MAANTEEAMET

Riigiteede pealiskatete vastuvõtukatsetel teostatavate teekatete omaduste mõõtmise metoodika ning mõõteseadmetele esitatavad nõuded

1 Tasasusindeksi IRI mõõtmine

Teekatte tasasust iseloomustava näitajana kasutatakse IRI-arvu (International Roughness Index). IRI on rahvusvaheliselt heaks kiidetud sõidumugavust iseloomustav väärtus, mis arvutatakse standardse sõiduki kere vertikaalsuunaliste võngete summana etteantud teelõigule ning mõõtühikuks on mm/m. Teekatte tasasuse mõõtmiseks kasutatav seade peab kasutama IRI-arvu arvutamisel maailmapanga poolt 1970.a välja töötatud algoritmi. IRI arvutamise metoodika on toodud Maailmapanga tehnilises dokumendis nr 46. Mõõtmistulemuste registreerimine ja nende salvestamine peab toimuma automaatselt arvuti vahendusel.

1.1 Nõuded tee vastuvõtul kasutatavale mõõteseadmele

Uute asfaltkatete vastuvõtumõõdistustel kasutatava mõõteseadme nõutav täpsusklass 1 vastavalt standardile ASTM E950, seega tuleb tee vastuvõtul teekatte tasasuse mõõtmisel kasutada laserseadet.

1.2 Nõuded tee kontrollil kasutatavale mõõteseadmele

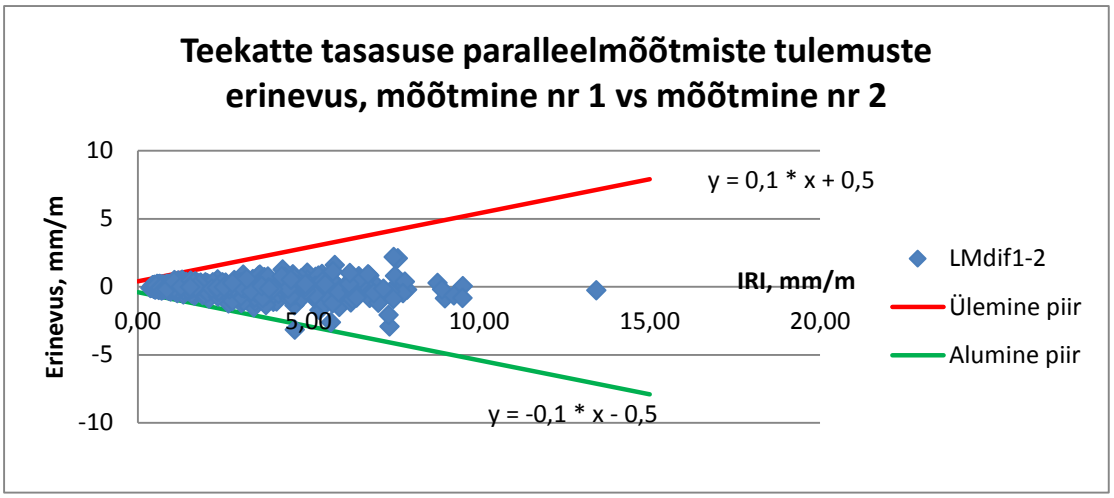
Tee kontrollil võib teekatte tasasuse mõõtmisel lisaks laserseadmele kasutada kiirendusanduril põhinevat mõõteseadet. Tee kontrolliks loetakse mõõdistusi, mis ei ole teostatud uuel asfaldist kulumiskihil, vaid alumiste asfaldikihtide, kruuskatete, lumikatete jms mõõdistamine.

1.3 Tee vastuvõtul kasutatava seadme kalibreerimine ja kontroll

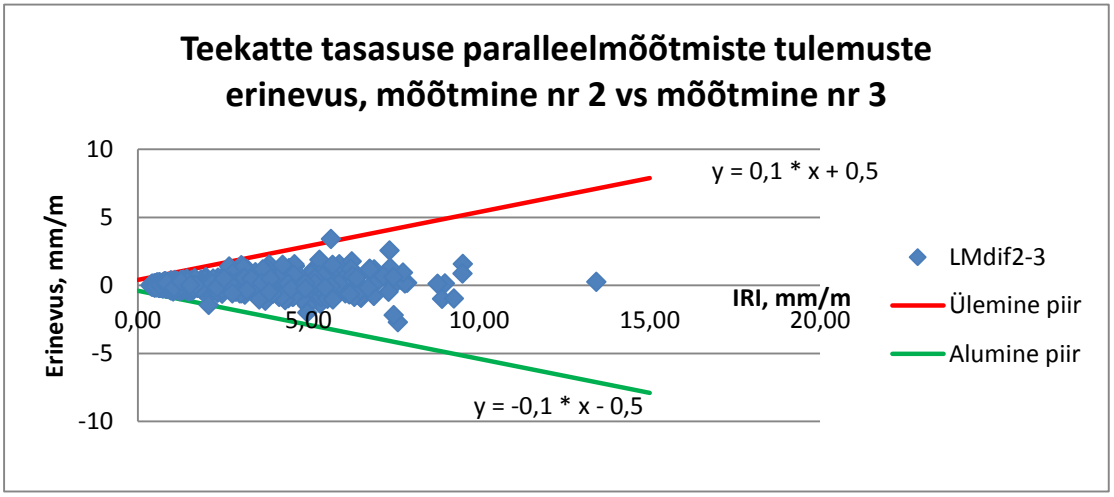
Tee vastuvõtul kasutatava teekatte tasasuse mõõteseadme laser ja kiirendusandurid tuleb igal aastal enne mõõtmishooaega kalibreerida ning esitada sellekohane tõend. Lisaks kalibreerimisele tuleb enne mõõtmistöödega alustamist iga-aastaselt kontrollida mõõteseadme korrasolekut Maanteeameti poolt määratud erineva tasasusega 5 testilõigul. Testilõikude piirid on: IRI<1,5, 1,5<IRI<2,5, 2,5<IRI<3,5, 3,5<IRI<4,5, IRI>4,5. Ühe testilõigu pikkus on 2 – 3 km. Testilõigud peavad paiknema teelõikudel, kus mõõtmisperioodi vältel ei ole plaanis teostada suuremaid remonditöid. Testi käigus teostatakse mõlemas sõidusuunas vähemalt 3 võrdlusmõõtmist. Teekatte tasasuse mõõtmised teostatakse 20 m mõõtmissammuga. Võrdlusmõõtmiste ehk paralleelmõõtmiste erinevusele on piirid on seatud selliselt, et teatud süstemaatiline erinevus, mis alati mõõtmistulemustes esineb, on lubatud. Mida suuremad on mõõdetud IRI-arvud, seda suuremad erinevused on lubatud paralleelmõõtmiste tulemuste osas. Paralleelmõõtmiste võrdluse piiride seadmisel on kasutatud kahte piirväärtust:

- Süstemaatiline erinevus, milleks on arvestatud 0,5 ühikut;

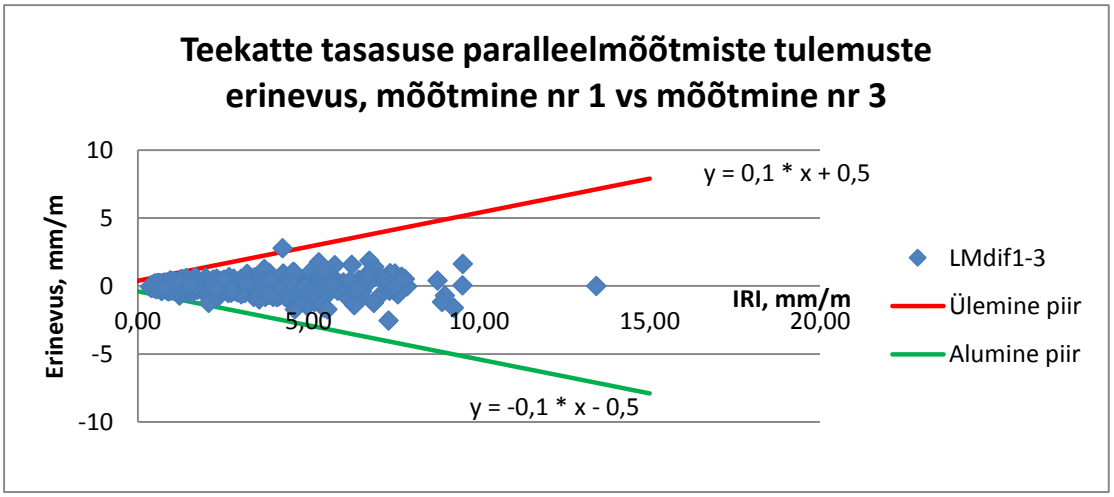
- Lubatud erinevuse kasv, milleks on 0,1 ühikut iga mõõdetud IRI täisarvulise väärtuse kohta.



Joonis 1. Teekatte tasasuse paralleelmõõtmiste tulemuste võrdlus 1 vs 2



Joonis 2. Teekatte tasasuse paralleelmõõtmiste tulemuste võrdlus 2 vs 3



Joonis 3. Teekatte tasasuse paralleelmõõtmiste tulemuste võrdlus 1 vs 3

Joonistel 1-3 on toodud kolme paralleelmõõtmise tulemuste võrdluste näidised. Tabelis 2 on toodud paralleelmõõtmiste tulemuste kokkuvõtted ja esitatud on kolm erinevat parameetrit, millede väärtusi võrdluste teostamisel jälgitakse:

- Piirväärtuste sisse jäävate mõõtmistulemuste osa (%), mis peaks olema võimalikult 100% lähedal;
- Süstemaatiline erinevus, mis peaks olema võimalikult 0 lähedal;
- Korrelatsioon kahe paralleelmõõtmise vahel.

Tabel 1. Teekatte tasasuse paralleelmõõtmiste tulemuste näidis koos piirväärtustega

Võrreldud mõõtmine	**Piirväärtuste sisse jäävate mõõtmistulemuste osa, %**		**Mõõtmistulemuste süstemaatiline erinevus**		**Korrelatsioon**	
	Tulem	**Piirväärtus**	**Tulem**	**Piirväärtus**	**Tulem**	**Piirväärtus[1]**
1 VS 2	96,4%	95,0%	0,034	0,050	0,98	0,90
2 VS 3	95,3%	95,0%	0,036	0,050	0,98	0,90
1 VS 3	96,5%	95,0%	0,003	0,050	0,98	0,90

Testide tulemused esitatakse heakskiitmiseks Maanteeametile. Testide eesmärk on tagada erinevatel aastatel teostatud mõõtmistulemuste omavaheline võrreldavus. Seade lubatakse Maanteeameti poolt mõõtmistöödele pärast seadme osade kalibreerimisakti ja testiakti esitamist. Veendumaks, et mõõteseade on töökorras ning saadud mõõtmistulemused on nõuetele vastavuses, tuleb sarnaseid testmõõtmisi teostada regulaarselt, mõõtmishooajal soovitavalt vähemalt 1 kord kolme kuu jooksul või kohe, kui on ilmnenud olulised muutused kas mõõteseadme, mõõtja või mõõtesõiduki juures. Mõõteseadme väljavahetamise korral viib mõõtja testilõikudel läbi vana ja uue seadme võrdlusmõõtmise, tagamaks uue seadme andmete võrreldavuse eelneva seadme mõõtmisandmetega. Enne uue seadme kasutusele võtmist peab mõõtja esitama Maanteeametile võrdlustesti tulemused. Test viiakse läbi analoogselt iga-aastasele mõõtmistööde eelsele testile.

1.4 Mõõtmine

Teekatte tasasust mõõdetakse uute teekatete vastuvõtuks, sõidutee mõlemal sõidusuunal kõigil sõiduradadel sõiduraja välimises sõidujäljes, tehes igal sõidurajal kolm läbikut. Teekatte tasasust mõõdetakse kuival ja puhtal teekattel, soovitavalt peale markeerimistööde lõppemist. Mõõtmiste samm on 20 meetrit, mõõtmisel kasutatav mõõtmiskiirus peab olema võimalikult ühtlane ja vastama üldisele sõidukiirusele. Eeldatavaks teekatte tasasuse mõõtmise kiiruseks tuleb arvestada keskmiselt 70-80 km/h, kuid mitte vähem kui 50 km/h.

[1] Piirväärtuseid korrelatsioonile saab kasutada nendel juhtudel, kus võrreldakse nn testlõike. Näiteks hea tasasusega ehk väikeste IRI arvudega teede (uute katete) puhul viib väike erinevus paralleelmõõtmiste vahel korrelatsioonikordaja alla.

1.5 Mõõtmisandmed, nende töötlemine ja esitamine

Mõõdetud teekatte tasasuse väärtused peavad olema seotud teeregistri aadress-süsteemiga mõõtmiste teostamise ajal. Tee vastuvõtul teostatud teekatte tasasuse mõõtmistulemused esitatakse peale vormistamist koheselt tellijale või tellija määratud isikule mõõtmiste näidisvormil, mis on toodud käesoleva dokumendi Lisas 1. Teekatte tasasuse mõõtmistulemused teeregistrisse kandmiseks esitatakse Maanteeametile kord aastas peale mõõtehooaja lõppu.

2 Tasasusindeksi IRI4 mõõtmine

Asfaltkatte taastamistöödel, kus töövõtjal ei ole võimalik ehitustöödega tee pikiprofiili olulisel määral parendada, võib kvaliteedikontrollil kasutada parameetrit IRI4. Antud parameeter on sarnane IRI-arvule, kuid selle arvutamisel jäetakse arvestamata ebatasasused, mille lainepikkus on suurem kui 4 meetrit. IRI4 mõõtmine teostatakse sarnaselt IRI-arvu mõõtmisele.

2.1 Nõuded tee vastuvõtul kasutatavale mõõteseadmele

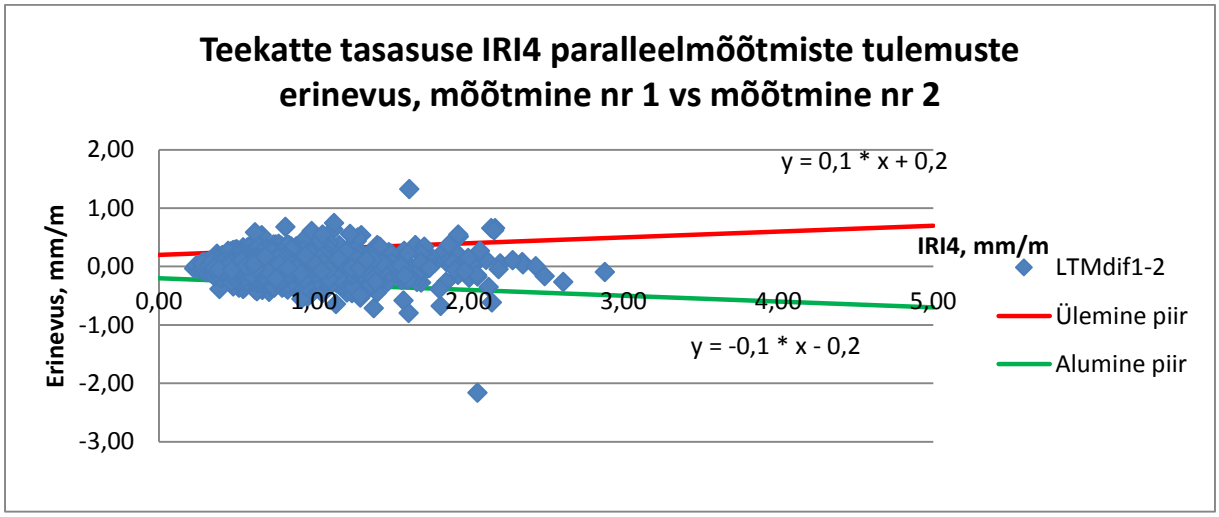
Tee vastuvõtul tuleb teekatte tasasuse näitaja IRI4 mõõtmisel kasutada laserseadet.

2.2 Tee vastuvõtul kasutatava seadme kalibreerimine ja kontroll

Tee vastuvõtul kasutatava teekatte tasasuse mõõteseadme laser ja kiirendusandurid tuleb igal aastal enne mõõtmishooaega kalibreerida vastavat pädevust omava isiku poolt ning esitada sellekohane tõend. Lisaks kalibreerimisele tuleb enne mõõtmistöödega alustamist iga-aastaselt kontrollida mõõteseadme korrasolekut Maanteeameti poolt määratud erineva tasasusega 3 testilõigul. Testilõikude piirid on: IRI4<0,5, 0,5<IRI4<1,5, 1,5<IRI4<3,5. Ühe testilõigu pikkus on 2 – 3 km. Teekatte tasasuse IRI4 nn etalonseadmeks on AS Teede Tehnokeskusele kuuluv seade LTM-1. IRI4 mõõtmiseks kasutatav mõõteseade peab olema võrreldud seadmega LTM-1 ning mõõtmistulemuste vaheline korrelatsioonikordaja piirväärtus R^2 peab oleva vähemalt 0,8. Testlõikudel tuleb mõõtmised teostada kahel erineval mõõtekiirusel 50 km/h ning 80 km/h, igal testlõigul teostatakse kummalgi mõõtekiirusel 3 paralleelmõõtmist.

Erinevatel aegadel teostatud mõõtmistulemuste omavahelise võrreldavuse tagamiseks peavad testlõigud paiknema teelõikudel, kus mõõtmisperioodi vältel ei ole plaanis teostada suuremaid remonditöid. Teekatte tasasuse mõõtmiste tulemused esitatakse 20 m sammuga. Paralleelmõõtmiste võrdluse piirid on seatud selliselt, et teatud süstemaatiline erinevus, mis alati mõõtmistulemustes esineb, on lubatud. Mida suuremad on mõõdetud IRI4-arvud, seda suuremad erinevused on lubatud paralleelmõõtmiste tulemuste osas. Paralleelmõõtmiste võrdluse piiride seadmisel on kasutatud kahte piirväärtust:

- Süstemaatiline erinevus, milleks on arvestatud 0,2 ühikut;
- Lubatud erinevuse kasv, milleks on 0,1 ühikut iga mõõdetud IRI4 täisarvulise väärtuse kohta.



Joonis 4. Teekatte tasasuse IRI4 paralleelmõõtmiste tulemuste võrdlus 1 vs 2

Joonistel 4 on toodud kahe paralleelmõõtmise tulemuste võrdluse näidis. Tabelis 2 on toodud paralleelmõõtmiste tulemuste kokkuvõtted ja esitatud on kolm erinevat parameetrit, millede väärtusi võrdluste teostamisel jälgitakse:

- Piirväärtuste sisse jäävate mõõtmistulemuste osa (%), mis peaks olema võimalikult 100% lähedal;
- Süstemaatiline erinevus, mis peaks olema võimalikult 0 lähedal;
- Korrelatsioon kahe paralleelmõõtmise vahel.

*Tabel 2.Teekatte tasasuse IRI4 paralleelmõõtmiste tulemuste **näidis** koos piirväärtustega*

Võrreldud mõõtmine	Piirväärtuste sisse jäävate mõõtmistulemuste osa, %		Mõõtmistulemuste süstemaatiline erinevus		Korrelatsioon	
	Tulem	Piirväärtus	Tulem	Piirväärtus	Tulem	Piirväärtus[2]
1 VS 2	98,3%	95,0%	0,003	0,010	0,86	0,80
2 VS 3	98,7%	95,0%	0,001	0,010	0,88	0,80
1 VS 3	98,2%	95,0%	0,004	0,010	0,81	0,80

Testide tulemused esitatakse heakskiitmiseks Maanteeametile. Testide eesmärk on lisaks paralleelmõõtmiste korrelatsiooni hindamisele tagada erinevatel aastatel teostatud mõõtmistulemuste omavaheline võrreldavus. Seade lubatakse Maanteeameti poolt mõõtmistöödele pärast seadme osade kalibreerimise tõendi ja testlõikude mõõtmistulemuste esitamist. Veendumaks, et mõõteseade on töökorras ning saadud mõõtmistulemused on

[2] Piirväärtuseid korrelatsioonile saab kasutada nendel juhtudel, kus võrreldakse nn testlõike. Näiteks hea tasasusega ehk väikeste IRI arvudega teede (uute katete) puhul viib väike erinevus paralleelmõõtmiste vahel korrelatsioonikordaja alla.

nõuetele vastavuses, tuleb sarnaseid testmõõtmisi teostada regulaarselt, mõõtmishooajal soovitavalt vähemalt 1 kord kolme kuu jooksul või kohe, kui on ilmnenud olulised muutused kas mõõteseadme, mõõtja või mõõtesõiduki juures. Mõõteseadme väljavahetamise korral viib mõõtja testilõikudel läbi vana ja uue seadme võrdlusmõõtmise, tagamaks uue seadme andmete võrreldavuse eelneva seadme mõõtmisandmetega. Enne uue seadme kasutusele võtmist peab mõõtja esitama Maanteeametile võrdlustesti tulemused. Test viiakse läbi analoogselt iga-aastasele mõõtmistööde eelsele testile.

2.3 Mõõtmine

Teekatte tasasust mõõdetakse uute teekatete vastuvõtuks, sõidutee mõlemal sõidusuunal kõigil sõiduradadel sõiduraja välimises sõidujäljes, tehes igal sõidurajal kolm läbikut. Teekatte tasasust mõõdetakse kuival ja puhtal teekattel, soovitavalt peale markeerimistööde lõppemist. Mõõtmistulemuste esitamise samm on 20 meetrit, mõõtmisel kasutatav mõõtmiskiirus peab olema võimalikult ühtlane ja vastama üldisele sõidukiirusele. Eeldatavaks teekatte tasasuse mõõtmise kiiruseks tuleb arvestada keskmiselt 70-80 km/h, kuid mitte vähem kui 50 km/h.

2.4 Mõõtmisandmed, nende töötlemine ja esitamine

Mõõdetud teekatte tasasuse väärtused peavad olema seotud teeregistri aadress-süsteemiga. Tee vastuvõtul teostatud teekatte tasasuse mõõtmistulemused esitatakse peale vormistamist tellijale või tellija määratud isikule.

3 Haardeteguri mõõtmine

Haarduvust auto ratta ja teepinna vahel iseloomustatakse haardeteguriga μ.

3.1 Nõuded mõõteseadmele

Teekatte haardeteguri mõõtmiseks kasutatava seadmega peab saama määrata niiske katte pikisuunalist haardetegurit. Seadme ratas peab olema paralleelne liikumise suunaga (risti mõõdetava katte paaniga). Seadme rattale peab olema mõõtmise jooksul rakendatud staatiline koormus massiga 500+/- 5 N, rehv peab vastama ASTM 1551 tabeli 2 nõuetele ning rehvi rõhk peab olema vahemikus 205 kuni 209 kPa. Seadmega peab olema võimalik mõõta järgnevalt:

a) fikseeritud libisemisel, kus libisemistegur on fikseeritud vahemikus 1 kuni 75 %;

b) fikseeritud libisemise kiirusel, kus libisemise kiirus peab olema väiksem kui auto liikumiskiirus;

c) muutuval libisemisel, kus seadme ratas pidurdatakse vahemikus 0 kuni 75%, salvestades F30, F60 ja libisemisteguri/haardeteguri kõver.

Seadme ratta pidurdamine peab toimuma selliselt, et oleks tagatud libisemisteguri kontrollitud väärtus kiiruse vahemikus 20 kuni 95 km/h. Seade peab olema varustatud süsteemiga, mis võimaldab tekitada 0,5 mm paksuse veekihi seadme ratta ette. Seade peab võimaldama kõikide andmete kogumist ja salvestamist (seadet vedava sõiduki kiirus, testiratta kiirus, testiratta pidurdusjõud ning staatiline jõud, mis mõjub rattale). Lisaks peab fikseerima mõõtmise hetke katte pinna ja välisõhu temperatuuri (käsitsi või automaatselt). Testiratas peab olema kinnitatud nii, et ta pöörleks vabalt ning talle ei tohi mõjuda mingid välised jõud, staatiline koormus rattale peab rakenduma igal ajahetkel, sõltumata tee ebatasasusest.

3.2 Seadme kalibreerimine ja kontroll

Teekatte haardeteguri mõõtmise seade tuleb iga kahe mõõtehooaja järel kalibreerida. Kalibreerimise käigus tuleb teostada muuhulgas võrdlusmõõtmine vähemalt ühe sarnasel tehnoloogial põhineva ning kehtivat kalibreerimistunnistust omava mõõteseadmega.

3.3 Mõõtmine

Teekatte haardetegurit mõõdetakse uute teekatete vastuvõtuks sõidutee mõlemal sõidusuunal kõigil sõiduradadel sõiduraja välimises sõidujäljes. Teekatte haardetegurit mõõdetakse kuival ja puhtal teekattel soovitavalt peale markeerimistööde lõppemist. Teekatte haardeteguri mõõtmised tuleb teostada fikseeritud libisemisel, kusjuures libisemise määr peab olema seadistatud 20 %. Mõõtmiste samm on 20 meetrit, mõõtmisel kasutatav mõõtmiskiirus peab olema võimalikult lähedal 60 km/h.

3.4 Mõõtmisandmed, nende töötlemine ja esitamine

Mõõdetud teekatte haardeteguri väärtused peavad olema seotud teeregistri aadress-süsteemiga mõõtmiste teostamise ajal. Teekatte haardeteguri mõõtmistulemused esitatakse peale vormistamist koheselt tellijale või tellija määratud isikule mõõtmiste näidisvormil, mis on toodud käesoleva dokumendi Lisas 2. Teekatte haardeteguri mõõtmistulemused teeregistri jaoks esitatakse Maanteeametile kord aastas pärast mõõtehooaja lõppu.

4 Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmine

Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmised teostatakse langeva raskusega koormusseadmega (FWD-seadmega).

4.1 Nõuded mõõteseadmele

Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmisel tuleb kasutada langeva koormusega seadet (Falling Weight Deflectometer – FWD), mille põhiosadeks on langev raskus, koormusplaat ning jõu- ja vajumisandurid koos elektroonilise mõõteplokiga. Üheaegselt peab kasutusel olema vähemalt seitse vajumisandurit, millede asukohad koormusplaadi keskosa suhtes on järgmised - 0, 300, 600, 750, 900, 1200 ja 1500 mm. Mõõtmistulemuste registreerimine, töötlemine ning salvestamine toimub mõõteploki ja sellega ühendatud arvuti abil vahetult mõõtmiskohal. Lisaks läbivajumiste registreerimisele peab mõõtmiskohal registreerima mõõtmiste asukoha (vastavalt teeregistri aadress-süsteemile), kuupäeva, kellaaja, õhu- ja katte temperatuurid (nii katte sees kui selle pinnal) ning koormamise jõu. Langeva raskuse suurus ja langemiskõrgus peavad olema valitud selliselt, et saavutatakse normveoauto rattapaarile vastav koormus 50 kN. Samas peab olema võimalik seda vajadusel muuta. Kandevõime mõõtmisel tehakse kaks eellööki ja mõõtmistulemused registreeritakse kolmanda löögi ajal.

4.2 Seadme kalibreerimine ja kontroll

Mõõteseade peab olema kontrollitud kord aastas mõõteperioodi välisel ajal. Kontrolli käigus kalibreeritakse seadme erinevad andurid: koormusandur, teekatte pinna infrapuna-temperatuuriandur, õhutemperatuuri andur ning deformatsiooniandurid. Mõõteseadme andurite kalibreerimise kohta peavad mõõtjal olema kehtivad tunnistused. Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmiseks kasutatav seade peab olema läbinud rahvusvahelise võrdlustesti vähemalt kord kolme aasta jooksul.

4.3 Mõõtmine

Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmised teostatakse kõigil sõiduradadel parempoolses (välimises) sõidujäljes 100 meetrise mõõtmissammuga. Kõrvutiasetsevatel sõiduradadel nihutatakse mõõtepunktide asukohti omavahel 50m (mõõtmine malekorras). Mõõtmise ajal registreeritakse teekatte pinna- ja õhu temperatuurid igas kandevõime mõõtmise punktis. Temperatuur teekatte sees (kattekihi keskosas) mõõdetakse mõõtmislõigu alguses ja iga 1 tunni möödudes või kui teekatte pinna temperatuur on muutunud rohkem kui 5^0C võrra eelmisest mõõtmise kohast. Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmised katkestatakse kui temperatuur teekatte sees on langenud alla $+5^0$C või tõusnud üle $+30^0$C või kui teekatte pinna temperatuur on alla 0^0C või üle $+35^0$C.

4.4 Mõõtmisandmed, nende töötlemine ja esitamine

Mõõdetud teekonstruktsiooni kandevõimet iseloomustavad läbipainded ja erinevad temperatuurid ning muud andmed tuleb esitada Teeregistri aadress-süsteemis (tee on jagatud teeosadeks ja iga teeosa algusest esitatakse andmed 100 meetrise sammuga). Katendi üldise elastsusmooduli arvutus tuleb teostada vastavalt A. Aaviku doktoritöös „Teekatendite tugevuse hindamise metoodilised alused Eesti teekatendite hoiu süsteemis (EPMS)“ 2003. a välja töötatud valemile:

$$E_{eq2001-52} = C \times E_{eq}^{e} \times T^{t} \times M_i$$

kus:

T – bituumensideainega töödeldud kihi keskmine temperatuur FWD-ga mõõtmise ajal, ˚C;
Mi – tegur, mis arvestab konkreetset kuud, millal FWD-ga mõõtmine toimus (i=4…10, aprill – oktoober);
C, e, t – empiirilised konstandid (tabel 3).

Tabel 3. Konstandid Eeq2001-52 määramiseks

Empiirilised konstandid		e	0,793
	t	0,098	
	C	2,039	
Kuud arvestav tegur	m4 – aprill		1,000
	m5 – mai	0,911	
	m6 - juuni	0,830	
	m7 – juuli	0,816	
	m8 – august	0,831	
	m9 – september	0,825	
	m10 – oktoober	0,817	

E_eq=(0,25πFS(1-v^2))/d_0
kus:

F – kontaktsurve koormusplaadi all, kPa;
S – koormusplaadi diameeter, mm;
v – Poisson’i tegur;
d0 – deformatsioon koormusplaadi keskel, µm.

Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmistulemused esitatakse peale vormistamist koheselt tellijale või tellija määratud isikule mõõtmiste näidisvormil, mis on toodud käesoleva

dokumendi Lisas 3. Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmistulemused teeregistri jaoks esitatakse Maanteeametile kord aastas pärast mõõtehooaja lõppu.

5 Jäävpoorsuse mõõtmine maaradariga

Maaradar-tehnoloogia (GPR e. Ground Penetrating Radar) võimaldab mõõta teekatte dielektrilisi väärtusi, milliste põhjal omakorda arvutatakse teekatte jäävpoorsused. Meetod sobib kasutamiseks asfaldist kattekihtide jäävpoorsuse määramiseks, sõltumata mõõdetava kihi alusest. Meetodi kirjeldamisel on muuhulgas tuginetud alljärgnevale:

- PANK 4122, Asfalttipäällysteen tyhjätila, päällystetutkamenetelmä 1999/2008.
- Roimela P., 1998. Tielaitoksen selvityksiä 4/1998, Päällystetutkatutkimukset 1996-1997, TIEL 3200499.
- Tielaitoksen selvityksiä 6/1999, Päällystetutka tiiviyden laadunvalvonnassa, TIEL 3200552.
- PANK 4114, Asfalttipäällysteen tyhjätila ja muut tilavuussuhteet.
- Scullion T., Lau C. L., Saarenketo T., Performance Specifications of Ground Penetrating Radar; Proceedings of Sixth International Conference on Ground-Penetrating Radar. Sendai, Japan, 1996. p. 341-346.
- Ullberg J. et al. 2011. Recommendations for guidelines for the use of GPR in asphalt air voids content measurement. Mara Nord Project.

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 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 märja või külmunud katte korral.

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.

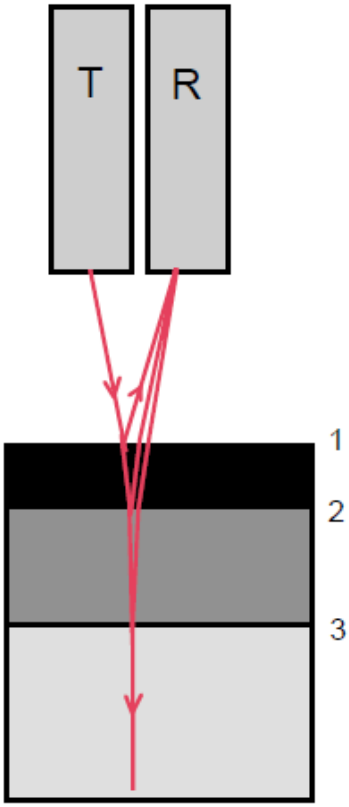
Jäävpoorsuse mõõtmine põhineb katte dielektriliste väärtuste muutumisel. Dielektriline läbitavus on üks materjali elektrilisi omadusi iseloomustavaid näitajaid. Katte dielektrilised omadused sõltuvad katte komponentide dielektrilistest omadustest. Katet tihendades katte poorsus väheneb ning suurema dielektrilise 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.

Õhk-paar 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. Dielektriline väärtus ε_r leitakse alljärgneva valemiga:

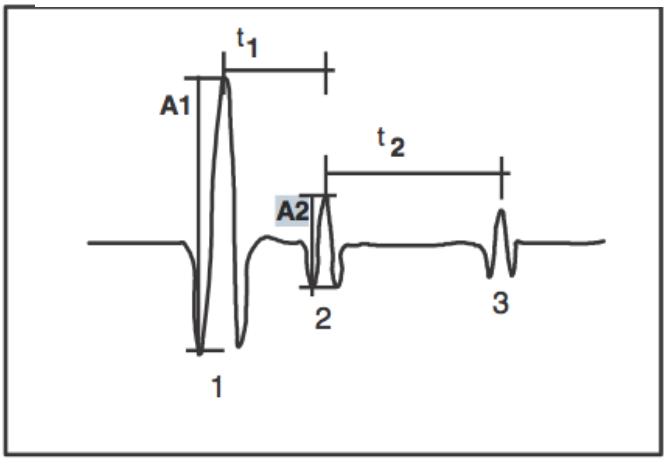
$$\varepsilon_r = \left(\frac{1 - {A_a}/{A_m}}{1 + {A_a}/{A_m}} \right)^2$$

kus:

- A_a - tagasipeegeldumise amplituud kattelt
- A_m - tagasipeegeldumise amplituud metallplaadilt



Impulsi peegeldumiste amplituudide graafik



t1 – impulsi kulgemise aeg katte ülakihis

t2 – impulsi kulgemise aeg katte alakihis

A1 – peegeldunud signaali amplituud ülakihi pinnal

A2 – peegeldunud signaali amplituud alakihi pinnal

5.1 Nõuded tee vastuvõtul kasutatavale mõõteseadmele

- vähemalt 1,0 GHz õhk-paarantenn (*air-coupled antenna*);
- mõõtmisandmete registreerimise ja salvestamise süsteem;
- baassõiduk;
- arvuti koos andmetöötlustarkvaraga.

5.2 Tee vastuvõtul kasutatava seadme kalibreerimine ja kontroll

Seadme töökindlust tõendatakse mõõtmiste teostaja poolt välja antava maaradari kalibreerimistunnistusega, milles näidatakse kahe samas kohas teostatud paralleelmõõtmise võrdlustesti tulemused ja millest nähtub paralleelmõõtmiste kokkulangevus. Mõõtmiste kokkulangevust näidatakse mõõtmisjoonte vahelise korrelatsioonikordajaga (peab olema > 0,5) ning mõõtmiste normaaljaotuste kokkulangevust normaaljaotuse väärtuste vahelise

korrelatsioonikordajaga (peab olema > 0,95). Mõõtmistulemused esitatakse kalibreerimistunnistuse lisana. Võrdlustesti mõõtmisandmed säilitatakse.

Mõõtelõiguks valitakse vähemalt 500 meetrine lõik, millel tehakse ühest ja samast jäljest kaks järjestikust mõõtmist. Mõõtmistel tuleb jälgida, et paralleelmõõtmised paikneksid võimalikult samal joonel. Mõõtmised teostatakse maksimaalselt ühe tunni jooksul. Mõõtetööde tulemustena saadakse suhtelised dielektrilisuse väärtused (Er), mis taandatakse 1 meetristeks lõikudeks. Er väärtuste põhjal arvutatakse katendi teoreetilised jäävpoorsuse näitajad. Selleks valitakse mõõtejoonel üks ristlõige ja määratakse, et valitud kohas on hüpoteetiline jäävpoorsus. Saadud koefitsiendi abil arvutatakse jäävpoorsused ülejäänud lõigule. Kuna kaks mõõtejoont ei kattu ideaalselt (mõõtmisel tekivad paratamatult kahe joone mõningad piki- ja põikisuunalised kõrvalekalded), siis selle mõju vähendamiseks arvutatakse jäävpoorsusnäitajad 10 meetri jooksva keskmisena. Seejärel võrreldakse kahe mõõtmisjoone jäävpoorsuste väärtuste Pearsoni korrelatsiooni. Lisaks võrreldakse kahe paralleelmõõtmise (1 m taandatuna) jäävpoorsuse normaaljaotuse väärtuste (jäävpoorsus 0,1% sammuga) Pearsoni korrelatsiooni.

5.3 Mõõtmine

Mõõtmistulemused salvestatakse minimaalselt sagedusega 4 mõõtmist (skaneerimist) meetri kohta. Mõõtmised teostatakse võimalikult ühtlase kiirusega. Üks mõõtmine haarab ala umbes 300 mm x 300 mm. Mõõdetakse vähemalt üks profiil igal põhisõidurajal rattajälgede vahelt[3] ning põhisõiduradade vahelised vuugid. Iga mõõtmine teostatakse ühtse profiilina algusest lõpuni. Põhjendatud vajadusel võidakse kokku leppida eeltoodust erinevas mõõtejoonte pikkuses, koguses ja asukohas.

Mõõtmisi ei ole lubatud teostada vihmaga või märjal kattel. Samuti ei ole mõõtmisi lubatud teostada kui katend on külmunud või kui õhutemperatuuril alla +1°C.

5.4 Mõõtmisandmed, nende töötlemine ja esitamine

Tee vastuvõtul teostatud teekatte poorsuse mõõtmistulemused esitatakse peale vormistamist koheselt tellijale või tellija määratud isikule. Poorsuse määramine põhineb katte keskmisel dielektrilisel väärtusel, kasutades ära uuringuid, milles laboratoorsete katsete abil on leitud funktsioon materjali dielektrilisuse ja jäävpoorsuse vahel (Roimela 1998). Potentsiaalsed tee ristlõiked proovivõtuks e. eelvalikukohad kinnistatakse värviga kattele vahetult enne mõõtmiste teostamist ning mõõtmiste ajal lisatakse elektroonilised asukohamärked maaradariandmetele. Eelvalikukohti peab olema vähemalt 3 ja need valitakse võimaluse korral täispikettidel selliselt, et eelvalikukohtade kaugused objekti otsest ja üksteisest oleksid võimalikult ühesugused – so. ¼ objekti pikkusest. Proovivõtuks valitakse need eelvalikukohad (tavaliselt kaks kohta), mille piirkonnas ε_r väärtused on kõige lähedasemad katte keskmisele. Proovivõtuks valitakse selline koht eelvalikukoha piirkonnast, mille vahetus läheduses ε_r väärtused hälbivad vähim (ε_r kõikumine meetri kohta <0,2). Sellistest kohtadest võetakse kokku 4 proovikeha sõiduradadelt ja 4 proovikeha vuugist eeldusel, et kogu objekti ulatuses on kasutatud sama segu. Proovikehad peab võtma mõõtetööde teostaja poolt näidatud kohtadest viimase juuresolekul. Kalibreerimisproovikehad võetakse ning nende jäävpoorsused ja tihendustegurid ning erimass määratakse EVS-EN standardi kohaselt

[3] Mõõtmised tuleb teostada rattajälgede vahelt kuna raskeliikluse mõjul võib rattajälgedes toimuda märkimisväärne järeltihenemine väga lühikese ajaga pärast katte avamist liiklusele.

akrediteeritud laboratooriumis. Igale mõõterajale arvutatakse jäävpoorsused 1 m pikkuste lõikude keskmistena alljärgneva valemiga.

$$y = 272{,}93e^{-1{,}3012k\varepsilon_r}, \text{ kus}$$

- k on kalibreerimistegur;
- ε_r on mõõdetud dielektrilisuse väärtus.

Tulemused esitatakse protokollina ja selles esitatakse vähemalt järgnev info:

- andmed mõõtmised teostanud organisatsiooni kohta (mõõtetööde teostaja);
- andmed kliendi kohta;
- viide mõõtmismeetodile ja teave kasutatud mõõteseadme ja tarkvara kohta;
- objekti number ja muu üldine teave;
- objekti kogupikkus;
- mõõtmise aeg;
- segu mark ja jäävpoorsuste normatiivsed piirväärtused (nii rajad kui vuuk);
- tulemused mõõdetud radade kaupa ja objektile:
    - raja kogupikkus;
    - dielektrilisuse keskväärtus, jäävpoorsuse keskväärtus ja standardhälve, tihendusteguri keskväärtus ja standardhälve;
    - kõrvalekallete maht piirväärtustest meetrites ja protsentides;
    - graafiliselt: jäävpoorsuse ja tihendusteguri normaaljaotus ning kõrvalekallete maht piirväärtustest meetrites;
- kalibreerimisandmed:
    - kalibreerimisproovikehade asukohad: eelvalikukohad, täpsed asukohad;
    - kalibreerimisproovikehade katseandmed: erimass, mahumassid, jäävpoorsused ja tihendustegurid ning kalibreerimistegurid;
    - keskmine kalibreerimistegur, sellele vastav keskmine jäävpoorsus ja dielektriline läbitavus;
- seguretsepti andmed:
    - seguretsepti number ja kuupäev;
    - seguprojekti andmed: erimass, mahumass ja jäävpoorsus;
- viited nõuetele ja vastuvõtueeskirjale;
- viited erisustele;
- lisad:
    - puurkehade katseprotokoll (erimass, mahumassid, jäävpoorsused ja tihendustegurid);
    - seguprojekt (esileht);

Juhul kui kalibreerimistegurid erinevad üksteisest märgatavalt, peab aruandes esitama selle kohta põhjenduse.

Maaradariga jäävpoorsuse mõõtmise täpsus mõõtmiste täpsus ±0,9% (Roimela 1998). Selline statistiline tulemus on saadud võrreldes puurkehade tulemusi ja maaradari mõõtetulemusi samades kohtades (R=0.9223).

5.5 Maaradariga jäävpoorsuse mõõtmise mittevõimalikkuse põhjendamine

Jäävpoorsuse mõõtmine on üldjuhul soovitatav teostada maaradariga. Seda meetodi võime tõttu anda ülevaatlikud andmed kogu katte pikkuses. Siiski esineb üksikuid olukordi, kus katte

jäävpoorsuse maaradariga mõõtmine ei ole võimalik või puudub võimalus seda saada Eestist. Sellisel juhul peab maaradariga jäävpoorsuse mõõtmise teenuse tellija kinnitama, et esineb üks kolmest olukorrast:

1) Eestis teenust ei pakuta (vajalik Eestis registreeritud teenusepakkuja kinnituskiri)
2) ilmastikust tingitud põhjustel (vajalik teenusepakkuja kinnituskiri)
3) muud põhjused (vajalik teenusepakkuja kinnituskiri)

Kinnituskirja peab koostama teenusepakkuja, kel on vähemalt 3-aastane maaradariga jäävpoorsuse mõõtmise kogemus. Ilmastikust tingitud põhjuseks loetakse olukorda, kus katte paigaldamise järgselt tellitud tööd pole olnud võimalik läbi viia mõõtmisteks vajaliku kuiva katte puudumise tõttu kuu 28 päeva jooksul. Selline olukord võib tekkida perioodil oktoober-aprill. Muude põhjustena märgitakse olukord, kus mõõtmised küll teostati kuid andmed ei ole kasutatavad nt jäävpoorsuse ja dielektrilise väärtuse tavapärasest erinev suhe või muu keskkonnast või materjalidest tingitud häiring. Põhjendatud juhul, kui maaradariga mõõtmisi ei ole võimalik ehitustöövõtjast mittetingitud põhjustel teostada, on ehitustöövõtjal õigus teostada mõõtmised traditsioonilisel viisil, kasutades kogu objektil tavapärast, puuritud proovikehadel põhinevat meetodit. Kõik proovikehad võetakse poolte osavõtul akrediteeritud labori poolt ning nende proovikehade jäävpoorsused, tihendustegurid ja erimass määratakse akrediteeritud (EVS-EN standardi kohaselt) laboratooriumi poolt.

6. Ohutusnõuded sõidukile ja mõõtjale

Mõõtmist teostav töövõtja vastutab ohutuse eest. Teekatte tasasuse mõõtmiseks kasutatav sõiduk peab olema varustatud nõutavate hoiatusvahenditega. Sõiduki katusel peab olema ette- ja tahapoole selgelt nähtav silt “Mõõtetööd”, ja vähemalt 2 kollast CE nõuetele vastavat vilkurit. Mõõtja peab sõidukist väljudes kasutama nõuetele vastavat ohutusvesti.

LISAD

Lisa 1 Teekatte tasasuse mõõtmistulemuste esitamise näidisvorm
Lisa 2 Teekatte haardeteguri mõõtmistulemuste esitamise näidisvorm
Lisa 3 Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmistulemuste esitamise näidisvorm