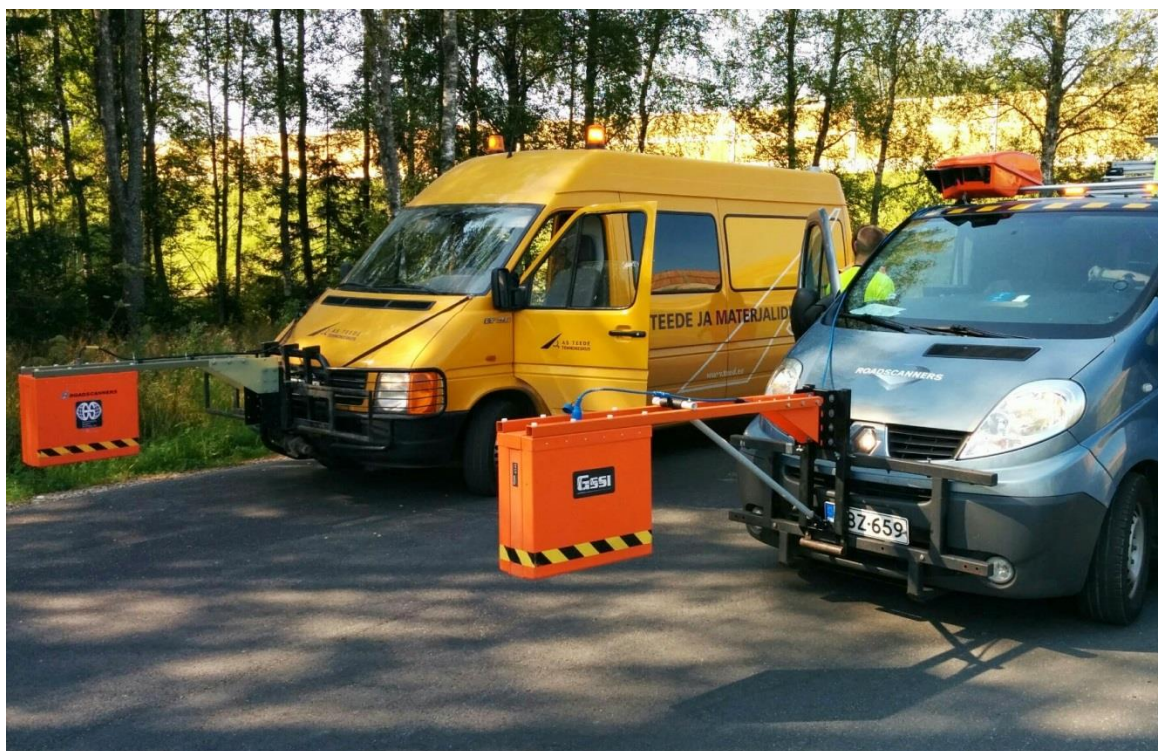


**Teadus- ja arendustöö**  
**„Asfaltkattede mittepurustava vastuvõtusüsteemi**  
**väljatöötamine“**

**LÕPPARUANNE**

**AS Teede Tehnokeskus**

**2014-21**



**MAANTEEAMET**

**Tallinn 2014**

Koostajad:

Marek Truu (AS Teede Tehnokeskus)

Karmen Kütt (AS Teede Tehnokeskus)

Veiko Tikas (AS Teede Tehnokeskus)

Erko Puusaag (AS Teede Tehnokeskus)

Taivo Möll (AS Teede Tehnokeskus)

Kaasa aitasid:

Taavi Tõnts, Urmas Robam, Kalju Lõokene (Maanteeamet)

Tomi Herronen, Olli Ervelä, Jussi Juola (Roadscanners OY)

Tom Scullion (Texas A&M Transportation Institute, USA)

Jacek Sudyka (Road and Bridge Research Institute, Poland)

Helen Viner (TRL, UK)

Anne Lalagüe (SINTEF, Norway)

Marcus Larsson, Johan Ullberg (Swedish Transport Administration)

Josef Stryk (Transport Research Centre, Czech Republic)

Finn Thøgersen (Vejdirektoratet, Denmark)

Katri Eskola (Liikennevirasto, Finland)

Jānis Barbars, Ervins Purins (Latvian State Roads)

Dirk Jansen (Federal Highway Research Institute, Germany)

# Asfaltkatteid mittepurustava vastuvõtusüsteemi väljatöötamine ARUANNE

Projektijuht: Marek Truu

Koostajad: Karmen Kütt  
Veiko Tikas  
Erko Puusaag  
Taivo Möll

## SISUKORD

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| SISUKORD .....                                               | 1  |
| SISSEJUHATUS .....                                           | 3  |
| 1. ÜLEVAADE MITTEPURUSTAVATEST MEETODITEST .....             | 5  |
| Maaradar .....                                               | 5  |
| FWD .....                                                    | 13 |
| Profilograaf .....                                           | 14 |
| Haardetegur .....                                            | 17 |
| Rahvusvahelised uuringud .....                               | 18 |
| 2. MITTEPURUSTAVATE MEETODITE RAHVUSVAHELINE PRAKTIKA .....  | 23 |
| Soome .....                                                  | 23 |
| Rootsi .....                                                 | 29 |
| Taani .....                                                  | 34 |
| Norra .....                                                  | 35 |
| Ühendkuningriigid .....                                      | 37 |
| Tšehhi .....                                                 | 43 |
| Poola .....                                                  | 44 |
| Läti .....                                                   | 49 |
| Saksamaa .....                                               | 49 |
| Vahekokkuvõte .....                                          | 50 |
| 3. EHTUSOBJEKTIDE MÕÕTMISED JA ANALÜÜS .....                 | 52 |
| Mõõtmised uusehitiste kihtide paksuste kontrollimiseks ..... | 52 |
| Mõõtmised uute katete kvaliteedi kontrollimiseks .....       | 67 |
| Tarindikihtide analüüs tagasiarvutusega .....                | 78 |

|    |                                                             |     |
|----|-------------------------------------------------------------|-----|
| 4. | VASTUVÕTUSÜSTEEMI VÄLJATÖÖTAMINE .....                      | 81  |
|    | Skandinaavias kasutatava radartehnoloogia võimekusest ..... | 81  |
|    | Maaradaril põhinev tööde vastuvõtu süsteem.....             | 82  |
|    | Jäävpoorsuse ja tihendusteguri mõju mahaarvamistele .....   | 82  |
|    | Maaradariga mõõtmiste ja analüüsi ajakulu .....             | 86  |
| 5. | ÜLEVAADE KEHTIVATEST JUHENDITEST .....                      | 88  |
|    | Tasasus.....                                                | 88  |
|    | Haardetegur.....                                            | 92  |
|    | Kandevõime .....                                            | 93  |
|    | Maaradar .....                                              | 94  |
| 6. | JÄRELDUSED JA SOOVITUSED .....                              | 95  |
|    | Nõuded teetööde vastuvõtmisel.....                          | 95  |
|    | Katte paksuse määramine maaradariga .....                   | 98  |
|    | Teekatete mõõtmised garantiiaja lõpul .....                 | 104 |
|    | Uute katete monitooring.....                                | 107 |
|    | KOKKUVÕTE .....                                             | 109 |
|    | SUMMARY .....                                               | 112 |
|    | KIRJANDUS .....                                             | 114 |

## SISSEJUHATUS

Teedehituses on väga oluline, et kõik katendikihid oleksid kogu objekti ulatuses peale ehitamist piisava ning võimalikult **ühtlase paksuse ja kvaliteediga**. Seetõttu pööratakse nendele küsimustele ka katete vastuvõtmisel suurt tähelepanu. Uute katete seisundimõõtmisena on ka nende vastuvõtmisel on juba mõnda aega mõõdetud nt. tasasust ja kandevõimet, kuid seniajani teostatakse paljusid kvaliteedikontrolli mõõtmised mittepidevate meetoditega. Seetõttu ei saada mitmete, katte püsivuse seisukohalt oluliste parameetrite osas kahjuks tänaseni täielikku ülevaadet, kui kvaliteetsed on ikkagi uued katendikihid, mille ehitamiseks on kulutatud palju vahendeid.

Katte paigaldamisel tasasele alusele ei muutu **katte ülakihi paksus** tavaliselt lühikesel lõigul kuigi suures ulatuses. Katte tasasuse saavutamiseks on laoturid konstrueeritud jälgima etteantud parameetreid (kalded, paksus, kõrgus) automaatselt. Tüüpiliselt ei varieeru seotud katendikihtide paksus standardse 500 m lõigu ulatuses seetõttu üle 10% ning tõenäosus õhema kattega kohtade avastamiseks standardse puurimisega on suur. Seevastu katte ülakihi jäävpoorsus võib lühikestel, 1-10 m pikkustel aladel 3-5% asemel olla kergesti 8-10% e. ehk üle 2x lubatust suurem. Suur poorsus tähendab aga omakorda, et vesi ja soolvesi pääsevad nn. rehvidega pumpamise tulemusena kergemini sügavamale kattesse. Kattesse pääsenud vesi hakkab lõhkuma sidemeid asfaldiosakeste vahel. Et Eesti kliimas võib katte ülaosas esineda mõnel aastal hinnanguliselt 10-30 külmumis-sulamistsükli, siis saavad suure poorsusega probleemsed kohad suurimad kahjustused just sellisel perioodil.

Mittepideva meetodiga on asfaltkatete tihedust iseloomustavast **jäävpoorsusest** ülevaadet saada praktiliselt võimatu. Standardsel laboratoorsel uuringul põhineva katsemeetodiga hinnangu andmiseks võetakse 12 suurkeha ühe kilomeetri tee kohta, mis ei anna objektiivset ülevaadet väga kiiresti muutuda võivast poorsusest. Peamiselt põhjustavad poorsuse järske suurenemisi jahtunud seguga alad (nn kastiservade segu), mis on tavaliselt suhteliselt lühikesed (mõned meetrid) ning neid 500 m sammuga võetavate katteproovidega suure tõenäosusega ei avastata. Nt. viie meetrise poorse koha avastamise tõenäosus

standardse sammuga on seega keskmiselt vaid 1%. Samas üksikobjektide korral ei pruugi see keskmine rakenduda ning vahel ei leita seega midagi, vahel aga mitu defektset korruga. Isegi kui sellised 5m-pikkused poorsed kohad paiknevad 50m sammuga üle kogu objekti, on nende avastamise tõenäosus siiski vaid 10%. Ometi hakkavad just need kohad dikteerima katte eluiga. Objektide piisavalt suure hulga puhul annab see võimaluse hinnata kõigi objektide keskmist kvaliteeti kuid üksikobjektidel hakkab mahaarvamise suurus liialt palju määrama juhus ning katte tegelikust kvaliteedist ülevaadet ei saada.

Tänapäeval on nende probleemide lahendamiseks kasutusel **pidevmeetodid** - paksuste ja poorsuste kontrolliks maaradarid ning poorsust mõjutava katte temperatuuriühtluse saavutamiseks termokaamerad ja infrapunaskännerid, mis võimaldavad anda ülevaate katendit lõhkumata tervest objektist. 3D antennidega on tänapäeval võimalik ühe mõõtmisega saada pidev ülevaade ka kihtide ühtlusest põiksuunas.

Käesolev teadustöö keskendub siiski peamiselt **maadarari** tehnoloogia viimaste suundade ja võimaluste katsetamisele ning maaradaritehnoloogial põhineva mittepurustava vastuvõtusüsteemi väljatöötamisele. Töös küsitleti info saamiseks erinevate Skandinaavia- ja teiste Euroopa riikide maaradari- ja mittepurustavate meetodite spetsialiste ning uuriti nende riikide norme ja nõudeid ning teostati erinevate kaasaegsete maaradaritehnoloogiatega paralleelmõõtmisi. Seda mõned aastat tagasi valminud teelõikudel kõigi rajatud kihtide paksuste määramiseks kui värskest valminud teelõikudel kattekihtide paksuste ja poorsuste määramise võimaluste kontrollimiseks. Kaasaegseim maaradartehnoloogia kaasamiseks toodi uuringu läbiviimiseks Soomest uusimad mõõteseadmed koos 2GHz õhkpaar antenniga ja uudse 3D antenniga.

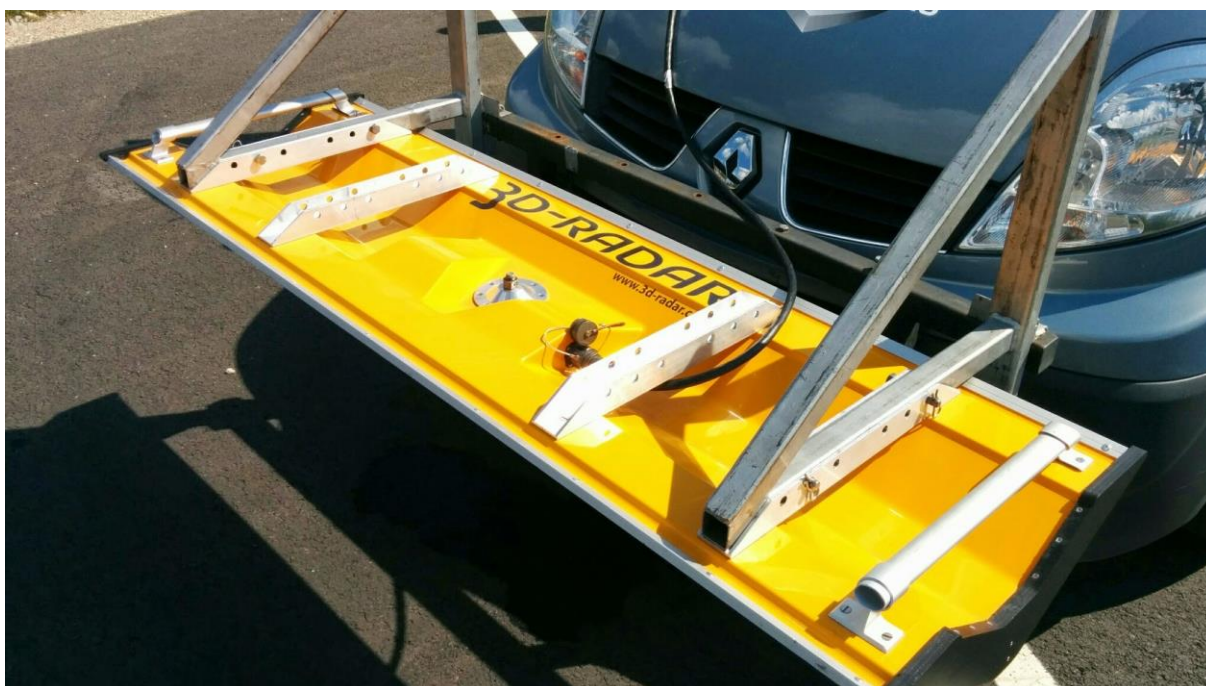
Lisaks maaradarile käsitletakse töös ka **teisi mittepurustavaid meetode** ja nende rakendamise võimalusi katete kvaliteedi hindamiseks nende vastuvõtmisel ja katte kestvuse hindamiseks garantiiaja protseduuridesse integreerituna.



## 1. ÜLEVAADE MITTEPURUSTAVATEST MEETODITEST

### Maaradar

Maaradar on geofüüsikaline seade, mis võimaldab pideva profiilina saada informatsiooni tee- või maapinna alla jääva keskkonna kohta. Käesolevas uuringus on kasutatud väga erinevaid maaradarikomplekte, sh. *Geophysical Survey Systems Inc* poolt toodetud maaradarit SIR-30 koos uue 2GHz Noise Reduction mõõteantenniga, sama ettevõtte poolt toodetud maaradarit SIR-10H koos mõõteantennidega sagedusega 100, 400 MHz (maapaar-antennid) ja 1,2 ning 2,0 GHz (õhkpaar-antennid), *Mala GeoScience* poolt toodetud maaradarit ProEx koos 500 MHz ja 2,3 GHz mõõteantennidega ning *Chemiring Group'i* kuuluva Norra firma 3d-Radar AS poolt toodetud 3D-radar *step-frequency* mõõteantenniga sagedusvahemikus 100-3000MHz.



Joonis 1. 3D-Radar AS'i 3d-antenn

Mõningad maaradari kasutusvaldkonnad teedel:

- teede rekonstrueerimiseelsete uuringuid (kombineerituna geoloogiliste puurimistega);



- teetööde kvaliteedi kontrolli (asfaltkatte jäävpoorsus ja paksus);
- jää paksuse mõõtmist jääteedel;
- tehnovõrkude, maetud konstruktsioonide ja tühikute otsimist.

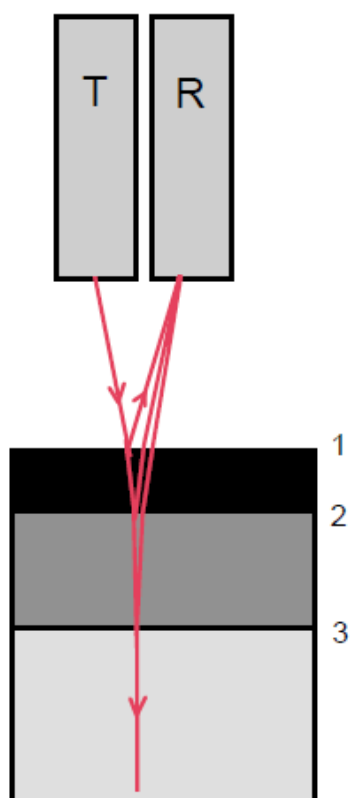
Maaradari tööpõhimõte:

Maaradar (GPR e. Ground Penetrating Radar) saadab saatja-antennide kaudu tee tarindi suunas välja elektromagnetimpulsse, iga kihi pinnal toimub elektromagnetlaine osaline tagasipeegeldumine, ülejäänud osa liigub järgmise kihi pinnani (tõsi, osa energiat sumbub kihis). Iga kihi pinnalt tagasipeegeldunud elektromagnetlained püütakse kinni vastuvõtu-antenniga ning maaradar registreerib täpse aja, mis kulus väljasaadetud elektromagnetlainele erinevatelt pindadelt tagasipeegeldumiseks. Teades iga kihi omadusi, st kui kiiresti elektromagnetlaine mingis keskkonnas liigub, saame arvutada iga kihi paksuse. Õhk-paar antennidel on lisaks omadus mõõta teekatte dielektrilisi väärtusi, milliste põhjal omakorda arvutatakse teekatte jäävpoorsused. Meetod sobib kasutamiseks asfaldist kattekihtide jäävpoorsuse määramiseks, sõltumata mõõdetava kihi alusest.

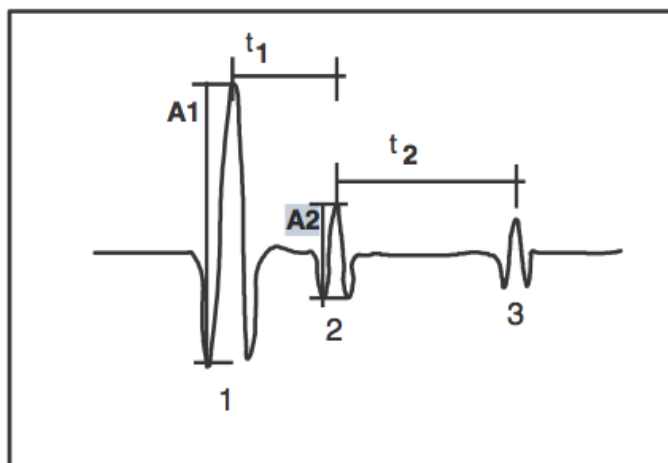


**Joonis 2. Mõõtjad GSSI kõrgsageduslike (2,0 GHz) õhkpaar-antennidega**

Maaradari antenni tööpõhimõte on kujutatud alloleval joonisel, kus T on antenni saatja (*transmitter*) ja R on antenni vastuvõtja (*receiver*) ning numbritega 1, 2 ja 3 on tähistatud kattekihtide pinnad, millelt toimuvad tagasipeegeldumised.



Impulsi peegeldumiste amplituudide graafik



$t_1$  – impulsi kulgemise aeg katte ülahiis

$t_2$  – impulsi kulgemise aeg katte alakihi

$A_1$  – peegeldunud signaali amplituud ülahihi pinnal

$A_2$  – peegeldunud signaali amplituud alakihi pinnal

### Joonis 3. Õhkpaar-antenni tööpõhimõtte (Scullion, Sebasta, & Saarenketo, 2013)

Allolevas tabelis on toodud Soomes tüüpiliselt teedehituses ettetulevate kihtide ja materjalide puhul kasutatavad dielektrised väärtused ja elektromagnetlainete levimise kiirused sellises keskkonnas.

Radarisignaali kiirus keskkonnas on arvutatav järgmise valemiga

$$v = \frac{0,3}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

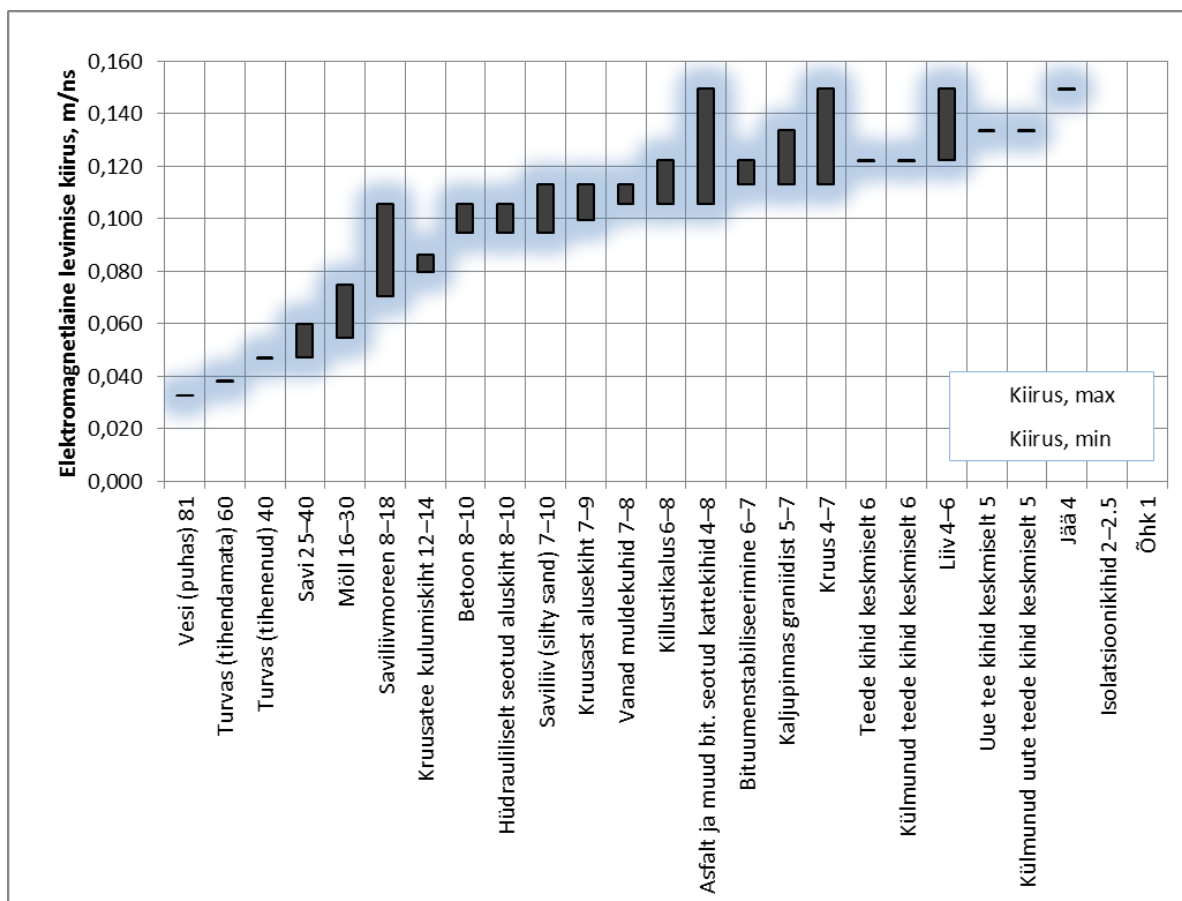
Dielektriline väärtus  $\epsilon_r$  on võimalik arvutada seega valemiga:

$$\epsilon_r = \left(\frac{0,3}{v}\right)^2$$

**Tabel 1. Tüüpilised Er-väärtused ja signaali levimiskiirused Soomes**

| Materjal ja Er-väärtus                    | Kiirus (m/ns), max | Kiirus (m/ns), min |
|-------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Vesi (puhas) 81                           | 0,033              | 0,033              |
| Turvas (tihendamata) 60                   | 0,039              | 0,039              |
| Turvas (tihenenud) 40                     | 0,047              | 0,047              |
| Savi 25–40                                | 0,060              | 0,047              |
| Möll 16–30                                | 0,075              | 0,055              |
| Saviliivmoreen 8–18                       | 0,106              | 0,071              |
| Kruusatee kulumiskiht 12–14               | 0,087              | 0,080              |
| Betoon 8–10                               | 0,106              | 0,095              |
| Hüdrauliliselt seotud aluskiht 8–10       | 0,106              | 0,095              |
| Saviliiv 7–10                             | 0,113              | 0,095              |
| Kruusast alusekiht 7–9                    | 0,113              | 0,100              |
| Vanad muldekihid 7–8                      | 0,113              | 0,106              |
| Killustikalus 6–8                         | 0,122              | 0,106              |
| Asfalt ja muud bit. seotud kattekihid 4–8 | 0,150              | 0,106              |
| Bituumenstabiliseerimine 6–7              | 0,122              | 0,113              |
| Kaljupinnas graniidist 5–7                | 0,134              | 0,113              |
| Kruus 4–7                                 | 0,150              | 0,113              |
| Teede kihid keskmiselt 6                  | 0,122              | 0,122              |
| Külmunud teede kihid keskmiselt 6         | 0,122              | 0,122              |
| Liiv 4–6                                  | 0,150              | 0,122              |
| Uue tee kihid keskmiselt 5                | 0,134              | 0,134              |
| Külmunud uute teede kihid keskmiselt 5    | 0,134              | 0,134              |
| Jää 4                                     | 0,150              | 0,150              |
| Isolatsioonikihid 2–2.5                   | 0,212              | 0,190              |
| Õhk 1                                     | 0,300              | 0,300              |

Siit on näha, et tee tarindikihtidel jääb Er-väärtus valdavalt vahemikku 4-8, õhu puhul on see 1 ja vee puhul 81. Siit tuleneb ka põhjus, miks juba väikesed veehulga muutused mõjutavad oluliselt kihtide ja materjali Er-väärtust.



Joonis 4. Tüüpilised Er-väärtused ja signaali levimiskiirused Soomes

### Teetööde kvaliteedi kontroll (asfaltkatte jäävpoorsus ja paksus)

Katte jäävpoorsuse all mõistetakse katte õhupooride mahu ja katte kogumahu suhet protsentides. Katte materjali dielektrilisi omadusi kirjeldavate väärtuste (suhteline dielektriline läbitavus) all mõistetakse elektrivälja poolt mõjutatava materjali võimet elektromagnetilist energiat salvestada ja seejärel edasi kanda. Samuti võib seda kirjeldada kui materjali omadust elektromagnetväljas polariseeruda ja sellest tulenevalt reageerida loodud elektromagnetlainetele. Materjali dielektriline väärtus on funktsioon materjali komponentide mahulistest proportsioonidest ja nende komponentide dielektrilistest väärtustest.



**Joonis 5. Katte jäävpoorsuste ja paksuste mõõtmine 1,2 GHz ja 2,3 GHz antennidega**

Jäävpoorsuse mõõtmine põhineb katte dielektriliste väärtuste muutumisel. Dielektriline läbitavus on üks materjali elektrilisi omadusi iseloomustavaid näitajaid. Katte dielektrilised omadused sõltuvad katte komponentide dielektrilistest omadustest. Katet tihendades katte poorsus väheneb ning suurema dielektrilise läbitavusega komponentide - täitematerjalide ja bituumeni suhteline osakaal kasvab. Katte dielektriline läbitavus tihendades kasvab.

Dielektriline väärtus leitakse õhk-paar antennidele hästi sobiva peegeldumistehnika abil. Katendi dielektriline väärtus leitakse arvutustega erinevate kihtide pindadelt tagasipeegelduvate elektromagnetlainete amplituudidest. Antenni saatja saadab välja elektromagnetilisi impulsse, mille tagasipeegeldused kattekihtide pindadelt püütakse kinni antenni vastuvõtjaga ja registreeritakse.

Dielektriline väärtus  $\epsilon_r$  leitakse alljärgneva valemiga:

$$\epsilon_r = \left( \frac{1 - A_a/A_m}{1 + A_a/A_m} \right)^2$$

kus:

$A_a$  - tagasipeegeldumise amplituud kattelt

$A_m$  - tagasipeegeldumise amplituud metallplaadilt

Jäävpoorsuse mõõtmiseks tehakse kaheajalisel teel mõõtmised kolmel mõõtmisrajal - mõlema sõidusuuna rattajälgede vahel (mitte rattajäljes!), mis võimaldab ka katte paksuse määramist ning katte vuugil teeteljel. Erinevalt traditsioonilisest kvaliteedi kontrollil võetavate puurkehadega kontrollimisest, saadakse radariga mõõtmisel katkematu info kontrollitava asfaltbetoonkatte jäävpoorsuste väärtustest mõõtmisrajal. Kuna mõõtmiste maht on radariga mõõtmisel tuhandeid kordi suurem traditsioonilise meetodi puurkehade arvust, vähendab see oluliselt jäävpoorsuse määrangute juhuslikkust. Mõõtmistulemuste kalibreerimiseks võetakse Eestis kontrollitavalt, sama asfaltseguga lõigult, sõltumata objekti pikkusest ainult 8 puurkeha, mistõttu vajadus uut katet kahjustavate kontrollpuuraukude järele väheneb kordades. Piiranguks antud meetodi puhul on, et mõõtmisi ei saa teha, kui kate on märg või külmunud.

Kattekihtide paksuste mõõtmine on üldjuhul komplitseeritum. Reeglina ei teki probleeme katte kogupaksuse määramisega. Küll aga ei pruugi iga antenniga olla võimalik katte erinevaid kihte üksteisest eristada. Tõenäosuse suurendamiseks on soovitatav teostada mõõtmised erinevate antennidega – nt. lisaks 1,2 GHz õhkpaar-antennile kasutada täiendavalt 2,0...3,0 GHz maapaar-antenni.

Allpool on lühidalt kirjeldatud ka maaradari muid aplikatsioone.

### **Teede rekonstrueerimiseelsed uuringud**

Tee uuringul tehakse tavaliselt radarimõõtmine mõlemal sõidusuunal, lisaks on võimalik teha ka ristisuunalisi profile. Mõõtmise tulemusena saadakse pideva



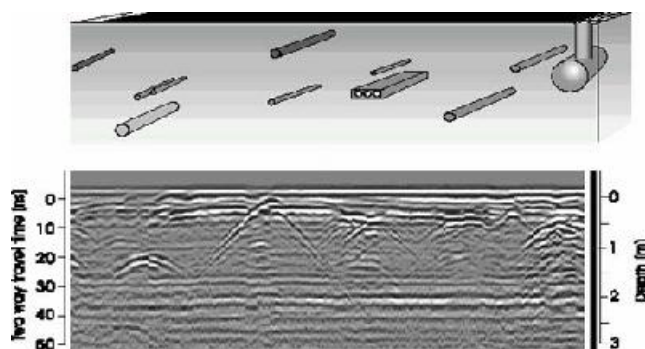
profiilina informatsioon erinevate teekihtide leviku kohta. Radariprofiilide põhjal planeeritakse teele vajalik arv puurauke (stabiilsete omadustega kihtide korral tavaliselt 3-4 tk/km), mis võimaldavad piisava detailsusega radariprofiili andmete tõlgendamise ja tee läbilõike kindlaksmääramise. Sellise kombineeritud meetodi (maaradar+puuraugud) kasutamine võimaldab tee kohta saada tunduvalt kvaliteetsemat geoloogilist andmestikku võrreldes traditsiooniliselt kasutatava ainult puuraukudel põhineva uuringuga.

### Jää paksuse mõõtmine jääteedel

Radariga mõõtmisel saadakse mõõtmisrajal andmed jää paksuse kohta katkematu profiilina. Mõõtmistulemused on võimalik esitada kas kaardil värvidega, vormistatuna tabelina või profiilina. Lisaks jääteel tehtavatele jää paksuse mõõtmistele on võimalik teha maaradariga ka nn jää paksuse eelluure, kus näiteks laiem koridor mõõdistatakse radariga uuritava koridori servade vahel mööda sirg-sakulist profiilijoont. Selliselt mõõtes eristuvad uuritavas koridoris suurema ja õhema jää paksusega piirkonnad. Tundmatutes jääoludes tehtava eelluure tegemiseks saab turvalisuse tagamiseks radari paigutada lumesaani taha või ATV-le. Jää paksuse mõõtmise võimalusi on Eestis uurinud Taavi Tõnts, artikkel Teelehes nr 1(37), mai 2004 „Jääteede uuringutest“, [http://www.mnt.ee/failid/teeleht/37/teeleht\\_37.pdf](http://www.mnt.ee/failid/teeleht/37/teeleht_37.pdf)).

### Tehnovõrkude, maetud konstruktsioonide ja tühikute otsimine

Maa-aluste objektide otsimiseks ja lokaliseerimiseks tehakse radarimõõtmised paralleelselt või ristuvalt paiknevatest mõõtmisradadest moodustuva uuringuvõrguga. Selliselt mõõtes on võimalik kontuurida otsitav objekt ja andmete töötlemisel saab objekti orienteeruvad piirjooned kanda plaanile.



Joonis 6. Kommunikatsioonide otsimine



## FWD

*FWD* e. *Falling Weight Deflectometer* võimaldab mõõta tee kandevõimet ja hinnata tarindikihtide tugevuslikke omadusi

Teekonstruktsiooni kandevõime määramisel kasutame langeva raskusega koormusseadet *Dynatest FWD-8002*, mida kasutatakse nii elastsete kui ka komposiitsete ja jäikade katendite katsetamisel. Dünaamilised koormamisseadmed, nende seas ka *Dynatest FWD-8002*, on maailmas laialdaselt kasutusel ja see on üks väheseid mõõteseadmeid, mis võimaldab uurida teekonstruktsiooni ilma seda lõhkumata. Seade simuleerib liikuva veoki ratta poolt tekitatud koormust teatud kõrguselt teatud kaaluga koormuse langemisega 300 mm läbimõõduga koormusplaadile.



**Joonis 7. Kandevõime mõõteseadme Dynatest FWD 8002**

Koormuse mõjul tekkinud teekatte deformatsiooni (nn. vajumikaussi) mõõdetakse seitsme anduriga, milledest üks on paigutatud koormusplaadi keskpunkti ja ülejäänud viimasest vastavalt 300, 600, 750, 900, 1200 ja 1500 mm kaugusele. Andurite poolt mõõdetud läbivajumised registreeritakse ja salvestatakse arvutisse.

Katendi üldise E-mooduli määramine *FWD*-seadme mõõtmistulemuste alusel põhineb 2003. a valminud dr A. Aaviku poolt teostatud uurimistöö „*Methodical*

*Basis for the Evaluation of Pavement Structural Strength in Estonian Pavement Management System"* tulemustel, milline võtab muuhulgas arvesse ka muldkeha kandevõime sesoonset kõikumist.

FWD-seadet on võimalik kasutada:

- läbivajumise väärtuste ja läbivajumiskausside kuju võrdlemiseks;
- kandevõime (katendi üldise elastsusmooduli) määramiseks;
- katendi erinevate kihtide elastsusmoodulite määramiseks.

Mida täpsemaid lõpptulemusi vajatakse, seda täpsemad ja tihedama sammuga ning konkreetsemad peavad olema ka lähteandmed. Näiteks katendi erinevate kihtide elastsusmoodulite määramiseks on vaja teada nende paksust, mis eeldab puurimiste tegemist või uuringuid maaradariga.

## Profilograaf

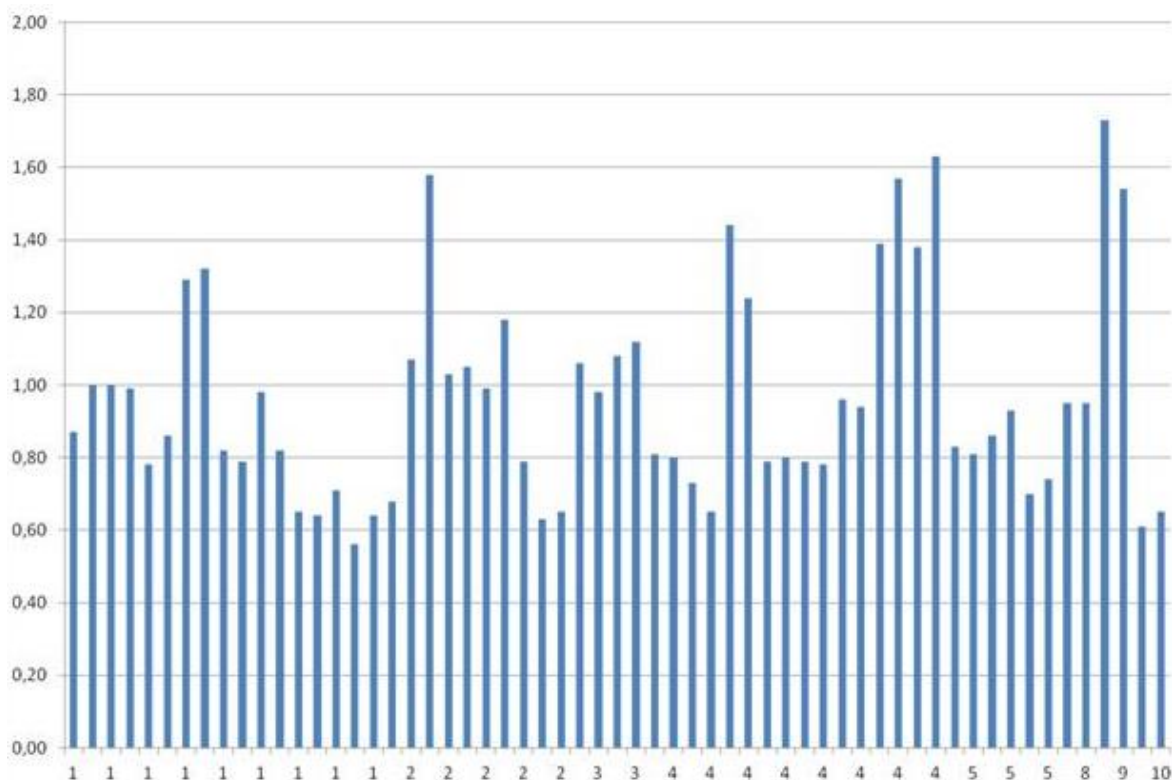
Profilograaf on universaalne mõõtelabor, sisaldades endas erinevaid mõõteseadmeid - tee tasasuse, makro- ja megatekstuuri, piki- ja põikkallete ning roobaste, samuti tee kurvilisuse mõõtmiseks.



**Joonis 8. Multifunktsionaalne mõõtesead – profilograaf**

## Tasasus

Teekatte tasasus, täpsemalt ebataasus, mõjutab otseselt teekasutajate kulusid ning on üks põhilisi seisukorra hindamise parameetreid. Selle abil saab hinnata teedevõrgu seisukorrast põhjustatavat kulu ning remonditöödega saavutatavat majanduslikku tulu. Teekatte tasasust iseloomustava näitajana kasutatakse *IRI*-arvu (*International Roughness Index*), mis on rahvusvaheliselt heaks kiidetud sõidumugavust iseloomustav väärtus ning mis arvutatakse standardse sõiduki kere vertikaalsuunaliste võngete summana etteantud teelõigule (reeglina 100 m), mõõtühikuks on mm/m. *IRI*-arvu leidmisel kasutatakse maailmapanga poolt 1970.a välja töötatud algoritmi. Uute teekatete valmimisjärgsetel mõõtmistel algavad parimad keskmise tasasuse väärtused 0,6 mm/m.



Joonis 9. Ülevaade uute katete tasasusest (2011 aasta näitel)

## Tekstuur

Teekatte tasasusega samaaegselt on võimalik mõõta teekatte tekstuuri, täpsemalt makro- ja megatekstuuri. Tekstuur iseloomustab katte pinda ning sellel on otsene seos liiklusohutusega (haardelised omadused), sõidumugavusega (müra ja ebatasasused), sõidukuludega (kütuse kulu) ning ehituskvaliteediga (segregatsioon, higistamine). Teekatte tekstuuri defineeritakse absoluutselt tasase katte pinna vertikaalsuunaliste ebataasasustena. *World Road Association (PIARC)* on kehtestanud standardi tekstuuri kategooriate jaotamiseks lainepikkuse alusel. Need kategooriad sisaldavad mikrotekstuuri (lainepikkustel alla 0,5 mm), makrotekstuuri (0,5-50 mm), megatekstuuri (50-500 mm), ja tasasust (lainepikkustel 500 mm – 50 m). Teekatte tekstuuriga seotud küsimusi on põhjalikumalt käsitletud uuringus „Teekatte haardeliste omaduste võrdlusuuring 2014“:

[http://www.mnt.ee/public/Teekatte\\_haardeliste\\_omaduste\\_vordlusuuring\\_2014 ERC\\_lopparuanne.pdf](http://www.mnt.ee/public/Teekatte_haardeliste_omaduste_vordlusuuring_2014 ERC_lopparuanne.pdf)

## Roopad

Teekatte roopa sügavus mõjutab otseselt liiklejate ohutust ja iseloomustab ilmekalt tee seisukorda. Roopad tekivad teedele põhiliselt kulumise ja teekonstruktsiooni nõrga kandevõime tõttu. Kui teekattele on roopad ühel neist põhjustest tekkinud on vee äravool katte pinnalt takistatud ning liiklemisel tekib vesiliu oht. Samuti võivad roopad põhjustada sõiduki juhitavuse kaotamist libeda teekatte puhul. Tee valdajal tuleb roobaste arengut hoolikalt jälgida. Alates 2014 aastast kasutatakse Eestis roobaste mõõtmiseks seadet *ViaPPS (Pavement Profile Scanner)*, mis võimaldab mõõta ka teekatte põikkallet ja tee kurvilisust. Seade läbib iga-aastase võrdluskontrolli enne tööperioodi algust, lisaks jälgitakse regulaarselt korrasolekut mõõtmiste ajal.

## Haardetegur

Haardeteguri mõõtmisseade võimaldab selgitada tee võimet hoida sõidukit märjal kattel. Teekatte haardetegur on liiklusohutuse seisukohast oluline näitaja. Eestis on alates 2014 aastast kasutusel haardeteguri mõõtmise seade *ViaFriction*.



Joonis 10. Haardeteguri mõõteseadet *ViaFriction*



## Rahvusvahelised uuringud

Mara Nord osa „Recommendations for Guidelines for the use of GPR in road construction quality control“ (Mara Nord Project, 2011) annab ülevaate sellest, kuidas peaks maaradari mõõtmisi ette valmistama, läbi viima ning andmeid analüüsima ja esitama 2D ja 3D mõõtmiste korral. Selles uurimuses on ka kirjeldatud, kuidas peaks ja võiks andmeid siduda Põhjamaade Transpordiametite teede andmebaasidega.

**Tabel 2. Mittepurustavate meetodite kasutusvõimalused Mara Nord projekti järgi**

| Parameeter                       | Uuringu meetod                                                |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Kihi paksus                      | GPR, puurkehad                                                |
| Objektide/esemete asukohad       | GPR, GPS, DMI                                                 |
| Laius, objektide/esemete pindala | Laserskännerid, GPS                                           |
| Eriehituste asukohad             | GPR, GPS, DMI                                                 |
| Sideaine sisaldus                | proovid + laborianalüüs                                       |
| Materjali kvaliteet              | GPR, proovid + laborianalüüs                                  |
| Tihendusaste                     | FWD, GPR, tuumakiirgusmeetodid (NMR), proovid + laborianalüüs |
| Tasasus                          | profilomeeter, 3d kiirendusmõõtur                             |
| Roopad                           | profilomeeter, laserskänner                                   |
| Põikkalle                        | profilomeeter, 3d kiirendusmõõtur, laserskänner               |
| Äravool                          | video, laserskänner, GPR                                      |

Tabelis on välja toodud tee kvaliteedi hindamisel kasutatavad näitajad ja nende mõõtmiseks kasutatavad meetodid. Selle järgi on maaradar sobiv kihi paksuste mõõtmiseks, truupide jm objektide asukoha määramiseks, vee äravoolu ja tiheduse/jäävpoorsuse hindamiseks ning materjali kvaliteedi hindamiseks. Samuti on Mara Nord uuringus välja toodud erinevateks kasutusteks sobivad antennide sagedused.



**Tabel 3. Maaradari antennid ja nende kasutusalaad Mara Nord projekti järgi**

| <b>Antenn</b>                                             | <b>Sagedus<br/>(MHz)</b> | <b>Läbistamis<br/>e sügavus<br/>(m)</b> | <b>Resolutsioon<br/>(mm) (<math>\epsilon_r</math><br/>6)</b> | <b>Kasutusalaad</b>                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Maa-paar</b>                                           |                          |                                         |                                                              |                                                                                                          |
| 1 Kõrge sagedusega                                        | 900 – 2500               | 0,4 – 1,0                               | 40 – 65                                                      | Katend, aluskiht, pinnas, terasvõrk                                                                      |
| 2 Keskmise sagedusega                                     | 400 – 600                | 1,5 – 4,0                               | 80 – 150                                                     | Aluskiht, pinnas, üleüldine kihtide paksus, madal muldkeha                                               |
| <b>Õhk-paar</b>                                           |                          |                                         |                                                              |                                                                                                          |
| 1 Kõrge sagedusega                                        | 2000 – 2500              | 0,4 – 0,6                               | 15 – 25                                                      | kruusatee kulumiskiht, katend, terasvõrk, aluskiht, pinnas                                               |
| 2 Keskmise sagedusega                                     | 900 – 1200               | 0,5 – 1,0                               | 35 – 50                                                      | katend, , aluskiht, pinnas, terasvõrk                                                                    |
| <b>Lairiba õhk-paar</b><br>(mitmesageduslikul e radarile) | 200 – 3000               | 1,0 – 3,0                               | 30 - 100                                                     | kruusatee kulumiskiht, katend, terasvõrk, aluskiht, pinnas, üleüldine katendikihtide paksus, pinnas < 3m |

Lisaks on välja toodud, et Euroopas kasutamisel peavad seadmed olema saanud ETSI heakskiidu. Soomes on peale selle vajalik ka Ficora poolne registreering.

## **Mõõtmiste kavandamine**

Maaradari andmeid on soovitatav koguda enne, kui maapind külmub, kuna külmunud pinnas võib põhjustada lisapeegeldusi ja kuna lainete kiirus selles on erinev. Teise võimalusena on välja toodud oodata, kuni maapind on täielikult külmunud ja siis viia läbi mõõtmised. Samas tuleb sellise lahenduse korral arvestada, et ei saada infot sidumata kihtide kohta. Lisaks tuleb arvestada, et kui teed on soolatud, siis võivad need omakorda mõõtevigu tekitada.

Maaradari valimise juures soovitatakse õhk-paarantenni kui soovitakse uurida asfaltkatet ning sidumata kihi paksust ja kvaliteeti (tihedust). Kui soovitakse uurida vaid asfaltkihi paksust, siis sobib ka maa-paarantenn.

## **Mõõtmiste-eelne kontrollnimekiri**

Enne mõõtmisi on soovitatav kliendiga koos läbi käia järgnev kontrollnimekiri

- Tuleb kokku leppida sügavus, milleni mõõtmine on oluline;
- Tuleb kokku leppida täpsuses, mille saavutamine on oluline. Tavaliselt on selleks  $\pm 10\%$  ilma proovikehadeta ja  $\pm 5\%$  koos proovikehadega. Tavaliselt hinnatakse saadud tulemusi ehitaja kasuks 5% ulatuses.
- Tuleb kokku leppida mitmes pikijoones mõõdetakse – soovituslik on 2-3 pikijoont sõiduraja kohta.
- Tuleb valida, kas positsioneerimine käib ehitusprojekti järgi või tee-andmebaasist lähtudes. Üldjuhul on soovitatav teha seda projekti järgi. Tee-andmebaasi järgi on soovitatav positsioneerida, kui tee koosneb mitmest erinevast lõigust.
- Kokku leppida, millised võrdlusdokumendid maaradari analüüsi tegemiseks töö teostajale antakse (algsed projekteerimisdokumendid või dokumendid ehitaja poolt tehtud muudatustega).
- Kokku leppida, millistes väljundformaates klient analüüsi soovib.

## **Mõõtmiste läbiviimine**

Soovitavalt peaks mõõtmiste ajal autos olema alati kaks inimest – üks, kes tegeleb auto juhtimisega ja teine, kes mõõteseadmeid haldab. Kõrg- ja

madalasageduslikke antenne saab kasutada koos. Näiteks võib andmeid koguda samaaegselt 1,0-2,5 GHz antenni ja 300-600 MHz antenniga. Antenne võib paigutada ridamisi või järjestikku. Kui antenne paigutada kõrvuti, siis kõrgema sagedusega antenn tuleks paigutada parempoolsele rattarajale ja madalama sagedusega maapaar-antenn tee keskele. Maapaar-antennide kasutamise korral ei tohiks kaugus maapinnast muutuda. Kasutades antenne 300-600 MHz ei tohiks kaugus maapinnast ületada 8cm ja kasutades üle 1.0 GHz antenne, ei tohi kaugus ületada 5 mm. Skaneerimise intervalli mõõtmiseks tuleks kasutada *pulse encoderit*. Ajal põhinev mõõtmine ei ole aktsepteeritav v.a ristlõigete mõõtmisel. Andmete esitamisel peavad kõik andmed olema kaugustel põhinevad, mitte ajal põhinevad. Andmete kogumise intervall peaks olema vähemalt 10 skaneerimist / m pikiprofiili puhul ja vähemalt 40 skaneerimist / m ristprofiili korral. Filtreerimine tuleks sooritada vastavalt tootja soovitudele. Horisontaalset filtreerimist tuleks vältida, kuna see võib eemaldada peegeldusinfot horisontaalsetelt objektidelt. Mõõtevahemiku (*Time window*) defineerimine tuleks teha vastavalt antenni sagedusele ja mõõdetavale pinnasele.

**Tabel 4. Mõõtevahemiku soovitatavad kestused Mara Nord projekti järgi**

| Sagedus       | Mõõtevahemik                                          |
|---------------|-------------------------------------------------------|
| >2.0 GHz      | vähemalt 10 ns                                        |
| 1.0...2.0 GHz | vähemalt 20 ns                                        |
| 300...600 MHz | vähemalt 60 ns                                        |
| 100...200 MHz | sõltuvalt soovitatavast sügavusest ja pinnase tüübist |

Õige asukoha kindlustamiseks tuleks see mõõtmise alguses määrata teeregistri järgi. Kui ei jälgita teeregistrit, siis tuleks tee peal ära märkida koht, kus mõõtmine algas. Mõõtmise ajal võib lisada markereid näiteks sildade ja ristmikke asukohtadesse, et hiljem oleks lihtsam kokku viia videot ja maaradari andmeid. Pärast mõõtmise lõppu ja enne kui seade välja lülitatakse tuleks õhk-paarantenni kasutamisel teha mõõtmine metalli pealt. Soovitav on seda ka teha mõõtmise alguses. Õhk-paarantenniga mõõtmisel peab olema nn *direct pulse* koguaeg

nähtav (saatja antennist vastuvõtja antenni). Sarnaselt peaks maa-paarantenni kasutamisel olema *surface pulse* koguaeg nähtav.

### **Lisa- ja võrdlusandmete kogumine**

Kvaliteedikontrolli on võimalik läbi viia ka ilma lisaandmete kogumiseta, kuid soovitatav on lisada vähemalt videopilt, et vältida segadust andmete positsioneerimisel. Võimalik on ka lisada veel andmeid profilomeetrilt. Viimasel ajal on kasutatud ka tehnoloogiaid nagu laserskänner, 3D *kiirendusandurid* ja termokaamera. FWD andmetega on võimalik kontrollida tihenduse kvaliteeti. Võrdlusandmeid on vaja võtta maaradari tulemuste kinnitamiseks. Kvaliteedikontrolli puhul on selleks enamasti puurkehad. Lisaks sellele on võimalik läbi FWD arvutuste kontrollida, kas maaradari andmete analüüs on korrektne.

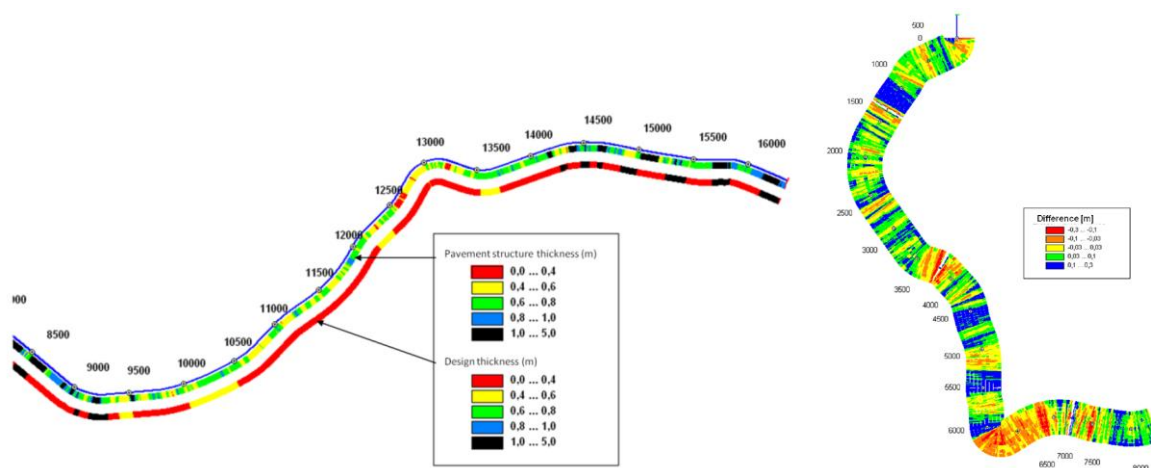
### **Andmete töötlemine ja analüüs**

Uutes konstruktsioonides peaksid olema peegeldused selged. Kui mingil põhjusel on peegeldused ebaselged, peaks andmete töötleja kasutama infolehes "Ground Penetrating Radar" ( Geotechnical Society of Finland, 1992) avaldatud koode:

- selge, tugev, usaldatav peegeldus (ühtlane joon)
- ebaselge, kuid eeldatav peegeldus (joon pikem kui intervall)
- ebaselge peegeldus (intervall on pikem kui joon)

Kui mõõdetud andmed ei ole tõlgendatavad, siis tuleb koostada eraldi raport kliendile, et seletada, miks ülesannet ei olnud võimalik lahendada.

Allpool on mõned näited maaradari andmete esitamise võimalustest (Mara Nord, [http://maranord.ramk.fi/static/content\\_files/MaraNord\\_GPR\\_Constr\\_QC\\_guidelines\\_final.pdf](http://maranord.ramk.fi/static/content_files/MaraNord_GPR_Constr_QC_guidelines_final.pdf)).



Joonis 11. Paar näidet ehitatud tarindikihtide paksuse mõõtmise esitamise võimalusest

## 2. MITTEPURUSTAVATE MEETODITE RAHVUSVAHELINE PRAKTIKA

Käesolevas töös uuriti nii Skandinaavia kui teiste Euroopa riikide kogemusi mittepurustavate meetodite kasutamisel uute katete vastuvõtmisel. Vaatluse alla võeti Soome, Rootsi, Norra, Taani, Ühendkuningriikide, Poole, Läti, Tšehhi ja Saksamaa kogemused.

### Soome

#### Maaradariga teostatavad mõõtmised

Maaradariga jäävpoorsuse mõõtmistel kasutatav meetodika on kirjeldatud PANK-4122 (Pank Ry, 2008). Kalibreerimismetoodika on praegu uurimisprojekti raames hindamisel Aalto Ülikoolis. Maaradari mõõtmiste tulemused on seotud boonuste ja trahvi süsteemiga, mis vaadatakse üle 2014. aasta lõpus. PANK-metoodika järgi mõõdetakse katte dielektrilist väärtust, mille järgi omakorda arvutatakse asfaltkatte jäävpoorsus (*air void content*). Mõõtmiste metoodikat on käsitletud üldisemalt käesoleva aruande peatükis 1 kuid jäävpoorsuse mõõtmisel piirduakse Soomes kalibreerimisel 2 suurkehaga.

## Teekatte tasasus

IRI mõõtmised on kirjeldatud PANK metoodikas PANK-5207. IRI ja IRI4 mõõdetakse igal tee-ehitus objektil. Kui tegemist on vaid uue asfaltkatte panekuga või hooldustöödega, siis määratakse kvaliteedinõudeks IRI4. Sellisel juhul sooritatakse mõõtmised suhteliselt kiirelt, kuni 2 kuud pärast tööde lõpetamist. Kvaliteedinõuded on defineeritud asfaldinormides. Juhul kui kvaliteedinõuded ei ole täidetud, siis määratakse trahvid lähtuvalt dokumendist *Päällysteiden yleiset arvonvähennysperusteet*.

Kui ehitus seisneb vana tee aluse või katendi asendamises, siis seatakse lepingu järgi kvaliteedinõudeks IRI. Tasasuse mõõtmise aeg on seotud lepingu tüübi ja garantiiajaga. Tavaliselt uue katte puhul seatakse üheks mõõtmise ajaks liikluse teele pealelaskmise aeg ja teiseks mõõtmise ajaks garantiiaja lõpp. Üldjuhul kasutatakse asfaldinormides määratud kvaliteedinõudeid ning mahaarvamised tehakse lähtuvalt dokumendist *Päällysteiden yleiset arvonvähennysperusteet* (Tiehallinto, 2002). Suurtel projektidel lepitakse nõuded, boonused ja trahvid mõningatel juhtudel eraldi kokku.

Hoolduse ja PPP-projektide korral kasutatakse IRI-t kvaliteedinõudena. Nõuded määratakse vastavalt tee klassile lähtudes dokumendist *Päällysteiden ylläpidon toimintalinjat* (Tiehallinto, 2006).

Soomes on ära kirjeldatud metoodikad IRI ja IRI4 mõõtmiseks PTM-autoga (PANK Ry, 2004) ja Roadmasteriga (Pank Ry, 2002). Lisaks on kirjeldatud eraldi põiksuunalise tasasuse mõõtmist PTM-autoga (Pank Ry, 2004).

Mõõdetakse kahte näitajat:

- IRI – lainepikkused jäävad vahemikku 0,5 kuni 50 m;
- IRI4 – ei arvesta ebatasasusi lainepikkusega üle 4 m.

Mõõtmised tehakse kliendi ette määratud intervalliga (üldjuhul 100 m). Tulemused esitatakse täpsusega 0,1 mm/m.

IRI arvutatakse kasutades veerandauto matemaatilist mudelit. Kasutatavad parameetrid on järgnevad:



- $V=80 \text{ km/h}$
- $k_t/M=653 \text{ m}^{-2}$
- $k_s/M=63,3 \text{ s}^{-2}$
- $u=0,15$
- $c=6,00 \text{ s}^{-1}$

Seadme tarnija on kohustatud andma mõõtmiste praktilise juhendi. Mõõtmisi tuleb teha tellija kvaliteedinõuete järgi. Kõige üldisemad nõuded on järgmised:

- Teel ei tohi mõõtmiste ajal olla seisvat vett;
- Mõõtmisi sooritatakse üks kord ühel lõigul. Kui mõõtmisi tuleb korrata, siis on vaja teha seda terve lõigu ulatuses.
- Mõõtmised ei tohi liiklust häirida. Tavaline mõõtmiste kiirus on 30-80 km/h.

**Tabel 5. Teede suurimad lubatud ebatasasused Soomes (PANK Ry, 2013)**

| Katendi tüüp | Suurim lubatud ebatasasus (mm/m) |     |                                          |     |                          |     |
|--------------|----------------------------------|-----|------------------------------------------|-----|--------------------------|-----|
|              | Mo- ja Mol-teed                  |     | Muud 2-rajalised teed ja kiir-ja peateed |     | Muud üldkasutatavad teed |     |
|              | IRI4                             | IRI | IRI4                                     | IRI | IRI4                     | IRI |
| AB, VA       | 1,0                              | 1,4 | 1,1                                      | 1,6 | 1,2                      | 1,8 |
| SMA, AA      | 1,1                              | 1,4 | 1,1                                      | 1,6 | 1,2                      | 1,8 |
| PAB-B        |                                  |     | 1,2                                      | 1,6 | 1,3                      | 1,8 |
| PAB-V        |                                  |     | 1,3                                      | 1,6 | 1,4                      | 1,8 |
| ABS, ABK     | 1,3                              | 1,7 | 1,4                                      | 1,9 | 1,5                      | 2,1 |

### Teekonstruktsiooni kandevõime

FWD seadet kasutatakse Soomes vaid aluse tugevuse hindamiseks katete taastamisel. Uue ehitise kvaliteedi hindamisel kandevõime mõõtmist ei kasutata,

kuna ollakse seisukohal, et FWD mõõtmistulemused sõltuvad liialt palju mõõtmistingimustest (Eestis kasutusel sesoonsustegurid).

### Paksus ja poorsus

Nõuded jäävpoorsusele on määratud ära asfaldinormides. Poorsuse maksimaalne väärtus sõltub kasutatavast segust ja tee kvaliteediklassist. Tee kvaliteediklass määratakse liikluskoormuse ja kiiruse järgi. Poorsuse mõõtmiseks kasutatakse praegu vaid maaradarit. Puurkehad on kasutuses vaid poorsuse mõõtmiseks vuukides ja hooldusprojektidel, kus tehakse ülekate, ilma vana katet soojendamata.

Katte paksus määratakse lepingu ja projekti järgi. Ehitusprojektides määratakse see üldjuhul paksusena (mm) ja hooldusprojektides kogusena ( $\text{kg/m}^2$ ). Mahaarvamisi tehakse vastavalt *Päällysteiden yleiset arvonvähennysperustee* (Tiehallinto, 2002). (K. Eskola, kirjavahetus, 27. august 2014).

**Tabel 6. Nõuded poorsusele Soomes (PANK Ry, 2013)**

| Katend    | Jäävpoorsus V (mahu-%) |            |            |            |            |            |
|-----------|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|           | Üksik proov            |            |            | Keskmine   |            |            |
|           | A, B                   | C          | D          | A, B       | C          | D          |
| AB 5-8    |                        | $\leq 7,0$ | $\leq 8,0$ |            | $\leq 6,0$ | $\leq 7,0$ |
| AB 11     |                        | $\leq 6,0$ | $\leq 7,0$ |            | $\leq 5,0$ | $\leq 6,0$ |
| AB 16-22  | $\leq 5,0$             | $\leq 5,0$ | $\leq 6,0$ | 1,0 - 4,0  | $\leq 4,0$ | $\leq 5,0$ |
| SMA 5-22  | $\leq 6,0$             | $\leq 6,0$ |            | 2,0 - 5,0  | $\leq 5,0$ |            |
| ABS 16-22 | $\leq 6,0$             |            |            | 2,0 - 5,0  |            |            |
| ABS 22-32 | $\leq 8,0$             | $\leq 8,0$ | $\leq 8,0$ | $\leq 7,0$ | $\leq 7,0$ | $\leq 7,0$ |
| AA 11-16  |                        | 17-25      |            |            | 17-25      |            |

## Motivatsioonisüsteem Soomes

Soomes on nõutust ebakvaliteetsema töö eest tehtavate mahaarvamiste põhimõtted kirjeldatud dokumendis *Päällysteiden yleiset arvonvähennysperustee* (Tiehallinto, 2002).

### Jäävpoorsus

Maaradariga kasutamisel tehakse mõõtmisi terve objekti ulatuses ühes rattajäljes. Jäävpoorsuse ületamise määr leitakse valemiga

$$P(\%) = \frac{y_i}{s} \times 100$$

- $y_i$  – vaadeldava lõigu pikkus
- $s$  – kogu lõigu pikkus

AB, ABS ja SMA katetel arvutatakse mahaarvamised liigsetest tühimikest järgmise valemi järgi:

$$TY = 0,00025 \times P^2 \times H$$

- TY –väärtuse vähenemine (€);
- P – statistiliselt arvutatud jäävpoorsuse ületamise määr (%);
- H – objekti või objektide katte hind (€).

ABK katete puhul kasutatakse järgnevat valemit:

$$TY_{ABK} = 0,000008 \times P^3 \times H$$

- $TY_{ABK}$  – väärtuse vähenemine (€);
- P – statistiliselt arvutatud jäävpoorsuse ületamise määr (%);
- H – objekti või objektide katte hind (€).

AB, ABS ja SMA katetel arvutatakse liiga vähesest poorsusest tulenevad mahaarvamised järgneva valemi järgi:

$$TA = 0,000004 \times P^3 \times H$$

- TA – väärtuse vähenemine (€);
- P – statistiliselt arvutatud jäävpoorsuse ületamise määr (%);

- H – objekti või objektide katte hind (€).

ABK katte puhul arvutatakse liiga vähesest poorsusest tulenev mahaarvamine järgmise valemiga:

$$TA_{ABK} = 0,000002 \times P^3 \times H$$

- $TA_{ABK}$  – väärtuse vähenemine (€);
- P – statistiliselt arvatud tühja ruumi ületamise määr (%);
- H – objekti või objektide katte hind (€).

### **Tasasus**

Asfaldinormidega ette antud IRI väärtuse ületamise eest põiksuunas määratakse trahv järgmise valemiga:

$$YPO = 0,1 \times p \times YH$$

- YPO – väärtuse vähenemine (€);
- p – riba pikkus, kus esineb piirmäärast suurem ebatasasus (m);
- YH – katte ühikhind (€/m<sup>2</sup>).

Väärtuse vähenemise IRI pikisuunaliste ebataasuste eest saab valemiga:

$$YPI = 0,1 \times k \times YH$$

- YPI – väärtuse vähenemine pikisuunaliste ebataasuste eest (€);
- YH – ühikhind (€/m<sup>2</sup>);
- k – keskmine liiklussagedus (sõidukit/päevas).

Väärtuse vähenemise IRI4 pikisuunaliste ebataasuste eest saab arvutada valemiga:

$$IRI4 = 20 \times Y^3 \times p \times YH$$

- IRI4 – väärtuse vähenemine IRI4 piirmäära ületamise eest (€);
- Y – IRI4 nõude ületus;
- p – lubatus piirist ebataasasema sõiduraja pikkus (m);
- YH – ühikhind (€/m<sup>2</sup>).

## Rootsi

### Maaradariga teostatavad mõõtmised

Rootsi on alustanud maaradari kasutamise teetööde kvaliteedikontrollil. Praegu on seda kasutatud üksikutel projektidel tee paksuse hindamiseks. Kuna meetod on nende ehitajate jaoks alles uus, siis tööde vastuvõtmisel kontrollitakse kõiki tulemusi proovikehadega. Üksikobjektide uuringutega loodetakse saada kinnitus, et maaradar meetodina töötab ja tulevikus suurkehade loobuda. Maaradari kasutuses lepatakse kokku eraldi lepingus. Motivatsioonisüsteem töötab põhimõttel, et kui avastatakse viga, siis on ehitaja ülesanne see viga parandada. Eraldi boonuste süsteemi hea töö eest ei rakendada. Siinkohal nähakse maaradari kasutamisel eelist just asjaolus, et kui esialgsetel uuringutel maaradariga probleeme ei avastata, saaks suurkehade loobuda. Eeskirjade koha pealt ollakse praegu detailsete kasutuseeskirjade koostamise faasis. Nendes ei kirjeldata mitte tehnoloogiat vaid soovitavaid tulemusi (J. Ullberg, Trafikverket'i teede spetsialist, kirjavahetus, 12. august 2014).

### Teekatte tasasus

IRI mõõtmise kohta on Rootsis välja töötatud vastav metoodika. IRI väärtused, mis tuleb saavutada, määratakse teede renoveerimisel vastavalt projektile. Praegu on välja töötamisel juhised IRI määramiseks teede renoveerimisel Põhja-Rootsis. Kui IRI väärtus on lubatust kõrgem, siis selle jaoks on olemas majanduslikud regulatsioonid. Kui IRI on liiga suur, siis on ehitajal kohustus see parandada (M. Larsson, isiklik kirjavahetus, 2. september 2014).

IRI ja roopasügavust kasutatakse kvaliteedikontrollis. Mõõtmise meetod on ära kirjeldatud eraldi juhendis VVMB 122 *Vägytemätning med mätbil; objektmätning* (Vägverket, 2009). IRI arvutamisel kasutatakse "veerand-auto" matemaatilist mudelit. On antud ette konstantide  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $u$  ja  $c$  väärtused.

**Tabel 7: IRI arvutustel kasutatavate konstantide väärtused**

| Konstant | Valem     | Väärtus               |
|----------|-----------|-----------------------|
| $k_1$    | $k_t/M_s$ | $653 \text{ s}^{-2}$  |
| $k_2$    | $k_s/M_s$ | $63,3 \text{ s}^{-2}$ |
| $u$      | $m_u/M_s$ | 0,15                  |
| $c$      | $C_s/M_s$ | $6,00 \text{ s}^{-1}$ |

Veerand-auto kiiruseks mudelis on 80 km/h. IRI arvutatakse vastavalt *State Transition Matrix*ile. Konstantide  $b$  ja  $dx$  väärtused, mida Rootsi Transpordiameti jaoks kasutatakse on järgnevad:  $dx = 0.125 \text{ m}$  ja  $b = 0.25 \text{ m}$ . IRI H ja IRI V arvutatakse keskmise väärtusena 20 m kohta.

Mõõtesüsteemi tuleb kontrollida mõõtmisele eelneval päeval. Kalibreerimise dokumentatsioon peab olema kliendile kättesaadav aasta pärast mõõtmisi. Ilma kliendiga kokku leppimata ei tohi muuta ühtegi mõõtmisega seotud komponenti – mõõtemetodit, tarkvara ega riistvara. Mõõtmisel tuleb alati välja tuua sõiduki kiirus, asukoht, standardhälbed ja mediaan väärtused. Kontrollobjekti pikkuseks on 400 m. Kontrollobjektiks nimetatakse vaadeldava tee lõiku, mille vastavust kontrollitakse. Mõõtmisprotseduur on järgmine.

1. Objekti mõõdetakse, kuni saadakse 3 nõudmistele vastavat tulemust.
2. Leitakse mõõtetulemuse mediaanväärtus 20 m peale.
3. Taandatakse 20 m andmed 1 m peale.
4. Tasasuse arvutamisel ei võeta arvesse esimese 20 m andmeid, seega tehakse arvutus vaid 380 m peale.
5. Leitakse standardhälve ja mediaanväärtused 20 m lõikudele.
6. Kontrollitakse kõigi mõõtesõitude 400 m mediaanväärtusi ja standardhälbeid kõigi sõitude mediaani ja standardhällbega.
7. Kui ei saada 3 läbisõiduga rahuldavaid tulemusi, siis viiakse läbi lisasõit/lisasõidud. Kolme kõige sarnasemate tulemustega läbisõidu järgi arvutatakse välja uus mediaan ja standardhälve.



8. Kui erinevused on lubatust ikkagi suuremad, on mõõtmisi teinud ettevõtte kohustus näidata, et neil ei olnud võimalik mõjutada tulemuste kvaliteeti. Kui seda ei suudeta teha, siis tuleb läbi viia täiendavad mõõtmised.

**Tabel 8. Näide läbisõitude tulemustest IRI mõõtmisel Rootsis**

| Kaugus        | Tavapärased läbisõidud |             |             | Lisaläbisõidud | Mediaan<br>(1-3 sõit) |
|---------------|------------------------|-------------|-------------|----------------|-----------------------|
|               | 1. läbisõit            | 2. läbisõit | 3. läbisõit | 4. läbisõit    |                       |
| <b>20</b>     | 1.89                   | 1.89        | 1.87        | 1.88           | 1.89                  |
| <b>40</b>     | 1.60                   | 1.51        | 1.58        | 1.56           | 1.58                  |
| <b>60</b>     | 1.15                   | 1.13        | 1.11        | 1.13           | 1.13                  |
| ...           |                        |             |             |                |                       |
| <b>400</b>    | 2.88                   | 3.04        | 2.95        | 2.96           | 3.00                  |
| Mediaan       |                        |             |             |                |                       |
| <b>400</b>    | 1.55                   | 1.59        | 1.58        | 1.57           | 1.58                  |
| Standardhälve |                        |             |             |                |                       |
| <b>400</b>    | 0.49                   | 0.54        | 0.51        | 0.71           | 0.51                  |

Mõõtmistäpsus on reguleeritud järgmiselt. Erinevus kõikide kolme läbisõidu tulemuste ja kõigi kolme keskmise vahel peab olema väiksemad allpool tabelist toodud väärtustest.

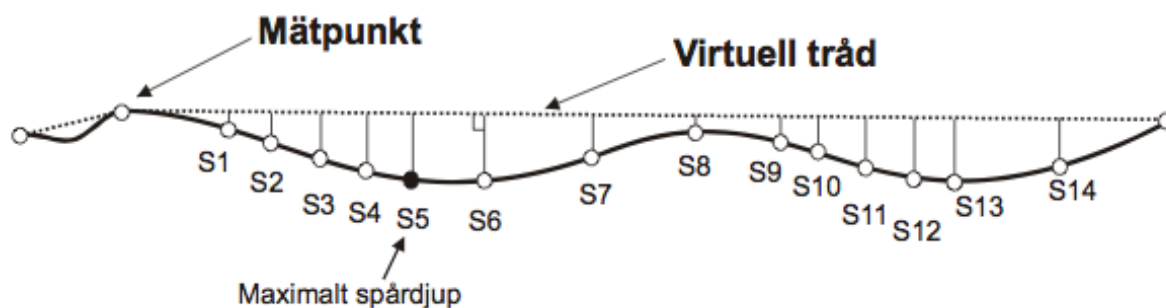
**Tabel 9. Mõõtmistäpsus IRI mõõtmisel Rootsis**

| Lubatud erinevus | %  | mm/m |
|------------------|----|------|
| Mediaan          | 8  | 0,08 |
| Standardhälve    | 20 | 0,20 |

Roopasügavus leitakse iga 100 mm tee kohta. Roopasügavuse mõõtmisel kirjeldatakse ristprofiili vähemalt 17 mõõtepunktiga. Arvutus seisneb nn.

nööri meetodil (wire-method). 17 mõõtepunkti on venitatud üle ristprofiili (vaata Joonis 12). Roopasügavus võetakse suurima kaugusena joone ja kujuteldava nööri (joonisel *Virtuell tråd*) vahel.

20 m keskmine roopasügavus leitakse 200 teineteisele järgneva ristlõike suurimate roopasügavuste aritmeetilise keskmisena.



**Joonis 12. Nööri põhimõtte roopasügavuse mõõtmisel. Sellel joonisel on kasutatud S5 maksimaalse roopasügavuse arvutamisel.**

### Teekonstruktsiooni kandevõime

Rootsis ei kasutata FWD seadet uute katendite kvaliteedikontrollis, vaid planeerimise juures (J. Ullberg, kirjavahetus, 12. august 2014).

## Termoskaneerimine

Termokaamera kasutamine on inglise keeles kirjeldatud uuringus *Using Infrared and High-Speed Ground-Penetrating Radar for Uniformity Measurements on New HMA Layers* (Scullion, Sebasta, & Saarenketo, 2013). Mõõtmisi teostatakse termoskaneerimise seadmega, mis on suunatud katendi poole ja asetseb laotajast 1 kuni 2 m kaugusel. Lähenemisnurk on maksimaalselt 45 kraadi. Kohtpindala (*spot area*) võib olla maksimaalselt 20 cm. Suurendus võib jääda vahemikku 33:1 kuni 100:1. Resolutsioon võib olla minimaalselt 256 mõõtmist joone kohta jaotatuna üle mõõteala (90 kraadise nurga alla tee pikisuunas). Mõõtepunktid on jaotatud üle 90 kraadise nurga. Iga mõõteväärtust esitab nurka, mis on 90/256 kraadi. Termokaamera kinnitatakse laoturi külge jättes selle ja mõõtepunkti vahele 3 kuni 4.5 m. Andmeid salvestatakse iga sekundi järel ja see koosneb keskmisest väärtusest mõõtepunkti kohta 256 läbikul. Mõõtmisi teostatakse jooksvalt tervel laotamise ajal.

Termoskaneerimise seadme kalibreerimine viiakse üldjuhul läbi tootja seadmetega. Ligikaudne kontroll teostatakse kohttermomeetritega (täpsus  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) vahetult pärast tulemuste saamist IR kaameralt. Kontroll teostatakse sügavuselt 10 kuni 20 mm. Seda peetakse ligikaudseks kontrolliks, kuna asfaldi temperatuur langeb esimesel minutil pärast laotamist kuni  $20^{\circ}\text{C}$ . Minimaalne arv kontrollmõõtmisi on üks punkt esimesest ja viimasest asfaldi koormatäiest. Kontrollmõõtmisi tuleb teostada vähemalt kaks korda päevas. Nende mõõtmiste asukohad tuleb registreerida.

Temperatuurimõõtmised tuleb registreerida samaaegselt pikkusemõõtmistele, et hiljem oleks võimalik graafilisi väljavõtteid teha. Pikkuse mõõtmisi saab teha mõõteratta abil. Minimaalselt kaks korda päevas (lõigu alguses ja lõpus) tuleb mõõtmisandmed siduda GPSi või muu sarnase meetodi abil. Analüüsi tegemise ajal tuleb mõõtepunktide andmebaasi kontrollida tundmatute objektide suhtes. Enamasti on nendeks mõõtmise ajal läheduses olnud inimesed. Andmed tundmatutelt objektidelt, mille temperatuur jääb alla  $90^{\circ}\text{C}$ , tuleb kustutada.

Katte temperatuuri koostatakse terve katendi laiuse kohta, kuid 30 cm paani äärest jäetakse hindamisest välja. Raport esitatakse profiilidena, kus x-telg

kujutab pikkust. Erinevate värvidega kujutatakse erinevaid temperatuure. Raport peaks ka sisaldama projekti asukohta ja kontrollmõõtmiste asukohti. Raport peab sisaldama riskikohti (graafiliselt), piirkondi ja osasid. Tulemuste tabelis tuleb esitada järgnev informatsioon:

- mõõtmisi teinud ettevõtte kontaktandmed;
- operaator;
- ehitaja kontaktandmed;
- objekti tüüp;
- tee number;
- katendi tüüp;
- katendi paksus;
- tingimused laotamise ajal (kellaaeg, ilm, jne);
- lõigu kogupikkus;
- mõõtmise pikkus.

## Taani

### Maaradariga teostatavad mõõtmised

Taanis ei ole maaradar rutiinselt kasutuses. Sellele ei ole välja töötatud eraldi eeskirju ning kasutatakse vaid uuringutes.

### Teekatte tasasus

Taanis ei kasutata tasasuse hindamisel IRI väärtust. Selle asemel kasutatakse *Viagraph* numbrit, mis arvutatakse välja profilomeetri tulemustest, simuleerides 5m sirget latti, mille abil varasemalt tasasust mõõdeti (F. Thøgersen, Vejdirektoratet vanemteadur, kirjavahetus, 16. juuli ja 2. september 2014).

### Teekonstruktsiooni kandevõime

FWD-d kasutatakse, et kontrollida ja kinnitada katendite paksusi uutel teedel. Mõõdetakse lõpetatud sidumata kihi peal ja selle tulemustest tulenevalt korrigeeritakse asfaldi kihi paksusi. Teadaolevate alumiste kihtide abil leitakse iga kihi (alus, pinnas) elastsusmoodul. Need andmed sisestatakse programmi (Elmod), mille järgi kontrollitakse ja korrigeeritakse paksusi ülemises kihis. Lisaks sellele kasutatakse FWD-d, et mõõta kandevõimet kohtades, kus *Traffic*

*Speed Deflectometer* (TDS) seadmega teostatud mõõtmised on viidanud võimalikele probleemidele.

TSD-i ei kasutata uute katendite kvaliteedikontrollil, vaid, et mõõta pidevalt kogu riikliku teedevõrku ja selle järgi prioritseerida hooldustöid. Igal aastal mõõdetakse ligi 20-33% teedevõrgust.

### **Termokaamera**

Termokaamerat ei kasutata kontrolli eesmärkidel transpordiameti poolt. On olnud ehitajaid, kes on seda tehnoloogiat katsetanud, kuid transpordiamet ei ole selle tehnoloogia kasutamist nõudnud, ega ole olnud seotud nende mõõtmistega.

Kvaliteedikontroll üldiselt toimub ehitajate poolt esitatavate andmete põhjal. Vahel kasutatakse kvaliteedikontrolli juures ka maanteeameti enda kogutud proovikehasid.

Taanis ei ole tee kvaliteedi põhiselt eraldi motivatsioonisüsteemi ehitajatele rakendatud. On antud vaid lisatasusid töö varajasema lõpetamise eest. Kui teede mõni parameeter ei vasta projektis ettenähtule, siis võidakse küll rakendada trahvisüsteemi. Selle jaoks ei ole konkreetset metoodikat. Kokkulepped tehakse projektipõhiselt. Lisaks sellele kaalutakse boonuste kasutuselevõttu hea kvaliteedi eest (F. Thøgersen, isiklik kirjavahetus, 16. juuli ja 2. september 2014).

### **Norra**

#### **Maaradariga teostatavad mõõtmised**

Anne Lalagüe'lt (SINTEF, maaradari ekspert) saadud info kohaselt toimuvad hetkel Norras maaradari kasutamise alased uurimused, kuid tehnoloogia ei ole veel leidnud laialdast kasutust. Norra Teedeadministratsioon (NPRA) ei ole välja töötanud maaradari kasutamise teemalisi regulatsioone. Samuti ei ole Norras kasutuses ka selle teemalist motivatsioonisüsteemi ehitajatele. Maaradariga on Norras tegelenud uuringufirma SINTEF, mis on läbi viinud väliseid projekte

konsultatsioonifirmadele ja Norra Teedadministratsioonile (A. Lalagüe, kirjavahetus, 30. juuli 2014).

### Teekatte tasasus

IRI ja FWD on Norras kasutusel. IRI-t koos roopa sügavuse ja kaldega mõõdetakse ja salvestatakse andmebaasi iga 20 m järel (Statens Vegvesen, 2013). IRI nõuded on näidatud allolevas tabelis.

**Tabel 10. Nõutavad IRI väärtused Norras (Statens Vegvesen, 2013)**

| AKÖL  | Põhiteed (klassid H ja S) | Muud teed (A ja G/S) |
|-------|---------------------------|----------------------|
| >3000 | 2,0                       | 2,5                  |
| <3000 | 2,5                       | 3,0                  |

### Teekonstruktsiooni kandevõime

FWD kasutamine läbivajumiste määramiseks on ära kirjeldatud dokumendis *Håndbok 018 Vegbygging* (Statens Vegvesen, 2013). Seal viidatakse ka, et täpsemad juhised mõõtmiste jaoks on antud *COST 336* lõppraportis "Use of Falling Weight Deflectometer in Pavement Evaluation" (Beuving, 1999).

Elastsusmooduli määramiseks FWD kasutamisel läbipainde mõõtmise kaudu soovitatakse seadet, millel on plaat läbimõõduga 300 mm ja 6 sensorit ning rakendatakse jõudu 50 kN. Mõõtepunktide omavaheline kaugus on soovitatavalt kuni 50m. Mõõtmisi tuleb teha välises rattajäljes ja mõlemas sõidusuunas. Lisaks tuleks temperatuuri mõõta pärast mõõtmise pause ja suuremate erinevuste korral päikselise/varjulise katte juures. Lisaks tuleks katte temperatuuri mõõta igas mõõtepunktis. Elastsusmooduli arvutamiseks on üldjuhul lubatud kasutada ükskõik millist sobilikku programmi. On välja toodud rahvusvaheliselt kasutuses olevad programmid, mis sobivad arvutusteks - MODULUS, EVERCALC, ELMOD, BISDEF, ELSDEF, WESDEF, FPEDD1, PADAL, MODCOMP2, CHEVDEF.

## Ühendkuningriigid

Nõuded seadmetele ja mõõtmise protseduurid on ära kirjeldatud dokumendis *Desing manual for roads and bridges* (Department for Transportation, 2013).

### Maaradariga teostatavad mõõtmised

Standardi HD 29/08 (Department for Transportation, 2013) järgi peavad kõik maaradariga läbi viidud uuringud Maantee Agentuuri teedel olema teostatud 5 m horisontaaltäpsusega. Maaradari kasutusvaldkonnad jaotatakse tulemuste täpsuse ja usaldusväärsuse järgi 4 klassi A-st D-ni. Uuringud täpsusklassiga A loetakse rutiinseteks, B tulemusi kinnitavaks. C klassi tuleks kasutada vaid koos teiste tulemustega tee seisukorra hindamisel. D klassi uuringuid tulemusi loetakse tõestamata tulemusteks. Maantee Agentuuri teedele soovitatakse tellida uuringuid vaid siis kui need vastavad täpsusklassile A või B.

Maaradari mõõtmised soovitatakse teedel teha enne, kui teelt proovikehade võtmist, selleks et säilitada tee homogeensus. Mõõtmisi ei tohi teha, kui sajab vihma, kui tee kattel esineb vaba vett või kui tee katet on soolatud.

**Tabel 11. Maaradari kasutusala ja tööde täpsusklassid Ühendkuningriikides**

| Näitaja                                             | Klassifikatsioon |          |
|-----------------------------------------------------|------------------|----------|
|                                                     | <30 km/h         | >80 km/h |
| Muutused ehituses                                   | A                | A        |
| Seotud ja sidumata kihtide paksus ja profiil        | A                | B        |
| Õhuga täidetud avad armeerimata betooni kihtide all | B                | C        |
| Veega täidetud avad armeerimata betooni kihtide all | B                | C        |
| Erinevused aluskihtide niiskussisalduses            | B                | C        |
| Praod elastsete katendite kihtidel                  | C                | D        |
| Materjali tüüp                                      | C                | D        |



Tabelis on välja toodud elastsete katendite kohta käivad kasutusala, mis jääb vähemalt C klassi. Puurkehad tuleb võtta täpsusega  $\pm 1$  m pikisuunas ja  $\pm 0.1$  m raja ääre suhtes. Puurkehad tuleks võtta pärast maaradari andmete esialgset analüüsi, kui on juba teada kihtide paksused ja muutused ehituses. Puurkehad tuleb võtta kohtadest, kus katend tundub homogeenne nii kvaliteedi kui ka paksuse poolest. Maaradari tulemuste aruanne peab sisaldama:

- teksti, mis võtab kokku uuringu tulemused, toob välja eeldused, mis tehti andmete analüüsil, mõõtmistäpsuse ja probleemid mõõtmisel;
- uuringu tulemusi joonisel;
- uuringu tulemused tabelis;
- puurkehade logi.

Paksuse määramise protsess on jaotatud kahte ossa:

1. Määrata kihtide piirid signaali ostsillatsioonide järgi
2. Arvutada kihtide paksused kasutades ossilatsioonide vahelisi aegu

Kihi pakus on seotud signaali liikumise ajaga kihis:

$$D = V\left(\frac{T}{2}\right)$$

kus  $D$  = kihi paksus (mm),  $V$  = radari signaali kiirus (mm/ns) ja  $T$  = signaali liikumise aeg edasi ja tagas suunas (ns). Radari signaali kiirus kihis sõltub selle materjali dielektrilisest läbitavusest:

$$V = \frac{299}{\sqrt{\epsilon}}$$

Esineb 4 põhilist viisi kiiruste arvutamiseks:

- a. kasutada avaldatud andmeid materjalide keskmiste kiiruste kohta;
- b. kasutada proovikehasid, et leida kihi paksus ja selle kaudu arvutada kiirus;
- c. arvutada kiirus mõõdetud radari signaalist kasutades *common depth point* meetodit;
- d. arvutada kiirus mõõdetud signaalist kasutades peegelduse koefitsiendi (*reflection coefficient*) meetodit.

Meetod a kasutab tabelis antud andmeid, mis on arvutatud läbi dielektrilise konstandi kasutades valemit (2). Igasugune niiskus materjalis mõjutab tugevalt materjali dielektrilist läbitavust ja seega ka signaali kiirust selles materjalis.

**Tabel 12. Materjalide dielektrilised läbitavused ja elektromagnetlainete kiirus nendes**

| Materjal          | Kiirus (mm/ns) | Dielektriline läbitavus |
|-------------------|----------------|-------------------------|
| Õhk               | 299            | 1                       |
| Asfalt            | 90 - 160       | 4 - 10                  |
| Betoon            | 100 - 130      | 5 - 9                   |
| Veega seotud segu | 100 - 120      | 6 - 9                   |
| Teraline materjal | 70 - 120       | 6 - 18                  |
| <i>Capping</i>    | 70 - 110       | 7 - 18                  |
| Vesi              | 33             | 81                      |

Meetod b võimaldab arvutada kiiruseid täpselt, kui seda läbi viia hoolikalt. Tähelepanu tuleb pöörata järgnevatele aspektidele:

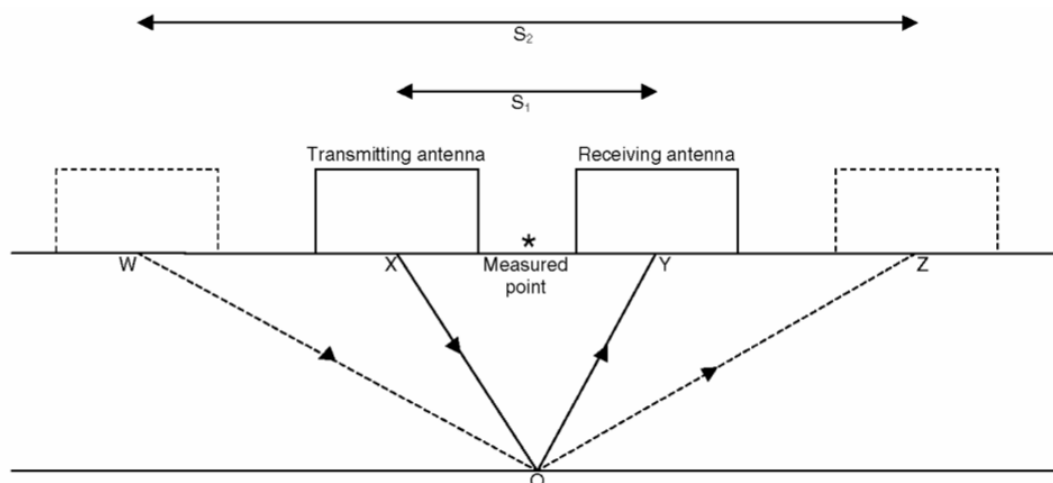
- proovikeha asukoht peab olema täpselt määratletud maaradari andmetes;
- proovikehalt mõõdetud paksus peab olema korrektne;
- tuleb veenduda, et katendist eemaldati proovikeha kogu katendi paksuse ulatuses.

On teada, et kihi paksused võivad pikisuunas märgatavalt muutuda. Kui proovikeha ei ole määratletud maaradari andmetes täpselt kui 1 m, siis on suur tõenäosus, et kiiruse arvutamiseks kasutatakse vale paksust. Proovikehalt mõõdetud täpsus on tüüpiliselt  $\pm 5$  mm, juhul kui proovikeha on täielikult eemaldatud ja kahjustamata. Meetod c kasutamine eeldab mitme-dipooliga.

Kiirus arvutatakse vastavalt valemile

$$V = \sqrt{\frac{S_2^2 - S_1^2}{T_2^2 - T_1^2}}$$

kus  $T_1$  = signaali liikumise kiirus trajektoorigi XOY (nsec),  $T_2$  = signaali liikumise kiirus trajektoorigi WOZ (nsec),  $S_1$  = antennide vaheli kaugus XY (mm) ja  $S_2$  = antennide vaheline kaugus WZ (mm).

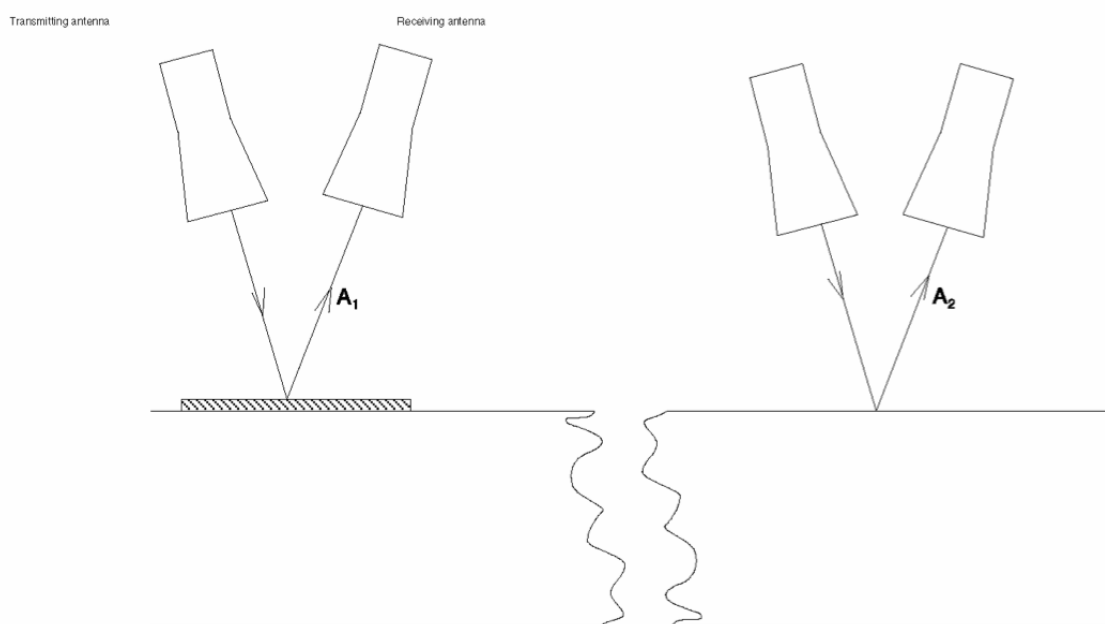


**Joonis 13. Common Depth Point meetodil kiiruse arvutamine (meetod c)**

Meetod d põhineb kiiruse arvutamisel kasutades peegelduse koefitsienti ja nõuab õhkradarit. Enne mõõtmisi paigutatakse metallplaat katendi pinnale, et selgitada välja ideaalselt peegelduvalt pinnalt tuleva signaali amplituud. Seda võrreldakse teelt tuleva signaali amplituudiga, et saada signaali kiirus iga kihi kohal. See meetod eeldab, et vastuvõttev antenn kogub kokku kogu välja saadetud energia. See eeldus on muutub vähem usaldusväärseks kihi sügavuse suurenedes. Selle meetodi puhul on eriti oluline, et seisva veega kohti välditaks, kuna vee kiht hakkab väga mõjutama kalibreerimist. Kiirus arvutatakse valemi järgi:

$$V = \frac{299}{\left( \frac{A_1 + A_2}{A_1 - A_2} \right)}$$

kus  $A_1$  = metallplaadilt peegeldunud signaali amplituud,  $A_2$  = katendi pinnalt peegeldunud signaali amplituud ja 299 = signaali kiirus õhus (mm/ns).



Joonis 14. Peegelduse koefitsiendi meetod kiiruse arvutamiseks

### Teekonstruktsiooni kandevõime

Standardi HD 29/08 (Department for Transportation, 2013) järgi kasutatakse FWD seadmeid katendikihtide tugevuse hindamiseks. Kohustuslik on seadmete iga-aastane kontroll. Mõõtmisel kasutatakse jõudu  $50 \text{ kN} \pm 10\%$ . Kasutatava plaadi diameeter peab olema vähemalt 300 mm ja mõõteaeg peab olema vahemikus 5...15 msec. Mõõtmiste vahemaa on tavaliselt 5 kuni 20 m. Mõõtmise ajal ei tohi tee peal esineda vaba vett. Õhutemperatuur mõõtmisel peab jääma vahemikku  $5...30^\circ \text{C}$ , kuid parima tulemuse saamiseks võiks see olla vahemikus  $10..25^\circ \text{C}$ . Temperatuuri tuleb mõõta mõõtmiste alguses, lõpus, iga 30 minuti järel ja katte omaduste märgataval muutumisel. Arvutamisel kasutatakse lineaar-elastset mitmekihilist analüüsi (*linear elastic multi-layered analysis*), millega ennustatakse etteantud koormusele vastavat vajumit (läbipainet). Tagasiarvutamise (*back-calculation*) kaudu leitakse vastavus mõõdetud väärtuste ja arvutatud väärtuste vahel. Katendi eeldatavat jäikust reguleeritakse seni, kuni saadakse mõistlik vastavus arvutatud ja mõõdetud väärtuste vahel. Maantee Agentuuri (*Highway Agency*) teedel mõõtmiste tegemiseks peab tagasiarvutuse programm vastama järgmistele kriteeriumitele:

- see peab modelleerima teed kui teatud arvu lõpmatuid horisontaalseid lineaar-elastseid kihte;
- see peab kasutama Burmisteri valemitel põhinevat elastset mitmekihilist analüüsi, kus kõik kihid modelleeritakse lineaarselt, kaasaarvatud lõpmatu sügavusega aluspinnas ja kus ei toimu kihtide omavahelist nihkumist (*no slip between layers*);
- peab olema võimeline modelleerima vähemalt kolme erinevat kihti;
- peab suutma teha arvutusi 7 sensori järgi;
- peab suutma välja kuvada arvutatud pinna vajumi väärtusi.

Tagasiarvutustes kasutatavad Poisson'i tegurid on järgnevad:

**Tabel 13. FWD arvutustes kasutatavad Poisson'i tegurid Ühendkuningriikides**

| <b>Materjal</b>                                            | <b>Poissoni tegur</b> |
|------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Asfalt                                                     | 0.35                  |
| Veega seotud segud ( <i>Hydraulically bound mixtures</i> ) | 0.35                  |
| Kõnnitee kvaliteediga betoon                               | 0.20                  |
| Purustatud kivi                                            | 0.45                  |
| Pinnased                                                   | 0.45                  |

Nende kohtades, kus eeldatakse, et tee paksus on ühtlane, piisab puurkehade saadavatest kihtide paksustest FWD arvutusteks. Ühtlaseks loetakse tee sellisel juhul, kui puurkehade kihtide paksuste erinevus keskmisest kihi paksusest on  $\pm 5\%$ . Kui paksuste erinevused on tee ulatuses juhuslikud, siis parimaks lahenduseks analüüsi teostamine keskmise kihipaksuse põhjal. Kui lõigul on märgata kihi paksuse suurenemist või vähenemist teatud suunas või teatud piirkondi sama kihipaksusega, siis on mõistlikum jaotada tee osadeks ja kasutada tolle osa keskmist paksust tagasiarvutusel. Kui kihtide paksuste erinevus on suurem kui 5%, soovitatakse läbi viia maaradari mõõtmised. Mõningatel juhtudel võib kaaluda ka lisapuurkehasid.

Mõõtmisel saadud tulemused tuleb taandada 20°C peale valemi järgi:

$$E_{20} = E_T \times 10^{(0.0003 \times (20-T)^2 - 0.022 \times (20-T))},$$

kus  $E_{20}$  = jäikus 20 kraadi juures,  $E_T$  = jäikus temperatuuril  $T$  ja  $T$  = asfaldi temperatuur mõõtmise ajal mõõdetuna 100 mm sügavuselt.

Tulemuste sobivust saab hinnata kahe parameetri järgi:

- keskmine hälve (AMD – *absolute mean deviation*);
- hälvete ruutude keskmine (RMS – *root mean squared deviation*).

Lisaks sellele on standardis välja toodud näiteolukorrad, millal peaks kasutama alternatiivseid tagasiarvutusmeetodeid.

## Tšehhi

### Maaradariga teostatavad mõõtmised

Maaradari kasutuse kohta on Tšehhis koostatud tehniline spetsifikatsioon TP 233, mis kirjeldab üldiselt ära mõõtmise meetodid ja seadmed, mida saab kasutada. Samas dokumendis on ka väga üldiselt ära kirjeldatud protseduurid ja kasutusvõimalused. Tšehhis ei ole maaradar seotud motivatsioonisüsteemiga ehitajatele ja mõõtmiste tulemusi ei salvestata hetkel tee andmebaasi (Stryk & Matula, 2014).

### Teekatte tasasus

Tasasuse IRI näitajate arvutamiseks kasutatakse Tšehhis Euroopa standarditel põhinevat normdokumenti „CSN 736175 Měření a hodnocení nerovnosti povrchů vozovek“ („*Measurements and evaluation of pavement surface unevennesses*“) ja tarkvara *Proval*. Tulemusi kontrollitakse nii pärast ehituse lõppu kui ka garantiiaja lõppedes. Hiljem mõõdetakse tasasust monitooringuks. Andmeid kogutakse terve teedevõrgu kohta ja hoiustatakse andmebaasides. Kasutatavad tehnoloogiad on *ARAN* haardeteguri mõõtmiseks, *Tatra Runaway Friction Tester* (TRT), mis mõõdab nii IRI-t kui ka haardetegurit ja *Dynvia*, mida kasutatakse parameetri C mõõtmiseks. Parameeter C on defineeritud standardis ISO 8608,

selle suhe IRI väärtustesse on näha Tabel 14. Nende piirväärtused vastavalt teede klassile on samuti ära märgitud allolevas tabelis (J. Stryk, isiklik kirjavahetus, 15. juuli 2014 ja 23. juuli 2014).

TRT seade mõõdab haardetegurit libiseva ratta põhimõttel. Testratas on kinnitatud esi- ja tagavelgede vahele (Winter Runaway Friction Measurement and Reporting Working Group, 1995).

**Tabel 14. Tasasuse piirväärtused vastavalt teede klassile**

| Parameeter                  | Tase           |             |             |              |             |
|-----------------------------|----------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
|                             | 1              | 2           | 3           | 4            | 5           |
| <b>C</b> [ $10^{-6}$ rad.m] | $C \leq 0,9$   | 1,0 ... 2,2 | 2,3 ... 4,6 | 4,7 ... 10,0 | $C > 10,0$  |
| <b>IRI</b> [m/km]           | $IRI \leq 1,9$ | 2,0 ... 3,0 | 3,1 ... 4,2 | 4,3 ... 6,3  | $IRI > 6,3$ |

Mõõteseadmete kontroll teostatakse vastavalt Transpordiministeeriumi tehnilisele spetsifikatsioonile TP 207: Täpsuse testid. Selles on kaetud seadmed, mis mõõdavad katete tasasust (Stryk & Matula, 2014).

### Teekonstruktsiooni kandevõime

FWD-d on Tšehhis kasutatud vaid üksikutel juhtudel remondiprojektide raames.

### Poola

#### Maaradariga teostatavad mõõtmised

Poolas ei ole maaradari jaoks eraldi eeskirju välja töötatud. On arvamusi, et nende väljatöötamine ei ole ka otseselt vajalik, kuna Poolas on väga üksikud mõõteseadmed ja tee hinnangu andmine on väga individuaalne ning näiteks puuraukude arvu üle on parem otsustada hinnates maaradari pilti. Samuti on välja toodud võimalus teha mõõtmisi vastavalt seadme tootja eeskirjadele. Ka valemid paksuse ja poorsuse kalkulasioonideks võetakse nendest eeskirjadest.



## Teekonstruktsiooni kandevõime

Poolas on kasutusel kahte tüüpi katendihindamised:

- teedevõrgu ja projekti tasandil on kasutusel *Traffic Speed Deflectometer*, FWD, maaradar, haardeteguri katsetaja SRT-3, fotolahendused teede kulumise hindamiseks ja laserprofileerimine.
- vastuvõtukatsetustel on kasutusel haardeteguri mõõtmise ning piki ja põiksuunalise tasasuse mõõtmise laserprofileeriga. Ei ole kasutusel boonustesüsteemi ehitajatele, kuid on kasutusel trahvid.

FWD ja TSD mõõtmistel peab vastava asfaldi kihi temperatuur olema vahemikus 5-25°C. FWD mõõtmistel on lubatud märg katend, TSD puhul on see keelatud, kuna mõjutab peegeldusi. FWD puhul on oluline, et seade oleks sertifitseeritud Riikliku Teedeameti poolt. Sertifitseerimisel kasutatakse harmoniseeritud testi kõigi FWD seadmetega. Poolas ei ole välja toodud konkreetseid kasutatavaid FWD arvutusprogramme. (J. Sudyka, isiklik kirjavahetus, 19. august 2014 ja 4. august 2014).

## Motivatsioonisüsteem Poolas

Poolas kasutusel olev mahaarvamiste süsteem on kirjeldatud juhendis DP – T 14 (Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad , 2014). Poolas toimiv mahaarvutussüsteem sõltub nii tee koormusklassist kui ka tee tüübist. Tee koormusklassid arvutatakse 115 kN telgede arvu järgi päevas ühel rajal ja jagunevad järgnevalt:

- KR1  $\leq 7$
- KR2 8 kuni 40
- KR3 41 kuni 192
- KR4 193 kuni 572
- KR5 573 kuni 1144
- KR6 1145 kuni 2000
- KR7 2001 ja rohkem.

**Tabel 15. Teede klassid Poolas**

| Klass     | Kasutus                 |
|-----------|-------------------------|
| <b>A</b>  | Kiirtee/Highway         |
| <b>S</b>  | Expressway              |
| <b>GP</b> | kiirendatud põhimaantee |
| <b>G</b>  | põhimaantee             |
| <b>Z</b>  | teenindav tee           |
| <b>L</b>  | kohalik tee             |
| <b>D</b>  | drogi dojazdowe         |

Katendite näitajate piirmäärad, alates millest hakatakse mahaarvamisi tegema on ära määratud protsendilise muutuse järgi projektis määratletust või väärtuste maksimaalsete muutuste järgi.

**Tabel 16. Mahaarvutuse piirväärtused Poolas**

| Hinnatav parameeter        | Piir, millest alates tehakse mahaarvamisi keskmise tulemuse järgi (%) |                               |                          |                          |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                            | Asfaltsegud                                                           |                               |                          |                          |
|                            | Klassid A, S ja GP;<br>KR5 ja KR7                                     | Muud marsruudid<br>KR3 ja KR4 | KR1 ja KR2               | Valuasfalt (kaitsekiht)  |
| Sideaine sisaldus – vähene | alates -0,1<br>kuni -0,3                                              | alates -0,1<br>kuni -0,3      | alates -0,1<br>kuni -0,5 | alates -0,3<br>kuni -0,6 |
| Sideaine sisaldus - liigne | alates +0,2<br>kuni +0,3                                              | alates +0,2<br>kuni +0,3      | alates +0,3<br>kuni +0,5 | alates +0,4<br>kuni +0,6 |
| Kulumiskihi paksus         | ± 10 %                                                                | ± 10 %                        | ± 10 %                   | ±10 %                    |
| Sidekihi paksus            | ± 10%                                                                 | ± 10 %                        | ± 10 %                   | ± 10 %                   |
| Aluskihi paksus            | ± 10%                                                                 | ± 10 %                        | ± 10 %                   | -                        |

IRI puhul on välja toodud vahemikud, mis on aktsepteeritavad. Eristatakse mõõtmiste keskmist väärtust  $IRI_{sr}$  ja mõõtmiste üksikuid väärtusi  $IRI_{max}$ .

**Tabel 17. Mahaarvamise piirväärtused IRI mõõtmisel Poolas**

| Tee klass | Mõõdetav element                                              | Mahaarvamiste piirväärtus IRI puhul [mm/m] |                    |
|-----------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------|
|           |                                                               | IRI <sub>sr</sub> <sup>*</sup>             | IRI <sub>max</sub> |
| A, S, GP  | Olulisemad rajad, lisarajad, rambid, sisse ja väljasõidud     | >1,3 ÷ ≤ 1,6                               | >2,4 ÷ ≤ 2,6       |
|           | Sõiduteed, teepeenrad                                         | >1,5 ÷ ≤ 1,8                               | >2,7 ÷ ≤ 2,9       |
| G,Z       | Olulisemad rajad, lisarajad, sisse ja väljasõidud, parkimine. | >1,7 ÷ ≤ 2,0                               | >3,4 ÷ ≤ 3,6       |
|           | Teepeenrad                                                    | >2,0 ÷ ≤ 2,3                               | >3,8 ÷ ≤ 4,0       |

Sarnased mahaarvutuse piirmäärade tabelid on koostatud ka erineva suurusega mineraalmaterjalidele ja haardetegurile. Mahaarvutusi tehakse järgnevatest parameetritest lähtuvalt:

- Segu koostis
- Piki- ja põikkalle
- Tõusud
- Haardelised omadused
- Tihedus
- Kihtide pakus
- Telje asukoht

Mahaarvutuste summa ei tohi ületada 25% kihi kogumaksumusest. Kui ehitaja ei nõustu mahaarvamiste kasutamisega, siis on tal kohustus välja toodud defekt parandada. Kui piirväärtuse ületamisest tulenevalt tekib enne garantiiaja lõppu teele defekt, siis võib klient nõuda ehitajalt selle eemaldamist. Ehitajal on õigus nõuda tagasimakset maksmata jäänud summas, kui defekt eemaldatakse garantiikohustuste hulgas. Siinkohal vaatleme vaid valemuid, mis on seotud IRI, katendi paksuse ja tihedusega.

## Tasasus

Teekatte tasasuse mittevastavustest tulenev väljamaksmata jäetav summa saadakse valemiga:

$$P_{IRI} = P_{IRI_{sr}} + P_{IRI_{max}}$$

kus

$$P_{IRI_{sr}} = \frac{IRI_{sr} - IRI_{sr\ dop}}{2} \times K \times F_{IRI}$$

$$P_{IRI_{max}} = \sum_{i=1}^n \frac{IRI_i - IRI_{max\ dop}}{2} \times K \times F_{IRI}$$

- $P_{IRI}$  – mahaarvamiste summa kokku
- $P_{IRI\ sr}$  – mahaarvamiste summa keskmise piirväärtuse ületamise eest
- $P_{IRI_{max}}$  – mahaarvamiste summa üksiku maksimaalse mõõtmistulemuse eest
- $IRI_{sr}$  – keskmine väärtus mõõtmistel
- $IRI_{sr\ dop}$  – maksimaalne lubatud keskmine väärtus
- $IRI_i$  – iga IRI väärtus, mis ületab lubatud maksimaalse üksikväärtuse
- $IRI_{max\ dop}$  – maksimaalne lubatud väärtus üksikul mõõtmisel
- $K$  – maksumus  $m^2$  kohta
- $F_{IRI}$  – hinnatava ala kogupindala

### Katendi paksus

Õhemast katendi paksusest tulenev mahaarvamine tehakse lähtudes projektis määratletud paksusest. Arvutus tehakse nii lähtudes katendi keskmisest paksusest kui ka üksikutest väärtustest. Trahv moodustub suuremast väärtusest.

$$P_g = \frac{p}{100} \times 3,75 \times K \times F$$

- $P_g$  – mahaarvamiste summa
- $p$  – katendi paksuse väärtus, mis on väiksem kokkulepitust [%]
- $K$  – maksumus  $1\ m^2$  kohta
- $F$  – pindala [ $m^2$ ]

### Kihi tihedus/tihendus

Kui puurkehade alusel määratud kihi tihedus on mahaarvutuse piirmäärast väiksem, tuleb mahaarvestatav summa arvutada järgmise valemi järgi:

$$P = \frac{p_c^2}{100} \times 3 \times K \times F$$

- P – mahaarvestatav summa
- $p_c$  – protsent, mis ollakse allpool soovitatavat tihedusastet [%]
- K – ühikuhind  $m^2$  või tonni kohta
- F – hinnatava ala pindala [ $m^2$ ] või maht [t]

## Läti

### Maaradar ja FWD

Maaradar ega FWD ei ole Lätis rutiinselt kasutuses. Maaradarit on kasutatud üksikutel juhtumitel uue tee puhul, aga seda vaid siis kui puurkehad on näidanud mittevastavaid katendipaksusi või kui ehitaja või klient soovisid saada rohkemat informatsiooni tee kihtide paksuste kohta (E. Purinš, isiklik kirjavahetus, 17. juuli 2014). Käesoleval aastal soetas Läti Maanteeamet SIR-30 maaradarisüsteemi ning see on hetkel testimises.

### Teekatte tasasus

IRI kasutatakse Lätis uute teekatete kvaliteedi hindamiseks.

Hetkel valmistatakse ette kasutustingimusi uuringuteks mittepurustavate tehnoloogiate vallas. Suuremat tähelepanu pööratakse seal tihedusele (jäävpoorsusele) ja paksusele (J. Barbars, isiklik kirjavahetus, 15. juuli 2014).

## Saksamaa

Saksamaal ei kasutata rutiinselt mittepurustavaid meetodeid asfaltkatete kvaliteedi hindamiseks. Kohustuslikuna ei ole kasutuses ühtegi meetodit. FWD, Benkelmani tala ja maaradar on kasutuses ehitusplatsidel, kuid nende kasutamine on ehitajate enda initsiatiivil. Benkelmani tala ja FWD kasutamise kohta on koostatud ametlikud kasutuseeskirjad, mille võib määrata osaks ehituslepingust. Maaradari kohta valmib eeskiri järgmisel aastal.

## Teekatte tasasus

IRI ei ole Saksamaal kasutuses. Kui vaadelda mitte-tavapäraseid lepinguid, siis piki- ja ristisuunalise tasasuse mõõtmiseks võib kasutada ka kontaktil mittepõhinevaid meetodeid, näiteks laser-tehnoloogial põhinevaid seadmeid. Kõrgresolutsioonilist pildistamist ja laserskaneerimist on kasutatud ka, et tuvastada pragusid katendis.

Mittetavapärastes ehitusprojektides, näiteks PPP-projektides, võib kokku leppida kõigis eelnevalt nimetatud kvaliteedikontrolli meetodites.

Kõik ülejäänud näitajad tee kvaliteedi kohta saadakse kasutades purustavaid meetodeid (materjali teste ja puurkehasid).

*Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)* teostab uuringuid kõigi eelpool nimetatud meetoditega välja arvatud IR kaamerad (D. Jansen, isiklik kirjavahetus, 16. juuli 2014).

## Termokaamera

Termokaameraid ei kasutata hetkel tööde vastuvõtmise kriteeriumina. Samas üha enam ettevõtteid kasutavad IR kaameraid omaalgatuslikult ehituse ajal, et jälgida asfaldi temperatuuri laotamise ajal.

## Haardetegur

Haardetegur mõõdetakse kasutades SCRIM tehnoloogiat. Tasasust mõõdetakse 4 m talaga kontakti põhiselt. Tasasus ja haardetegur on ainsad mittepurustavate tehnoloogiatega mõõdetavad näitajad, mis mõjutavad boonuseid või trahve tavapärastel lepingutel.

## Vahekokkuvõte

Käesolevas töös uuriti nii Skandinaavia kui teiste Euroopa riikide kogemusi mittepurustavate meetodite kasutamisel uute katete vastuvõtmisel. Alljärgnevas tabelis on toodud ülevaade mittepurustavate meetodite kasutamisest vaatluse alla võetud riikides - Soome, Rootsi, Norra, Taani, Ühendkuningriikide, Poola, Läti, Tšehhi ja Saksamaa.

Vaadeldavatest riikidest on maaradar on rutiinselt kasutuses Soomes, UK-s, Poolas ja Tšehhis. Kõigis nendes riikides peale Poola on ka eraldi välja töötatud juhised või eeskirjad mõõtmiste tegemiseks. Poolas kasutatakse mõõtmistel vaid seadme tootja poolt antud eeskirju. Rootsis ja Norras on maaradari alased eeskirjad välja töötamisel. Ilmselt on plaan ka peale nende välja töötamist seadmed rutiinsemalt kasutusele võtta. Maaradari tulemusi arvestatakse trahvide tegemisel UK-s, Soomes ja Poolas. Mitte üheski vaadeldavas riigis ei ole maaradari tulemused seotud boonuste süsteemiga.

FWD on vaadeldavatest riikidest kasutusel Taanis, Ühendkuningriikides, Poolas ja Saksamaal. Tšehhis on see kasutusel vaid üksikutel juhtudel ja Rootsis planeerimise, mitte kvaliteedi kontrolli faasis. Ka Saksamaal ei kasutata seda üldises kvaliteedi kontrollis, vaid ehitajate omaalgatuslikult. Taanis kasutatakse seadet mitte terve tee ulatuses, vaid nendes kohtades, kus Traffic Speed Deflectometer näitab probleeme olevat. Ühendkuningriikides ja Saksamaal on mõõtmiste teostamise kohta koostatud eraldi eeskirjad.

IRI kasutatakse Soomes, Rootsis, Poolas, Lätis ja Tšehhis. Eeskirjad selleks on välja töötatud Soomes, Rootsis ja Tšehhis. Poolas lähtutakse seadme tootja juhistest. IRI tulemuste mittevastavuse põhjal määratakse trahve Poolas ja Soomes.

IR kaamera on kasutuses Rootsis, Taanis ja Saksamaal. Taanis ja Saksamaal kasutatakse seda ehitajate poolt nende enda algatusel, mitte osana üldisest kvaliteedikontrollist. Rootsis on välja töötatud põhjalik eeskiri IR mõõtmiste tegemiseks.

Tervikliku motivatsioonisüsteemi, mis haaraks nii trahve kui ka boonuseid ei ole üheski vaadeldavatest riikidest välja töötatud. Enamustes riikidest tuli vastuseks, et märgatavaid erinevusi lepingus kokkulepitust arvestatakse trahvide määramisel, kuid kõige põhjalikum eeskirjad selle koha pealt on välja töötatud Poolas ja Soomes. Rootsis ei ole olemas otsest trahvide süsteemi, vaid eeldatakse, et kui on erinevused lepingus sätestatust, siis on ehitajal kohutus see kõrvaldada. Boonuste süsteemi ei olnud välja arendatud ühelgi vaadeldaval riigil. Taanis arutatakse hetkel selle välja arendamise üle.

**Tabel 18. Ülevaade mittepurustavate tehnoloogiate kasutamisest Euroopas**

| Tehnoloogia      | FIN | SWE | NOR | DEN | GBR | POL | LAT | CZE | GER | EST |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Maaradar (GPR)   | A   | C   | -   | -   | B   | B   | C   | B   | -   | A   |
| Tasasus (IRI)    | A   | B   | B   | -   | -   | A   | B   | B   | -   | A   |
| Kandevõime (FWD) | -   | -   | B   | B   | B   | B   | C   | C   | B   | C   |

**A:** kasutatakse kriteeriumina tööde vastuvõtmisel ja mahaarvamistel süsteemselt

**B:** kasutatakse kriteeriumina tööde vastuvõtmisel süsteemselt

**C:** ei kasutata tööde vastuvõtmisel kriteeriumina või süsteemselt

**-:** ei kasuta tööde vastuvõtmisel üldse

### 3. EHITUSOBJEKTIDE MÕÕTMISED JA ANALÜÜS

Erinevate maaradarite funktsionaalsuse ja võimaluste testimiseks ning omavaheliseks võrdlemiseks viidi läbi maaradarmõõtmised riigimaantee nr 2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maantee Aruvalla-Kose 2013. a valminud lõigul ning jäävpoorsuse mõõtmismetoodika testimiseks mõõtmised maanteedel 8 ja 9.

#### Mõõtmised uusehitiste kihtide paksuste kontrollimiseks

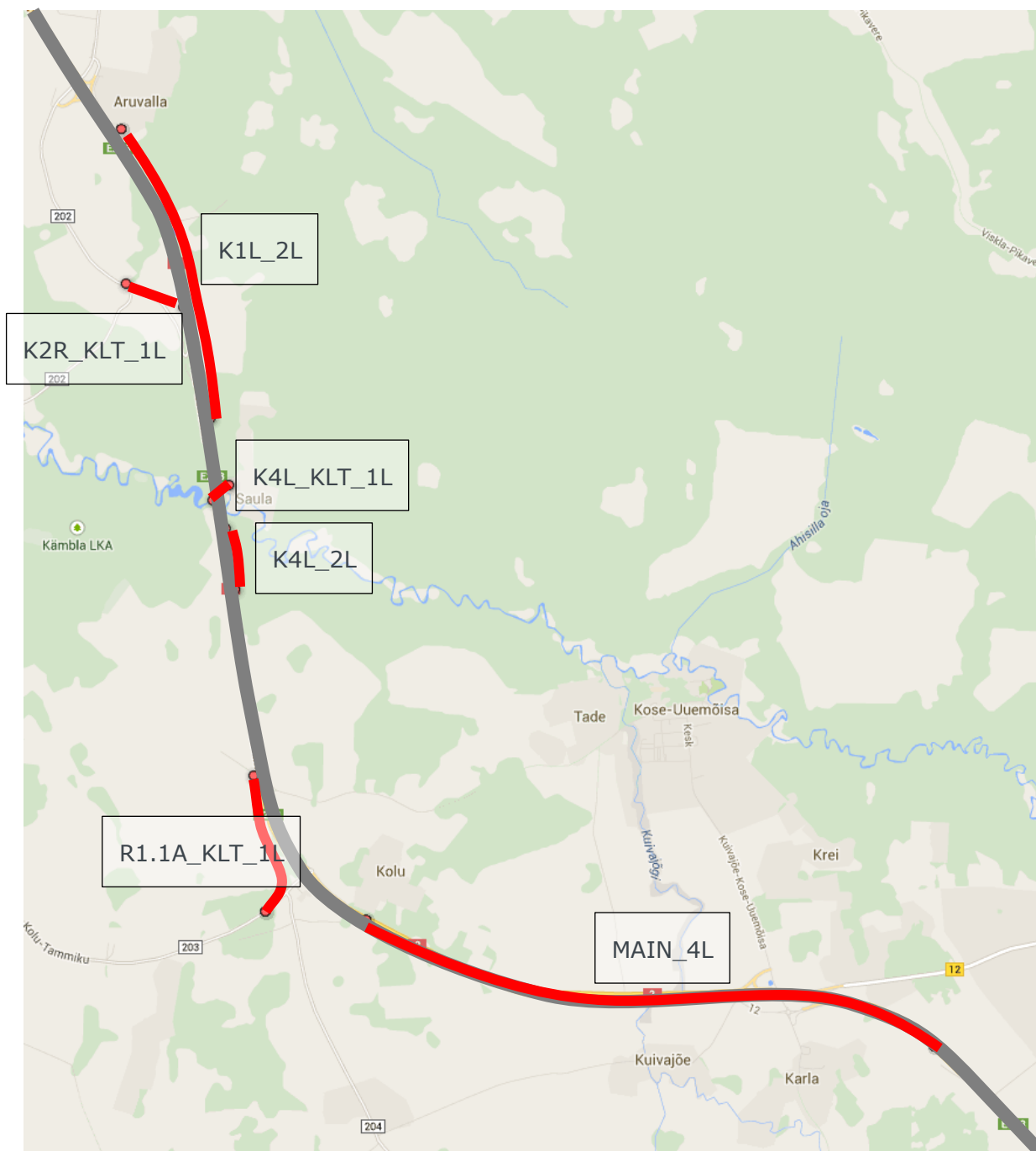
Mõõtmised uusehitiste kihtide paksuste kontrollimiseks viidi läbi 2013 valminud Aruvalla-Kose objektil. Mõõtmised teostati GSSI SIR-30 koos 3d-antenniga ja uue 2,0 GHz NR antenniga ning SIR-10H 2,0 GHz; 1,2 GHz ning 400MHz antennidega. Põhimaanteel mõõdeti kõik 4 sõidurada 'a 5 km, st kokku 20 km, kogujateedel mõõdeti 2 sõidurada 'a 3 km, st kokku 6 km ja kergliiklusteed kokku 2 km.





**Joonis 15. Maaradar SIR 10H koos 1,0 GHz õhkpaar-antenniga**

Alloleval joonisel on kujutatud Aruvalla-Kose mõõtmislõikude skeem.

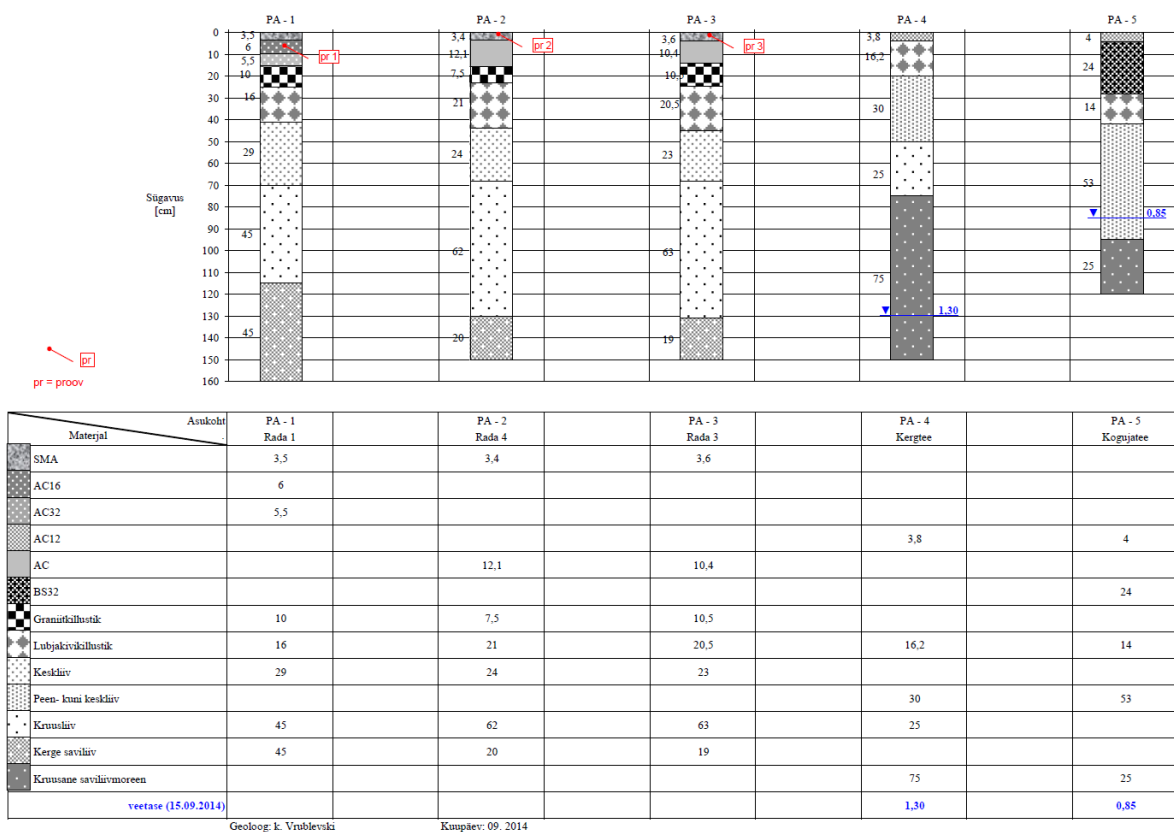


**Joonis 16. Maantee 2 Aruvalla-Kose ehitusobjekti uuringulõikude skeem**

Maaradarandmete kalibreerimiseks teostati Aruvalla-Kose lõigul põhiteel geoloogilised puurimised 3 kohast, samuti teostati geoloogilised puurimised ühel kogujateel ning kergliiklusteel. Geoloogilised puurimised võimaldasid täpsustada

erinevate kihtide - drenkihi ja killustikaluse aga ka mulde ja aluspinnase vahelise piiri sügavust.

## Asfaltkatteid mittepurstava vastuvõtusüsteemi väljatöötamine



Joonis 17. Puurimistulemused



Joonis 18. Puurimiste asukohad

Tabel 19. Aruvalla-Kose objekti uuringulõikude tarindikihid

| Tee, tarindikiht                   | Proj. paksus(cm) |
|------------------------------------|------------------|
| <b>Põhitee MAIN_4L</b>             |                  |
| SMA 16                             | 4                |
| AC 16 bin                          | 5                |
| AC 32 base                         | 7                |
| Tardkillustikust alus              | 12               |
| Lubjakivikillustikust alus         | 16               |
| Kruusliivast drenkiht              | 25               |
| Mulle (liiv) 0...60cm              | 30               |
| <b>Kogujatee K1L_2L</b>            |                  |
| AC 12 surf                         | 5                |
| BS32                               | 12               |
| Killustikalus                      | 18               |
| Drenkiht                           | 20               |
| Mulle (liiv) 20...30cm             | 25               |
| <b>Kogujatee K4L_2L</b>            |                  |
| AC 12 surf                         | 5                |
| BS32                               | 20               |
| Killustikalus                      | 18               |
| Drenkiht                           | 20               |
| Mulle (liiv)                       | 40               |
| <b>Kergliiklustee K2R_KLT_1L</b>   |                  |
| AC 12 surf                         | 5                |
| Killustikalus                      | 15               |
| Drenkiht                           | 25               |
| <b>Kergliiklustee K4L_KLT_1L</b>   |                  |
| AC 12 surf                         | 5                |
| Killustikalus                      | 15               |
| Drenkiht                           | 25               |
| <b>Kergliiklustee R1.1A_KLT_1L</b> |                  |
| AC 12 surf                         | 5                |
| Killustikalus                      | 15               |
| Drenkiht                           | 25               |

### Kattekihtide mõõtmised SIR-10H 2,2 GHz ja 1,2 GHz antennidega

Kattekihtide mõõtmised SIR-10H 2,2 GHz ja 1,2 GHz antennidega viis läbi Teede Tehnokeskus eesmärgiga tuvastada kattekihtide paksused.

Allpool tabelites on toodud erinevate antennidega samadel piketidel mõõdetud kihtide lasumissügavused. Radari mõõtefailid kalibreeriti puuraukude järgi ning kalibreerimiskoeffitsiente kasutati kõrvalasuvate pikettide kihtide paksuste arvutamisel. Tühjad väljad tähendavad, et radaripildilt polnud kihi asukohta võimalik määrata või kiht asus radari mõõtepiirkonnast väljas (näiteks 2,2 GHz antenni puhul on maksimaalne mõõtesügavus u 60...80 cm).

**Tabel 20. Aruvalla-Kose radarandmete võrdlus rada 1**

|                                             | 1,2 GHz,<br>cm | 2,2 GHz,<br>cm | 400 MHz,<br>cm |                            |
|---------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------------|
| <b>PK 338+00</b>                            | 16,7           | 17,5           |                | SMA+AC16+AC32              |
|                                             | 41,3           | 40,7           | 40,7           | Graniit+lubjakivikillustik |
|                                             | 70,3           | 70,9           |                | Keskliiv                   |
| <b>PK 339+00 puurauk, kalibreerimiskoht</b> | 15,0           | 15,0           | 15,0           | SMA+AC16+AC32              |
|                                             | 41,0           | 41,0           | 41,0           | Graniit+lubjakivikillustik |
|                                             | 70,0           | 70,0           | 70,0           | Keskliiv                   |
| <b>PK 340+00</b>                            | 17,2           | 17,4           |                | SMA+AC16+AC32              |
|                                             | 42,4           | 41,4           | 44,6           | Graniit+lubjakivikillustik |
|                                             | 82,8           |                | 83,7           | Keskliiv                   |

**Tabel 21. Aruvalla-Kose radarandmete võrdlus rada 4**

|                                             | 1,2 GHz,<br>cm | 2,2 GHz,<br>cm | 400 MHz,<br>cm |                            |
|---------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------------|
| <b>PK 377+00</b>                            | 16,7           | 16,7           |                | SMA+AC16+AC32              |
|                                             | 42,7           | 42,9           | 43,1           | Graniit+lubjakivikillustik |
|                                             | 67,1           |                | 71,4           | Keskliiv                   |
|                                             |                |                | 128,8          | Kruusliiv                  |
| <b>PK 378+00 puurauk, kalibreerimiskoht</b> | 15,0           | 15,0           | 15,0           | SMA+AC16+AC32              |
|                                             | 44,0           | 44,0           | 44,0           | Graniit+lubjakivikillustik |
|                                             | 68,0           | 68,0           | 68,0           | Keskliiv                   |
|                                             | 130,0          | 130,0          | 130,0          | Kruusliiv                  |
| <b>PK 379+00</b>                            | 14,0           | 14,5           |                | SMA+AC16+AC32              |
|                                             | 36,5           | 36,7           |                | Graniit+lubjakivikillustik |



|  |      |       |           |
|--|------|-------|-----------|
|  | 70,1 | 72,2  | Keskliiv  |
|  |      | 139,5 | Kruusliiv |

### Kattekihtide mõõtmised GSSI SIR-30 2,0 GHz NR antenniga

Mõõtmised GSSI SIR-30 2,0 GHz NR antenniga viidi läbi Roadscanners'i poolt eesmärgiga selgitada, ka uus radarisüsteem koos omab kattekihtide vaheliste piirjoonte eraldamisel vanema süsteemi ees eeliseid. Andmete analüüsil selgus, et ülemised kattekihid eristusid uue süsteemi korral küll mõnevõrra selgemalt kuid kohtades kus vana süsteemiga kihte ei tuvastatud, ei toonud neid esile ka uus süsteem.

Võimalik, et mõnedes muudes tingimustes omab uus süsteem vanema ees suuremat eelist, kuid antud oludes vaadeldud teelõikudel see ei ilmnenud.

### Mõõtmised 3d-radariga

Mõõtmised 3d-radariga viidi läbi 3D-Radar AS Geoscope Mark IV mitmekanalilise *step-frequency* antennisüsteemiga (200 MHz ... 3 GHz) ning andmed analüüsiti Roadscanners poolt tarkvaraga *Road Doctor 3*. Mõõtmiselt toimusid analoogselt teiste mõõtmistega. Mõõtmised toimusid antenni laiuselt (1,5 m) 21 kanali poolt ning kihtide paksused määrati täispikettidel. Suur osa andmetest osutus loetamatuks ning paljudel juhtudel ei olnud kihid eristatavad. Roadscanners tõi peamise võimaliku teguritena välja keskkonnamüra (mobiili- ja raadiosaatjad ja -mastid) kuid välistada ei saa ka probleeme antennisüsteemiga.

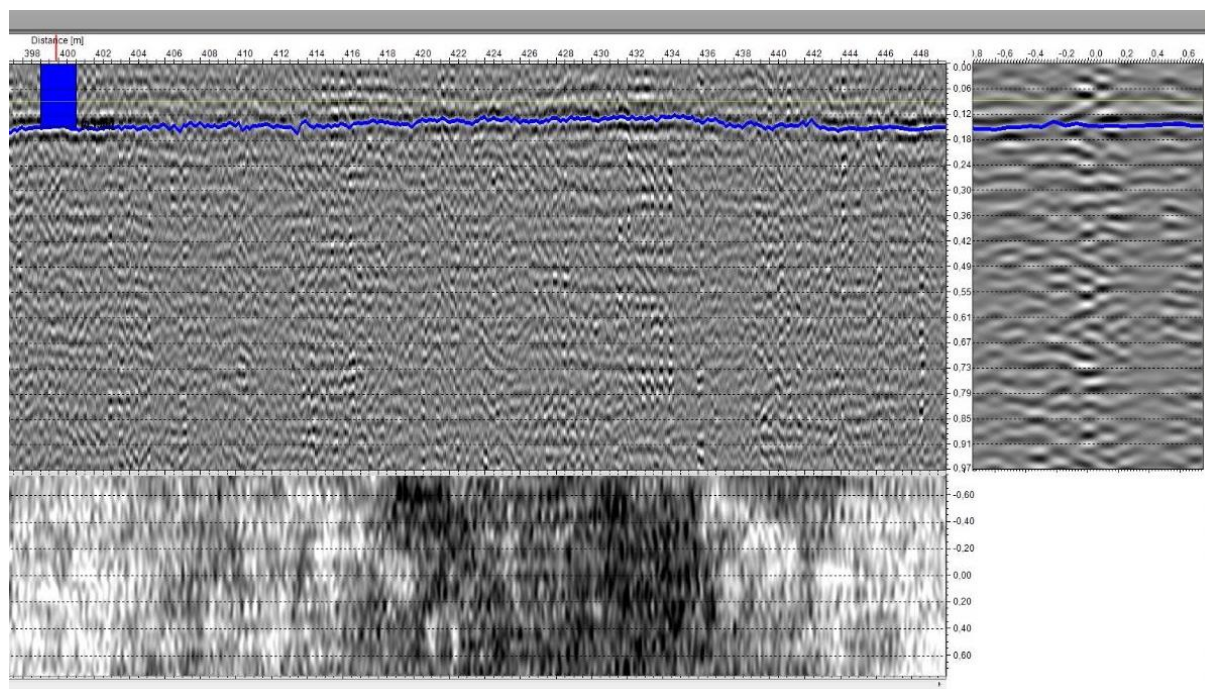


Joonis 19. 3d-Radari antennisüsteem

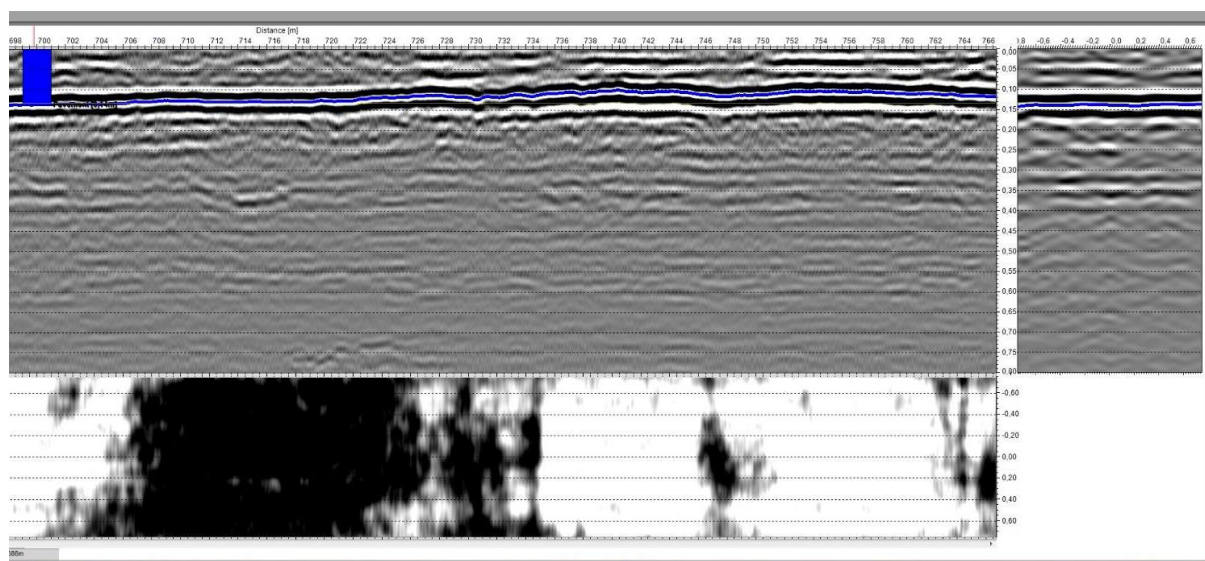
Mõõtmistulemused õnnestus osaliselt interpreteerida põhiteel kolmel sõidurajal neljast kattekihtide kogupaksus ning ühel juhul tardkivimkillustikust aluse paksus, kogujateel K4L ühel sõidurajal kahest kate, bituumenstabiliseeritud aluse ja killustikaluse kiht ning täielikult kõik kolm kihti kergliiklusteel R1.1. Ülejäänud

juhtudel kihte ei tuvastatud. Allolevatel joonistel on toodud fragmendid maaradari profiilidest lõikudel, kus kihte tuvastati. Ülemine vasak aken pildil kujutab tüüpilist maaradari (piki)profiili, ülejäänud profiilid on iseloomulikud 3d-radarile – paremal radari mõõtmislaiusega võrdne ristprofiil (antud juhul koosneb 21 mõõtmisest omavahelise vahekaugusega 75 mm), millised on tehtud täispikettidel ning ortoprofiilist (antud juhul tehtud ristlõige sügavusel 2,424 ns).

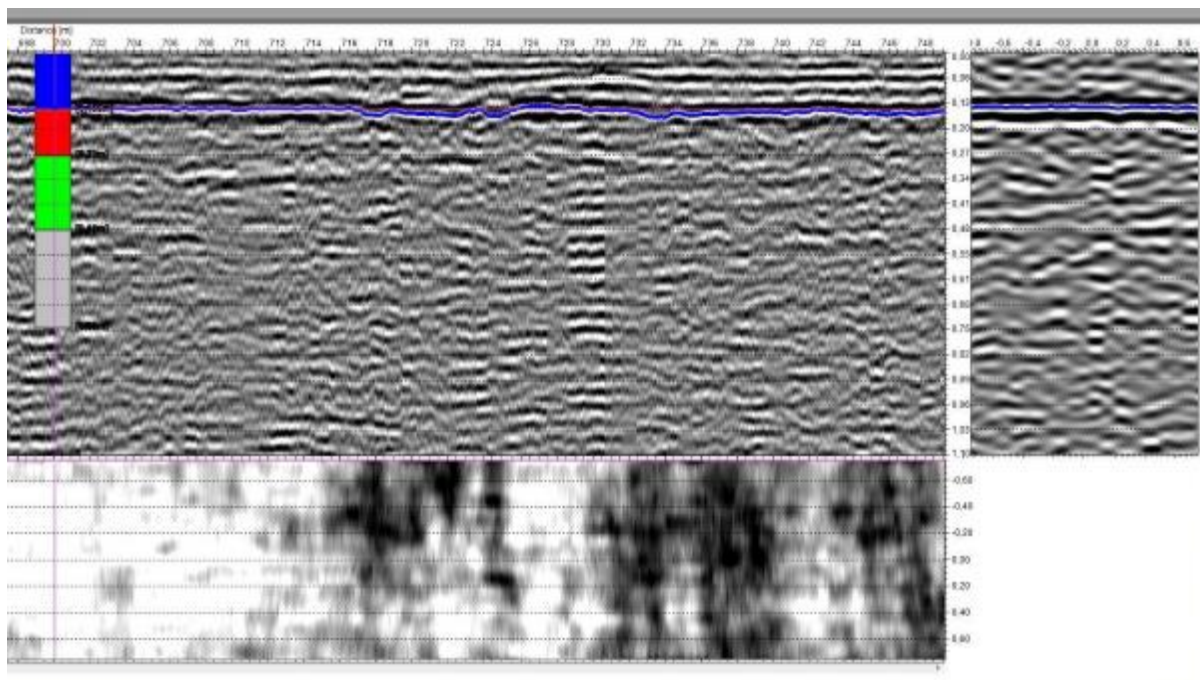




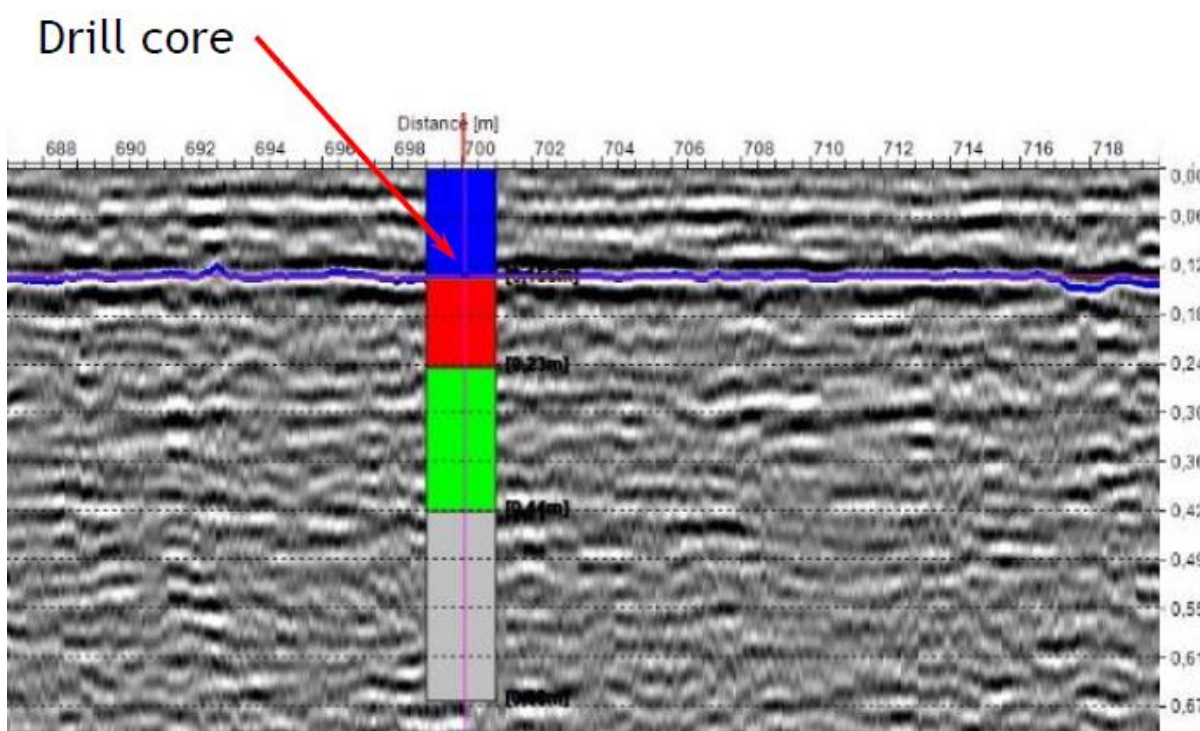
Joonis 20. Fragment mõõtmisest 3d-radariga (põhitee rada 1)



Joonis 21. Fragment mõõtmisest 3d-radariga (põhitee rada 3)

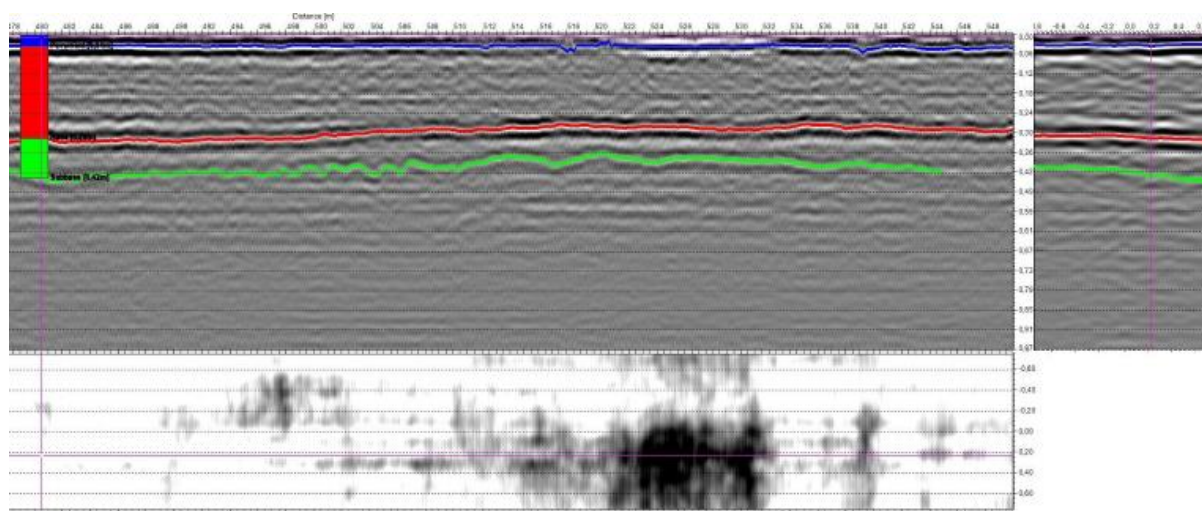


Joonis 22. Fragment mõõtmisest 3d-radariga (põhitee rada 4)

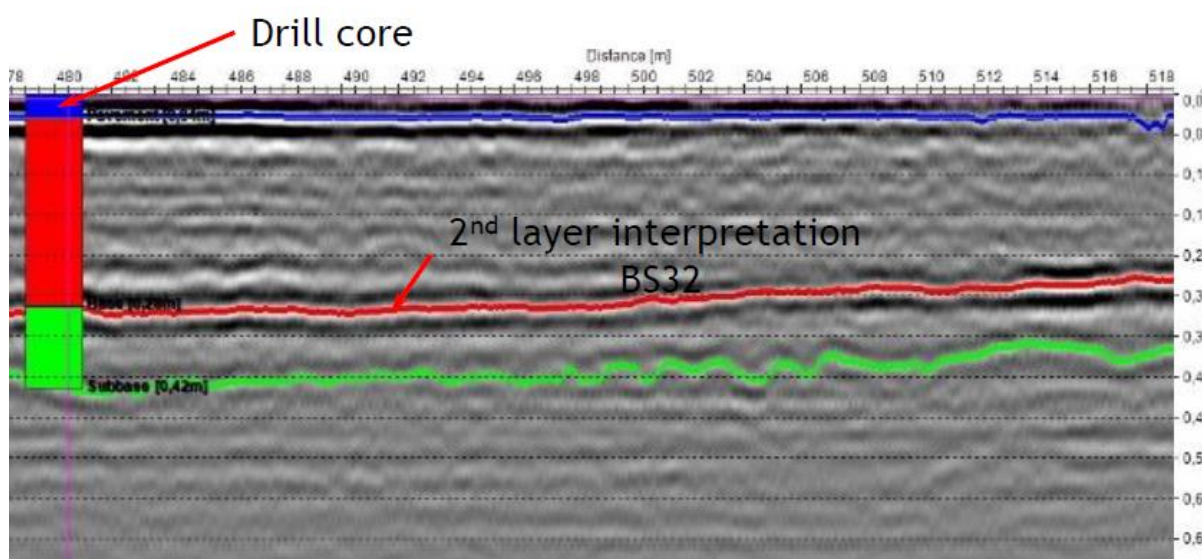




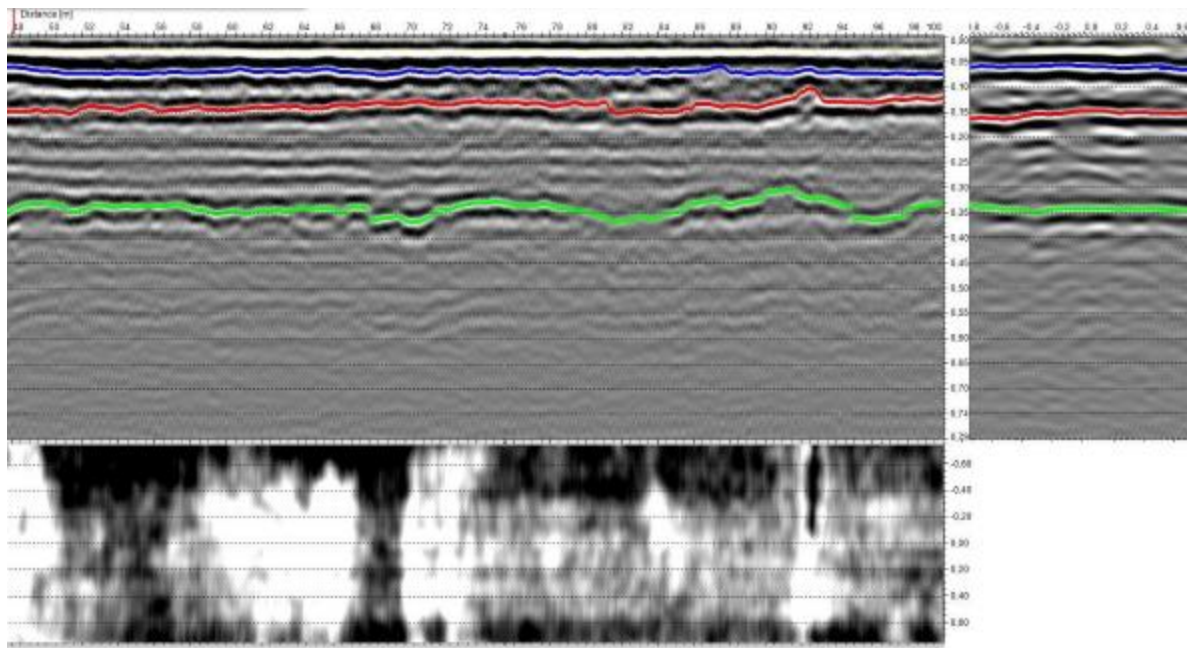
Joonis 23. Maaradariprofiili lähivaade (põhitee rada 4)



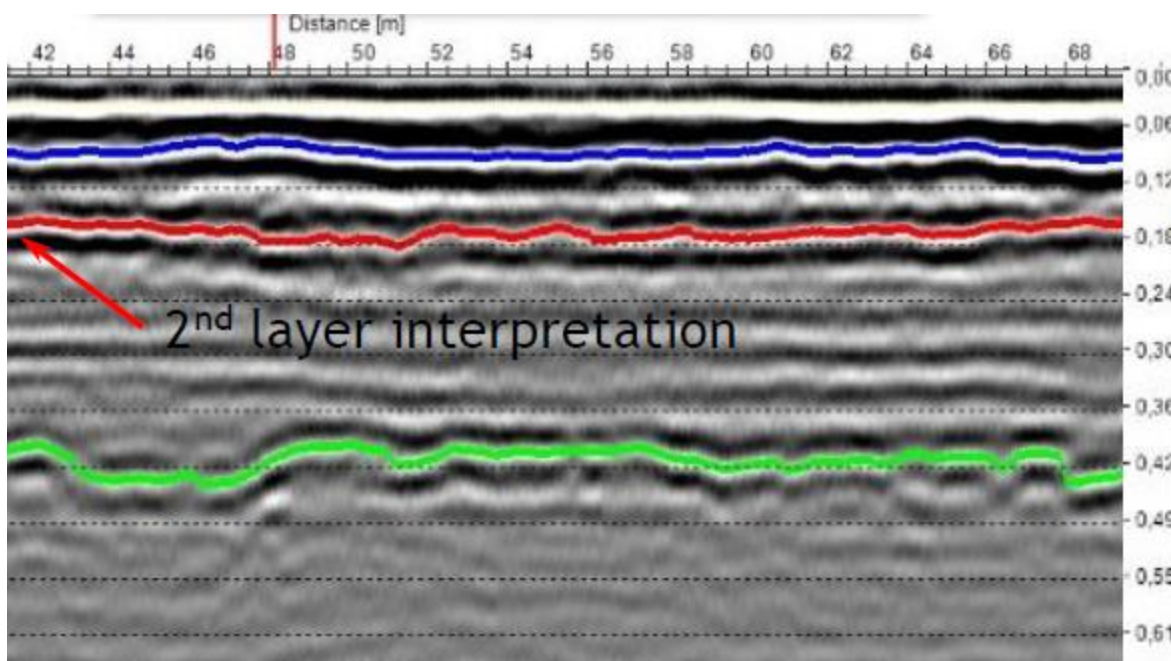
Joonis 24. K4L maaradariprofiili fragment



Joonis 25. K4L maaradariprofiili lähivaade

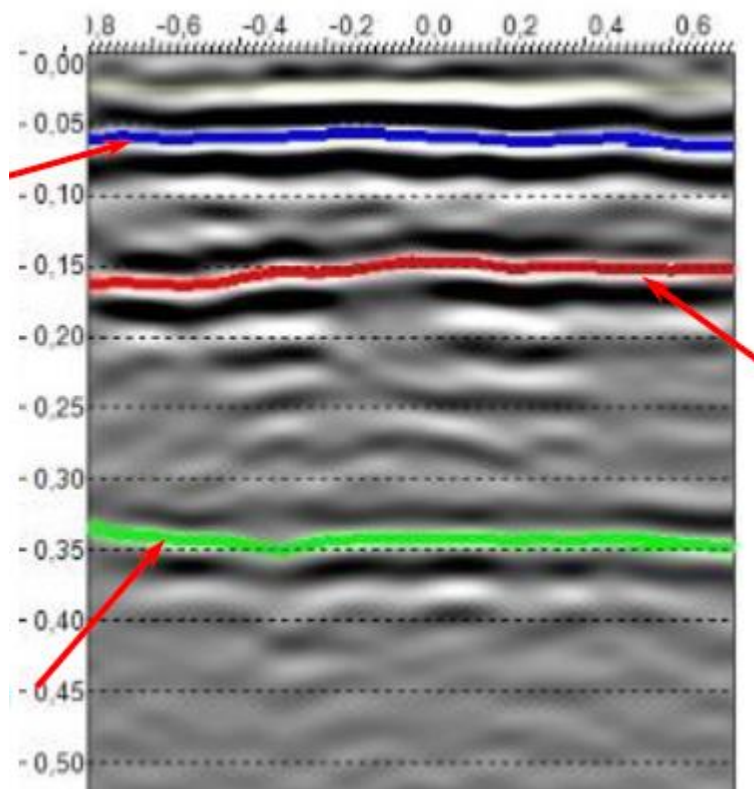


Joonis 26. R1.1 maaradariprofiili fragment



Joonis 27. R1.1 maaradariprofiili lähivaade





Joonis 28. R1.1 maaradariristprofiil



Joonis 29. 3d-radar Geoscope Mark IV

Tabel 22. 3d-radari mõõtmistulemuste (keskmine) võrdlus projektse ja puuraukudega

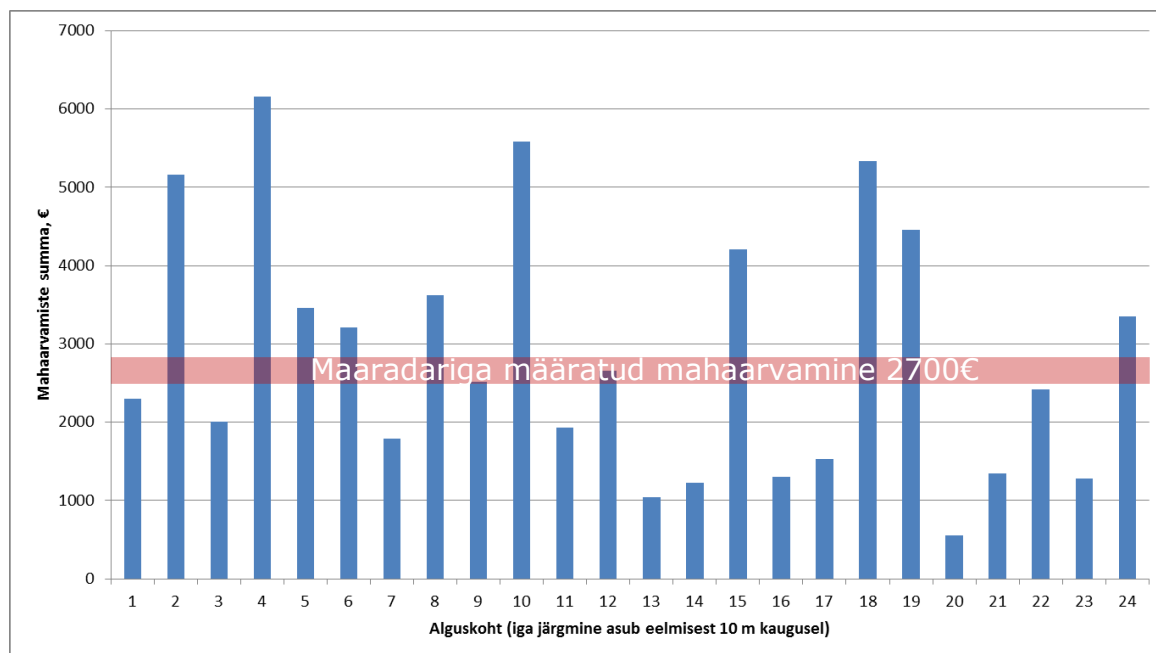
| Kiht                               | Tee, tarindikiht           | Proj. paksus (cm) | Proj paksus, cm | Puuraugus mõõdetud, cm | Rada 1 | Rada 2 | Rada 3 | Rada 4 |
|------------------------------------|----------------------------|-------------------|-----------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Põhitee MAIN_4L</b>             |                            |                   | <b>5010m</b>    |                        | 5010m  | 5010m  | 5010m  | 5010m  |
| 1                                  | SMA 16                     | 4                 |                 | <b>3,4...3,6</b>       |        |        |        |        |
| 2                                  | AC 16 bin                  | 5                 | <b>16</b>       | <b>5,1...6,0</b>       | 13,8   | x      | 14,9   | 14,6   |
| 3                                  | AC 32 base                 | 7                 |                 | <b>5,3...6,5</b>       |        |        |        |        |
| 4                                  | Tardkillustikust alus      | 12                | <b>x</b>        | <b>7,5...10,5</b>      | x      | x      | 10,8   | x      |
| 5                                  | Lubjakivikillustikust alus | 16                | <b>x</b>        | <b>16...21</b>         | x      | x      | x      | x      |
| 6                                  | Kruusliivast drenikiht     | 25                | <b>x</b>        | <b>23...29</b>         | x      | x      | x      | x      |
| 7                                  | Mulle (liiv) 0...60cm      | 30                | <b>x</b>        | <b>45...63</b>         | x      | x      | x      | x      |
| <b>Kogujatee K1L_2L</b>            |                            |                   | <b>2600m</b>    |                        | 2600m  | 2600m  |        |        |
| 1                                  | AC 12 surf                 | 5                 | <b>5</b>        |                        | x      | x      |        |        |
| 2                                  | BS32                       | 12                | <b>12</b>       |                        | x      | x      |        |        |
| 3                                  | Killustikalus              | 18                | <b>18</b>       |                        | x      | x      |        |        |
| 4                                  | Dreenkiht                  | 20                | <b>20</b>       |                        | x      | x      |        |        |
| 5                                  | Mulle (liiv) 20...30cm     | 25                | <b>25</b>       |                        | x      | x      |        |        |
| <b>Kogujatee K4L_2L</b>            |                            |                   | <b>500m</b>     |                        | 500m   | 500m   |        |        |
| 1                                  | AC 12 surf                 | 5                 | <b>5</b>        | <b>4</b>               | 3,9    | X      |        |        |
| 2                                  | BS32                       | 20                | <b>20</b>       | <b>24</b>              | 26     | x      |        |        |
| 3                                  | Killustikalus              | 18                | <b>18</b>       | <b>14</b>              | 11,3   | x      |        |        |
| 4                                  | Dreenkiht                  | 20                | <b>20</b>       | <b>53</b>              | x      | x      |        |        |
| 5                                  | Mulle (liiv)               | 40                | <b>40</b>       | -                      | x      | x      |        |        |
| <b>Kergliiklustee K2R_KLT_1L</b>   |                            |                   | <b>1200m</b>    |                        | 1200m  |        |        |        |
| 1                                  | AC 12 surf                 | 5                 | <b>5</b>        |                        | x      |        |        |        |
| 2                                  | Killustikalus              | 15                | <b>15</b>       |                        | x      |        |        |        |
| 3                                  | Dreenkiht                  | 25                | <b>25</b>       |                        | x      |        |        |        |
| <b>Kergliiklustee K4L_KLT_1L</b>   |                            |                   | <b>270m</b>     |                        | 270m   |        |        |        |
| 1                                  | AC 12 surf                 | 5                 | <b>5</b>        |                        | x      |        |        |        |
| 2                                  | Killustikalus              | 15                | <b>15</b>       |                        | x      |        |        |        |
| 3                                  | Dreenkiht                  | 25                | <b>25</b>       |                        | x      |        |        |        |
| <b>Kergliiklustee R1.1A_KLT_1L</b> |                            |                   | <b>530m</b>     |                        | 530m   |        |        |        |
| 1                                  | AC 12 surf                 | 5                 | <b>5</b>        | <b>3,8</b>             | 7,5    |        |        |        |
| 2                                  | Killustikalus              | 15                | <b>15</b>       | <b>16,2</b>            | 9,7    |        |        |        |
| 3                                  | Dreenkiht                  | 25                | <b>25</b>       | <b>30</b>              | 21,6   |        |        |        |

## Mõõtmised uute katete kvaliteedi kontrollimiseks

Mõõtmised uute, 2014 aastal valminud katete kvaliteedi kontrollimiseks viidi läbi maanteel 8 km 18,8-20,9 ning maanteel 9 km 44,2-49,35. Mõlemal objektil mõõdeti nii katte üla- kui alakiht. Üldiselt on näha, et jäävpoorsuse laboratoorsed ja radarimeetodil saadud tulemused langevad hästi kokku.

Siiski tuleb arvestada, kahe meetodika väga erinevat käsitlust ja sellest tulenevaid erisusi. Maaradariga mõõtes teostatakse 1 m kohta mitu mõõtmist. Üks mõõtmine hõlmab ligikaudu 30 x 30 cm ala. 1 m kohta saadakse seega ligikaudu 0,3 m<sup>2</sup> keskmine väärtus. Seevastu laboratoorse puurkeha läbimõõt on vaid 10 cm ning ühe määranguga kaetakse väga-väga väike osa kattest – täpsemalt 0,008 m<sup>2</sup> ühe puuraugu kohta, mis maaradariga kaetavast alast puurauguga piirneva meetri kohta ca 40 korda väiksem. Mahaarvamise puhul on erinevus sellest tulenev juhuslikkus aga veelgi suurem. Kui maaradariga mõõtmine katab põhisõiduradade vahelise vuugi 100% ja sõiduradade kattest 10 m laiuse tee korral 6% (ca 2 x 0,3 m), siis laboratoorne meetod hõlmab vuugist 0,04% (4 x 10 cm 1000 m kohta) ning sõiduradade kattest 6,4 x 10<sup>-6</sup>% (8 x 0,008 = 0,064 m<sup>2</sup> 10 000 m<sup>2</sup> kohta) ja seetõttu ka väga juhuslik – ca 5000 korda juhuslikum kui radariga mõõtes. See selgitab ka miks maaradari ja labori jäävpoorsuse määramised täielikult kokku ei lange. Seejuures on maaradariga mõõtes mahaarvamiste korratavus väga hea, kuna mõõtmistulemused praktiliselt ei muutu. Seevastu puuraukudel põhineva meetodiga võivad samast rattajäljest erinevate alguskohtade korral olla erinevused väga suured.

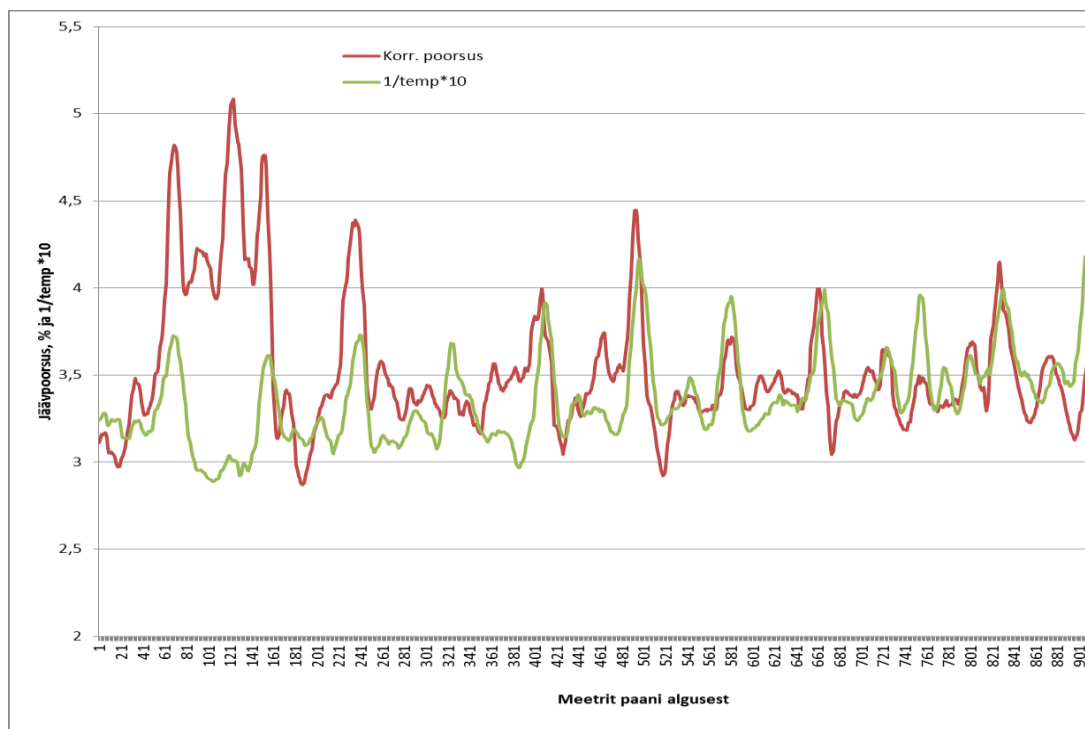
Viimase selgitamiseks tegime katse vabalt valitud objektiga (Eestis), pikkusega 5 km. Simuleerisime selle peal puurkehade puurimist vuugist iga 250m tagant (kokku 20 puurkeha) ja panime saadud mahaarvamiste summa kirja. Seejärel nihutasime puurkehade asukohti 10m edasi, ja nii 24 korda järjest. Min ja max trahvi vahe oli kümnekordne vahemikus 558 € - 6158 €. Maaradariga mõõtes oleks nn. õiglane mahaarvamine 2700 €.



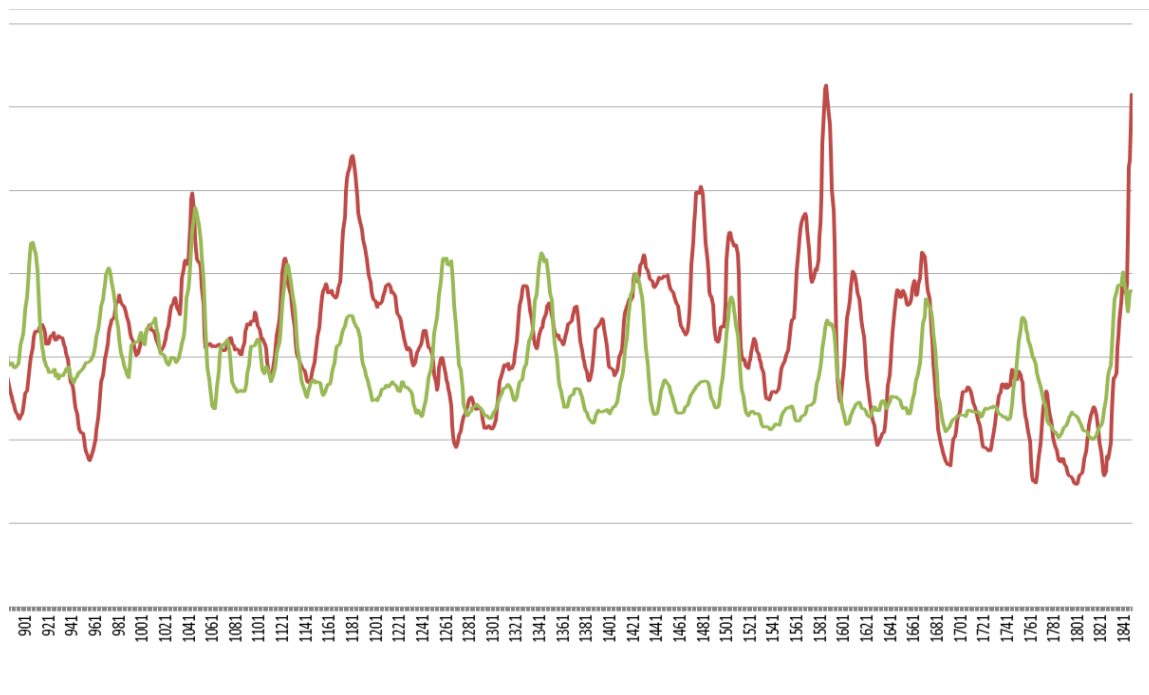
**Joonis 30. Maaradari andmete põhjal modelleeritud „puuraugumeetodi“ mahaarvamiste summade sõltuvus puuraukude alguskohast**

Suvel 2014 teostasime maantee 21 ehitusobjektidel asfaltkatte laotamise temperatuuri mõõtmised Rootsi termoskaneerimise süsteemiga ning mõõtsime sama objekti hiljem maaradariga. Pärast jäävpoorsuse andmete lineaarset silumist saame esitada seose jäävpoorsuse ja katte temperatuuri pöördväärtuse vahel graafiliselt. Allolevatel graafikutel on näha, et ca 80% juhtudest toob temperatuuri pöördväärtuse tõus (st. temperatuuri langus) kaasa jäävpoorsuse kasvu ning samuti ca 80% jäävpoorsuse kõrgematest väärtustest on seostatav temperatuuri langusega. Siit võib järeldada, et kuigi jäävpoorsuse muutumist mõjutavad väga paljud tegurid, on katte väga suur osa selles katte paigaldustemperatuuril.





**Joonis 31. Seos jääpoorsuse ja temperatuuri pöördväärtuse vahel (0...900 m)**

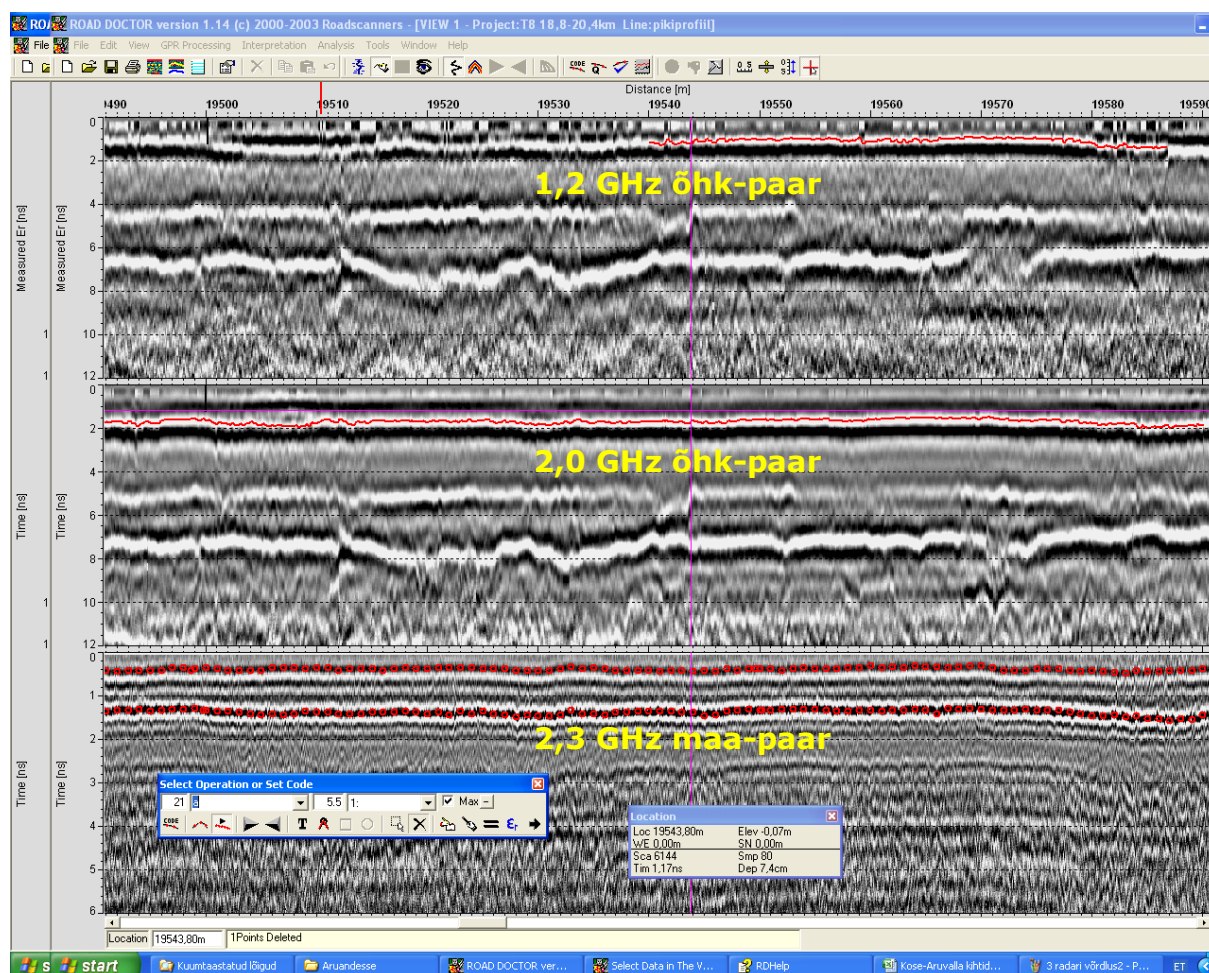


**Joonis 32. Seos jääpoorsuse ja temperatuuri pöördväärtuse vahel (900...1841 m)**

Maanteel 8 ja 9 mõõtsime parempoolset rattajälge. Labori puurimised tehti standardse proovivõtumetoodikaga mõlemast rattajäljest ning puurkehade põhisel mahaarvamiste arvutustel võeti aluseks kahe rattajälje keskmine.

## Maantee 8

Maantee 8 remondilõigul viisime lisaks GSSI SIR-10H 1,0 GHz mõõtmistele läbi mõõtmised ka Mala ProEx maaradariga koos kõrgsagedusliku 2,3 GHz maapaar-antenniga. Mõõtmised teostati parempoolses rattajäljes. AC32base vuugi puhul on labori protokollis märgitud ühel juhul, et puurkeha purunes kuivatamisel. On võimalik, et seda põhjustas ebapiisav tihendamine.



Joonis 33. Kihipaksuste määramine erinevatel maaradari profiilidel

Ülaloleval pildil on tehtud kolm radarimõõtmist, mis iseloomustavad erinevate radarmõõtmiste võimalusi. Ülemine profiil on mõõdetud AC 32 base pealt 1,0 GHz antenniga - kiht on osaliselt tuvastatav.

Keskmine profiil on mõõdetud sama antenniga AC 12 surf pealt (all AC 32 base) – kattekiht koos on tuvastatav kuid kihid eraldi ei ole eristatavad. Alumine profiil on mõõdetud kõrgsagedusliku 2,3 GHz antenniga kus katendikihtide kogupaksus ja ka omavaheline piir on tuvastatav.

### Katte alakihi mõõtmised

**Tabel 23. Mahaarvamsed katte ülakihi poorsusest ja tihendusteguritest**

|              | labor, eur | radar, eur |
|--------------|------------|------------|
| <b>Rajad</b> | 663        | 942        |
| <b>vuuk</b>  | 0          | 187        |

**Tabel 24. AC 32 base jäävpoorsused ja tihendustegurid**

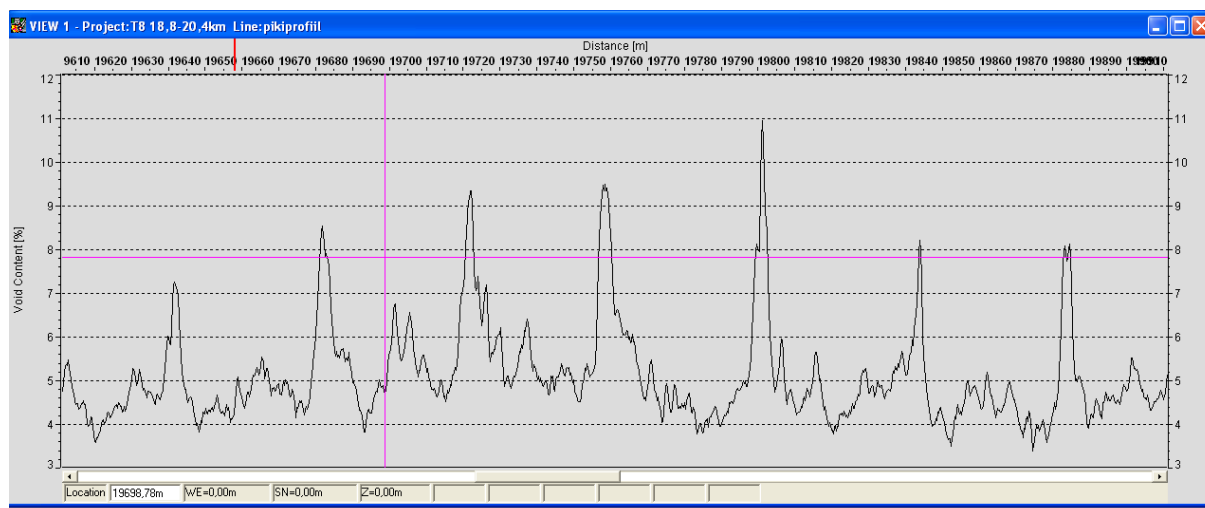
#### AC32base RADAR

|                 |          | RADA 1 | RADA 2 | KOKKU | VUUK |
|-----------------|----------|--------|--------|-------|------|
| Jäävpoorsuste % | min      | 2,2    | 1,8    | 1,8   | 4,7  |
|                 | keskmine | 4,6    | 5,7    | 5,2   | 11,4 |
|                 | max      | 10,5   | 11,2   | 11,2  | 23,4 |
| Tihendustegur   | min      |        |        |       | 0,81 |
|                 | keskmine |        |        |       | 0,94 |
|                 | max      |        |        |       | 1,01 |

#### AC32base LABOR

|                 |          |     |     |     |      |
|-----------------|----------|-----|-----|-----|------|
| Jäävpoorsuste % | min      | 3,9 | 3,7 | 3,7 | 10,0 |
|                 | keskmine | 5,4 | 5,0 | 5,2 | 10,9 |
|                 | max      | 7,5 | 7,1 | 7,5 | 12,2 |
| Tihendustegur   | min      |     |     |     | 0,93 |
|                 | keskmine |     |     |     | 0,94 |
|                 | max      |     |     |     | 0,95 |

Alloleval pildil on hästi näha koormavahetusest tulenevate külmade kohtade mõju katte alakihi jäävpoorsustele. Need kohad on u 40 m sammuga. Valdavalt on graafikul kujutatud teelõik jäävpoorsuse alumise piiri läheda ja kohati ka allpool, mis võib viidata puudustele segu deformatsioonikindluses või ületihendamisele. Kuigi koormavahetuskohtades „tõusevad“ jäävpoorsused nõ. lubatud piiridesse, on selline ebaühtlus probleemiks, kuna suhteliselt poorsemad kohad võivad osutada altimaks järeltihenemisele.



Joonis 34. Jäävpoorsuste graafik Road Doctor programmi aknas

## Katte ülakihi mõõtmised

Tabel 25. Mahaarvamised katte ülakihi poorsusest ja tihendusteguritest

|              | labor, eur | radar, eur |
|--------------|------------|------------|
| <b>Rajad</b> | 0          | 197        |
| <b>vuuk</b>  | 66         | 161        |

**Tabel 26. AC 12 surf jäävpoorsused ja tihendustegurid**

## AC12surf RADAR

|                 |          | RADA 1 | RADA 2 | KOKKU | VUUK |
|-----------------|----------|--------|--------|-------|------|
| Jäävpoorsuste % | min      | 2,1    | 3,2    | 2,1   | 4,9  |
|                 | keskmine | 3,9    | 5,2    | 4,6   | 8,7  |
|                 | max      | 5,2    | 7,1    | 7,1   | 13,1 |
| Tihendustegur   | min      |        |        |       | 0,89 |
|                 | keskmine |        |        |       | 0,93 |
|                 | max      |        |        |       | 0,97 |

## AC12surf LABOR

|                 |          |     |     |     |      |
|-----------------|----------|-----|-----|-----|------|
| Jäävpoorsuste % | min      | 2,8 | 2,5 | 2,5 | 6,2  |
|                 | keskmine | 4,0 | 3,8 | 3,9 | 8,3  |
|                 | max      | 5,0 | 4,7 | 5,0 | 10,0 |
| Tihendustegur   | min      |     |     |     | 0,92 |
|                 | keskmine |     |     |     | 0,94 |
|                 | max      |     |     |     | 0,96 |

**Maantee 9****Katte alakihi mõõtmised**

Katte alakihis on kasutatud AC 20 base segu, mille jäävpoorsuse piirväärtused jäävad Asfaldist katendikihtide ehitamise juhendi järgi vahemikku 5...12%.

Alloleval graafikul on näha laboratoorsete proovikehade jäävpoorsuse näitajad ning samades kohtades maaradari profiililt loetud 1 m keskmised jäävpoorsuse näitajad. Visuaalselt on näha, et kaks graafikut on omavahel sünkroonis kuid 1:1 kokkulangevus ei ole eelkirjeldatud põhjustel tõenäoline. AC 20 base puhul oli labori protokollis märgitud neljal juhul, et puurkeha purunes kuivatamisel.

Arvatavasti põhjustas selle puurkeha liigne poorsus. AC 20 base puhul radari suuremate mahaarvamiste põhjuseks üksikud poorsed kohad. Näiteks radari mõõdetud max poorsus 19,3% annab meetri peale 43 € trahvi.

**Tabel 27. AC 20 base mahaarvamiste võrdlus**

|              | Labor | radar  |
|--------------|-------|--------|
| <b>Rajad</b> | 0 €   | 4262 € |
| <b>vuuk</b>  | 45 €  | 1432 € |

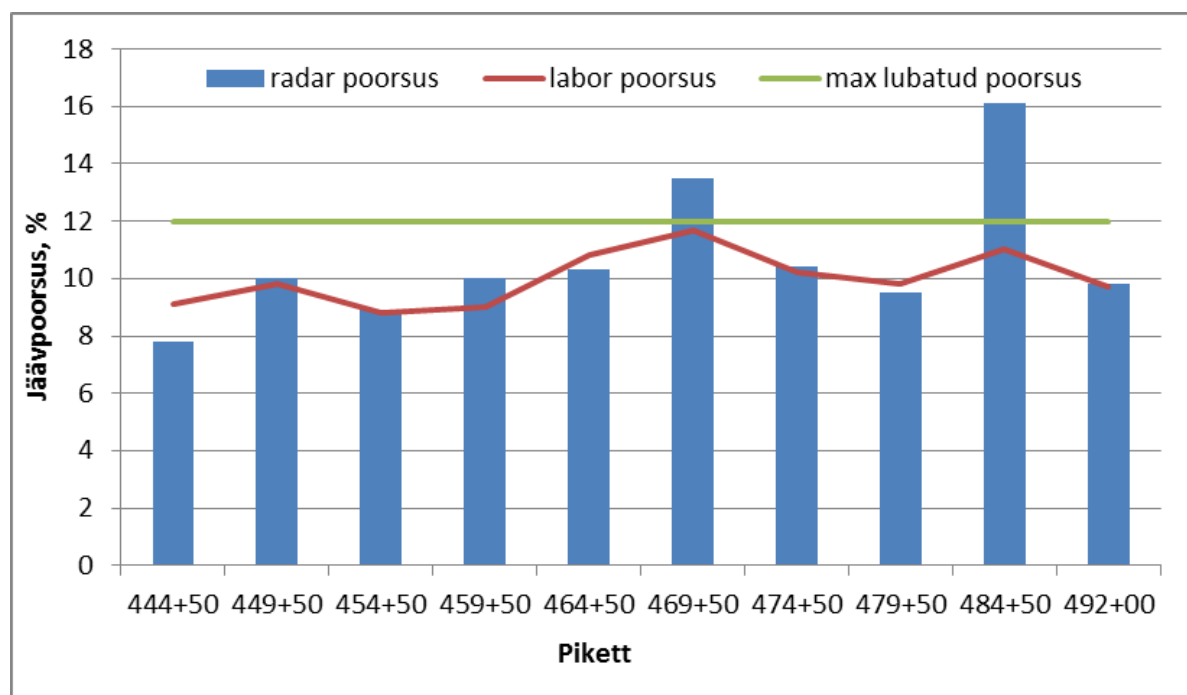
**Tabel 28. AC 20 base jäävpoorsused ja tihendustegurid**

AC20base RADAR

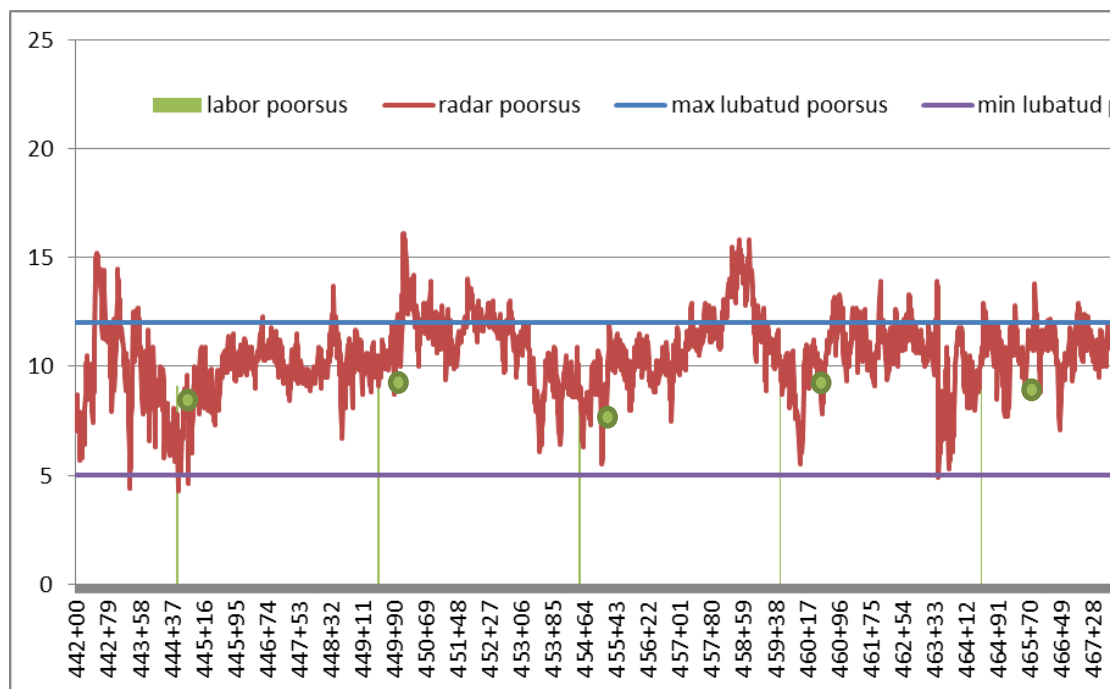
|                 |          | RADA 1 | RADA 2 | KOKKU | VUUK |
|-----------------|----------|--------|--------|-------|------|
| Jäävpoorsuste % | min      | 4,3    | 3,0    | 3,0   | 5,4  |
|                 | keskmine | 10,8   | 8,6    | 9,7   | 12,6 |
|                 | max      | 19,3   | 14,6   | 19,3  | 20,6 |
| Tihendustegur   | min      |        |        |       | 0,85 |
|                 | keskmine |        |        |       | 0,93 |
|                 | max      |        |        |       | 1,01 |

AC20base LABOR

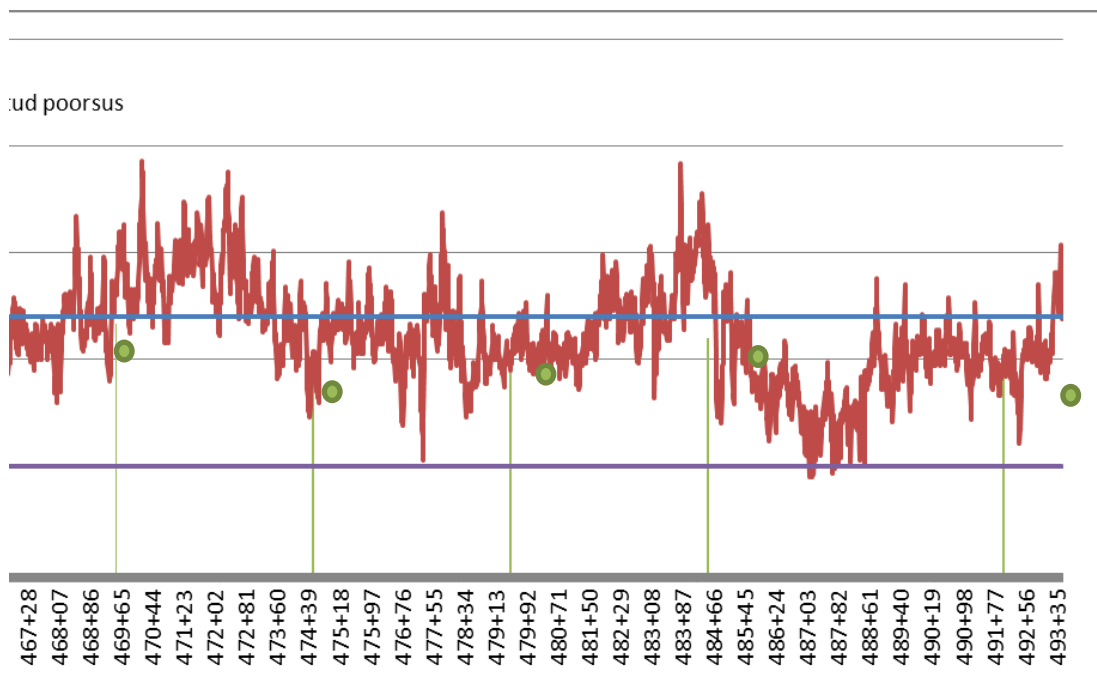
|                 |          |      |      |      |      |
|-----------------|----------|------|------|------|------|
| Jäävpoorsuste % | min      | 7,8  | 7,8  | 7,8  | 7,4  |
|                 | keskmine | 9,8  | 9,2  | 9,5  | 12,4 |
|                 | max      | 11,7 | 11,1 | 11,7 | 14,8 |
| Tihendustegur   | min      |      |      |      | 0,91 |
|                 | keskmine |      |      |      | 0,93 |
|                 | max      |      |      |      | 0,99 |



**Joonis 35. Kattekihi poorsus radariga vs laboris mittevõetud asukohaga proovikehadel**



Joonis 36. Katte alakihi jäävpoorsuste profiil (lõigu algus)



Joonis 37. Katte alakihi jäävpoorsuste profiil (lõigu lõpp)



**Katte ülakihi mõõtmised****Tabel 29. AC 12 surf jäävpoorsused ja tihendustegurid**

## AC12surf RADAR

|                 |          | RADA 1 | RADA 2 | KOKKU | VUUK |
|-----------------|----------|--------|--------|-------|------|
| Jäävpoorsuste % | min      | 3,2    | 2,8    | 2,8   | 4,9  |
|                 | keskmine | 4,4    | 4,5    | 4,4   | 7,5  |
|                 | max      | 5,4    | 5,9    | 5,9   | 11,3 |
| Tihendustegur   | min      |        |        |       | 0,90 |
|                 | keskmine |        |        |       | 0,94 |
|                 | max      |        |        |       | 0,97 |

## AC12surf LABOR

|                 |          |     |     |     |      |
|-----------------|----------|-----|-----|-----|------|
| Jäävpoorsuste % | min      | 2,9 | 3,0 | 2,9 | 4,5  |
|                 | keskmine | 4,3 | 4,5 | 4,4 | 7,9  |
|                 | max      | 5,7 | 5,9 | 5,9 | 10,7 |
| Tihendustegur   | min      |     |     |     | 0,91 |
|                 | keskmine |     |     |     | 0,94 |
|                 | max      |     |     |     | 0,97 |

**Tabel 30. AC 12 surf mahaarvamiste võrdlus**

|              | labor  | radar |
|--------------|--------|-------|
| <b>Rajad</b> | 928 €  | 11 €  |
| <b>vuuk</b>  | 2205 € | 581 € |

Kokkuvõtvalt võib öelda, et mahaarvamiste summad laboratoorsete ja maaradariga määratud jäävpoorsuste võivad erineda väga suurel määral. Seda põhjusel, et laboratoorse meetodi puurakude arv on väga väike ning hõlmab kaduvväikese ala võrreldes maaradari võimalustega. Samas ei ole mõeldav ka 10-20x enamate puuraukude tegemine uude kattesesse, mis meetodi juhuslikkust arvestataval määral vähendaks.

**Erinevate maaradarisüsteemide koondvõrdlus**

Allolevas tabelis on teostatud maaradarimäärangute põhjal toodud koondvõrdlus, millises ulatuses uuritud lõikudel kihtide paksusi õnnestus määrata.

**Tabel 31. Õhk- ja maapaar-antennide võrdlus kihtide tuvastamisel**

| Tee, kiht                          |                            | Proj paksus (cm) | 1GHz<br>max80cm<br>määratud % | 2GHz<br>max60cm<br>määratud % | 400MHz<br>max300cm<br>määratud % |
|------------------------------------|----------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| <b>Põhitee MAIN_4L</b>             |                            |                  |                               |                               |                                  |
| 1                                  | SMA 16                     | 4                | 0                             |                               |                                  |
| 2                                  | AC 16 bin                  | 5                | 0                             |                               |                                  |
| 3                                  | AC 32 base                 | 7                | 77                            |                               |                                  |
| 4                                  | Tardkillustikust alus      | 12               | 60                            |                               |                                  |
| 5                                  | Lubjakivikillustikust alus | 16               | 75                            |                               |                                  |
| 6                                  | Kruusliivast drenkiht      | 25               | 42                            |                               |                                  |
| 7                                  | Mulle (liiv) 0...60cm      | 30               |                               |                               |                                  |
| <b>Kogujatee K1L_2L</b>            |                            |                  |                               |                               |                                  |
| 1                                  | AC 12 surf                 | 5                | 0                             | 0                             |                                  |
| 2                                  | BS32                       | 12               | 38                            | 55                            |                                  |
| 3                                  | Killustikalus              | 18               | 59                            | 58                            |                                  |
| 4                                  | Dreenkiht                  | 20               | 65                            |                               | 57                               |
| 5                                  | Mulle (liiv) 20...30cm     | 25               |                               |                               |                                  |
| <b>Kogujatee K4L_2L</b>            |                            |                  |                               |                               |                                  |
| 1                                  | AC 12 surf                 | 5                | 0                             | 0                             |                                  |
| 2                                  | BS32                       | 20               | 92,5                          | 93,5                          |                                  |
| 3                                  | Killustikalus              | 18               | 77                            | 80,5                          |                                  |
| 4                                  | Dreenkiht                  | 20               | 43                            |                               |                                  |
| 5                                  | Mulle (liiv)               | 40               |                               |                               | 35                               |
| <b>Kergliiklustee K2R_KLT_1L</b>   |                            |                  |                               |                               |                                  |
| 1                                  | AC 12 surf                 | 5                | 0                             | 0                             |                                  |
| 2                                  | Killustikalus              | 15               | 72                            | 62                            |                                  |
| 3                                  | Dreenkiht                  | 25               | 67                            | 72                            |                                  |
| <b>Kergliiklustee K4L_KLT_1L</b>   |                            |                  |                               |                               |                                  |
| 1                                  | AC 12 surf                 | 5                | 0                             | 0                             |                                  |
| 2                                  | Killustikalus              | 15               | 61                            | 75                            |                                  |
| 3                                  | Dreenkiht                  | 25               | 57                            | 83                            |                                  |
| <b>Kergliiklustee R1.1A_KLT_1L</b> |                            |                  |                               |                               |                                  |
| 1                                  | AC 12 surf                 | 5                | 0                             | 0                             |                                  |
| 2                                  | Killustikalus              | 15               | 86                            | 76                            |                                  |
| 3                                  | Dreenkiht                  | 25               | 80                            | 77                            |                                  |
| <b>T8</b>                          |                            |                  | <b>1GHz AC32</b>              | <b>1GHz 2kihti</b>            | <b>MALA</b>                      |
|                                    | AC12surf                   |                  | -                             | 0                             | 74,5                             |
|                                    | AC32base                   |                  | 49                            | 72                            | 98,5                             |
| <b>T9</b>                          |                            |                  |                               |                               |                                  |
|                                    | AC12surf                   |                  | -                             | 0                             | -                                |
|                                    | AC20base                   |                  | 29                            | 73,5                          | -                                |

Tabelist on näha, et kattekihtide kogupaksus õnnestus eraldada kõigil kahe-või enamakihilistel katetel. Samas praktiliselt mitte ühelgi juhul ei õnnestunud õhkpaarantenniga eristada kattekihtide vahelisi piire. Seda õnnestus teha vaid kõrgsagedusliku maapaar-antenniga Mala Pro Ex + 2,3 GHz maanteel 8, kus kihtide eristamine õnnestus ca 74,5%’liselt ning katte kogupaksus õnnestus tuvastada pea täies ulatuses (98%). 1- ja 2-GHz antennid näitasid võrdluses sarnaseid tulemusi kuid 1-GHz antenni kihtide läbistavusvõime on parem ja erinevalt 2-GHz antennist võimaldas määrata drenekihtide paksused ka põhi- ja kogujateedel.

### **Tarindikihtide analüüs tagasiarvutusega**

Teetarindi kandevõime võib defineerida kui tarindile rakendatava jõu ja selle tulemusena tekkiva läbipainde ehk vajumi suhet, mida nimetatakse tee üldiseks elastsusmooduliks. Kuna tee on kihiline, saab sellise vajumi kirjeldada kihtide elastsusmoodulite kaudu. Teades iga kihi elastsusmooduleid, saame arvutada üldise elastsusmooduli. Tänu FWD mõõtmistele on võimalik vajumikausi põhjal kaudselt hinnata iga kihi ligikaudset vajumit ning arvutada iga tingsügavusega kihi ligikaudse elastsusmooduli. Maaradariga mõõtmiste tulemusena saame aga määrata kihtide paksused juba täpselt, mis omakorda võimaldab hinnata juba reaalsete kihtide elastsusmooduleid teektarindis. Selline teave omakorda on oluline tarindikihtide ehituse kvaliteedi kaudseks hindamiseks ja annab väärtuslikku tagasisidet tarindikihtide projekteerimisel kasutatavatele väärtustele.

Käesolevas töös on analüüsitud maantee 2 Aruvalla kose km 34-38 sõidutee 1 parempoolse sõiduraja tarindikihtide elastsusmooduleid. Võrdlus TTÜ 2010.a. teadustöös „Teekatendi üksikute kihtide elastsusmoodulite mõõtmine ja nende alusel kandevõime parameetrite välja töötamine“ leitud väärtustega viidi läbi Dynatest poolt arendatud programmiga „Elmod 5“. Elmod tarkvara võimaldab FWD mõõtmistulemuste alusel hinnata erinevate konstruktsioonikihtide elastsusmooduleid kasutades selleks tagasiarvutuse meetodikat. Elastsusmoodulite leidmiseks kasutatakse Odemarki-Boussinesqi võrrandeid.

Teekatendi kihtide hindamisel lähtutakse põhimõttest, et sarnaste omadustega katendikihte käsitletakse ühe kihina. Elastse katendiga teetarindit käsitletakse Elmod'is üldjuhul 3-kihilise konstruktsioonina, kus asfaldikihid on ühes kattekihis, aluskiht teises kihis ning aluspinnas kolmas kiht. Aluspinnase võib jagada ka eraldi kaheks kihiks, kusjuures pealmise kihi paksus valitakse 500-1000 mm paksune.

Arvutused teostati vaid nendes FWD mõõtepunktides, kus maaradari andmete alusel oli võimalik määrata kõigi sarnaste katendikihtide paksused. Vaatluse all oli mnt nr 2 Aruvalla-Kose lõik PK 348+00 - PK 384+00 suund 1 välimine sõidurada. Asfaldikihi elastsusmoodulite arvutamisel on kasutatud temperatuuriparandustegurit KT, millega on taandatud asfaldikihi elastsusmoodulid 10°C baastemperatuurile (mõõtmiste ajage asfaldikihi temperatuur oli 6-7°C). Arvutuste tulemused on toodud allolevas tabelis.

**Tabel 32. Kihtide E-moodulid arvutatud programmiga Elmod 5**

| Pikett           | Kihi E-moodul, Mpa |                |            |            |
|------------------|--------------------|----------------|------------|------------|
|                  | Asfaldikiht        | Killustikukiht | Liivakiht  | Aluspinnas |
| <b>348+00</b>    | 8345               | 728            | 400        | 117        |
| <b>349+00</b>    | 7869               | 1067           | 610        | 124        |
| <b>351+00</b>    | 10415              | 414            | 238        | 115        |
| <b>352+00</b>    | 9314               | 423            | 249        | 142        |
| <b>362+00</b>    | 11295              | 400            | 235        | 190        |
| <b>368+00</b>    | 6967               | 392            | 228        | 97         |
| <b>369+00</b>    | 7268               | 493            | 290        | 118        |
| <b>370+00</b>    | 9093               | 478            | 281        | 144        |
| <b>384+00</b>    | 6407               | 346            | 191        | 69         |
| <b>Keskmine:</b> | <b>8553</b>        | <b>527</b>     | <b>302</b> | <b>124</b> |

TTÜ 2010. a teadustöös „Teekatendi üksikute kihtide elastsusmoodulite mõõtmine ja nende alusel kandevõime parameetrite välja töötamine” leitud erinevate konstruktsioonikihtide elastsusmoodulid on võrreldavad Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52. Samas Elmod tarkvaraga saadud elastsusmoodulite väärtused seda ei ole, kuna kihtide moodulite arvutusmetoodika on erinev võrreldes teadustöös kasutatuga.

**Tabel 33. Kihtide E-moodulid arvutatud programmiga Elmod 5**

|                               | Kihi E-moodul, MPa |                |           |            |
|-------------------------------|--------------------|----------------|-----------|------------|
|                               | Asfaldikiht        | Killustikukiht | Liivakiht | Aluspinnas |
| <b>Arvutustes kasutatav</b>   | 1400-3200          | 250-400        | 100-130   | 65         |
| <b>TTÜ teadustöös leitud</b>  | 1407-44909         | 261            | 123       | -          |
| <b>Elmod arvutuste põhjal</b> | 8553               | 527            | 302       | 124        |

## 4. VASTUVÕTUSÜSTEEMI VÄLJATÖÖTAMINE

### Skandinaavias kasutatava radartehnoloogia võimekusest

Skandinaavias radartehnoloogiat teedeobjektide vastuvõtul kvaliteedi hindamisel rutiinselt ei kasutata. Kõige lähemale Skandinaavia riikidest on jõudnud kasutamisele Rootsi ja Norra, kes teadolevalt kaaluvad Maaradari kasutuselevõttu. Ainsana Euroopas kasutatakse maaradarit teede vastuvõtul rutiinselt Soomes, jäävpoorsuse määramisel. Kattekihtide paksust hinnatakse Soomes vaid kaudselt, segu mahtude alusel. Seetõttu võib öelda, et Skandinaavias maaradariga teede mõõtmise võimekus hetkel sisuliselt puudub, nina puudub nõudlus. Seetõttu pole ka võimalik hinnata kui kiiresti oldaks võimelised vastavat võimekust looma. Tõenäoliselt ei oleks Eesti mahud siiski uue teenuse käivitamiseks piisavalt atraktiivsed. Seda enam, et vastav võimekus on olemas Soomes. Soomes toimub uute katete jäävpoorsuste mõõtmine rutiinselt maaradariga ning sobivaid seadmeid on Soomes üle viie ning osa neist töötavad pidevalt Soome lõunaosas. Järelikult on olemas ka reaalne mõõtmisevõimekus Eestis.

Mõned aastad tagasi viidi Soome, Rootsi ja Norra ühisrahastusel läbi suuremahuline projekt Mara-Nord. Selle raames uuriti põhjalikult nii seni kasutuselolevaid kui uusi maaradartehnoloogiaid (eelkõige 3d-radar). Tuleb arvestada, et Soomes tehakse hetkel mõõtmisi 2008 uuendatu PANK-metoodika kohaselt, milles ei ole veel arvestatud projekti Mara-Nord soovitustega. Käesolevas töös kirjeldatud maaradari metoodika baseerub küll suuresti PANK-metoodikal kuid seda on olulisel määral täiendatud, võttes arves nii Mara-Nord uuringu tulemusi kui Eestis teostatud mõõtmiste enam kui 10 aastast kogemust, sh. käesolevas uuringus teostatut.

Meie hinnangul on kujuneb Soome mõõtjate poolt tehtava töö maksumus keskmiselt 30-50% kallimaks kui sama töö Eesti mõõtja poolt teostatuna. Hinnad võiksid võrdsustuda vaid väga suurt mahtude korral – objekti pikkus peaks aga olema selleks juba ca 50-100 km.

## **Maaradaril põhinev tööde vastuvõtu süsteem**

Tulenevalt maaradariga teostatavate mõõtmiste ja saadava analüüsi pidevusest, on otstarbekas teostada võimalikult paljudel objektidel katte ülakihis vastuvõtmine maaradariga.

Maaradariga on otstarbekas mõõta põhisõidurajad kõigil üle 1 km pikkustel teelõikudel kus katte ülakihi on ühtlase paksusega kihina paigaldatav vähemalt 30 mm paksune bituumensegust kiht (uus kattekiht või kuumtaastamine).

Tulenevalt maaradartechnoloogia iseärasustest, ei ole võimalik saada usaldusväärset tulemust kui katte temperatuur langeb alla +1C või kui kate ei ole täiesti kuiv. On soovitatav, et katte ülakihi paigaldamine saaks lõpetatud hiljemalt oktoobri alguseks. On arusaadav, et alati ei ole võimalik sellist soovitusi täita. Hinnanguliselt võib öelda, et oktoobri alguseks valmivad katted on võimalik mõõta üldjuhul 100%-lähedase tõenäosusega ning pärast novembri lõpuks valmivate katete mõõtmise võimalikkus on nullilähedane. Kuna aastad on erinevad, ei ole võimalik ka täiesti ühest vastust selles osas anda.

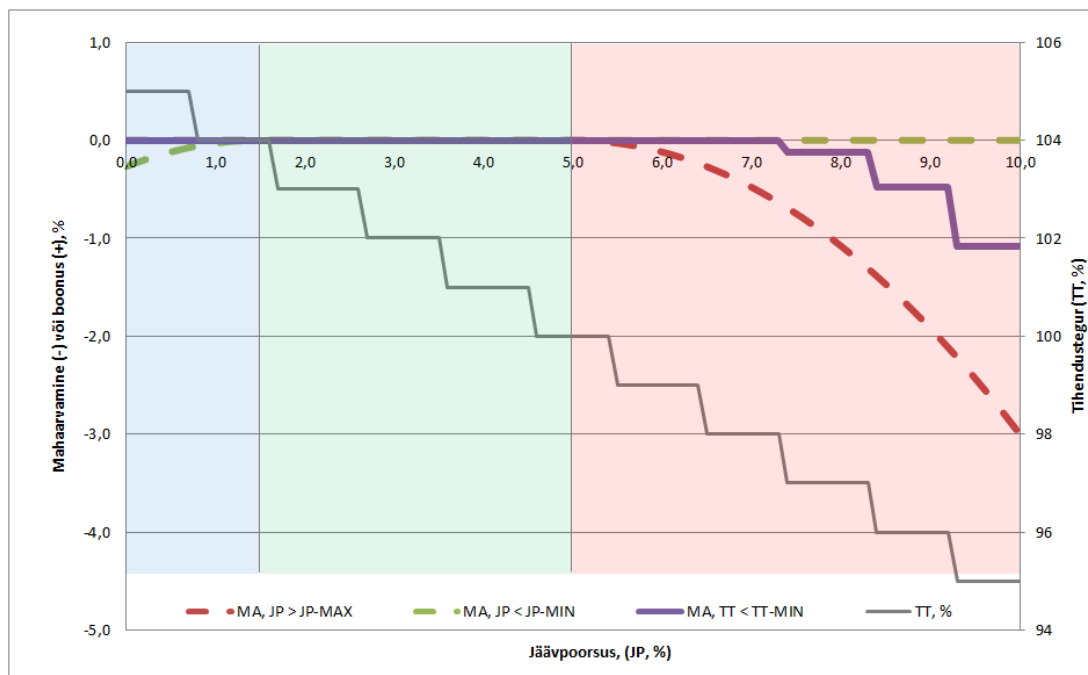
Juhtudel, kus maaradariga mõõtmisi ei ole võimalik teha sügisel, on siiski oluline saada objektiivne ülevaade just nende - oktoobris-novembris valminud katete kvaliteedist. Seetõttu on otstarbekas teostada katete jäävpoorsuse mõõtmised maaradariga igal juhul, tehes need esimesel võimalusel märtsis-aprillis sobivate ilmadega. Sellises olukorras peab töövõtjal jääma võimalus anda töö tellijale üle traditsioonilisel puuraugumeetodil teostatud jäävpoorsuse määrangute abil.

## **Jäävpoorsuse ja tihendusteguri mõju mahaarvamistele**

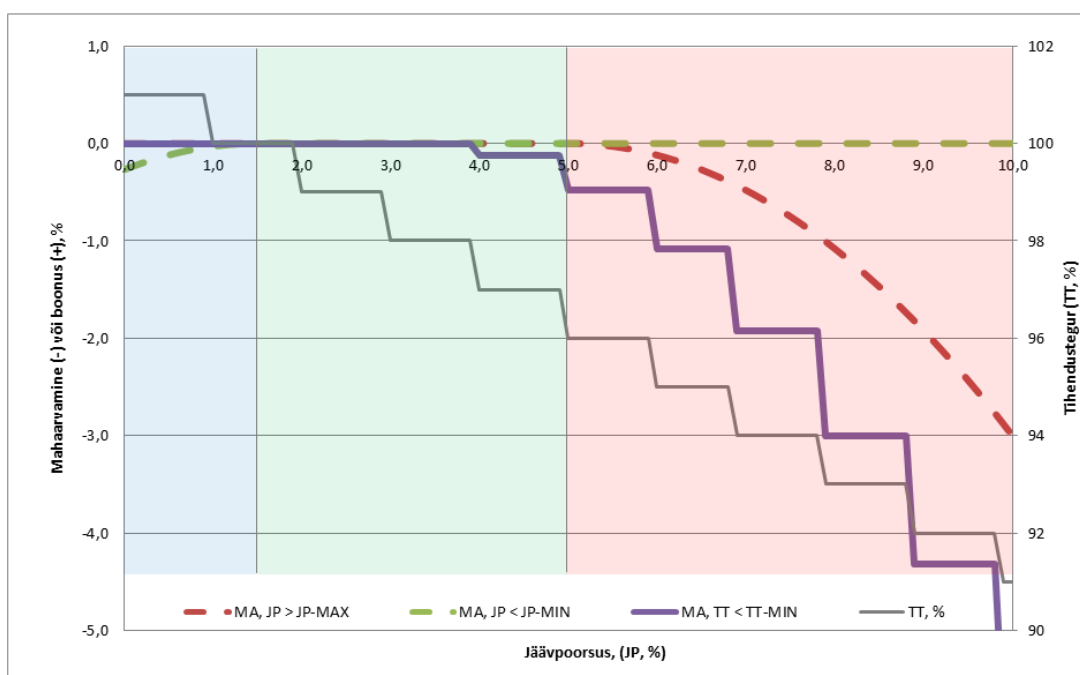
Kui 2006 aasta (korregeeritud 2007) „Riigimaanteede ehitus- ja remonttööde vastuvõtu eeskiri“ kohaselt läksid katte tihedusnäitajatest mahaarvamistel arvesse vaid jäävpoorsused, siis 2014 aasta redaktsioonis tuleb kontrollida ka tihendusteguri mõju. Allolevatel graafikutel on näha kuidas mõjutab segu tihedus mahaarvamisi. Mahaarvamistel on lähtutud AC 12 surf - segust, mille jäävpoorsuse piirid on vastavalt alumine 1,5% ja ülemine 5,0%. Mahaarvamised on joonistel esitatud ülevaatlikkuse huvides protsendina katte maksumusest. Tihendusteguri astmelisus tuleneb laboratoorsest katsemetoodikast, kus



tihendustegur                      ümardatakse                      lähima                      täisprotsendini.

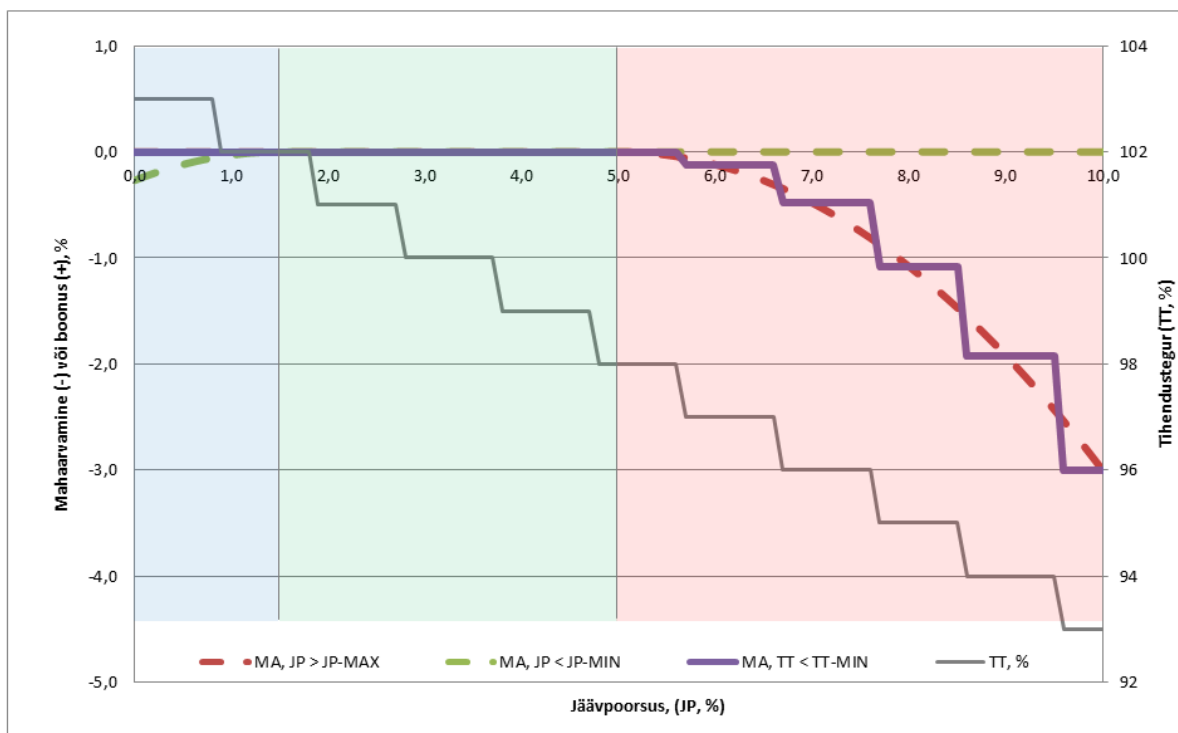


Joonis 38. Tihendusteguri mõju mahaarvamistele kui segu jäähpoorsus on 5%



Joonis 39. Tihendusteguri mõju mahaarvamistele kui segu jäähpoorsus on 1,5%

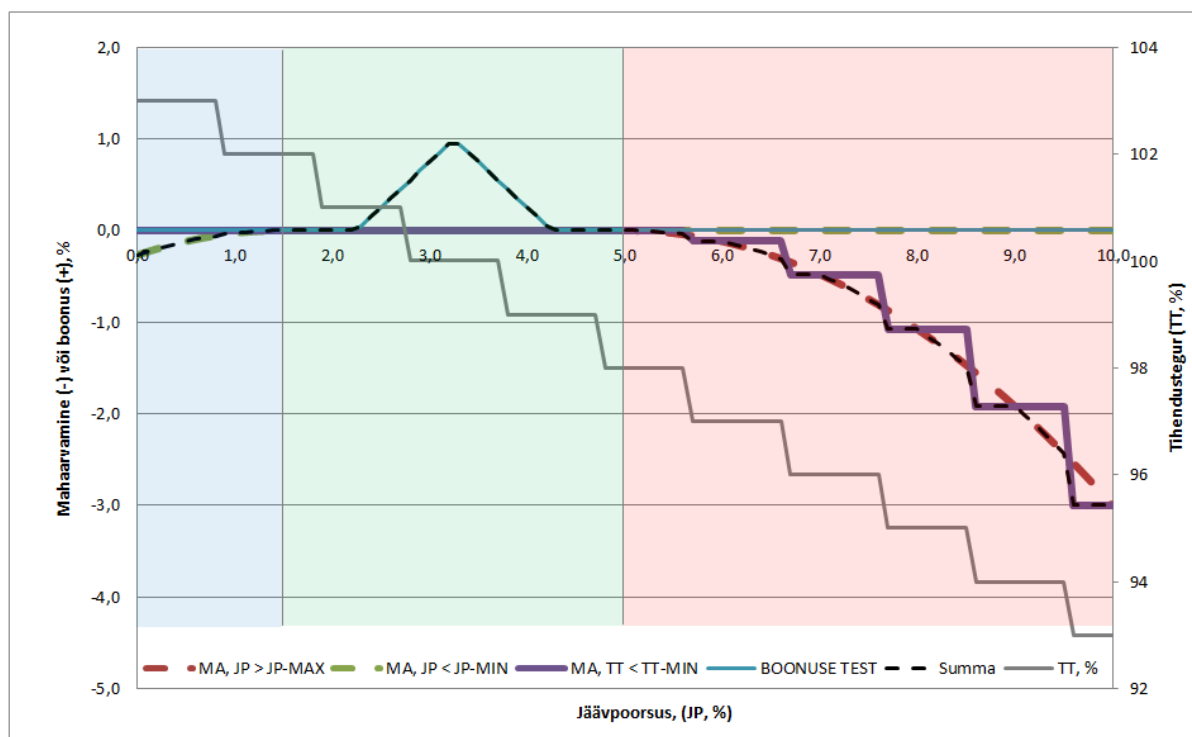
Joonistelt on näha, et tihendusteguri mõju mahaarvamistel sõltub arvutuslikult eelkõige segu jäävpoorsusest. Allolevalt jooniselt on näha, et tihendusteguri mõju segu jäävpoorsusele avaldub ainult juhul kui segu jäävpoorsus on väiksem kui lubatud jäävpoorsuste vahemiku kese, antud juhul  $5,0 - (5,0 - 1,5) / 2 = 3,25\%$ . Suuremate segu jäävpoorsuste korral tihendusteguri mõju puudub.



**Joonis 40. Tihendusteguri mõju mahaarvamistele kui segu jäävpoorsus on 3,25%**

Kehtestatud mahaarvamiste süsteem on maaradriga põhimõtteliselt kasutatav ning peaks üldiselt motiveerima mitte hälbima lubatud piiridest. Samas motiveerib selline süsteem vähe saavutame väga head tulemust, milleks oleks seguprojekti kohase jäävpoorsuse saavutamine. Ehk ühelt pool puudub mõjus mehhanism kvaliteetsete seguprojektide koostamiseks ning teisalt ka mehhanist, mis soodustaks kontrollitud kvaliteedi saavutamise teel. Töövõtja huvi suurendamiseks oleks vaja vastavat süsteemi. Nõuetest paremat tulemust, mis aitab oluliselt kaasa kvaliteetse lõpptulemuse saavutamisele, on üksnes mahaarvamistel põhineva süsteemi korral keeruline saavutada. Üheks võimaluseks väga hea tulemuse saavutamise soodustamiseks on boonustega

motivatsioonisüsteem. Maaradariga mõõtmiste korral on soovitatav selle kasutamist kaaluda kuna juhuslikkuse komponent jäävpoorsuse ja tihendusteguri mõõtmistest on vähenenud oluliselt. Seetõttu teeme ettepaneku kaaluda sellise boonussüsteemi sisseviimist, mis motiveeriks töövõtjaid saavutama etteantud jäävpoorsuse piirides võimalikult projektikohaste omadustega segu. Selle saavutamine nõuab töövõtjalt väga tõsist tähelepanu tööprotsesside erinevatele aspektidele, sealhulgas segu igakülgsele ühtlusele. Alloleval joonisel on toodud üks näide kuidas boonussüsteem võiks töötada koos mahaarvamistega.



**Joonis 41. Näide võimalikust motivatsioonisüsteemist koos boonusega**

Antud juhul on segu jäävpoorsuseks võetud 3,25%. Näidises kasutatud skeemis on maksimaalne boonus 1% katte maksumusest rakenduv juhul kui tegelik (katte) jäävpoorsus on täpselt sama (antud juhul siis 3,25%) ning boonus väheneb lineaarsel nullini kui katte jäävpoorsus on sellest 1% suurem või väiksem.

**Tabel 34. Näitlik seos katte ja segu jäävpoorsuste erinevuse vahel ja boonuse sõltuvus sellest**

| <b>JP erinevus</b> | <b>Boonuse %</b> |
|--------------------|------------------|
| 1,0                | 0,000            |
| 0,9                | 0,001            |
| 0,8                | 0,002            |
| 0,7                | 0,003            |
| 0,6                | 0,004            |
| 0,5                | 0,005            |
| 0,4                | 0,006            |
| 0,3                | 0,007            |
| 0,2                | 0,008            |
| 0,1                | 0,009            |
| 0,0                | 0,010            |
| 0,1                | 0,009            |
| 0,2                | 0,008            |
| 0,3                | 0,007            |
| 0,4                | 0,006            |
| 0,5                | 0,005            |
| 0,6                | 0,004            |
| 0,7                | 0,003            |
| 0,8                | 0,002            |
| 0,9                | 0,001            |
| 1,0                | 0,000            |

Maaradariga mõõtes on töövõtjal juurdepääs ka detailsetele andmetele, mis võimaldab tagantjärele jäävpoorsusega seonduvaid probleeme lokaliseerida ja analüüsida ning soodustab innovatsiooni kvaliteedi tõstmise nimel.

### **Maaradariga mõõtmiste ja analüüsi ajakulu**

Maaradariga mõõtmised on üldiselt kiire protsess ning liiklust häiritakse minimaalselt kuna mõõtmised teostatakse liikumise pealt, peatumata, kiirusega ca 20...25 km/h. Enne mõõtmiste algust teostatakse vajalikud väljamärgkimised – objekti algus ja lõpp ning puuraukude eelvalikukohad, millised kinnistatakse mõõtmiste ajal maaradari süsteemis ning tehakse ettevalmistused mõõtmiseks. Kaherajalisel maanteel mõõdetakse üldjuhul mõlemad sõidurajad (põhirajad) ning vuuk. Lisaks teostatakse igal mõõtmisel antenni kalibreerimine. Keskmiselt

võtab 5 km pikkuse kahe rajalise maantee mõõtmise tervikprotsess aega ca paar tundi. Seda eeldusel, et kate püsib kuni mõõtmiste lõpuni kuiv.

Seejärel viiakse läbi andmete eelanalüüs ja täpsustatakse maaradari andmetele tuginedes puurimiseks sobilikud, keskmisele jäävpoorsusele vastavad võimalikult homogeensed kohad ning viiakse läbi puurimistööd.

Pärast laboratoorsete andmete saamist saab teostada lõpliku analüüsi ning vormistada jäävpoorsuste maaradariga mõõtmiste protokoll. Maaradari mõõtmise metoodika on kirjeldatud uuringu lisas.

Suvisel ajal on üldjuhul võimalik mõõtmistööd teostada nädala jooksul katte valmimisest kuid sügisel võib ilmastikust tingitud ootega venida kahe – kolme nädalani. Kogu tööde teostamise aeg jääb suveperioodil üldjuhul kuu aja sisse.

### **Maaradariga jäävpoorsuse määramise eripärad**

Lisaks ilmastikutingimustele tuleb maaradariga katte jäävpoorsuse ja tihendustegurite määramisel arvestada, et mõõterajal ei jääks katte tasapinna sisse või sellest välja tee- elemente nagu kattemärgistus, täristid (sh. süvendatud), kattehelkurid vms. Tüüpiliselt esinevad sellised elemendid vuugi piirkonnas.

Maaradariga jäävpoorsuste määramisel tuleb mõõtmised teha iga kihi pealt. Läbi mitme kihtide jäävpoorsust mõõta ei saa.

## 5. ÜLEVAADE KEHTIVATEST JUHENDITEST

Hetkel kehtivad mittepurustavate meetoditega määratavad kvaliteedinõuded leiab järgnevatest dokumentidest:

*Tee ja teetööde kvaliteedinõuded* – Majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus, kehtiv alates 01.07.2014. Sätestab nõuded kõigile avalikele teedele ning tuleb käsitleda seetõttu kui minimaalseid nõuded tee ehitamisel või rekonstrueerimisel. Teeomanikud võivad ametkondlike juhistega või lepingutes kehtestada omad, rangemad nõuded.

*Riigimaanteede ehitus- ja remonttööde vastuvõtu eeskiri* – kehtestatud Maanteeameti peadirektori käskkirjaga 09.10.2014. Sätestab nõuded kõigile riigiteedele ning tuleb käsitleda seetõttu kui minimaalseid nõuded riigimaanteede ehitamisel, rekonstrueerimisel või remontimisel. Lepinguga võidakse kehtestada objekti kohased rangemad nõuded.

*Asfaldist katendikihtide ehitamise juhised* – kehtestatud Maanteeameti peadirektori käskkirjaga 25.11.2014. Täpsustab nõuded riigimaanteedele asfaltkatete ehitamisel. Lepinguga võidakse kehtestada objekti kohased rangemad nõuded.

*Riigimaanteede pealiskatete vastuvõtukatsetel teostatavate teekatete omaduste mõõtmise metoodika ning mõõteseadmetele esitatavad nõuded* – kinnitatud Maanteeameti peadirektori käskkirjaga 03.10.2014. Kirjeldab detailselt teetööde vastuvõtmisel kasutatavad mõõtmismetoodikad.

*Teehoiutööde garantiiaegse ülevaatuse ja defektide likvideerimise juhised* – kinnitatud Maanteeameti peadirektori käskkirjaga 14.06.2013. Kirjeldab objektide garantii ulatuse ja garantii realiseerimisega seonduvad tegevused.

Allpool on toodud nõuded erinevatest dokumentidest grupeeritult mõõtemetodite kaupa. Kirjeldatud mõõtemetoditeks on: tasasus, haardetegur, kandevõime, maaradar.

### Tasasus

Nõuded teekatete tasasusele on kirjeldatud järgmistes dokumentides:

## Tee ja teetööde kvaliteedinõuded

§7 (2) Asfalt- ja mustkattega tee tasasus peab vastama määruse lisas 1 esitatud nõuetele. Mõõtmist alustatakse vähemalt 20 meetrit enne iga uue paigaldatud lõigu algust. Teel, mille pikkused, vertikaalkõverate raadiused või keeruline vertikaalplaneering ei võimalda tasasusindeksit IRI (International Roughness Index) mõõta, mõõdetakse tasasust 3 meetri pikkuse latiga. Suurimad lubatud ebatasasused 3 meetri pikkuse lati all on esitatud määruse lisas 2. Tasasusindeks IRI iseloomustab üksikute 100 meetri pikkuste kattelõikude tasasust (millimeetrit meetri kohta) ja on määratletud kiirusel 80 km/h. Teistsuguseid mõõtmistehnoloogiaid võib tellija nõusolekul kasutada, kuid nende kasutamisel peab töö tegija üleminekutegureid põhjendama.

**Tabel 35. Nõuded katte tasasusele määruks "Tee ja teetööde kvaliteedinõuded"**

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

\* Murru lugejas – nõuded uuele kahekihilisele ja taastatud kattele, nimetajas – ühekihilisele uuele kattele killustik- või kruusalusel.

## Riigimaanteede ehitus- ja remonttööde vastuvõtu eeskiri

1.4. Töövõtja peab tegema või tellima teekatte tasasuse, haardeteguri ja teekonstruktsiooni kandevõime (FWD) mõõtmised. Teekatte tasasuse, haardeteguri ja teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmise algus- ja lõpp-punktid peavad asuma riiklikus teeregistris fikseeritud teeosa alguspunktist 100 m kordsel kaugusel. Katsemetoodika ning nõuded kasutatavatele seadmetele on Maanteeameti peadirektori käskkirjaga kinnitatud „Riigimaanteede pealiskatete vastuvõtukatsetel teostatavate teekatete omaduste mõõtmise metoodika ning mõõteseadmetele esitatavad nõuded“.



1.5. Teekatte tasasust mõõdetakse lasertehnoloogial põhineva mõõteseadmega. Teekatte tasasust iseloomustava näitajana kasutatakse IRI/IRI4-arvu (International Roughness Index), mis on rahvusvaheliselt heaks kiidetud sõidumugavust iseloomustav väärtus ning mis arvutatakse standardse sõiduki kere vertikaalsuunaliste võngete summana etteantud teelõigule (20 m pikkuste teelõikude keskmistena), mõõtühikuks on mm/m.

IRI/IRI4-arvu leidmisel kasutatakse maailmapanga poolt välja töötatud algoritmi. IRI kirjeldab ebatasasusi lainepikkuste vahemikus 0,5-50 meetrit, IRI4 puhul on vastav vahemik 0,5-4 meetrit.

1.6. IRI-ga tuleb hinnata uusehituste ning kahe- ja enamkihilisi katteid, IRI4-ga ühekihilisi (tasanduskihiga, tasandusfreesimisega ja ilma) ning kuumtaastuste ülekatteid.

1.7. Nõuded kattekihtide tasasusele on toodud Maanteeameti peadirektori käskkirjaga kinnitatud „Asfaldist katendikihtide ehitamise juhise“ (edaspidi juhise) „Katte pealiskihi tasasusnõue“ tabelis, kusjuures alumise kihi IRI arv võib olla suurem mitte rohkem kui 0,5 ühiku võrra vastavas tabelis toodud IRI väärtusest<sup>1</sup>. Inseneril ja tellijal on õigus hinnata teekatte tasasust ka 3-meetrise latiga, mille juures lähtutakse juhise „Kattekihtide tasasus mõõtmisel tasasuslatiga“ tabeli nõuetest.

Alumise kihi tasasuse mõõtmine ei ole kohustuslik, vaid seda võib insener või tellija kontrollida kahtluse korral. Kasutada võib kiirendusanduriga mõõteseadet, mis vastab Maanteeameti peadirektori käskkirjaga kinnitatud „Riigimaanteede pealiskatete vastuvõtukatsetel teostatavate teekatete omaduste mõõtmise metoodika ning mõõteseadmetele esitatavad nõuded“ nõuetele.

3.1.7. Kui kahe kuni nelja nädala jooksul pärast katte paigaldamise lõpetamist mõõdetud tasasus (IRI või IRI4) ületab juhise tabelis „Katte pealiskihi tasasusnõue“ või töövõtulepingus toodud väärtusi, arvutatakse makstava tasu vähendamine järgmise valemiga:...

## Asfaldist katendikihtide ehitamise juhised

4.1.2. Teekatte taset ja haardetegurit mõõdetakse mitte varem kui kaks nädalat pärast katte paigaldamist. Teekatte taset peab vastama juhise tabelis 9 esitatud nõuetele. Kohtades kus IRI määramine on võimatu, tuleb katte taset hinnata 3-meetrise latiga kvaliteedimääruse lisas nr 2 esitatud tabeli alusel.

4.1.3. Rooparemix-meetodil teostatud katte taset võib hinnata kvaliteedimääruse lisas nr 2 esitatud tabeli alusel.

**Tabel 36. Katte pealiskihi tasetasunõue, mõõtmisel IRI arvuna 20 m lõigu keskmisena**

| Tee kirjeldus                                                                                                                                | Suurim lubatud IRI väärtus mm/m <sup>1</sup> |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------|
|                                                                                                                                              | Mustkate                                     | Asfaltkate |
| Uutel ja remonditud kahe- ja enamkihilistel katetel teedel, millel on mõlemas suunas kaks ja enam sõidurada ja AKÖL 20 ≥ 6000 autot/ööpäevas | ei ehitata                                   | 1,1        |
| AKÖL 20 ≥ 1500 kuni 6000                                                                                                                     | ei ehitata                                   | 1,3/1,7    |
| AKÖL 20 ≥ 900 kuni 1500                                                                                                                      | 2,2                                          | 1,5/1,9    |
| AKÖL 20 < 900                                                                                                                                | 2,6                                          | 2/2,2      |
| Asulaid läbivatel riigimaanteedel lubatud sõidukiirusel kuni 50 km/h                                                                         | -                                            | 2,4        |
| Asulaid läbivatel riigimaanteedel lubatud sõidukiirusel 50-70 km/h, mille sadevete äravool on lahendatud saehamba kujulise pikiprofiiliga    | -                                            | 1,7        |

<sup>1</sup> Murru lugejas - nõuded uuele kahekihilisele ja taastatud kattele, nimetajas - ühekihilisele uuele kattele killustik- või kruusalusel

## Haardetegur

Nõudeid teekatete haardetegurile on kirjeldatud järgmistes dokumentides:

### Tee ja teetööde kvaliteedinõuded

§2 (5) Teekatte haardetegur ei või liikluseks avatud sõiduteel, kus lubatud sõidukiirus on üle 50 km/h, erineda tee ristsuunas üle 0,1 ühiku võrra tee ristsuuna haardeteguri keskväärtusest.

§2 (6) Teekatte haardetegur ei või tee seisundinõuetega määratletud ohtlikele kohtadele või ohtlikele teelõikudele üleminekul järsult muutuda.

§7 (3) Teekatte haardetegurit mõõdetakse mitte varem kui kaks nädalat pärast liikluse avamist. Haardetegur peab olema vähemalt 0,4, kui lubatud suurim kiirus vastaval teelõigul on kuni 80 km/h. Kui lubatud suurim kiirus vastaval teelõigul on suurem kui 80 km/h, peab haardetegur olema vähemalt 0,5 vastavalt Euroopa tehnilisele normile CEN/TS 13036-2. Mõõtmisel teiste meetodite järgi peab mõõtja tõendama mõõtmistulemuse vastavust nimetatud tehnilisele normile. Kui haardetegur ei vasta nõuetele, peab paigaldama kiirust piiravad liiklusmärgid ja mõõtma haardetegurit regulaarselt vähemalt kord kuus, seda ka talveperioodil, kui ilmastikutingimused seda lubavad. Kui nõutavat haardetegurit ei ole saavutatud naastrehvide kasutamise hooaja lõppemiseks, on töövõtjal kohustus viia haardetegur viivitusega vastavusse nõuetega.

### Riigimaanteede ehitus- ja remonttööde vastuvõtu eeskiri

1.4. Töövõtja peab tegema või tellima teekatte tasasuse, haardeteguri ja teekonstruktsiooni kandevõime (FWD) mõõtmised. Teekatte tasasuse, haardeteguri ja teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmise algus- ja lõpp-punktid peavad asuma riiklikus teeregistris fikseeritud teeosa alguspunktist 100 m kordsel kaugusel. Katsemetoodika ning nõuded kasutatavatele seadmetele on Maanteeameti peadirektori käskkirjaga kinnitatud „Riigimaanteede pealiskatete vastuvõtukatsetel teostatavate teekatete omaduste mõõtmise metoodika ning mõõteseadmetele esitatavad nõuded“.

*3.1.8 Sideaine, filleri (mastiksi) pinnale tõusust tekkinud libedatel kohtadel, mille haardetegur ei vasta „Tee ja teetööde kvaliteedinõuded“ toodud nõuetele, tuleb kate töövõtjal eemaldada eeskirja p 2.2 toodud ulatuses või karestada tingimusel et tekkivad ebatasasused ei ületa juhise tabelis „Kattekihtide tasasus mõõtmisel tasasuslatiga“ toodud väärtusi.*

### **Asfaldist katendikihtide ehitamise juhis:**

*4.1.2. Teekatte tasasust ja haardetegurit mõõdetakse mitte varem kui kaks nädalat pärast katte paigaldamist.*

### **Kandevõime**

Nõudeid teekonstruktsiooni kandevõimele on kirjeldatud järgmistes dokumentides:

### **Riigimaanteede ehitus- ja remonttööde vastuvõtu eeskiri:**

*1.4. Töövõtja peab tegema või tellima teekatte tasasuse, haardeteguri ja teekonstruktsiooni kandevõime (FWD) mõõtmised. Teekatte tasasuse, haardeteguri ja teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmise algus- ja lõpp-punktid peavad asuma riiklikus teeregistris fikseeritud teeosa alguspunktist 100 m kordsel kaugusel. Katsemetoodika ning nõuded kasutatavatele seadmetele on Maanteeameti peadirektori käskkirjaga kinnitatud „Riigimaanteede pealiskatete vastuvõtukatsetel teostatavate teekatete omaduste mõõtmise metoodika ning mõõteseadmetele esitatavad nõuded“.*

*1.8. Teekonstruktsiooni kandevõimet (FWD) mõõdetakse tee päri- ja vastassuunalisel sõidurajal 100 m intervalliga, kusjuures vastassuunalise sõiduraja mõõtmispunkte nihutatakse pärisuunalise sõiduraja mõõtmispunktide suhtes 50 m võrra (mõõdetakse nn „malekorras“). Mõõtmist ei teostata ühe-ja kahekihiliste ülekatete ja kuumtaastuste puhul. Saadud tulemused edastab töövõtja insenerile ja tellijale esindajale.*

## Maaradar

Nõudeid maaradariga mõõtmistele on kirjeldatud järgmistes dokumentides, muudatuste vajadust nendes on käsitletud aga peatükis „Järeldused ja soovitused”.

### Riigimaanteede ehitus- ja remonttööde vastuvõtu eeskiri:

*3.1.2 ... Tegelik jäävpoorsus mõõdetakse juhises esitatud „Kattest puurkehade võtmise skeem” kohaselt võetud kahe katteproovi/puurkeha keskmisena või maaradari mõõtefaili põhjal ühe meetri pikkuste lõikude alusel.*

*3.1.3 ... Tihendustegur määratakse juhises esitatud „Kattest puurkehade võtmise skeem” kohaselt võetud kahe katteproovi/puurkeha keskmisena või maaradari mõõtefaili põhjal ühe meetri pikkuste lõikude alusel.*

*3.1.5 ... Tihendustegur mõõdetakse vuugist vastavalt juhises esitatud skeemi kohaselt võetud puurkeha/vuugiproovi alusel või maaradari mõõtefaili põhjal ühe meetri pikkuste lõikude alusel....*

### Asfaldist katendikihtide ehitamise juhised

*4.1.4 Katte paksust, tihedust ja jäävpoorsust kontrollitakse juhise joonise 1 kohaselt kattest võetud puurkehade abil või maaradari mõõtmisandmete põhjal.*

*4.1.10. Kui paigaldatud pealmise kattekihi pindala on väiksem kui 10 000 m<sup>2</sup>, kontrollitakse tihendamist kattest võetud puurkehade katsetamisega. Kui pealmise kattekihi pindala on suurem kui 10 000 m<sup>2</sup>, võib katte jäävpoorsust kontrollida maaradariga juhul, kui Tellija ja Töövõtja ei lepi kokku teisiti. Maaradarit võib kasutada kui on täidetud järgmised tingimused:*

- katte pind on kuiv,*
- on olemas andmed paigaldatud segu koguste kohta ja*
- on Tellija nõusolek.*

## 6. JÄRELDUSED JA SOOVITUSED

Siin antakse järeldused ja soovitused, tehakse ettepanekud riigimaanteede remonditööde vastuvõtueeskirjade ja juhiste täiendamiseks.

### Nõuded teetööde vastuvõtmisel

Allpool on toodud mõõtmised, mida teekatete kvaliteedi hindamisel täiendavalt kasutusele saab võtta või milliste osas vajab senikirjeldatu täpsustamist.

### Tihedusnäitajate määramine maaradariga

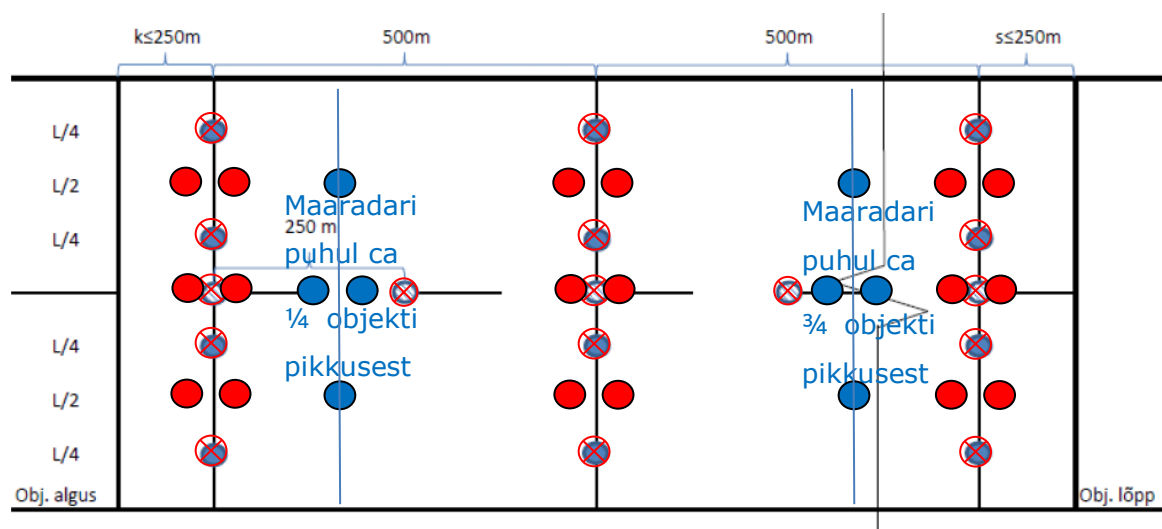
Nagu eelnevates peatükkides selgitatud, on katte tulemuste juhuslikkuse vältimiseks jäävpoorsusi ja tihendustegureid otstarbekas määrata maaradariga. Samas võib töö teostaja olla mitte motiveeritud maaradarit kasutama, seda eriti juhul kui töö kvaliteet on ebastabiilne ja tulemuste juhuslikkus võib olla töö teostajale kasulik argument. Seetõttu on vajalik sätestada vähimisi meetodiks maaradaril põhinev meetod ning täiendavalt määratleda, millistel juhtudel on lubatud kasutada puuraukudel põhinevat meetodi.

Katte ülakihi jäävpoorsuse ja tihendusteguri määramisel soovitame näha ette, et mõõtmised maaradariga teostataks igal juhul, isegi kui neid pole võimalik teostada vastuvõtmise käigus. Reeglina tekivad sellised probleemid just hilissügisel, suhteliselt ebasoodsamates ilmastikutingimustes paigaldatud katetel, mistõttu pidevteave katte tihedusnäitajate kohta omab katte kvaliteedi hindamisel erilist tähtsust. Perspektiivis võib see võimaldada mahaarvamiste tegemise kahes etapis ning vähendada ka esimeses etapis tehtavate puuraukude arvu vähemalt poole võrra.

Kuigi maaradariga oleks otstarbekas ka alumiste kihtide tihedusnäitajate mõõtmine, võib mõningatel objektidel osutuda vajalikuks mõõtmiste tegemine mitmes osas kuna töökorralduslikult ei ole võimalik tagada mõõtmiseks tervet objekti korraga või ei ole ilmastikutingimuste tõttu võimalik teostada mõõtmisi piisavalt kiiresti, takistamata ülemiste kihtide paigaldamise edenemist. Seetõttu soovitame mõõtmistele nõuete seadmisel küll eelistada (soodustada) täpsemat maaradaril põhineva meetodi kasutamist kuid jätma lõpliku valikuvõimaluse töö

teostajale. Ka oleks otstarbekas jätta sarnane valikuvõimalus väiksemate ülakihi mahtude korral (<10 000m<sup>2</sup>).

Mõlemal juhul on vajalik täpsustada ka proovivõtu skeem, et viimane täidaks soovitud eesmärgi. Põhjamaades tehtud uuringus „Mara Nord“ on ühe probleemina nimetatud jäävpoorsuse kiiret muutumist katte järeltihenemise tulemusena raskeliikluse toimel. Nimetatud protsessile avaldavad kiirendavat mõju katte kõrgemad temperatuurid. Selleks, et erinevaid objekte oleks võimalik ühetaoliselt ja võrdsetel alustel hinnata, on otstarbekas viia kattelt teostatavad mõõtmised sõiduraja keskele, rattajälgede vahele. Nii ei sõltu katte määratud omadused enam proovivõtu ajast, mis on oluline näiteks vaidluse korral kordusproovide võtmisel. Lisaks annab see võimaluse kasutada samu puurauke vajadusel ka maaradriga teostatavate mõõtmiste tulemuste kalibreerimiseks. Kattepuuraukude asukoht peaks olema sõiduraja keskel  $\pm 25$  cm (sõiduraja laiusel 3,25...3,75m - üldjuhul 1,75 m tee teljest) ning paarikaupa piki teed üksteisest minimaalsel kaugusel, mis tagab katte terviklikkuse – puuraukude tsentrite vahe peaks olema vahemikus 30...50 cm. Vuugiproovid võetakse katteproovidega samast ristlõikest.



**Märkused:**

- k - objekti algusest kuni proovivõtukohani (k≤250 m)
- s - proovivõtukohast kuni objekti lõpuni (s≤250 m)
- - proov võetakse vuugi olemasolul sammuga 250 m sõltumata vuugi temperatuurist tihendamise ajal
- Maaradari kalibreerimisproovikehad
- Puurimismeetodi proovikehad



Boonusena peaks olukorras, kus proovivõtukohtad ei jää enam rattajälgedesse, märkimisväärselt vähenema nende kohtade lagunemine.

Lisaks on vaja üldiselt sätestada, et ka proovikehade võtmine peab toimuma akrediteeritud labori poolt, st. akrediteeritud labor vastutab proovivõtuga seotud andmete õigsuse eest.

Seni on katteproove käsitletud kahekaupa (võttes arvesse kahe määranu keskmise) kuid vuugiproove üksikuna. Uuringud näidanud, et jäävpoorsus võib ebaühtlase segu korral erineda paarikaupa teostatavates puuraukudes üsna suurel määral ning ebakvaliteetse segu jäävpoorsus võib tasanduda põhjendamatult katte tihedusnäitajate suurte erinevuste tõttu (teoreetiliselt on võimalik. Seetõttu annaks objektiivsema tulemuse proovide võtmine paarikaupa võimalikult üksteise lähedalt. Sama põhimõtet oleks otstarbekas kasutada vuugiproovide korral, seega paikneksid kõik kontrollproovikehad samas katte ristlõikes ja oleks ka aruandluses hästi dokumenteeritavad.

Katte tihedusnäitajad on õigesti mõõdetavad-määratavad üksnes juhul kui kogu lõik on rajatud samast segust e. sama seguresepti kohasest segust. Seetõttu on oluline, et jäävpoorsuse määramise protokollid sisaldaksid üheselt identifitseeritavat viidet segureseptile. Jäävpoorsusele ja tihendusteguri (nagu ka muude näitajate) hindamisel peab olema võimalik veenduda, et kattesse paigaldatud segu vastaks oluliste näitajate osas kinnitatud segureseptis toodule.

Meie hinnangul on kehtivas eeskirjas vajalikud järgmised põhimõttelised muudatused:

### **Riigimaanteede ehitus- ja remonttööde vastuvõtu eeskiri:**

*3.1.2, 3.1.3 ja 3.1.5 ... sätestada: Katte jäävpoorsus ja tihendustegur mõõdetakse maaradariga Maanteeameti poolt kinnitatud metoodika „Jäävpoorsuse ja tihendusteguri määramine maaradariga“ kohaselt. Katte jäävpoorsuse ja tihendusteguri mõõtmise võib teostada juhise „Kattest puurkehade võtmise skeem“ kohaselt võetud kahe katteproovi/puurkeha keskmisena järgmistel juhtudel: katte ülakihil < 10 000m<sup>2</sup>, katte alakihtidel või erandjuhul. Erandi rakendamine peab olema põhjendatud (nt. ilmastik) ja sellisel*

juhul mõõdetakse jäävpoorsus maaradariga esimesel võimalusel (teemarkeeringu tõttu vuugi tihendustegurit hiljem ei mõõdetata).

#### **Asfaldist katendikihtide ehitamise juhised**

4.1.4.a. Katte tihedust ja jäävpoorsust mõõdetakse maaradariga Maanteeameti poolt kinnitatud metoodika „Jäävpoorsuse ja tihendusteguri määramine maaradariga“ kohaselt või juhise „Kattest võetavate puurproovide skeem“ kohaselt võetud kahe katteproovi/puurkeha keskmisena. Kõik puurkehad võetakse ja katsetatakse akrediteeritud labori poolt.

4.1.10. Katte jäävpoorsus ja tihendustegur mõõdetakse maaradariga Maanteeameti poolt kinnitatud metoodika „Jäävpoorsuse ja tihendusteguri määramine maaradariga“ kohaselt. Katte jäävpoorsuse ja tihendusteguri mõõtmise võib teostada juhise „Kattest puurkehade võtmise skeem“ kohaselt võetud kahe katteproovi/puurkeha keskmisena järgmistel juhtudel: katte ülakihil < 10 000m<sup>2</sup>, katte alakihtidel või erandjuhul. Erandi rakendamine peab olema põhjendatud (nt. ilmastik) ja sellisel juhul mõõdetakse jäävpoorsus maaradariga esimesel võimalusel (teemarkeeringu tõttu vuugi tihendustegurit hiljem ei mõõdetata).

#### **Katte paksuse määramine maaradariga**

Eraldi vajab käsitlemist katte paksusega seonduv kuna puuraugumeetod võimaldas samade puurkehade põhjal määrata ka katte paksust kuid maaradariga mõõtes on katte paksuse määramiseks võetavate puurkehade arv väike (kokku 8 puurkeha). Soovitame sätestada, et maaradariga tuleb mõõta ja määrata ka katte paksus kuid sõltuvalt saadavast tulemusest võib olla vajadus täiendavate puurkehade järele.

#### **Asfaldist katendikihtide ehitamise juhised**

4.1.4.a. Katte paksust mõõdetakse maaradariga või juhise „Kattest võetavate puurproovide skeem“ kohaselt võetud kahe katteproovi/puurkeha keskmisena. Kõik puurkehad võetakse ja katsetatakse akrediteeritud labori poolt.

Maaradariga on üldjuhul võimalik määrata mitmekihiliste kattekihtide kogupaksus (hinnanguliselt 80% juhtudest) õhk-paar-antenniga (1...2 GHz). Seevastu üksikute kattekihtide ja ühekihiliste katete paksuste eristamine on seniste kogemuste põhjal õhkpaar-antennidega õnnestunud pigem üksikutel juhtudel. Paremaid tulemusi on näidanud kõrgsageduslik maapaar-antenn, nt. Mala ProEx + 2,3 GHz, millega on õnnestunud kattekihte eristada umbes pooltel juhtudel, kuid selliseid mõõtmisi on tehtud vähe. Kihtide eristamatuse põhjuseks võib olla erinevate kihtide materjalide sarnane dielektriline läbitavus. Juhul kui Er-väärtus on väga sarnane nii täitematerjalidel kui bituumenitel on tõenäoline, et kiht ei eristu. Seetõttu on soovitatav teostada nii jäävpoorsuse kui kihipaksuste tuvastamiseks maaradarmõõtmised ka juba alumiste kihtide peal. Erandiks on tasanduskihid, mille paksuse mõõtmine ei ole otstarbekas. Samuti ei ole paksusi üldjuhul võimalik tuvastada kuumtaastamisel ning katte paigaldamisel tasandusfreesitud kihile.

Katete vastuvõtmisel soovitame kattekihtide paksuse määramisel rakendada süsteemi, kus puuraukude vajadus sõltub maaradariga eristatavat kihtide määramise võimalikkusest. Seejuures tuleks lähtuda põhimõttest, et kihi võib lugeda määratuks kui selle paksus on määratud kas maaradariga või puuraukude põhjal nii, et määramata osa pikkus ei oleks kusagil üle 500m.

Juhul eelneva põhimõtte kohaselt õnnestub maaradariga määrata vaid kahe kihi kogupaksus, võiks üksikud kihid lugeda määratuks juhul kui selle üksiku kihi määramata osa pikkus ei oleks kusagil üle 1000m.

#### **IRI 4**

Riigimaanteede ehitus- ja remonttööde vastuvõtu eeskirjas on lubatud kasutada ka IRI4 metoodikat teekatte tasasuse hindamiseks. IRI4 algoritm on sisuliselt IRI algoritmi töötlus, kus arvessevõetavaid lainepikkusi on kitsendatud vahemikku 0,5-4m. IRI4 töötati välja Soomes eesmärgiga hinnata uute teekatete tasasust juhul, kui tee pikiprofiili ei parandata (ülekate, kuumtaastamine jms), eeldades, et ülekatte laotamisel on töö tegijal võimalik mõjutada lainepikkusi kuni 4

meetrit. IRI4 on kasutusel ainult Soomes ja on kirjeldatud dokumendis Pank 5207.

Soome Maanteeameti aruandes „*Päällysteen laadun testaus- ja mittausmenetelmien tarkkuus*” (2008) on kirjeldatud, et IRI4 võrdlusmõõtmistel on erinevate seadmete mõõtetulemuste vahel esinenud olulisi erinevusi. Põhjustena on nimetatud erinevusi seadmete mõõtesageduses, arvutusalgoritmides ning uuema ja vanema mõõtetehnika vahel. Soovitusena toodi välja, et IRI4 mõõtetulemuste tötluseks on vajalik luua ühtne arvutusalgoritm, mida kõik mõõtjad peaksid kohustuslikus korras kasutama.

Eestis kasutatav tasasuse mõõtmise seade LaserTextureMaster on konstrueeritud Soome ettevõtte AL-Engineeringu poolt ja mõõdab paralleelselt IRI-ga ka IRI4 indeksit. Esimest korda kasutati Eestis IRI4 indeksit tasasuse hindamiseks teekatete kuumtaastamise lepingus 2014 aastal.

Eesti seadme võrdlemisel Soomes mõõtmisi tegeva Destia seadmega (Greenwood, Taani) selgus, et võrdlustestis osalenud seadmete mõõtetulemused kattuvad hästi IRI osas, kuid IRI4 mõõtetulemustes on omavaheline seos nõrk või puudub. Eesti seadme IRI4 mõõtmiste korratavus oli samas väga hea, mis kinnitab, et seade töötab korrektselt. Põhjuste täpsemal uurimisel selgus, et Eesti seadmes kasutatav IRI4 algoritm on VTT poolt väljatöötatud nn. algupärane, kuid Soomes kasutatavate seadmete IRI4 algoritmi ja filtrite kohta Soome Maanteeametil täpne info puudub. Soomes kasutatavad seadmed on Taani päritolu ja seadmete täpse tehnilise spetsifikatsiooni IRI4 osas on seadmete tootjad jätnud enda teada.

Kuna IRI4 puhul on ka Soomes endiselt probleemiks erinevate seadmete mõõtetulemuste erinevus, siis on viimastel aastatel kohandatud Soome võrdlusmetoodikat selliselt, et võrdluste aluseks kasutatakse „abstraktset” etaloni. Selline etalon saadakse kahe Greenwoodi ja ühe RST seadme mõõtetulemuste alusel, vastavalt Greenwood 66,6% ja RST 33,3%. Seega on mindud seda teed, kus aluseks ei ole mitte seadmete tehnilised parameetrid, vaid konkreetsete seadmete mõõtetulemused. Info pärineb e-kirjavahetusest Soome Maanteeameti esindaja Katri Eskolaga.

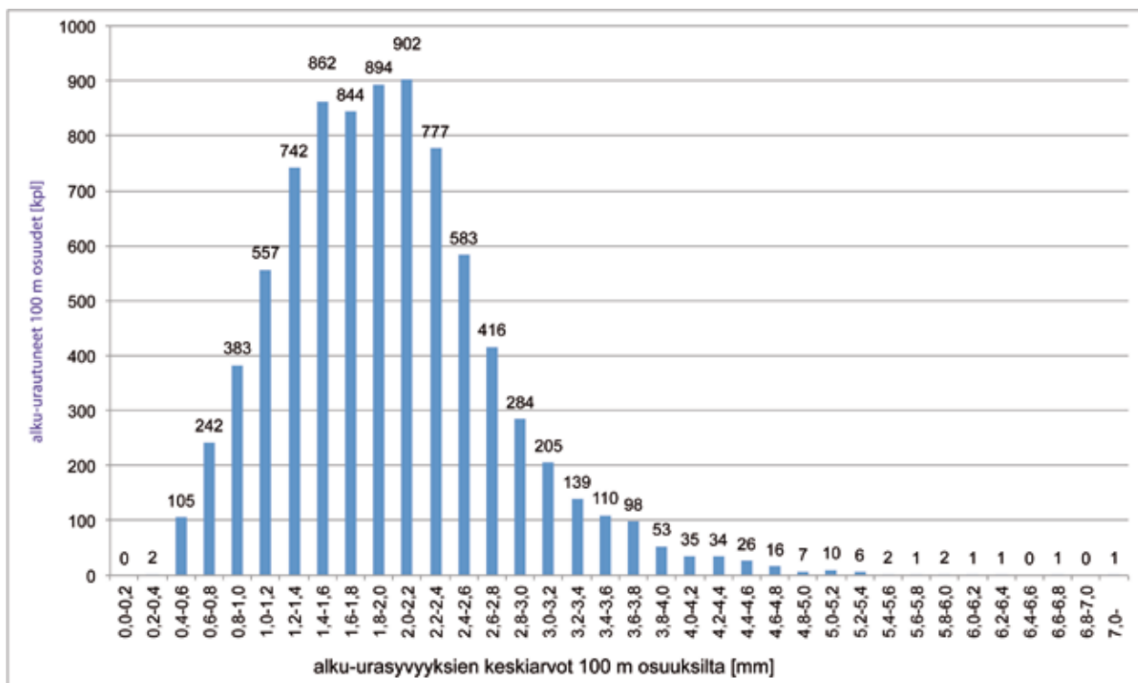
Eelkirjeldatud arvesse võttes on IRI4 kasutamine Eestis kõige otstarbekam korraldada Eesti seadmel LaserTextureMaster põhinevalt, võttes selle seadme Eestis tehtavate IRI4 mõõtmiste etaloniks. Selleks tuleb täiendada Maanteeameti käskkirja „*Riigimaanteede pealiskatete vastuvõtukatsetel teostatavate teekatete omaduste mõõtmise metoodika ning mõõteseadmetele esitatavad nõuded*” ja lisada sinna vajalikud kirjeldused ja nõuded IRI4 mõõtmiste kohta. Samuti tuleb läbi viia analüüs IRI4 piirväärtuste määratlemiseks.

## **Tekstuur**

Teekatete makro- ja megatekstuuri mõõdetakse Eestis võrgutasandil iga-aastaselt. Tekstuuri andmestik võimaldab kaudselt hinnata teekatte haardelisi omadusi. Tekstuuri mõõtmine toimub koos teekatete tasasuse mõõtmisega automaatselt, täiendav kulu tekib mõõdetud toorandmete järeltöötlusel. Uute teekatet vastuvõtul mõõdetakse teekatte haardetegur, seega pole tekstuuri mõõtmine liiklusohutuse seisukohast primaarne, kuid kuna tekstuuri andmed on üks kogutav andmeliik teeregistris, siis andmeaukude vältimiseks ja statistilise baasi tekitamiseks on soovitatav ka see info valminud teekatetelt kokku koguda. Tekstuuri ja haardeteguri omavahelisi seoseid on käsitletud Maanteeameti poolt tellitud Teekatte haardeliste omaduste võrdlusuuringus 2014.

## **Algroobas**

Algroobas, mida põhiliselt tekitab teekatte järeltihenemine ja konstruktsioonide deformatsioon, tekib uuel kattel liikluse mõjul juba esimestel nädalatel ning jääb suurusjärguna tavaliselt 1-3mm piiridesse. Peale seda jätkub roopa areng oluliselt aeglasemas tempos kulumise ja konstruktsioonide deformatsiooni toimetel. Algroopa arengu intensiivsust mõjutab asfaldikihtide segukoostis ja konstruktsioonide tihendus, seetõttu on algroopa väärtus üheks kvaliteedi hindamise kriteeriumiks nt Soomes. Algroopa suurus mõjutab tee taastusremondi välja – mida suurem algroobas, seda kiiremini jõuab kätte aeg, mil tekkinud roobaste sügavuse tõttu tuleb teha ülekate. Seega võib lugeda algroobast üheks oluliseks kvaliteeti näitavaks parameetriks.



**Joonis 42. Algroobas Soomes 2010, 1 kuu pärast paigaldust (Tie&Liikene 3/2011)**

Algroobast on võimalik mõõta koos teekatte kalde ja tasetasusega, mis oluliselt ei kasvataks mõõtekulusid uute katete mõõtmisel, seetõttu tasub kaaluda selle parameetri mõõtmist esimeses järgus info kogumiseks ja hilisemaks analüüsiks. Arvame, et see teema vajab eraldi uuringut, alginfo ja mõõteandmete kogumine on vajalik teha eelnevalt kahe-kolme aasta jooksul.

### Teekatte põikkalle ja tee kurvilisus

Senini mõõdavad ehitaja ja järelevalve teekatte põikkallet peale teekatte pealmise kihi paigaldamist 3m latiga käsitsi. Samas on seda võimalik teha ka teekatte skaneerimise kaudu uute katete vastuvõtumõõdistuse protsessis. Teekatte põikkalle ja roobas arvutatakse samadest algandmetest, seega eraldi mõõtmist põikkalde saamiseks pole vaja teha. Samuti on sama mõõtmise algandmetest leitav ka tee kurvilisuse parameeter. Põikkalle ja tee kurvilisus on ühtedeks parameetriteks, mida kogutakse teekatete andmetena ka teeregistris.

## Termoskaneerimine

Asfaldilaoturile statsionaarselt paigaldatud termoskänner skaneerib katte paigaldustemperatuuri pidevmõõtmisena ja selle tulemusena on asfaltkatte paigaldajal katte temperatuur ja temperatuuriühtlus nähtav reaalsajas. See annab võimaluse reageerida koheselt kvaliteediprobleemidele ja neid operatiivselt lahendada. Termoskänneri süsteem salvestab termoandmed koos pildi, asukoha ja muu infoga andmebaasi, kust on võimalik saada vajalikke andmeid hilisemaks kvaliteedianalüüsiks. Termoskaneerimise temaatikat koos kvaliteedi hindamise võimalustega on põhjalikumalt käsitletud Maanteeameti poolt tellitud uuringus „Asfaltkatete laotamise tehnoloogiate võrdlemine ja kvaliteedi kontrollimisel termograafia rakendatavuse uuring“ 2014.

## Katte paksus

Katte paksuse mõõtmine mittepurustavate meetoditega on seni olnud problemaatiline. Ka käesolevas uuringus ette nähtud tehnoloogiatega ei õnnestunud katte paksusi määrata. Soome ekspertide soovitusel teostati kattekihtide täiendavad mõõtmised ka kõrgsagedusliku maapaar-tüüpi antenniga, mis andis katselõigul häid tulemusi, võimaldades määrata kahe ülemise kattekihi paksusi enam kui 70% ulatuses lõigu pikkusest. Meie hinnangul võiks katte paksuse lugeda määratuks juba juhul kui seda õnnestub teha pidevalt 30% ulatuses lõigu pikkusest, mis on mõõtmiste mahu mõttes ületab ikkagi puuraukudega saavutatava mahu mitme suurusjärgu võrra.

## Defekteerimine

Kaasaegne defekteerimine (katte defektide süsteemne määratlemine) toimub video põhiselt ning see seotakse pidevalt teeregistri aadress-süsteemiga. Kuigi uuel kattel puuduvad üldjuhul defektid, on selline video vajalik hilisema monitooringu võimaldamiseks ning tekkivate probleemide visuaalseks seostamiseks katte vastuvõtmisel valitsenud olukorraga.



## Muud omadused

Uute katete vastuvõtul analüüsitakse mitmeid omadusi laboratoorsete katsete põhjal, milliseid arvestatakse ka mahaarvamiste tegemisel. Kuna neid ei ole reeglina võimalik siduda tee asukoha, tasuks nende kohta pidada statistilist arvestust mahaarvamise suuruse järgi nii rahaliselt kui protsentides katte maksumusest. Nii täiendab see kaudse info näol väga lihtsalt saadavana andmestikku nendes osade, kus kvaliteeti hinnatakse pidevalt tööde käigus ning siduda seda mõõtmistulemustega. Koos mõõtmisandmete analüüsiga annab selline ülevaade võimaluse hinnata mõõtmisandmete mahaarvamise suuruse objektiivsust ning vajadusel korrigeerida vastavaid koefitsiente ning on oluliseks täienduseks katete kvaliteedi püsivuse hindamisel. Viimase tegemiseks on soovitatav käivitada nii mõõtmiste tegemine garantiiaja lõpus kui uute katete monitooringu ja analüüsi läbiviimine saadud andmete põhjal.

## Teekatete mõõtmised garantiiaja lõpul

Nõuded uute teeobjektide garantiiaegseteks ülevaatusteks on Maanteeamet kehtestanud dokumendiga „*Teehoiutööde garantiiaegse ülevaatuse ja defektide likvideerimise juhis*“ (kinnitatud MA peadirektori käskkirjaga 14.06.2013). Juhise tabelis 1 on sätestatud kahjustuste lubatavad piirmäärad, sh. roopa sügavus  $\leq 15\text{mm}$  ja teekatte tasasus (IRI arv)  $\leq 3,0\text{ mm/m}$ . Tärnidega on tabelile juurde lisatud, et roobast mõõdetakse garantiiaja viimasel aastal, välja arvatud kulumisroopad ning tasasust võib vajadusel mõõta ka kolmemetrise latiga.

Samuti kasutab Maanteeamet ehituslepingutes järgmist sõnastust: „Garantiiag 5 aastat kehtib katte omaduste säilivusele, sealhulgas tasasusele, kalletele, haardetegurile, katte pinna terviklikkusele ning kandevõimele“ (väljavõte ühest ehituslepingust 2014 aastast). Seega on ühel juhul lubatud muutused tee omaduste osas garantiiperioodi jooksul, samas eeldatakse lepingutes katte omaduste säilimist muutumatuna garantiiperioodi jooksul.

Mõlemal juhul tekib vajadus kontrollida, kas ehitatud tee vastab nõutule ka garantiiaja lõpus. Senini pole Eestis teede ehituse ja remondi nõuetele vastavust garantiiaja lõpus mõõtmistega kontrollitud. Garantiiaja lõpus tehtavad

mõõtmised võimaldaksid muuta tee kvaliteedi püsivuse hindamise senisest märkimisväärselt objektiivsemaks ning anda sellega hinnang tee ehituse ja remondi kvaliteedile tervikuna. Ühtlasi tekib sellega väärtuslik andmebaas, mille süsteemne analüüs võimaldab näha teede ehituse ja remondi praktika „suurt pilti“ ehk kas valitud meetmed on taganud eeldatud tulemuse pikemas perspektiivis, sest garantiiaja lõpus tehtud mõõtmiste põhjal on võimalik hinnata ka rakendatud meetmete asjakohasust ja tee eluiga. See omakorda annab sisendi muudatuste vajadusele norm- ja juhenddokumentides või uuringuteks.

Allpool on loetletud parameetrid, mis võimaldavad teekatteid mittepurustavate meetoditega kontrollida kvaliteedi püsivust.

### **Tihedusnäitajad**

Tihedusnäitajate muutumine ajas on üks võimalik parameeter teekonstruktsiooni püsivuse ja kvaliteedi hindamiseks. Eelduslikult ei tohiks katte tihedusnäitajad (jäävporsus ja tihendustegur) aja jooksul oluliselt muutuda. Teoreetiliselt võib see praktikas siiski aset leida – rattajälgedes eeldatavalt peamiselt järeltihenemise tulemusena ning rattajälgede vahel katte vananemise tõttu. Siiski puudub nende protsesside kohta täna piisav teave. Seetõttu tuleks esimeses etapis tuleks katseliselt statistiliselt selgitada, kas ja milliseid muutusi katte dielektrilistes omadustes esineb ning seejärel kavandada katsed, mis aitaksid neid muutusi selgitada. Mõõtmised tasub teha ainult neil objektidel kus samad mõõtmised on teostatud ka tööde vastuvõtmisel.

### **Tasasus**

Ebatasasuste areng esimeste aastate jooksul on tingitud konstruktsioonikihtide järeltihenemisest liikluse mõjul. Kui tee on püsinud ühtlaselt tasasena või on muutunud garantiiaja lõpuks oluliselt ebatasasemaks võrreldes uue katte vastuvõtuaegse tasasusega, siis on see üks parameeter töö kvaliteedi hindamiseks.

Kuna tasasus sõltub lisaks kattekihi kvaliteedile ka allpool asetsevate konstruktsioonide püsivusest, siis tuleb erinevatele töödele vastavalt nende

mõjupiiridele (kas uus tee, rekonstrueerimine, taastusremont) kehtestada erinevad piirmäärad. Piirmäärade ületamisel tuleb kindlaks teha, mis seda põhjustab ning vajadusel reguleerida garantiiaja kohustusi.

Kui tee väga hea algtasasus on püsinud muutumatuna garantiiperioodi lõpuni, siis võib see olla üheks parameetrik, mille alusel saab töövõtjat motiveerida hea töö eest boonuste maksmise näol.

### **Tekstuur**

Katte tekstuuri muutused annavad kaudselt aimu haardeliste omaduste püsivuse kohta ning see mõõdetakse koos tasetasusega.

### **Haardetegur**

Haardeteguri muutused võimaldavad hinnata, kas ja millises suunas muutub katte seisund liiklusohutuse tagamise seisukohalt ning abinõude rakendamise vajadust nõutava taseme saavutamiseks.

### **Kandevõime**

Tee kandevõime on eelkõige aluseks teekatte remondivajaduse hindamiseks, mistõttu uute katete kandevõimes toimuvate muutuste jälgimine võimaldab kaudselt hinnata, kas valitud remondimeetmed on taganud püsiva kandevõime ehk tee tarindi kui terviku püsivuse.

### **Roobas**

Asfaldist katendikihtide ehitamise juhises on määratletud teekatte maksimaalne roopasügavus, mida katendi eluea lõpuks ei tohi ületada. Väljavõtte „Asfaldist katendikihtide ehitamise juhise (AKEJ)“:

*1.4. Kvaliteedimäärusest ja juhise tulenevaid nõudeid järgides on asfaltkatete projekteeritud eluead sõltuvalt kasutuskohast katendikonstruktsioonis ja konkreetse objekti aasta keskmisest ööpäevasest liiklussagedusest katendi eluea lõpul (edaspidi AKÖL 20) järgmised:*

- a) tingimusel  $AKÖL\ 20 \geq 6000$  on kulumiskihi projektseks elueaks vähemalt 10 aastat ja eluea lõpuks ei ole maksimaalne roopa sügavus suurem kui 15 mm;*
- b) tingimusel  $AKÖL\ 20 < 6000$  on kulumiskihi projektseks elueaks vähemalt 12 aastat ja eluea lõpuks ei ole maksimaalne roopa sügavus suurem kui 17 mm;*
- c) sõltumata  $AKÖL\ 20$  tingimustest on regenereerimistehnoloogiaga (sh kuumtaastamine) taastatud kulumiskihi asfaltkatte eluiga 7 aastat ja eluea lõpuks ei ole maksimaalne roopa sügavus suurem kui 10 mm;*

Kui garantiiaja lõpus on näha trend, et AKEJ-s määratletud maksimaalsed roopasügavused katendi eluea lõpuks ületatakse, tuleb kindlaks teha, mis seda põhjustab ning vajadusel reguleerida garantiiaja kohustusi (garantiiaja pikendamine, mahaarvamised lõppmakselt, ümbertegemine vms).

### **Teekatte põikkalded ja kurviliisus**

Teekatete põikkalded muutuvad kui teekonstruktsioon järeltiheneb või mingil põhjusel ära vajub. Põikkalde muutumine ajas on võimalik parameeter teekonstruktsiooni püsivuse ja kvaliteedi hindamiseks. Tee kurviliisust mõõdetakse sageli automaatselt koos põikkaldega kuid lisaväärtust see katte kvaliteedi kontekstis ei oma ja nõudena vajalik ei ole.

### **Defekteerimine**

Uute katete kontekstis omab defekteerimine erilist tähendust kuna annab võimaluse võrrelda videopilti täiesti uue katte videopildiga samades kohtades ning anda hinnangu katte terviklikkusele ja toimunud muutustele.

### **Uute katete monitooring**

Katete valmimisel teostatavad mõõtmised täidavad olulist rolli uute katete vastuvõtmisel, sh. kvaliteedil põhinevate mahaarvamiste tegemisel. Katete garantiiaja lõpus seni mõõtmistel põhinevat süsteemi pole rakendatud kuigi nõuetes on need kirjeldatud olnud. Eelnimetatud näitajate süsteemne kontrollimine nii katte valmimisel kui garantiiaja lõpus loob täiesti uued võimalused katete kvaliteedi hindamisel püsivuse kontekstis. Andmete

süsteemne mõõtmine on omakorda vältimatuks eelduseks ja baassisendiks analüüsile, mille eesmärk on selgitada välja kas ja millised probleemid uutel katetel esinevad. Selline uute katete monitooring peab analüüsima erinevate mõõdetud parameetrite muutusi ajas ning seoseid erinevate mõõdetavate parameetrite ja visuaalselt määratlevate nähtuste (defektid, defektide alged, visuaalsed muutused katte pealispinna struktuuris, katte parandused jms) vahel. Uute katete monitooringu saab teostada objektide kaupa ning oleks perspektiivis otstarbekas võtta kasutusele tellijapoolse garantiivõtte alusdokumendina. Andmete võrreldavuse huvides tuleb kõik uutel katetel tehtavad määrangud viia võimaluse korral läbi arvestusliku 20 m sammuga (teeregistri jaoks teostatavate mõõtmiste 100 m kordne samm jääb detailseks hindamiseks liiga pikaks. Teeregistri jaoks teostatavaid mõõtmisi saab vajadusel kasutada täiendava infona, selline vajadus esineb suure tõenäosusega probleemsetel lõikudel. Alljärgnevasse tabelisse on koondatud nii täna uutel teostatavad mõõtmised kui soovitatavad mõõtmised katete vastuvõtmisel ja garantiiaja lõpus.

**Tabel 37. Nõuded uute katete kvaliteedi määrangutele mittepurustavate meetoditega**

| Katte omadus      | Katte vastuvõtmisel | Garantiiaja lõpus |
|-------------------|---------------------|-------------------|
| Tihedusnäitajad   | O                   | U                 |
| Tasasus IRI       | O                   | X                 |
| Tasasus IRI4      | O                   | X                 |
| Tekstuur          | O                   | X                 |
| Haardetegur       | O                   | X                 |
| Kandevõime        | O                   | X                 |
| Roobas            | X                   | X                 |
| Põikkalle         | X                   | X                 |
| Kurvilisus        | X                   | -                 |
| Katte paksus      | U                   | -                 |
| Termoskaneerimine | X                   | -                 |
| Defekteerimine    | X                   | X                 |

O – täna teostatavad mõõtmised

X – soovitatavad mõõtmised

U – kasutusvõimalused vajavad täiendavaid uuringuid

## KOKKUVÕTE

Käesolev teadustöö keskendus peamiselt maadaritehnoloogial põhineva mittepurustava vastuvõtusüsteemi väljatöötamisele. Mittepurustavatel meetoditel põhinevatest kvaliteedikontrollisüsteemidest terviklikuma ülevaate saamiseks käsitleti maadaride kõrval ka teisi meetode ning nende rakendamise võimalusi katete vastuvõtmisel. Teiste riikide kogemiste kirjeldamiseks käsitleti nii Skandinaavia kui teiste Euroopa riikide maadaride- ja mittepurustavate meetodite spetsialiste ning uuriti nende riikide norme ja nõudeid. Kaasaegse maadaritehnoloogia võimalustest detailse selguse saamiseks Eesti tüüpilistes tingimustes teostati võrdlevad mõõtmised eri liiki teedel erinevate uusimate maadaritehnoloogiatega, sh. USA tootja GSSI SIR-30'ga koos uusima 2,0 GHz *Noise Reduction* antenniga ning Norra tootja 3d-Radari Geoscope Mark IV *step-frequency* 3d radariga, kasutamiseks teekatete kvaliteedi kontrollil.

Uuringus selgus, et maadaride kasutamise osas ollakse Euroopa riikides üldiselt positiivsed ning paljudel juhtudel on olemas maadarikasutamise osas ka positiivsed näited kuid omegi ei ole maadar leidnud teede ehitusobjektide vastuvõtmise protseduuridesse. Süstemaatilisel maadar uute katete vastuvõtmisel kasutuses üksnes Soomes – selle meetodiga määratakse praktiliselt kõigi riigimaanteed järelevalvaks. Seejuures viisid Soome, Rootsi ja Norra aastatel 2008-2011 läbi uuringu Mara Nord, mille käigus analüüsiti muuhulga Soomes kasutatava meetodika puudusi.

Käesolevas töös ongi kirjeldatud maadaridega katete kvaliteedi määramise protseduur juhendades senisest Põhjamaade parimast praktikast ning Eestis tehtud mõõtmistel saadud kogemustele. Uuring kinnitas, et maadar võimaldab senise puuraugu meetodiga võrreldes tõsta hüppeliselt järelevalvaks määramise mahtu ja sellega ka kvaliteeti kuna juhuslike puuraukude asemel annavad maadaridega määratud tööd kvaliteedi kohta tagasisidet pidevana. Pidev tagasiside töövõtjale koos õiglase motivatsioonisüsteemiga hõlbustab omakorda töövõtja jaoks märkimisväärselt põhjus-tagajärg seoste tuvastamist, mis ongi hea motivatsioonisüsteemi eesmärk.

Jäävpoorsuse osas on kirjeldatud protseduur, mis võimaldab maaradariga mõõta kõiki kuivi kattekihte, mille paksus ületab 30mm. Katte paksuse osas ei võimaldanud ükski testitud maaradarisüsteem eristada alati kõiki kattekihte üksteisest. Võrdluses olnud seadmetest võimaldasid kattekihte üksteisest eristada vaid 3D-radar ja uuringu väliselt testitud Mala Pro Ex maaradarit koos kõrgsagedusliku antenniga. Siiski 3-d radar ei osutunud töökindlaks – see võimaldas eristada kattekihid vaid kahel juhul – ühel korral ühekihilise ja ühel korral kahekihilise katte kuid enamuse juhtudest jättis nii ühe-, kahe-, kui 3 kihilised katted üldse näitamata. Mala Pro Ex süsteemi jaoks otsiti pikalt sobivaid seadistusi ja hilissügisel õnnestus teostada vaid kaks mõõtmist – ühel juhul suudeti eristada kahekihilise katte mõlemad kihid ning teisel juhul kolmekihilise katte teine ja kolmas kiht (ülakihti ei tuvastatud). Uuringus tuvastati, et katte alla jäävaid kihte tuvastasid ülejäänud radarid samaväärselt ja siin on võimalusi rohkem. Uuringus on kirjeldatud maaradariga kattekihtide paksuste mõõtmise 3-astmeline süsteem sõltuvalt sellest, millises ulatus on kihid maaradariga tuvastatavad.

Jäävpoorsuse ja tihendustegurite adekvaatseks määramiseks on hädavajalik üle vaadata puurkehadel põhinev meetodika. Vastuvõtukatsete puhul on oluline tagada kogu protsessi sõltumatus töövõtjast, eriti segu omaduste määramist puudutavas osas. Ka on otstarbekas muuta proovivõtu skeemi.

Muude mittepurustavate meetodite osas esitasime ülevaate nõuete kohta kehtivates juhistes ja esitasime vajadusel ettepanekud nende muutmiseks. Siin käsitlesime kirjeldatud mõõtmisi nagu tasasus, kandevõime (FWD), haardetegur. Lisaks selgitasime vajadust täiendavate mittepurustavate mõõtmiste lisamiseks tuginedes teiste riikide kogemustele ja vastuvõtusüsteemi usaldusväärsuse ja terviklikkuse tagamiseks, sh. IRI4, algroobas, tekstuur, põikkalle, kurvilisus, katte laotamise termograafia, milliste süsteemne rakendamine võimaldab saada usaldusväärse ja objektiivse ülevaate valminud katete kvaliteedist ja võimaldab probleemide analüüsi. Selline iga-aastane analüüs on oluline sisend nii uuringut kavandamiseks kui nõuete täpsustamiseks.



Meie hinnangul täitis uuring oma eesmärgi kirjeldada terviklikult tänapäevase teetööde vastuvõtusüsteemi mittepurustavatel meetoditel põhinevat komponenti, mille kasutamine säästab teekatet mittevajalikest mahukatest puurimistöödest ja sellega kaasnevast kahjust nii teele kui liiklejale aga veelgi olulisem on mittepurustavate meetoditega saadavate mõõtmistulemuste maht ja kvaliteet, mis võimaldab senisest oluliselt ülevaatlikumat ja samas detailsemat ja objektiivsemat tagasisidet.

Olulisel kohal soovitustes on mittepurustavate meetodite rakendamine ehitustööde kvaliteedi püsivuse hindamiseks garantiiperioodi lõpus ja sisendina uute katete monitooringu teostamisel, mis võimaldab hinnata valitud remondimeetmete sobivust ja avastada süsteemseid puudusi, millised võivad vajada sekkumist normdokumentide või juhendite muutmise kaudu või ka täiendavat uurimist.

## SUMMARY

This research focused mainly on non-destructive GPR technology for development of new pavement quality acceptance system. In order to get more comprehensive overview of non-destructive quality control systems, other methods were also reviewed. Experience of other countries was discussed with experts from Scandinavian and other European countries. Newest GPR equipment incl. GSSI's SIR 30 with the latest 2.0 GHz antenna, Noise Reduction, and Geoscope Mark IV 3D step-frequency radar from the Norwegian manufacturer 3d-Radar, were used to find out the possibilities for using such equipment in quality assessment of new pavements and road structures.

The interviews showed that GPR is taken positively in many European countries, and there are good examples available however GPR has not yet systematically in use in new pavements acceptance procedures. The only exemptions have been Finland and Estonia, where GPR has been widely in use determining air void in pavements of national highways. In 2008-2011, Finland, Sweden and Norway conducted a survey Mara Nord, which analysed the shortcomings of the methodology used in Finland and other countries and came up with suggestions.

In this study, new GPR methodology for determining air voids was proposed based on experience and studies from Nordic countries and own experience. It was recognised that compared to traditional drilling method, using GPR drastically increases number of air void measurements. Continuous feedback with proper penalty/bonus system significantly favours the identification of the cause-and-effect relationships, thus motivation well the contractor for better quality.

For air voids, new methodology was described for pavements exceeding thickness of 30mm. For pavement thickness, only Mala Pro Ex with high frequency ground-coupled antenna was able to determine single pavement layers. The other, air-coupled GPR systems, including newest 2,0 GHz antenna and 3D antenna, only detected pavement layers together and other, lower layers. Unfortunately, with Mala system, only 2 measurements were conducted

with proper settings. In one case both pavement layers were detected and in second, bottoms of layers 2 and 3 were detected.

The procedure for determination of air voids and pavement density needs significant upgrade. As these values form the basis for works acceptance, these should be independent from contractors. Some of the main deficiencies are related to determination of mix properties. It is also highly recommended to change the core-sampling scheme and procedure.

For other non-destructive measurements – roughness, bearing capacity and skid resistance, an overview was presented about current requirements in Estonia together with comments and proposals for changes. In addition to these, need for implementing new methods were described - IRI4, initial rutting, texture, cross-fall, curvature and thermographic analysis. These methods have good potential to adequately describe the pavement quality of new pavements. This annual assessment is an important input in the planning of the study when specifying the requirements. When done systematically in years after taking-over, set of these measurements also give valuable feedback to understand the main factors for road deterioration. So it also brings up the needs for updating design and construction guidelines or further research. It was also found that these non-destructive methods could form an excellent basis for end-of-warranty-period evaluation to take forward approach of functional requirements.

In conclusion, we found that current study managed to form good bases for updating new pavement acceptance methodology based on non-destructive methods. These methods not only can reduce harm to the pavements from evaluation with destructive methods but mainly through high amount of quality measurement data it gives proper - continuous high-quality feedback about the actual condition of the road that was not achievable with traditional methods.

## KIRJANDUS

- Geotechnical Society of Finland. (1992). *Ground Penetrating Radar*. Geotechnical Society of Finland.
- Beuving, E. (1999). *Falling Weight Deflectometer*. European Commision.
- David A Wilett, B. R. (2002). *Ground Penetrating Radar "Pavement Layer Thickness Evaluation"*. Kentucky Transportation Cabinet.
- David A Wilett, Brad Ristert. (2002). *Ground Penetrating Radar "Pavement Layer Thickness Evaluation"*. Kentucky Transportation Cabine.
- Department for Transportation. (2013). *Design Manual For Roads and Bridges Volume 7 Section 3 Pavement Maintenance Assessment Part 2 Data for Pavement Assessment*. Department for Transportation.
- Department for Transportation. (Veebruar 2013. a.). *Design Manual For Roads and Bridges Volume 7 Section 3 Pavement Maintenance Assessment Part 2 Data for Pavement Assessment*. United Kingdom.
- Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych I Autostrad . (Märts 2014. a.). *Instrukcja DP - T 14 DOKONYWANIA ODBIORÓW ROBÓT DROGOWYCH REALIZOWANYCH NA DROGACH KRAJOWYCH I AUTOSTRADACH Aktualizacja 2014. 2*. Poland: Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych I Autostrad .
- Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych I Autostrad. (2014). *Instrukcja DP - T 14 DOKONYWANIA ODBIORÓW ROBÓT DROGOWYCH REALIZOWANYCH NA DROGACH KRAJOWYCH I AUTOSTRADACH Aktualizacja 2014*. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych I Autostrad.
- Mara Nord Project. (2011). *Recommendations for guidelines for the use of GPR in road construction quality control* . Rovaniemi: Mara Nord.
- Pank Ry. (2002). *Pääll Ysteen Pituussuuntaisen Tasaisuuden Mittaus (IRI Ja IRI4), Roadmaster* . Pank Ry.

- Pank Ry. (2002). *Päällysteen Pituussuuntaisen Tasaisuuden Mittaus (IRI ja IRI4), Roadmaster*. Pank Ry.
- Pank Ry. (2004). *Pituussuuntainen tasaisuus IRI ja IRI4, PTM-AUTO*. Pank Ry.
- PANK Ry. (16. Jaanuar 2004. a.). *Pituussuuntainen tasaisuus IRI ja IRI4, PTM-AUTO*. PANK Ry.
- Pank Ry. (2004). *Poikkisuuntainen tasaisuus lanka-ura, PTM-auto* . Pank Ry.
- Pank Ry. (2008). *Asfalttipäällysteen tyhjättila, päällystetutkamenetelmä* . Pank Ry.
- Pank Ry. (2013). *Asfalttinormit 2011*. Finland: Pank Ry.
- PANK Ry. (2013). *Asfalttinormit 2011* . Finland: PANK Ry.
- (2005 October). *Pr EN 13036-5: Road and airfield characteristics- Test methods- Part5: Determining of longitudinal unevenness indices*, .
- (kuupäev puudub). *Record No. 1501, ISBN 0-309- 06169-5, Pavement-Vehicle Interaction and Traffic Monitoring; Kapitel 1, On the Calculation of International Roughness Index from Longitudinal Road Profile*". Transportation Research Board.
- Scullion, T., Sebesta, S., & Saarenketo, T. (2013). *Using Infrared and High-Speed Ground-Penetrating Radar for Uniformity Measurements on New HMA Layers*. Texas A&M Transportation Institute. Washington: Transportation Research Board.
- Statens Vegvesen. (2012). *Handbok 111 Standard for drift og vedlikehold av riksveger*. Vegdirektoratet.
- Statens Vegvesen. (2013). *Handbok 018 Vegbygging*. Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen. (22. August 2013. a.). *Statens Vegvesen*. Kasutamise kuupäev: 7. October 2014. a., allikas Statens Vegvesen veebileht:  
<http://www.vegvesen.no/Fag/Teknologi/Vegteknologi/Tilstandsregistrering+p%C3%A5+veg/Spor%2C+ujevnhet+og+tverrfall>
- Stryk, J., & Matula, R. (2014). GPR use and activities in the Czech Republic . *Geophysical Research Abstracts - EGU General Assembly 2014* . 16. EGU.
- Tiehallinto. (2002). *Päällysteiden yleiset arvovähennysperustee* . Helsinki: Edita Oyj .

Tiehallinto. (2006). *Päällysteiden ylläpidon toimintalinjat* . Helsinki: Edita Prima Oy .

Winter Runaway Friction Measurement and Reporting Working Group. (1995). *An Evaluation of Winter Operational Runway Friction Measurement Equipment, Procedures, and Research*. Federal Aviation Administration.

World Bank. (1986). *Technical Paper Number 46: Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*, ISSN 0253-7494. World Bank.

Vägverket. (May 2009. a.). Vägytemätning med mätbil; objektmätning. Sweden: Vägverket.