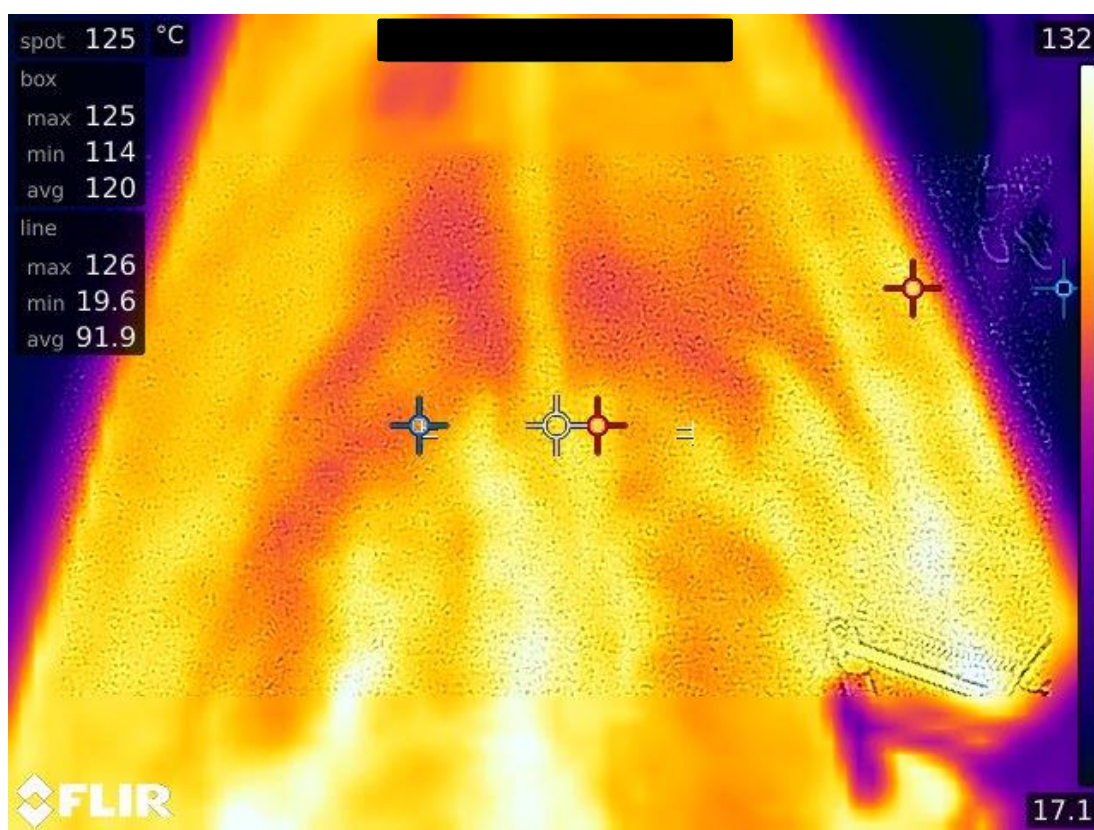


BOONUSSÜSTEEMI PILOOTPROJEKTIDE ANALÜÜS RIIGIMAANTEEDE PILOTOBJEKTIDEL 2018

LÕPPARUANNE

Projektijuht: Marek Truu



Töö koostatud Maanteeameti teede arengu ja investeeringute osakonna tellimusel

Tallinn
2019

© Maanteeamet, 2018

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.

Boonussüsteemi pilootprojektide analüüs riigimaanteede pilootobjektidel 2018

Töös osalesid:

Marek Truu – projektijuht, volitatud insener, tase 8

Romet Raun – arenduse ja uuringute osakonna spetsialist

SISUKORD

SISUKORD	3
SISSEJUHATUS	6
2018 pilootobjektide boonuste maksmise tingimused	8
Termograafiliste mõõtmiste seadmed.....	10
Piloteeritud termograafilised seadmed.....	13
RoadScan	13
TGS Pavement	14
Kasutatud termograafiliste seadmete võrdlus	15
Paigaldustemperatuuri ühtlustamise meetmed	16
Asfaldisegu söötja.....	16
Termokastid	17
Jäävpoorsuse mõõtmine maaradariga	19
Pilootobjektid.....	21
Pilootobjekt 1: Tartu – Viljandi – Kilingi-Nõmme #92 km 28.263-35.195	23
Termograafiliste mõõtmiste tulemused.....	24
Riskiala osakaal.....	25
Termovaibad.....	27
Maaradari andmete võrdlus katte paigaldustemperatuuridega.....	34
Pilootobjekt 2: Rakvere – Väike-Maarja – Vägeva km 25.93-30.00.....	36
Termograafiliste mõõtmiste tulemused.....	38
Termovaibad.....	40
Maaradari andmete võrdlus katte paigaldustemperatuuridega.....	45
Pilootobjekt 3: Rakvere – Väike-Maarja – Vägeva km 3.50-10.00	47
Termograafiliste mõõtmiste tulemused.....	48
Maaradari andmete võrdlus katte paigaldustemperatuuridega.....	51
Ettepanekud kontrollpuurimiseks.....	52

Termograafilise info teaduslik analüüs.....	54
Mõõtmistega kaetus (eraldi termopildid ja termograafiline informatsioon)	54
Mõõtmine peab toimuma pidevalt ja katkestusteta.....	54
Temperatuuride jälgimine kogu paigaldatava paani laiuses	56
Mõõtmiste asukoha täpsus	59
Mõõtmiste kaugus laoturi tagaservast	64
Katte jahtumise kiirus	65
Katte jahtumine soodsates ilmastikutingimustes	66
Katte jahtumine ebasoodsates ilmastikutingimustes	66
Häiringute definitsioon ja näited häiringutest.....	67
Häiringute visuaalsed kujutised	72
Seisakute definitsioon ja kohaldatavus	75
Seisak kui riskiala.....	75
Seisak kui häiring.....	76
Ettepanekud metoodika täiustamiseks - seisak iseseisva parameetrina	77
Paigaoleku definitsioon ja mõiste	77
Riskialade definitsioon ja kohaldatavus	78
Tekkivad probleemid riskialade määramisel.....	79
Servaalade definitsioon ja kohaldatavus	84
Servaalade tuvastamine - analüüsi mõju	86
Servaalade tuvastamine - mõõtmiste intervalli mõju	89
IRI4 teaduslik analüüs.....	91
Tasasuse pealt teenitava boonuse maksimaalne väärtus	91
Tasasuse pealt teenitava boonuse sõltuvus katte laiusest	94
Ettepanekud tasasuse pealt teenitava boonuse defineerimiseks.....	95
Ettepanekud metoodika täiustamiseks	97
KASUTATUD KIRJANDUS	100
LISAD	101

- LISA 1. Piloteeritud boonuse arvutusmetoodika 2018 (Maanteeamet)
- LISA 2. Riigimaantee nr 92 Tartu – Viljandi – Kilingi-Nõmme km 28.260-35.193 jäävpoorsuste ja tihendustegurite mõõtmine
- LISA 3. Boonussüsteem termokaameraga mõõtmine ja objektid 2017 ja 2018 (AS TREF)
- LISA 4. Riigimaantee nr 22 Rakvere – Väike-Maarja – Vägeva km 25.93-30.00 jäävpoorsuste ja tihendustegurite mõõtmine (LÕIK 1)
- LISA 5. Riigimaantee nr 22 Rakvere – Väike-Maarja – Vägeva km 25.93-30.00 jäävpoorsuste ja tihendustegurite mõõtmine (LÕIK 2)
- LISA 6. TGS termokaamera kalibreerimistunnistus (Metrosert AS)
- LISA 7. Boonuse arvutusmetoodika ettepanek 2019 (AS Teede Tehnokeskus)
- DIGITAALNE LISA 1. Pilootobjektide katte temperatuuride lepingukohased boonusarvutused (eraldi failina Excel)
- DIGITAALNE LISA 2. Pilootobjektide katte tasasuse (IRI4) lepingukohased boonusarvutused (eraldi failina Excel)
- DIGITAALNE LISA 3. Piloteeritud ja pakutava metoodika võrdlus (eraldi failina Excel)

SISSEJUHATUS

Termograafia kasutamine asfaltkatte paigaldustemperatuuride ühtluse hindamiseks on olnud aastaid laialdaselt kasutuses Rootsis. Töövõtjat motiveeriva boonussüsteemi osana on termograafilisi andmeid viimastel aastatel lisaks Rootsile pilootobjektide raames kogutud ka Soomes. Eestis on varasemalt Asfaldiliidu ja Maanteeameti tellimusel viidud läbi uuringuid selgitamaks välja termograafia kasutusvõimalusi asfaldi paigalduskvaliteedi tõstmiseks, kuid termograafiat ei ole siiani kasutatud boonussüsteemi komponendina.

Maanteeameti tellimusel salvestati 2018. aastal kolmel erineval asfalteerimistöde objektil paigaldatava katte temperatuuriandmed spetsiaalsete termograafiliste seadmetega, mille tulemusena koguti ülevaatlik info katte paigaldustemperatuuride ühtluse hindamiseks. Mõõtmisandmed analüüsiti lähtuvalt Eesti Asfaldiliit MTÜ poolt välja pakutud arvutusmetoodikale, mis seab ühtsed reeglid katte paigaldustemperatuuri mõõtmiste teostamiseks. Lisaks teostati analüüsitud tulemuste alusel lepingus toodud valemitel baseeruvad arvutused boonuse väljamaksmiseks. Nimetatud regulatsioon on koostatud piloteerimiseks 2018. aastal ning käesoleva uurimistöö üks eesmärkidest on hinnata selle asjakohasust ja teha ettepanekuid metoodika täpsustamiseks ja katseliseks rakendamiseks 2019 aastal.

Töö üheks eesmärgiks on hinnata erinevate, asfaltkatte temperatuuriühtluse mõõtmiseks konstrueeritud termograafiliste seadmete kasutatavust boonussüsteemis. Uuring näitas, et kõik sellised seadmed annavad kasulikku tagasisidet asfaldi kvaliteedi hindamisel kuid erinevad seadmed annavad mõnevõrra erinevaid tulemusi, mis mõjutavad muuhulgas väljamakstavate boonuste suurust. Suurimad erinevuste põhjustajad on üldjuhul mõõtmiste parameetrid: üksiku mõõtetulemusega hinnatav pindala, asukoha määramise täpsus, mõõtmiste kaugus laoturi tagaservast. Hindamaks piloteerimiseks välja töötatud metoodika asjakohasust, teostati ühel pilootobjektidel (riigimaantee nr 92 Tartu – Viljandi – Kilingi-Nõmme) paralleelsed termograafilised välitööd kahe erineva teekatte paigaldustemperatuuride mõõtmiseks ette nähtud termograafilise seadmega – RoadScan (Vögele, Saksa) ja TGS (Teede Tehnokeskus, Eesti).

Käesolevas töös uuriti nimetatud seadmete erinevusi tööpõhimõtetes ning erinevuste mõju analüüsitud lõpptulemusele. Ühtlasi on kirjanduse põhjal uuritud

teisi analoogilisi seadmeid ning uuritud nende tehnilist sobivust kasutamiseks boonussüsteemi komponendina.

Pilootobjektide valikukriteeriumiks oli võimalikult erinevate paigaldustingimuste ja kasutatavate meetmete käsitlemine. Pilootobjektidel valitsesid väga erinevad ilmastikuolud ning rakendati väga erinevaid meetmeid segu temperatuuri ühtluse tagamiseks – segu veokaugus, asfaldisegu söötja ja termokastide kasutamine. Selline lähenemine andis võimaluse hinnata termograafiliste andmete kogumise tähtsust ja täpsust erinevatest lähteülesannetest sõltuvalt ning pakkuda välja soovitusel nii mõõtmiste kui boonuste arvutuse metoodika täpsustamiseks.

2018 pilootobjektide boonuste maksmise tingimused

Käesoleva uurimistöö raames vaadeldud pilootobjektideks on Maanteeameti valikul määratud teekatte taastusremondi objektid, mille käigus paigaldati olemasolevatele teekatetele uued kulumiskihid. Objektide töövõtjatel oli võimalik teenida boonust kui paigaldatud teekatte parameetrid vastasid kokkulepitud miinimumnõuetest kõrgematele nõuetele.

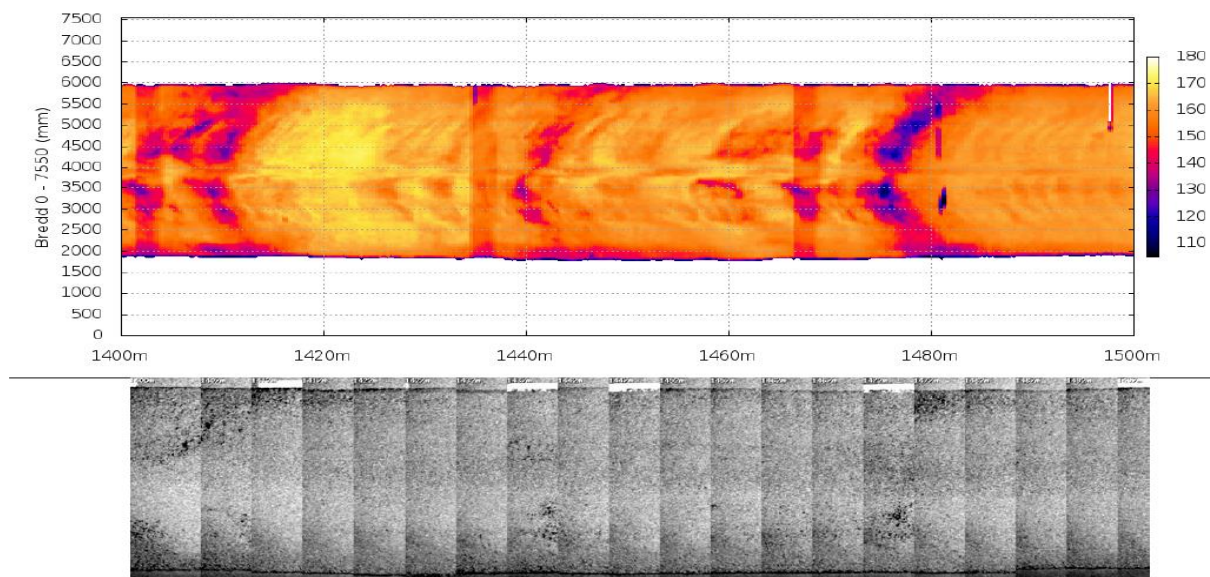
Pilootprojekti raames oli võimalik teenida boonust eriti hea tasasusega teelõikude ning riskialade vältimise eest.

Teekatte tasasuse hindamist IRI4 ja/või IRI-arvu mõõtmise teel on kasutatud uute katete vastuvõtmisel ja katete seisundi hindamisel paljudes riikides aastakümneid ning on teekasutajakulude ja sõidumugavuse üks peamisi mõjutajaid. Seetõttu on nimetatud näitaja rakendamine ka boonussüsteemi komponendina selgelt motiveeritud. Käesolevas aruandes on tasasuse rakendamist boonussüsteemis käsitletud põgusalt kuid üldjoontes võib öelda, et pilootprojektides rakendatu on põhiosas sobib.

Tingituna asjaolust, et pilootobjektide näol oli tegemist taastusremondi objektidega on asfalkatte tasasuse pealt teenitav boonus arvutusmetoodika kohaselt sätestatud läbi IRI4 väärtusarvu. Maksumust suurendati nendel 20 m arvestuslõikudel, millede IRI4 väärtus on väiksem kui 0,6 mm/m ning boonuse arvutamise valem on analoogiline mahaarvamistel kasutatavale valemile. [1]

Termograafiat ei ole varasemalt katete kvaliteedi hindamisel kasutatud ning metoodika kasutamine on tekitanud palju küsimusi. Käesoleva uurimistöö põhifookus on seetõttu suunatud termograafilistele andmetele põhinevale boonuservutusele. Ebaühtlase paigaldustemperatuuri tagajärjeks on mittehomoogeensete omadustega teekate. Piirkondi, kus paigaldustemperatuur on teatud piirmäärast madalam ning mis on seetõttu raskemini tihendatavad ja omavad tavapärasest kordades suuremat tõenäosust jääda puuduliku tihendamise tulemusena poorseks, käsitletakse käesolevas uurimistöös Soome ja Rootsi eeskujul riskialadena (vt. joonis allpool). Kehtiva boonuservutuse metoodika kohaselt makstakse töövõtjale riskialade vältimise eest boonust, kui paigaldatava teekatte riskialade osakaal on kuni 5%. Nimetatud osakaalu määramiseks tuleb mõõta katte paigaldustemperatuure ning salvestada temperatuuride info koos

asukoha ja ajatempliga. Mõõtmiste pideva ja katkestusteta töö tagamiseks tuleb kasutada spetsiaalset termograafilist seadet.



Joonis 1. Vasa-Södertälje teelõigu termovaiba (1998) ja foto (2013) võrdlus [2]

Teekatte paigaldustemperatuuride mõõtmiseks kasutatavaid termograafilisi seadmeid on erineva võimekuse ja omadustega, mistõttu boonuste maksmise tingimustes on kehtestatud nõuded, millele kasutatav seade peab vastama. Järgnevalt on toodud olulisemad paigaldustemperatuuride mõõtmiseks kehtestatud nõuded pilootobjektidel:

- kasutatav seade peab olema võimeline jälgima vähemalt 5 m laiust paani;
- salvestatud paigaldustemperatuur peab olema seatud asukoha ja ajatempliga;
- mõõtmiste pikisuunaline intervall kuni 1,0 m;
- mõõtmiste põiksuunaline intervall kuni 0,1 m;
- mõõtmiste kaugus laoturi tagaservast vahemikus 2-5 m;
- seade peab võimaldama jälgida paigaldustemperatuure reaajas kogu paigalduse laiuses;
- mõõtmine peab toimuma pidevalt ja katkestusteta.

Metoodika sisaldab veel mitmeid tingimusi, millele paigaldustemperatuuride mõõtmiseks kasutatav seade peab vastama. Lisaks on tingimustes käsitletud nõudeid andmete analüüsile ja mõõtmiste aruandele. Aastal 2018 pilootobjektidel rakendatud metoodika on toodud lisas 1.

Termograafiliste mõõtmiste seadmed

Paigaldatud katte riskiala osakaalu määramiseks tuleb katte paigaldustemperatuure tuleb mõõta pidevalt kogu paigaldatava kattepaani laiuses. Turul on erinevaid seadmeid, mille abil on võimalik asfaltkatte paigaldustemperatuuri mõõta. Praktikast leiab enim kasutust infrapunatehnoloogia, millest teedehituses kasutatavana on levinuimad:

- punkt-termomeeter (mõõdab ühte punkti)
- punktandurite komplektid (mõõdab mitut punkti)
- termoskänner (mõõdab ühe anduriga erinevaid punkte)
- termokaamera (mõõdab sensori kaudu punktide maatriksi)

Paigaldustemperatuuride ühtluse hindamiseks ja riskialade määramiseks tuleb mõõtmistega katta kogu kattepaan. Adekvaatse ülevaate saamiseks peavad mõõtmised toimuma vahetult laoturi taga ning nii mõõtmiste piki- kui ka põiksuunaline intervall peaks olema suurusjärgus 0,1 m. Paigaldatud katte kvaliteedi täpseks hindamiseks peab teada olema iga mõõtetulemuse täpne asukoht (koordinaat ja asukoht tee aadress-süsteemis).

Varasemalt käsitletud tingimusi arvestades (vt. eelmine ptk) ei ole katte paigaldustemperatuuride ühtluse hindamiseks võimalik kasutada infrapuna punkt-termomeetreid ega infrapuna käsikaameraid (vt. joonis allpool). Punkt-termomeeter suudab mõõtetulemuse kuvada vaid konkreetsele punktile. Infrapuna käsikaamera suudab ühe pildiga jäädvustada kogu ristlõike paigaldustemperatuuri, kuid tiheda mõõtmiste intervalli ja nõutava asukoha täpsuse saavutamine sellisel töömeetodil (manuaalselt) on praktiliselt võimatu.



Joonis 2. Infrapuna punkt-termomeeter (vasakul) ja infrapuna käsikaamera (paremal) [3]

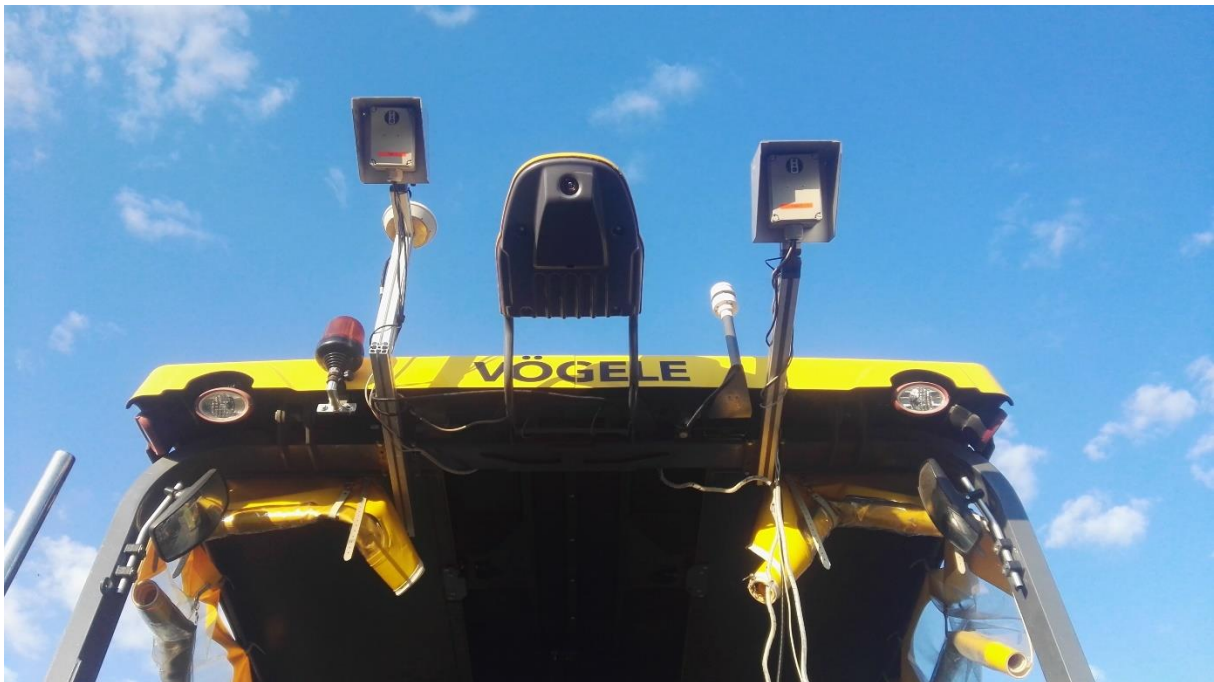
Asfaltkatte paigaldustemperatuuride mõõtmiste algusaegadel kasutati temperatuuride mõõtmiseks laialdaselt infrapuna anduritega varustatud mõõtelatti, mis oli kinnitatud vahetult laoturi taha (vt. joonis allpool). Meetodi eelisteks on mõõtmiste automatiseeritus ja automaatne asukoha info salvestamine, mis tõstab mõõtetööde kvaliteeti ja sõltumatust. Meetodi puuduseks on latil asetsevate andurite piiratus, mistõttu mõõtmiste põiksuunaline intervall on ebapiisav. Seadme konstruktsioon ja asetsemine laoturi suhtes häirib paigaldusmeeskonna tööd.



Joonis 3. Infrapuna anduritega varustatud mõõtelatt [3]

Tänapäeval kasutatakse katte temperatuuriühtluse mõõtmiseks spetsiaalselt selleks toodetud termograafilisi süsteeme (*TGS - thermographic system*). Termograafiline süsteem hõlmab laoturile paigaldatavat termograafilist seadet ning serveripoolset lahendust andmete varundamiseks, töötlemiseks ja visualiseerimiseks. Termograafilise seadme põhitööorganina kasutatakse infrapunaandurit/sensorit, mõõtmiskoha määramise andurit, kontrolleri, andmesalvestusmoodulit, sisestusseadet ning monitori andmete kuvamiseks reaajas. Mitmed seadmed sisaldavad või võimaldavad lisada funktsionaalsust nagu pilvepõhine kaughaldus seadmete ja andmete monitoorimiseks, automaatne pilvepõhine varundus, ilmajaama andmete kuvamine, ilmaennustus jpm.

Põhitööorgan on kinnitatud laoturi katuse konstruktsiooni külge, mistõttu ei häiri see meeskonna tööd (vt. joonised allpool). Kaasaegsete süsteemide eeliseks on tihe mõõtmisagedus (nii piki- kui ka põiksuunaline), süsteemi automatiseeritus ning paigaldustemperatuuride jälgimine reaajas. Nimetatud omadused loovad eeldused paigaldustemperatuuride kohta ülevaatliku info kogumiseks ning võimaldab töövõtjal tuvastada võimalikud probleemid vahetult tööde teostamise hetkel. Boonussüsteemis kasutamise seisukohalt on oluline tagada, et töövõtjal puudub võimalus andmeid protsessis muuta.



Joonis 4. Kaasaegsed teekatte termokaamerad (lähivaates)

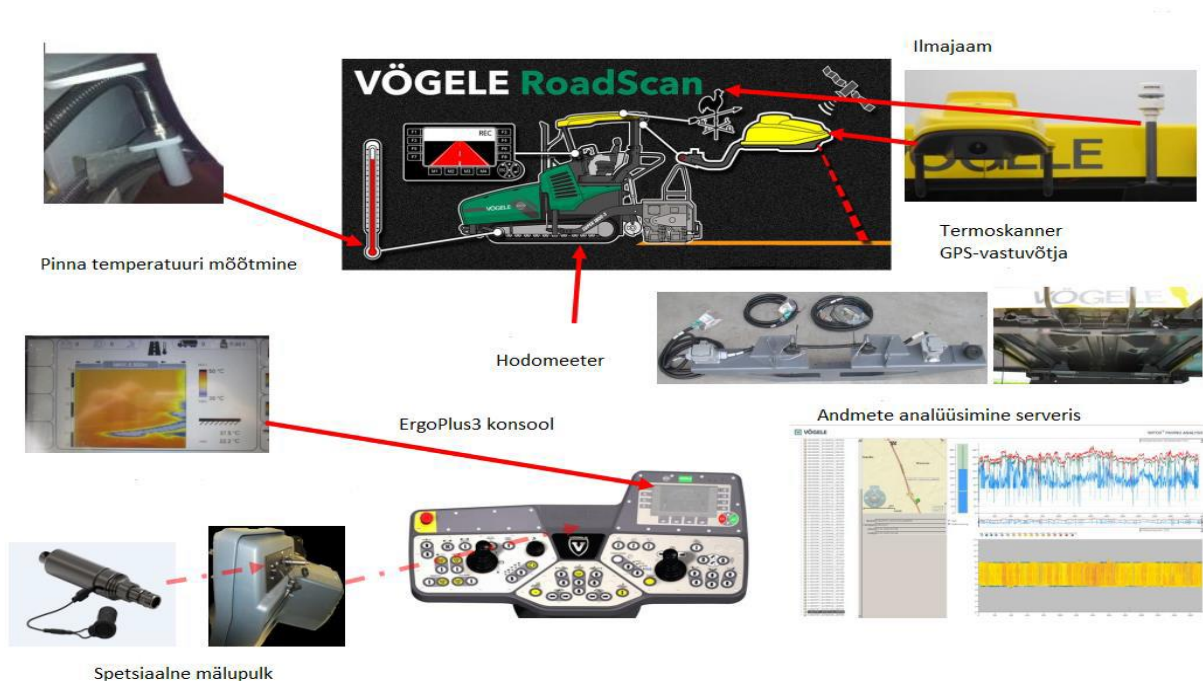


Joonis 5. Kaasaegsed teekatte termokaamerad (tööprotsessis)

Piloteeritud termograafilised seadmed

RoadScan

RoadScan on arendatud ja toodetud Saksamaa ettevõtte Joseph Vögele AG poolt. Infrapunakaameral põhinev teekatte paigaldustemperatuure jälgiv seade on on kompaktne ja seda on lihtne paigaldada. Tegemist on margipõhise tootega ehk seade sobitub vaid Vögele laoturitega [4]. Kõnealune seade suudab salvestada katte paigaldustemperatuure kuni 10 m laiuse kattepaani korral ning võimaldab laoturi juhil kogu laotusprotsessi reaajas jälgida (vt. joonis allpool). Andmed salvestatakse Vögele laoturi ErgoPlus3 konsoolis ning neid on võimalik hilisemaks töötluks seadmest välja võtta spetsiaalse mälupulgaga ja analüüsida Vögele veebirakenduses. Temperatuuride info on seotud asukohaga, mis määratakse läbi hodomeetri.



Joonis 6. RoadScan süsteemi olemus (joonis: AS TREF)

TGS Pavement

Termograafiline süsteem TGS Pavement on Eesti ettevõtte AS Teede Tehnokeskus poolt spetsiaalselt välja arendatud infrapunakaamera süsteem asfaldi (katte) paigaldustemperatuuride jälgimiseks. Seade on universaalne ning seda saab kasutada mistahes laoturiga. Mõõdetud temperatuurid salvestatakse automaatselt andmebaasi, mis võimaldab kõigil asjaosalistel reaajas kogu laotusprotsessi jälgida – olenemata isiku asukohast (vt. joonis allpool). Vajaduse tekkel saab laotusprotsessi vältel laadida alla seni kogutud informatsioon ja teostada analüüs (nt. andmete visualiseerimine, boonuservutus vms). Lisandväärtusena salvestab seade 1 m intervalliga termopilte (.jpg formaadis), mis lisaks temperatuuride infole võimaldab hinnata või tagantjärele kontrollida nii katte temperatuure kui selle mõõtmisprotsessi mõjutanud tegureid (nt. erinevad häiringud). Kogu salvestatud info on seotud GNSS koordinaatide põhjal määratud asukohaga (maksimaalselt võimalik RTK täpsus).



Joonis 7. Laoturile paigaldatud termokaamerad (vasakul), salvestatud termopilt (keskel) ja reaajas segu temperatuuride jälgimine distantsilt (paremal)

Kasutatud termograafiliste seadmete võrdlus

Pilootobjektidel kasutatud termograafilised seadmed erinevad teineteisest mitme faktori poolest. Alljärgnevalt on välja toodud peamised erinevused (vt. tabel allpool).

Tabel 1. TGS ja RoadScan seadmete omavaheline võrdlus

Mõõtmiste parameeter	TGS Pavement	RoadScan
1. Standardne laius	kuni 6 m*	kuni 10 m
2. Standardne kaugus	4,5 m*	2 m
3. Põiksuunaline intervall	0,06 m*	0,25 m
4. Pikisuunaline intervall	0,1 m*	0,25 m
5. Termopiltide salvestamine	jah*	-
6. Reaalajas jälgimine	Ei ole piiratud kindla asukohaga	laoturi konsoolil
7. Asukoha täpsus	GNSS RTK	hodomeeter

TGS Pavement parameetrid on seadistatavad, tärniga tähistatud väärtused kujutavad pilootobjektidel kasutatud väärtusi. Tabelist näeme, et seadmete suurimad erinevused on mõõtmiste kauguse ja intervallid (nii piki- kui ka põiksuunalised). Erineb ka seadmete poolt mõõtmistega kaetava paani laius, kuid metoodikale vastav 5 m on mõlemal puhul täidetud.

Paigaldustemperatuuri ühtlustamise meetmed

Paigaldatava asfaltsegu temperatuuri ühtlust mõjutavad mitmed erinevad tegurid. Lõpptulemust mõjutavad asfaltsegu lähtematerjali niiskussisaldus, valitsevad ilmastikuolud, veomaa, segu punkris oleku aeg, segu laadimistehnoloogia jpm. Loetus on kajastatud vaid mõned faktorid, nimekiri ei ole lõplik. Uurimistöös on käsitletud kahte pilootobjektidel kasutatud paigaldustemperatuuri mõjutavat meetet, millede mõju ja kasutegurit läbi termograafiliste mõõtmiste on võimalik hinnata:

- asfaldisegu söötja
- termoisoleeritud veokastid

Nimetatud meetmete kasutamine suurendab märkimisväärselt tõenäosust ühtlase paigaldustemperatuuri saavutamiseks kuid ei taga seda. Kummagi meetme kasutamine (sh. termograafilise seadme) ei olnud pilootprojektis reguleeritud kuna boonuseid sisaldava motivatsioonisüsteemi eesmärk on anda töövõtjatele rakendatavate meetmete valikuks ja rakendamiseks vabad käed.

Asfaldisegu söötja

Asfaldisegu tootmisel on mitmeid potentsiaalseid tegureid, mis põhjustavad segu ebahomogeensust, sh. temperatuuri ebaühtlust. Tänapäevase, kaasaegsete asfalditehastega tootmise juures on väga paljusid neist põhjustest võimalik erinevate sensorite kasutamise tõttu efektiivselt tuvastada juba tootmise käigus ning soovi korral puudused likvideerida. Asfaldi edasisel töötlemisel - laadimisel veokasti, transportimisel objektile toimub veokatis oleva asfaldimassi perimeetril segu energiavahetus ja segregeerumine, mistõttu laotamise hetkeks ei ole segu enam homogeneenne. Temperatuuri ühtlustamiseks ning segregeerumise vähendamiseks on töövõtjal objektil võimalus kasutada asfaldisegu söötjat (inglise keeles „feeder“, edaspidi „söötja“). Objektile jõudnud segu laaditakse esmalt söötja kolusse, kus segu massi ühtlustatakse spetsiaalsete kooniliste tiguvõllidega ning suunatakse seejärel lintkonveieriga laoturi kõrgendatud kolusse (vt. joonis allpool).



Joonis 8. Asfaldisegu sөөtja kasutamine

Sөөtjad leiavad iga aasta üha rohkem kasutust. Boonussüsteemi pilootobjektidel kasutasid töövõtjad sөөtjat kahel juhul kolmest. Uurimistöö üheks eesmärgiks on hinnata, millist mõju omab nimetatud seadme kasutamine riskialade osakaalule.

Termokastid

Pikkade veokauguste puhul jahtub veokastis olev asfaltsegu transportimise käigus ebaühtlaselt, kuna alt ja külgedelt veokastiga või pealt õhuga kontaktis olev segu jahtub energiavahetuse tõttu ülejäänud segust kiiremini. Energiavahetuse aeglustamiseks on töövõtjal võimalus segu transportimiseks kasutada termoisoleeritud veokaste (edaspidi „termokast“) (vt. joonis allpool). Nimetatud veokastid vähendavad asfaltsegule mõjuvat väliskeskkonna mõju, mistõttu objektile jõudev produkt on kõrgema ja ühtlasema temperatuuriga [3].



Joonis 9. Termokast



Joonis 10. Termokasti küljel asuv ava, mis võimaldab kontrollida kastis oleva materjali temperatuuri

Pilootobjektide näitel saab väita, et töövõtjad ei võta termokastide kasutamise enamasti eesmärgiks. Objektidel kohtab küll üksikuid termokaste, kuid mõju saavutamiseks sellest ei piisa. Töövõtjate sõnul on turul termokastide hulk hetkel veel ka piiratud kuid boonussüsteemi tõttu tekib töövõtjal selge motivatsioon neid kasutada, mistõttu muutuvad atraktiivsemaks need vedajad, kes suudavad pakkuda asfaldi vedu termokastidega. Pilootobjekt nr 3 kasutas töövõtja ainult termokaste, kuna ilmastikutingimused ei soosinud asfalteerimistöid (vt. ptk „Pilootobjekt nr 3“).

Jäävpoorsuse mõõtmise maaradariga

Piloteeritavas boonuste maksmise metoodikas on sätestatud, et boonuse maksmise eelduseks on teekatte poorsuse ja tihendusteguri määramine maaradariga.

Jäävpoorsuse määramiseks teostati pilootobjektidel mõõtmised maaradariga vastavalt väljatöötatud metoodikale. Kasutatav süsteem tugineb Soome PANK 4122 metoodikal [5] kuid on oluliselt täiendatud arvestades praktikas saadud kogemusi.



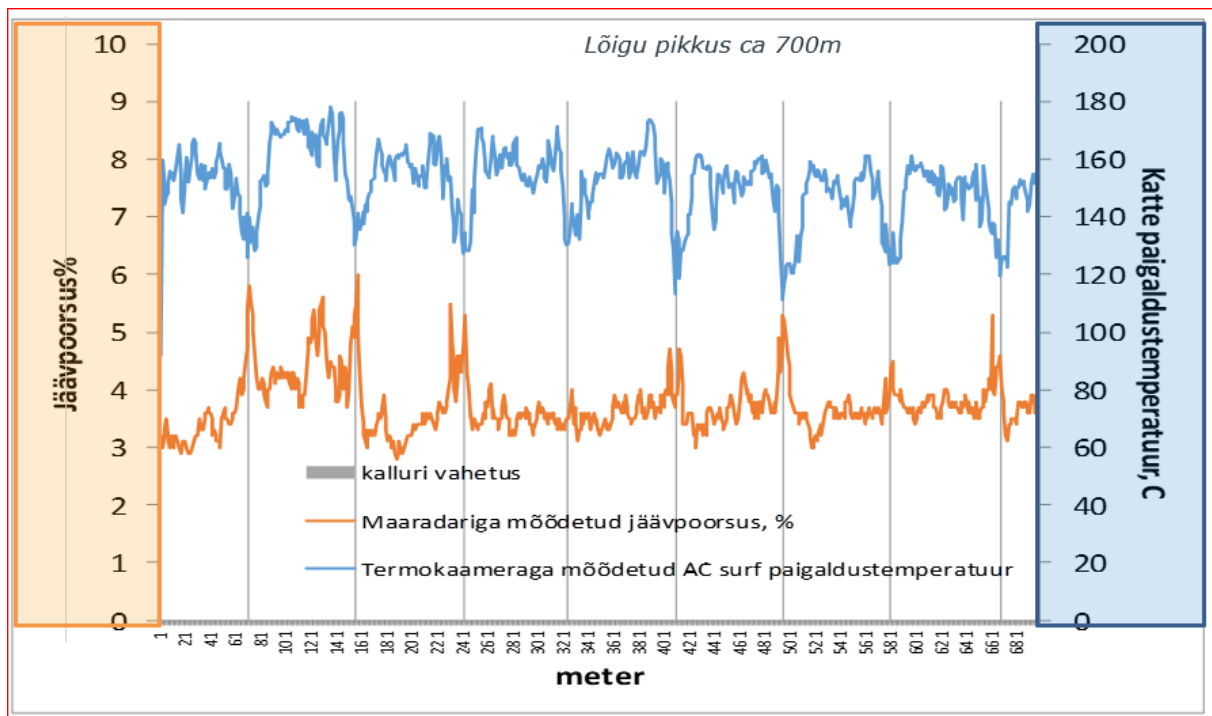
Joonis 11. AS Teede Tehnokeskus mõõtebuss GSSI SIR-30 maaradariga koos 1,0 GHz antenniga

Varasemad uuringud on tõestanud, et maaradariga määratud katte jäävpoorsuse ja paigaldustemperatuuride vahel on otsene seos, mida on võimalik graafiliselt visualiseerida. Mida jahedam on katte paigaldustemperatuur, seda suurem on eeldus kõrgema jäävpoorsuse ja madalama tihendusteguri tekkeks sama tihendusenergia juures. Sellised seosed tulevad kõige ilmekamalt esile nn. koormavahetuselades, kus lühikesele, mõnemeetrisele alale kontsentreerub suurem hulk jahtunud segu. Sellised kohad on kattel visuaalselt eristuvad niiske katte korral. [3]

Jäävpoorsuse määramiseks kasutatav maaradar peab olema varustatud vähemalt 1,0 GHz õhk-paarantenniga. Mõõta tuleb vähemalt üks profiil igal põhisõidurajal

rattajälgede vahelt ning põhisõiduradade vahelised vuugid. Mõõtmistulemuste kalibreerimiseks tuleb sõltumata objekti pikkusest võtta kattest 8 suurkeha, mille jäävpoorsused ja tihendustegurid tuleb määrata akrediteeritud laboris. Saadud tulemusi kasutatakse radarifailide kalibreerimiseks ning lähtearvudena jäävpoorsuse arvutamiseks 1 m pikkustele lõikudele. [1]

Käesoleva uurimistöö raames vaadeldakse vaid paanilt (rattajälgede vaheliselt alalt) mõõdetud profiile, kuna vuugiprofiilide piirkonnad on riskialade määramisel analüüsist eemaldatud. Paigaldustemperatuuride ja jäävpoorsuse vahelise korrelatsiooni määramiseks on temperatuuride andmestikust eemaldatud rattajälgede vaheline ala ca 0,5 m laiuselt. Antud piirkonnale on teostatud uus analüüs ning määratud selle riskialad.



Joonis 12. Katte paigaldustemperatuuri mõju katte jäävpoorsusele [3]

Pilootobjektid

Teekatte paigaldustemperatuuride mõõtmiseks kasutatavate termograafiliste seadmete sobivuse hindamiseks ja asjakohase motivatsioonisüsteemi väljatöötamiseks teostati ajavahemikul 24.08.2018-25.10.2018 kattetemperatuuri ühtluse mõõtmised kolmel pilootobjektil, kogupikkusega 18483 meetrit. Objekte iseloomustavad parameetrid on kajastatud alltoodud tabelis (vt. tabel allpool).

Tabel 2. Pilootobjektide parameetrid

Tee nr	Kuupäev	Alg_km	Lõpp_km	Pikkus, m	Paigaldaja
#92	24.08-05.09	28.263	35.195	6932	TREF AS
#22	12.09-04.10	25.894	30.019	4125	Verston Ehitus OÜ
#22	22.10-25.10	3.097	10.523	7426	TREF Nord AS

Tabelis kujutatud objektide pikkus (s.h. objekti algus ja lõpp) on määratud TGS logi põhjal. Riigiteel nr 92 Tartu – Viljandi – Kilingi-Nõmme toimunud mõõdistustööde käigus teostati paralleelsed katte paigaldustemperatuuride mõõtmised kahe erineva termograafilise seadmega (Vögele RoadScan ja AS Teede Tehnokeskus TGS). Töös on võrreldud seadmete funktsionaalseid eripärasid ja teostatud lepingukohased boonuservutused.

Maanteeameti poolt välja valitud pilootobjektide asfalteerimistöid teostavatel ettevõtetel puudus kohustus katte paigaldustemperatuure mõõta, kuid võimaliku boonuse teenimine motiveeris neid seda tegema. Hankedokumentides ei olnud sätestatud ühegi meetme (nt. söötja) kasutamine, mistõttu teostati pilootobjektide raames mõõtmistööd erinevates tingimustes, seda nii ilmastiku kui ka kasutatavate meetmete seisukohast. Kahel objektil kasutati paigaldamisel söötjat, kuid riigiteel nr 22 km 25.894 – 30.019 töövõtja seda meedet tarvitusele ei võtnud. Nimetatud objekt erines teistest veel selle poolest, et tööd toimusid asulas. Pilootobjektidel kasutatud meetmed on välja toodud tabelis (vt. tabel allpool).

Tabel 3. Pilootobjektidel kasutatud meetmed

Objekti nr	Tee nr	Asukoht	Paigaldaja	Söötja	Termokastid
1	92	28.263-35.195	TREF	+	-
2	22	25.894-30.019	Verston	-	-
3	22	3.097-10.523	TREV-2	+	+

Vaatamata pilootobjektide vähesusele katab uurimistöö suure hulga erinevatest laotamismeetoditest. Kajastatud on nii tavameetod (objekt nr 2), söötja kasutamine laotamisel (objekt nr 1) kui ka söötja ja termokastide kombinatsiooni kasutamine laotamisel (objekt nr 3). Kõigest tulenevalt oli ka riskialade vältimise eest teenitud boonus objektide lõikes küllaltki erinev (vt. tabel allpool).

Tabel 4. Pilootobjektidel teenitud boonus riskialade vältimine eest (arvestuslik)

	Riskialade vältimise boonus, €	% Tasust	% Katte väärtusest
Obj. 1	20954,0	1,69%	5,32%
Obj. 2	982,5	0,21%	0,34%
Obj. 3	25232,7	2,30%	5,30%
KOKKU:	47169,3		

Tabelist näeme, et kui kahel objektil teeniti ühtlase paigaldustemperatuuride saavutamise eest boonust üle 5% katte koguväärtusest, siis ühel objektil oli vastavaks näitajaks vaid 0,34%. Võrreldes teenitud boonuseid kasutatud meetmetega selgub, et need on omavahel suuresti sõltuvuses: mida enam panustati innovatiivsete abimeetmete kasutamisse, seda suuremaks kujunes ka teenitud boonus. Siiski tuleb siinkohal arvestada, et uuringu teostajal nagu ka tellijal/järelevalvel puudub ülevaade muudest kvaliteedi tagamise meetmetest tootmisel aga ka mõjudest (nt. ilmastiku mõju toormaterjalile). Lisaks põhineb kõigest kolme objekti võrdlemisel. Siiski on toodud tendents väga ilmne. Täpsemad arvutused ning probleemkohad on kajastatud käesolevas uurimistöös.

Pilootobjekt 1: Tartu – Viljandi – Kilingi-Nõmme #92 km 28.263-35.195

Erinevate teekatte paigaldustemperatuuride mõõtmisteks ette nähtud termograafiliste seadmete omavaheliseks võrdluseks teostati ajavahemikus 24.08.2019-05.09.2019 paralleelsed kattetemperatuuri mõõtmised riigimaanteel nr 91 Tartu – Viljandi – Kilingi-Nõmme km 28.26-35.193. Asfaltsegu laotamine toimus kokku viiel päeval, millest kõigil kasutati söötjat Vögele MT 3000-2i Offset. Paigaldatava katte termomõõdistamiseks kasutas töövõtja Vögele poolt toodetud seadet RoadScan ning samaaegselt teostati mõõtmised, kasutades AS Teede Tehnokeskus poolt arendatud termokaamerasüsteemi TGS Pavement (vt. joonis allpool). Objekti jäävpoorsus ja tihendustegur määrati pärast katte paigaldamist maaradariga.



Joonis 13. Paralleelsed katte paigaldustemperatuuride mõõtmised

Objektil teostati taastusremont, mille käigus tasandusfreesitud katile paigaldati uus kulumiskiht AC 16 surf (asfaltsegu katsetulemused on toodud lisas 2). Asfalteerimistööd teostas AS TREF ning asfaltsegu tootis töövõtja oma tehases. Kogu tööde teostamise ajal valitsesid paigaldamist soosivad ilmastikutingimused – õhutemperatuur oli vahemikus 16-25°C ning valdavalt tuulevaikne. Detailsemad paigaldamist iseloomustavad näitajad on toodud alljärgnevas tabelis.

Tabel 5. Pilootobjekti nr.1 põhinäitajad

Parameeter	24.08.18	27.08.18	03.09.18	04.09.18	05.09.18 lõik 1	05.09.18 lõik 2
Sõidurada	2	2	1	1	1	2
Paigaldamise suund	Tartu → Viljandi	Tartu → Viljandi	Viljandi →Tartu	Viljandi →Tartu	Viljandi →Tartu	Tartu → Viljandi
Paigaldamise algus	PK 282+63	PK 311+60	PK 321+85	PK 292+85	PK 337+85	PK 282+63
Paigaldamise lõpp	PK 311+60	PK 337+85	PK 352+00	PK 321+85	PK 352+00	PK 292+85
Paigaldamise pikkus (vahetusaruandest)	2897 m	2625 m	3015 m	2900 m	1022 m	1415 m
Paigalduse maht m² (vahetusaruandest)	13940 m ²	11977 m ²	13520 m ²	15053 m ²	4967 m ²	6383 m ²
Veomaa	33,6 km	33,6 km	33,6 km	33,6 km	33,6 km	33,6 km
Õhutemperatuur	25°C	17°C	20°C	17°C	16°C	16°C
Tuul	3m/s	1m/s	1m/s	2m/s	1m/s	1m/s
Ilmastik	kuiv	kuiv	kuiv	kuiv	kuiv	kuiv
Asfaltsegu mark	AC 16 surf	AC 16 surf	AC 16 surf	AC 16 surf	AC 16 surf	AC 16 surf
Söötja	+	+	+	+	+	+
Veokastid (termokastid/ kokku)	1/16	2/13	3/13	3/16	3/16	3/16

Termograafiliste mõõtmiste tulemused

Antud objekt omab pilootprojektis märkimisväärselt tähtsust, kuna mõõtmisi teostati kahe erineva teekatte paigaldustemperatuuride mõõtmiseks ette nähtud termograafilise seadmega. Mõõtmised seadmega RoadScan viis läbi AS TREF, kes edastas mõõtmisandmed uuringu teostajale Excel tabelina (mõõtmiste tulemused on toodud lisas 3).. Mõõtmised seadmega TGS Pavement viis läbi AS Teede Tehnokeskus, kes on TGS kattetemperatuuri ühtluse mõõtmise seadet arendanud aastast 2014 ning koostöös mitmete partneritega erinevatel objektidel edukalt piloteerinud. Mõlema seadmega mõõdetud andmed analüüsis Teede Tehnokeskus. Asfalteerimistöid teostas ettevõtte AS TREF, kes on aktiivselt panustanud

innovatsiooni ja esitlenud erinevaid asfalteerimistöde kvaliteedi tõstmise tehnoloogiaid.

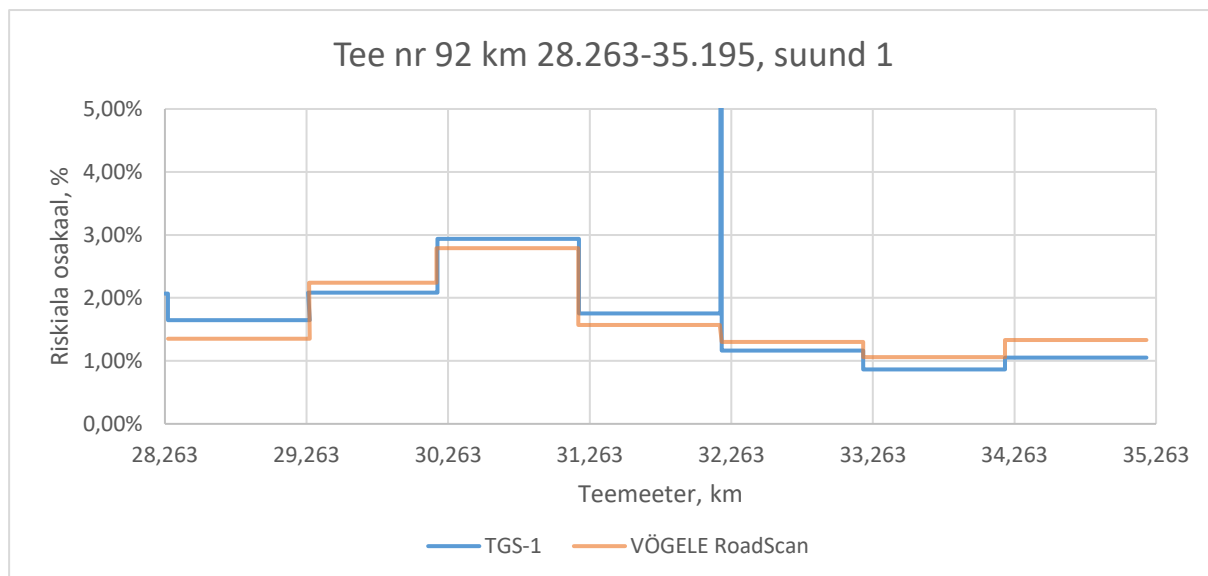


Joonis 14. Termograafilised seadmed RoadScan (vasakul) ja TGS (paremal)

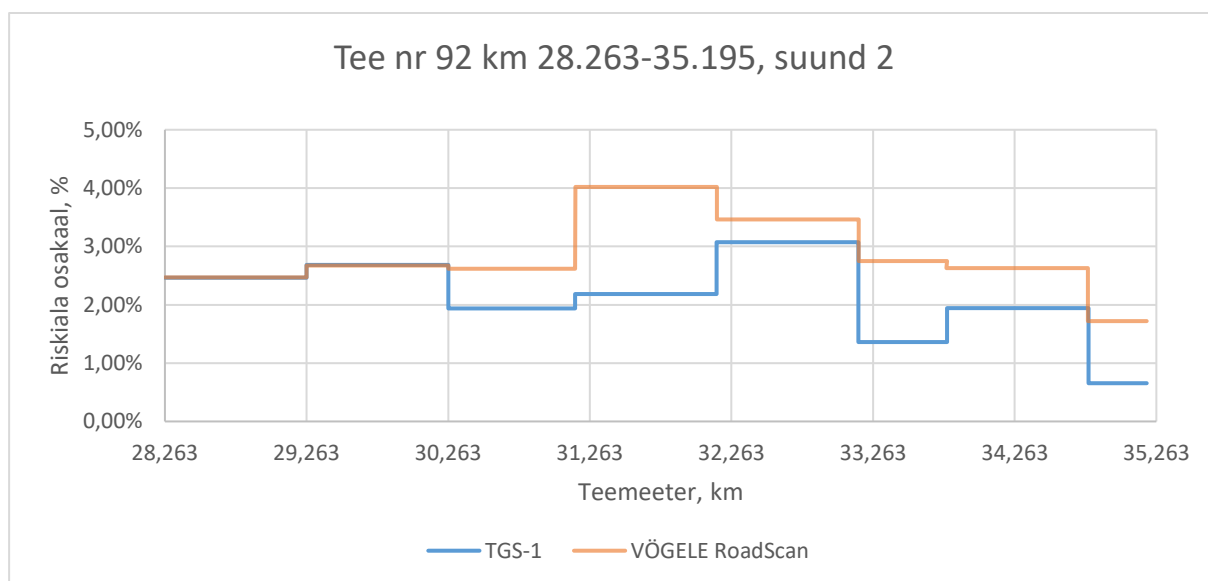
Mõlema vaatluse all olnud termograafilise seadme põhiülesandeks on vahetult laoturi taga koguda laotatava asfaltsegu paigaldustemperatuure ning võimaldada paigaldusmeeskonnal reaalajas tulemusi jälgida, mis läbi võimaldada töövõtjal vajadusel operatiivselt sekkuda. Piloteeritud mõõteseadmed erinevad teineteisest mitme parameetri ja omaduse poolest (vt. ptk „Kasutatud seadmete võrdlus”), mistõttu annavad need mõnevõrra erinevaid tulemusi. Sellegipoolest on mõlema seadme näol tegu innovatiivse lähenemisega ning annavad väärtuslikku infot katte paigalduse kvaliteedi tagamisel ja hilisemal hindamisel. Seadmete erinevusest tingitud mõju boonuservutuste lõpptulemustele on detailselt käsitletud peatükis „Termograafilise info teaduslik analüüs”.

Riskiala osakaal

Termomõõdistuste tulemusena kaeti paigaldatud kattepinna mõlema seadmega täielikult mõõtmistega, tänu millele saadi kogu objekt analüüsida täies mahus. Lisandväärtusena andis paralleelsete mõõtmiste teostamine võimaluse võrrelda erinevate seadmete poolt väljastatud tulemuste korrelatsiooni. RoadScan seadme tulemuste tötluse ning riskialade osakaalude esmase määramise teostas AS TREF, TGS andmetötlusega tegeles AS Teede Tehnokeskus (vt. joonis allpool).



Joonis 15. Riskialade osakaal (%) 1000m arvestuslõikude kaupa #92 suunal 1. Esialgne analüüs teostatud erinevate ettevõtete poolt



Joonis 16. Riskialade osakaal (%) 1000m arvestuslõikude kaupa #92 suunal 2. Esialgne analüüs teostatud erinevate ettevõtete poolt

Ülal toodud joonistelt selgub, et erinevate ettevõtete poolt väljastatud aruanded kujutavad paigaldatud teekatte kvaliteeti kohati erinevalt (eriti suunal 2). Andmete analüüs toimus lähtuvalt piloteerimiseks loodud metoodikast erinevate ettevõtete poolt, mistõttu on esialgsed arvutustulemused mõjutatud nii seadmete eripärast kui ka analüüsi komponentidest. Inimfaktori eemaldamiseks ja piloteerimiseks kasutatud regulatsiooni asjakohasuse hindamiseks teostati mõlema seadme poolt väljastatud andmetele teaduslik analüüs, mis päädis võrreldavuse tagamiseks uue ja täiustatud boonuservutusega. Analüüs on teostatud AS Teede Tehnokeskus

poolt. Paralleelmõõdistuste info ja kehtiva metoodika analüüs on käsitletud peatükis „Termograafilise info teaduslik analüüs“.

Suunal 1 on suurimaks erinevuseks lühike arvestuslõik, kus TGS seadme puhul on määratud riskiala osakaal ületanud 5% (vt. joonis ülalpool), kuid RoadScan pole vastavat arvestuslõiku fikseerinud. Analüüsi tulemusena on põhjuseks seadmete erinev täpsus asukoha määramisel (vt. tabel allpool).

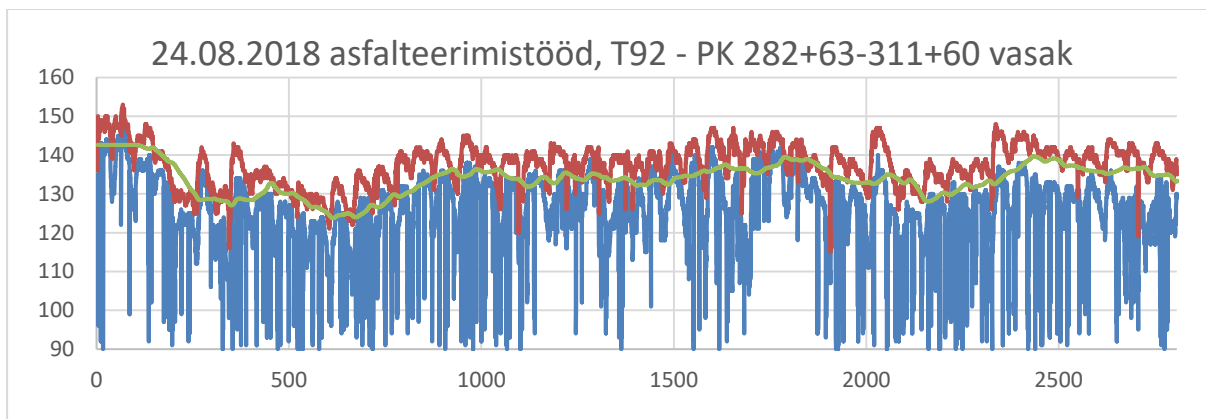
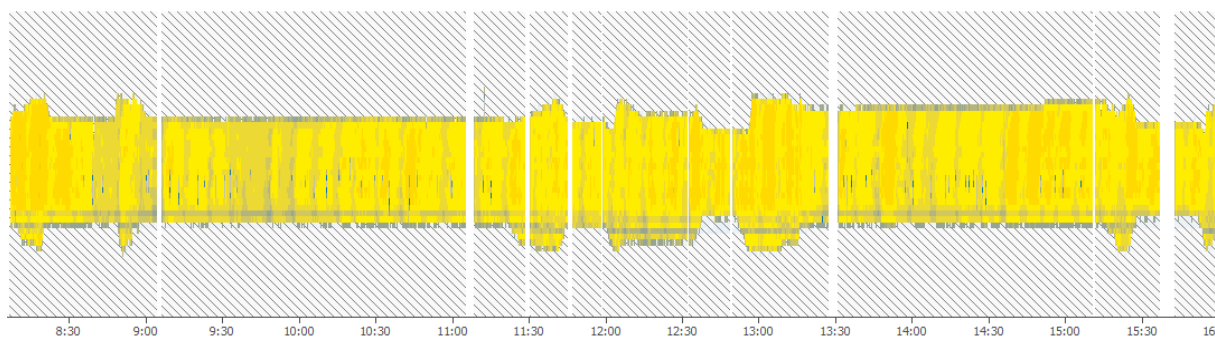
Tabel 6. Piloteeritud seadmete andmelogi ja vahetusaruannetesse kantud väärtuste kõrvutamine

Kuupäev	Paigaldatud paani pikkus, m		
	TGS logi	RoadScan logi	Vahetusaruanne
24.08.2018	2896	2808	2897
27.08.2018	2626	2525	2625
03.09.2018	3011	2906	3015
04.09.2018	2902	2782	2900
05.09.2018 lõik 1	1022	984	1022
05.09.2018 lõik 2	1411	1365	1415

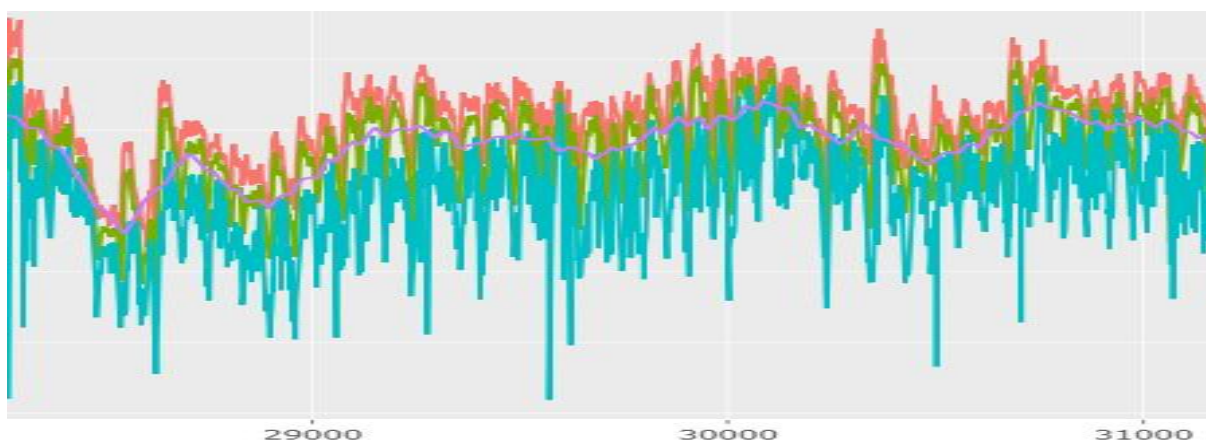
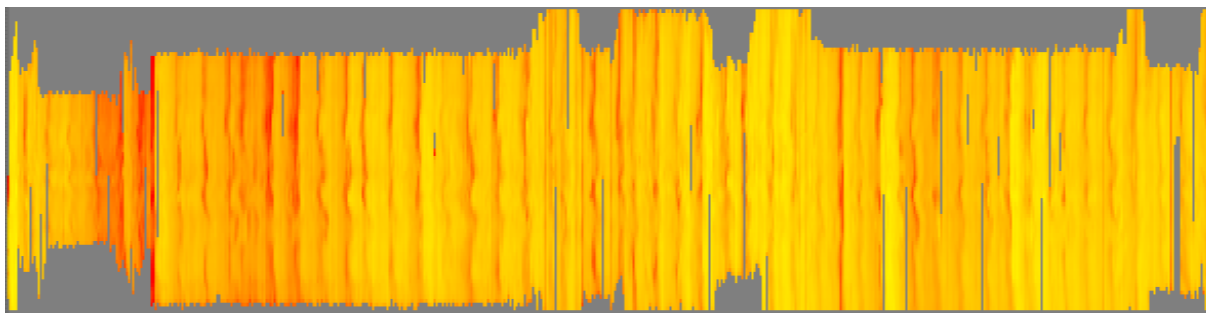
Andmete omavaheliseks võrdlemiseks võeti aluseks TGS poolt väljastatud asukohamäärangud, kuna vastav seade kasutab asukoha tuvastamiseks kõrgtäpset GNSS+RTK seadet ning selle tulemused kattuvad vahetusaruannetega (vt. tabel ülalpool). RoadScan seadme poolt salvestatud temperatuuride kellaajad seoti TGS andmetega ning vastavalt sellele määrati täpsustatud asukoht (vt. ptk „Termograafilise info teaduslik analüüs“).

Termovaibad

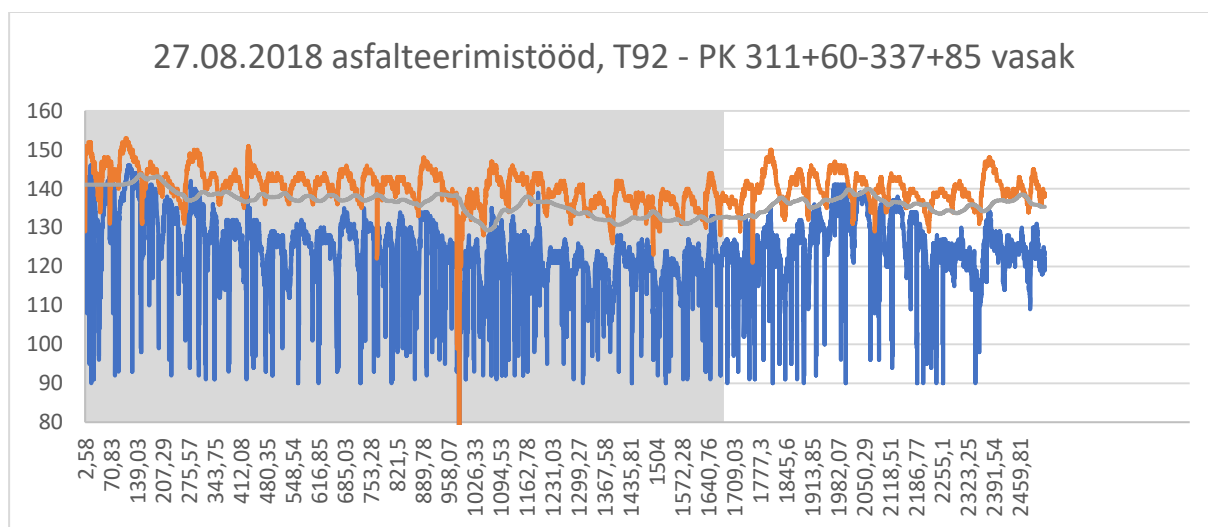
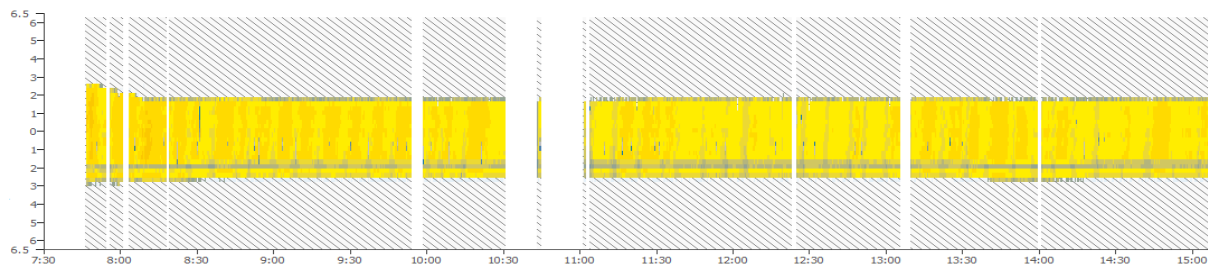
Järgnevalt on lisatud mõlema piloteeritud seadmete poolt salvestatud andmete põhjal koostatud termovaibad ning temperatuurigraafikud päevade kaupa. Termovaibad on koostatud mõlema seadme veebirakenduses automaatselt ning on käesolevas uurimistöös esitatud autentsel kujul.



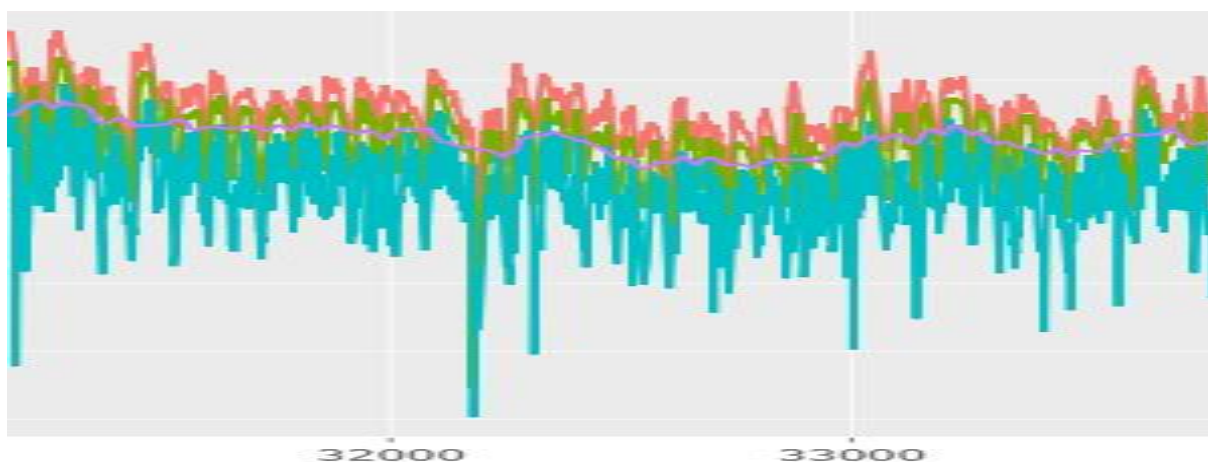
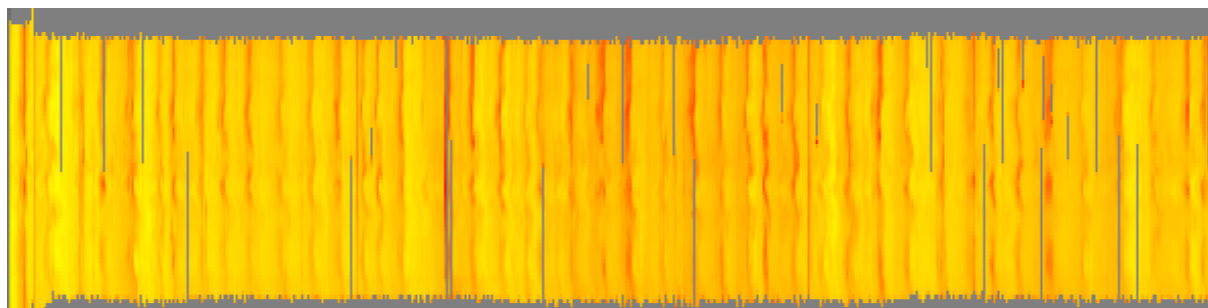
Joonis 17. RoadScan tulemused 24.08.2018 (joonis: AS TREF)



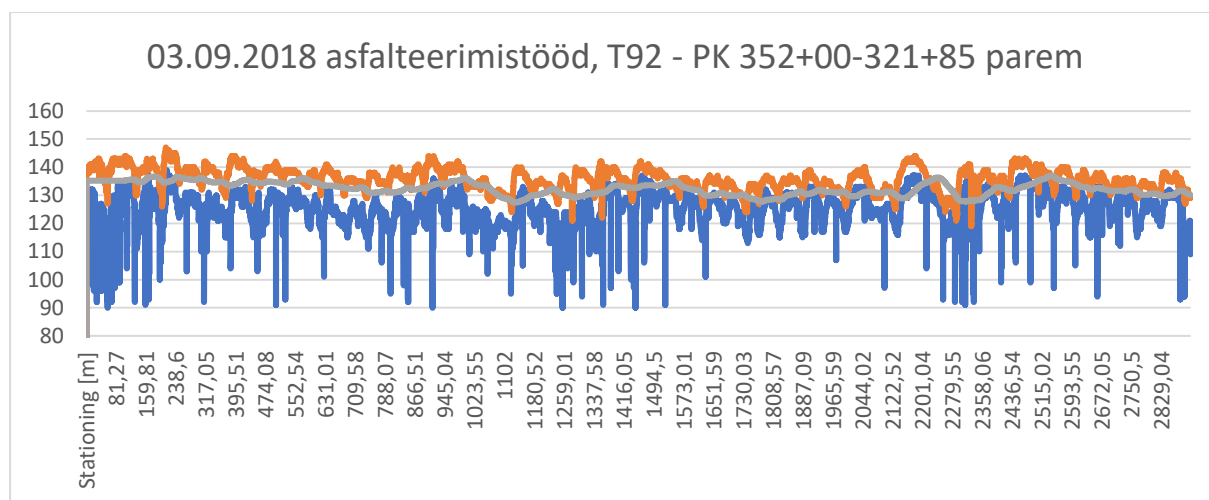
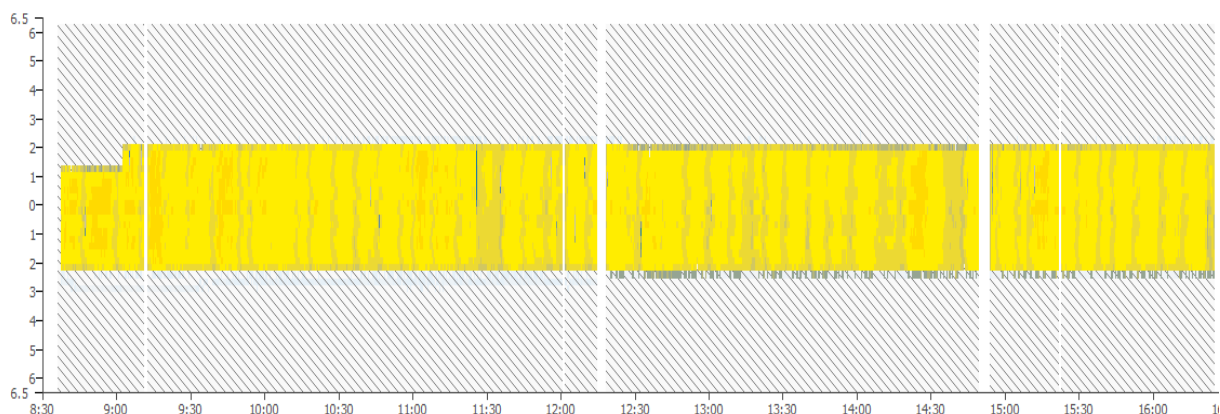
Joonis 18. TGS tulemused 24.08.2018



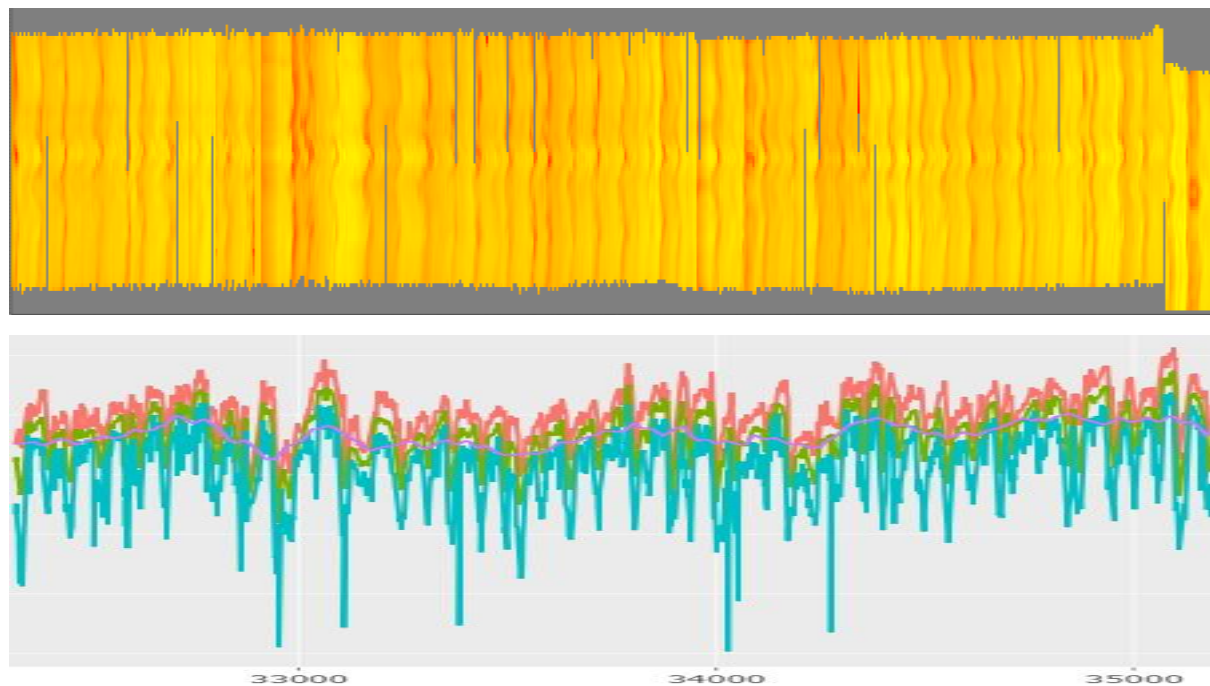
Joonis 19. RoadScan tulemused 27.08.2018 (joonis: AS TREF)



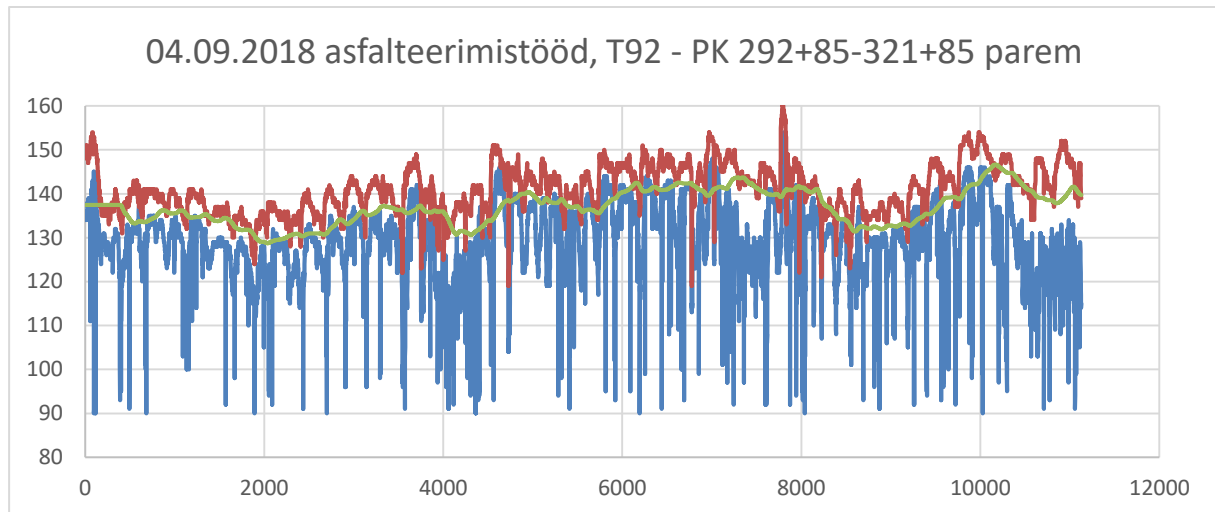
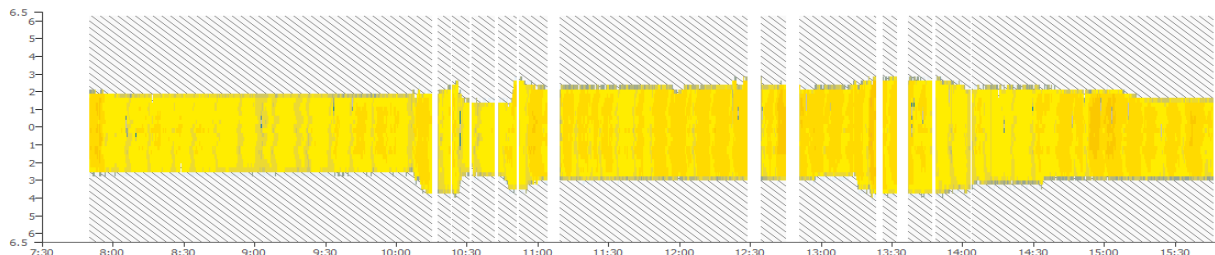
Joonis 20. TGS tulemused 27.08.2018



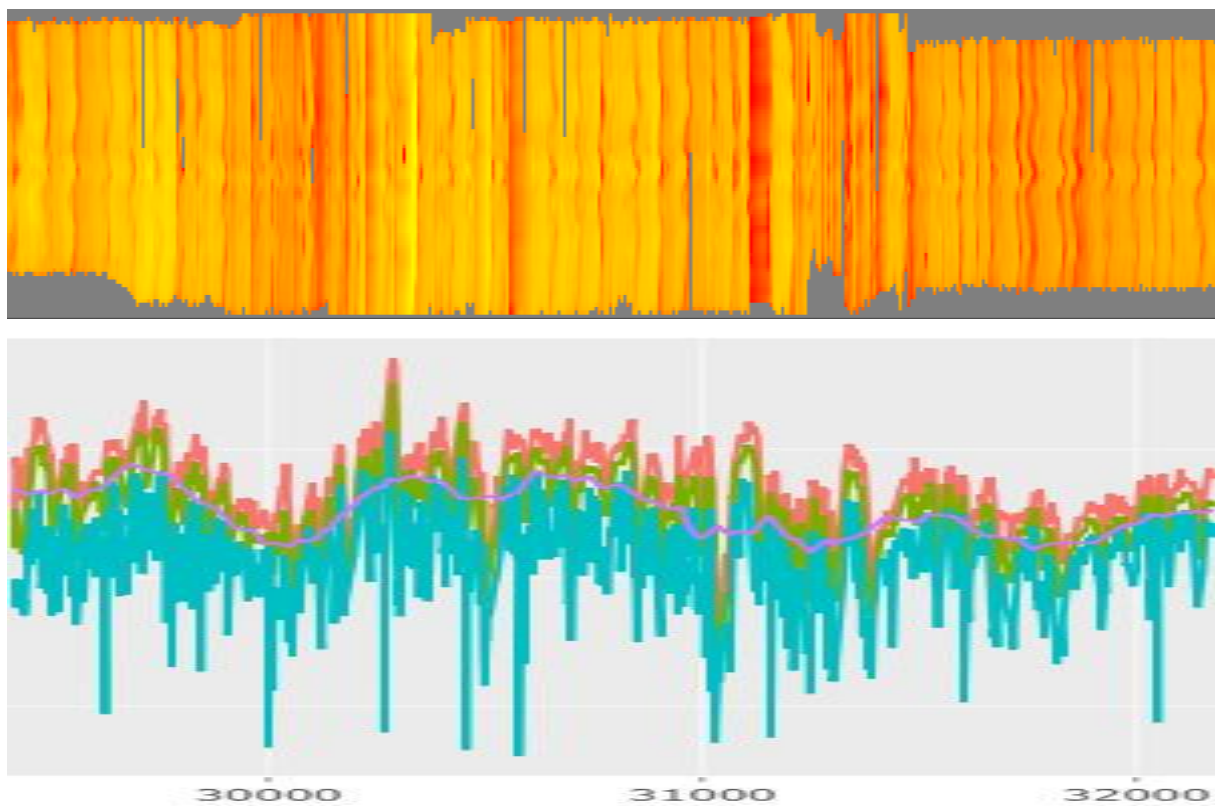
Joonis 21. RoadScan tulemused 03.09.2018 (joonis: AS TREF)



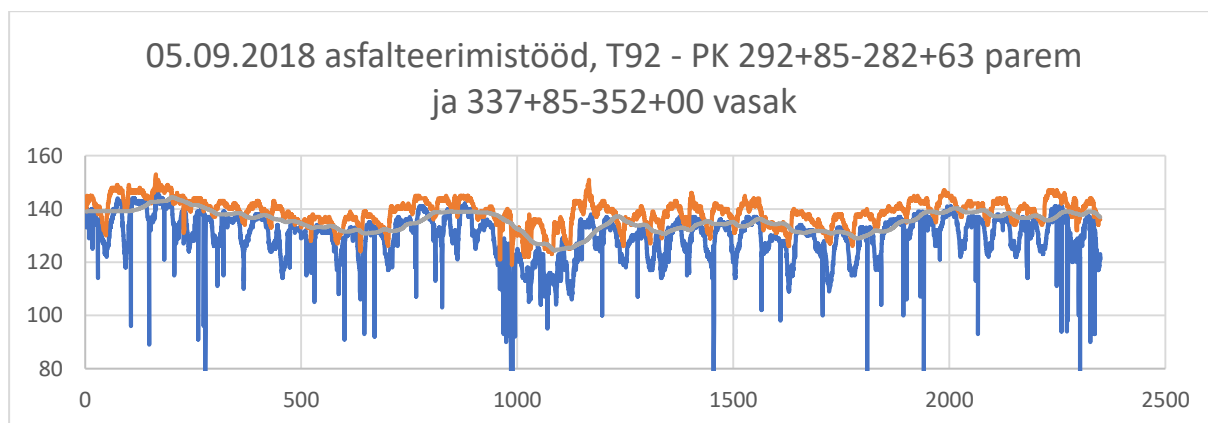
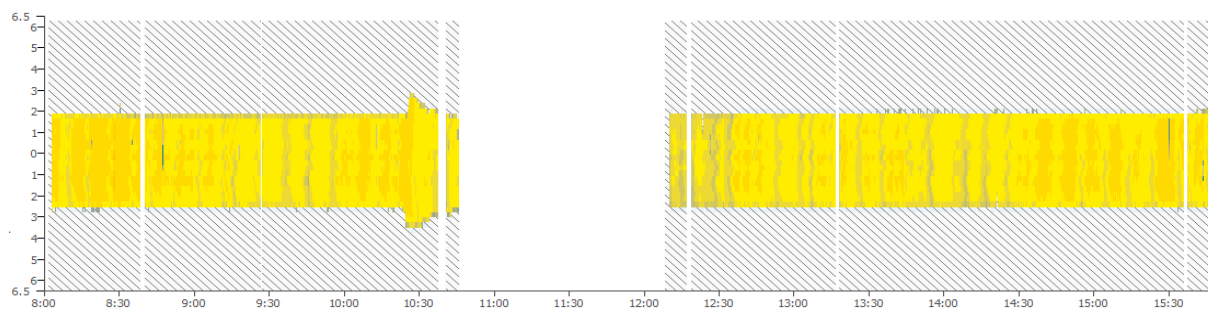
Joonis 22. TGS tulemused 03.09.2018



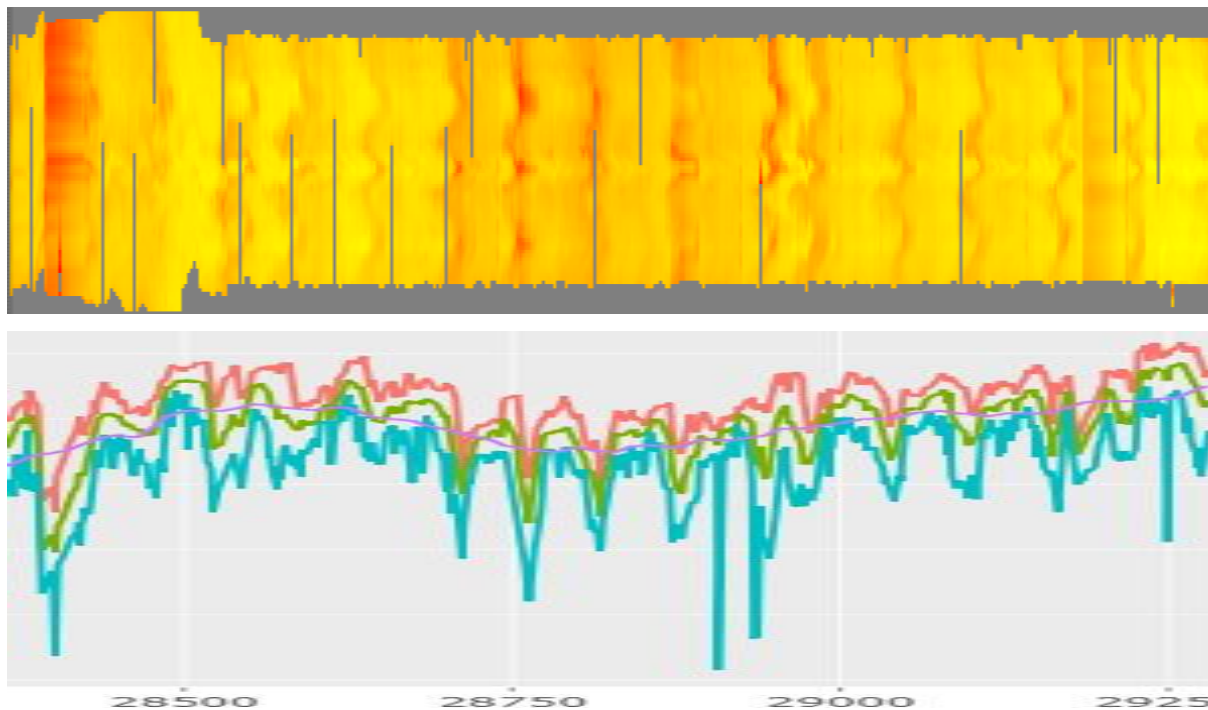
Joonis 23. RoadScan tulemused 04.09.2018 (joonis: AS TREF)



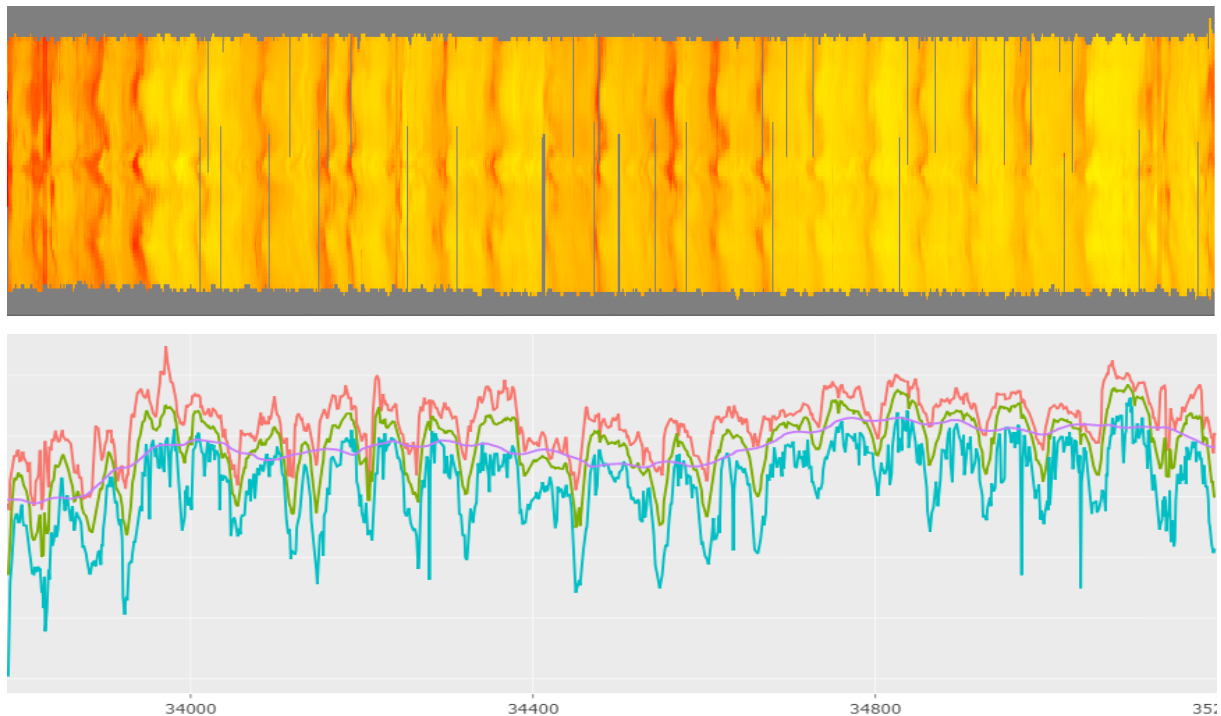
Joonis 24. TGS tulemused 04.09.2019



Joonis 25. RoadScan tulemused 05.09.2018 (joonis: AS TREF)



Joonis 26. TGS tulemused 05.09.2018 (Suund 1)



Joonis 27. TGS tulemused 05.09.2018 (Suund 2)

Ülal kujutatud joonised on informatiivsed ning on mõeldud eelkõige paigaldusmeeskonnale, et hinnata kasutatavate töömeetodite asjakohasust. Ometigi nii termovaibad kui ka boonuservutuste aruanded kinnitavad, et maanteel nr 92 teostati asfalteerimistöid kvaliteetselt ning saavutati ühtlane paigaldustemperatuur.

Antud objekti näitel saab kinnitada, et motivatsioonisüsteem täitis oma eesmärgi. Töövõtja otsustas paigaldamisel kasutada söötjat, kuid kuna tehas oli lähedal (33,6 km) siis segu transporditi objektile isoleerimata veokastides (kasutati üksikuid termokaste). Insenerlik mõtlemine ning tulude-kulude optimeerimine täitis eesmärgi ning boonussüsteemi näol sai töövõtja vastavalt lepingu tingimustele õiglaselt tasustatud. Täiustatud analüüsile tuginedes oli objekti riskialade osakaal arvestuslõikude kaupa vahemikus **0,83-2,28%**, maksimaalne 5% piir ületati vaid ühel ebastandardisel 11 m arvestuslõigul (tegemist 03.09.2018 paigaldatud 3011 meetrise kattepaani viimase 11 meetriga). Objekti kaalutud keskmine riskiala osakaal oli **2,1%** ning töövõtjal tekkis õigus motiveerivale boonusele. Boonuservutuste aruanded (mõlema seadme esialgne ja täiustatud analüüs) on toodud digitaalses lisas 1.

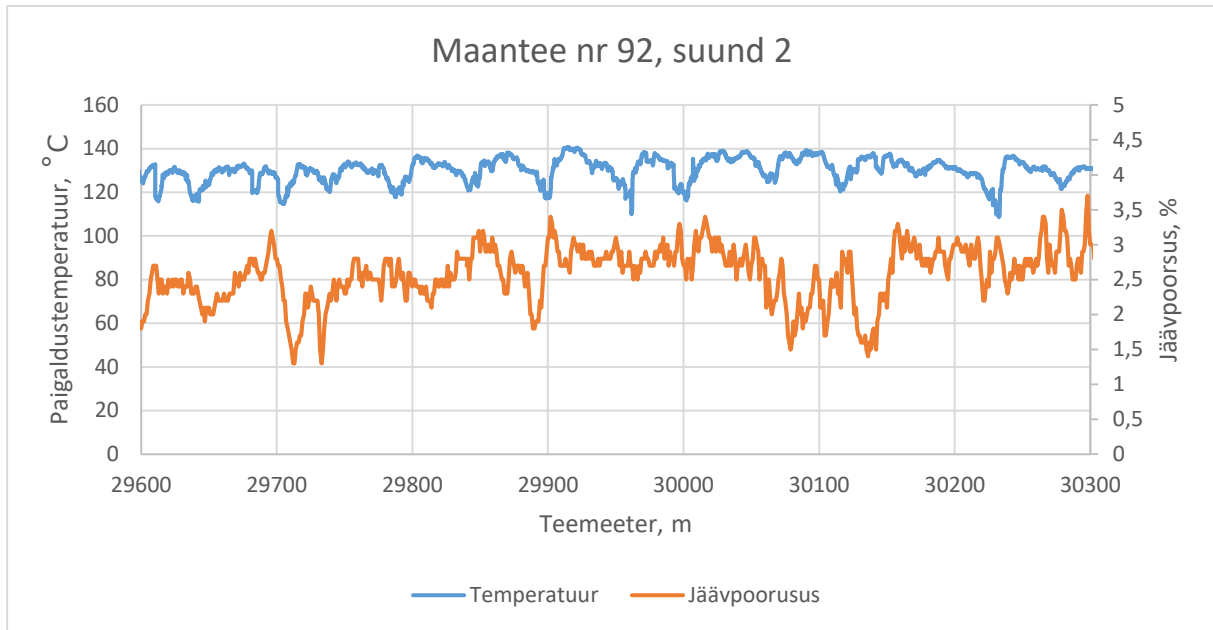
Maaradari andmete võrdlus katte paigaldustemperatuuridega

Mõõtmised teostati maaradariga (GSSI 1 GHz antenniga) 15.09.2018 AS Teede Tehnokeskus poolt. Mõõdeti üks profiil mõlemal põhisõidurajal rattajälgede vahelt ning põhisõiduradade vahelised vuugid. Mõõtmistulemuste kalibreerimiseks võeti objektilt 16 suurkeha (4 vuugist), millised katsetati akrediteeritud laboris (labori protokoll lisas 2). Objekti koondtulemused on kujutatud alljärgnevas tabelis.

Tabel 7. Riigimaantee nr 92 Tartu - Viljandi - Kilingi-Nõmme km 28.260-35.193 radarmõõtmiste koondtulemused

		RADA 1	RADA 2	Nõue
Jäävpoorsus, %	min	1,50	0,90	$\geq 1,5$
	keskmine	3,20	2,49	-
	max	4,50	4,30	$\leq 5,0$
Tihendustegur	min	0,965	0,968	$\geq 0,98$
	keskmine	0,976	0,986	-
	max	0,996	1,002	-

Antud pilootobjekti näol ei tulnud segu jahtumisega seotud probleemid piisavalt selgelt esile leidmaks paigaldustemperatuuri seos jäävpoorsuse ja tihedusega. Paigaldamise vältel olid ideaalsed ilmastikutingimused. Lisaks kasutati kogu objekti mahus söötjat ning veomaa tehasest objektini oli vaid 33,6 km. Tulemusena saavutati ühtlane paigaldustemperatuur ning väike riskialade osakaal. Alloleval joonisel on kujutatud maantee 92 keskmise riskiala osakaaluga arvestuslõik (riskiala osakaal vastaval lõigul 1,97%).



Joonis 28. Katte paigaldustemperatuuri ja jäävpoorsuse seos madala riskiala osakaaluga arvestuslõigu korral

Jooniselt on näha, et söötjat kasutades on laotamistemperatuur ühtlane ja temperatuuride amplituud koormavahetuspiirkondades on vahemikus 10-15°C. Samuti on ühtlane katte jäävpoorsus, jäädes valdavalt 3,5 ja 4,5% vahele. Olenemata asjaolust, et antud lõigul on tegemist madala riskialaga arvestuslõiguga, tekivad ka sellel objektil kohati visuaalsed seosed paigaldustemperatuuri ja jäävpoorsuse vahel. Joonise põhjal saab väita, et jäävpoorsuse väärtuste suurimad muutused toimuvad vahetult enne ja peale koormavahetuspiirkondi (madala paigaldustemperatuuriga alad) ning maksimaalsed väärtused on registreeritud just nendel aladel.

Pilootobjekt 2: Rakvere – Väike-Maarja – Vägeva km 25.93-30.00

Teine pilootprojektis osalenud teelõik asus riigimaanteel nr 22 Rakvere – Väike-Maarja – Vägeva km 25.93-30.00, kus katte kulumiskihi paigaldustööd toimusid ajavahemikus 12.09.2018-04.10.2018. Katte paigaldus toimus vaid viiel päeval, kuid vihmaperioodi tõttu oli töövõtja sunnitud tegema tehnoloogilise pausi. Erinevalt teistest pilootobjektidest oli antud objekti puhul tegu asulasisese teelõiguga, mis raskendas ühtlase paigaldustemperatuuri saavutamist. Lisaks ei kasutanud töövõtja täiendavaid meetmeid söötja või termokastide näol (vt. joonis allpool), st. objektil puudusid täiendavad katte temperatuuri ühtlust tagavad meetmed (muude meetmete kasutamise kohta puudub info). Laotatava asfaltkatte termomõõdistamiseks kasutati seadet TGS Pavement. Objekti jäävpoorsus ja tihendustegur määrati maaradariga.



Joonis 29. Asfaltkatte laotamine tavameetodil (ilma söötjat kasutamata)

Tegemist oli taastusremondi objektiga, kus paigaldatavaks asfaltseguks oli AC 16 surf (asfaltsegu katsetulemused on toodud lisas 4 ja lisas 5). Asfalteerimistööd teostas ettevõtte Verston Ehitus OÜ. Asfaltsegu toodeti kahes erinevas tehases – YIT Infra Eesti AS ning AS TREV-2 Grupp. Ilmastikutingimused olid varieeruvad, kuna esimese ja viimase paigalduspäeva vahe oli 22 ööpäeva. Paigaldamist iseloomustavad üldnäitajad on toodud alljärgnevas tabelis.

Tabel 8. Pilootobjekti nr. 2 üldnäitajad

Parameeter	12.09.18	13.09.18	27.09.18 lõik 1	27.09.18 lõik 2	28.09.18 lõik 1	28.10.18 lõik 2	04.10.18
Sõidurada	1	2	2	2	2	1	1
Paigaldamise suund	Vägeva → Rakvere	Rakvere → Vägeva	Rakvere → Vägeva	Rakvere → Vägeva	Rakvere → Vägeva	Rakvere → Vägeva	Rakvere → Vägeva
Paigaldamise algus	PK 300+34	PK 280+50	PK 259+16	PK 266+75	PK 280+14	PK 259+16	PK 262+40
Paigaldamise lõpp	PK 280+50	PK 300+34	PK 266+75	PK 280+14	PK 280+50	PK 262+40	PK 280+50
Paigaldamise pikkus (vahetusaruandest)	1984 m	1984 m	759 m	1339 m	36 m	328 m	1810 m
Paigalduse maht m² (vahetusaruandest)	7599 m ²	7482 m ²	2654 m ²	4682 m ²	126 m ²	1377 m ²	6552 m ²
Veomaa	25 km	25 km	32 km	25 km	32 km	25 km	32 km/25 km
Tehas	TREV-2	TREV-2	YIT Infra	TREV-2	YIT Infra	TREV-2	YIT/TREV- 2
Õhutemperatuur	17°C	17°C	17°C	17°C	17°C	17°C	7°C
Ilmastik	kuiv	kuiv	hoovihm	hoovihm	kuiv	Kuiv	kuiv
Asfaltsegu mark	AC 16 surf	AC 16 surf	AC 16 surf	AC 16 surf	AC 16 surf	AC 16 Surf	AC 16 surf
Eelsöötja	-	-	-		-	-	-
Veokastid (termokastid/ kokku)	1/9	1/9	1/9	1/9	0/6	0/6	1/9

Termograafiliste mõõtmiste tulemused

Antud pilootobjektidel teostati katte paigaldustemperatuuride mõõtmised vaid TGS süsteemiga, mistõttu puudub võimalus erinevate seadmete omavaheliseks võrdluseks. Ühtlase paigaldustemperatuuri saavutamisel mängis suurt rolli asjaolu, et paigaldustööd toimusid asulasisesel teelõigul. Antud lõigul ei kasutatud söötjat ega termokaste.

Ühtlase paigaldustemperatuuri saavutamiseks tuleb asfalteerimistöid teostada võimalikult ühtlase paigalduskiirusega. Antud objektidel segasid ühtlase tempoga paigaldustöid järgmised faktorid (vt. joonis allpool):

- tihe liiklus;
- kitsad tingimused (ohutussaared, äärekivid, kaevukaaned);
- kitsas põhipaan ning laiad ristmikualad (ristmikualad tuli paigaldada kahe laoturiga).



Joonis 30. Asfalteerimistööd kitsastes tingimustes



Joonis 31. Asfalteerimistööd kahe laoturiga 1



Joonis 32. Asfalteerimistööd kahe laoturiga 2

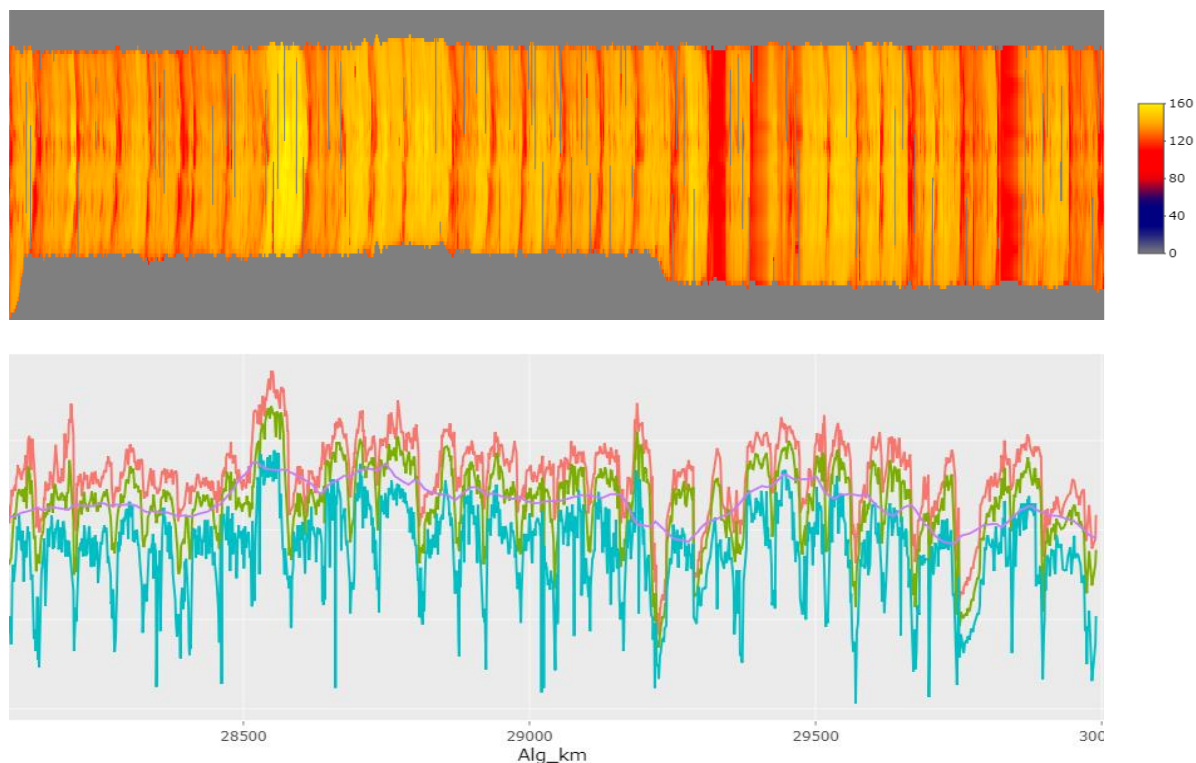
Nimetatud faktorid tekitasid asfalteerimistöodes palju paigalolekuid (peatumised alla 2 minuti) ja seisakuid (peatused üle 2 minuti), mis avaldasid otsest mõju tööde kvaliteedile. Antud objekti igal arvestuslõigul tekkis suures mahus riskialasid, mis olid otseselt tingitud koormavahetuspiirkondadest (vt. tabel allpool).

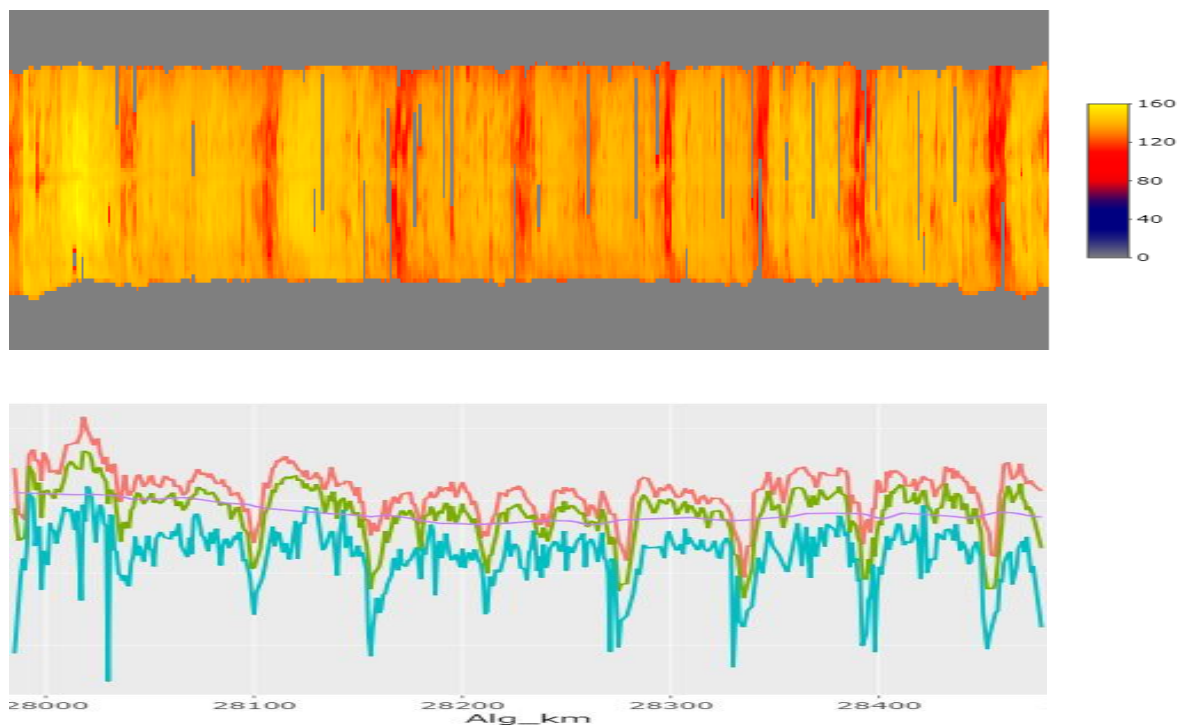
Tabel 9. Katte paigaldustemperatuuride mõõtmine maanteel nr 22 Rakvere – Väike-Maarja – Vägeva. (teelõik 22_1_6_8267-22_1_7_3796)

Teenr	Rada	Teeosa	A_kaugus, m	Alg_km, km	Lõpp_km, km	Pikkus, m	Kuupäev	S ^{*1} , tk	S ^{*2} , min	RA ^{*3} , %
22	1	7	3796	30,019	29,019	1000	12.09.2018	6	00:36:40	10,06%
22	1	7	2796	29,019	28,030	989	12.09.2018	0	00:00:00	6,52%
22	2	7	1780	28,003	28,495	492	13.09.2018	1	00:04:43	8,15%
22	2	7	2272	28,495	29,495	1000	13.09.2018	1	00:04:03	8,31%
22	2	7	3272	29,495	30,019	524	13.09.2018	0	00:00:00	6,57%
22	2	6	8267	25,894	26,594	700	27.09.2018	0	00:00:00	5,38%
22	2	6	8967	26,594	27,594	1000	27.09.2018	4	00:31:15	11,54%
22	2	7	1371	27,594	27,966	372	27.09.2018	0	00:00:00	6,89%
22	2	7	1743	27,966	28,003	37	28.09.2018	0	00:00:00	6,81%
22	1	6	8267	25,894	26,221	327	28.09.2018	0	00:00:00	7,40%
22	1	6	8694	26,221	27,221	1000	04.10.2018	17	01:44:45	12,73%
22	1	7	998	27,221	28,030	809	04.10.2018	2	00:05:40	4,93%

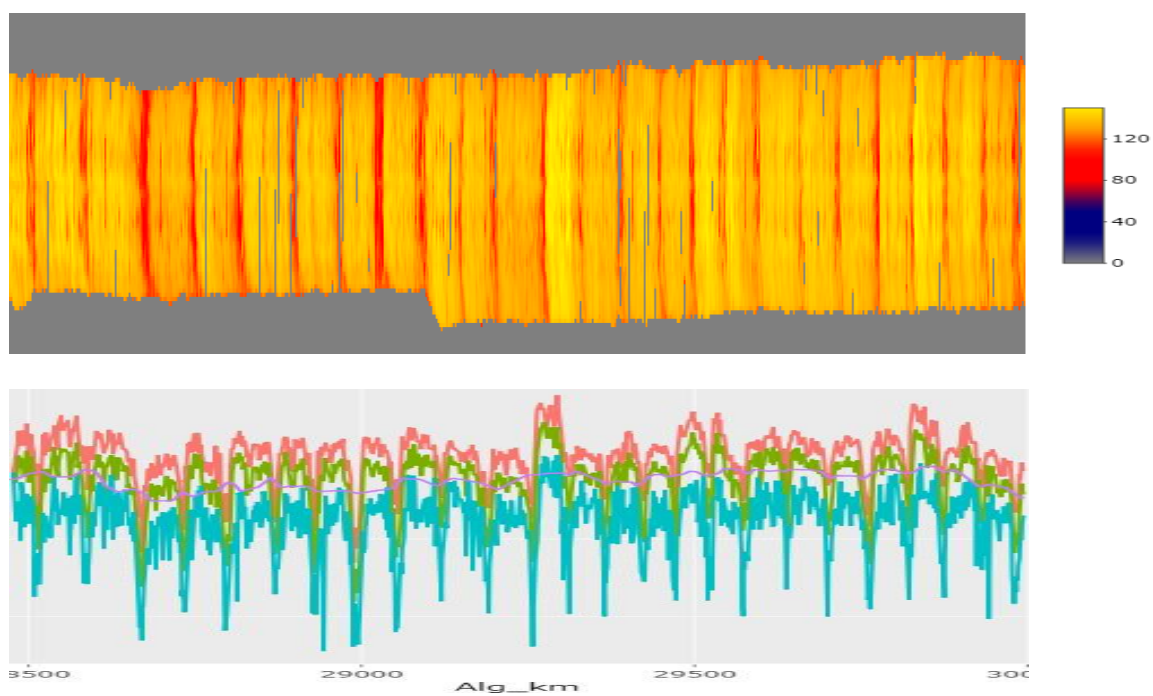
Riskialade vähesuse eest teenis töövõtja boonust ühe arvestuslõigu pealt. Boonusarvutuse tulemused iseloomustavad ilmekalt, kuidas paigaldustingimused ja kasutatavad meetmed mõjutavad lõpptulemust.

Termovaibad

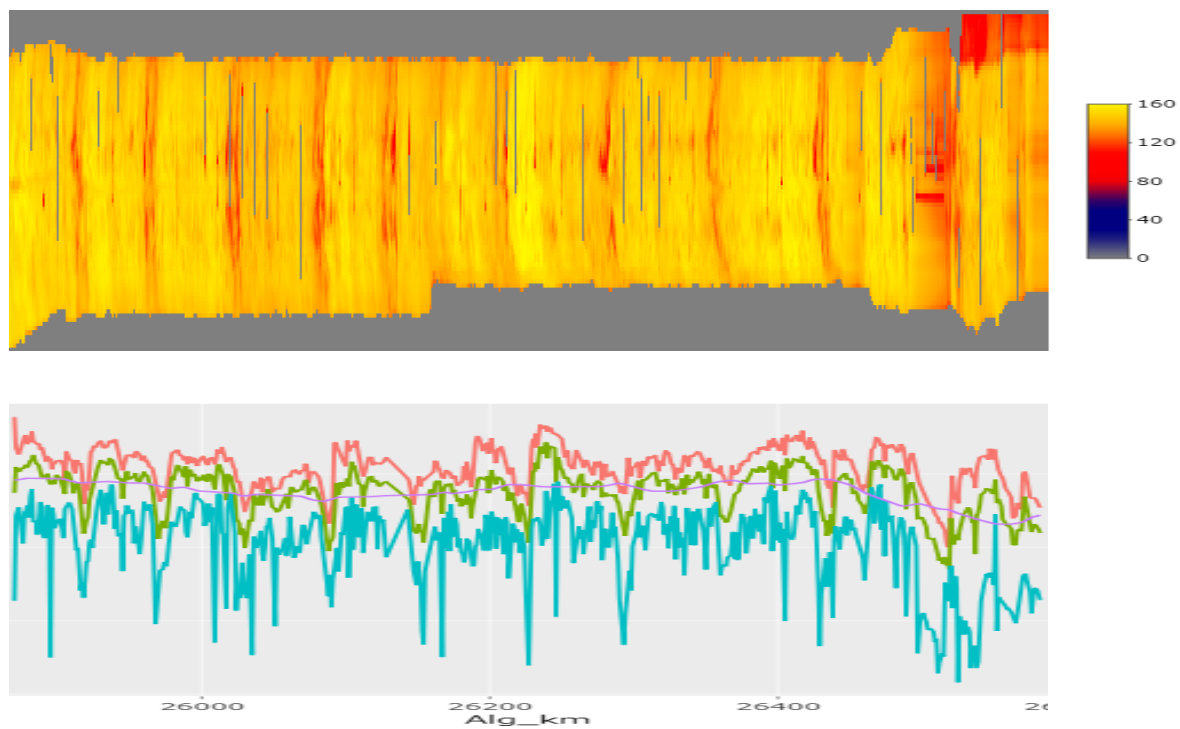

Joonis 33. Katte paigaldustemperatuurid 12.09.2018 (suund 1)



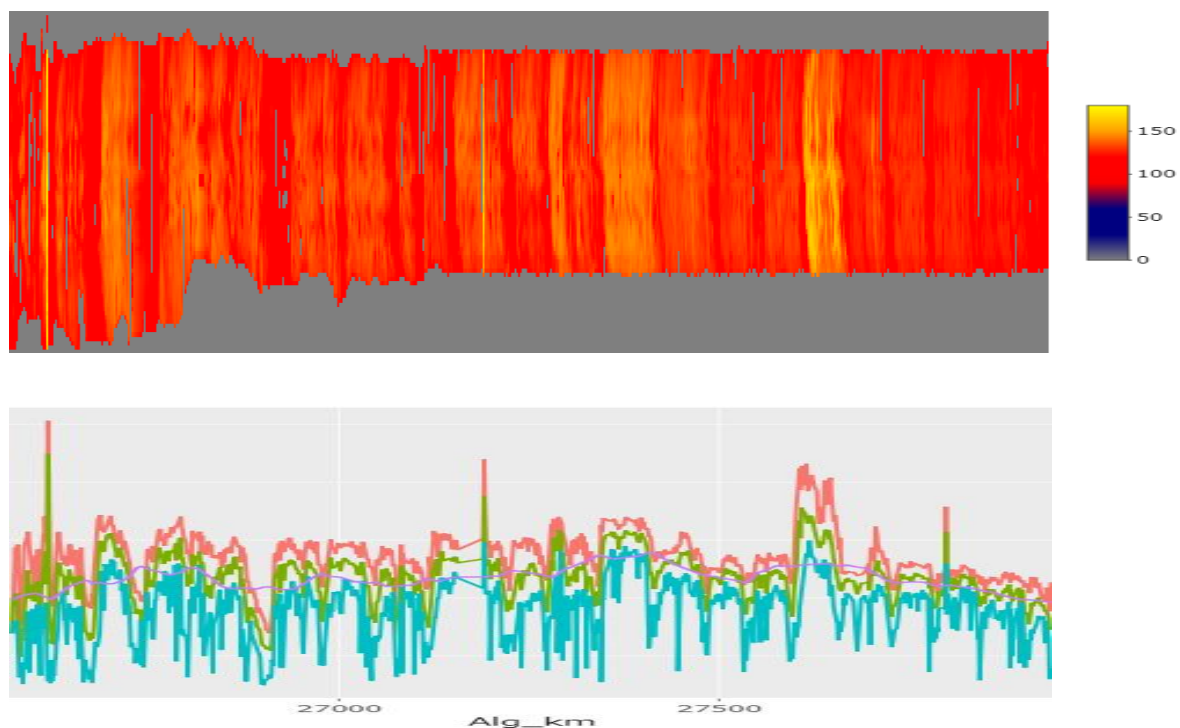
Joonis 34. Katte paigaldustemperatuurid 13.09.2018 (lõik 1, suund 2)



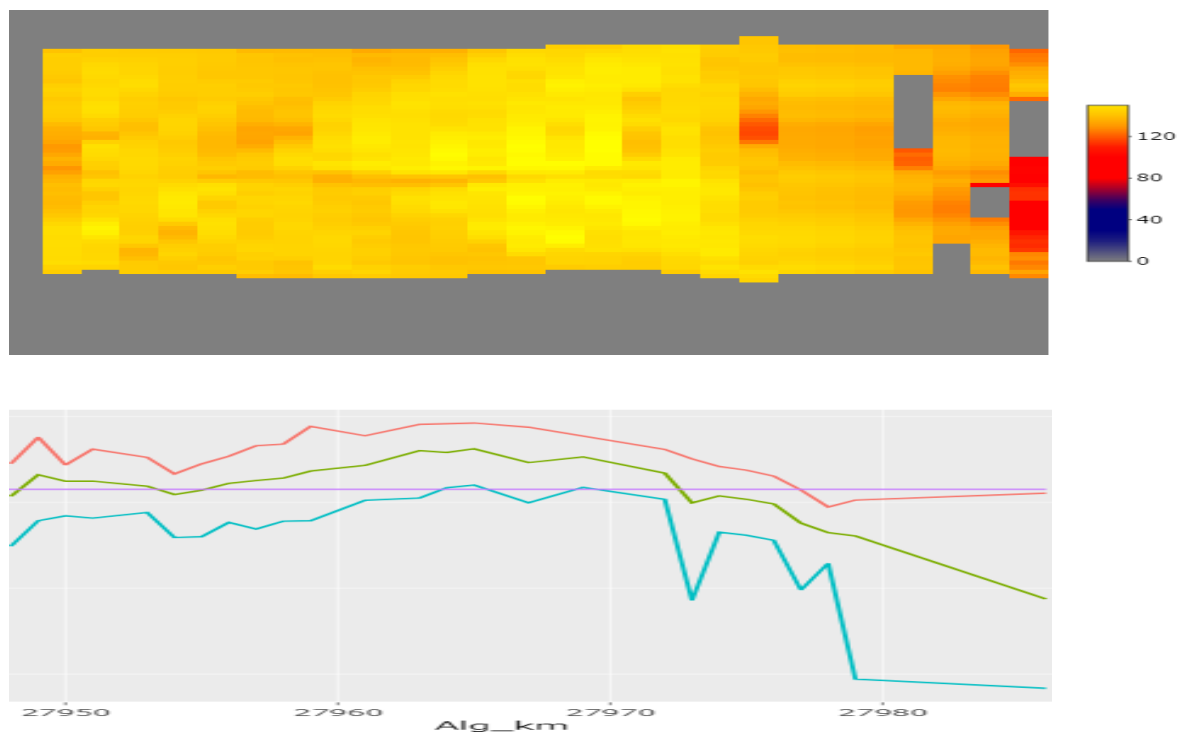
Joonis 35. Katte paigaldustemperatuurid 13.09.2018 (lõik 2, suund 2)



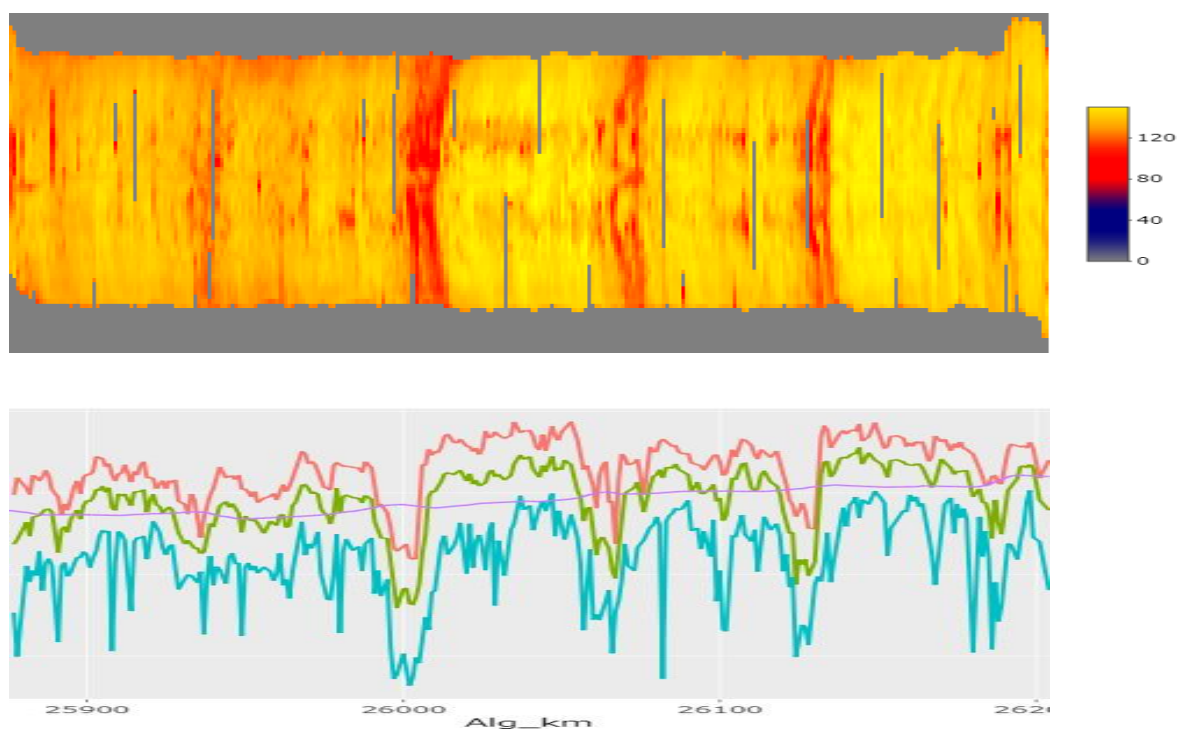
Joonis 36. Katte paigaldustemperatuurid 27.09.2018 (lõik 1, suund 2)



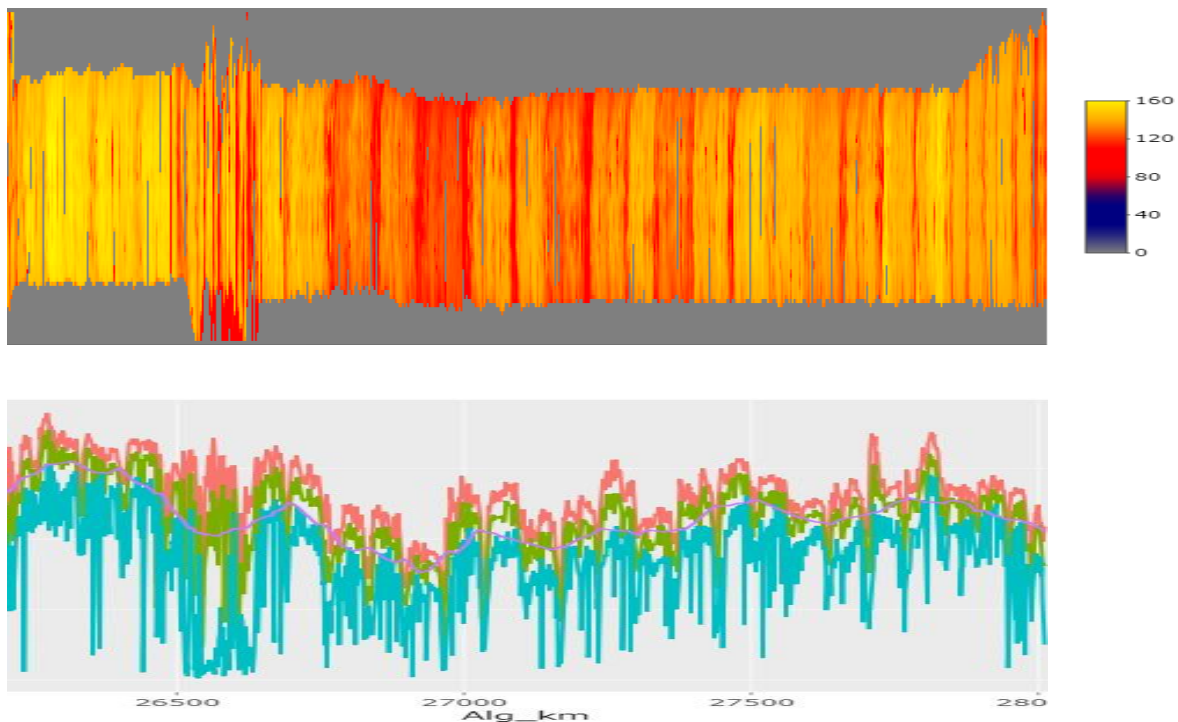
Joonis 37. Katte paigaldustemperatuurid 27.09.2018 (lõik 2, suund 2)



Joonis 38. Katte paigaldustemperatuurid 28.09.2018 (lõik 1, suund 2)



Joonis 39. Katte paigaldustemperatuurid 28.09.2018 (lõik 2, suund 1)



Joonis 40. Katte paigaldustemperatuurid 04.10.2018 (suund 1)

Termovaipadest on näha, et eri päevadel on saavutatud erineva ühtlusega katte paigaldustemperatuurid, mis viitab ebaühtlasele kvaliteedile ning paigaldatud katte mittehomoogeensetele omadustele. Erinevatel alustel hinnatavaid teelõike tuli objekti peale kokku kaheksa, kuigi paigaldus toimus viiel päeval.

13.09.2018 oli töövõtja sunnitud asfalteerimistöodes teostama tehnoloogilise pausi, et võimaldada liikluskorralduse muutmist. Seisak kestis 49 minutit, mille vältel oodati katte jahtumist sellel liiklemist võimaldava temperatuurini (TGS logi andmetel 55-60°C). Seisaku tulemusena tekkis objektile lisanduv põikvuuk.

27.09.2018 oli töövõtja sunnitud asfalteerimistöodes tegema analoogsetel põhjustel tehnoloogilise pausi. Seisaku pikkuseks kujunes 3h28min, mille tulemusena tekkis objektile lisanduv põikvuuk. Lisaks liikluskorralduslikele põhjustele mõjutas seisaku pikkust asjaolu asfalteerimismeeskonna vajadus teostada parandustöid aluskihile. Pika tehnoloogilise pausi tulemusena jahtus objektile paigaldamist ootava asfaltsegu temperatuur olulisel määral (vt. joonis ülalpool). Peale seisakut asfalteerimistööd jätkates oli katte paigaldustemperatuur ca 110°C.

28.09.2018 hommikul paigaldati esmalt 37 meetrit katet suunale 2 (TGS logile tuginedes), kuna eelneval päeval ei tellitud objektile piisavalt segu, et paigaldatav

kattepaan lõpetada ning see tuli paigaldada uuel päeval. Selle tulemusena tekkis kulumiskihile kaks lähestikku asuvat põikvuuki. Pärastlõunal alustati uue arvestuslõigu asfalteerimist, kuid kehvade ilmaolude tõttu paigaldati suunal 1 katet vaid 327 meetrit (TGS logi).

Objekti riskialade osakaal arvestuslõikude kaupa jäi vahemikku **4,43-11,38%** ning objekti kaalutud keskmiseks väärtuseks kujunes **7,87%**. Pilootobjektide seas on tegemist halvimate näitajatega.

Kokku tekkis asfalteerimistöode käigus 10 põikvuuki, mis antud tingimustes iseloomustab otseselt paigaldusprotsessi keerukust.

Maaradari andmete võrdlus katte paigaldustemperatuuridega

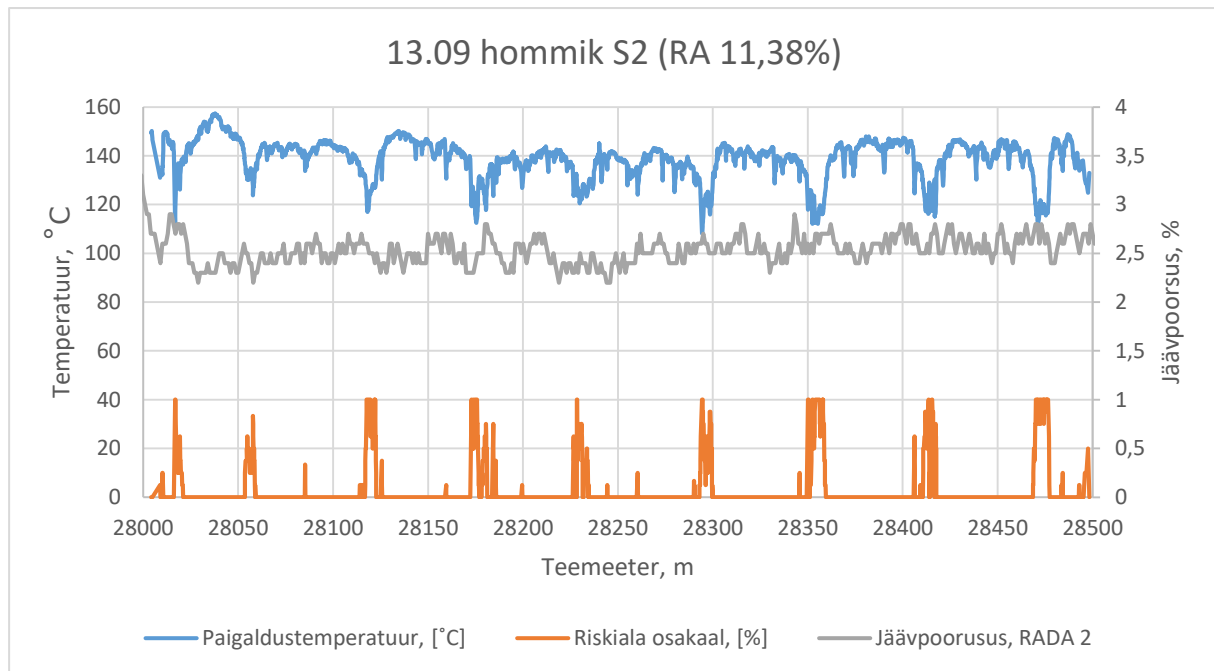
Mõõtmised teostati maaradariga (GSSI 1 GHz antenniga) 17.10.2018 AS Teede Tehnokeskus poolt. Mõõdeti üks profiil mõlemal põhisõidurajal rattajälgede vahelt ning põhisõiduradade vahelised vuugid. Kuna objektile paigaldatud segu pärines kahest erinevast tehasest, tuli kalibreerimine teha kummalgi lõigul eraldi. Lõikute kalibreerimiseks puuriti 8 puurkeha 18.10.2018 (lõik 2, vt. Lisa 5) ning 8 puurkeha 22.11.2018 (lõik 1, vt. Lisa 4), mille katsetamisel saadud tulemusi kasutati lähteandena jäävpoorsuse arvutamiseks iga meetri kohta. Objekti koondtulemused lõikude kaupa on kujutatud alljärgnevas tabelis.

Tabel 10. Riigimaantee nr 22 Rakvere - Väike-Maarja - Vägeva km 25.93-30.00 radarmõõtmiste koondtulemused

		Lõik 1		Lõik 2		Nõue
		RADA 1	RADA 2	RADA 1	RADA 2	
Jäävpoorsus, %	min	2,00	1,00	2,00	1,20	≥ 1,5
	keskmine	2,69	2,87	2,55	2,64	-
	max	3,60	4,00	3,40	3,80	≤ 5,0
Tihendustegur	min	0,989	0,985	0,985	0,981	≥ 0,98
	keskmine	0,998	0,996	0,993	1,007	-
	max	1,005	1,005	0,999	0,999	-

Antud objekti katte paigaldustemperatuurid olid ebaühtlased ning arvestuslõikudele määratud riskiala osakaalud suured. Asulatingimused, seisakud

(k.a. tehnoloogilised), paigaldustemperatuur ja ilma söötjate asfaltteerimine löid eeldused paigaldustemperatuuri ja jäävpoorsuse korrelatsiooni tuvastamiseks.



Joonis 41. Katte paigaldustemperatuuri ja jäävpoorsuse seos kõrge riskiala osakaaluga arvestuslõigu korral

Vaatamata laotamisprotsessis esinenud probleemidele ning paigaldustemperatuuride ebaühtlusele on katte lõpptulemusi iseloomustava jäävpoorsuse väärtused küllaltki stabiilsed. Ülal oleval joonisel on kujutatud antud pilootobjekti kõige kõrgema riskiala osakaaluga (11,38%) arvestuslõiku. Jooniselt on näha, et jäävpoorsuse ulatuslikud muutused toimuvad koormavahetus piirkondades. Joonis kinnitab fakti, et paigaldustemperatuuri ja jäävpoorsuse vahel on otsene seos.

Pilootobjekt 3: Rakvere – Väike-Maarja – Vägeva km 3.50-10.00

Kolmas pilootobjekt asus riigimaanteel nr 22 Rakvere – Väike-Maarja – Vägeva km 3.50-10.00. Asfalteerimistööd teostati ajavahemikus 22.10-25.10.2018 ning kõikidel päevadel kasutati ühtlase paigaldustemperatuuri saavutamiseks termokaste ja söötjat Vögele MT 3000-2i Offset (vt. joonis allpool). Asfalteerimiseks kasutati laoturit Volvo P7820C. Paigaldustemperatuuride salvestamiseks kasutati objektil TGS termokaamerasüsteemi. Katte jäävpoorsuse määramine teostati traditsioonilisel viisil, kasutades kogu objekti ulatuses objektil tavapärast, suurkehadel põhinevat meetodit.



Joonis 42. Ühtlase paigaldustemperatuuri tagamine läbi termokastide ja söötja kasutamise, tulemuste operatiivseks jälgimiseks TGS

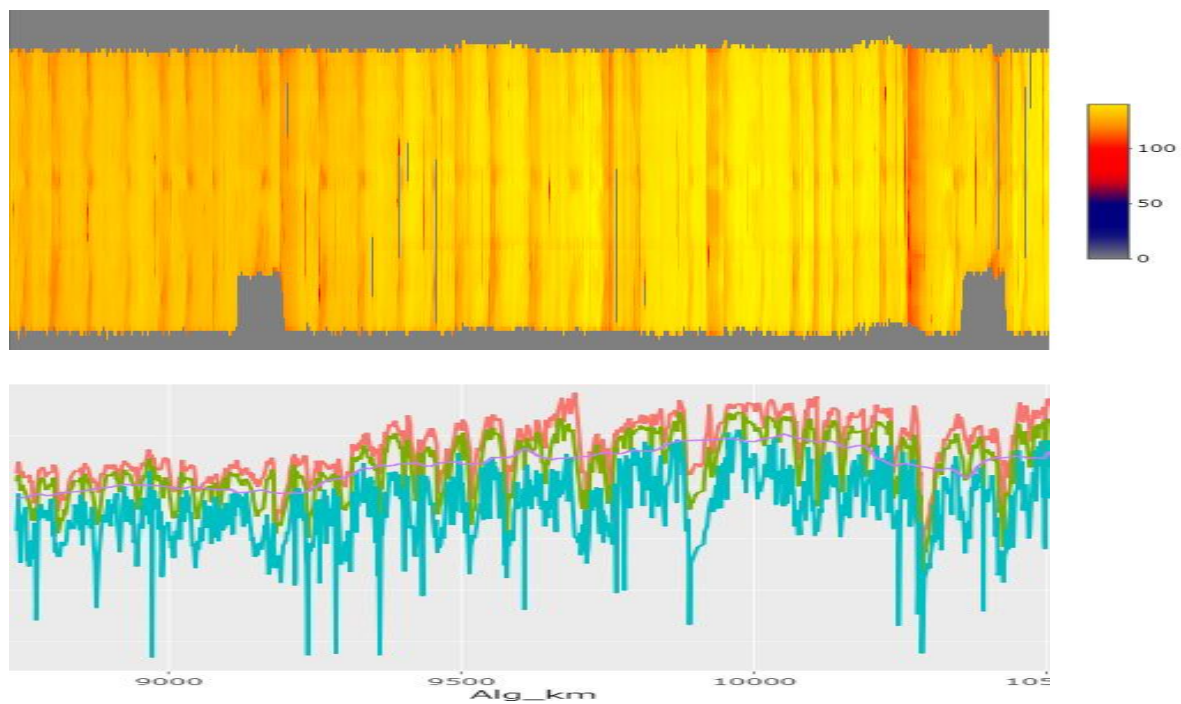
Pilootobjekti näol oli tegemist taastusremondi objektiga, kus paigaldatavaks asfaltseguks oli AC 16 surf. Asfalteerimistööd teostas ettevõtte AS TREV-2 Grupp. Ilmastikutingimused olid asfalteerimistööde sooritamiseks keerukad, õhutemperatuur oli vahemikus 6-8°C ning remonditav teelõik asus suuremas osas lagendikul (tuulte mõjualas). Ilmastiku mõju minimeerimiseks otsustas töövõtja rakendada mitmeid abimeetmeid, mille abil tõsta katte paigaldustemperatuuride ühtlust. Paigaldamist iseloomustavad üldnäitajad on toodud alljärgnevas tabelis.

Tabel 11. Pilootobjekti nr. 3 üldnäitajad

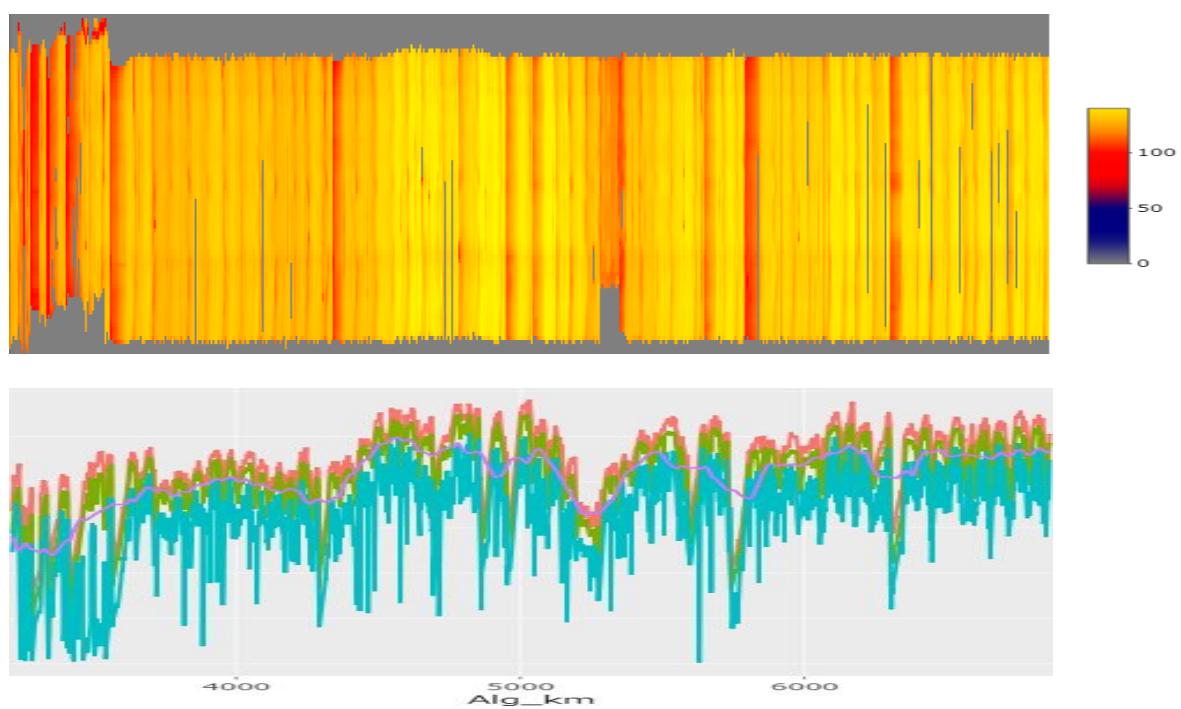
Parameeter	22.10.18	23.10.18	24.10.18	25.10.18
Sõidurada	1	1	2	2
Paigaldamise suund	Vägeva → Rakvere	Vägeva → Rakvere	Rakvere→ Vägeva	Rakvere→ Vägeva
Paigaldamise algus (TGS logi)	PK 105+23	PK 68+77	PK 30+97	PK 68+93
Paigaldamise lõpp (TGS logi)	PK 68+77	PK 30+97	PK 68+93	PK 105+23
Paigaldamise pikkus (TGS logist)	3646 m	3780 m	3796 m	3630 m
Veomaa	25 km	25 km	25 km	25 km
Õhutemperatuur	7°C	6°C	7°C	7°C
Ilmastik	kuiv	hoovihm	hoovihm	kuiv
Asfaltsegu mark	AC 16 surf	AC 16 surf	AC 16 surf	AC 16 surf
Eelsöötja	+	+	+	+
Veokastid (termokastid/ kokku)	8/8	8/8	8/8	8/8

Termograafiliste mõõtmiste tulemused

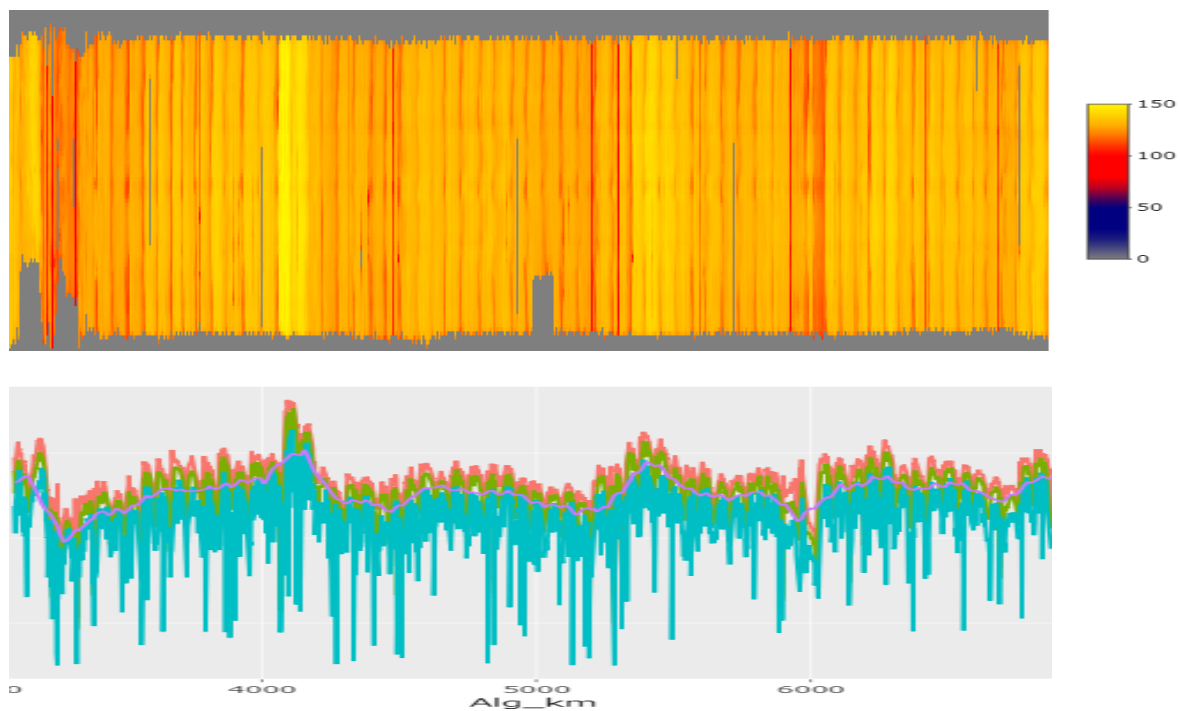
Asfaltkatte paigaldustemperatuuride mõõtmised teostati TGS seadmega ning analüüsi viis läbi AS Teede Tehnokeskus. Alljärgnevalt on lisatud mõõtetulemusi illustreerivad visuaalsed kujutised päevade lõikes (termovaibad).



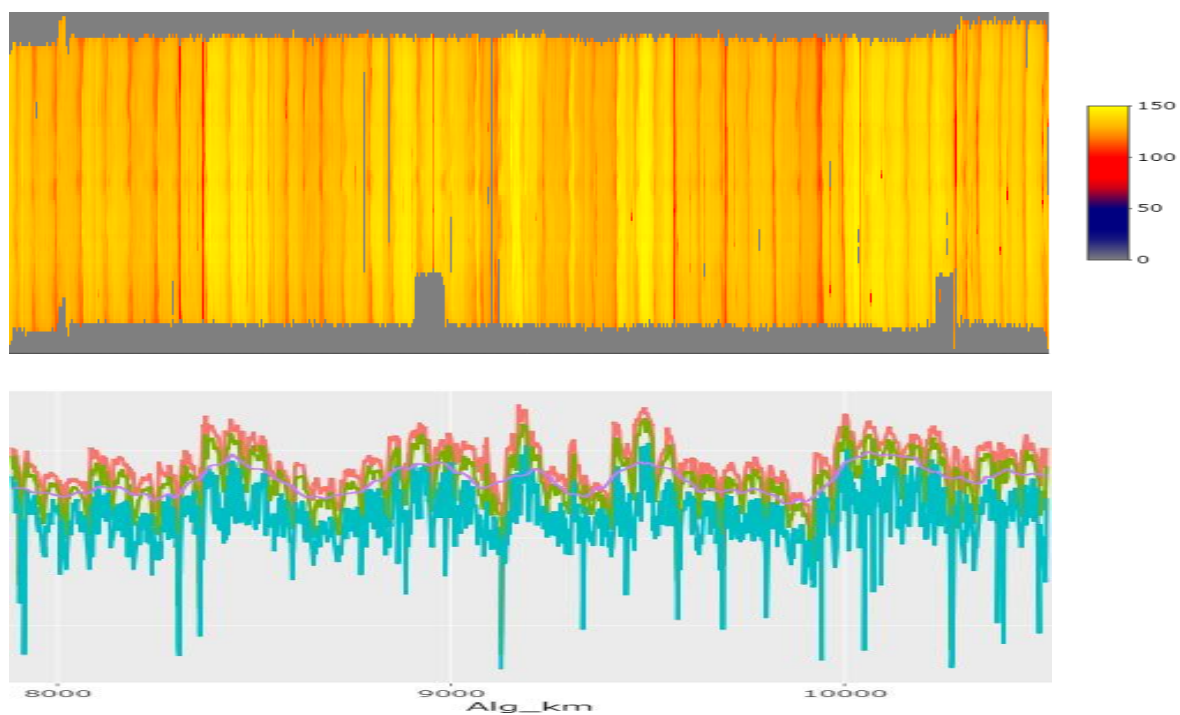
Joonis 43. Katte paigaldustemperatuurid 22.10.2018 (lõik 1, suund 1)



Joonis 44. Katte paigaldustemperatuurid 23.10.2018 (suund 1)



Joonis 45. Katte paigaldustemperatuurid 24.10.2018 (suund 2)



Joonis 46. Katte paigaldustemperatuurid 25.10.2018 (suund 2)

22.10.2018 esinesid toiteprobleemid katte paigaldustemperatuure mõõtvad seadmel, mistõttu puudub paigaldustemperatuuride info järgmistel lõikudel:

- suund 1 km 7,638-7,804;
- suund 1 km 8,186-8,609.

25.10.2018 paigaldati mõõtesead laoturile päeva pealt jooksvalt, mistõttu puudub info paigaldustemperatuuride kohta vahemikus km 6,893-7,883 (suund 2).

Vaatamata ebasoosivatele töötingimustele (madal õhutemperatuur) saavutati ühtlane paigaldustemperatuur, mis kajastub boonuservutuste tulemustes. Riskiala osakaalud jäid arvestuslõikudel vahemikku **0,67-3,02%**, mis tähendab et töövõtjal tekkis õigus boonusele kõikidel arvestuslõikudel. Objekti riskiala osakaalu kaalutud keskmiseks väärtuseks kujunes **1,36%**, mis on pilootobjektidest parim. Antud objekti näitel võib väita, et kombineerides erinevaid abimeetmeid on võimalik saavutada väga hea lõpptulemus ka rasketes ilmastikuoludes. Metoodika kohased boonuservutused on toodud digitaalses lisas 1.

Maaradari andmete võrdlus katte paigaldustemperatuuridega

Antud pilootobjektidel ei olnud ilmastikust tingitud põhjustel võimalik määrata katte jäävpoorsust maaradariga. Vahetult peale katte paigaldamist (25.10.2018) kasutati nimetatud teelõigul libedusetõrjeks kloriide, mistõttu ei oleks maaradariga mõõdetud tulemused enam usaldusväärsed. Seetõttu teostati katte jäävpoorsuse määramine traditsioonilisel viisil, kasutades kogu objekti ulatuses tavapärast, puurkehadel põhinevat meetodit.

Ettepanekud kontrollpuurimiseks

Kolmest objektist kahel määrati jäävpoorsus ja tihendustegur maaradariga, viimasel pilootobjektil kasutati traditsioonilist puurkehadel põhinevat meetodit. Kontrollpuurimise soovituslikud asukohad on esitatud vaid teisel pilootobjektil (riigitee nr 22 km 25.93-30.00). Esimesel objektil (riigitee nr 92) saavutati väga ühtlane paigaldustemperatuur, mis võis olla ka ühtlase jäävpoorsuse ja ühtlasi temperatuuri ja jäävpoorsuse vahelise madala seose põhjuseks.

Asukohad objektil 2 on valitud termomõõtmiste käigus moodustatud temperatuurigraafikute ja maaradariga mõõdetud jäävpoorsuse andmeid võrreldes. Nii termokaamerasüsteemi kui ka maaradari andmete samm on sedavõrd tihe, et korrelatsiooni olemasolul on see visuaalselt nähtav (graafikutelt).

Nii käesolevast uurimistööst kui ka varasematest uuringutest on selgunud, et katte temperatuur võib ulatuslikult muutuda, mistõttu võib puuraukude täpne mähmähkimine probleeme tekitada. Selle faktori mõju vähendamiseks on TGS-seadmel kasutusel kõrgtäpne GNSS+RTK, mis võimaldab temperatuuriandmete täpset lokaliseerimist.

Uurimistöö käigus on välja pakutud 20 koha asukohad – kummaltki sõidusuunalalt 10 külmadest ja 10 kuumadest kohtadest (vt. tabel allpool). Igast valitud kohast on soovitatav võtta 2 paralleelproovi, kokku seega 40 proovi.

Tabel 12. Pilootobjekti nr.2 puurkehade ettepanekud

	Suund 1		Suund 2	
Punkti nr.	Külm	Kuum	Külm	Kuum
1	26017,28	25960,69	25944,30	26030,02
2	26627,37	26169,20	26928,45	28039,77
3	26848,77	27947,65	27066,21	28459,33
4	27656,56	28486,90	28608,65	29374,49
5	29304,31	29020,75	28891,54	29908,20

Analüüsi käigus selgus, et objektil asunud piketaaž ning termograafiliste mõõtmiste GNSS tulemuste põhjal määratud teemeeter on omavahel nihkes. Andmete võrdlemiseks kõrvaldati nihe ning tabelis on kajastatud GPS koordinaatidel põhinevad asukohad.

Tegemist on soovituslike asukohtadega, mis põhinevad esialgsel analüüsil. Enne puurkehade võtmist on soovitatav valitud kohad objektil visuaalselt üle vaadata ja teha fotod – võimalusel kasutada teeaadressiga seotud videopilti, mis aitab tuvastada kõige kriitilisemad piirkonnad.

Termograafilise info teaduslik analüüs

Käesolevas peatükis analüüsitakse põhjalikult pilootobjektidel kasutatud mõõtmiste ja boonussüsteemi metoodikaid pilootobjektide andmete analüüsi valguses.

Mõõtmistega kaetus (eraldi termopildid ja termograafiline informatsioon)

Vastavalt Eesti Asfaldiliidu poolt välja pakutud metoodikale peab katte paigaldustemperatuuride mõõtmine toimuma pidevalt ja katkestusteta. Teisisõnu tekib töövõtjal õigus boonusele vaid nendel arvestuslõikudel, millede mõõtmistega kaetuse osakaal on 100%, mis peab olema kajastatud ka mõõtmistulemuste aruandes. Täieliku mõõtmistega kaetuse saavutamiseks peavad olema täidetud järgmised tingimused:

- samaaegselt laoturi liikumisega ei tohi mõõteseadme töös toimuda seisakuid (mõõtmine peab toimuma pidevalt ja katkestusteta);
- mõõteseadme peab jälgima temperatuuri vastavust kuni 5 m laiuse kattepaani korral kogu paigalduse laiuses.

Olenemata asjaolust, et mõõtmistega kaetuse osakaal peab boonuse saamiseks olema 100%, ei saa siiski hinnangut anda kogu paigaldatud katte kvaliteedile. Mõõtmistööde käigus tekib alati teatud määral mõõtemüra, mis ei iseloomusta paigaldatud katte temperatuuri, mistõttu see analüüsi käigus eemaldatakse. Mõõtemüra käsitletakse termograafiliste mõõdistustööde projektis häiringutena. Lisaks häiringutele eemaldatakse tulemusi analüüsides ka paigaldatud kattepaani servaalad. Nimetatud kriteeriumeid rakendades väheneb hinnatava kattepinna maht, kuid suureneb lõpptulemuse objektiivsus.

Nii TGS Pavement kui ka RoadScan võimaldavad saavutada täieliku mõõtmistega kaetuse kogu vaadeldava objekti ulatuses. Pilootobjektidel toimunud mõõtmistööde käigus ilmnasid siiski mõningad asjaolud, millega tuleb kummagi seadme puhul arvestada, et tagada probleemideta töökorraldus.

Mõõtmine peab toimuma pidevalt ja katkestusteta

Mõõtmiste pidev ja katkestusteta toimumine tähendab, et juhul kui mõõteseadme töö on mingil paigalduse hetkel väljalülitatud, siis arvestatakse vastav arvestuslõik

boonusarvutusest välja. Siiski juhul, kui selline olukord on tekkinud tahtmatult, nt. seadme tehniliste probleemide tõttu, oleks selline „karistus“ töövõtja suhtes ebaproportsionaalselt suur. **Ettepanekuna** tuleb metoodikat täiustada selliselt, et mõõtja poolt väljastatavas aruandes oleksid kajastatud kõik katmata lõigud ja nende põhjused. Ettepanek on aktsepteerida kvaliteeti tõendada probleemi lahendamiseni käsitermokaameraga ca 10-20 m vahedega (iga 2-3 minuti tagant), et tagada mõõtmistega katmata ala kaetus asendusandmetega. Mõõtja peab sellist lõiku analüüsima ning juhul kui selles puuduvad viited katte temperatuuriühtluse probleemidele, võib analüüsis piirduda ainult asendusandmetega kaetud teelõigu väljajätmisega boonuse arvestusest. Esitatud põhjendusi hindab ehitustöö tellija. Põhjendatud katkestuse tekkel lõppeb eelnev ning mõõteseadme taaskäivitamisel algab uus arvestuslõik.

Piloteeritud seadmete üheks erinevuseks on seadme töö alustamine ja lõpetamine. TGS süsteem lülitatakse sisse kohe peale selle paigaldamist laoturile ning seade läheb ooterežiimi. Temperatuuride salvestamine toimub vaid hetkedel mil termokaamera vaateväljas on kuuma temperatuuriga ala. RoadScan seadme töö alustatakse manuaalselt laotusprotsessi alguses ning seade lõpetab töötamise automaatselt hetkel, mil laoturi juht tõstab plaadi üles (viimased ca 2 m paani jääb mõõtmistega katmata). Antud eripärasid silmas pidades oli seadmete tööaeg päevade lõikes mõneti erinev, kuid selle mõju lõpptulemusele oli pigem marginaalne. Täieliku mõõtmistega kaetuse kriteeriumit silmas pidades peab kasutaja siiski veenduma, et seade teostaks mõõdistusprotsessi kogu katte paigalduse ulatuses.

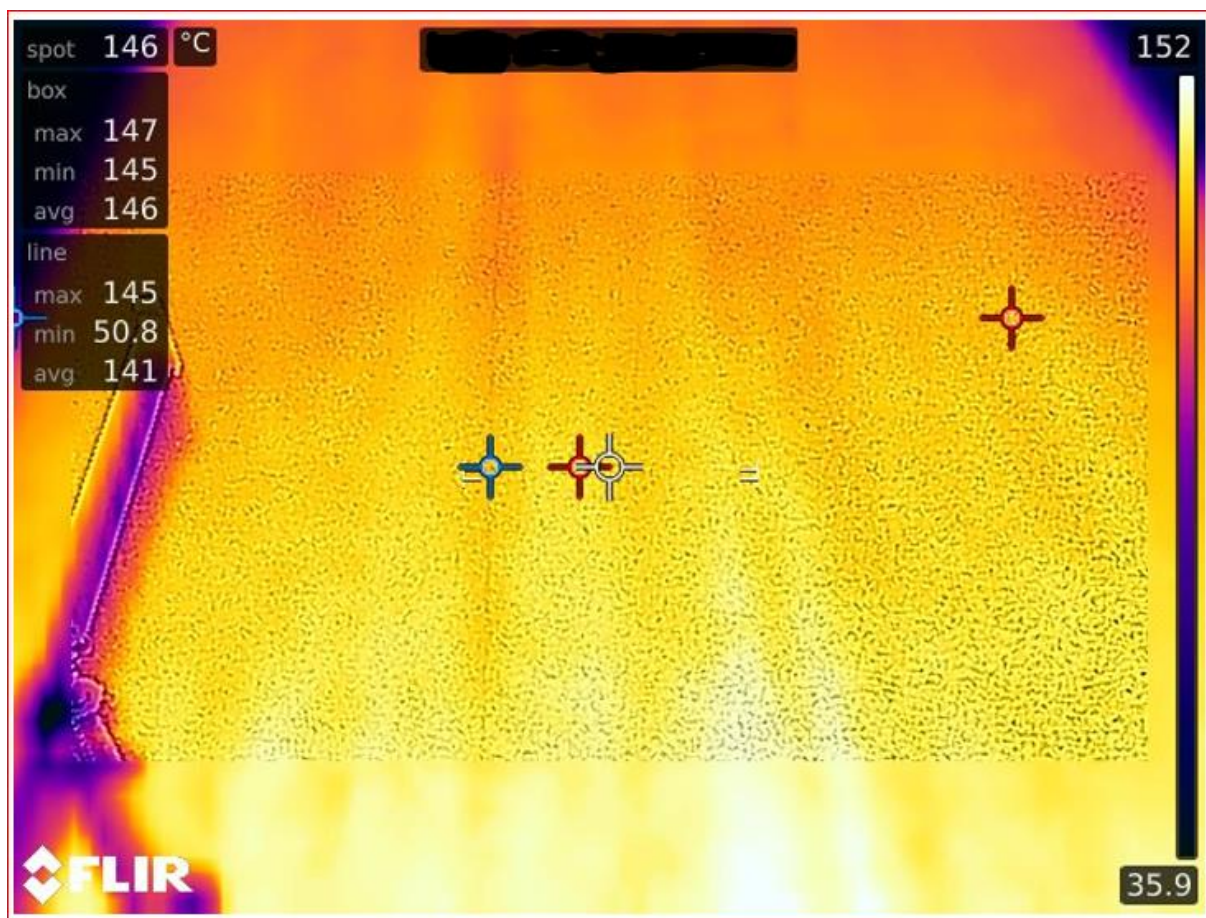
Riigimaanteeel nr 22 Rakvere – Väike-Maarja – Vägeva jäi TGS seadmel osaliselt mõõtmistega katmata kolm lõiku (vt. tabel allpool). Tegemist oli seadme tehnilistest probleemidest tingitud mõõteseadme tööseisakuga ning vastavate lõikude eest puudub boonuse teenimise võimalus.

Tabel 13. Mõõtmistega katmata lõikude kajastumine aruandes (TGS, pilootobjekt nr. 3)

Sõidutee 1								Mõõtmiste aadress on seotud teeregistriga				
Teenr	Rada	Teeosa	A_kaugus, m	Alg_km, km	Löpp_km, km	Pikkus, m	Kuupäev	Mõõtmistega kaetuse %	Hairinguteta mõõtmise %	S ¹ , tk	S ² , min	RA ³ , %
22	1	5	137	10,523	9,523	1000	22.10.2018	100%	98,53%	2	00:07:22	1,91%
22	1	4	6545	9,523	8,609	914	22.10.2018	100%	98,90%	2	00:07:13	1,14%
22	1	4	5631	8,609	8,186	423	22.10.2018	0%	-	-	-	-
22	1	4	5208	8,186	7,804	382	22.10.2018	100%	97,16%	2	00:16:28	0,26%
22	1	4	4826	7,804	7,638	166	22.10.2018	0%	-	-	-	-
22	1	4	4660	7,638	6,877	761	22.10.2018	100%	98,89%	5	00:23:54	0,98%
22	1	4	3899	6,877	5,877	1000	23.10.2018	100%	98,07%	2	00:07:11	1,15%
22	1	4	2899	5,877	4,877	1000	23.10.2018	100%	97,28%	5	00:19:30	1,18%
22	1	4	1899	4,877	3,877	1000	23.10.2018	100%	97,38%	4	00:16:13	1,28%
22	1	4	899	3,877	3,097	780	23.10.2018	100%	95,24%	8	01:04:30	2,19%
22	2	4	119	3,097	4,097	1000	24.10.2018	100%	96,48%	7	00:45:17	3,02%
22	2	4	1119	4,097	5,097	1000	24.10.2018	100%	98,24%	3	00:13:20	0,95%
22	2	4	2119	5,097	6,097	1000	24.10.2018	100%	97,83%	4	00:17:09	1,18%
22	2	4	3119	6,097	6,893	796	24.10.2018	100%	97,96%	3	00:11:17	1,12%
22	2	4	3915	6,893	7,883	990	25.10.2018	0%	-	-	-	-
22	2	4	4905	7,883	8,883	1000	25.10.2018	100%	98,19%	3	00:20:04	0,67%
22	2	4	5905	8,883	9,883	1000	25.10.2018	100%	98,01%	4	00:34:22	1,03%
22	2	4	6905	9,883	10,523	640	25.10.2018	100%	98,51%	2	00:14:35	1,91%

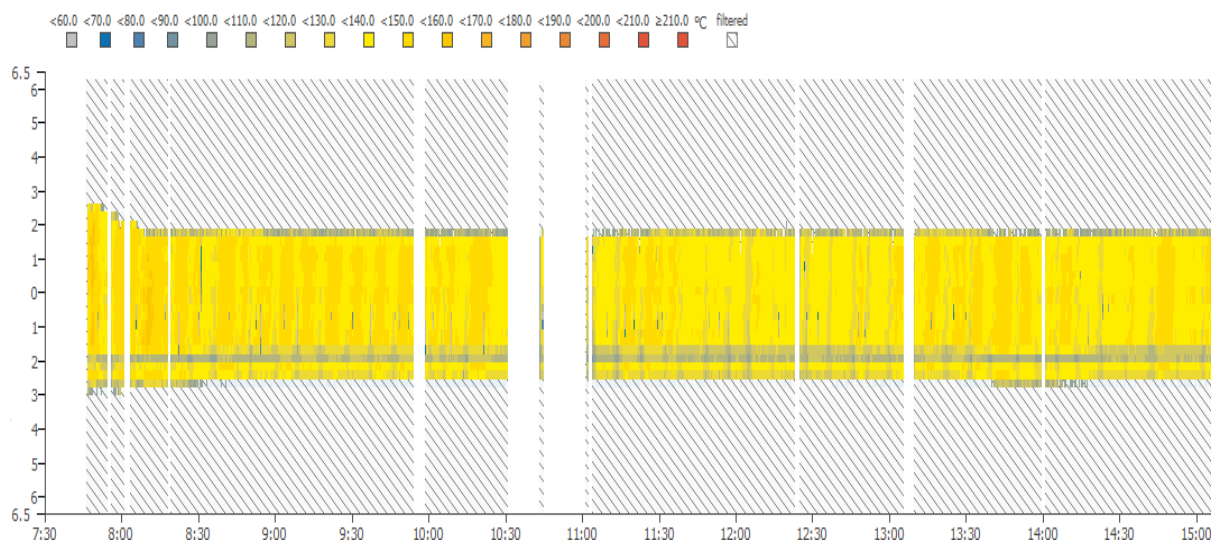
Temperatuuride jälgimine kogu paigaldatava paani laiuses

Teekatte paigaldustemperatuuride mõõtmiseks kasutatav termograafiline seade peab olema suuteline salvestama temperatuure kuni 5 m laiusel kattepaanil. Turul olevad tippseadmed (k.a. piloteeritud mõõteseadmed) suudavad kõik selle nõude täita. Praktikas tuleb ette olukordi, kus paigaldatava katte laius ületab 5 meetrit (vt. joonis allpool). Sellises olukorras tuleb analüüsis hinnata vaid 5 m laiust ristlõiget.



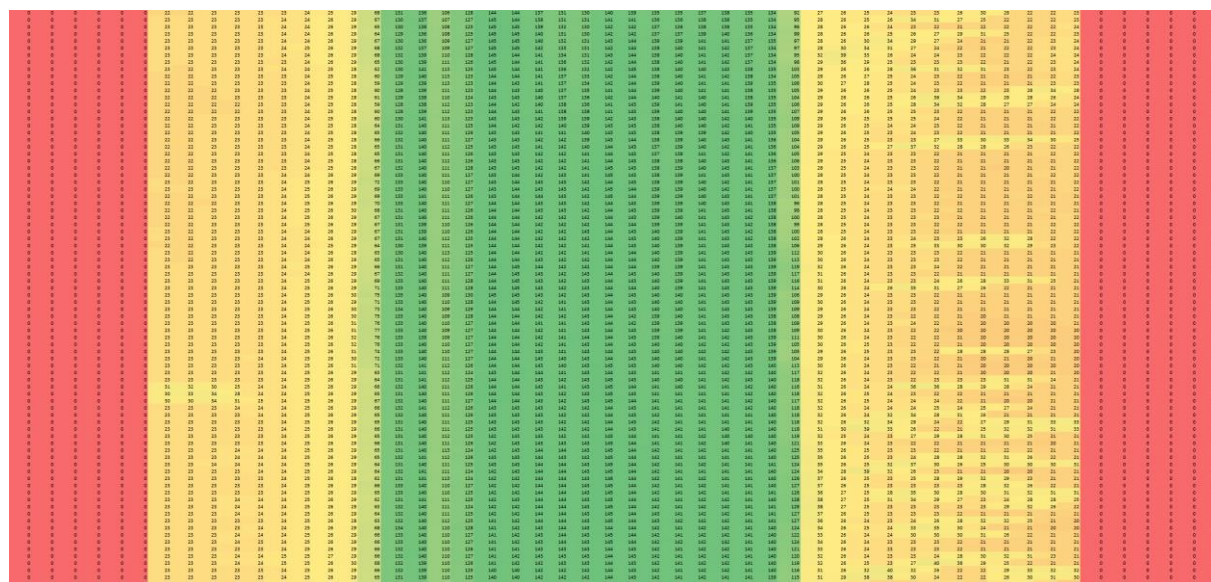
Joonis 47. Termopilt laia kattepaani puhul

Uurimistöö käigus selgus, et sõltuvalt objekti iseloomust ja laoturi parameetritest võib tekkida probleeme täieliku mõõtmistega kaetuse saavutamisel. Nimelt toimusid kahe seadme vahelised paralleelsed mõõtmised viiel päeval, millest kahel esimesel (24.08.2018 ja 27.08.2018) asetses laoturi külge kinnitatud suusk selliselt, et see ei lasknud RoadScan seadmel kogu katte pinda mõõtmistega katta (vt. joonis allpool). 03.09.2018 asetses suusk kaamera vaateväljas päeva esimeses pooles.



Joonis 48. Mõõtmistega katmata katte pind (27.08.2018, #92)

Ülal olevalt jooniselt on näha, et suusk asetses terve päeva ulatuses mõõteseadme vaateväljas, kattes 2 mõõtetulemuse laiuselt (2 x 25 cm) ära paigaldatud katte pinna. Termovaibal on häiring tuvastatav pideva tumeda triibuna paani alumises servas (vt. joonis ülalpool). Tulemuste väljavõttes esinevad temperatuurid on kujutatud alloleval joonisel.



Joonis 49. Suusa kajastumine (2 x 25 cm) RoadScan mõõtetulemustes (27.08.2018, #92)

Ülal olevalt jooniselt on näha laoturi suusa kajastumine RoadScan seadme poolt salvestatud paigaldustemperatuurides. Temperatuuride väljavõttest selgub, et

teekatet iseloomustavaid mõõtetulemusi on ühes ristlõikes 16. Seetõttu on antud juhul mõõtmistega katmata **12,5%** vaadeldavast ristlõikest.

Selliste situatsioonide vältimiseks on vajalik kogu laotamisprotsessi reaajas jälgimise võimalus. Mõõtetulemusi mõjutavate probleemide tekkimisel tuleb koheselt reageerida, mistõttu on hea kui vahetut informatsiooni on võimalik järgida erinevate isikute poolt erinevates asukohtades. RoadScan seadme puhul kuvatakse informatsiooni vaid laoturi konsoolil, millest tingituna jäi probleem tähelepanuta.

Mõõtmiste asukoha täpsus

Katte paigaldustemperatuuride mõõtmiseks kasutatav termograafiline seade peab lisaks temperatuuridele salvestama ka iga mõõtetulemuse asukoha. Salvestada tuleb nii mõõtmiste koordinaat kui ka sellele vastav teeaadress. Piloteeritav metoodika ei sisalda kriteeriumeid asukoha määramiseks kasutatava seadme täpsusklassi ega ka kalibreerimise kohta.

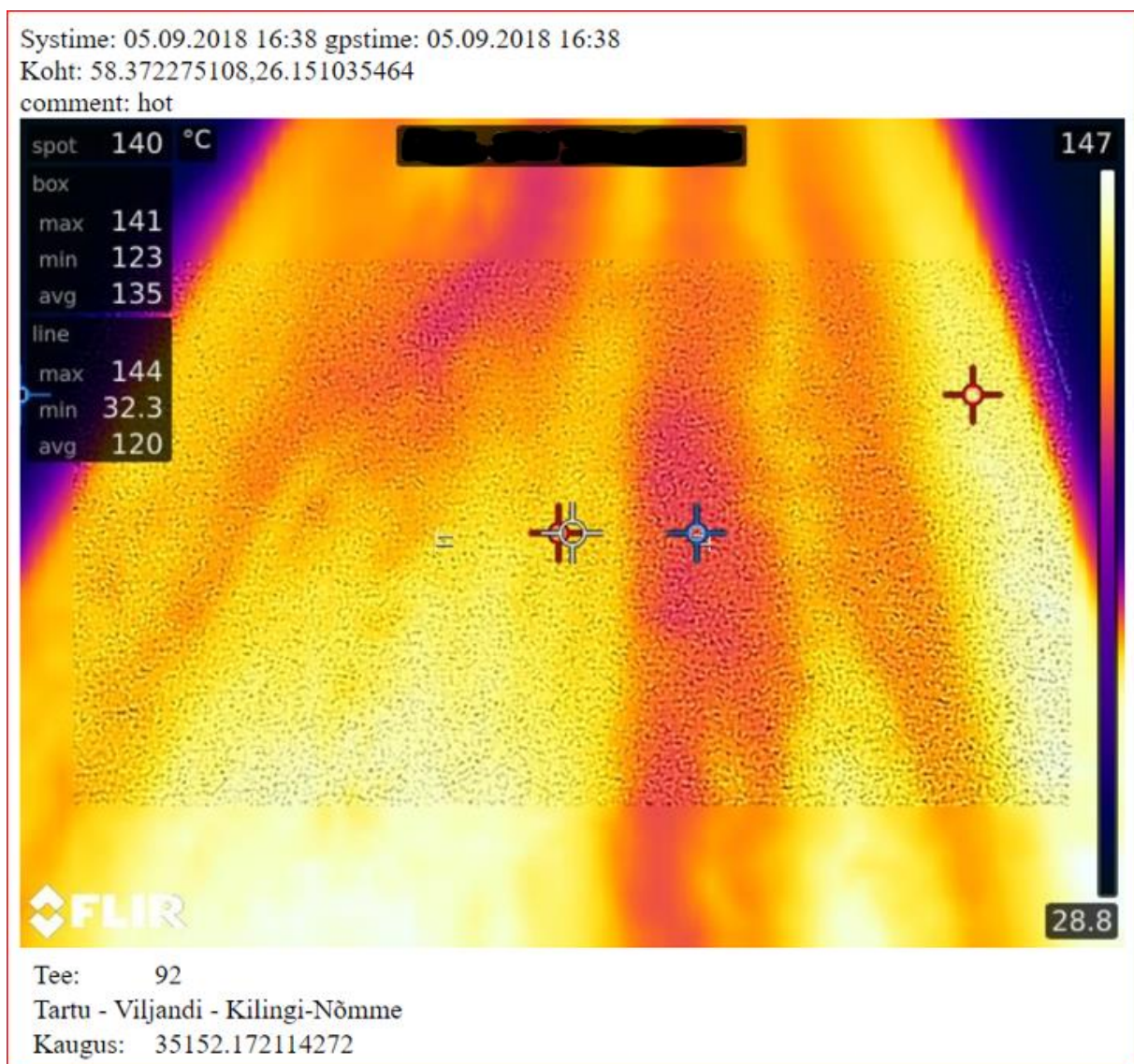
Uurimistöö käigus selgus, et paigaldatud kattepaani pikkuse ja üksikute mõõtetulemuste asukoha täpsus on termograafiliste andmete analüüsi seisukohalt kriitilise tähtsusega. Konkreetse koha kohta info omamine võimaldab seda siduda muude andmetega (nt. jäävpoorsus, tihendustegur, põikvuugid, katte defektid vms.). Lisaks sõltuvad lõigu pikkusest ja mõõtetulemuste asukohast järgmised aruandes kuvatavad ja vahearvutustena tehtavad väärtused (nõuded pärinevad kehtivast piloteeritud metoodikast):

- arvestuslõigu pikkus 1000 m
- häiringuteta mõõtmise osakaal (pindalaline väärtus)
- riskiala osakaal (pindalaline väärtus)
- eelneva 100 m keskmine paigaldustemperatuur
- laoturi liikumiskiirus

Asukoha ebatäpsel määramisel avaldab see otsest mõju arvutuslikule riskiala osakaalule.

Andmete analüüsi tulemusena ilmnes, et erinevad seadmed kasutavad asukoha määramiseks erinevaid lahendusi, mis omavad otsest mõju ka boonusarvutusele. TGS süsteem kasutab asukoha ja kiiruse määramiseks RTK (Real Time Kinematic) võimekusega GNSS seadet. See tähendab, et mõõtmistulemuste asukohad

salvestatakse mõne sentimeetri täpsusega. Temperatuuri salvestamisel teeb süsteem asukoha päringu GNSS-ilt ja seob selle mõõdetud katte ristlõikest kuvatavate temperatuuridega. Süsteemi töötsükli pikkust on võimalik muuta, kuid käesoleva pilootprojekti raames kasutati 1 sekundilist intervalli. Teisisõnu salvestati iga sekund vaadeldava teepinna ristlõike temperatuurid ja selle asukoht (vt. joonis allpool). Laoturi liikumisel kiirusega 6 m/min kujuneb mõõtmiste pikisuunaliseks intervalliks 0,1 m. Protsessi tulemusena tekib tihe mõõtmistulemustest koosnev punktipilv, mis kajastab paigaldusprotsessi kulgu üksikasjalikult.



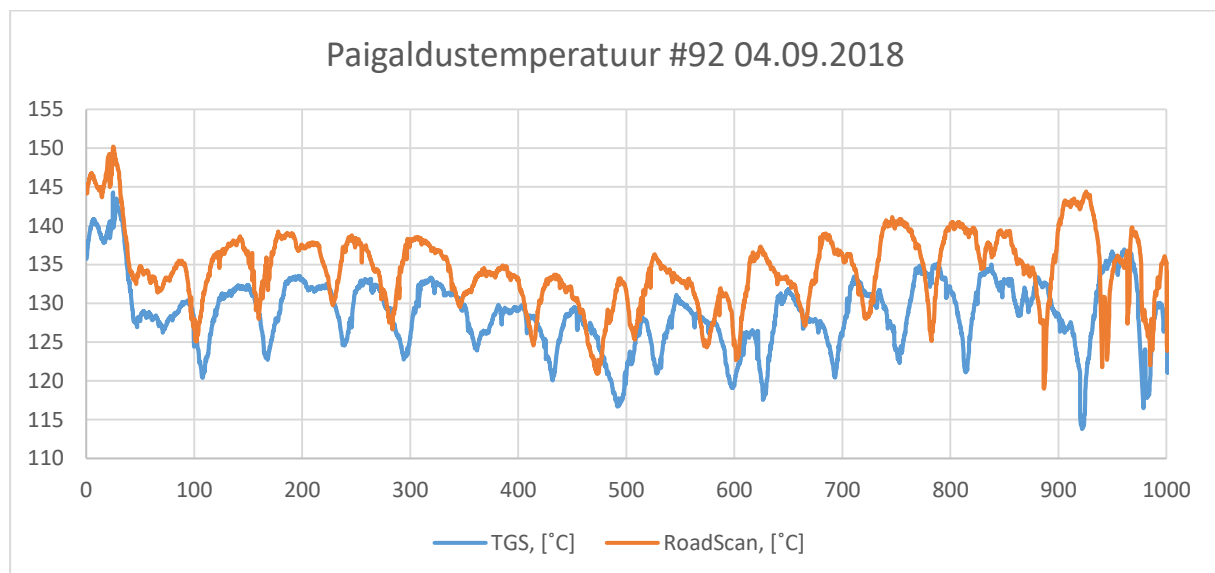
Joonis 50. Reaalajas veebirakenduses kuvatav informatsioon (TGS)

Kõrge täpsusega asukoha fikseerimine omab kriitilist tähtsust ka paigalolekute ja seisakute määramisel. Kasutades madalama täpsusklassiga GPS-i on hilisemas

analüüsis äärmiselt keeruline määrata seisaku (sh. paigaloleku) täpne pikkus ja asukoht. Andmetöötluse käigus tuleb arvestada asjaoluga, et GPS seadme poolt määratud koordinaadid on konstantses nihkes reaalse mõõdetud ristlõike asukohaga. Selle tekitab asjaolu, et GPS antenn ei paikne mõõdetavas kohas - temperatuuri mõõtmine toimub mõned meetrid laoturi servast tagapool. Nihe tuleb analüüsi käigus täpselt fikseerida ning arvesse võtta.

Sarnaselt TGS süsteemile kuulub ka RoadScan seadme koosseisu GPS, mille abil fikseeritakse koordinaat. Informatsioon tee aadressi kohta metes puudub. Laotamise pikkus määratakse läbi hodomeetri ehk kilomeetriloenduri, millest omakorda on võimalik tuletada teemeeter. Temperatuuride mõõtmine ja salvestamine toimub laoturi edasi liikumisest, tootja sõnul on mõõtmiste pikisuunaline intervall 0,25 m.

Analüüsi tulemusena selgus, et RoadScan seadmel kasutatav kilomeetriloendur oli kalibreerimata või ei näidanud korrektseid tulemusi muul põhjusel. Nimelt on vastava seadme poolt mõõdetav teepikkus väiksem kui tegelik läbitud vahemaa. Vaadeldes kahe seadme poolt registreeritud temperatuuride põhjal koostatud temperatuurigraafikut selgub tulemuste omavaheline ebakõla (vt. joonis allpool).



Joonis 51. TGS ja RoadScan paigaldustemperatuuride võrdlus

Temperatuurigraafikutelt on näha, et seadmete poolt salvestatud temperatuurid erinevad teineteisest ca 5-6°C, mis on tingitud erinevast mõõtmiste kaugusest laoturi tagaservast (vt. ptk „Mõõtmiste kaugus laoturi tagaservast“). Olulisem on asjaolu, et graafikud on omavahel nihkes ning RoadScan seadme temperatuurilogi

on lühem. Joonisel on kujutatud vahetuse esimene 1000 m arvestuslõik, millelt on näha, et RoadScan andmed jäävad jooksvalt maha. Võrreldes seadmete poolt salvestatud mõõtmiste asukohtade andmelogi vahetusaruannetega selgus, et RoadScan termokaamera ei suuda tagada temperatuuride ja mõõtmiste asukoha täpset sidumist (vt. tabel allpool).

Tabel 14. Laotatud teelõigu pikkus maantee nr 92 päevade kaupa

Kuupäev	TGS logi	RoadScan logi	Erinevus
24.08.2018	2896	2808	3,04%
27.08.2018	2626	2525	3,85%
03.09.2018	3011	2906	3,39%
04.09.2018	2902	2782	4,14%
05.09.2018 (lõik 1)	1022	984	3,72%
05.09.2018 (lõik 2)	1411	1365	3,26%

Tabel kajastab Tartu – Viljandi – Kilingi-Nõmme maanteel toimunud katte kulumiskihi paigaldusprotsessi päevade kaupa. Võrreldes TGS süsteemiga kuvab RoadScan keskmiselt ca 3,5% lühemat paigaldatud teelõigu pikkust (tegu ei ole konstantse suurusega). Paigaldatud paani pikkuse ekslik määramine ei ole otseselt probleem, kuna seda saab parandada tuginedes vahetusaruandele, kus pikkus määratakse pikettide põhjal. Probleem tekib temperatuuridest moodustuva ristlõike ja selle täpse asukoha sidumisel.

Metoodika sätestab, et boonuse maksmine riskialade vältimise eest toimub fikseeritud arvestuslõikude kaupa. 2018. aasta pilootobjektidel oli arvestuslõiguks 1000 m. Riskialana käsitletakse vähemalt 0,1 m² suurust ala, mille temperatuur on alla 90% eelneva 100 m katte keskmisest temperatuurist (vt. ptk „Riskialade definitsioon ja kohaldatavus“). Teisisõnu on täpne asukoha määramine riskialade arvutamise aluseks.

RoadScan seadme puhul ei lähe seega tulemustena kuvatav ja reaalne läbitud vahemaa kokku. Võttes erinevuseks 3,5%, on kuvatava 1000 m arvestuslõigu korral tegelik läbitud vahemaa ca 1035 m. Ühes vahetuses paigaldatakse uut kulumiskihti keskmiselt ca 3000 m, mille juures tekib kuvatavates tulemustes nihe ca 100 m. Kuna nihe ei arene lineaarselt, ei ole võimalik ka välja arvutada paranduskoefitsienti.

Objekti töövõtja analüüs on teostatud RoadScan seadme poolt väljastatavate tulemuste põhjal, ilma asukoha parandeid sisse viimata. Kolmandal paigalduspäeval (03.09.2018) tekkivad arvestuslõigud on kajastatud allolevas tabelis (vt. tabel allpool).

Tabel 15. RoadScan asukoha ebatäpsusega kaasnevad arvutusprobleemid

Lõigu vahemik RoadScan logis	Aruandes näidatud vahemik	Lõigu tegelik vahemik
0-1000	0-1000	0-1036,9
1000-2000	1000-2000	1036,9-2074,0
2000-2900	2000-3000	2075,0-3011,2

Tabeli põhjal selgub, et töövõtja poolt teostatud arvutused lähtuvad vigasest hodomeetrinäidust. Kui arvestuslõik on vaikumisi määratud läbi hodomeetri näidu poolt kuvatava väärtuse, siis nimetatud lõigul arvutatud riskiala osakaal on kehtestatud 1000 m arvestuslõigu kaupa. Teisisõnu on arvutatud riskiala osakaal kehtestatud ebakorrektsel teelõigule.

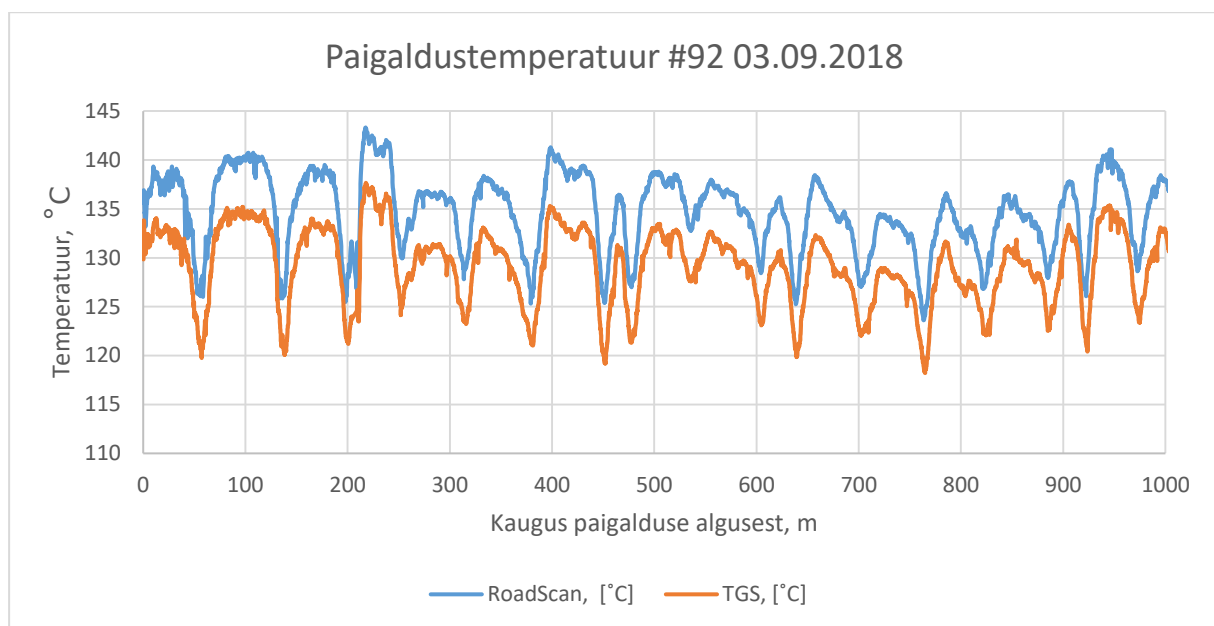
Ettepanekuna tuleb metoodikas sätestada asukoha (teeaadressi ja koordinaadi) määramiseks kasutatava seadme täpsusklassi, mis soovituslikult võiks olla $\pm 0,1$ (sama väärtus kehtestatud ka Soome mõõtmismetoodikas). Nõutava täpsuse korral oleks võimalik siduda temperatuuride asukoha info muude andmetega ning tagada korrektne boonusarvutus. Turu avardamiseks on ettepanek võimaldada teostada mõõtmisi ka madalama täpsusklassiga seadmetega, kuid ka nendele tuleb kehtestada eraldi nõuded ning nendega teenitav maksimaalne boonus ei saa olla võrdeline kõrgema klassiga seadmega.

Mõõtmiste kaugus laoturi tagaservast

Katte paigaldustemperatuuri mõõtmise ja riskialade määramise metoodikas on määratud, et mõõtmised tuleb teostada laoturi tagaservast 2-5 m kaugusel. Kasutatud seadmete vastavad parameetrid pilootobjektidel olid järgmised:

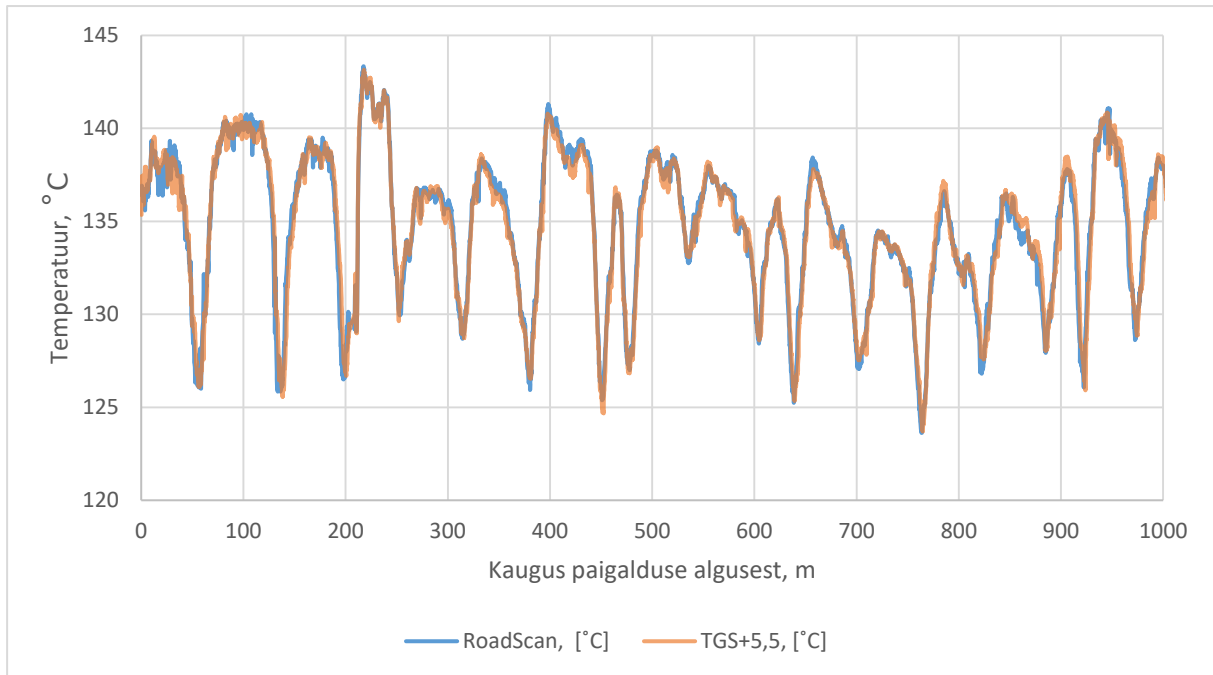
- RoadScan 2,0 m;
- TGS 4,5 m.

Mõlemad kasutatud seadmed kvalifitseeruvad antud normi silmas pidades. Mida lähemal laoturile mõõdistustööd toimuvad, seda enam kujutavad saadud tulemused paigaldustemperatuuri. Kaugemalt mõõtes on paigaldatud katte jahtumine suurem (vt. joonis allpool), kuid kuna riskialad määratakse läbi temperatuuride ühtluse (mitte läbi temperatuuride väärtuse) ei mõjuta see arvutatud riskialade osakaalu.



Joonis 52. Parandatud asukohaga temperatuurigraafikute võrdlus

Joonisel on kujutatud piloteeritud mõõteseadmete temperatuurigraafikud, kusjuures RoadScan seadme poolt väljastatud tulemuste aukohad on parandatud. Jooniselt on näha, et TGS seadme poolt salvestatud paigaldustemperatuurid on madalamad, mis on tingitud erinevast mõõtmiste kaugusest. Arvestades, et seadmete mõõtekauguse erinevus on ca 2,5 m ja laoturi keskmine liikumiskiirus 6 m/min, siis jahtumisaegade erinevus on ca 25 sekundit. Liites TGS seadme poolt salvestatud temperatuuridele konstantse 5,5°C näeme, et seadmete poolt mõõdetud tulemuste ühtlus on omavahel korrelatsioonis (vt. joonis allpool).



Joonis 53. TGS ja RoadScan temperatuurigraafikute korrelatsioon

Piloteeritud seadmetest oli kalibreeritud vaid TGS süsteemi kuuluv IR-sensor (kalibreerimistunnistus toodud lisas 6) kuid ülal oleva graafiku põhjal saab väita, et RoadScan mõõtetulemused on usaldusväärsed.

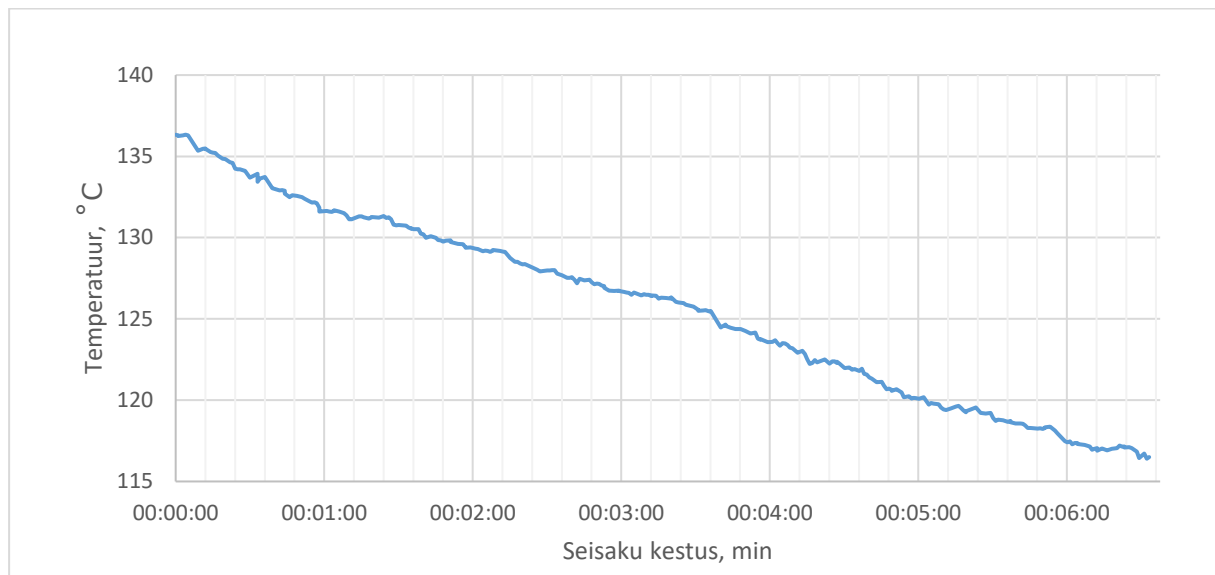
Ettepanekuna tuleb metoodikasse lisada nõue mõõteseadme kalibreerimise intervalli kohta. Hooaja vältel leiab termograafiline seade palju kasutust ning üldlevinud tava on seadme paigaldamine laoturile vaid laotusprotsessi ajaks. Seetõttu transporditakse ja paigaldatakse seadet tihti. Pädeva ja võrreldava mõõteinfo saamiseks tuleks seade iga aasta kalibreerida.

Katte jahtumise kiirus

TGS seadme omadus mõõta temperatuure ka seisakute ja paigalolekute ajal annab võimaluse hinnata katte jahtumise kiirust erinevates tingimustes. Katte jahtumise intensiivsus sõltub ümbritsevast keskkonnast (peamiselt õhutemperatuur, tuul, õhuniiskus) ning temperatuuri langemise ulatus on sõltuv seisaku pikkusest. Käesolevas uurimistöös on käsitletud valik erinevates oludes toimunud seisakutest, mis kajastavad katte jahtumise kiirust.

Katte jahtumine soodsates ilmastikutingimustes

Pilootobjektidest olid soodsaimad ilmastikutingimused riigimaanteel nr 92 toimunud laotusprotsessi vältel. Katte jahtumise intensiivsuse hindamiseks vaadeldi 24.09.18 tööpäeval toimunud ca 6,5 minuti pikkust seisaku (vt. joonis allpool).

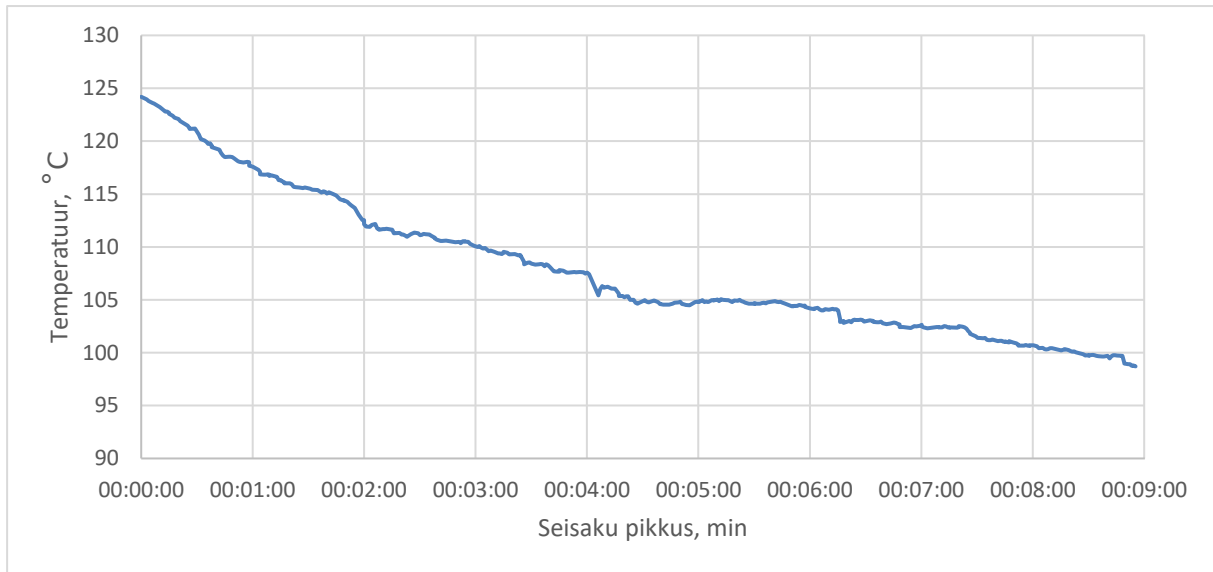


Joonis 54. katte jahtumine seisaku vältel (24.09.2018, #92)

Jooniselt näeme, et soodsates tingimustes on katte jahtumine ajas küllaltki lineaarne. Vaadeldaval lõigul oli välistemperatuur 25°C ning tuul ca 3 m/s. Esimese minuti vältel on katte temperatuur langenud ca 5°C ning peale seda on jahtumise intensiivsus ca 2,5°C/min. Kogu seisaku vältel langes katte temperatuur 18,1°C. Arvestades asjaolu, et laoturi liikumiskiirus enne seisakut oli ca 7,0 m/min ning mõõtmiste kaugus laoturi tagaservast 4,5 m oli mõõdetav kattepind enne mõõtmisi jõudnud jahtuda ca 35-40 sekundit.

Katte jahtumine ebasoodsates ilmastikutingimustes

Pilootobjektidest olid kõige keerukamad ilmastikutingimused riigimaanteel nr 22 km 3.50-10.00 (objekt nr. 3) toimunud laotusprotsessi vältel. Katte jahtumise intensiivsuse hindamiseks vaadeldi 24.10.18 tööpäeval toimunud ca 9 minuti pikkust seisaku (vt. joonis allpool).



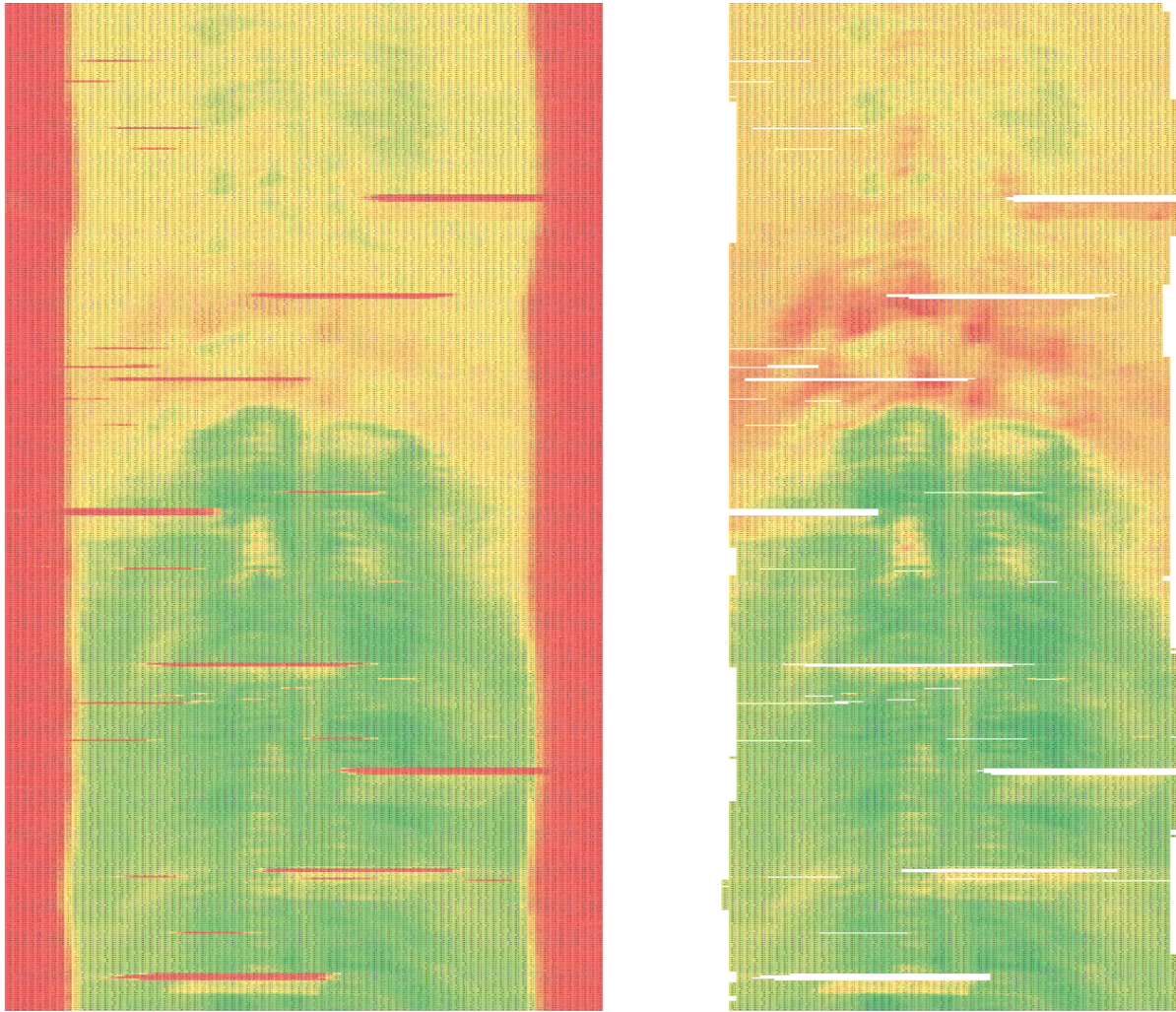
Joonis 55. katte jahtumine seisaku vältel (24.10.2018, #22)

Jooniselt näeme, et ebasoodsates paigaldustingimustes on katte jahtumine ajas pigem eksponentsiaalne. Vaadeldaval lõigul oli välistemperatuur 7°C. Esimese kahe minuti vältel on katte temperatuur langenud ca 6°C/min ning peale seda on jahtumise intensiivsus ca 2...2,5°C/min. Kogu seisaku vältel langes katte temperatuur 25,5°C.

Võrreldes kahte seisakut omavahel on selge, et välistemperatuuri mõju katte jahtumiskiirusele on suur. Kuna riskialade vältimine põhineb ühtlase paigaldustemperatuuri saavutamisel, peab asfalteerija kasutatavate abimeetmete valimisel lähtuma ilmastikust. Viimase pilootobjekti boonuservutustele tuginedes on näha, et innovatiivseid meetmeid kasutades on võimalik saavutada ühtlane paigaldustemperatuur ka väga rasketes tingimustes.

Häiringute definitsioon ja näited häiringutest

Asfalteerimistöode peamiseks eesmärgiks on nõuetekohane laotusprotsess, mistõttu töövõtja ei saa prioriteediks seada täielikult häiringutevaba termomõõdistust. Mõõtmistöode käigus tekib alati teatud määral häiringuid, mis tuleb tulevase analüüsi käigus eemaldada. Käesolevas uurimistöös nimetatakse häiringuteks mõõtmistulemusi, mis ei iseloomusta katte temperatuuri (vt. joonis allpool).



Joonis 56. TGS logi algandmed (vasakul) ja boonusarvutusse kaasatav andmeväli (paremal)

Joonisel on kujutatud häiringute esinemist mõõtetulemustes. Vasakul olev termovaip on koostatud algandmetest, millel on näha ebakorrapäraselt asetsevaid külmi piirkondi, mis tüüpiliselt asetsevad andmestikus horisontaalselt (vt. jooniselt punased jooned). Paremal on kujutatud töödeldus andmeid, kus kõik häiringuid ja servaalad on eemaldatud. Riskiala osakaalu arvutus põhineb parempoolsel nn. termovaibal.

Peamiselt esineb paigaldusprotsessis kahte tüüpi häiringuid:

- inimesed
- tihendusrullid

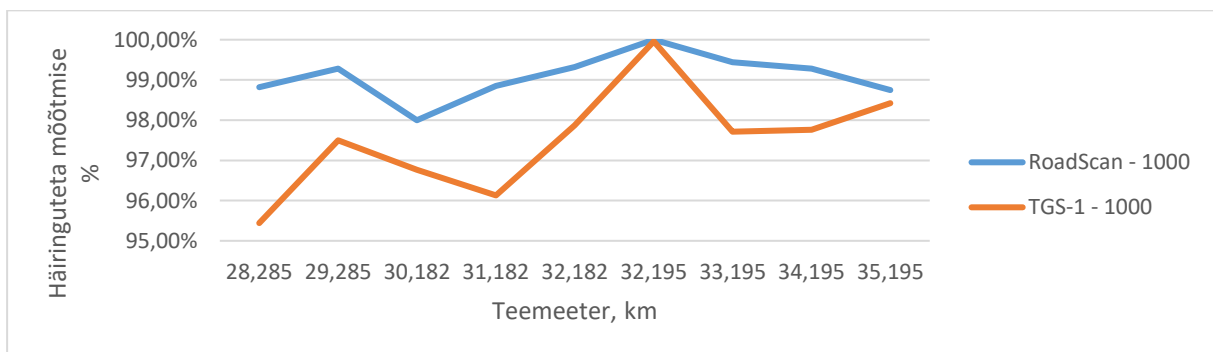
Lisaks peamistele häiringuliikidele on häiringutel veel kaks alaliiki:

- paigaldatava kattepaani servaalad

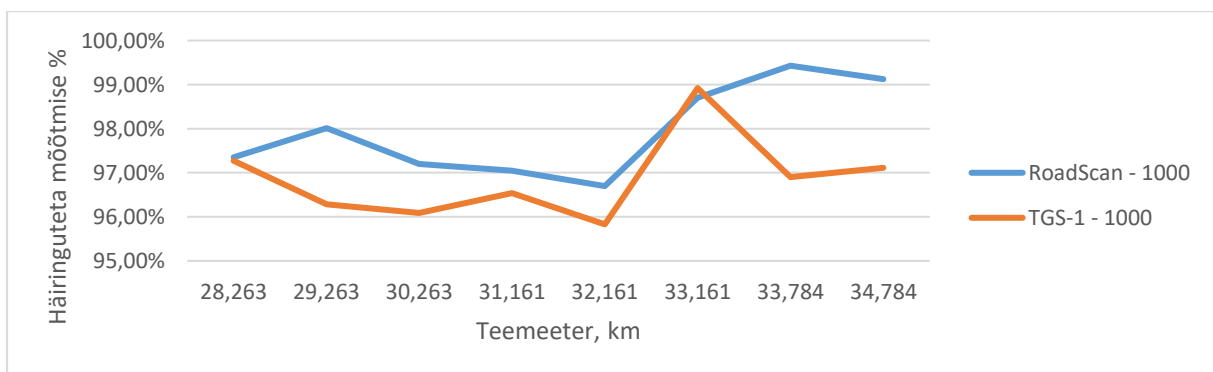
- seisakute järgne mõõtmistega katmata paigaldatud katte pind (lõigu pikkus võrdeline seadme mõõtmiste kaugusega laoturi tagaservast)

Lisaks eelpool nimetatule võib häiringute liigiks pidada ka laoturi suuska, mis konstantselt kogu lõigu ulatuses mõõtmistulemusi mõjutavad (vt. ptk „Mõõtmistega kaetus“).

Uurimistöö tulemusena selgus, et häiringute osakaal on suures sõltuvuses mõõtmiste kaugusega laoturi tagaservast. Mida kaugemalt paigaldustemperatuure mõõta, seda sagedamini jäävad kaamera vaatevälja rullid ja inimesed (vt. allolevad joonised).



Joonis 57. Häiringuteta osakaalu võrdlus riigimaanteel nr 92 (suund 1, arvestuslõigu pikkus 1000 m)

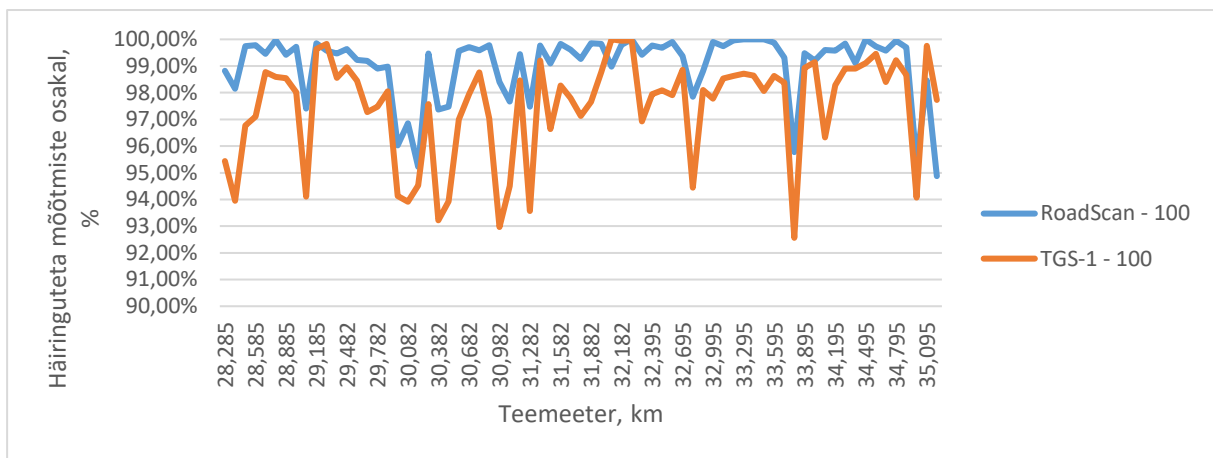


Joonis 58. Häiringuteta osakaalu võrdlus riigimaanteel nr 92 (suund 2, arvestuslõigu pikkus 1000 m)

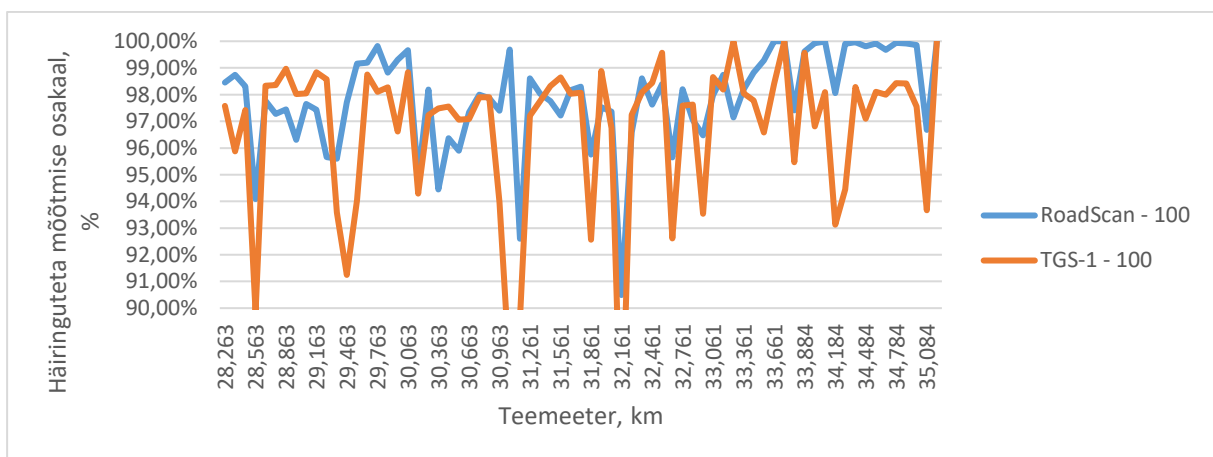
Ülal toodud joonistel on kujutatud paralleelsete katte temperatuuri mõõtmiste käigus saavutatud häiringuteta mõõtmise osakaal. Graafikute põhjal saab kinnitust eeldus, et suurema mõõtmiste kauguse korral (laoturi tagaservast) kasvab mõõtetulemustes kajastuva häiringute maht. Erinevuse üheks teguriks on asjaolu,

et tihendusruolid ei satu enamasti laoturile nii lähedale (2,0 m), et need kajastuks RoadScan seadme tulemustes. Boonuse teenimiseks peab häiringuteta mõõtmise osakaal arvestuslõigul olema vähemalt 95%. Joonistelt on näha, et antud tingimuse täitsid mõlemad piloteeritud seadmed.

Kahe piloteeritud seadme omavaheline erinevus häiringuteta mõõtmise osakaalus 1000 meetrise arvestuslõigu korral jääb enamasti vahemikku 1-2%, kuid esineb ka suurema erinevusega arvestuslõike. Täpsema ülevaate saamiseks on arvutused teostatud ka 100 meetriste arvestuslõikude kaupa (vt. joonised allpool).



Joonis 59. Häiringuteta osakaalu võrdlus riigimaanteel nr 92 (suund 1, arvestuslõigu pikkus 100 m)



Joonis 60. Häiringuteta osakaalu võrdlus riigimaanteel nr 92 (suund 2, arvestuslõigu pikkus 100 m)

Joonistelt on näha, et RoadScan seadme vaatevälja jääb häiringuid pea alati vähem. Põhiliseks mõjuriks on mõõtmiste kaugus laoturi tagaservast, mis RoadScan seadmel võrreldes TGS seadmega on ca 2,5 korda väiksem. Suurimad

erinevused häiringuteta mõõtmiste osakaalus esinevad arvestuslõikudel, mille läbimise jooksul toimus seisak (vt. tabel allpool).

Tabel 16. Maantee nr 92 paralleelsete mõõtmiste häiringuteta osakaalu võrdlus

Rad a	Teeos a	A_kaugu s, m	Alg_k m, km	Lõpp_k m, km	Pikkus , m	Kuupäev	Seisak ud, tk	TGS häiringutet a mõõtmise %	RoadScan häiringutet a mõõtmise %
2	4	6271	28,263	29,263	1000	24.08.2018	1	97,27%	97,35%
2	4	7271	29,263	30,263	1000	24.08.2018	4	96,28%	98,02%
2	5	289	30,263	31,159	896	24.08.2018	1	96,09%	97,20%
2	5	1187	31,161	32,161	1000	27.08.2018	3	96,54%	97,04%
2	5	2187	32,161	33,161	1000	27.08.2018	4	95,83%	96,70%
2	5	3187	33,161	33,777	616	27.08.2018	1	98,92%	98,71%
1	5	5221	35,195	34,195	1000	03.09.2018	1	98,42%	98,75%
1	5	4221	34,195	33,195	1000	03.09.2018	1	97,76%	99,28%
1	5	3221	33,195	32,195	1000	03.09.2018	1	97,72%	99,44%
1	5	2221	32,195	32,184	11	03.09.2018	0	99,96%	100,00%
1	5	2208	32,182	31,182	1000	04.09.2018	1	97,87%	99,32%
1	5	1208	31,182	30,182	1000	04.09.2018	4	96,13%	98,85%
1	5	208	30,182	29,289	893	04.09.2018	4	96,77%	98,00%
1	4	7293	29,285	28,285	1000	05.09.2018	2	97,50%	99,28%
1	4	6293	28,285	28,269	16	05.09.2018	0	95,44%	98,82%
2	5	3810	33,784	34,784	1000	05.09.2018	2	96,90%	99,43%
2	5	4810	34,784	35,195	411	05.09.2018	1	97,11%	99,12%

Ülal toodud tabelis on näha, et seisakute arvu kasvades suureneb ka erinevate seadmete poolt määratud häiringuteta mõõtmiste erinevus. Seda mõjutab asjaolu, et analüüsi teostades on seisakute järgselt mõõdetud jahtunud katet käsitletud häiringuna (vt. ptk „Seisak kui häiring“).

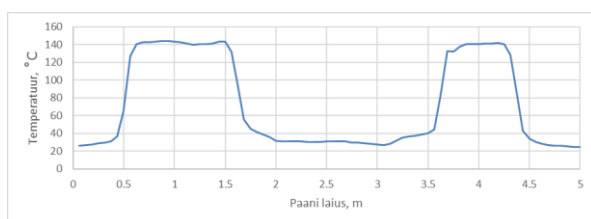
Häiringute visuaalsed kujutised

Häiringute visuaalne tuvastamine on pilootobjektis kasutatud seadmete puhul võimalik vaid TGS süsteemiga. Võimaluse loob piisava resolutsiooniga salvestatav termopilt, mida seade tootis pilootobjektidel igas meetris vähemalt ühe. Piltidelt on võimalik arusaadavalt eristada erinevaid häiringuid (paani kontuurid, teerull, inimene, suusk jne). Temperatuure töödeldes tekib tihti küsimusi tekitavaid olukordi, kus vaid paigaldustemperatuuride põhjal on keeruline hinnata, millega täpselt tegu on. Termopiltide olemasolu loob kindlustunde nii tellijale kui ka töövõtjale, kuna võimaldab hilisemate küsimuste tekkimisel probleemkoha identifitseerida. Lisaks loob termopiltide salvestamine täiesti uue väärtuse reaajas jälgimisele, kuna lisaks temperatuuridele on võimalik jälgida reaalselt pilti objektilt. Järgnevalt on lisatud erinevate häiringute termopildid ja nende temperatuuriandmed.

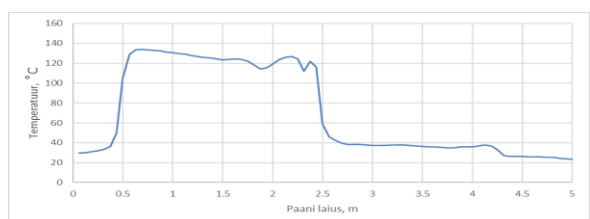
Allolevatelt joonistelt ja graafikutelt on näha, et häiringud võivad mõõtetulemustes kajastuda väga erinevates kombinatsioonides. Seda enam on oluline, et analüüsi käigus suudetakse häiringud korrektselt ja täies mahus tuvastada. Vastasel juhul kajastuvad häiringud riskiala osakaalus ning mõjutavad võimaliku teenitava boonuse suurust.

Piloteeritud metoodikas oli termopiltide salvestamise nõue kohustuslik kõikide töödeks kasutatavate termograafiliste seadmete puhul. Turu-uuringu põhjal ei ole avatud turu printsiibist lähtudes õigustatud nimetatud tingimust kõikidelt seadmetelt nõuda. Hetkel turul olevatest tippseadmetest suudab termopilte salvestada vähemalt kaks termograafilist süsteemi (vt. ptk „Ettepanekud metoodika täiustamiseks”).

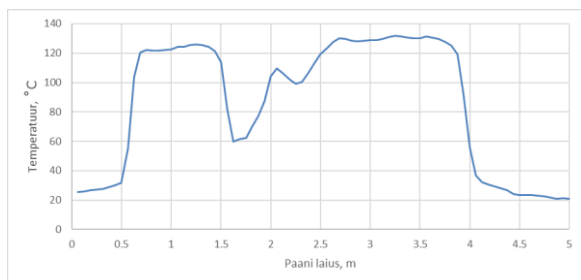
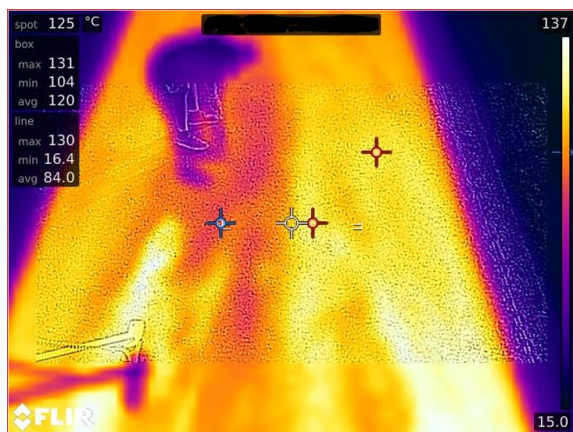
Ettepanekuna tuleks metoodikas erineva võimekusega seadmed erinevalt käsitleda. Soovitav on boonuservutusse lisada mõõtmisboonus, mida töövõtjal on võimalus teenida kasutades termopilte salvestavat seadet. Põhjenduseks on asjaolu, et termopiltide olemasolu võimaldab ülevaatlikumat reaajas jälgimist ning annab kõikidele osapooltele väärtuslikku informatsiooni. Lisanduva mõõtmisboonuse teenimiseks peaks termopiltide pikisuunaline intervall olema kuni 1 m, asukoha täpsustusega $\pm 0,1$ m. Selline lähenemisviis soodustab innovatsiooni kuid jätab töövõtjale võimaluse valida erinevate mõõteseadmete vahel.



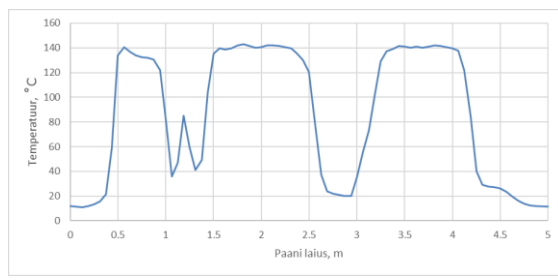
Joonis 61. Rull keskel – termopilt ja ristlõike temperatuurigraafik (12.09.2018)



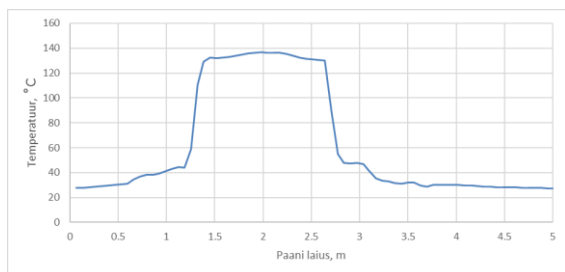
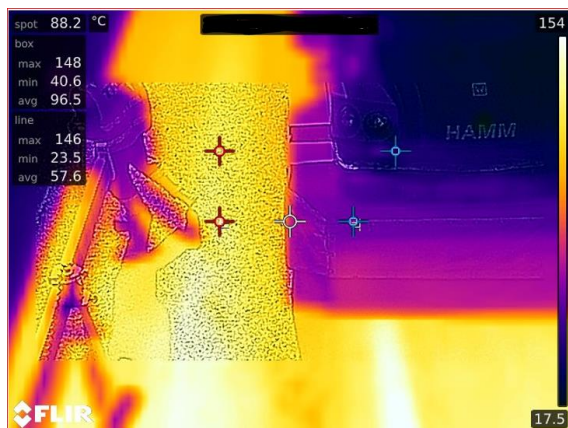
Joonis 62. Rull servas – termopilt ja ristlõike temperatuurigraafik (12.09.2018)



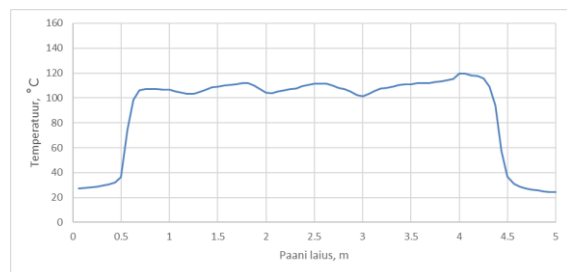
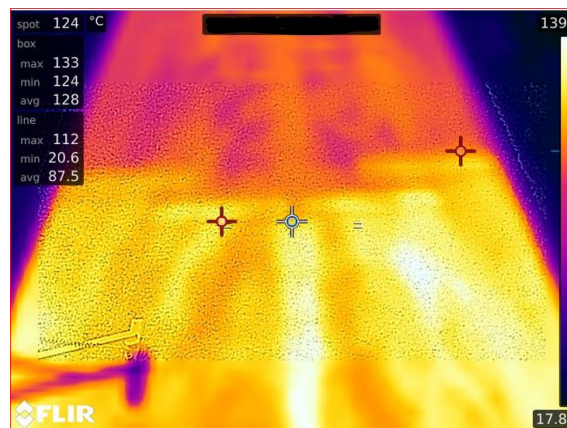
Joonis 63. Katte paksuse kontrollimine – termopilt ja ristlõike temperatuurigraafik (12.09.2018)



Joonis 64. Kaks meest – termopilt ja ristlõike temperatuurigraafik (04.10.2018, #22)



Joonis 65. Inimene ja rull – termopilt ja ristlõike temperatuurigraafik (27.09.2018, #92)



Joonis 66. Peale seisakut jahtunud katte üle möötmine – termopilt ja ristlõike temperatuurigraafik (12.09.2018, #92)

Seisakute definitsioon ja kohaldatavus

Kehtiva metoodika kohaselt loetakse seisakuks laoturi nii enam kui 2 minuti pikkust paigalolekut kui ka liikumist kiirusega alla 2,5 m/min. Kõik 5 m sisse jäävate peatuste aeg summeeritakse üheks paigalolekuks. Objekti mõõtmistulemuste aruanne peab sisaldama iga arvestuslõigu jooksul sooritatud seisakute arvu ning nende summaarset kestust.

2018.a pilootprojektide bonusarvutusvalemis ei kohaldata seisakuid hinnatava parameetrina. Teisisõnu ei olnud antud objektide raames seisakutele ette pandud piirväärtust, mistõttu paigaldaja võis seisaku teha kasvõi iga koormavahetuse korral ilma et see mõjutaks teenitava boonuse suurust.

Piloteeritud metoodikas ei ole ühtselt selgitatud, mis kujul tuleb seisaku tõttu tekkinud andmeid käsitleda. Hetkel kehtiva metoodika kohaselt on seisakutest tekkinud andmeid võimalik tõlgendada kahel viisil:

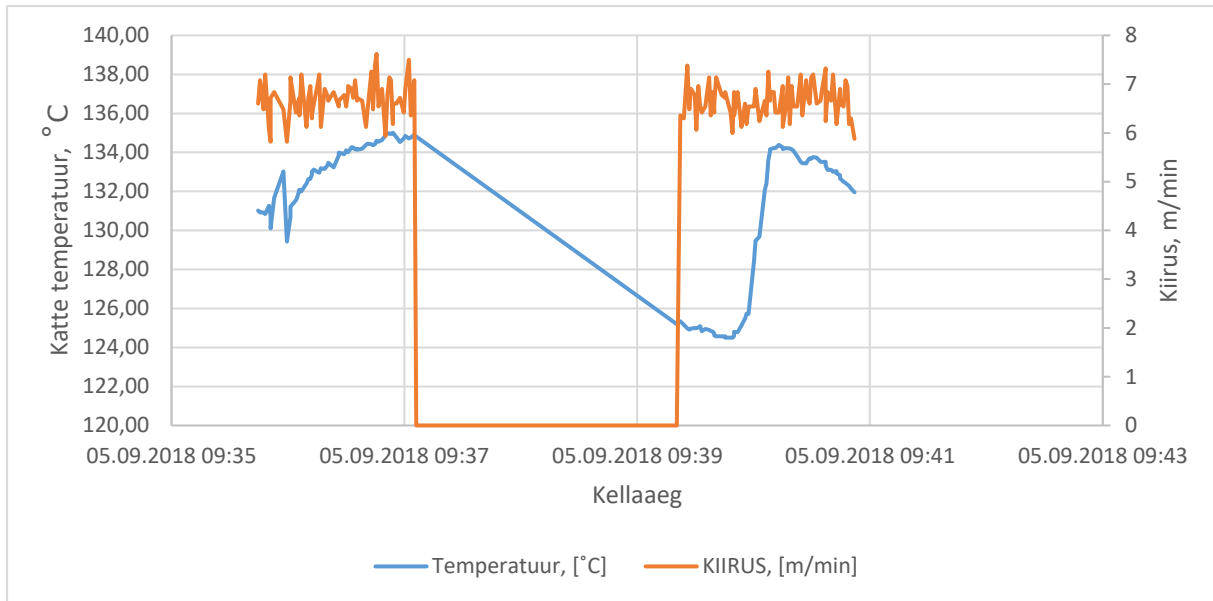
- seisak kui riskiala
- seisak kui häiring

Uurimistöö sisaldab mõlema mainitud viisi põhjalikku analüüsi ning annab soovitused metoodika asjakohastamiseks.

Seisak kui riskiala

Üks variant on seisakutest täielikult mööda vaadata. Sel juhul salvestab termograafiline seade peale laoturi seisaku lõppu (kui algab uuesti liikumine) mõned meetrid jahtunud katet. Nimetatud lõigu pikkus sõltub kasutatava seadme seadistustest, kuid hetkel kehtiva metoodika kohaselt peab see jääma vahemikku 2-5 m (tegu on mõõtmiste kaugusega laoturi tagaservast). Jättes nimetatud teepinna analüüsist eemaldamata, kajastub see suure tõenäosusega riskialana (kas osaliselt või täies mahus, sõltub eeskätt konkreetse seisaku kestusest ja valitsevatest ilmastikutingimustest).

Esialgses analüüsis tõlgendasid pilootprojekti raames andmeanalüüsi teostanud teenusepakkujad antud kriteeriumit just selliselt. Uurimistöö raames selgus, et seisaku järgset üle mõõdetud ala ei tohiks käsitleda riskialana, kuna antud piirkonna näol on tegemist jahtunud alaga ning sellelt salvestatud näitajad ei kujuta endas paigaldustemperatuure (vt. joonis allpool).



Joonis 67. Seisaku järgse jahtunud katte mõõtmine (seisaku kestus 2min26sek)

Joonisel on kujutatud laoturi liikumine vahetult enne ja peale seisakut. Oranži joonena on kujutatud laoturi liikumiskiirus ning sinisega mõõteseadme poolt salvestatud katte temperatuur. Jooniselt on näha, et peale seisaku lõppemist salvestab mõõteseadme mõne aja jooksul veel jahtunud katet. Tegemist on alaga, mis varasemalt jäi laoturi tagaserva ja mõõdetava ristlõike vahele (2-5 m). Nimetatud piirkonnas salvestatud temperatuurid ei ole katte paigaldustemperatuurid.

Seisak kui häiring

Termograafilise info teadusliku analüüsi kohaselt tuleb seisaku järgseid temperatuure käsitleda häiringuna. Teisisõnu eemaldatakse peale igat seisakut mõõtmistulemused, mis ei kajasta katte paigaldustemperatuure. Nimetatud lõigu pikkus sõltub kasutatava seadme seadistustest, kuid hetkel kehtiva meetodika kohaselt peab see jääma vahemikku 2-5 m (tegu on mõõtmiste kaugusega laoturi tagaservast). Kogu eemaldatav pindala registreeritakse häiringuna ning kajastub häiringuteta mõõtmiste osakaalus.

Kehtiva bonusmetoodika kohaselt mõjutab lõpliku boonuse suurust vaid vaadeldava arvestuslõigu riskiala osakaal. Termovaipadele tuginedes on kõige madalama ning ebaühtlasema temperatuuriga alad enamasti koormavahetuslad. Seega võib öelda, et nendes piirkondades on tegu potentsiaalse riskialaga. Kuna seisaku järgselt ei ole aga võimalik paigaldustemperatuure koheselt mõõta, siis

puudub arvutuslikust riskiala osakaalust vastav komponent täielikult. Seda olulisem on boonusarvutus valemisse kaasata seisakuid piirav ja käsitlev parameeter.

Ettepanekud metoodika täiustamiseks - seisak iseseisva parameetrina

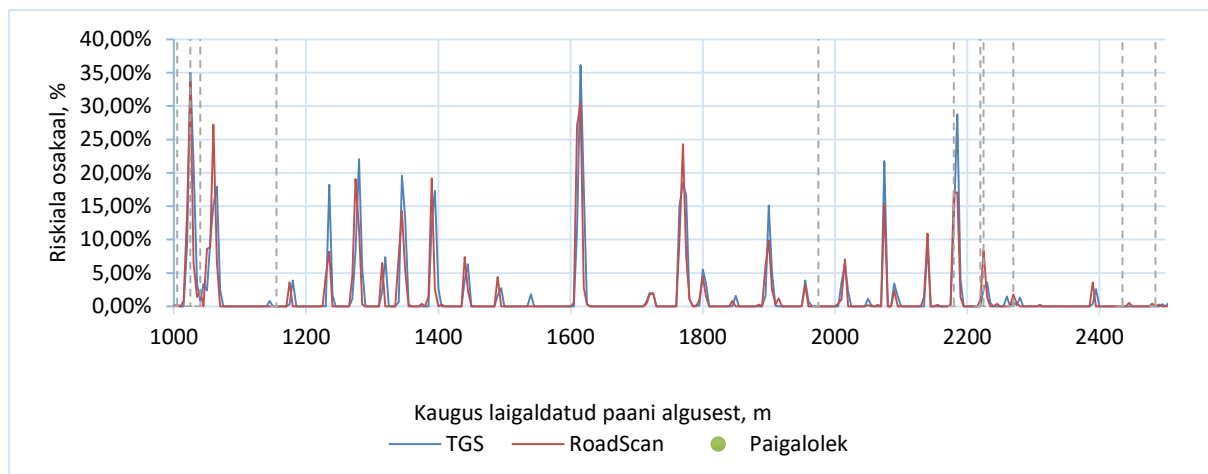
Esimese soovitusena tuleb seisakute arvu iseloomustav parameeter lisada boonuse arvutusvalemisse. Seeläbi sõltuks teenitav boonus otseselt ka asfaltkatte laotusprotsessi jooksul tehtavatest seisakutest. Lihtsaimaks viisiks on määrata maksimaalne lubatav seisakute arv ühe arvestuslõigu kohta.

Ettepanekuna ei tohiks seisakute järgselt mõõdetud temperatuure andmeanalüüsis käsitleda kui paigaldustemperatuure, kuna tegemist on jahtunud alaga mis ei iseloomusta äsja paigaldatud katte temperatuurinäitajaid. Sellised piirkonnad tuleb analüüsitavast andmemahust eemaldada ning käsitleda neid kui häiringute alaliigina.

Seisakute mõju kajastamiseks tuleb boonuse arvutusmetoodikat täiustada, pannes boonuse sõltuma ka otseselt asfaltkatte laotusprotsessi vältel sooritatud seisakute arvust. Lihtsaimaks viisiks on määrata maksimaalne lubatav seisakute arv ühe arvestuslõigu kohta. Teenusepakkuja poolt väljastatava materjalide osaks peaks olema seisakute aruanne, mis kajastab iga tekkinud seisaku täpset asukohta, kellaaega ja kestust.

Paigaoleku definitsioon ja mõiste

Metoodika kohaselt ei loeta seisakuks laoturi paigalolekut alla 2 minuti. Analüüsi tulemusena selgus, et paigalolekute asukohtades tekivad suured erinevused seadmete vahelises tulemuste võrdluses (vt. joonis allpool). Nagu eelnevalt mainitud, siis peale laoturi seisakut oleks mõistlik fikseerida 2-5 m pikkune häiring (kuna kuvatavate temperatuuride näol ei ole tegemist paigaldustemperatuuridega). Paigaloleku järgsed piirkonnad võeti analüüsis seevastu arvesse paigaldustemperatuuridena, mistõttu on tegemist potentsiaalsete riskialadega.



Joonis 68. Piloteeritud seadmete riskialade ja paigalolekute sõltuvus 5 m arvestuslõigu korral (04.09.2018, #92)

Eelneval joonisel on kujutatud erinevate seadmete poolt fikseeritud riskiala osakaal 5 m arvestuslõigu korral. Selgub, et suurimad erinevused tekivad kohtades, kus laoturi on olnud paigal alla 2 min (vt. jooniselt katkendjooned). Paigaloleku tagajärjel tekkiv lokaalse riskiala osakaalu suurus sõltub nii paigaloleku kestusest kui ka ilmastikuoludest (vt. ptk „Katte jahtumise kiirus”).

Ettepanekuna paigalolekutest tekkiva mõju eemaldamiseks on summeerida kõik paigalolekud lisapaigalolekutena ning vastavalt seisaku kriteeriumile kajastada need lisaseisakutena (kuni 2 min lisapaigalolekut võrdub 1 seisakuga, kuni 4 min lisapaigalolekut võrdub 2 seisakuga). Seeläbi on võimalik ühtlustada erinevate seadmete poolt salvestatud andmete põhjal teostatud arvutustulemusi. Paigalolekud peavad olema kajastatud seisakute aruandes.

Riskialade definitsioon ja kohaldatavus

Boonussüsteemi eesmärk on soodustada innovatiivsete kvaliteedi tagamise meetodite arengut ja kasutuselevõttu töövõtjate poolt. Selline lähenemine loob eeldused nõutust parema kvaliteedi saavutamiseks. Paigaldustemperatuuri ühtlus on pikaealise, tiheda ja homogeense katte saavutamisel üheks olulisimaks näitajaks, mistõttu selle mõju valminud teelõigu lõpptulemuse kvaliteedile on määrava tähtsusega. Teadustöö vajadus ja boonussüsteemi rakendamise ettepanek on tingitud asjaolust, et tänapäevaste vahenditega on katte paigaldustemperatuuride mõõtmine ja nende ühtluse määramine kõige täpsemini, detailsemalt ja ülevaatlikumalt mõõdetavaid komponente.

Ebaühtlase temperatuuriga segu laotamisel tekivad kattele madalamate kvaliteedinäitajatega piirkonnad, mida käesoleva teadustöö raames käsitletakse riskialadena. Riskialaks loetakse vähemalt $0,1\text{m}^2$ kattepinna, mille paigaldustemperatuur on alla 90% sellele eelneva 100m katte keskmisest paigaldustemperatuurist. Vahetuse alguses tekkivale põikvuugile järgneva esimese 100m puhul arvestatakse riskiala sama 100m keskmise paigaldustemperatuuri alusel. Teenitava boonuse suurus sõltub riskialade vältimise suutlikkusest.

Tekkivad probleemid riskialade määramisel

Riskiala määramine sõltub algoritmi ja mõõteseadme omadustest. TGS ja RoadScan on sama eesmärgi nimel töötavad süsteemid, kuid seadmete ülesehitus ja tööpõhimõtted on kohati erinevad. Seetõttu annavad seadmed ka mõningal määral erinevaid tulemusi. Riskialade määramise seisukohast on suurimaks ja lõpptulemust enim mõjutavamaks erinevuseks mõõtmiste intervall.

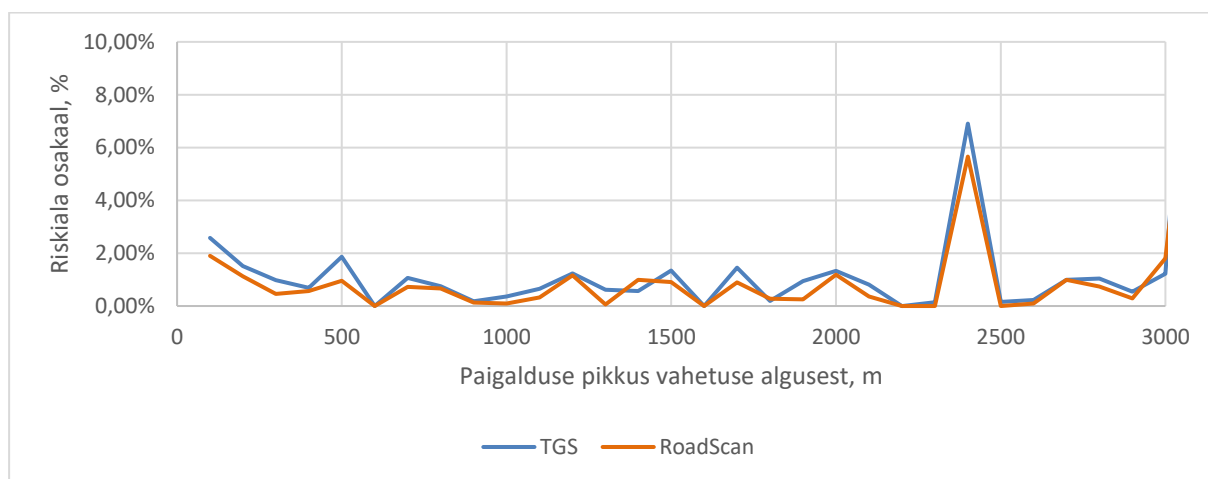
Kehtiva metoodika kohaselt on mõõtmiste pikisuunaline intervall kuni 1,0 m ning põiksuunaline intervall kuni 0,1 m. Kui TGS seadmel kasutati pilootobjektidel suurusjärgus ca $0,12 \times 0,06$ m intervalli, siis RoadScan seadme fikseeritud intervalliks on tootja sõnul $0,25 \times 0,25$ m (salvestatakse ainult iga sellise ala mõõtmiste keskmine). Aruandest nähtub, et tegelik pikisuunaline intervall on vahemikus 0,20...0,33 m, mis vastab ajalisele intervallile 1...4 sekundit.

Uurimistöö raames korraldati katete paigaldustemperatuuride mõõtmise teemaline kohtumine Soome ekspertidega (Väylä esindajaga). Soomes on termograafiat katte homogeensuse uurimiseks kasutatud juba mitmeid aastaid ning praktikale ja kogemustele tuginedes on loodud asjakohane juhis. 2017. aastal korraldatud Roadscanners RDTD ($0,1 \times 0,1$ m) ja MOBA PAVE-IR ($0,25 \times 0,25$ m) paralleelmõõtmiste tulemusena selgus, et mõlema seadmega on võimalik saavutada märkimisväärne kasu temperatuuri ühtluse ja seisakute kontrollimisel. Seevastu boonuse arvutamiseks on vajalik võimalikult detailne mõõtmistäpsus, mistõttu Soome mõõtmismetoodikas on kehtestatud mõõtmiste maksimaalseks intervalliks $0,1 \times 0,1$ m. [7]

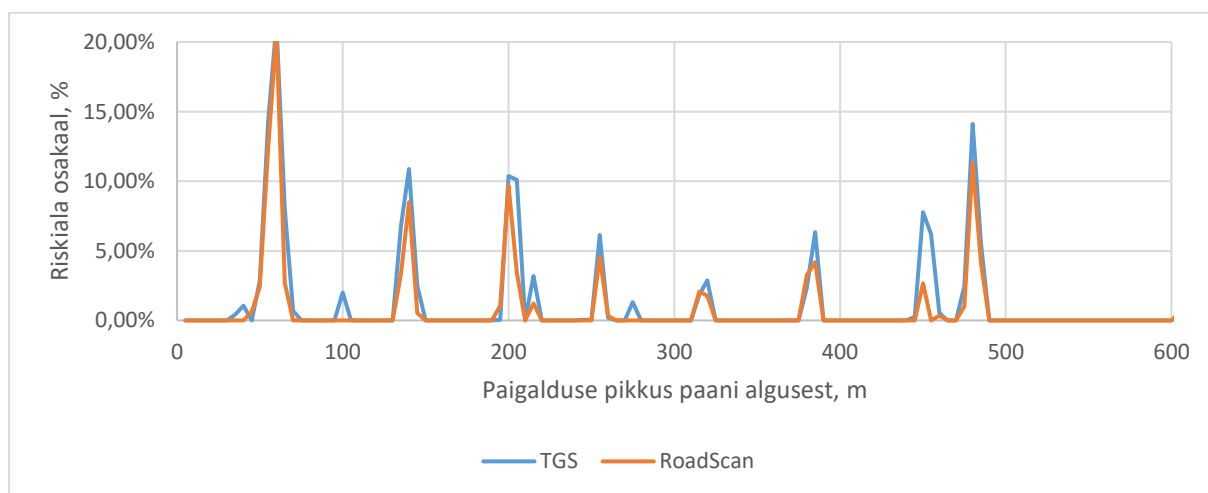
RoadScan seadme puhul tekitab ebatäpsust nii väljundtulemuste intervall kui ka tulemuste eeltöötlus. Kuna RoadScan ei tooda ka termopilte, ei ole hilisemate küsimuste tekkimisel võimalik kontrollida, kas salvestatud mõõtetulemus kujutab

jahedat kattepinda või häiringut. Riskiala jaotumine 0,25*0,25 m ruudustikule on etteaimamatu.

Analüüsi tulemusena selgus, et RoadScan seadme poolt kuvatavate temperatuuride põhjal määratav riskiala osakaal on madalam kui TGS seadmel. Suure arvestuslõigu tõttu (1000 m) ei ole võimalik tuvastada, miks nimetatud erinevus eksisteerib. Probleemsete piirkondade lokaliseerimiseks vähendati arvestuslõigu pikkust (vt. joonised allpool).

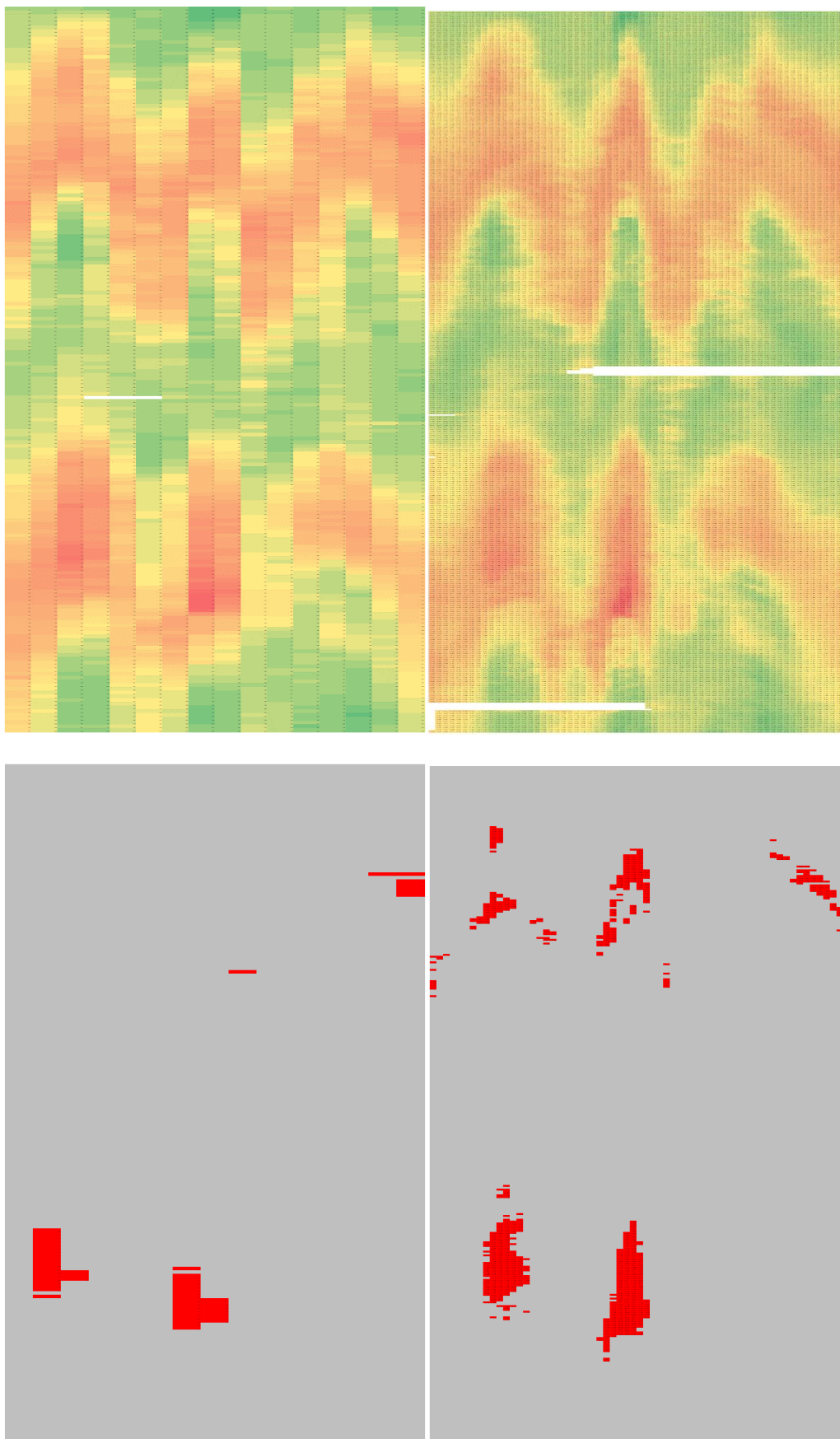


Joonis 69. Riskiala osakaal 100 m arvestuslõigu puhul (#92, 03.09.2018 vahetuse algus)



Joonis 70. Riskiala osakaal 5 m arvestuslõigu puhul (#92, 03.09.2018)

Joonistel selgub, et kui üldjuhul on erinevate seadmete poolt määratud riskiala osakaalud küllatki võrdsed, siis suurem erinevus on ca 450 meetrit peale paani algust. Järgnevalt on toodud vastava asukoha mõlema seadme temperatuuridest moodustatud termovaibad (vt. joonised allpool).



Joonis 71. Koormavahetuspiirkonna (60 m) paigaldustemperatuurid (üleval) ja määratletud riskialad (all). RoadScan seadme tulemused vasakul, TGS paremal

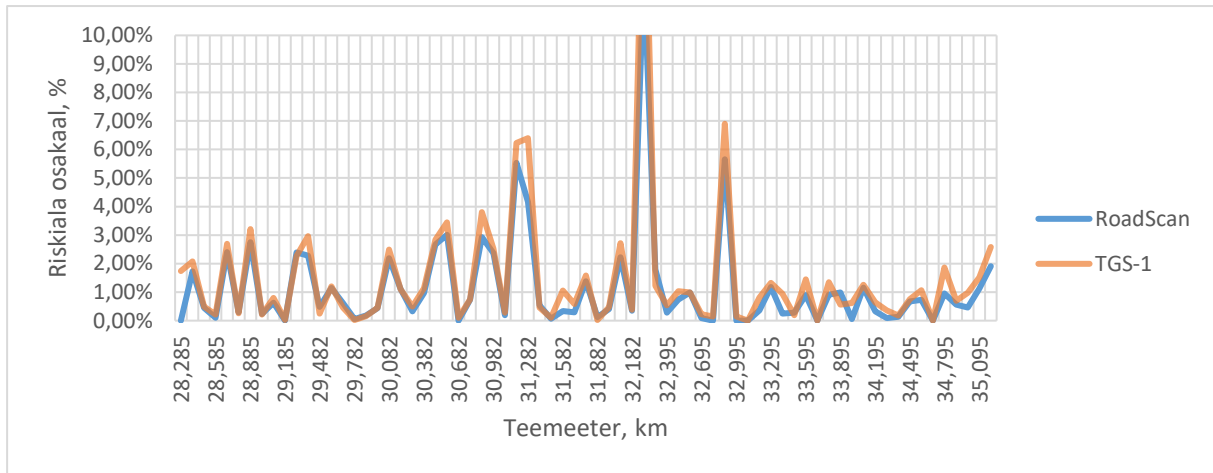
Ülal toodud jooniselt on näha suure intervalli ja keskmistamise mõju määratavale riskiala osakaalule. Antud juhul on tegemist 60 meetri pikkuse lõiguga, kus koormavahetusalas on tekkinud suured jahedad alad. Alumistel piltidel on punasega märgitud piirkonnad, mis analüüsi käigus fikseeriti riskialana. Konkreetset juhul on TGS seadme andmete põhjal määratud riskiala osakaal 3,73% ning RoadScan samaks näitajaks kujunes 1,89%. Teisisõnu RoadScan seadme keskmistamise ja suure intervalli mõjul jäi suur osa riskialast fikseerimata.

Teadustöö üheks eesmärgiks oli hinnata, kas erinevate seadmetega teostatud termograafilised mõõdistustööd annavad võrreldavaid tulemusi. Selle tarbeks teostati kahe pilootobjektis osalenud seadme väljundtulemustele võimalikult identne analüüs.

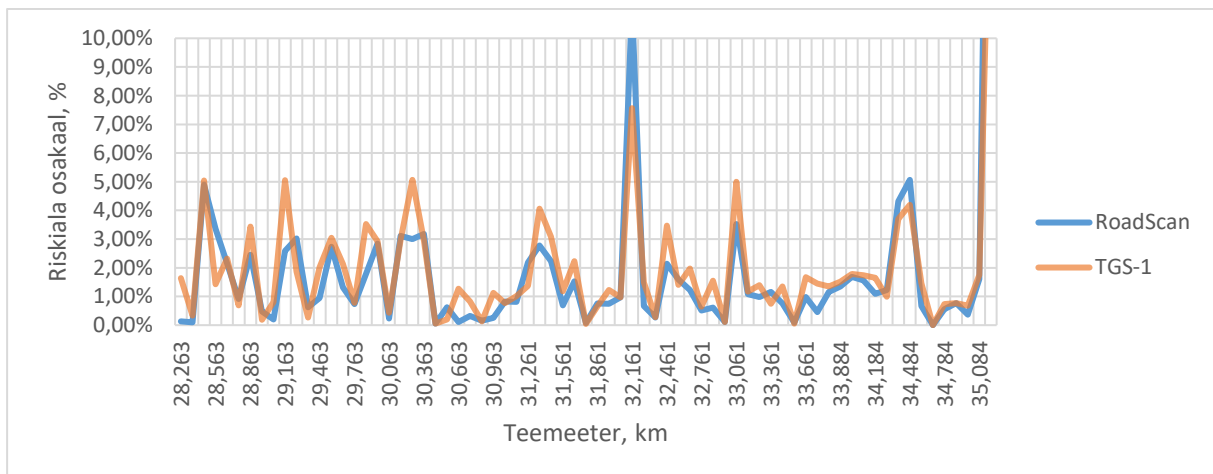
Võrreldes esialgse analüüsiga tehti uus analüüs järgnevate muudatustega:

- RoadScan andmete asukoht viidud kokku TGS andmetega (kellaajaliselt);
- seisakute järgne jahtunud ala üle mõõtmise kajastatud häiringuna;
- tööpäeva algus ja lõpp kellaajaliselt kokku viidud;
- häiringute kriteeriumid ühtlustatud;
- arvutuste teostamine erinevate arvestuslõikude kaupa.

Analüüsides andmeid samadel põhimõtetel selgus, et erinevate seadmete poolt toodetud tulemused on omavahel võrreldavad. Maantee nr 92 erinevatel päevadel teostatud paigaldustemperatuuride põhjal arvutatud riskialade osakaalud on lisatud järgnevalt. Teadustöös hinnatava korrelatsiooni leidmiseks on 1000 m arvestuslõik liialt pikk, mistõttu põhineb järeldus 100 m arvestuslõigu baasil (vt. joonised allpool).



Joonis 72. Paralleelsete mõõtmiste tulemustel saavutatud riskialade võrdlus 100 m arvestuslõikude kaupa (suund 1, #92)



Joonis 73. Paralleelsete mõõtmiste tulemusel saavutatud riskialade võrdlus 100 m arvestuslõikude kaupa (suund 2, #92)

Joonistelt selgub, et andmeid sarnastel tingimustel hinnates on erinevate seadmetega võimalik saada sarnased lõpptulemused riskiala osakaalule, kuid suurema intervalliga seadet kasutades on lõpptulemusena saadav riskiala osakaal pea alati väiksem. Kogu objekti kaalutud keskmine riskiala osakaal oli nii 1000 m kui ka 100 m arvestuslõigu puhul TGS seadmega **1,53%** ja RoadScan seadmega **1,29%**.

Kokkuvõtvalt on riskialade määramise täpsus laias laastus tingitud kahest asjaolust:

- inimfaktor - algoritmi ülesehitusest tingitud erinevused;
- seadme omadustest tingitud erinevused.

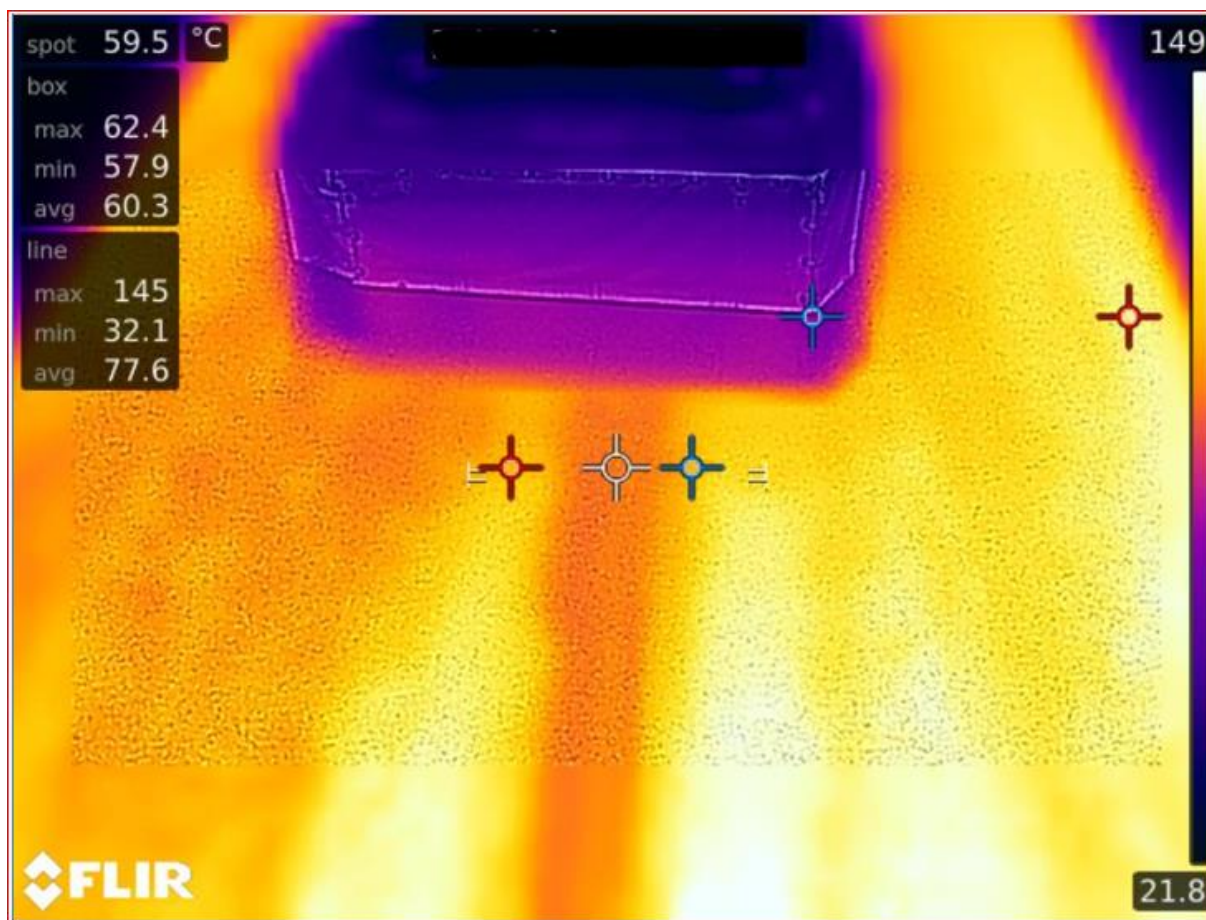
Ettepanekuna on niivõrd suure erinevuse tõttu on soovituslik vastavalt parameetritele jagada mõõteseadmed eri klassidesse. On selge, et mistahes termograafilist seadet kasutades saadakse paigalduse kvaliteedi kohta väärtusliku informatsiooni. Seadmed võiksid jaguneda kahte klassi järgnevate põhimõtete alusel:

- A-klass: mõõtmistulemused on lokaliseeritud ning seostatavad muude andmetega. Mõõtmiste resolutsioon on piisav täpseteks analüüsideks.
- B-klass: mõõtmistulemused ei ole lokaliseeritud, mistõttu on kasutatavad vaid statistiliselt. Mõõtmiste resolutsioon võimaldab hinnata üldist kvaliteeti.

Servaalade definitsioon ja kohaldatavus

Katte paigaldustemperatuure mõõtes ei ole võimalik tuvastada katte servaalad punktuaalse täpsusega. Seda tingib asjaolu, et paani servast mõõdetud temperatuurides kajastub mingil määral jahedat aluspinda. Katet mitte iseloomustavate temperatuuride vältimiseks võib kehtiva meetodika alusel analüüsist eemaldada paigaldatava katte servad kuni 0,3 m laiuselt.

Termograafiliste andmete analüüsi seisukohast on kriitilise tähtsusega kõikide mõjutatud mõõtetulemuste eemaldamine katte paigaldustemperatuure iseloomustavatest väärtustest. See nõuab mitmeastmelist intelligentset algoritmi, mis suudab eemaldada ka häiringute servaalad, adapteerudes vastavalt ümbritsevatele temperatuuridele või teha professionaalse mõõtja poolt manuaalselt, toetudes termopiltidele. Häiringute servaaladena on käesoleva uurimistöö raames käsitletud mõõtetulemusi, mille temperatuurid koosnevad osaliselt katte ja osaliselt häiringu pinnalt mõõdetud temperatuuridest (vt. joonised allpool).



Joonis 74. Häiringute servaalade olemus - termopilt (#92 km 30.809, sõidurada 1)



Joonis 75. Häiringute servaalade olemus - temperatuuride kajastumine TGS logi poolt väljastatavas ristlõikes (#92 km 30.809, sõidurada 1)

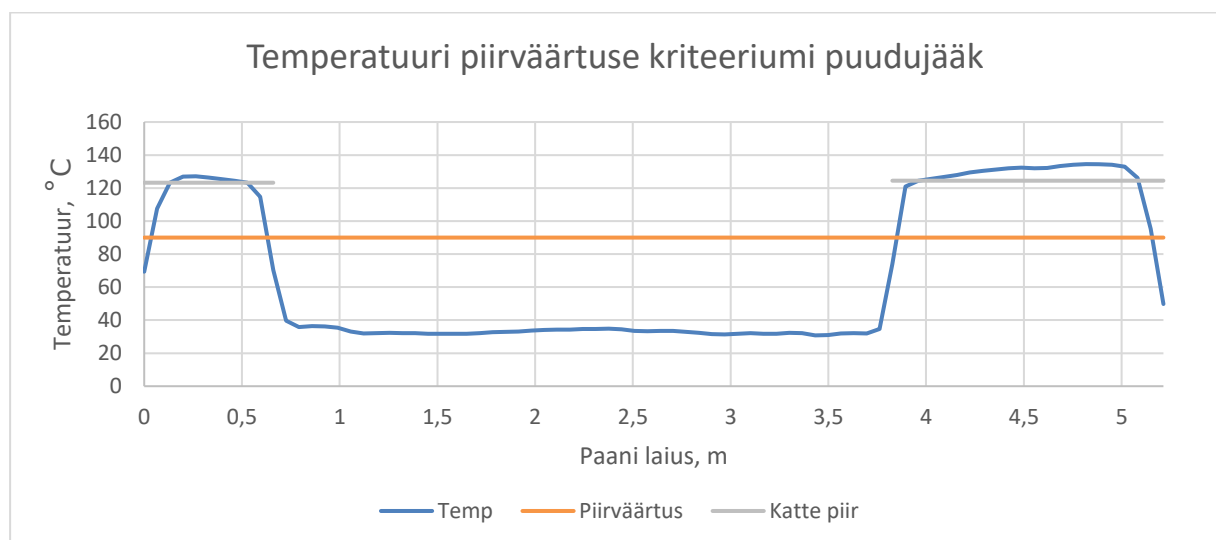
123,162	122,668	123,364	125,583	126,77	128,011	128,606	128,702
123,241	123,094	124,085	126,227	126,891	127,606	127,879	128,289
123,755	122,904	124,405	126,085	126,755	127,375	128,163	128,615
123,085	122,806	124,121	125,207	126,146	127,501	128,457	128,875
54,6473	72,1072	113,915	124,374	125,295	126,085	127,786	128,528
44,7919	45,0166	54,6288	97,8339	123,752	125,019	126,674	127,402
31,9776	32,1619	31,944	34,667	73,9338	120,917	124,475	125,529
56,0348	68,7734	98,2132	125,034	126,517	126,457	126,423	126,224
56,0348	68,7734	98,2132	125,034	126,517	126,457	126,423	126,224
126,96	126,776	127,143	127,615	128,053	126,863	128,295	128,023
126,9	126,878	127,453	128,217	128,053	127,068	128,13	128,684
127,242	127,966	129,113	129,926	129,054	128,528	128,621	128,782
127,756	128,124	129,119	129,613	129,667	129,006	128,448	128,292

Joonis 76. Häiringute servaalade olemus - temperatuuride kajastumine häiringu servas (#92 km 30.809, sõidurada 1)

Servaalade tuvastamine - analüüsi mõju

Töövõtja kasutas häiringute määramiseks temperatuuri piirväärtuse kriteeriumit. Nimelt eemaldati algandmetest kõik temperatuurid, mille väärtused on alla 90°C. Valitud temperatuur on „suurpuhastuse“ teostamiseks optimaalne, kuna praktikast saadud kogemused näitavad, et otsene häiringute temperatuur jääb enamasti vahemikku 30-50°C, samas paigaldatava katte temperatuur kuumade asfaltsegude korral reeglina alla 90°C ei lange. Lisanduvaid kriteeriumeid töövõtja poolsele analüüsile ei kaasatud.

Analüüs näitas, et selline käsitusviis eemaldab eeltoodu tingimustel vaid ca 95% tegelikust häiringute mahust. Probleemi olemus seisneb häiringute servaalade tuvastamises. Häiringu servaala (nii piki- kui põiksuunaline) on mõõtetulemus, mis koosneb osaliselt katte ja osaliselt häiringu pinnalt mõõdetud temperatuuridest. Termograafilise süsteemi poolt väljastatud algandmetes kajastub nimetatud temperatuur suurusjärgus 70-120°C, mis tähendab et temperatuuri piirväärtuse kriteerium ei suuda häiringu servaala analüüsis häiringuks määrata ning seetõttu kajastub see katte temperatuurina (vt. joonis allpool). Kuna käsitletav mõõtetulemus on lokaalses piirkonnas ümbritsevatest reaalsest katte temperatuuridest madalam, siis analüüsi tulemusena hinnatakse selline koht ebakorrektselt riskialaks.



Joonis 77. Häiringu esinemine #92 km 30.809 sõidurada 1 (TGS logi)

Jooniselt on näha katte paigaldustemperatuuride jaotumine vaadeldavas ristlõikes. Ristlõige on valitud uurimistöö huvides selline, kus erinevaid servaale on ühes ristlõikes palju (paani vasak ja parem servaala ning häiringu vasak ja parem

servaala). Oranž joon kujutab endast määratavat piirväärtust (90 °C), mis suudab eemaldada suurema osa häiringute mahust. Hallid jooned kujutavad reaalselt paigaldustemperatuuride piiri – katte paigaldustemperatuuridena tuleks käsitleda vaid hallidest joontest üles poole jäävaid andmeid. Halli ja oranži joone vahele jäävad temperatuurid ongi häiringute servaalad, mida ei tohiks käsitleda paigaldustemperatuuridena.

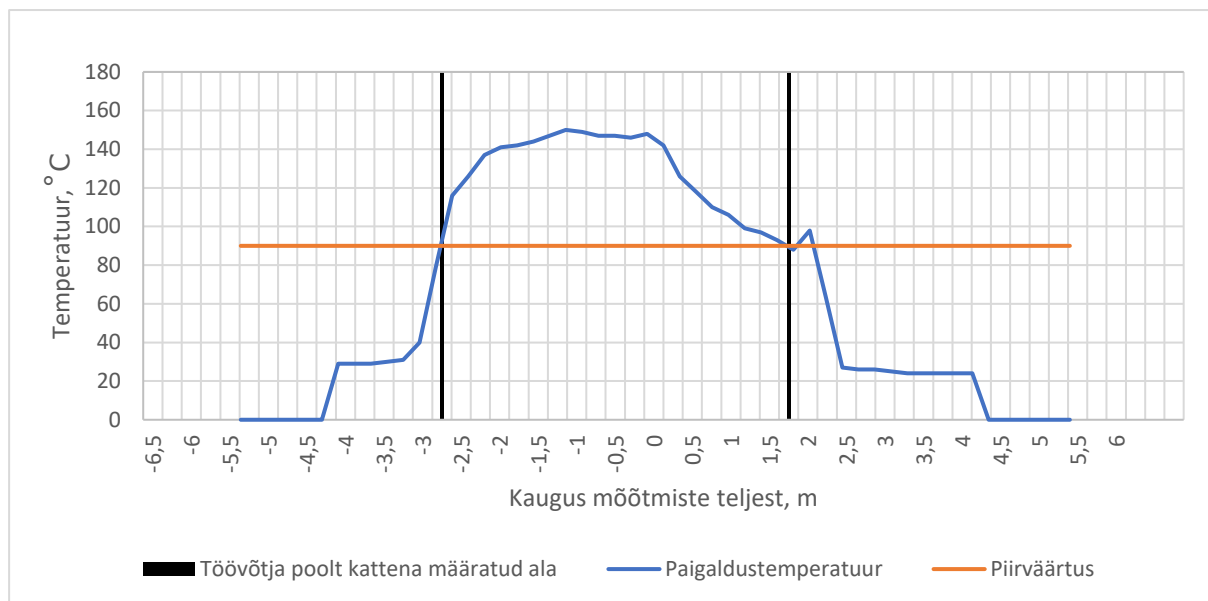
Probleemi kirjeldamiseks on alljärgnevalt tehtud väljavõtte RoadScan seadme salvestatud temperatuuridest ning graafiliselt kujutatud töövõtja poolt teostatud analüüsi tulemusi vastava ristlõike kohta (vt. joonised allpool).

31	41	79	118	126	128	134	141	138	140	149	150	146	144	145	147	146	141	145	147	148	146	139	137	132	126	74	28	27	27
31	44	88	121	126	132	137	141	138	143	150	149	145	144	145	147	146	143	147	147	148	145	139	137	132	123	59	28	27	26
32	44	87	120	126	132	138	140	139	144	150	150	146	144	145	147	146	144	147	148	149	145	141	139	132	124	61	28	27	26
32	43	86	120	127	134	139	141	140	144	150	149	145	144	145	148	147	145	147	148	149	147	142	139	132	125	65	28	27	26
31	43	86	120	127	136	140	143	143	146	150	150	146	145	145	149	146	145	148	148	148	147	142	138	131	125	66	28	27	26
31	43	85	120	128	138	141	144	144	146	151	150	146	145	146	149	147	147	148	147	149	148	143	138	134	126	65	28	27	26
31	41	81	118	128	137	143	144	143	146	150	150	147	145	146	149	147	146	148	148	149	148	144	139	135	127	70	28	27	26
31	42	83	119	127	136	143	144	143	146	151	150	147	146	146	147	147	146	148	148	149	148	144	139	135	127	67	28	27	26
32	42	84	119	129	137	141	143	143	146	151	150	148	146	146	148	147	147	148	148	149	149	145	140	136	127	67	28	27	26
31	41	82	119	130	137	140	142	143	146	150	150	147	146	146	148	148	147	148	148	150	149	146	141	136	127	69	28	27	26
31	41	81	118	129	136	140	141	143	146	151	149	148	146	146	149	147	146	148	148	149	150	147	141	136	129	70	28	27	26
31	40	81	117	126	134	141	143	143	146	150	149	148	146	146	149	145	145	148	149	150	146	140	137	130	129	69	28	27	26
31	40	80	117	127	134	140	142	143	146	150	149	148	146	146	149	144	144	147	149	149	149	147	141	138	129	67	28	27	26
31	40	79	117	125	134	139	143	141	145	150	149	147	146	145	146	86	60	65	63	62	60	60	59	57	56	43	27	26	25
31	40	79	116	126	137	141	142	144	147	150	149	147	147	146	148	142	126	118	110	97	93	88	98	63	27	26	26	26	26
31	41	79	116	127	140	144	143	144	147	148	149	147	147	147	150	147	146	148	148	149	149	147	144	138	130	64	28	27	27
31	40	76	115	126	138	144	143	142	146	149	149	148	147	147	150	148	147	148	149	149	149	148	144	141	132	66	28	27	27
31	39	72	113	128	138	143	143	142	145	150	149	148	147	147	150	149	147	148	149	149	149	148	145	142	132	68	28	27	27
31	36	62	105	126	138	143	143	144	146	150	150	149	147	147	149	149	147	148	149	149	149	149	145	142	136	83	29	27	27
31	36	63	106	125	135	142	144	144	146	149	150	149	147	147	149	149	147	148	149	149	149	148	146	143	135	83	29	27	27
30	35	60	104	128	138	143	144	143	146	150	150	148	147	146	149	149	147	148	149	149	149	148	145	143	136	88	29	27	27
31	35	59	103	126	138	144	144	143	145	149	150	149	148	147	149	148	147	148	149	149	148	145	143	136	86	29	28	27	27
31	35	58	101	125	136	143	145	144	145	149	150	149	148	147	149	149	147	148	148	148	148	147	144	140	91	30	28	27	27
30	34	56	100	125	136	143	146	145	146	149	151	149	148	147	149	149	148	148	148	148	148	146	146	141	94	30	28	27	27
30	34	55	98	125	136	143	145	146	146	149	151	149	148	147	149	149	148	149	149	149	149	148	147	145	141	93	30	28	27
30	34	54	98	124	137	144	146	146	146	149	150	149	148	146	148	149	148	149	149	149	148	148	147	144	139	91	30	28	27
30	34	54	99	124	137	143	144	145	147	149	150	149	148	146	149	150	148	149	148	148	148	149	147	146	141	87	29	27	27
30	34	56	101	126	137	142	144	143	144	149	150	149	148	147	149	151	149	149	149	149	149	148	147	146	141	82	29	27	27
30	35	64	109	126	138	144	145	145	146	149	150	149	148	147	150	150	148	149	148	148	148	147	146	141	74	29	27	27	27
30	35	65	109	126	138	144	145	145	146	149	150	149	148	147	150	149	147	149	148	148	148	148	147	146	136	60	29	27	27

Joonis 78. Häiringu kajastumine RoadScan andmelogis 04.09.2018 (jm 1141,46)

148	148	147	148	148	150	149	146	141	136	127	69	28
149	147	146	148	148	149	150	147	141	136	129	70	28
149	145	145	148	149	150	150	146	140	137	130	69	28
149	144	144	147	149	149	149	147	141	138	129	67	28
146	86	60	65	63	62	60	60	59	57	56	43	27
148	142	126	118	110	106	99	97	93	88	98	63	27
150	147	146	148	148	149	149	147	144	138	130	64	28
150	148	147	148	149	149	149	148	144	141	132	66	28
150	149	147	148	149	149	149	148	145	142	132	68	28
149	149	147	148	149	149	149	149	145	142	136	83	29
149	149	147	148	149	149	149	148	146	143	135	83	29
149	149	147	148	149	149	149	148	145	143	136	88	29

Joonis 79. Häiringu kajastumine RoadScan andmelogis 04.09.2018 (lähivaade, jm 1141,46)



Joonis 80. Häiringu käsitlemine piirväärtuse meetodil RoadScan seadmega (jm 1141,46, 04.09.2018)

Ülal kujutatud ristlõikes on paani vasakus servas (andmetabelist vaadatuna) pikk horisontaalsuunaline häiring, mille temperatuurid jäävad vahemikku 88-126°C. Tegu on küll kuumade temperatuuridega, kuid antud lokaalses piirkonnas on ülejäänud katte paigaldustemperatuuriks mõõdetud ca 150°C. Seega võib väita, et tegu on mõjutatud temperatuuridega, mida ei tohiks käsitleda paigaldustemperatuuridena. Töövõtja poolt teostatud analüüsis määrati vastava ristlõike riskiala osakaaluks 31,6%, kusjuures häiringuteta mõõtmiste osakaal oli 0,0%. Käsitledes andmeid vastavalt meetodikale on antud ristlõike tegelik riskiala osakaal 0,0% ja häiringuteta mõõtmiste osakaal 65% (vt. tabel allpool).

Tabel 17. Temperatuuri piirväärtusel põhineva analüüsi kitsaskohad

Parameeter	Töövõtja analüüs	Tegelik
Häiringuteta mõõtmiste osakaal, %	0,0%	65,0%
Riskiala osakaal, %	31,6%	0,0%

Temperatuuri piirväärtuse kriteeriumi suurendamine lahendaks nimetatud probleemi, kuid tooks juurde uue ja tõsisema kitsaskoha. Nimelt võivad kõrge laotustemperatuuriga (katte pind 140°C) piirkondades asuvate häiringute

servaalade temperatuurid küündida 120°C-ni. Samas jahedate piirkondade (koormavahetus piirkond) laotustemperatuurid võivad olla sellest madalamad.

Ettepanekuna tuleb analüüsis loobuda üksnes piirväärtuse kriteeriumi kasutamistest. Analüüsi tuleb lisada erinevaid kontrollmeetmeid, mille abil kuumad häiringud eemaldatakse riskiala osakaalu arvutusest, kuid jahedad katte temperatuurid säilivad. Algoritm ei saa olla üheselt fikseeritud, vaid peab olema valitsevate oludega adapteeruv. Analüüs peab olema reguleeritud, et tagada ühtne arusaam. Vastasel juhul on ka samu algandmeid kasutades võimalik saada täiesti erinevad lõpptulemused. Analüüsi kvaliteet on võrdväärne seadme täpsusklassiga. Siiski võiks kaaluda lihtsustatud lähenemise rakendamise lubatavust B-klassi seadme puhul, kuna tingituna mõõtmispunkti suurusest ja abistava info puudumisest pole võimalik usaldusväärset analüüsi teha. Samas peab mõõtmiste teostaja tulemust hindama ja tooma analüüsis kohad, kus on kahtlus, et katte paigaldustemperatuur on langenud alla seatud piirväärtuse.

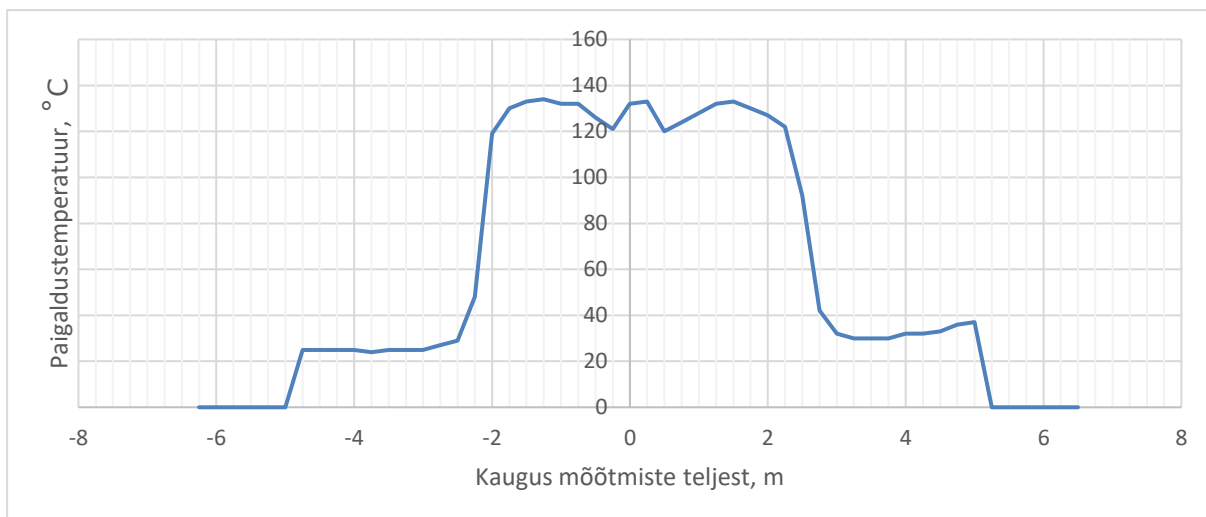
Servaalade tuvastamine - mõõtmiste intervalli mõju

Servaalade nõuetekohane eemaldamine eeldab tiheda ristsuunalise intervalliga mõõtmistulemuste salvestamist. Praktikas omandatud kogemused näitavad, et paani kumbki servaala võib kajastuda mitmes põiksuunalises mõõtetulemuses. Seetõttu on metoodikas lubatud eemaldada kuni 0,3 m laiune ala (seadme maksimaalne ristsuunaline intervall $\leq 0,1$ m). Kehtivatele nõuetele vastava seadme korral on seega võimalik eemaldada vähemalt 3 mõõtetulemust mõlemast servast.

Uurimistöö tulemusena selgus, et suuremat intervalli kasutava seadme puhul võib katte servaalade nõuetekohane eemaldamine osutuda probleemseks. RoadScan andmelogi analüüsides tekkis kohati olukordi, kus servaala mõju kajastus kummalgi paani serval 2 mõõtetulemuse ulatuses. Teisisõnu tuli katte laiusest eemaldada rohkem kui 0,30 m serva kohta (vt. joonis allpool).

3.00 m [°C] R	2.75 m [°C] R	2.50 m [°C] R	2.25 m [°C] R	2.00 m [°C] R	1.75 m [°C] R	1.50 m [°C] R	1.25 m [°C] R	1.00 m [°C] R	0.75 m [°C] R	0.50 m [°C] R	0.25 m [°C] R	0.00 m [°C] L	0.25 m [°C] L	0.50 m [°C] L	0.75 m [°C] L	1.00 m [°C] L	1.25 m [°C] L	1.50 m [°C] L	1.75 m [°C] L	2.00 m [°C] L	2.25 m [°C] L	2.50 m [°C] L
31	39	89	122	124	128	131	132	126	120	119	133	132	119	124	129	128	133	134	129	118	47	29
31	40	90	121	124	127	132	132	127	121	119	133	132	119	124	129	129	133	134	130	118	47	29
31	40	90	122	125	128	132	132	127	122	120	133	132	121	124	130	130	134	134	130	118	47	29
31	41	91	122	126	129	132	133	128	123	120	133	132	123	125	131	131	134	133	129	119	47	29
32	42	92	122	127	130	133	132	128	124	120	133	132	121	126	132	132	134	133	130	119	48	29
31	41	91	122	127	129	132	132	127	123	120	133	131	122	125	131	132	134	133	131	119	46	28
31	41	91	123	127	129	132	131	126	123	122	133	132	121	125	130	131	134	133	131	119	45	28
31	41	91	123	127	130	132	131	127	124	123	134	132	122	126	130	132	133	134	132	120	45	28

Joonis 81. Katte paigaldustemperatuurid RoadScan seadmega 03.09.2018 (jm 1778,31)



Joonis 82. Katte ristlõike temperatuurigraafik RoadScan seadmega 03.09.2018 (jm 1778,31)

Ülal toodud joonistelt on näha, et teatud juhtudel võib servaala tuvastamine olla keeruline. **Ettepanekuna** tuleks erineva täpsusklassiga mõõteseadmetele sätestada erinevad nõuded servaalade tuvastamisel. On selge, et mida väiksem on seadme põiksuunaline intervall, seda täpsemini ja väiksemate kadudega on võimalik tuvastada mõõdetava katte servaala (k.a. häiringute servaala).

IRI4 teaduslik analüüs

Piloteeritud boonussüsteemi üks osa oli kokkulepitust parema tasasusega teelõikude eest makstav boonus. Objektide lõikes oli arvutuslik väljamakstud boonus väga erineva suurusega (vt. tabel allpool).

Tabel 18. Pilootprojekti raames teenitud IRI4 boonused

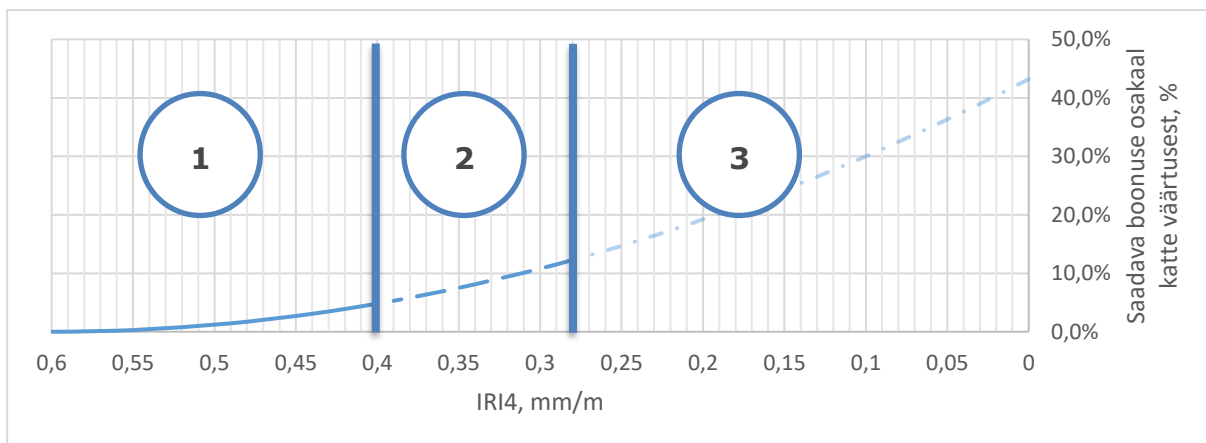
Objekt	Boonus (IRI4), €	% Tasust	% Katte väärtusest
Obj. 1	16148,15	1,30%	4,04%
Obj. 2	1512,39	0,32%	0,52%
Obj. 3	3413,57	0,31%	0,72%
KOKKU:	21074,11		

Tabelis kajastatud boonuse väärtused on arvutatud kaudsete meetoditega, kuna uurimistöö teostajal puudusid objektide finantsarvutuste andmed. Vastavad andmed olid olemas küll esimese objekti puhul, kuid ka selles oli boonuse arvutamisel lähtutud konstantsest katte laiusest.

Tasasuse pealt teenitava boonuse maksimaalne väärtus

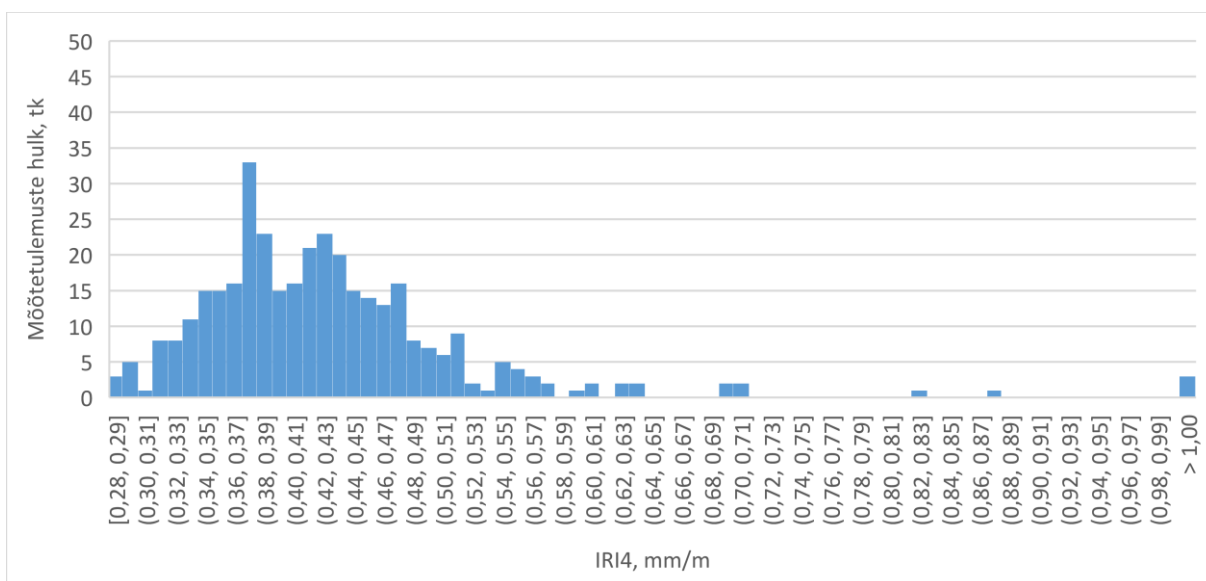
Piloteeritavas metoodikas on sätestatud, et maksimaalseks boonuse määraks on 5% Lepingus märgitud Tasust. Üleval olevast tabelist on näha, et IRI4 näitajate põhjal jäädi maksimaalsest piirmäärast kõikide objektide puhul kaugele (suurim osakaal Tasust oli 1,30%). Vaadeldes seevastu välja makstud boonuse osakaalu katte väärtusest selgub tõsiasi, et esimese objekti puhul moodustas see lausa 4,04%. Anomaalia põhjuseks on asjaolu, et vastava Lepingu Tasus sisaldus 6 erinevat objekti. Teisisõnu ei kajastanud kogu Tasu kuidagi vastava objekti tööde mahukust, mistõttu ei ole õige arvutada boonust metoodikas märgitud viisil.

Lähtudes kehtivast valemist on tasasuse pealt teenitava boonuse vahemik teoreetiliselt 0-43,2% arvestuslõigu maksumusest (vt. joonis allpool).

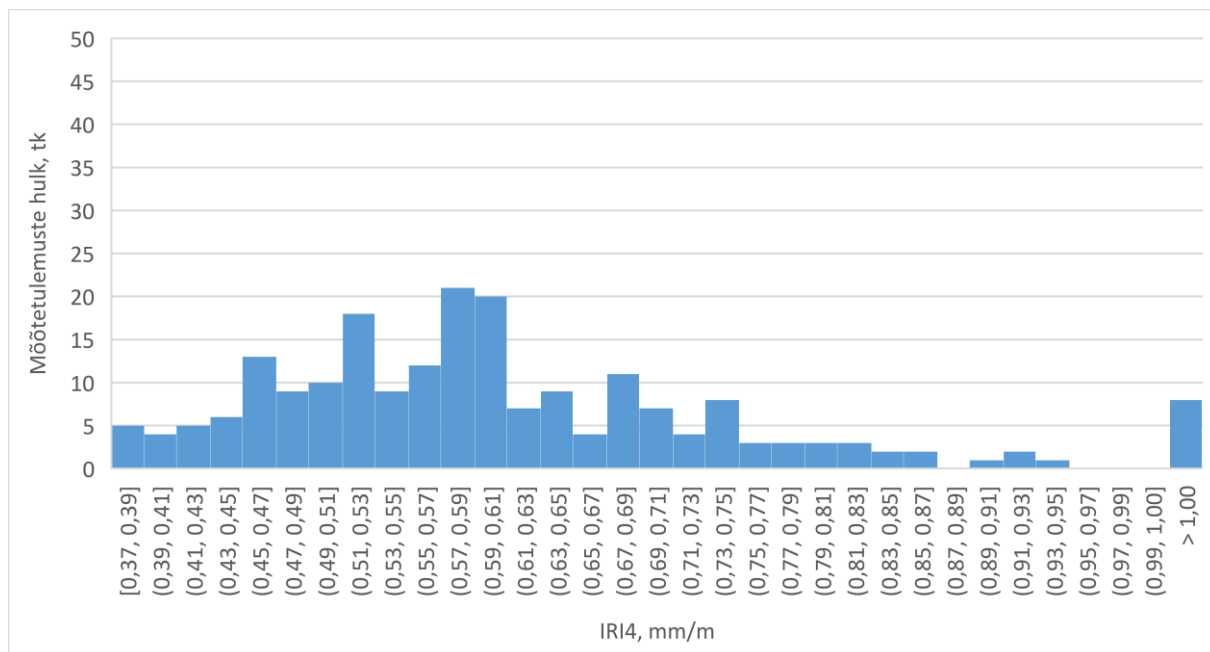


Joonis 83. Kokkulepitust parema tasetuse eest teenitava boonuse osakaal katte koguväärtusest

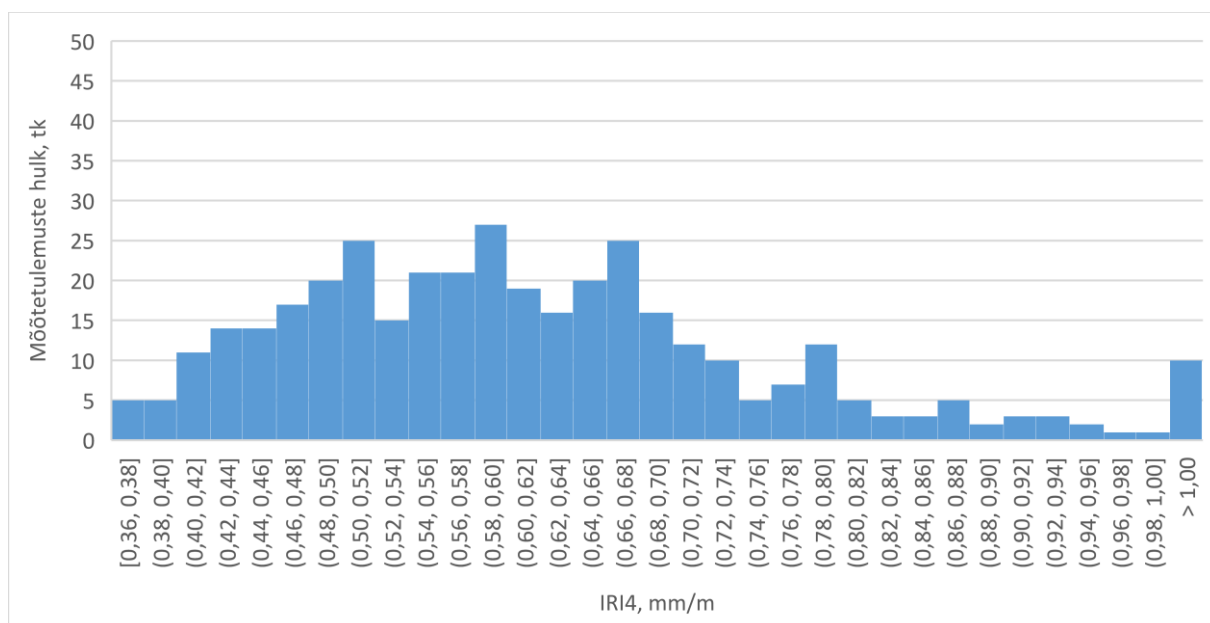
Ülal olev joonis on jagatud kolmeks: 1. reaalne (pidev joon), 2. juhuslik (tume katkendlik joon), 3. teoreetiline (hele katkendlik joon). Pikaajalisele mõõtmiskogemustele tuginedes võime öelda, et IRI4 alla 0,30 mm/m on harvaesinev ja võib esineda üksikutel arvestuslõikudel, kuid mitte kogu objekti ulatuses (vt. joonised allpool).



Joonis 84. IRI4 tulemused pilootobjekt nr. 1 (#92 km 28.26-35.193)



Joonis 85. IRI4 tulemused pilootobjekt nr. 2 (#22 km 25.93-30.00)



Joonis 86. IRI4 tulemused pilootobjekt nr. 3 (#22 km 3.50-10.00)

Pilootobjektide tasasuse andmeid analüüsides selgus, et minimaalse tasasusega 20 m arvestuslõik omas IRI4 väärtusarvu 0,28 mm/m (vt. joonis ülalpool). Kehtiva valemi kohaselt on sellise tasasuse eest teenitav boonus **12,3%** arvestuslõigul paigaldatud katte väärtusest.

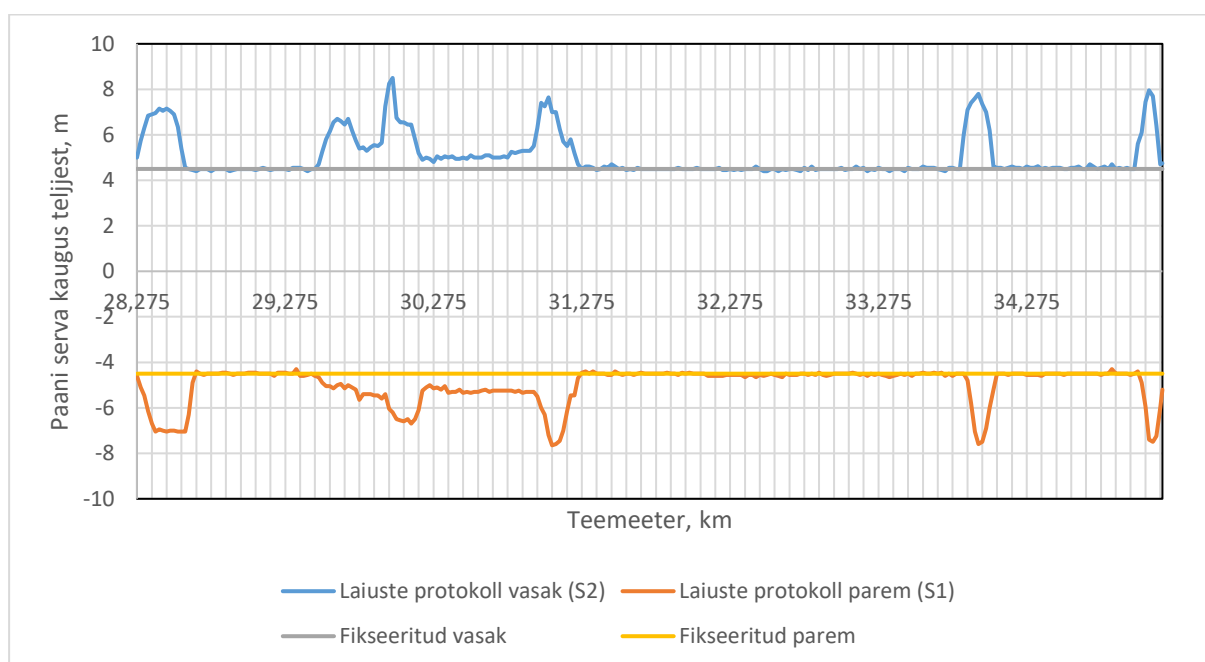
Tasasuse pealt teenitava boonuse sõltuvus katte laiusest

Metoodikas on sõnastatud, et tasasuse eest makstavat boonust arvutatakse 20 m arvestuslõikude kaupa, kusjuures arvesse võetakse kogu 20m pikkusel teelõigul paigaldatud katte pindala. Teisisõnu tuleks boonusarvutusi sooritades arvestada kogu paigaldatud asfaltkatte mahtu. IRI4 osas oli uurimistöös võimalik teostada objektikohased võrdlusandmed vaid ühel objektil (pilootobjekt nr. 1). Töövõtja arvutusi kontrollides selgus, et boonusarvutusi teostades oli kattele määratud kogu selle ulatuses konstantne laius 4,5 meetrit. Laiuse üldistamisest tekkivad erinevused mahtudes on kujutatud allolevas tabelis.

Tabel 19. Riigimaantee 92 väljamakstud boonuste sõltuvus paigaldatud katte mahust

Parameeter	Katte maht, m ²	Osakaal tervikust, %
RA arvestatud	65840	100%
IRI4 arvestatud	60660	92%

Tabelist näeme, et vastava objekti puhul hinnati IRI4 arvutustes 92% kogu paigaldatud katte pindalast. Kui ühest küljest vähendab töövõtja selliselt võimaliku teenitava boonuse hulka, siis teisest küljest väheneb ka võimaliku mahaarvamise maht (vt. joonis allpool).



Joonis 87. Arvestusliku ja reaalse katte laiuse võrdlus (riigitee nr 92 Tartu – Viljandi – Kilingi-Nõmme)#92 näitel)

Joonisel on kujutatud töövõtja poolt sätestatud 4,5 m paani võrdlus reaalselt mõõdetud katte laiustega (andmed pärinevad laiuste mõõtmise protokollist 25 m sammuga). Töövõtja teostatud arvutuste ja metoodikas sõnastatud arvutuskäigu võrdluseks arvutati uurimistöö käigus täiustatud analüüs (vt. tabel allpool).

Tabel 20. Boonuse suuruse sõltuvus katte laiusest (#92 näitel)

Parameeter	Töövõtja	Metoodika	Muutus
Boonus, €	16148,15	18537,03	14,8%
Mahaarvamine, €	27,60	31,80	15,2%

Tabel näitab, et antud objektil muutis erinev arvutamistii nii teenitavat boonust kui ka mahaarvamist ca 15%, kuid tasub silmas pidada, et tegemist on vaid ühe objekti tulemustel põhineva väitega. Igale 20 meetrisele arvestuslõigule vastava laiuse määramine võib osutuda keeruliseks, kuna nõutava tihedusega andmed on raskesti kättesaadavad (needki enamasti mitte digitaalsel kujul).

Ettepanekud tasasuse pealt teenitava boonuse defineerimiseks

IRI4 teaduslik analüüs põhineb pilootobjektide tulemustele, millest teaduslik analüüs on teostatud vaid esimesele objektile. Teistelt objektidelt vajalikke andmeid uurimistöös kasutamiseks ei saadud.

Esimese ettepanekuna tuleks boonussüsteem siduda reaalse katte väärtusega. Hetkel hinnatakse boonuse määra Lepingus märgitud Tasust lähtuvalt, kuid ühishangete korral ei kujuta see reaalse objekti parameetreid. Seetõttu kogu lepingu Tasu põhine arvestus ei ole põhjendatud ega loogiline.

Metoodikas tuleb selgemalt kirjeldada, millistel alustel boonust tuleb arvutada. Kuna finantsarvutusi teostab omanikujäreelvalve, siis on soovitatav kaaluda üleminemist lihtsustatud arvutusmetoodikale (fikseeritud laiuse põhine arvutus). Nimetatud arvutust on lihtsam teostada ning kontrollida. See tagab üheselt mõistmise ning elimineerib hilisemad pretensioonid. Igal juhul ei tohi metoodikas olla kaheti mõistmise võimalust.

IRI pealt makstav bonus võib teatud juhtudel kasvada üle 10%, mistõttu tuleks kaaluda tasasuse pealt makstava boonuse osakaalu piiramist katte

kogumaksumusest (nt. 5%). Alternatiiv on kehtestada maksimaalne boonuse osakaal 20 meetrise arvestuslõigu ulatuses. Piiramist õigustab ka asjaolu, tasasuse pealt määratava boonuse teenimiseks ei pea Töövõtja tegema lisakulutusi mõõtmiste teostamisele, kuna katte tasasus tuleb määrata igal juhul. Seevastu riskialade mahu tuvastamiseks peab töövõtja tegema lisanduvaid kulutusi mõõtmistele.

Ettepanekud metoodika täiustamiseks

Piloteerimise eesmärgiks oli tuvastada kitsaskohad ja erinevused seadmete töös, monitoorimisel, analüüsis ja metoodikas endas. Paralleelmõõtmiste korraldamine ja mõõtmiste teostamine erinevates tingimustes löid ulatusliku toetuspinna, millele tuginedes on võimalik kehtivat metoodikat asjakohasemaks muuta.

Termograafilise info teadusliku analüüsi tulemusena avastati kehtivas metoodikas mitmeid kitsaskohti, mis tuleks enne vastavate mõõdistustööde regulaarseks muutumist korrastada. Lähtudes turul olevate seadmete erinevast võimekusest (vt. tabel allpool) tuleks mõõteseadmed jagada eri klassidesse, millest sõltuvalt muutuks ka teenitav boonus.

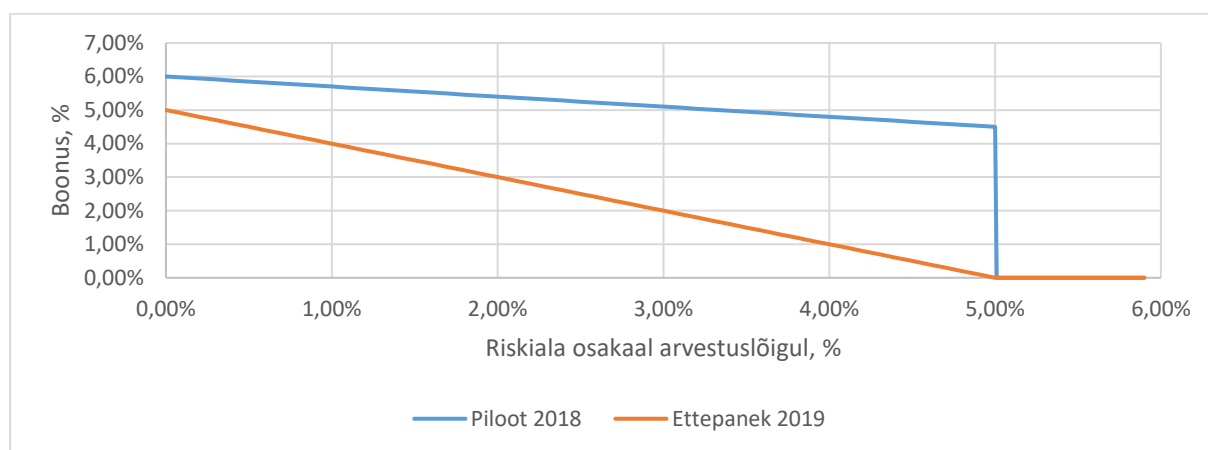
Tabel 21. Turul olevate termograafiliste seadmete võrdlus

Parameeter	TGS	Vögele RoadScan	GPTux	RDTD Paver (Roadscanners)	MOBA Pave-IR
1. Mõõtmiste laius	6m	10m	5m	*	*
2. Termopiltide salvestamise võimekus	+	-	-	+	-
3. Temperatuuride info koos asukoha ja ajatempliga	+	+	+	+	+
4. Pikisuunaline intervall	< 0,1m	0,25	< 0,1 m	< 0,1 m	0,25
5. Põiksuunaline intervall	< 0,1 m	0,25	< 0,1 m	< 0,1 m	0,25
6. Servaalade eemaldamise võimekus	< 0,3 m	> 0,3 m	< 0,3 m	< 0,3 m	> 0,3 m
7. Mõõtmiste kaugus laoturi tagaservast	4,5m	2m	2m	*	*
8. Reaalajas jälgimine	+	+	+	+	+
9. Mõõtmiste asukoha täpsus (teemeeter)	±0,1m	ca ±3,5%	*	±0,1m	*
10. Laoturi liikumise kiirus	+	-	+	+	+
11. Seadme täpsus temperatuuri mõõtmisel	±2%	±2% / ±2°C	±2 °C	±2% / ±2 °C	±2% / ±2 °C
12. Sobivus laoturitele	piirangud puuduvad	Vögele	piirangud puuduvad	piirangud puuduvad	piirangud puuduvad
13. Temp mõõtmisvahemik	0...180°	0...250°	0...175°	0...250°	0...280°

Tabelis on kujutatud hetkel turul olevad katte paigaldustemperatuuride mõõtmise teenust pakkuvad termograafilised seadmed. Tärniga on märgitud suurused, mida seadmete tootekirjeldusest pole võimalik üheselt välja lugeda. Andmed pärinevad seadmete/teenusepakkujate tootekirjeldustest.

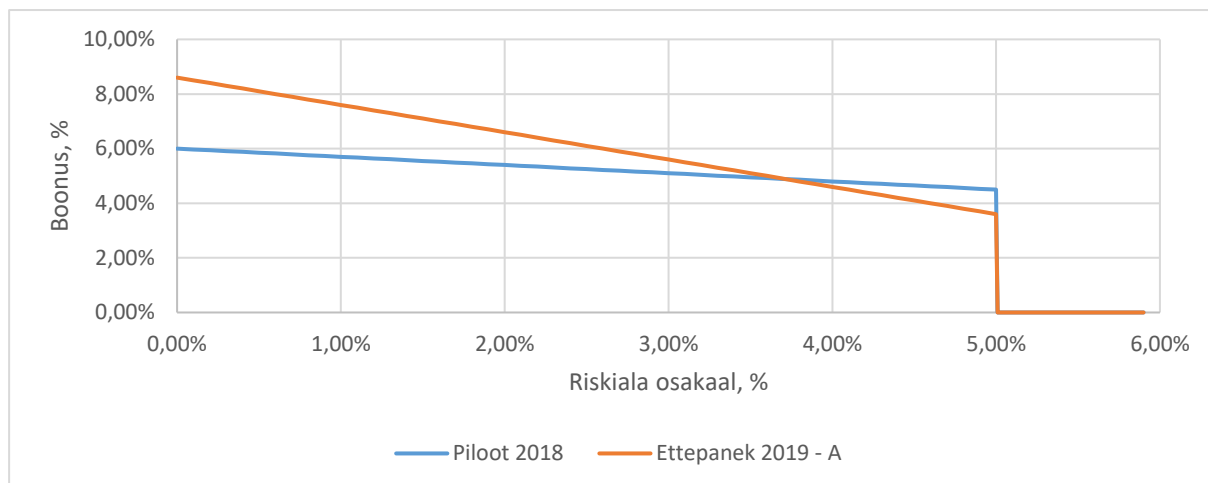
Lisaks on uurimistööle tuginedes vajadus täiustada boonusarvutus valemit. Piloteeritud meetodikas on teenitav boonus sõltuv vaid arvutuslikust riskiala osakaalust, kusjuures boonuse rahaline vahe 0...5% juures on vaid 25% (vt. joonis allpool). Teaduslik uuring andis kinnitust, et lisaks riskialale peaks teenitavat boonust mõjutama ka seisakute arv.

Tabel 22. Boonus riskiala vältimise eest (piloot vs ettepanek)



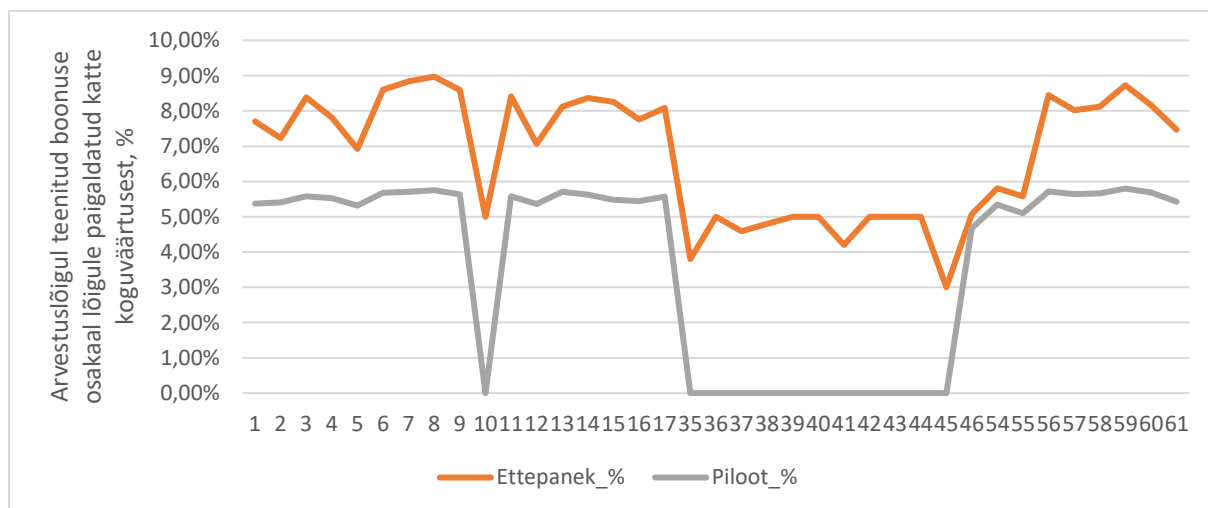
Jooniselt näeme, et piloteeritava meetodika puhul oli tegu astmelise süsteemiga. Kui 5,0% riskiala osakaalu juures oli töövõtjal võimalik teenida 4,5% arvestuslõigu väärtusest, siis 5,01% juures boonust enam ei määratud. Tegu on suure hüppegaga, mis ei ole kuidagi põhjendatud ega vastavuses töövõtja panusega mõõtmistesse ja töösse ning võib töövõtjates seetõttu küsimusi tekitada.

Teaduslik uuring andis kinnitust, et lisaks riskialale peaks teenitavat boonust mõjutama ka seisakute arv. Boonuse teenimiseks oleks soovituslikult maksimaalseks seisakute arvuks 1000 m arvestuslõigu korral 10 (välja arvatud) ning lühemate arvestuslõikude korral tuleks piirväärtust proportsionaalselt vähendada (vt. joonis allpool).



Joonisel on kujutatud näidis arvestuslõik, mille jooksul laotur on sooritanud 2 seisakut. Ettepanekuna tehtava boonuse sisse on arvetatud ka mõõtmisboonus, mida on töövõtjal võimalik teenida kasutades kõrgema klassiga (A-klass) mõõteseadet (pakutav mõõtmisboonus 2%). Seisakute kasvamisel langeb ka boonus, mistõttu tulemus on rohkem sõltuv teostatud töö kvaliteedist.

Vaadeldes pilootobjektide raames saavutatud boonuseid ning võrreldes neid ettepanekuna tehtava meetoodika põhise arvutusega selgub, et tulemused seostuvad paremini realselt teostatud tööde kvaliteediga (vt. joonis allpool).



Joonis 88. Piloteeritud ja soovitusliku meetoodika võrdlus

Ülal kujutatud ettepanekus on kasutatud näitena termopilte salvestavat A-klassi mõõteseadet, mistõttu maksimaalseks boonuseks riskialade ja seisakute vältimise eest kujuneks 10%. Uurimistöö käigus täiustatud mõõtmismetoodika on täies mahus kajastatud lisan 7. Piloteeritud ja pakutava meetoodika arvutuslikud erinevused on kajastatud digitaalses lisan 3.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Maanteeamet. „Riigiteede pealiskatete vastuvõtukatsetel teostatavate teekatete omaduste mõõtmise meetodika ning mõõteseadmetele esitatavad nõuded“. Tallinn 2016
- [2] Rapport från besiktning av objektet E 20 K1 TPL Vasa – Södertälje 1998 – 2013. CA Konsult. Bollebygd/Stockholm 2014
- [3] Teede Tehnokeskus. „Asfaltkatete laotamise tehnoloogiate võrdlemine ja kvaliteedi kontrollimisel rakendatav uuring“. Tallinn 2014
- [4] Applications Technology. VÖGELE RoadScan. TEMPERATURE – MEASUREMENT SYSTEM.
- [5] Teede Tehnokeskus. „Asfaltkatteid mittepurustava vastuvõtusüsteemi väljatöötamine“. Tallinn 2014
- [6] S. Sebesta, T.Scullion, T.Saarenketo – Using Infrared and High-Speed Ground-Penetrating Radar for Uniformity Measurement on New HMA Layers – Report S2-R06C-RR-1. SHRP 2. TRB. Washington D.C. 2013
- [7] Lemminkäinen. „Digipilotointi Moba IR-scanner. Lopuraportti“. Helsinki 2018.

LISAD

LISA 1

1. Üldosa

Käesolevas dokumendis on kirjeldatud, milliseid boonuseid makstakse Töövõtjale, kui Töövõtja on paigaldanud Tellijale Lepingus kokkulepitud miinimumnõuetest kõrgematele nõuetele vastava Lepingu esemeks oleva Töö koosseisu kuuluva teekatte. Antud juhul on tegemist pilootprojektiga, kuhu Maanteeamet on esialgu kaasanud teekatte taastusremondi objektid, mille käigus paigaldatakse olemasolevale teekattele uus kulumiskiht. Maksimaalseks boonuse määraks on 5% Lepingus märgitud Tasust? Juhul, kui arvutuslik boonuse maksumus ületab 5% piirmäära, on Töövõtjale makstavaks boonuseks 5% Lepingus märgitud Tasust. Töövõtjal puudub kohustus boonuste süsteemi rakendada, st Töövõtjal on õigus välistada võimalik boonuse saamine. Töövõtja peab Tellijat boonuste süsteemi kasutamise kavatsusest teavitama 14 päeva jooksul peale Lepingu sõlmimist, vastasel korral ei rakendada boonuste süsteemi.

2. Boonuse maksmise eeldused ja tingimused

Boonuse maksmise eelduseks on alltoodud neli tingimust, mis peavad olema täidetud samaaegselt:

1. Objekti lõpptähtaega ei ole ületatud rohkem kui üks nädal Töövõtja süül;
2. Kõikide Töövõtjale määratud leppetrahvide summa ei ületa **1%** Tasust;
3. Töövõtja poolt ei ole esinenud järgmisi Lepingu tingimuste rikkumisi: Lepingu nõuetele mittevastava materjali või tõendamata omadustega materjalide tarnimine Tellijale;
4. Lõikude eest, mille eest soovitakse boonust saada, tuleb paigaldatud teekatte poorsuse ja tihendusteguri määrangud teha maaradariga.

2.1. Kokkulepitust parema tasasusega teelõikude eest makstav boonust

Juhul, kui kahe kuni nelja nädala jooksul pärast katte paigaldamise lõpetamist mõõdetud asfaltkatte tasasust iseloomustava **IRI4** väärtusarv on 20 m lõikudel väiksem kui **0,6 mm/m**, siis makstakse Töövõtjale boonust 20 m pikkuste lõikude kaupa alljärgneva valemi alusel:

$$B = 0,02 \times 60 \times (0,6 - IRI4)^2 \times H \times F$$

Kus:

B – maksumuse suurendamine (boonust), €;

IRI4 – 20 m pikkusel lõigul mõõdetud IRI4 väärtus, mm/m;

H – katte hind, €/m²;

F – 20 m pikkusel teelõigul paigaldatud katte pindala, m².

Boonuse maksmise arvutamine tehakse paralleelselt IRI4 tasasuse finantsarvutusega, kusjuures finantsarvutuste tabelisse lisatakse täiendav lisaveer tähistusega „B“.

2.2. Boonuse maksmine riskialade vältimise eest

Juhul, kui paigaldatava teekatte riskialade osakaal on alla 5% (kaasa arvatud), siis makstakse Töövõtjale boonust alljärgneva valemi alusel:

$$B = 0,06 \times (1 - \frac{R}{20}) \times H \times F$$

Kus:

B – maksumuse suurendamine (boonus), €;

R – Riskialade osakaal paigaldatud kattel, %;

H – katte hind, €/m²;

F – boonuse maksmisse kaasatud arvestusloigule paigaldatud katte pindala, m².

3. Katte paigaldustemperatuuri mõõtmise ja riskialade määramise metoodika

Käesoleva metoodika on välja pakkunud Eesti Asfaldiliit MTÜ Maanteeametile 19.12.2017 saadetud kirjaga ja selle eesmärk on kirjeldada ühtsed reeglid katte paigaldustemperatuuri mõõtmiste teostamiseks ning mõõtmistulemuste alusel boonuse maksmiseks. Metoodika on koostatud kasutamiseks piloteerimise eesmärgil 2018. aasta pilootobjektidel.

Varasemad uuringud on näidanud, et katte paigaldustemperatuur ja selle ühtlus on üks olulisemaid parameetreid ja indikaatoreid ühtlase kvaliteediga (tihedusega) katte saavutamisel. Samas mõjutavad seda indikaatorit mitmed tegurid, millele töövõtja peab tähelepanu pöörama kogu tootmisprotsessi vältel – lähtematerjali ladustamisel, segu tootmisel, veol ja paigaldamisel. Nende tegurite mõju arvestamine ja minimeerimine nõuavad töövõtjalt väga suurt tähelepanu ja pingutust. Motivatsioonisüsteemi eesmärk on soodustada innovatiivust, insenerlikku mõtlemist ning anda töövõtjatele rakendatavate meetmete (nt. eelsöötja, -segaja) valikuks ja rakendamiseks vabad käed.

Boonuse maksmist õigustab muuhulgas asjaolu, paigaldustemperatuuri ühtluse maksimeerimine on täielikult töövõtja kontrolli all.

Katte paigaldustemperatuuride mõõtmise eesmärk käesoleva metoodika kohaselt on saada katte paigaldustemperatuuride ühtluse kohta usaldusväärset teavet rakendamiseks koos asjakohase motivatsioonisüsteemiga, mis võimaldaks Töövõtjale kohest tagasisidet ja motiveeriks rakendama kõige tõhusamaid meetmeid katte parema kvaliteedi saavutamiseks.

Metoodika koostamisel on võetud aluseks Soome ja Rootsi vastavad metoodikad ning kohandatud Eesti oludele sobivamaks.

3.1. Nõuded mõõtmistele

Töövõtja peab pidevalt mõõtma katte temperatuuri paigaldamise ajal vahetult laoturi taga ning jälgima temperatuuri vastavust kuni 5 m laiuse kattepaani korral kogu paigalduse laiuses ning üle 5 m laiuse katte paani korral vähemalt 5m laiuselt. Katte paigaldustemperatuuri mõõtmiseks ja jälgimiseks tuleb kasutada selleks ettenähtud seadet, mis salvestab termopildid ning lisaks temperatuuride info koos asukoha ja ajatempliga. Mõõtmiste intervall peab olema kuni 1 m pikisuunas ning kuni 0.1 m põiksuunas. Mõõtmised tuleb teostada vähemalt põhiradade ulatuses. Mõõtmised tuleb teostada laoturi tagaservast 2-5 m kaugusel. Laoturi meeskonnal peab olema võimalus pidevalt jälgida paigaldustemperatuure reaajas kogu paigalduse laiuses. Mõõteseadet peab mõõtma ning koguma ja salvestama järgmist teavet: katte temperatuurid koos järgmise infoga iga mõõdetud temperatuuri kohta: mõõtmise aeg, mõõtmise asukoht piki ja põiki teed (koordinaat ja teeaddress), laoturi liikumise kiirus, viide termopildile (avatav hüperlink). Seadme täpsus temperatuuri mõõtmistel peab olema vähemalt ±2C. Temperatuuri mõõtmise andur peab olema kalibreeritud. Mõõtmine peab toimuma pidevalt ja katkestuseta.

3.2. Boonuse rakendamise ulatus ja eesmärk

Boonuse eesmärk on soodustada innovatiivsete kvaliteedi tagamise meetodite arengut ja kasutuselevõttu töövõtjate poolt ning nõutust oluliselt parema kvaliteedi saavutamist. Temperatuuri ühtlus on katte pikaajalisuse ja tiheduse ning homogeensuse saavutamisel üks olulisemaid näitajaid ja samas täpsemini ja ülevaatlikumalt mõõdetavaid komponente, mistõttu selle mõju lõpptulemusele on määrava tähtsusega.

Boonuse rakendatakse riskialadele arvestuslõikude kaupa. Arvestuslõigu pikkuseks on 1000 m, va. vahetuses paigaldatud kattepaani viimane lõik, mis võib olla lühem kui 1000 m. Boonust arvestatakse iga arvestuslõigu kohta eraldi.

Riskiala määratlus: Riskialaks loetakse vähemalt $0,1 \text{ m}^2$ suurust ala, mille temperatuur on alla 90% eelneva 100 m katte keskmisest temperatuurist. Esimese 100 m puhul arvestatakse riskiala sama 100 m keskmise alusel.

Katte keskmise temperatuuri arvutamiseks eemaldatakse mõõtmisandmetest kuni 0,3m laiused katte servaalad katte servast ning häiringud – mõõtmistulemused, millised ei iseloomusta katte temperatuuri (nt. inimene, teerull). Boonuse rakendamiseks peab häiringuteta alade osakaal pärast katte servaalade eemaldamist alles jäävast mõõtmiste mahust (mõõdetud katteosa) olema vähemalt 95%. Boonuse arvutamisel võetakse katte laius arvesse koos servaaladega, kuid mitte laiemalt kui 5m.

3.3. Aruandlus

Mõõtmiste kohta tuleb Töövõtjal koostada ja Tellijale esitada peale ehitusobjekti katte paigaldust 45 päeva jooksul aruanne, mis sisaldab järgnevat:

- Boonuse arvutuse aruanne järgmise infoga iga arvestusliku lõigu kohta: mõõtmise kuupäev, mõõdetud rada, 1000m lõigu aadress, mõõtmistega kaetuse protsent (%), häiringuteta mõõtmiste osakaal (%), seisakute¹ arv ja nende ajaline kestvus, riskiala osakaal (%);
- Kattetemperatuuride andmed visualiseerituna veebirakenduses – katte temperatuurid (nn. „termovaip“) ning iga ristlõike miinimum-, maksimum- ja 100 m keskmine temperatuur, riskiala osakaal (joongraafikud);

Samuti peab Töövõtja säilitama mõõtmisseadme poolt salvestatud mõõtmisandmed tabelina, csv-formaadis ning termopildid jpg formaadis.

¹ **Seisakuks** loetakse laoturi enam kui 2 minuti pikkust paigalolekut. Kõik 5m sisse jäävate peatuste aeg summeeritakse üheks paigalolekuks. Paigalolekuks loetakse ka liikumist kiirusega alla 2.5 m/min.

LISA 2

Meie 15.10.2018.a.

Radarmõõtmiste protokoll

Tihendustegurite ja jäävpoorsuste tulemused

- Tellija:** Kristiina Lobrev
tööjuht
AS TREF
- Töö ülesanne:** Riigimaantee nr 92 Tartu - Viljandi - Kilingi-Nõmme km 28.260-35.193 jäävpoorsuste ja tihendustegurite mõõtmine
- Mõõtmiste kirjeldus:** Mõõtmised teostati maaradariga (GSSI 1 GHz antenniga) 15.09.18 AS Teede Tehnokeskuse poolt. Mõõtmiste kalibreerimiseks puuriti 16 puurkeha
- Kalibreerimine:** 16 puurkeha (sh 4 puurkeha vuugist) on võetud ja katsetatud AS Teede Tehnokeskuse akrediteeritud laboratooriumi poolt (labori protokoll Lisa 3)
- Alusdokumentatsioon:** "Riigiteede pealiskatete vastuvõtukatsetel teostatavate teekatete omaduste mõõtmise meetoodika ning mõõteseadmetele esitatavate nõuete kinnitamine", Maanteeameti peadirektori 28.11.2016 käskkiri nr 0223
- Lõpptulemused:** Mõõdetud tihendustegurite ja jäävpoorsuste protokoll
- Lisad:** **Lisa 1** Tihendustegurite ja jäävpoorsuste algandmed ja koondtulemused
Lisa 2 Tihendustegurite ja poorsusnäitajate normaaljaotused radade kaupa
Lisa 3 AS Teede Tehnokeskuse laboratooriumi protokoll
Lisa 4 Maaradari kalibreerimisandmed
Lisa 5 Seguretsepti andmed
Lisa 6 Jäävpoorsused ja tihendustegurid meetrite kaupa (eraldi Exceli failis)

Saadud tulemused kehtivad ainult ülalnimetatud objekti kohta

Mõõtis ja analüüsis: Veiko Tikas
Peaspetsialist

Kontrollis: Marek Truu
Osakonnajuhataja

Protokolli osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda arenduse ja uuringute osakonna kirjalik luba.
Arenduse ja uuringute osakond väljastab ainult värvitrüki protokolle.

LISA 1 Tihendustegurite ja jäävpoorsuste algandmed ja koondtulemused

Objekti algandmed:

Objekti alguspikett:	282+62
Objekti pikkus, m:	6 938
Radade arv:	2
Vuukide arv:	1
Asfaltsegu mahumass (kg/m ³ ; Lisa 3):	2 457
Asfaltsegu erimass (kg/m ³ ; Lisa 3):	2 484
Vuugi minimaalne tihendustegur:	0,94
Katte minimaalne tihendustegur:	0,98

Kate: AC16surf 70/100	
max lubatud jp. %	5,0
min lubatud jp. %	1,5

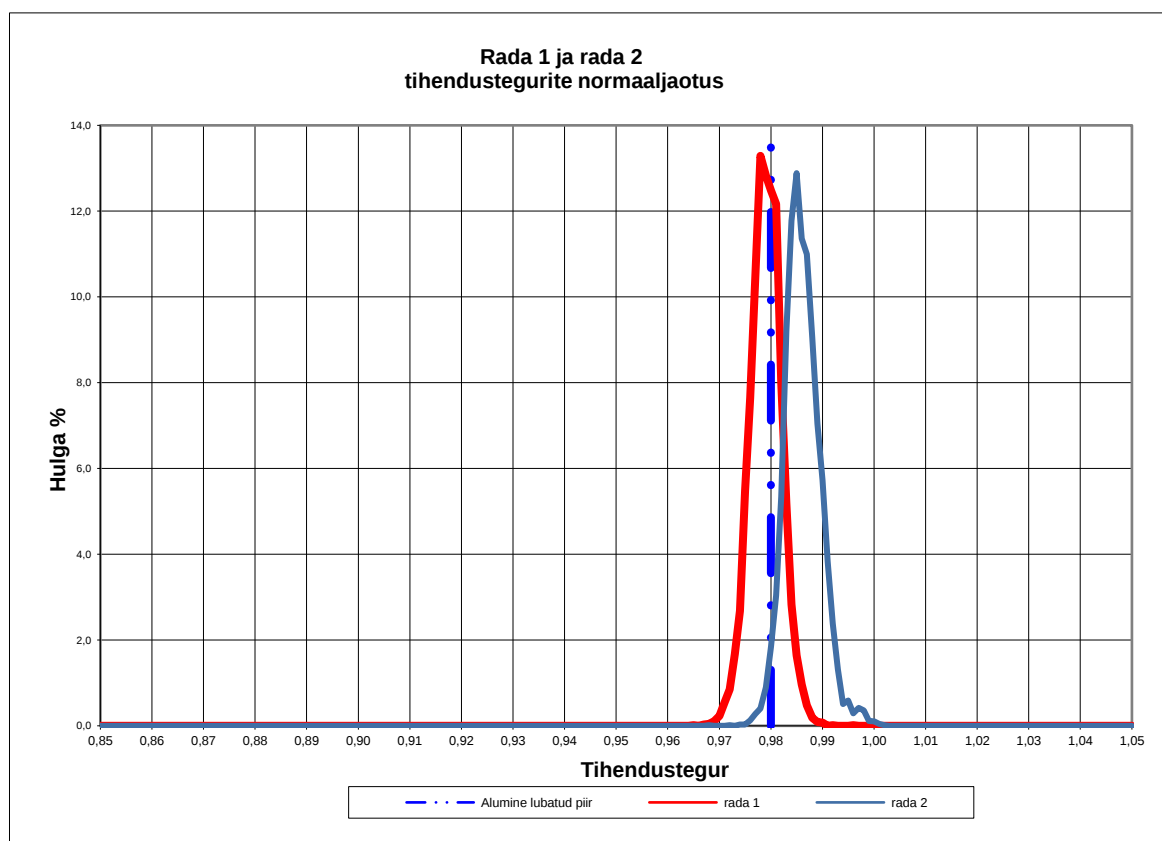
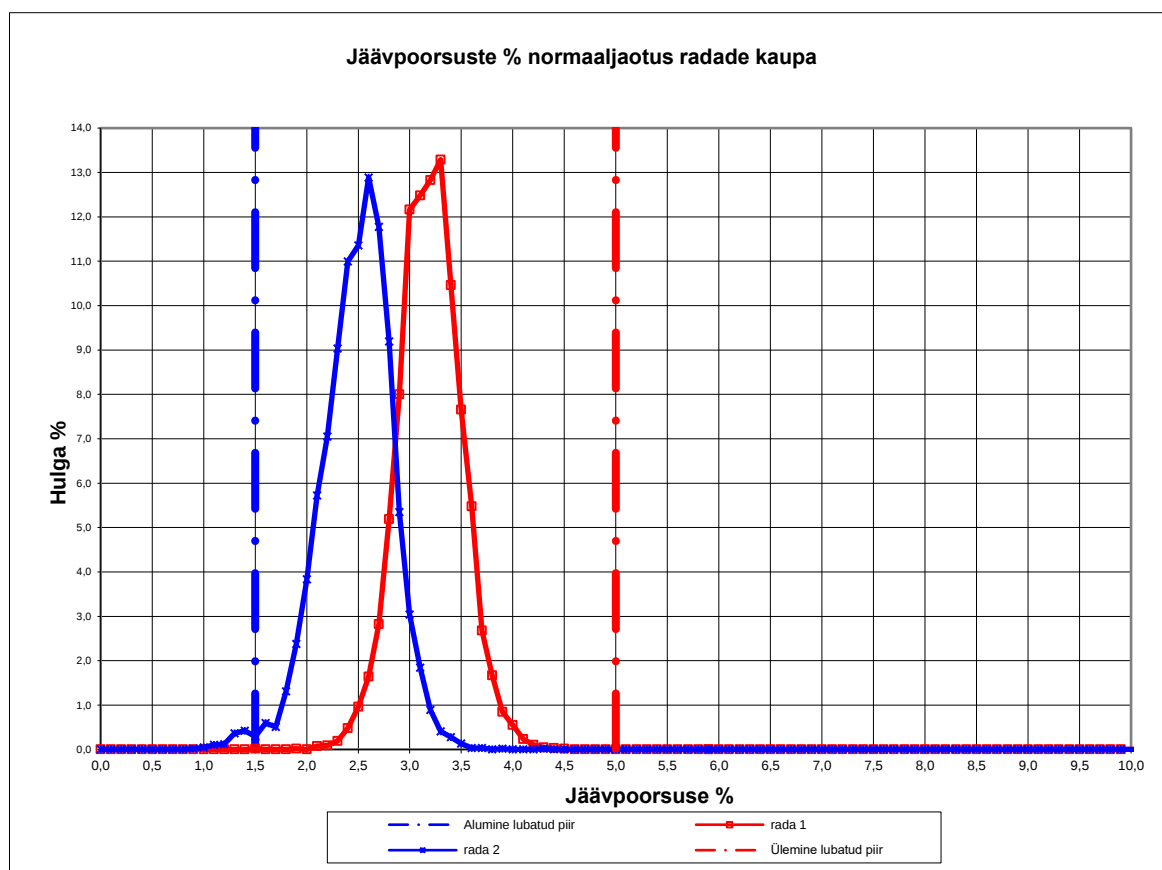
Objekti koondtulemused:

		RADA 1	RADA 2	KOKKU	VUUK
Jäävpoorsuste %	min	1,50	0,90	0,90	2,20
	keskmine	3,20	2,49	2,84	5,32
	max	4,50	4,30	4,50	8,50
Tihendustegur	min	0,965	0,968	0,965	0,925
	keskmine	0,979	0,986	0,979	0,957
	max	0,996	1,002	0,996	0,989

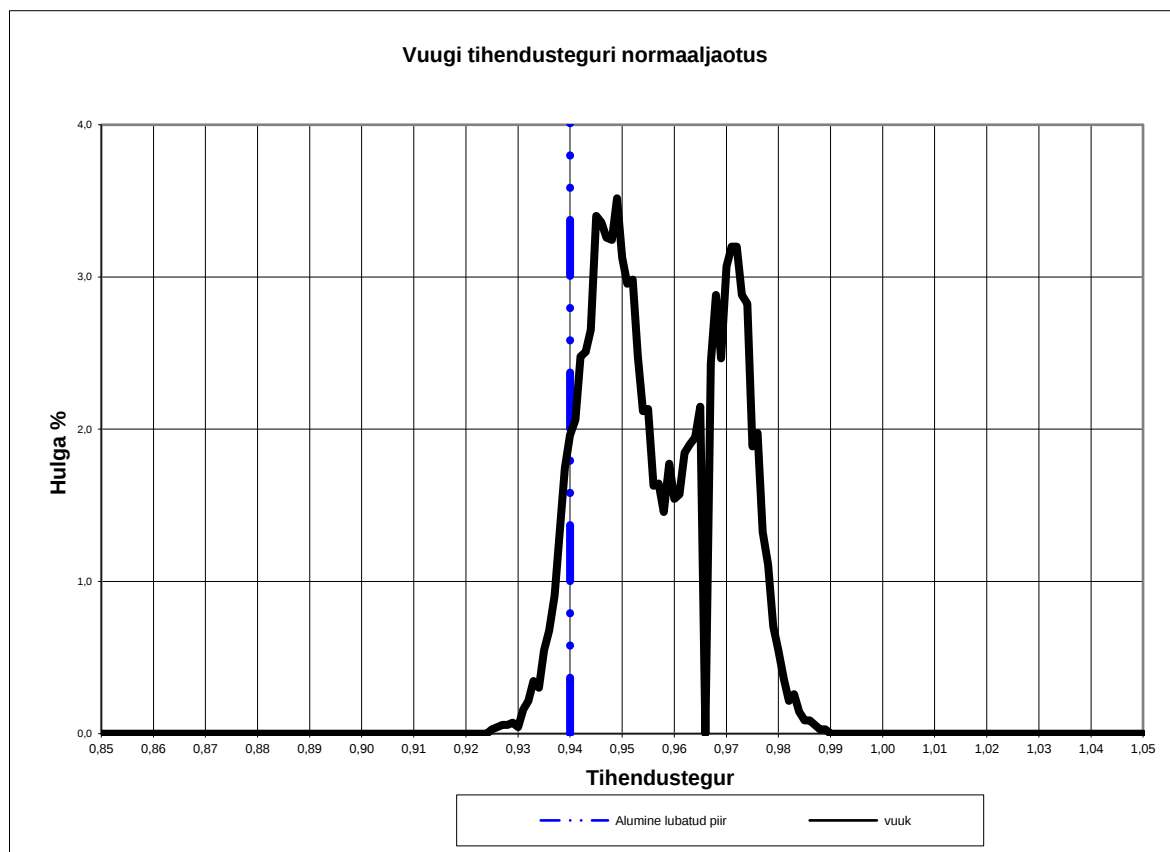
Märkused:

- 1) Mõõtelõikude kalibreerimisel on Tellija poolt saadud info põhjal eeldatud, et riigimaantee nr 92 Tartu - Viljandi - Kilingi-Nõmme km 28.260-35.193 on tegemist ühesuguse AC16surf 70/100 segureseptiga - seega kalibreerimiseks on valitud poorsust iseloomustama 8 puuraugu labori teimide andmed.
- 2) Labori teimide asfaltsegu mahumassi ja erimassi kasutatakse tihendusteguri arvutamiseks poorsuse kaudu.
- 3) Mõõdetud radade pikkus on paika kalibreeritud objekti alguses ja lõpus asunud piketaazi-märkide järgi. Rada 1 asub paremal pool, Rada 2 vasakul pool.
- 4) Tihendustegurite ja jäävpoorsuse nõuded on võetud „Asfaldist katendikihtide ehitamise juhise“ (kinnitatud Maanteeameti peadirektori 23.12.2015.a käskkiri nr 0314)

LISA 2 Tihendustegurite ja poorsusnäitajate normaaljaotused radade kaupa



LISA 2 Tihendustegurite ja poorsusnäitajate normaaljaotused radade kaupa



KATSEPROTOKOLL

NR 4551/18

27.09.2018 nr 7-6.4/4952

Lk 1/2

Tellija: Teede Tehnokeskus AS Arendus ja Uuringud osakond – Veiko Tikas

Töö ülesanne: Puurproovide katsetamine

Proovid:
Objekt T92 Tartu – Viljandi – Kilingi-Nõmme km 28,260-35,193

Võtmise koht Vastavalt skeemile

Võtmise aeg ja võtja

20.09.2018 13:30,

A. Pall, Teede Tehnokeskus AS

Toomise aeg ja tooja

20.09.2018 19:30,

A. Pall, Teede Tehnokeskus AS

Tellija poolne tähistus

Puurproovid 9-16

Labori reg nr

5518

Katsetamine ja tulemused

Puurproovide paksused määrati EVS-EN 12697-36 järgi, mahumass EVS-EN 12697-6 (meetod B) järgi.

Tihendustegurite arvutamiseks valmistati laboratoorsed proovikehad EVS-EN 12697-30 (2x50 lööki) järgi.

Jäävpoorsuste arvutamiseks määrati näiv erimass EVS-EN 12697-5 (meetod A, vees, 20,0°C) järgi.

Puurkeha						Asfaltsegu	
Tellija tähistus		paksus mm	mahumass Mg/m ³ ρ _{bssd}	jääv- poorsus % V _m	tihendus- tegur	mahumass Mg/m ³ ρ _{bssd}	erimass Mg/m ³ ρ _{mv}
nr	Proovivõtu koht						
Pealmine kiht							
9	PK 317+98	40	2,347	5,5	0,96	2,457	2,484
10v	PK 318+02	47	2,377	4,3	0,97		
11	PK 330+96	40	2,408	3,1	0,98		
12v	PK 330+95	45	2,298	7,5	0,94		
13v	PK 336+98	45	2,341	5,8	0,95		
14	PK 337+02	44	2,381	4,1	0,97		
15	PK 347+97	46	2,424	2,4	0,99		
16v	PK 348+04	43	2,314	6,8	0,94		

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovide kohta.

Vastutav teostaja

Amet Labori peaspetsialist
Nimi Markus Mänd

/allkirjastatud digitaalselt/

Protokolli osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba. Labor väljastab värvilise templiga või digitaalselt allkirjastatud katseprotokolle. Katseprotokollis ei pruugi kajastuda kõik katsestandardis nõutud taustandmed.

Puurimisskeem**Tee 92 Tartu - Viljandi - Kilingi-Nõmme km 28.260-35.193****Jäävpoorsuse mõõtmine.****Kalibreerimispuuraukude asukoha skeem**

Ehitaja:

Kristiina Lobrev

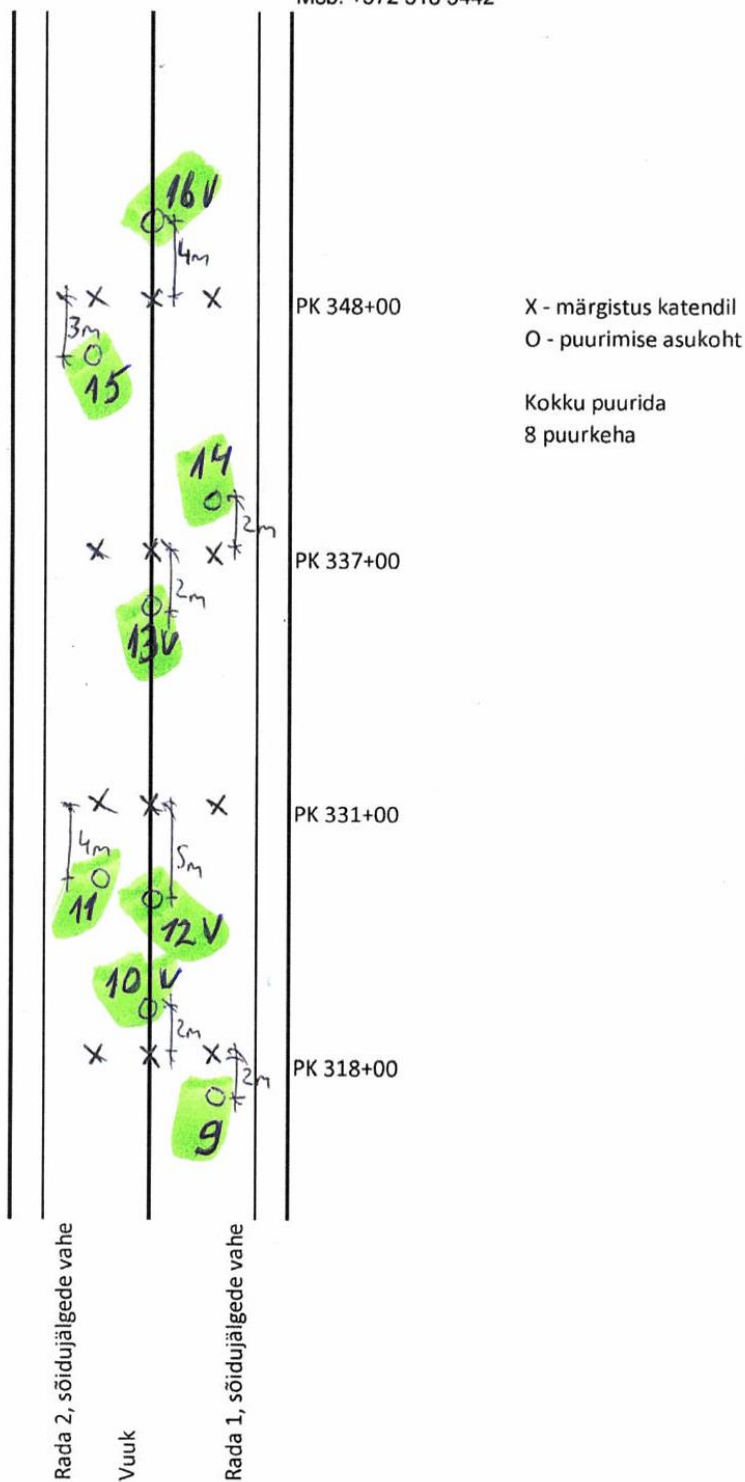
tööjuht

AS TREF

Mob: +372 518 5442

Kilingi-Nõmme -->

<-- Tartu



KATSEPROTOKOLL

NR 4851/18

11.10.2018 nr 7-6.4/5289

Lk 1/2

Tellija: Teede Tehnokeskus AS Arendus ja Uuringud – Veiko Tikas

Töö ülesanne: Puurproovide katsetamine

Proovid:
Objekt T92 Tartu – Viljandi – Kilingi-Nõmme km 28,260-35,193

Võtmise koht Vastavalt skeemile

Võtmise aeg ja võtja

03.10.2018 10:00,

A. Pall, Teede Tehnokeskus AS

Toomise aeg ja tooja

03.10.2018 15:30,

A. Pall, Teede Tehnokeskus AS

Tellija poolne tähistus

Puurproovid 1-8

Labori reg nr

5891

**Katsetamine ja
tulemused**

Puurproovide paksused määrati EVS-EN 12697-36 järgi, mahumass EVS-EN 12697-6 (meetod B) järgi.

 Tihendustegurite ja jäävpoorsuste arvutamiseks kasutati katseprotokollis nr **4551/18** toodud asfaltsegu erimassi ja mahumassi väärtusi.

Puurkeha						Asfaltsegu	
Tellija tähistus		paksus mm	mahumass Mg/m ³ ρ _{bssd}	jääv- poorsus % V _m	tihendus- tegur	mahumass Mg/m ³ ρ _{bssd}	erimass Mg/m ³ ρ _{mv}
nr	Proovivõtu koht						
Pealmine kiht							
1	PK 289+00	39	2,390	3,8	0,97	2,457	2,484
2	PK 289+04	41	2,364	4,8	0,96		
3	PK 291+96	47	2,427	2,3	0,99		
4	PK 292+00	48	2,420	2,6	0,98		
5	PK 318+07	40	2,444	1,6	0,99		
6	PK 330+96	43	2,424	2,4	0,99		
7	PK 337+02	44	2,445	1,6	1,00		
8	PK 348+00	42	2,399	3,4	0,98		

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovide kohta.

Vastutav teostaja

Amet Labori peaspetsialist
Nimi Markus Mänd

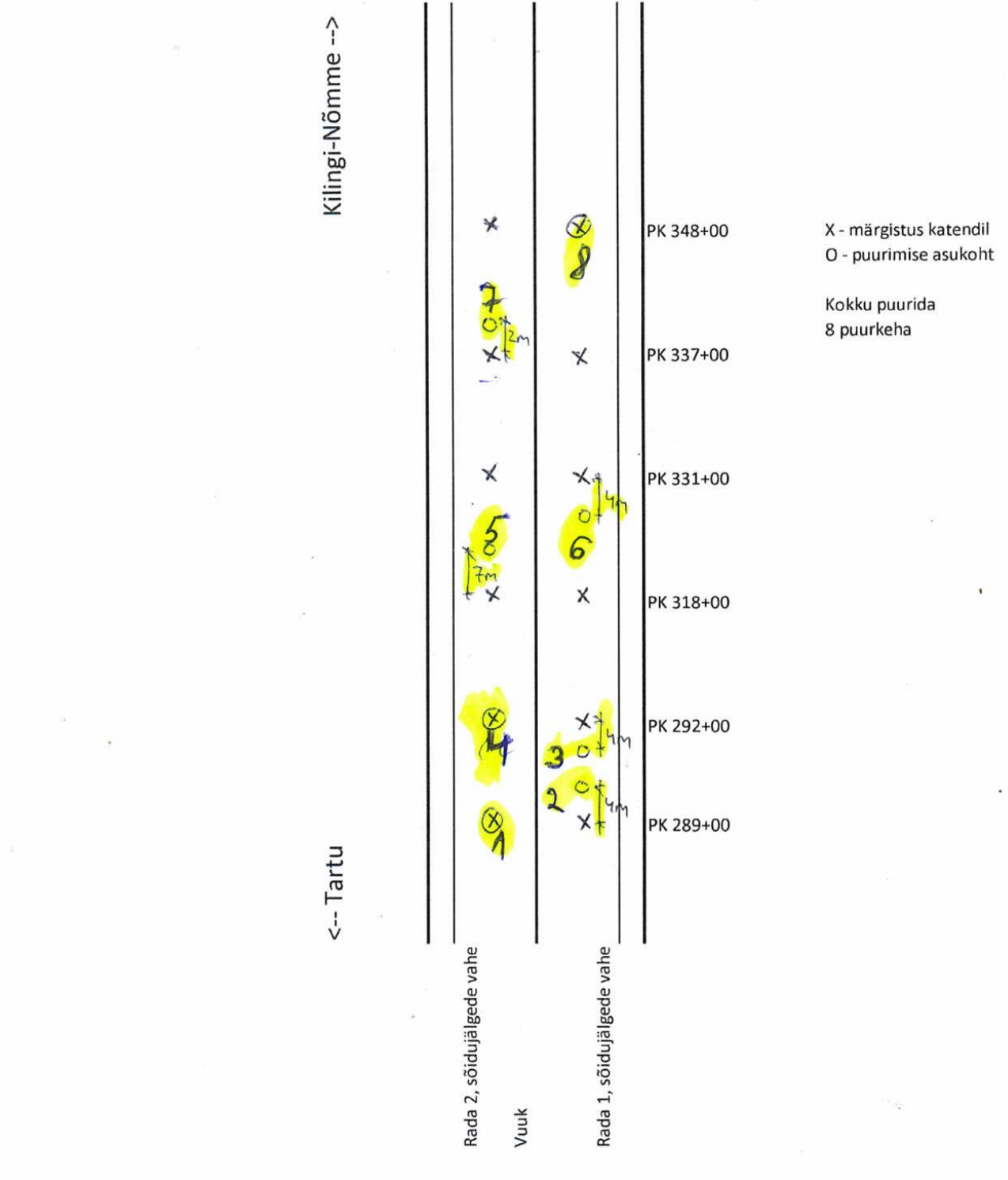
/allkirjastatud digitaalselt/

Protokolli osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba. Labor väljastab värvilise templiga või digitaalselt allkirjastatud katseprotokolle. Katseprotokollis ei pruugi kajastuda kõik katsestandardis nõutud taustandmed.

Puurimisskeem

Tee 92 Tartu - Viljandi - Kilingi-Nõmme km 28.260-35.193
Jäävpoorsuse mõõtmine.
Kalibreerimispuuraukude asukoha skeem

Ehitaja:
Kristiina Lobrev
tööjuht
AS TREF
Mob: +372 518 5442



LISA 4

Andmete töötlemisel ja jäävpoorsuste arvutamisel kasutati tarkvara Road Doctor 3

Kalibreerimisnäitajad:

	Puuraugu asukoht, m	Jäävpoorsus, labor %	Er, radar	Er, hälve	Kalibreerimistegur
Rada 1	317+98	5,5	5,17	0,04	0,580
Rada 1	337+02	4,1	5,23	0,04	0,616
Rada 2	330+96	3,1	5,47	0,04	0,629
Rada 2	347+97	2,4	5,40	0,02	0,673
Rada 1	289+04	4,8	5,17	0,06	0,600
Rada 1	291+96	2,3	5,12	0,06	0,717
Rada 1	330+96	2,4	5,16	0,03	0,705
Rada 1	348+00	3,4	5,38	0,03	0,627
Rada 2	289+00	3,8	5,65	0,04	0,582
Rada 2	292+00	2,6	5,73	0,04	0,624
Rada 2	318+07	1,6	5,50	0,03	0,718
Rada 2	337+02	1,6	5,77	0,04	0,684
Keskmine:		3,13	5,396		0,6463

Vuuk	318+02	4,3	4,76	0,04	0,670
Vuuk	330+95	7,5	4,75	0,03	0,582
Vuuk	336+98	5,8	4,74	0,03	0,624
Vuuk	348+04	6,8	4,67	0,02	0,607
Keskmine:		6,10	4,730		0,6208

Tootja AS TREF

Tehas Benninghoven TBA 4000

EVS 901-3; AKEJ(Mnt 0314)

Segu paigaldamise koht

Segureitsept

Kooskõlastanud

omanikujärelevalve

(nimi, allkiri, kuupäev)

AC 16 surf 70/100

T: 92 Tartu - Viljandi - Kilingi-Nõmme km 28,459 - 35,193 (Taastusremont)

nr.: C25

Täitematerjalid

Nr	fr	Tüüp	Tootja, dekl / karjäär	Ter th Mg/m ³	LA	A _N	f	MB _r	C	FI	F	F _{NeCl}
1	11/16	tardkivi	DC Halsvik; HA-11/16-A-18A; Hals	2,69	25	14	2	NR	100/0	10	1	0,1
2	6/12	tardkivi	DC Halsvik; HA-6/12-A-18A; Hals	2,71	25	14	2	NR	100/0	15	1	0,1
3	4/10	tardkivi	DC Halsvik; HA-4/10-A-18A; Hals	2,71	25	14	2	NR	100/0	15	1	0,1
4	0/5	tardkivi	DC Halsvik; HA-0/5-A-18A; Hals	2,75	NR	NR	16	10	100/0	NR	NR	NR
5	0/8	liiv	Eesti Kihustik; 7-3; Aardlapala	2,65	NR	NR	3	10	NR	NR	NR	NR
6	filler	paas	Tref 02/18; Kärkna	2,72	NR	NR	70-80	10	NR	NR	NR	NR

Lisand	Mark	Tootja	%	Projekteeritud segu koostis					Materjali väärtus
				Materjal		Materjali osakaal %			

7	Tootja	ORLEN Letuvs		1	11/16	18	17,0	170,5
	Mark	B70/100		2	6/12	15	14,2	142,1
	Nake	> 50%		3	4/10	11	10,4	104,2
				4	0/5	41	38,8	388,3
				5	0/8	10	9,5	94,7

Sideaine lisand	Mark	Tootja	%	6	filler	5	4,7	47,4
	Wetfix BE	Alko Nobel	0,2% bil	0	B doseeritav		5,3	53,0
					B katseline		5,2	52,0

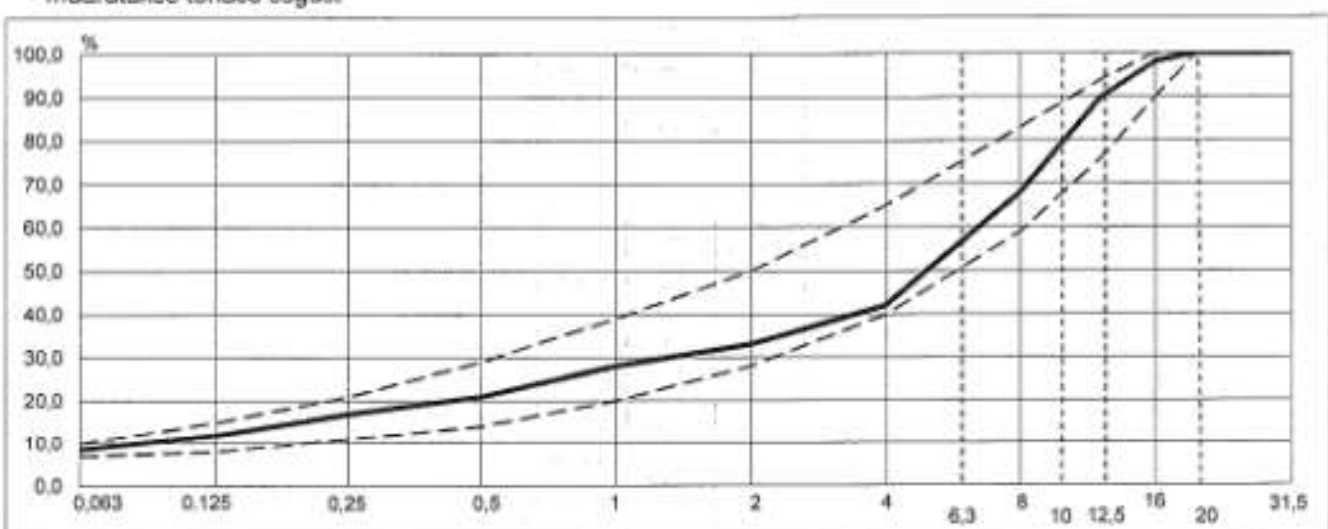
Terastikuline koostis

Terasakruumi koostis						SUMMA		100		100,0		20	31,5
Nr	Materjal	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	20	31,5
1	11/16	1,6	2	2	3	3	3	3	5	47	94	100	
2	6/12	0,5	1	1	1	1	1	1	16	100			
3	4/10	1,4	2	2	2	2	3	6	94	100			
4	0/5	9,6	15	19	24	29	40	61	100				
5	0/8	1,6	5	24	56	79	91	96	99	100			
6	filler	72,4	90	99	100								
Norm	min	7,0	8	11	14	20	28	40	59	76	90	100	100
	max	10,0	15	21	29	39	50	65	83	94	100	100	100
Normkoostis		8,5	12	17	21	28	33	42	68	90	98	100	100

Projekteeritud segu omadused

Mahu- mass	Eri- mass	VMA %	V %	VFB %	V10G % *	WTS mm *	PRD % *	D %	ITSR % *	Abr _A ml *			
2,482	2,519	13,7	1,5	88,8	7,4	0,12	8,5	-	99	34			
Nõue		>12	1,5-4,5	DV	DV	DV	< 13	NR	≥ 90	< 40			

* - määratakse tehase segust



Koostanud Marko Pärn

Ajakohastatud Marko Pärn

V1106F

LISA 3

SISSEJUHATUS

Avalike teedehitushangete eelduslik ülesanne Eestis peaks olema eelkõige kõrgeima kvaliteediga ning vaadeldavaid koormuskarakteristikuid arvestades kestvaima lahenduse saavutamine olemasolevate vahenditega. Parimat tööde lõppkvaliteeti on võimalik saavutada olukorras, kus lisaks hankijale/tellijale on ka töövõtja motiveeritud täiendavate võimaluste otsimiseks, tagamaks, et ehitatavate teekatete eluiga oleks võimalikult pikk.

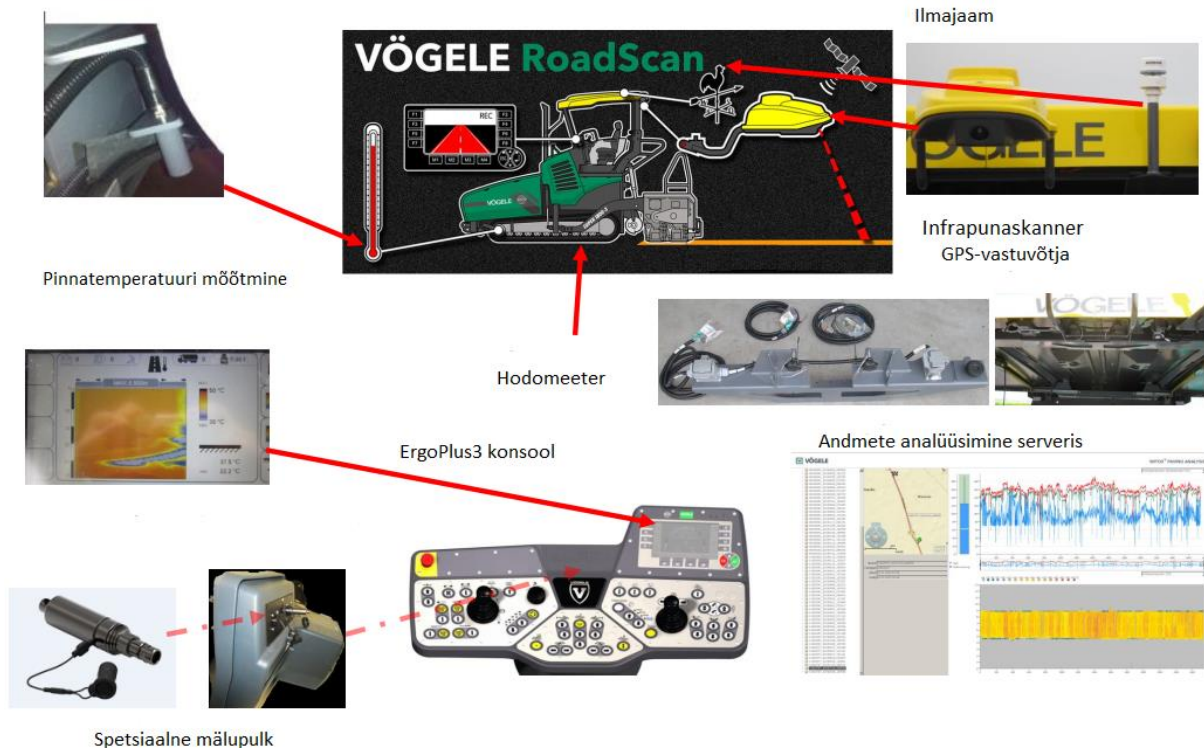
Selleks, et teha kõrge kvaliteediga tööd peab kogu asfalteerimisprotsess alates lähtematerjalide käitlemisest kuni asfaltsegu tihendamiseni olema hoolikalt läbi mõeldud. Lisaks on oluline, et kõik osapooled, kes asfalteerimisliini kuuluvad, teeksid omavahel koostööd. Asfalteerimistööde kvaliteedi kontrollimiseks võtsime mõned aastad tagasi kasutusele VÖGELE RoadScan süsteemi, mis on töövõtjale oluline abivahend. Praegusel hetkel kuulub infrapunaskanneriga töötamine laotaja juhi ülesannete hulka ning tema vastutab täielikult selle eest, et kõik vajalikud objektid saaksid skaneeritud. Laotaja juht näeb laotamise käigus tekkinud termovaipa ja päeva lõpus on võimalik skaneeritud andmeid analüüsida. Seega töövõtja saab koheselt tagasisidet tehtud tööst.

Eeltoodust tulenevalt keskendub käesoleva uurimistöö autor sellele, millised on VÖGELE RoadScani süsteemi positiivsed ja negatiivsed küljed ja milliseid järeldusi saame teha süsteemi kasutamisest asfalteeritud objektide kohta.

1 TERMILISE SEGREGUEERUMISE MÕÕTEVAHEND

1.1 VÖGELE RoadScan süsteemi olemus

RoadScan süsteem koosneb mitmest osast (vt joonis 1.1), mis on võimelised selgitama välja baastemperatuuri enne laotamist (punkttemperatuur), kindlaks määrama asukohta (hodomeeter – kilomeetriloendur) ning dokumenteerima laotamise kvaliteeti mõjutavaid tegureid, milleks on tuule suund ja tugevus, õhutemperatuur, -rõhk ja -niiskus. RoadScan süsteemi olulisemaks osaks on infrapunaskanner, mis skaneerib tasandusprussi taga kogu ulatuses laotusprotsessi.



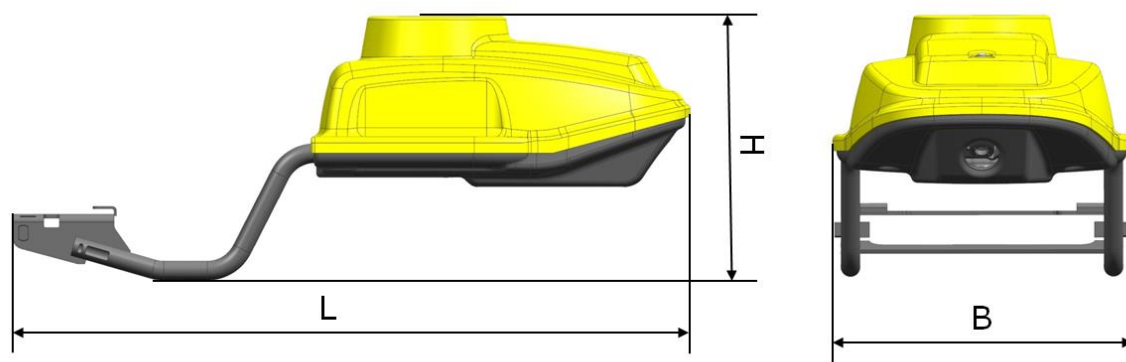
Joonis 1.1 VÖGELE RoadScan süsteemi osad

Seade ise on suhteliselt kompaktne (vt joonis 1.2) ning mahub kohvrisse, mille pikkus 1035mm, laius 625mm ning kõrgus 485mm. Kohvri tühikaal on 17kg ning koos seadmetega kaalub 32.5kg.



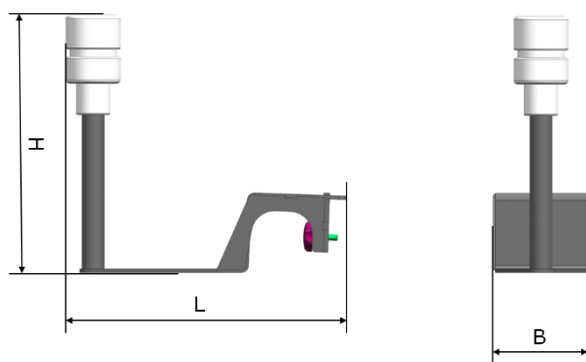
Joonis 1.2 Transpordi kohver koos süsteemi kuuluvate seadmetega

Infrapunaskanneri pikkus on 867mm, laius 386mm ning kõrgus 337mm ja kaalub 12kg (vt joonis 1.3).



Joonis 1.3 Infrapunaskanner mõõdud

Lisaks on süsteemi tähtsaks osaks ka ilmajaam (vt joonis 1.4), mis on 368mm pikk, 126mm lai ning 338mm kõrge. Kaalub 3.5kg. Seade mõõdab tuule kiirust vahemikus 0 kuni 25.5 m/s ning mõõtetäpsus on 0.5+10% lugemist. Seadme tuule suuna mõõtmispiirkond on 0 kuni 360° ning täpsus on <5°. Seadme õhutemperatuuri mõõtmisvahemik on -40°C kuni 55°C ning täpsus $\pm 2^\circ\text{C}$. Seadme õhuniiskuse mõõtmisvahemik on 10 kuni 95% ning täpsus 5%. Seadme õhurõhu mõõtmispiirkond on 800-1100hPa ning täpsus $\pm 1\text{hPa}$.

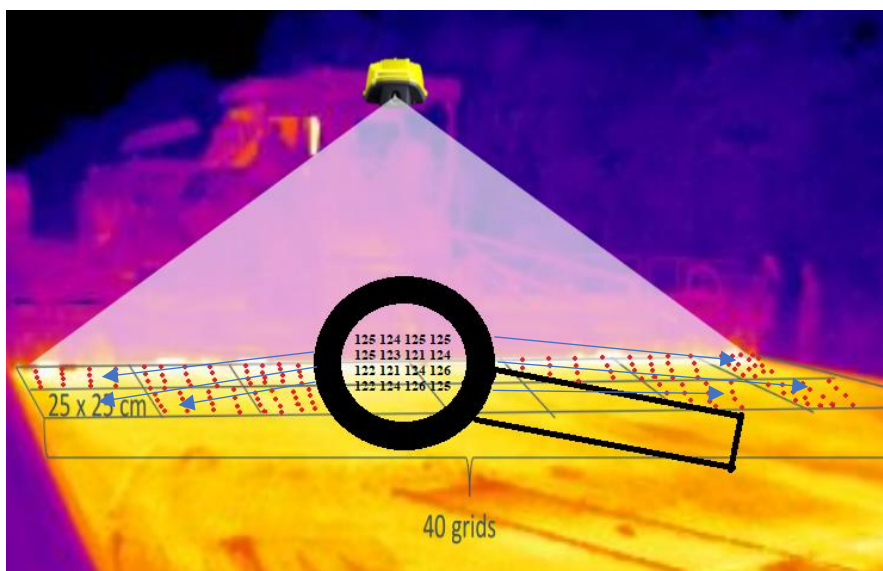


Joonis 1.4 RoadScan süsteemi kuuluv ilmajaama seade

Lisaks kuulub süsteemi GPS seade. VÖGELE RoadScan standard versioonis kasutatakse SBAS parandussignaali ja P2P täpsuseks saadakse 0.18m. GPS täpsuseks on võimalik 1cm saavutada ilma baasjaamata. Selle jaoks on vaja GSM-modemi kaudu RTK-korrigeerimissignaali.

VÖGELE infrapunaskanner skaneerib 25x25 cm ruudustikus kümne meetri laiuselt. Seega skaneerib seade kümne meetri kohta 40 ruutu (vt joonis 1.5) ning iga ruut sisaldab omakorda kuni 16 eraldi mõõtmispunkti (temperatuuri), mille alusel arvutatakse ühe ruudu temperatuuride

keskväärtus. Kogu ala skaneerimise tagab see, et seade salvestab iga 25cm tagant laotaja edasi liikumisel. Skaneerimine toimub laotaja tasandusprussi tagant 1.5-2m kauguselt. Seadme temperatuurivahemik on 0...255°C ilma kümnendikkohtadeta, piirhõlbega $\pm 2^{\circ}\text{C}$ või 2% skaneeritud tulemusest. Infrapunaskanneri kasutamisel tuleks jälgida õhutemperatuuri ning soovituslik kasutusvahemik on -10°C kuni 40°C . Seadmete soovituslik hoiustamistemperatuur on -40°C kuni 70°C . Maksimaalne laotamiskiirus infrapunaskanneri kasutamisel on 25m/min.

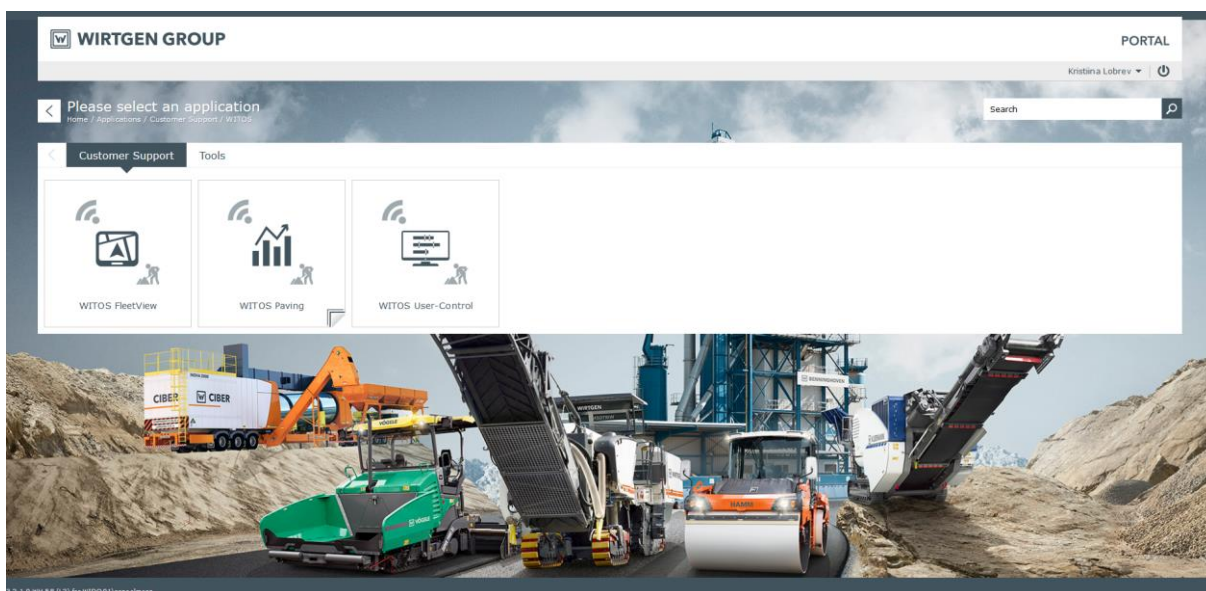


Joonis 1.5 Infrapunakaamera poolt mõõdetud ruudustik koos mõõtmispunktidega

Infrapunaskanner on välja töötatud nii, et otsest vajadust seadme kalibreerimiseks pole, kuid selle teostamine on võimalik. RoadScan süsteem ise ei dokumenteerigi laotamiskiirust, kuid WITOS Paving terviklahenduse abil on see võimalik. Vahemaa mõõtmise täpsus sõltub

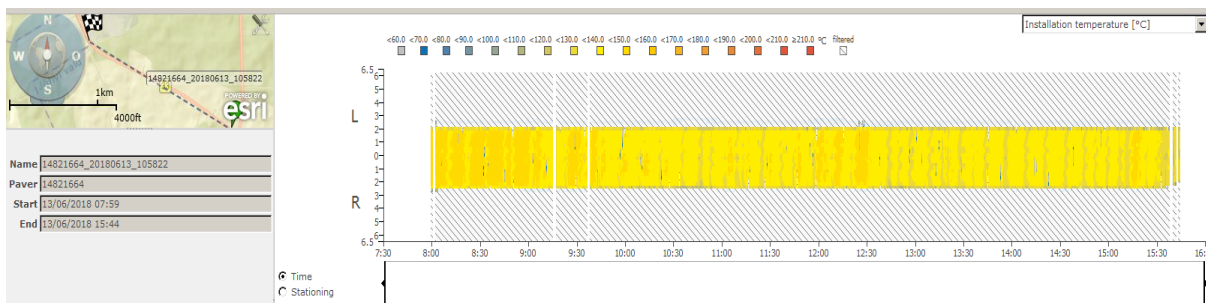
roomikute haardumisest maapinnaga ja roomikute kulumisastmest. Juhul kui vahemaa mõõtmise täpsust on vaja parandada, tuleb läbi viia kalibreerimine. Kui laotaja juht lõpetab laotamise ning tõstab plaadi üles ning liigub edasi sõidukäiguga, siis infrapunaskanner lõpetab automaatselt skaneerimise. Sellest tulenevalt võib tekkida mõningaid erinevusi andmete osas, kuid see mõõtmata jäänud osa on suhteliselt väike ning tulemust oluliselt ei mõjuta.

Laotamise kvaliteeti mõjutavaid tegureid on hiljem võimalik vaadata ning analüüsida erinevat tüüpi diagrammidena WITOS Paving Analysis veebirakenduses (vt joonis 1.6). Veebirakenduse kasutamiseks on vajalik omada kasutajanime ja parooli järgmisel leheküljel: www.witos.com. Tänu sellisele lahendusele on võimalik tagada andmetele ligipääs kõigile kolmele osapoolle nii hankijal/tellijal, töövõtjal kui omanikujärelvalvele..



Joonis 1.6 Veebirakenduse avakuva

Termoskanneri töötamisel tekib üks pikk “vaip” (skaneering) (vt joonis 1.7), mis annab ülevaate kogu laotatud asfaltsegu temperatuurist. Üksikuid termofotosid ei teki. Andmeid “termovaibalt” on võimalik konvertida Excelisse. Lisaks võimaldab WITOS rakendus kaardil kuvada laotamise kulgu (vt joonis 1.7). Kogu laotamine on seotud pikkus- ja laiuskraadidega.



Joonis 1.7 Termoskaneering ehk “termovaip”

VÖGELE infrapunaskannerit on lihtne kasutada. Laotaja juht paneb kaamera külge enne töödega alustamist, laotamise käigus kontrollib ErgoPlus3 konsoolil oleva ekraani vahendusel, kas seade toimib ning kas laotatav asfaltsegu on ühtlase temperatuuriga või esineb oluliselt madalama temperatuuriga alasid. Otsest vajadust kõrvalise isiku viibimisel mõõtmise juures pole. Kogu laotamisprotsessi on seega laotaja juhil reaajas võimalik jälgida ning juhul, kui esineb probleeme sellest ka koheselt teavitada või probleemi likvideerimisega tegeleda.

2 VALIK AASTAL 2017 JA 2018 TEOSTATUD ASFALTEERIMISTÖÖDEST

Käesolevas töös vaadeldakse üheksat objekti, mis on asfalteeritud aastatel 2017 ja 2018 ehk kokku vaadeldakse 34 päeva asfalteerimistöid. Joonistel 2.1 ja 2.2 on toodud fotod AS TREFi poolt teostatud asfalteerimistöödest, kus kasutati VÖGELE RoadScan süsteemi.



Joonis 2.1 Asfalteerimistööd objektil riigitee 39 taastusremont ning riigitee 39 Vahi-Maramaa lõigu ristmiku rekonstrueerimine

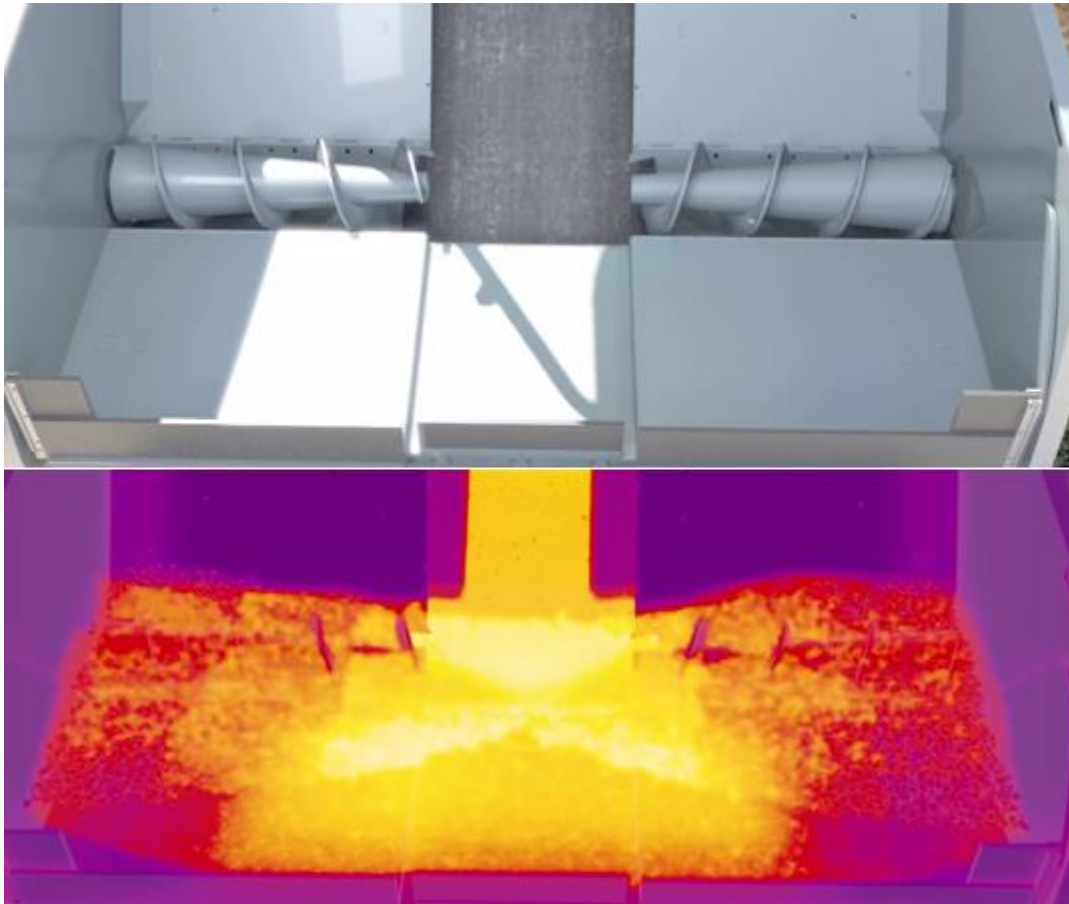


Joonis 2.2 Asfalteerimistööd objektil tee nr 3 Jõhvi-Tartu-Valga km 138.3-139.9 ülekate

2.1 Skaneerimise käigus kogutud andmed ning tulemuste analüüs

AS TREF on teostanud kahe aasta jooksul kokku skaneeringuid 89 päeval. Neist ühel objektil tee nr 3 Jõhvi-Tartu-Valga km 138.3-139.9 ülekate (vt. tabel 3.1) skaneerisime ka öösel (vt joonis 2.2). Analüüsimiseks valiti üheksa objekti ja need on järgmised: põhimaantee 3 Jõhvi-Tartu-Valga km 118.968-127.029 (2017), riigitee 39 taastusremont ja riigitee 39 Vahi-Maramaa lõigu ristmiku rekonstrueerimine (2018), tugimaantee 88 Rakvere-Rannapungerja km 33.07-36.3 rekonstrueerimine (2018), tugimaantee 33 Jõhvi-Kose km 1.64-3.41 rekonstrueerimine (2018), tugimaantee 45 Tartu-Räpina-Värskas km 13.911-25.774 taastusremont (2018), tee 67 Võru-Mõniste-Valga km 4.119-7.760 taastusremont (2018), põhimaantee nr 2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa km 168.128-170.056 taastusremont (2018), põhimaantee 92 Tartu-Viljandi-Kilingi-Nõmme km 28.459-35.193 taastusremont (2018) ja tee nr 3 Jõhvi-Tartu-Valga km 138.3-139.9 ülekate. Uurimistöös analüüsitakse asfalteerimistööde temperatuuriühtluse sõltumist erinevatest aspektidest, mida on võimalik VÖGELE RoadScan süsteemi vahendusel välja selgitada, arvestatakse veo- ja ilmastikutingimusi ning eelsöötja kasutamist. Eelsöötjat VÖGELE MT 3000-2i Offsetti ei kasutatud aastal 2017 teostatud objekti asfalteerimisel ning ka aastal 2018 kuupäevadel 20.06, 21.06, 05.07, 13.08, 14.08, 11.09 ja 12.09 (vt tabel 3.1). AS

TREFi eelsöötja VÖGELE MT 3000-2i Offseti teovõll on kooniline ja varustatud keerdlabadega ning selline tigu tagab asfaltsegu eemaldamise kõigist vastuvõtupunkti piirkondadest (vt joonis 2.3) ehk segab omavahel punkri servadesse kogunenud madalama temperatuuriga asfaltsegu veoauto kastist kuuma asfaltseguga.



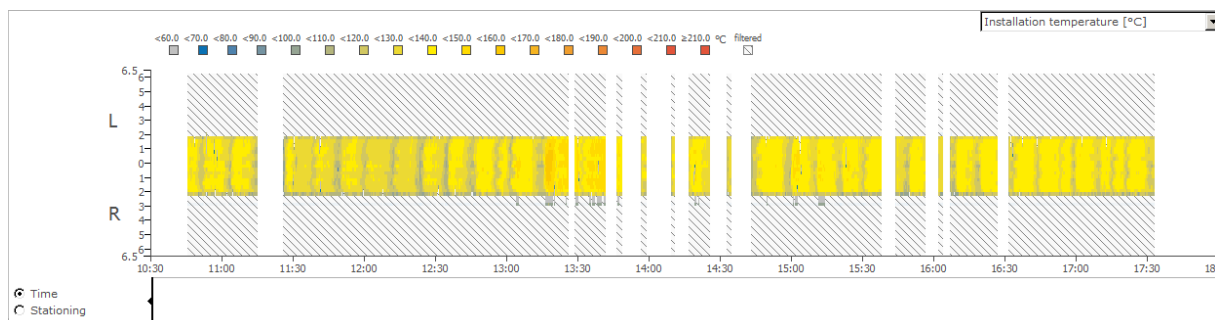
Joonis 2.3 Keerdlabadega kooniline teovõll

Objekti lõikes riskialade kaalutud keskmine oli suurem kui viis kolmel objektil ja need olid järgmised: põhimaantee 3 Jõhvi-Tartu-Valga km 118.968-127.029, tugimaantee 88 Rakvere-Rannapungerja km 33.07-36.3 rekonstrueerimine ja tee nr 3 Jõhvi-Tartu-Valga km 138.3-139.9 ülekate. Neist esimesel objektil laotasid kahel erineval objektil paane kaks erinevat brigaadi ning selle tulemusena võis asfaltsegu saabumisega objektile viivitusi esineda, teisel objektil hüppas üks firma alt ära ning selle tulemusena mitmed veoautod kadusid asfalteerimise ringist ära ning kolmandal pani asfalteerijaid proovile ilm. Tegemist oli öise asfalteerimisega ning vahetult enne asfalteerimist hakkas sadama. Kuna eelnevalt oli õhutemperatuur suhteliselt kõrge, siis pärast tugevat vihmaseadust temperatuur langes oluliselt. Pöörates tähelepanu seisakute kestusele kokku kerkisid esile järgmised kolm objekti: põhimaantee 3 Jõhvi-Tartu-

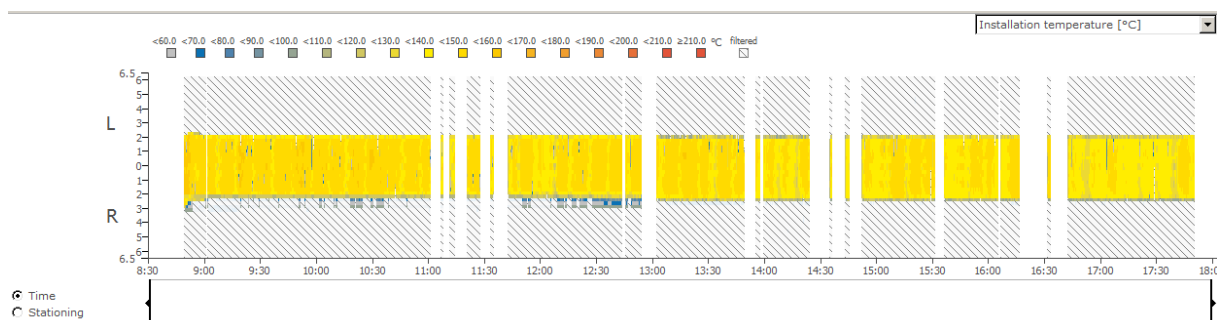
Valga km 118.968-127.029, tugimaantee 88 Rakvere-Rannapungerja km 33.07-36.3 rekonstrueerimine ja tee 67 Võru-Mõniste-Valga km 4.119-7.760 taastusremont. Kahest esimesest objektist oli varasemalt juttu ja neist kolmanda objekti jaoks toodetud asfaltsegule toodeti veel lisaks asfaltsegu teisele objektile, mis tingis viivituse segu saabumisel objektile.

KOKKUVÕTE

Analüüsimise käigus ilmnes, et üldiselt on koorma lõpud eristatavad. Soojustatud termokastide puhul on temperatuurierinevused väiksemad kui soojustamata kastide puhul (vt joonis 3.1 ja 3.2). Joonistel 3.1 ja 3.2 toodud asfalteerimiste puhul on veomaad pikad. Neist esimesel juhul 52.8km ja teisel juhul 74.4km ning ilmastik erineb ka mõnevõrra. Lisaks kasutati mõlemal puhul ka eelsöötjat.

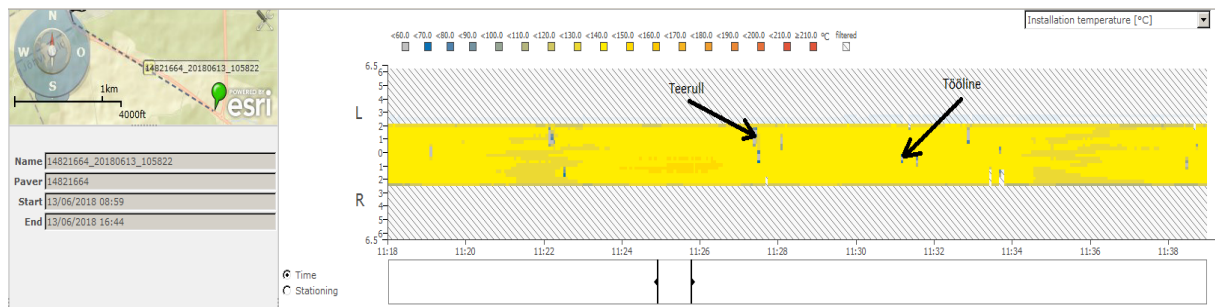


Joonis 3.1 Asfalteerimistööd 07.06.2018 soojustamata kastidega

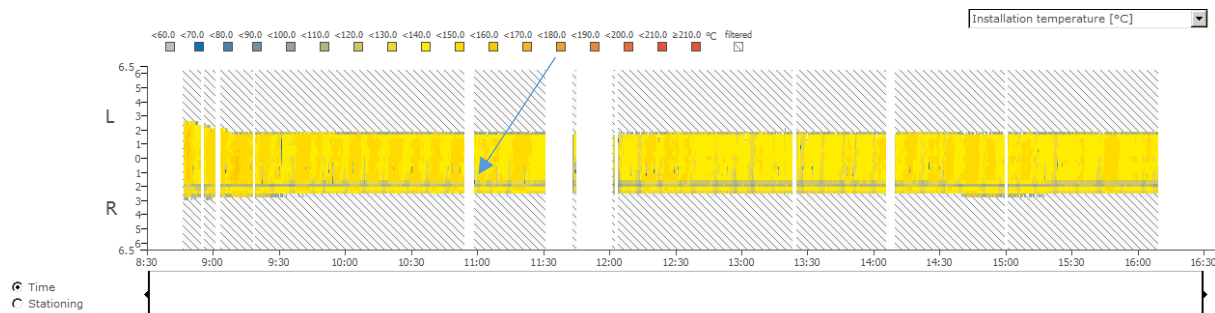


Joonis 3.2 Asfalteerimistööd 24.07.2018 soojustatud kastidega

Andmete analüüsil ilmnes, et termoskaneeringule võib jääda ka häiringuid, milleks võisid olla teerullid, töölised (vt joonis 3.3) või kopiirsuused. Töölised või teerullid peaksid püüdma vältida skaneerimispiirkonda sattumist, kuid nende poolt tekitatud häiringute osakaal on suhteliselt väike. Juhul kui laoturile on pandud laiendused, siis sõltuvalt laienduse kasutamise ulatusest võib kopiirsuusa asukoht oluliselt muutuda ning selle tulemusena muutub termoskaneeringul olevate häiringute osakaal (vt joonis 3.4). Joonisel 3.4 on selgesti eristatav sinine riba, mis on ühtlasi laotajale paigaldatud kopiirsuusk. Võimaluse korral tuleks püüda laiendustega asfalteerimist vältida.



Joonis 3.3 Rulli ja tööline sattumine mõõtmispiirkonda



Joonis 3.4 Laotajale paigaldatud kopiirsuusa esinemine termoskaneeringul

Kui töövõtja soovib teha väga kvaliteetset tööd, siis suuremat tähelepanu tuleks pöörata just asfaltsegu tootmisele, asfalteerimistehnika korrasolule ja transpordile. Ilm on selline faktor, mis töövõtjast ei sõltu ning tuulevaikne ja soe ilm tagab tunduvalt parema kvaliteediga asfalteerimise, mida on näha ka tabelist 3.1. Kui on häiritud tootmine sõltuvalt tehase rikkest või kahe brigaadi varustamisest asfaltseguga, siis on suur eeldus, et kogu asfalteerimisrõng peab mingil määral venitama või hoidma asfaltsegu punkris või veokastis kuni uue koorma saabumiseni. Lisaks tuleb transpordil jälgida rohkem veoautode liikumist ning vajadusel korduvalt vedu üle rääkida, kui vedaja veost juhulikult loobub peab taaskord asfaltsegu laotamisel venitama. Seega selleks, et tagada nõutust parema kvaliteediga asfalteerimistööd peaks pöörama rohkem kõikidele etappidele, kus käideldakse või liigutatakse materjale. Võimaluse korral prooviks asfalteerimistöödel kasutada tavalise teovõlliga eelsõõtjat, et selgitada välja, kui suur on erinevus temperatuuriühtlusel võrreldes koonilise teovõlliga. Kokkuvõtlikult öeldes tagab süsteem kiirelt töövõtjale ülevaate temperatuuriühtlusest ning muudab kogu protsessi kontrollitavaks.

Objektid	Asfalteeri- mistööde teostamise kuupäev	Veo- maa	Termokastid (soojustatud veokastiga/koku veoautosid)	Ilm	Laotamispikkus , (m)	Häiringutet a mõõtmise osakaal, (%)	Seisakut e arv, (tk)	Seisakut e kestus kokku, (min)	Riskialad e osakaal, (%)	Kaalutud keskmine , (%)
Põhimaantee 3 Jõhvi-Tartu-Valga km 118.968- 127.029	01.08.2017	13.0	Soojustatud kaste aastal 2017 ei kasutatud.	22°C, vahelduv pilvisus, 4m/s	1000	99.21	5	00:48:34	5.47	3.79
					1000	99.34	4	00:12:49	3.02	
					750	99.31	4	00:12:49	2.56	
	02.08.2017			21°C, vahelduv pilvisus, 4m/s	1000	99.36	4	00:14:48	3.46	3.90
					1000	99.02	7	00:40:54	3.59	
					705	99.26	5	00:16:43	4.97	
	03.08.2017			21°C, vahelduv pilvisus, 3m/s	1000	98.86	8	00:46:04	6.24	4.66
					1000	99.12	8	00:36:44	4.18	
					1000	99.15	6	00:19:01	3.23	
					175	99.07	0	00:00:00	6.46	
	04.08.2017			18°C, hoovihm , 2m/s	1000	98.99	6	00:28:47	7.81	7.29
					470	98.71	1	00:02:01	6.17	
	07.08.2017			19°C, vahelduv pilvisus, 3m/s	1000	99.57	4	00:10:07	9.97	7.79
					1000	99.01	15	01:29:01	7.04	
					650	99.34	0	00:00:00	5.60	
	08.08.2017			20°C, vahelduv pilvisus, 1m/s	1000	98.87	5	00:26:06	3.61	4.32
					1000	99.13	9	01:12:55	5.13	
					660	98.93	3	00:22:07	4.16	
Objekti kaalutud keskmine							6	00:31:30	5.10	
Riigitee 39 taastusremont ning riigitee 39	16.05.2018		0/9	21°C, vahelduv pilvisus, 2m/s	1000	99.23	0	00:00:00	0.64	0.67
					1000	99.43	0	00:00:00	0.52	
					721	99.25	0	00:00:00	0.91	
	17.05.2018		1/10	21°C, vahelduv	1000	98.49	1	00:10:39	1.80	2.14
					1000	98.35	1	00:06:47	2.33	
					824	98.43	7	00:18:02	2.31	

Vahi-Maramaa lõigu ristmiku rekonstrueerimine .23		6.6		pilvisus, 2m/s						
	21.05.2018			22°C, vahelduv pilvisus, 1m/s	1000	98.08	2	00:04:58	1.84	1.78
					1000	98.54	0	00:00:00	1.13	
					1000	97.97	4	00:24:08	2.31	
	22.05.2018		1/9		21°C, vahelduv pilvisus, 2m/s	69	99.11	0	00:00:00	2.61
				1000		99.02	3	00:15:15	2.08	
				1000		98.61	8	00:34:04	1.87	
				476		98.09	1	00:02:46	1.67	
Objekti kaalutud keskmine						98.64	2	00:10:06	1.63	
Tugimaantee 88 Rakvere-Rannapungerja km 33.07-36.3 rekonstrueerimine	07.06.2018	52.8	1/16	14°C, vahelduv pilvisus, 2m/s	1000	99.07	8	01:04:15	8.43	7.82
					377	99.59	3	00:15:01	6.21	
	08.06.2018		1/13	12°C, vahelduv pilvisus, 1m/s	1000	96.68	17	02:12:57	7.82	6.51
					377	99.34	2	00:16:24	3.02	
Objekti kaalutud keskmine						98.42	10	01:15:54	7.16	
Tugimaantee 33 Jõhvi-Kose km 1.64-3.41 rekonstrueerimine	13.06.2018	7.8	1/10	17°C, vahelduv pilvisus, 1m/s	1000	99.26	3	00:07:30	0.65	0.94
					850	99.37	2	00:04:58	1.28	
	14.06.2018			20°C, vahelduv pilvisus, 2m/s	1000	99.13	0	00:00:00	1.09	1.64
					850	99.17	2	00:08:21	2.28	
Objekti kaalutud keskmine						99.23	2	00:05:05	1.29	
	20.06.2018	17.3	1/12	17°C, vahelduv pilvisus, 4m/s	1000	99.57	1	00:03:34	7.15	5.69
					1000	99.75	0	00:00:00	5.30	
					673	99.69	0	00:00:00	4.10	
	21.06.2018				1000	98.82	3	00:07:30	4.18	5.54
					1000	99.14	1	00:02:11	5.13	

Tugimaantee 45 Tartu-Räpina- Värskas km 13.911-25.774 taastusremont				17°C, vihm, 2m/s	673	99.05	2	00:04:20	8.18	
	25.06.2018			15°C, vahelduv pilvisus, 2m/s	1000	99.74	1	00:06:44	3.62	2.35
					1000	99.78	2	00:08:11	2.65	
					1000	99.8	0	00:00:00	0.97	
					151	98.91	0	00:00:00	1.01	
	26.06.2018			20°C, vahelduv pilvisus, 1m/s	1000	99.57	3	00:25:26	3.01	1.43
					1000	99.05	0	00:00:00	0.48	
					707	99.49	0	00:00:00	0.53	
	28.06.2018		1/14	24°C, vahelduv pilvisus, 1m/s	1000	99.88	1	00:04:46	2.18	1.62
					1000	99.85	0	00:00:00	1.56	
					992	99.52	1	00:02:04	1.11	
	29.06.2018			16°C, vahelduv pilvisus, 2m/s	1000	99.30	1	00:02:04	1.37	1.24
					1000	99.26	0	00:00:00	0.88	
					685	98.85	0	00:00:00	1.59	
	04.07.2018			20°C, vahelduv pilvisus, 1m/s	1000	99.72	0	00:00:00	2.60	1.95
					1000	99.58	1	00:07:05	1.57	
					790	99.70	5	00:18:06	1.62	
	05.07.2018			17°C, vahelduv pilvisus, 1m/s	1000	98.15	2	00:05:23	3.46	3.92
					1000	98.49	8	00:30:30	3.57	
					927	98.41	6	00:15:23	4.79	
Objekti kaalutud keskmine						99.34	2	00:06:04	2.94	
	23.07.2018	74.4	12/14	27°C, vahelduv pilvisus, 1m/s	1000	97.84	8	01:01:57	3.16	2.89
					1000	97.64	11	01:21:33	2.94	
					280	96.51	0	00:00:00	1.75	
	24.07.2018		13/17	27°C, vahelduv	1000	97.63	5	00:29:10	2.78	2.64
					1000	98.69	6	00:38:25	3.36	
					942	99.11	3	00:29:37	1.73	

Tee 67 Võru-Mõniste-Valga km 4.119-7.760 taastusremont				pilvisus, 1m/s						
	25.07.2018		12/16	24°C, vahelduv pilvisus, 1m/s	1000	98.92	9	01:00:05	2.70	2.42
					426	97.74	1	00:02:12	1.99	
					712	97.74	4	00:32:51	2.28	
Objekti kaalutud keskmine						98.14	6	00:43:56	2.65	
Põhimaantee nr 2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa km 168.128-170.056 (taastusremont)	13.08.2018	17.8	1/12	18°C, vahelduv pilvisus, 2m/s	1000	99.64	4	00:18:49	4.04	5.52
	823				98.76	3	00:09:49	7.31		
	14.08.2018			20°C, vahelduv pilvisus, 1m/s	1000	99.90	7	00:26:29	2.74	3.27
					823	99.83	5	00:35:42	3.91	
Objekti kaalutud keskmine						99.56	5	00:22:42	4.39	
Põhimaantee 92 Tartu-Viljandi-Kilingi-Nõmme km 28.459-35.193 (taastusremont)	24.08.2018	33.6	1/16	25°C, vahelduv pilvisus, 3m/s	1000	98.97	1	00:02:30	2.47	2.59
					1000	99.43	4	00:12:45	2.67	
					897	98.86	1	00:06:39	2.62	
	27.08.2018		2/13	17°C, vahelduv pilvisus, 1m/s	1000	98.83	3	00:10:22	4.02	3.50
					1000	99.01	4	00:37:46	3.46	
					625	99.22	1	00:02:04	2.75	
	03.09.2018		3/16	20°C, vahelduv pilvisus, 1m/s	1000	99.57	1	00:02:11	1.33	1.23
					1000	99.76	1	00:04:37	1.06	
					1000	99.77	1	00:05:52	1.30	
	04.09.2018		17°C, vahelduv pilvisus, 2m/s	1000	99.58	1	00:03:13	1.57	2.20	
				1000	98.57	4	00:21:45	2.79		
				900	98.95	3	00:10:58	2.24		
	05.09.2018		16°C, vahelduv	1000	99.84	2	00:06:28	1.35	1.94	
				1000	99.92	2	00:05:16	2.63		
				415	99.78	1	00:02:11	1.72		

				pilvisus, 2m/s						
Objekti kaalutud keskmine						99.33	2	00:09:27	2.27	
Tee nr 3 Jõhvi- Tartu-Valga km 138.3-139.9 ülekate	11.09.2018		1/9	13°C, vahelduv pilvisus, 1m/s	1000	99.63	3	00:09:43	9.00	6.85
					80	99.92	1	00:02:25	3.62	
					900	99.51	4	00:12:07	4.75	
	12.09.2018		1/6	17°C, vahelduv pilvisus, 3m/s	180	99.60	2	00:07:57	6.86	6.86
Objekti kaalutud keskmine						99.59	3	00:10:18	6.85	

LISA 4

Meie 29.11.2018.a.

Radarmõõtmiste protokoll

Tihendustegurite ja jäävpoorsuste tulemused

Tellija: Olaf Jaaska
Projektijuht
Verston Ehitus OÜ

Töö ülesanne: Riigimaantee nr 22 Rakvere-Väike Maarja-Vägeva 25,93-30,0 jäävpoorsuste ja tihendustegurite mõõtmine (**LÕIK 1 vt märkus 1**)

Mõõtmiste kirjeldus: Mõõtmised teostati maaradariga (GSSI 1 GHz antenniga) 17.10.18 AS Teede Tehnokeskuse poolt. Mõõtmiste kalibreerimiseks puuriti 8 puurkeha 22.11.18

Kalibreerimine: 8 puurkeha (sh 4 puurkeha vuugist) on võetud ja katsetatud AS Teede Tehnokeskuse akrediteeritud laboratooriumi poolt (labori protokoll Lisa 3)

Alusdokumentatsioon: "Riigiteede pealiskatete vastuvõtukatsetel teostatavate teekatete omaduste mõõtmise meetoodika ning mõõteseadmetele esitatavate nõuete kinnitamine", Maanteeameti peadirektori 28.11.2016 käskkiri nr 0223

Lõpptulemused: Mõõdetud tihendustegurite ja jäävpoorsuste protokoll

Lisad: **Lisa 1** Tihendustegurite ja jäävpoorsuste algandmed ja koondtulemused
Lisa 2 Tihendustegurite ja poorsusnäitajate normaaljaotused radade kaupa
Lisa 3 AS Teede Tehnokeskuse laboratooriumi protokoll
Lisa 4 Maaradari kalibreerimisandmed
Lisa 5 Seguresepti andmed
Lisa 6 Jäävpoorsused ja tihendustegurid meetrite kaupa (eraldi Exceli failis)

Saadud tulemused kehtivad ainult ülalnimetatud objekti kohta

Mõõtis ja analüüsis: Veiko Tikas
Peaspetsialist

Kontrollis: Marek Truu
Osakonnajuhataja

Protokolli osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda arenduse ja uuringute osakonna kirjalik luba.
Arenduse ja uuringute osakond väljastab ainult värvitrükkis protokolle.

LISA 1 Tihendustegurite ja jäävpoorsuste algandmed ja koondtulemused

Objekti algandmed:

Objekti alguspikett:	259+16
Objekti pikkus, m:	1 084
Radade arv:	2
Vuukide arv:	1
Asfaltsegu mahumass (kg/m ³ ; Lisa 3):	2 408
Asfaltsegu erimass (kg/m ³ ; Lisa 3):	2 470
Vuugi minimaalne tihendustegur:	0,94
Katte minimaalne tihendustegur:	0,98

Kate: AC16surf 70/100	
max lubatud jp. %	5,0
min lubatud jp. %	1,5

Objekti koondtulemused:

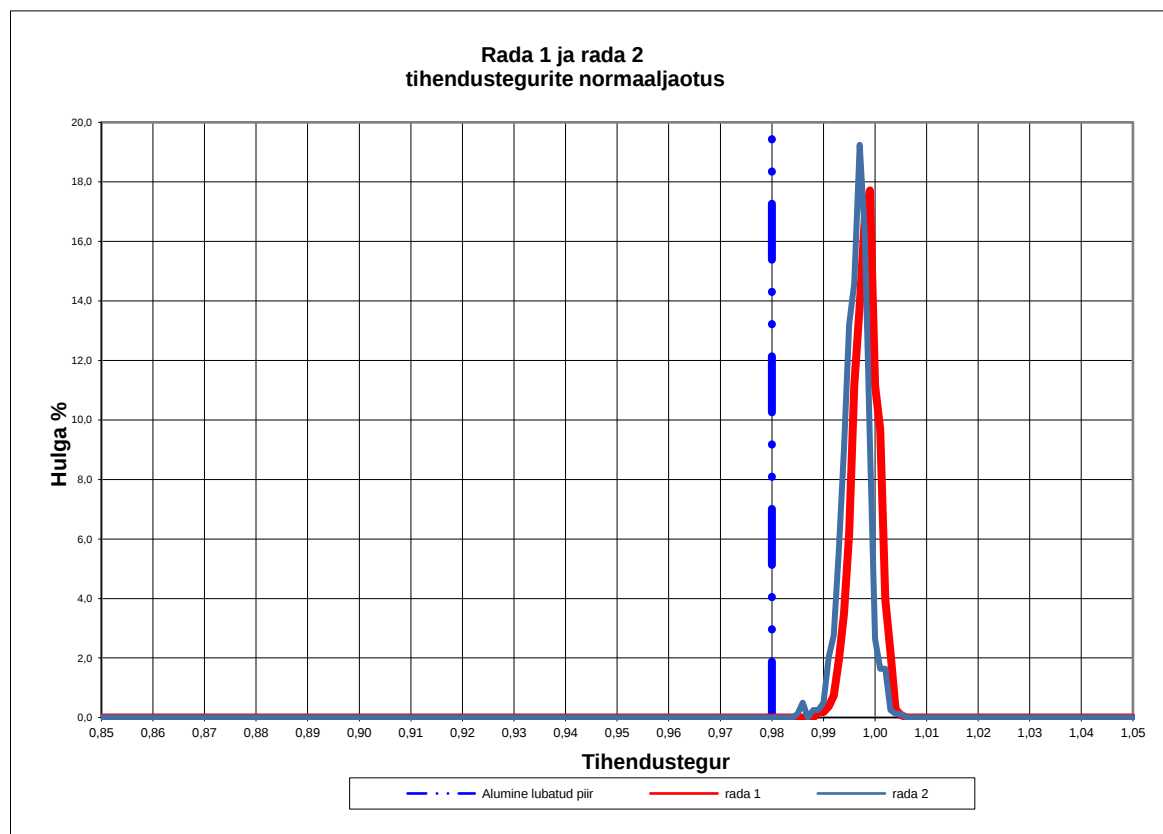
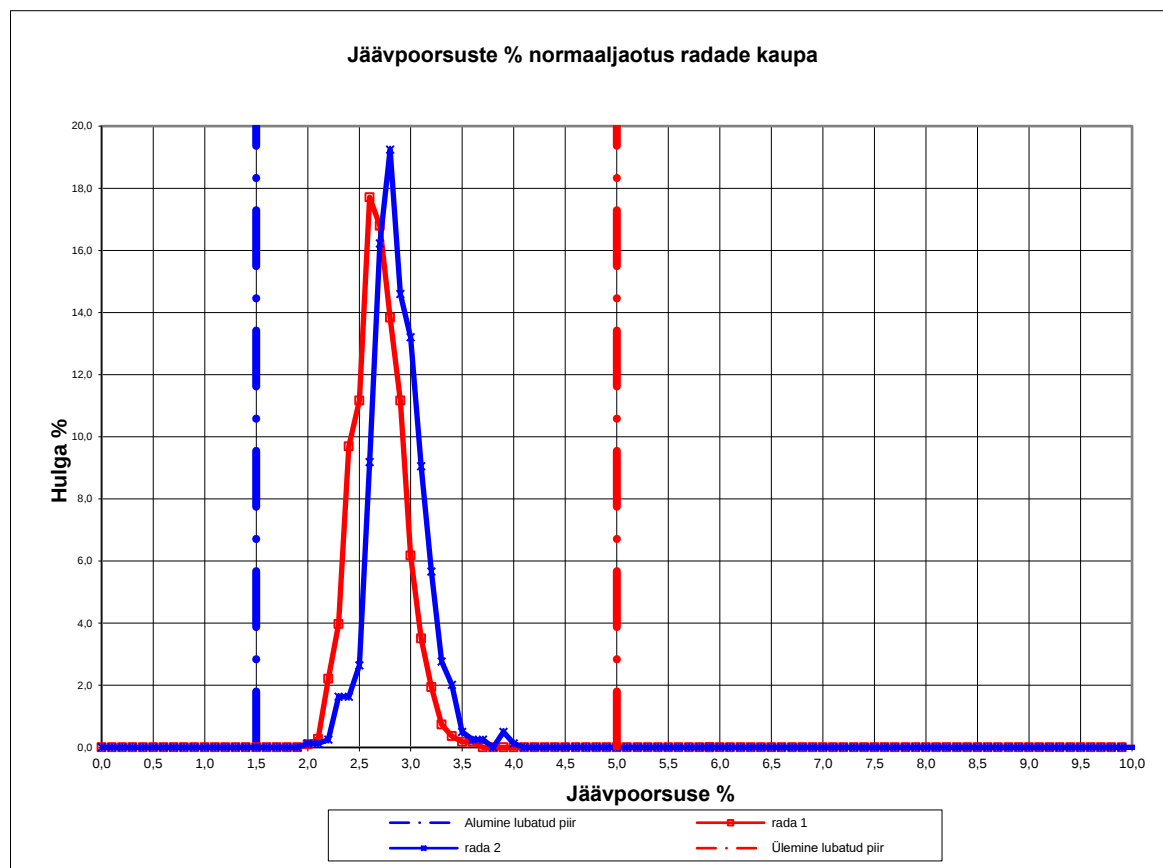
		RADA 1	RADA 2	KOKKU	VUUK
Jäävpoorsuste %	min	2,00	2,00	2,00	4,20
	keskmine	2,69	2,87	2,78	8,27
	max	3,60	4,00	4,00	12,30
Tihendustegur	min	0,989	0,985	0,985	0,900
	keskmine	0,998	0,996	0,996	0,941
	max	1,005	1,005	1,005	0,983

Märkused:

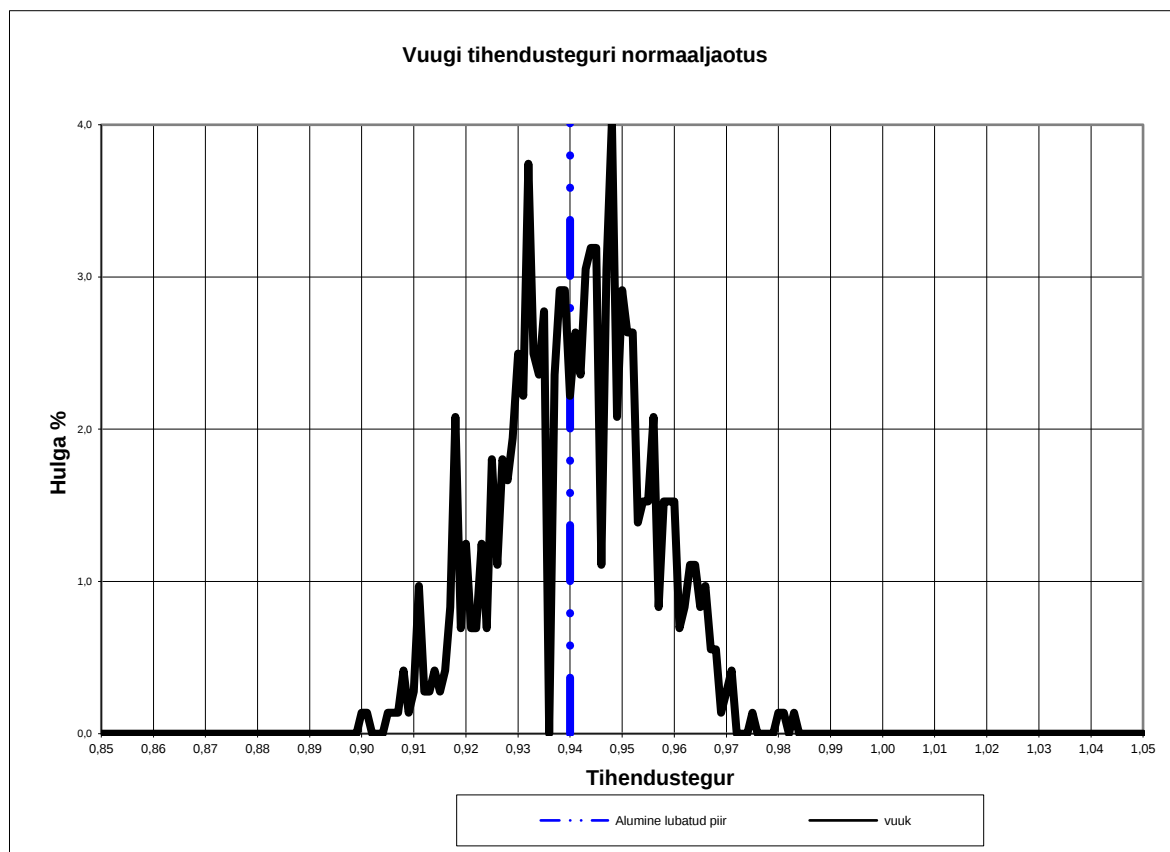
- 1) Mõõtelõikude kalibreerimisel on Tellija poolt saadud info põhjal eeldatud, et riigimaantee nr 22 Rakvere-Väike Maarja-Vägeva 25,93-30,0 (**Rada 1 PK 259+16 - 270+00; Rada 2 PK 259+16 - 266+75 ja Rada 2 PK 280+14 - 280+50**) on tegemist ühesuguse AC16surf 70/100 segureseptiga - seega kalibreerimiseks on valitud poorsust iseloomustama 8 puuraugu labori teimide andmed.
- 2) Labori teimide asfaltsegu mahumassi ja erimassi kasutatakse tihendusteguri arvutamiseks poorsuse kaudu.
- 3) Mõõdetud radade pikkus on paika kalibreeritud objekti alguses ja lõpus asunud piketaazi-märkide järgi. Rada 1 asub paremal pool, Rada 2 vasakul pool.
- 4) Tihendustegurite ja jäävpoorsuse nõuded on võetud „Asfaldist katendikihtide ehitamise juhis“ (kinnitatud Maanteeameti peadirektori 23.12.2015.a käskkiri nr 0314)

5) Vuugi mõõtmistulemustest on välja lõigatud ohutussaarte kohad ja lõigud, kus kummalgi paanil on erinevad segureseptid

LISA 2 Tihendustegurite ja poorsusnäitajate normaaljaotused radade kaupa



LISA 2 Tihendustegurite ja poorsusnäitajate normaaljaotused radade kaupa



KATSEPROTOKOLL

NR 5647/18

27.11.2018 nr 7-6.4/6151

Lk 1/2

Tellija: Teede Tehnokeskus AS Arendus ja Uuringud osakond – Veiko Tikas

Proovid:

Objekt	T22 Rakvere – Väike-Maarja – Vägeva 25,93-30,0
Võtmise koht	Vastavalt skeemile
Võtmise aeg ja võtja	Toomise aeg ja tooja
22.11.2018 10:30 kuni 12:00, M. Mänd, Teede Tehnokeskus AS	22.11.2018 14:45, M. Mänd, Teede Tehnokeskus AS
Tellija poolne tähistus	Labori reg nr
Puurproovid nr 1-8	6863

Katsetamine ja tulemused

Puurproovide paksused määrati EVS-EN 12697-36 järgi, mahumass EVS-EN 12697-6 (meetod B) järgi.

Tihendustegurite arvutamiseks valmistati laboratoorsed proovikehad EVS-EN 12697-30 (2x50 lööki) järgi.

Jäävpoorsuste arvutamiseks määrati näiv erimass EVS-EN 12697-5 (meetod A, vees, 18,5°C) järgi.

Puurkeha						Asfaltsegu	
Tellija tähistus		paksus mm	mahumass Mg/m ³ ρ _{bssd}	jääv- poorsus % V _m	tihendus- tegur	mahumass Mg/m ³ ρ _{bssd}	erimass Mg/m ³ ρ _{mv}
nr	Proovivõtu koht						
Pealmine kiht							
1v	PK 259+38	58	2,199	11,0	0,91	2,408	2,470
2	PK 259+76	46	2,383	3,5	0,99		
3v	PK 259+89	56	2,235	9,5	0,93		
4	PK 259+88	44	2,405	2,6	1,00		
5v	PK 260+00	54	2,200	10,9	0,91		
6	PK 260+11	45	2,376	3,8	0,99		
7v	PK 260+14	55	2,213	10,4	0,92		
8	PK 260+08	47	2,424	1,9	1,01		

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovide kohta.

Vastutav teostaja

Amet Labori peaspetsialist
Nimi Markus Mänd

/alkkirjastatud digitaalselt/

Protokolli osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba. Labor väljastab värvilise templiga või digitaalselt allkirjastatud katseprotokolle. Katseprotokollis ei pruugi kajastuda kõik katsestandardis nõutud taustandmed.

Puurimisskeem

Tee 22 Rakvere-Väike Maarja-Vägeva 25,93-30,0

Jäävpoolsuse mõõtmine.

Kalibreerimispuuraukude asukoha skeem

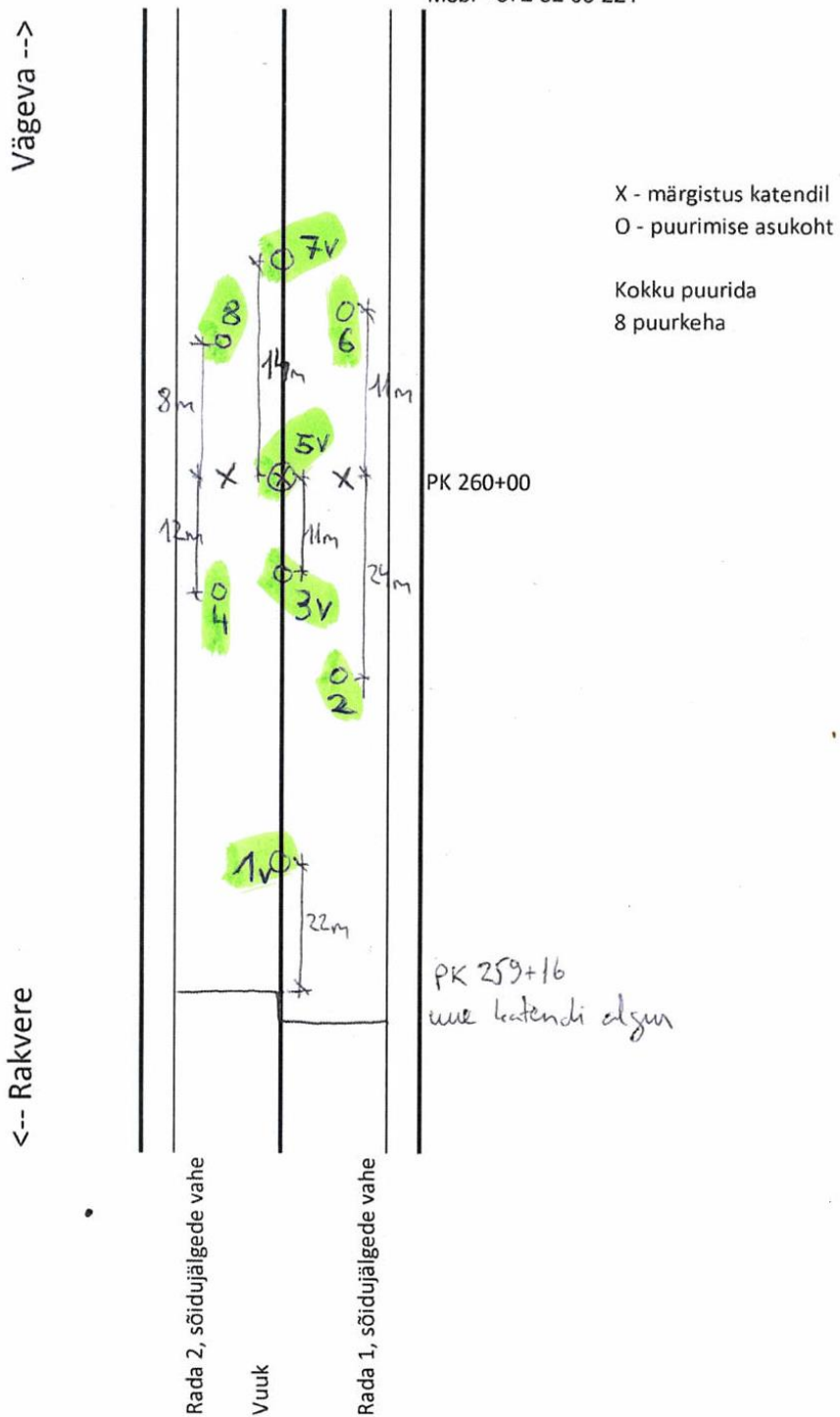
Ehitaja:

Olaf Jaaska

Projektijuht

Verston

Mob: +372 52 09 221



LISA 4

Andmete töötlemisel ja jäävpoorsuste arvutamisel kasutati tarkvara Road Doctor 3

Kalibreerimisnäitajad:

	Puuraugu asukoht, m	Jäävpoorsus, labor %	Er, radar	Er, hälve	Kalibreerimistegur
Rada 1	259+76	3,5	5,13	0,03	0,652
Rada 1	260+11	3,8	5,15	0,04	0,638
Rada 2	259+88	2,6	5,07	0,06	0,706
Rada 2	260+08	1,9	5,08	0,04	0,751
Keskmine:		2,95	5,108		0,6868

Vuuk	259+38	11,0	4,43	0,07	0,558
Vuuk	259+89	9,5	4,49	0,05	0,575
Vuuk	260+00	10,9	4,38	0,07	0,565
Vuuk	260+14	10,4	4,62	0,05	0,544
Keskmine:		10,45	4,480		0,5605

Tootja YIT Infra Eesti AS
Tehas Vianova

Kooskõlastanud
omanikujärelevalve

EN 13108-1

AC 16 surf 70/100

(nimi, allkiri, kuupäev)

Segu paigaldamise koht

T-22 km 25,93-30,0

Seguresept (labor)

nr.: 122

Täitematerjalid

Nr	fr	Tüüp	Tootja, dekl / karjäär	Ter tih Mg/m ³	LA	A _N	f	MB _F	C	FI	F	F _{NaCl}
1	10/20	tardkivi	0416-CPD-3468-05 / Inkoo	2,66	20	10	2	NR	100/0	15	1	4
2	6/12	tardkivi	0416-CPD-3468-05 / Inkoo	2,68	20	10	2	NR	100/0	15	1	4
3	3/6	tardkivi	0416-CPD-3468-05 / Inkoo	2,81	20	10	2	NR	100/0	15	1	4
4	0/4	tardkivi	0416-CPD-3468-05 / Inkoo	2,70	NR	NR	16	10	100/0	NR	NR	4
5	filler	paekivi	3-5/1 lemminkäinen	2,74	NR	NR	NR	10	NR	NR	NR	NR
6												

Lisandid	Mark	Tootja	%	Projekteeritud segu koostis.								
				Materjal		Materjali osakaal %		Materjali				
				Nr	fr	Täitematerjal	Segu	vajadus	kg/t			

Sideaine

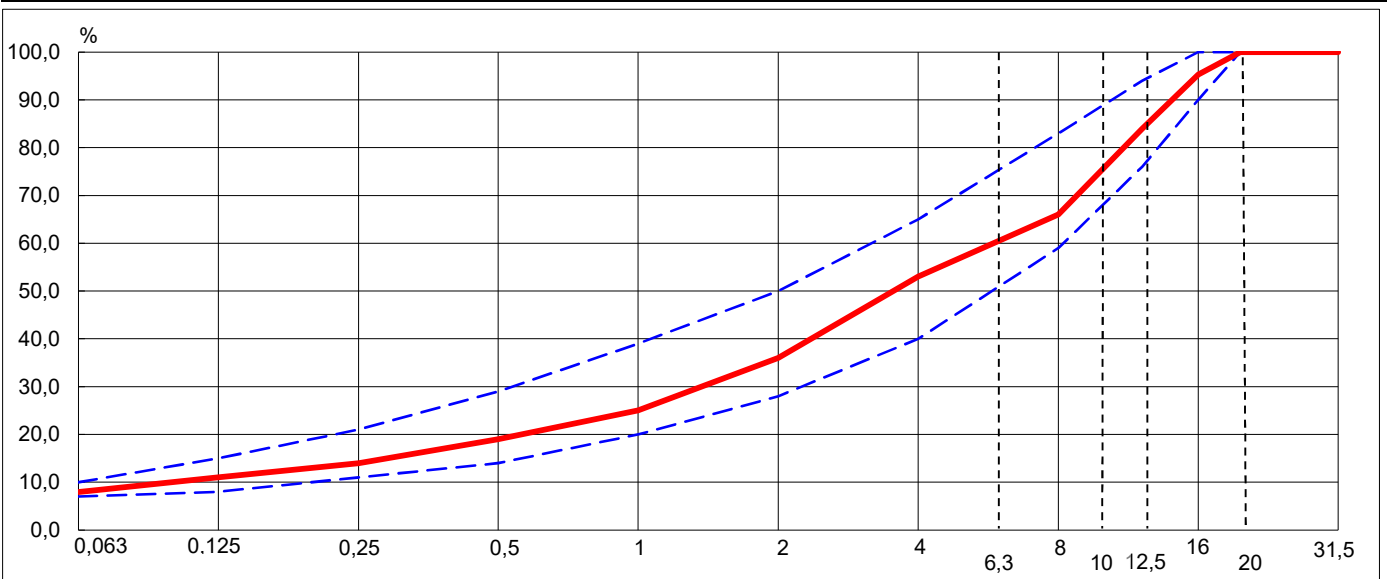
7	Tootja	Nynas		1	10/20	18	17,1	170,6
	Mark	70/100		2	6/12	20	19,0	189,6
	Nake	≥ 50%		3	3/6	9	8,5	85,3
				4	0/4	48	45,5	455,0
				5	filler	5	4,7	47,4
Sideaine lisandid	Mark	Tootja	%	6	0		0,0	0,0
	Wetfix BE	Akzo Nobel	0,4	7	B doseeritav*		5,2	52,0
					B katseline		5,0	50,0

Terastikuline koostis

						SUMMA		100		100,0			
Nr	Materjal	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	20	31,5
1	10/20	0,6	1	1	1	1	1	1	2	17	75	100	100
2	6/12	1	1	2	2	2	3	4	33	94	100	100	100
3	3/6	1,5	2	2	2	3	3	21	100	100	100	100	100
4	0/4	6,7	10	14	20	31	52	90	100	100	100	100	100
5	filler	73	89,2	98,8	99,8	100	100	100	100	100	100	100	100
6	0												
Norm	min	7,0	8	11	14	20	28	40	59	76	90	100	100
	max	10,0	15	21	29	39	50	65	83	94	100	100	100
Normkoostis		8	11	14	19	25	36	52	66	84	95	100	100

Projekteeritud segu omadused

Mahu-mass	Eri-mass	VMA %	V %	VFB %	V10G % *	WTS mm *	PRD % *	D %	ITSR % *	Abr _A ml *	S kN	F mm		
2483	2563	15,5	3,1	80,0	10,8	0,06	5,9	NR	98	32	9,9	3		
Nõue		min 12	1,5-4,5	DV	DV	DV	DV	NR	≥ 90	DV	≥ 7,5	2-5		



Koostanud

Raivo Normak

(nimi, allkiri, kuupäev)

/allkirjastatud digitaalselt/

LISA 5

Meie 29.11.2018.a.

Radarmõõtmiste protokoll

Tihendustegurite ja jäävpoorsuste tulemused

Tellij: Olaf Jaaska
Projektijuht
Verston Ehitus OÜ

Töö ülesanne: Riigimaantee nr 22 Rakvere-Väike Maarja-Vägeva 25,93-30,0 jäävpoorsuste ja tihendustegurite mõõtmine (**LÕIK 2 vt märkus 1**)

Mõõtmiste kirjeldus: Mõõtmised teostati maaradariga (GSSI 1 GHz antenniga) 17.10.18 AS Teede Tehnokeskuse poolt. Mõõtmiste kalibreerimiseks puuriti 8 puurkeha 18.10.18

Kalibreerimine: 8 puurkeha (sh 4 puurkeha vuugist) on võetud ja katsetatud AS Teede Tehnokeskuse akrediteeritud laboratooriumi poolt (labori protokoll Lisa 3)

Alusdokumentatsioon: "Riigiteede pealiskatete vastuvõtukatsetel teostatavate teekatete omaduste mõõtmise meetoodika ning mõõteseadmetele esitatavate nõuete kinnitamine", Maanteeameti peadirektori 28.11.2016 käskkiri nr 0223

Lõpptulemused: Mõõdetud tihendustegurite ja jäävpoorsuste protokoll

Lisad: **Lisa 1** Tihendustegurite ja jäävpoorsuste algandmed ja koondtulemused
Lisa 2 Tihendustegurite ja poorsusnäitajate normaaljaotused radade kaupa
Lisa 3 AS Teede Tehnokeskuse laboratooriumi protokoll
Lisa 4 Maaradari kalibreerimisandmed
Lisa 5 Seguresepti andmed
Lisa 6 Jäävpoorsused ja tihendustegurid meetrite kaupa (eraldi Exceli failis)

Saadud tulemused kehtivad ainult ülalnimetatud objekti kohta

Mõõtis ja analüüsis: Veiko Tikas
Peaspetsialist

Kontrollis: Marek Truu
Osakonnajuhataja

Protokolli osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda arenduse ja uuringute osakonna kirjalik luba.
Arenduse ja uuringute osakond väljastab ainult värvitrüki protokolle.

LISA 1 Tihendustegurite ja jäävpoorsuste algandmed ja koondtulemused

Objekti algandmed:

Objekti alguspikett:	259+16
Objekti pikkus, m:	3 327
Radade arv:	2
Vuukide arv:	1
Asfaltsegu mahumass (kg/m ³ ; Lisa 3):	2 411
Asfaltsegu erimass (kg/m ³ ; Lisa 3):	2 458
Vuugi minimaalne tihendustegur:	0,94
Katte minimaalne tihendustegur:	0,98

Kate: AC16surf 70/100	
max lubatud jp. %	5,0
min lubatud jp. %	1,5

Objekti koondtulemused:

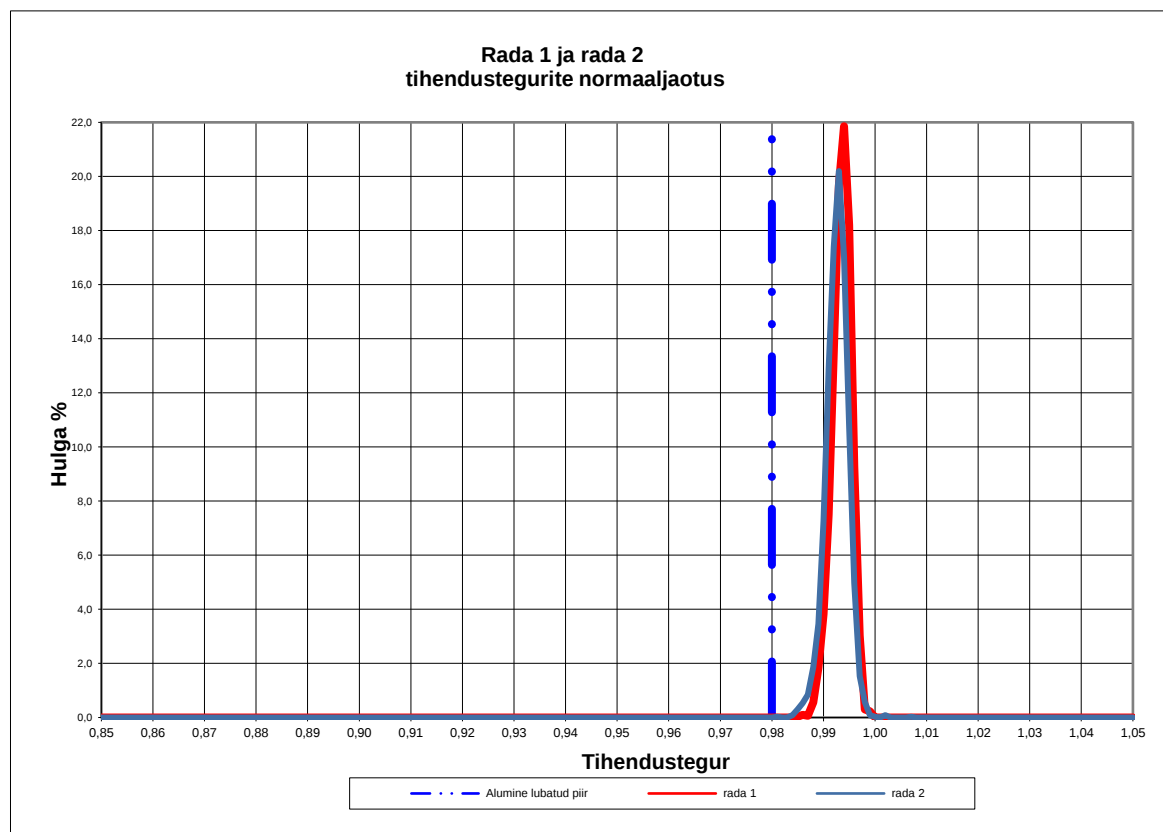
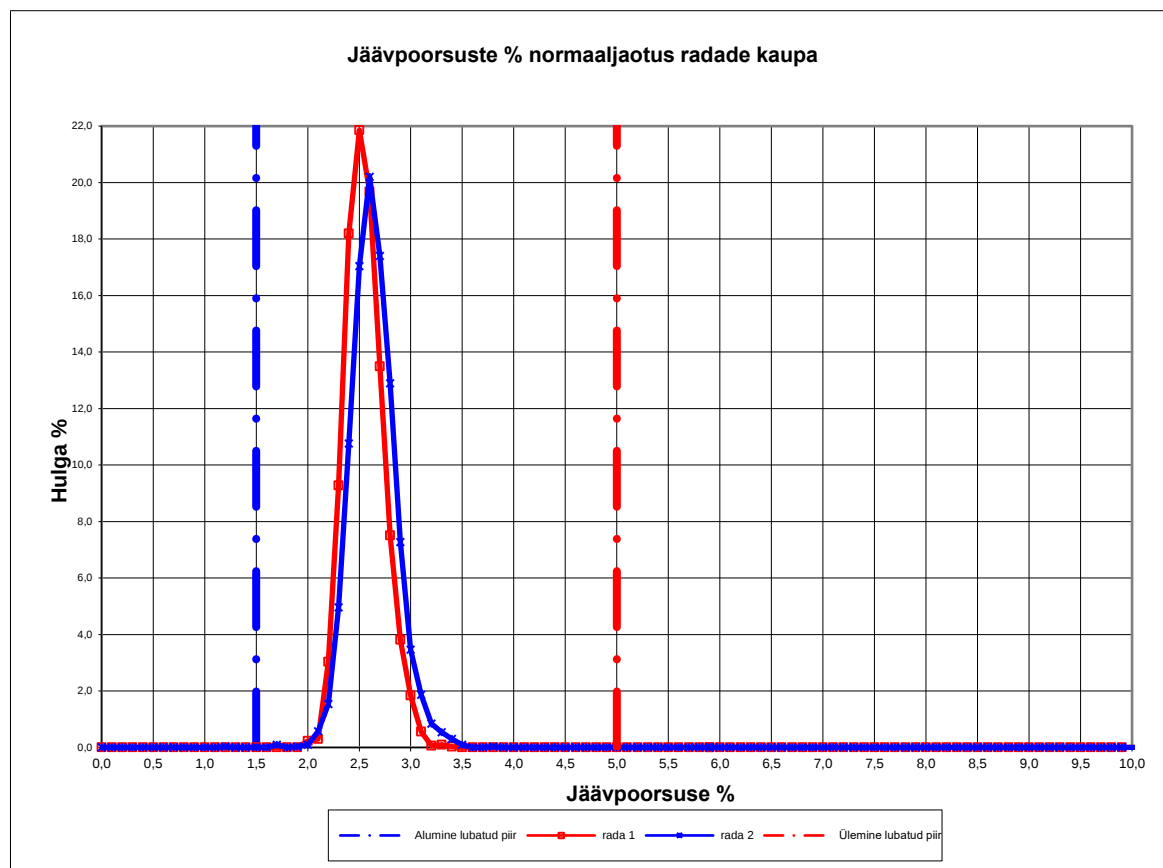
		RADA 1	RADA 2	KOKKU	VUUK
Jäävpoorsuste %	min	2,00	1,20	1,20	3,10
	keskmine	2,55	2,64	2,59	6,52
	max	3,40	3,80	3,80	11,50
Tihendustegur	min	0,985	0,981	0,981	0,902
	keskmine	0,993	0,993	0,993	0,953
	max	0,999	1,007	0,999	0,988

Märkused:

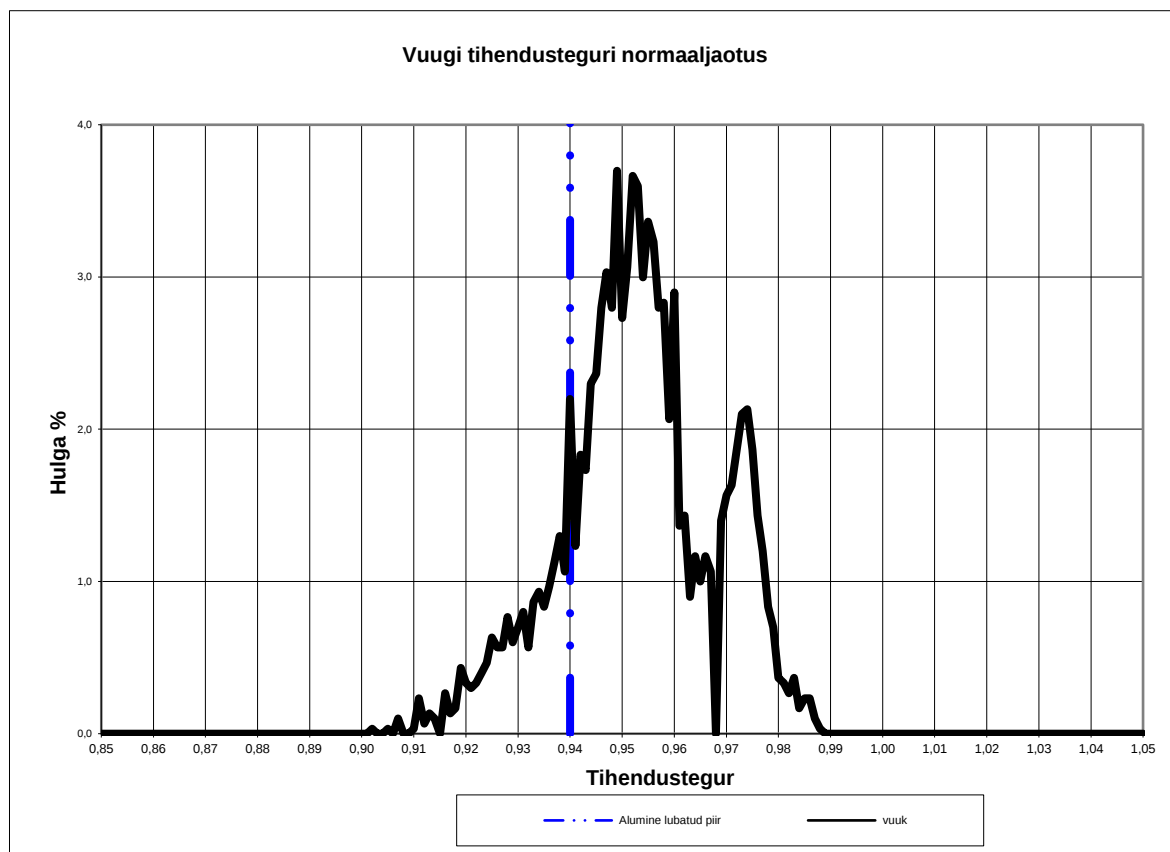
- 1) Mõõtelõikude kalibreerimisel on Tellija poolt saadud info põhjal eeldatud, et riigimaantee nr 22 Rakvere-Väike Maarja-Vägeva 25,93-30,0 (**Rada 1 PK 270+00 - 300+37; Rada 2 PK 266+75 - 280+14 ja Rada 2 PK 280+50 - 300+37**) on tegemist ühesuguse AC16surf 70/100 segureseptiga - seega kalibreerimiseks on valitud poorsust iseloomustama 8 puuraugu labori teimide andmed.
- 2) Labori teimide asfaltsegu mahumassi ja erimassi kasutatakse tihendusteguri arvutamiseks poorsuse kaudu.
- 3) Mõõdetud radade pikkus on paika kalibreeritud objekti alguses ja lõpus asunud piketaazi-märkide järgi. Rada 1 asub paremal pool, Rada 2 vasakul pool.
- 4) Tihendustegurite ja jäävpoorsuse nõuded on võetud „Asfaldist katendikihtide ehitamise juhis“ (kinnitatud Maanteeameti peadirektori 23.12.2015.a käskkiri nr 0314)

5) Vuugi mõõtmistulemustest on välja lõigatud kohad, kus kummalgi paanil on erinevad segureseptid

LISA 2 Tihendustegurite ja poorsusnäitajate normaaljaotused radade kaupa



LISA 2 Tihendustegurite ja poorsusnäitajate normaaljaotused radade kaupa



KATSEPROTOKOLL NR 5116/18

24.10.2018 nr 7-6.4/5575

Lk 1/2

Tellija: Teede Tehnokeskus AS Arendus ja Uuringud osakond – Veiko Tikas

Töö ülesanne: Puurproovide katsetamine

Proovid:
Objekt T22 Rakvere – Väike-Maarja – Vägeva 25,93-30,0

Võtmise koht Vastavalt skeemile

Võtmise aeg ja võtja

18.10.2018 10:00,

A. Pall, Teede Tehnokeskus AS

Toomise aeg ja tooja

18.10.2018 15:20,

A. Pall, Teede Tehnokeskus AS

Tellija poolne tähistus

Puurproovid nr 1-8

Labori reg nr

6235

**Katsetamine ja
tulemused**

Puurproovide paksused määrati EVS-EN 12697-36 järgi, mahumass EVS-EN 12697-6 (meetod B) järgi.

Tihendustegurite arvutamiseks valmistati laboratoorsed proovikehad EVS-EN 12697-30 (2x50 lööki) järgi.

Jäävpoorsuste arvutamiseks määrati näiv erimass EVS-EN 12697-5 (meetod A, vees, 19,4 °C) järgi.

Puurkeha						Asfaltsegu	
Tellija tähistus		paksus mm	mahumass Mg/m³ ρ _{bssd}	jääv- poorsus % V _m	tihendus- tegur	mahumass Mg/m³ ρ _{bssd}	erimass Mg/m³ ρ _{mv}
nr	Proovivõtu koht						
Pealmine kiht							
1v	PK 288+48	54	2,251	8,4	0,93	2,411	2,458
2v	PK 290+52	55	2,272	7,6	0,94		
3	PK 290+51	51	2,399	2,4	1,00		
4	PK 292+52	47	2,379	3,2	0,99		
5v	PK 292+51	49	2,314	5,9	0,96		
6	PK 292+49	55	2,404	2,2	1,00		
7	PK 296+47	53	2,394	2,6	0,99		
8v	PK 296+50	49	2,300	6,4	0,95		

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovide kohta.

Vastutav teostaja

Amet Labori peaspetsialist
Nimi Markus Mänd

/alkkirjastatud digitaalselt/

Protokolli osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba. Labor väljastab värvilise templiga või digitaalselt allkirjastatud katseprotokolle. Katseprotokollis ei pruugi kajastuda kõik katsestandardis nõutud taustandmed.

Puurimisskeem**Tee 22 Rakvere-Väike Maarja-Vägeva 25,93-30,0****Jäävpoorsuse mõõtmine.****Kalibreerimispuuraukude asukoha skeem**

Ehitaja:

Olaf Jaaska

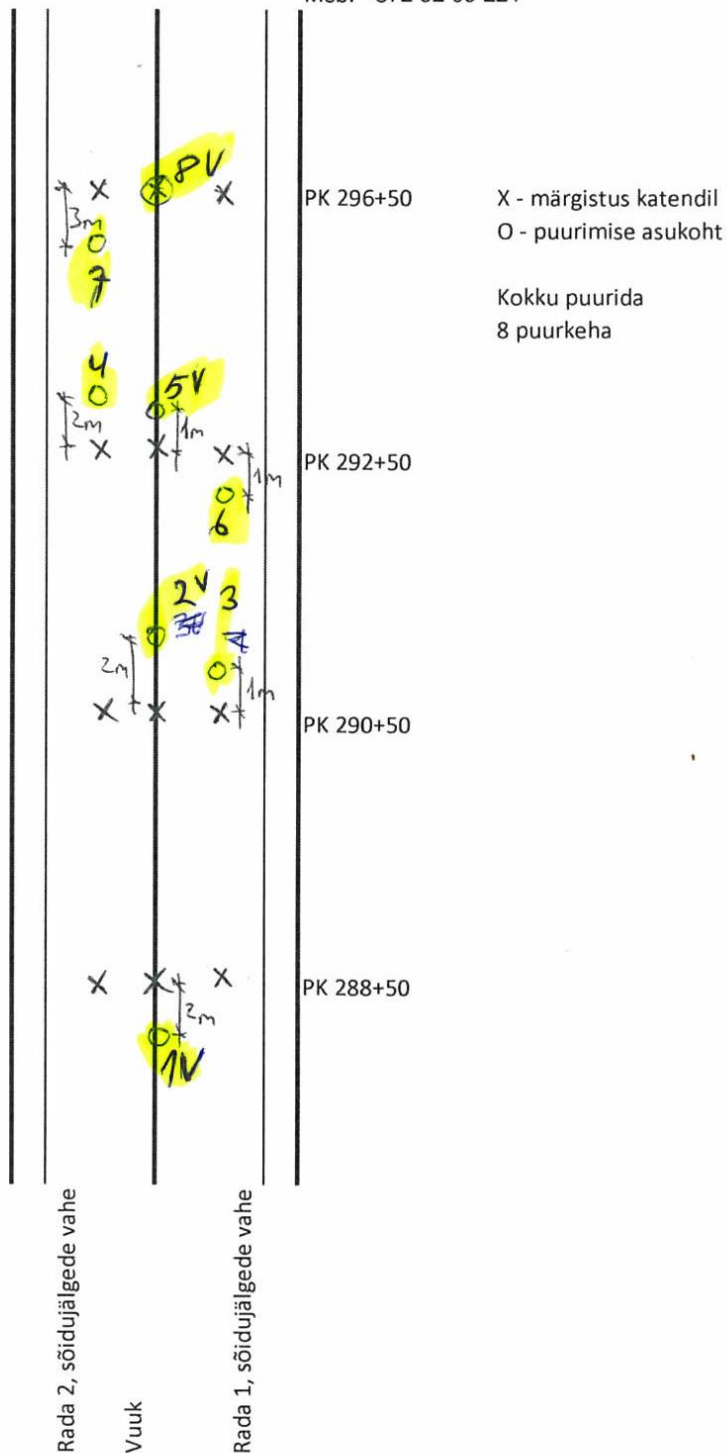
Projektijuht

Verston

Mob: +372 52 09 221

Vägeva -->

<-- Rakvere



LISA 4

Andmete töötlemisel ja jäävpoorsuste arvutamisel kasutati tarkvara Road Doctor 3

Kalibreerimisnäitajad:

	Puuraugu asukoht, m	Jäävpoorsus, labor %	Er, radar	Er, hälve	Kalibreerimistegur
Rada 1	290+51	2,4	5,29	0,03	0,688
Rada 1	292+49	2,2	5,28	0,02	0,702
Rada 2	292+52	3,2	5,20	0,04	0,657
Rada 2	296+47	2,6	5,25	0,03	0,681
Keskmine:		2,60	5,255		0,6820

Vuuk	288+48	8,4	5,07	0,05	0,528
Vuuk	290+52	7,6	5,00	0,04	0,550
Vuuk	292+51	5,9	4,63	0,02	0,636
Vuuk	296+50	6,4	4,82	0,03	0,598
Keskmine:		7,08	4,880		0,5780

Tootja AS TREV-2 Grupp
Tehas Amomatic SM-240
EN 13108-1

Segu paigaldamise koht
Seguretsept

AC 16 surf 70/100

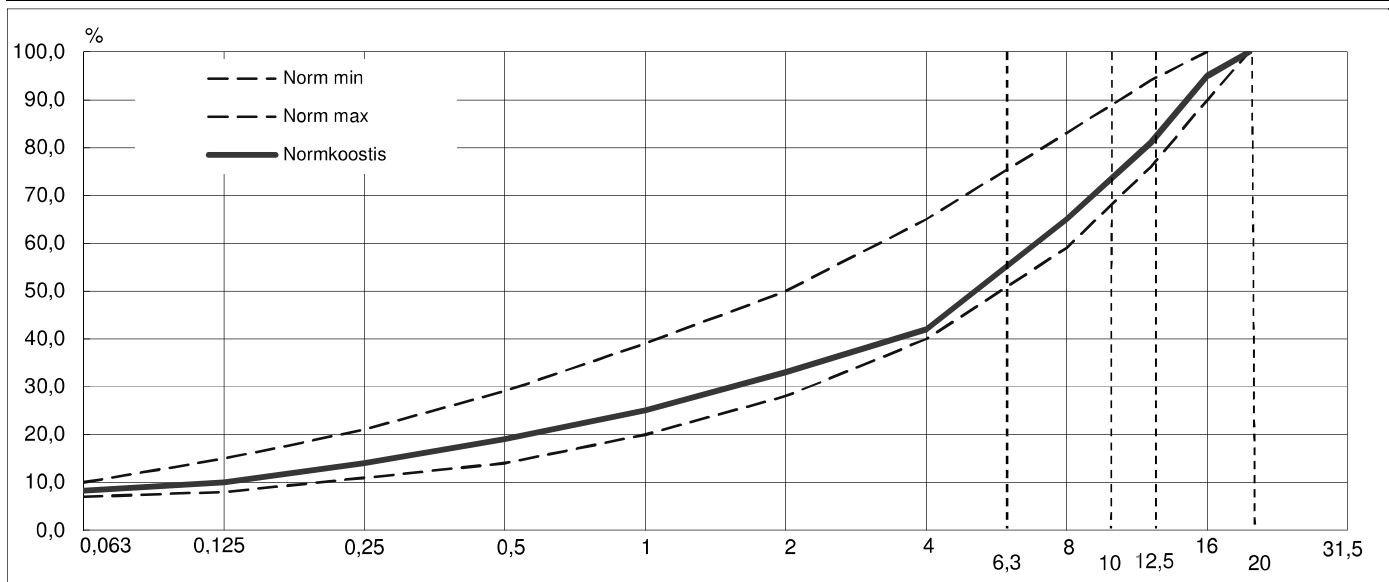
T-22 Rakvere - Väike-Maarja - Vägeva km 26-30 (Verston Ehitus OÜ)

nr.: SEG16160818

Kooskõlastanud
omanikujärelevalve

(nimi, allkiri, kuupäev)

Täitematerjalid													
Nr	fr	Tüüp	Tootja, dekl / karjäär		Ter tih Mg/m³	LA	A _N	f	MB _F	C	FI	F	F _{NaCl}
1	liiv	liiv	Ronk OU 04/15/043-2015-T/Hurtja		2,62	NR	NR	3	NR	NR	NR	NR	NR
2	0/4	tard	Rudus OY, nr 9071 / Inkoo		2,68	NR	NR	16	10	NR	NR	NR	NR
3	4/8	tard	Rudus OY, nr 9989 / Inkoo		2,77	25	14	2	NR	100/0	15	NR	4
4	8/16	tard	Rudus OY, nr 9086 / Inkoo		2,86	25	14	2	NR	100/0	15	NR	4
5													
6	filler	lubja	Nordkalk AS CPR-1504-0356/Rakke		2,75	NR	NR	NR	10	NR	NR	NR	NR
Lisandid	Mark		Tootja		%	Projekteeritud segu koostis.							
						Materjal		Materjali osakaal %				Materjali vajadus kg/t	
						Nr	fr	Täitematerjal		Segu			
Sideaine													
7	Tootja		Nynas			1	liiv	6		5,7		56,9	
	Mark		70/100			2	0/4	32		30,3		303,4	
	Nake		≥50			3	4/8	19		18,0		180,1	
						4	8/16	38		36,0		360,2	
						5	0			0,0		0,0	
Sideaine lisandid	Mark		Tootja		%	6	filler	5		4,7		47,4	
	Wetfix BE		Akzo Nobel		0,4	0	B doseeritav			5,2		52,0	
							B katseline			5,1		51,0	
Terastikuline koostis						SUMMA		100		100,0			
Nr	Materjal	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	20	31,5
1	liiv	2,1	5	21	56	89	98	99	100	100	100	100	100
2	0/4	8,9	13	20	29	42	65	93	100	100	100	100	100
3	4/8	1,3	2	2	2	2	3	15	95	100	100	100	100
4	8/16	0,3	0	0	0	0	0	0	6	55	95	100	
5	0												
6	filler	83,4	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Norm	min		7,0	8	11	14	20	28	40	59	76	90	100
	max		10,0	15	21	29	39	50	65	83	94	100	
Normkoostis		8,3	10	14	19	25	33	42	65	81	95	100	
Projekteeritud segu omadused													
Mahu-mass	Eri-mass	VMA %	V %	VFB %	V10G %	WTS mm	PRD %	D %	ITSR %	Abr _A ml			
2,433	2,479	14,3	1,9	87	NR	0,14	8,8	NR	97	36			
Nõue		DV	1,5-4,5	DV	DV	DV	13	NR	≥ 90	40			



Koostanud Janar Liiva 02.09.18
/allkirjastatud digitaalselt/

LISA 6



Teaduspargi 8, 12618 Tallinn
Temperatuuri riigietaloni labor
National Standard Laboratory for Temperature

KALIBREERIMISTUNNISTUS

Calibration Certificate

Kalibreerimistunnistus nr
Calibration Certificate No.
AET-18/0050

Kuupäev
Date
03.09.2018

Leht
Page
1(3)

Tellijä
Customer

Teede Tehnokeskus AS

Address
Address

Väike-Männiku 26, 11216 Tallinn

Mõõtevahend
Measuring instrument

Termokaamera

Valmistaja
Manufactured by

FLIR

Tüüp
Type

AX8

Number
Serial number

71200690

Kalibreeritud
Date of calibration

22.08.2018

Lehti
Number of pages

3

[Dokument on kinnitatud elektroonselt Metroserdi digitempliga.](#)

Kristjan Tammik kinnitas/approved 03.09.2018 10:18.07
Andrei Pokatilov kinnitas/approved 03.09.2018 10:20.51

A. Pokatilov
Mõõtmiste eest vastutav isik
Person responsible for measurements

K. Tammik
Kalibreeris
Calibrated by

Lisad
Documents attached

-

Riigietaloni laborit haldab AS Metroserd Eesti Vabariigi Mõõteseaduse alusel.

The National Standard laboratory is operated by Metroserd Ltd according to the Metrology Act of Republic of Estonia.

Akrediteeritud kalibreerimislabor AS Metroserd kalibreerib mõõtevahendeid ja väljastab kalibreerimistunnistusi Eesti Akrediteerimiskeskuse (EAK) akrediteerimisotsuse ulatuses ning sellele vastavates mõõtemääramatuse piirides. Käesolevas kalibreerimistunnistuses antud mõõtetulemused on jälgitavad rahvusvahelise mõõtühikute süsteemi (SI) ühikuteni. EAK on Euroopa Akrediteerimisalase Koostööorganisatsiooni (EA) liige ja on ühinenud EA liikmete vahelise vastastikuse tunnustamise leppega (MLA).

The measurements carried out and the Certificates of Calibration issued by an Accredited Laboratory comply with the measurement ranges and uncertainties approved by the Estonian Accreditation Centre (EAK). The measurement results issued by the Laboratory are traceable to the units of International System of Units (SI). EAK is a Member of EA (European co-operation for Accreditation) and a signatory to the EA MLA (Multilateral Agreement).

Kalibreerimistunnistust võib paljundada tema täies mahus. Kalibreerimistunnistuse osaline paljundamine on lubatud ainult tunnustust väljastava labori kirjalikul loal.

This Certificate may only be reproduced in full, except with the prior written permission by the issuing Laboratory.

Metroserdi dokumentide elektroonilise kinnitamise kohta vaata lisainfot aadressil <http://www.metroserd.ee/et/digitempel>.

For additional information about digital stamps used in Metroserd see <http://www.metroserd.ee/en/digitalstamp>.

1 Kalibreerimisvahendid. Calibration equipment.

Etalonid: takistustermomeeter HS 5622-16 / 100 Ω nr 31P301922;
temperatuurinäidik Hart Scientific 1529 nr A44621.

Abivahendid: IR - kalibraatorid Hart Scientific 9132 nr A44287 ja 4180 nr A82016.

2 Jälgitavus. Traceability.

Käesolevas kalibreerimistunnistuses antud mõõtetulemused on jälgitavad riigi- või rahvusvaheliste etalonideni ning rahvusvahelise mõõtühikute süsteemi (SI) ühikuteni.

3 Kalibreerimisjuhend/-metoodika, -meetod; mõõteprotsessi lühikirjeldus.

Calibration instruction or method; short description of the calibration process.

Mõõtmised sooritati vastavalt termograafiliste instrumentide kalibreerimise juhendile KJ/ET-3.01. Termokaamera parand määrati viiel temperatuuril: (+80; +100; +120; +140; +180) °C. Termokaamera fokuseeriti kalibraatori kiirgavale pinnale ning igal mõõdetaval temperatuuril salvestatati viis termogrammi. Termokaamera kalibreeriti temperatuuridel: (+80; +100; +120) °C temperatuurikalibraatoriga Fluke 4180, mille ringikujulise musta pinna läbimõõt on 15 cm ning temperatuuridel (140; 180) °C temperatuurikalibraatoriga Fluke 9132, mille ringikujulise musta pinna läbimõõt on 5,7 cm. Termokaamera kaugus mõõdetavast pinnast oli 20 cm (kalibraator Fluke 4180) ja 20 cm (kalibraator Fluke 9132). Kalibraatorite kiirgustegur on $\varepsilon = 0,95$.

Käesolevas tunnistuses esitatud temperatuuri väärtused põhinevad rahvusvahelisel temperatuuriskaalal ITS-90.

Tabel 1. Termokaamera seaded mõõtmise ajal

Parameeter	Tähis	Väärtus
kiirgustegur	ε	0,95
keskkonnas olevate objektide temperatuur	T_{refl}	24 °C

4 Tulemused. Results.

Tabel 2. Mõõtetulemused piirkonnas (+80...+120) °C

Temperatuur, °C	Kalibreeritava mõõtevahendi keskmine näit, °C *	Parand näidule, °C
80,0	77,8	2,2
100,0	97,1	2,9
120,0	115,3	4,7

**Tabel 3. Mõõtetulemused piirkonnas (+140...+180) °C

Temperatuur, °C	Kalibreeritava mõõtevahendi keskmine näit, °C *	Parand näidule, °C
140,0	137,5	2,5
180,1	175,4	4,7

*Termokaamera keskmised näidud on arvutatud keskmised väärtused pikslite väärtustest koordinaatidega (106;160)-(212;80)

**Tabelis 3 toodud mõõtetulemused ei kuulu akrediteeritud alasse.

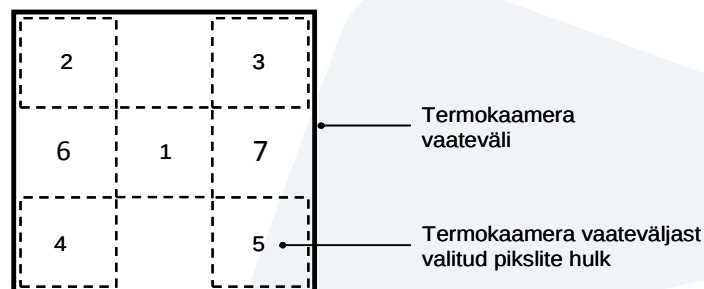
Termokaamera kalibreerimisel defektseid piksleid ei täheldatud.

Tabel 4. Termokaamera vaatevälja ebaühtlusest tingitud parandid

Asukoht joonisel 1	Temperatuur, °C	Pikslite koordinaadid (x1;y1)-(x2;y2)	Termokaamera keskmine näit, °C*	Parand näidule, °C
1	120,0	(106;160)-(212;80)	115,3	4,7
2	120,0	(1;240)-(106;160)	115,5	4,5
3	120,0	(212;240)-(320;160)	115,9	4,1
4	120,0	(1;80)-(106;1)	115,6	4,4
5	120,0	(212;80)-(320;1)	115,7	4,3
6	120,0	(1;81)-(106;160)	115,4	4,6
7	120,0	(213;81)-(320;160)	115,5	4,5

*Termokaamera vaateväljast valitud pikslite temperatuuriväärtustest arvatud keskmine väärtus.

Joonis 1. Termokaamera vaatevälja ebaühtluse määramine



5 Määramatus. Uncertainty of measurement.

Temperatuurivahemik °C	Laiendmääramatus °C
+80...+120	2,0
+140...+180	3,0

Mõõtemääramatuse hindamisel on arvesse võetud kõik teadaolevad mõjurid, mis annavad panuse määramatuse lõpphinnangusse, millest olulisemad on: mõõteobjekti kiirgusvõime ε väärtuse määramatus, mõõteobjekti vaatevälja ebaühtlus, mõõtmiste lühiajaline korduvus ja korratavus.

Esitatud mõõtmise laiendmääramatus on saadud mõõtmise standardmääramatusest, korrutades seda katteteguriga $k = 2$, mis normaaljaotuse korral vastab ligikaudu 95% katvustõenäosusele. Kalibreeritud mõõtevahendi pikaajaline stabiilsus ei ole arvesse võetud. Mõõtmise standardmääramatust on hinnatud kooskõlas EA juhenddokumendiga EA-4/02 ja JCGM 100 (*GUM 1995 with minor corrections*).

6 Keskkonnatingimused. Environmental conditions.

Temperatuur Temperature: (21,8...24,2) °C
Õhuniiskus Air humidity: (41...49) %rh

LISA 7

Katte paigaldustemperatuuri ühtluse mõõtmise metoodika

Üldist

Käesoleva metoodika eesmärk on kirjeldada ühtsed reeglid katte paigaldustemperatuuri ja seisakute mõõtmiste teostamiseks ning mõõtmistulemuste alusel boonuse maksmiseks. Metoodika koostamisel on arvesse võetud Soome ja Rootsi vastavad metoodikad ning kohandatud Eesti oludele sobivamaks, arvestades 2018. aasta pilootprojektide põhjal koostatud uuringu „Boonussüsteemi pilootprojekti analüüs riigimaanteede pilootobjektidel 2018“ tulemusi.

Varasemad uuringud on näidanud, et katte paigaldustemperatuur ja selle ühtlus on üks olulisemaid parameetreid ühtlase kvaliteediga (tihedusega) katte saavutamisel. Samas mõjutavad katte paigaldustemperatuuri mitmed tegurid, millele töövõtja peab tähelepanu pöörama kogu tootmisprotsessi vältel – lähtematerjali ladustamisel, segu tootmisel, veol ja paigaldamisel. Nende tegurite mõju arvestamine ja minimeerimine nõuavad töövõtjalt väga suurt tähelepanu ja pingutust. Motivatsioonisüsteemi eesmärk on soodustada insenerlikku innovatiivust ehk anda töövõtjatele rakendatavate meetmete (nt. materjalide ladustamine ja niiskuse ohjamine, tehase asukoha valik, asfaldisegu söötja ja/või isoleeritud veokastide kasutamine jpm) valikuks ja rakendamiseks vabad käed.

Boonuse maksmist õigustab muuhulgas asjaolu, et paigaldustemperatuuri ühtluse maksimeerimine nagu ka seisakute vältimine on täielikult töövõtja kontrolli all.

Katte paigaldustemperatuuride mõõtmise eesmärk käesoleva metoodika kohaselt on saada katte paigaldustemperatuuride ühtluse kohta usaldusväärset teavet rakendamiseks koos asjakohase motivatsioonisüsteemiga, mis võimaldaks Töövõtjale kohest tagasisidet ja motiveeriks rakendama kõige tõhusamaid meetmeid katte parema kvaliteedi saavutamiseks.

Käesolevas metoodikas kirjeldatud boonuse saamine nõuab töövõtjalt tavapärasest suuremat pingutust ning täiendavaid kulusid (sh. mõõtmistele), mida saadav bonus ei pruugi katta. Turul on erinevaid teekatte temperatuuri ühtluse mõõtmise seadmeid, mille mõõtmistäpsus on erinev. Senine metoodika nägi Soome ja Rootsi eeskujul ette ainult nn. A-klassi seadmete kasutamise kuid 2018 aastal tehtud uuring näitas, et ka suhteliselt lihtsamate seadmetega on võimalik saavutada märkimisväärne kasu temperatuuri ühtluse ja seisakute kontrollimisel. Käesolev metoodika arvestabki selliste, nn. B-klassi seadmete kasutamise võimalust ning nendele on välja töötatud eraldi nõuded ja boonuse võimalus ja boonussüsteemi põhimõtete järgi on Töövõtjale on jäetud vabadus valida neist endale sobivaim.

Nõuded mõõtmistele

Töövõtja peab pidevalt mõõtma katte temperatuuri paigaldamise ajal laoturi tagaservast 2-5 m kaugusel kuni 5 m laiuse kattepaani korral kogu paigalduse laiuses ning üle 5 m laiuse katte paani korral vähemalt 5 m laiuselt. Laoturi meeskonnal peab olema võimalus pidevalt jälgida

mõõdetud paigaldustemperatuure reaalajas. Katte paigaldustemperatuuri mõõtmiseks ja jälgimiseks tuleb kasutada selleks ettenähtud seadet, mis salvestab temperatuuride info koos asukoha ja ajatempliga. Mõõtmiste intervall peab olema vähemalt 5 mõõtmist (B-klassi seadmel 2 mõõtmist) pikisuunas iga meetri kohta ning põiksuunas vähemalt 0,1 m (B-klassi seadmel 0,3 m). Mõõtmised tuleb teostada vähemalt põhisõiduradade ulatuses. Mõõteseade peab mõõtma ning koguma ja salvestama järgmist teavet: katte temperatuurid koos järgmise infoga iga mõõdetud temperatuuri kohta: mõõtmise aeg, mõõtmise asukoht piki ja põiki teed (teeaadress ja koordinaat), laoturi liikumise kiirus. Seadme täpsus temperatuuri mõõtmistel peab olema vähemalt $\pm 2\%$. Temperatuuri mõõtmise andur peab olema kalibreeritud viimase aasta jooksul. Seadmete paigaldus tuleb teostada seadme tootja juhiste ja nõuete kohaselt. Seadme täpsus teeaadressi ja koordinaadi määramisel peab olema vähemalt $\pm 0,1$ m (B-klassi seadmel nõue puudub kuid peab olema tagatud teepikkuse mõõtmise täpsus $\pm 5\%$). A-klassi seade peab suutma mõõta liikumiskiirust. Mõõtmine peab toimuma katkestuseta. Katkestuste korral tuleb näidata katkestuse põhjus. Termopilte salvestava A-klassi seadme korral on täiendavad nõuded - termopildi (jpg) resolutsioon peab võimaldada arusaadavalt eristada häiringuid (paani kontuurid, teerull, inimene, rooba vars, suusk jms), termopiltide pikisuunaline intervall peab olema kuni 1 m, termopilt peab olema seotud mõõtmiste aja ning mõõtmiste asukohaga piki teed (koordinaat ja teemeeter) asukoha täpsusega $\pm 0,1$ m.

Kasutades A-klassi mõõtmisseadet, tekib Töövõtjal õigus mõõtmisboonusele 2% katte maksumusest. Termopilte salvestava mõõteseadme kasutamisel on võimalik saada täiendavat mõõtmisboonust 1% katte maksumusest. Termopiltide olemasolu annab teostatud mõõdistustööle lisandväärtuse, mis võimaldab jälgida paigaldusprotsessi reaalajas ning teostada mõõdistusjärgset visuaalset kontrolli ja veenduda seeläbi mõõtmiste õigsuses. Seetõttu makstakse Töövõtjale vastavat seadet kasutades iga nõuetekohaselt mõõdetud katteosa eest mõõtmisboonust.

Boonuse rakendamise ulatus ja eesmärk

Boonuse eesmärk on soodustada innovatiivsete kvaliteedi tagamise meetodite arengut ja kasutuselevõttu töövõtjate poolt ning nõutust oluliselt parema katte kvaliteedi saavutamist. Katte temperatuuri ühtlus on katte homogeensuse ja tiheduse ning pikaajalisuse saavutamisel üks olulisemaid näitajaid, mistõttu selle mõju katte lõppkvaliteedile on määrava tähtsusega. Teisalt on tegemist ühe täpsemini ja ülevaatlikumalt ning reaalajas mõõdetava näitajaga, mille tulemusi saab seega hinnata ja kasutada protsesside tööparendamisel operatiivselt.

Boonust rakendatakse arvestuspaani (igale järjest vuukideta paigaldatavale kattepaani osale) 1000m pikkuste arvestuslõikude kaupa. Iga arvestuspaani viimane arvestuslõik (jääk) võib olla lühem. Boonust arvestatakse iga arvestuslõigu kohta eraldi.

- Seisakuks loetakse laoturi enam kui 2 minuti pikkust paigalolekut. Kõik 5 m sisse jäävate paigalolekute aeg summeritakse. Paigalolekuks loetakse ka liikumist kiirusega kuni 2,5 m/min. Kõik paigalolekud, mida ei loeta seisakuteks, summeeritakse lisapaigalolekuteks ning arvestatakse seisakutena (kuni 2 min lisapaigalolekut võrdub 1 seisakuga, kuni 4 min lisapaigalolekut võrdub 2 seisakuga jne).
- Riskialaks loetakse vähemalt 0,1 m² suurust katte pinda, mille paigaldustemperatuur on alla 90% sellele eelneva 100 m katte keskmisest paigaldustemperatuurist. Arvestuspaani

esimese 100m puhul arvestatakse riskiala sama 100m keskmise paigaldustemperatuuri alusel

Katte keskmise temperatuuri arvutamiseks peab mõõtmisandmetest eemaldama mõõtmistulemused, millised ei iseloomusta katte paigaldustemperatuuri: katte servaalad kuni 0,3 m (B-klassi seadmel kuni 0,5 m), paigalolekualad (paigaloleku järgne üle mõõdetud jahtunud katte pind) ja häiringud (nt. inimene, teerull). Boonuse rakendamiseks peab häiringuteta alade osakaal pärast katte servaalade eemaldamist alles jäävast mõõtmiste mahust (mõõdetud katteosa) olema vähemalt 95%. Boonuse arvutamisel võetakse katte laius arvesse koos servaaladega, kuid mitte laiemalt kui 5 m.

Aruandlus

Mõõtmiste kohta tuleb peale ehitusobjekti katte paigaldust esitada tellijale mõõtmistulemused 7 päeva jooksul ning aruanne 30 päeva jooksul pärast katte paigalduse lõppu:

Mõõtmistulemused

- Mõõtmisseadme poolt salvestatud mõõtmistulemused tabelina, csv-formaadis.
- Mõõtmistulemused peavad vastama mõõtmisintervallile.
- Termopiltide salvestamisel termopildid jpg formaadis seotuna andmetabeliga (avatav hüperlink).

Aruanne arvestuslõikude kaupa

- mõõtmise kuupäev
- mõõdetud rada
- 1000m lõigu aadress ja suund
- mõõtmistega kaetuse protsent (%)
- häiringuteta mõõtmiste osakaal (%)
- seisakute arv ja nende kestus
- lisapaigalolekute ajaline kestus
- riskiala osakaal (%);

Kattetemperatuuride andmed visualiseerituna (A-klassi seadme korral veebirakenduses):

- katte temperatuurid (nn. „termovaip“)
- iga ristlõike miinimum-, maksimum- ja 100 m keskmine temperatuur
- riskiala osakaal (joongraafikud)
- seisakute ja paigalolekute aruanne

Boonuse arvutus

Kvaliteetselt teostatud ja tõendatud töö eest makstakse boonust **kuni 10% katte maksumusest**. Boonust makstakse kui mõõtmismetoodikas kirjeldatud nõuded on täidetud ja arvestatakse arvestuslõikude kaupa alljärgneva valemi kohaselt:

$$B = (Bm + Bs + Br) \times H \times F$$

kus:

- B – summaarne maksumuse suurendamine (boonus), %;
- B_m – boonus A-klassi termokaamera kasutamise eest (mõõtmisboonus), %;
- B_s – boonus seisakute vältimise eest, %;
- B_r – boonus riskialade vältimise eest, %;
- H – katte hind, €/m²;
- F – boonuse maksmise kaasatud arvestuslõigule paigaldatud katte pindala, m².

Mõõtmisboonus

A-klassi mõõtmisseadme kasutamise eest makstakse mõõtmisboonus kuni 3% iga nõuetekohaselt mõõdetud katteosa maksumusest koos katte servaaladega ning arvutatakse valemiga:

$$B_m = B_k + B_t$$

kus:

B_m – summaarne mõõtmisboonus

B_k – mõõtmisboonus A-klassi seadme kasutamise eest, 2%;

B_t – täiendav mõõtmisboonus termopilte salvestava seadme kasutamise eest, 1%.

Boonuse maksmine seisakute vältimise eest

Seisakute vältimise eest makstakse boonust **kuni 2% katte maksumusest** juhul, kui seisakute arv arvestuslõigul on 1000m kohta väiksem kui 10 (lühemal lõigul arvestatakse proportsionaalselt) vastavalt järgmisele valemile:

$$B_s = 0,02 \times \left(1 - \frac{S}{10}\right)$$

kus:

B_s – maksumuse suurendamine seisakute vältimise eest, %;

S – seisakute arv hinnataval arvestuslõigul, (0-10 tk)

S_{max} – maksimaalne seisakute arv (1000 m arvestuslõigu korral 10, lühemal lõigul väiksem proportsionaalselt lõigu pikkusega.) Ümardatakse täisarvuni ümardamisreeglite järgi.

Boonuse maksmine riskialade vältimise eest

Riskialade vältimise eest makstakse boonust **kuni 5% katte maksumusest** juhul, kui paigaldatava teekatte riskialade osakaal arvestuslõigul on alla 5%, alljärgneva valemi alusel:

$$B_r = 0,05 \times (1 - R \times 20)$$

kus:

B_r – maksumuse suurendamine riskialade vältimise eest, %

R – riskiala osakaal hinnataval arvestuslõigul, %

ABISTAV LISA

Katte temperatuuri ühtluse mõõtmiseks kasutatavate seadmete nõuete koond

Nõue	Klass A	Klass B
Mõõtmiste asukoht: teemeeter ja koordinaat	jah	jah
Mõõtmiste asukoha täpsus	$\pm 0,1$ m	ei
Mõõtmiste laius	≥ 5 m	≥ 5 m
Pikisuunaline intervall, mõõtmist meetri kohta	≥ 5	≥ 2
Põiksuunaline intervall	$\leq 0,1$ m	$\leq 0,30$ m
Temperatuuride info koos asukoha ja ajatempliga	jah	jah
Servaalade eemaldamise laius	$\leq 0,3$ m	$\leq 0,5$ m
Mõõtmiste kaugus laoturi tagaservast	≤ 5 m	≤ 5 m
Paigaldustemperatuuride reaajas jälgimine	jah	jah
Temperatuuri mõõtmisvahemik	$0-180^{\circ}\text{C}$	$0-180^{\circ}\text{C}$
Seadme täpsus temperatuuri mõõtmisel	$\pm 2\%$	$\pm 3\%$
Temperatuurianduri kalibreerimise intervall	iga aasta	iga aasta
Termopiltide salvestamine	(võimalus)	ei
Laoturi liikumise kiirus	jah	ei
Mõõtmine peab toimuma katkestusteta	jah	jah