

KATTEKIHTIDE PAKSUSTE MÕÕTMISE MITTE- PURUSTAVATE MEETODITE ÜLEVAADE KOOS MÕÕTMISMETOODIKA KOOSTAMISE JA TESTI- MISEGA PILOTOBJEKTIDEL

TEADUS- JA ARENDUSTÖÖ LÕPPARUANNE

Projektijuht: Marek Truu



Töö on koostatud Maanteeameti teede arengu osakonna tellimusel

Projektijuht:

Marek Truu

Töös osalesid:

Veiko Tikas (Teede Tehnokeskus)
Egon Horg (Teede Tehnokeskus)
Marko-Gunnar Liiv (Teede Tehnokeskus)
Karmen Kütt (Teede Tehnokeskus)
Ats Peetris (Teede Tehnokeskus)
Avo Pall (Teede Tehnokeskus)
Henri Prank (Teede Tehnokeskus)
Toivo Heinla (Teede Tehnokeskus)
Tõnis Mägi (Teede Tehnokeskus)
Rain Rohtla (Sirkel ja Mall OÜ)
Rait Leppik (Geo S.T OÜ)
Vaiko Veeleid (Hades Geodeesia OÜ)
Jaanus Taro (Trefnord AS)
Hannes Kivilo (Trefnord AS)
Guido Lents (Tref)
Madis Pärli (Tref)
Alan Muruväli (Teede REV-2)
Indrek Trei (Teede REV-2)
Viljar Käämer (Teede REV-2)

© Maanteeamet, 2016

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.

Teadus- ja arendustöö „Kattekihtide paksuste
mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade
koos mõõtmismetoodika koostamisega ja
testimisega pilootobjektidel“
LÕPPARUANNE

Projektijuht:

Marek Truu

Esikaanefoto: Marek Truu

SISUKORD

SISUKORD	1
SISSEJUHATUS	3
1. KATTE PAKSUSE MÕÕTMISE SEADMETE ÜLEVAADE	4
Löögilainete mõõtmine	6
Lööklaine kiiruse mõõtmine	9
Lööklaine mõõtmine pinnalainetuse spektraalanalüüsiga (SASW)	12
Maaradar (GPR)	15
Mõõteseadmete kokkuvõte ja soovitused	17
2. HISPEQ-KOHTUMISE KOKKUVÕTE	20
3. Kattekihtide mittepurustava mõõtmise metoodika	22
Mõõtemetodi kirjeldus	22
Seadmed ja reflektorid	23
Kalibreerimine	24
Seadme kontrollimine	24
Reflektorite paigaldamine	24
Mõõtmine	26
Mõõtmisaruanne	27
4. Katte paksuste mõõtmised objektidel	29
Järvakandi #27 km 26,42...32,86	32
Märjamaa #28 Rapla-Märjamaa km 12,150...14,150	34
Objekt: #45 (Tartu-Räpina-Värska) km 69,543-78,200	35
Vändra #57 km 41,300...42,750	36
Mõõtmised	38
Katte paksuste mõõtmine maaradariga	53
Geodeetilised mõõtmised	58
5. Organokeemilise sideainega kaetud betoonmaterjali dünaamiliste tootmisprotsesside jälgimine ja kvaliteedi kasvu hindamine	64
Välitööd ja kasutatud tehnika	65
Kasutatud tehnoloogiad	66
Analüüs	75
Tihendusmeetodite valik	77

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos
mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Mõõtmised selgitamaks erinevate veokauguste ning ilmastikuolude mõju paigaldustemperatuurile.....	80
Erinevate paigaldus- ja tihendusmeetodite mõju hindamine	83
Tööosa lühikokkuvõte	84
6. KOKKUVÕTE.....	85
KASUTATUD KIRJANDUS.....	87
7. LISAD.....	88
LISA 1. Puurimistulemuste katseprotokollid	89
LISA 2. Geodeetilised mõõtmised (e-lisa)	89
LISA 3. Katte paksuste mõõtmised MIT-seadmega (e-lisa).....	89
LISA 4. Katte paksuste mõõtmised maaradariga (e-lisa).....	89
LISA 5. Muud mõõtmised (e-lisa)	89
LISA 6. HISPEQ kokkuvõte (e-lisa)	89

SISSEJUHATUS

Käesolev uuring on tellitud Maanteeameti poolt eesmärgiga selgitada kattekihtide paksuse mõõtmise võimalusi mittepurustavalt, hinnates selliste meetodite funktsionaalsust, rakendatavust, kasutuslihtsust ja kasutajasõbralikkust ning koostada väljavalitud seadmele rakendamiseks sobiv mõõtmismetoodika ja testida selle toimivust reaalsetel ehitusobjektidel.

Kattekihtide paksuste mõõtmine toimub täna puuraugumeetodil. Selle meetodi puuduseks on ajamahukus, aga ka katte mõningane kahjustamine. Ajamahukus omakorda tähendab, et tegemist on suhteliselt kalli lahendusega nii kontrolli teostaja kui liikluse seisukohalt. Eelnimetatud põhjustel on puuraukude arv katte paksuse kontrollimiseks 1 km kohta piiratud 8-ni, millest saadakse 4 keskmist väärtust 2-rajalisel sõiduteel - st. 2 väärtust kummalgi sõidurajal, mis teeb sammuks 500m.

Kattekihtide paksusi on püütud mõõta erinevate mittepurustavate seadmetega, millest Eestis on kasutatud maaradarit. Maaradar on hetkel ka ainus seade, mis reaalsetel võimaldab katte paksuste pidevmõõtmist ja teeb seda liikluskiirusel. Viimase kasutamine on küll ka täna põhimõtteliselt võimalik, kuid maaradariga mõõtmise puuduseks on asjaolu, et kihtide vaheline piir alati määratav. Kogemuslikult on erinevate kihtide vaheline piir üldjuhul määratav siiski ca 50% ulatuses kattest. Lisaks vajab maaradar katte paksuse mõõtmistel piisava täpsuse saavutamiseks kalibreerimist. Seega ei saa maaradar olla katte paksuste mõõtmisel ainsaks lahenduseks ning vajab enda kõrvale meetodi, mis võimaldab mõõtmistega katta ka need osad kattest, mille paksust maaradariga ei ole võimalik tuvastada. Kuigi seda on võimalik teha nn. puuraugumeetodil, on selle kasutamine aeganõudev, ning lõhub uut katet.

Maailmas on otsitud kihtide paksuste mittepurustavaks mõõtmiseks välja töötatud erinevaid lahendusi. Käesolevas töös on mõned neist ka välja toodud koos omavahelise võrdlusega ning valitud objektidel katsetamiseks kõige sobivamad ning töötati välja metoodika katte paksuse mittepurustavaks mõõtmiseks.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

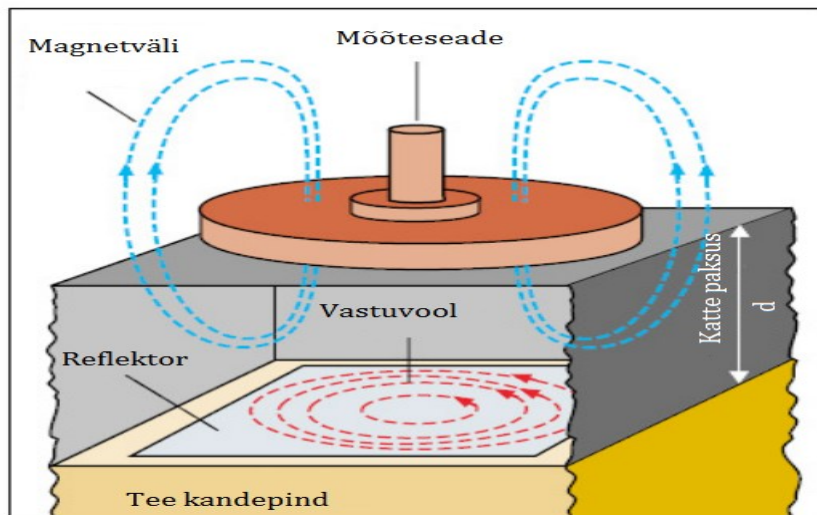
1. KATTE PAKSUSE MÕÕTMISE SEADMETE ÜLEVAADE

Peatükis käsitletakse erinevatel tehnoloogiatel põhinevaid mittepurustavaid katte paksuse mõõtmiseks sobivaid seadmeid, tuues välja nende plussid ja miinused [1].

Pulss-induktsioontehnoloogial põhinev mõõtmine

Pulss-induktsioontehnoloogial põhinevad elektromagnetilised (*ingl. eddy current*) kihtide paksuse mõõtmise seadmed nagu Isoscope MP30 (tootja Fischer) ning MIT-SCAN (tootja MIT). Need seadmed töötavad analüüsides elektromagnetvälja tugevust reflektorites, mis tekkis mõõteseadme magnetvälja impulsside tagasipõrkumisel. Antud seadme peamiseks negatiivseks küljeks võib lugeda seda, et mõõteseade on väga tundlik lähedal paiknevate metallist esemete suhtes, nt. mõõtja turvajalanõude armatuur. MIT mõõtmeseadme puhul on minimaalseks kauguseks muudest metallist objektidest nt. 1,2 m pörkepiirdest, vähemalt 2,5 m lähedal parkivatest autodest ning 60 cm teisest lähimast reflektorist. Antud meetodi puuduseks on vajadus reflektorite paigaldamiseks enne katte paigaldamist ning paigalduskohtade üpris täpne fikseerimine. Mõõtmiseks liigutatakse mõõtmisseade täpselt üle reflektori ning instrument ise registreerib elektromagnetise välja kaudu indutseeritud elektromagnetvälja tekkimisele reflektoris, mille järgi seade arvutab välja seadme ja reflektori vahelise kauguse.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 1. Illustratsioon sellest, kuidas toimub katte paksuse mittepurustav mõõtmine elektromagnetvälja mõõtmise kaudu

Tabel 1. Reflektorite elektromagnetväljade mõõteseadmete Isoscope MP30 ja MIT-SCAN võrdlus

	Isoscope MP30	MIT-SCAN-T
Seadme kaal	25 kg	3,5 kg
Mõõtmisulatus	3 kuni 30 cm	0 kuni 45 cm
Kalibreerimine	Peab ise kalibreerima	Kalibreerimine käin Saksamaal
Reflektor	Isekleepuv foolium (30x45cm) – saab kalibreerida kuue erineva suurusega reflektori jaoks	Diameeter 7 kuni 30 cm, 1 mm paksusega terasest ringikujuline plaat. Võimalik kasutada muu kujuga reflektoreid
Täpsus	$\pm 0,5\%$	1 mm $\pm 0,5\%$
Temperatuur	5 kuni 40 °C	-5 kuni 45 °C

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Muud	Mõõteseade peab olema täpselt keskel reflektori kohal	Reflektor ei pea asetsema täpselt mõõteseadme keskel
-------------	---	--



Joonis 2. Kattekihtide paksuse mõõtmine MIT-SCAN mõõteseadmega (vasakul). MIT-SCAN mõõteseadme juhtpaneel (paremal)



Joonis 3. Mõõtmiste teostamine Isoscope MP30 seadmega mõõteraami pealt (vasakul). Kihtide paksuste mõõtmine käsiseades (paremal).

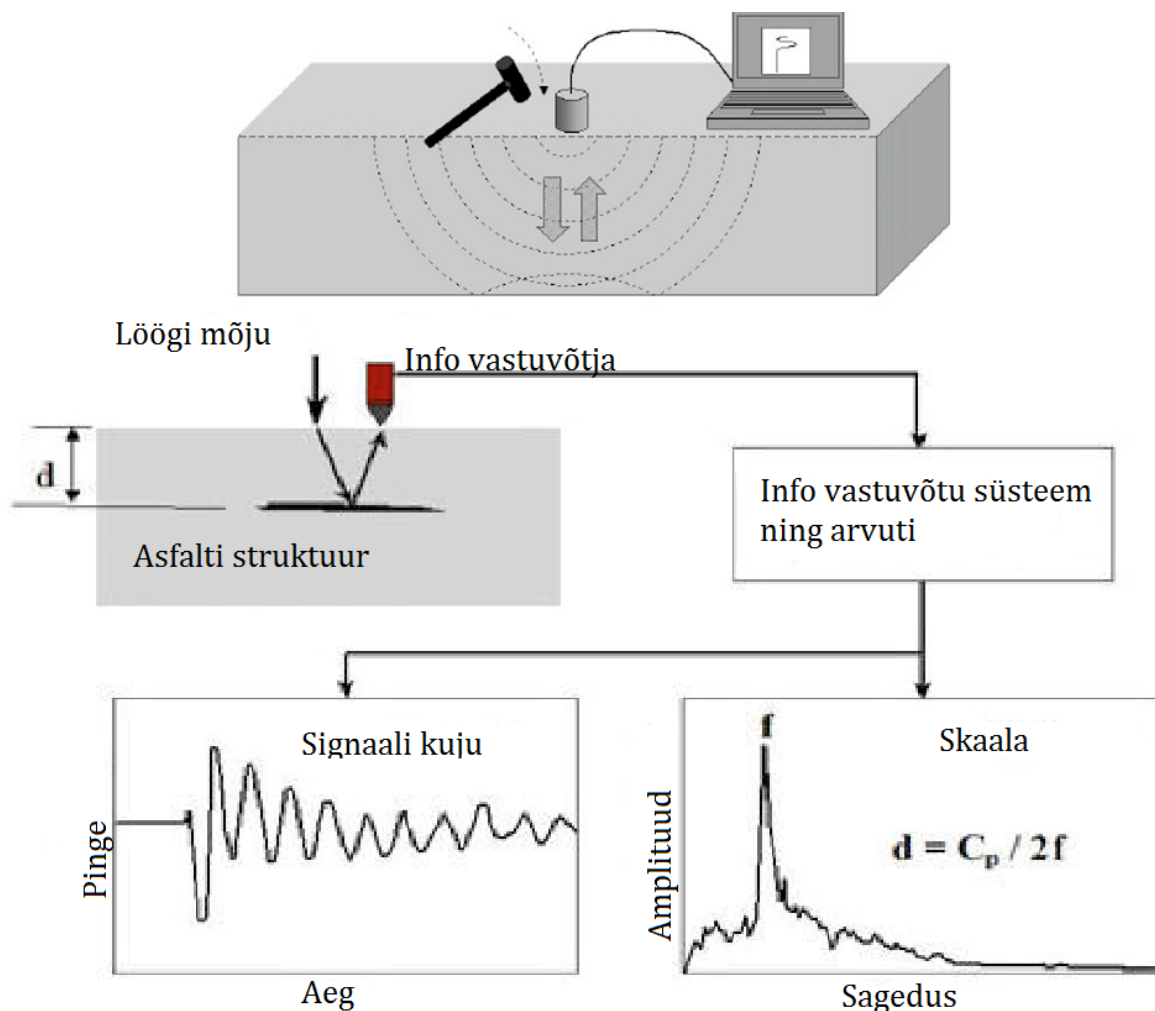
Löögilainete mõõtmine

Enamus seadmeid töötavad põhimõttel kus mõõtetavas kihis tekitatakse lained mehaaniliselt, ning seadmed registreerivad nende lainete tagasipeegeldumise.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Siinkohal on võrdluseks valitud kolm sellist seadet - DOC-500, toodetud Germann Instruments poolt, IEI-C, toodetud Impact-Echo Instruments poolt ning Concrete Thickness Gauge CTG-1T, toodetud Olson Instruments poolt.

Need mõõteseadmed töötavad analüüsides tagasi peegelduvaid võnkeid. Instrumendi haamrit või vasarat kasutatakse võngete tekitamiseks, mida mõõteseadme tajub pärast nende võngete tagasi peegeldumisel. Seda süsteemi saab samuti kasutada pragude ning tühimike olemasolu kindlaks tegemisel, määramisel pragude sügavuseks ning samuti saab sellega ka mõõta asfaldi tugevust.



Joonis 4. Löögilainete mõõtmisel põhinevate seadmete tööpõhimõte

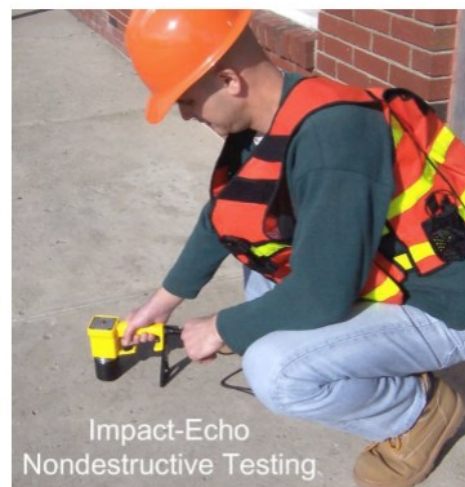
Meetodi eeliseks on, et need mõõteseadmed ei vaja reflektorite paigaldamist ning signaalid ei ole mõjutatavad terasest esemetest. Peamine puudus on selle

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

tehnoloogia ebatäpsus, nimelt selle mõõtetäpsus on 3 kuni 5% kogupaksusest. Näiteks 30 cm paksusega kihil võib see eksimus tulla 1,5 cm ning see pole vastuvõetav mõõtetulemus. Teiseks puuduseks võib välja tuua asjaolu, et kui mõõdetav kiht on jäigal aluspinnal, ei pruugi seade alumist jäika kihti eristada mõõdetavast kihist.



Joonis 5. DOC-500 seade (vasakul). Mõõtmine DOC-500 seadmega (paremal)



Joonis 6. IEI-C seade (vasakul). Mõõtmine IEI-C seadmega (paremal)

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



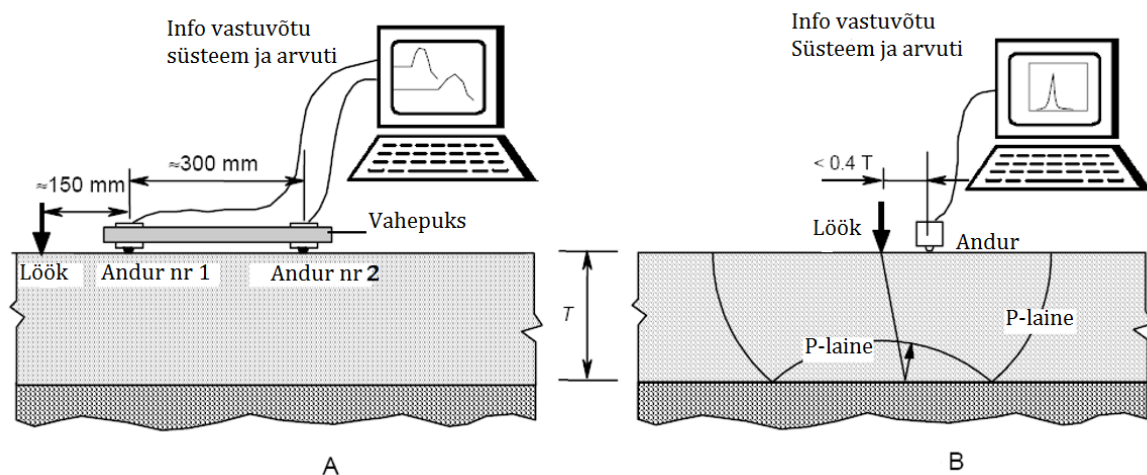
Joonis 7. CTG-1T seade (vasakul). Betoonikihi mõõtmine CTG-1T seadmega (paremal)

Lööklaine kiiruse mõõtmine

Osad seadmed kasutavad kattekihi paksuse määramiseks löögi poolt tekitatud lainete kiiruse mõõtmist. Sellesse kategooriasse kuuluvad näiteks alljärgnevad seadmed: C-570 Impact Echo System, toodetud DGSI poolt, IEI-B, tootjaks Impact-Echo instruments, Portable Impact Echo System (PIES), tootjaks Qualitest™ ning DOC-1000, tootjaks Germann Instruments.

Sellised seadmed vajavad kalibreerimist. Kalibreerimiseks on vaja mõõdetava kattekihiga identsete omadustega ning teadaoleva paksusega kihti. Kalibreerimiseks mõõdetakse sellel laine tagasipeegeldumise kiirus.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 8. Plaadi paksu mõõtmise kaheastmeline protseduur (ASTM C1383): A - laine kiiruse mõõtmine ja B kihi paksuse mõõtmine

Selle tehnoloogia eeliseks on, et lainete kiiruse mõõtmiseks pole vaja paigaldada kattekihtide vahele reflektoreid ning erinevad terasest asjad ei mõjuta mõõtmistulemusi. Selle tehnoloogia peamine puudus on suhteliselt suur mõõtmisviga. Vea suurus võib olla isegi 3% kogupaksusest. 25 cm paksuse kihi veakõrgus võib olla juba 7-8mm, mis ei ole vastuvõetav tulemus.



Joonis 9. C-570 seade (vasakul). Mõõtmised C-570 seadmega (paremal)

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

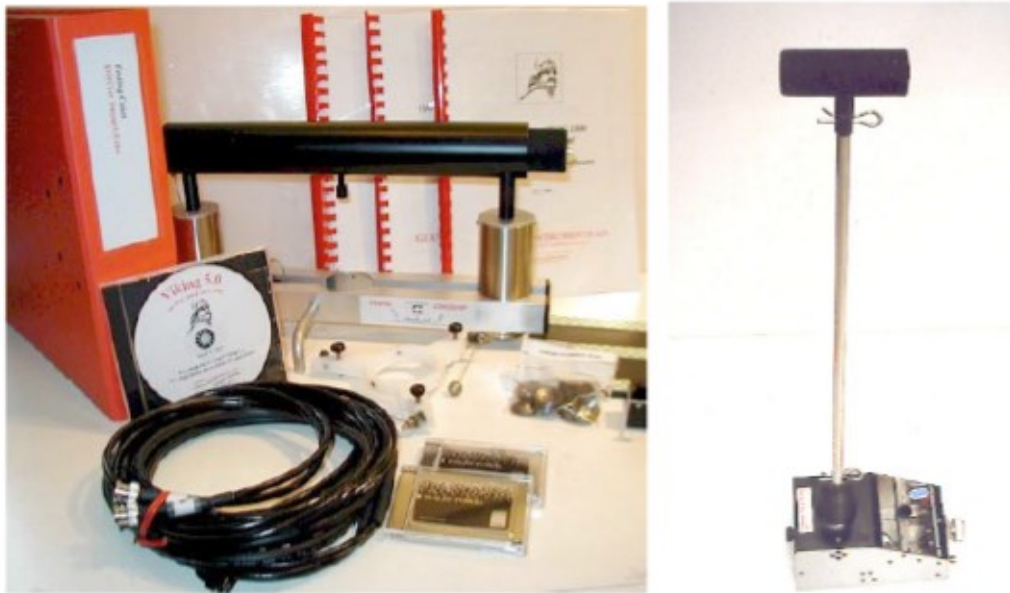


Joonis 10. IEI-B seade



Joonis 11. PIES seade (vasakul). Mõõtmised PIES seadmega (paremal)

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



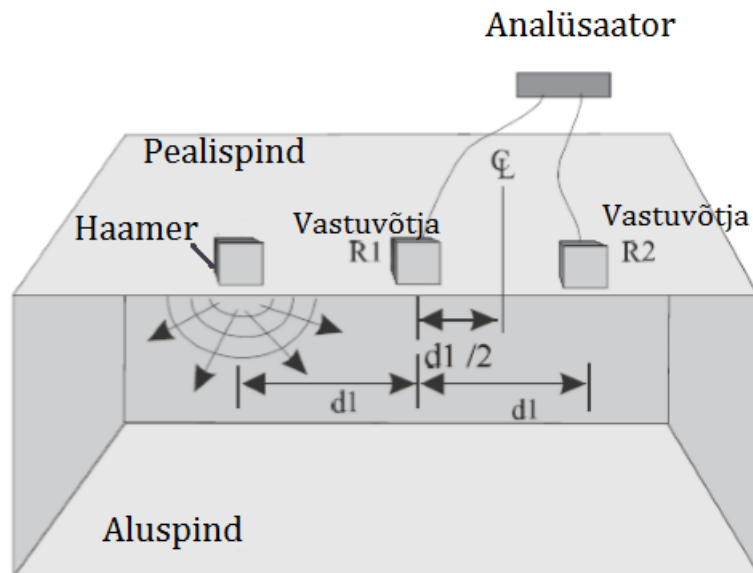
Joonis 12. DOC-1000 seade (vasakul). DOC-1000 seadmega (paremal)

Lööklaine mõõtmine pinnalainetuse spektraalanalüüsiga (SASW)

On teada kaks kaubanduslikku seadet, mis töötavad lööklainete mõõtmise spektraalanalüüsiga põhimõttel. Nendeks on CTG-1T-SW, toodetud Olson Instruments poolt ja teiseks on Portable Seismic Properties Analyzer for Pavements (PSPA-P), mis on toodetud Geomedia Research and Development poolt (GRD).

SASW meetod kasutab pealispinnale iseloomulike hajuvaid laineid, mille kaudu hinnatakse mitmekihiliste struktuuride poolt tekitatud murdumisi nendes lainetes. Selle tehnoloogia juures kasutatakse kahte vastuvõtjat, et mõõta asfaldikihi omadusi. Mõlemad vastuvõtjad on asetatud pealispinna peale ning haamri või vasaraga tekitatakse lained.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 13. Löögilaine mõõtmine pinnalainetuse spektraalanalüüsiga (CTG-1T-SW)

SASW tehnoloogia mõõtmistäpsus on ca 5% kogu katte paksusest. Kui katte paksuseks oleks 25 cm, siis tulemuse viga võib tulla kuni 1,2 cm. Need SASW tehnoloogia seadmed ei ole tegelikult spetsiaalselt kattekihtide paksuste mõõtmiseks loodud ning seega saadud andmete analüüs või andmete töötlemine võib olla antud tehnoloogia puhul vajalik.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 14. CTG-1T-SW seade (üleval) ning mõõtmine CTG-1T-SW seadmega (all)



Joonis 15. PSPA seade

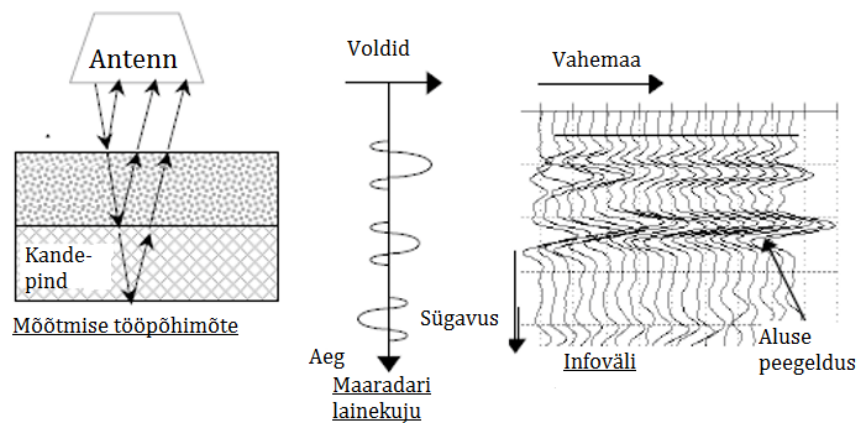
Maaradar (GPR)

Maaradari tootjaid on erinevaid. Eestis on teede mõõtmiseks kasutatud peamiselt Mala ja Geophysical Survey System (GSSI) maaradareid.

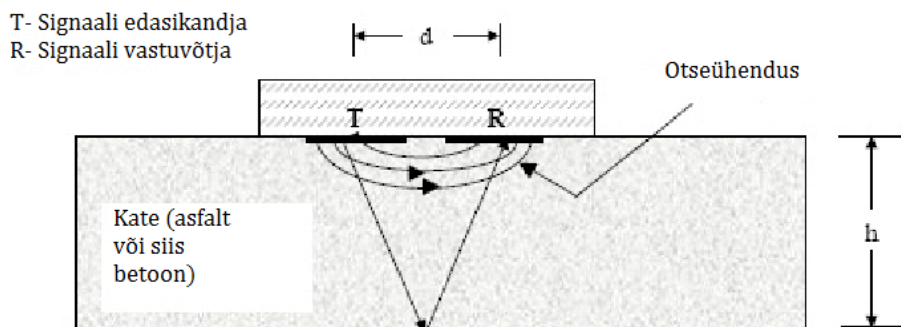
Maaradari tehnoloogia kasutab elektromagnetilisi impulsse, et iseloomustada või avastada muutusi aluspinna kihtides elektromagnetvälja abil. Maaradari tehnoloogia kasutab seadmel antenni, mis kiirgab lühikesi elektromagnetilisi impulsse ja võtab vastu tarindist tagasi peegeldatud impulsse. Tagasipeegeldunud impulsid erinevad algsetest, mis tuleneb nende tagasipeegeldumise kohast ja tarindikihtide omadustest, tehes võimalikuks tagasipeegeldunud impulsside põhjal kihtide omaduste ja paksuste hindamise. Antenne on saadaval kesksagedusega vahemikus 25 kuni 3,000 MHz. Madalam sagedus annab parema kihtide läbistuse aga on ebatäpsem ning vastupidi - mida suurem on sagedus, seda väiksem kihtide läbistusvõime aga täpsem tulemus.

Kasutusel on kahte erinevat tüüpi maaradareid ning nende erinevus seisneb antenni rakendusest: Maa-paar antennid, mis on otseses kontaktis katte pinnaga. Selliste antennidega maaradar on väga mugav ning sobiv sügavamale tungimiseks, et tuvastada deformatsioone või objekte maa sees. Teiseks on õhk-paar antennid, mis paigaldatakse sõiduki külge ning mis ei vaja mõõdetava pinnaga kontakti. Need seadmed võimaldavad andmete kogumist suuremal kiirusel.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 16. Õhk-paar antenni tööpõhimõte



Joonis 17. Maa-paar antenni tööpõhimõte

Maaradari eeliseks on mõõtmise ja andmete pidevus. Samas vajab maaradari andmete tõlgendamine spetsiifilisi oskusi ja kogemusi andmete järeltöötlusel spetsiaalse tarkvaraga. Maaradari kasutamisel kattekihtide paksuse mõõtmisel tuleb arvestada üksikmõõtmise piiratud täpsusega, see võib ulatuda 5 kuni 10% ning see ei ole aktsepteeritav tulemus. Samuti ei pruugi maaradar kattekihtide paksust korrektselt määrata, kui betooni/asfalti kiht ning alumine kandev kiht pole seadme jaoks piisavalt hästi eristatav. Seetõttu ei sobi maaradar üksi mõõtmisteks, kus nõutav täpsus on suurem. Samas on maaradar ainus mõõtmisseade, mis võimaldab mõõtmisi teostada pidevalt.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 18. GSSI maaradari õhk-paar antennid (vasakul). Maapaar-antenniga varustatud maaradar (paremal)

Mõõteseadmete kokkuvõte ja soovitused

Mõõtesead	Tehnoloogia	Täpsus	Puudused
Isoscope MP30 Road	Pöörivool reflektorites	$\pm 0.5\%$	Seadmega mõõtmiseks on vajalikud spetsiaalsed reflektorid. Mõõtesead on tundlik kõikidele lähedal paiknevate metallist esemete suhtes. Mõõtesead peab mõõtmisel asetsema täpselt reflektori keskel. Vajab seadmele spetsiaalset kalibreerimist.
MIT-SCAN		$1 \text{ mm} \pm 0.5\%$	Seadmega mõõtmiseks on vajalikud spetsiaalsed reflektorid. Tundlik kõikide lähedal paiknevate metallist esemete suhtes.
DOC-500		$\pm 0.5\%$	Seadme kalibreerimine on keeruline.
IEI-C			Tühimikud pinnases mõjutavad mõõtetulemusi.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

CTG-1T	Löögilaine mõõtmine	($\pm 2\%$ kui on kalibreeritud)	Seade ei pruugi eristada erinevaid kihte, kui alumised kihid on väga jäigad.
C-570	Löögilaine kiiruse mõõtmine	$\pm 3\%$ ($\pm 2\%$ kui on kalibreeritud)	Seadme kalibreerimine on keeruline, kuid on ka kasutatav ilma kalibreerimiseta.
IEI-B			Tühimikud pinnases mõjutavad mõõtetulemusi.
PIES			Seade ei pruugi eristada erinevaid kihte, kui alumised kihid on väga jäigad.
DOC-1000			
CTG-1T-SW	Löögilaine spektraal-analüüs	$\pm 3\%$ ($\pm 2\%$ kui on kalibreeritud)	Seadme kalibreerimine on keeruline, kuid on ka kasutatav ilma kalibreerimiseta.
PSPA-P			Tühimikud pinnases mõjutavad mõõtetulemusi. Seade ei pruugi eristada erinevaid kihte, kui alumised kihid on väga jäigad.
Maaradar	Maaradar	± 5 kuni 10%	Seadme kallis hind ning mobilisatsioon. Andmetöötlus on keerukas Seadme mõõtetulemuse viga võib olla väga suur.
GSSI			Maaradar ei pruugi kattekihtide paksust korrektselt määrata, kui betooni/asfaldi kiht ning alumine kandev kiht pole seadme jaoks piisavalt hästi eristatav.

Eeltoodud andmete põhjal eristuvad oma omaduste poolest kaks seadet, sobivad katte paksuse mõõtmiseks - MIT-SCAN ja maaradar. MIT-SCAN eeliseks kõigi teiste seadmete ees on eeltoodud andmete põhjal üksikmõõtmise täpsus ($1\text{mm} \pm$

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

0,5%), mis on võrreldav kate paksuse laboratoorse mõõtmisega saavutatava täpsusega, kusjuures seade ei vaja mõõtmiseks eelnevat kalibreerimist. MIT-SCAN puuduseks on vajadus mõõtmiskohtade määratlemiseks juba enne katte paigaldamist, st. hilisem mõõtmiste teostamine on piiratud eelnevalt valitud kohtadega, kuhu on paigaldatud reflektorid. Puuduseks võib lugeda ka vajadust arvestada mõõtmiskohtade valikul teiste metallist objektidega. Maaradari suureks eeliseks teiste seadmete ees on võime mõõta väga suurt hulka punkte, st. teostada mõõtmisi pidevalt. Maaradari puuduseks on täiendava kalibreerimise vajadus ning analüüsi töömahukus ning võimalus, et huvipakkuvate kihtide piirid ei eristu. Lisaks sellele on ka maaradari mõõtetäpsus natuke liiga ebatäpne, et see sobiks kattekihtide mõõtmiseks. Eeltoodu põhjal tundub parim kombineeritud lahendus, kus need kaks mõõtmismeetodi on kombineeritud ühtseks mõõtmiseks, kus maaradari roll on tuvastada võimalikke kihipaksuste vähenemisi reflektorite vahel ning avastada kohad, kus kihi paksus võib olla vähenenud alla lubatud piiri. Maaradari mõõtmistäpsusest tulenevalt võib esineda siiski vajadus nendes kohtades teostada kontrollpuurimised.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

2. HISPEQ-KOHTUMISE KOKKUVÕTE

HISPEQ-programmist ülevaate saamiseks korraldati projekti raames 22.11.2016 kohtumine TRL'is. HISPEQ tähistab akronüümi liikluskiirustel teostatavate mõõtmiste spetsifikatsioonide väljatöötamise programmist (**HI**gh-**SP**eed survey **EQ**uipment). Maa-radari uuringute eksperdid Mark Thomas, Adam Cook, Will Throssel andsid ülevaate HISPEQ-programmist ja selle eesmärkidest üldiselt ning selgitasid põhjalikumalt programmi tulemeid maaradari kasutamist puudutavates küsimustes. Selleks, et hinnata teedevõrgu katendite seiskorda ning plaanida teehoiuprogramme, tuginevad Maanteeametid suuresti kvaliteetsetele andmetele. Liikluskiirusel teostatavad uuringud on muutunud selliste andmete saamisel üheks olulisimaks sisendiks, andes infot, mis iseloomustavad nii teekatte kuju kui ka teekatte seisukorda, viimastel aastatel ka katendi tugevust. Nendele andmetele annab eelise asjaolu, et andmeid saab koguda, häirimata liiklusvoogu. Samas võivad need pakkuda ka uut andmestikku, mille kogumine oleks traditsiooniliste uuringute puhul ebapraktiline. Nendel uuringutel on madalam kilomeetri hind kui aeglastel kiirustel toimuvatel uuringutel, samas pakuvad liikluskiirusel teostatavad uuringud täpsemat ja pidevamat infot, mis ei ole mõjutatud kellegi subjektiivsusest või ebatäpsusest, mis paratamatult teataval määral kaasneb manuaalsel mõõdistamisel. Liikluskiirusel teostatavad uuringud toovad endaga kaasa olulisi praktilisi eeliseid teede seisukorra hindamiseks, toetamaks tugevat varahaldust (PMS-süsteemi). Siiski, erinevates riikides on hulk eeskirju, mis määravad nõuded mõõdistamiste seadmetele, mõõdistamiste sagedused ning andmete kirjeldamisele andmebaasides. Igal riigil on selleks omad nõuded ning erinevad üksteisest mingil määral. Selles olukorra peamiseks põhjuseks on standardite puudumine paljude mõõtmiste puhul. Neil juhtudel, kus vastavad standardid on olemas (nt profiilimõõtmised), on mõõtmiste praktilisi kasutusvõimalusi siiski märkimisväärselt piiratud ning seetõttu võib see olla liiga keeruline Maanteeameti jaoks, et seda mõista. Seetõttu algatati 2014 aasta mais HiSPEQ-nimeline uurimisprogramm (*CEDR 2013 Ageing Infrastructure Management*) mille eesmärk oli arendav nõustamine ja nõu andev suunamine, et Maanteeamet mõistaks ning tutvuks liikluskiiruseliste mõõteseadmetega ning aidata neil täpsustada mõõtmiste nõudeid mõõtmiste ja andmete kvaliteedile ja töötamise tingimustele. HiSPEQ on keskendunud aspektile, et liikluskiiruseliste

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

mõõteseadmetega mõõtmine aitab parandada teede tugevusomaduste, kuju ja seisukorra hindamist.

Toetamaks näidisdokumentatsiooni loomist, on HiSPEQ programmi raames läbi vaadatud üksikasjalikult nii olemasolevad kui ka arenduses olevate mõõtmistega seonduv, eesmärgiga välja pakkuda nõudeid katendi kulumiskihi ja tarindikihtide liikluskiiirusel mõõtmisteks. Need nõuded sisaldavad nii andmete kogumist kui ka seisundi parameetrite tuletamist kogutud andmetest, et hinnata katte tugevuslikku olukorda. Juhised on välja töötatud kaasates malle, mis aitavad Maanteeametitel mõista tehnilisi nõudeid ja mõju erinevate tasandite otsustele ja kasutatavate andmete täpsust. Antud projekt pakub ka kvaliteedi tagamise kriteeriume, mida tuleb arvestada täpsel mõõdistamisel. Loodetavasti aitavad HiSPEQ juhiste tehnilised nõuded täpsustada riiklikke juhendeid liikluskiiirusel mõõtmiste korraldamiseks. See aitab parandada nende uuringute väärtust ning efektiivsust.

Antud projekt keskendub liikluskiiirusel teostatavate uuringute andmete kogumisele, mille põhjal saab hinnata katendi erinevaid omadusi, sh:

- Katte kuju
- Katte visuaalne seisukord
- Katendikihid
- Katte läbivajumid

HiSPEQ-programmi eesmärgid on:

- Teha Maanteeametitele kättesaadavaks juhendid, mis aitaksid Maanteeametitel defineerida nende nõudeid kõrge-kiiruseliste uuringute jaoks
- Teha kättesaadavaks juhendid, mis aitaksid mõista seadmeid, mida kasutatakse uuringute tegemiseks, et vajaliku informatsiooni koguda
- Luua juhiseid kvaliteetsete andmete edukaks kogumiseks teedevõrkudel

HiSPEQ-programmi eestikeelne kokkuvõte koos viidetega programmi väljunditele - juhenditele ja vormidele, on esitatud töö lisa 6.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

3. Kattekihtide mittepurustava mõõtmise metoodika

Pulss-induktsioontehnoloogial põhinev elektromagnetiline kihtide paksuse mõõtmine

Käesolev metoodika põhineb Saksa standardil TP D-StB 12, mis on välja töötatud *task force: asphalt construction, technical committee: measurement methods* poolt töörühmades *development and application of measurement methods* (Dr.-Ing. Michael Schmalz, Regenstauf juhtimisel) ja *nondestructive measurement methods* (ORR Dipl.-Ing. Gudrun Golkowski, Bergisch Gladbach juhtimisel) ning seda on muudetud sobituma paremini Eesti olude ja vajadustega.

See tehnoloogia on rakendatav kõigi asfalt- ja tsementbetoonist katte ja alusekihtide ning muude seotud või sidumata kihtide paksuse määramiseks tingimusel, et neis kihtides ei ole kasutatud metalli sisaldavaid elemente, nt. metallarmatuuri.

Maksimaalne mõõtmise sügavus on ette antud kalibreerimis protokollis.

Mõõtmiste teostamisel tuleb arvestada seadme tootja poolt toodu piiranguid kasutustingimustele, nt. ilmastikule, kaugusele teistest metalsetest esemetest jms.

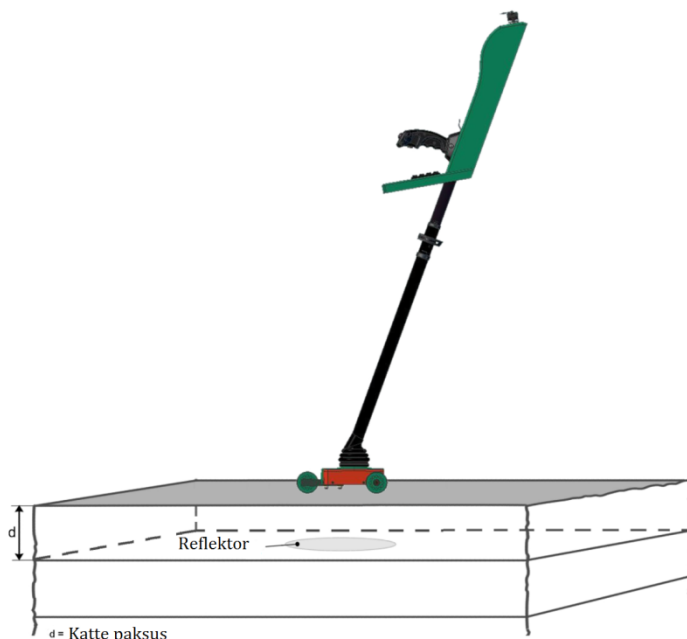
Mõõtemetodi kirjeldus

Antud meetod võimaldab mõõta ühe või mitmete kihi paksust elektrit juhtiva mittemagnetiseeruva reflektori abil, mida kasutatakse asfaldi kihtides ning magnetiseeruva reflektori abil, mida kasutatakse tsemendi sideainetega aluskihtide puhul, põhinedes pulss-induktsioontehnoloogial. Mõõteseadmel on kihtide mõõtmiseks volujuhtiv spiraal ning mõned sensorid, mis paiknevad mõõtmisel vahetult kattekihi läheduses. Kui vool mõõteseadmes lühikese aja jooksul sisse ja välja lülitub, tekitab see spiraal ajas sõltuva, kihte läbistava magnetvälja. See magnetväli (emiteeritud väli) tekitab pöörisvoolu reflektoris, mis hääbib ning omakorda tekitab uue magnetvälja (reaktsiooni väli), mis peegeldub tagasi mõõteseadmesse.

Kattekihi lähedal paiknevad sensorid mõõdavad reflektoril tekkiva reaktsioonivälja hääbumise taset ajas.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Mõõtmistulemused võtavad juba ise automaatselt arvesse ka reflektori enda paksuse.



Joonis 19. Pulss-induktsioontehnoloogial põhinev elektromagnetiline kihtide paksuse mõõtmine

Seadmed ja reflektorid

- Pulss-induktsioontehnoloogial põhinev elektromagnetiline kihtide paksuse mõõtmise seade
- Alumiiniumreflektorid - ümmargused plaadid, mille paksus ja diameeter sõltub mõõdetavate kihtide sügavusest (vt. allolev tabel). Tsementsideainetega töödeldudkihtides on soovitatav kasutada leelisekindlaid reflektoreid

Tähistus	Maksimaalne mõõte sügavus	Materjali kirjeldus
AL RO 07	12 cm	Ümmargune plaat $\varnothing$ 7 kuni 30 cm Materjal: alumiinium; 0.5 kuni 1.0 mm
AL RO 12	18 cm	
AL RO 30	35 cm	

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Kalibreerimine

Kihtide paksuse mõõtmiseks tohib kasutada ainult kalibreeritud seadmeid.

Mõõteseade tuleb kalibreerida enne esmakasutust ning seejärel aastase intervalliga. Täiendav kalibreerimine on vajalik pärast mõõteseadme remonti või tehniliste uuenduste tegemist. Sertifikaat viimase toimunud kalibreerimisega peab olema mõõtmisobjektile kättesaadav. Kalibreerimine peab olema teostatud BAST (German Federal Highway Research Institute) poolt heakskiidetud kalibreerimisasutuses (info: <http://www.bast.de/>).

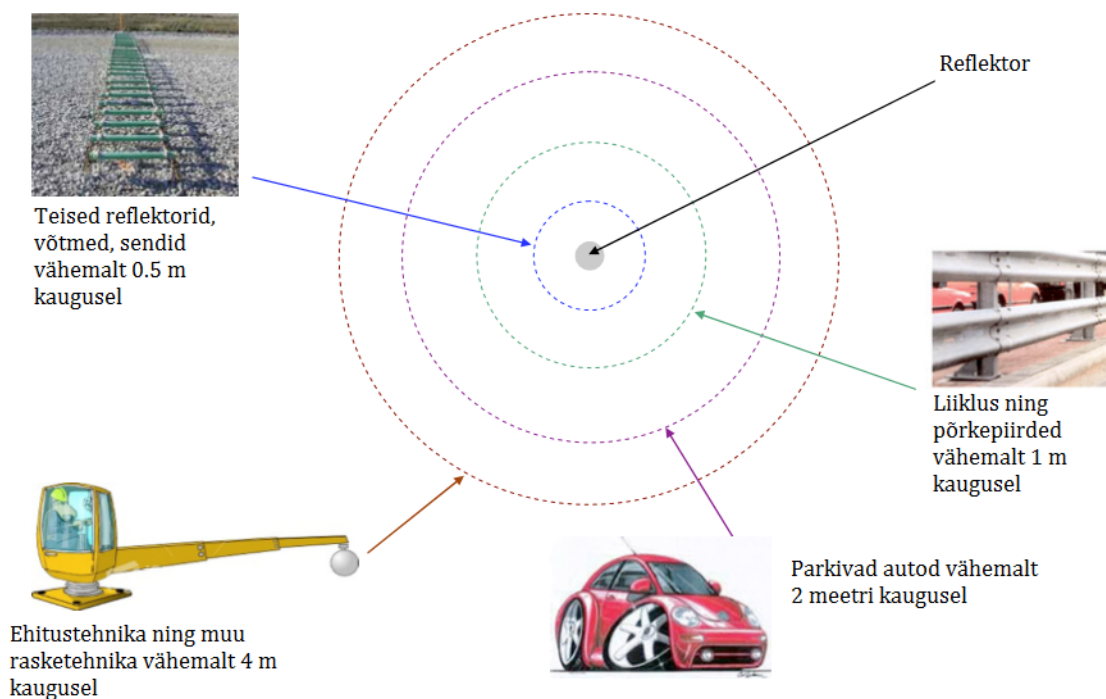
Seadme kontrollimine

Iga päeva mõõtmiste eel tuleb kontrollida mõõteseadme funktsionaalsust. Selleks tuleb mõõteseadmega sõita üle kattesse paigaldatud reflektori ning mõõta välja katte paksus. Sellele järgneb mõõtmine, kus mõõteseadmele paigaldatakse kindla paksusega lisatarvik ning sama koht mõõdetakse uuesti. Erinevus kahe mõõtetulemuse vahel, koos lisaseadmega ning ilma ei tohi erineda rohkem kui seadme täpsus + 1mm (arvestades lisatarviku paksust). Kui see erinevus tuleb suurem, siis peab masina saatma tagasi tootjale, vea tuvastamiseks ning parandamiseks.

Reflektorite paigaldamine

Reflektorid peab paigutama kindla süsteemi järgi ning nende asukoht tuleb märgistada, et pärast mõõtmisel need üles leida. Reflektorid tuleb paigutada vahetult enne iga mõõdetava kihi paigaldamist. Reflektori paigaldamisel peab veenduma, et koht kuhu reflektor asetada, on tasane ning reflektor peab jääma täiesti horisontaalselt. Reflektorid asetatakse (vajadusel kasutatakse sobivat liimi) kinnitatakse eelmise kihile enne mõõdetava kihi panekut. Reflektorile lähemale kui üks meeter ei tohi olla ühtegi metallist eset, suuremate esemete korral võib olla antud signaalid mõjutatud nendest metallist esemetest. Kui mõõdetaval alal on mitu reflektorit, peavad nende vahelised kaugused olema samuti vähemalt üks meeter.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



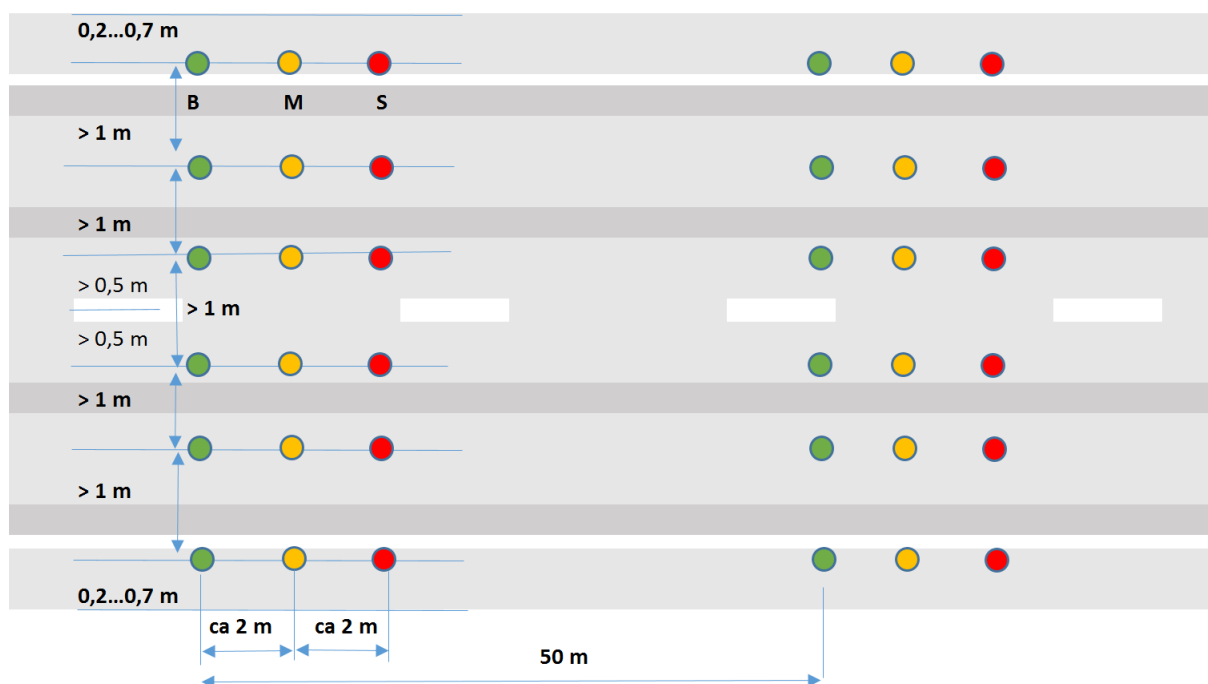
Joonis 20. Reflektorite paigaldamise kaugused erinevatest metallist objektidest

Reflektorid paigaldatakse igal paanil 50m sammuga, 3 reflektorit iga paani ristlõikes kihi kohta. Reflektorite paigalduskohtade märkimise ja ka mõõtmise lihtsustamiseks paigaldatakse esimese/alumise kihi reflektorid paani ristlõikes täpselt ühele joonele (+/-10cm) täpselt +00 või +50 piketile (+/-50cm) ning iga järgmine reflektorite kiht sellest 2 m kaugusele tee kulgemise suunas (teeregistri järgi). Juhul kui paani laius on alla 3 m, paigutatakse ühes kihis paani ristlõikesse 1-2 reflektorit vastavalt võimalustele. Keskmise reflektor paigaldatakse paani keskele, äärmised (vasak ja parem) reflektorid paigaldatakse ca 20-70 cm paani servast, võttes arvesse järgmist:

- Kaugus kõrvalpaani reflektorist peab jääma vähemalt 1 m
- Reflektori kaugus asfaldiveoki ratastest ja laoturi või söötja roomikust tagab reflektori püsimise oma asukohas (üldjuhul piisab 20...30 cm)

Allolev skeem on toodud reflektorite paigutuse näitlikustamiseks 3 kihi korral. Heledama halliga on näidatud kate, valgega teemärgistus ja tumedama halliga veoki rataste jälje orienteeruv asukoht (rattajälgede välimine mõõt ca 2,5 m).

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



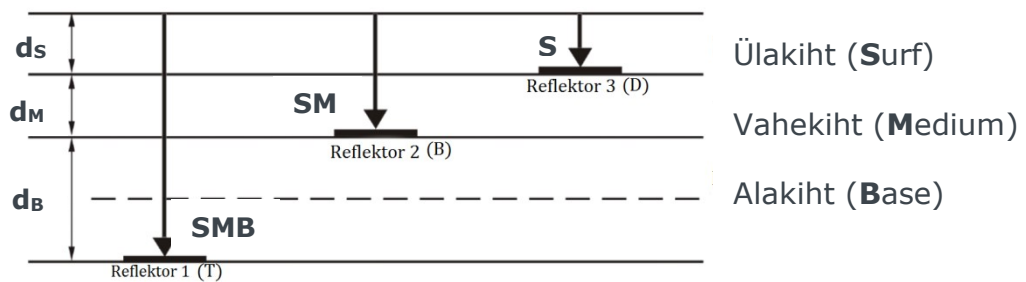
Joonis 21. Reflektorite paigutus tee ristlõikes (B – Base, M – Medium, S – Surface)

Mõõtmine

Reflektorite mõõtmine teostatakse enne katte märgistustöid. Juhul, kui reflektor on paigaldatud projekteeritud teemärgistusest piisavale kaugusele (>15 cm), võib mõõtmised teostada ka pärast märgistustöid. Enne mõõtmist tuleb kindlaks teha reflektori asukoht ning reflektori õige tüüp tuleb sisestada mõõteseadmesse. Mõõtmiseks peab mõõteseadmega sõitma üle reflektori keskkoha ning mõõtmispikkuseks peaks olema ca 1,5 m.

Reflektorite asetus erinevatel kihtidel on näidatud alloleval skeemil:

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



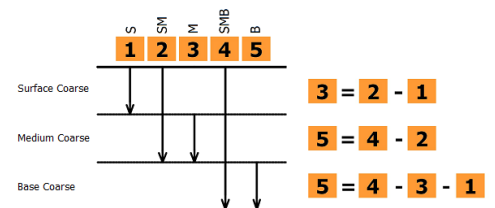
Joonis 22. Mõõtmine pulss-induktsioontehnoloogial põhineva elektromagnetilise seadmega

Paksuse arvutamine toimub alljärgnevalt:

$$d_s (5) = S (1)$$

$$d_M (3) = SM (2) - S (1)$$

$$d_B (1) = SMB (4) - SM (2)$$



Mõõtmisaruanne

Mõõtmisaruanne peab sisaldama järgnevat informatsiooni:

- Mõõtmise aeg ja koht
- Mõõtmisseadme mudeli ja kalibreerimise number ja kuupäev
- Kasutatud reflektorid
- Iga mõõtmispunkti asukoht ja paiknemine tarindis
- Katte paksuse mõõtmise tulemused
- Märkused (nt. reflektorid, mida ei mõõtmistel ei leitud või olid kahjustunud)

Mõõtmisprotokolli näidisvorm on esitatud allpool.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Kattekihtide paksuste mõõtmine								
Töövõtja:			Tellija:					
Teede REV-2			Maanteeamet					Nr: 1
								Kinnitusmärg:
Mõõtmisprotokoll								
Ehitustööde kirjeldus: Maantee 28 taastusremont km 12.150 - 14,150								
Täpsustus: Vasak paan								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mõõtmiskoht			Üksik- mõõtmine	Mõõtmine ja kihi paksus				Märkused
Nr	Pikett/m	Asetus paanil	Kiht 1	Kihit 2		Kihit 3		
			Paksus	Mõõtmine	Paksus	Mõõtmine	Paksus	
-	m	-	mm	mm	mm	mm	mm	-
1	12 150	Vasakul	39	96	57			
2	12 150	Keskel	44	88	44			
3	12 150	Paremal	46	84	38			
4	12 200	Vasakul	37	98	61			
5	12 200	Keskel	40	91	51			
6	12 200	Paremal	42	94	52			
7	12 250	Vasakul	40	99	59			
8	12 250	Keskel	41	92	51			
9	12 250	Paremal	40	89	49			
10	12 300	Vasakul	37	98	61			
11	12 300	Keskel	39	92	53			
12	12 300	Paremal	40	93	53			
13	12 350	Vasakul	38	97	59			
14	12 350	Keskel	38	98	60			
15	12 350	Paremal	41	91	60			
16								
Mõõtmiste-eelne kontroll läbitud: Jah								
Mõõtesead: MIT-SCAN-T3				Koostaja: M. Truu (Teede Tehnokeskus AS)				
Reflektori tüüp: AL RO 07				Töövõtjale: Teede REV-2				
Viimane kalibreerimine: Nr 0021 / 15.09.2016				Tellija: Maanteeamet				
				Kuupäev: 01.11.2016				

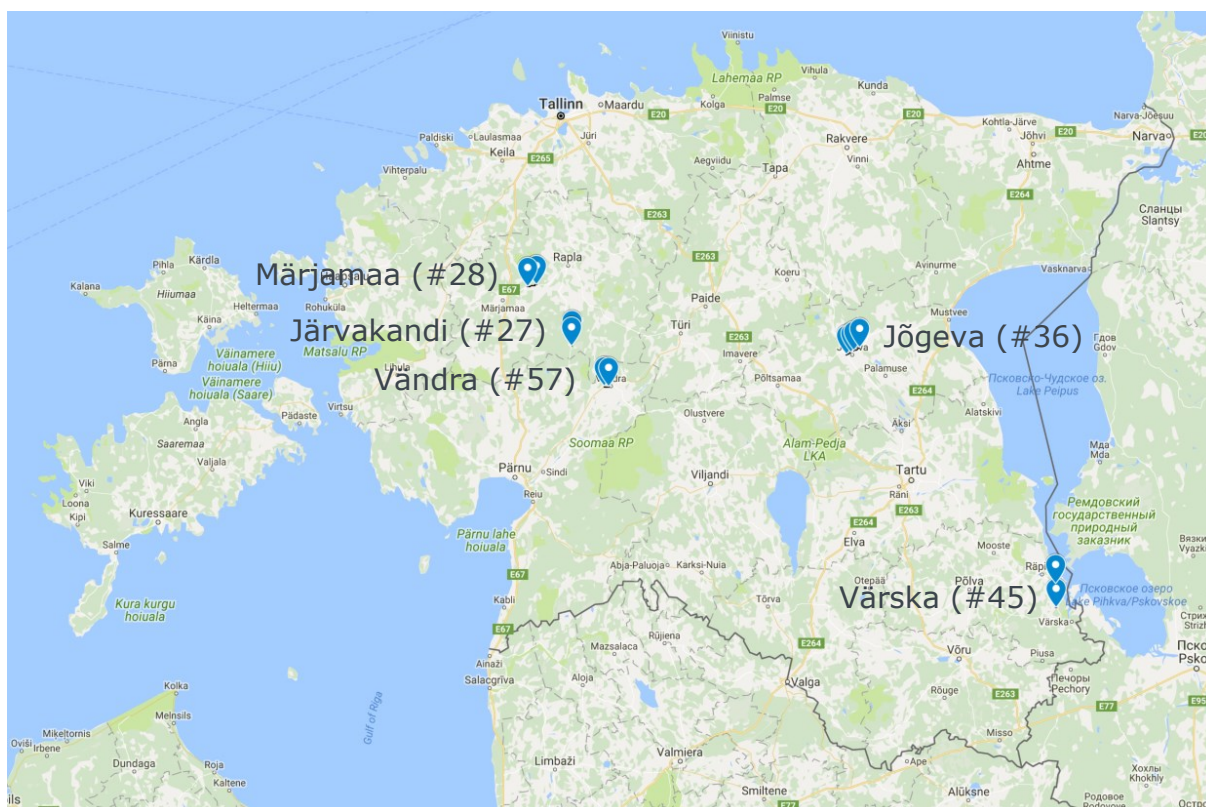
Joonis 23. Kihitide paksuste mõõtmise näidisprotokoll MIT-SCAN seadmega

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

4. Katte paksuste mõõtmised objektidel

Metoodika kontrollimiseks viidi läbi reflektorite paigaldamine ja katte paksuste mõõtmine objektidel. Kokku paigaldati tööde käigus ca 1000 reflektorit. #36 ja #57 käesoleva töö raames ei mõõdetud.

Objekt	Mõõtmisala
Järvakandi #27 km 26,5-32,9	km 26,5 - 28,5 vasak paan suunaga Järvakandi asula poole
Märjamaa #28 km 12,1-21,6	km 12,1 - 14,1 vasak paan suunaga Märjamaa poole
Vändra #57 km 39,7-42,7	km 41,2 - 42,6 vasak paan suunaga maantee 5 poole
Jõgeva #36 km 0,055-4,928	km 0,06 - 1,7 vasak paan suunaga Mustvee poole
Värskas #45 km 69,5-78,2	km 69,6 - 71,6 parem paan suunaga Mikitamäe poole



Joonis 24. Objektide paiknemine

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Järvakandi, Märjamaa ja Vändra objektidel paigaldati kattekihte 2 ja ka reflektorid paigaldati 2 kihis. Kõik paigaldatud reflektorid mõõdeti üles kõrguslikult geodeetiliselt nivelleerimistäpsusega (eesmärk oli tagada mõõtmiste täpsus 20 mm horisontaalselt ja 1 mm vertikaalselt). Jõgeva ja Värskas objektidel paigaldati reflektorid katte ülakehi alla (käesolevas töös ei analüüsitud).

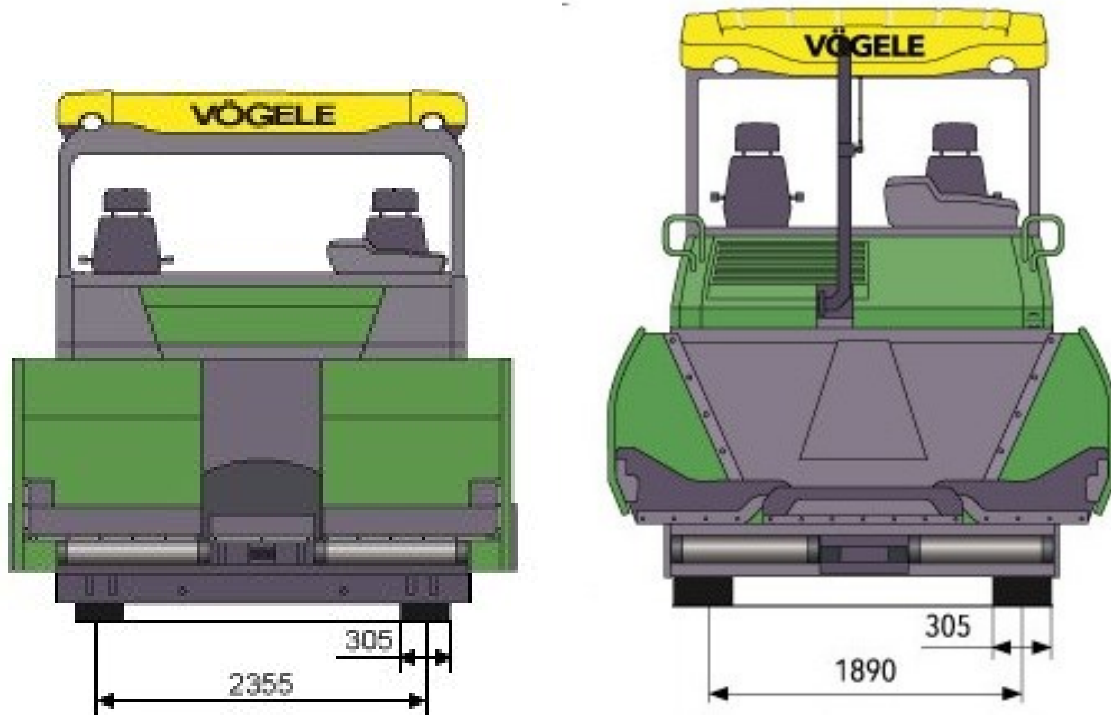
Reflektorid paigaldati vastavalt eelmises peatükis kirjeldatud metoodikale. Reflektorid paigaldati enne asfaldiveoki jõudmist piketimärgini, et võimaldada ka paigaldatud reflektorite geodeetiline mõõtmine. Geodeetilised mõõtmised teostati nii reflektorite pealt kui viimase kihi pealt reflektorite kohalt.



Joonis 25. Asfaldiveoki mõõtmed

Veoauto telje mõõtmed. Rehvide laiuks on 30 cm ning rehvide omavaheline kaugus teljes on 185 cm.

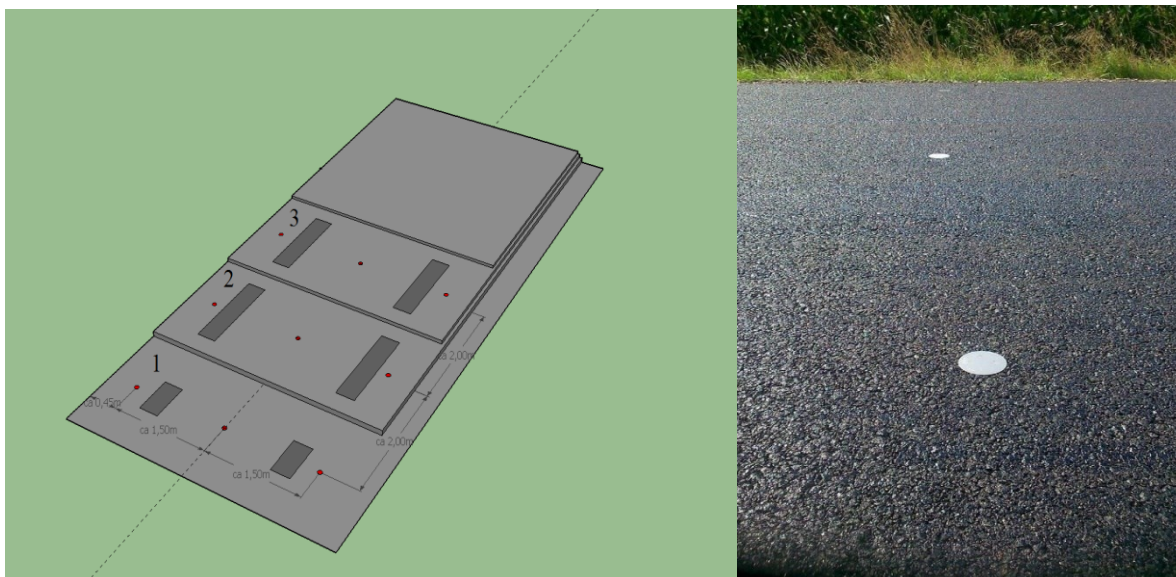
„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 26. Söötja ja laoturi mõõtmed

Vasakpoolsel joonisel on asfaldisegu söötja telje mõõtmed. Asfaldisegu söötja roomikute laius 30,5 cm ning telje vahe 235,5 cm. Parempoolsel joonisel on kujutatud laoturi telje mõõtmed. Laoturi roomikute laius 30,5 cm ning telje vahe 189 cm.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 27. Reflektorite asetus

Reflektorite paigaldus metoodika ühe paani laiusel. Joonisel on kujutatud kõigi kolme masina teljed ning ümmargused reflektorid. See joonis näitab väga hästi kuidas asetada reflektoreid arvestades masina telgesid. Number 1 on kujutatud veoauto telg (õiges mõõtkavas). Number 2 on kujutatud asfaldisegu sөөtja telg (õiges mõõtkavas). Number 3 on kujutatud laoturi telg (õiges mõõtkavas). Samuti on siin välja toodud kuidas ja mis vahega pead reflektoreid paigaldama mitme kihi mõõtmise puhul.

Järvakandi #27 km 26,42...32,86

Aeg objektil: Teisipäev (07.09)

Teisipäev (11.10)

Objektil tööd: Objektile paigaldati kahe kihiline asfaltkate (AC base ja AC surf). Reflektorid paigaldati mõlema kihi alla.

Asfaldi veo asukoht: Reinu karjäär, 40 km ja ~1,5 h edasi-tagasi ots koos laadimisega.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Ilm objektil

Teisipäev (06.09): Hommiku poole oli ilm täiesti selge. Maksimum 5% pilvine. Peale 12 läks pilve ning pilvisus umbes 70%. Terve päev oli sajuta ning kuiv ilm. Temperatuur oli 17 kraadi.

Teisipäev (11.10): Ilm täiesti pilves. Terve päeva peale oli sademete hulk 0. Tuul puudus ning temperatuur oli 4kraadi.

Reflektorite paigaldus

Reflektorid paigaldati vastavalt metoodikale.

Esimese reflektori pikett: 265+00 (vasakul paanil, suunaga Järvakandi keskusesse)

Viimase reflektori pikett: 285+50 (vasakul paanil, suunaga Järvakandi keskusesse)

Reflektoreid paigaldati iga 50 ja 00 piketi kohale.

Aluspind: Esimese kihi (AC base) alla paigaldatud reflektorite aluspinnaks oli vana asfaltkatte aluspinnas. Vana asfaltkate freesiti ülesse. Tegemist oli üpriski ebatasase aluspinnaga, kuid reflektoreid ei asetatud ei muhkude ega lohkude kohale.

Paan: Paani laius oli muutuv 3,60-4,30 m. Alumise kihi (AC base) paksuseks oli 5cm ning pealmise (AC surf) paksuseks oli 4 cm.

Märkused: Kuna tegime koostööd geodeetidega, pidi välja mõtlema süsteemi kuidas reflektoreid tähistada, et fikseerida liikunud reflektoreid. Geodeedid mõõtsid vasaku paanide paigaldatud reflektoreid mõlema kihi puhul. Reflektorid on nummerdatud süsteemiga 1,2,3. Number 1 reflektor asetseb sõiduraja ääres, number 2 sõiduraja keskel ning number 3 asetseb tee telje ääres.

Liikunud reflektorid

AC base: 265+00 (nihkus 1.), 266+00 (nihkus 3.), 278+00 (nihkus 3.), 279+00 (nihkus 3.), 280+00 (nihkus 3.)

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Töö käik

Teisipäev (06.09): Objektil paigaldati 2 km AC base kihti ning selle kihi alla paigutati reflektorid, millega pärast kattekihi paksust mõõta. Objektil olid ka geodeedid, kes tegid enda vajalikud mõõtmised, et arvutada kõrguskasvu.

Teisipäev (11.10): Objektile paigaldati 2km AC surf kihti ning selle kihi alla paigutati reflektorid.

Märjamaa #28 Rapla-Märjamaa km 12,150...14,150

Aeg objektil: Teisipäev (15.09)

Neljapäev (22.09)

Objektil tööd: Objektil paigaldati kahe kihiline asfaltkate (2 km). AC base paigaldati vana stabikihi peale. Reflektorid paigaldati mõlema kihi alla.

Asfaldi veo asukoht: Reinu karjäär, 24 km ja ~1 h 15 min edasi-tagasi ots koos laadimisega.

Ilm objektil

Teisipäev (15.09) Ilm alates kella 8st ilus täiesti selge, päikseline. Sooja oli 14 kraadi ja puhus nõrk tuul. Kella 14 ajal tuli suur pilvemass peale ning taevas oli 100% pilves.

Neljapäev (22.09) Ilm hommikust saati pilves, 70%. Sademed puuduvad ning temperatuur 13 kraadi.

Reflektorite paigaldus

Reflektorid paigaldati vastavalt metoodikale.

Reflektoreid paigaldati iga 50 ja 00 piketi kohale, vasakul paanil, suunaga Rapla-Märjamaa.

Esimese reflektori pikett: 121+50, viimase reflektori pikett: 141+50.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Vahepeal oli lõik, kus pandi poole paani alla ka geovõrk ning selle koha peal oli ka asfaldi kiht paksem, 5cm. See lõik algas piketist 129+00 ja lõppes 141+00. Geovõrgu peale jäi kolmest reflektorist ainult üks, kõige teljepoolsem.

Aluspind: Esimese kihi (AC base) alla paigaldatud reflektorite aluspinnaks oli vana asfaltkihi freesitud pind, reflektoreid ei asetatud ei muhkude ega lohkude kohale.

Paan: Paani tüüplaius 4,08 m. Alumise kihi (AC base) paksuseks oli 4cm ja lõik kus kasutati geovõrku, seal oli paksus 5cm.

Märkused: Kuna tegime koostööd geodeetidega, pidi välja mõtlema süsteemi kuidas reflektoreid tähistada, et fikseerida liikunud reflektoreid. Geodeedid mõõtsid vasaku paanide paigaldatud reflektoreid mõlema kihi puhul. Reflektorid on nummerdatud süsteemiga 1,2,3. Number 1 reflektor asetseb sõiduraja ääres, number 2 sõiduraja keskel ning number 3 asetseb tee telje .

Töö käik

Teisipäev (15.09): Objektil paigaldati 2km AC base kihti ning selle kihi alla paigutati reflektorid, millega pärast kattekihi paksust mõõta. Objektil olid ka geodeedid, kes tegid vajalikud mõõtmised, et arvutada kõrguskasvu.

Neljapäev (22.09): Objektil paigaldati teine asfaltkiht (AC surf). Ka antud kihi alla paigutati reflektorid.

Objekt: #45 (Tartu-Räpina-Värska) km 69,543-78,200

Aeg objektil: 22.08

Objekti tööd: Objektil oli paigaldatud juba esimene asfaldi kiht AC base ning selle nädala jooksul paigaldati teine kiht asfaldi AC surf.

Asfaldi veo asukoht: Tartu, ~80km ning veo aeg edasi-tagasi 2.45-3h

Kasutatud segumargid: AC 16 surf 70/100 ja AC 8 surf 70/100

Ilm objektil

Esmaspäev: Suhteliselt selge ning vahelduva pilvisusega ilm. Temperatuur oli 20kraadi. Päeva sademete hulk 0. Pilvisus ~35%.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Reflektorite paigaldamine

Objekti algus pikett: 695+75, esimene reflektori pikett: 696+00

Viimane reflektori pikett: 716+00 (2km paigaldati reflektoreid)

Reflektoreid paigaldati iga 50 ja 00 piketi kohale vastavalt metoodikale.

Aluspind: Reflektorite aluspinna kiht oli ühtlane, puudusid muhud ja lohud. Aluspinnaks oli esimene asfaltkiht (AC base).

Paan: Kõikidel juhtudel oli paani laius 4m ning kihi paksus 4cm.

Märkused: Kuna tegime koostööd geodeetidega, pidi välja mõtlema süsteemi kuidas reflektoreid tähistada, et fikseerida liikunud reflektoreid. Geodeedid mõõtsid vasaku paanide paigaldatud reflektoreid mõlema kihi puhul. Reflektorid on nummerdatud süsteemiga 1,2,3. Number 1 reflektor asetseb sõiduraja ääres, number 2 sõiduraja keskel ning number 3 asetseb tee telje ääres.

Liikunud reflektorid

Piketil 708+00 puudub keskmine reflektor (veoauto sõitis rattaga ära)

Töö käik

Esmaspäev (22.08): Laotati teise asfaldikihi parempoolset paani (Võõpsu -> Mikitamäe) 695+75 kuni 720+43. Reflektorid paigaldati selle kihi lõigu alla.

Vändra #57 km 41,300...42,750

Aeg objektil: 08.08-11.08

Objektil tööd: Objektile paigaldati kahekihiline asfaltkate (AC base ning AC surf). Asfaldikihid paigaldati vana asfaltkihi aluspinnale. 9.08 paigutati reflektorid base kihi alla ning 10.08 paigutati reflektorid surf kihi alla.

Asfaldi veo asukoht: Raba 39, Pärnu. 48 km üks ots. Edasi-tagasi kulub koos laadimisega ~2 h 15 min.

Kasutatud segumargid: AC 12 surf 70/100 ja AC 16 Base 70/100

Ilm objektile

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Teisipäev: Vahelduva pilvisusega ilm. Päevane sajuhulk 0. Taeva pilve protsent 60%, pigem pilves. Temperatuur oli 18 kraadi.

Kolmapäev: Vahelduva pilvisusega ilm. Päevane sajuhulk 0. Taevas pigem pilves 65%. Päevane temperatuur 18 kraadi.

Reflektorite paigaldamine

Reflektorid paigaldati vastavalt metoodikale

Esimese reflektori pikett: 426+00

Viimase reflektori pikett: 412+00

Reflektoreid paigaldati iga 50 ja 00 piketi kohale.

Aluspind: Esimese kihi (AC base) alla paigaldatud reflektorite aluspinnaks oli vana asfaltkihi ära freesitud kandekiht. Tegemist oli üpriski ebatasase aluspinnaga, kuid reflektoreid ei asetatud ei muhkude ega lohkude kohale.

Paani laiuseks oli 4m. Alumise kihi (AC base) paksuseks oli 6cm ning pealmise (AC surf) paksuseks oli 4cm.

Märkused: Kuna tegime koostööd geodeetidega, pidi välja mõtlema süsteemi kuidas reflektoreid tähistada, et fikseerida liikunud reflektoreid. Geodeedid mõõtsid vasaku paanide paigaldatud reflektoreid mõlema kihi puhul. Reflektorid on nummerdatud süsteemiga 1,2,3. Number 1 reflektor asetseb sõiduraja ääres, number 2 sõiduraja keskel ning number 3 asetseb tee telje ääres.

Liikunud reflektorid

AC base: 419+50 (nihkusid 2 ja 3), 422+00 (nihkusid 1 ja 2), 422+50 (nihkusid 1 ja 2), 424+00 (nihkusid 1 ja 3), 425+50 (ei jõudnud punkti mõõta, veoauto sõitis reflektorite kohale).

AC surf: 414+00 (nihkus 1), 415+00 (nihkus 1), 415+50 (nihkus 3), 418+00 (nihkus 3), 420+00 (nihkus 3), 424+00 (nihkus 2), 424+50 kuni 426+00 (puuduvad 1. reflektorid kuna oli laiendus koht ja paan oli kitsam).

Teisipäev (09.08): Objektil paigaldati vasak AC base paan. Reflektoreid paigaldati selle kihi alla. Geodeedid olid objektil ning mõõdistasid kõrguskasvu muutusi.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Kolmapäev (10.08): Objektil paigaldati vasak AC surf paan. Reflektorid paigaldati selle kihi alla. Geodeedid olid objektil ning mõõdistasid kõrguskasvu muutusi.

Mõõtmised

Puurimised viidi objektidel läbi perioodil 30.10, 01.11 ja 21.11.2016. Puurimiste ja katte paksuse mõõtmiste protokollid on esitatud lisas 1.

Geodeetilised mõõtmised viidi objektidel läbi vahetult reflektori paigalduse ajal ning samades kohtades pärast katte paigaldust. Geodeetiliste mõõtmiste tulemused on esitatud lisas 2.

Reflektorite mõõtmised viidi objektidel läbi perioodil 15-17.10.2016. Kolmel objektil tehti kokku üle 600 mõõtmise: #27: 237, #28: 243 ja #57: 148 mõõtmist. Reflektorite mõõtmiste tulemused on esitatud lisas 3.

MIT seadmega teostatud mõõtmiste täpsuse iseloomustamiseks valiti igal objektil välja iseloomulikud kohad võrdluse tegemiseks MIT-mõõtmiste ja laboratoorsete puurimiste tulemuste vahel. Valiku tegemisel lähtuti 6 kriteeriumist, et tagada nii ekstreemsete väärtuste esindatus, ühtlaste väärsuste esinemine ristlõikes, suurima erinevusega väärtuste esinemine ristlõikes:

1. Kõige väiksemate surf kihi väärtuste esinemine (S_MIN)
2. Kõige väiksemate surf+base kihi väärtuste esinemine (SM_MIN)
3. Surf-kihi väärtuste suurim kõikumine ristlõikes (S_DEV_MAX)
4. Surf+base-kihi väärtuste suurim kõikumine ristlõikes (SM_DEV_MAX)
5. Surf-kihi väärtuste suurim ühtlus ristlõikes (S_DEV_MIN)
6. Surf+base-kihi väärtuste suurim ühtlus ristlõikes (SM_DEV_MIN)

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Tabel 2. Puuraukude valiku kriteeriumite rakendamine

Kood	S-MIN	S-MAX	SM-MIN	SM-MAX	S-DEV-MAX	SM-DEV-MAX	S_MIN	SM_MIN	S_DEV_MAX	SM_DEV_MAX	S_DEV_MIN	SM_DEV_MIN
#27_26600	40	41	89	99	1	10					1	
#27_26750	29	41	87	90	12	3	1					
#27_27000	39	39	82	89	0	7					1	
#27_27150	38	41	88	89	3	1						1
#27_27500	34	47	88	101	13	13			1			
#27_27550	34	46	80	98	12	18		1	1	1		
#27_28150	33	42	92	116	9	24				1		
#27_28250	35	41	87	104	6	17	1					
#27_28400	30	39	82	95	9	13	1	1				
#27_28450	36	42	87	89	6	2						1
#28_12150	35	42	80	88	7	8	1					
#28_12300	33	43	83	89	10	6	1					
#28_12450	41	46	92	94	5	2						1
#28_12850	41	45	76	89	4	13		1				
#28_13400	52	67	107	119	15	12			1			
#28_13650	52	63	102	120	11	18				1		
#28_13750	44	51	105	107	7	2						1
#28_13950	41	61	102	104	20	2			1			
#28_14100	36	37	89	109	1	20				1	1	
#28_14150	38	40	72	89	2	17		1				
#57_41400	40	41	93	102	1	9					1	
#57_41750	41	46	98	128	5	30				1		
#57_41850	42	49	85	113	7	28				1		
#57_41900	32	44	90	102	12	12	1		1			
#57_41950	41	41	81	91	0	10		1			1	
#57_42300	35	41	89	109	6	20	1					
#57_42350	39	51	92	103	12	11			1			
#57_42450	42	49	85	88	7	3						1
#57_42500	39	45	84	86	6	2						1
#57_42600	41	47	81	92	6	11		1				

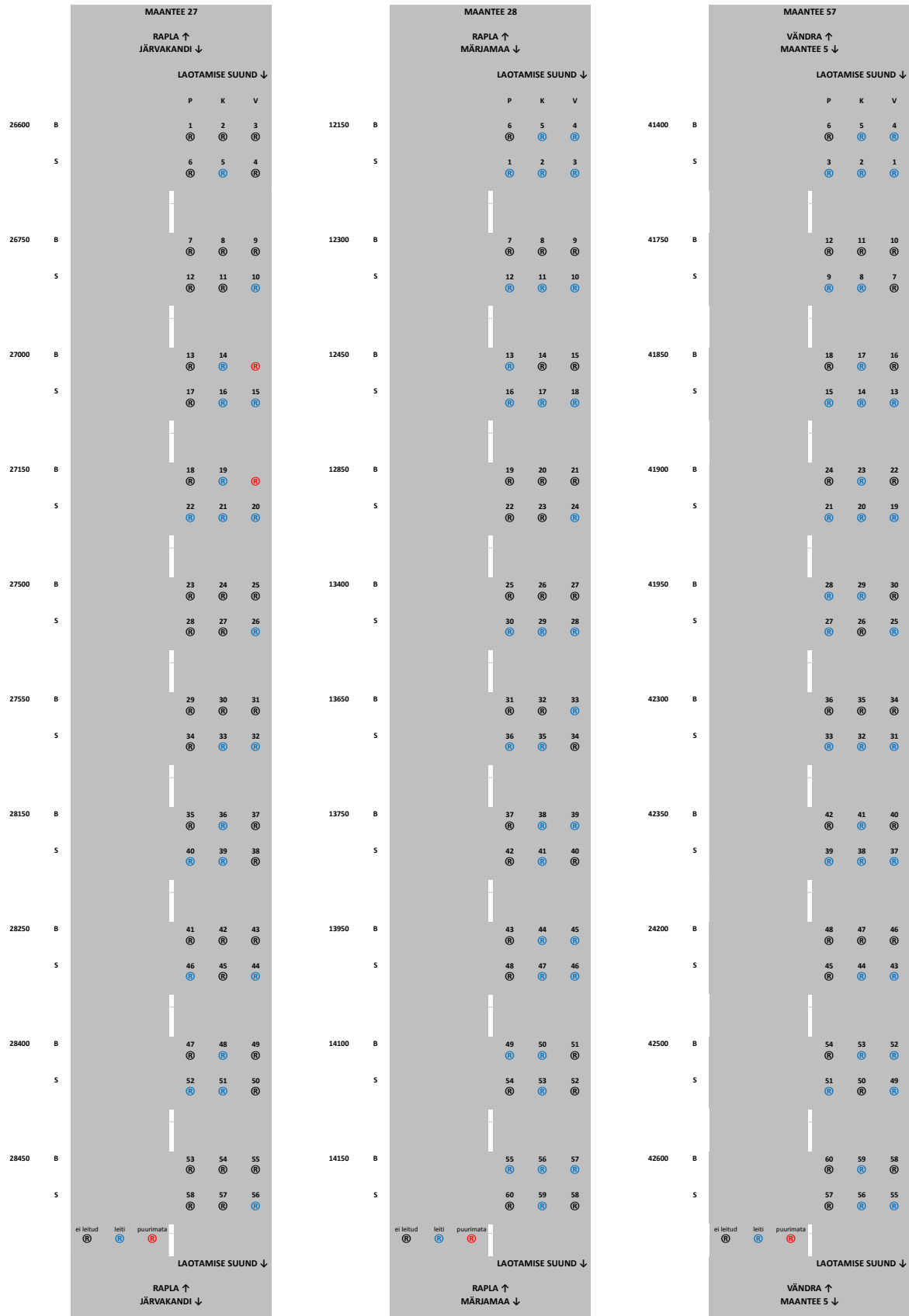
Antud valik ei iseloomusta seega objekti kvaliteet objektiivselt vaid eesmärk oli saada tagasisidet mõõtmiste täpsuse kohta erinevates tingimustes ning hinnata erinevate meetoditega teostatud mõõtmistel ilmnenu probleeme.

Puurkehade andmed on esitatud lisas 1.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Alloleval joonisel on näidatud kõikide objektide puuraukude paiknemise skeem. Jooniselt selgub, et kõiki reflektoreid ei õnnestunud puurimisega tuvastada ning nende sügavusi määrata. Nimelt selgus töös, et asfaldi paigaldamise käigus võivad reflektorid oma esialgsetelt kohtadelt nihkuda mitmeid sentimeetreid, mistõttu ca 10 cm läbimõõduga puuriga ei pruugi alati õnnestuda neid täpselt paigaldatud kohast leida. Eeltoodu ei puuduta mõõtmisi MIT-seadmega, viimasega tuvastati kõik paigaldatud reflektorid.

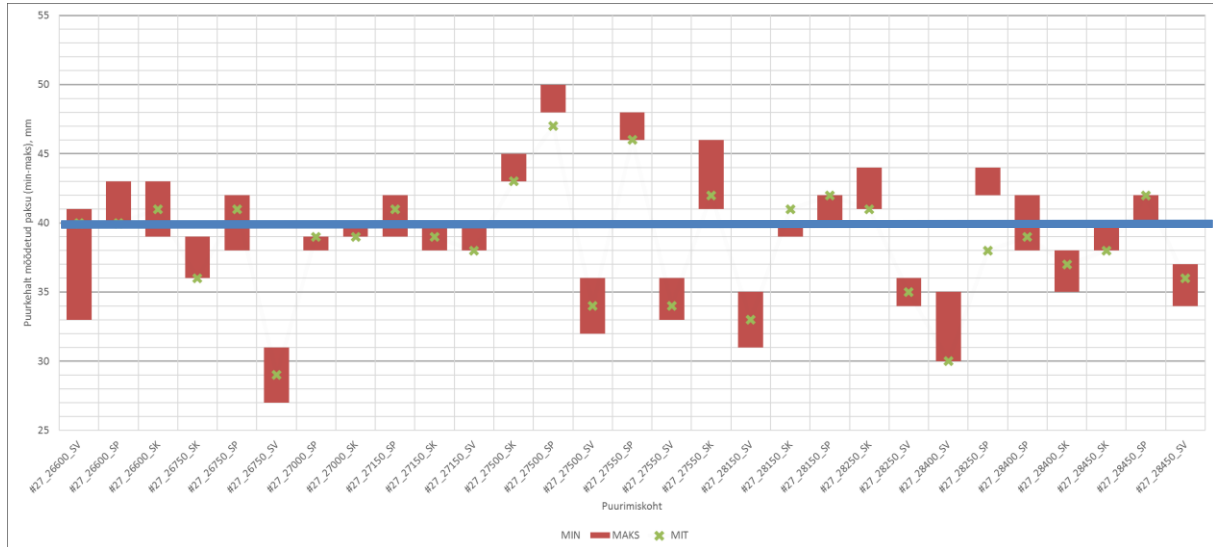
„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos
mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



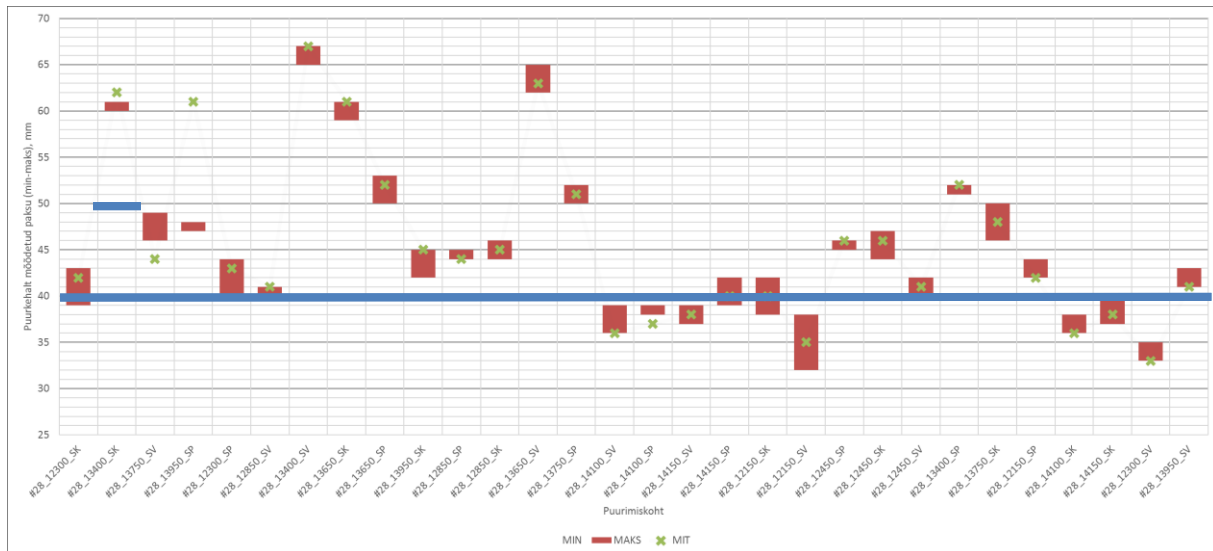
Joonis 28. Puuraukude paiknemise skeem

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Allpool olevatel joonistel ongi toodud suurkehadel mõõdetud minimaalsed ja maksimaalsed paksused (punane ala) ning MIT-seadmega tehtud mõõtmise tulemus (roheline „x“).

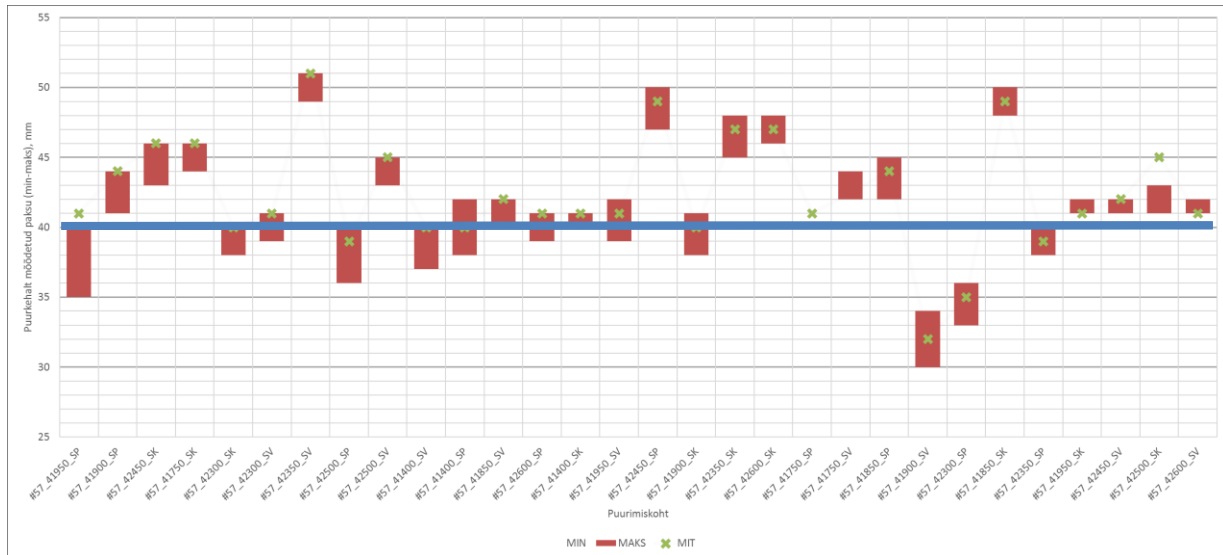


Joonis 29. Surf-kihi paksuste võrdlus objektil #27: MIT-seadmega vs suurkehad



Joonis 30. Surf-kihi paksuste võrdlus objektil #28: MIT-seadmega vs suurkehad

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 31. Surf-kihi paksuste võrdlus objektil #57: MIT-seadmega vs puurkehad

Eelnevatelt joonistelt võib näha, et puurkehade paksused muutuvad ühe puurkeha piires üsna palju, seda enam, et antud juhul on aluskihiks värskelt paigaldatud ha tasasusega base-kiht. Ühest seletust on siin raske anda kuid nähtavasti toimub eelnevalt paigaldatud kihi mõningane deformeerumine ülakihi tihendamise käigus kus arvatavasti avaldab oma mõju katte alakihi, aga ka allpoololevate kihtide tihendus. Alloleval joonisel on toodud need juhud, kus puurkeha piires kõikus surf-kihi paksus enam kui 3 mm.

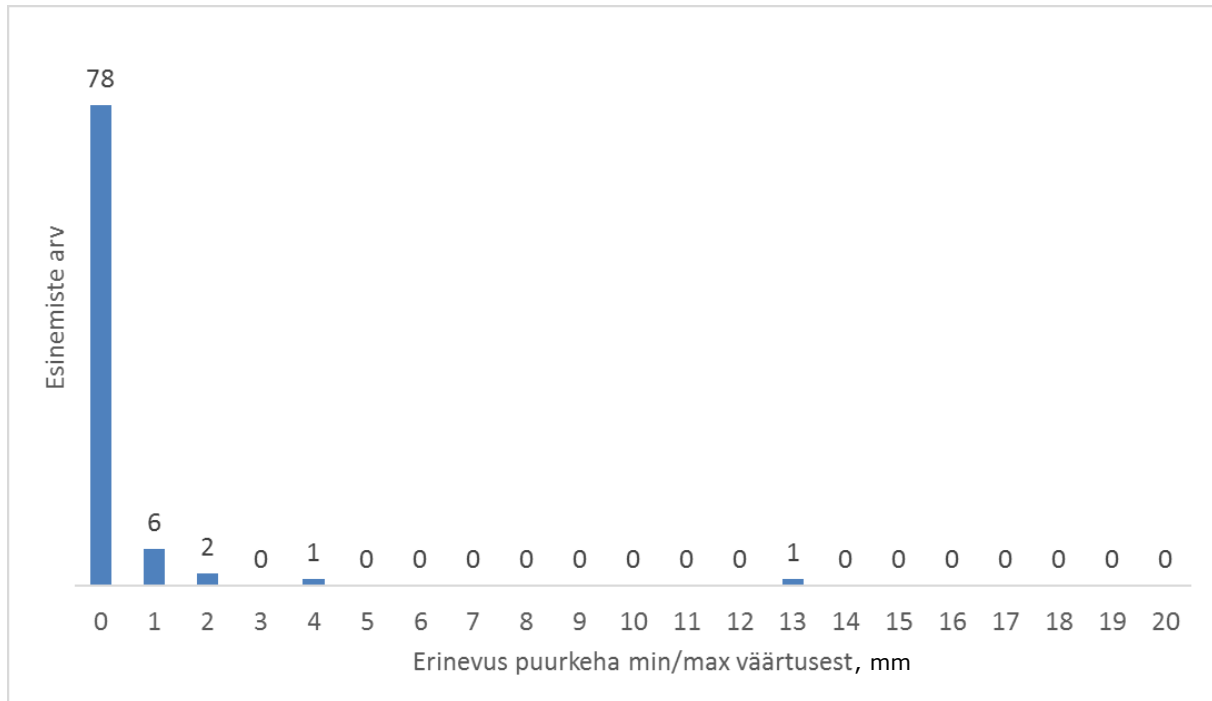
„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



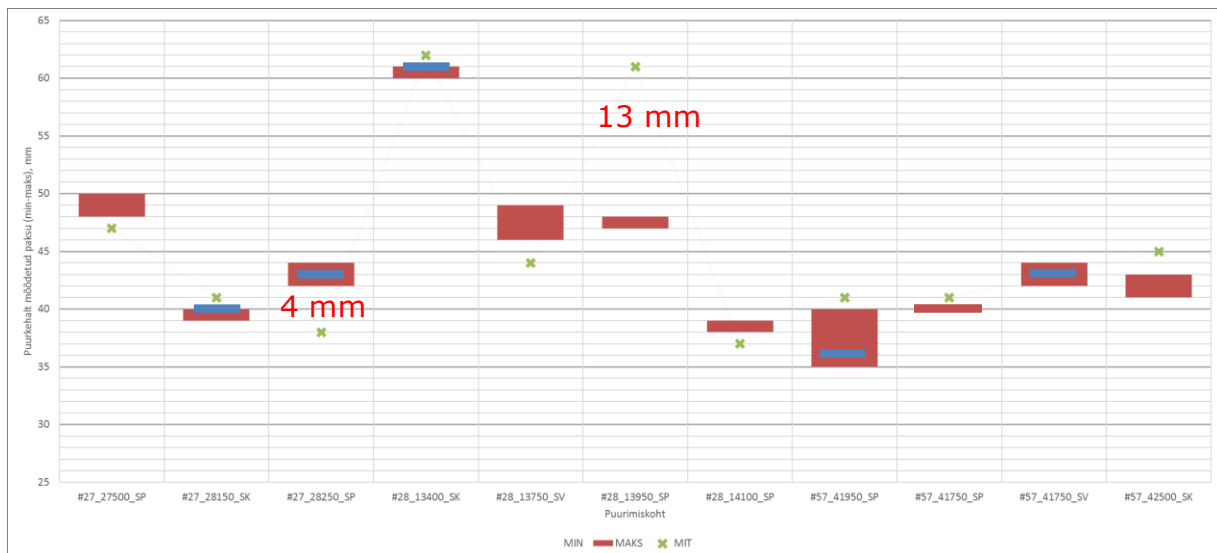
Joonis 32. Katte paksus kohtades, kus sama puurkehalt mõõdetud paksuste erinevus on üle 3mm

Valdavalt jäävad MIT-paksused puurkeha minimaalse ja maksimaalse paksuse vahemikku, kuid üksikutel juhtudel ei ole see nii olnud. Need juhud on toodud allolevatel joonistel.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 33. Surf-kihi MIT-mõõtmiste ja laboratoorse mõõtmise erinevuse histogramm



Joonis 34. MIT-mõõtmiste ja laboratoorsete mõõtmiste suurimad erinevused

Kui valdavalt jääb selline erinevus 1-2 mm piiresse, siis eristuvad siinkohal 2 mõõtmist, kus vahe on suurem, vastavalt 4 ja 13 mm. Kahjuks pole tagantjärele ilma täiendavate puurimisteta võimalik öelda, mis võis põhjustada sellised erinevused. Üheks võimaluseks on, et kuigi mõõtmised teostati tinglikult reflektorite kohtadest, ei õnnestunud puurimistega alati reflektorit tabada,

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

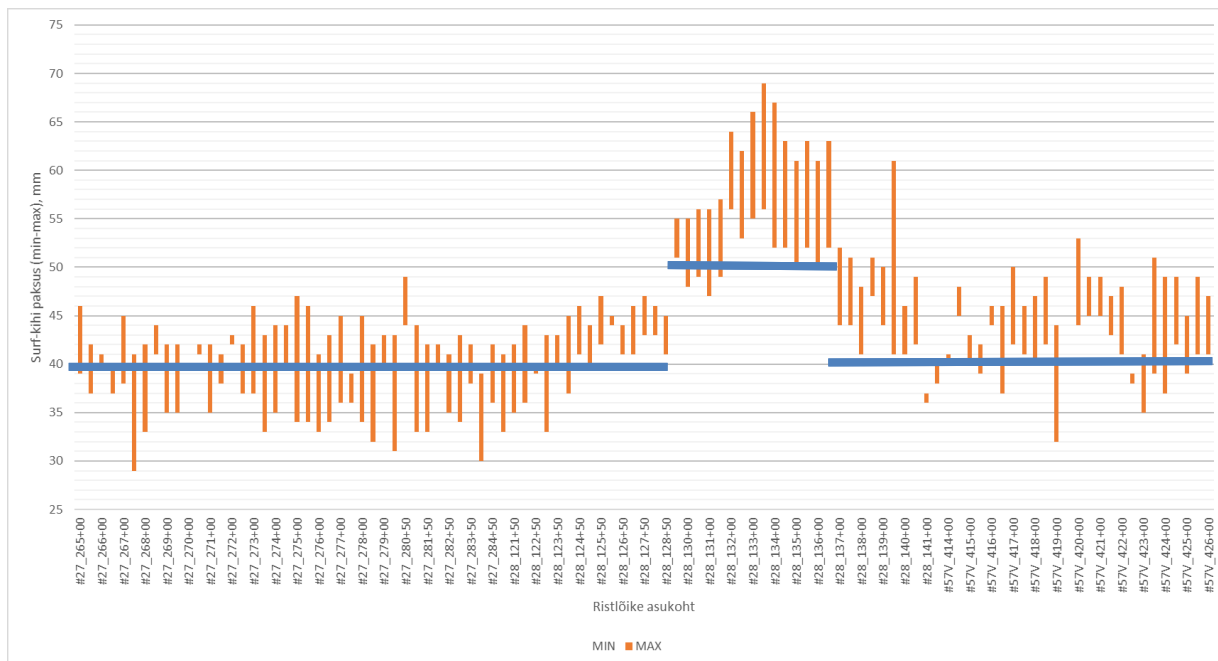
seetõttu on võimalik, et mõõtmiskohas on katte paksus märgatavalt erinev sellest, mis ta on reflektori peal. Joonisel on sinisega näidatud ka reflektori asukoht. Siinkohal tuleb arvestada, et reeglina oli reflektor puurkehal näha vaid väikese servaga ning pole võimalik täiesti kindlalt öelda, milline võis olla katte tegelik paksus reflektori asukohas (keskkohas).

Kokkuvõtvalt võib öelda, et kuigi üksikud mõõtmised on andnud ka küsitavaid tulemusi, on tulemused valdavalt kooskõlas laboratoorsete puurimiste tulemustega ning keskmine hälbumine laboratoorsete mõõtmiste tulemustest on 0,31 mm ning kui jätta välja erandlik hälve 13 mm, siis on keskmine 0,16 mm. Kui võtta arvesse vaid need puuraugud, kus on puurimisega reaalselt saadud kätte ka reflektor, on keskmine hälve 0,12 mm. Kui võrrelda MIT-seadmega mõõdetud väärtusi puurimisel saadud paksustega reflektorite järgi, on MIT mõõtmistega saadud paksused keskmiselt 0,1 mm suuremad. MIT seadmega mõõdeti keskmiseks 42,3 mm, laboratoorselt 42,3 mm.

Surf-kihi paksuste <40 mm tulemuste osakaal MIT-seadmega oli 30%, laboratoorse puurkeha järgi (keskmine mõõt) 33%. <40 mm tulemuste keskmine väärtus MIT seadmega oli 36,0 mm, laboratoorselt 36,7 mm.

Alloleval joonisel on toodud Surf-kihi paksuste mõõtmise tulemuste varieeruvus samas ristlõikes (paani suhtes vasakul, keskel ja paremal).

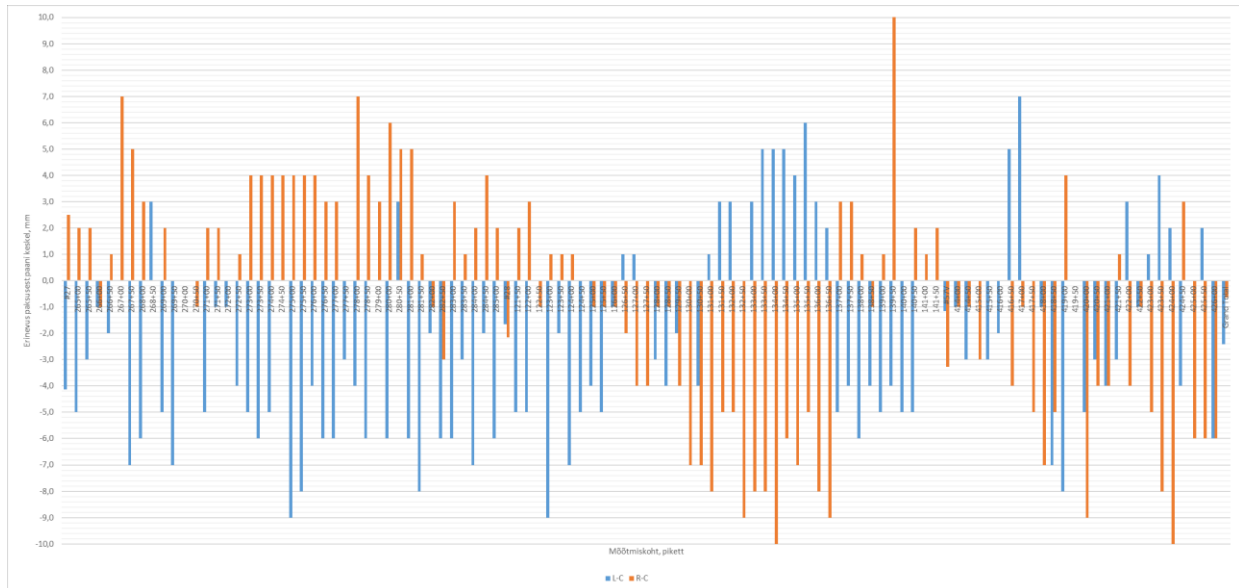
„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



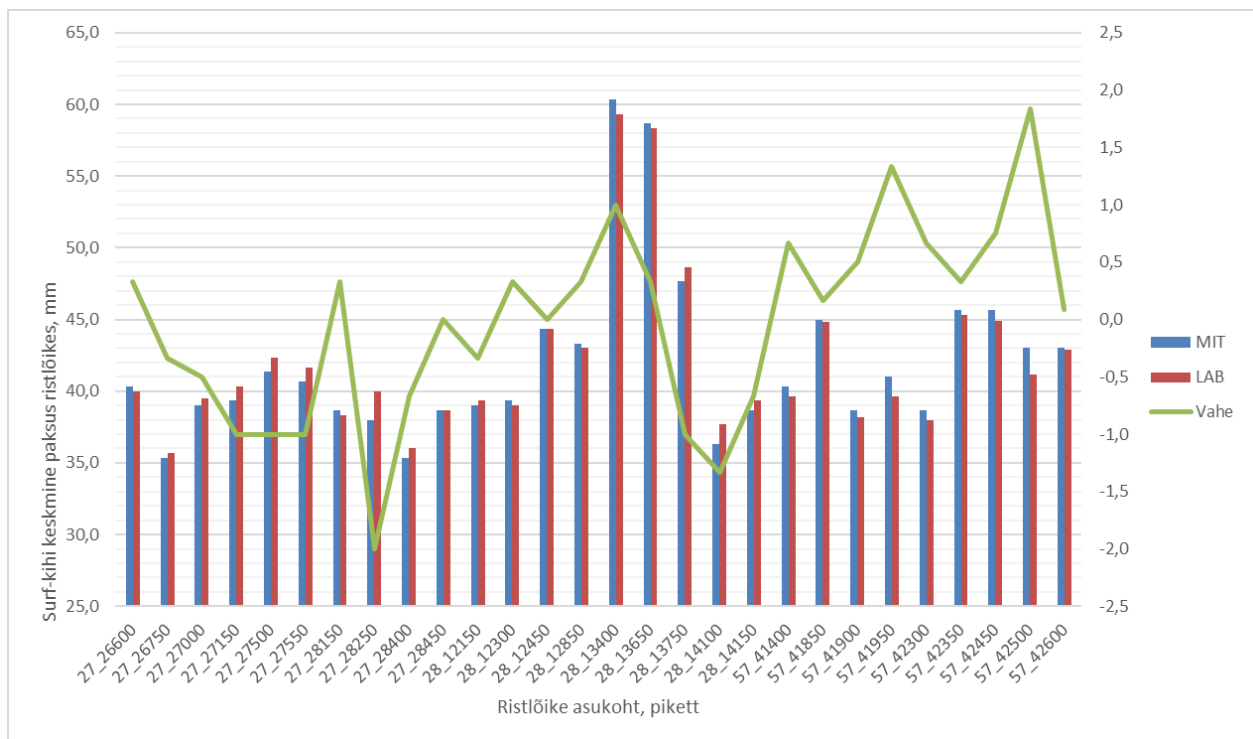
Joonis 35. Surf-kihi paksuse varieerumine samas ristlõikes mõõdetuna MIT-seadmega

Lisaks usaldusväärsele infole kattekihtide paksuste kohta, võimaldab tiheda sammuga paksuste mõõtmine hinnata ka kattekihi ühtlust ristlõikes. Allolevalt joonisel on näha järjest kõigi kolme objekti mõõtmistel saadud vasakust ja paremast paani servast tehtud mõõtmiste erinevus paani keskkohal tehtud mõõtmise suhtes. See näitab, et valdavalt on paani vasak serv (välimine serv) suhteliselt õhem ja parem serv suhteliselt paksem kui paani keskel. Vastupidine olukord on #28 piirkonnas, kus katte paksus oli tavapärasest suurem (50...65mm).

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 36. Katte paksuse erinevus paani vasakus ja paremas servas võrreldes keskkohaga



Joonis 37. Surf-kihi keskmiste paksuste võrdlus pikettide kaupa

Tüüpiliselt toimub kattekihtide paksuste mõõtmine samas ristlõikes puurkehade keskmiste alusel. Eelneval joonisel ongi võrreldud surf-kihi keskmist paksust pikettide kaupa. Kui võtta arvesse kõik mõõtmised, nende keskmine paksus MIT-mõõtmistel 0,11 ühikut suurem kui laboratoorselt mõõdetud. Kui aga eemaldada

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega piloobjektidel“ LÕPPARUANNE

tulemustest anomaalne 13 mm erinevusega pikett, on MIT mõõtmistega saadud paksus 0,03 mm väiksem laboratoorsest mõõtmisest.

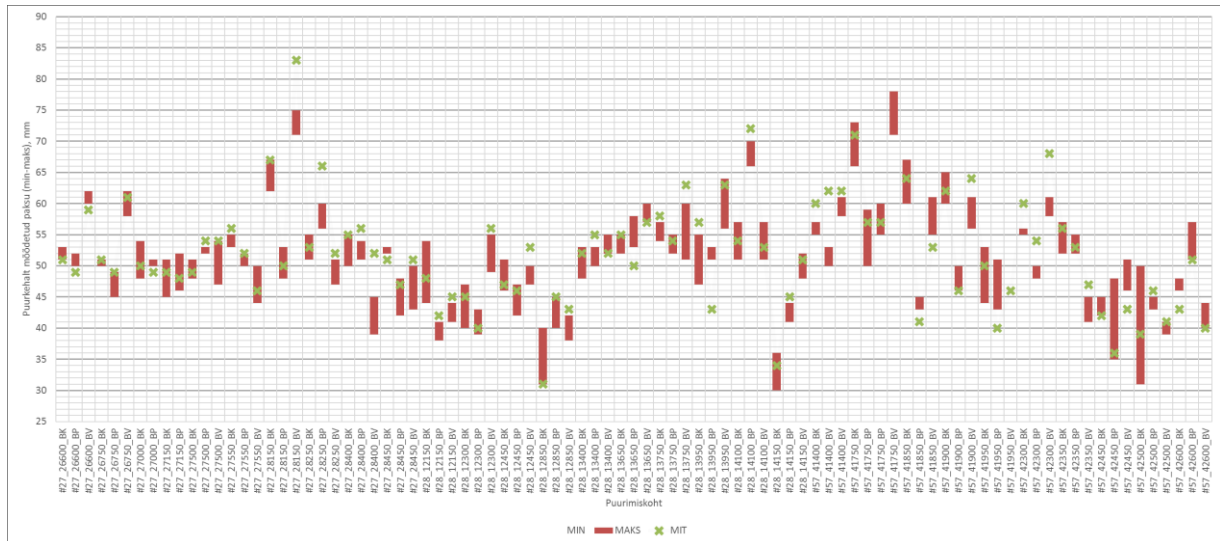
Tabel 3. Keskmiste paksuste mõõtmise võrdlus

Pikett	MIT	LAB	Vahe	
26600	40,3	40,0	0,3	
26750	35,3	35,7	-0,3	
27000	39,0	39,5	-0,5	
27150	39,3	40,3	-1,0	
27500	41,3	42,3	-1,0	
27550	40,7	41,7	-1,0	
28150	38,7	38,3	0,3	
28250	38,0	40,0	-2,0	
28400	35,3	36,0	-0,7	
28450	38,7	38,7	0,0	
12150	39,0	39,3	-0,3	
12300	39,3	39,0	0,3	
12450	44,3	44,3	0,0	
12850	43,3	43,0	0,3	
13400	60,3	59,3	1,0	
13650	58,7	58,3	0,3	
13750	47,7	48,7	-1,0	
13950	49,0	45,0	4,0	
14100	36,3	37,7	-1,3	
14150	38,7	39,3	-0,7	
41400	40,3	39,7	0,7	
41850	45,0	44,8	0,2	
41900	38,7	38,2	0,5	
41950	41,0	39,7	1,3	
42300	38,7	38,0	0,7	
42350	45,7	45,3	0,3	
42450	45,7	44,9	0,8	
42500	43,0	41,2	1,8	
42600	43,0	42,9	0,1	
	42,22	42,11	0,11	

Pikett	MIT	LAB	Vahe	
27_26600	40,3	40,0	0,3	
27_26750	35,3	35,7	-0,3	
27_27000	39,0	39,5	-0,5	
27_27150	39,3	40,3	-1,0	
27_27500	41,3	42,3	-1,0	
27_27550	40,7	41,7	-1,0	
27_28150	38,7	38,3	0,3	
27_28250	38,0	40,0	-2,0	
27_28400	35,3	36,0	-0,7	
27_28450	38,7	38,7	0,0	
28_12150	39,0	39,3	-0,3	
28_12300	39,3	39,0	0,3	
28_12450	44,3	44,3	0,0	
28_12850	43,3	43,0	0,3	
28_13400	60,3	59,3	1,0	
28_13650	58,7	58,3	0,3	
28_13750	47,7	48,7	-1,0	
28_14100	36,3	37,7	-1,3	
28_14150	38,7	39,3	-0,7	
57_41400	40,3	39,7	0,7	
57_41850	45,0	44,8	0,2	
57_41900	38,7	38,2	0,5	
57_41950	41,0	39,7	1,3	
57_42300	38,7	38,0	0,7	
57_42350	45,7	45,3	0,3	
57_42450	45,7	44,9	0,8	
57_42500	43,0	41,2	1,8	
57_42600	43,0	42,9	0,1	
	41,98	42,01	-0,03	

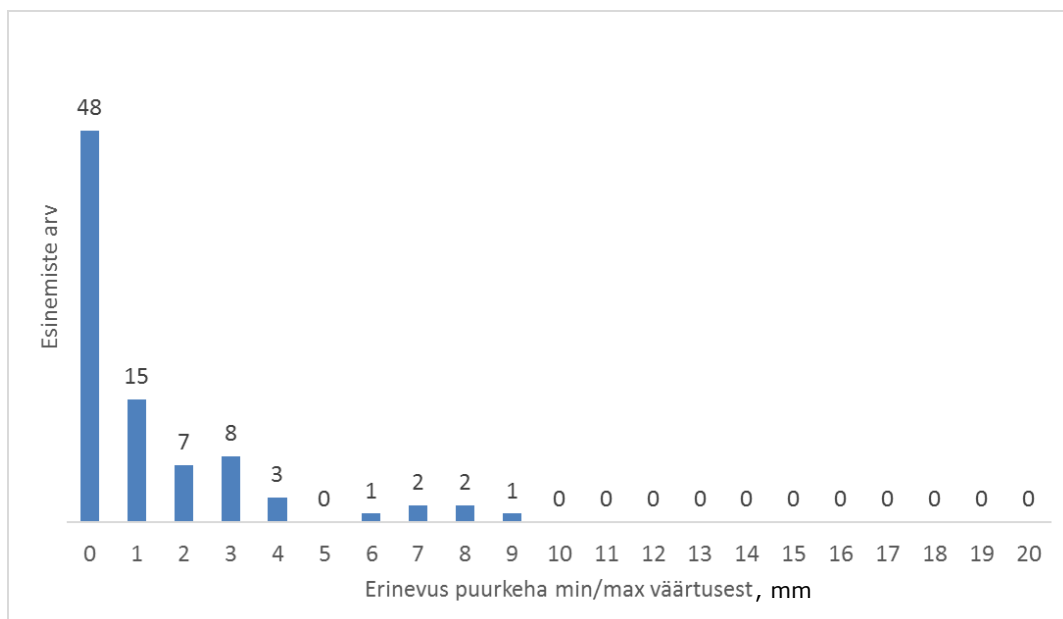
Base-kihi mõõtmiste tulemused on kantud kõik allolevale graafikule.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 38. Base-kihi paksuste võrdlus kõigil objektil

Eelnevalt jooniselt on näha, et base kihi korral on üksikkihi mõõtmise tulemuste võrreldavus laboratoorsete paksustega märksa kasinam. Sellel on ka objektiivne põhjendus. Nimelt ei võimalda MIT-seade mõõta katte pealt otseselt base kihi paksust vaid kahe kihi koondpaksust. Kõigi mõõtmiste keskmine annab MIT-seadmega mõõtmistest arvutatuna base kihi keskmiseks paksuseks 52,0 mm, laboratoorselt mõõdetuna aga 51,3 mm.

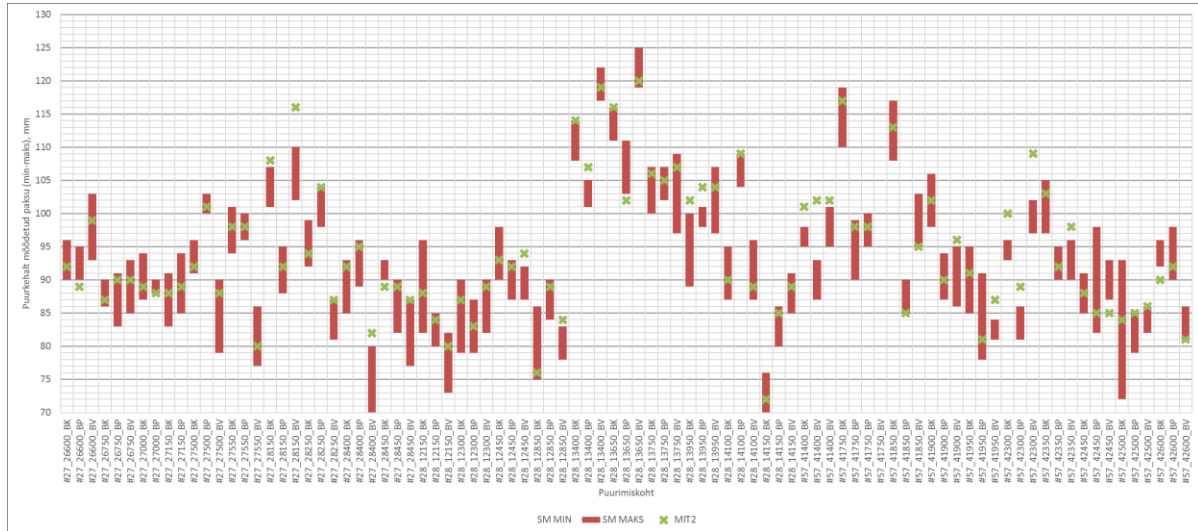


Joonis 39. Surf-kihi MIT-mõõtmiste ja laboratoorse mõõtmise erinevuse histogramm

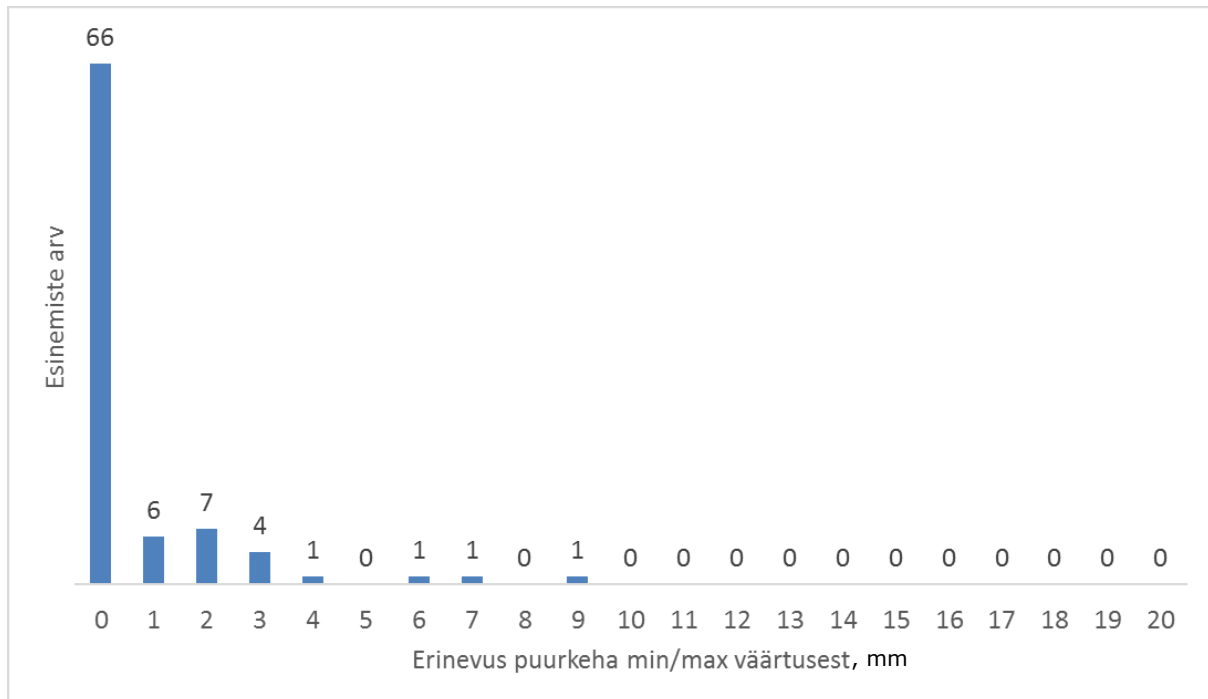
Sama on näha ka eeltoodud histogrammil.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Seetõttu on õigem võrrelda andmeid kahe kihi summas. Alloleval joonisel ongi võrreldud kahe kihi summaarseid miinimum- ja maksimumväärtusi MIT-seadmega mõõdetud väärtustega.



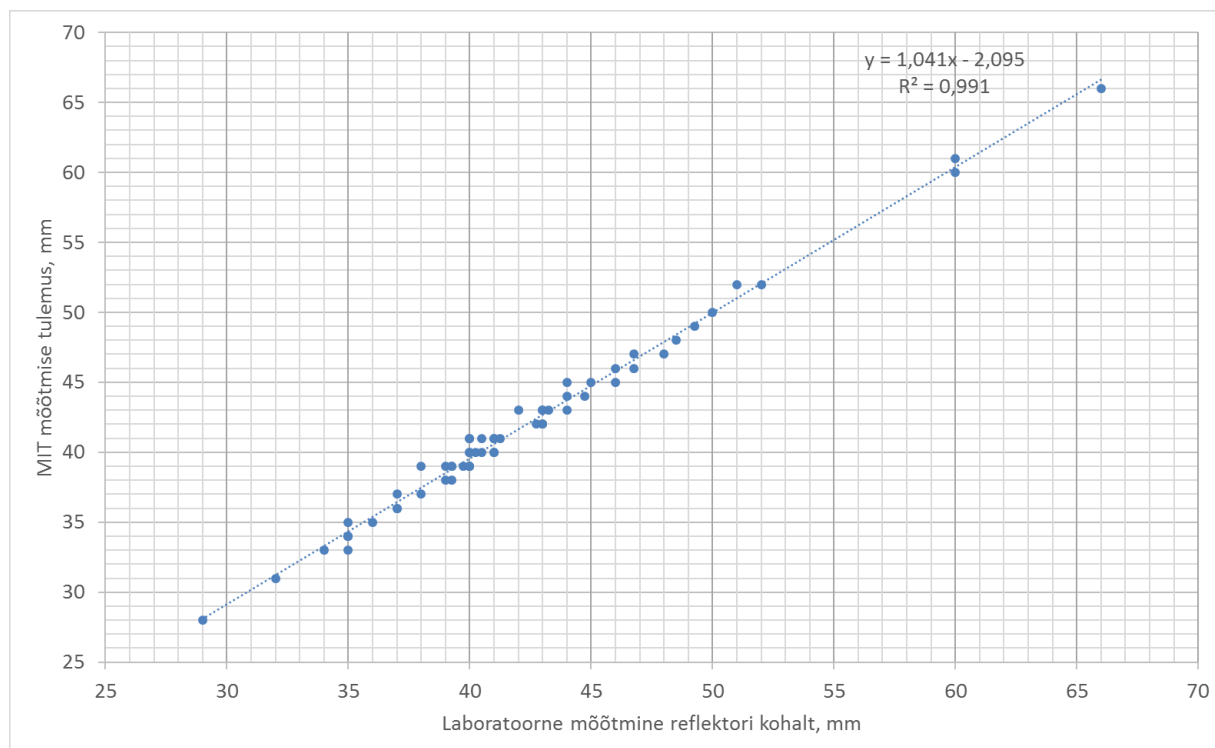
Joonis 40. Kahe kihi koondpaksuste võrdlus kõigil objektidel



Joonis 41. Kahe kihi MIT-mõõtmiste ja laboratoorse mõõtmise erinevuse histogramm

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Vaatamata mõningatele erinevustele võrdlustes laboratoorselt määratud paksustega, võib MIT-seadmega mõõtmist pidada piisavalt täpseks, et seda rakendada uute kattekihtide vastuvõtul tööde kontrollil. Meetodi eeliseks on mõõtmiste võimaldamine katet mittepurustavalt ning seejuures mõõtmiste ca 10 korda suurem maht, mis annab suurema kindluse tegelikult paigaldatud mahu osas ja katte paksuste osas.

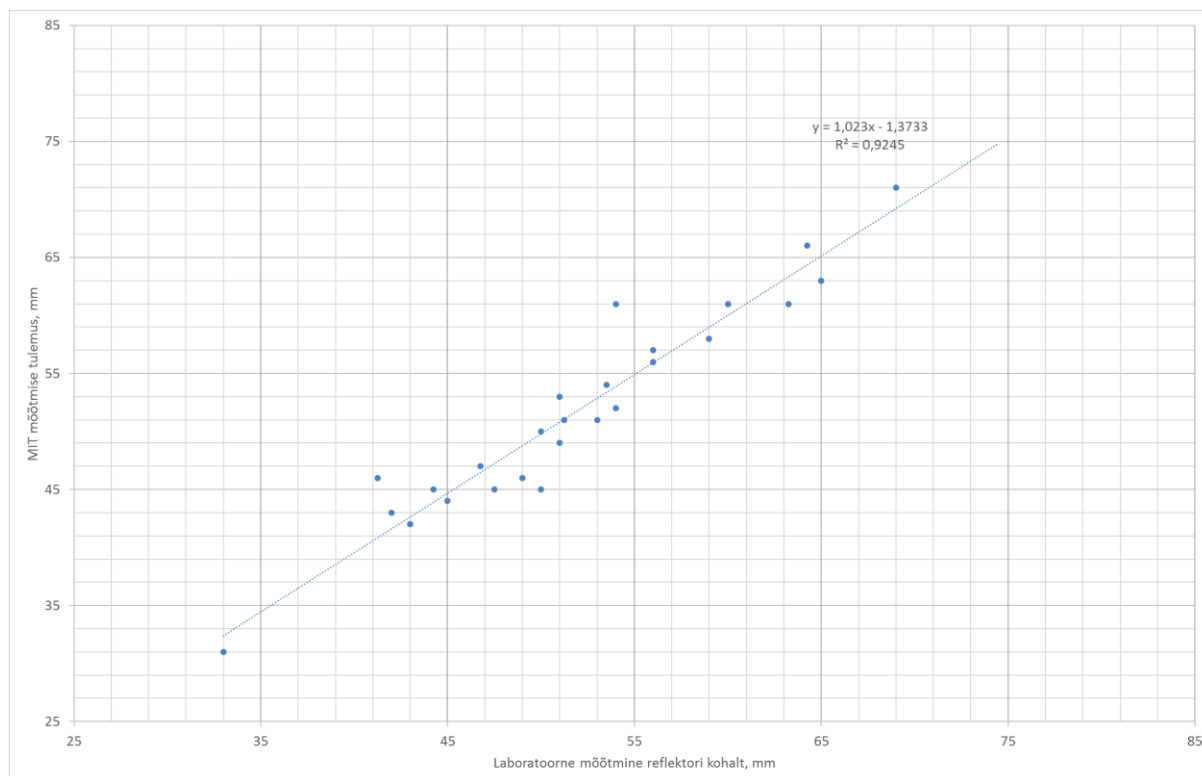


Joonis 42. Surf-kihi mõõtmiste korrelatsioon

Puurimistega õnnestus reflektorid kätte saada 62 korral Surf-kihist ja 27 korral Base kihist. Surf-kihi paksuse laboratoorsel mõõtmisel reflektorite kohalt jäid reflektorid valdavalt 1 mm hälbe sisse, üksikutel juhtudel 2mm hälbe sisse võrreldes MIT seadmega saadud väärtustega. Siin tuleb arvestada, et laboratoorselt on võimalik määrata paksust vaid reflektori selle osa järgi, mis paistab puurkeha pealt, MIT seadmega mõõdetu peegeldab aga ka puurkehast väljajääva reflektoriosa paksust. Seda arvestades võib lugeda MIT-seadmega saadavat mõõtmistäpsust ja mõõtmiste korrelatsiooni väga heaks, $R^2=0,991$.

Base kihil on vastav korrelatsioon eeltoodud põhjustel (tuletatud kahe kihi mõõtmiste kaudu) mõnevõrra väiksem.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

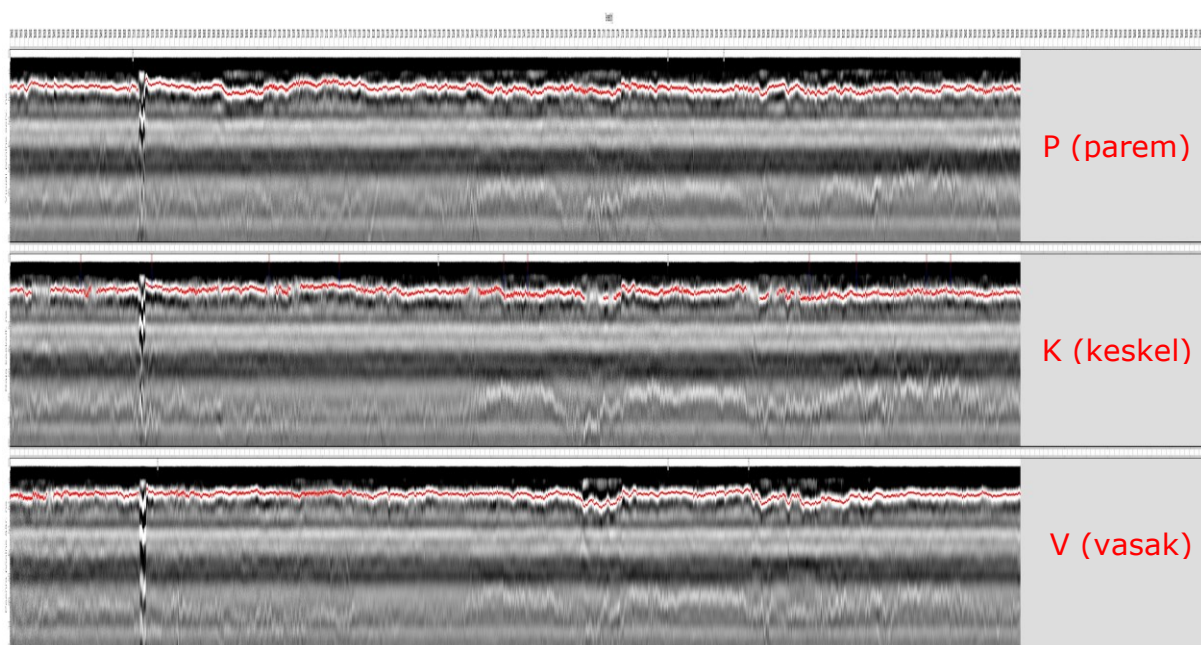


Joonis 43. Base-kihi mõõtmiste korrelatsioon

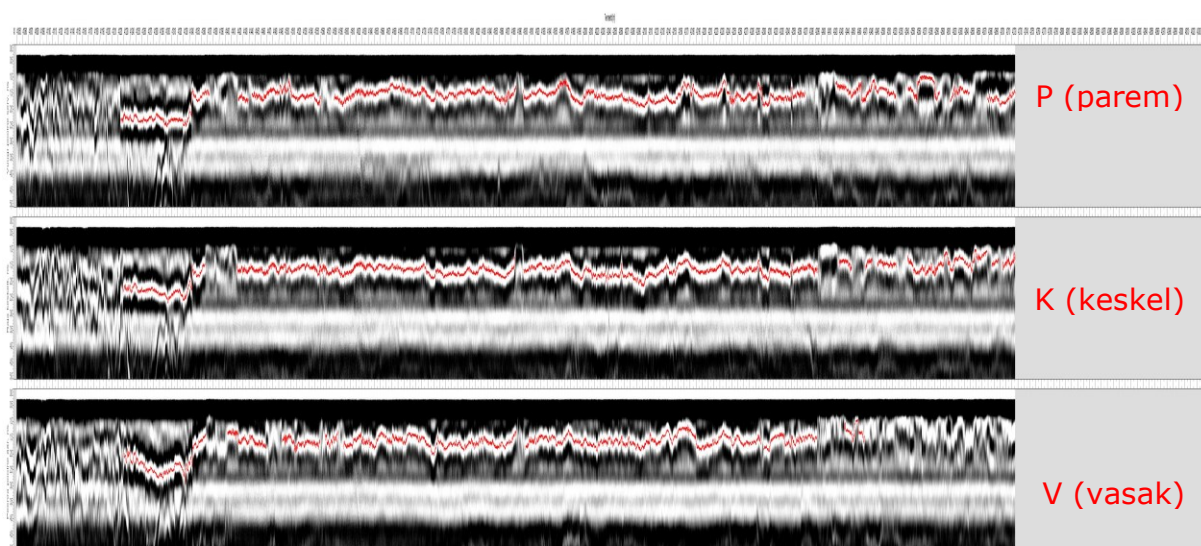
Katte paksuste mõõtmine maaradariga

Katte paksuste mõõtmised maaradariga teostati 1,0 GHz õhk-paar-antenniga. Mõõtmised näitavad keskmist kuni mõõdukat korrelatsiooni paksuste mõttes $R^2 = 0,47 \dots 0,68$. Samas on graafikutelt näha, et maaradar võimaldab suhteliselt hästi tuua välja potentsiaalseid anomaaliaid või mittevastavusi, antud juhul õhema tarindiga löike. Antud töös teostatud mõõtmised näitasid, et maaradar õigustab end just toetava meetmena, st. võimaldab hinnata probleemide võimalikku ulatust. Samas ei pruugi maaradari täpsus olla piisav kasutamiseks vastuvõtumõõtmistel otse. Piisava kalibreerimise mahu juures võib küll ka keskmise paksuse paika saada kuid üksikmõõtmiste tulemustes tekivad vastuvõtumõõtmisteks käärid, millised pole võrreldavad laboratoorse meetodi täpsusega. Allolevatel joonistel on võrdlusgraafikud MIT-mõõtmiste ja maaradari mõõtmiste vahel toodud radade kaupa. Objektil #28 ei õnnestunud radargrammilt katte paksusi määrata.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

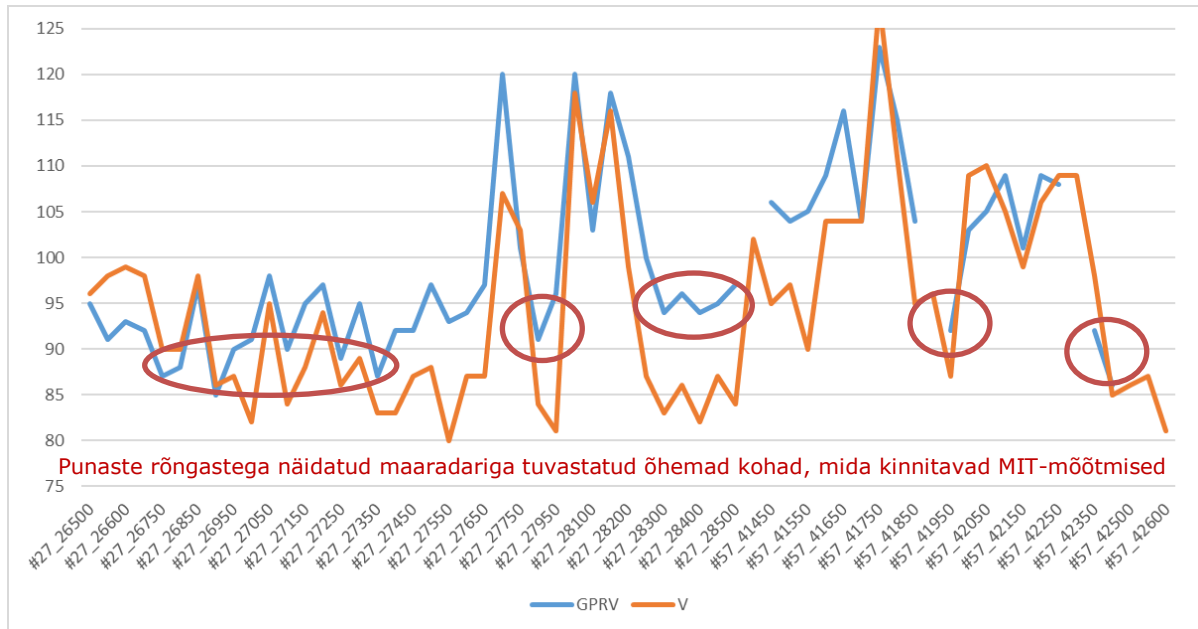


Joonis 44. Katte paksuse mõõtmine maaradariga objektil #27

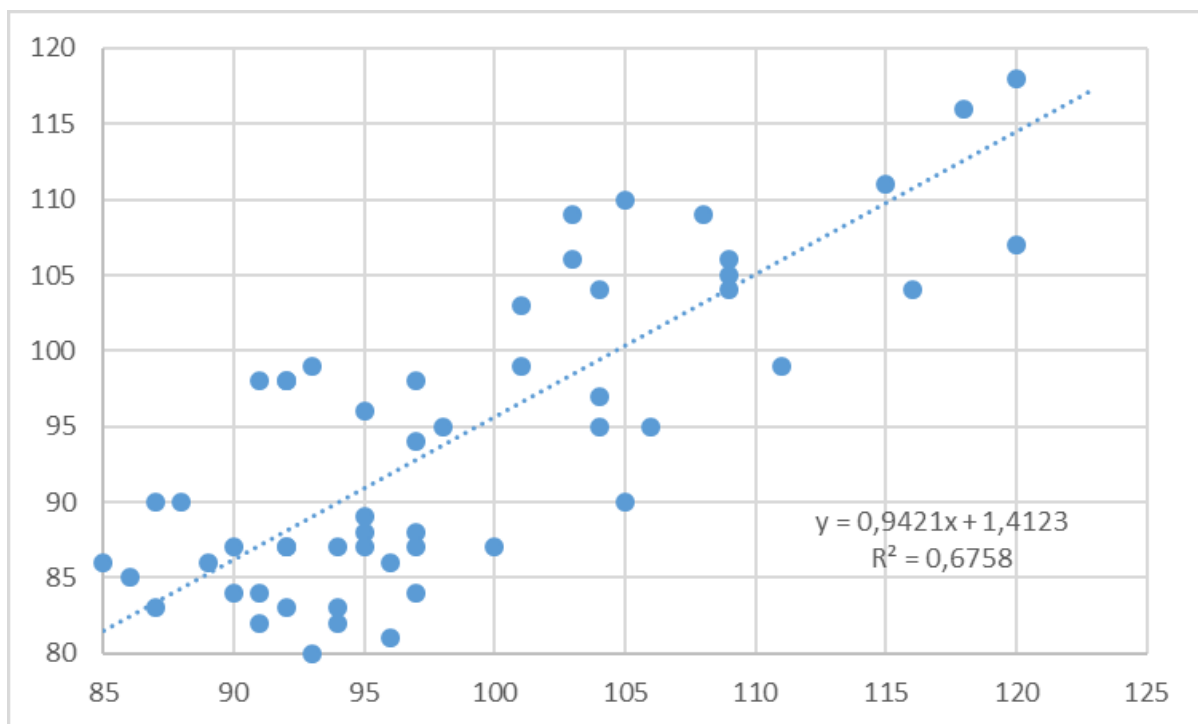


Joonis 45. Katte paksuse mõõtmine maaradariga objektil #57

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

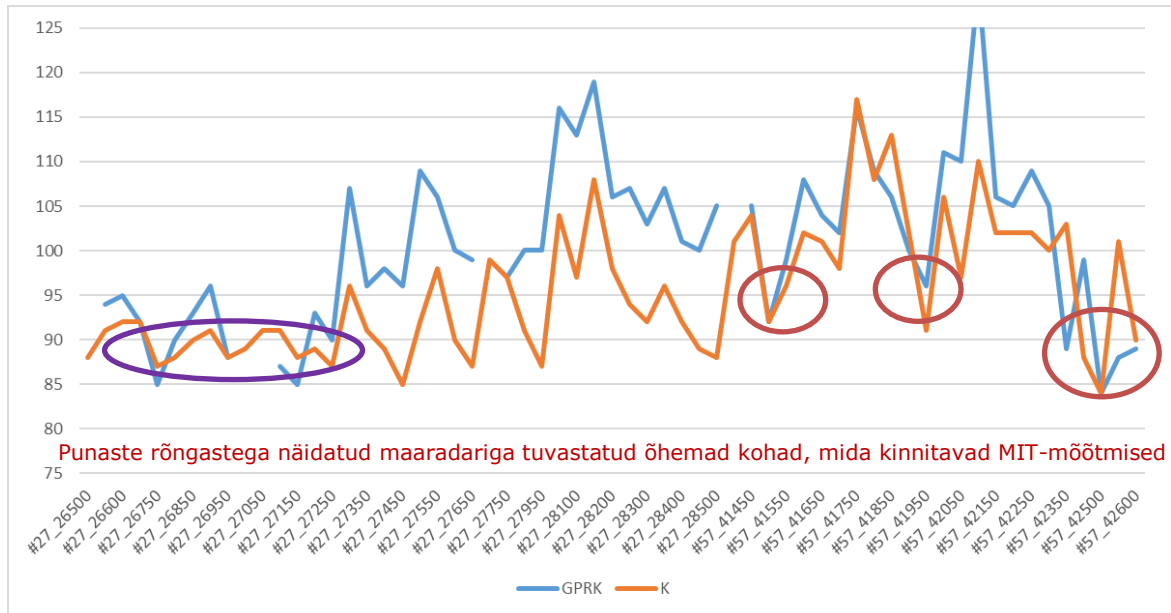


Joonis 46. MIT- ja maaradariga mõõtmiste võrdlus paani vasakus servas

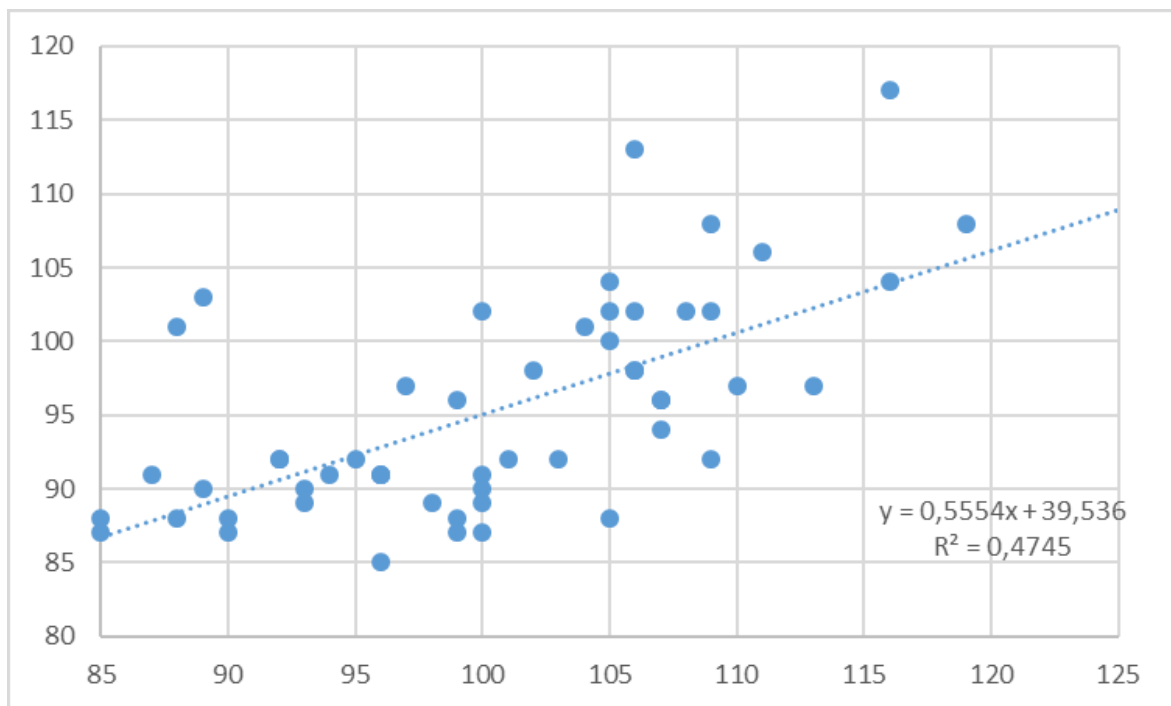


Joonis 47. Korrelatsioon MIT- ja maaradariga mõõtmiste vahel paani vasakus servas

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

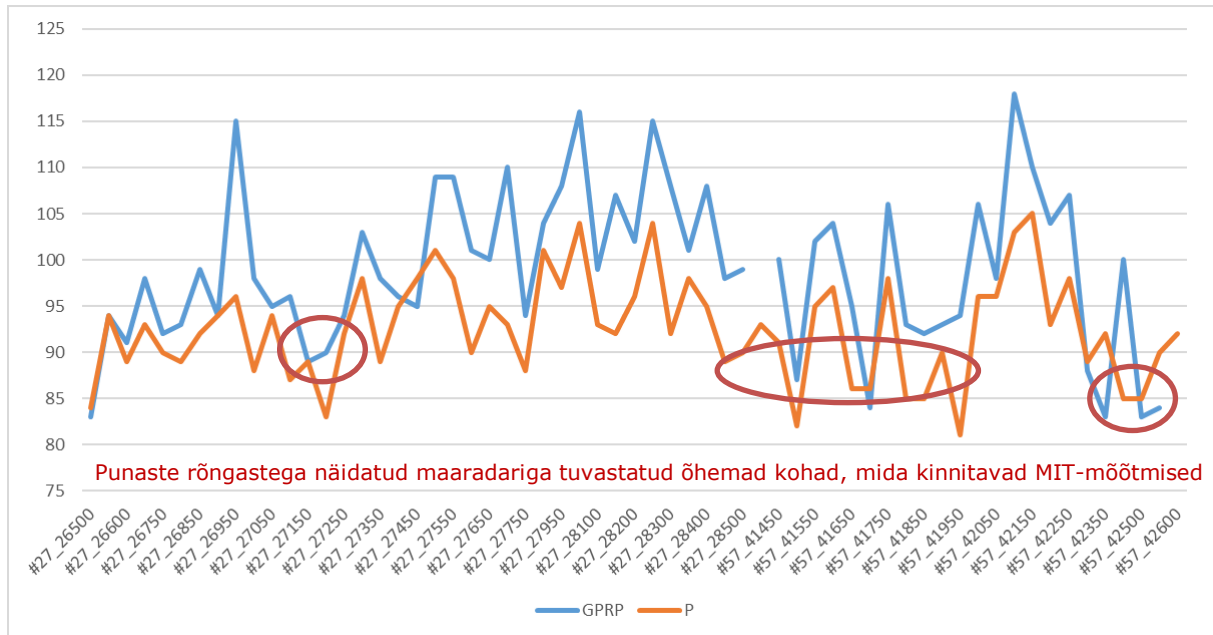


Joonis 48. MIT- ja maaradariga mõõtmiste võrdlus paani keskel

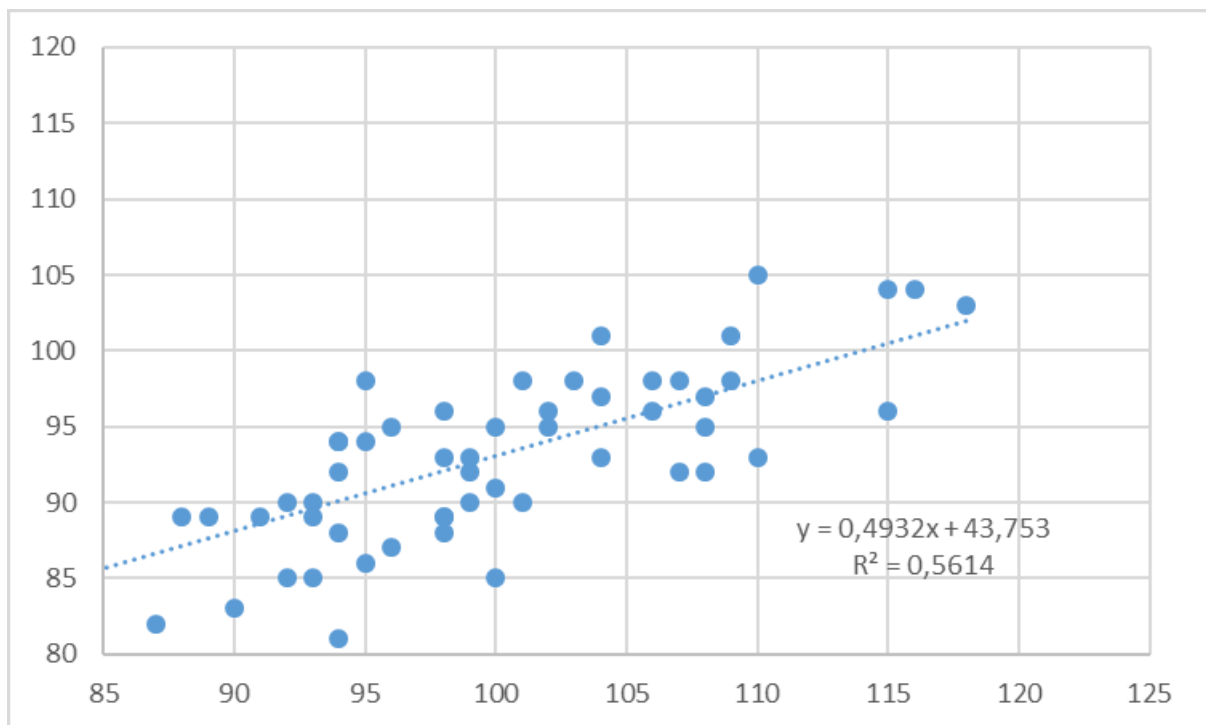


Joonis 49. Korrelatsioon MIT- ja maaradariga mõõtmiste vahel paani keskel

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 50. MIT- ja maaradariga mõõtmiste võrdlus paani paremas servas

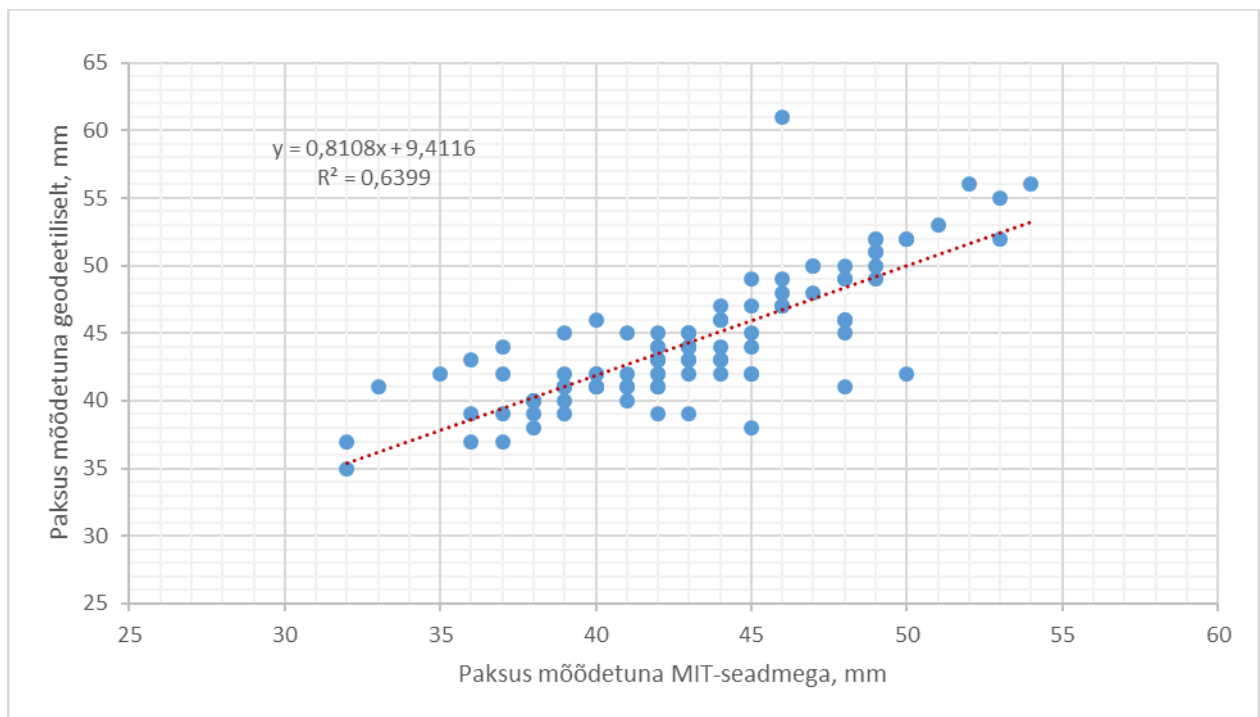


Joonis 51. Korrelatsioon MIT- ja maaradariga mõõtmiste vahel paani paremas servas

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

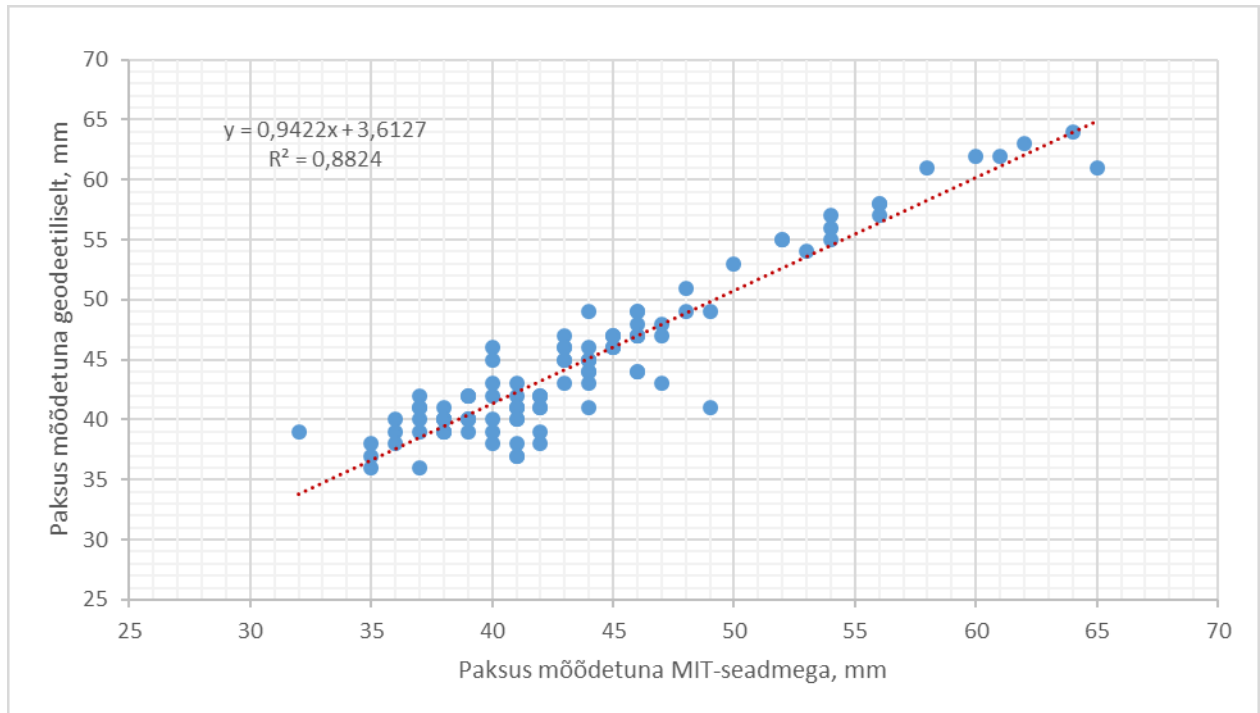
Geodeetilised mõõtmised

Geodeetilised kõrguse mõõtmised teostati base-kihi alla paigaldatud reflektori pealt (BH1), surf kihi alla paigaldatud reflektori pealt (SH3) ja katte pealt nii H1 kui H3 mõõtmise kohtadest (BH4 ja SH4). MIT seadmega teostatud mõõtmistega võrdlemiseks on võimalik saada siit nii ülakihi paksus ($HS = SH4 - SH3$) kui kahe kihi koospaksus ($HSB = BH4 - BH1$). Ligikaudu on siit võimalik tuletada base kihi paksus $BB = HSB - HS$ (ca 2-meetrise nihke tõttu mitte küll täpselt).

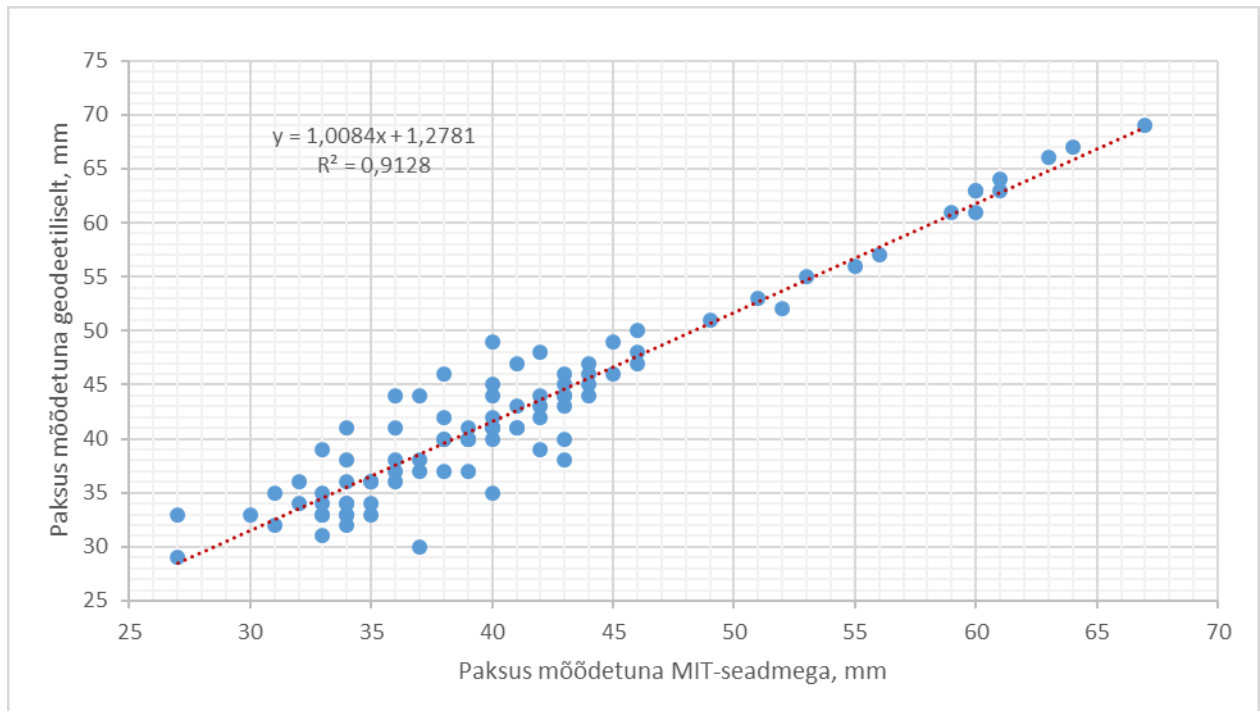


Joonis 52. Katte paksuse mõõtmistulemuste korrelatsioon surf-kihis vasakul

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

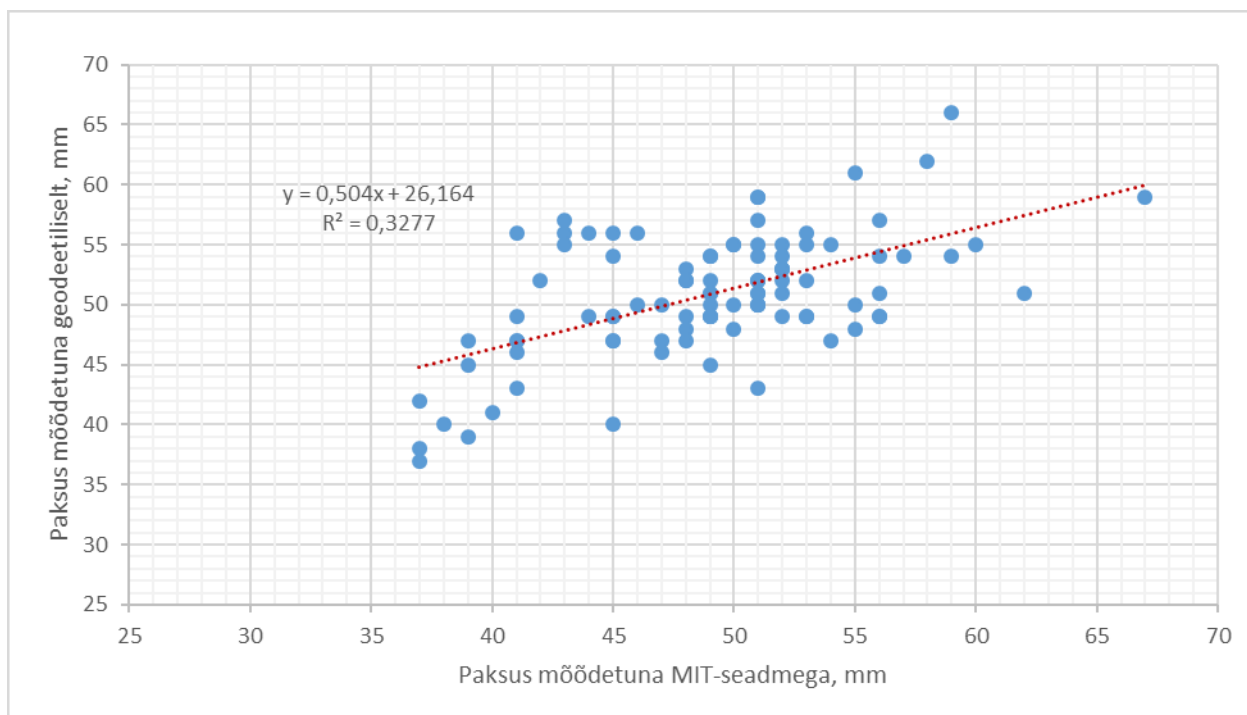


Joonis 53. Katte paksuse mõõtmistulemuste korrelatsioon surf-kihis keskel

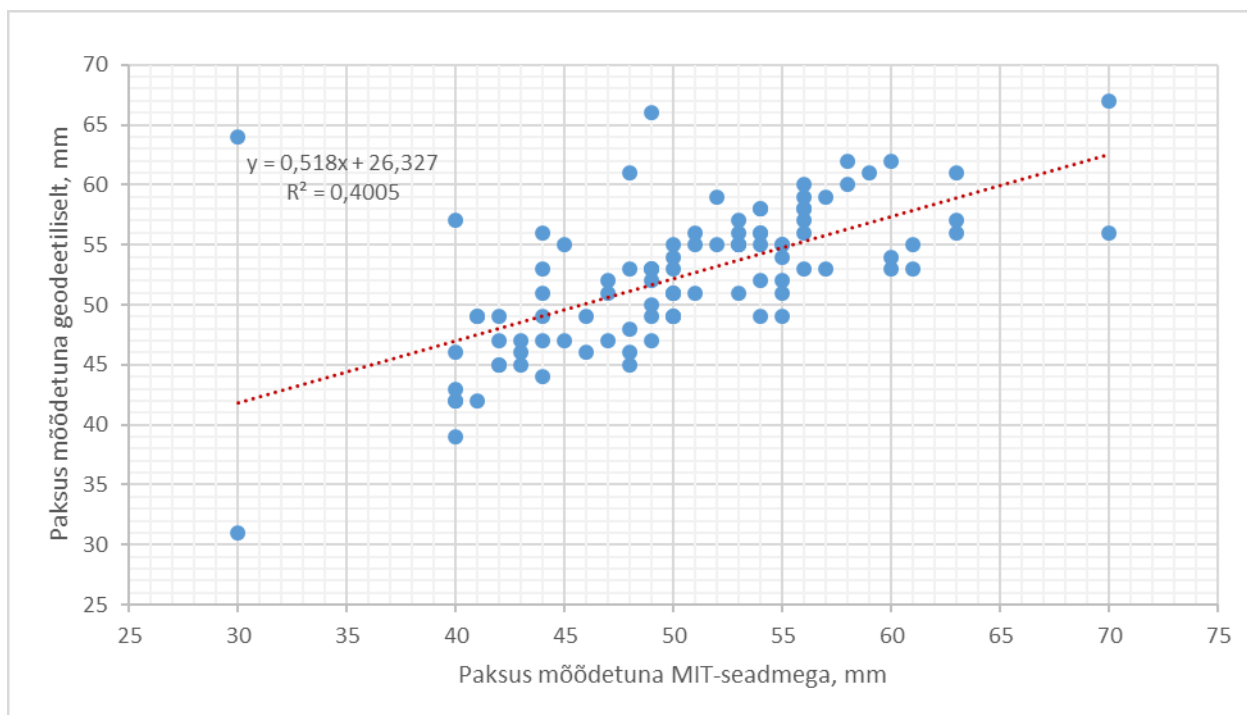


Joonis 54. Katte paksuse mõõtmistulemuste korrelatsioon surf-kihis paremal

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

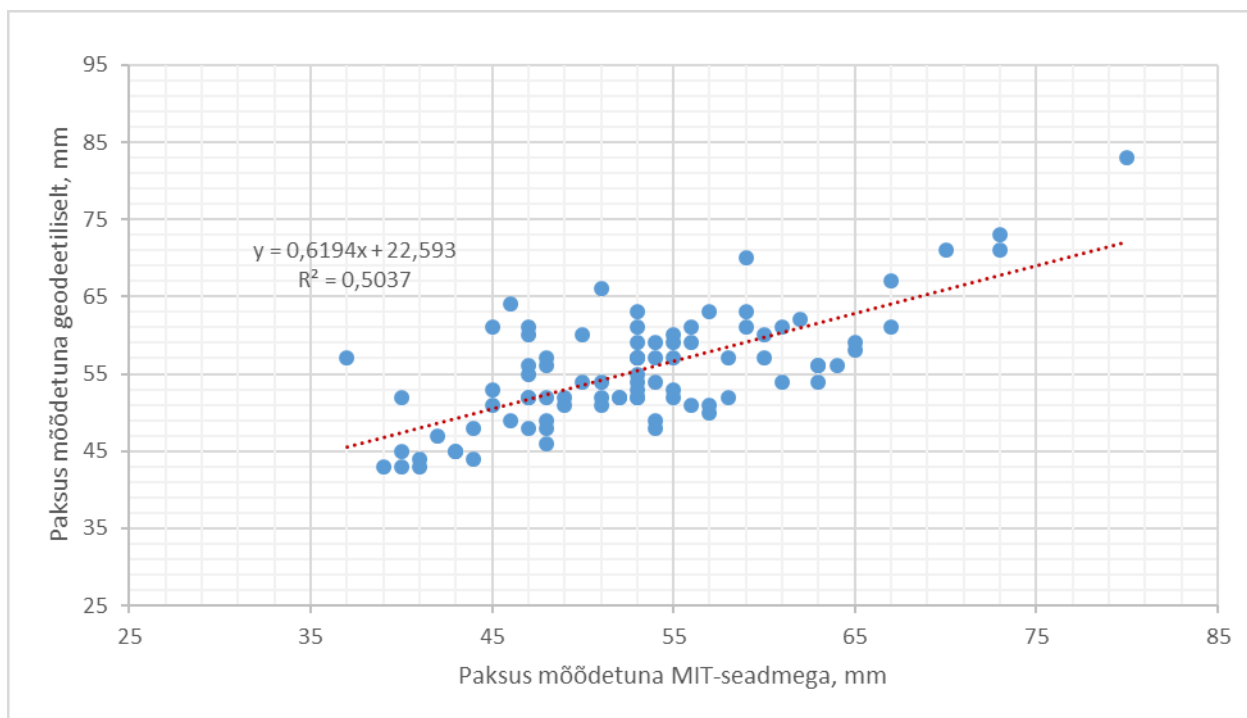


Joonis 55. Katte paksuse mõõtmistulemuste korrelatsioon base-kihis vasakul

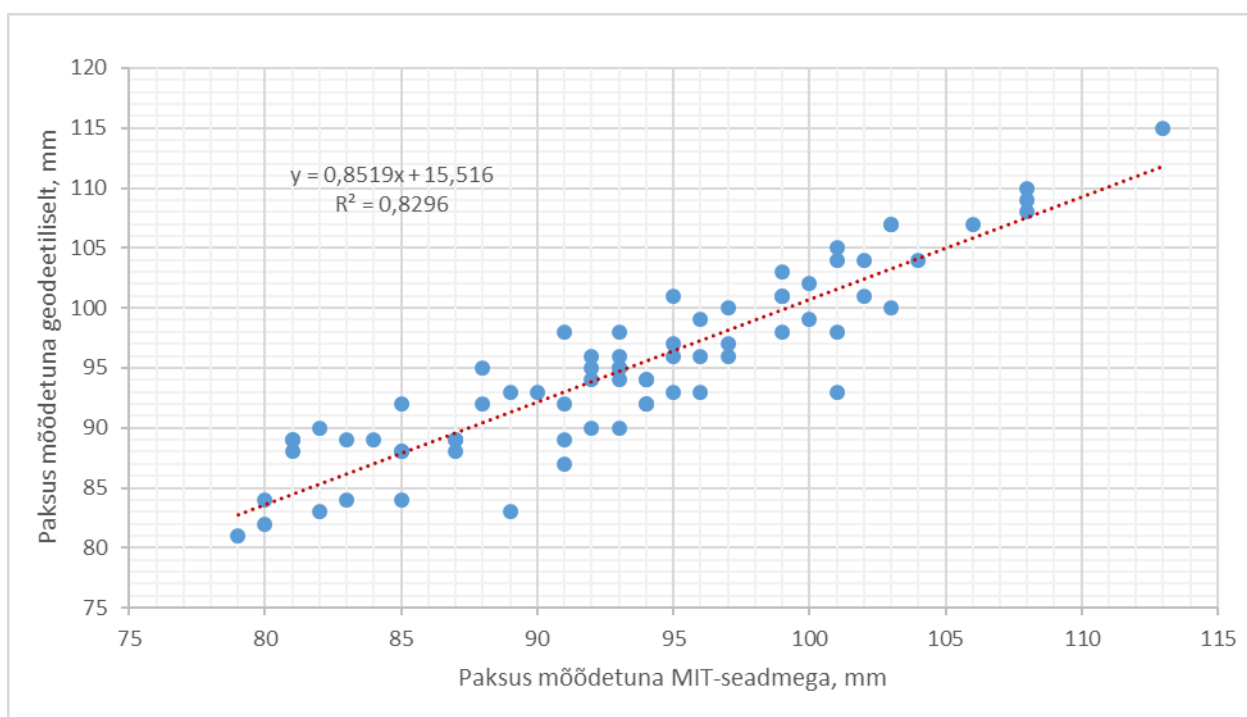


Joonis 56. Katte paksuse mõõtmistulemuste korrelatsioon base-kihis keskel

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

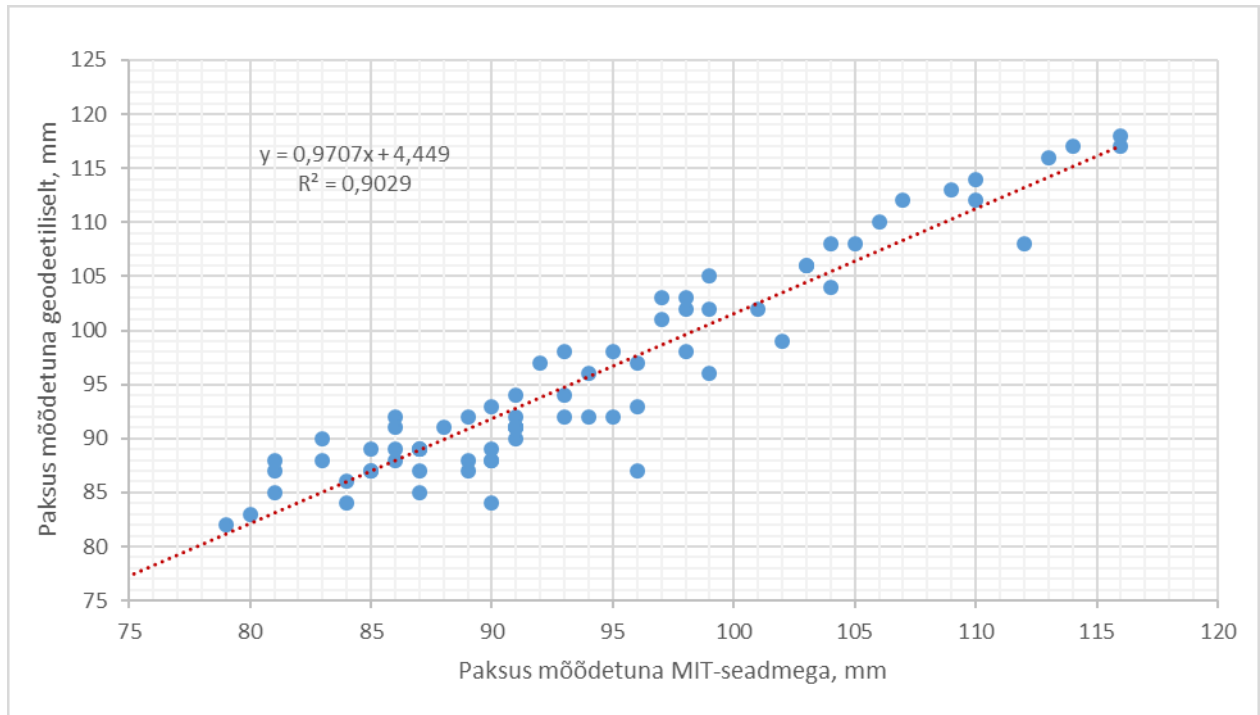


Joonis 57. Katte paksuse mõõtmistulemuste korrelatsioon base-kihis paremal

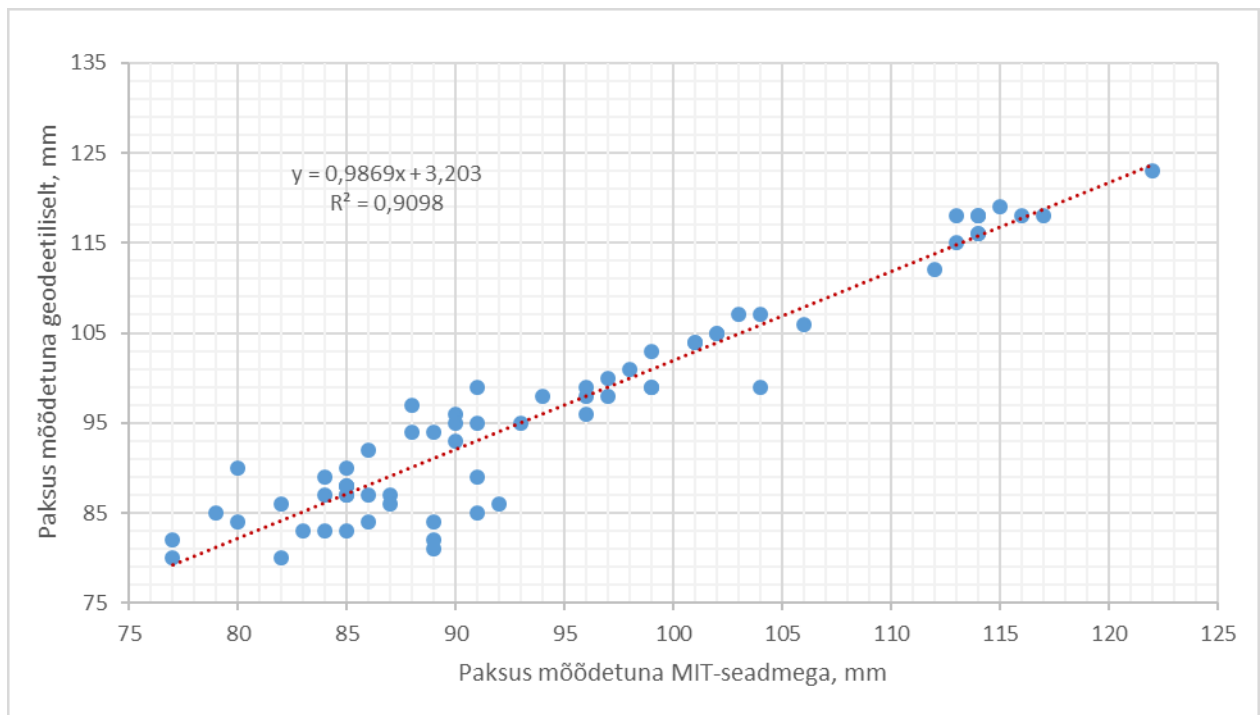


Joonis 58. Katte paksuse mõõtmistulemuste korrelatsioon kahes kihis koos vasakul

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 59. Katte paksuse mõõtmistulemuste korrelatsioon kahes kihis koos keskel



Joonis 60. Katte paksuse mõõtmistulemuste korrelatsioon kahes kihis koos paremal

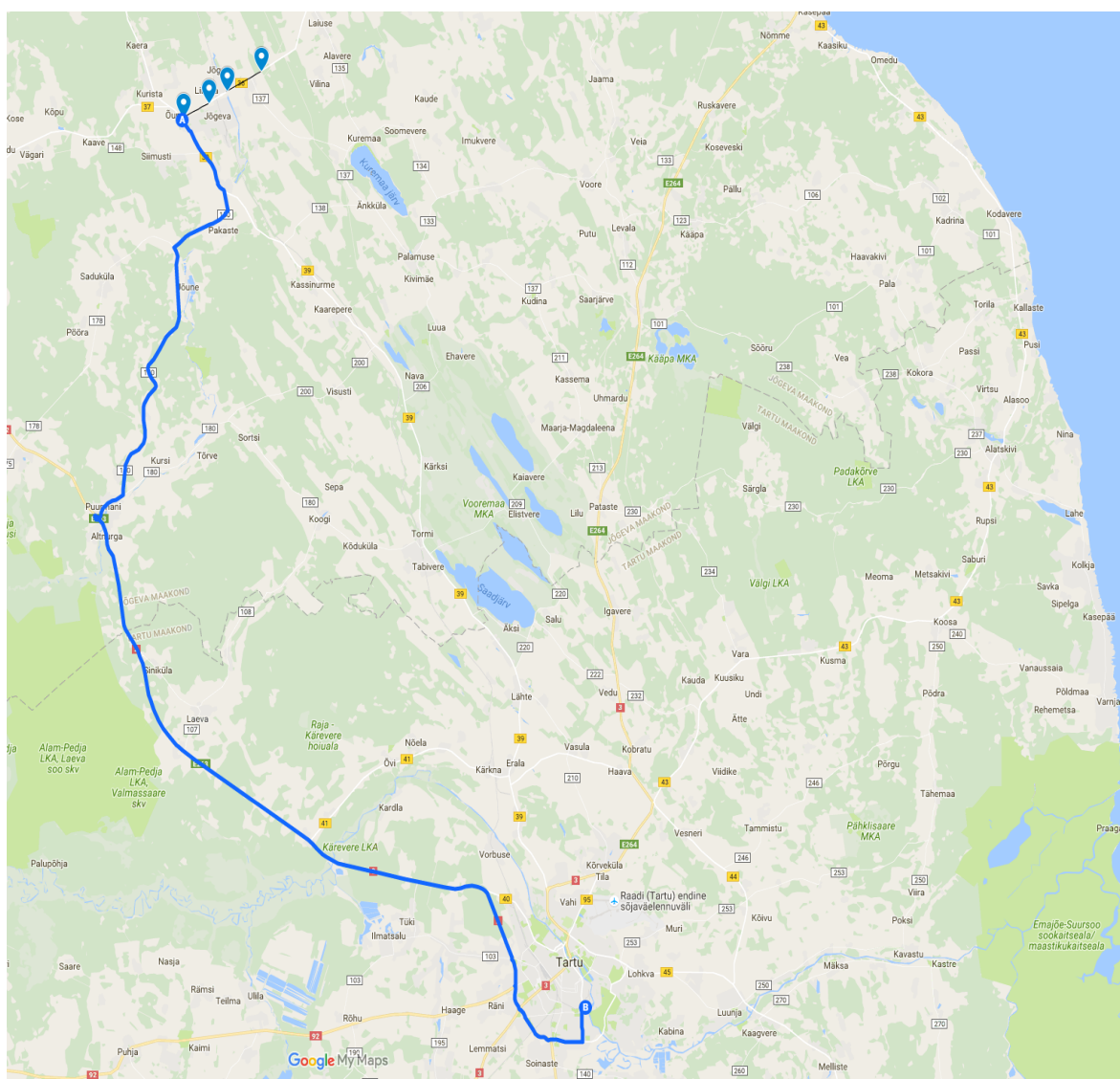
„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Kokkuvõtvalt võib geodeetiliste mõõtmiste kohta öelda, et kattekihtide paksuste määramisel õnnestus hea korrelatsioon saavutada surf-kihi mõõtmisel ning kahe kihi koosmõõtmistel ($R^2=0,64...0,91$ ja $0,83...0,91$), alumise kihi mõõtmistel jäi korrelatsioon rahuldavale tasemele. Viimase korrelatsiooni toob kindlasti alla asjaolu, et alakihti ei mõõdetud eraldi vaid arvutati läbi ülakihi. Geodeetiliselt mõõdetud paksused olid keskmiselt 2,6 mm suuremad kui MIT-mõõtmistega saadud suurused.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

5. Organokeemilise sideainega kaetud betoonmaterjali dünaamiliste tootmisprotsesside jälgimine ja kvaliteedi kasvu hindamine

Lisaks kattekihtide paksuse metoodika koostamisele oli uuringu üheks eesmärgiks selgitada laiemalt erinevate kaasaegsete seadmete ja töövõtete mõju asfaldist kattekihtide kvaliteedi kasvule ning võimalusi kaasaegsete mõõteseadmetega sellele kaasitavaid protsesse jälgida. Katselõiguks valiti tugimaantee 36 Jõgeva-Mustvee km 0,055-4,929, täpsemalt km 0,055 - 1,802 ja 2,377 - 4,928 (keskmine veokaugus 55 km), kus paigaldati AC surf kiht.



Joonis 61. Objekti paiknemine ja veomaa

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Varuobjektina oli kirjas tugimaantee 57 Mudiste-Suure-Jaani-Vändra km 39,7-42,7 (keskmine veokaugus 50 km), kihid: AC base ja AC surf. Teise varuobjektina oli veel tugimaantee 45 Tartu- Räpina – Värskas km 69,5-78,3 (keskmine veokaugus 65 km), kihid: AC base ja AC surf. Mõlemal varuobjektil teostati ka mitmeid mõõtmisi kuid nende analüüs jäi käesoleva uuringu mahust välja.

Välitööd ja kasutatud tehnika

Asfaldi paigaldus toimus objektil 20.09 kuni 23.09. Neljal järjestikusel päeval pandi maha AC surf kiht. Esimesel kahel päeval teostati tööd ilma söötjata ning viimasel kahel päeval koos söötjaga, kõigil päevadel kasutati muuhulgas isoleeritud veokastiga asfaldivedukit. Nende seadmete mõju hindamiseks kasutati kõigil neljal päeval AS'i Teede Tehnokeskus termograafilist süsteemi TGS, et hinnata asfaldi temperatuure ning fikseerida temperatuurisegregeerumine. Samuti testiti töös AsphaltManager'i tehnoloogiat. Objekt jagati tööde käigus lõikudeks, kus testiti erinevaid tihenduskombinatsioone, erinevate rullide ning AsphaltManageri erinevate programmide näol, selgitamaks kuidas need mõjutavad lõpptootte kvaliteeti. Viimast hinnati tasasuse ja makrotekstuuri kaudu.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Joonis 62. Objekti asukoht ja veomaa



Joonis 63. Söötja ja isoleeritud veokastiga asfaldiveok

Kasutatud tehnoloogiad

Asfalteerimistöode teostamisel kasutati tavapärasest suurema kvaliteedi saavutamiseks eritehnikat ja saavutatud kvaliteedi ja kasutaud tehnoloogiate hindamiseks rakendati erinevat kaasaegseid mõõtmisviise:

- Asfaldisegu söötja
- AsphaltManager tehnoloogiaga varustatud metallvaltsidega rull
- Pneumorull
- Termokastidega asfaldiveokid
- Termokaamera (paani laiuses pidevmõõtmist võimaldav)
- Maaradar katte jäävpoorsuse ja mõõtmiseks
- Lasertehnoloogial põhinev tekstuuri mõõteseade MPD mõõtmiseks

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

- Laboratoorsed puurimised terastikulise koostise ja jäävpoorsuse määramiseks

Asfaldisegu söötja

Paigaldatava asfaltsegu segregeerumise vähendamiseks ja temperatuuri ühtluse suurendamiseks on maailmas kasutusel võetud selleks otstarbeks välja töötatud seadmed. Inglisekeelses terminoloogias on nende jaoks kasutusel väljendid „Material Transfer Vehicle“ ja „feeder“, eesti keeles oleks tegemist asfaldi ülekande-, etteande- või söoteseadmega ehk lühidalt asfaldisegu söötjaga. Nagu nimi ütleb, aitab selline seade asfaldiveokist asfaldilaoturisse edastada ja vähendada seisakuid ning muuta protsess sellega kiiremaks (st. kokku hoida ressursse) aga ka suurendada materjali ühtlust. Selleks on asfaldilaoturi söötjal suur segupunker segu kiireks vastuvõtmiseks asfaldiveokilt ning tigumehhanism ja konveier materjali edastamiseks asfaldilaoturisse. Tigumehhanismi labade eriline kuju aitab asfaltsegu mõnevõrra ka segada ning vähendada nii materjali füüsilist- kui temperatuurisegregeerumist.



Joonis 64. Asfaldisegu söötja ehk *feeder*

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

AsfaltManager-tehnoloogiaga varustatud metallvaltsidega rull

AsfaltManager'iga (AM) BOMAG teerull on metallvaltsidega rull, millele on peale lisatud erinevate sensoritega varustatud süsteem mitmete tihendamise seisukohalt oluliste parameetrite jälgimiseks ja automaatseks või manuaalseks muutmiseks.

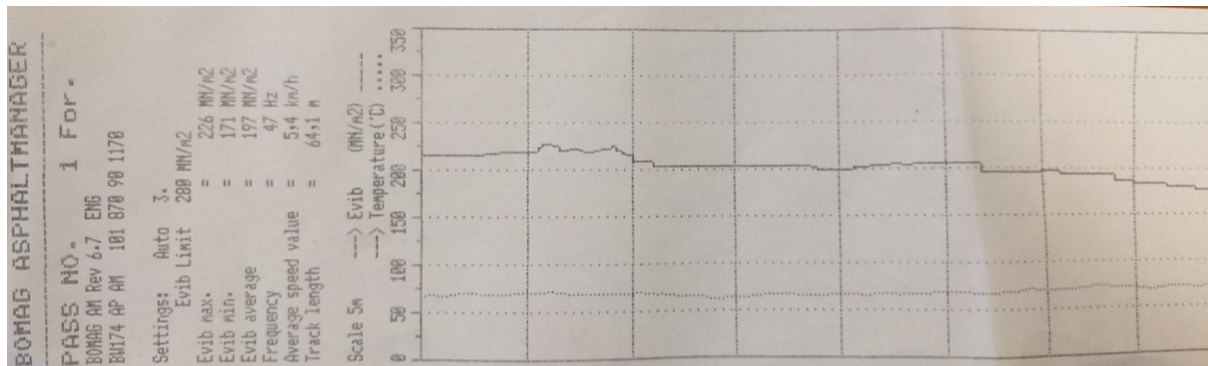


Joonis 65. AsfaltManager'iga varustatud metallvaltsidega rull (9T)

AM tööpõhimõte seisneb selles, et rull on võimeline vibratsiooni kasutuse puhul ise muutma nii võnkeamplituudi ning selle suunda vastavalt tihendatava materjali vajadusele. Süsteemil on kolm programmi, täismanuaalne (AM välja lülitatud), pool automaatne ning täisautomaatne. Manuaalprogramm, selle puhul võib öelda, et operaator on lülitanud AM funktsiooni välja ning tihendamine toimib nii nagu ilma AM'ta rulli korral. Poolautomaatses režiimis määrab operaator nii kihipaksused kui ka tiheduse piiri AM valib ülejäänud parameetrid automaatselt. Täisautomaatne programm, selle puhul määrab operaator vaid kihi paksuse ning selle põhjal süsteem ise määrab tiheduse piiri ning siis töötab rull antud piiri järgi, et saavutataks vajalik tihedus. See tehnoloogiline süsteem edastab operaatorile pidevalt andmeid asfaldi tiheduse ning temperatuuri kohta. Tiheduse määramiseks

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

on AsphaltManager'il iseloomulikuks tähiseks EVIB (MN/m²). See näitaja on operaatoril silme ees ning see võimaldab tal pidevalt kursis olla, mis toimub antud tihendatava asfaldiga ning kus oleks vaja veel vibratsiooni näol suuremat survet avaldada. Kui üks rullimis tsükkel on läbi, võimaldab seade selle väljatrükki (vt. näidis allpool).



Joonis 66. Näide AsphaltManager'i'ga prinditud andmelehest

Prinditud lehel on graafikuliselt näha millised paigad on oma tiheduse saavutanud ning kus jääb tihedusest veel natuke vajaka. Lisaks EVIB näitajale on lehel välja toodud ka temperatuuri graafik ning vibratsiooni kasutuspiirkond. Tänu AsphaltManager'i süsteemile on võimalik rullida pind kõige optimaalsemema tihenduskordade arvuga ning see vähendab ohtu, et pind saab üle- või alatihendatud.

Pneumorull

Tavaliselt kujutab pneumorull endast kahe telje vahele asetatud nn konteinerit või platvormi, kusjuures tagateljel on tavaliselt 3-5 ratast ja esiteljel vastavalt 2-4 ratast, mis on nihutatud nii, et esiratta jälg satuks tagarataste vahele. Staatiline koormus tekitatakse raskuste asetamisega nn. konteinerisse või platvormile nii, et rattale langev mass on 1000-12000 kg (rulli kogumass jagatud rataste arvuga). Lisaks rulli massi mehhaanilisele suurendamisele saab pneumorulli tihendavat efekti täiendavalt tõsta rehvirõhu tõstmisega – mida suurem on rulli rehvirõhk, seda suurem on rehvi kontaktsurve pinnasele ja seda suurem on ka rulli tihendamisevõime. Pneumorullid sobivad peaaegu kõigi pinnasetüüpide tihendamiseks kuid heaks peetakse ka pneumorullide võimet tihendada raskestitihenevaid segusid.



Joonis 67. Pneumorull (10T)

Isoleeritud veokastidega asfaldiveokid

Isoleeritud veokastidega (nn. termokastidega) asfaldiveokid on spetsiaalselt asfaldi veoks kohandatud soojustatud veokastidega veokid. Temperatuuri pikaajalisemaks hoidmiseks on veokastiseintele lisatud temperatuuri hoidvast materjalist lisakiht. Termokasti tööpõhimõte seisneb selles, et temperatuuri hoidev kiht kastil ei lase asfaldisegul pika veo puhul liigselt maha jahtuda, et objektile jõudes oleks kasti servadesse jääva segu temperatuuri langus minimaalne.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 68. Termokastiga veoauto

Termokaamera

Termokaamerana kasutati töös Teede Tehnokeskuse poolt spetsiaalselt asfaldi paigaldustemperatuuride jälgimiseks arendatud termograafilist süsteemi TGS. Viimase ülesanne on koguda laoturi tagant pidevat infot katte temperatuuride kohta kogu paigaldatava paani laiuses ning seda edastada serverisse, kus pärast on võimalik neid andmeid töödelda ning analüüsida ja koostada erinevaid väljundeid – temperatuurigraafikuid, „termovaipa“, kuvada termopilte jpm. Termokaamera paigutati laoturi raamile ca 3,3m kõrgusele kattest ning temperatuure mõõtis ca 3-5m kauguselt laoturi tagant. TGS kaamera termopilti on võimalik ka jälgida mobiilsest seadmest (nutitelefon, tahvelarvuti), mistõttu on võimalik koheselt näha probleemseid kohti ning vajadusel võtta tarvitusele meetmeid nende probleemide vähendamiseks.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 69. Termograafiline süsteem TGS laoturil ja kaamerad



Joonis 70. TGS seadmed ja infotabloo seadme staatuse jälgimiseks

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Maaradar katte jäävpoorsuse ja paksuse mõõtmiseks

Maaradar on geofüüsikaline seade, mis võimaldab pideva profiilina saada informatsiooni maapinna alla jääva keskkonna kohta. Katte jäävpoorsuse mõõtmisi teostati Geophysical Survey Systems Inc poolt toodetud maaradariga, mille komplekti kuuluvad mõõteantennid sagedusega 100, 400 ja 1000 MHz. Käesoleval juhul ei olnud jäävpoorsuse mõõtmine omaette eesmärk, mistõttu viimase jaoks vajalikku kalibreerimis teostama ei hakatud ning kõik võrdlused tuginesid Er väärtuste analüüsile.



Joonis 71. Eesti ja Soome maaradarid kõrgsageduslike õhk-paar-antennidega

Lasertehnoloogial põhinev tekstuuri mõõteseade MPD mõõtmiseks

Teekatte tekstuur iseloomustab katte pinda ning sellel on otsene seos liiklusohutusega (haardelised omadused), sõidumugavusega (müra ja ebatasasused), sõidukuludega (kütuse kulu) ning ehituskvaliteediga (segregatsioon, higistamine). Teekatte tekstuuri defineeritakse absoluutselt

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

tasase katte pinna vertikaalsuunaliste ebatasasustena. World Road Association (PIARC) on kehtestanud standardi tekstuuri kategooriate jaotamiseks lainepikkuse alusel. Need kategooriad sisaldavad mikrotekstuuri (lainepikkustel alla 0,5 mm), makrotekstuuri (0,5-50 mm), megatekstuuri (50-500 mm), ja tasasust (lainepikkustel 500 mm – 50 m).

Teekatete tasasuse ja tekstuuri mõõtmiseks kasutati laserseadet Laser Texture Meter LTM-1. Seade on läbinud iga-aastase kontrolli ja kalibreerimise tootja juures ning 2016 läbis edukalt tasasuse mõõtmise võrdlustestil Rootsis, mis kinnitab, et meie poolt teostatavad mõõtmised on võrreldavad Soomes ja Rootsis tehtavate mõõtmistega.



Joonis 72. Lasertehnoloogial põhinev tekstuuri mõõteseade MPD mõõtmiseks

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Laboratoorsed puurimised terastikulise koostise ja jäävpoorsuse määramiseks



Joonis 73. Puurimine ning välja puuritud puurkeha

Analüüs

Töös teostati mõõtmised ja analüüs selgitamaks asfaldisegu söötja mõju:

- Söötja mõju segu termilisele segregeerumisele
- Söötja mõju seisakute tekkele
- Söötja mõju kallurite poolt asfaldilaoturi nn rammimisest tulenevate ebatahasuste vähendamisele

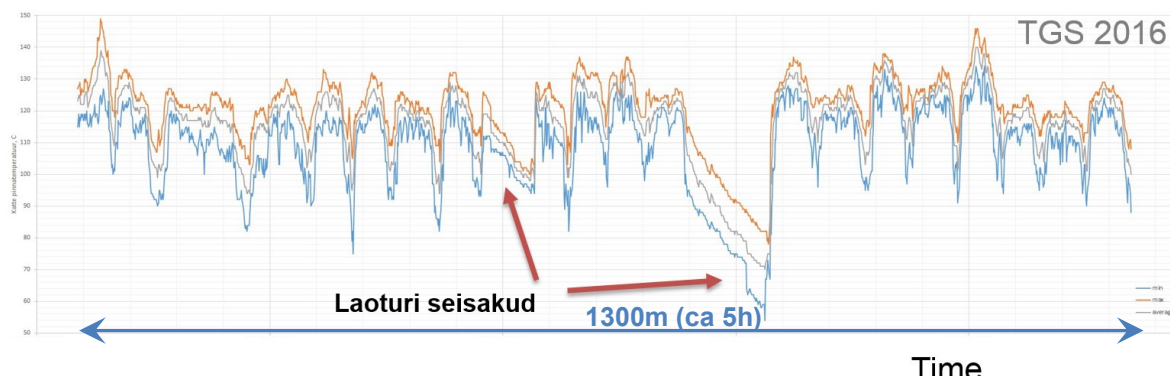
Söötja mõju füüsilisele segregeerumisele

Söötja mõju füüsilisele segregeerumisele (fraktsioneerumisele) (terakoostis ja tekstuur) otsustati Tellija soovil käesolevas töös mitte uurida, kuna terakoostise katsetamine nõudnuks lepingu täiendamist lisakatsetega, mis objektide niigi märkimisväärse nihkumise tõttu sügise suunas oleks see toonud kaasa ka teadustöö tähtaja nihkumise. Siiski oleks kasulik edaspidi hinnata terastikulise koostise määramisel puurimise mõju terakoostisele, seda nii suure puuriga ($d=150\ldots 200\text{mm}$) kui ka väikese puuriga ($d=100\ldots 110\text{mm}$), et analüüsida erinevused suure ja väikese puuriga saadud terakoostiste vahel.

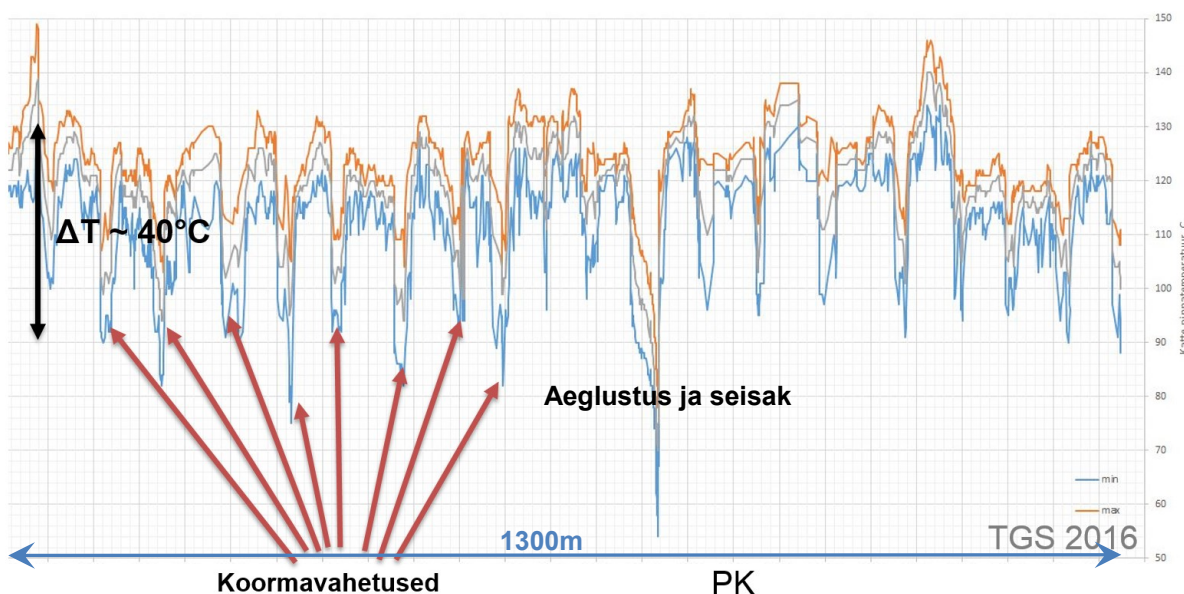
„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Söötja mõju seisakute tekkele

Söötja mõju hindamiseks seisakute tekkele võrreldi katte paigaldustemperatuuride graafikuid erinevatel päevadel (vt allolevad joonised).



Joonis 74. Katte min,- max- ja keskmised paigaldustemperatuurid aeg-graafikul



Joonis 75. Katte min,- max- ja keskmised paigaldustemperatuurid meeter-graafikul

Vaadeldud päevadel esines seisakuid nii söötjaga kui söötjata ning peamiselt logistilistel põhjustel, mistõttu asfalti ei suudetud piisavalt ette tuua. Eeldatavalt pääseb söötja mõju seisakute vähendamisel esile juhul kui üldine tarnekindlus on tagatud kuid seisakud tekivad põhjusel, et veokite vahetus laoturi ees ei õnnestu piisavalt kiiresti muudel põhjustel (nt. kitsastes oludes suurest liiklusest tingituna).

Tihendusmeetodite valik

Erinevate tihendusviiside mõju hindamiseks viidi tihendamine läbi erinevate meetodite kombinatsioonidega ning teostati mõõtmised selgitamaks erinevate tihendusmeetodite mõju asfaldi terastikulisele segregeerumisele ja tihedusele, sh vuugi tihedusele (M-metallvalts, P-pneumorull, AM-AsfaltManager, numbrid-rulli mass tonnides:

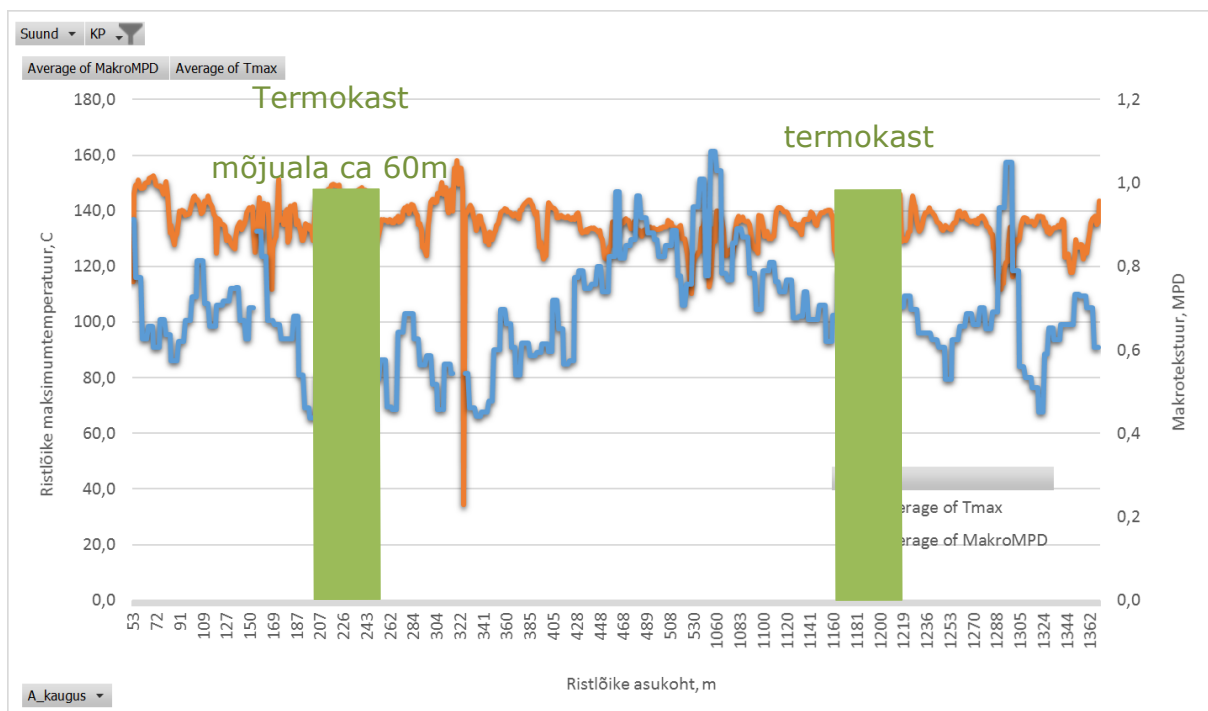
Objektil kasutatud paigaldus- ja tihendustehnoloogiate komplektid ning termokastiga veoauto saabumis ajad ja pikettide vahemikud (M – metallvaltsidega rull, P - pneumorull):

Päev 1 (20.09)

Komplektid:

- PK 0+55 - PK 15+50 vasak Laotaja + M10 + P10 + M9

Termokastid: PK 2+15 - PK 2+75 (kell 9:55), PK 11+75 - PK 12+25 (kell 13:29)



Joonis 76. Temperatuurid ja makrotekstuur, päev 1

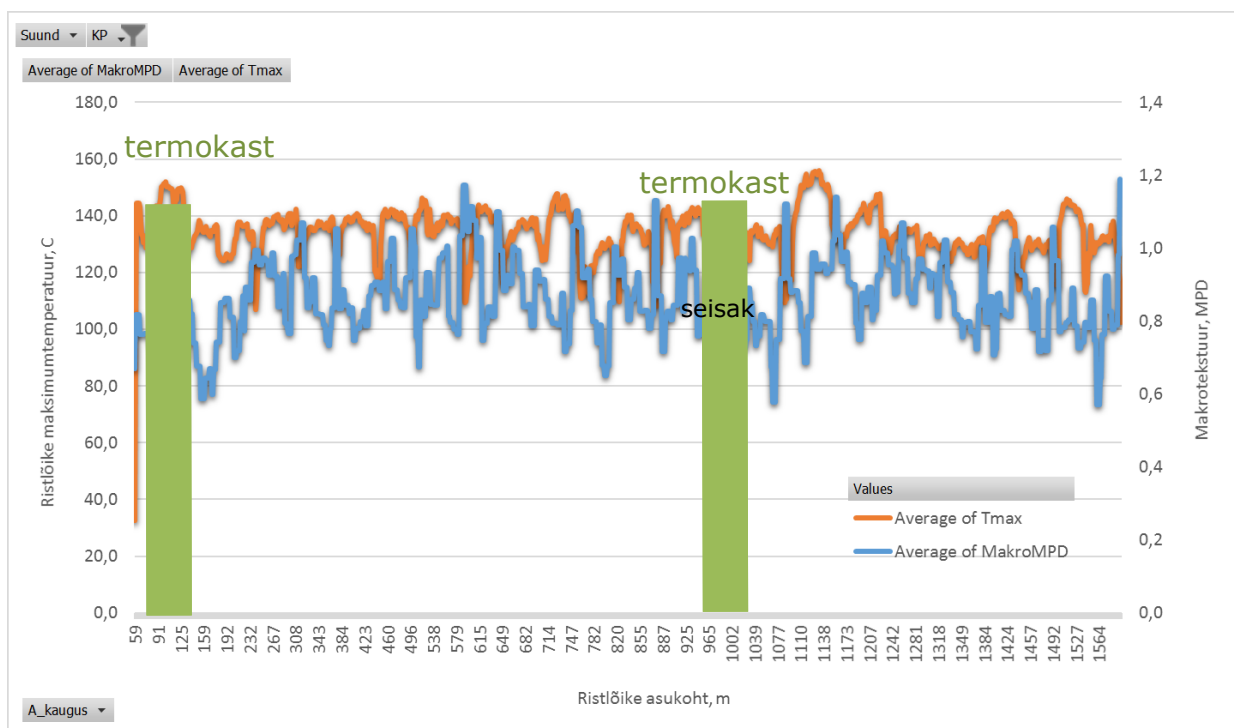
„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

Päev 2 (21.09)

Komplektid:

- PK 0+55 - PK 7+50 parem Laotaja + M8 + M9 + M10
- PK 7+50 - PK 15+95 parem Laotaja + M8 + M9AM + M10

Termokastid: PK 0+90 - PK 1+40 (kell 9:20), PK 9+20 - PK 9+70 (kell 12:02)



Joonis 77. Temperatuurid ja makrotekstuur, päev 2

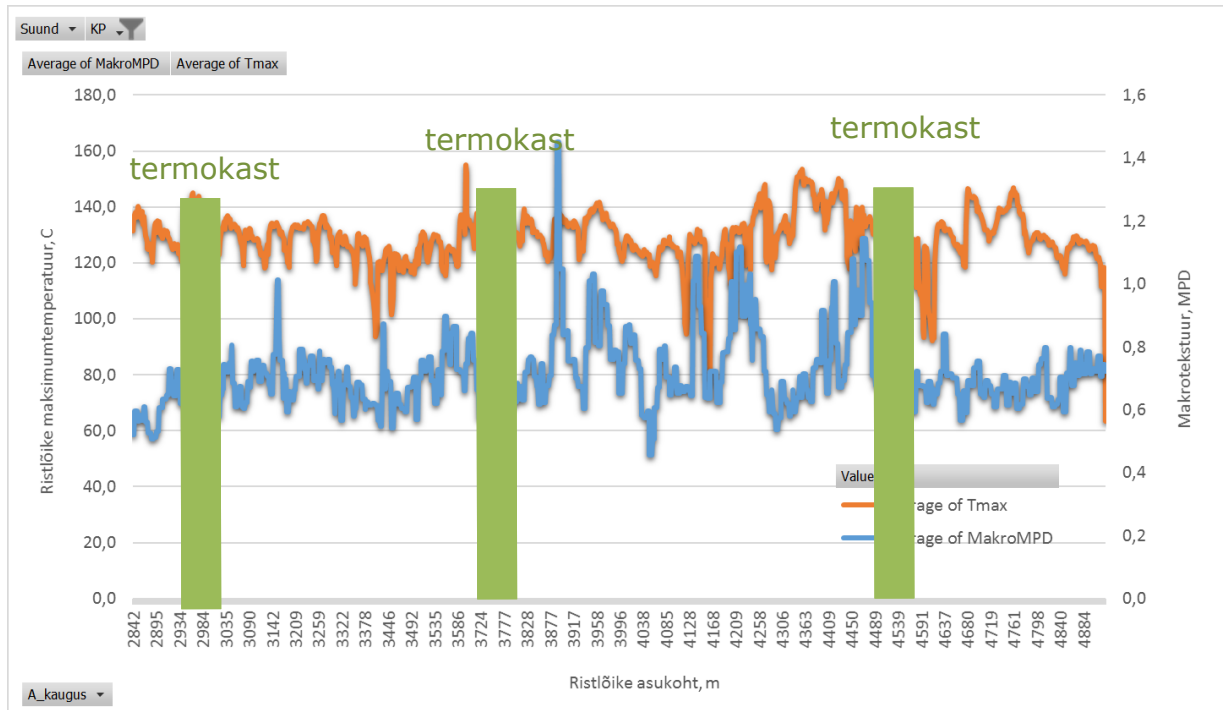
Päev 3 (22.09)

Komplektid:

- PK 28+30 - PK 39+00 vasak: Söötja + Laotaja + M8 + M9 + M10
- PK 39+00 - PK 49+09 vasak: Söötja + Laotaja + M8 + M9AM + M10

Termokastid: PK 29+50 - PK 30+00 (kell 9:27), PK 37+50 - PK 38+00 (kell 12:18), PK 45+00 - PK 45+50 (kell 15:13)

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 78. Temperatuurid ja makrotekstuur, päev 3

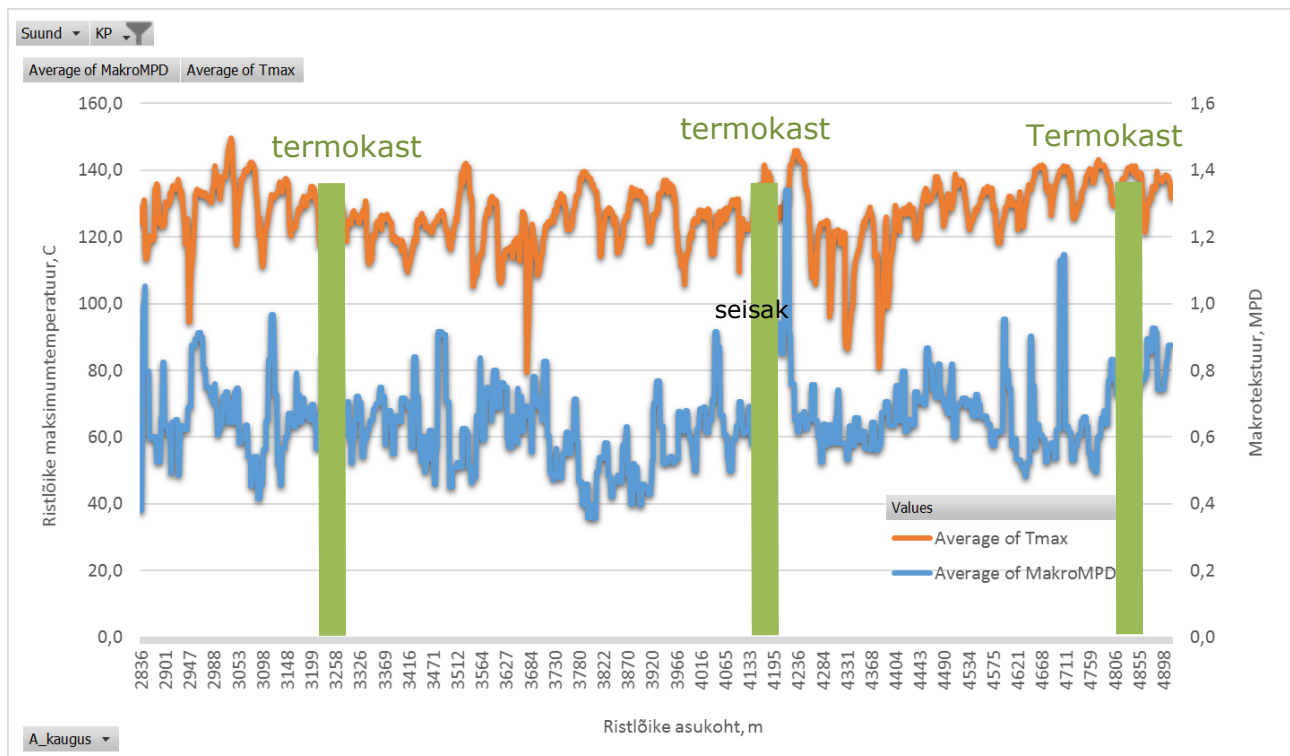
Päev 4 (23.09) parem paan (suund 1)

Komplektid:

- PK 49+09 - PK 44+50 parem Söötja + Laotaja + P10 + M9 + M10
- PK 44+50 - PK 39+00 parem Söötja + Laotaja + M10 + P10 + M9 + M9
- PK 39+00 - PK 28+30 parem Söötja + Laotaja + M10 + P10 + M9AM + M9

Termokastid: PK 48+50 - PK 48+00 (kell 9:28), PK 41+90 - PK 42+40 (kell 12:09), PK 32+70 - PK 32+20 (kell 15:20)

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega piloobjektidel“ LÕPPARUANNE



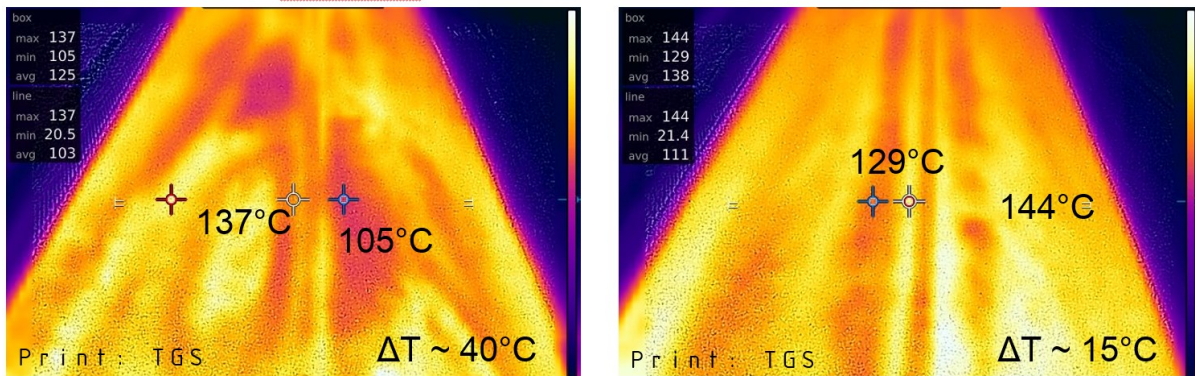
Joonis 79. Temperatuurid ja makrotekstuur, päev 4

Eelnevatelt joonistelt on näha, et isoleeritud veokastide (nn. termokastide) kasutamise mõju ei ole temperatuurigraafikutelt selgelt hoomatav. Peamiseks põhjuseks on ilmselt asjaolu, et asfaldi paigaldamisele õnnestus saada vaid üks sellise kastiga veok, mistõttu temperatuuride vähenemine koormavahetuskohtades oli ikkagi mõjutatud eelneva ja järgneva, isoleerimata veokastiga asfaldiveokist. Lisaks toimusid ka termokastide kasutamise kohtades seisakud, mis omakorda mõjutasid asfaldi temperatuure.

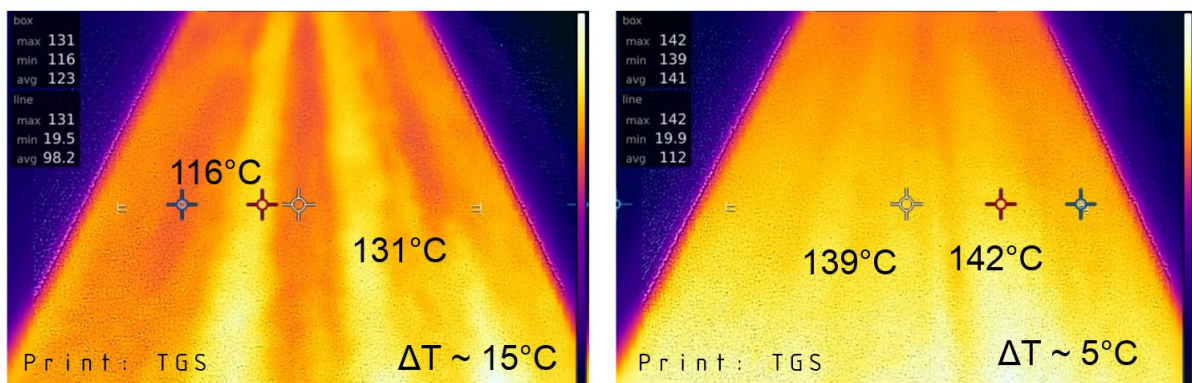
Mõõtmised selgitamaks erinevate veokauguste ning ilmastikuolude mõju paigaldustemperatuurile

Antud objekt oli kompaktne ning veokaugus jäi kogu objektile samasse suurusjärku. Samuti olid ilmastikuolud 4 päeva vältel sarnased, +20C, kerge tuul. Allolevatel joonistel on kujutatud tüüpilisi näiteid paigaldusest söötjaga ja ilma, koormavahetuse kohtades ja nende vahelistel lõikudel. Joonistelt selgub, et tavaolukorras on temperatuuride ühtlus söötjaga paigaldatuna oluliselt parem ilma söötjaga paigaldatud tulemusest samas eristavad mõlemal juhul koormavahekohtad. Parema tulemuse saamiseks tuleks rakendada nn. termokaste.

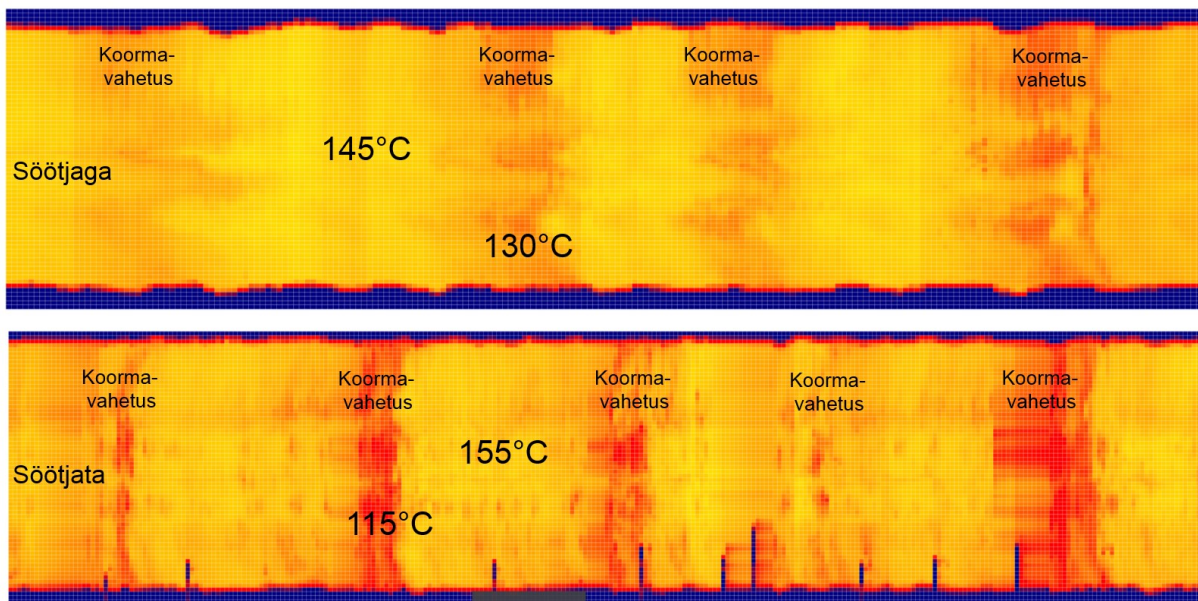
„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 80. Kattetemperatuurid koormavahetuse piirkonnas ja sellest väljaspool



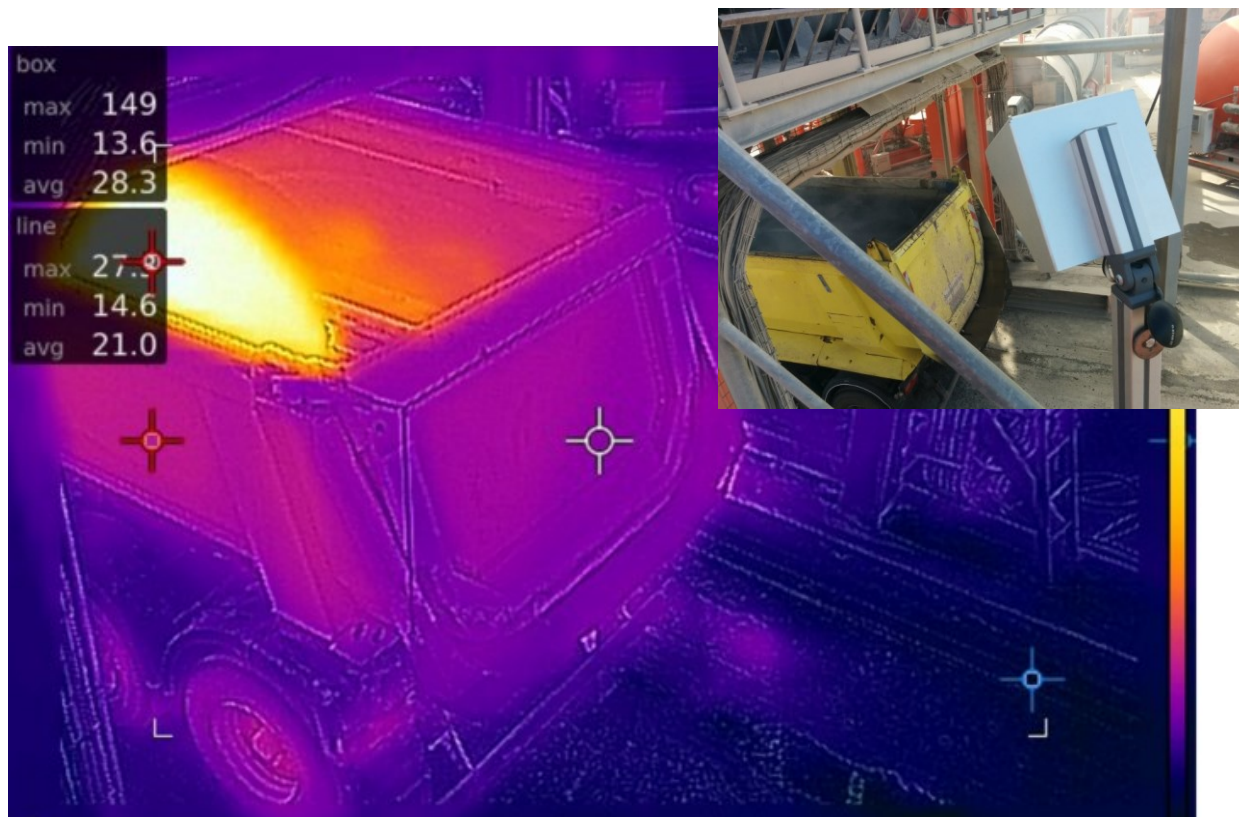
Joonis 81. Kattetemperatuurid koormavahetuse piirkonnas ja sellest väljaspool söötjaga



Joonis 82. Kattevaip paigaldustemperatuuridega söötja korral ja ilma

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

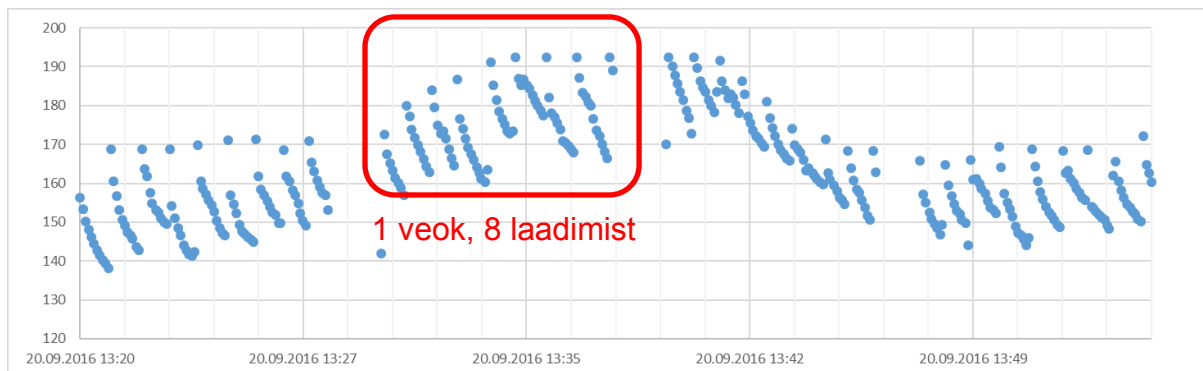
Alloleval joonisel on kujutatud asfaldi laadimistemperatuuride jälgimist tehases.



Joonis 83. Asfaldi laadimistemperatuuride jälgimine TGS'ga

Alloleval graafikul on toodud näide asfaldi temperatuuri muutumisest järjestikustel laadimistel (8 laadimist) ühe asfaldiveoki piires. Graafikult on näha (iga laadimise esimene punkt), et asfaldi temperatuur on kasvanud ca 170 kraadilt 190 kraadini. Järgmised punktid näitavad veokis oleva asfaldi õhukese pinnakihi temperatuuri kiiret langust. Kui koorem jätta veo ajaks katmata, langeb pinnatemperatuur ja pakseneb ülejäänud asfaldikihist madalama temperatuuriga kooriku kiht oluliselt kiiremini kui kaetud ja paraja paksusega isoleeriva õhuvahega koorma korral. Samal põhjusel on oluline veokikastide külgede ja otste isoleerimine. Veiki metallist kast juhib väga hästi soojust ümbritsevasse keskkonda, mistõttu kasti servadesse tekivad jahtunud koorikud.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE



Joonis 84. Asfaldi laadimistemperatuuride graafik TGS'st

Erinevate paigaldus- ja tihendusmeetodite mõju hindamine

Tihendamisel kasutati järgimisi tehnoloogiaid

- Rulli tihendamisprotsessi eelprogrammeerimine - tugineb tihendusanduritelt saadud infole- vähendamaks ala ja ületihendamise riski
- Automaatne muutsuunaga tihendamisprotsessi rakendamine tasasema lõpptulemuse saamiseks
- Pikivuugi efektiivsem tihendamine nn ossilatsioon tüüpi tihendamistehnoloogia rakendamisega

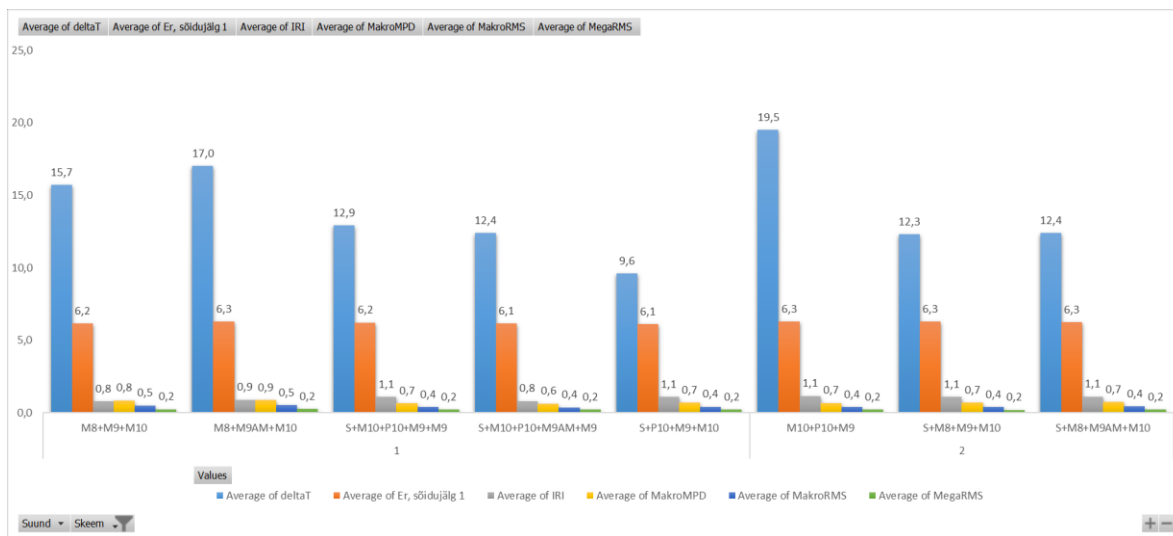
Töös võrreldi erinevate tihendustehnoloogiate mõju järgmistele näitajatele:

- Temperatuuride ühtlus (samast ristlõikes, ΔT)
- Maaradariga mõõdetud dielektriline väärtus
- Tasasus (IRI)
- Makrotekstuur MPD
- Lisaks mõõdeti ja võrreldi nii makro- kui megatekstuur RMS

Allolevalt jooniselt on näha, et erinevate meetodite kasutamise mõju ei ole käesolevas töös selgelt avaldunud. Nii jääb kate keskmine dielektriline väärtus kõigil juhtudel vahemikku 6,1...6,3, makro- ja megatekstuur RMS vastavalt 0,4 ja 0,2, makrotekstuur MPD jääb vahemikku 0,6...0,8. Tasasus jääb erinevatel lõikudel

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

vahemikku 0,8...1,1. Samas pole erinevatel tasasuse väärtustel märgata selgeid seoseid valitud tehnoloogiatega. Ainsa kriteeriumine on selgelt parem temperatuuriühtlus saavutatav söötjaga - vahemikus 9,6...12,9 kraadi. Ilma söötjaga jääb keskmine näitaja lõiguti vahemikku 15,7 ... 19,5 kraadi.



Joonis 85. Paigaldus- ja tihendustehnoloogiate mõju lõpptulemusele

Tööosa lühikokkuvõte

Teede Tehnokeskus viis objektil läbi uurimistöös vajalikud mõõtmised andmete analüüsi eesmärgil ning nõustas töövõtjat kasutatavate seadmete töörežiimide ja töömeetodite kavandamisel. Asfaldi paigaldustöödel märgiti üles olulisemad kvaliteeti mõjutavad tegurid ning teostati pistelist visuaalset jälgimist. Samuti korraldas Teede Tehnokeskus segu ja paigaldustööde kvaliteedi objektiivset hindamist võimaldava operatiiv- ja pidevmõõtmise tehnika kasutamist ning teostas andmete kogumist paigaldustööde vältel ning pärast paigaldamist. Mõõtmisi teostati selleks spetsiaalse, hilisemat järelanalüüsi võimaldava termograafilise süsteemiga ning ka jäävpoorsuste ja tihendustegurite mõõtmisi maaradariga nin tasasuse ja atekstuuri mõõtmise seadmega. Teede Tehnokeskus korraldas mõõtmisandmete võrdluse ja seostamise ning saadud tulemuste analüüsi.

Töövõtja esitas mõningast infot kasutatud tihendusmeetodite kohta ja tagas asfaldi paigaldustöödeks spetsiifiliste ehitusseadmete olemasolu, samuti abistas rakendatud muude töövõtete kirjeldamisega objektil ning mõningate märkmetega.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

6. KOKKUVÕTE

Teadustöö käigus tehti **ülevaade** erinevatest katte paksuse mõõtmise mittepurustavatest metoodikatest ja tuginedes teiste riikide uuringutele valiti välja teedeehituses kattekihtide paksuste mõõtmiseks sobivaimad. Nendeks osutusid pulss-induktsioontehnoloogial põhinev elektromagnetiline **MIT-SCAN seade** ning **maaradar**. MIT-SCAN mõõtmise eeliseks on **suur täpsus** ja suhteliselt väike mõõtmise kulu ühe mõõtmispunkti kohta (ca 5-10 x väiksem kui puurimisel), mis võimaldab **tihendada mõõtmiste sammu** puuraukude 500 m pealt 50-100m peale kulusid kasvatamata. Maaradari eeliseks on mõõtmiste **väga suur tihedus** (ca 10 000 punkti kilomeetri kohta, mis tähendab pidevmõõtmist. Maaradari puuduseks on väiksem täpsus ja vajadus andmete kalibreerimiseks, samuti andmetöötluse ajamahukus. Seetõttu sobib maaradar hästi katte paksuse **ühtluse kontrolliks ja anomaaliate avastamiseks** – st. avastamaks kohtasid, kus kattekihtide paksus võib olla lubatust õhem kuid tööde vastuvõtmise meetodina ei võimalda maaradar täna piisava täpsusega kattekihtide paksust määrata.

Uuring näitas, et MIT-seade sobib hästi kattekihtide **paksuste täpseks mõõtmiseks**. Kattekihtide paksuste võrdlusandmed puurkehade laboratoorsete mõõtmistega andsid suurepärase täpsuse. Analüüs näitas, et reflektorite mõõtmistulemused korreleeruvad väga hästi katte paksuste mõõtmistel saadud tulemustega, kus erinevused jäävad valdavalt **katte ülakihis +-1mm piiresse** ning **alakihis +-2mm piiresse**. Seejuures pole võimalik öelda, kas reflektoril põhinev kattekihtide paksuse mõõtmine on täpsem või ebatäpsem kui laboratoorne mõõtmine kuna laboratoorse mõõtmise täpsus on ligikaudu sama. **Kõikide mõõtmiste keskmine tulemus on täpselt sama laboris saadud mõõtmiste keskmise tulemusega.**

Mõõtmiste väärtuses esines siiski ka üksikuid suuremaid erinevusi, mille põhjustas reflektori paigutamine asetatud pinnale kalde all, mistõttu mõõdetud paksus osutus tegelikust väiksemast. Nende esinemise tõenäosus on siiski väike ja samas ristlõikes kaduvväike. Siiski peab töövõtjal jääma võimalus soovi korral teha kahtlusi äratavates kohtades **puurimised täpselt reflektori kohal** ning märkida lisaks laboratoorselt saadud katte paksusele ka reflektorit puudutavad üksikajad. **Koostati elektromagnetilisel seadmega katete paksuste mõõtmise**

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

metoodika, mida soovitame juba 2017 aastal rakendada näiteks maaradariga mõõdetavatel objektidel ülakihi paksuse kontrollil.

Maaradarit on soovitatav kasutada **toetava meetmena** juhumeetodil valitud objektidel (nt. 20% objektidest) ning lisaks nendel objektidel, kus mingitel põhjustel, nt. reflektoritel põhinevate mõõtmiste tulemuste põhjal on tekkinud kahtlus, et reflektorite vahelisel alal on katte paksust vähendatud.

Eraldi käsitleti töös uudsete katte **uute kvaliteedi tagamise meetodite rakendamise võimalusi** nii katte kvaliteedi reaalaraja kui järelkontrollil. Töös piirduti ühe pilootobjektiga, millel testiti pneumorulli, AsphaltManageriga varustatud automaatset tihendusrežiimi valikut võimaldavat metallvaltsidega rulli, asfaldisegu söötjat ja isoleeritud veokastiga asfaldivedukit ning erinevaid kvaliteedi kohta tagasisisidet andvaid seadmeid nagu reaalarajas paigalduskvaliteedi jälgimist võimaldavat termograafilist süsteemi TGS, jäävpoorsuse ja tihendustegurite määramiseks maaradarit ning tasasuse ja makrotekstuuri määramist 5m mõõtmisammuga. Perspektiivimaiks võiks lugeda **termograafia** rakendamist.

TGS rakendamine näitas, et termograafial oleks töö kvaliteeti tõstmisel **suur potentsiaal** kuivõrd reaalarajas on näha asfaldikoormata vahetuses tekkivad **jahtunud kohad**. Ühtlasi näitas TGS ka asfaldisegu söötja head kasutegurit antud objekti tingimustes – **temperatuuride ühtlus** oli söötja kasutamisel tuntavalt parem. Muude tegurite osas esines küll mõningaid anomaaliaid (nt. eristuvad lõigud makrotekstuuris) kuid need eristumised ei seostunud teiste andmetega, mis viitaksid sellise eristumise põhjustele. Siiski on siin edasisteks uuringuteks põhjust küll kuna esialgsed tulemused annavad põhjust oletada, et töövõtjatele võib selliste kontrollimehhanismide olemasolu anda tulevikus olulist lisaväärtust kvaliteedi parendamiseks.

Toetamaks töövõtjate püüdlusi kvaliteedi parendamisse panustamisel, soovitame Maanteeametil töötada välja ning rakendada mõjusat **tasakaalustatud motivatsioonisüsteemi**, mis innustaks töövõtjaid senisest enam otsima uusi kvaliteedi parendamise meetmeid ja julgustaks kontrollisüsteeme katsetama, kompenseerides osaliselt nende rakendamise kulu ja makstes täiendavat tasu (nn. boonust) saavutatud **nõutust parema kvaliteedi eest**. Katte paigaldustemperatuuride ühtlus on kindlasti üks sellistest.

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] TP D-StB 12 Technical Specifications for determining pavement layer thicknesses in road construction. Forschungsgesellschaft für strassen- und verkehrswesen
- [2] Method to determine pavement thickness using magnetic tomography technology. Department of transportation engineering service center. Transportation Laboratory, California 2007
- [3] Final Report. Method to determine pavement thickness using recommended technology. August 2007

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

7. LISAD

„Kattekihtide paksuste mõõtmise mittepurustavate meetodite ülevaade koos mõõtmismetoodika koostamisega ja testimisega pilootobjektidel“ LÕPPARUANNE

LISA 1. Puurimistulemuste katseprotokollid

LISA 2. Geodeetilised mõõtmised (e-lisa)

LISA 3. Katte paksuste mõõtmised MIT-seadmega (e-lisa)

LISA 4. Katte paksuste mõõtmised maaradariga (e-lisa)

LISA 5. Muud mõõtmised (e-lisa)

LISA 6. HISPEQ kokkuvõte (e-lisa)

KATSEPROTOKOLL

NR 7307/16

08.11.2016 nr 7-6.4/9998

Lk 1/4

Tellija:	TEEDE TEHNOKESKUS AS Arendus ja uuringud osakond – hr Marek Truu		
Töö ülesanne:	Puurproovide katsetamine		
Objekt:	T27 Rapla-Järvakandi-Kergu		
Proovide võtmise koht:	Vastavalt skeemile	Puurproovide arv/kihid:	58/kahekihiline
Proovide võtmise aeg:	01.11.16 kell 09:30-15:15	Proovide võtja:	A. Pall, R. Piirsalu, Teede Tehnokeskus AS
Proovide toomise aeg:	01.11.16 kell 16:15	Proovide tooja:	A. Pall, R. Piirsalu, Teede Tehnokeskus AS
Proovide tellija poolne tähistus:	Puurproovid nr 1-58	Labori reg.number:	6707
Katsetamine ja tulemused:	Puurproovide paksused määrati EVS-EN 12697-36 järgi. Märkega R on tähistatud kihipaksuse mõõde kuni reflektori ülemise pinnani.		

Puurkeha						
Tähistus		Mõõde 1 mm	Mõõde 2 mm	Mõõde 3 mm	Mõõde 4 mm	Keskmine mm
Nr	Proovivõtu koht					
Pealmine kiht						
1	PK 266+00	38	39	38	39	39
2		40	39	41	40	40
3		39	39	38	39	39
4		40	41	33	39	38
5		39 R	43	42	39	41
6		40	41	41	39	41
7	PK 267+50	45	43	45	39	44
8		35	37	35	39	36
9		29	30	29	39	29
10		27 R	30	31	39	29
11		36	38	39	39	38
12		40	41	42	39	40
13	PK 270+00	38	39	38	39	39
14		40	40	40	39	40
15		39	41	38 R	39	40
16		40	38 R	40	39	40
17		42	43	44	39	43
18		45	44	44	39	45
19	PK 271+50	40	40	40	39	40
20		38 R	40	40	39	40
21		40	38 R	40	39	40
22		40	41	42	39	41

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovide kohta.

Vastutav teostaja

Amet Labori peaspetsialist
Nimi Markus Mänd

Protokoll osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba.

Labor väljastab ainult värvilise templiga katseprotokolle.

TEHNOKESKUSE LABORATOORIUM

Puurkeha						
Tähistus		Mõõde 1 mm	Mõõde 2 mm	Mõõde 3 mm	Mõõde 4 mm	Keskmine mm
Nr	Proovivõtu koht					
Pealmine kiht						
23	PK 275+00	45	47	46	47	46
24		43	40	41	41	41
25		50	48	48	48	49
26		35	33	32 R	36	34
27		43	43	45	45	44
28		48	49	49	50	49
29	PK 275+50	34	40	35	35	36
30		45	43	45	45	45
31		35	35	35	35	35
32		33 R	34	36	36	35
33		41 R	44	42	46	43
34		46	48	46	47	47
35	PK 281+50	42	44	40	45	43
36		45	42	43	43	43
37		38	37	39	40	39
38		31	33	35	35	34
39		39 R	39	40	40	40
40		40 R	41	41	42	41
41	PK 282+50	43	43	42	43	43
42		41	41	40	42	41
43		37	37	39	36	37
44		34 R	36	36	35	35
45		42	41	44	41	42
46		44	42 R	44	43	43
47	PK 284+00	40	42	41	40	41
48		39	39	39	40	39
49		32	32	34	33	33
50		30	32	35	35	33
51		35 R	38	37	38	37
52		38 R	40	40	40	40
53	PK 284+50	43	43	45	44	44
54		38	39	38	38	38
55		35	35	35	35	35
56		36	37	36	34 R	36
57		39	38	38	40	39
58		40	42	40	40	41

		Puurkeha				
Tähistus		Mõõde 1 mm	Mõõde 2 mm	Mõõde 3 mm	Mõõde 4 mm	Keskmine mm
Nr	Proovivõtu koht					
Alumine kiht						
1	PK 266+00	52	50	50	51	51
2		51	52	53	52	52
3		61	60	61	62	61
4		60	59	60	63	61
5		54	50	51	53	52
6		50	48	51	47	49

Puurkeha						
Tähistus		Mõõde 1 mm	Mõõde 2 mm	Mõõde 3 mm	Mõõde 4 mm	Keskmine mm
Nr	Proovivõtu koht					
Alumine kiht						
7	PK 267+50	45	47	45	49	47
8		50	50	50	51	50
9		61	62	61	58	61
10		62	59	59	60	60
11		58	45	48	51	51
12		-	-	-	-	-
13	PK 270+00	51	50	50	50	50
14		48 R	50	54	50	51
15		53	52	53	53	53
16		48	49	52	49	50
17		48	47	46	47	47
18	PK 271+50	47	47	46	52	48
19		51	50	49	45 R	49
20		59	57	55	58	57
21		48	47	49	49	48
22		51	51	48	52	51
23	PK 275+00	52	52	53	53	53
24		48	50	51	51	50
25		49	54	53	47	51
26		59	59	60	56	59
27		53	54	49	49	51
28		48	49	49	47	48
29	PK 275+50	51	50	51	52	51
30		55	55	53	55	55
31		50	50	44	45	47
32		51	51	52	49	51
33		53	53	58	41	51
34		55	50	58	55	55
35	PK 281+50	53	50	53	48	51
36		62 R	64	67	66	65
37		74	73	75	71	73
38		86	82	84	87	85
39		70	71	71	72	71
40		60	60	61	59	60
41	PK 282+50	60	58	56	57	58
42		52	51	54	55	53
43		51	51	47	51	50
44		51	51	52	51	51
45		54	56	51	54	54
46		56	61	62	54	58
47	PK 284+00	51	53	54	54	53
48		50 R	51	55	55	53
49		45	43	41	39	42
50		50	53	49	51	51
51		53	52	53	51	52
52		54	54	50	50	52
53	PK 284+50	48	42	42	45	44
54		52	52	53	52	52
55		48	50	46	43	47
56		49	48	53	50	50
57		56	52	52	58	55
58		47	48	49	49	48



11.16

1-2+

266+00

4	5	6
•	•	•
3	2	1

JÄRVAKANDI

275+50

32	33	34
•	•	•
31	30	29

267+50

10	11	12
•	•	•
9	8	7

JÄRVAKANDI

10 VIKKES 8cm

281+50

38	39	40
•	•	•
37	36	35

270+00

15	16	17
16	14	18
•	•	•
•	•	•
14	13	

JÄRVAKANDI

14 VIKKES 10cm

E1
SAA PUURIDA

282+50

44	45	46
•	•	•
43	42	41

271+50

20	21	22
•	•	•
•	19	18

JÄRVAKANDI

E1
SAA PUURIDA

284+00

50	51	52
•	•	•
49	48	47

273+00

26	27	28
•	•	•
25	24	23

284+50

56	57	58
•	•	•
55	54	53

TEEDE TEHNOKESKUS AS
ARENDUS JA UURINGUD osakond
Väike-Männiku 26
11216 TALLINN



KATSEPROTOKOLL
NR 7280/16

07.11.2016 nr 7-6.4/9964

Lk 1/4

Tellija:	TEEDE TEHNOKESKUS AS Arendus ja uuringud osakond – hr Marek Truu		
Töö ülesanne:	Puurproovide katsetamine		
Objekt:	T28 Rapla-Märjamaa		
Proovide võtmise koht:	Vastavalt skeemile	Puurproovide arv/kihid:	60/kahekihiline
Proovide võtmise aeg:	31.10.16 kell 11:00-15:45	Proovide võtja:	A. Pall, R. Piirsalu, Teede Tehnokeskus AS
Proovide toomise aeg:	31.10.16 kell 16:45	Proovide tooja:	A. Pall, R. Piirsalu, Teede Tehnokeskus AS
Proovide tellija poolne tähistus:	Puurproovid nr 1-60	Labori reg.number:	6643
Katsetamine ja tulemused:	Puurproovide paksused määrati EVS-EN 12697-36 järgi. Märkega R on tähistatud kihipaksuse mõõde kuni reflektori ülemise pinnani.		

Puurkeha						
Tähistus		Mõõde 1 mm	Mõõde 2 mm	Mõõde 3 mm	Mõõde 4 mm	Keskmine mm
Nr	Proovivõtu koht					
Pealmine kiht						
1	PK 121+50	42 R	44	44	43	43
2		38 R	42	38	40	40
3		32 R	35	38	35	35
4		38	37	36	39	38
5		41	40	40	43	41
6		45	44	45	45	45
7	PK 123+00	45	45	44	44	45
8		44	44	42	43	43
9		36	33	35	35	35
10		33 R	35	35	35	35
11		40 R	43	39	39	40
12		42 R	43	40	44	42
13	PK 124+50	47	48	49	48	48
14		46	45	47	49	47
15		44	44	43	43	44
16		45 R	45	46	46	46
17		44 R	47	45	46	46
18		40 R	40	41	42	41
19	PK 128+50	45	43	45	45	45
20		43	44	40	44	43
21		42	40	40	42	41
22		44	44	45	44	44
23		44	44	46	45	45
24		40 R	40	41	40	40

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovide kohta.

Vastutav teostaja

Amet Labori peaspetsialist
Nimi Markus Mänd


Protokolli osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba.
Labor väljastab ainult värvilise templiga katseprotokolle.

Puurkeha						
Tähistus		Mõõde 1 mm	Mõõde 2 mm	Mõõde 3 mm	Mõõde 4 mm	Keskmine mm
Nr	Proovivõtu koht					
Pealmine kiht						
25	PK 134+00	53	55	54	52	54
26		62	63	65	64	64
27		65	65	66	65	65
28		65 R	67	66	65	66
29		60	61	60	60 R	60
30		51 R	51	52	52	52
31	PK 136+50	52	52	50	54	52
32		60	63	60	60	61
33		60	63	61	62	62
34		65	65	62	64	64
35		60	61	59 R	61	60
36		53	51	50	51 R	51
37	PK 137+50	52	53	50	52	52
38		50	50	50	48	50
39		45	46	46	45	46
40		47	49	46	47	47
41		50	48	49	46 R	48
42		50 R	50	50	52	51
43	PK 139+50	52	50	50	53	51
44		48	47	48	53	49
45		41	43	48	43	44
46		41 R	43	43	43	43
47		44 R	42	45	45	44
48		47	48	48	48	48
49	PK 141+00	42	42	40	42	42
50		38	40	40	40	40
51		35	35	39	38	37
52		38	39	39	36	38
53		38	36 R	36	38	37
54		38	38	39	38	38
55	PK 141+50	43	42	43	43	43
56		40	40	39	39	40
57		39	38	39	38	39
58		39	38	37	38	38
59		37 R	37	40	40	39
60		40	41	42	39 R	41

Puurkeha						
Tähistus		Mõõde 1 mm	Mõõde 2 mm	Mõõde 3 mm	Mõõde 4 mm	Keskmine mm
Nr	Proovivõtu koht					
Alumine kiht						
1	PK 121+50	-	-	-	-	-
2		-	-	-	-	-
3		-	-	-	-	-
4		41 R	43	44	42	43
5		44 R	46	54	54	50
6		40	41	40	38	40

Puurkeha						
Tähistus		Mõõde 1 mm	Mõõde 2 mm	Mõõde 3 mm	Mõõde 4 mm	Keskmine mm
Nr	Proovivõtu koht					
Alumine kiht						
7	PK 123+00	43	41	39	40	41
8		44	45	47	40	44
9		49	52	55	50	52
10		50	50	49	50	50
11		48	44	49	45	47
12		43	42	42	43	43
13	PK 124+50	43 R	47	47	42	45
14		50	51	48	46	49
15		49	50	49	47	49
16		46	50	45	46	47
17		52	55	54	54	54
18		59	58	63	61	60
19	PK 128+50	40	42	45	45	43
20		35	33	40	31	35
21		38	41	42	40	40
22		46	48	45	46	46
23		42	44	42	40	42
24		39	41	38	40	40
25	PK 134+00	53	50	50	53	52
26		51	49	48	53	50
27		55	52	52	52	53
28		-	-	-	-	-
29		42	48	50	50	48
30		56	56	57	56	56
31	PK 136+50	56	53	58	54	55
32		53	54	52	55	54
33		60	58	60	57	59
34		53	53	52	53	53
35		55	54	55	52	54
36		55	55	57	51	55
37	PK 137+50	55	52	55	53	54
38		57	54	56 R	57	56
39		60 R	52	54	51	54
40		53	57	54	54	55
41		-	-	-	-	-
42		57	53	55	56	55
43	PK 139+50	51	53	53	51	52
44		52 R	55	49	47	51
45		64	60 R	56	59	60
46		62 R	58	57	60	59
47		56	56	55	60	57
48		53	52	57	54	54
49	PK 141+00	66	70	70 R	68	69
50		51 R	55	54	57	54
51		55	57	51	56	55
52		47	49	45	50	48
53		52	47	46	42	47
54		66	64	63	68	65
55	PK 141+50	41 R	43	44	43	43
56		30 R	31	36	33	33
57		49	49 R	48	52	50
58		50	52	53	48	51
59		44	44	44	44	44
60		43	47	46	45	45

Puurimisskeem



VOURIS. A. PALL
31.10.16

T-28

10.16

121+50

3	2	1
•	•	•
4	5	6

↑
RAPLA

134+00

28	28	30
•	•	•
27	26	25

↑
RAPLA

123+00

123+00

10	11	12
•	•	•
9	8	7

↑
RAPLA

136+50

31	32	33
•	•	•
33	32	31

↑
RAPLA

124+50

18	17	16
•	•	•
15	14	13

↑
RAPLA

137+50

40	41	42
•	•	•
39	38	37

↑
RAPLA

128+50

24	23	22
•	•	•
21	20	19

↑
RAPLA

139+50

46	47	48
•	•	•
45	44	43

↑
RAPLA

141+00

52	53	54
•	•	•
51	50	49

↑
RAPLA

141+50

58	59	60
•	•	•
57	56	55

↑
RAPLA

TEEDE TEHNOKESKUS AS
ARENDUS JA UURINGUD osakond
Väike-Männiku 26
11216 TALLINN

KATSEPROTOKOLL
NR 7502/16

22.11.2016 nr 7-6.4/10235

Lk 1/5

Tellija:	TEEDE TEHNOKESKUS AS Arendus ja uuringud osakond – hr Marek Truu		
Töö ülesanne:	Puurproovide katsetamine		
Objekt:	T57 Mudiste – Suure-Jaani – Vändra		
Proovide võtmise koht:	Vastavalt skeemile	Puurproovide arv/kihid:	60/kahekihiline
Proovide võtmise aeg:	21.11.16 kell 09:00-14:20	Proovide võtja:	A. Pall, R. Piirsalu, Teede Tehnokeskus AS
Proovide toomise aeg:	21.11.16 kell 16:00	Proovide tooja:	A. Pall, R. Piirsalu, Teede Tehnokeskus AS
Proovide tellija poolne tähistus:	Puurproovid nr 1-60	Labori reg.number:	6834
Katsetamine ja tulemused:	Puurproovide paksused määrati EVS-EN 12697-36 järgi. Märkega R on tähistatud kihipaksuse mõõde kuni reflektori ülemise pinnani.		

Puurkeha						
Tähistus		Mõõde 1 mm	Mõõde 2 mm	Mõõde 3 mm	Mõõde 4 mm	Keskmine mm
Nr	Proovivõtu koht					
Pealmine kiht						
1	PK 414+00	40	40	37 R	40	39
2		40 R	40	41	41	41
3		38 R	39	38	42	39
4		39	40	39	40	40
5		44	43	42	45	44
6		39	42	41	41	41
7	PK 417+50	40	40	40	40	40
8		44 R	45	45	46	45
9		42 R	43	44	44	43
10		40	40	40	40	40
11		45	45	45	46	45
12		45	45	45	45	45
13	PK 418+50	42 R	45	44	45	44
14		48 R	49	50	50	49
15		40 R	41	42	42	41
16		41	41	41	40	41
17		45	46	46	45	46
18		40	40	40	38	40
19	PK 419+00	41 R	43	43	44	43
20		40	38 R	40	41	40
21		30 R	32	34	32	32
22		42	42	40	43	42
23		42	40	42	40	41
24		38	40	39	38	39

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovide kohta.

Vastutav teostaja

Amet Labori peaspetsialist
Nimi Markus Mänd

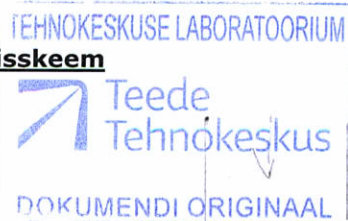

Protokolli osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba.

Labor väljastab ainult värvilise templiga katseprotokolle.

Puurkeha						
Tähistus		Mõõde 1 mm	Mõõde 2 mm	Mõõde 3 mm	Mõõde 4 mm	Keskmine mm
Nr	Proovivõtu koht					
Pealmine kiht						
25	PK 419+50	35 R	36	37	40	37
26		42	41	41	42	42
27		39 R	40	42	41	41
28		40	44	45	44	43
29		44	43	45	42	44
30		38	39	39	39	39
31	PK 423+00	33 R	35	36	36	35
32		38 R	39	39	40	39
33		39 R	40	40	41	40
34		40	40	40	41	40
35		44	44	43	44	44
36		49	50	49	49	49
37	PK 423+50	38 R	40	39	40	39
38		45 R	47	47	48	47
39		49 R	50	51	50	50
40		39	38	40	40	39
41		48	48	47	48	48
42		50	50	49	50	50
43	PK 424+50	47 R	49	48	50	49
44		43 R	45	46	45	45
45		42	42	41	41	42
46		45	45	45	47	46
47		48	46	48	45	47
48		42	42	41	41	42
49	PK 425+00	36 R	40	39	37	38
50		41	41	43	41	42
51		43 R	44	45	44	44
52		37	37	38	37	37
53		39	38	38	38	38
54		40	40	40	39	40
55	PK 426+00	39 R	40	41	41	40
56		46 R	46	48	47	47
57		42	42	42	41	42
58		37	38	38	38	38
59		43	44	43	44	44
60		40	42	41	40	41

Puurkeha						
Tähistus		Mõõde 1 mm	Mõõde 2 mm	Mõõde 3 mm	Mõõde 4 mm	Keskmine mm
Nr	Proovivõtu koht					
Alumine kiht						
1	PK 414+00	57	54	63	58	58
2		59	58	58	58	58
3		66	65	64	63	65
4		50 R	50	53	52	51
5		55 R	57	57	55	56
6		61	58	58	60	59

Puurkeha						
Tähistus		Mõõde 1 mm	Mõõde 2 mm	Mõõde 3 mm	Mõõde 4 mm	Keskmine mm
Nr	Proovivõtu koht					
Alumine kiht						
7	PK 417+50	50	55	59	58	56
8						
9						
10		60	55	58	55	57
11		73	70	71	66	70
12		74	78	75	71	75
13	PK 418+50	44	43	44	45	44
14						
15		54	55	53	53	54
16		45	44	44	43	44
17		65 R	67	65	60	64
18		58	61	55	57	58
19	PK 419+00	55	52	58	55	55
20		53	55	56	53	54
21		56	55	50	55	54
22		46	48	50	47	48
23		60 R	63	65	65	63
24		59	56	61	58	59
25	PK 419+50	48	47	45	42	46
26		44	46	47	46	46
27		41	39	43	46	42
28		42 R	42	42	42	42
29		44 R	47	46	53	48
30		43	51	44	46	46
31	PK 423+00	60	52	51	41	51
32		56	55	55	53	55
33		61	55	61	61	60
34		49	50	50	48	49
35		56	55	55	55	55
36		61	60	58	61	60
37	PK 423+50	52	55	54	53	54
38		55	53	55	56	55
39		50	50	50	48	50
40		55	54	53	52	54
41		52	53 R	57	52	54
42		45	44	41	44	44
43	PK 424+50	34	44	45	44	42
44		40	41	37	36	39
45		46	41	42	35	41
46		48	42	41	35	42
47		45	45	42	44	44
48		51	51	47	46	49
49	PK 425+00	46	47	51	54	50
50		43	45	42	44	44
51		59	57	59	63	60
52		44 R	45	45	43	44
53		31	45 R	39	50	41
54		39	41	40	40	40
55	PK 426+00	52	58	55	62	57
56		54	50	44	50	50
57		40	41	41	41	41
58		56	51	57	55	55
59		46 R	46	47	48	47
60		41	40	44	44	42

Puurimisskeem

Puuris
TNO DALL
18.11.16

55 56 57
0 0 0

0 - 0 - 0 - PK 426+00

58 59 60

25 26 27
0 0 0

0 - 0 - 0 - PK 419+50

30 29 28

Joonis
RAIMO PIRSAALU
18.11.16

49 50 51
0 0 0

0 - 0 - 0 - PK 425+00 419+00
52 53 54 piketi punkt
puudus

19 20 21
0 0 0

0 - 0 - 0 - 419+00
22 23 24

43 44 45
0 0 0

0 - 0 - 0 - PK 424+50

46 47 48

13 14 15
0 0 0

0 - 0 - 0 - PK 418+50
16 17 18

37 38 39
0 0 0

0 - 0 - 0 - PK 423+50

40 41 42

30 a 12
puudus
märgis

7 8 9
0 0 0

0 - 0 - 0 - PK 417+50
10 11 12

31 32 33
0 0 0

0 - 0 - 0 - PK 423+00 414+00 pikett
34 35 36 ükstele vahel

1 2 3
0 0 0

4 5 6 - PK 414+0

Reflektorite asukohad

REFLEKTORI ASUKOHAID

Teede
Tehnokeskus

DOKUMENDI ORIGINAAL

3- MÄRGIS TEEL
X- REFLEKTOR

PK 414+00

↓

14m	15m	16m
1	2	3

↑

PK 417+50

7m	8m	9m
7	8	9

9. PÜÜDUS
MÄRGIS

PK 418+50

10m	11m	12m
13	14	15

PK 419+00

6m	10m	4m
19	20	21

PK 419+50

5m	0.25	0.26
25	26	27

PK 423+00

10m	11m	12m
31	32	33

PK 423+50

7m	11m	12m
37	38	39

PK 424+50

16m	13m	14m
43	44	45

PK 425+00

14m	13m	28m
49	50	51

PK 426+00

14m	7m	20m
55	56	57

PEALMISTE KIHTIDE
ALL OLEVATE REFLEKTORITE
ASUKOHT MÄÄRDETA
METALLIDETEKTORIGA

Raimo Pirsalu



Lisa 6. HISPEQ-KOHTUMISE KOKKUVÕTE

HISPEQ-programmist ülevaate saamiseks korraldati projekti raames 22.11.2016 kohtumine TRL'is. Maa-radari uuringute ekspertid Mark Thomas, Adam Cook, Will Throssel andsid ülevaate HISPEQ-programmist ja selle eesmärkidest üldiselt ning selgitasid põhjalikumalt programmi tulemeid maaradari kasutamist puudutavates küsimustes.

Üldist

Selleks, et hinnata teedevõrgu katendite seiskorda ning plaanida teehoiuprogramme, tuginevad Maanteeametid suuresti kvaliteetsetele andmetele. Liikluskiiruselised uuringud on muutunud selliste andmete saamisel üheks olulisimaks sisendiks, andes infot, mis iseloomustavad nii teekatte kuju kui ka teekatte seisukorda, viimastel aastatel ka katendi tugevust. Nendele andmetele annab eelise asjaolu, et andmeid saab koguda, häirimata liiklusvoogu. Samas võivad need pakkuda ka uut andmestikku, mille kogumine oleks traditsiooniliste uuringute puhul ebapraktiline. Nendel uuringutel on madalam kilomeetri hind kui aeglastel kiirustel toimuvatel uuringutel, samas pakuvad kõrge-kiiruselised uuringud täpsemat ja pidevamat infot, mis ei ole mõjutatud kellegi subjektiivsusest või ebatäpsusest, mis paratamatlt teataval määral kaasneb manuaalsel mõõdistamisel. Liikluskiiruselised uuringud toovad endaga kaasa olulisi praktilisi eeliseid teede seisukorra hindamiseks, toetamaks tugevat varahaldust (PMS-süsteemi). Siiski, erinevates riikides on hulk eeskirju, mis määravad nõuded mõõdistamiste seadmetele, mõõdistamiste sagedused ning andmete kirjeldamisele andmebaasides. Igal riigil on selleks omad nõuded ning erinevad üksteisest mingil määral. Selles olukorra peamiseks põhjuseks on standardite puudumine paljude mõõtmiste puhul. Neil juhtudel, kus vastavad standardid on olemas (nt profiilimõõtmised), on mõõtmiste praktilisi kasutusvõimalusi siiski märkimisväärselt piiratud ning seetõttu võib see olla liiga keeruline Maanteeameti jaoks, et seda mõista. Seetõttu algatati 2014 aasta mais HiSPEQ-nimeline uurimisprogramm (*CEDR 2013 Ageing Infrastructure Management*) mille eesmärk oli arendav nõustamine ja nõu andev suunamine, et Maanteeamet mõistaks ning tutvuks liikluskiiruseliste mõõteseadmetega ning

aidata neil täpsustada mõõtmiste nõudeid mõõtmiste ja andmete kvaliteedile ja töötamise tingimustele. HiSPEQ on keskendunud aspektile, et liikluskiiruseliste mõõteseadmetega mõõtmine aitab parandada teede tugevusomaduste, kuju ja seisukorra hindamist.

Toetamaks näidisdokumentatsiooni loomist, on HiSPEQ programmi raames läbi vaadatud üksikasjalikult nii olemasolevad kui ka arenduses olevate mõõtmistega seonduv, eesmärgiga välja pakkuda nõudeid katendi kulumiskihi ja tarindikihtide liikluskiirusel mõõtmisteks. Need nõuded sisaldavad nii andmete kogumist kui ka seisundi parameetrite tuletamist kogutud andmetest, et hinnata katte tugevuslikku olukorda. Juhised on välja töötatud kaasates malle, mis aitavad Maanteeametitel mõista tehnilisi nõudeid ja mõju erinevate tasandite otsustele ja kasutatavate andmete täpsust. Antud projekt pakub ka kvaliteedi tagamise kriteeriume, mida tuleb arvestada täpsel mõõdistamisel. Loodetavasti aitavad HiSPEQ juhiste tehnilised nõuded täpsustada riiklikke juhendeid liikluskiirusel mõõtmiste korraldamiseks. See aitab parandada nende uuringute väärtust ning efektiivsust.

Antud projekt keskendub liikluskiiruselisel uuringute andmete kogumisele, mille põhjal saab hinnata katendi erinevaid omadusi, sh:

- Katendi kuju
- Katendi visuaalne seisukord
- Katendi struktuur
- Katendi kaldenurk

HISPEQ-programmi eesmärgid on:

- Teha Maanteeametitele kättesaadavaks juhendid, mis aitaksid Maanteeametitel defineerida nende nõudeid kõrge-kiiruseliste uuringute jaoks
- Teha kättesaadavaks juhendid, mis aitaksid mõista seadmeid, mida kasutatakse uuringute tegemiseks, et vajaliku informatsiooni koguda
- Luua juhiseid kvaliteetsete andmete edukaks kogumine teedevõrkudel

Tehnilised kirjeldused

Tehnilisel lähenemisel on HiSPEQ projektis toetunud projekti konsortsiumi ekspertiisile, eelmiste uurimistööde ülevaadetele ja olemasolevatele uuringute tehnilistele nõuetele ning projektiga seotud olnud huvirühmade viidetele, et välja

töötada põhilised võtme nõuded, mida Maanteeamet peaks kaaluma enne kui hakkavad välja arendama tehnilist kirjeldust liikluskiirusel mõõtemetodika jaoks nende teedevõrgustikus. Mõõtes kui palju katend paindub raskuse all on seotud katte elastusega ning saadud väärtus näitab katendi kandevõimet. Omavalitsused vajavad pidevat teavet tee katendi välise seisukorra ja struktuuri kohta, et nad saaksid pakkuda ohutut, efektiivset ning jätkusuutelist katendit tee kasutajatele. Üldiselt, kandevõime andmed on palju suurema tähtsusega projekti tasandil kui seda on teevõrgustiku tasandil. Kuid siiski on omavalitsustel soov kõrge kiiruseliste testseadmeid kasutada, et saada andmeid kandevõime kohta nende teedevõrgustikus just võrgustiku tasemel. Kõige tavalisemad seadmed testimaks kandevõimet on deflectograph ja langeva raskuse põhimõttel töötav deflektomeeter e. vajumimõõtja. Kumbki nendest seadmetest ei toimi suurel kiirusel, kuid hiljutine areng liikluskiiruseliste mõõtmiste tehnoloogias on meieni toonud lootustandva seadme, mida kutsutakse Traffic Speed Deflectometer (TSD). Sellelt seadmelt saadud andmete analüüs võimaldab määrata katendi kandevõimet. Kuid siiski katendikihi paksus ja materjali tüüp on tugev mõjutaja arvutamaks katendi jäikust. On selge vajadus ja soov üle võtta võrgu tasandil struktuurse seisukorra mõõdistamine, et saada kindel arusaam katendi struktuurist ja olla kindel lõplikute tulemuste täpsustega. Kahjuks enamikel haldusüksustel puudub üksikasjalik teave kihi paksuste ja materjali tüübi kohta, ja aeglased meetodid (puurimine) on kallid ja ebapraktilised. Alternatiivina, et vähendada puurimiste vajadust, et saada infot katendi struktuuri kohta on kasutada maaradarit. Maaradariga saab mõõdistusi teha liikluskiirusega ning saame andmeid kattekihi paksuste kohta.

Seega struktuurseid omadusi on tähtis arvesse võtta kõrgel kiirusel katendikihi vastupidavuse hindamiseks projektis kus:

- Katendi läbivajumeid mõõdetakse liikluskiirusel kasutades TSD'd
- Katendi struktuursel mõõtmisel, kus kasutatakse maaradarit.

Et uurida TSD ja maaradari kasutust varumaks infot struktuurse seisundi üle, HiSPEQ uuris praeguseid nõudeid kõrgel kiirusel mõõdistamisel, jälgides struktuurset seiskorda ja katendi struktuuri. Et toetuda ülevaatele, oli infoallikaks samuti uurimistöö, sisaldas see ka HeRoad katendikihi hindamise aruannet ja

FORMAT aruannet. Ülevaade sisaldas saadud kogemusi, kui TSD-d katsetati mõõteseadmena Taanis, Ühendkuningriikides, Itaalias, Poolas, Lõuna-Aafrikas, Hiinas, USAs ja Austaalias ja kahe riikliku tehnilised nõuded on juba TSD mõõteseadmele esitatud, Ühendkuningriikides ja Itaalias. Maaradari üksikasjalik ülevaade on loodud katsetades erinevaid lähenemisviise mõõtes katendi struktuuri maaradariga ning määrab kuidas erinevaid meetodeid olukordades kasutada. Analüüsist selgus, et maaradarit üldiselt ei kasutata võrgu tasandil kuid mõõdistamiste tehnilised nõuded on tulnud UK, Iirimalt, Rootsist ja USAst, kes kõik toetavad maaradari põhilisi võtme nõudeid.

Ülevaates põhilistest nõuetest struktuuri hindamisel on esitatud hulk soovitusi olulistest valdkondades, mida Maanteeamet peaks arvestama kui määratlevad võrgu uuringud, kasutades TSD ja maaradarit, sisaldades:

- Põhilised uuringute nõuded. Sealhulgas selgus, et need on sageli sarnased nõuetele, mis vastavad kulumiskihi hindamisele, kuid täiendavad soovitusel viidi sisse
 - Täpsustati mõõteseadme paiknemist sõidurajal
 - Mõõtetihedust
 - Täpsustati mõõdistamise jaoks vajaliku temperatuuri
 - Keerulisemate andmete tõlgendamine ning aru saamine maaradariga mõõdistamisel
- Mõõtes tarindi tugevuslikku seisukorda (TSD)
 - Mõõtevarustuse nõuded (laserite arv, mõõtekordade arv)
 - Seletus algandmete edastamisest ja sealhulgas teavet ka nagu näiteks nagu teede temperatuur, rehvirõhk jms.
 - Valikuid andmete analüüsiks, et saaks hinnata tee struktuurset seisukorda
- Struktuuri mõõdistamisel maaradariga
 - Uuringu mõõdistamiste intervallide vahe
 - Nõuded sügavusele mõõdistamisel
 - Juriidilised ja kooskõlastus küsimused
 - Nõuded andmete tõlgendamisele, et määrata täpselt mõõdetav konstruktsioon

Need nõuded on välja toodud dokumendis nimega „Identifying the key requirements for structural condition measurements“

Põhinõuded kvaliteedi tagamisele

Kuna andmete kogumine ning selle tõlgendamine on üpris keerukas, võivad tekkida probleemid nõutava täpsuse, kõrge kvaliteediga ja mõõdistamisega erinevate uuringu seadmetega erinevates teedevõrkudes. On välja tulnud päris palju näiteid, kus andmed on vastuolus erinevate seadmete vahel ja kätte saadud info ei ole täpne, vaatamata kõrgetele tehnilistele nõuetele. Samuti on näiteid andmete halvenemisest või muutmisest uuringu lepingu vältel, varustuse kulumise tõttu. Saadud kogemused näitavad, et suur vajadus on mõlema, nii mõõteseadme akrediteerimise kui ka jätkuva kvaliteedi tagamise suhtes, et saada kindlustunnet ja sobiva raha eest andmeid, mis saadakse võrgu uuringutel. Põhinõuete välja töötamisel mõõteseadmetele või mõõte tulemustele peab Maanteeamet arvesse võtma, kuidas nad saavad kindlad olla andmetes, mis neile lõplikult laekuvad. Küsimused, millele Maanteeamet peaks vastama tellitava uuringu kohta peaksid sisaldama:

- Mis on tehnilised nõuded täpsusele ja kuidas tagada see, et andmed esitatakse sobival tasemel?
- Kuidas tagada see, et andmed jäävad samaks terve uuringu vältel?
- Kuidas kindlustan andmed või probleeme nendega, et see ei tekitaks muudatusi tee seisukorra kohta aruande esitamisel.

HiSPEQ projekti raames vaadati üle mitmed tehnilised juhendid, mis kirjeldasid kvaliteedi tagamise norme ja/või akrediteerimise korda. Need sisaldasid kolmeteist tehnilist kirjeldust kulumiskihi seisukorra kohta aga ainult ühte tehnilist kirjeldust, mis iseloomustaks võrgu tasandil struktuurse seisukorra uuringut ja mis sisaldas traditsioonilist kvaliteedi tagamise katsetusi. Tehniline ülevaade akrediteerimise ja kvaliteedi normi kohta sisaldab rida soovitusi, mida Maanteeamet peaks kaaluma enne kui määravad võrgustiku uuringuid, isegi kulumispinna või struktuurse seisukorra hindamisel sealhulgas:

- Parameetrid ja mõõtmised peaksid olema akrediteeritud ja vastama kvaliteedi tagamise normidele
- Kontrollida tuleks andmete kvaliteedi aspekte

- Kuidas andmeid koguda testimiseks
- Kvaliteedikontrolli sagedus
- Kes peaks vastutama andmete kontrolli eest
- Kuidas võiks testida välismõju mõjuandmete täpsusele
- Konkreetsete tehnilised nõuded akrediteerimisele ja kvaliteedikontrollile igale parameetrile

Need soovitusel on kättesaadavad dokumendis nimega „Identifying the key requirements for Accreditation and Quality Assurance“

Uuringute ja seadmete tehnilised kirjeldused

Olles kindel põhilistes tehnilistes nõuetes liikluskiiruseliste mõõdisustes, HiSPEQ on püüdnud tõlkida selle informatsiooni sellisesse vormi, et see oleks kasutatav Maanteeameti poolt ja see aitaks arendada ning rakendada neid uuringuid enda teedevõrgustikus. Selles projektis lähenetakse mallide arendamisest, mida Maanteeamet saaks kasutada, kui hakkab tellima endale uuringut, see hõlmab kahte suurt valdkonda:

- Malle, mida saaks kasutada, et defineerida uuringu andmete nõudeid. Neid nimetatakse uuringu tehnilisteks juhenditeks, need juhendid määravad nõuded andmete kogumisest ning ka andmete edastamisest. Need sisldavad ka juhiste dokumente, mis seletavad üksikasjalikult tehniliste kirjelduste seletust.
- Malle, millega saab määratleda mõõteseadmeid endit. Neid kutsutakse uuringu varustuse juhisteks. Need on väljatöötatud nii, et uuringu pakkuja saaks seletada, kuidas nende seadmed töötavad ühes kindlas formaadis ning see sisaldab lõiku, kus on välja toodod otseselt mõõtmisandmete nõuded uuringu tehnilises kirjelduses. Nende käib kaasas seletav dokument, mis selgitab juhendite sisu.

Kokkuvõte

Liikluskiiruselised uuringud saavad aina enam võtmeallikaks katendi seisukorra hindamisel ning katendi seisukorra haldamisel. Neid uuringuid saab kasutada laias võrgustikus, saab koguda andmeid pealispinna seisukorra ning struktuurse stabiilsuse kohta katendil. Liikluskiiruseliste uuringute edu iseloomustab uuringute

pakutavate ettevõtete kasv ja lisaks veel lai valik erinevaid mõõteseadmeid on muutunud palju kättesaadavamaks. Need edusammud samas toovad ka väljakutseid Maanteametile, peavad määrama kõige sobivama uuringustiili, peavad valima õige mõõteseadme ja veenduma, et seisundiandmed on ikka piisavalt sobivad, et nende põhjal teha õigeid haldusotsuseid. HiSPEQ on teinud ettepaneku panna paika põhilised nõuded katendi pealispinna ja struktuurse seisundi liikluskiirusel mõõdistamisele. Mis hõlmab andmete kogumist ja seisundi parameetrite tuletamist kogutud andmetest, hindamaks katendi struktuurset seisukorda. Neid nõudeid on kasutatud, et arendada uuringute detailseid kirjeldusi Maanteametile, et Maanteamet saaks sobitada antud nõudeid enda teedevõrgustikesse. Juhised on välja töötatud kaasates malle, mis aitavad teedevalitsusel mõista tehnilisi nõudeid ja mõju erinevatel tasandlikel otsustel ja kasutatavate andmete täpsust. Antud projekt pakub ka kvaliteedi tagamise protsesse, mida tuleb arvestada täpsel mõõdistamisel. On eeldatav, et HiSPEQ juhiste tehnilised nõuded võivad aidavad vähendada mitmeid eeskirju riikides, mis puutuvad kokku kõrgkiirusel mõõdistustega, mõõdistamiste tiheduse ning nende andmete edastamisega. See aitab parandada nende uuringute väärtust ning efektiivsust.

HISPEQ-programmi väljundid

Specification Templates

<https://hispeq.com/projectoutput/survey-specifications-and-guidance/>

HiSPEQ1: Specification for Pavement Condition Measurement

https://hispeq.files.wordpress.com/2016/07/hispeq1_pavementdurabilitysurveyspecification.docx

HiSPEQ2: Specification for Referencing Data to the Network

https://hispeq.files.wordpress.com/2016/07/hispeq2_networkrefspecification.docx

HiSPEQ3: Specification for Pavement Transverse Evenness Measurement

https://hispeq.files.wordpress.com/2016/07/hispeq3_transevennesssurveyspecification.docx

HiSPEQ4: Specification for Pavement Longitudinal Evenness Measurement

https://hispeq.files.wordpress.com/2016/07/hispeq4_longevennesssurveyspecification.docx

HiSPEQ5: Specification for Pavement Surface Deterioration Measurement

https://hispeq.files.wordpress.com/2016/07/hispeq5_image_surfdetsurveyspecification.docx

HiSPEQ6: Specification for Pavement Structure Measurement

https://hispeq.files.wordpress.com/2016/07/hispeq6_pavementstructuresurveyspecification.docx

HiSPEQ7: Specification for Traffic Speed Pavement Deflection Surveys.

https://hispeq.files.wordpress.com/2016/07/hispeq7_pavementdeflectionsurveyspecification.docx

Specification Template Guidance <https://hispeq.com/projectoutput/survey-specifications-and-guidance/>

HiSPEQ: Guidance for Road Administrations for Specifying Network Surveys Part 1

https://hispeq.files.wordpress.com/2016/07/hispeqspectificationtemplate_guidance_part1.pdf

HiSPEQ: Guidance for Road Administrations for Specifying Network Surveys Part 2

https://hispeq.files.wordpress.com/2015/12/hispeqspectificationtemplate_guidance_part2.docx

Equipment Templates and Guidance

<https://hispeq.com/projectoutput/equipment-specifications-and-guidance/>

HiSPEQ2E: Equipment to measure location

https://hispeq.files.wordpress.com/2016/07/hispeq2_networkrefequiptspec.docx

HiSPEQ3E: Equipment to Measure Transverse Evenness

https://hispeq.files.wordpress.com/2016/07/hispeq3_transevennessequiptspec.docx

HiSPEQ4E: Equipment to Measure Longitudinal Evenness

https://hispeq.files.wordpress.com/2016/07/hispeq4_longevennessequiptspec.docx

HiSPEQ5E: Equipment to Record Downward Facing Images

https://hispeq.files.wordpress.com/2016/07/hispeq5_image_surfdetequiptspec.docx

HiSPEQ6E: Equipment to Measure Pavement Structure

https://hispeq.files.wordpress.com/2016/07/hispeq6_pavementstructureequiptspec.docx

HiSPEQ7E: Equipment to Measure Traffic Speed Deflection

https://hispeq.files.wordpress.com/2016/07/hispeq7_deflectionequiptspec.docx

HiSPEQ: Guidance for Road Administrations for Specifying Network Survey

https://hispeq.files.wordpress.com/2016/07/hispegequipmenttemplate_guidance.pdf

Training <https://hispeq.com/projectoutput/training>