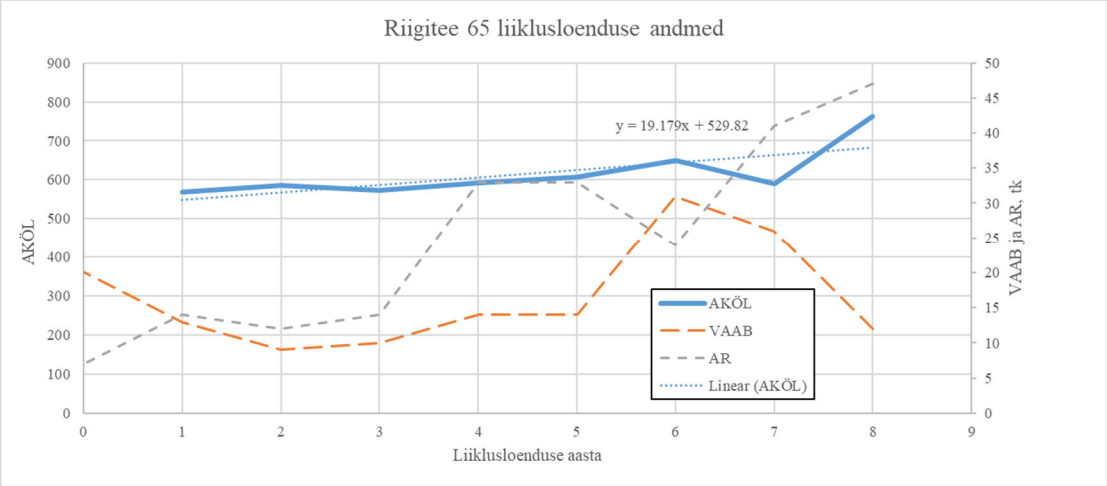
1.2. Tee iseloomustus

1.2.1. Liiklussagedused

Tegemist on IV-klassi teega, mille liiklussagedus aastal 2018 on olnud 762 AKÖL, millest sõiduautod moodustavad 93% (703 autot), veoautod ja bussid 1% (12 autot), autorongid 6% (47 autot).

Varasemad liiklusloenduse andmed on järgmised, mis on koondatud ka joonisele 1.2:

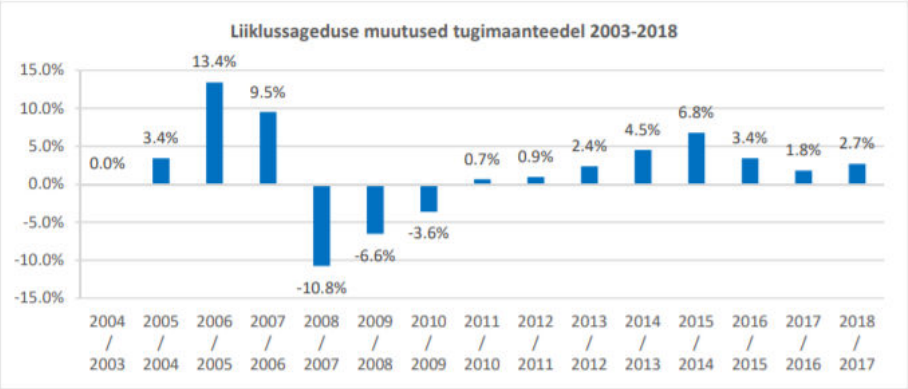
- 2017: 590 (89%, 523 tk sõiduautod, 4%, 26 tk veoautod, 7%, 41 tk autorongid);
- 2016: 649 (93%, 549 tk sõiduautod, 4%, 31 tk veoautod, 3%, 24 tk autorongid);
- 2015: 607 (93%, 560 tk sõiduautod, 2%, 14 tk veoautod, 5%, 33 tk autorongid);
- 2014: 592 (92%, 545 tk sõiduautod, 2%, 14 tk veoautod, 6%, 33 tk autorongid);
- 2013: 574 (96%, 550 tk sõiduautod, 2%, 10 tk veoautod, 2%, 14 tk autorongid);
- 2012: 586 (96%, 565 tk sõiduautod, 2%, 9 tk veoautod, 2%, 12 tk autorongid);
- 2011: 569 (96%, 542 tk sõiduautod, 2 %, 13 tk veoautod, 2% 14 tk autorongid);
- 2010: 663 (96% sõiduautod, 3% veoautod, 1% autorongid);



Joonis 1.2. Liiklusloenduse andmed koos AKÖL lineaarse kasvukõvera joonega (liiklusloenduse aastate puhul on andmeanalüüsi jaoks „201“ aastaarvu eest kustutatud).

Kui võtta aasta keskmine liiklussagedus aastani 2038 (ehk aastast 2018 20 aastat edasi), saadakse lineaarse kasvugraafikuga 1067 AKÖL ehk 20 aasta jooksul oleks liiklussageduse juurdekasv võrreldes aastaga 2018 kokku 40%.

Võrdluseks saab kasutada tugimaanteede keskmisi liiklussagedusi muutusi joonisel 1.3, mille alusel võiks keskmiseks kasvuks arvestada ca 3.2% (vahemik 2011…2018). Võttes tulevase kasvu aluseks aastate 2016…2018 keskmise liiklussageduse (667 autot), teeb see aastaks 2038 keskmiseks ööpäevaseks liiklussageduseks 1252 autot ehk 20 aasta liikluse juurdekasv oleks 64%.



Joonis 21. Liiklussageduse muutused tugimaanteedel aastatel 2003-2018

Joonis 1.3. Liiklussageduse keskmised muutused tugimaanteedel.

Kui vaadata terve riigitee nr 65 Võru – Räpina keskmisi liiklussageduse suurenemisi:

- 2014/2015: +4.9% (807 -> 846);
- 2015/2016: +5.4% (846 -> 892);
- 2016/2017: -8.3% (892 -> 817);
- 2017/2018: +20.1% (817 -> 978);

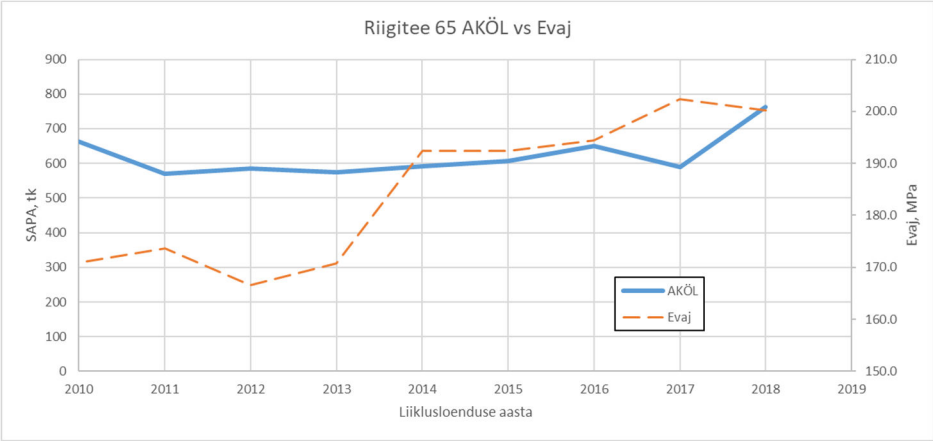
Saadakse keskmiseks ca 5.5%, mis teeks aastaks 2038 keskmiseks ööpäevaseks liiklussageduseks 1951 autot ehk 20 aasta liikluse juurdekasv oleks 156%.

Kõige tõenäolisem võiks olla kasutada toodud arvutusvariantidest keskmist ehk arvestada, et käesolevalt vaadeldaval teelõigul võiks liigelda aastal 2038 umbes 1250 autot ööpäevas. Tee jääb siiski ka kõige kõrgema prognoosi puhul IV-klassi tee piiridesse, mistõttu tee klass ei vajaks muutmist.

Kui liiklussagedus on vaadeldaval teel olnud aastate lõikes suhteliselt ühtlane (2017/2018 on küll toimunud hüpe, kuid tõenäoliselt liiklus nii suure kasvutempoga ei jätka), siis raskeliikluse muutused on olnud suuremad, kuigi selle osakaal üldisest liiklusvoost on siiski üpriski vähene (erinevatel aastatel vahemikus 4…11%). Selge trend raskeliikluse osakaalus on olnud, et see suureneb ja eriti autorongide arvelt. Vaadates raskeliikluse kasvutrendi suhtes vajalikku elastsusmoodulisse, toimub suurem muutus aastal 2014 (joonis 1.4), kuid peale seda on kasv tagasihoidlik. Aasta 2018 E_{vaj} = 200 MPa (arvestamata töökindlusteguriga).

Kui arvestada liiklussagedusega 1250 AKÖL ja raskeliikluse osakaaluga 11% vastavalt aasta 2018 andmetele nii, et 7% moodustavad autorongid (AR) ning 4% VAAB, saadakse Q = 254 V_1/ööp ja E_{vaj} = 224.4 MPa.

- VAAB = 50 tk, AR = 88 tk, siirdetegurid vastavalt 2.67 ja 3.76 (lähtudes Elastsete teekatendite projekteerimise juhendist) ning arvestades rajategurina 0.55, millest Q = 245 V_1/ööp;
- E_{vaj} = a*log(Q) + b = 70*log(245) + 56 = 224.4 MPa.



Joonis 1.4. AKÖL vs vajalik elastsusmoodul.

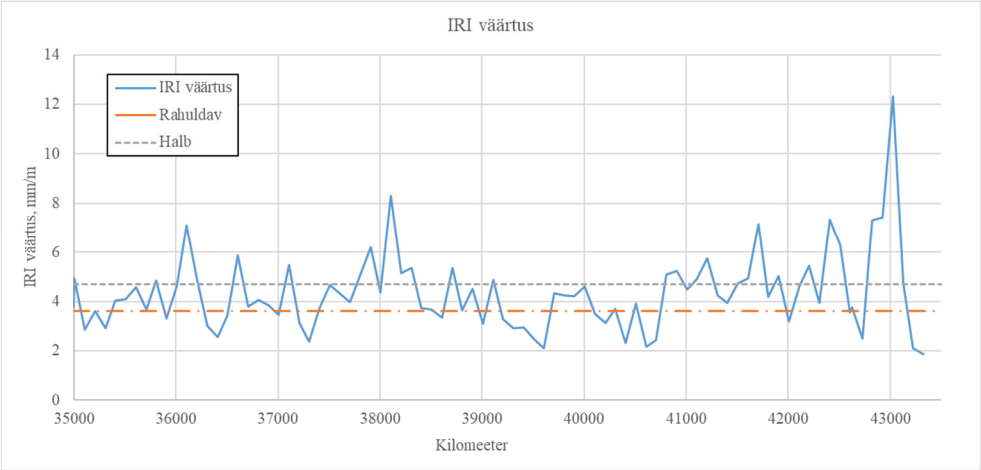
Eelnevalt käsitletud prognoosiaasta 2038 oli valitud teatud varuga nägemaks pikemat perspektiivi. Kui planeerida vaadeldavale teele kergkatendit, on selle arvestuslik eluiga 10 aastat. Oletades, et tee rekonstrueerimine toimub aastal 2020, oleks prognoositav aasta seega 2030. Sellisel juhul saadakse liiklussageduseks eelneva arutluskäigu põhjal 973 AKÖL ja E_{vaj} = 216.8 MPa (arvetamata IV-klassi tee tegurit).

1.2.2. Olemasoleva tee seisukord Teeregistri alusel

Aastal 2018 defektide inventeerimise järgi on peamiseks defektiks kitsad pikipraod. Defektide jaotus on järgnev:

- põikpraod: 74 tk;
- kitsad pikipraod: 455 m;
- laiad pikipraod, kitsad vuugipraod, laiad vuugipraod ja augud: 0;
- võrkpragunemine: 44 m^2;
- katte serva defektid: 160 m;
- lapid: 37 tk;
- defektide summa on 1.15% (koos lappidega 1.24%), mis jääb veenvalt alla „hoiatuspiiri“ (hoiatuspiir 6 ja kriitiline piir 10%).

Joonisel 1.5 on näidatud tee tasasus ehk IRI väärtus, mis on suuremal osal teest kas „halb“ või „väga halb“. Tee Teeregistri kandevõime on esitatud joonisel 1.6 koos aastal 2019 kevadel saadud väärtustega.



Joonis 1.5. Olemasoleva tee IRI väärtused, mille alusel vajab teekate tasandamist.

Teeregistri andmetel koosneb teekate mustsegust, mis on ehitatud vahemikus 1975…1980. Tee erinevad lõigud on viimati pinnatud aastatel 2010…2012. Katendikihtide kohta infot ei ole.

1.3. Visuaalse vaatluse ülevaade

Sõidusuuna 1 tähelepanekud:

- asfaldis on pikiroobast, mis võib tuleneda nii katte kui aluse madalast deformatsioonikindlusest;
- ca km 35.9 oli väikse künka peal näha ebatasasust ja veidi võrkpragu;
- mõnes üksikus kohas on tee keskel võrkragu (sarnane, mida esineb pinnatud kruusateedel);
- kohati on näha teekattes põikpragusid (km 35 ja km 36.4);
- km 36.6 on madal kandevõime, esineb väga sügav roobas ja teekattes ohtralt pikipragusid, välisserva äravajumist. Vahetult enne seda muutub ka teekatte pinna värvus;
- km 36.75 on ääres ära vajunud asfaltkate;
- km 39.4 on madalam kandevõime ja siin on teekate ka ebatasane (võimalik veeprobleem);
- km 40.9…41.0 on teekattes ebatasasust ja tee keskel on kunagi lapitud;
- km 42.0 muutub teekatte olukord järsult halvemaks – kattes on näha mitmeid pragusid, tõenäoliselt külmakerkepraod. Ümbritsev keskkond on silmnähtavalt liigniiske, tee muldkeha on madalam;
- Räpina piirilt sisse sõites kuni esimese ristmikuni on paigaldatud trassi, mille kohalt on kate ära vajunud.

Sõidusuuna 2 tähelepanekud:

- km 42.6…43 on teekattes väga palju pikipragusid (nii vajumisest kui külmakerkest tingitud);
- km 42…43 on piirkond selgelt liigniiske;
- km 39.1 on teekattes põikpragusid
- km 38.9 on teekate üpris ebatasane
- ca km 38.1 (peale suurt ristmikku) on teekattes mõlemal sõidusuunal sügavad roopad:

Kokkuvõte täheldatud probleemidest ja defektidest:

- km 35.4…35.7 on tee keskel palju pragusid (pikipraod ja võrkpraod), fotod 1.1 ja 1.2;

- km 35.8 – tee keskel vajumist ja võrkpragu, foto 1.3;
- km 36.1 – teekate ebatasane, võimalik et külmakergetest tekkinud (pragusid ei ole);
- km 36.6 – väga tõsine roobas, asfalt pressib küljele välja, palju pikipragusid. Tõenäoline probleem aluses (kruusliiv ei ole pidanud nihkepingetele vastu), fotod 1.4…1.6;
- km 37.0 (vahetult enne kilomeetriposti) on teekattes kitsad põikpraod, mis jätkuvad veel ka edaspidi;
- km 37.6 – siin oli ka kandevõime madalam ja probleem on km 36.6 väga sarnane, fotod 1.7 ja 1.8;
- km 38.27 – tee keskelt punnitab üles, fotod 1.9 ja 1.10;
- km 38.4...38.5 – mõlema suuna välisjäljes sügavad roopad (eriti suund 2), foto 1.11;
- km 41.2 – tee keskel vajumisi ja sõidusuuna 1 ääres pikipragusid;
- km 41.6…41.7 – tee keskel pikipraod mõlemas sõidusuunas, foto 1.12;
- km 42.6…43 on teekattes väga palju pikipragusid (nii vajumisest kui külmakerkest tingitud), fotod 1.13 ja 1.14.

Fotod 1.1 ja 1.2. Võrkpragu tee keskel km 35.4 ja pikipragu km 35.5.

Fotod 1.3 ja 1.4. Võrkpragu km 35.8, roobas ja praod km 36.6.

Fotod 1.5 ja 1.6. Roobas ja praod km 36.6.

Fotod 1.7 ja 1.8. Km 37.6 pikiroobas, serva vajumine.

Fotod 1.9 ja 1.10. km 38.27 tee keskel olev nõrk piirkond.

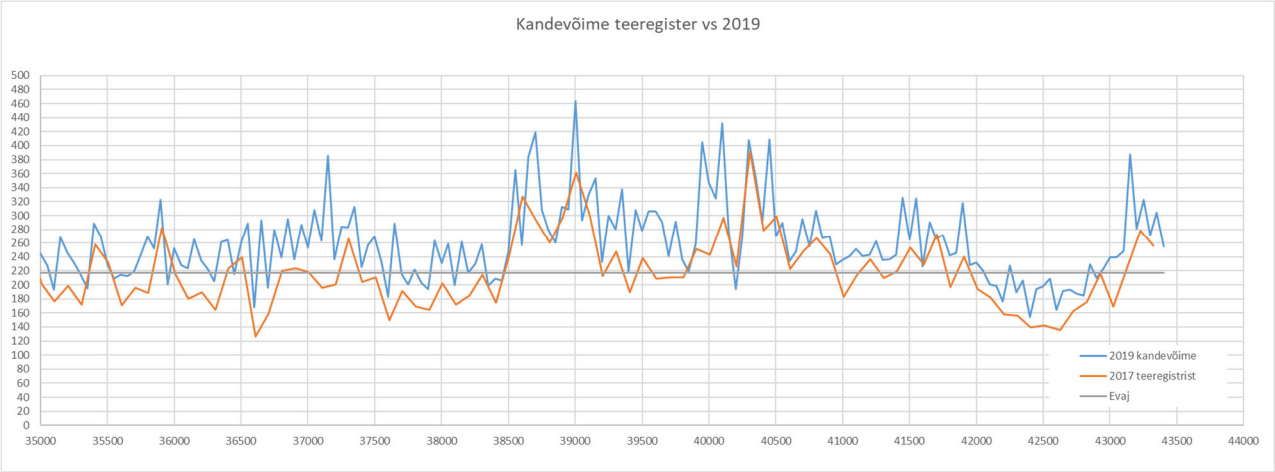
Fotod 1.11 ja 1.12. Pikiroobas km 38.4...38.5, erinevad praod km 41.6…41.7.

Fotod 1.13 ja 1.14. Mõningad praod vahemikust km 42.0…43.0.

1.4. Kandevõime

Kandevõime mõõdeti teel 27 ja 28.04.2019, mille tulemus on näidatud joonisel 1.6, millel on ka võrdlus Teeregistrist saadud andmetega (mõõdetud 23.05.2017). Teeregistri ja käesoleva projekti jaoks mõõdetud kandevõimed erinevad üksteisest mõnevõrra: Teeregistri kandevõime on ca 16% väiksem, mis võib olla tingitud väga mitmest tegurist. Sellegipoolest eristuvad mõlema mõõtmise puhul kolm erinevat piirkonda:

- km 35…38.5, kus kandevõime on piiripealne ja võib olenevalt pinnase niiskussisaldusest olla alla vajaliku;
- km 38.5…42.0, kus kandevõime on liikluskoormusele vastav;
- km 42.0…43.0, kus kandevõime on ebapiisav.

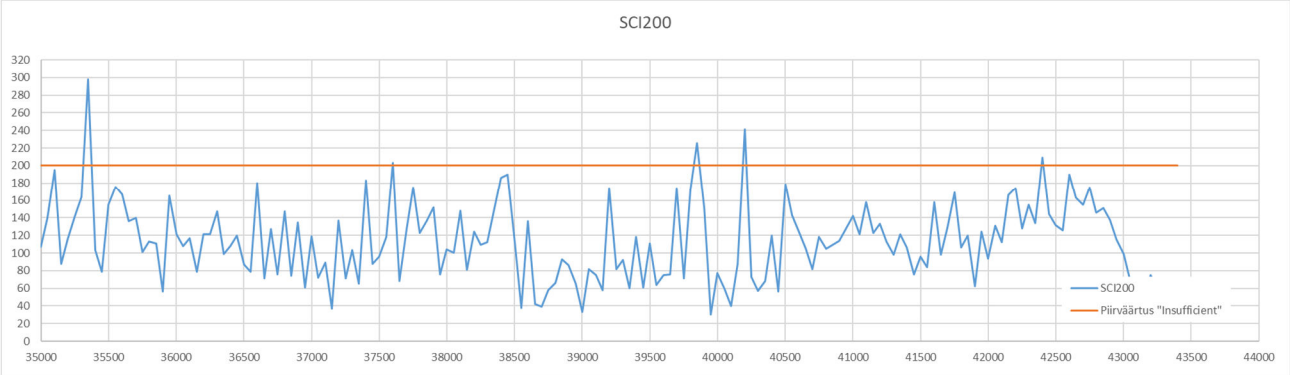


Joonis 1.6. Mõõdetud kandevõimed aastatel 2017 ja 2019.

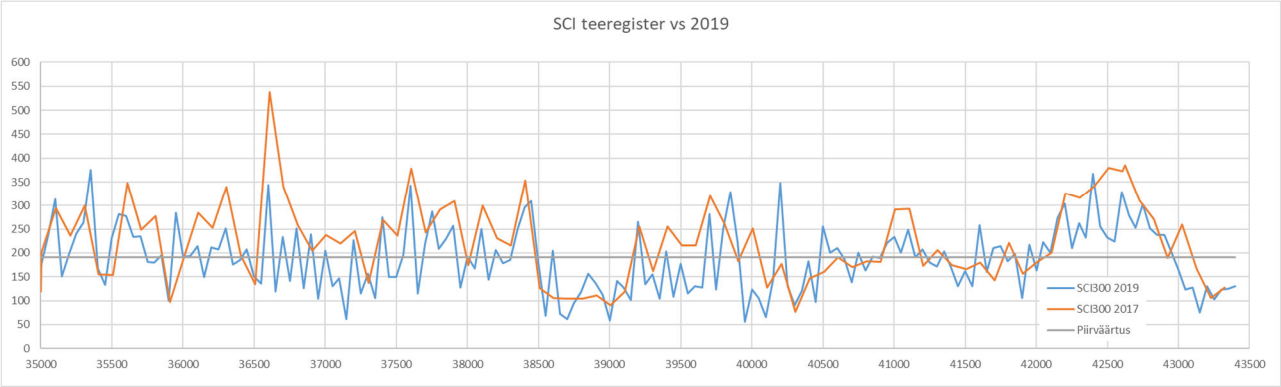
Joonistel 1.7…1.10 on kujutatud vajumikausi parameetrid, mille põhjal saab teha järgmisi järeldusi ja tähelepanekuid:

- SCI200, mis iseloomustab katendi seisukorda vahemikus 0…200 mm on suures osas veenvalt allapoole piirväärtuse. Kasutatud piir pärineb Roadex-programmist, kuna Eestis ei ole 200 mm andurit kasutatud ega selle tulemusi analüüsitud.
- SCI300 (0…300 mm teekatte pinnast) on enamasti üle piirväärtuse või sellele väga lähedal. Seega, liikudes teekattest veidi allapoole, halveneb kihi võime koormust hajutada, mis viitab, et tee probleemid saavad pigem alguse katte alt;
- BDI parameeter (300..600 mm) on veenvalt üle piirväärtuse, mis kinnitab, et probleeme on nii aluse kui selle all oleva kihiga. Võimalik, et alust ei olegi välja ehitatud või on selle paksus ebapiisav. Ka objekti visuaalne vaatlus võimaldab järeldada, et peamised probleemid saavad alguse nii juba asfaltkatte alt;
- ka BCI parameeter (ehk aluspinnase iseloomustus) ületab piirväärtuse, mis viitab ebapiisavale drenaažile, mis omakorda võimendab tee defektide teket, milleks olid ebaühtlastele vajumistele ja kergetele viitavad praod ning võrkpraod.

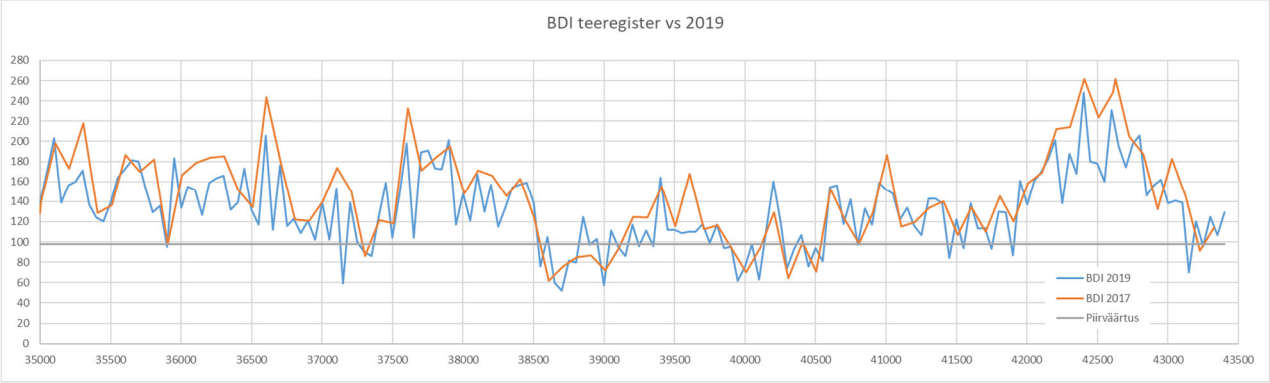
Piirkonnas, kus kandevõime oli mõnevõrra kõrgem (ehk km 38.5…42.0) on ka vajumikausi parameetrid paremad, eriti BCI puhul, mis kinnitab, et teekatendi toimivus on tugevalt mõjutatud pinnasevee tasemest ja piirkonna üldisest niiskussisaldusest.



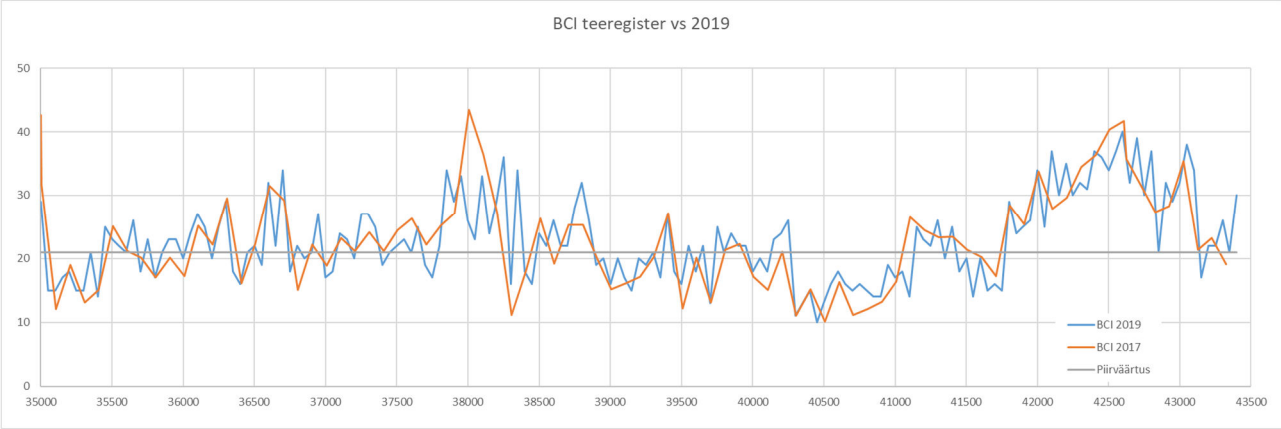
Joonis 1.7. Parameeter SCI200, mis iseloomustab katendit vahemikus 0…200 mm



Joonis 1.8. Parameeter SCI300, mis iseloomustab katendit vahemikus 0…300 mm



Joonis 1.9. Parameeter BDI, mis iseloomustab katendit vahemikus 300…600 mm



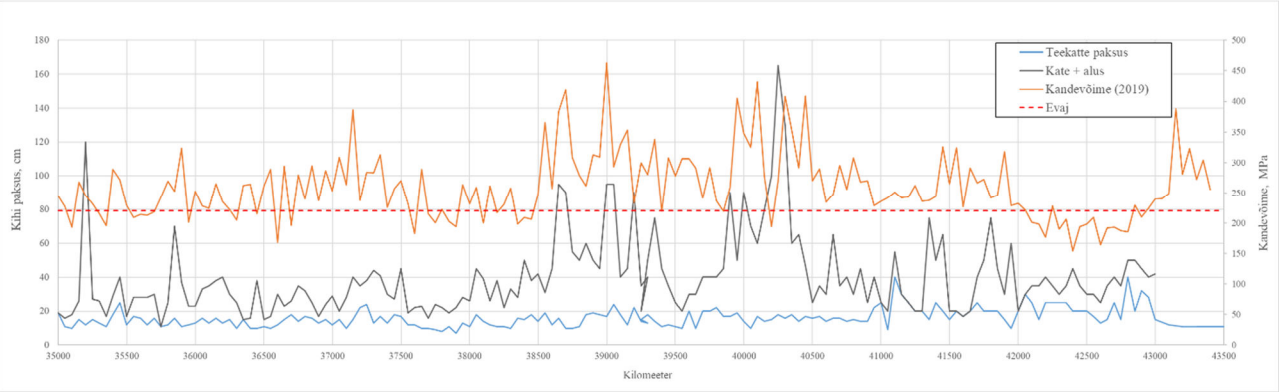
Joonis 1.10. Parameeter BCI1500, mis iseloomustab katendit vahemikus 1200…1500 mm

1.5. Ehitusgeoloogia

Objekti ehitusgeoloogilised uuringud teostas aastal 2017 OÜ Reaalprojekt (töö nr GL17014). Üldistades võib teekatendit kirjeldada nii, et seotud kihi keskmine paksus on 16.3 cm (selle sees on nii pindamine, asfalt kui mustsegu), mille all paikneb enamasti vahelduva paksusega kruuskillustikust ja -liivast alus (keskmine paksus 18 cm), mille all paikneb lõiguti kas kruusliiv (kuni ca 1 m), keskliiv, peenliiv või tolmliiv. Leidub ka kohti, kus teekate paikneb väga õhukesel alusel (kuni 10 cm), mis on otse A- või B-grupi pinnasel.

Ehitusgeoloogiline ristlõige võib lõiguti olla väga mitmekesine, kus ca meetri sügavuselt leiab kohati vana asfaldi kihiga vana teekatendi ja/või graniidist munakad. Näib, et teed on aja jooksul õgvendatud ja tõstetud ehitades vana tee peale seda lammutamata uue muldkeha ja katendi.

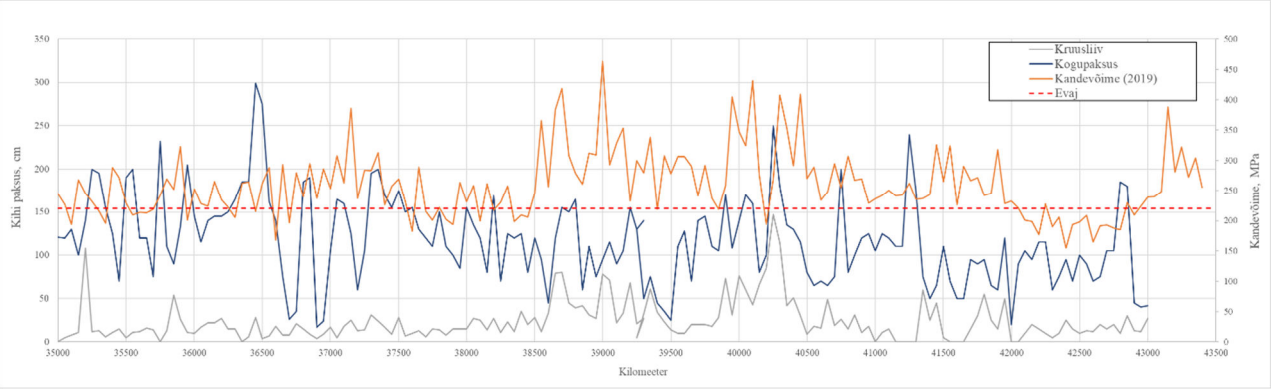
Teekatendi ja muldkeha olemust ning nende kohatist suurt vahelduvust silmas pidades võiks eeldada kandevõime osas suuremaid kõikumisi. Selge seos ilmneb, kui võrrelda teekatte ja aluse kogupaksust kandevõimega – mida suurem on pealmiste kihtide paksus, seda kõrgem kandevõime, mis on ka ootuspärane (joonis 1.11). Kandevõime väärtuste analüüsis nähtus, et km 38.5…42.0 on kandevõime märgatavalt kõrgem ja vastab liikluskoormusele, mis ongi selgitatav sellega, et aluse paksus on piisav. Muudes piirkondades vajab teekatend aluse arvelt tugevdamist.



Joonis 1.11. Teekatte ja teekatte + aluse paksused võrrelduna mõõdetud kandevõimega.

Ehitusgeoloogilisest uuringust ei saa selget pilti ses osas, mis materjalid ja mis sügavuses on looduslikud ja mis on paigaldatud tee ehitamiseks. Seega selles osas ei saa seoseid otsida. Ka maaradariuuringu tulemused ei võimalda saada ses osas selgust, mistõttu neid siinkohal ei esitata. Ehitusgeoloogilise uuringu pinnaseandmete osas on eeldatud, et looduslikuks kihiks on kõige viimane ning vahepealsed on teekonstruktsiooni osa (kas muldkeha või katend). Kohati esines selliseid punkte, kus alus paikneski otse pinnasel ilma vahepealsete liivakihtideta.

Joonisel 1.12 on esitatud võrdlus kandevõime ja teekatendi eeldatava kogupaksuse vahel, lisaks on esitatud katte ja aluse paksus. Teekonstruktsiooni eeldataval kogupaksusel ei ole seost mõõdetud kandevõime vahel.

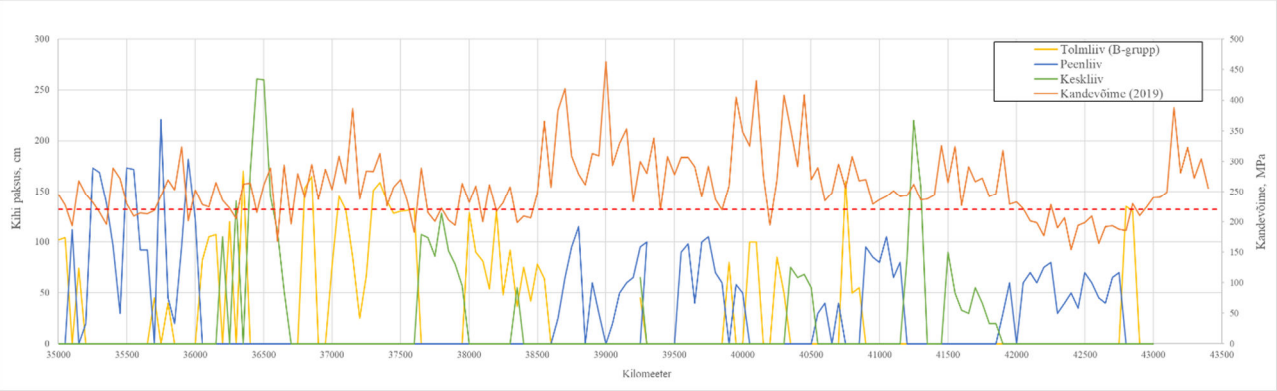


Joonis 1.12. Teekonstruktsiooni (eeldatav) kogupaksus, aluskihi paksus ning võrdlus mõõdetud kandevõimega.

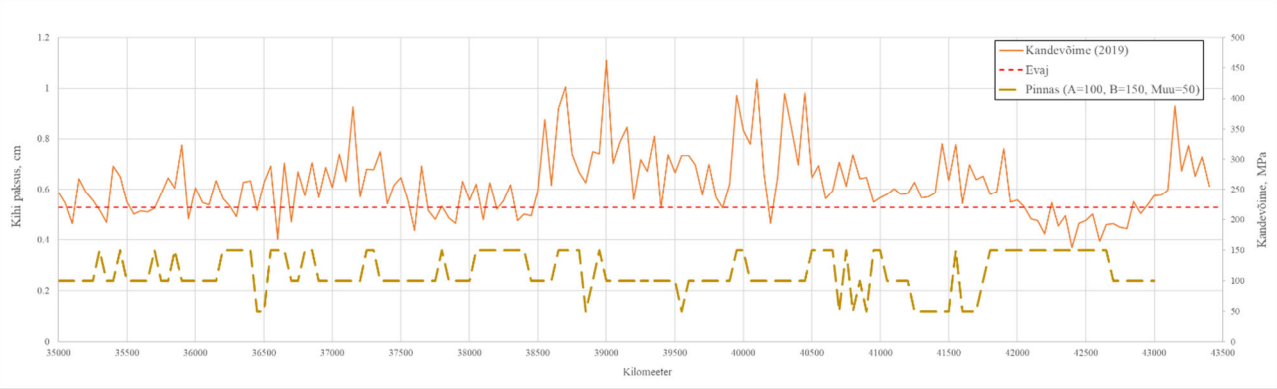
Joonisel 1.13 on esitatud kruusakihi all olevate eri liivakihtide paksused (esitatud on iga individuaalse liivakihi paksus ja neid ei ole omavahel summeeritud). Jooniselt nähtub, et teelõigu alguses esineb peamiselt peenliiv, seejärel veidi keskliiva, mis läheb üle B-grupi pinnaseks (ehk tolmliivaks) jne. Liivade esinemise ja kihipaksuste ning kandevõime vahel ei ole võimalik seoseid luua.

Joonisel 1.14 on esitatud liivakihtide all oleva aluspinnase olemus ja esinemine. Graafikul esitamiseks vastab A-grupi pinnasele väärtus 100, B-grupi pinnasele 200 ja muudele pinnastele 50. Muuks pinnaseks on loetud peenliiv, keskliiv, või vana teekatend. Aluspinnase ning kandevõime ega vajumikausiparameetrite vahel ei ole samuti võimalik leida selgeid seoseid.

Km 39.550 oli aluspinnaseks D-grupi pinnas (sasiCl), kuid see ei põhjusta madalamat kandevõimet.



Joonis 1.13. Erinevate aluse all olevate liivade esinemine ja individuaalsete kihtide paksused ning nende võrdlus kandevõimega.



Joonis 1.14. Aluspinnase grupi ja kandevõime võrdlus.

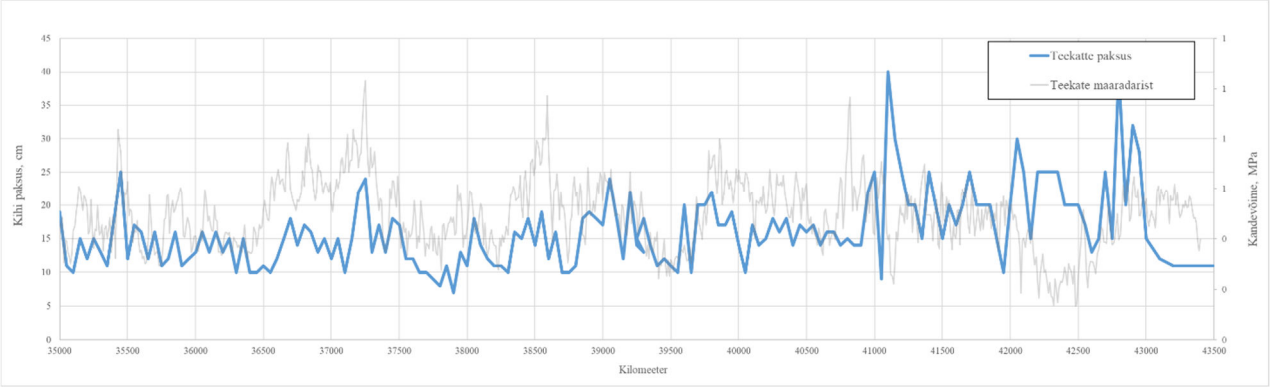
Eelnevast saab seega järeldada, et tee seisukorra parandamiseks suuremal osal teest piisaks tegelemisest vaid ülemise osaga ning muldkeha tugevdamist vajadus ette võtta ei ole. Täpsem analüüs ja sobiliku katendikonstruktsiooni valik tehakse järgmises peatükis, kus tehakse andmete koondanalüüs arvestades juurde ka visuaalse vaatluse andmeid ja teekatte seisukorda.

Vaadeldes viimaseks veel vaid teekatte paksust, saadakse ehitusgeoloogilise uuringu alusel joonis 1.15. Sinna on arvestatud nii teekate kui selle all kohati leitud „asfaldipuru“. Vaadeldes kõrvale andmeid maadaradiuuringust nähtub, et andmed ei korreleeru omavahel.

Tõenäoliselt on põhjus see, et olemasolev kate ei ole asfalt, vaid mustsegu, mis võib olla altpoolt murenenud ja mis ei anna seega selgelt eristatavat joont. Teiseks on katte all esiteks õhuke

kruuskillustiku kiht, mille all õhuke kruusliiva kiht (eelnevalt olid need arvestatud kokku üheks kihiks). Vaadeldes näiteks km 37.25, siis seal on maaradari andmetel katte paksus 38.7 cm, kuid ehitusgeoloogilise uuringu andmetel 24 cm. „Puuduolev“ 14 cm tuleb sellest, et katte all asub täpselt nii paks kruusliiva kiht, mis läheb üle tolmliivaks. Maaradari profiilil on teekatte ja kruusliiva üleminek nii hägune, et seda ei ole olnud võimalik eristada. Km 42.25 on olukord olnud vastupidine: asfaltkate on selgelt eristatav, kuid ehitusgeoloogilise uuringu alusel asetseb selle all „asfaldipuru“, mis on käesolevalt arvestatud katte, mitte aluse hulka. Lühidalt, probleem on selles, et teekate ei ole selgepiiriline, vaid läheb ühtlaselt üle all olevaks õhukeseks kruuskillustikuks, mistõttu on maaradariprofiilis loetud viimane katte osaks. Kohati esineb ka vastupidist nähtust.

Seega freesimismahtude arvestamisel on korrektsem lähtuda ehitusgeoloogilise uuringu andmetest, kuid arvestada tuleb, et freespuru kvaliteet on kõikuv.



Joonis 1.15. Ehitusgeoloogilise uuringu ja maaradariuuringu andmetel saadud asfaltkatte kihipaksused.

1.6. Analüüs ja tee jagamine homogeenseteks lõikudeks

Peatükis 3 oli esitatud suuremate nähtavate probleemide asukohad. Järgnevalt analüüsitakse neid eraldi.

Km 35.4…35.8 on tee keskel palju pragusid (pikipraod ja võrkpraod). Defektid näivad olevat põhjustatud madalast kandevõimest ja külmakerkest. Ehitusgeoloogilise uuringu andetel on seal teekatte paksus 12…25 cm, mille all 0…15 cm kruusliiv, mille all peenliiv (km 35.45 ristlõige on järgmine: 25 cm teekate, 15 cm kruusliiv, 30 cm peenliiv, 65 cm tolmliiv, 40 cm kerge saviliiv, 85 cm peenliiv). Antud koha ristlõige ei ole muudest punktidest kuigivõrd erinev, kuid eristab seda piirkonda see, et asetseb väikese künka peal.

Ehitusgeoloogiline uuring tõi välja selle, et „vett kandvateks kihtideks on mulde ja aluspinnasena esinevad liivad, muld/turvas ning savise aluspinnase liivakama koostisega vahekihid.“ ning Maa-ameti mullakaart iseloomustab piirkonnas levivate muldade alasid kui „liigniiskuse põhjuseks tavaliselt ülavesi, millele võib lisanduda ka kõrge põhjavesi (eriti moreentasandike madalamatel osadel).“ Seega on koha lagunemise tõenäoliseks põhjuseks kevadeti kõrgele tõusev pinnasveetase ja sellest lähtuv kandevõimeprobleem. 2017 mõõtmiste järgi on seal olnud ka mõnevõrra kandevõime (171 MPa). <u>Koha lahendamiseks oleks dreenkihi paigaldamine koos uue aluse ja teekattega.</u>

Km 36.6 on sisekurvis (suund 1) väga tõsine roobas, asfalt pressib küljele välja, esineb palju pikipragusid. Ehitusgeoloogia järgi on antud kohas teekate 12…15 cm, ca 10 cm kruuskillustikku, üle 50 cm keskliiv, A-grupi pinnas. Kuna probleem esineb sisekurvis, siis saab tee äär rohkem koormust kui teine pool. Teekatendi aluseks on sisuliselt keskliiv, mis ei suuda võtta vastu tekkivaid nihkepingeid. Osaliselt võib probleem olla ka teekatte madalas nihkekindluses. Antud kohas on kandevõimemõõtmise alusel olnud madal kandevõime (127 MPa) ja väga kõrge SCI väärtus, mis arvamust kinnitab. Koha lahendamiseks oleks uue aluse paigaldamine koos uue teekattega.

Km 37.6 on nähtav defekt väga sarnane sellele, mis nähti ka km 36.6. Ka siin on kandevõime madalam (149 MPa) ja SCI väärtus kõrge, mis viitab probleemile teekatendi ülaosaga. Ka siin on alusele väga lähedal keskliiv: 10 cm teekate, 13 cm kruuskillustik, 107 cm keskliiv. Taoline katend jätkub kuni km 38, kuigi probleeme roopaga edaspidi ei ole. Koha lahendamiseks oleks uue aluse paigaldamine koos uue teekattega.

Km 38.27 punnitab tee keskelt materjali üles. Arvatavasti on probleem õhuke teekatend, mille all paikneb B-grupi pinnas (ehk tolmliiv). Koha lahendamiseks oleks uue aluse paigaldamine koos uue teekattega.

Km 38.4...38.5 on mõlema suuna välisjäljes sügavad roopad (eriti suund 2). Selles osas ei leia põhjendust ei kandevõimemõõtmistest ega ehitusgeoloogiast. Võimalik, et roopad on tekkinud raskeliikluse tagajärjel, kuid veokid pidurdavad ja kiirendavad enne/pärast pööramist km 38.65 olevale ristmikule. Koha lahendamiseks oleks aluse deformatsioonikindluse tõstmine.

Km 41.2…43.0 esineb palju pikipragusid. Ehitusgeoloogia järgi ilmneb umbes km 41.2 puuraukudesse regulaarselt vesi arvutusliku külmumispiiri lähedale (1.2…1.3 m teekattest), kuid km 42.8 on vesi olnud vaid 0.65 m ja km 42.85 0.7 m sügavusel teekattest. Seega on tee antud piirkonnas külmakerkeline ja vajadus oleks drenaaži parandamiseks ja/või muldkeha tõstmiseks.

Vahemikus km 41.4…42 on kraavide kaevamine välistatud, kuna tee lähedal kasvavad suured männipuud, mida tõenäoliselt eemaldada ei või. Samas pole selles vahemikus ka väga tõsiseid probleeme ja piisaks, kui uuendaks teekatendit.

Km 42.0…43.0 on teekate keskmiselt 22.4 cm, mille sisse on arvestatud ka „asfaldipuru“, alus 14 cm (kruusliiv), 53 cm liiv (tolm- ja peenliiv), mille all A- või B-grupi pinnas (sh pinnase ülaosas ca 30 cm mulda)

Räpinasse sissesõidul km 43.0…43.1 on parema suuna kate tugevalt deformeerunud seoses paigaldatud trassiga. Seega selles lõigus tuleb asfaltkate eemaldada, korrigeerida alus ja paigaldada uus kate.

- Kokkuvõtlikult saab öelda, et kogu tee vajaks uut killustikalust või muud alust, mille deformatsioonikindlus oleks kõrgem, kuna hetkel alus sisuliselt puudub. Lisaks vajatakse km 35.4…35.8 dreenkihti ning km 42.0…43.0 drenaažiolukorra parandust, muldkeha tasandamist, dreenkihti ja (killusti)kalust.

Kui võtta aluseks tee keskmised näitajad (16 cm mustsegu, 14 cm kruusliiv ja B-grupi pinnas), on tee katendiarvutuslikult toimiv (tabel 1.1). Tegelikult näitas seda mõningate eranditega ka kandevõimemõõtmine. Reaalsus on siiski see, et olemasolev katend ei ole piisavalt

deformatsioonikindel ning on mõningates kohtades külmakerkeline. Km 42…43 olemasoleva olukorra katendiarvutuse võib kujutada tabelis 1.2 kujutatult.

Tabel 1.1. Vaadeldava tee olemasolev olukord kujutatuna katendiarvutuslikult

Koormussagedus: 198 normtelge ööp/rajale			Pinnas: B - tolmliiv		Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A
Maantee klass: 4	Tugevustegur:	0.84	Niiskuspaikkond: 2, niiske		Ratta jälje läbimõõt: 37 cm
Teekatendi liik: Kergkatend	Töökindlustegur:	0.8	Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0.01		Erisurve kattele: 0.6 MPa
	Normhälbetegur	1.06	L1.T3 p2+p5; -0,02+0,03=0.01		Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisratas

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast-susmoodul E_{ekv} arvutamiseks	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbe-pinged R_{max}	Lubata-vad tõmbe-pinged R_{lub}	Sise-höörde-nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	K3
1	Vana mustkate või asfaltbetoon	16.0	1400							
2	Tm_130 [grSa, CSa - kruusliiv ja jämeliiv, Cu>3]	14.0	130					42.0	0.007	7.0
ALUS	B - tolmliiv		**64.4**					34.7	0.012	3.0

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja: Kriteerium	Nihkepinged MPa: t_{arv}	Nihkepinged MPa: t_{lub}	Varu %	Üldine elastsus-moodul Mpa	Vajalik elastsus-moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Üldine elastusmoodul			4.2%	189.82	216.77	
1	Vana mustkate või asfaltbetoon	16.0					189.82		
2	Tm_130 [grSa, CSa - kruusliiv ja jämeliiv, Cu>3]	14.0	Nihkepinged	0.0211	0.0358	41.2%	79.73		
	B - tolmliiv		Nihkepinged aluspinnasel	0.0152	0.0263	42.4%			0.763
	Katendi kogupaksus	30.0					Parandustegur Δ		0.000

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	40
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	6
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustus	2.0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	4.2
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	29.4%

** redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8*

Hinnang külmakindlusele	Katendi külmakerge on lubatud piirides

Tabel 1.2. Km 42…43.0 olemasoleva olukorra arvutuslik olukord

Koormussagedus: 198 normtelge ööp/rajale			Pinnas: B - tolmliiv		Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A
Maantee klass: 4	Tugevustegur:	0.84	Niiskuspaikkond: 3, liigniiske (märg)		Ratta jälje läbimõõt: 37 cm
Teekatendi liik: Kergkatend	Töökindlustegur:	0.8	Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0.03		Erisurve kattele: 0.6 MPa
	Normhälbetegur	1.06	L1.T3 p5; +0,03=0.03		Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisratas

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast-susmoodul E_{ekv} arvutamiseks	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbe-pinged R_{max}	Lubata-vad tõmbe-pinged R_{lub}	Sise-höörde-nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	K3
1	Vana mustkate või asfaltbetoon	10.0	1400							
2	Tm_130 [grSa, CSa - kruusliiv ja jämeliiv, Cu>3]	25.0	130					42.0	0.007	7.0
ALUS	B - tolmliiv		**59.1**					33.9	0.011	3.0

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja: Kriteerium	Nihkepinged MPa: t_{arv}	Nihkepinged MPa: t_{lub}	Varu %	Üldine elastsus-moodul Mpa	Vajalik elastsus-moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Üldine elastusmoodul			-19.6%	146.47	216.77	
1	Vana mustkate või asfaltbetoon	10.0					146.47		
2	Tm_130 [grSa, CSa - kruusliiv ja jämeliiv, Cu>3]	25.0	Nihkepinged	0.0328	0.0358	8.6%	87.21		
	B - tolmliiv		Nihkepinged aluspinnasel	0.0163	0.0241	32.5%			0.807
	Katendi kogupaksus	35.0					Parandustegur Δ		0.000

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	43
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	6
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustus	4.0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	8.2
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	-36.3%

** redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8*

Hinnang külmakindlusele	Katendi külmakerge EI OLE lubatud piirides

Objekti läheduses ei ole ühtegi killustikukarjääri, mistõttu uue killustikaluse rajamine on keerukas, kuigi see oleks vajalik. Variandiks on ehitada kruuskillustikust alused vaid sinna, kus need on

hädavajalikud (eelpool kirjeldatud kohtades) ning uuendada ülejäänud teekate kohapeal segamisega kas bituumenstabiliseeritud aluseks või mustseguks (eelistatavam oleks viimane), mille peale paigaldada uus, pehmema bituumeniga (160/220), kate (KAPis „kergasfaltbetoon), mis talub paremini väiksemaid deformatsioone, mis on vanade muldkehade puhul tavalised.

Piirkonnas on mitmeid liivakarjääre, kuid Võru külje all on olemas Hansi kruusakarjäär (Trev-2) ja Palometsa kruusakarjäär (Palmeks OÜ), mis asuvad vaadeldavast teest ca 40 km kaugusel, kust oleks võimalik saada vajalikku (kruus)killustikku.

Teekatendi remondilahendus näeb seega välja selline:

- **Km 35.35…35.85** eemaldada teekate ning eemaldada kraavi äärest kraavi ääreni materjal, et mahutaks paigaldama tabelis 1.3 esitatud katendi. Sellega on eesmärk saada teekatend dreenivaks kohas, kus vesi pressib alt üles. Kasutatava kruus- või jämeliiva filtratsioonimoodul peab olema vähemalt 1.0 m/ööp.
- **km 36.50…36.75, 37.55…37.75 ja 38.20…38.30** eemaldada olemasolev asfaltkate ja alus, misjärel ehitada välja tabelis 1.4 esitatud katend.
- **km 42.0…43.0** eemaldada olemasolev teekate, tasandada muldkeha, paigaldada dreenkiht, killustikalus, BS ja asfaltbetoon (tabel 1.3). Sellega on eesmärk saada teekatend dreenivaks ning paremini koormust jaotavaks. Kasutatava liiva filtratsioonimoodul peab olema vähemalt 1.0 m/ööp.
- **km 43.0…43.1** korrigeerida sõidusuuna 1 trassi peal ära vajunud osa. Selleks eemaldada asfaltkate, korrigeerida killustikalus ja paigaldada asfaltkate.
- kogu ülejäänud tee osas (ehk **km 35.0…35.35, 35.85…36.50, 36.75…37.55, 37.75…38.20, 38.30…42.0**) segada olemasolev teekate bituumenstabiliseeritud aluseks (või mustseguks) ja paigaldada asfaltkate. Tabeli 1.5 katendiarvutuses näidatud liiv on olemasolevas aluses kasutatud kruuskillustik või –liiv.

Tabel 1.3. Km 35.35…35.85 ja 42.0…43.0 teekatendi lahendus (dreenkiht, killustikalus, BS olemasoleva asfaltpuru põhjal ning asfaltkate)

Koormussagedus: 198 normtelge ööp/rajale
Maantee klass: 4
Teekatendi liik: Kergkatend

Tugevustegur: 0.84
Töökindlustegur: 0.8
Normhälbetegur 1.06

Pinnas: B - tolmliiv
Niiskuspaikkond: 2, niiske
Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: -0.02
L1.T3 p2; -0,02=-0.02

Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A
Ratta jälje läbimõõt: 37 cm
Erisurve kattele: 0.6 MPa
Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisratas
Alumise asfaltkihi mat. tegur: 1

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast-susmoodul E_{ekv} arvutamiseks	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbe-pinged R_{max}	Lubata-vad tõmbe-pinged R_{lub}	Sise-hõõrde-nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur K3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Kuum kergasfaltbetoon (ACsurf 160/220 või vedela	6.0	1400	800	2000	0.9847	1.6549			
2	Bit.stab. kiht asfaldipurust teel segatud - BS	15.0	500							
3	Reakillustik, mittestandardne killustikusegu	12.0	200					45.0	0.040	9.0
4	Tm_130 [grSa, CSa - kruusliiv ja jämeliiv, Cu>3]	30.0	130					42.0	0.007	7.0
ALUS	B - tolmliiv		**68.4**					35.4	0.013	3.0

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja: Kriteerium	Nihkepinged MPa t_{arv}	Nihkepinged MPa t_{lub}	Varu %	Üldine elastsus-moodul Mpa	Vajalik elastsus-moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Üldine elastusmoodul			21.6%	221.37	216.77	
1	Kuum kergasfaltbetoon (ACsurf 160/220 või vedela	6.0	Asfaltbetooni tõmbepinged			40.5%	221.37		
2	Bit.stab. kiht asfaldipurust teel segatud - BS	15.0					181.63		
3	Reakillustik, mittestandardne killustikusegu	12.0					116.54		
4	Tm_130 [grSa, CSa - kruusliiv ja jämeliiv, Cu>3]	30.0	Nihkepinged	0.0185	0.0358	48.5%	97.29		
	B - tolmliiv		Nihkepinged aluspinnasel	0.0063	0.0285	78.0%			0.730
	Katendi kogupaksus	63.0					Parandustegur Δ		0.000

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	79
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	6
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustus	4.0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	4.6
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	23.5%

** redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8*

Hinnang külmakindlusele	Katendi külmakerge on lubatud piirides

Tabel 1.4. km 36.50…36.75, 37.55…37.75 ja 38.20…38.30 teekatendi lahendus (uus killustikalus, BS olemasoleva freespuru põhjal ning asfaltbetoon).

Koormussagedus: 198 normtelge ööp/rajale
Maantee klass: 4
Teekatendi liik: Kergkatend

Tugevustegur: 0.84
Töökindlustegur: 0.8
Normhälbetegur 1.06

Pinnas: B - tolmliiv
Niiskuspaikkond: 2, niiske
Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: -0.02
L1.T3 p2; -0,02=-0.02

Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A
Ratta jälje läbimõõt: 37 cm
Erisurve kattele: 0.6 MPa
Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisratas
Alumise asfaltkihi mat. tegur: 1

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast-susmoodul E_{ekv} arvutamiseks	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbe-pinged R_{max}	Lubata-vad tõmbe-pinged R_{lub}	Sise-hõõrde-nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur K3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Kuum kergasfaltbetoon (ACsurf 160/220 või vede	6.0	1400	800	2000	1.0494	1.6549			
2	Bit.stab. kiht asfaldipurust teel segatud - BS	15.0	500							
3	Reakillustik, mittestandardne killustikusegu	20.0	200					45.0	0.040	9.0
ALUS	B - tolmliiv		**68.4**					35.4	0.013	3.0

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja: Kriteerium	Nihkepinged MPa t_{arv}	Nihkepinged MPa t_{lub}	Varu %	Üldine elastsus-moodul Mpa	Vajalik elastsus-moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Üldine elastusmoodul			14.2%	207.88	216.77	
1	Kuum kergasfaltbetoon (ACsurf 160/220 või vede	6.0	Asfaltbetooni tõmbepinged			36.6%	207.88		
2	Bit.stab. kiht asfaldipurust teel segatud - BS	15.0					168.38		
3	Reakillustik, mittestandardne killustikusegu	20.0					105.73		
	B - tolmliiv		Nihkepinged aluspinnasel	0.0152	0.0285	46.7%			0.730
	Katendi kogupaksus	41.0					Parandustegur Δ		0.000

Tabel 1.5. Kogu tee remondilahendus (olemasoleva asfaltkatte segamine bituumenstabiliseeritud aluseks või mustkatteks ning asfaltkate), v.a eelnevalt tabelites 3 ja 4 välja toodud kohad

Koormussagedus: 198 normtelge ööp/rajale			Pinnas: B - tolmliiv		Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A
Maantee klass: 4	Tugevustegur:	0.84	Niiskuspaikkond: 2, niiske		Ratta jälje läbimõõt: 37 cm
Teekatendi liik: Kergkatend	Töökindlustegur:	0.8	Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: -0.02		Erisurve kattele: 0.6 MPa
	Normhälbetegur	1.06	L1.T3 p2; -0,02=-0.02		Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisratas
					Alumise asfaltkihi mat. tegur: 1

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast-susmoodul E_{ekv} arvutamiseks	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbe-pinged R_{max}	Lubata-vad tõmbe-pinged R_{lub}	Sise-hõörde-nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur K3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Kuum kergasfaltbetoon (ACsurf 160/220 või vede	6.0	1400	800	2000	1.1325	1.6549			
2	Bit.stab. kiht asfaldipurust teel segatud - BS	15.0	500							
3	Tm_130 [grSa, CSa - kruusliiv ja jämeliiv, Cu>3]	25.0	130					42.0	0.007	7.0
ALUS	B - tolmliiv		**68.4**					35.4	0.013	3.0

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja				Üldine elastsus-moodul Mpa	Vajalik elastsus-moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Kriteerium	Nihkepinged MPa		Varu %			
				t_{arv}	t_{lub}				
			Üldine elastusmoodul			5.0%	191.13	216.77	
1	Kuum kergasfaltbetoon (ACsurf 160/220 või vede	6.0	Asfaltbetooni tõmbepinged			31.6%	191.13		
2	Bit.stab. kiht asfaldipurust teel segatud - BS	15.0					153.44		
3	Tm_130 [grSa, CSa - kruusliiv ja jämeliiv, Cu>3]	25.0	Nihkepinged	0.0294	0.0358	17.9%	93.77		
	B - tolmliiv		Nihkepinged aluspinnasel	0.0136	0.0285	52.4%			0.730
	Katendi kogupaksus	46.0					Parandustegur Δ		0.000

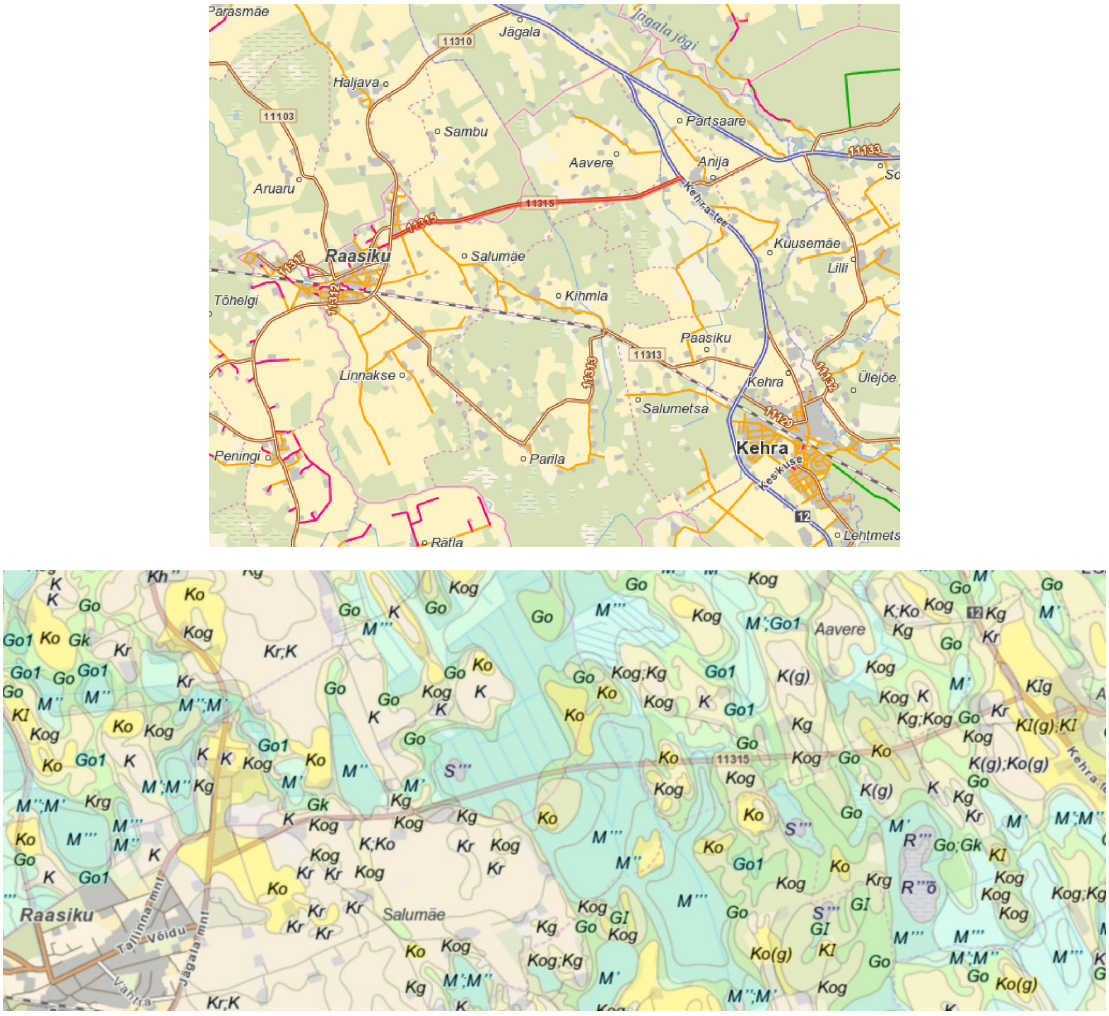
2. Riigitee nr 11315 Raasiku-Anija km 0.055 - 5.9 (pikkus 5.9 km) seisukorra analüüs ja remondilahendus

Tee seisukorra hindamiseks ja sobiliku remondimeetme valikuks kasutati järgnevat infot:

- tee visuaalne visuaalne vaatlus;
- info kogumine andmebaasidest (Maa-ameti mullakaart ja Teeregister);
- kandevõimemõõtmised FWD-seadmega kevadel;
- maaradari ülesõit koos tee ülesfilmimisega;
- ehitusgeoloogiline uuring.

2.1. Objekti asukoht

Objekti asukoht on näidatud joonisel 2.1, mille kõrval on kujutatud tee paiknemine Maa-ameti mullastiku kaardil, mille abil võib saada väga väärtuslikku eelinfot esinevate pinnaseolude osas ning mis võib hõlbustada optimaalseima remondilahenduse leidmist.



Joonis 2.1. Riigitee nr 11315 Raasiku-Anija km 0.055 - 5.9 asukoht (Teeregister) ja kujutatuna mullastiku kaardil (Maa-amet).

Mullastiku kaardi alusel asetseb tee enamasti järgmiste muldade levikualal:

- Kog ehk gleistunud leostunud mullad on ajutiselt (nõrgalt) liigniisked mullad. Liigniiskust põhjustab kergetel ja keskmistel muldadel põhja-, rasketel aga pinna- ja ülavesi. Muldadele on omane ajutine liigniiskus. Need on kujunenud tugevasti karbonaatsel lähtekivimil ajutiselt kõrgele tõusvast põhjavetest tingitud liigniiskuse mõjul.
- Ko ehk leostunud muld on pigem nõrgalt liigniiske paikkonna muld.
- Go ehk leostunud gleimuld on alaliselt (keskmiselt) liigniisked mullad, kus liigniiskus on tingitud pidevalt mullaprofiili ulatuvast põhjaveest, rasketel muldadel lisandub ka ülavesi. Need on tekkind karbonaatsel lähtekivimil alalise liigniiskuse juures.
- M´´´ ehk sügav madalsoomuld.

Mullakaardilt järeldub, et tee asub suures osas keskkonnas, kus on pinnasevee tase tõenäoliselt kõrge ja piirkond püsivalt liigniiske. Piirkonna kuivendamine ei ole ilma mahukate töödeta võimalik.

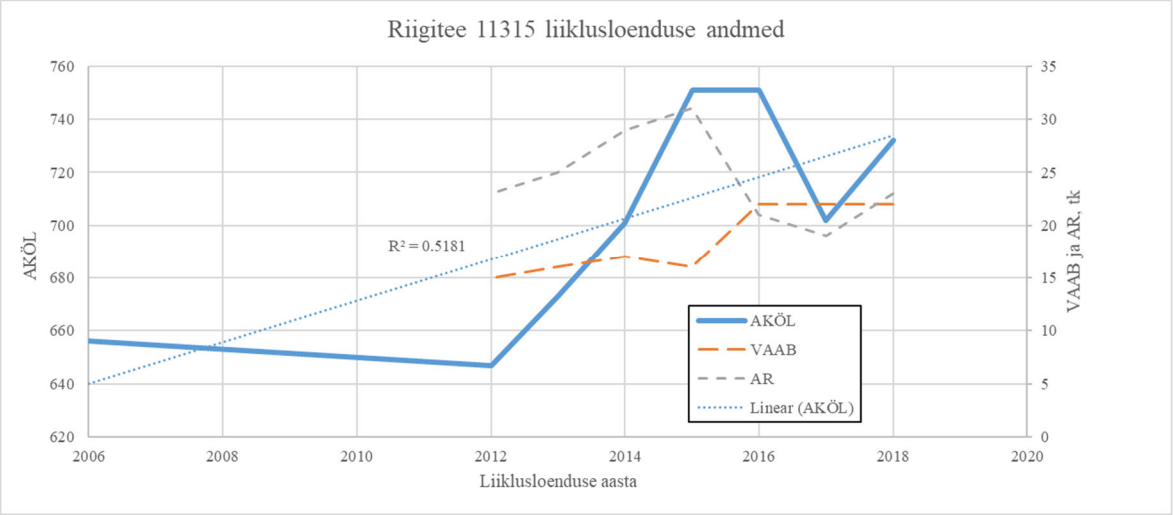
2.2. Tee iseloomustus

2.2.1. Liiklussagedused

Tegemist on IV-klassi teega, mille liiklussagedus aastal 2018 on olnud 732 AKÖL, millest sõiduautod moodustavad 94% (687 autot), veoautod ja bussid 3% (22 autot), autorongid 3% (23 autot).

Varasemad liiklusloenduse andmed on järgmised, mis on koondatud ka joonisele 2.2:

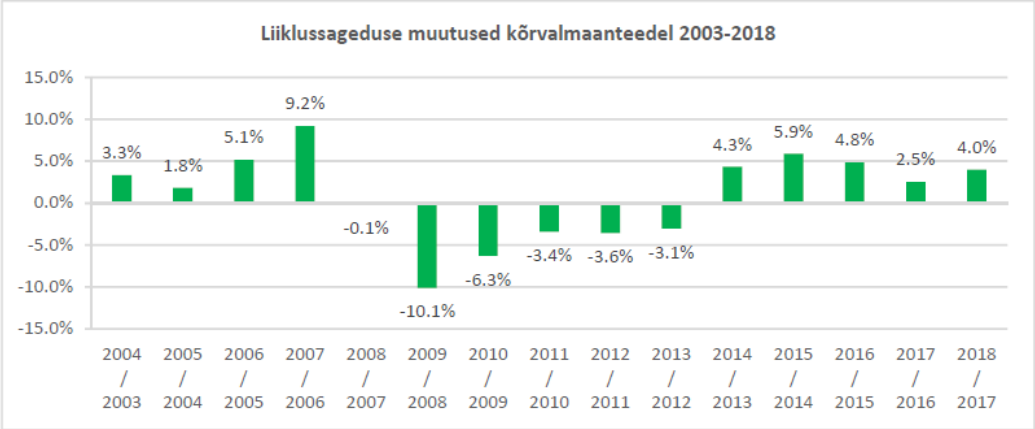
- 2017: 702 (94%, 660 tk sõiduautod, 3%, 22 tk veoautod, 3%, 19 tk autorongid);
- 2016: 719 (95%, 676 tk sõiduautod, 3%, 22 tk veoautod, 2%, 21 tk autorongid);
- 2015: 751 (94%, 704 tk sõiduautod, 2%, 16 tk veoautod, 4%, 31 tk autorongid);
- 2014: 701 (93%, 655 tk sõiduautod, 2%, 17 tk veoautod, 4%, 29 tk autorongid);
- 2013: 673 (94%, 632 tk sõiduautod, 2%, 16 tk veoautod, 4%, 25 tk autorongid);
- 2012: 647 (94%, 609 tk sõiduautod, 2%, 15 tk veoautod, 4%, 23 tk autorongid);
- 2006: 656 (liikluskoosseis pole teada, järgmised andmed on aastast 2012);



Joonis 2.2. Liiklusloenduse andmed koos AKÖL lineaarse kasvukõvera joonega.

Liikluse andmed on mõnevõrra hektilised ning lineaarset ega ka muud tulevikku ette ennustavat kasvukõvarat ei ole võimalik moodustada. Kui arvestada aasta 2006 vs 2016 liiklussagedusi, saadakse aastaseks kasvuks umbes 1.5%. Kui arvestada kõige suuremat tõusu liiklussageduses aastatel 2012 – 2015, saadakse aastaseks kasvuks umbes 5%.

Võttes võrdluseks kõrvalmaanteede liiklussageduse muutused (joonis 2.3) näeme, et viimase viie aasta keskmisena on kasv olnud 4.3%. Arvestades võimalusega, et majandus hakkab lähimate aastate jooksul vähenema, oleks realistlikum võtta aluseks veidi väiksem kasvutempo.



Joonis 2.3. Liiklussageduse muutused kõrvalmaanteedel 2003 – 2018

Kui võtta aasta keskmine liiklussagedus aastani 2038 (ehk aastast 2018 20 aastat edasi), saadakse järgmised liiklussageduse muutused järgmiste aastaste kasvuprotsentide juures, kusjuures arvutuse aluseks võetakse joonise 2.4 maksimaalne liiklussagedus, mis oli aastal 2016 751 autot:

- 1.5% aastas -> 1011 autot;
- 3% aastas -> 1356 autot;
- 4% aastas -> 1646 autot.

Hoolimata kasvutempost jääb tee klass samaks.

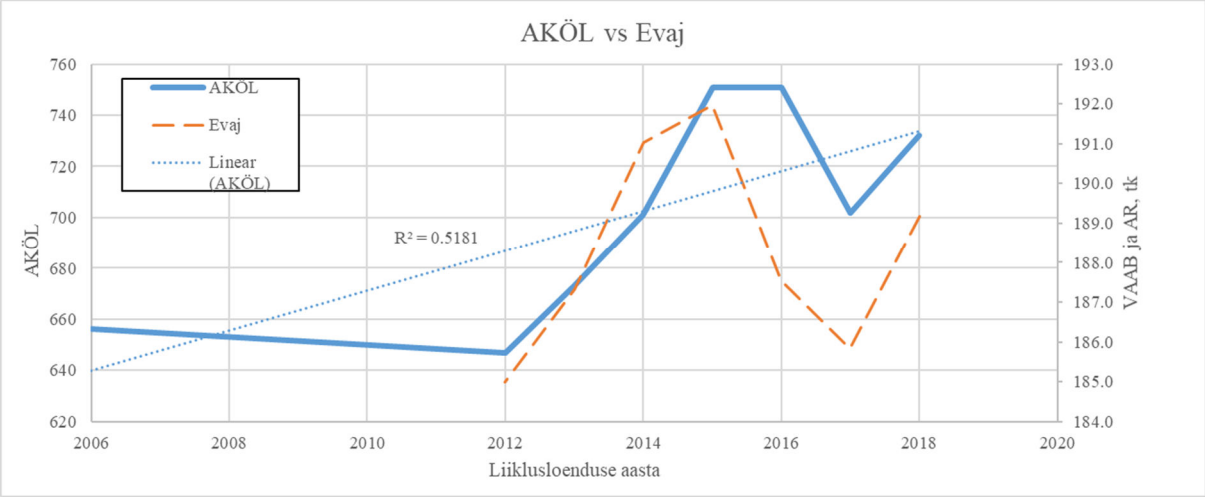
Liikluskoosseis on aasta-aastalt jäänud väga sarnaseks, mistõttu on ka Evaj olnud tugevas sõltuvuses liiklussagedusest. Oletades, et koosseis jääb sarnaseks (3% VAAB ja 3% AR), saadakse olenevalt liikluse kasvutempost järgmised Evaj:

- 1.5% aastas -> 1011 AKÖL -> 198 MPa;
- 3% aastas -> 1356 AKÖL -> 207 MPa;
- 4% aastas -> 1646 AKÖL -> 213 MPa.

Teekatendi dimensioonimiseks on nendest mõistlik valida Evaj = 210 MPa, mis sisuliselt katab kõik käsitletud stsenaariumid.

Kergkatte elueaks arvestatakse 10 aastat, kuid eelnevalt üritati vaadata veelgi pikemalt ette. Kui arvestada aastaseks liikluse kasvutempoks 3% ja oletades, et teed hakatakse ehitama aastal 2020 ning et selleks ajaks on liiklus kasvanud uuesti samale tasemele, mis ta oli aastal 2016 ehk 751 AKÖL, saadakse aastal 2030 liiklussageduseks 1040 autot ja **Evaj = 200 MPa** (arvetamata IV-klassi tee tegurit).

- VAAB = 31 tk, AR = 31 tk, siirdetegurid vastavalt 2.67 ja 3.76 (lähtudes Elastsete teekatendite projekteerimise juhendist) ning arvestades rajategurina 0.55, millest Q = 110.3 V_1/ööp;
- E_{vaj} = a*log(Q) + b = 70*log(110.3) + 56 = 199 MPa.



Joonis 2.4. Evaj vs AKÖL.

2.2.2. Olemasoleva tee seisukord Teeregistri alusel

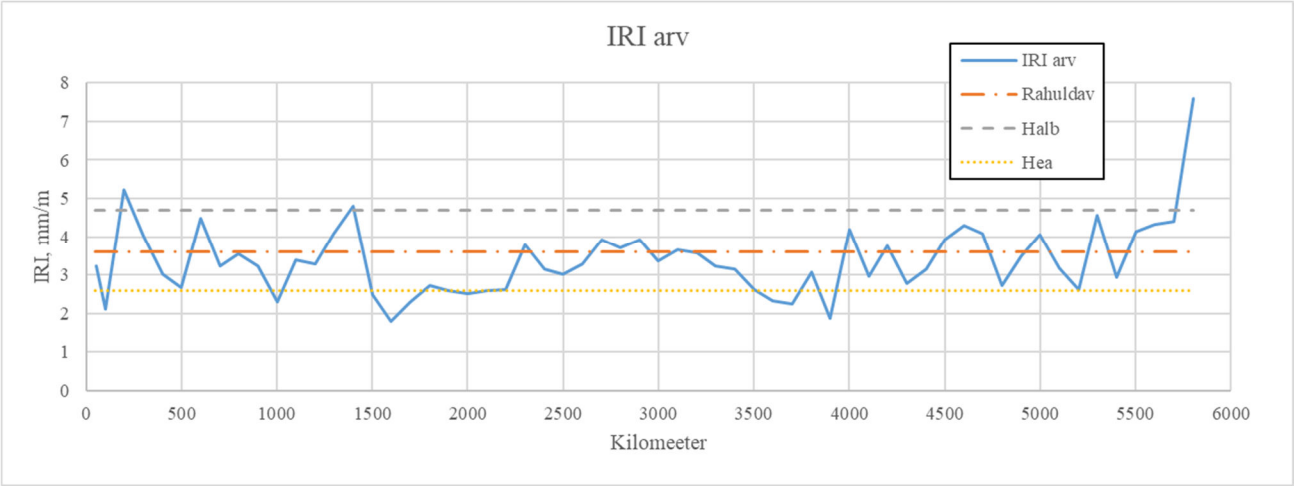
Aastal 2017 defektide inventeerimise järgi on peamiseks defektiks kitsad katte serva defektid. Defektide jaotus on järgnev:

- põikpraod: 6 tk;
- kitsad pikipraod: 1 m;
- laiad pikipraod, laiad vuugipraod, augud, murenemine: 0;
- kitsad vuugipraod: 5 m;
- võrkpragunemine: 4 m^2;
- katte serva defektid: 347 m;
- lapid: 44 tk;
- keskmine dfektide summa on 0.3% (koos lappidega 0.44%), mis jääb veenvalt alla „hoiatuspiiri“ (hoiatuspiir 6 ja kriitiline piir 10%).

Teekatteks on märgitud (põlevkivi) tuhkbetoon, mille ehitamise aasta on 1987. Taolistel teedel on väga sagedased põikpraod, mida antud juhul peaaegu ei eksisteeri ja serva defektid, mida esineb palju.

Teekate on viimati pinnatud aastal 2015.

Joonisel 2.5 on näidatud tee tasasus ehk IRI väärtus, mis jääb kas rahuldava või halva piiridesse, mida võib lugeda heaks tulemuseks arvestades teekatte vanust. Tee Teeregistri kandevõime on esitatud joonisel 2.6 koos aastal 2019 kevadel saadud väärtustega.



Joonis 2.5. Olemasoleva tee IRI väärtused.

2.3. Visuaalse vaatluse ülevaade

Üldisemad tähelepanekud:

- leidub mitmeid kohti, mis on lapitud – tegemist on kas murenenud kohtadega või on seal esinenud niiskuskahjustus;
- Anija maakonna piirist kuni km 3.0 on sõidusuuna 1 väliskülg ära vajunud.
- Km 3 edasi on madalam piirkond – siin on teekattes näha pragusid
- Km 4,9...5.0 on sõidusuund 2 probleemne (serv on vajunud, näha on külmakahjustusi. Probleem jätkub kuni põrkepiirde alguseni. Väga õrnalt on pikipragu näha ka piirde ääres.
- Kohati on näha pikipragusid, nt km 4,3.
- Päris palju on selliseid ebatasasid kohti, mida on pritskillustikuga parandatud. Need võivad olla vana asfaltkatte parandatud augud. Praegune pindamine varjab defekte.
- Tee probleem näib olevat pindamise all olev kate. Kohati on muldkeha vajumisi ja pikipragusid. Leidub mitmeid põikpragusid. Tundub, et stabikiht on ebaühtlane - kohati hea ja kohati ebapiisava tugevusega.

Detailsed andmed defektidest:

- teelõik algab varasema ehitustöö raames rajatud asfalteeritud mahasõiduga, mis on võrkpragusid täis ehk koha kandevõime pole piisav (foto 2.1), antud kohas pinnasevee tase kõrgel;
- Km 0.22 ristmikul põikpragu (foto 2.2);
- Km 0.37 põikpragu (foto 2.3);
- Km 0.86 tee keskel suur lapitud paik, km 0.9 sama (künkale tõus, Google maps näitab samuti defekte). Teekate on ka deformeerunud ehk kattes on sees roopad (foto 2.4);
- Km 1.0 suurem põikpragu;
- Km 2.35 paremal pool ära vajunud ja lapitud, sama km 2.55 (fotod 2.5 ja 2.6);
- Km 2.9…3.5 esineb märgatavalt kitsaid piki- ja põikpragusid, veidi serva defekti ja km 3.5 on patet mitmeti lapitud (fotod 2.7 ja 2.8). Km 3.0 (ca 100 m mõlemale poole) on visuaalselt antud tee kõige nõrgem piirkond;

- Km 3.2 on suurem põikpragu, mille ääred on mõnevõrra üles kaardunud;
- Km 4.05 ja km 4.2 on suured põikpraod (sarnane nagu fotol 2.3);
- Km 4.3 esineb kitsaid pikipragusid, samas kohas on mahasõidu truup umbes ning kraav kinni kasvanud ja vesi ei pääse vabalt liikuma;
- Km 4,8...5.0 on sõidusuund 2 probleemne (serv on vajunud, näha on külmakahjustusi), fotod 2.9 ja 2.10);
- Km 5.2…5.5 on eri punktidest tee keskelt lapitud, foto 2.11
- Täitsa teelõigu lõpus on põikpragu (ääred on kaardunud ülespoole), foto 2.12.

Fotod 2.1 ja 2.2. Teelõigule eelnev asfalteeritud ristmiku osa on deformeerunud. Km 0.22 asuv põikpragu.

Fotod 2.3 ja 2.4. km 0.37 olev põikpragu. Km 0.86 ja 0.90 on tee keskel lapitud kohad, mille näol on tõenäoliselt tegemist altpoolt üles pressiva vee tõttu tekkinud lokaalse kandevõimekaotusega.

Fotod 2.5 ja 2.6. Tee servas olev lagunemine km 2.35, sama km 2.55. Mõlemad asuvad suunal 1.

Fotod 2.7 ja 2.8. Vahemikus km 2.9…3.5 esinevad mitmed serva defektid, piki- ja põikpraod.

Fotod 2.9 ja 2.10. Km 4.8…5.0 on sõidusuuna 2 tee servas vajumisi (pikiroobas) ja lapitud teekatet. Võimalik, et tee on pinnatud laiemaks, kui on all olev stabiliseeritud kiht.

Fotod 2.11 ja 2.12. Defektid vahemikus km 5.2…5.9.

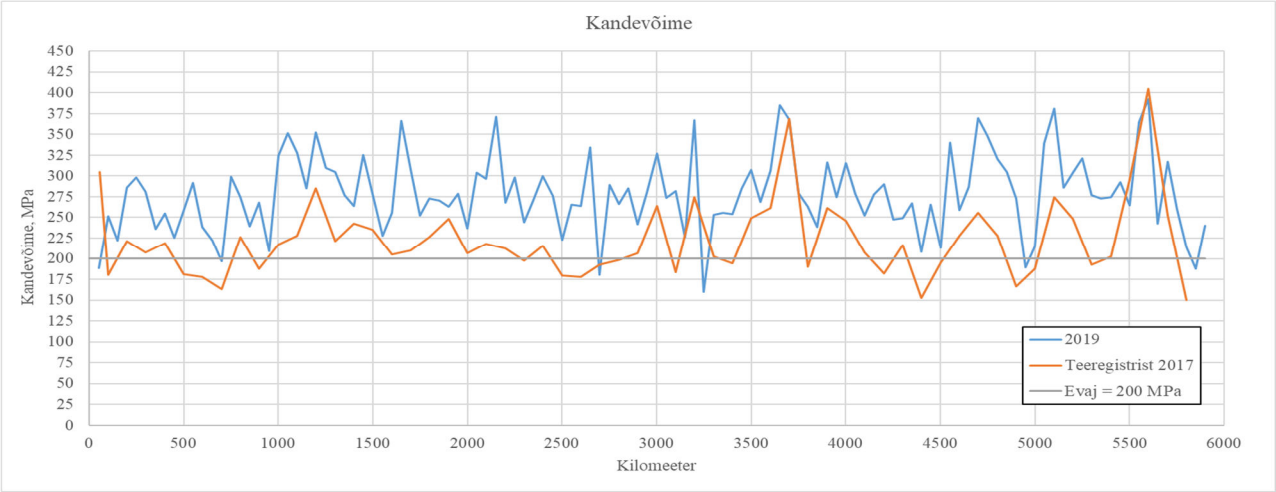
2.4. Kandevõime

Kandevõime mõõdeti teel 28.04.2019, mille tulemus on näidatud joonisel 2.6, millel on ka võrdlus Teeregistrist saadud andmetega (mõõdetud 09.05.2017). Teeregistri ja käesoleva projekti jaoks mõõdetud kandevõimed erinevad üksteisest mõnevõrra:

- keskmine kandevõime 2019: 278 MPa, 2017: 222 MPa (ehk 2017 oli ca 20% väiksem);
- suurim kandevõime 2019: 392 MPa (km 5.60), 2017: 405 MPa (km 5.60);
- väikseim kandevõime 2019: 160 MPa (km 3.25), 2017: 150 MPa (km 5.80);
- keskmine SCI: 2019: 123, 2017: 155;
- keskmine BDI: 2019: 110, 2017: 127;

- keskmine BCI: 2019: 28, 2017: 33.3.

Võimalik, et aastal 2017 on teekatendi (ja ümbritseva looduse) veesisaldus olnud kõrgem, mistõttu on läbipainded olnud suuremad ja kandevõime väiksem.

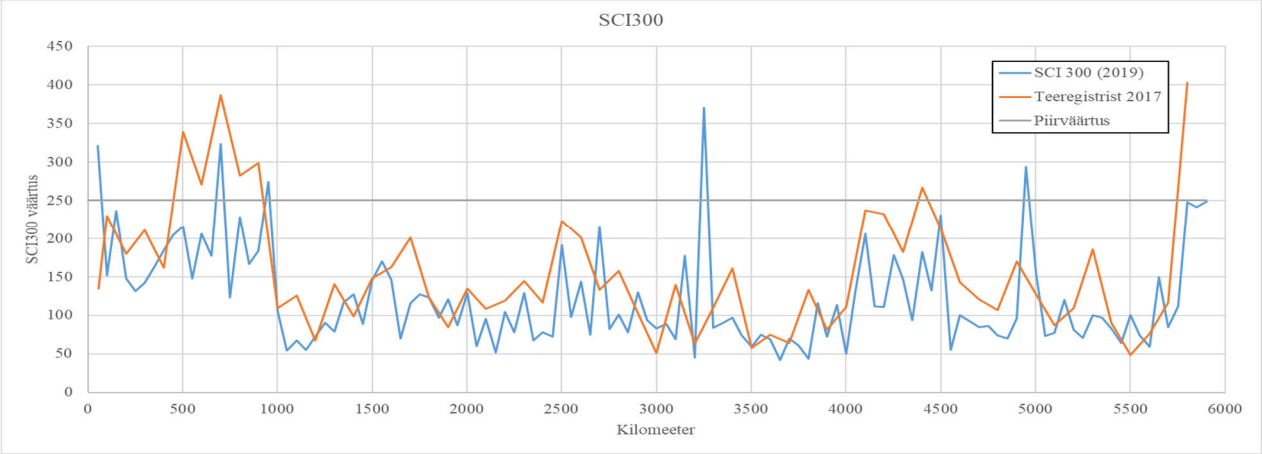


Joonis 2.6. Kandevõimed 2019 ja 2017.

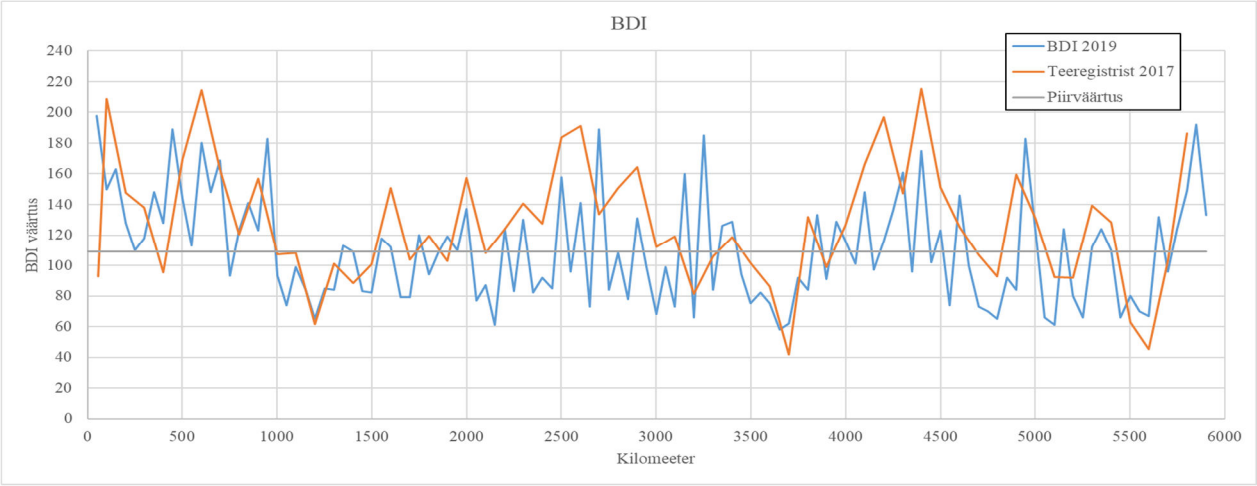
Joonistel 2.7…2.9 on esitatud vajumikausi parameetrid, mille alusel on SCI kuni km 1.0 üle piirväärtuse ja sealt edasi enamasti alla. Silma paistavad mõned konkreetsed punktid ja kohad: km 3.25, vahemik 4.0…4.5, km 4.95 ning km 5.80.

BDI ja BCI väärtused on suurel osal teest üle piirväärtuse, mis viitab probleeme niiskussisalduse ja niiskustundlike materjalide olemasolule. Veidi erinev on esimene kilometeer, kus on nii SCI kui BDI üle piiri, kuid BCI alla ehk probleem on pinna-, mitte pinnasvees. Mõned lühemad lõigud erinevad samuti ning neid saaks seostada looduslike pinnaseoludega vastavalt joonisele 2.1, kus mullastiku kaardilt on näha üksikuid erineva mulla levikuga „saari“.

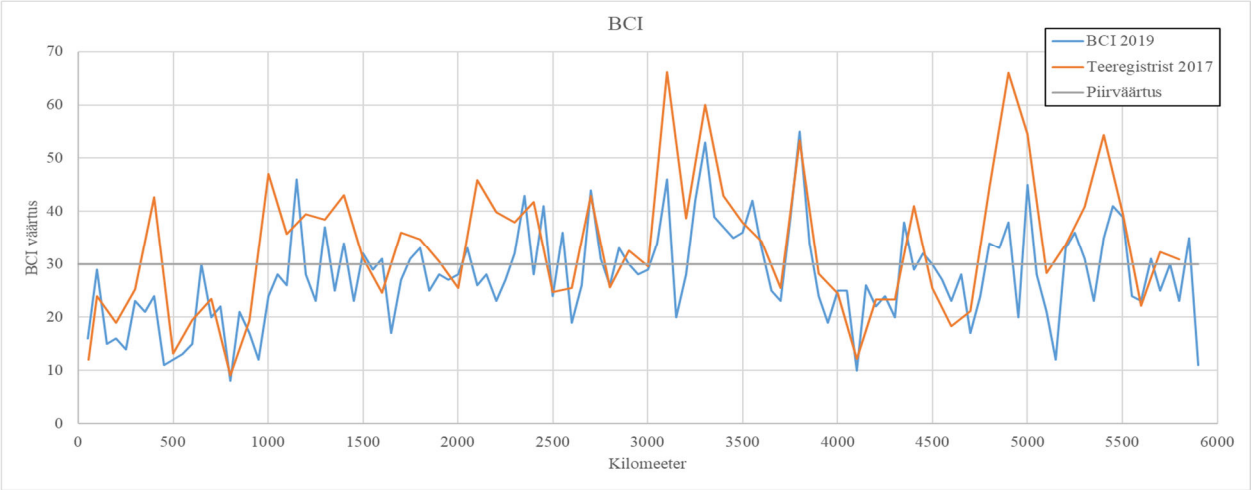
Kokkuvõttes on kandevõime siiski enam-vähem vastav esinevale liiklusele ja kui mõned punktid välja arvata, siis piisaks, kui uuendaks vaid teekatet.



Joonis 2.7. SCI väärtused 2019 ja 2017.



Joonis 2.8. BDI väärtused 2019 ja 2017.



Joonis 2.9. BCI väärtused 2019 ja 2017.

2.5. Ehitusgeoloogia

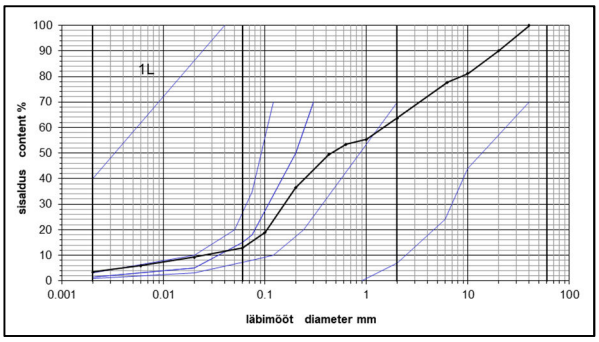
Objekti ehitusgeoloogilise uuringu punktid valiti välja vastavalt kandevõimemõõtmisele ja objekti visuaalsele vaatlusele. Uuringu alusel on tee tüüpiline ristlõige järgnev:

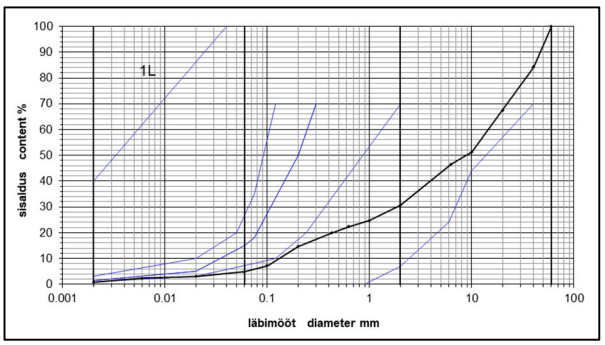
1. 5 cm (kohati kuni 10 cm) bituumeniga seotud kiht;
2. 10…20 cm tuhkstabiliseeritud kiht;
3. 15…45 cm killustik, kruus või paekivisõelmed (enamasti viimane);
4. peenliiv, mille all võib olla ka moreeni või kruusa.

Bituumeniga seotud kihi moodustas kõikides puuraukudes mitmekordne üksteise peal olevad pindamskihid. Ka teeregistri andmetel oli teekatteks tuhkstabiliseeritud kiht ning asfaltbetooni ei ole mainitud.

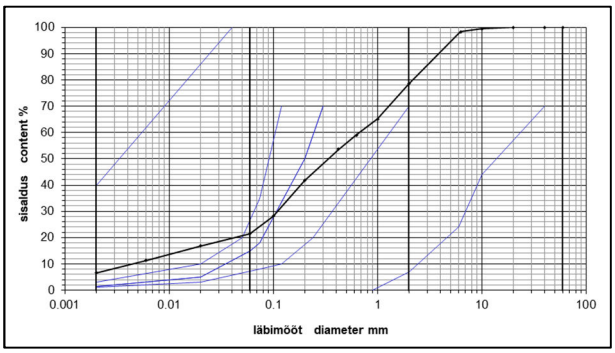
Tuhkstabiliseeritud kiht on amortiseerunud, mitte ühestki puuraugust ei saadud kätte tervet puurkeha, mille survetugevust testida. Kiht lagunes laiali ning meenutas visuaalselt sidumata segu. Laboris määrati kihi nimetuseks „rohke liivaga möllikas kruus“, „kruusaga savine peenliiv“, „rohke kruusaga savikas peenliiv“ ja „rohke liivaga kruus“, mis sõltus tõenäoliselt sellest, kui hästi või halvasti olid kihis moodustanud klombid.

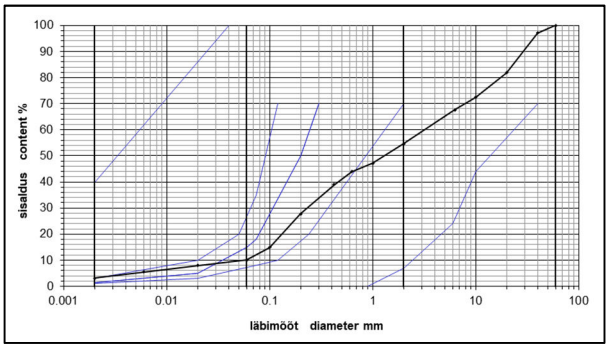
Tuhkstabi kihist saadud terakoostised on esitatud joonistel 2.10…2.15, mis on enamasti väga sarnased, v.a proovid nr 896 (km 3.0) ja nr 897 (km 5.8). Võimalik, et viimased on paremini tsementeerunud ja ei lagunenud laboris nii peeneks, kui teised. Laiali lammutades on tuhkstabi kihid külmakerkelised materjalid. Seega, kui teha antud teele remont, tuleb tuhkstabiliseeritud kiht jätta kas puutumata (ehk kihti purustada ei tohi) või täielikult eemaldada. Kolmandaks variandiks on uuesti stabiliseerimine.



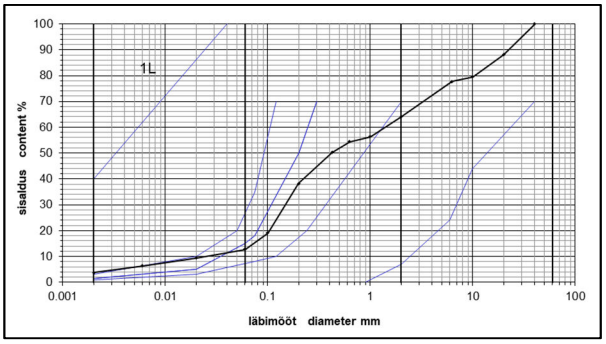


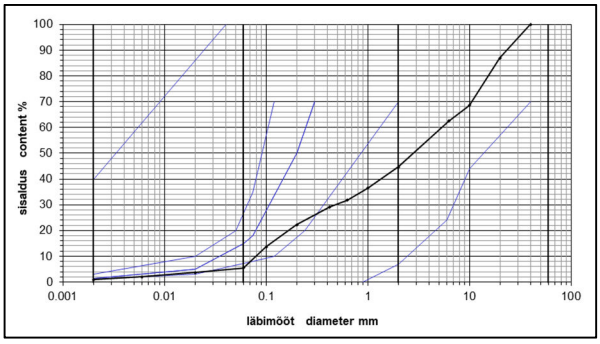
Joonised 2.10 ja 2.11. Protokollid nr 892 (km 1.6 tuhkstabi kiht), rohke kruusaga savikas peenliiv ja nr 896 (km 3.0 tuhkstabi kiht), rohke liivaga kruus.





Joonised 2.12 ja 2.13. Protokollid nr 893 (km 4.5 tsementeerunud kiht), kruusaga savine peenliiv ja nr 895 (km 4.95, pruun kõva kiht), kruusaga savikas peenliiv.





Joonised 2.14 ja 2.15. Protokollid nr 894 (km 3.25 tuhkstabi kiht), rohke kruusaga savikas peenliiv ja nr 897 (km 5.8 tuhkstabi kiht), rohke liivaga möllikas kruus.

Tuhkstabi kihi all leidus kas killustikku, kruusa või paekivisõelmeid. Ei ole välistatud, et ka tuhkstabiliseeritud kiht ise on moodustatud paekivisõelmetest ja et algselt oli kiht ette nähtud paksema kihina. Mitmetes puuraukudes kirjeldati stabi all olevat kihti kui „pruun kõva kiht“ või „pruun tsementeerunud kiht“ ning visuaalselt meenutas materjal väga paekivisõelmeid. Võib ka

olla, et stabi segamisel kandus osa sideainet ka all olevasse kihti (kas kruus või paesõelmed) ning tekitas ka sinna osaliselt tsementeerunud kihi.

Puuraugud tehti 2.5…3 m sügavused ning pea kõik lõppesid peenliiva kihiga, kus võis olla sees veerised. Km 0.3 juures tuli 1.3 m sügavusel vastu savimöll, km 0.85 juures sügavusel 1.85, km 1.6 sügavusel 1.9 m, km 3.0 sügavusel 2.3 m ning edaspidi „asendus“ see peenliiva või kruusaga. Näib, et savimölli kiht liikub järjest sügavamale ning selle peal olev kas looduslik või paigaldatud peenliiva kiht läheb paksemaks või tuleb selle alt välja nii keskliiva kui kruusa.

Joonise 2.1 mullastiku kaardilt nähtub, et soine ala algab umbes 1.8 kilomeetri pealt, kuid mitte ühestki puuraugust turvast ei leitud. Liigniiske ja kohati soine ala on vahemikus km 1.8…4.9, kuid sügavamalt leiti vaid mineraalmaterjale. Turvas on järelikult täielikult välja kaevatud ja asendatud täitega.

Kuigi puurtulpade järgi võiks katendiarvutuslikult aluspinnaseks lugeda peenliiva, siis reaalsuses peaks kasutama teist pinnast, kuna KAP annab sellele liiga kõrged arvutusväärtused eriti kui arvestada kandevõimemõõtmise tulemusi. Reaalsuses peaks kasutama kas tolmliiva (B-grupi pinnas) või kerget saviliiva (A-grupi pinnas).

2.6. Analüüs ja remondilahendus

Teelõigu kandevõime ja ka ehitusgeoloogilised tingimused on objekti piires suures joones ühtlased. Erinevused paistavad silma mõningate defektide näol, mille olemus ja põhjused on järgmised:

- esineb põikpragusid (km 0.22, 0.37, 1.0, 3.2, 4.05, 4.2, 5.85) , kus ääred on kaardunud üles ja teekattele on sellest tekkinud muhk. Kohad tuleks tasaseks freesida, praod laiendada, täita mastiksiga, katta tasandusseguga, mille peale paigaldada asfaldigeokomposiit ja mis asfalteerida;
- esineb ka väiksemaid põikpragusid, mille kohal tuleks kasutada asfaldigeokomposiiti;
- esineb kitsaid pikipragusid (km 4.0 ja km 3.0 ümbruses kuni 100 m pikkuse lõikudena), mille tekkimise põhjus võib olla nii muldkha vajumine, külmakerge aga ka tuhkstabiliseeritud kihi väsimine (ei ole suutnud võtta vastu liikluskoormust, mistõttu on pragunenud). Siin tuleks kasutada tasanduskihti;
- esineb mitmeid lapitud kohti, mis võivad olla tingitud pindamiskihi lagunemisest või irdumisest, aga ka sellest, et tee keskel on olnud kõrgest niiskussisaldusest tingitud kandevõimekaotus (km 0.86, 0.9 ja piirkond km 5.2…5.5). Mõõdetud kandevõime mõttes piisaks, kui kasutaks nendes kohtades tasanduskihti, millele järgneb uus asfaltkate;
- mõnes kohas on ka nõrgast kandevõimest tingitud serva defektid (km 2.35, 2.55, 3.0, 4.8). Antud kohad tuleks korrigeerida tasanduskihiga (nii jämedateraline, kui võimalik), mille peale paigaldada uus asfaltkate.
- Lisaks eelnevale on probleem tee ümbruse kuivendusolukorraga: kõik truubid tuleb puhastada, vajadusel uuendada, kraavidest tuleb eemaldada võsa ning kraavid puhastada.

Olemasolev tuhkstabiliseeritud alus toimib sisuliselt kui sidumata kiht, kuigi omab siiski veel ka seotud kihi omadusi ehk ei deformeeru koormuse all kuigi kergesti. Tuhkstabiliseeritud kihi vastupidavust on kindlasti mõjutanud see, et selle paksus on suhteliselt väike või on segamise kvaliteet olnud madal, sideainet vähe või sideaine madalate sideaineliste omadustega, mistõttu ei

ole moodustunud paksemat kihti kui vaid see, mis täna on nähtav (ca 10 cm). Teiseks mõjutajaks on asfaltkatte puudumine ehk teekatteks ongi pinnatud tuhkstabiliseeritud kiht.

Teel on näha mitmeid defekte, mis on otseselt seostatavad kõrge niiskussisaldusega kaasneva materjalide pehmenemisega, mis omakorda on jällegi seotud tuhkstabiliseeritud kihi suhteliselt õhukese paksusega. Teel on näha mõningaid põikpragusid, millest järeldub, et sideainesisaldus kas kõigub või käitub konstruktsioonis kiht ikka veel kui monoliit.

Võimalik, et teekate on aja jooksul pindamiskihtidega laiemaks tehtud mistõttu on serv ära vajunud. Võimalik on ka see, et stabiliseeritud kiht ei ole tee servades piisava kvaliteedi ja/või paksusega tulemaks toime liikluskoormusega. Tuhkstabiliseeritud katte serva on võimalik näha fotolt 2.13, mille järgi saab järeldada, et tegemist on üpriski ebaühtlase kihiga.

Foto 2.13. Pinnatud katte alt paljastuv stabiliseeritud kiht.

Praeguses seisus võib teed katendiarvutuslikult kujutada tabelis 2.1 esitatud kujul. Kui eelpool nimetatud eeltööd on tehtud (põikpraod parandatud, tasanduskiht paigaldatud), paigaldada pehmema bituumeniga (160/220) asfaltsegu, mis talub paremini altpoolt tulenevaid võimalikke ebaühtlasi liikumisi. Sellekohane katendiarvutus on esitatud tabelis 2.2.

Tabel 2.1. Olemasoleva teekatendi katendiarvutus, mis vastab piisava täpsusega olemasolevale teele

Koormussagedus: 114.06 normtelge ööp/rajale			Pinnas: B - tolmliiv		Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A
Maantee klass: 4	Tugevustegur:	0.84	Niiskuspaikkond: 2, niiske		Ratta jälje läbimõõt: 37 cm
Teekatendi liik: Kergkatend	Töökindlustegur:	0.8	Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: -0.02		Erisurve kattele: 0.6 MPa
	Normhälbetegur	1.06	L1.T3 p2; -0,02=-0.02		Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisratas
					Alumise asfaltkihi mat. tegur: 1

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast-susmoodul E_{ekv} arvutamiseks	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbe-pinged R_{max}	Lubata-vad tõmbe-pinged R_{lub}	Sise-hõõrde-nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur K3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Tihe soe asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	2.0	1200	600	2000	1.0736	3.4427			
2	Tsementstabiliseeritud kiht asfaldipurust teel sega	10.0	600							
3	Reakillustik, mittestandardne killustikusegu	12.0	200					45.0	0.040	9.0
4	Tm_150 [Gr - Kruuspinnas]	25.0	150					43.0	0.010	8.0
ALUS	B - tolmliiv		**68.4**					35.4	0.013	3.0

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja: Kriteerium	Nihkepinged MPa t_{arv}	Nihkepinged MPa t_{lub}	Varu %	Üldine elastsus-moodul Mpa	Vajalik elastsus-moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Üldine elastusmoodul			1.1%	169.85	200.00	
1	Tihe soe asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	2.0	Asfaltbetooni tõmbepinged			68.8%	169.85		
2	Tsementstabiliseeritud kiht asfaldipurust teel sega	10.0					163.81		
3	Reakillustik, mittestandardne killustikusegu	12.0					119.70		
4	Tm_150 [Gr - Kruuspinnas]	25.0	Nihkepinged	0.0305	0.0632	51.8%	100.77		
	B - tolmliiv		Nihkepinged aluspinnasel	0.0139	0.0308	54.8%			0.730
	Katendi kogupaksus	49.0					Parandustegur Δ		0.000

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	64
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	6
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustus	4.0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	4.8
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	130	8. Külmakindluse varu %	20.8%

** redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8*

Hinnang külmakindlusele	Katendi külmakerge on lubatud piirides

Tabel 2.2. Katendiarvutus, kui paigaldatud on uus asfaltkate

Koormussagedus: 114.06 normtelge ööp/rajale			Pinnas: B - tolmliiv		Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A
Maantee klass: 4	Tugevustegur:	0.84	Niiskuspaikkond: 2, niiske		Ratta jälje läbimõõt: 37 cm
Teekatendi liik: Kergkatend	Töökindlustegur:	0.8	Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: -0.02		Erisurve kattele: 0.6 MPa
	Normhälbetegur	1.06	L1.T3 p2; -0,02=-0.02		Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisratas
					Alumise asfaltkihi mat. tegur: 1

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast-susmoodul E_{ekv} arvutamiseks	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbe-pinged R_{max}	Lubata-vad tõmbe-pinged R_{lub}	Sise-hõõrde-nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur K3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Kuum kergasfaltbetoon (ACsurf 160/220 või vede	6.0	1400	800	2000					
2	Tihe soe asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	2.0	1200	600	2000	1.0736	3.4427			
3	Tsementstabiliseeritud kiht asfaldipurust teel seg	10.0	600							
4	Reakillustik, mittestandardne killustikusegu	12.0	200					45.0	0.040	9.0
5	Tm_150 [Gr - Kruuspinnas]	25.0	150					43.0	0.010	8.0
ALUS	B - tolmliiv		**68.4**					35.4	0.013	3.0

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja: Kriteerium	Nihkepinged MPa t_{arv}	Nihkepinged MPa t_{lub}	Varu %	Üldine elastsus-moodul Mpa	Vajalik elastsus-moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Üldine elastusmoodul			24.7%	209.44	200.00	
1	Kuum kergasfaltbetoon (ACsurf 160/220 või vede	6.0					209.44		
2	Tihe soe asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	2.0	Asfaltbetooni tõmbepinged			68.8%	169.85		
3	Tsementstabiliseeritud kiht asfaldipurust teel seg	10.0					163.81		
4	Reakillustik, mittestandardne killustikusegu	12.0					119.70		
5	Tm_150 [Gr - Kruuspinnas]	25.0	Nihkepinged	0.0207	0.0632	67.2%	100.77		
	B - tolmliiv		Nihkepinged aluspinnasel	0.0088	0.0308	71.5%			0.730
	Katendi kogupaksus	55.0					Parandustegur Δ		0.000

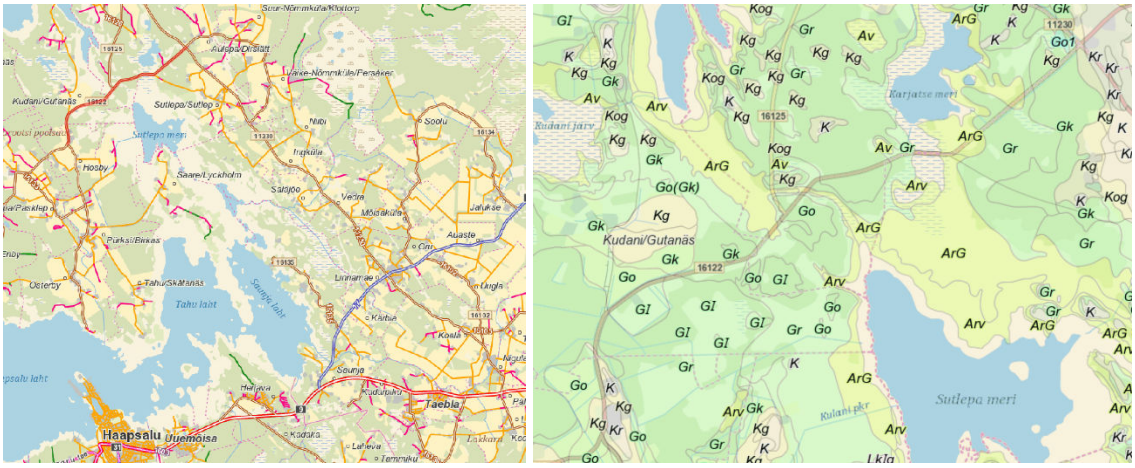
3. Riigitee nr 16122 Nõmmküla - Aulepa - Österby km 6.2...12.341 (pikkus 6.1 km) seisukorra analüüs ja remondilahendus

Tee seisukorra hindamiseks ja sobiliku remondimeetme valikuks kasutati järgnevat infot:

- tee visuaalne visuaalne vaatlus;
- info kogumine andmebaasidest (Maa-ameti mullakaart ja Teeregister);
- kandevõimemõõtmised FWD-seadmega kevadel;
- maaradari ülesõit koos tee ülesfilmimisega;
- ehitusgeoloogiline uuring.

3.1. Objekti asukoht

Objekti asukoht on näidatud joonisel 3.1, mille kõrval on kujutatud tee paiknemine Maa-ameti mullastiku kaardil, mille abil võib saada väga väärtuslikku eelinfot esinevate pinnaseolude osas ning mis võib hõlbustada optimaalseima remondilahenduse leidmist.



Joonis 3.1. Riigitee nr 16122 Nõmmküla - Aulepa - Österby km 6.2...12.341 asukoht (Teeregister) ja kujutatuna mullastiku kaardil (Maa-amet).

Mullastiku kaardi alusel asetseb tee enamasti järgmiste muldade levikualal:

- Gk ehk rähkne gleimuld. Alaliselt (keskmiselt) liigniisked mullad, kus põhjavesi või kapillaarvöönd ulatub pidevalt mullaprofiili (välja arvatud paepealsed gleimullad) ning kevadel ja sügisel sageli maapinnani. Rähk ja paekivid on enamuses muutunud kollaseks ja pudedaks kogu mullaprofiili ulatuses.
- Gr ehk ranniku gleimuld. Rannikumullad levivad kas kaugemal mererannast või endistest merelahtedest moodustunud järvede kallastel. Süstemaatilisele mere üleujutusele ei allu, kuid alaliselt kõrge põhjavesi sõltub otseselt merevee seisust. Soolalembelisi taimi esineb vähem, kuid võivad esineda rannikule iseloomulikud liigid.
- ArG ehk sooldunud gleimuld. Mere poolt lähemas minevikus või käesoleval ajal üle ujutatud tugevasti liigniisked mullad, mis sisaldavad kergestilahustuvaid soolasid (kloriidid, sulfaadid). Rannikumullad on noored mullad ja seetõttu on nad primitiivsed ja õhukese

huumushorisondiga (alla 10 cm). Olenevalt sellest, kas mere üleujutus esines lähemas minevikus või esineb käesoleval ajal, eraldatakse vastavalt rannikumuldadeks ja sooldunud rannikumuldadeks.

- Go ehk leostunud gleimuld. Alaliselt (keskmiselt) liigniisked mullad, kus liigniiskus on tingitud pidevalt mullaprofiili ulatuvast põhjaveest, rasketel muldadel lisandub ka ülavesi.
- GI ehk leetjas gleimuld. Alaliselt (keskmiselt) liigniisked mullad, kus liigniiskus on tingitud pidevalt mullaprofiili ulatuvast põhjaveest, rasketel muldadel lisandub ka ülavesi.

Mullakaardilt saadava info alusel on kogu tee mõjutatud kõrgest pinnaseveetasemest, mistõttu on kandevõime mõttes oluline muldkeha piisav paksus ja seal kasutatud materjalid.

3.2. Tee iseloomustus

3.2.1. Liiklussagedused

Teele ei ole määratud klassi, kuid liiklussageduse alusel oleks tegemist V- või IV-klassi maanteega. Katte laius on vahemikus 6.1…6.5 m, sõidutee laius kogu pikkuses 6.0 m, peenarde laius mõlemalt poolt 1.0 m. Muldkeha laius 8.1...8.5 m. Teekatte laius vastab VI-klassi teele. Viimaks tee laius vastavusse IV-klassi nõuetega, oleks vajalik muldkeha laiendamine. Teisalt on nõuaks IV-klassi tee ka muude põhiparameetrite muutusi, eriti plaanikõverikud. Olemasoleva tee mõõtmed vastavad pigem VI-klassi teele.

Muldkeha laiendamine koos plaanikõverike muutmisega kujuneb tõenäoliselt ebamõistlikult kulukaks, mistõttu on mõistlikum kehtestada teele turvaline liikluskiiruse piirang.

Vaadeldava teelõigu liiklussagedused on olnud aastate vältel järgnevad:

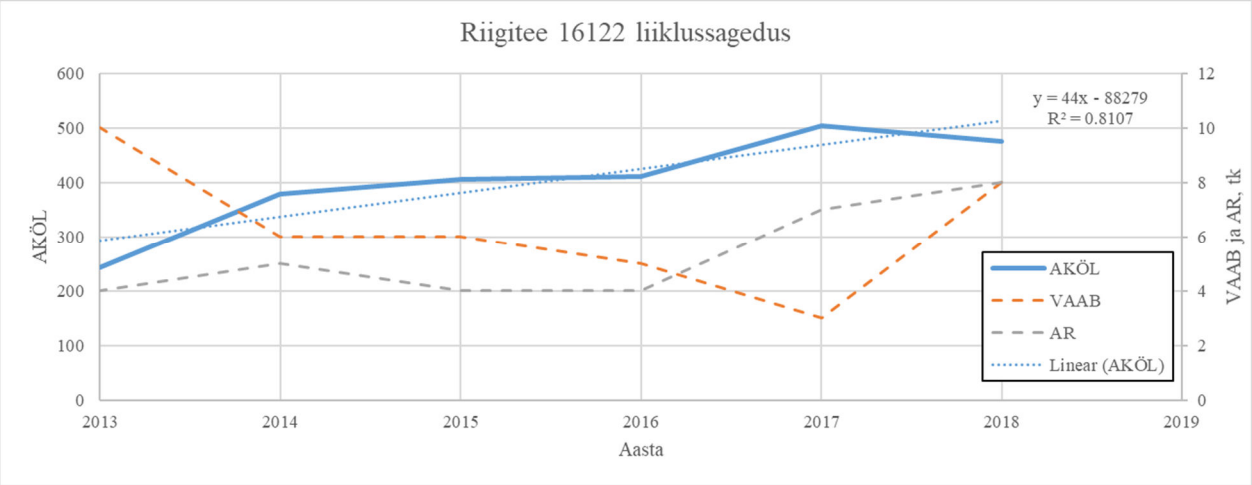
- 2018: 475 (98%, 459 tk sõiduautod, 1%, 8 tk veoautod, 1%, 8 tk autorongid);
- 2017: 505 (98% sõiduautod, 1%, 3 tk veoautod, 1%, 7 tk autorongid);
- 2016: 411 (99 sõiduautod, 1%, 5 tk veoautod, 0%, 4 tk autorongid);
- 2015: 406 (98% sõiduautod, 1%, 6 tk veoautod, 1%, 4 tk autorongid);
- 2014: 380 (97% sõiduautod, 2%, 6 tk veoautod, 1%, 5 tk autorongid);
- 2013: 243 (94% sõiduautod, 4%, 10 tk veoautod, 2%, 4 tk autorongid).

Liiklussageduse muutused on näidatud joonisel 3.2, millel on esitatud ka lineaarne kasvukõver, millega saabki hästi viimaseid aastaid kirjeldada. Taoline kasv tulevikus on siiski ebatõenäoline, millega jõutaks aastaks 2030 (oletades, et teed hakatakse ehitama aastal 2020 ning kergkatte elueaks arvestatakse 10 aastat) liiklussageduseni 1041 autot/ööp, mis teeb iga-aastaseks kasvuks ca 9% (võrdluseks, eelmise aasta kõrvalmaanteede keskmine liiklussageduse kasv on olnud 4%).

Kui jätta kõrvale liiklussagedus aastal 2013 ja võtta aluseks 2014, saadakse veidi laugem kasvukõver ning selle järgi peaks aastal 2030 liiklema teel 840 autot/ööpäevas, mis teeb iga-aastaseks kasvuks 5.4%. Teisisõnu, liiklus 10 aasta jooksul kahekordistub, mis ei ole sugugi välistatud, kuigi tõenäolisemalt toimub see pikema aja jooksul.

Katendiarvutuse jaoks võetakse eelduseks, et tee vastab IV-klassile, mille ööpäevane keskmine liiklussagedus on 800 autot. Raskeliikluse hulk on aasta-aastalt jäänud samaks ning eeldatakse, et see ei muutu. Arvestatakse, et nii VAAB kui AR annavad mõlemad ca 1% liikluskoosseisust, arvuliselt mõlemat 12 tk. Sellest tulenevalt **Evaj = 170 MPa** (arvestamata IV-klassi tee teguriga).

- VAAB = 12 tk, AR = 12 tk, siirdetegurid vastavalt 2.67 ja 3.76 (lähtudes Elastsete teekatendite projekteerimise juhendist) ning arvestades rajategurina 0.55, millest Q = 42.4 V_1/ööp;
- E_{vaj} = a*log(Q) + b = 70*log(42.4) + 56 = 170 MPa.



Joonis 3.2. AKÖL, VAAB ja AR aastate lõikes ning lineaarne kasvukõvera joon esimesele.

3.2.2. Olemasoleva tee seisukord Teeregistri alusel

Aasta 2017 defektide inventeerimise järgi on peamisteks esinevateks defektideks kitsad pikipraod ja katte serva defektid. Defektide jaotus on järgnev:

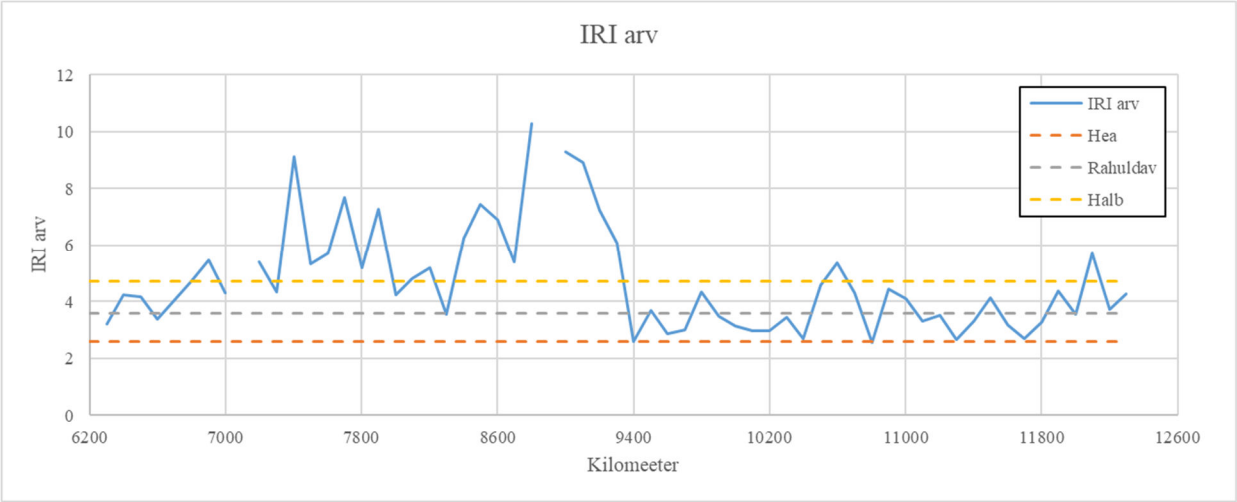
- põikpraod, vuugipraod, augud: 0 tk;
- kitsad pikipraod: 1534 m;
- võrkpragunemine: 139 m^2;
- katte serva defektid: 2295 m;
- lapid: 10 tk;

Defektide järgi otsustades on teel probleeme nii muldkeha kui teekatendiga.

Joonisel 3.3 on näidatud tee tasasus ehk IRI väärtus, mis kuni km 9.4 on „väga halb“ ja sealt edasi kas „rahuldav“ või „halb“.

Teeregistri andmetel ei ole vaadeldava tee kandevõimeid kunagi mõõdetud.

Teeregistri andmetel on km 6.2…9.3 paigaldatud mustsegu aastal 1985 ja km 93…12.3 aastal 1986. Viimane pindamine on tehtud aastal 2012.



Joonis 3.3. Olemasoleva tee IRI väärtused, mille alusel vajab teekate tasandamist.

3.3. Visuaalse vaatluse ülevaade

Teel on näha pinnatud kruusatee probleeme (mõnes kohas tee keskelt on olnud nõrk kandevõime)

Probleemid tulevad muldkehast ning seda on seega vaja ühtlustada ja/või tugevdada.

Suhteliselt halvemas seisus on tee esimene pool (ca km 6.2…7.2), kus on tee ka liiga kitsas, mistõttu ääred on koormuse all ära vajunud.

Ümbruskond on kogupikkuses liigniiske, suuremal osal teest on näha külmakahjustusi, mis väljenduvad nii pikipragudena kui ebatasasusena. Pigem on isegi probleemiks sulamiskonsolideerumine (pinnas kobestub ja siis tiheneb liikluse all uuesti ebaühtlaselt). Tee keskel on kohati näha roobast.

Km 6.2…9.4 (kuni Hara ristmikuni) on teekatte laius veidi alla 6 m ja muldkeha pealt laius 7…7.5 m. Km 9.4 edasi on teekate 6.0 m või veidi laiem ning muldkeha pealt laius ca 8 m.

Tee välimus ja seisukord muutuvad paremaks (vähem ebatasasust ja pragusid) peale Hara ristmikku (ca km 9.4). Tee tundub olevat tugevam ja stabiilsem (asi võib olla nii muldkehas kui teekattes). Tee esimene pool on palju halvemas seisus kui teine – tee on madalamal, muldkeha kitsam, ebatasasust, heitusid, pragusid on märgatavalt rohkem.

Tee seisukorda on kujutatud fotodel 3.1…3.8.

Fotod 3.1 ja 3.2. Teeosa km 6.2…9.4 on kitsas, väga ebatasane ning esineb palju pikipragusid.

Fotod 3.3 ja 3.4. Teeosa km 6.2…9.4 on kitsas, väga ebatasane ning esineb palju pikipragusid

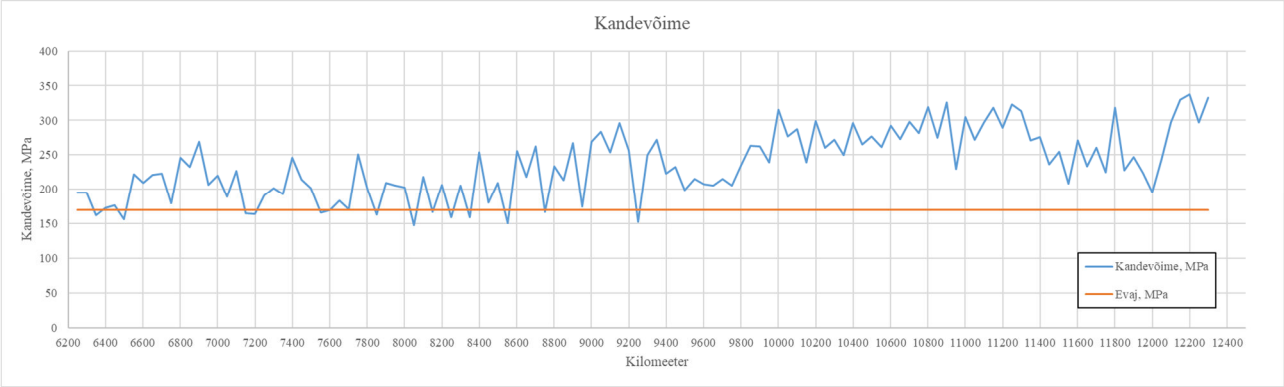
Fotod 3.5 ja 3.6. Km 9.4…12.3 teekatte seisukord on eelnevast parem, kuid esineb siiski mitmeid pikipragusid.

Fotod 3.7 ja 3.8. Mõned näited esinevatest pikipragudest ja ebatasasusest.

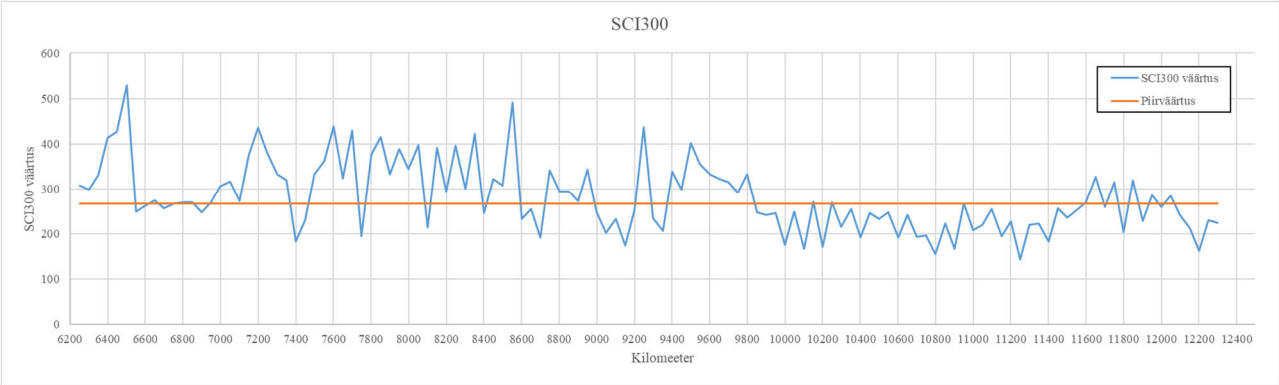
3.4. Kandevõime

Kandevõime mõõdeti teel 28.04.2019, mille tulemus on näidatud joonisel 3.4. Tee kandevõime on mõõtmisajal olnud praktiliselt vastav vajalikule, kuid arvestades seda, et 2019 aasta kevad oli kuiv, siis halvematel aastatel võib väärtus olla ca 20…25% väiksem.

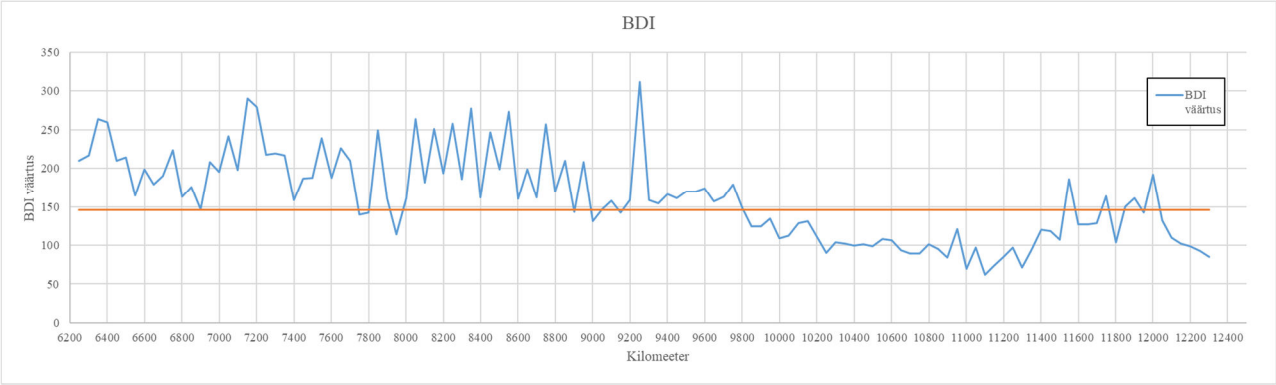
Selgemat pilti tee struktuursest seisukorrast saab joonistelt 3.5…3.7, millest, nagu ka IRI mõõtmistest ja visuaalse vaatluse tulemustest nähtub, et muutus teega toimub umbes km 9.4 kandis. Struktuurse tugevuse mõistes toimub muutus siiski km 9.8 juures, kui SCI ja BDI väärtused langevad alla piirjoone. Vastuseid tee seisukorrale tuleb otsida ehitusgeoloogilisest uuringust ning lisaks vaadata seda, kui kõrge on muldkeha suhtes olemasolevasse maapinda.



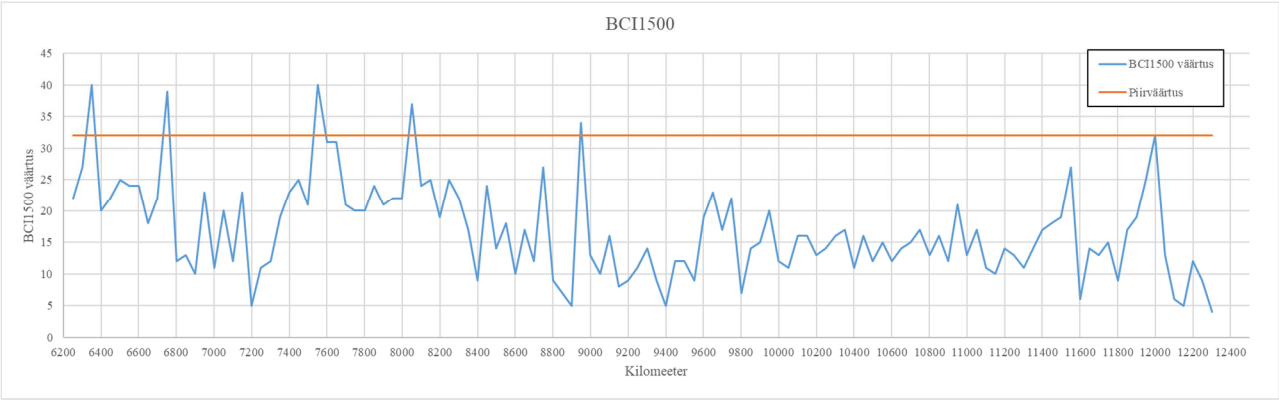
Joonis 3.4. 2019. a kevadel mõõdetud kandevõime



Joonis 3.5. SCI 300 väärtus.



Joonis 3.6. BDI väärtus.



Joonis 3.7. BCI1500 väärtus.

3.5. Ehitusgeoloogia

Objekti ehitusgeoloogilise uuringu punktid valiti välja vastavalt kandevõimemõõtmisele ja objekti visuaalsele vaatlusele. Uuringu alusel on tee tüüpiline ristlõige järgnev:

- 10 cm asfaltkate (täpsem kihipaksus joonisel 3.8);
- 25…35 cm kruusliiv (rohke kruusaga mölline keskliiv, terakoostis joonistel 3.10 ja 3.11, kihipaksus joonisel 3.9);
- vahelduva paksuse ja omadustega täitepinnas (muld, savimöll, peenliiv, kruus), täitepinnase paksus on esitatud joonisel 3.12;
- aluspinnaseks savimöllmoreen.

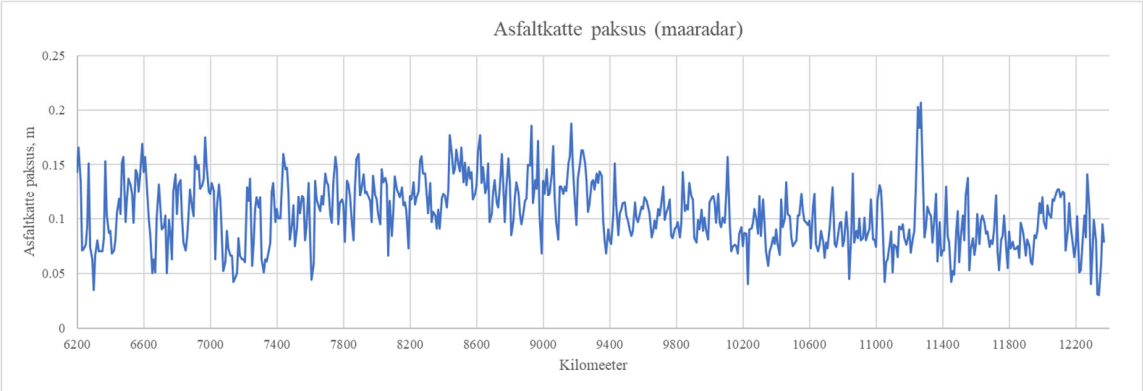
Ehitusgeoloogilise uuringu tulemustest järeldub, et asfaltkatte all olev kruusliiv (täpsemalt rohke kruusaga mölline keskliiv) on külmakerkeline. Tõenäoliselt on sama lugu kogu teekatendiga, mida kinnitavad ka objektil nähtavad defektid.

Kandevõimemõõtmiste põhjal eristus teistest piirkondadest selgelt km 9.4…11.6, kus oli veidi kõrgem kandevõime, aga oluliselt madalamad SCI ja BDI väärtused. Joonise 3.12 põhjal nähtub, et selles piirkonnas on täitekiht oluliselt paksem.

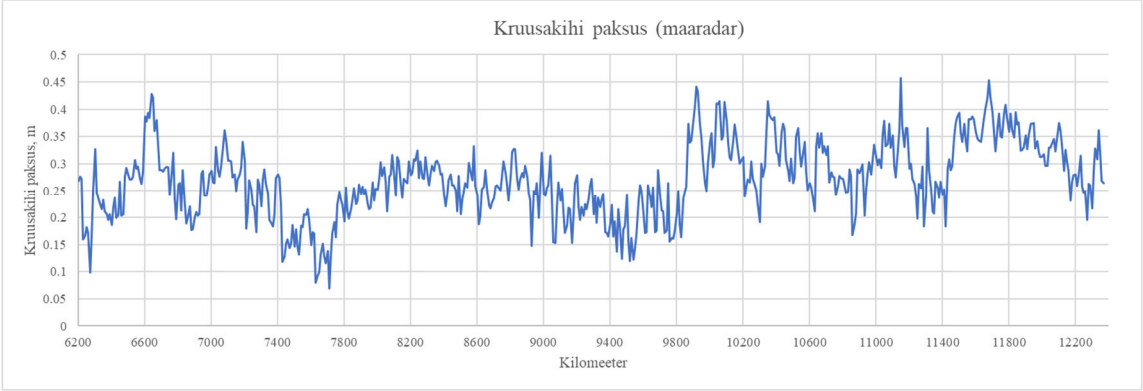
Ehitusgeoloogilise uuringu põhjal saab järeldada veel, et täna nähtav tee on ehitatud kunagi varem eksisteerinud kitsa raja peale, mida oli tugevdatud veeristega või mille katte osaks need olid. Veeriseid sisaldanud kihti leiti järgmistest kohtadest:

- km 6.5 suund 1 (0.6 m sügavusel 20 cm paksune kiht);
- km 8.05 suund 2 (0.8 m sügavusel, mullane 35 cm paksune kiht);
- km 8.25 suund 2 (0.4 m sügavusel, segamini peenliivaga 50 cm paksune kiht);
- km 9.25 suund 2 (0.7 m sügavusel, segamini peenliivaga 60 cm paksune kiht);
- km 10.6 suund 1 (0.5 m sügavusel, 10 cm paksune kiht);
- km 12.1 suund 1 (0.85 m sügavusel, mullane 15 cm paksune kiht).

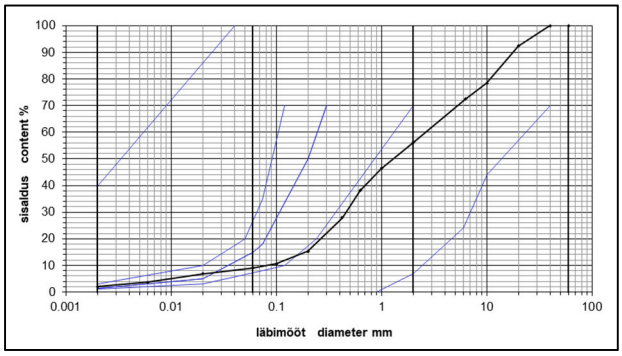
Võrdluseks, km 8.30 võeti puurauk suunal 1, kust veeriseid ei avastatud, samuti oli teekatend õhem.

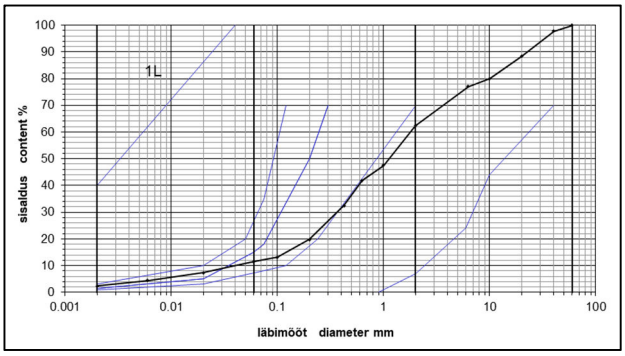


Joonis 3.8. Maaradari alusel leitud asfaltkatte paksused.

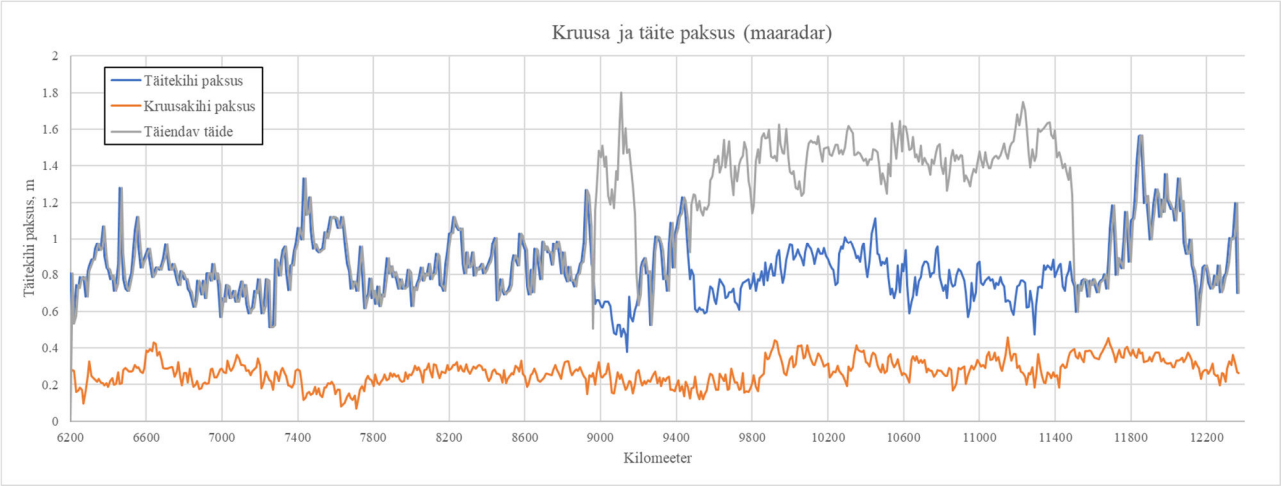


Joonis 3.9. Maaradari alusel eristatud asfaldi all oleva kruusakihi paksus.





Joonised 3.10 ja 3.11. Asfaltkatte all oleva kruusakihi terakoostis.



Joonis 3.12. Maaradari alusel eristatud täitekihi paksus (mis võib olla nii muld, peenliiv kui kruus), mille all on looduslik pinnas (savimöllmoreen). „Täiendav täide“ on kas kruus või peenliiv, mis eristus nii maaradarilt kui tuli välja ehitusgeoloogilise uuringu käigus.

3.6. Analüüs ja tee jagamine homogeenseteks lõikudeks

Tee saab jagada kaheks:

- km 6.2…9.4, kus teekate ja muldkeha on liiga kitsad (vastavalt veidi alla 6 m ja 7.0…7.5 m) ning amortiseerunud (väga ebatasane, palju pikipragusid, madalam kandevõime). Olemasoleva teekatendi kandevõime on ca 150…170 MPa (olenevalt aastast võib olla ka madalam), mida võib katendiarvutuslikult kujutada tabelis 3.1.
- km 9.4…12.3, kus teekate ja muldkeha on laiemad (vastavalt veidi üle 6 m ja ca 8 m) ning tee seisukord parem (tasasem, vähem defekte, kõrgem kandevõime). Olemasoleva teekatendi kandevõime on ca 200…250 MPa, mida võib katendiarvutuslikult kujutada tabelis 3.2.

Km 6.2…9.4 vajaks muldkeha laiendamist ning tõstmist koos uue teekatendi ehitamisega. Muldkeha laiendamise ja tõstmise osas tuleb teha projekt koos geoalusega. Km 9.4…12.3 vajaks teekatendi uuendamist, kuid kuna muldkeha on külmakerkeline ja teekattes näha mitmeid külmakerkega seostatavaid defekte, siis ideaalis täiesti uue teekatendi rajamist.

Km 6.2…9.4 katendiarvutus on esitatud tabelis 3.3, millega nähakse ette olemasolevale teekatendile 25 cm paksuse kruusast aluse lisamine (purustatud kruus, pos 1 või 2), mille peale 8 cm kahekordselt pinnatud mustsegu.

km 9.4…12.3 tuleks olemasoleva kate segada teel segamisega mustseguks, mis pinnata kahekordselt (katendiarvutus sellest ei muutu). Kui teekatet on vaja laiendada, tuleb koostada projekt, kuid katendilahendus saab jääda samaks.

Materjalide saadavuse osas. Objekti vahetus läheduses on ehituslubjakivi aktiivne reservvaru (Sutlepa maardla), kuid kahjuks ei ole see veel kasutusel, mistõttu sealt pärineva materjaliga ei saa tee remondis planeerida. Ca 30…40 km kaugusel leidub mitmeid liivakarjääre (objektist lõuna- ja

idapool). Lähim kruusakarjäär on Keedika (Lääne Teed OÜ), mis asub umbes 22 km kaugusel. Veidi kaugemal (27 km) on Jaakna ja Kaopalu kruusakarjäärid (Lääned Teed OÜ).

Tabel 3.1. Km 6.2…9.4 olemasoleva tee katendiarvutus

Koormussagedus: 42.52 normtelge ööp/rajale			Pinnas: D - tolmne saviliiv, raske tolmne saviliiv, tolmne kerge lii	Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A
Maantee klass: 4	Tugevustegur:	0.84	Niiskuspaikkond: 2, niiske	Ratta jälje läbimõõt: 37 cm
Teekatendi liik: Kergkatend	Töökindlustegur:	0.8	Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0.01	Erisurve kattele: 0.6 MPa
	Normhälbetegur	1.06	L1.T3 p2+p5; -0,02+0,03=0.01	Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisratas

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elastsusmoodul E_{ekv} arvutamiseks	Kihi elastsusmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elastsusmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbepinged R_{max}	Lubatavad tõmbepinged R_{lub}	Sisehõõrdenurk	Nidusus	Kihtide seotistegur K3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Seguris / teel segatud mustkate	10.0	950							
2	Tm_150 [Gr - Kruuspinnas]	25.0	150					43.0	0.010	8.0
3	Tm_100 [Fsa - peenliiv, Cu>3]	40.0	100					38.0	0.005	5.0
ALUS	D - tolmne saviliiv, raske tolmne saviliiv, tolmne kerge liivsavi		**27.0**					11.0	0.008	1.5

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja: Kriteerium	Nihkepinged MPa: t_{arv}	Nihkepinged MPa: t_{lub}	Varu %	Üldine elastsusmoodul Mpa	Vajalik elastsusmoodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Üldine elastusmoodul			2.3%	146.13	170.00	
1	Seguris / teel segatud mustkate	10.0					146.13		
2	Tm_150 [Gr - Kruuspinnas]	25.0	Nihkepinged	0.0365	0.0717	49.0%	93.80		
3	Tm_100 [Fsa - peenliiv, Cu>3]	40.0	Nihkepinged	0.0164	0.0224	26.6%	60.09		
	D - tolmne saviliiv, raske tolmne saviliiv, tolmne ke		Nihkepinged aluspinnasel	0.0110	0.0107	-2.3%			0.852
	Katendi kogupaksus	75.0					Parandustegur Δ		0.000

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	73
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	6
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustus	5.0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	6.5
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	-8.2%

Hinnang külmakindlusele	Katendi külmakerge EI OLE lubatud piirides

Tabel 3.2. km 9.4…12.3 olemasoleva tee katendiarvutus

Koormussagedus: 42.52 normtelge ööp/rajale			Pinnas: FSa - Peenliiv	Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A
Maantee klass: 4	Tugevustegur:	0.84	Katendi omadused ei sõltu niiskuspaikkonnast	Ratta jälje läbimõõt: 37 cm
Teekatendi liik: Kergkatend	Töökindlustegur:	0.8	Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0	Erisurve kattele: 0.6 MPa
	Normhälbetegur	1.06		Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisratas

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elastsusmoodul E_{ekv} arvutamiseks	Kihi elastsusmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elastsusmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbepinged R_{max}	Lubatavad tõmbepinged R_{lub}	Sisehõõrdenurk	Nidusus	Kihtide seotistegur K3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Seguris / teel segatud mustkate	10.0	950							
2	Tm_150 [Gr - Kruuspinnas]	50.0	150					43.0	0.010	8.0
ALUS	FSa - Peenliiv		**100.0**					38.0	0.005	5.0

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja: Kriteerium	Nihkepinged MPa: t_{arv}	Nihkepinged MPa: t_{lub}	Varu %	Üldine elastsusmoodul Mpa	Vajalik elastsusmoodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Üldine elastusmoodul			34.9%	192.61	170.00	
1	Seguris / teel segatud mustkate	10.0					192.61		
2	Tm_150 [Gr - Kruuspinnas]	50.0	Nihkepinged	0.0394	0.0717	45.0%	131.07		
	FSa - Peenliiv		Nihkepinged aluspinnasel	0.0092	0.0224	58.8%			-
	Katendi kogupaksus	60.0					Parandustegur Δ		

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	78
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	6
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustus	2.0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	2.3
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	60.8%

** redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8*

Hinnang külmakindlusele	Katendi külmakerge on lubatud piirides

Tabel 3.3. km 6.2…9.4 uus katendilahendus (olemasolevale kruusalusele on lisatud 25 cm kruusasegu, mustsegu pinnatakse kahekordse pindamisega)

Koormussagedus: 42.52 normtelge ööp/rajale			Pinnas: D - tolmne saviliiv, raske tolmne saviliiv, tolmne kerge lii	Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A
Maantee klass: 4	Tugevustegur:	0.84	Niiskuspaikkond: 2, niiske	Ratta jälje läbimõõt: 37 cm
Teekatendi liik: Kergkatend	Töökindlustegur:	0.8	Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0.01	Erisurve kattele: 0.6 MPa
	Normhälbetegur	1.06	L1.T3 p2+p5; -0,02+0,03=0.01	Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisratas

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast-susmoodul E_{ekv} arvutamiseks	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbe-pinged R_{max}	Lubata-vad tõmbe-pinged R_{lub}	Sise-hõõrde-nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	K3
1	Seguris / teel segatud mustkate	8.0	950							
2	Tm_150 [Gr - Kruuspinnas]	50.0	150					43.0	0.010	8.0
3	Tm_100 [Fsa - peenliiv, Cu>3]	40.0	100					38.0	0.005	5.0
ALUS	D - tolmne saviliiv, raske tolmne saviliiv, tolmne kerge liivsavi		**29.0**					11.8	0.009	1.5

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja				Üldine elastsus-moodul Mpa	Vajalik elastsus-moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Kriteerium	Nihkepinged MPa		Varu %			
				t_{arv}	t_{lub}				
			Üldine elastusmoodul			8.6%	155.09	170.00	
1	Seguris / teel segatud mustkate	8.0					155.09		
2	Tm_150 [Gr - Kruuspinnas]	50.0	Nihkepinged	0.0417	0.0717	41.8%	113.38		
3	Tm_100 [Fsa - peenliiv, Cu>3]	40.0	Nihkepinged	0.0071	0.0224	68.2%	61.91		
	D - tolmne saviliiv, raske tolmne saviliiv, tolmne ke		Nihkepinged aluspinnasel	0.0088	0.0121	27.5%			0.830
	Katendi kogupaksus	98.0					Parandustegur Δ		0.021

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	95
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	6
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustus	5.0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	3.7
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	38.6%

Hinnang külmakindlusele	Katendi külmakerge on lubatud piirides

Lisa 2

TEEKATTE KANDEVÕIME MÕÕTMINE TEEL NR 6530176 TANKISILLA TEE

Tellija: Tallinna Tehnikaülikool
Mõõtja: Egon Horg
Seade: Dynatest FWD-8002

Tankisilla tee **Mõõtmiste aadress ei ole seotud teeregistriga**

Punkti Nr	Teenr	Stee	Teeosa	A_kaugus	Alg_km	Kuupaev	Asfaldi temp	Katte temp	Õhu temp	Stress	Joud	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Emod	SCI	BDI	BCI
1				100		22.10.2019		5.8	9.5	641	45	2219	2069	1471	868	524	262	189	**60**	165	660	81
2				150		22.10.2019		5.9	9.5	698	49	2808	2649	1674	1352	1047	647	405	**51**	162	988	245
3				200		22.10.2019		5.9	9.5	649	46	2235	2231	2109	1242	678	357	199	**60**	5	133	172
4				250		22.10.2019		5.9	9.5	708	50	2452	2591	1107	745	484	253	167	**60**	-139	1482	86
5				310		22.10.2019		5.9	9.6	653	46	2310	2092	2328	1631	1103	514	290	**58**	236	-256	242
6				352		22.10.2019		5.9	9.6	710	50	1822	2586	901	638	455	249	139	**81**	-762	1678	110
7				400		22.10.2019		5.9	9.6	682	48	1808	2546	801	509	346	192	144	**78**	-765	1809	50
8				460		22.10.2019		5.9	9.6	700	49	2000	1134	679	559	442	287	181	**72**	875	459	107
9				500		22.10.2019		5.9	9.6	704	50	2791	1364	449	240	138	61	41	**52**	1434	919	20
10				550		22.10.2019		5.9	9.6	706	50	1356	852	385	226	134	67	47	**108**	505	468	20
11				600		22.10.2019		5.9	9.6	703	50	1633	975	465	323	227	122	85	**89**	661	513	38
12				650		22.10.2019		5.9	9.6	709	50	1511	1241	355	244	175	113	82	**97**	269	883	30
13				700		22.10.2019		5.9	9.6	701	50	1509	699	385	297	233	150	110	**96**	816	317	40
14				750		22.10.2019		5.9	9.6	705	50	2003	985	349	227	154	86	56	**73**	1021	638	30
15				800		22.10.2019		5.9	9.6	704	50	2223	1116	382	263	194	121	88	**65**	1112	737	34
16				850		22.10.2019		6.1	9.7	699	49	2304	1618	425	263	185	122	96	**63**	694	1206	26
17				900		22.10.2019		6.3	9.7	709	50	1959	1225	340	252	197	127	86	**75**	732	882	42
18				950		22.10.2019		6.4	9.7	703	50	2552	1277	479	346	257	158	109	**57**	1283	802	50
19				1000		22.10.2019		6.3	9.7	704	50	2041	1447	553	367	254	133	82	**71**	596	899	52
20				1050		22.10.2019		6.2	9.7	696	49	2224	1436	586	387	281	183	123	**65**	801	863	61
21				1100		22.10.2019		6.3	9.8	718	51	990	344	125	76	47	28	20	**150**	636	216	7
22				1200		22.10.2019		6.3	9.8	698	49	2052	1324	592	419	302	173	111	**70**	737	742	63
23				1260		22.10.2019		6.3	9.8	707	50	1880	999	447	314	222	126	83	**78**	881	552	43
24				1300		22.10.2019		6.3	9.8	696	49	3277	1389	486	296	190	105	77	**44**	1918	917	29
25				1350		22.10.2019		6.5	9.8	700	49	3277	1419	313	163	100	61	46	**44**	1876	1118	16
26				1400		22.10.2019		7.0	9.8	709	50	1110	458	158	84	68	39	29	**132**	650	299	10
27				1450		22.10.2019		7.0	9.8	703	50	1196	644	323	242	177	103	63	**122**	555	322	41
																		Keskmine	**77**	**628**	**750**	**65**
																		Min	**44**	**-765**	**-256**	**7**
																		Max	**150**	**1918**	**1809**	**245**

TEEKATTE KANDEVÕIME MÕÕTMINE TEEL NR 6530173 PAJUPEA TEE

Tellija: Tallinna Tehnikaülikool
Mõõtja: Egon Horg
Seade: Dynatest FWD-8002

Pajupea tee **Mõõtmiste aadress ei ole seotud teeregistriga**

Punkti Nr	Teenr	Stee	Teeosa	A_kaugus	Alg_km	Kuupaev	Asfaldi temp	Katte temp	Õhu temp	Stress	Joud	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Emod	SCI	BDI	BCI
1				100		22.10.2019		6.9	9.6	729	52	874	551	273	185	127	64	38	**172**	313	270	25
2				200		22.10.2019		6.8	9.7	724	51	489	327	184	139	107	63	40	**306**	158	139	23
3				300		22.10.2019		6.9	9.7	717	51	872	514	232	158	109	56	31	**170**	353	278	25
4				420		22.10.2019		6.8	9.7	721	51	487	272	128	93	73	53	42	**306**	210	141	10
5				500		22.10.2019		6.7	9.8	712	50	1133	812	465	342	244	128	69	**130**	319	345	59
6				525		22.10.2019		6.7	9.8	711	50	981	727	460	356	272	157	91	**150**	252	266	66
7				535		22.10.2019		6.7	9.8	712	50	1598	954	443	302	205	93	52	**92**	639	507	41
8				550		22.10.2019		6.6	9.8	703	50	1833	1153	529	339	238	108	73	**79**	684	628	35
9				575		22.10.2019		6.5	9.8	712	50	1495	857	349	202	117	48	38	**98**	634	505	10
10				600		22.10.2019		6.3	9.8	706	50	1758	945	342	197	119	56	41	**83**	813	604	15
11				625		22.10.2019		6.5	9.8	708	50	1466	805	299	170	95	41	33	**100**	660	505	7
12				650		22.10.2019		6.7	9.8	710	50	1387	910	478	345	247	125	65	**106**	475	430	59
13				675		22.10.2019		6.7	9.8	713	50	1186	849	460	329	226	100	44	**124**	334	386	56
14				700		22.10.2019		6.7	9.8	700	49	1731	1146	583	404	276	124	63	**84**	590	569	62
15				725		22.10.2019		6.6	9.7	707	50	1580	1128	620	451	321	154	65	**93**	452	508	89
16				750		22.10.2019		6.8	9.6	704	50	1546	961	429	265	154	48	31	**94**	587	535	16
17				800		22.10.2019		6.7	9.6	700	49	1817	1165	532	340	212	80	46	**80**	659	639	34
18				850		22.10.2019		6.7	9.7	718	51	619	316	116	73	49	26	16	**240**	299	197	9
19				900		22.10.2019		6.7	9.7	710	50	950	621	329	242	181	104	64	**155**	328	291	40
20				1200		22.10.2019		6.8	9.6	705	50	1461	965	467	326	226	112	61	**100**	497	499	51
21				1250		22.10.2019		6.8	9.6	701	50	1770	1125	509	335	222	96	54	**82**	651	622	42
22				1300		22.10.2019		6.8	9.6	703	50	1467	982	508	343	227	91	40	**99**	487	477	51
23				1350		22.10.2019		6.8	9.6	705	50	1252	812	395	265	173	76	41	**116**	441	418	35
24				1400		22.10.2019		6.7	9.6	714	50	811	516	266	186	129	67	40	**182**	292	248	27
25				1450		22.10.2019		6.6	9.6	709	50	1206	758	378	268	190	98	56	**122**	446	379	42
26				1500		22.10.2019		6.6	9.6	703	50	1336	914	520	401	305	181	109	**109**	424	397	72
27				3400		22.10.2019		6.7	10.0	712	50	1334	812	375	257	180	93	55	**110**	518	434	38
28				3450		22.10.2019		6.7	9.9	703	50	1601	928	380	220	126	40	22	**91**	676	552	18
29				3500		22.10.2019		6.7	9.8	713	50	1060	606	280	184	120	56	30	**139**	451	322	26
30				3550		22.10.2019		6.8	9.7	714	50	791	411	174	122	87	53	37	**187**	376	234	15
31				3600		22.10.2019		6.7	9.6	704	50	1169	691	320	218	151	80	48	**124**	480	373	32
32				3650		22.10.2019		6.5	9.6	708	50	1066	647	340	244	181	106	71	**137**	418	307	35
33				3700		22.10.2019		6.6	9.5	716	51	928	533	235	160	112	57	35	**159**	390	294	22
34				3750		22.10.2019		6.8	9.4	711	50	823	455	182	117	79	42	26	**179**	366	271	17

Pajupea tee **Mõõtmiste aadress ei ole seotud teeregistriga**

Punkti Nr	Teenr	Stee	Teeosa	A_kaugus	Alg_km	Kuupaev	Asfaldi temp	Katte temp	Õhu temp	Stress	Joud	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Emod	SCI	BDI	BCI
35				3800		22.10.2019		6.8	9.3	714	50	599	353	161	112	80	44	25	**246**	243	190	18
36				3850		22.10.2019		6.8	9.3	716	51	442	240	122	91	68	44	29	**335**	199	117	15
37				3900		22.10.2019		6.3	9.2	702	50	1165	765	502	427	358	256	181	**125**	403	265	76
38				3950		22.10.2019		6.4	9.2	711	50	547	325	214	183	158	118	86	**269**	221	111	32
39				4000		22.10.2019		6.4	9.2	713	50	681	402	209	169	138	102	75	**217**	276	192	27
40				4050		22.10.2019		6.4	9.3	709	50	802	411	178	124	89	49	30	**183**	389	232	20
41				4100		22.10.2019		6.3	9.3	718	51	986	562	289	217	167	101	65	**150**	418	269	35
42				4150		22.10.2019		6.0	9.3	710	50	1145	744	366	245	160	72	42	**128**	399	376	30
43				4150		22.10.2019		6.1	9.3	710	50	776	490	264	193	139	70	38	**189**	285	225	32
44				4175		22.10.2019		6.6	9.3	708	50	1048	563	264	192	144	89	60	**140**	484	298	29
																		Keskmine	**150**	**432**	**360**	**35**
																		Min	**79**	**158**	**111**	**7**
																		Max	**335**	**813**	**639**	**89**

TEEKATTE KANDEVÕIME MÕÕTMINE TEEL NR 6530177 VESIROOSI TEE

Tellija: Tallinna Tehnikaülikool
Mõõtja: Egon Horg
Seade: Dynatest FWD-8002

Vesiroosi tee **Mõõtmiste aadress ei ole seotud teeregistriga**

Punkti Nr	Teenr	Stee	Teeosa	A_kaugus	Alg_km	Kuupaev	Asfaldi temp	Katte temp	Õhu temp	Stress	Joud	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Emod	SCI	BDI	BCI
1				50		22.10.2019		6.3	9.0	715	51	784	405	164	108	77	49	30	**189**	375	239	18
2				100		22.10.2019		6.4	9.0	713	50	947	518	203	128	85	41	27	**156**	425	312	14
3				150		22.10.2019		6.5	8.9	704	50	999	571	259	184	137	80	59	**146**	430	313	21
4				200		22.10.2019		6.1	8.9	706	50	1050	651	328	238	173	95	55	**139**	400	323	40
5				225		22.10.2019		5.9	8.9	710	50	680	486	298	228	168	94	51	**216**	193	187	43
6				250		22.10.2019		6.0	8.9	709	50	1037	636	318	227	165	96	62	**141**	400	318	34
7				275		22.10.2019		6.0	8.9	710	50	964	586	300	217	159	89	54	**152**	376	285	35
																		Keskmine	**163**	**371**	**282**	**29**
																		Min	**139**	**193**	**187**	**14**
																		Max	**216**	**430**	**323**	**43**

TEEKATTE KANDEVÕIME MÕÕTMINE TEEL NR 6530146 VESKITAGUSE TEE

Tellija: Tallinna Tehnikaülikool
Mõõtja: Egon Horg
Seade: Dynatest FWD-8002

Veskitaguse tee **Mõõtmiste aadress ei ole seotud teeregistriga**

Punkti Nr	Teenr	Stee	Teeosa	A_kaugus	Alg_km	Kuupaev	Asfaldi temp	Katte temp	Õhu temp	Stress	Joud	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Emod	SCI	BDI	BCI
1				500		22.10.2019		7.5	9.9	707	50	1100	614	320	246	193	132	96	**133**	486	294	36
2				600		22.10.2019		7.1	9.8	713	50	2555	1340	453	313	237	160	121	**58**	1205	879	39
3				710		22.10.2019		7.1	9.7	704	50	2417	1280	420	297	233	155	104	**60**	1142	864	51
4				800		22.10.2019		7.1	9.7	703	50	1885	2609	748	426	331	236	152	**77**	-728	1871	84
5				900		22.10.2019		7.1	9.8	711	50	2051	2357	795	489	343	207	158	**72**	-304	1553	50
6				1000		22.10.2019		7.0	9.7	713	50	2370	2049	640	415	333	247	185	**62**	318	1398	61
7				1100		22.10.2019		6.9	9.7	690	49	1912	2452	633	427	336	222	154	**75**	-552	1863	70
8				1204		22.10.2019		6.8	9.6	711	50	2247	1900	657	412	316	219	144	**65**	345	1236	74
9				1308		22.10.2019		6.9	9.6	676	48	1876	2300	1078	693	473	289	200	**75**	-444	1278	93
10				1400		22.10.2019		6.9	9.6	638	45	2513	2069	958	567	376	195	137	**52**	492	1231	64
11				1500		22.10.2019		6.9	9.6	709	50	1722	2149	706	411	254	113	85	**85**	-426	1438	28
12				1600		22.10.2019		7.0	9.6	705	50	1604	741	262	153	99	52	32	**91**	866	480	20
13				1700		22.10.2019		7.0	9.5	701	50	2594	1434	259	192	196	159	190	**56**	1169	1185	-31
14				1900		22.10.2019		7.0	9.5	691	49	2048	2829	983	562	366	207	155	**70**	-799	1889	53
15				2100		22.10.2019		7.0	9.6	703	50	2053	798	170	80	57	38	24	**71**	1262	632	14
16				2100		22.10.2019		7.3	9.6	702	50	2005	1161	460	286	177	76	46	**72**	850	706	30
17				2200		22.10.2019		7.2	9.6	695	49	2790	1813	823	519	322	134	78	**52**	993	1008	57
18				2300		22.10.2019		7.1	9.6	714	50	1976	670	241	137	78	25	11	**75**	1294	424	13
19				2400		22.10.2019		7.0	9.6	703	50	1831	1046	416	245	148	69	46	**79**	790	634	23
20				2500		22.10.2019		7.2	9.6	698	49	2671	1647	694	436	296	156	98	**54**	1037	965	58
21				2600		22.10.2019		7.0	9.6	705	50	2083	438	38	38	29	10	5	**70**	1649	401	5
22				2686		22.10.2019		7.0	9.6	702	50	1882	1208	650	459	336	190	114	**77**	679	562	77
23				2800		22.10.2019		7.1	9.6	707	50	1397	774	234	123	68	31	21	**105**	623	541	10
24				2900		22.10.2019		7.3	9.6	703	50	1357	821	411	317	233	145	102	**107**	539	413	43
25				3000		22.10.2019		7.6	9.6	709	50	390	255	139	98	68	34	19	**376**	134	116	15
26				3100		22.10.2019		7.4	9.7	703	50	1038	667	370	279	218	141	96	**140**	374	298	45
																		Keskmine	**89**	**500**	**929**	**42**
																		Min	**52**	**-799**	**116**	**-31**
																		Max	**376**	**1649**	**1889**	**93**

TEEKONSTRUKTSIOONI KANDEVÕIME MÕÕTMISE TULEMUSED

Rae valla teed

Töö teostaja: West Coast Road Masters Oy; Juha-Matti Vainio

Mõõtja: West Coast Road Masters Oy; Juha-Matti Vainio

Seade: KUAB 50 (FWD) serial no. FV123

Tee	Suund	Kilomeeter	Kuupäev	Kellaaeg	Kandevõime, Eeq	SCI 200	SCI 300	BDI	BCI 1200	BCI 1500	D0	D20	D30	D60	D75	D90	D120	D150	Kontakt	Koormus	Poisson	Õhutemp	Tee temp	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
Pajupea	1	100	13.10.2019	18:00:51	**177**	184	324	279	65	32	874	690	550	271	190	126	61	29	747	5278	0.5	8	9	59.394034	24.964849	41.304
Pajupea	1	200	13.10.2019	18:02:00	**358**	90	149	125	38	22	435	345	286	161	122	91	53	31	754	5327	0.5	8	9	59.393301	24.963834	41.695
Pajupea	1	300	13.10.2019	18:03:04	**181**	213	350	255	58	32	844	631	494	239	166	113	55	23	737	5210	0.5	8	8	59.392576	24.962799	41.769
Pajupea	1	420	13.10.2019	18:04:53	**335**	133	210	129	18	13	459	326	249	120	91	73	55	42	743	5251	0.5	8	9	59.391609	24.96188	42.132
Pajupea	1	500	13.10.2019	18:05:47	**136**	212	363	325	114	62	###	909	758	433	318	224	110	48	736	5200	0.5	8	8	59.390907	24.961653	40.541
Pajupea	1	525	13.10.2019	18:06:39	**137**	187	321	297	123	80	###	919	785	488	378	284	161	81	734	5189	0.5	8	8	59.39068	24.961577	40.543
Pajupea	1	535	13.10.2019	18:07:24	**85**	384	671	565	144	38	###	###	###	519	332	193	49	11	724	5115	0.5	8	8	59.390594	24.961553	40.441
Pajupea	1	550	13.10.2019	18:08:14	**118**	283	483	377	112	59	###	997	797	420	298	203	91	32	729	5152	0.5	8	8	59.390462	24.961518	40.418
Pajupea	1	575	13.10.2019	18:09:03	**113**	326	545	426	101	26	###	###	791	365	234	135	34	8	732	5171	0.5	8	8	59.390239	24.961457	40.342
Pajupea	1	600	13.10.2019	18:09:56	**109**	355	593	449	87	19	###	###	790	341	208	112	25	6	732	5171	0.5	8	8	59.39002	24.961404	40.29
Pajupea	1	625	13.10.2019	18:10:44	**108**	370	620	462	75	5	###	###	782	320	184	85	10	5	731	5166	0.5	8	9	59.389794	24.96135	40.25
Pajupea	1	650	13.10.2019	18:11:33	**96**	272	484	465	167	90	###	###	###	613	454	316	149	59	724	5117	0.5	8	8	59.389576	24.9613	40.13
Pajupea	1	675	13.10.2019	18:12:21	**156**	192	339	326	81	34	972	780	633	307	207	129	48	14	734	5185	0.5	8	8	59.389352	24.961245	40.029
Pajupea	1	700	13.10.2019	18:13:09	**94**	281	513	503	136	90	###	###	###	573	404	273	137	47	721	5098	0.5	7	8	59.38913	24.961191	39.995
Pajupea	1	750	13.10.2019	18:14:02	**115**	236	423	410	127	68	###	###	893	483	350	246	119	51	731	5165	0.5	8	8	59.388687	24.961085	40.142
Pajupea	1	800	13.10.2019	18:14:56	**84**	377	695	658	97	11	###	###	###	439	248	118	21	10	724	5117	0.5	8	8	59.388242	24.96098	40.37
Pajupea	1	850	13.10.2019	18:15:50	**277**	180	290	180	19	7	557	377	267	87	56	33	14	7	747	5282	0.5	7	8	59.387801	24.96111	41.157
Pajupea	1	900	13.10.2019	18:16:37	**171**	201	340	275	64	37	892	691	552	277	201	141	77	40	738	5216	0.5	7	8	59.387503	24.961754	41.471
Pajupea	1	1200	13.10.2019	18:17:57	**100**	281	498	466	135	66	###	###	988	522	368	249	114	48	721	5097	0.5	8	8	59.386379	24.965724	40.461
Pajupea	1	1250	13.10.2019	18:18:59	**87**	385	655	584	107	36	###	###	###	458	286	173	66	30	715	5052	0.5	8	8	59.385928	24.965766	40.216
Pajupea	1	1300	13.10.2019	18:19:56	**111**	273	471	429	130	61	###	###	876	447	312	206	76	15	722	5107	0.5	7	8	59.38548	24.965818	39.738
Pajupea	1	1350	13.10.2019	18:20:54	**124**	236	424	405	107	37	###	979	791	386	254	154	47	10	728	5146	0.5	8	8	59.385036	24.965862	38.994
Pajupea	1	1400	13.10.2019	18:21:50	**192**	168	281	253	63	34	785	617	504	251	178	124	61	27	731	5164	0.5	8	7	59.384586	24.965906	38.458
Pajupea	1	1450	13.10.2019	18:22:43	**135**	237	413	355	86	45	###	874	698	343	242	168	82	37	727	5138	0.5	8	8	59.384136	24.96593	37.829
Pajupea	1	1500	13.10.2019	18:23:36	**103**	294	493	422	133	75	###	###	958	536	399	289	156	81	720	5089	0.5	7	8	59.38369	24.965902	37.213
Tee	**Suund**	**Kilomeeter**	**Kuupäev**	**Kellaaeg**		**SCI 200**	**SCI 300**	**BDI**	**BCI 1200**	**BCI 1500**	**D0**	**D20**	**D30**	**D60**	**D75**	**D90**	**D120**	**D150**	**Kontakt**	**Koormus**	**Poisson**	**Õhutemp**	**Tee temp**	**LATITUD**	**LONGITUD**	**ALTITUD**
Pajupea	1	3400	13.10.2019	18:27:32	**113**	312	539	418	84	44	###	###	784	366	251	171	87	43	726	5132	0.5	7	6	59.367665	24.962079	39.496
Pajupea	1	3450	13.10.2019	18:28:31	**125**	303	535	418	57	18	###	905	673	255	153	85	28	10	732	5173	0.5	7	7	59.367453	24.962842	39.932
Pajupea	1	3500	13.10.2019	18:29:24	**196**	198	336	252	45	23	780	582	444	192	129	86	41	18	739	5221	0.5	7	7	59.367241	24.963614	40.226
Pajupea	1	3550	13.10.2019	18:30:27	**238**	206	326	179	30	14	639	433	313	134	95	66	36	22	736	5201	0.5	7	7	59.367031	24.964403	40.394
Pajupea	1	3600	13.10.2019	18:31:19	**137**	271	464	354	67	32	###	827	634	280	193	128	61	29	725	5124	0.5	7	7	59.366826	24.96517	39.804
Pajupea	1	3650	13.10.2019	18:32:23	**151**	221	382	312	64	33	994	773	612	300	213	151	87	54	726	5133	0.5	7	7	59.366617	24.965955	39.417
Pajupea	1	3700	13.10.2019	18:33:24	**184**	187	334	262	55	29	822	635	488	226	157	106	51	22	730	5163	0.5	7	7	59.366407	24.966724	39.644
Pajupea	1	3750	13.10.2019	18:34:18	**198**	216	372	248	33	15	770	554	398	150	99	63	30	15	737	5207	0.5	7	7	59.366198	24.9675	39.685
Pajupea	1	3800	13.10.2019	18:35:13	**248**	155	260	186	39	21	613	458	353	167	118	78	39	18	736	5205	0.5	7	7	59.365987	24.968274	39.395
Pajupea	1	3850	13.10.2019	18:36:11	**293**	151	250	152	25	15	521	370	271	119	86	60	35	20	738	5214	0.5	7	7	59.365777	24.969044	39.283
Pajupea	1	3900	13.10.2019	18:37:04	**81**	412	701	448	139	109	###	###	###	669	552	442	303	194	709	5009	0.5	7	6	59.365555	24.969816	39.269
Pajupea	1	3950	13.10.2019	18:38:00	**264**	134	216	125	45	35	575	441	359	234	204	172	127	92	733	5180	0.5	7	7	59.365164	24.970108	39.339
Pajupea	1	4000	13.10.2019	18:38:46	**214**	163	270	194	47	34	707	544	437	243	201	162	115	81	733	5181	0.5	7	7	59.36472	24.97008	39.482
Pajupea	1	4050	13.10.2019	18:40:07	**235**	191	317	198	30	16	649	458	332	134	94	65	35	19	739	5224	0.5	7	7	59.36427	24.970058	39.559
Pajupea	1	4100	13.10.2019	18:41:03	**185**	226	364	217	55	36	820	594	456	239	184	137	82	46	734	5186	0.5	7	7	59.363822	24.970054	39.845
Pajupea	1	4125	13.10.2019	18:41:49	**188**	156	270	251	75	36	804	648	534	283	202	135	60	24	730	5163	0.5	6	6	59.363599	24.970076	40.367
Pajupea	1	4150	13.10.2019	18:42:40	**262**	100	184	182	56	28	583	483	399	217	158	109	53	25	739	5224	0.5	7	7	59.363379	24.970099	40.554
Pajupea	1	4175	13.10.2019	18:43:30	**181**	232	385	243	45	26	835	603	450	207	153	112	67	41	729	5154	0.5	7	7	59.363152	24.97014	40.694
Tee	**Suund**	**Kilomeeter**	**Kuupäev**	**Kellaaeg**	**Eeq**	**SCI 200**	**SCI 300**	**BDI**	**BCI 1200**	**BCI 1500**	**D0**	**D20**	**D30**	**D60**	**D75**	**D90**	**D120**	**D150**	**Kontakt**	**Koormus**	**Poisson**	**Õhutemp**	**Tee temp**	**LATITUD**	**LONGITUD**	**ALTITUD**

Tankisilla	1	50	13.10.2019	19:51:32	**59**	567	1065	743	119	87	###	###	###	635	498	389	270	183	700	4947	0.5	5	6	59.382805	24.96731	36.989
Tankisilla	1	100	13.10.2019	19:52:36	**20**	913	2291	###	284	58	###	###	###	###	960	543	259	201	614	4340	0.5	5	5	59.382504	24.967975	37.001
Tankisilla	1	150	13.10.2019	19:53:53	**23**	1026	1946	###	429	141	###	###	###	###	###	786	357	216	641	4530	0.5	5	6	59.382214	24.968634	36.735
Tankisilla	1	200	13.10.2019	19:54:47	**19**	364	1154	###	428	97	###	###	###	###	###	815	387	290	606	4281	0.5	5	5	59.381916	24.969294	36.291
Tankisilla	1	250	13.10.2019	19:55:56	**41**	-19	528	###	439	170	###	###	###	###	###	742	303	133	667	4713	0.5	5	6	59.381629	24.969961	36.649
Tankisilla	1	292	13.10.2019	19:56:40	**48**	327	706	873	361	220	###	###	###	###	###	817	456	236	690	4875	0.5	5	5	59.381385	24.970529	36.904
Tankisilla	1	350	13.10.2019	19:57:33	**51**	732	1159	897	143	84	###	###	###	671	616	327	184	100	670	4736	0.5	5	5	59.381044	24.971302	37.251
Tankisilla	1	400	13.10.2019	19:58:30	**30**	1264	2482	###	163	66	###	###	###	732	473	312	149	83	668	4725	0.5	5	5	59.380754	24.971973	37.342
Tankisilla	1	470	13.10.2019	20:01:42	**50**	605	1137	894	166	117	###	###	###	824	644	511	345	228	694	4907	0.5	5	5	59.38035	24.972906	37.357
Tankisilla	1	500	13.10.2019	20:02:36	**60**	670	1237	879	42	8	###	###	###	331	180	74	32	24	711	5029	0.5	5	5	59.380176	24.973308	37.791
Tankisilla	1	550	13.10.2019	20:03:26	**141**	163	472	396	39	12	###	901	592	196	127	77	38	26	728	5144	0.5	5	5	59.379892	24.973977	38.233
Tankisilla	1	600	13.10.2019	20:04:14	**136**	188	405	360	76	40	###	920	703	343	251	172	96	56	727	5137	0.5	5	5	59.379602	24.974648	38.082
Tankisilla	1	650	13.10.2019	20:05:01	**97**	438	727	490	63	29	###	###	804	314	244	138	75	46	721	5096	0.5	5	5	59.379307	24.975315	37.718
Tankisilla	1	700	13.10.2019	20:05:57	**106**	373	637	363	82	49	###	###	763	400	331	226	144	95	719	5083	0.5	5	5	59.379014	24.975976	37.646
Tankisilla	1	750	13.10.2019	20:06:52	**103**	265	587	549	64	25	###	###	848	299	203	127	63	38	714	5047	0.5	4	5	59.378719	24.976641	38.293
Tankisilla	1	800	13.10.2019	20:07:41	**100**	137	519	628	58	29	###	###	953	325	214	147	89	60	710	5018	0.5	5	5	59.378424	24.977301	38.443
Tankisilla	1	850	13.10.2019	20:08:34	**88**	317	650	728	42	25	###	###	###	294	188	129	87	62	708	5002	0.5	4	5	59.378129	24.977964	38.029
Tankisilla	1	900	13.10.2019	20:09:31	**65**	548	1148	760	60	38	###	###	###	301	225	163	103	65	699	4943	0.5	4	5	59.37784	24.978634	38.329
Tankisilla	1	950	13.10.2019	20:10:21	**61**	681	1179	737	84	38	###	###	###	412	286	195	111	73	689	4872	0.5	4	5	59.377555	24.979305	38.283
Tankisilla	1	1000	13.10.2019	20:11:12	**71**	454	954	788	69	31	###	###	###	316	216	145	76	45	702	4962	0.5	4	5	59.377262	24.979969	37.669
Tankisilla	1	1050	13.10.2019	20:12:08	**40**	1102	1781	###	60	26	###	###	###	464	233	135	75	49	683	4831	0.5	4	6	59.376892	24.980438	37.664
Tankisilla	1	1200	13.10.2019	20:15:46	**62**	660	1150	667	123	67	###	###	###	527	379	270	147	80	706	4990	0.5	4	5	59.375598	24.980655	38.832
Tankisilla	1	1250	13.10.2019	20:16:36	**124**	119	410	468	79	41	###	###	796	328	241	171	92	51	721	5093	0.5	4	5	59.375156	24.980476	39.071
Tankisilla	1	1300	13.10.2019	20:17:55	**98**	322	653	508	78	35	###	###	854	346	235	157	79	44	714	5046	0.5	4	5	59.374718	24.980286	39.245
Tankisilla	1	1350	13.10.2019	20:18:50	**38**	1517	2402	###	36	11	###	###	###	255	135	69	33	22	689	4868	0.5	4	5	59.374285	24.980098	39.911
Tankisilla	1	1400	13.10.2019	20:19:43	**150**	395	634	251	21	9	###	607	368	117	74	50	29	20	727	5140	0.5	5	5	59.373846	24.979909	40.256
Tankisilla	1	1450	13.10.2019	20:20:39	**162**	275	452	249	52	29	921	646	469	220	164	118	66	37	721	5093	0.5	5	5	59.373407	24.979732	40.466
Tee	**Suund**	**Kilomeeter**	**Kuupäev**	**Kellaaeg**	**Eeq**	**SCI 200**	**SCI 300**	**BDI**	**BCI 1200**	**BCI 1500**	**D0**	**D20**	**D30**	**D60**	**D75**	**D90**	**D120**	**D150**	**Kontakt**	**Koormus**	**Poisson**	**Õhutemp**	**Tee temp**	**LATITUD**	**LONGITUD**	**ALTITUD**
Veskitaguse	1	500	13.10.2019	19:13:42	**163**	248	401	255	50	33	927	679	526	271	214	166	116	83	730	5162	0.5	6	6	59.321566	24.950895	40.615
Veskitaguse	1	600	13.10.2019	19:14:51	**84**	656	895	507	56	36	###	###	842	335	237	178	122	86	708	5005	0.5	6	6	59.322313	24.950044	40.334
Veskitaguse	1	685	13.10.2019	19:15:50	**129**	219	405	363	83	59	###	943	757	394	298	224	141	82	725	5125	0.5	6	6	59.323031	24.949652	40.362
Veskitaguse	1	800	13.10.2019	19:17:06	**50**	531	1152	###	109	58	###	###	###	629	414	273	164	106	695	4911	0.5	6	6	59.323683	24.948227	40.985
Veskitaguse	1	900	13.10.2019	19:18:13	**43**	787	1387	###	84	43	###	###	###	598	333	212	128	85	686	4851	0.5	6	6	59.324363	24.947178	41.133
Veskitaguse	1	1000	13.10.2019	19:19:13	**44**	813	1439	###	59	41	###	###	###	572	351	245	186	145	688	4866	0.5	6	6	59.325238	24.94689	40.888
Veskitaguse	1	1100	13.10.2019	19:20:26	**43**	953	1712	###	87	42	###	###	###	477	309	218	131	89	689	4871	0.5	6	7	59.326014	24.947733	41.41
Veskitaguse	1	1200	13.10.2019	19:21:24	**48**	853	1373	###	73	43	###	###	###	484	306	213	140	97	680	4808	0.5	6	6	59.326829	24.948437	41.538
Veskitaguse	1	1300	13.10.2019	19:22:26	**44**	277	927	###	118	67	###	###	###	752	500	317	199	132	678	4795	0.5	6	6	59.327613	24.949288	41.797
Veskitaguse	1	1405	13.10.2019	19:23:35	**30**	1282	2135	###	108	20	###	###	###	675	346	178	70	50	661	4675	0.5	6	6	59.328386	24.950218	41.068
Veskitaguse	1	1500	13.10.2019	19:24:42	**39**	529	1387	###	143	50	###	###	###	692	431	245	102	52	670	4735	0.5	6	6	59.32897	24.951427	40.878
Veskitaguse	1	1600	13.10.2019	19:25:53	**87**	636	1023	470	49	20	###	###	682	212	135	79	30	10	721	5096	0.5	6	6	59.329833	24.951754	40.838
Veskitaguse	1	1700	13.10.2019	19:26:55	**79**	618	939	594	45	29	###	###	937	343	234	165	120	91	713	5043	0.5	6	6	59.330694	24.952231	40.808
Veskitaguse	1	1900	13.10.2019	19:28:38	**36**	1111	1984	###	43	20	###	###	###	463	199	113	70	50	682	4819	0.5	6	6	59.33237	24.953341	41.158
Veskitaguse	1	2000	13.10.2019	19:29:47	**46**	953	1546	###	69	5	###	###	###	474	200	77	8	3	693	4902	0.5	6	6	59.333199	24.954088	38.013
Veskitaguse	1	2100	13.10.2019	19:30:50	**144**	429	643	293	20	10	###	628	414	121	67	40	20	10	734	5186	0.5	6	6	59.3339	24.954947	41.756
Veskitaguse	1	2200	13.10.2019	19:31:48	**51**	729	1179	965	150	57	###	###	###	673	447	285	135	78	689	4869	0.5	6	6	59.334387	24.956339	41.384
Veskitaguse	1	2300	13.10.2019	19:32:47	**115**	356	625	418	62	23	###	942	673	255	157	93	31	8	720	5091	0.5	6	6	59.335212	24.957036	41.352
Veskitaguse	1	2400	13.10.2019	19:33:53	**67**	512	951	983	17	10	###	###	###	266	119	28	11	1	708	5006	0.5	6	6	59.33594	24.958032	41.315
Veskitaguse	1	2500	13.10.2019	19:34:59	**74**	535	823	574	139	70	###	###	###	584	437	308	169	99	709	5014	0.5	5	6	59.336542	24.959293	44.527
Veskitaguse	1	2600	13.10.2019	19:36:04	**134**	344	628	420	6	0	###	782	498	78	31	10	4	4	730	5158	0.5	5	6	59.337224	24.960441	43.594
Veskitaguse	1	2700	13.10.2019	19:37:03	**85**	506	800	588	53	35	###	###	944	356	241	177	124	89	719	5083	0.5	5	6	59.337978	24.961294	40.973
Veskitaguse	1	2800	13.10.2019	19:38:11	**161**	331	534	315	9	1	941	610	407	92	38	13	4	3	731	5168	0.5	6	6	59.338868	24.961134	41.646
Veskitaguse	1	2900	13.10.2019	19:39:09	**154**	207	354	286	72	43	981	774	627	341	263	200	128	85	730	5157	0.5	5	7	59.33975	24.961396	40.019

Veskitaguse	1	3000	13.10.2019	19:40:12	**321**	123	208	158	23	13	477	354	269	111	75	49	26	13	741	5240	0.5	5	6	59.340643	24.961363	41.441
Veskitaguse	1	3100	13.10.2019	19:41:08	**161**	230	388	278	61	39	944	714	556	278	213	163	102	63	736	5204	0.5	5	6	59.341512	24.960944	39.112
Tee	**Suund**	**Kilomeeter**	**Kuupäev**	**Kellaaeg**	**Eeq**	**SCI 200**	**SCI 300**	**BDI**	**BCI 1200**	**BCI 1500**	**D0**	**D20**	**D30**	**D60**	**D75**	**D90**	**D120**	**D150**	**Kontakt**	**Koormus**	**Poisson**	**Õhutemp**	**Tee temp**	**LATITUD**	**LONGITUD**	**ALTITUD**
Vesiroosi	1	50	13.10.2019	18:50:32	**244**	194	311	194	24	12	622	428	311	117	77	50	26	14	734	5191	0.5	6	7	59.368195	24.960246	40.576
Vesiroosi	1	100	13.10.2019	18:51:20	**203**	231	381	229	30	15	744	513	363	134	91	61	31	16	731	5168	0.5	6	7	59.368416	24.959489	40.926
Vesiroosi	1	150	13.10.2019	18:52:12	**180**	236	390	255	41	22	837	601	447	192	137	96	55	33	728	5144	0.5	6	7	59.368637	24.958717	40.887
Vesiroosi	1	200	13.10.2019	18:53:04	**166**	221	377	284	62	31	912	691	535	251	177	119	57	26	732	5177	0.5	6	7	59.368881	24.957991	40.786
Vesiroosi	1	215	13.10.2019	18:54:05	**176**	151	269	270	81	42	855	704	586	316	229	159	78	36	729	5154	0.5	6	7	59.369002	24.95773	40.609
Vesiroosi	1	225	13.10.2019	18:54:54	**216**	121	210	209	71	41	699	578	489	280	211	152	81	40	732	5171	0.5	6	8	59.369087	24.957542	40.601
Vesiroosi	1	250	13.10.2019	18:55:39	**189**	187	337	248	47	28	804	617	467	219	161	113	66	38	733	5182	0.5	6	7	59.36917	24.957323	40.539

Lisa 3

MAANTEEAMET
PÕHJA REGIOON

Heli 6
12618 Tallinn

HARJU MAAKOND

HD III-2
TEETÖÖDE KIRJELDUS

Riigitee nr 11117 Valingu-Jõgisoo km 3,661-5,058 tolmuvaba katte ehitamine

Koostas: Indrek Sihver
Kooskõlastas: Viktor Kisseljov
Kinnitas: Janar Tükk

November 2018

ÜLDOSA

Riigitee nr 11117 Valingu-Jõgisoo km 3,661-5,058 tolmuvaba katte ehitus

Asukoht: Harju maakond Saue vald

TEETÖÖDE KIRJELDUS

1. LÄHTEANDMED

Teehoiutöö kirjelduse koostamisel on aluseks võetud:

a. Teeregistri andmed
b. Visuaalne hinnang
c. Teetööde tehnilised kirjeldused (kehtiv 06.12.2016. a versioon)

2. LÕIKUDE ÜLDKIRJELDUSED

2.1 Teelõigu põhilised näitajad:

a) Objekti algus km 3,661
b) Objekti lõpp km 5,058
c) Remonditava maanteelõigu pikkus on 1,397 km
d) 2-rajaline maantee
e) Aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus (AKÖL) 2017. aasta loenduste andmetel on 244 autot ööpäevas
f) Olemasoleva katte laius 7,0 m

Kruusatee remont teostati antud lõigule 2012. aastal. Remondiobjekti täpsed piirid märgivad Tellija ja Töövõtja maha enne töödega alustamist.

3. PROJEKTLAHENDUS

3.1 Üldised:

Teetööde aegne liikluskorralduse projekt tuleb enne tööde alustamist kooskõlastada Maanteeameti liikluskorralduse osakonnaga.
Võimalikud load ja kooskõlastused hangib Töövõtja.
Tööde teostamise ajal peavad objektil olema infotahvlid. Infotahvlid paigaldatakse vastavalt liikluskorralduse projektile.
Märkimistööd sisaldavad mahtude täpsustamist, objekti piiride väljamärkimist ja teostusjooniste koostamist.

3.2 Plaanilahendus ja kattekonstruktsioon

Plaaniliselt sõiduteed ei muudeta
Konstruktsioon:

- Kahekordne (2x) pindamine;
- MSE 20

4. TÖÖ KIRJELDUS

4.1 Aluse ettevalmistus

Olemasolev tee valmistatakse ette „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“ (Vastu võetud 03.08.2015 nr 101;) §5 ja §15 nõuete kohaselt.
Vahetult enne katte paigaldamist profileeritakse aluspind sirgetel 2,5% kahepoolse põikkaldega ja viraažides 4-6% ühepoolse põikkaldega kurvi tsentri suunas. Vajadusel lisatakse purustatud kruusa,

mis peab vastama määruse nr 101 03.08.2015 „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“ lisa 10 positsioonile nr 6.
Profileeritud alus tihendatakse. Aluse elastsusmoodulit kontrollitakse iga 50 m tagant ristlõike kolmes punktis. Elastsusmooduli väärtus nendes punktides ei tohi olla väiksem kui 130 MPa. Kõikide mahasõitude ja ristmike lõpud tuleb kõrguslikult kokku viia olevate mahasõitudega.

4.2 Lubatavad hälbed
Põikkalle ± 0,5%
Pikitasasus (pilu 3 m pikkuse lati all) ≤ 7 mm
Põiktasasus (pilu 3 m pikkuse lati all) ≤ 6 mm

4.3 Tegevused freespuruga
Töövõtja on kohustatud tagama, et freesipuru on terasuurusega 0-31,5 mm. Laotatud kattest võib eemaldada ainult üksikuid sinna sattunud asfalditükke. Tagasitäitmisel tuleb jälgida, et parandatud koht jääks samasuguse tihendusteguriga nagu ülejäänud kate.
Töövõtja kasutab riigitee nr 11182 Järvekalda tee km 0-0,915 taastusremondist tekkiva freespuru riigitee nr 11117 Valingu-Jõgisoo km 3,661-5,058 tolmuvaba katte ehitamiseks. Töövõtja esitab riigitee nr 11182 Järvekalda tee taastusremondist tekkiva freesipuru mahu. Vajadusel kasutab Töövõtja freespuru ladustamiseks enda poolt kooskõlastatud laoplatsi, mis ei kuulu eraldi tasustamisele.
Materjali kadu Tellija ei aktsepteeri. Tellija hinnangul saadavast freespurust ei piisa kogu ehitusobjekti vajaduste täitmiseks, ning Töövõtja hangib puuduoleva nõuetekohase freespuru. Juurde veetav freesipuru ja selle transport riigitee nr 11117 Valingu-Jõgisoo objektile koos kaasnevate töödega arvestada kululoendis MSE 20 maksumuse sisse (makseartikkel 40505). Samuti arvestada MSE 20 maksumuse sisse (makseartikkel 40505) riigitee nr 11182 Järvekalda tee objektilt riigitee nr 11117 Valingu-Jõgisoo objektile freespuru transport koos kaasnevate töödega.
Töövõtja tagab koristus-, heakorra- ja/või haljastustööd pärast freespuru lõplikku eemaldamist platsidelt. Töövõtja võtab maaomanikelt kirjaliku kooskõlastuse platside heakorraga nõustumise osas.

4.4 Mustsegust katte ehitus
Mustsegu MSE 20 seguretsept:
1) freespuru – 70 %
2) killustikku (LA ≤ 30) – 30% segu massist
3) bituumeni (soovitatav mark 70/100) 2,2 % segu massist.

Enne mustkatte ehitamist tuleb kruusatee lõikude ja olemasoleva katte ühinemise kohad üles freesida 10 m ulatuses.
Mustkatteid võib ehitada kevadel ja suvel õhutemperatuuriga vähemalt +5°C ning sügisel õhutemperatuuriga vähemalt +10°C. Mustsegudest katete formeerumiseks vajatakse vähemalt 15 kuni 20 päeva positiivset õhutemperatuuri.
Freesipuru veetakse objektile ja paigaldatakse homogeense paksusega kihina tee ristlõike kogu ulatuses. Paigaldatud freespuru tihendatakse kahe kuni kolme rulli läbikuga, seejärel veetakse freesipuru kihile vajalik kogus killustikku, mis omakorda planeeritakse ja tihendatakse kahe kuni kolme rulli läbikuga.
Töövõtja võib paigaldada ka esmalt killustiku ja seejärel freesipuru.
Freespuru ja killustik segatakse segamisfreesiga, lisades samal ajal segamisfreesi ees liikuvast veokist läbi segamisfreesi dosaatorite vajaliku koguse bituumenemulsiooni või vahtbituumenit.
Teel segamisel paanidena tuleb kõrvaloleva varemvalminud paani pikiserv ühtlase pikivuugi saamiseks 10-15 cm ulatuses uuesti läbi segada. Paani jätkamisel tuleb eelmise paani ots vähemalt 2 m ulatuses uuesti läbi segada. Tööpäeva lõpul peaksid paanide otsad jääma ühele joonele. Paralleelpaanide paigaldamise vahe ei tohi ületada 5 tundi. Tee teljel asuvale paani servale (pikivuuk) võib naaberpaani ehitada ka järgmisel päeval juhul, kui on tegemist liikluse all oleva teega.
Segu laotamine ja tihendamine peavad toimuma enne emulsiooni lagunemist, st mitte hiljem kui 5 tundi pärast emulsiooni lisamist. Kihi tihendamise viis tuleb valida nii, et välditakse mustsegu „voolamist“ rulli ees ja külgsuunas ning katte pragunemist.

Projektis ettenähtud geomeetrilistele parameetritele, mõõdetult iga 50 m tagant, lubatakse järgmisi hälbeid:

- Põikkalle ± 0,5%
- Pikitasasus (pilu 3 m lati all) ≤ 7 mm
- Põiktasasus (pilu 3 m lati all) ≤ 6 mm

Tihendatud mustkatte paksus laotatud pinnal peab olema **min 8 cm**. Mahasõidud tuleb kõrguslikult kokku viia sõidutee mustkattega. Mahasõidud võib sõidutee mustakattega kokku viia ka freespuruga. Tihendatud kihi ristlõike paksus ei tohi olla projekteeritust väiksem üle 5% ja üksikmõõtmisel kuni 15 mm. Tellija ja Omanikujärelevalve võivad nõuda pärast katte valmimist proovipuurimist või surfi tegemist tihendatud mustkatte paksuse kindlaks tegemiseks. Katte maksumuse vähendamine õhema katte korral toimub vastavalt „Riigiteede ehitustööde vastuvõtu eeskiri" p 3.3.4. järgi, kusjuures katte hinna all käsitletakse mustsegust katte hinda koos pindamisega.

Mustsegu terastikulist koostist ja bituumenisisaldust kontrollitakse pärast segu laotamist segust iga 500 m tagant malekorras võetud proovide ekstraheerimisega.
Mustkatte maksimaalne keskmine bituumenisisaldus võib mustsegu 20 mm segul olla 4,7 %.

Veendumaks selles, et laotatud mustkatte tasasus vastab nõutud väärtusele, on soovitav teostada IRI-arvu mõõtmised vastavalt MA peadirektori kk „Riigiteede pealiskatete vastuvõtukatsetel teostatavate teekatete omaduste mõõtmise metoodika ning mõõteseadmetele esitatavad nõuded" mõõtmismetoodikale vastava IRI kontrolli seadmega.

Mustsegust kattel võib liikluse avada kolm tundi pärast segu laotamist, planeerimist ja tihendamist, kusjuures esimesel kolmel ööpäeval võib suurim lubatud kiirus olla kuni 50 km/h ja hiljem, kuni katte pindamiseni, kuni 70 km/h.

Pindamine. Pindamistöödega on keelatud alustada enne Omanikujärelevalve ja Tellija poolse projektijuhi heakskiitu. <u>Katte paigaldamise ja pindamise vaheline periood peab olema minimaalne - ei või ületada 4 päeva.</u>

Kate tuleb pinnata 2 x pindamistehnoloogiaga. Materjalid: 2x - fr 8/12 ja 4/8 mm; bituumenemulsioon; täitematerjalide valikul juhinduda Pindamisjuhise (MA peadirektori 28.12.17 käskkiri nr 0326) tabelist 5 (500-2500 a/ööp).

Uue katte tasasust hinnatakse IRI4 arvuga mitte varem kui 2 nädalat pärast pindamist. IRI4 keskmine väärtus teelõigul ei tohi olla suurem kui 2,4 mm/m. Kohtades, kus IRI arvu pole võimalik määrata, hinnatakse katte tasasust tasasuslatiga.

Kui laotatud ja pinnatud mustsegust kate ei vasta teetööde dokumentide nõuetele, tuleb lähtuda „Riigiteede ehitustööde vastuvõtueeskiri" MA 2017-21 punktist 2.2.

Mustsegust katte nõuetele vastavusse viimisel või tööde ümbertegemisel peab taastatava lõigu minimaalne pikkus olema 50 m. Järjestikku asetsevate väljafreesitavate lõikude lubatav minimaalne vahe on 25 m. Keelatud on uute pikivuukide tekitamine.

4.5 Töövõtugarantii tolmuvabade katete ehitamisel

Töövõtja vastutab Töö Lepingu tingimustele vastavuse eest 3 aastase kehtivusega garantiiaja jooksul, mis algab vastuvõtuaktis märgitud Töö vastuvõtmise kuupäevast alates. Garantiiaeg 3 aastat kehtib ka Lepingu muudatuste alusel tehtud töödele.
Ülejäänud garantiid puudutavad tingimused on toodud Lepingus.

5. NÕUDED JA NORMID

5.1 Tööde teostamisel juhinduda teetöödele esitatavatest nõuetest ja normidest:
Tuleb juhinduda töövõtulepingus toodud juhenditest, nõuetest ja normidest.

5.2 Täiendavad nõuded:
Enne ehitustööde algust on töövõtja kohustatud hankima vajalikud kooskõlastused kommunikatsioontrasside valdajatelt ja vajadusel kõikide asjassepuutuvate kommunikatsioonide valdajad kohale kutsuma. Samuti on töövõtja kohustatud enne tööde algust teavitama kõiki teisi asjast huvitatud osapooli, keda käesolev teehoiutöö kirjeldus puudutab (nt ühistransport jne).
Ehitustööde käigus tuleb tagada kõikide olemasolevate liiklusmärkide, liikluskorraldusvahendite jne säilimine.
Ehitaja peab tagama kõigi kooskõlastustes esitatud nõuete ja tingimuste täitmise, sh arvestama kommunikatsioonitrasside valdajate kooskõlastustest tulenevate võimalike projektiväliste tööde ja kulutustega.
Ehitusperioodil vastutab Töövõtja ka keskkonnakaitse (oma ehitustegevuse ja muu sellest tuleneva piires) eest ehitusobjektil ja selle kõrval oleval alal vastavalt Eesti Vabariigis kehtivatele seadustele ja nõuetele ning tellijapoolsetele juhistele.

Tellija, ehitaja (töövõtja) ja omanikujärelevalve teostaja teatavad omal algatusel viivitamatult avastatud vigadest, puudustest ja riskiteguritest teehoiutöö kirjelduses ning abinõudest, millega saab tööd edendada ja paremate tulemuste saavutamist soodustada. Ehitaja peab teavitama teehoiutöö kirjelduse koostajat kõigist teehoiutöö kirjelduses leitud ebaselgustest ning võimalikest vasturääkivustest enne kui ta võtab vastu konkreetse teostamise otsuse.

Töövõtja tagab ehitustööde käigus vajaminevad load, kommunikatsioonide haldajate kooskõlastused, vajalikud märkimistööd (sh geodeetilised tööd, piketaaži paigaldamine jmt), proovivõtmised ja katsetamised (tellija poolt), samuti teostab tööde tegemisel tulenevad ajutised tööd, sh teetööde aegse liikluskorralduse projekti koostamine ning selle realiseerimine, võimalike ümbersõiduteede seisukorra säilimise tagamiseks tehtav korrashoid tööde teostamise ajal kuni tee ümbersõiduteena kasutamise lõpuni ja liikluse reguleerijate kasutamise.

Koostaja:
Indrek Sihver
Maanteeameti põhja regioon
Ehitusosakond
Lisa 1 Skeem

Riigitee nr 11117 Valingu-Jõgisoo km 3,661-5,058

Lisa 4

MAANTEEAMET

KÕRVALMAANTEE 13162 KALMA-AVINURME KM 8,007-14,082
TOLMUVABA KATTE EHITUS

HD III
TEHNILINE KIRJELDUS

Koostas: Andrus Õis

OKTOOBER 2019

Sisukord

1 Seletuskiri 3

2 Üldosa 3

3 Tööde teostamine 5

3.1 Ettevalmistustööd 5

3.2 Mullatööd 5

3.3 Külmakerkekohad 5

3.4 Teekate ehitus 6

3.5 Kraavid 7

3.6 Mahasõidud 7

3.7 Truubid 7

3.8 Puud 8

3.9 Liikluskorraldusvahendid 8

4 Täiendavad tingimused ..... **Error! Bookmark not defined.**

5 Kvaliteedinõuded 8

6 Teekatete olem ja liiklusintensiivsus, rakendatavad normid ja nõuded 9

7 Liikluskorraldus 9

8 Keskkonnakaitse 9

9 Täiendavad nõuded 9

Lisa 1 Truupide aruanne

Lisa 2 Geodeetiline uuring

Lisa 3 Geotehniline pinnaseuuring

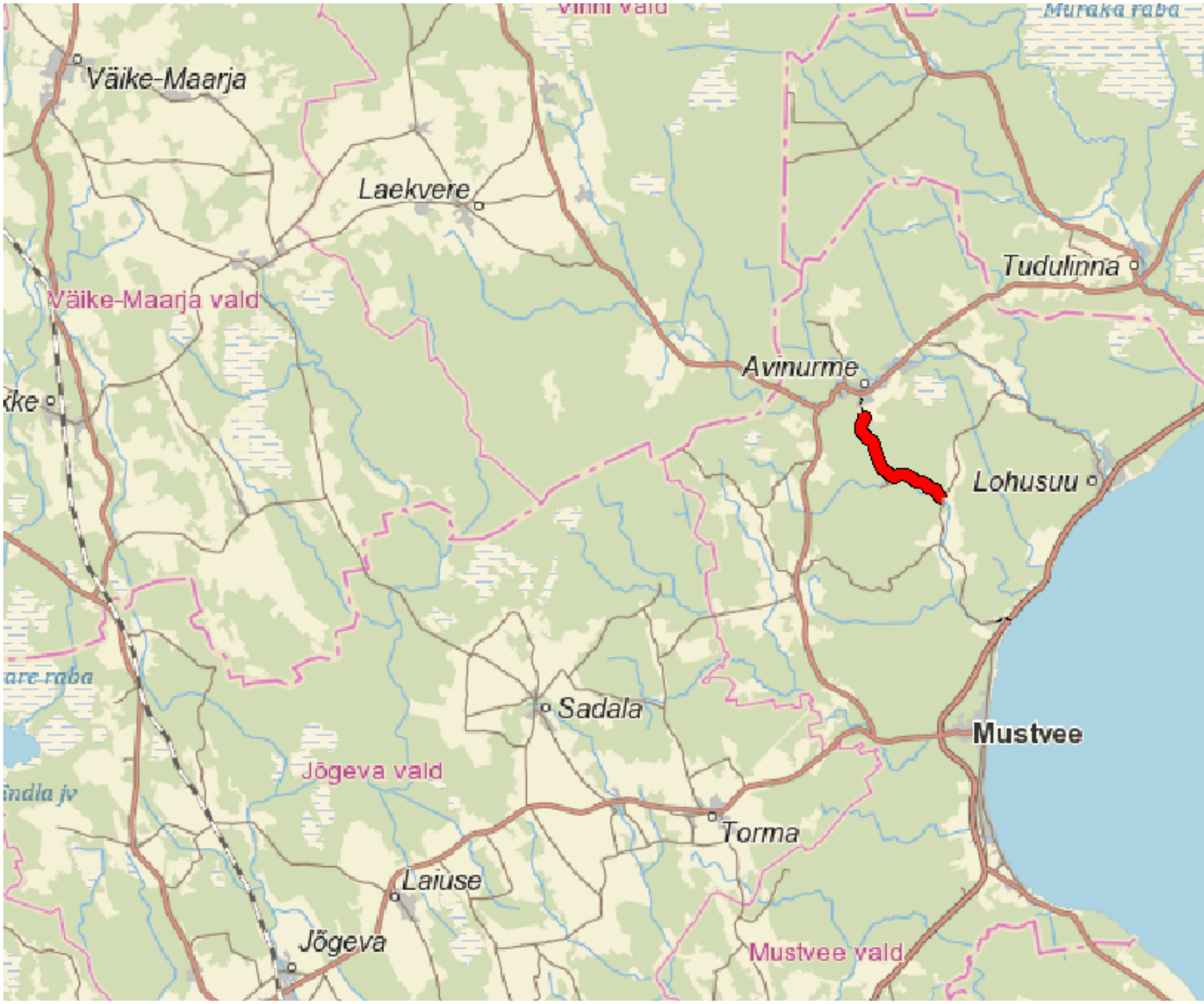
Lisa 4 Põhitee truubi tüüpjoonis madal mulle

Lisa 5 Kululoend

1 Seletuskiri

Käesolev tehniline kirjeldus on koostatud kõrvalmaantee 13162 Kalma – Avinurme km 8,007-14,082 tolmuvaba katte ehitamiseks (asukoha skeem vt joonis 1).

Joonis 1.



2 Üldosa

Kõrvalmaantee 13162 Kalma - Avinurme km 8,007 – 14,082 paikneb Ida-Virumaal, Mustvee vallas. Olemasolev kate on keskmise laiusega 6,5 m ning mulde laius samuti 6,5 m. Teemaa laiuseks on keskmiselt 7 m tee teljest. Liiklussagedus 95 autot/ööp (VAAB – 0%; AR – 6%). Kruusatee on kahepoolse põikkaldega ning mõlemal pool teed on vete ärajuhtimiseks kraavid. Paiguti puuduvad teekattel sademevete ärajuhtimiseks nõutavad põikkalded. Kraavides esineb lõike, kus vete äravool

on takistatud kraavi üldisele pikikaldele vastupidise kalde tõttu. Kohati esineb kraavides võsa. Teelõigul on 13 põhitee all olevat truupi ja 15 mahasõitude all olevat truupi. Täpsem informatsioon truupide kohta on toodud truupide aruande tabelis F-06 (sh fotod ainult digitaalselt) (Lisa 1).
Vaadeldaval lõigul puudub bussiliiklus, samuti puuduvad kergliiklusteed, sillad ja muud rajatised. Kogu lõigus jäävad tee äärde eramajad, metsad, põllud ja heinamaad. Töödega haaratavas lõigus paiknevad olemasolevad tehnovõrgud, mis on kantud geodeetilise uuringuga koostatud geoalusele (Reaalprojekt OÜ töö nr G17155). Antud teelõigule on koostatud geodeetiline uuring (Lisa 2) ja geotehniline pinnaseuuring (Lisa 3).
Enne ehitustööde algust on töövõtja kohustatud hankima vajalikud nõusolekud kaitsevööndiga piirnevate ehitiste (rajatiste) (side, elekter, gaasitrassid, vesi jne) omanikelt ja vajadusel kõikide asjassepuutuvate kommunikatsioonide valdajad kohale kutsuma. Samuti on töövõtja kohustatud enne tööde algust teavitama kõiki teisi asjast huvitatud osapooli, keda käesolev tehniline kirjeldus puudutab (nt maaomanikud, kelle maaüksusi tööde teostamine otseselt puudutab).
Ehitustööde käigus tuleb tagada kõikide olemasolevate piirimärkide ja geodeetiliste punktide säilimine. Kui see osutub võimatuks, tuleb sellest teavitada maaomanikku ja pärast tööde lõpetamist taastada oma kuludega kõik tööde käigus hävinud piirimärgid.
Ehitusperioodil vastutab töövõtja ka keskkonnakaitse (oma ehitustegevuse ja muu sellest tuleneva piires) eest ehitusobjektil ja selle kõrval oleval alal vastavalt Eesti Vabariigis kehtivatele seadustele ja nõuetele ning tellijapoolsetele juhistele.
Töövõtja tagab ehitustööde käigus vajaminevad load, kommunikatsioonide haldajate kooskõlastused, vajalikud märkimistööd, proovivõtmised ja katsetamised, samuti teostab tööde teostamisest tulenevad ajutised tööd sh teetööde aegse liikluskorralduse projekti koostamine ning selle realiseerimine, võimalike ümbersõiduteede seisukorra säilimise tagamiseks tehtav korrashoid tööde teostamise ajal kuni tee (de) ümbersõiduteena kasutamise lõpuni ja liikluse reguleerijate kasutamise.
Töös kasutatavad materjalid ja tooted tuleb enne nende kasutamist esitada Tellijale ja omanikujärelevalve insenerile kooskõlastamiseks. Materjalide ja toodete vastavust nõuetele peab tõendama vastavusdeklaratsiooniga.
Tööde materjalide kvaliteedi hindamiseks peab töövõtja võtma konstruktsioonikihtide ja rajatiste ehitamisel või remontimisel kasutatavate materjalide proovid, tegema või tellima kõik vajalikud katsetused ja mõõtmised vastavalt Maanteeameti peadirektori 1. aprilli 2019. a käskkirja nr 1-2/19/197 lisale „Tee-ehitustööde kontroll-ja vastuvõtutoimingute loetelu“.

Teetööde aegne liikluskorralduse projekt tuleb enne tööde alustamist kooskõlastada Maanteeameti ida teehoiu osakonnaga.

3 Tööde teostamine

3.1 Ettevalmistustööd

Enne kraavide rajamist/puhastamist tuleb kogu teelõigul teeservad greideriga lahti lõigata ja nõlvad planeerida. Teemaa-ala puhastada (likvideerida) puudest, võsast ja muust risust, mis takistavad kraavide kaevamist. Olemasolev kate profileerida.

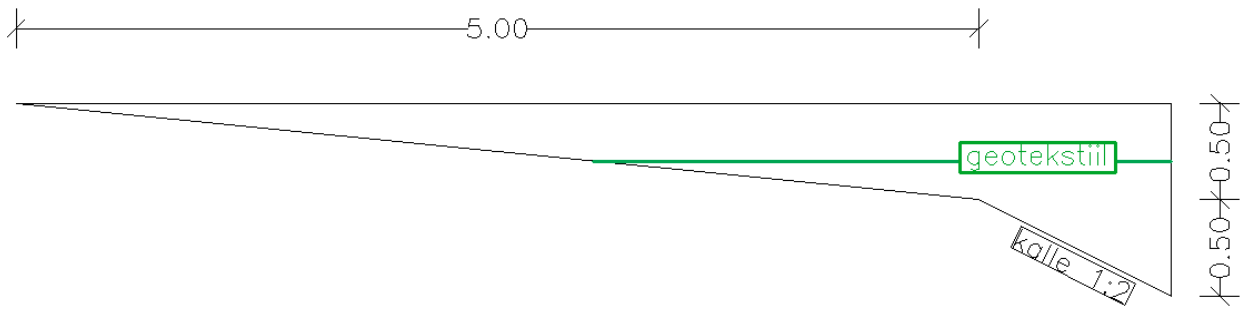
3.2 Mullatööd

Mullatöid on soovituslik teostada kuivades oludes, kaevikud ja kaevekohad hoida veevabad. Kraave kaevates peab järjest välja ehitama mahasõidud, truupideta mahasõidud ei tohi takistada vete äravoolu kraavides.

3.3 Külmakerkekohad

Kohtades, kus tee muldkeha on külmakerkeline tuleb kõlbmatu pinnas kogu mulde laiuses välja kaevata sügavusega h_{keskm} = 1 m, täpne sügavus selgub tööde käigus vastavalt tegelikult tee all olevatele pinnastele. Seejärel tagasitäiteks uus täitepinnas ja killustiku kiht (h=30cm) mille pealmise pinna põikkalle peab ühtima olemasolevate katte põikprofiiliga. Täitepinnas on ette nähtud eraldada killustikukihist geotekstiiliga.

Ühtlasi peab kraavi põhi jääma vähemalt 0,20 m allapoole väljakaevamise pinda. Kõik väljakaevamised tuleb pikisuunaliselt ühendada olemasoleva muldkehaga siirdekiiludega, tagasitäite osa kuni 50cm kaldega 1/2 ja edas1 1/10.



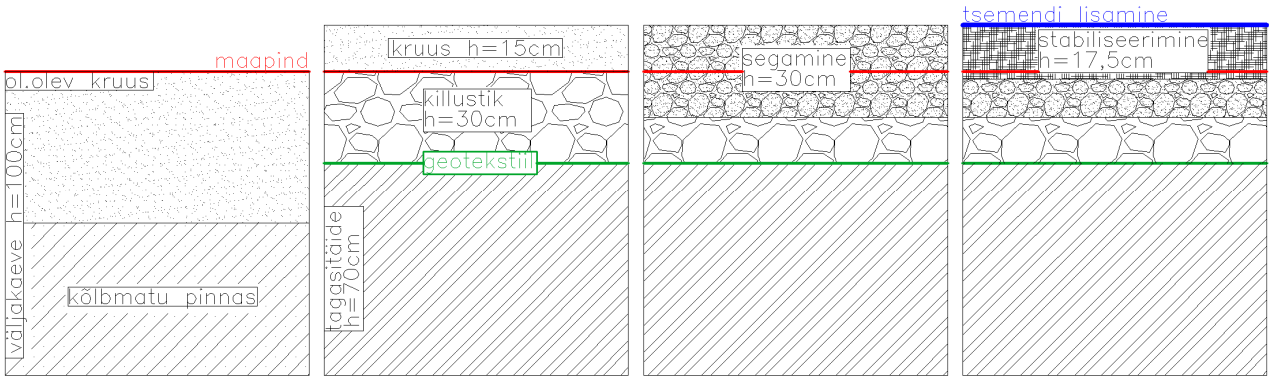
Külmakerkekoha konstruktsioon:

- Kahekordne pindamine (2 x) fr, 12/16 ja fr 8/12 (laius = stabiliseeritud alus).
- Planeerida ja tihendada tekkinud pind kaldega 2,5% (viraažid kuni 6%).

- Laotada eelnevalt segatud kihile tsement ja segatakse h=17,5cm paksune kiht sideaine ja optimaalse vee kogusega. Tsementsideaine sisaldus 3,5% (Tellijal on õigus tööde käigus tsementsideaine sisaldust suurendada või vähendada).
- Segada stabiliseerimismasinaga h=30cm (ol.olev kruus 15cm + killustik 15cm).
- Ol.olev kruus h=15cm
- Killustik h=30cm (fr 4-32 või 8-32; LA40)
- Geotekstiil (NorGeoSpec III profiil või analoog, laius ~ 8 meetrit)
- Täitepinnas h_{keskm} = 70cm

Külmakerke lõigu remont

Ol ol konstruktsioon	Tagasitäide	I segamine	II segamine



Külmakerke kohtade asukohad:

Alg km	Lõpp km	pikkus km	Puurauk nr
8,882	8,982	0,1	18 vasak rada 19 telg 20 nõlv
9,282	9,382	0,1	26 vasak rada 27 telg 28 vasak serv
9,696	9,716	0,02	34 vasak serv 35 telg
10,3	10,317	0,02	47 vasak rada
12,11	12,134	0,02	83 telg
12,91	12,973	0,059	99 telg

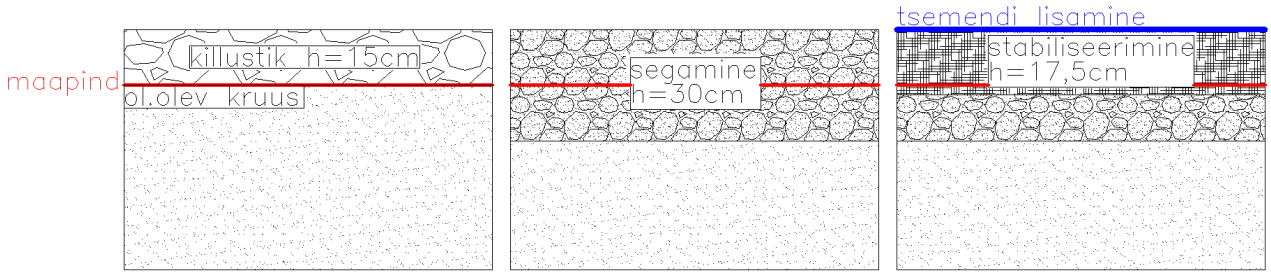
3.4 Teekate ehitus

Rajatava katte laiusena arvestada olemasoleva tee laiust ning ehitada järgmine katendikonstruktsioon:

- Kahekordne pindamine (2 x) fr, 12/16 ja fr 8/12 (laius = stabiliseeritud alus).

- Planeerida ja tihendada tekkinud pind kaldega 2,5% (viraažid kuni 6%).
- Laotada eelnevalt segatud kihile tsement ja segatakse h=17,5cm paksune kiht sideaine ja optimaalse vee kogusega. Tsementsideaine sisaldus 3,5% (Tellijal on õigus tööde käigus tsementsideaine sisaldust suurendada või vähendada).
- Segada stabiliseerimismasinaga h=30cm (ol.olev kruus 15cm + killustik 15cm).
- Ol. olevale kattele paigaldada killustik fr 4-32 või fr 8-32 (LA40) tihendatud paksusega 15 cm.

Ol ol konstruktsioon	I segamine	II segamine



Kuna tee tõuseb 15cm, siis võib segatud kihti planeerida nõlvale, et säiliks olemasoleva tee laius.

3.5 Kraavid

Olemasolevad kraavid tuleb puhastada sodist ja võsast ning süvendada vastavalt vajadusele. Kraavi põhja ja serva joon peab jääma sirge ning kraavi pikikalle olema minimaalselt 0,2%. Kraavi keskmiseks sügavuseks arvestatakse 0,7-1,0 m. Kraavi nõlvakalle tagada vastavalt võimalusele (eeldatav sisenõlv 1:2 ja välisnõlv 1:1,5). Töövõtja kohustuseks on kraavide loodimine ja pidev kõrguste kontroll, et vesi ei jääks kraavis seisma. Kraavide kaevamisel tekkinud üleliigne pinnas tuleb ära vedada. Pinnase ladustuskohad otsib ja kooskõlastab Töövõtja.

3.6 Mahasõidud

Koos muude töödega on ette nähtud teostada vajadusel olemasolevate mahasõitude remont ning uute ehitus. Lõigul asub 39 mahasõitu, nendest 15 koos mahasõidu truubiga.

Uued ja vajadusel olemasolevad mahasõitud ehitatakse kohalikust sobilikust materjalist. Kõikidele mahasõitudele paigaldatakse h_{keskm}=12 cm paksused olemasolevast purustatud kruusast katted, mis viiakse kokku olemasoleva teega.

3.7 Truubid

Käesoleva projektiga on planeeritud paigaldada uued plasttruubid betoontruupide asemele ning olemasolevad truubid koos päistega tuleb lammutada ja utiliseerida.

Töö koosneb uute truupide paigaldamisest, sisse- ja väljavoolude kindlustamisest, nõlva kindlustamisest ümber truubitoru otsade, teekatte taastamisest, sisse- ning väljavoolukraavide puhastamisest ja uute tähispostide paigaldamisest.
Truupide detailsed parameetrid ja vajalikud ehitusmahud on toodud truupide aruandes (lisa 1). Truupide sisse- ja väljavoolu juures tuleb kindlustada mulde nõlvad vastavalt tüüpjoonistele. Otsakindlustuseks tuleb kasutada munakivilaotist (min 15 cm paksuselt II klassi geotekstiilil ja kuivbetoonil h= 10 cm). Truupide ehitamisel jälgida, et tagasitäite tihendustegur oleks vähemalt 0,98. Truubi materjalid peavad vastama järgmistele nõuetele: plasttoru peab vastama standardile EVS- EN 13476 ja SFS 5906 nõuetele. Truubitorude minimaalne nõutav rõngasjäikus on SN8. Truubid paigaldada (Lisa 4) Truubi tüüpjoonise järgi.
Aluse ehitamise, truubi paigaldamise ja tagasitäite rajamise ajaks tuleb vajadusel sulgeda vee voolamine kraavis, teha veetõrjet kaeviku kuivana hoidmiseks.

3.8 Puud

Üksikute puude langetamine teostada koos kändude juurimise või freesimisega ja raiejäätmete koristusega. Langetatud puude kännud juurida ja teemaa korrastada. Puude langetamisel jälgida, et ei väljutaks piirinaabriga kooskõlastamata teemaalast.
Töömahtudes on ettenähtud teekatisevööndis külgnähtavuse tagamiseks raadamine kraavi taguselt alat 2 meetri laiuselt. Puud ja võsa asuvad erakinnistutel ning tuleb raadamisjärgselt anda üle maaomanikule, kui ta seda soovib. Tööde kooskõlastuse korraldab Tellija, kuid tegevusest teavitab Töövõtja ning ilma kooskõlastuseta kinnistutel raietöid ei tohi teostada.

3.9 Liikluskorraldusvahendid

Kõik projektiga haarataval alal paiknevad olemasolevad liiklusmärgid on ette nähtud säilitada olemasoleval kujul. Olemasolevatele ja uutele truupidele on ette nähtud paigaldada kollase helkuriga tähispostid 6 tk läbilaske kohta.

4 Kvaliteedinõuded

Muldkeha ehitamisel lähtuda „Muldkeha ja dreenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhis“ (05.01.2016. a käskkirjaga nr 0001) punktidest 4; 5 ja 6.
Tsementstabiliseerimisel lähtuda „Stabiliseeritud katendikihtide ehitamise juhis“ MA2016-013

Pindamistöödel lähtuda Pindamisjuhis“ Tabel 5 „Minimaalsed nõuded pindamisel kasutatavatele täitematerjalidele“ teeklassile ja olemasolevale liiklussagedusele kehtestatud nõuetele

Materjalide sobivus pindamistöödeks, sealhulgas sideaine ja killustiku vaheline nake peab olema kontrollitud akrediteeritud laboris enne tööde algust, määratud kasutatava sideaine ja täitematerjali kvaliteedinäitajad ja need fikseeritud katseprotokolliga.

5 Teekatete olem ja liiklusintensiivsus, rakendatavad normid ja nõuded

Remondiobjektide teekatete olemi (katte vanus, tüüp jne) ja liiklusintensiivsusega on võimalik tutvuda Maanteeameti veebilehel www.mnt.ee ja Riiklik Teeregister (teeregister) http://teeregister.riik.ee

6 Liikluskorraldus

Enne töödega alustamist tuleb koostada *Teetööde aegse liikluskorralduse projekt*, mis tuleb eelnevalt kooskõlastada Maanteeameti ida regiooni teehoiu osakonna liikluskorraldajaga. Tööde tegemise ajal juhinduda Majandus- ja taristuministri 01.01.2019a. määrusest nr. 43 „Nõuded ajutisele liikluskorraldusele“ ning Maanteeameti juhendist MA 2018-009 „Riigiteede ajutine liikluskorraldus. Juhend liikluse korraldamiseks riigiteede ehitus- ja korrashoiutöödel“.

Liikluse korraldamisel ning liikluskorraldusvahendite kasutamisel juhinduda Maanteeameti juhendist MA 2018-008 „Riigiteede liikluskorralduse juhis“. Riigitee sulgemisel tuleb juhinduda Maanteeameti juhendist MA 2016-11 „Riigiteede liikluse ajutise piiramise ja sulgemise kord“

Ümbersõiduteed ja ehitusaegne ajutine liikluskorraldus peavad olema enne tööde algust kooskõlastatud tee valdajaga ja tihe- ning hajaasustusega alal kohaliku omavalitsusega. Kogu tööde perioodil peavad olema garanteeritud juurdepääsud hoonetele.

7 Keskkonnakaitse

Töövõtja vastutab keskkonnakaitse eest objektil ja selle kõrval oleval alal vastavalt Eesti Vabariigis kehtivatele seadustele ja nõuetele. Teetööde käigus ei tohi kahjustada ümbritsevat keskkonda. Kõik teetööd tuleb teostada järgides kehtestatud keskkonnakaitse nõudeid. Ehitusel tekkivad jäätmed käideldakse vastavalt kehtivale korrale. Täitematerjalide, mulla ja pinnase ladustamiskohad kooskõlastatakse kohaliku omavalitsusega.

8 Täiendavad nõuded

Tööde teostamisel tuleb lähtuda:

https://www.mnt.ee/et/ametist/juhendid-1 Juhendid

http://www.mnt.ee/et/ametist/oigusaktid Õigusaktid

Lisad:

Lisa 1 Truupide aruanne

Lisa 2 Geodeetiline uuring

Lisa 3 Geotehniline pinnaseuuring

Lisa 4 Põhitee truubi tüüpjoonis madal mulle

Lisa 5 Kululoend

Lisa 5

Soft asphalt
Pieces of info from Denmark

Erik Nielsen, Danish Road Directorate

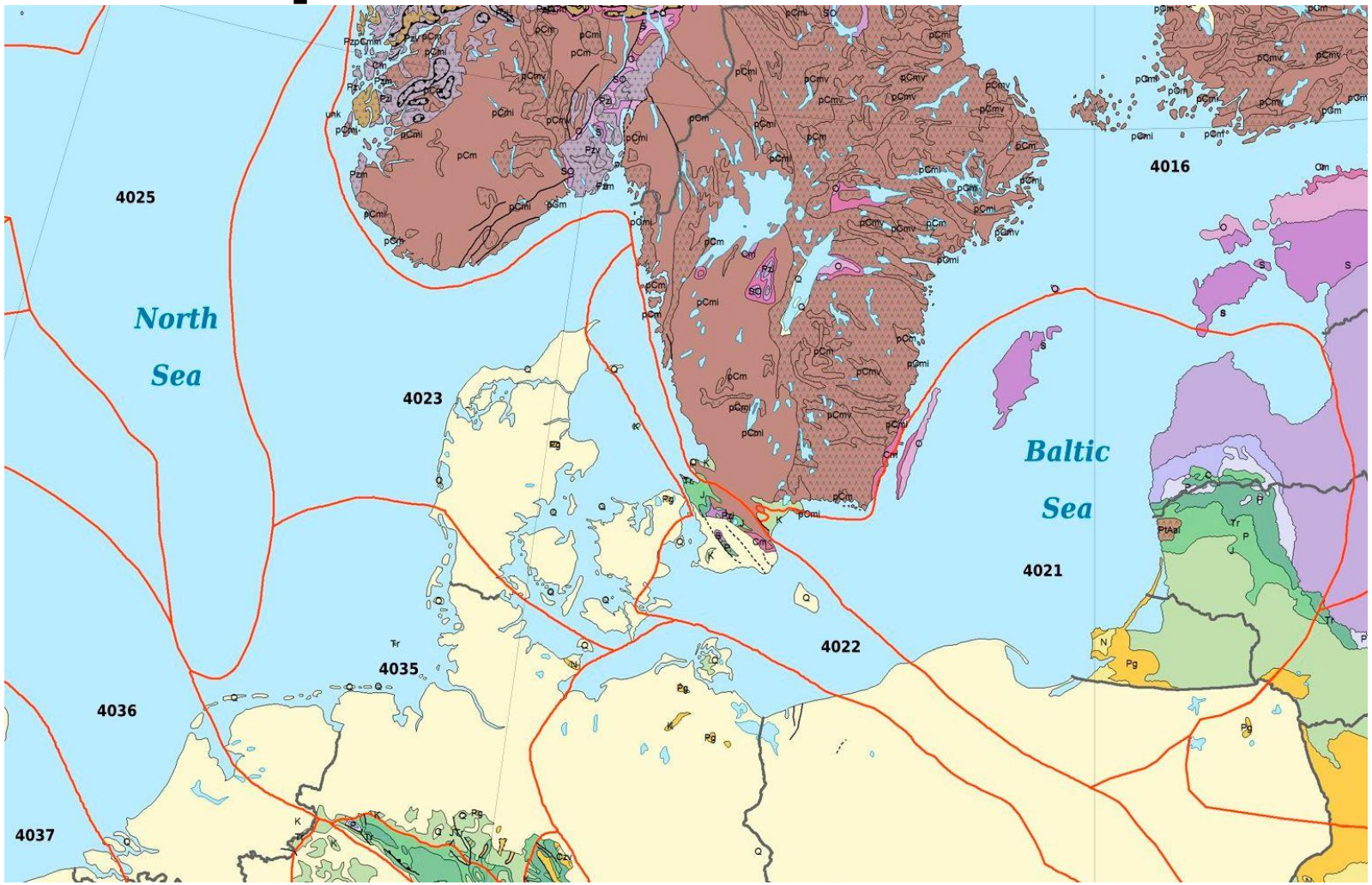
Vejdirektoratet

Intro to Soft Asphalt (Pulverasfalt)

- A few historical highlights of road materials and soft asphalt in Denmark
- Material description of soft asphalt in Denmark
- Development in binder specifications in the last 70 years
- Danish road standards 1983-85 – introduction of open graded asphalt concrete
- Danish road standards version 2012 – view of soft asphalt
- Development of European product standard EN 13108-3 Soft Asphalt
- Usage today of soft asphalt

A few historical highlights of road materials and soft asphalt in Denmark

Political map of Denmark



Geology of Denmark
Glacial deposits

Vejdirektoratet

A few historical highlights of road materials and soft asphalt in Denmark

- ~1930-1960:
  - MacAdam type of road
  - Secondary and tertiary road network
  - Soft asphalt used as capping layer
  - Primary road network / city streets (like Copenhagen)
  - Mastic asphalt and ”asphalt”
- ~1955-1965:
  - ”Hotmix” (base course, ”Marshall” asphalt, dense graded asphalt concrete)
  - Wearing course (asphalt concrete, mastic asphalt, hot rolled asphalt, soft asphalt)
- ~1963- :
  - More technical development of asphalt as road materials

Material description of soft asphalt in Denmark (”Pulverasfalt”)

High lights of the initial product ”Pulverasfalt” :

- Two types of soft asphalt have been defined:
    1. Open graded soft asphalt
    2. Dense graded soft asphalt
- A very soft grade of bitumen is used
- The thin wearing course shall be able to follow the movements (frost heave) of the road
- The wearing course shall remain (very) flexible over the first 3-4 years after paving
- In this period healing of cracks (due to frost heave) shall be expected of the soft asphalt
- After compaction by traffic is allowed to some extent (also in order to facilitate the healing of cracks by traffic during summertime)
- Eventually the binder aged over time and increase bearing capacity.
- By default no contribution to bearing capacity from soft asphalt in pavement design

Vejdirektoratet

Development in binder specifications in the last 70 years

- Vejkomitteens skrift nr 20 – anno 1949

Leveringsbetingelser for almindelig asfaltbitumen.

Prøvningens nr.	Prøvningens betegnelse		A 1500[3])	A 300	A 200	A 100	A 60	A 45	A 35	A 25	A 15	Prøvningsmetode	Side
1.	Penetration (100 g, 5 sec, 25°C)		—	250—350	150—220	70—110	50—70	40—50	30—40	20—30	10—20	P 1	39
	(» , » » , 0°C)		90—150	—	—	—	—	—	—	—	—	»	
2.	Smeltepunkt kugle og ring...	°C	18—22	27—37	37—45	45—52	50—57	54—60	57—65	60—70	68—78	P 2	43
3.	Strækkelighed (duktilitet) ved 25°C.....	cm	—	—	> 100	> 100	> 100	> 50	> 35	> 25	> 4	P 6	56
	» 15°C.....	»	—	> 100	—	—	—	—	—	—	—	»	
	» 0°C.....	»	> 100	—	—	—	—	—	—	—	—	»	
4.	Brudpunkt efter Fraass.....	°C	< ÷27	< ÷20	< ÷15	< ÷10	< ÷8	< ÷6	< ÷4	< ÷2	< +3	P 5	53
5.	Vægtfylde v. 20°C	g/ml	> 0,98	> 0,98	> 0,99	> 1,0	> 1,0	> 1,0	> 1,0	> 1,0	> 1,0	P 7	60
6.	Opløselighed i svovlkulstof ...	vægt%	> 99,5	> 99,5	> 99,5	> 99,5	> 99,5	> 99,5	> 99,5	> 99,5	> 99,5	P 9	63
7.	Paraffinindhold[1])	»	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	P 10	66
8a.	Vægttab v. 163°C i 5 timer	»	< 2,5	< 2,5	< 2,0	< 1,5	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	P 12	69
8b.	Penetrationsformindskelse ved opvarmningen[2])	%	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 50	< 50	< 40	P 1	39
8c.	Smeltepunktsforhøjelse (K og R) ved opvarmningen	°C	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 9	< 8	< 6	P 2	43
8d.	Brudpunkt efter Fraass efter opvarmningen	°C	< ÷20	< ÷15	< ÷10	< ÷8	< ÷6	< ÷5	< ÷2	< 0	< +5	P 5	53
8e.	Strækkelighed (duktilitet) efter opvarmningen[2]) ved 25°C.....	cm	—	—	> 50	> 50	> 50	> 30	> 15	> 8	> 2	P 6	56
	» 15°C.....	»	—	> 50	—	—	—	—	—	—	—	»	
	» 0°C.....	»	> 50	—	—	—	—	—	—	—	—	»	
9.	Homogenitet og renhed		Asfaltbitumenen skal være homogen og fri for vand og forureninger.										

Den *afkortede undersøgelse*, jvf. side 11, omfatter prøvningerne nr. 1, 2 og 3.
Leveringsbetingelsernes krav skal være tilfredsstillet uden hensyn til analyseusikkerheden; dette gælder dog ikke penetrationen.

[1]) Kun obligatorisk, naar temperaturafstanden mellem smeltepunkt og brudpunkt og/eller strækkeligheden (prøvning nr. 3) er mindre end efter kravene.
[2]) Ikke obligatorisk.
[3]) Prøvning af A 1500 for vandfølsomhed vil muligvis senere blive foreskrevet, når forholdene foreligger mere afklarede.

Prøvningens nr.	Prøvningens betegnelse		A 1500[3])	A 300
1.	Penetration (100 g, 5 sec, 25°C)		—	250—350
	(» , » » , 0°C)		90—150	—
2.	Smeltepunkt kugle og ring...	°C	18—22	27—37

Penetration and softening point ring and ball

Vejdirektoratet

Development in binder specifications in the last 70 years

- Danish road standards for bituminous binders 1985

- Bituminous binders for soft asphalt (designation – nominal penetration at 25 °C)
  - B300
  - B500 and
  - B700

- A1500 has not been in use for many years

Development in binder specifications in the last 70 years

- Danish road standards for bituminous binders February 2011 (now historical document)

2. VEJBITUMEN

Tabel 2 Vejbitumener [Reference: DS/EN 12591]

	Enhed	Prøvningsmetode	Betegnelse						
			35/50	40/60	70/100	100/150	160/220	250/330	330/430
Penetration ved 25 °C	0,1 mm	DS/EN 1426	35-50	40-60	70-100	100-150	160-22	250-330	-
Penetration ved 15 °C	0,1 mm	DS/EN 1426	-	-	-	-	-	-	90-170
Blødhedspunkt k&r	°C	DS/EN 1427	50-58	48-56	43-51	39-47	35-43	30-38	28-36 (1)
Dynamisk viskositet ved 60 °C, min.	Pa s	DS/EN 12596	225	175	90	55	30	18	12
Kinematisk viskositet ved 135 °C, min.	mm^2/s	DS/EN 12595	370	325	230	175	135	100	85
Brudpunkt Fraass, max.	°C	DS/EN 12593	-5	-7	-10	-12	-15	-16	-18
Opløselighed, min.	%(m/m)	DS/EN 12592	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
Flammepunkt, min.	°C	DS/EN ISO 2592 (2)	240	230	230	230	220	220	180
RTFOT (hærdning)		DS/EN 12607-1							
- Masseændring, max., ±	%		0,5	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0
- Tilbageværende penetration, min.	%	DS/EN 1426	53	50	46	43	37	-	-
- Stigning i blødhedspunkt k&r, max.	°C	DS/EN 1427	8	9	9	10	11	11	-
- Viskositetsforholdet ved 60 °C, max.	-	DS/EN 12596	-	-	-	-	-	-	4,0

(1) Vejledende værdi.
(2) Alternativt DS/EN ISO 2719

Danish road standards 1983-85 – ABå

- The Danish road standards have only had a asphalt concrete type with dense grading.
- The early 1980’s big interest for traffic safety regrding splash and spray
- As surface layers for highways and medium to high traffick roads open graded asphalt concrete was introduced – based on experiences from opengraded soft asphalt
- Binder distinction:
    - 160/220 or harder bitumen asphalt material defined as asphalt concrete
    - 250/330 or softer bitumen asphalt material defined as soft asphalt
- Bearing capacity contribution from asphalt concrete, but not from soft asphalt

Danish road standards 2012 – soft asphalt

Possible confussions:

Soft asphalt in English language = SA

Soft asphalt in Danish language =

- PulverAsfalt (abbreviated PA)

(Porous Asphalt (abbreviated PA) hardly ever used in Denmark)

Mastic Asphalt in English language = MA

Mastic asphalt in Danish language =

- StøbeAsfalt (abbreviated SA)

Danish road standards 2012 – soft asphalt

Soft asphalt grading curves in Danish road standards

Families of dense (t) and open (å) graded types.

Observe that the reference is to

EN 13108-1 Asphalt Concrete and not to

EN 13108-3 Soft Asphalts

Generelle krav til PULVERASFALT, PA

Reference: DS/EN 13108-1.

PA t	PA 6t	PA 8t	PA 11t	PA 16t
Bitumen	250/330 eller 330/430			
Kornkurve				
Maks. størrelse (D)	5,6 mm	8 mm	11,2 mm	16 mm
Gennemfald i %:				
22,4 mm sigte	-	-	-	100
16 mm sigte	-	-	100	90-100
11,2 mm sigte	-	100	90-100	55-85
8 mm sigte	100	90-100	55-85	-
5,6 mm sigte	90-100	55-85	-	-
4 mm sigte	60-90	-	-	-
2 mm sigte	50-65	40-55	30-45	25-38
0,5 mm sigte	20-40	20-35	15-30	10-25
0,063 mm sigte	5,0-12,0	4,0-10,0	4,0-10,0	3,0-10,0

PA å	PA 6å	PA 8å	PA 11å	PA 16å
Bitumen	250/330			
Kornkurve				
Maks. størrelse (D)	5,6 mm	8 mm	11,2 mm	16 mm
Gennemfald i %:				
22,4 mm sigte	-	-	-	100
16 mm sigte	-	-	100	90-100
11,2 mm sigte	-	100	90-100	-
8 mm sigte	100	90-100	-	-
5,6 mm sigte	90-100	30-60	30-50	25-45
2 mm sigte	15-40	18-35	15-30	< 25
0,5 mm sigte	5-25	5-25	5-25	5-20
0,063 mm sigte	2,0-12,0	2,0-12,0	2,0-12,0	2,0-12,0
Min. specificeret bitumenindhold [1]	5,0 %	5,0 %	5,0 %	5,0 %

1) Kravet til minimum specificeret bitumenindhold skal korrigeres med faktoren: $\alpha = 2{,}650/\rho$, som anført i de indledende afsnit ovenfor.

Vejdirektoratet

Danish road standards 2012 – soft asphalt

- Layer thickness (expressed as kg/m^2) for soft asphalt depending on traffic class

Æ$_{10}$ pr. spor		0-20	20-50	50-200	200-500	500-800	>800
ÅDT		0-800	800-2.000	2.000-4.000	4.000-10.000	10.000-20.000	>20.000
PA	6t	35-50	-	-	-	-	-
	8t	45-65	45-65	-	-	-	-
	11t	(55-75)	55-75	55-75	-	-	-
	16t	-	-	(80-100)	-	-	-
Bitumen		250/330 eller 330/430	250/330	250/330	-	-	-
PA	6å	30-40	30-40	-	-	-	-
	8å	(40-60)	40-60	40-60	-	-	-
	11å	(50-70)	(50-70)	50-70	50-70	-	-
Bitumen		250/330	250/330	250/330	250/330	-	-

		Pedestrian and bicycle lanes	Parking Personal cars	Parking Lorries
		Gang- og cykelstier	P-plads personbiler	P-plads lastbiler
PA	6t	35-50	35-50	-
	8t	45-65	45-65	-
	11t	(55-75)	55-75	-
	16t	-	-	-
Bitumen		250/330 til 330/430	250/330	-
PA	6å	30-40	-	-
	8å	(40-60)	-	-
	11å	-	-	-
Bitumen		250/330	250/330	-

Vejdirektoratet

Development of European product standard EN 13108-3 Soft Asphalt

- The Nordic countries were the countries with highest interest in soft asphalt, so they were asked to draft the product standard prEN 13108-3 Soft Asphalt.
- The Nordic countries could not find consensus for one set of conditions
- EN 13108-3:2006 ended up with 4 types (A, B, C & S) – one for each country (DK = A)
- With the Danish road standards in 2012 Denmark lost interest in EN 13108-3 and defined soft asphalt as **asphalt concrete with a softer than normal bitumen**
- With the harmonisation and CE-marking of asphalt reference in Product Declarations has returned to give reference to EN 13108-3:2006 Soft Asphalt

Usage of soft asphalt today

Trends:

- Due to increasing traffic – even on tertiary road network – 250/330 is the main bitumen grade for roads with car traffic.
- 330/430 grade bitumen main for pedestrian footpaths and bicycle lanes.
- Soft Asphalt is often offered by contractors in versions with ”in-situ” polymer modifications – suggestions for places with shearing action from tyres (small turning radii and person car parks (due to servo-sterring)
- After compaction by traffic is not really allowed, and potential healing of cracks is also no longer expected from soft asphalt.
- A soft asphalt with 250/330 bitumen is a few years after paving close to an asphalt concrete with 160/220 bitumen