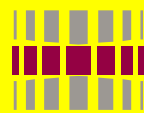


**Geosünteeetika kasutamine teekatendis maantee
15111 km 0,0-8,7 remondi näitel**

LÕPPARUANNE



1918
TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOL
TEEDEINSTITUUT

2009-15/L



MAANTEEAMET

Tallinn 2013

Teadustöö klass 2.8

TEADUSTÖÖ Lep8132

**GEOSÜNTEETIKA KASUTAMINE TEEKATENDIS MAANTEE 15111 KM 0,0-8,7
REMONDI NÄITEL**

LÕPPARUANNE

Tellija: MAANTEEAMET

Lepingu vastutav täitja: prof. ANDRUS AAVIK

15.11.2013

Tallinn 2013

TEADUSTÖÖ LÕPPARUANNE

GEOSÜNTEETIKA KASUTAMINE TEEKATENDIS MAANTEE 15111 KM 0,0-8,7 REMONDI NÄITEL

Käesolev teadustöö **Geosüntetika kasutamine teekatendis maantee 15111 km 0,0-8,7 remondi näitel** lõpparuanne on koostatud Maanteeameti ja TTÜ teedeinstituudi vahel 15.12.2008.a. sõlmitud töövõtulepingu nr. Lep8132 alusel.

Teadustöö lõpparuande koostasid:

1. Professor Andrus Aavik, lepingu vastutav täitja, lepingu põhitäitja - ptk. 2: FWD mõõtmistulemused, ptk. 3: Tasasus, ptk. 4: Roopasügavus, ptk. 5: Defektid, ptk. 6: Liiklusloendus ja Kokkuvõte;
2. Professor Artu Ellmann, lepingu põhitäitja – ptk. 7: Nivelleerimismärkide ja –reeperite kõrguste ning vajumiste määramine;
3. Doktorant Priit Paabo – ptk.1: Ehitusprotsessi kirjeldus.

SISUKORD

LK

	TEADUSTÖÖ LÄHTEÜLESANNE	6
1.	EHITUSPROTSESSI KIRJELDUS	10
1.1.	Tee üldiseloomustus	10
1.2.	Esialgne projekt	11
1.3.	Geosünteedide lahendus	12
1.4.	Ehitustegevus geosünteedidega lõikudel	15
1.4.1.	Soolõik	15
1.4.2.	Muud lõigud	21
1.5.	Remondi maksumus	23
2.	FWD MÕÕTMISTULEMUSED	28
2.1.	Katendi üldise E-mooduli arvutamine FWD mõõtmistulemuste alusel	28
2.2.	Elastusmoodulid kruusa ja killustiku kihil ning mustkattel peale ehitamist	30
2.3.	Elastusmoodulid katendikonstruktsiooni pinnal	37
2.4.	Katendikonstruktsiooni tugevuse analüüs FWD vajumikausi parameetrite alusel	41
2.5.	Seos katendi üldise E-mooduli ja FWD vajumikausi parameetrite vahel	52
3.	TASASUS	55
4.	ROOPASÜGAVUS	62
5.	DEFEKTID	73
6.	LIIKLUSLOENDUS	78
7.	NIVELLEERIMISMÄRKIDE JA –REEPERITE KÕRGUSTE NING VAJUMISTE MÄÄRAMINE	86
7.1.	Aruande lühikokkuvõte	86
7.2.	Sissejuhatus	86
7.3.	Nivelleerimisreeperite püsivuse väljaselgitamine	87
7.4.	Nivelleerimismärkide kõrgused ja vajumid XII, XIII ja XIV mõõtmistsüklis	90
7.5.	Kasutatud instrumendid ja tarvikud	103
7.6.	Nivelliiri ja lattide kontroll	105
7.7.	Mõõtmiste metoodika ja nivelleerimistulemuste andmetöötluse põhimõtted	106
7.8.	Mõõtmisandmete säilitamine	107
	KOKKUVÕTE	108

	LISAD – vt failid <i>Lisa 1, Lisa 2, Lisa 3, Lisa 4, Lisad 5-9, Lisa 10</i> CD-I koos aruande elektroonilise versiooniga	
Lisa 1	Projekteeritud katendikonstruktsioon - Tinterprojekt	CD
Lisa 2	BBG katendiarvutus (geosünteedidega)	CD
Lisa 3	Geovõrgu Sequgrid Q1 tugevuskarakteristikud	CD
Lisa 4	Geostekstiili Tenax TS tugevuskarakteristikud	CD
Lisa 5	FWD mõõtmistulemused ja nende alusel arvutatud elastsusmoodulid pinnatud mustkattel	CD
Lisa 6	Arvutuslikule temperatuurile (+10 °C) ja normkoormusele (707 kPa, 50 kN) taandatud FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud vajumikausi parameetrid SCI, BDI ja BCI	CD
Lisa 7	Tasasuse mõõtmistulemused	CD
Lisa 8	Roopasügavuse mõõtmistulemused	CD
Lisa 9	Liiklusloenduse tulemused	CD
Lisa 10	Türi ilmajaama andmed I-XIV nivelleerimistsüklites 2009-2013 aastatel	CD

TEADUSTÖÖ LÄHTEÜLESANNE

GEOSÜNTEETIKA KASUTAMINE TEEKATENDIS MAANTEE 15111 km 0,0-8,7 **REMONDI NÄITEL**

1. Probleemipüstitus

Koormused Eesti teedel on viimaste kümnendite jooksul kordades kasvanud ja kasv jätkub ka käesoleval ajal. Samas on infrastruktuuri objektid (tänavad, teed, raudteed, sadamad, lennuväljad) olnud alafinantseeritud – eksisteerib püsiv vajadus nii uute objektide ehitamiseks kui ka olemasolevate rekonstrueerimiseks ja remondiks.

Ehitustegevuse aluseks on üldjuhul projekt. Teeprojekti üheks oluliseks osaks on katendi arvutus. Erinevates riikides kasutatakse katendi arvutamiseks erinevat metoodikat. Eestis arvutatakse katend elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 järgi, mis peamiselt tugineb venekeelsele instruksioonile BCH 46-83. Siiski ei lahenda nimetatud juhend kõiki teedeinseneri ette kerkivaid probleeme ega rahulda kaasaja vajadusi. Teedeehituses kasutatavaid nõuetele vastavaid mineraalmaterjale jääb Eestis igapäevaselt vähemaks ja sobiliku materjali hankimine võib osutuda tõsiseks probleemiks. See viib alternatiivsete lahenduste otsimise juurde – näiteks ehitusjäätmete kasutamine mineraalmaterjalina, geosünteedide (membraanid, tekstiilid, võrgud) kasutamine, pinnaste stabiliseerimine jne. Koheselt kerkib järgmine probleem – kuidas teostada katendi arvutus? Ehitusjäätmete puhul on ehk võimalik määrata vajalikud parameetrid ja arvutada katend 2001-52 juhendi järgi. Aga kui kasutada näiteks geosünteede või pinnase stabiliseerimise meetodit? Puuduvad ju meil vastavad teadmised arvutuskäigu kohta ning ka vastav kogemuste hulk pole just liiga suur. Tihti on lahenduseks materjali tootja või tehnoloogia valdaja poolt tehtavad arvutused, mis klassifitseeruvad ärisaladuseks ning mida seetõttu ehitaja ega tellija kontrollida ei saa. Siiski oleks vaja lisaks pimesi usaldamisele jõuda niikaugele, et ka Eesti tasandil oleks võimalik veenduda väljapakutud lahenduse optimaalsuses. Selleni jõudmiseks on vajalik eelkõige suurendada vastavate spetsiifiliste meetodite ja tehnoloogia kasutusnäidete hulka, et siis vaatluste, mõõtmiste ja analüüsi teel järeldusteni jõuda. Ideaalis oleks lõpptulemusteks lisaks oskusele kogemuslikult katendi lahendust hinnata ka arvutusmetoodikate leidmine ning arvestades Eestis viimasel ajal palju räägitud teadmistepõhisest suunast majanduses, jõuda niikaugele, et suudame vähemalt Euroopa-mõõtmes välja pakkuda (eksportida) uuenduslikke materjale või tehnoloogilisi lahendusi.

2. Teadustöö eesmärk

Käesoleva teadustöö põhieesmärk on uurida geosünteedide kasutusvõimalusi ja otstarbekust katendite konstrueerimisel T 15111 näitel. Anda soovitused analoogseid soolõike läbivate teede ehitamiseks ja remontimiseks.

3. Teadustöö kirjeldus

Teadustöö aluseks on info, mis saadakse T 15111 Lokuta – Roovere tee km 0,0 – km 8,7 remondiobjektilt. Nimetatud objektil on ette nähtud kasutada geotekstiili ja geovõrku erinevates teelõikudes kokku ca 5,5 km ulatuses alternatiivina kogu ebasobiva pinnase väljakaevamisele.

Maantee nr. 15111:
Pindamine graniitkillustikuga
MSE 16, h=5 cm
Killustikalus, h=20 cm
Purukruus, h=20 cm
Looduslik kruus, h=20 cm
Geovõrk Secugrid 30/30 Q1*
Geotekstiil TS 2*
Kruusast tasanduskiht (vajadusel)
Olemasolev kruuskate (tee õgvendustel uus muldkeha)

* - Geotekstiil ja geovõrk paigaldatakse PK 0+00 kuni PK 9+75, PK 12+00 kuni PK 14+25, PK 18+50 kuni PK 26+50, PK 45+00 kuni PK 49+30, PK 51+00 kuni PK 57+00, PK 58+00 kuni PK 61+50 ja PK 64+00 kuni PK 86+00.

Projekteeritud tee kulgeb mööda olemasolevat teed, v. a. õgvendused. Aluspinnased lõigu ulatuses erinevad liivastest pinnastest soiste pinnasteni. Eriliselt huvipakkuv on ca 500 m pikkune lõik, mis ületab soo ja kus muldkeha all on kuni 2 m paksune turbakiht.

Teekonstruktsiooni seisukorda hinnatakse teel ehitamise ajal ja peale valmimist tehtavate mõõtmistega:

- Vajumised (geodeetilise nivelleerimisega);
- Kandevõime FWD sedamega;
- Katte tasasus IRI mõõtmisega.

3.1. Geodeetiline nivelleerimine

Geodeetiline nivelleerimine teostatakse:

- Soolõigul (PK 04+50 ... PK 09+75) iga 50 m tagant ristlõike kolmes punktis (kokku 12x3 mõõtepunkti).
- Ülejäänud lõikudel, kus geotekstiili ja geovõrke kasutatakse (PK 00+00 ... PK 04+50, PK 12+00 ... PK 14+25, PK 18+50 ... PK 26+50, PK 45+00 ... PK 49+30, PK 51+00 ... PK 57+00, PK 58+00 ... PK 61+50 ja PK 64+00 ... PK 86+00) (kokku 7 lõiku), teostatakse geodeetilised mõõtmised igal lõigul valitud kolmes mõõtekohas (igas mõõtekohas ristlõike kolmes punkti, kokku 7x3x3 mõõtepunkti).

Geodeetiliste nivelleerimistega katendikonstruktsiooni käitumise uurimiseks alustatakse 2009. aastal alles siis, kui kate on lõplikult valmis ehitatud + mõõtmised samades kohtades 2009.a. sügisel ja edasi 2010-2013.a. 3 korda aastas – kevadel, suvel, sügisel (so kokku 1+1+4x3 mõõtmiskorda).

Geodeetiline nivelleerimine teostatakse 2009-2013 kõik kokku 14 mõõtmiskorda 96-s mõõtespunktis.

3.2. Kandevõime mõõtmine

Kandevõimet mõõdetakse Dynatest FWD seadmega 50 m sammuga (PK 0+00 ... PK 87+00) (kokku 173 mõõtepunkti). FWD mõõtekohad soolõigul (PK 04+50 ... PK 09+75) peaksid olema geodeetiliste mõõtmiste suhtes nihutatud 25 m võrra piki teed, teistel lõikudel tuleb vältida FWD mõõtepunkti sattumist nivelleerimisnaelale.

FWD mõõtmised teostatakse:

- Kevadel 2009 peale muldkeha sulamist ja peale purustatud kruusast aluse profileerimist ja järeltihenamist, 2009 ehitatava killustikaluse peal ja katte peal (2009.a. 3 korda).
- Aastatel 2010-2013 katte peal 3 korda aastas (kevadel, suvel, sügisel) (2010-2013 kokku 12 korda).

FWD mõõtmised teostatakse 2009-2013 kõik kokku 15 mõõtmiskorda 173-s mõõtepunktis.

3.3. Tasasuse mõõtmine

Tasasust mõõdetakse kogu lõigu ulatuses (PK 0+00 ... PK 87+00) pärast katte paigaldamist 2 korda aastas (kevad ja sügisel) viie aasta (2009-2013) jooksul (IRI 20). Kokku IRI mõõtmised 2009-2013 5x8,7 km.

3.4. Roopa mõõtmine

Roobast mõõdetakse kogu lõigu ulatuses (PK 0+00 ... PK 87+00) 1 kord aastas sügisel viie aasta (2009-2013) jooksul. Kokku roopa mõõtmised 2009-2013 5x8,7 km.

3.5. Liiklusloendus

Katselõigul teostatakse liiklusloendus 2009. aastal 2 kuud pärast rekonstrueeritud teelõigu avamist liiklusele ning 2010-nda ja 2011-nda aasta teisel poolaastal. Kokku teostatakse liiklusloendus katselõigul 2009-2013 3 korda.

Kandevõime, tasasuse ja roopa mõõtmised teostab alltöövõtu korras AS Teede Tehnokeskus.

4. Teadustöö tulemus

Mõõtmistulemuste (geodeetiline nivelleerimine, kandevõime ja tasasus) analüüsi alusel vastatakse järgmistele küsimustele:

1. Kas kasutatud lahendus oli sobiv (nii soolõigus kui ka ülejäänud lõikudes)?
2. Kas katendi kandevõime vastab geovõrgu tootja poolt arvatutule? Kui ei, siis kui palju erineb ja milliseid parandustegureid tuleks hiljem kasutada?
3. Kas mõõdetavad parameetrid erinevad sõltuvalt geotekstiili ja -võrgu olemasolust? Kui palju ja millist efekti (ka majanduslikult) nende kasutamine annab?
4. Millised muutused katendiga toimuvad viie aasta jooksul? Kas eeldatavad pikaajalised muutused on olulised ja mõjutavad geotekstiilide- ja võrkude kasutamist?
5. Kas analoogseid lahendusi ka edaspidistes projektides kasutada?

5. Teadustöö plaan

Aastad	Jrk nr	Töö sisu
2009	1	Kolme pinnasereeperi ja nelja seinareeperi paigaldamine
	2	9 km pikkuse nivelleerimiskäigu seisupunktide ja latialuste asukohtade rekognostseerimine ja kindlustamine (teeperves iga 45 m tagant, kokku 200 punkti).
	3	Vajumismärkide kolmikute (kokku 96 punkti) paigaldamine teekattes
	4	Reeperitre kontrollnivelleerimine - edasi-tagasi käik 1 tsüklil.
	5	Vajumismärkide (kolmikute profiilid) kordusnivelleerimine - ühekordset käiku 2 korda
	6	FWD (3 korda), IRI (2 korda), roopa (1 kord) mõõtmised, liiklusloendus
	7	FWD, IRI ja roopa mõõtmisandmete ning liiklusloenduse tulemuste analüüs
	8	Nivelleerimisandmete analüüs
	9	Vahearuande koostamine

Aastad	Jrk nr	Töö sisu
2010	10	Vajumismärkide (kolmikute profiilid) kordusnivelleerimine - ühekordset käiku 3 korda
	11	FWD (3 korda), IRI (2 korda), roopa (1 kord) mõõtmised, liiklusloendus
	12	FWD, IRI ja roopa mõõtmisandmete ning liiklusloenduse tulemuste analüüs
	13	Nivelleerimisandmete analüüs
	14	Vahearuande koostamine
2011	15	Reeperitre kontrollnivelleerimine - edasi-tagasi käik 7 tsüklil.
	16	Vajumismärkide (kolmikute profiilid) kordusnivelleerimine - ühekordset käiku 3 korda
	17	FWD (3 korda), IRI (2 korda), roopa (1 kord) mõõtmised, liiklusloendus
	18	FWD, IRI ja roopa mõõtmisandmete ning liiklusloenduse tulemuste analüüs
	19	Nivelleerimisandmete analüüs
	20	Vahearuande koostamine
2012	21	Vajumismärkide (kolmikute profiilid) kordusnivelleerimine - ühekordset käiku 3 korda
	22	FWD (3 korda), IRI (2 korda), roopa (1 kord) mõõtmised
	23	FWD, IRI ja roopa mõõtmisandmete analüüs
	24	Nivelleerimisandmete analüüs
	25	Vahearuande koostamine
2013	26	Reeperitre kontrollnivelleerimine - edasi-tagasi käik 14 tsüklil.
	27	Vajumismärkide (kolmikute profiilid) kordusnivelleerimine - ühekordset käiku 3 korda
	28	FWD (3 korda), IRI (2 korda), roopa (1 kord) mõõtmised
	29	FWD, IRI ja roopa mõõtmisandmete analüüs
	30	Nivelleerimisandmete analüüs
	31	Lõpparuande koostamine

1. EHITUSPROTSESSI KIRJELDUS

1.1. Tee üldiseloomustus

T 15111 Lokuta – Roovere maantee (pikkus 8,7 km) paikneb Järva maakonnas ning ulatub nii Türi kui Väätsa valla territooriumile. Tee trass kulgeb läbi heinamaade, põldude, soode ja metsade. Lõigu keskel paikneb Änari küla, tee lõpeb Roovere külas. Tegemist on lõiguga ühest Eesti territooriumi vanemast maanteest, mis ühendas Tallinnat sisemaaga. Arvatakse, et maantee soid ületavatel lõikudel Kuimetsast läbi Vahastu ja Änari Türi leide roigasteed olema juba 13. sajandil [Raid, Tõnu, Eesti teedevõrgu kujunemine. Tallinn: Punnpaap OÜ, 2005]. Aegadetagusest ehitustehnoloogiast tulenevalt on geoloogilisi puurimisi teinud insenerid leidnud lõigu soisemate lõikude muldkehast puutükke, mis pärinevad tee-ehituseks kasutatud palkidest. Mullatööde käigus tulid mõningad muldkehas asuvad palgid ka nähtavale (joonis 1.6).

Tee pika ajaloo tõttu leiab tee muldkehast väga erinevaid pinnaseid ja materjale – mulla-, turba-, liiva-, kruusa- ja savikihid paiknevad kaoatilises järjekorras, mille vahel on kohati vanad palgid. Teed ümbritseva piirkonna kõige iseloomulikumaks pinnaseks on suure peenosiste sisaldusega tolmlüv, mille filtratsioonimoodul on madal ja mis on äärmiselt uhtumisohtlik.

2008. aasta aprilli kuus teed läbides oli tee seisukord äärmiselt kehv – enamus lõigust paiknes ristprofiili mõttes künas, veeviimarid puudusid, vete äravool teelt polnud tagatud, palju esines külmakerkelisi kohti, läbitavus oli raskendatud. Kruusakiht, mis pidanuks moodustama teekatte, praktiliselt puudus. Sõidukid liikusid paljudes kohtades, kus see võimalik oli, väljaspool teeküna – heinamaal või põllul.

Soolõigul PK 4+00 ja PK 9+00 vahel oli tee seisukord keskmisest viletsam. Pinnasevee, mida kõrvalasuvast soost pidevalt peale pressis, tase oli sama kõrge kui teepind, veeviimarid puudusid. Olematust kruusakattest paistsid kohati välja vanad palgid. Lõigu keskepaigas asusid tee teljel kaks ca 3 – 4 m² suurust külmakerkelist kohta, kus teel kandevõime puudus ning mis sõidukite jaoks omamoodi “lõksu” moodustasid. Soolõigul viibides võis tajuda veel ühe huvitavat nähtust – auto möödudes oli selgelt tuntavad tee vertikaalsuunalised nihked. “Õõtsumine” või “vetrumine” oli selgelt tuntav isegi soolõigul peatatud sõiduautos istudes – mööduv sõiduk pani ka paigalseisva auto “õõtsuma.” Mida suurema massiga mööduv sõiduk oli, seda suuremad olid tee vertikaalsuunalised nihked. Tee pinnal oli näha muldkeha liikumisest tingitud piki- ja põikpragusid (joonis 1.1).



Joonis 1.1. Soolõigu teepind enne remonti

Aasta keskmine liiklussagedus kokku oli 2004. aasta andmetel Lokuta – Änari lõigul 180 autot ööpäevas ja Änari – Roovere lõigul 148 autot ööpäevas. Projekteerija poolt arvatud perspektiivne liiklussagedus aastal 2020 on vastavalt 335 autot ööpäevas ja 276 autot ööpäevas. Remonti planeerides arvestati asjaoluga, et Lokuta – Roovere tee hakkab teenindama Väätsa prügilasse suunduvat transporti, mis läheneb prügilale lääne suunast.

1.2. Esialgne projekt

Maantee 15111 Lokuta – Roovere lõigu km 0,0 – 8,7 remondi tehnilise projekti on koostanud OÜ Tinter-Projekt 2005. aastal [OÜ Tinter – Projekt, T-15111 Lokuta – Roovere maantee lõigu km 0,0 – 8,7 remondi tehniline projekt. Tartu, 2005]. Projekteeritud trassi asendiplaan järgis olemasoleva tee trassi, suuremaid õgvendusi oli kaks, lisaks mõned väiksemad. Olemasolev kruuskate ja selle all olev kogu sobimatu materjal oli ette nähtud välja kaevata ja ära vedada. Seejärel oli ette nähtud aluspinna planeerimine ja tasandamine täies tee laiuses, millele veetakse muldkeha pinnas. Jättes kõrvale kasvupinnase, kraavide mahud ja õgvendustel vana tee likvideerimisest tulenevad mullatööde mahud, oli ette nähtud:

1. koorida kruusa ja kruusliiva 11 680 m³
2. välja kaevata sobimatut pinnast 20 364 m³
3. välja kaevata ja ära vedada turvast 10 380 m³
4. muldkeha ehituseks karjäärast kaevata 61 069 m³ pinnast (põhitee maht)

Seega kogu põhitee projekteeritud muldkeha puudutava väljakaeve maht oli 42 424 m³, s. h. õgvenduste mahud. Kogu väljakaevatava turba maht moodustus pikett 4 ja pikett 9 vahelisest soolõigust, kus geoloogiliste uuringute alusel turbakihi paksus ulatus kuni 2 meetrini.

Projektiga oli ette nähtud välja ehitada kogu lõigu ulatuses järgnev katendikonstruktsioon ([lisa 1](#)):

1. 2-kordne pindamine
2. Settekivikillustik, $h = 8$ cm
3. Rikastatud kruusliiv, $h = 10$ cm
4. Kruusliiv, $h = 12$ cm
5. Peenliiv, $h = 30$ cm
6. Tolmne saviliiv

Projekteerija poolt teostatud katendi arvutus andis 60 cm paksuse katendi üldise elastsusmooduli väärtuseks 109 MPa.

Tellijal muutis projekteerija poolt välja pakutud katendit enne ehitushanke avaldamist järgmiselt:

1. 1-kordne pindamine
2. PAB, $h = 5$ cm
3. Killustikalus fr. 16/32, $h = 15$ cm, kiilutud killustiku fr. 4/12 (kulu 25 kg/m²), immutatud bituumenemulsiooniga 4cm
4. Purustatud kruusast alus, segu nr. 1, $h = 30$ cm
5. Dreenliiv, $h = 20$ cm
6. Olemasolev muldkeha

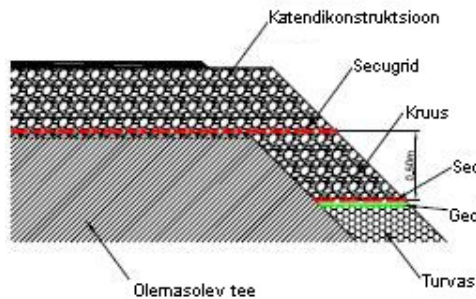
Katendi arvutust ei teostatud, mistõttu ei ole teada muudetud katendi üldine elastsusmoodul. Mullamahte tellija ei muutnud.

1.3. Geosünteedide lahendus

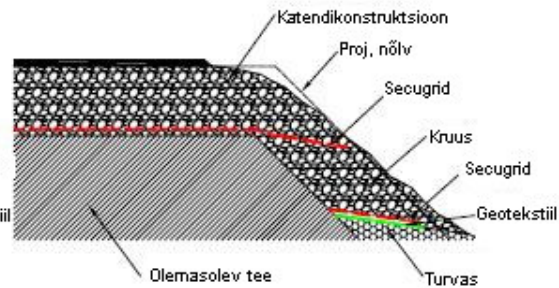
Ehitustööd algasid mais 2008. aastal esialgse projekti järgi. Ettevalmistustöödega paralleelselt alustati ka mullatöödega lõikudel, kus projektised mullatööde mahud olid suhteliselt väikesed. Pinnase kaevandamisel erinevates lõikudel selgus, et tulenevalt kohalikest pinnastest, tee ajaloost ja erinevatel aegadel tehtud teetöödest, vahelduvad olemasoleva tee alla jäävad tee muldkehasse sobivad ja mittesobivad pinnasekihid sageli ja korrapäratult, sealjuures esines muldkehasse mittesobivat pinnast oluliselt rohkem, kui projektis ette nähtud. Samuti ilmnes kasvupinnase projektsest suurem maht.

Ehitajale sai peatselt selgeks, et eeltoodust tulenevalt ei ole reaalselt võimalik projektsete mahtudega mullatöid lõpetada. Probleemidele lahendust otsides konsulteeris ehitaja ka geosünteedide tarnijatega, kes pakkusid välja omapoolseid variante nõuetekohase muldkeha välja ehitamiseks. Sobivaima varjandina jäi sõelale koos Viacon Eesti AS-iga välja töötatud lahendus, mis seisnes geovõrgu Secugrid 30/30 Q1 ja geotekstiil TS 2 kasutamises. Arvestada tuli asjaoluga, et vana tee laius oli projektsest laiusest 2 – 3 m kitsam, seega oli vana tee servad vaja välja kaevata, et eemaldada kasvupinnas ning muldkehasse sobimatu pinnas ning täita see muldkeha ehituseks sobiliku materjaliga. Arvestades projektset teepeenra laiust 1 m kummalgi pool teed, leidis rakendust alltoodud [joonisel 1.2](#) kajastatud põhimõte.

Ehitusaegne ristprofiil



Ristprofiil pärast lõplikke vajumeid



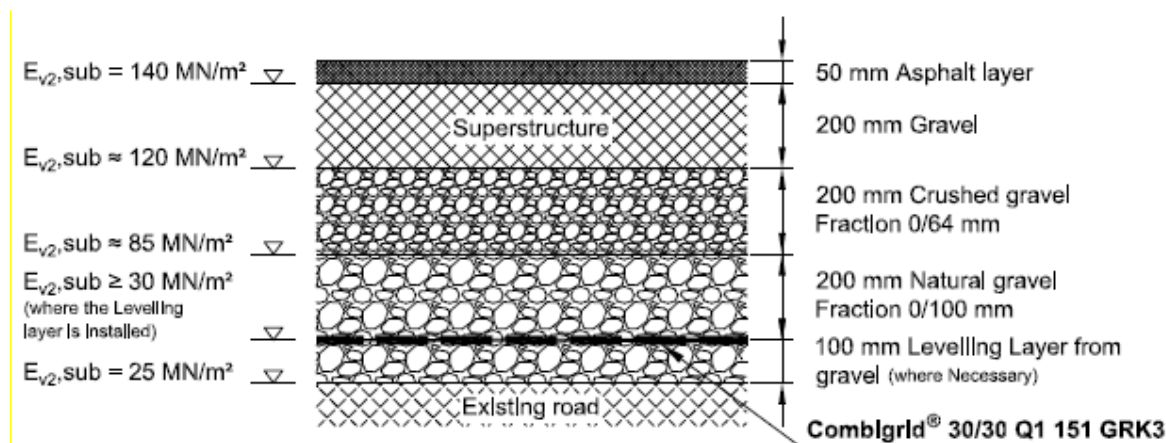
Joonis 1.2. Muldkeha laiendamine servade väljakaeve ja täitmise teel

Kõige enam pälvis tähelepanu soostunud ala läbiv lõik PK 4+00 ja PK 9+00 vahel, kus esines kohati vahetult vana tee all ja kõrval turbane pinnas.

Enne katendikonstruktsiooni muutmise ettepaneku esitamist tellijale arvestas ehitaja lisaks projektsete ja tegelike mahtude vastuolule ka järgmisi asjaolusid:

- Garantii andmine katendikonstruktsioonile, mille kandevõime on teadmata, ei ole põhjendatud. Geosünteedide kasutamisel on kandevõime arvutustega tõestatav.
- Keskkonnasäästlikkus. Ei kulutata asjatult niigi järjest enam nappivat mineraalmaterjali mulde ehituseks ega mootorikütust kaevetehnikale ja pinnase transpordile. Tänu veokilomeetrite vähenemisele paisatakse keskkonda vähem vingugaasi, tolmu ja müra, transporteid ei kulutata.
- Katendi eluiga pikeneb, jooksvad hooldus- ja remondikulud vähenevad.
- Kõik muutusega seotud hinnavahed kompenseerib ehitaja, s.t. objekt jääb Tellija jaoks eelarve piiridesse.
- Esialgse projekti autor Tinter – Projekt OÜ toetas ehitaja poolt välja pakutud lahendust.

Täpse katendi arvutuse teostas Saksamaal asuv ettevõtte BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG (lisa 2).



Joonis 1.3. Projekteeritud katend koos arvutuslike E-moodulitega

Vana tee (aluspinna) kandevõime ei olnud teada. Kandevõime mõõtmine mai kuus pärast muldkeha sulamist ja osalist kuivamist ei oleks andnud adekvaatseid tulemusi – tee minimaalne kandevõime avaldunuks aprillis. Seega tuli vana tee kandevõimet oletada. Lähtuvalt tugevusarvutuse põhimõttest eeldati aluspinna väikest kandevõimet, kui tegelik kandevõime on arvutuslikust suurem, tekib arvutustesse täiendav varu. Vana tee kandevõimeks võeti arvutustes 25 MPa.

Enne geotekstiili ja –võrgu laotamist oli vajalik vanale teele anda sobiv ristprofiil, selleks sai ette nähtud vajaduse korral teele laotada kuni 10 cm paksune tasanduskiht.

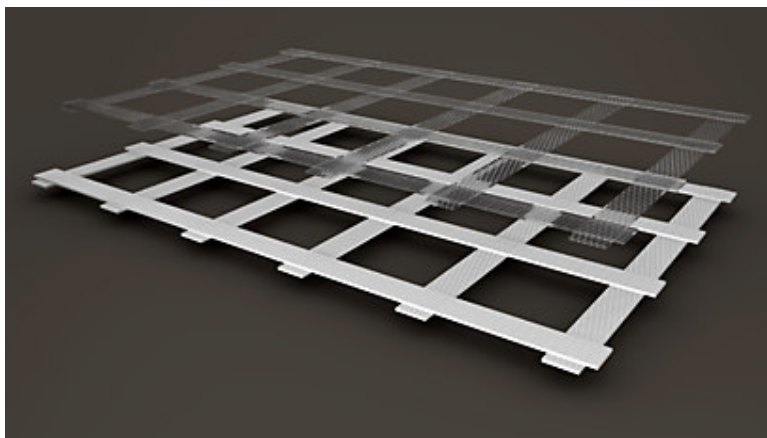
Joonisel 1.3 kujutatud Combigrig 30/30 Q1 kujutab endast tegelikult geovõrku Secugrid 30/30 Q1, mille külge on liimitud geotekstiil. Combigrigi eelis seisneb paigaldamise mugavuses – ühe rullimisega saab laotada nii geotekstiili kui geovõrgu. Kuna katendikonstruktsiooni seisukohast pole vahet, kas paigaldada geotekstiil ja –võrk ühe või kahe rullimisega ja materjali hinna seisukohast on mõistlikum osta Secugrid ja geotekstiil eraldi, siis arusaadavalt valiti majanduslikult soodsam variant. Geotekstiilile ja –võrgule järgnesid looduslikust kruusast kiht paksusega 20 cm, mille peal arvutuslik E-moodul on 85 MPa; purustatud kruusast kiht paksusega 20 cm, mille peal arvutuslik E-moodul on 120 MPa; killustikalus, mille peal arvutuslik E-moodul on 140 MPa.

Projektlahenduse muutmine toimus ehitaja initsiatiivil ja Maanteeameti-poolsel toetusel. Ehitaja esitas tellijale (Põhja Regionaalne Maanteeamet) esimese taotluse katendikonstruktsiooni muutmiseks 27.05.2009. Suveperioodil toimusid katendikonstruktsiooni teemal tellija ja ehitaja vahel arutelud ja koosolekud, ehitaja korrigeeris mitmel korral vastavalt tellija märkustele oma taotlust, kaasati Maanteeameti spetsialistid Endel Nurm ja Elmur Karu. Vaidluste ja arutelude perioodil mullatööd objektil osaliselt seiskusid. Edasiviiv lepingu muudatus sõlmiti tellija ja töövõtja vahel 02.10.2009, millega fikseeriti järgmine katendikonstruktsioon:

1. Pindamine graniitkillustikuga
2. MSE 16, h = 5 cm
3. Killustikalus, h = 20 cm
4. Purukruus, h = 20 cm
5. Looduslik kruus, h = 20 cm
6. Geovõrk Secugrid 30/30 Q1
7. Geotekstiil TS 2
8. Kruusast tasanduskiht (vajadusel)
9. Olemasolev kruuskate (tee õgvendustel uus muldkeha)

Muudatusega nähti ette geotekstiili ja geovõrgu paigaldamine PK 0+00 kuni PK 9+75, PK 12+00 kuni PK 14+25, PK 18+50 kuni PK 26+50, PK 45+00 kuni PK 49+30, PK 51+00 kuni PK 57+00, PK 58+00 kuni PK 61+50 ja PK 64+00 kuni PK 86+00. Kokku oli ette nähtud geotekstiil ja –võrk paigaldada 5580 m pikkuselt, s. h. 500 m pikkusele soolõigule PK 4+00 ja PK 9+00 vahel.

Geovõrk Secugrid Q1 on valmistatud pressitud lapikutest monoliitsetest polüpropüleenribadest, mis on omavahel jäigalt kokku keevitatud (joonis 1.4). Tootenimetuses esinevad numbrid, 30/30 Secugrid 30/30 Q1 puhul, tähendavad tõmbetugevust nii piki- kui ka ristsuunas kN/m (95 % tõenäosusega). Ruudukujulise ava mõõtmed 32*32 mm. Geovõrgu Secugrid Q1 tugevuskarakteristikud on esitatud lisas 3.



Joonis 1.4. Geovõrk Secugrid

Geotekstiil Tenax TS 2 (joonis 1.5) on valmistatud polüpropüleen kiududest, mis on kuumrullitud mõlemalt kanga poolelt. Tekstiili kaal on 180 g/m^2 , paksus 0,95 mm. Tenax TS 2 geotekstiili tugevuskarakteristikud on [lisas 4](#).



Joonis 1.5. Geotekstiil Tenax TS 2

1.4. Ehitustegevus geosünteedidega lõikudel

1.4.1. Soolõik

Jättes kõrvale ettevalmistavad tööd, algasid suuremad tööd soolõigul augustis 2008. Esimese hädavajaliku tööna oli vaja pinnasevee taset alandada ja selleks paigaldati uued truubid ning seejärel kaevati külakraavid.



Joonis 1.6. Soolõik augustis 2008



Joonis 1.7. Tööde algus soolõigul

Ilmnes, et pinnased soolõigu paremal (parem ja vasak on nii siin kui edaspidi antud piketaaži suhtes) ja vasakul poolel erinesid üksteisest mõnevõrra – paremal pool esines praktiliselt ainult turvas, vasakul poolel oli olukord ehituse seisukohast soodsam. Sellest tulenevalt nihutati kokkuleppel järelevalve, tellija ja Maanteeametiga (Elmur Karu) tee telge vahemikus PK 5+00 kuni PK 8+00 ühtlaselt kuni 1 m vasakule. Nüüd oli tarvis muldkeha nõutud laiuse saavutamiseks eemaldada vasakult servalt 3 – 4 m ulatuses kasvupinnas ja ebasobiv pinnas. Nagu eelpool mainitud, tulid selle tegevuse käigus välja kunagi teedehituses kasutatust leidnud palgid (joonis 1.8).



Joonis 1.8. Soolõigul vanast muldkehast välja tulnud palgid

Muldkehas olevad palgid, mis sobimatu pinnase eemaldamist ei seganud, jäeti nii, nagu kunagised tee-ehitajad ja aeg nad sättinud olid. Kui kasvupinnas, muld ja turbapinnas olid kooritud ning aluspind planeeritud, laotati maha geotekstiil. Geotekstiili paigaldamise eesmärk muldkeha laienduse alla oli vältida pinnaste segunemist ning takistada savi ja turbapinnase ülespressimist laienduse täitmisel ja tihendamisel.



Joonis 1.9. Soolõigul muldkeha laienduse alla paigaldatud geotekstiil

Pärast geotekstiili laotamist täideti laiendus loodusliku kruusaga, planeeriti ning tihendati.

Kaks eelpool mainitud külmakerkelist kohta soolõigul kaevati ca 30 – 40 cm sügavuselt välja ning täideti killustikuga. Teele veeti tasanduskihiks purustatud kruusa, mille abil anti vanale teele vajalikud põikkaldded, misjärel laotati teele esmalt geotekstiil ja seejärel kohe ka geovõrk. Kõik tekstiili ja võrgu laotamised tehti liiklust sulgemata poole tee laiuse kaupa. Nii geotekstiili kui –võrgu paigaldamisel jälgiti, et oleks tagatud vähemalt 0,5 m laiune ülekate. Soolõigul valiti geotekstiili ja –võrgu paigalduslaius selliselt, et nii tekstiil kui ka võrk ulatusid mõlemalt poolt muldkeha 1,5 – 2 m välja.

Laotatud tekstiilile ja võrgule paigaldati laaduri abil looduslikust kruusast kiht, mis tihendati vibrorulliga. Enne mineraalmaterjali paigaldamist geovõrgu peal masinatega ei sõidetud, selline tegevus on ka geovõrgu tootja poolt keelatud..

Kui üks pool laiusest oli kruusaga kaetud, paigaldati geotekstiil, geovõrk ja looduslik kruus ka tee teisele poolele, seejuures jälgiti, et tekstiilile ja võrgule tekiks vajalik ülekate ka tee teljel. Kui looduslikust kruusast kiht oli kogu laiuses valmis, profileeriti see greideriga ning tihendati veelkord vibrorulliga.



Joonis 1.10. Geotekstiili ja –võrgu katmine kruusaga soolõigu alguses

Sõidetavuse tagamiseks veeti soolõigule osaliselt välja ka purustatud kruusast kiht, mis samuti profileeriti ja tihendati. Sellega 2008. aasta tööd soolõigul ka piirdusid.

Tööd soolõigul jätkusid mais 2009. Talv ja kevad ei olnud soolõigul silmnähtavaid vajumeid ega muid probleeme nähtavale toonud, kevadised külmakerked enam ei avaldunud ning tee oli kiiruspiirangut arvestades sõidetav.

Esimeseks tööks 2009. aastal oli hoovaldamise ja lumetõrjega ettenähtust laiemaks lükatud kruusa tagasitõstmise teele, tagades sellega ühtlasi tee laiuse vastavuse projektile. Eelmisel aastal, kui tööd lõppesid, ei olnud võimalik jäätunud geotekstiili ega –võrku, mis oli paigaldatud kummagile poole 1,5 – 2 m muldkehast laiemana, enam tagasi keerata. Nüüd, kui servad olid puhastatud, keerati geotekstiili ja –võrgu muldkehast väljaolatu servad tagasi tee telje suunas, jättes tekstiili ja võrgu kihtide vahele ca 20 – 30 cm kruusa.



Joonis 1.11. Soolõigul telje suunas tagasi keeratud geotekstiili ja –võrgu servad

Servad tagasi keeratud, kaeti need fikseerimiseks kruusaga. Kogu lõigule veeti peale puuduolev purustatud kruusa kogus, et tagada kihipaksuste vastavus projektile. Kogu kiht profileeriti ning tihendati vibrorulliga.

Killustikalus ehitati Eivere karjääri 16/64 fraktsiooni lubjakivikillustikust, mis kiiluti 4/16 killustikuga. MSE 16 paigaldati soolõigule 02.07. – 03.07.2009. Soolõik pinnati graniitkillustikuga juuli lõpus ning markeeriti.



Joonis 1.12. Vaade soolõigule septembris 2009

1.4.2. Muud lõigud

Lisaks soolõigule oli Lokuta – Roovere maanteel veel 8 lõiku, kus oli ette nähtud geotekstiili ja –võrgu paigaldus.

Kasutatud tehnoloogia ja meetodid olid samasugused nagu soolõigul. Välja võib tuua järgmised erinevused:

1. muldkeha laiendati üldjuhul mõlemale poole
2. muldkeha laienduste alla ei paigaldatud geotekstiili
3. viimastel lõikudel toimusid tööd talvetingimustes (detsembri keskpaik)



Joonis 1.13. Muldkeha laiendamine PK 75 juures

2008. aastal paigaldati kogu ettenähtud geotekstiil ja –võrk ning veeti välja vajalik loodusliku kruusa kiht. Seoses talveilmade tulekuga ei jõutud välja vedada kogu purustatud kruusa kihti.

Töödega jätkati 2009. aasta aprillis. Maantee jagati kolmeks enam-vähem võrdseks lõiguks, tööfront liikus Rooverest Lokuta suunas. Esmalt lõpetati eelmisel aastal pooleli jäänud purustatud kruusast aluse ehitus, seejärel ehitati killustikalus ning koheselt paigaldati ka MSE 16 kiht. Mustkatte ehitustööd objektil lõpetati 04.07.2009.

Omaette probleemina võiks 2009. aasta töid puudutavas osas välja tuua uurimistöö plaanis ette nähtud FWD mõõtmised, mida teostas AS Teede Tehnokeskus. Vastavalt plaanile tuli katendi kandevõime FWD-seadmega mõõta nii purustatud kruusast kihil kui ka killustikalusel kogu lõigu ulatuses (Lokutast Roovereni) ühel suunal iga 50 m tagant.

Aluste ehitamine toimus paralleelselt kasutades kahte komplekti aluse ehitamise masinaid, millest üks tegeles purustatud kruusast aluse ja teine killustikaluse ehitustöödega. Enne killustikaluse ehituse algust oli vajalik alumine kiht omanikujärelevalvele üle anda ning teostada kihilt ka FWD mõõtmine. Arvestades objekti tihedat ajagraafikut ja Tehnokeskuse FWD-seadme hõivatust, kujunes uurimistöö plaanist kinnipidamine oodatust raskemaks. Kandevõime mõõtmiste teostamisel rakendati ajaliste raskuste ületamiseks erinevaid võtteid:

1. osal purustatud kruusast alusel mõõdeti kandevõime enne kihi lõplikku profileerimist
2. kui killustikaluse ehitusega oli juba alustatud ning purustatud kruusast aluse kandevõime oli mõõtmata, rajati killustikalusesse ca 2,5 m x 10 m suurused süvendid, killustik eemaldati ning mõõteseade koos vedukautoga manööverdati kandevõime mõõtmiseks süvendi põhja

3. tööfront liikus vahetult mõõteseadme ees
4. mõõtmisi teostati öisel ajal



Joonis 1.14. Aluse ehituse tööfront liikumas vahetult FWD mõõteseadme ees

Analoogselt toimusid mõõtmised ka killustikalusel – ees liikuva alust tihendava rulli ja tagant läheneva asfaldilaoturi vahel tegi tööd FWD seade. Siinkohal tuleb tänada FWD-seadme operaatorit Egon Horg'i, kes püüdis ajanappusest hoolimata alati leida võimalust vajalike mõõtmiste teostamiseks. Siiski, nagu näitasid esialgsed mõõtetulemused objektil, ilmnas kohati mõõtmistel saadud suuruste hajumine, mis tulenes otseselt vajadusest aluse kandevõime igal juhul “täna, nüüd ja kohe” ära mõõta. Kuna ca 170 mõõtepunkti alusel tekkinud andmepank on piisavalt suur, on hilisema analüüsi käigus võimalik edasistest vaatlustest elimineerida objektiivselt mittesobivad mõõtepunktid.

1.5. Remondi maksumus

Otsest majanduslikku võrdlust projekteeritud ja ehitatud konstruktsiooni vahel (tabel 1.1) on raske teostada sest:

1. Osa mullatöid teostati esialgse projekti järgi, osa geosünteedide lahenduse järgi ning täpset mahtude piiri on raske tõmmata. Loendis on maht hinnanguline.
2. Lepingulised tööde ühikhinnad ei ole 100 % reaalsed – konstruktsiooni muutmisega võttis töövõtja enda kanda kõik riskid mahtude suurenemise ja maksumuse kallinemise osas ning uue kululoendi koostamisel jagati veel saadaolev lepinguline raha tolle hetke parima teadmise järgi loendi ridade vahel.

Siiski on selge, et kui jätta kõrvale kõik lisatööd (nagu täiendavad piirded, mahasõidud, liiklussaar jm), siis mullatööde maksumus lepingu järgi vähenes 1,96 milj. krooni (125,27 tuh. eurot), samas suurenes katendi maksumus 3,29 milj. krooni (210,19 tuh. eurot) (vt. tabel 1.2). Seega pannes kokku katendi ja mullatööde maksumused, läks ehitamine töövõtja jaoks kallimaks 1,33 milj. krooni (84,86 tuh. eurot), millest küll enamuse (963 742 krooni ehk 61,6 tuh. eurot) moodustab projektse PAB 16 asfaltbetoonsegust katte asendamine mustsegust MSE 16 kattega. Algses kululoendis oli ettenägemata töödeks ette nähtud 5 % objekti kogumaksumusest ehk 1,27 milj. krooni (81,1 tuh. eurot), millest ehitaja uues kululoendis loobus. Võttes arvesse esialgses kululoendis ka ettenägemata kulud, osutus uus lahendus esialgsest kallimaks 232 950 krooni (14888 euro) võrra. Arvestades uue lahenduse katte hinna kallinemist (PAB-i asendamine MSE-ga), oleks uus lahendus vana kattega (PAB-iga) aga tulnud kokkuvõttes esialgsest lahendusest 730 792 krooni (46706 eurot) odavam (so 2,7 % esialgsest maksumusest).

Tabel 1.2. Maantee 15111 Lokuta-Roovere lõigu km 0,0-8,7 remondi kululoendi kokkuvõte

Kulud	Esialgne kululoend		Uus kululoend		Vahe (uus – esialgne)	
	krooni	eurot	krooni	eurot	krooni	eurot
Mullatööd	8 145 326	520 581	6 208 334	396 785	-1 960 992	-125 330
Katend	17 231 443	1 101 290	20 670 223	1 321 068	3 288 780	210 191
Lõik kokku	25 376 769	1 621 871	26 878 557	1 717 853	1 327 788	84 861
Ettenägemata tööd 5 % kogumaksumusest:	1 268 838	81 093	-	-	-1 268 838	-81 093
Kokku ettenägemata töödega	26 645 607	1 702 965	26 878 557	1 717 853	232 950	14 888
Kate	4 267 250	272 727	5 230 992	334 321	963 742	61 594
Kokku arvestamata katte kallinemist	26 645 607	1 702 965	25 914 815	1 656 259	-730 792	-46 706

Teiselt poolt tuleb arvestada asjaoluga, et esialgse lahenduse järgi oli vajaminev mineraalmaterjali kogus maantee 15111 osas ligikaudu 140 000 m³. Sellist kogust materjali aga piirkonnas asuvatest karjäärdest tarnida poleks olnud võimalik – töövõtja kasutuses olnud karjäärides selline kaevandamismaht puudus, samas kui konkureeriva ettevõtte valduses olevatest riigile kuuluvatest karjäärdest ei olnud karjäärade valdaja nõus materjali tarnima. Seega oleks tulnud osa mineraalmaterjalist vedada kaugel maa tagant, mis oleks tähendanud olulisi veokulusid ning ehitusmaksumuse veelgi suuremat kallinemist. Täpseid võimalikke kulusid ei ole siin võimalik välja tuua, kuna ei ole teada täpseid materjalide koguseid, nende maksumusi võimalikes karjäärides ning veomaad.

Tänu muudetud projektlahendusele ja geosünteedide kasutamisele jäi objektilt ära vedamata 18094 m³ ehituseks sobimatut materjali ja 10380 m³ turvast. Karjäärist toodi mulde ehitamiseks ette nähtud 61982 m³ liivpinnase asemel 33620 m³ liivpinnast ja 600 m³ kruusa ehk siis 27762 m³ vähem, kui algses projektis oli ette nähtud. Sellega säästeti meie keskkonda ja loodusvarasid, aga ka objekti ümbruskonna maanteid vedudega tekitatava kahju eest.

Kokkuvõtteks võib öelda, et geosünteedide kasutamise majanduslik efektiivsus sõltub alternatiivide olemasolust ja kohalikest tingimustest. Karjäärides müüdava materjali hind ja karjääride kaugus objektist ühelt poolt ning tehniline lahendus, kasutatavate geosünteedide tüüp ja hind teiselt poolt määravad geosünteedide kasutamise majandusliku efektiivsuse.

Tabel 1.1. Maantee 15111 Lokuta-Roovere lõigu km 0,0-8,7 remondi kululoend (kroonides)

15111 Lokuta – Roovere lõik km 0,0-8,7 KULULOEND			Lepingu lisa 1.1			02.10.2008 lepingu lisa 1.1 Uus kululoend		
Spets nr.	Tööde kirjeldus	Mõõt-ühik	Maht	Üh. Hind	Summa	Maht	Üh. Hind	Summa
1	2	3	4	5	6	4	5	6
	Kulutused Nr.3 MULLATÖÖD							
3210	Kasvupinnase koorimine ($H_{keskm}=30cm$)	m ³	19878	25	496 950,00	19878	25	496 950,00
3730	Muldealuse pinnase planeerimine ja tihendamine	m ²	62500	2	125 000,00	28000	2	56 000,00
3212	Ehituseks sobimatu materjali kaevamine ja äravedu	m ³	35494	35	1 242 290,00			
3212	Ehituseks sobimatu materjali kaevamine ja äravedu	m ³			0,00	17400	35	609 000,00
3730	Olemasoleva tee planeerimine, vajadusel materjali juurdevedu ja tihendamine	m ²			0,00	67700	15	1 015 500,00
3214	Turba kaevandamine	m ³	10380	29	301 020,00			0,00
3250	Uute kraavide kaevamine koos äraveoga	m ³	17814	33	587 862,00	17814	33	587 862,00
3310	Kraavide puhastamine ja pinnase äravedu	m	956	39	37 284,00	956	39	37 284,00
32151	Liivpinnase kaevandamine karjäärast ja vedu	m ³	61982	12	743 784,00			0,00
32151	Liivpinnase kaevandamine karjäärast ja vedu	m ³			0,00	33620	12	403 440,00
32151	Kruusa kaevandamine karjäärast ja vedu (hinnapakkumine 20.06.2008)	m ³			0,00	600	90	54 000,00
3511	Liivpinnasest mulde ehitus	m ³	61069	62	3 786 278,00			0,00
3511	Liivpinnasest mulde ehitus	m ³			0,00	33620	62	2 084 440,00
3511	Kruusast mulde ehitus (hinnapakkumine 20.06.2008)	m ³			0,00	600	65	39 000,00
32152	Liivpinnasest mulde ehitus mahaõituledele	m ³	913	62	56 606,00	913	62	56 606,00
3720	Nõlvade planeerimine ja kindlustamine	m ²	38160	2,2	83 952,00	38160	2,2	83 952,00
3710	Kasvukihi ja muru külvamine h=10 cm nõlvadele	m ²	45620	15	684 300,00	45620	15	684 300,00
	SUMMA KANTUD KOKKUVÕTESSE				8 145 326,00			6 208 334,00
					6 073 372,00			4 112 380,00
								-1 960 992,00

15111 Lokuta – Roovere lõik km 0,0-8,7 KULULOEND			Lepingu lisa 1.1			02.10.2008 lepingu lisa 1.1 Uus kululoend			
Spets nr.	Tööde kirjeldus	Mõõt-ühik	Maht	Üh. Hind	Summa	Maht	Üh. Hind	Summa	
1	2	3	4	5	6	4	5	6	
	Kulutused Nr.4 KATEND								ära jäänud tööd
4711	Olemasoleva katendi tasafreesimine ristmikel ja transport 8 km (h=4 cm)	m ²	660	66	43 560,00	660	66	43 560,00	juurde tulnud tööd
4070	Geotekstiil TS 2 koos paigaldusega	m ²			0,00	61380	14,68	901 038,40	
4075	Geovõrk Secugrid 30/30 Q1 koos paigaldusega	m ²			0,00	61380	39	2 393 820,00	
3610	Dreenkiht, h = 20 cm	m ²	101305	22	2 228 710,00	101305	22	2 228 710,00	
4020	Purustatud kruusast aluskiht, h=30 cm, segu nr 1	m ²	89590	48	4 300 320,00			0,00	
4020	Purustatud kruusast aluskiht, h=20 cm, segu nr 1	m ²			0,00	89590	39	3 494 010,00	
4020	Purustatud kruusast 0/32 tasanduskiht / tehnoloogiline vahekiht, h=5 cm, segu nr 3	m ²	84460	8	675 680,00	84460	8	675 680,00	
4020	Purustatud kruusast aluskiht mahasõitudele h=10 cm, segu nr 1	m ²	4074	16	65 184,00	4074	16	65 184,00	
4013	Paekivi killustikalus fr. 16/32 h=15 cm, puistatud fr 4/12, s.h. kergimmutus h=4 cm sideaineks (BE50R või B160/220) kulunorm 5,0 kg/m ²	m ²	81765	47	3 842 955,00			0,00	
4010	Paekivi killustikalus fr. 16/32, h=20cm, kiilutud fr 4/16	m ²			0,00	81765	45	3 679 425,00	
4010	Paekivi ridakillustikust fr. 0/32 alus mahasõitudele, h= 10 cm	m ²	3995	32	127 840,00	3995	32	127 840,00	
4411	Asfaltbetoonkiht TAB 12I, h=6 cm põhiteel (s.h. bussiplatvormide kate) bit sisald 5,9 %	m ²	134	145	19 430,00	134	145	19 430,00	
4311	Poorsest asfaltbetoonist PAB 16 kiht, h=5 cm, bit sisald 4, 2%	m ²	65650	65	4 267 250,00			0,00	
	hinnamuutus bit. Sisaldusest	0,1%/m ²	X	0,2	X			0,00	
4360	Mustsegust MSE 16 kiht, h=5 cm	m ²			0,00	65650	79,68	5 230 992,00	
4280	Pindamine, graniitkillustik II kl. fr. 8/12, bit.emulsioon	m ²	65590	21	1 377 390,00	65590	21	1 377 390,00	
4810	Peenarde täide loodusliku kruusaga h=15 cm,	m ²	3286	24	78 864,00	3286	24	78 864,00	

15111 Lokuta – Roovere lõik km 0,0-8,7 KULULOEND			Lepingu lisa 1.1			02.10.2008 lepingu lisa 1.1 Uus kululoend			
Spets nr.	Tööde kirjeldus	Mõõt-ühik	Maht	Üh. Hind	Summa	Maht	Üh. Hind	Summa	
1	2	3	4	5	6	4	5	6	
4810	Peenarde täide purustatud kruusaga h=5 cm kõikidele peenardele, segu nr 3	m ²	20426	10	204 260,00	20426	10	204 260,00	ära jäänud tööd
	Liiklussaare ehitus	tk			0,00	1	150000	150 000,00	juurde tulnud tööd
	SUMMA KANTUD KOKKUVÕTESSE				17 231 443,00			20 670 223,40	vahe
					12 410 525,00			15 699 305,40	3 288 780,40

		KOKKUVÕTE LÕIGULE	KOKKUVÕTE LÕIGULE	
Kulutused Nr.3 MULLATÖÖD		8 145 326,00	6 208 334,00	
Kulutused Nr.4 KATEND		17 231 443,00	20 670 223,40	
LÕIK KOKKU:		25 376 769,00	26 878 557,40	
Ettenägemata tööd 5 % kogumaksumusest:		1 268 838,45	-	vahe
Kokku ettenägemata töödega		26 645 607,45	26 878 557,40	232 949,95
Käibemaks 18%		4 796 209,34	4 838 140,33	vahe
LÕIK KOKKU: KANTUD KOGU SUMMASSE		31 441 816,79	31 716 697,73	274 880,94

Tabel 1.3. Maantee 15111 Lokuta-Roovere lõigu km 0,0-8,7 remondi hankepakkumiste hinnad (kroonides)

	Pakkuja 1	Pakkuja 2	Pakkuja 3	Pakkuja 4
LÕIK KOKKU:	31 030 437	32 755 247	35 640 973	36 016 448
Ettenägemata tööd 5% kogumaksumusest:	1 551 522	1 637 762	1 782 049	1 800 822
Kokku ettenägemata töödega	32 581 959	34 393 010	37 423 022	37 817 270
Käibemaks 18%	5 864 753	6 190 742	6 736 144	6 807 109
LÕIK KOKKU: KANTUD KOGU SUMMASSE	38 446 711	40 583 751	44 159 166	44 624 379

2. FWD MÕÕTMISTULEMUSED

FWD mõõtmised katselõigul (joonis 2.1) teostas AS Teede Tehnokeskus.

Vastavalt plaanile tuli 2008-2009.a. katendi kandevõime FWD-seadmega mõõta ehitamise ajal nii purustatud kruusast kihil kui ka killustikalusel kogu lõigu ulatuses (Lokutast Roovereni).

Aluste ehitamine toimus paralleelselt kasutades kahte komplekti alusehitamise masinaid, millest üks tegeles purustatud kruusast aluse ja teine killustikaluse ehitustöödega. Enne killustikaluse ehituse algust oli vajalik alumine kiht omanikujärelevalvele üle anda ning teostada kihilt ka FWD mõõtmine. Arvestades objekti tihedat ajagraafikut ja Tehnokeskuse FWD-seadme hõivatust, kujunes uurimistöö plaanist kinnipidamine oodatust raskemaks. Kandevõime mõõtmiste teostamisel rakendati ajaliste raskuste ületamiseks erinevaid võtteid:

1. osal purustatud kruusast alusel mõõdeti kandevõime enne kihi lõplikku profileerimist;
2. kui killustikaluse ehitusega oli juba alustatud ning purustatud kruusast aluse kandevõime oli mõõtmata, rajati killustikalusesse ca 2,5 m x 10 m suurused süvendid, killustik eemaldati ning mõõteseade koos vedukautoga manööverdati kandevõime mõõtmiseks süvendi põhja;
3. tööfront liikus vahetult mõõteseade ees;
4. mõõtmisi teostati öisel ajal.

Analoogselt toimusid mõõtmised ka killustikalusel – ees liikuva alust tihendava rulli ja tagant läheneva asfaldilaoturi vahel tegi tööd FWD seade. Siiski, nagu näitasid esialgsed mõõtetulemused objektil, ilmnes kohati mõõtmistel saadud suuruste hajumine, mis tulenes otseselt vajadusest aluse kandevõime igal juhul “täna, nüüd ja kohe” ära mõõta.

Aastatel 2010-2013 teostati valmis katendikonstruktsioonil FWD mõõtmised igal aastal nii kevadel, suvel kui ka sügisel, et hinnata katendikonstruktsiooni kandevõime võimalikku sesoonset muutust.

2.1. Katendi üldise E-mooduli arvutamine FWD mõõtmistulemuste alusel

FWD mõõtmistulemuste alusel arvutati katendi üldine elastsusmoodul igal mõõdetud kihil kasutades A.Aaviku doktoritöös välja töötatud arvutusmetoodikat.

Katendi üldine elastsusmoodul $E_{eq2001-52}$:

$$E_{eq2001-52} = C * E_{eq}^e * T^t * M_i \quad (2.1)$$

- kus
- T – bituumensideainega töödeldud kihi keskmine temperatuur FWD-ga mõõtmise ajal, °C;
 - M_i – tegur, mis arvestab konkreetset kuud, millal toimus FWD-ga mõõtmine ($i=4\ldots 10$, aprill - oktoober);
 - C, e, t – empiirilised konstandid (tabel 2.1)



Joonis 2.1. Maantee 15111 Lokuta-Roovere km 0,0-8,7 trassi plaan

Tabel 2.1. Tegurid ja konstandid $E_{eq2001-52}$ määramiseks

Empiirilised konstandid	e	0,793
	t	0,098
	C	2,039
Kuud arvestav tegur M_i	M_4 - aprill	1,000
	M_5 - mai	0,911
	M_6 - juuni	0,830
	M_7 - juuli	0,816
	M_8 - august	0,831
	M_9 - september	0,825
	M_{10} - oktoober	0,817

E_{eq} - katendi üldine E-moodul koormusplaadi keskel, MPa:

$$E_{eq} = 0,25\pi FS(1 - \nu^2) / d_0 \quad (2.2)$$

kus F – kontaktsurve koormusplaadi all, kPa;
 S – koormusplaadi diameeter, mm;
 ν – Poisson'i tegur;
 d_0 – deformatsioon koormusplaadi keskel, μm .

2.2. Elastsusmoodulid kruusa ja killustiku kihil ning mustkattel peale ehitamist

Katendi projekteerimisel nägi BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG katendiarvutus ette, et katendikonstruktsiooni elastsusmoodulid on (joonis 1.3):

- kruusakihil 120 MPa;
- killustikukihil 140 MPa;
- asfaltkihil ??? MPa

Aluspinnase ehk vana olemasoleva tee muldkeha E-mooduliks on arvutustes võetud 25 MPa (mis tegelikkuses võib olla suurem).

Arvutades katendi kasutades Maano Koppeli poolt koostatud tarkvara vastavalt Elastsete teekatendite projekteerimise juhendile 2001-52, saame ehitaja ja Maanteeameti vahel kokku lepitud katendikonstruktsiooni elastsusmoodulid kruusa, killustiku ja mustsegu kihil sakslaste poolt arvutatutest mõnevõrra erinevad (vt. tabelid 2.2 ja 2.3): kruusa kihil 79 MPa ja killustiku kihil sõltuvalt killustikukihi arvutuslikust E-moodulist 400 MPa (mis oli kasutusel projekteerimise hetkel) saime killustiku kihil 151 MPa ja arvutusliku mooduli 280 MPa (mida kasutatakse hetkel killustikukihi E-moodulina katendiarvutustes) kasutamisel vastavalt 133 MPa. Mustsegust katte pinnal saime katendi üldiseks E-mooduliks killustiku arvutusliku mooduli 400 MPa puhul 171 MPa ja 280 MPa puhul 151 MPa.

Tabel 2.2. Juhendi 2001-52 alusel arvutatud E-moodulid katendikonstruktsiooni erinevate kihtide pinnal (killustikukihi arvutusliku E-mooduliga 400 MPa)

Kihid	Kihi paksus, cm	Kihi elastsusmoodul, MPa	Elastsusmoodul kihil, MPa
		Elastne läbipaine	
MSE 16	5	950	170,6
killustik	20	400	150,9
purustatud kruus	20	150	79,2
looduslik kruus	20	150	50,5
vana muldkeha		25	25

Tabel 2.3. Juhendi 2001-52 alusel arvutatud E-moodulid katendikonstruktsiooni erinevate kihtide pinnal (killustikukihi arvutusliku E-mooduliga 280 MPa)

Kihid	Kihi paksus, cm	Kihi elastsusmoodul, MPa	Elastsusmoodul kihil, MPa
		Elastne läbipaine	
MSE 16	5	950	151,2
killustik	20	280	132,8
purustatud kruus	20	150	79,2
looduslik kruus	20	150	50,5
vana muldkeha		25	25

Kruusa kihil määratud katendi elastsusmoodulite võrdlus (joonis 2.2) näitab, et soo lõigul (450-975), vaatamata kasutatud geotekstiilile ja –võrgule, on siiski väiksemad E-moodulid, kui mujal lõigul. Nimetamisväärselt ei ole olukord paranenud ka pärast killustikukihi ehitamist kruusale – endiselt on väikseimad E-mooduli väärtused soo lõigul (joonis 2.3).

Peale kruusakihi ehitamist on nõutavast E-moodulist (120 MPa) väiksemaid mooduleid lõigul suhteliselt vähe (joonis 2.2) võrreldes olukorraga peale killustikukihi ehitamist (nõutav moodul 140 MPa) (joonis 2.3).

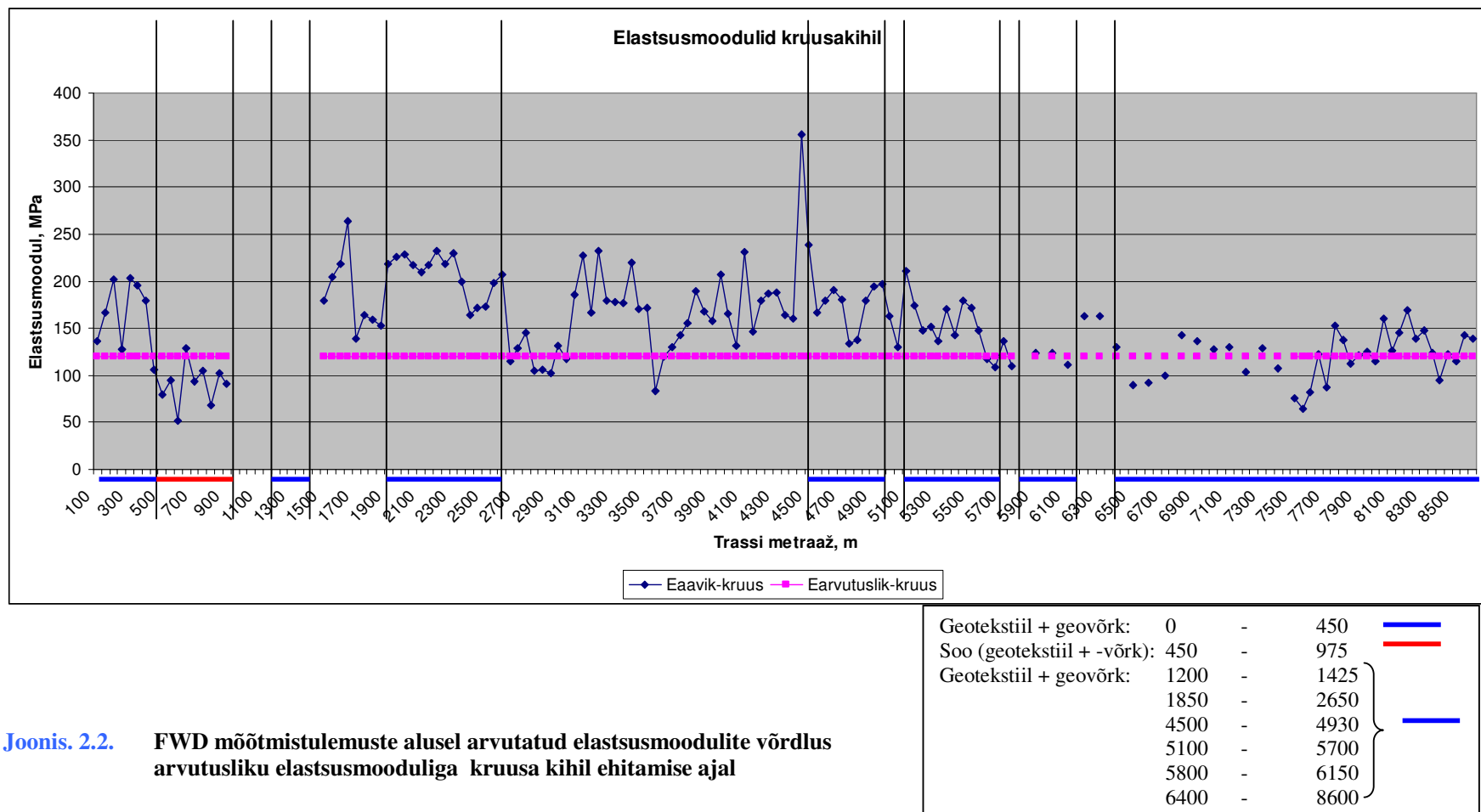
Kui võrrelda katendi E-mooduleid pärast kruusa ja killustikukihi ehitamist (joonis 2.4), siis selgub, et soo lõigul (450-975) ja objekti lõpuosas praktiliselt 3 viimast kilomeetrit (5600-8600) ei muutnud killustikukihi lisamine praktiliselt katendi E-moodulit ehk see jäi samale tasemele, mis oli saavutatud juba kruusakihil. Ülejäänud lõikudel peale killustikukihi ehitamist vähenes katendi E-moodul võrreldes katendi mooduliga kruusakihil. Enne killustikukihi ehitamist oli kogu lõigu keskmine E-moodul kruusakihil 152 MPa ja peale killustikukihi ehitamist killustikukihil 131 MPa (tabel 2.4). Selle põhjuseks võib olla, et ehitaja ei suutnud nõuetekohaselt tihendada fraktsioneeritud killustikust (16/32) kihti. Sellele tehnoloogilisele probleemile oleme juhtinud tähelepanu ka meie varasemates teadustöodes, mille alusel on tehtud ka otsus lõpetada fraktsioneeritud killustikust alusekihtide ehitamine alates 2010-st aastast, asendades viimased Euronormidele vastavate optimaalse terastikulise koostisega killustikusegudega (ehk nn pika fraktsiooniga killustikuga). Käesolevas töös ilmnenu probleem fraktsioneeritud killustikust kihiga tõendab veelkord varasemate tööde alusel tehtud otsuse õigsust.

Samas peale killustikukihi ehitamist on muutunud kogu lõigu E-moodul vähem varieeruvaks ehk lõik on muutunud oma tugevusomadustelt homogeensemaks (vt min ja max väärtused tabelis 2.4, joonis 2.4).

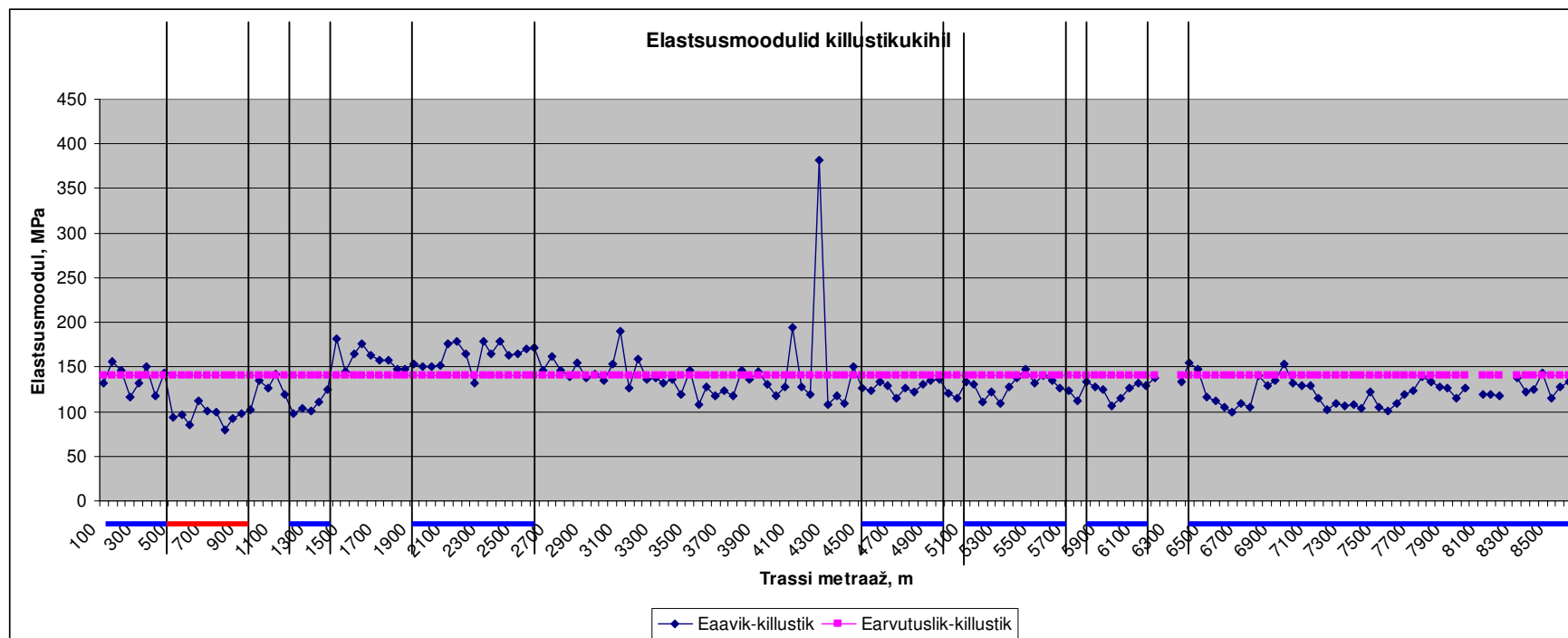
Tabel 2.4. FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed elastsusmooduli väärtused erinevatel katendikonstruktsiooni kihtidel

Elastsusmooduli väärtus	Elastsusmoodul katendi kihil, MPa		
	kruus	killustik	mustkate
keskmine	152	131	191
min	51	80	136
max	263	194	269

Mainima peaks ka muu remondilõiguga võrreldes madalamaid elastsusmooduleid kruusa- ja killustikukihil lõigul 6400-8600 m (joonised 2.2 ja 2.3). Ilmselt on tegemist sellel lõigul samuti soise pinnasega, kuna trassi vahetus läheduses asub Kukepuu soo (joonis 2.2).

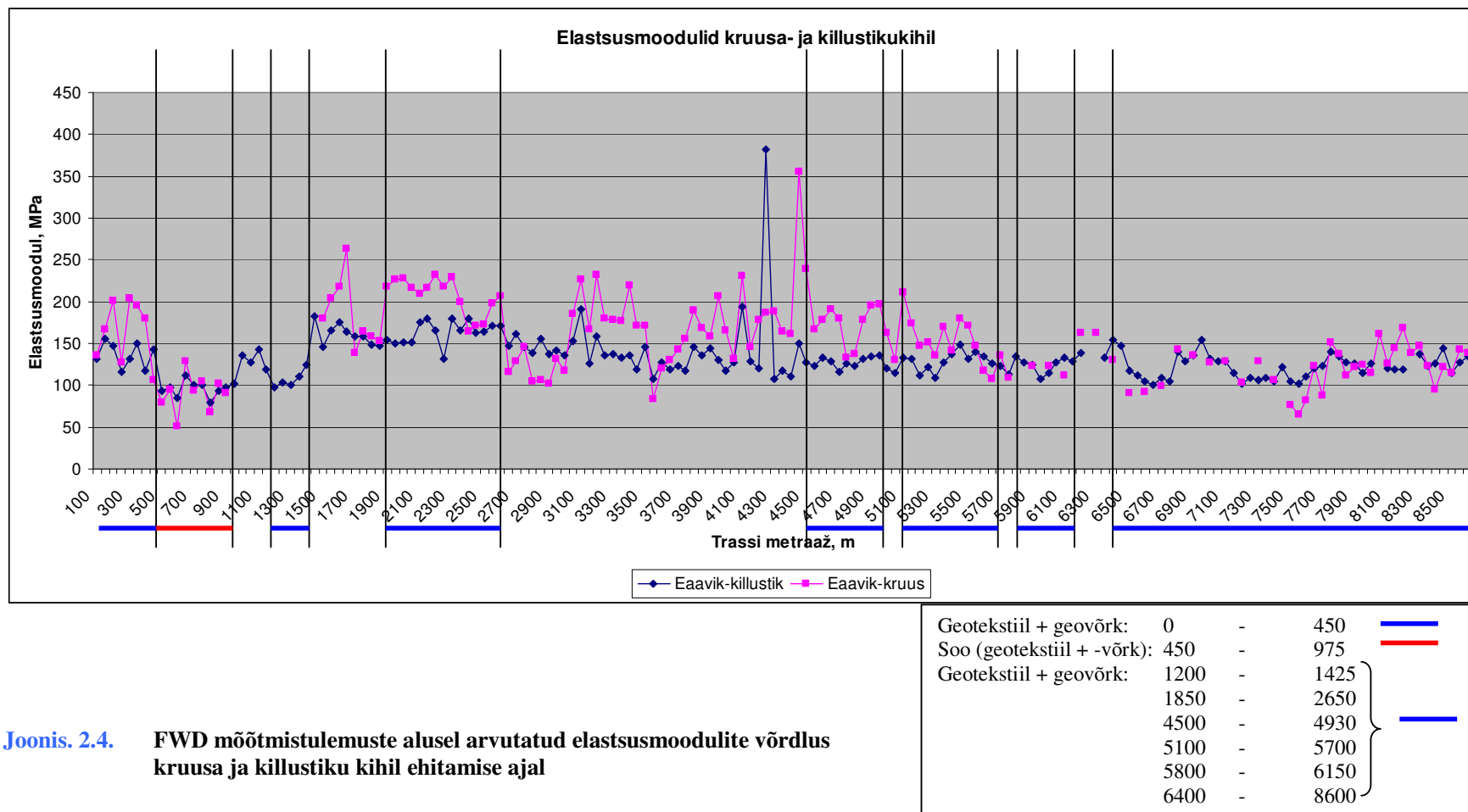


Joonis. 2.2. FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud elastsusmoodulite võrdlus arvutusliku elastsusmooduliga kruusa kihil ehitamise ajal

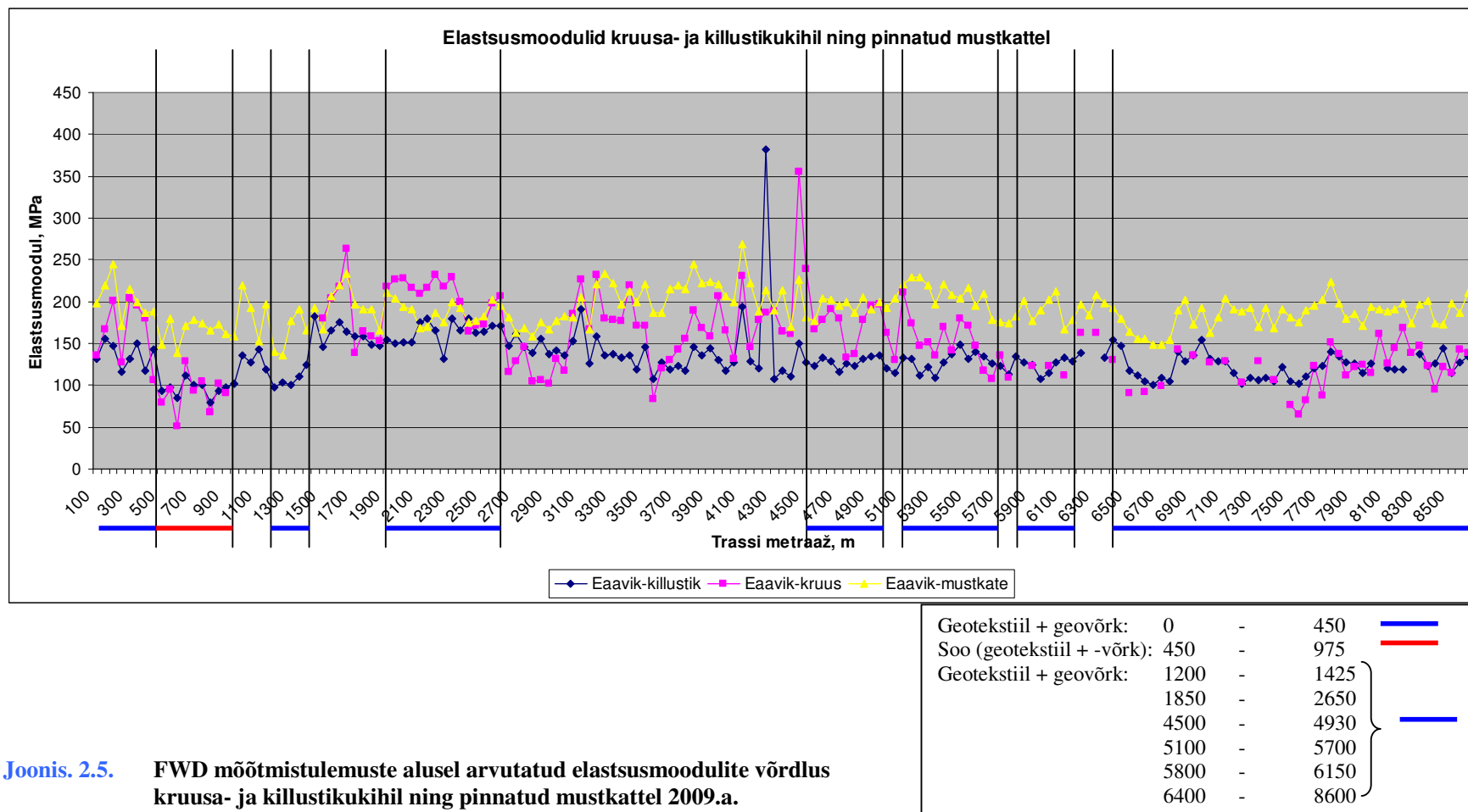


Joonis. 2.3. FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud elastsusmoodulite võrdlus arvutusliku elastsusmooduliga killustiku kihil ehitamise ajal

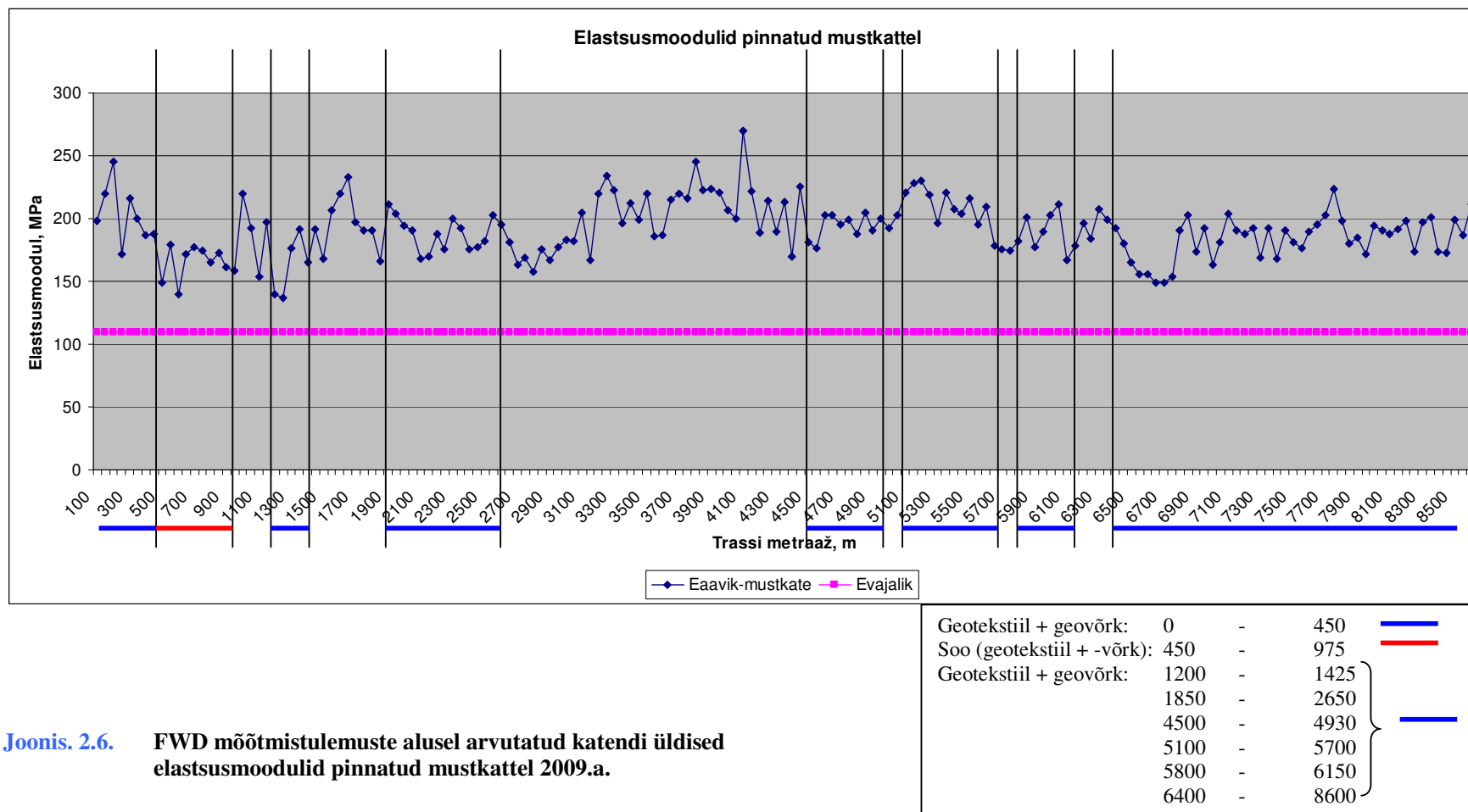
Geotekstiil + geovõrk:	0	-	450	—
Soo (geotekstiil + -võrk):	450	-	975	—
Geotekstiil + geovõrk:	1200	-	1425	—
	1850	-	2650	
	4500	-	4930	
	5100	-	5700	
	5800	-	6150	
	6400	-	8600	



Joonis. 2.4. FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud elastsusmoodulite võrdlus kruusa ja killustiku kihil ehitamise ajal



Joonis. 2.5. FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud elastsusmoodulite võrdlus kruusa- ja killustikukihil ning pinnatud mustkattel 2009.a.



Joonis. 2.6. FWD mõõtmistulemuste alusel arvatatud katendi üldised elastsusmoodulid pinnatud mustkattel 2009.a.

2.3. Elastsusmoodulid katendikonstruktsiooni pinnal

Kui peale killustikukihhi ehitamist kruusa kihile toimus nimetamisväärne elastsusmooduli vähenemine – keskmine moodul kruusakihil 152 MPa ja killustikukihil 131 MPa (joonis 2.4), siis peale mustkatte ehitamist ja pindamist elastsusmoodul lõigul tõusis – keskmine 191 MPa (joonis 2.5).

Lõigul 1850-2650 m osutus elastsusmoodul killustikukihil tunduvalt madalamaks, kui kruusakihil ja seda mooduli vähenemist ei suutnud taastada ka mustkate (joonis 2.5). sellel lõigul jäi mustkattel määratud elastsusmoodul isegi veel väiksemaks, kui seda oli elastsusmoodul määratuna kruusakihil.

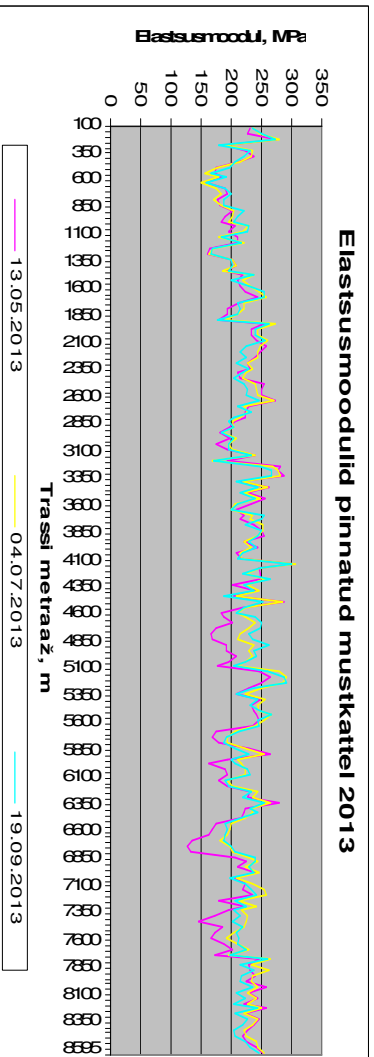
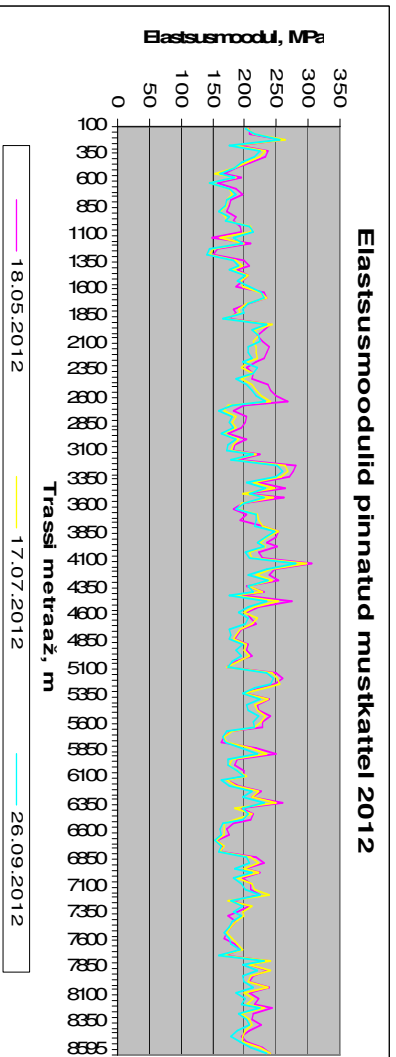
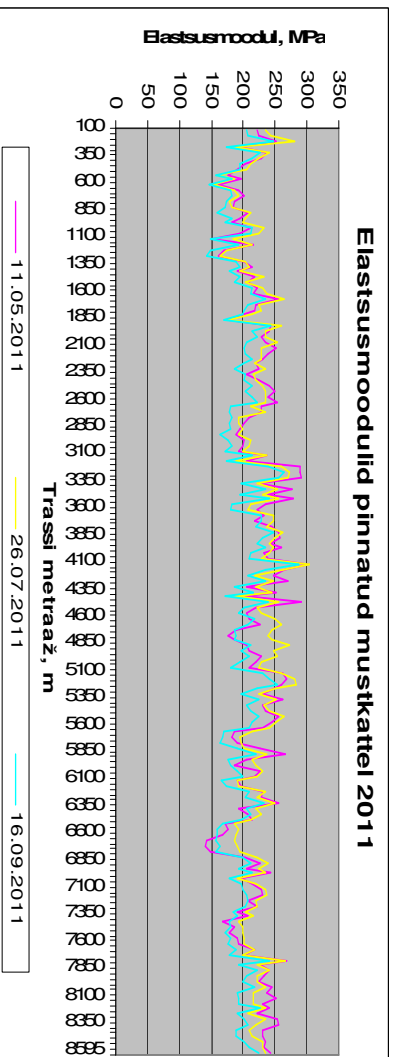
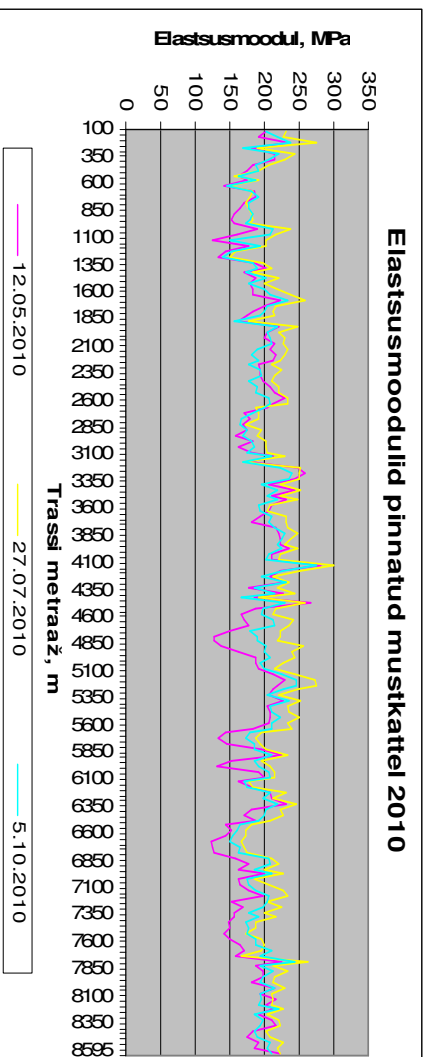
OÜ Tinter-Projekti poolt oli liikluskormuse alusel arvutatud katendi vajalikuks elastsusmooduliks maantee 15111 lõigul 0,0-8,7 km 109 MPa (E_{vajalik}). Kogu lõigul on peale mustkatte ehitamist ja pindamist keskmiseks üldiseks elastsusmooduliks 191 MPa, miinimumvääruks 136 MPa ja maksimumväärtuseks 269 MPa (tabel 2.5, joonis 2.6). Tegelikult ehitatud katendikonstruktsiooni arvutus vastavalt Elastsete teekatendite projekteerimise juhendile 2001-52 andis mooduliks mustkatte pinnal 151 MPa (tabel 2.3). Seega vajalik elastsusmoodul on peale ehitamist keskmiselt lõigul saavutatud. Samas tuleb märkida, et madalaimad üldise elastsusmooduli väärtused mustkattel esinevad soo lõigul (450-975 m) ja sellele järgneval geosünteedidega lõigul (1200-1425 m) (joonis 2.6) ning ka geosünteedidega lõikudel 4700-4850, 6550-6750 ja 7450-7650, mis siiski ületavad vajalikku elastsusmoodulit 109 MPa, aga jäävad väiksemaks arvutatud moodulist 151 MPa. Kuna vajalik elastsusmoodul on siiski neil nõrkadel lõikudel saavutatud, peaksid ka need teoreetiliselt kandma teel olevat liikluskormust katendi projekteeritud tööea jooksul.

2010., 2011., 2012. ja 2013. aasta FWD mõõtmised näitavad E-mooduli sesoonset muutumist (tabel 2.5): suvised E-moodulid pinnatud mustkatte pinnal on üldjuhul suuremad võrreldes kevadiste E-moodulitega (välja arvatud 2012. aasta, kus suvine moodul on väiksem kevadisest moodulist) ja sügisesed E-moodulid on väiksemad suvistest moodulitest (2011. ja 2012. aastal ka kevadistest moodulitest) (joonis 2.7 ja 2.8). 2012. aasta suvised moodulid on võrreldes 2010. ja 2011. aasta suviste moodulitega väiksemad, mida võib-olla seletada 2012. aasta sademeterikka suvega. 2013.a. sügisesed moodulid on aga suuremad võrreldes varasemate aastate sügisest moodulitega, kuna 2013.a. oli suhteliselt sademetevaene suvi ja sügis.

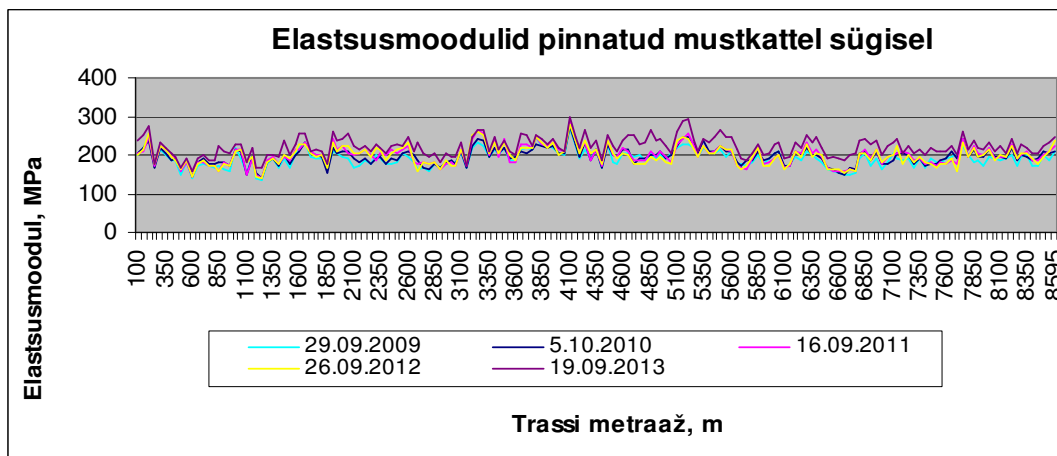
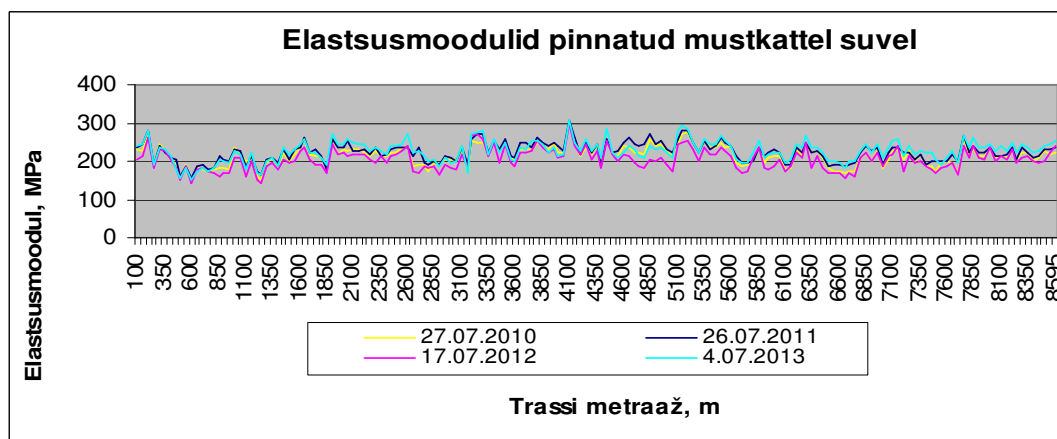
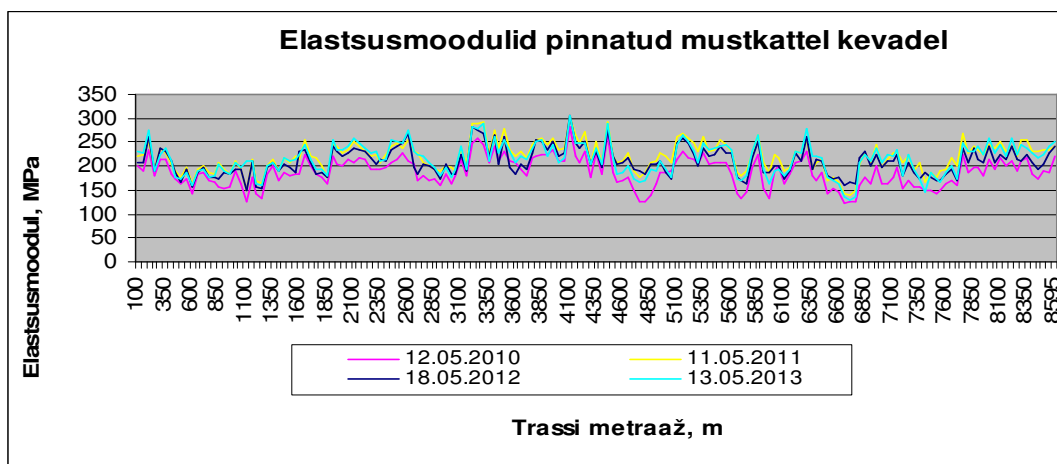
Seose (2.1) tuletamisel on püütud arvestada seotud kihtide temperatuuri mõjuga katendi E-moodulile, kuid niiskuse mõju arvesse võtmine on olnud minimaalne. Seetõttu näitab käeoslevas töös tekkinud kevadiste, suviste ja sügisest E-moodulite väärtuste erinevus (joonis 2.7) just niiskusest tingitud tee kandevõime muutust. 2009, 2010, 2011 ja 2012 sügisest E-moodulite erinevus on keskmiselt 1-4 % ehk mõõtmistulemused langevad praktiliselt kokku. (tabel 2.5, joonis 2.8). 2013.a. sügisesed moodulid on aga ca 12 % suuremad kuiva suve ja sügise tõttu, nagu sai märgitud juba eespool.

Tabel 2.5. FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud (seos (2.1)) elastsusmoodulid pinnatud mustkatte pinnal ja nende suhted

Väärtus	E-moodul, MPa												
	E-mooduli mõõtmiskuupäev FWD-ga												
	29.09.09	12.05.10	27.07.10	5.10.10	11.05.11	26.07.11	16.09.11	18.05.12	17.07.12	26.09.12	13.05.13	04.07.13	19.09.13
kesk	191	188	215	197	220	224	199	210	204	198	215	226	222
min	136	123	149	140	140	153	142	150	144	140	127	150	159
max	269	281	301	274	302	305	287	306	298	281	305	307	299
Väärtus	E-moodulite suhted												
	$E_{\text{suvi10}}/E_{\text{kevad10}}$	$E_{\text{sügis10}}/E_{\text{kevad10}}$	$E_{\text{suvi11}}/E_{\text{kevad11}}$	$E_{\text{sügis11}}/E_{\text{kevad11}}$	$E_{\text{suvi12}}/E_{\text{kevad12}}$	$E_{\text{sügis12}}/E_{\text{kevad12}}$	$E_{\text{suvi13}}/E_{\text{kevad13}}$	$E_{\text{sügis13}}/E_{\text{kevad13}}$					
kesk	1,159	1,060	1,023	0,910	0,977	0,950	1,061	1,043					
min	0,915	0,836	0,852	0,766	0,874	0,853	0,843	0,862					
max	1,863	1,498	1,360	1,165	1,154	1,218	1,560	1,571					



Joonis 2.7. FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud katendi üldised elastsusmoodulid
pinnatud mustkattel 2010 – 2013 aastal



Geotekstiil + geovõrk:	0	-	450
Soo (geotekstiil + -võrk):	450	-	975
Geotekstiil + geovõrk:	1200	-	1425
	1850	-	2650
	4500	-	4930
	5100	-	5700
	5800	-	6150
	6400	-	8600

Joonis 2.8. FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud katendi üldised elastsusmoodulid pinnatud mustkattel kevadel, suvel ja sügisel 2010 - 2013 aastal

Vaatamata geosünteedide (geotekstiil + geovõrk) paigaldamisele teekonstruktsiooni lõikudel 4650-4850 m, 5650-5750 m, 6500-6750 m ja 7400-7550 m, esineb nendel lõikudel ikkagi märkimisväärt kevadist kandevõime kaotust. See näitabki teekonstruktsiooni kevadist kandevõime vähenemist tingituna teealuse pinnase üleniiskumisest kevadisel lumesulamisperioodil. Samas suvised ja sügisesed E-mooduli väärtused nendel lõikudel paranevad võrreldes kevadistega ja märkimisväärt erinevusi trassi teiste lõikudega ei esine.

Samuti näitavad E-mooduli tulemused (joonis 2.7), et lõikudele 1100-1200 m, 2650-3100 m ja 5700-5800 m oleks samuti tulnud katendikonstruktsiooni ühtlasema tugevuse saavutamiseks paigaldada geosünteed, kuna nende lõikud E-moodulid on kõrvalasetsevatest geosünteedidega tugevdatud lõikude moodulitest väiksemad.

Kõik aastatel 2009-2013 teostatud FWD mõõtmised näitavad, et kevadised E-moodulid ületavad vajalikku elastsusmoodulit 109 MPa, aga jäävad mõningatel lõikudel väiksemaks katendi arvutuslikust E-moodulist 151 MPa. Täpsemalt saab hinnata madala kandevõimega lõikude töökindlust hinnates ka kattel esinevaid defekte (p.5).

Analüüsides eraldi geotekstiili ja -võrguga ning ilma nendeta lõikude elastsusmooduleid (tabel 2.6), selgub, et 2009-2013 mõõtmisandmete alusel on geotekstiili- ja võrguga lõikude keskmine E-moodul umbes 5 % väiksem ilma geosünteedita lõikudest, kusjuures minimaalsed E-mooduli väärtused on viimastega võrreldes umbes 10 % ja maksimaalsed väärtused 10 % väiksemad. See on ka loogiline, et lõikudel, kus kasutati geosünteede, on ka halvemad pinnase- ja veerežiimi tingimused ning lähtudes sellest ka madalam kandevõime.

2.4. Katendikonstruktsiooni tugevuse analüüs FWD vajumikausi parameetrite alusel

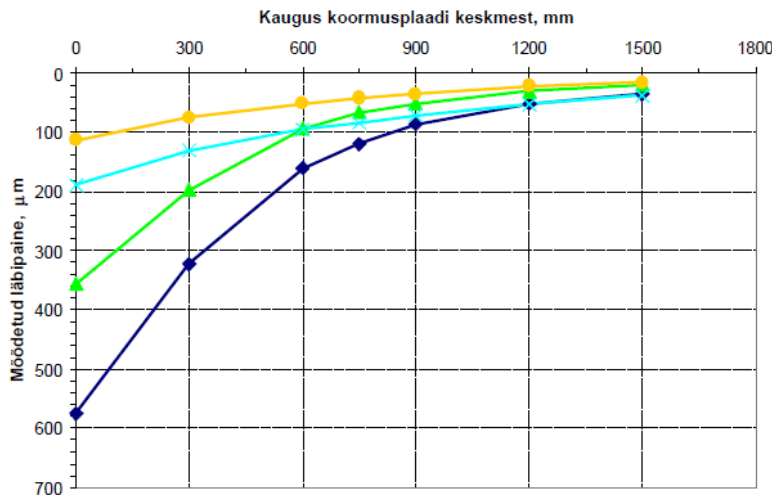
Käesolevas töös on vaatluse all järgmised FWD vajumikausi parameetrid:

- Surface Curvature Index (SCI) e. pinna kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D1 ja D2 lugemite vahe ($d_0 - d_{300}$), mis iseloomustab ülemiste katendikihtide seisukorda 0-30 cm sügavusel katte pinnast;
- Base Damage Index (BDI) e. aluse vigastatuse tegur – FWD läbivajumisandurite D2 ja D3 lugemite vahe ($d_{300} - d_{600}$), mis iseloomustab alusekihtide seisukorda 30-60 cm sügavusel katte pinnast;
- Base Curvature Index (BCI) e. aluse kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D6 ja D7 lugemite vahe ($d_{1200} - d_{1500}$), mis iseloomustab aluspinnase seisukorda 120-150 cm sügavusel katte pinnast .

Joonisel 2.9 on toodud neli erinevat vajumikõverat, mis on koostatud reaalse mõõtmistulemuste põhjal. Mõõdetud läbipainded on väga erinevad ja selgelt on eristatavad tugevamad ja nõrgemad katendid. Nõrka katendit iseloomustavad suured läbipainded koormusplaadi lähedal ja seetõttu on kõvera puutuja tõus suur. Tugeva katendi läbipainded on jaotunud ühtlasemalt ja kõvera puutuja tõus on väiksem. Laugem vajumikõver tuleb sellest, et konstruktsioon jaotab koormuse paremini aluspinnasele laiali. Kuna SCI, BDI ja BCI on erineval kaugusel asuvate andurite lugemite vahed, siis kirjeldavad nad vajumikõvera puutuja tõusu. Parameetri suurema väärtuse tingib järsem puutuja tõus ja võib eeldada, et vastavas katendikihis esineb probleeme, mis põhjustavad madala kandevõime.

Tabel 2.6. FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud (seos (2.1)) elastsusmoodulid pinnatud mustkatte pinnal eraldi geotekstiili ja -võrguga tugevdatud lõikudel ja ilma geosünteedita lõikudel

Väärtus	E-moodul, MPa														Erinevus geosünteedita lõigust, %
	E-mooduli mõõtmiskuupäev FWD-ga													Keskm.	
	29.09.09	12.05.10	27.07.10	5.10.10	11.05.11	26.07.11	16.09.11	18.05.12	17.07.12	26.09.12	13.05.13	4.07.13	19.09.13		
Geotekstiili ja -võrguga lõigud															
keskmine	187	182	211	193	215	220	195	206	201	194	210	225	220	200	-5,35
min	136	123	149	140	140	153	142	152	144	140	127	150	159	142	-10,30
max	245	234	276	246	269	282	254	268	264	256	275	292	291	259	-9,56
Ilma geotekstiili ja -võrguta lõigud															
keskmine	200	201	223	203	230	230	207	216	212	207	225	230	225	213	-
min	153	126	168	149	151	185	149	150	161	159	175	169	171	155	-
max	269	281	301	274	302	305	287	306	298	281	305	307	299	291	-



Joonis 2.9. Näiteid vajumikõverate kujudest

Selleks, et saaksime arvutada FWD mõõtmistulemuste alusel vajumikausi parameetrid SCI, BDI ja BCI, peame taandama mõõdetud deformatsioonid ühtsele normkoormusele (50 kN) ja baastemperatuurile (10°C).

Kuigi koormuse suurus ja langemise kõrgus on igal standardsel mõõtmisel sama, on FWD poolt katte pinnale rakendatav koormus tingimustest sõltuvalt erinev. Tegelikult rakendatud (ja mõõdetud) ($F_{mõõdetud}$) koormust mõjutavad näiteks katendi jäikus, tee profiili kaldenurk ja koormusplaadi peal olevate kummipuhvrite jäikus. Selleks, et võrrelda FWD-ga mõõdetud erinevaid deformatsioone, tuleb need taandada teatud kindlale koormusele ehk korrutada deformatsioonid läbi surveteguriga ($F_{vajalik}/F_{mõõdetud}$) (seos (2.3)). Normkoormuse (50 kN) korral on vajalik ($F_{vajalik}$) kontaktsurve ekvivalent 300 mm plaadil 707 kPa (COST 366).

Mõõdetud deformatsioonide taandamine normkoormusele:

$$d_{r50kN} = d_r * (F_{vajalik} / F_{mõõdetud}) \quad (2.3)$$

kus: d_{r50kN} - normkoormusele 50 kN vastav deformatsioon kaugusel r (mm) koormusplaadi keskpunktist, μm;
 d_r - FWD-ga mõõdetud deformatsioon koormusplaadi kontaktsurvel F mõõdetud (kPa) kaugusel r (mm) koormusplaadi keskpunktist, μm;
 $F_{vajalik}$ - 50 kN koormusele vastav koormusplaadi kontaktsurve ($F_{vajalik} = 707$ kPa).

Bituumensideainega töödeldud kihtide E-moodul on sõltuv temperatuurist. Seetõttu on erinevate temperatuuride juures sama konstruktsiooni puhul mõõdetud läbipained kattekihi jäikusest sõltuvad. Asfaldikihi temperatuur võib FWD mõõtmiste ajal varieeruda vahemikus +5...+35°C. Seega tuleks deformatsioonid taandada ka arvutuslikule temperatuurile. Kindlasti ei ole temperatuuri mõju kõikide andurite mõõtetulemustele samasugune – ilmselt avaldab temperatuur koormusest kaugemal paiknevate andurite mõõtmistulemustele vähem mõju. Eestis ei ole FWD mõõtmistulemuste temperatuuriparandustegureid seni leitud. Elastsete katendite projekteerimisjuhendi (2001-52) alusel arvutatakse katend elastsele vajumile temperatuuril +10°C. A. Aavik leidis oma doktoritöös FWD mõõtmistulemuste alusel

arvutatud katendi üldise E-mooduli temperatuuriparandustegurid (K_t) baastemperatuurile (10°C) sõltuvalt bituumensideainega töödeldud kihi tüübist ja keskmisest temperatuurist (T) (tabel 2.7).

Tabel 2.7. Temperatuuriparandustegur mustkattele

Katte tüüp	Temperatuuriparandustegur (K_t)
Mustkate	$K_t = 0,000205 T^2 - 0,015198 T + 1,135192$

Mõõdetud deformatsioonide taandamine normkoormusele ja baastemperatuurile $+10^\circ\text{C}$ toimub järgmise seose alusel:

$$d_{r50kNT} = d_r * (F_{\text{vajalik}} / F_{\text{mõõdetud}}) * K_t \quad (2.4)$$

kus: d_{r50kNT} - normkoormusele 50 kN ja baastemperatuurile $+10^\circ\text{C}$ vastav deformatsioon, μm ;
 d_r - FWD-ga mõõdetud deformatsioon koormusplaadi kontaktsurvel $F_{\text{mõõdetud}}$ (kPa), μm ;
 F_{vajalik} - 50 kN koormusele vastav koormusplaadi kontaktsurve ($F_{\text{vajalik}} = 707 \text{ kPa}$);
 K_t - temperatuuriparandustegur (tabel 2.7).

Normkoormusele ja baastemperatuurile $+10^\circ\text{C}$ taandatud deformatsioonide alusel arvutatakse vajumikausi parameetrid (lisa 6):

- Surface Curvature Index (SCI) e. pinna kõverustegur:

$$SCI = d_{0\ 50kNT} - d_{300\ 50kNT} \quad (2.5)$$

- Base Damage Index (BDI) e. aluse vigastatuse tegur:

$$BDI = d_{300\ 50kNT} - d_{600\ 50kNT} \quad (2.6)$$

- Base Curvature Index (BCI) e. aluse kõverustegur:

$$BCI = d_{1200\ 50kNT} - d_{1500\ 50kNT} \quad (2.7)$$

Ott Talviku poolt leitud võrrandite abil [FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud parameetrite SCI, BDI ja BCI kasutamine teekatendi seisukorra hindamisel. Lõpparuanne 2007-13/L. TTÜ teedeinstituut, Maanteeamet, 2007] on võimalik arvutada vajalikule E-moodulile vastavaid vajumikausi parameetrite piirväärtusi erinevate katteliikidega maanteedel. Sisestades vajaliku E-mooduli (E_{vajalik}) väärtuse võrrandisse (2.8) saab teada suurima lubatava vajumikausi parameetri ehk selle piirväärtuse antud teelõigu kohta.

Võrranditel on astmefunktsiooni kuju:

$$y = a_0 x^{a_1} \quad (2.8)$$

kus $x = E_{\text{vajalik}}$, MPa;
 y – otsitav vajumikausi parameeter (SCI, BDI, BCI);
 a_0, a_1 – vastavalt tabelile 2.8.

Tabel 2.8. Tegurid vajumikausi parameetrite SCI, BDI ja BCI piirväärtuste arvutamiseks mustkattel seosega (2.8)

Katteliik	y	a_0	a_1
Mustkate	SCI	834 463	-1,55
	BDI	2 055 457	-1,84
	BCI	983 446	-1,99

Maantee 15111 lõigu km 0,0-8,7 vajalik elastsusmoodul $E_{\text{vajalik}}=109$ MPa ja arvutuslik elastsusmoodul $E_{\text{arvutuslik}}=151$ MPa. Lähtudes sellest saame arvutada eelnimetatud lõigu vajumikausi parameetrite SCI, BDI ja BCI piirväärtused (tabel 2.9).

Tabel 2.9. Vajumikausi parameetrite SCI, BDI ja BCI piirväärtused maantee 15111 lõigul km 0,0-8,7

Vajumikausi parameeter	Piirväärtus	
	$E_{\text{vajalik}}=109$ MPa	$E_{\text{arvutuslik}}=151$ MPa
SCI	580	350
BDI	366	201
BCI	87	45

Peale vajumikausi parameetrite tegelike väärtuste (seosed (2.5), (2.6) ja (2.7), lisa 6) ja maksimaalselt lubatavate piirväärtuste (tabel 2.9) arvutamist võrreldakse esimesi viimastega ja juhul, kui:

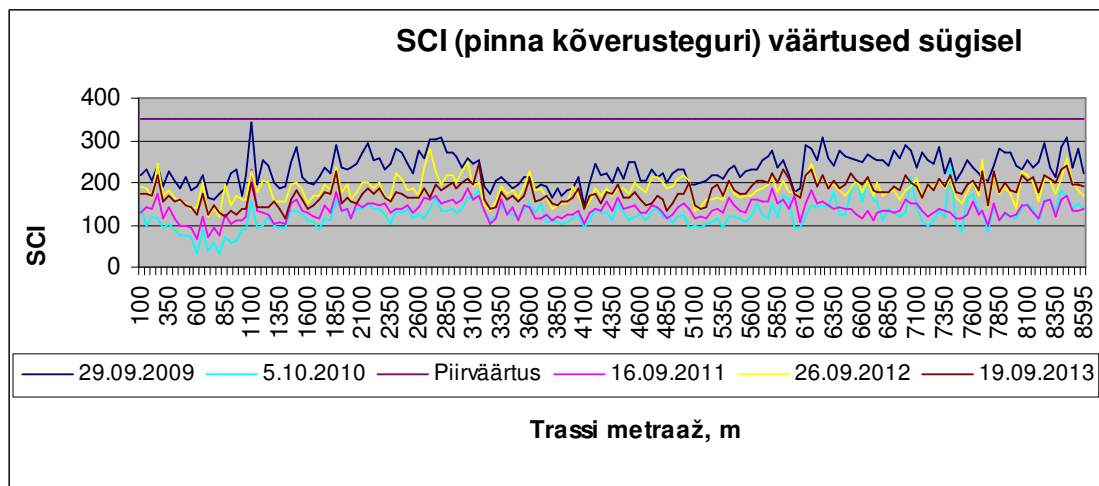
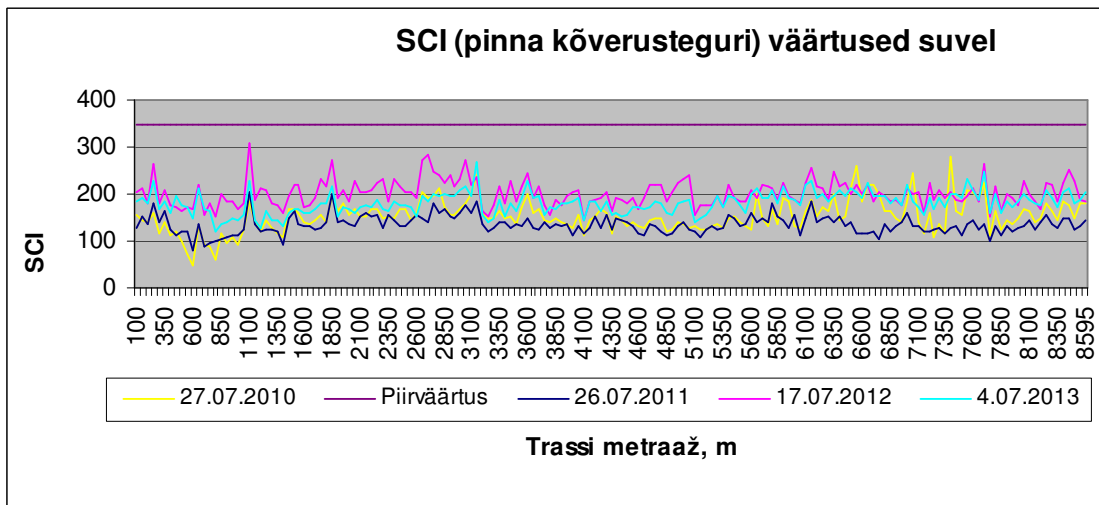
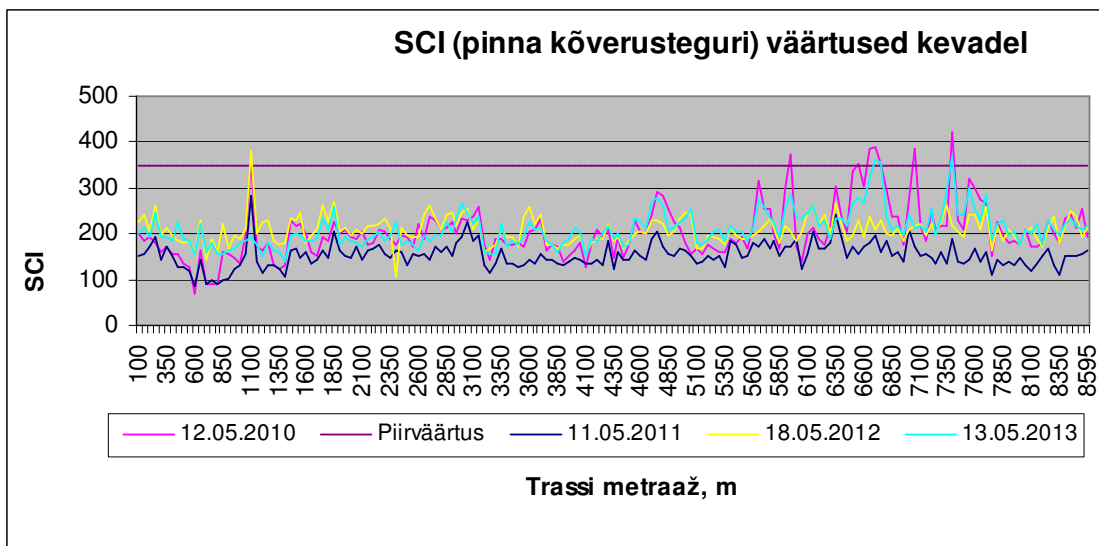
- Arvutatud tegelik SCI väärtus on suurem, kui tema maksimaalselt lubatav piirväärtus ($SCI > SCI_{\text{piir}}$), esineb meil probleeme ülemistes katendi kihtides (kuni 30 cm sügavuseni) ja mis tuleb meil remondiga kõrvaldada.
- Arvutatud tegelik BDI väärtus on suurem, kui tema maksimaalselt lubatav piirväärtus ($BDI > BDI_{\text{piir}}$), esineb meil probleeme teekonstruktsioonis 30-60 cm sügavusel.
- Arvutatud tegelik BCI väärtus on suurem, kui tema maksimaalselt lubatav piirväärtus ($BCI > BCI_{\text{piir}}$), esineb meil probleeme ilmselt aluspinnases (120-150 cm sügavuses).

Arvutatud vajumikausi parameetrite alusel saame me mingil määral hinnata ehitatud katendikonstruktsiooni seisukorda järgmise põhimõtte alusel: mida suurem on SCI, BDI või BCI väärtus, seda halvem on antud kihi struktuurne seisukord (joonised 2.10, 2.11 ja 2.12, lisa 6).

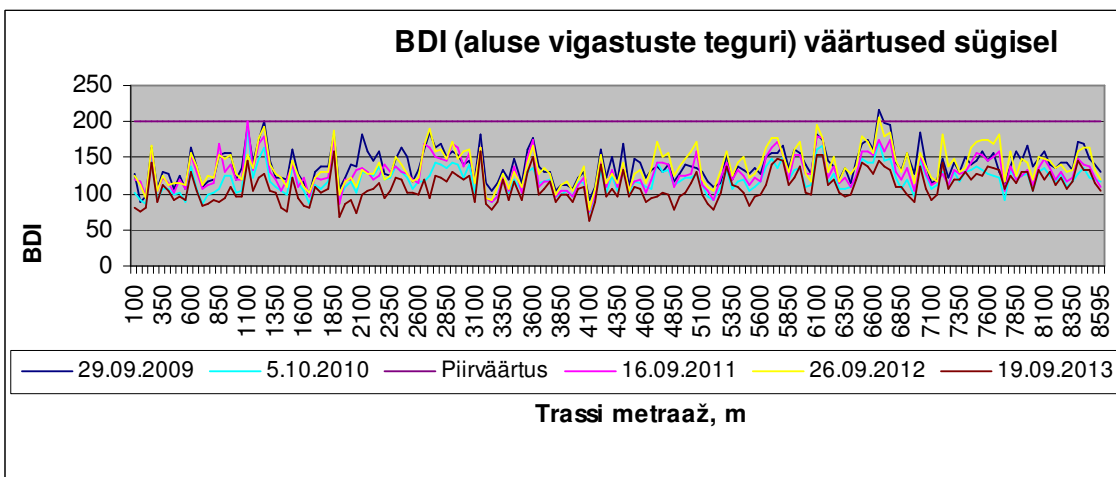
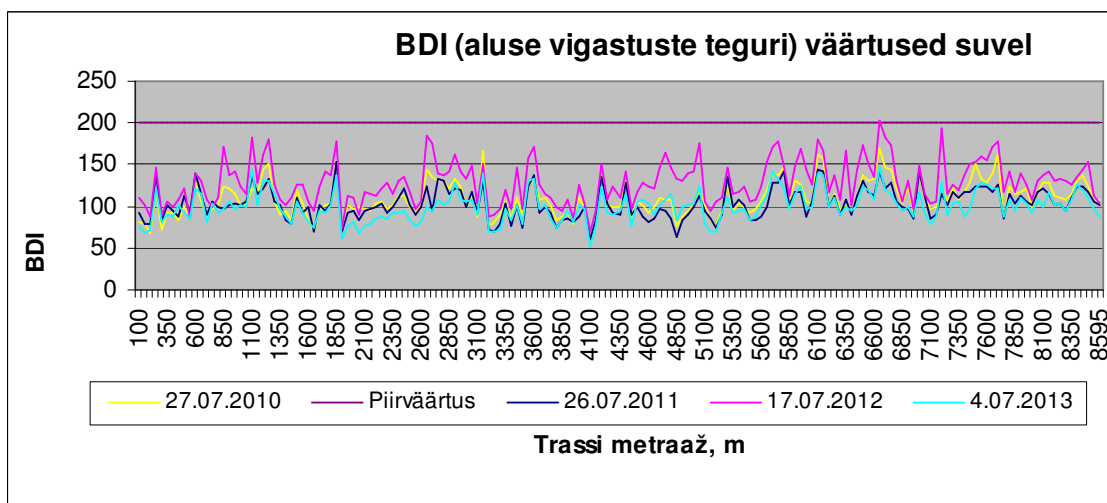
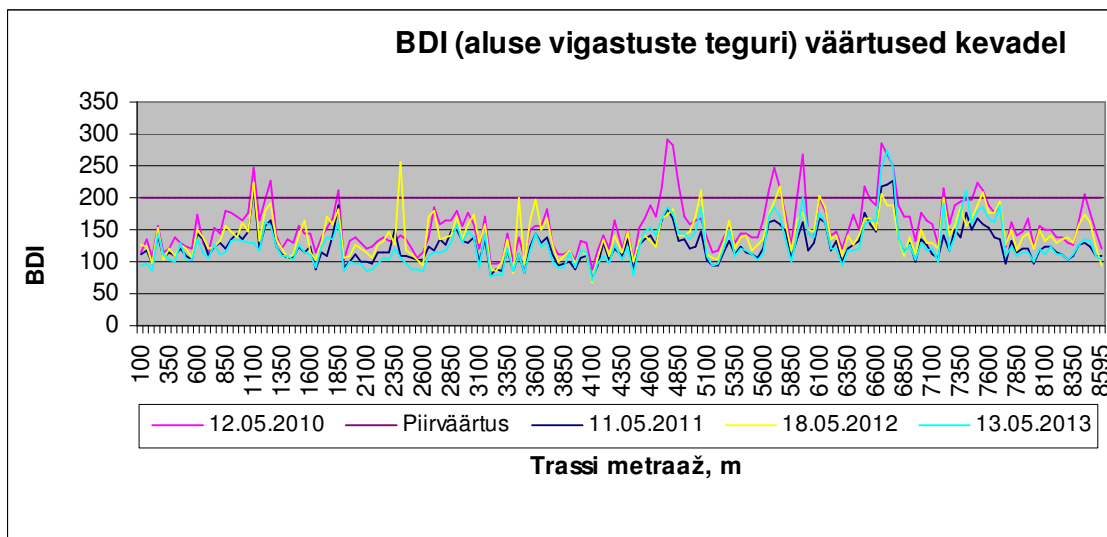
Võrreldes FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud SCI, BDI ja BCI keskmiseid, minimaalseid ja maksimaalseid väärtuseid nende piirväärtustega selgub, et mitte ühelgi juhul ei ole piirväärtused E_{vajaliku} puhul ületatud (tabel 2.10). See tähendab, et katendikonstruktsiooni tugevus katte pinnalt kuni 600 mm sügavuseni ja ka sügavusel 1200-1500 mm peaks vastama meie katendi vajalikule elastsusmoodulile 109 MPa.

Tabel 2.10. Vajumikausi parameetrite SCI, BDI ja BCI keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed väärtused maantee 15111 lõigul km 0,0-8,7 erinevatel mõõtmisaegadel

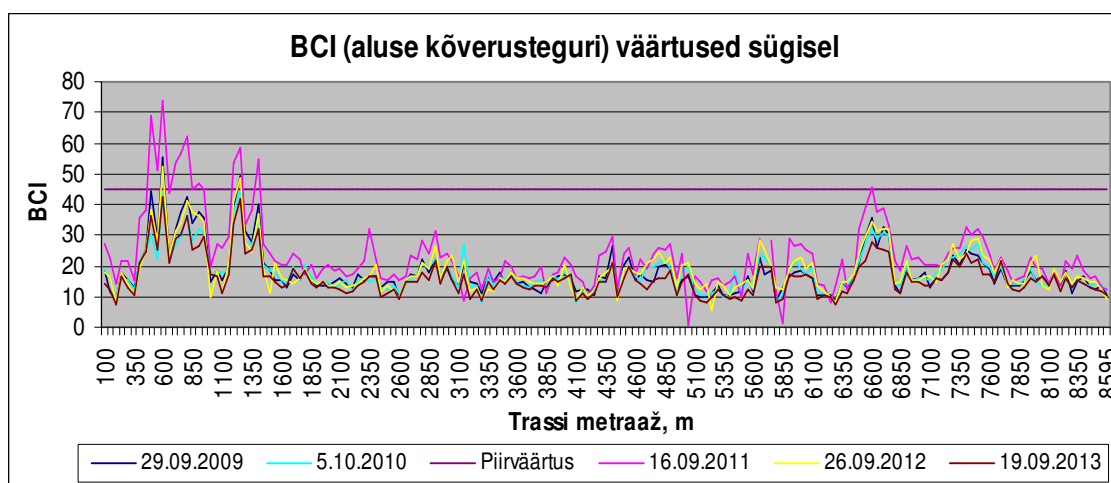
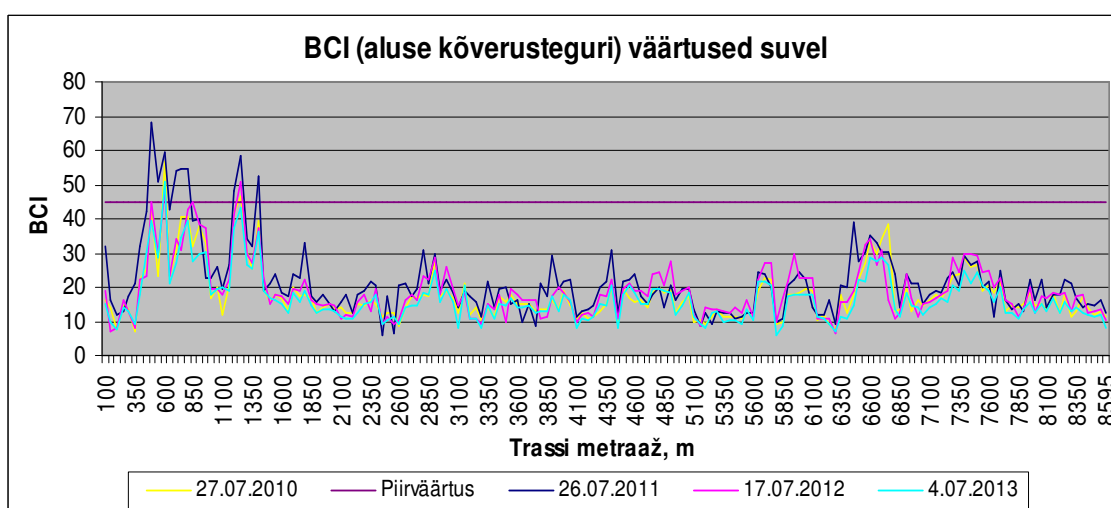
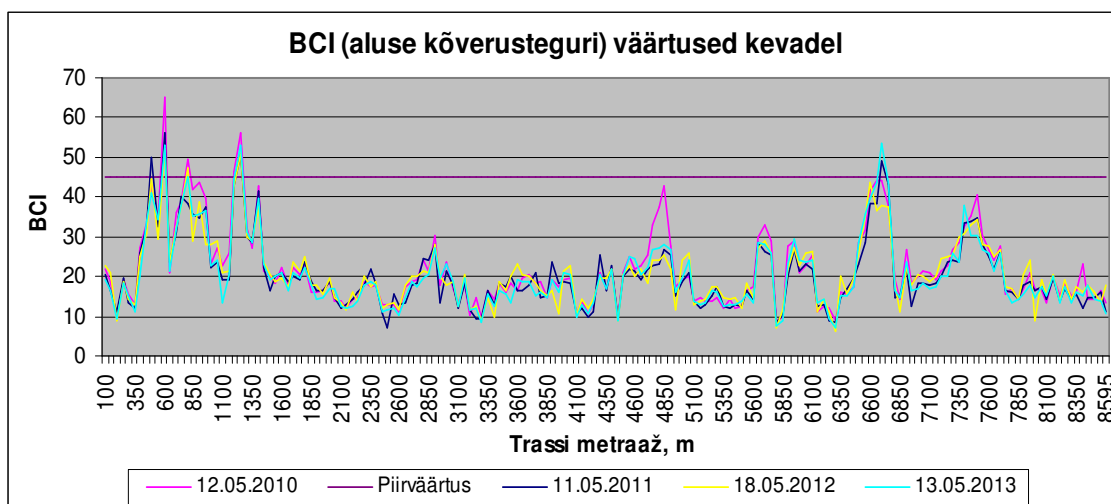
Vajumikausi parameeter		Piirväärtus		Keskmine	Minimaalne	Maksimaalne
		E _{vajalik} =109 MPa	E _{arvutuslik} =151 MPa			
SCI	29.09.09	580	350	232	149	340
	12.05.10			205	69	424
	27.07.10			153	49	281
	5.10.10			124	31	239
	11.05.11			153	87	284
	26.07.11			135	81	202
	16.09.11			135	67	231
	18.05.12			208	107	383
	17.07.12			202	145	309
	26.09.12			184	121	278
	13.05.13			211	138	367
	4.07.13			181	121	269
	19.09.13			177	117	242
BDI	29.09.09	366	201	140	90	216
	12.05.10			156	89	291
	27.07.10			109	64	168
	5.10.10			120	72	190
	11.05.11			125	73	225
	26.07.11			104	60	152
	16.09.11			130	75	199
	18.05.12			141	69	255
	17.07.12			129	70	204
	26.09.12			138	77	206
	13.05.13			126	69	273
	4.07.13			100	52	147
	19.09.13			110	62	158
BCI	29.09.09	87	45	18	8	56
	12.05.10			22	9	65
	27.07.10			18	7	57
	5.10.10			18	8	45
	11.05.11			20	7	56
	26.07.11			21	6	68
	16.09.11			23	1	74
	18.05.12			21	6	52
	17.07.12			19	6	51
	26.09.12			19	5	52
	13.05.13			20	7	53
	4.07.13			17	6	51
	19.09.13			16	7	42



Joonis 2.10. Surface Curvature Index (SCI) e. pinna kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D1 ja D2 lugemite vahe ($d_{0\ 50\text{knT}} - d_{300\ 50\text{knT}}$), mis iseloomustab ülemiste katendikihtide (sügavusel 0-300 mm) seisukorda



Joonis 2.11. Base Damage Index (BDI) e. aluse vigastatuse tegur – FWD läbivajumisandurite D2 ja D3 lugemite vahe ($d_{300\ 50\text{KNT}} - d_{600\ 50\text{KNT}}$), mis iseloomustab alusekihtide (sügavusel 300-500 mm) seisukorda



Joonis 2.12. Base Curvature Index (BCI) e. aluse kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D6 ja D7 lugemite vahe ($d_{1200\ 50kNT} - d_{1500\ 50kNT}$), mis iseloomustab aluspinnase (sügavusel 1200-1500 mm) seisukorda

Arvutusliku E-mooduli 151 MPa ($E_{\text{arvutuslik}}$) puhul on aga olukord teine (joonised 2.10, 2.11 ja 2.12): piirväärtuste ületamist esineb nii SCI (2010, 2012 ja 2013.a.), BDI (2009-2013) kui ka BCI (2009-2013) puhul (tabel 2.10 punasega, lisas 6 kollase taustaga). SCI ehk pinna kõverusteguri puhul, mis iseloomustab katendikonstruktsiooni ülemist osa, esineb piirväärtuste ületamist 2010. ja 2013.a. kevadiste mõõtmiste puhul ja seda peamiselt lõigul 6500-7400 m Kukepuu soo vahetus läheduses ja 2010 ning 2012 aadressil 1100 m, kus puudub armeeriv geosünteeet ning ka mille E-moodul on suhteliselt madal (joonis 2.10). BDI ehk aluse vigastuste tegur, mis iseloomustab võimalikke probleeme 30-60 cm sügavusel katendis, ületab oma piirväärtust peamiselt 2010-2012.a. kevadistel FWD mõõtmistel lõikudel 1000-1200 m, 4700-4850 m, 5650-5950 m ning 2010-2013.a. lõikudel 6500-6750 m ja 7200-7550 m (joonis 2.11). BCI ehk aluse kõverusteguri puhul, mis iseloomustab aluspinnase seisukorda, esineb aga piirväärtust ületavaid väärtusi kõigil aastatel (2009-2013) soo lõigul 450-975 m, lõigul 1200-1400 m ja ka Kukepuu soo lähedasel lõigul 6650-6750 m (joonis 2.12).

Lähtudes eeltoodust võib eeldada ka nimetatud lõikudel tee puudulikust kandevõimest tingitud kattedefektide tekkimist aja jooksul. Selgelt eristub soo lõik (450-975 m) ja sellele vahetult järgnev nõrk lõik (1200-1425 m), aga samuti ka lõik 6400-7600 m, kus on ka selgelt kõige väiksemad katendi üldised elastsusmoodulid mustkatte kihil (joonis 1.2).

Lisaks tuleb märkida, et FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud SCI (pinna kõverusteguri) 2010-2013. aasta väärtused on vähenenud võrreldes 2009.a. sügiseste mõõtmistulemustega (joonis 2.10), mis viitab sellele, et aja jooksul on toimunud katendi ülemise osa (0-300 mm) formeerumine, ehk see on muutunud tugevamaks võrreldes peale ehituseaegse perioodiga. 2012-2013.a. mõõtmistulemuste alusel arvutatud SCI väärtused on aga võrreldes 2010. ja 2011.a. SCI väärtustega kasvanud, mis aga võib viidata võimalikule katte seisukorra halvenemisele 2011/12 talveperioodi tulemusena.

BDI väärtuste puhul (aluse vigastuste tegur, 300-600 mm sügavusel) on kõige suurem erinevus 2010 ja 2011 aasta kevadistes BDI väärtustes, kus 2011.a. kevadine aluse seisukord tundub olevat märgatavalt parem 2010.a. kevadisest aluse seisukorrast (joonis 2.11). Samas tuleb aga märkida, et kõik BDI väärtused on 2009-2013.a. perioodil püsinnud suhteliselt stabiilsetena. Eristub 2012.a. suvised BDI väärtused, mis suuremad, kui teistel aastatel, mis võib olla tingitud 2012.a. vihmahohkest suvest.

Aluspinnase (BCI – aluse kõverustegur, 1200-1500 mm) puhul on märgata probleemide kasvu 2011.a. sügisel, kus BCI väärtused soo lõikudel (450-975 m, 1200-1400 m ja 6650-6750 m) on 2009, 2010, 2012-13.a. vastavatest väärtustest nimetamisväärselt suuremad, ületades ka BCI piirväärtust. 2012-13.a. suvised ja sügisesed BCI väärtused on võrreldes 2011.a. vastavate väärtustega väiksemad, mis tähendab, et võrreldes 2011. aastaga on olukord parem. Kevadised BCI väärtused on aastate lõikes suhteliselt lähedased. (Joonis 2.12)

Analüüsides eraldi geotekstiili ja -võrguga ning ilma nendeta lõikude vajumikausi parameetreid (tabel 2.11), selgub, et 2009-2013 mõõtmisandmete alusel:

- Geotekstiili- ja võrguga lõikude keskmine SCI väärtus on umbes võrdsed ilma geosünteedita lõikude keskmise SCI väärtusega (erinevus 0,13 %). Minimaalsed SCI väärtused on viimastega võrreldes umbes 21 % ja maksimaalsed väärtused 2,5 % väiksemad. See viitab kaudselt sellele, et geosünteediga tugevdatud lõikude katendi ülemine osa on paremas seisukorras, kui geosünteedita lõikude katenditel.

Tabel 2.11. Vajumikausi parameetrite SCI, BDI ja BCI keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed väärtused maantee 15111 lõigul km 0,0-8,7 erinevatel mõõtmisaegadel eraldi geotekstiili ja -võrguga tugevdatud lõikudel ja ilma geosünteedita lõikudel

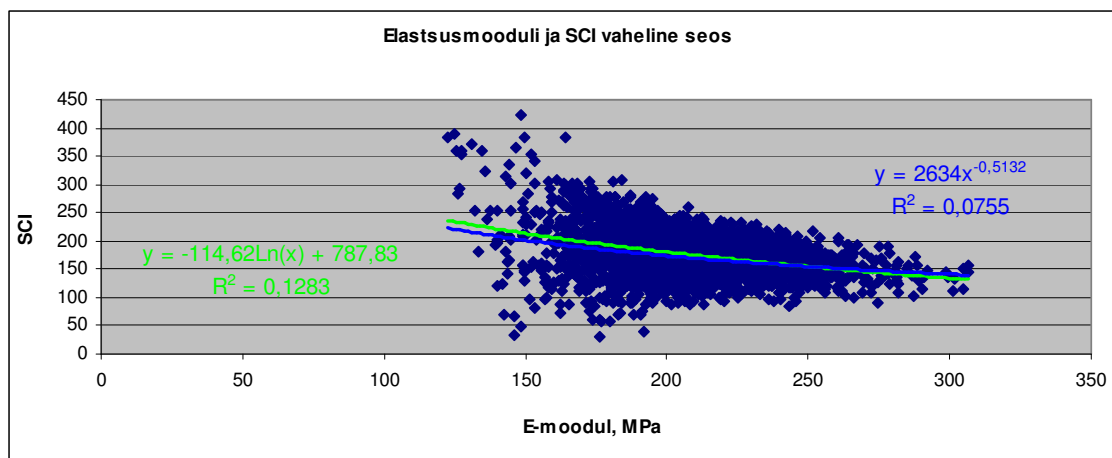
Väärtus	Mõõtmiste teostamise kuupäev													Keskmine	Erinevus geosünteedita lõigust, %
	29.09.09	12.05.10	27.07.10	05.10.10	11.05.11	26.07.11	16.09.11	18.05.12	17.07.12	26.09.12	13.05.13	4.07.13	19.09.13		
	SCI														
Geotekstiili ja -võrguga lõigud															
Kesk	236	210	151	123	151	132	133	206	199	183	216	181	179	177	-0,13
Min	162	69	49	31	87	81	67	107	151	121	138	121	117	100	-20,98
Max	305	424	281	239	208	200	185	271	274	258	367	249	239	269	-2,47
Ilma geotekstiili ja –võrguta lõigud															
Kesk	225	196	156	127	157	141	140	214	207	186	201	180	173	177	-
Min	149	129	94	87	116	111	101	157	145	132	150	140	136	127	-
Max	340	361	239	180	284	202	231	383	309	278	267	269	242	276	-
Väärtus	BDI													Keskmine	Erinevus, %
Geotekstiili ja -võrguga lõigud															
Kesk	142	162	112	122	129	105	131	143	130	141	130	101	111	128	+6,10
Min	90	102	67	86	91	64	86	93	75	94	84	60	68	81	+14,82
Max	216	291	168	181	225	152	181	255	204	206	273	147	158	205	+9,11
Ilma geotekstiili ja –võrguta lõigud															
Kesk	136	144	105	117	118	100	127	138	126	132	116	98	108	120	-
Min	91	89	64	72	73	60	75	69	70	77	69	52	62	71	-
Max	194	248	167	190	216	137	199	224	182	191	186	144	158	187	-
Väärtus	BCI													Keskmine	Erinevus, %
Geotekstiili ja -võrguga lõigud															
Kesk	19	23	19	19	22	23	25	22	20	20	22	17	17	21	+23,14
Min	8	9	7	9	7	6	1	7	7	5	8	6	8	7	-3,71
Max	56	65	57	45	56	68	74	52	51	52	53	51	42	56	+100,06
Ilma geotekstiili ja –võrguta lõigud															
Kesk	16	18	16	16	18	19	19	18	17	16	17	15	14	17	-
Min	9	9	7	8	9	8	1	6	6	8	7	7	7	7	-
Max	26	30	27	27	28	33	31	29	29	26	25	25	22	28	-

- BDI keskmised väärtused on aga geosünteediga tugevdatud lõikudel suuremad, kui tugevdamata lõikudel (keskmised väärtused 6 %, minimaalsed 15 % ja maksimaalsed 9 %), mis tähendab, et geosünteediga tugevdatud lõikude alused (300-600 mm sügavusel) on halvemas olukorras, kui tugevdamata lõikude alused. Kas geosünteediga „kotti“ seotud kruusa kihi peenos on ummistanud geotekstiili avad ja ei lase veel „kotist“ välja voolata? Sellele küsimusele ei ole võimalik ilma alusest niiskusproove võtmata vastata.
- Geosünteediga tugevdatud lõikude BCI keskmised väärtused on aga umbes 23 % suuremad tugevdamata lõikude BCI väärtustest, mis tähendab, et geosünteedidega tugevdatud lõikude aluspinnased (sügavusel 1200-1500 mm) on halvemate kandvate omadustega, kui tugevdamata lõikude aluspinnased. See on ka loomulik, sest geosünteedide kasutamine toimuski lõikudel, mille aluspinnased olid halvemad, kui geosünteedideta lõikudel.

2.5. Seos katendi üldise E-mooduli ja FWD vajumikausi parameetrite vahel

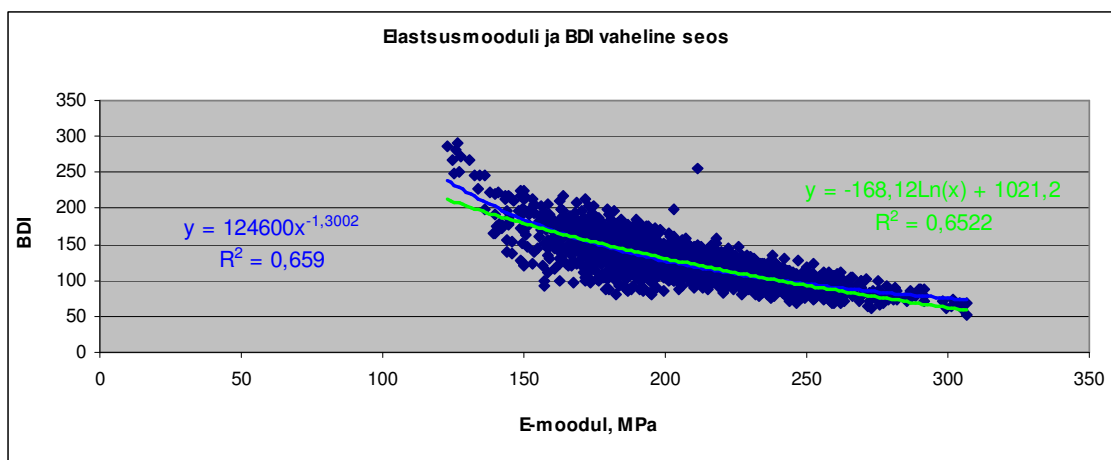
Järgnevalt on uuritud võimalikku seost 2009-2013 FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud kevadiste, suviste ja sügiseste katendi üldiste elastsusmoodulite (lisa 5) ning vajumikausi parameetrite SCI, BDI ja BCI (lisa 6) vahel.

Analüüsist selgus, et pinna kõverusteguri (SCI) ja katendi üldise elastsusmooduli väärtuste vaheline seos praktiliselt puudub – determinatsioonikordaja R^2 maksimaalne väärtus on 0,13 (joonis 2.13).



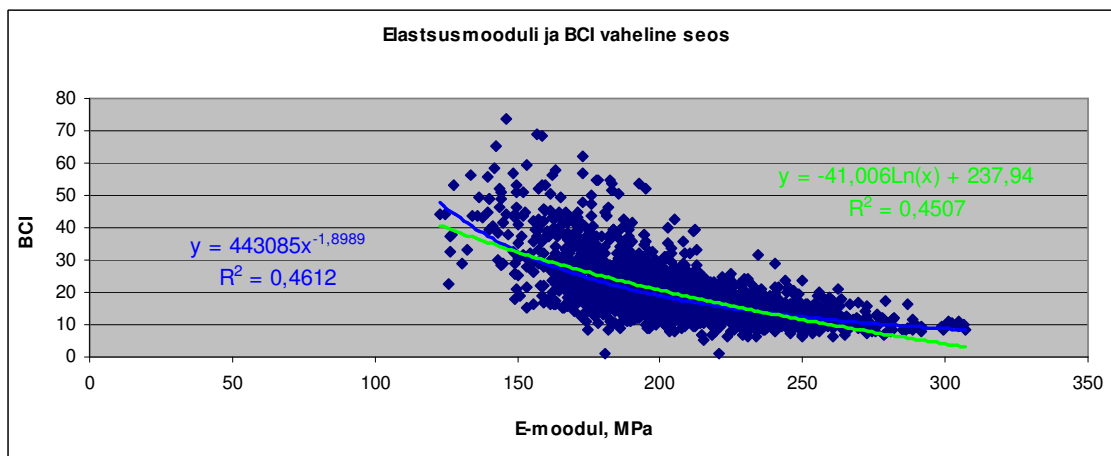
Joonis 2.13. Katendi üldise E-mooduli ja Surface Curvature Index'i (SCI) e. pinna kõverusteguri (iseloomustab ülemiste katendikihtide sügavusel 0-300 mm seisukorda) vaheline seos

Suhteliselt hea seos esineb aluse vigastuste teguri (BDI) ja katendi üldise E-mooduli väärtuste vahel - determinatsioonikordaja R^2 max väärtus 0,66 (joonis 2.14), mis tähendab, et 300-500 mm sügavusel teekonstruktsioonis asuvate konstruktiivsete kihtide seisukord mõjutab katendi E-moodulit 66 % tõenäosusega.



Joonis 2.14. Katendi üldise E-mooduli ja Base Damage Index'i (BDI) e. aluse vigastatuse teguri (iseloostab alusekihtide sügavusel 300-500 mm seisukorda) vaheline seos

Mingi seos esineb ka aluse kõverusteguri (BCI) ja katendi üldise E-mooduli väärtuste vahel - determinatsioonikordaja R^2 max väärtus 0,46 (joonis 2.15), mis tähendab, et seos on rahuldav.

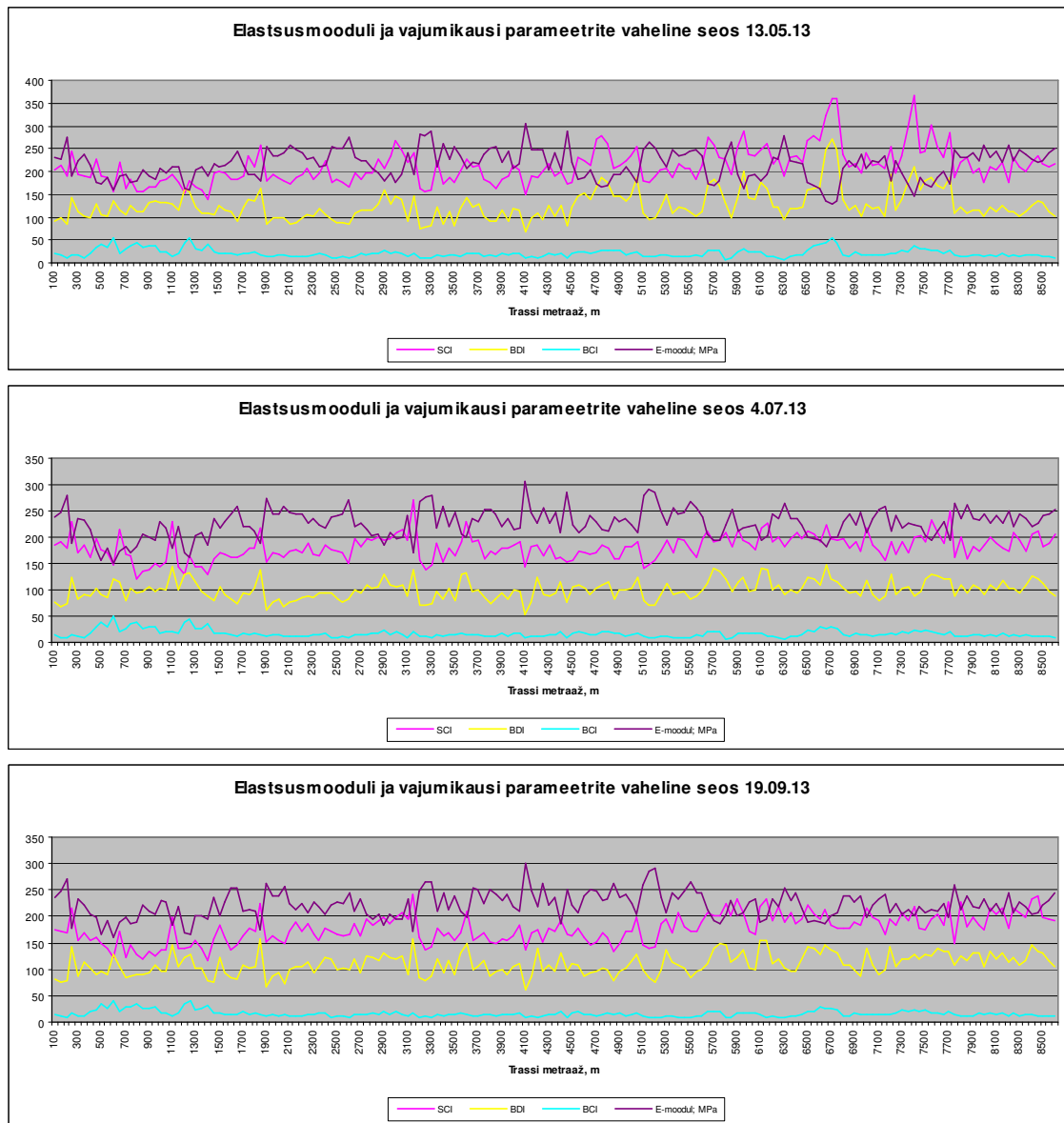


Joonis 2.15. Katendi üldise E-mooduli ja Base Curvature Index'i (BCI) e. aluse kõverusteguri (iseloostab aluspinnase sügavusel 1200-1500 mm seisukorda) vaheline seos

Kokkuvõtteks katendi üldise E-mooduli ja FWD vajumikausi parameetrite väärtuste vahelise seose analüüsi kohta peab ütlema, et E-mooduli väärtust mõjutavad ennekõike otseselt katendikonstruktsiooni alumiste kihtide ja aluspinnase seisukord. See kehtib käesolevas uuringus vaadeldud katendikonstruktsiooni kohta – õhuke mustkate killustikalusel, kus tegemist on võrreldes asfaltbetoonkattega elastsema kattega, mis ei moodusta „plaati“ ning seetõttu ei „leevenda“ ka allasetsevata nõrkade kihtide koormusolukorda.

Järgnevalt on E-mooduli ja vajumikausi parameetrite vahelise seose illustreerimiseks esitatud 2013.a. FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud SCI, BDI ja BCI ning E-mooduli väärtused

kogu trassi ulatuses (joonis 2.16). Selgelt on näha seos suuremate E-mooduli väärtuste ja sellest tulenevate väiksemate vajumikausi parameetrite vahel ja vastupidi.



Joonis 2.16. Katendi üldise E-mooduli ja vajumikausi parameetrite SCI, BDI ja BCI vaheline seos

3. TASASUS

Teekatte tasasust mõõdeti maantee 15111 km 0,0-8,7 lõigul 2009-2013 igal aastal kahel korral (kevad ja sügisel) 20 m mõõtmisammuga suunal 1 (Lokuta-Roovere) suunal 2 (Roovere-Lokuta, mõõtmistulemused suunal 2 on esitatud tee kulgemise suunas ehk algusega Lokutalt) (lisa 7).

Järgnevalt on arvatud IRI 2009-2013.a. keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed väärtused suundadel 1 ja 2 (tabel 3.1).

Tasasuse keskmised ja minimaalsed väärtused lõigu mõlemal suunal on aastate lõikes jäänud praktiliselt samaks, maksimaalsed tasasuse väärtused on kasvanud märkimisväärselt suunal 2 (Roovere-Lokuta) – 2013. aastal väärtuseni 7,98 mm/m, mis esineb soo lõigul aadressil 460-480 m, IRI arv 7,22 mm/m esineb aadressil 680-700 m ning 5 mm/m aadressil 5600-5620. Tegemist on kolme üksiku lühikese 20 m lõiguga, kus esineb üks lokaalne suur ebatasasus, mis üldjuhul on tingitud truubi olemasolust teekonstruktsioonis, kus truubi ümber on toimunud tee vajumine ning truup ise ei ole nii palju vajunud.

2009-2013. aasta keskmised kevadised ja sügisesed tasasuse mõõtmise tulemused on praktiliselt võrdsed, mis näitab, et vaatamata mõningatele külmakergetele need katte tasasust nimetamisväärselt ei mõjuta. (Tabel 3.1, joonised 3.1 ja 3.2).

Tee ja teetööde kvaliteedinõuetes (MKMm määruse eelnõu) esitatud uue mustkatte nõutava IRI väärtuse 2,2 mm/m ületamine toimus 2009.aastal umbes 8 % kogu ehitatud lõigu pikkusest. Järgnevatel aastatel on suunal 1 (Lokuta-Roovere) üle 2,2 mm/m kohta IRI arvuga 20 m pikkuseid lõike suhteliselt stabiilselt ca 8,5 % ehk 740 m 8700 m pikkusest lõigust. Suunal 2 (Roovere-Lokuta) on aga nende lõikude osakaal tõusnud umbes 11,5-le %-le ehk 1000 m kogu vaadeldava lõigu pikkusest.

Kokkuvõttes on teekatte tasasus, vaatamata aluspinnaste muutlikkusele, kogu lõigul keskmiselt väga hea, kui välja arvata mõned üksikud teel esinevad ebatasasused.

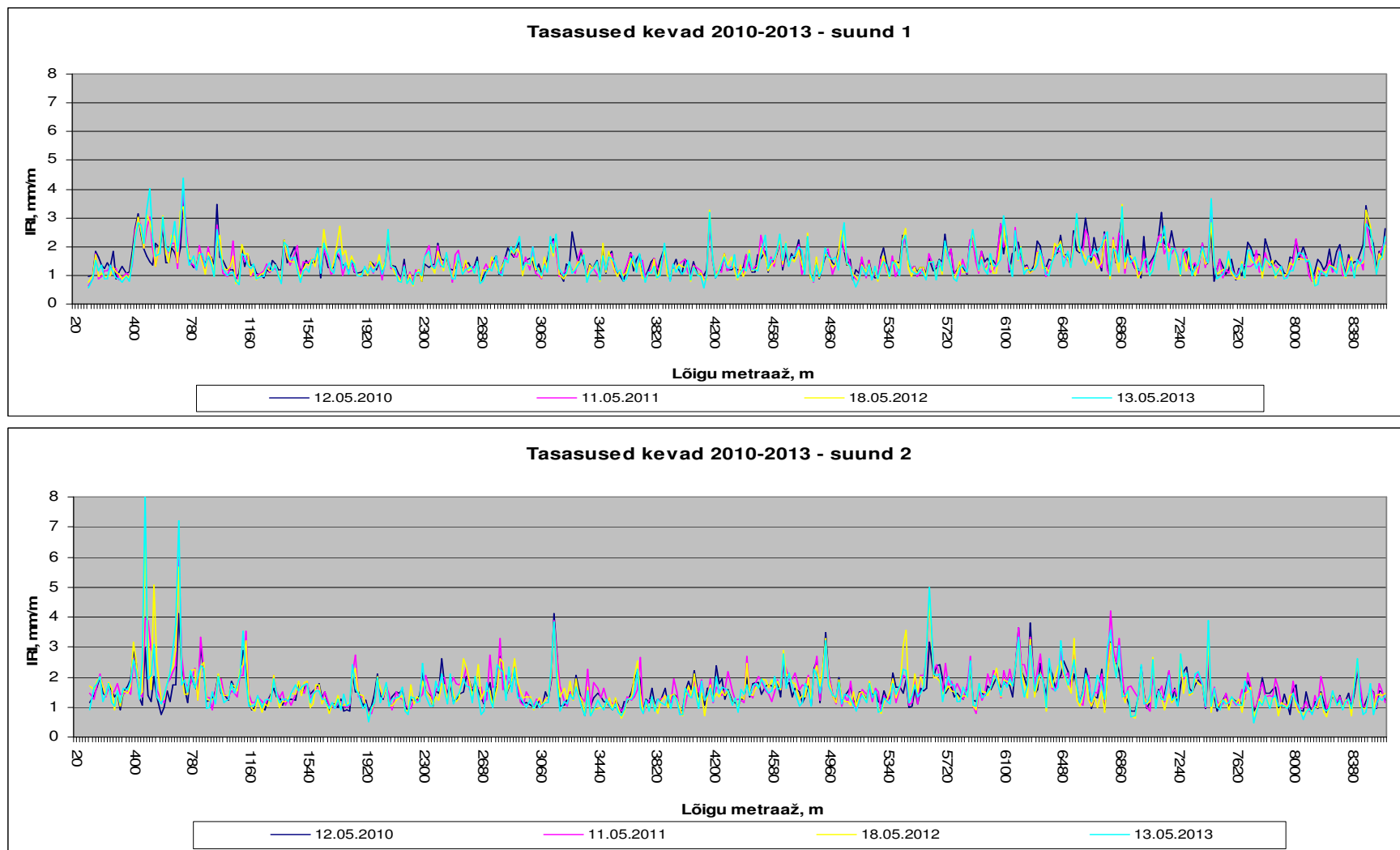
Analüüsides 2009-2013 mõõtmisandmete alusel eraldi geotekstiili ja –võrguga ning ilma nendeta lõikude tasasust ehk IRI väärtuseid (tabel 3.3), nähtub, et geotekstiili- ja võrguga lõikude keskmine IRI väärtus suunal 1 (Lokuta-Roovere) on umbes 7 % suurem ilma geosünteedita lõikudest, kusjuures maksimaalsed IRI väärtused on viimastega võrreldes umbes 31 % suuremad. Suunal 2 (Roovere-Lokuta) on eelnimetatud erinevused vastavalt umbes 3 % ja 44 %. Samas IRI minimaalsed väärtused esinevad just geosünteedidega tugevdatud lõikudel. Suurimate IRI väärtuste esinemine tugevdatud lõikudel viitab nende lõikude aluspinnasest tingitud halvemale struktuursele seisukorrale.

Tabel 3.1. IRI keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed väärtused suundadel 1 ja 2 2009-2013 aastatel

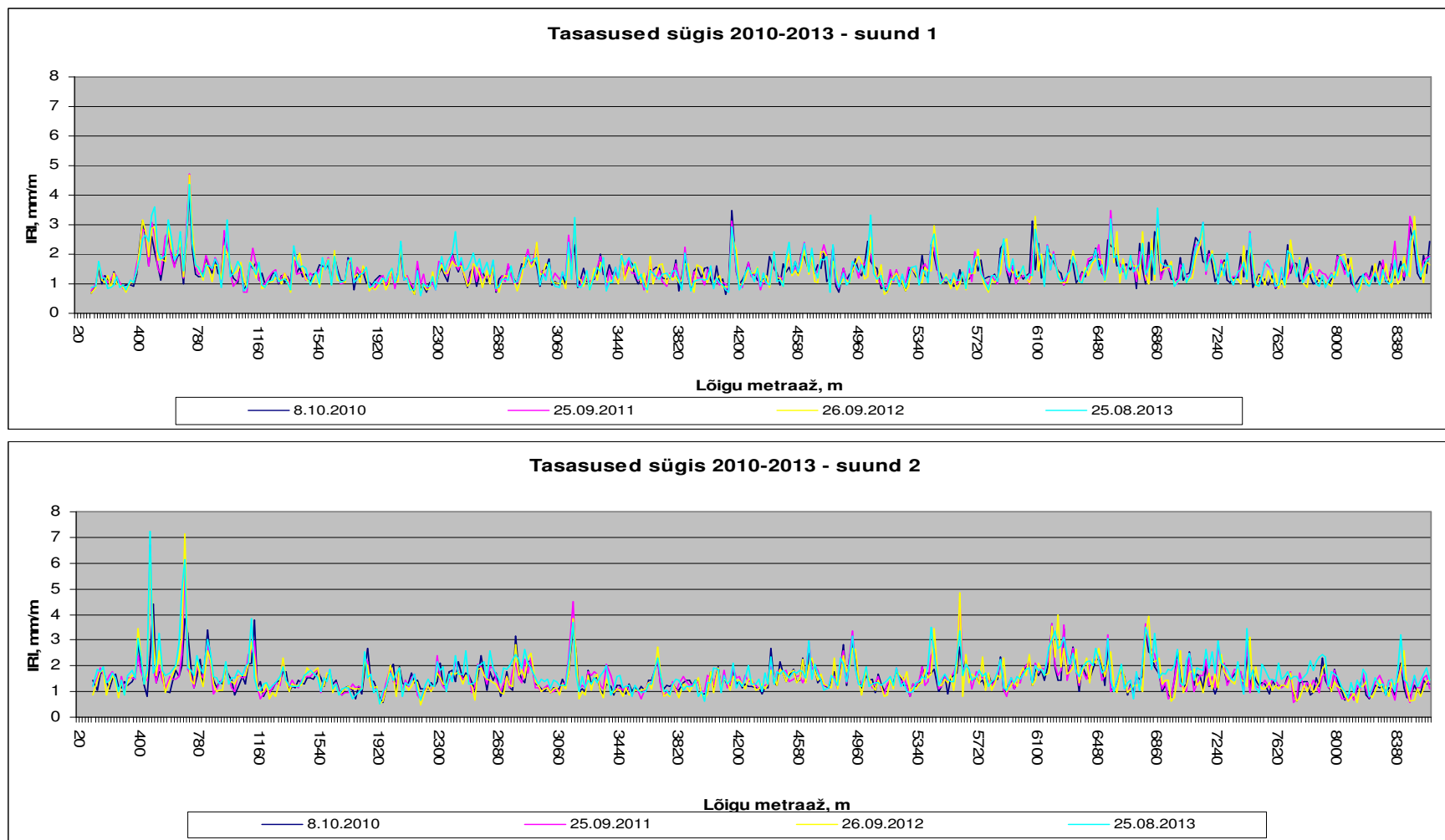
IRI väärtus	IRI väärtused lõigul, mm/m									
	Suund 1 - Lokuta-Roovere									
	15.09.09	12.11.09	12.05.10	8.10.10	11.05.11	25.09.11	18.05.12	26.09.12	13.05.13	25.08.13
Keskmine	1,49	1,51	1,52	1,44	1,46	1,47	1,45	1,42	1,45	1,47
Minimaalne	0,62	0,82	0,76	0,64	0,65	0,71	0,65	0,62	0,56	0,62
Maksimaalne	4,00	3,73	3,70	4,03	3,87	4,72	3,45	4,67	4,36	4,34
IRI väärtus	Suund 2 - Roovere-Lokuta									
	15.09.09	12.11.09	12.05.10	8.10.10	11.05.11	25.09.11	18.05.12	26.09.12	13.05.13	25.08.13
	15.09.09	12.11.09	12.05.10	8.10.10	11.05.11	25.09.11	18.05.12	26.09.12	13.05.13	25.08.13
Keskmine	1,50	1,49	1,54	1,49	1,63	1,53	1,56	1,50	1,54	1,68
Minimaalne	0,62	0,69	0,73	0,56	0,74	0,57	0,62	0,46	0,49	0,54
Maksimaalne	4,20	3,93	4,13	4,39	5,89	6,70	6,52	7,14	7,98	7,22

Tabel 3.2. Lõikude osakaal 2009-2013.a. suundadel 1 ja 2, kus IRI ületab väärtust 2,2 mm/m

Näitaja	Suund	IRI mõõtmise kuupäev									
		15.09.09	12.11.09	12.05.10	08.10.10	11.05.11	25.09.11	18.05.12	26.09.12	13.05.13	25.08.13
Mõõdetud lõikude arv	1	417	407	425	425	425	425	425	425	425	425
Lõikude arv, kus IRI>2,2mm/m	1	29	25	40	32	33	37	37	30	35	36
Lõikude %, kus IRI>2,2mm/m	1	6,95	6,14	9,41	7,53	7,76	8,71	8,71	7,06	8,24	8,47
Mõõdetud lõikude arv	2	425	378	425	425	425	425	425	425	425	425
Lõikude arv, kus IRI>2,2mm/m	2	30	29	40	38	55	38	51	48	44	57
Lõikude %, kus IRI>2,2mm/m	2	7,06	7,67	9,41	8,94	12,94	8,94	12	11,29	10,35	13,41



Joonis 3.1. Mustkatte 2010- 2013 aasta kevadiste tasasuste võrdlus (suund 1: Lokuta-Roovere, suund 2: Roovere-Lokuta)

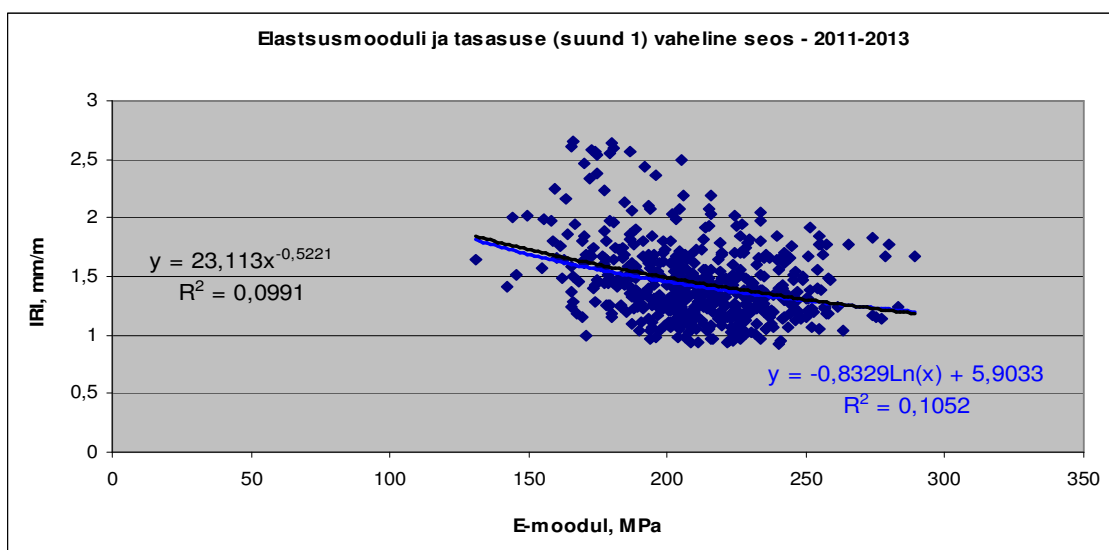


Joonis 3.2. Mustkatte 2010- 2013 aasta sügiseste tasasuste võrdlus (suund 1: Lokuta-Roovere, suund 2: Roovere-Lokuta)

Tabel 3.3. IRI väärtused eraldi geotekstiili ja -võrguga tugevdatud lõikudel ja ilma geosünteedita lõikudel

Väärtus	IRI, mm/m											Erinevus geosünteedita lõigust, %
	IRI mõõtmiskuupäev										Keskm.	
	15.09.09	12.11.09	12.05.10	8.10.10	11.05.11	25.09.11	18.05.12	26.09.12	13.05.13	25.08.13		
Suund 1 (Lokuta-Roovere)												
Geotekstiili ja -võrguga lõigud												
keskmine	1,50	1,55	1,57	1,45	1,50	1,52	1,48	1,45	1,50	1,52	1,51	+7,16
min	0,62	0,83	0,78	0,64	0,65	0,75	0,65	0,63	0,56	0,62	0,67	-5,90
max	4,00	3,73	3,70	4,03	3,87	4,72	3,45	4,67	4,36	4,34	4,09	+30,83
Ilma geotekstiili ja -võrguta lõigud												
keskmine	1,46	1,44	1,45	1,40	1,39	1,39	1,40	1,37	1,36	1,38	1,40	-
min	0,75	0,82	0,76	0,65	0,74	0,71	0,72	0,71	0,56	0,72	0,71	-
max	2,77	3,06	2,96	3,48	2,93	3,12	3,26	3,15	3,20	3,31	3,12	-
Suund 2 (Roovere-Lokuta)												
Geotekstiili ja -võrguga lõigud												
keskmine	1,48	1,50	1,54	1,50	1,65	1,54	1,59	1,53	1,59	1,74	1,57	+3,40
min	0,62	0,69	0,74	0,56	0,74	0,57	0,62	0,46	0,49	0,54	0,60	-16,90
max	3,20	3,93	4,12	4,39	5,89	6,70	6,52	7,14	7,98	7,22	5,71	+43,80
Ilma geotekstiili ja -võrguta lõigud												
keskmine	1,54	1,48	1,54	1,47	1,60	1,52	1,50	1,46	1,46	1,59	1,52	-
min	0,74	0,89	0,73	0,71	0,76	0,74	0,63	0,71	0,71	0,64	0,73	-
max	4,20	3,69	4,13	3,80	3,88	4,51	3,80	3,99	3,83	3,86	3,97	-

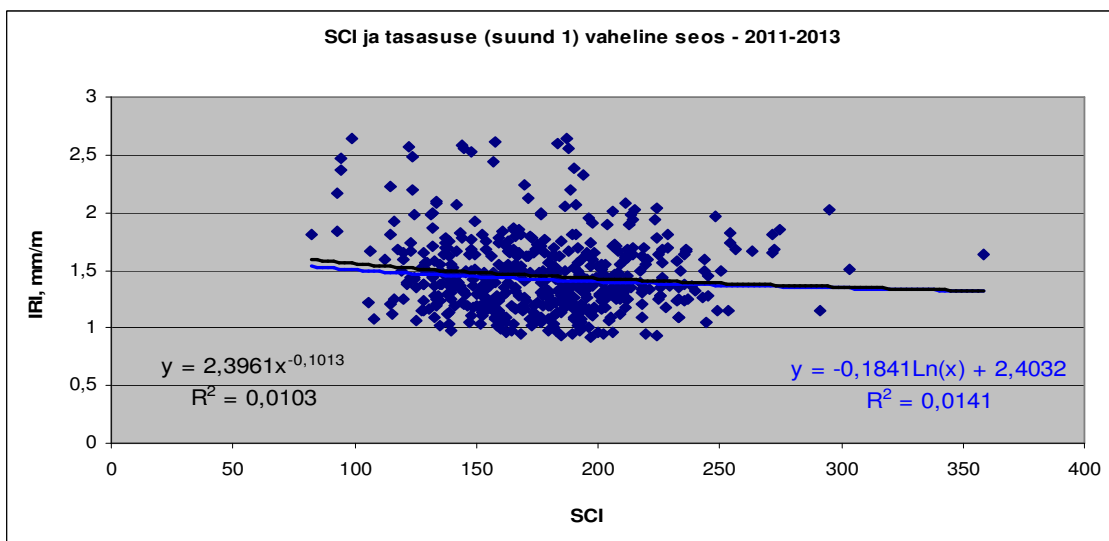
Järgnevalt on uuritud 2011-2013. aasta mõõtmistulemuste põhjal seost katendi üldise E-mooduli ja tasasuse vahel (joonis 3.3). Kuna E-moodul on mõõdetud paremas sõidujäljes tee kulgemise suunas, siis on analüüsis arvestatud ainult ka Lokuta-Roovere suuna tasasust.



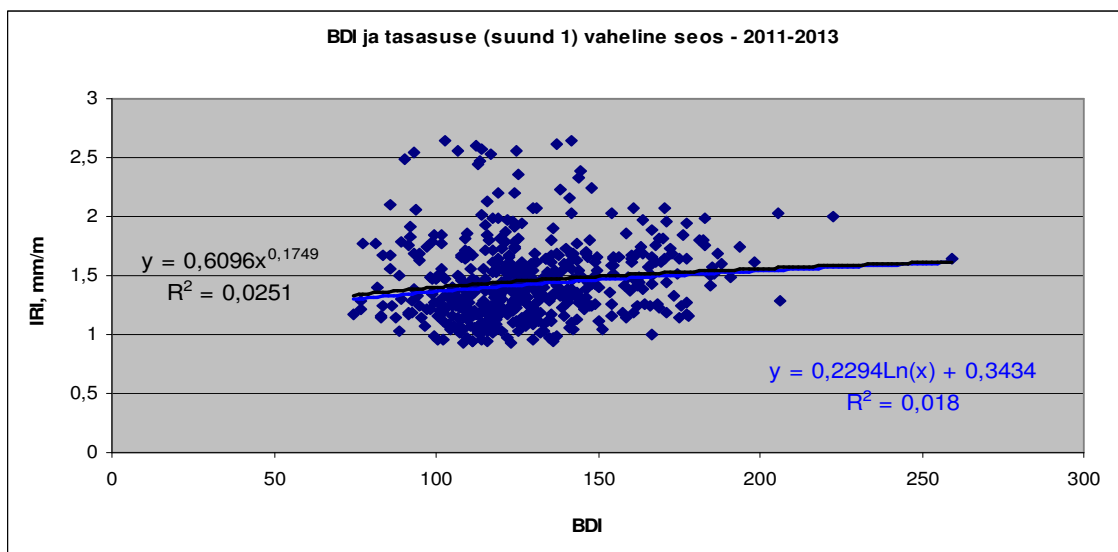
Joonis 3.3. Mustkatte 2011-2013 aasta elastsusmoodulite ja tasasuste võrdlus (suund 1: Lokuta-Roovere)

Nagu jooniselt 3.3 on näha, siis seos katendi üldise E-mooduli ja tasasuse vahel puudub.

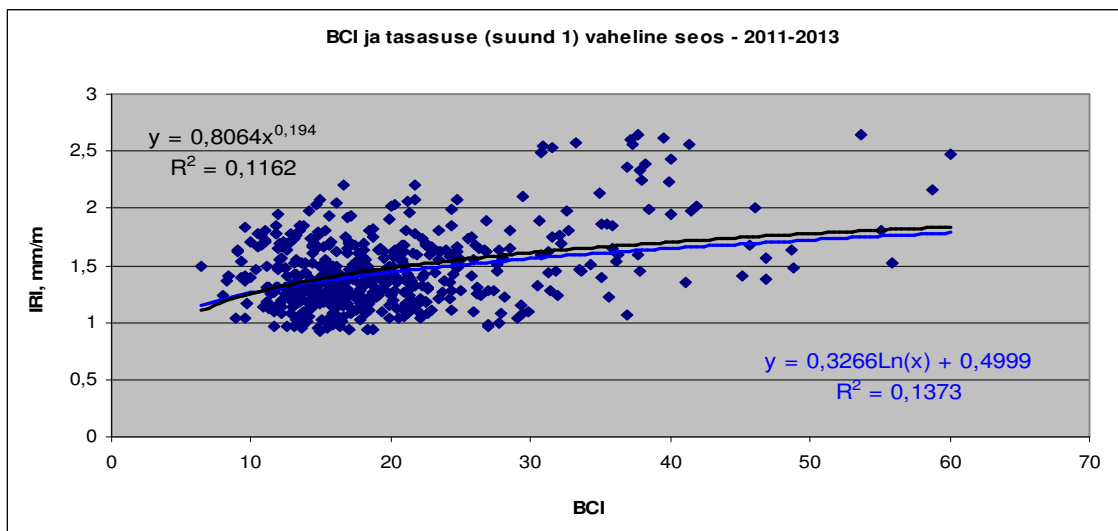
Edasi on analüüsitud tasasuse ja FWD vajumikausi parameetrite vahelist seost (joonised 3.4-3.6). Jällegi tuleb kahjuks tõdeda, et seos tasasuse ja FWD vajumikausi parameetrite vahel puudub. Väga nõrka seost võib täheldada BCI ehk siis aluspinnase omaduste ja tasasuse väärtuste vahel ($R^2=0,14$, joonis 3.6).



Joonis 3.4. Surface Curvature Index'i (SCI) e. pinna kõverusteguri ja tasasuse (suund 1 – Lokuta-Roovere) vaheline seos



Joonis 3.5. Base Damage Index'i (BDI) e. aluse vigastatuse teguri ja tasasuse (suund 1 – Lokuta-Roovere) vaheline seos



Joonis 3.6. Base Curvature Index'i (BCI) e. aluse kõverusteguri ja tasasuse (suund 1 – Lokuta-Roovere) vaheline seos

4. ROOPASÜGAVUS

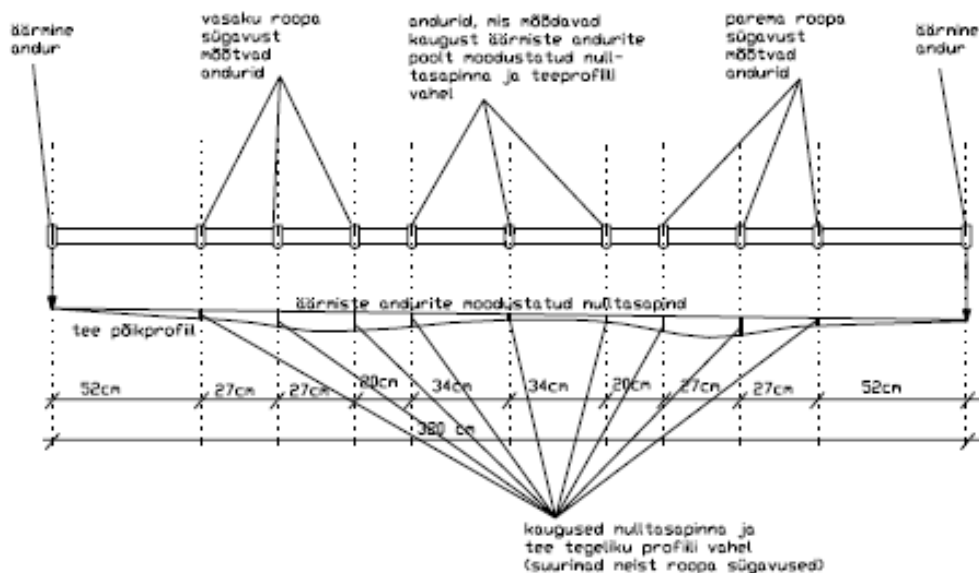
Roopasügavuse mõõtmised toimusid 2009-2013.aastal üks kord aastas ja tavaliselt kesksuvel või varasügisel. Roopasügavuse mõõtmistulemused 20 m mõõtmisammuga on esitatud [lisas 8](#), eraldi kummagi sõidujälje roobas:

- Roobas parem (p) – parempoolne ehk välimine sõidujalg arvestades sõidusuunda
- Roobas vasak (v) – vasakpoolne ehk sisemine sõidujalg arvestades sõidusuunda

Lisaks roopasügavusele on mõõdetud ka roobastevahelise harja kõrgus (h).

Roopasügavuse mõõtmine toimus seadmega Roobas_Roadmaster, mille töö põhineb seadme baaslati ja teepinna vaheliste kauguste mõõtmisel 11-s punktis ultrahelianduritega. Lugeses äärmisest andurist on andurite vahekaugused vastavalt 52; 27; 27; 20; 34; 34; 20; 27; 27 ja 52 cm (vt. [joonis 4.1](#)). Äärmiste andurite lugemitest moodustub mõõtmiste teostamisel n.ö. 0-tasapind ning põikprofiil mõõdetakse selle tasapinna ja teekatte vahel.

Mõõteseadme normaalne töökiirus on 60...80 km/h. Väljastatavateks tunnusteks on valitud pikkusega (meie juhul 20 m) teelõigu keskmine roopa sügavus eraldi vasaku ja parema roopa kohal ning sama mõõtmisbaasi teljel kate ja nulljoone vaheline kaugus (ehk nn hari). Viimati nimetatud tunnused mõõdetakse kolme keskmise anduri kaudu ja roopa mõõtmised saadakse neist vasakule ja paremale jäävate kolme anduri kaudu (vt. [joonis 4.1](#)). Harja negatiivne väärtus tähendab seda, et pind on mõõtmistasapinnast kõrgemal ja positiivne väärtus vastavalt, et pind on mõõtmistasapinnast madalamal.



Joonis 4.1. Roopasügavuse mõõturi tööpõhimõte

Roopasügavuse iseloomustamiseks sõiduohutuse ja teekasutaja seisukohast võib kasutada tabelis 4.1 esitatud roopasügavuse piire/vahemikke.

Tabel 4.1. Roopasügavuse mõju sõiduohutusele ja tee kasutajale

Tee seisukord	ISELOOMUSTUS (sõiduohutus ja mõju teekasutajatele)	Roopa sügavuse piirid, mm
Väga hea	Teekattes roopad puuduvad.	< 5
Hea	Teekattes ei ole roopaid märgata ning nende sügavus ei avalda mõju teekasutajatele.	5 – 10
Rahuldav	Teekattes olevad roopad on märgatavad. Vihmase ilmaga hakkab vesi roobastesse kogunema. Teekasutaja hakkab sõidutrajektoori valima. 1-3 aasta jooksul tuleks roopad kõrvaldada.	10 – 20
Halb	Teekattes on roopad selgelt eraldatavad ja nad hakkavad mõjutavad nii sõidutrajektoori kui ka –kiiruse valikut. Vihmase ilmaga koguneb palju vett roobastesse ja on oht sattuda akvaplaneerimisse (vesiliugu). Roopad tuleks kõrvaldada.	20 – 30
Väga halb	Teekattes on roopad selgelt eraldatavad ja nad mõjutavad nii sõidutrajektoori kui ka –kiiruse valikut. Roopad tekitavad vihmase ilmaga teekasutajatele liklusohhtliku olukorra. Roopad tuleb kohe kõrvaldada.	> 30

Tabelis 4.2 on arvatud protsentuaalselt, kui palju uuritavast teelõigust (%-des) nii parema (p) kui ka vasaku (v) roopasügavuse järgi suundadel 1 (Lokuta-Roovere) ja 2 (Roovere-Lokuta) on aastatel 2009-2013 vastavas seisukorras. Tabelist on näha, et vasaku roopa seisukord on üldjuhul parem, kui parema roopa seisukord. Vasaku roopa andmete põhjal ei ole tee seisukord aastate jooksul oluliselt muutunud. Küll on aga parema roopa puhul pidevalt vähenenud väga heas seisukorras oleva katte % ja kasvanud vastavalt rahuldava seisukorra % ning hea seisukorra % on püsinud suhteliselt stabiilsena.

Tabel 4.2. Roopasügavuste jaotus %-des vastavalt tee seisukorrale aastatel 2009-2013

			Parem roobas					Vasak roobas				
Roopasügavuse piirid	Tee seisukord	Suund	p09	p10	p11	p12	p13	v09	v10	v11	v12	v13
>30	Väga halb	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21-30	Halb	1	0,0	0,0	0,5	0,5	1,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
11-20	Rahuldav	1	2,4	6,6	21,6	18,1	25,2	8,8	1,9	2,1	3,3	5,4
6-10	Hea	1	32,4	35,5	34,8	38,4	35,3	33,1	12,7	19,8	17,4	17,9
≤5	Väga hea	1	65,2	57,9	43,1	43,1	38,4	58,1	85,4	78,1	79,1	76,7
			Parem roobas					Vasak roobas				
Roopasügavuse piirid	Tee seisukord	Suund	p09	p10	p11	p12	p13	v09	v10	v11	v12	v13
>30	Väga halb	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21-30	Halb	2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,9	0,5	0,2	0,2	0,0	0,0
11-20	Rahuldav	2	5,7	7,1	15,8	16,9	22,4	6,9	3,5	4,7	6,6	8,5
6-10	Hea	2	37,8	32,0	38,8	36,2	39,8	34,5	22,1	24,2	17,4	22,6
≤5	Väga hea	2	56,5	60,9	45,2	46,8	36,7	58,2	74,1	70,8	76,0	68,9

Parema ehk katte serva poolse roopa sügavuse kiirem kasv võrreldes vasaku ehk katte keskoha poolse roopa sügavuse kasvuga võib olla seletatav sellega, et enamuse tee laiendusi ehitati mõlemale poole olemasolevat muldkeha ning nende laienduste püsivad vajumid on liikluskoormuse all suuremad, kui vanal muldkehal oleval katendikonstruktsioonil.

Roopa sügavuse mõõtmistulemused (lisa 8, joonised 4.2 ja 4.3) ja nende alusel arvutatud keskmised väärtused (tabel 4.3) näitavad, et keskmine roopasügavus ehitatud lõigul oli 2009. aastal 4-5 mm, 2010. aastal 2-4 mm, 2011. ja 2012. aastal 2-6 mm ja aastal 2013 2-7 mm, mis tabeli 4.1 alusel vastavad väga hea ja hea tee maksimumroopasügavusele. Samas roopasügavuse maksimumväärtused olid 2009. aastal vahemikus 13-25 mm, 2010. aastal 16-20 mm, 2011. aastal 14-26 mm, 2012. aastal 17-26 mm ja 2013. aastal 16-31 mm (tabel 4.3), mis tähendab, et kohati on roopasügavusest lähtudes katte seisukord rahuldav, halb või isegi ühel kohal (lõik aadressil 1240-1260) väga halb. Katte parempoolse ehk välimise roopa sügavus on kuni 2 korda suurem, kui vasakpoolse roopa sügavus, mille põhjust on selgitatud eelmise lõigu lõpus.

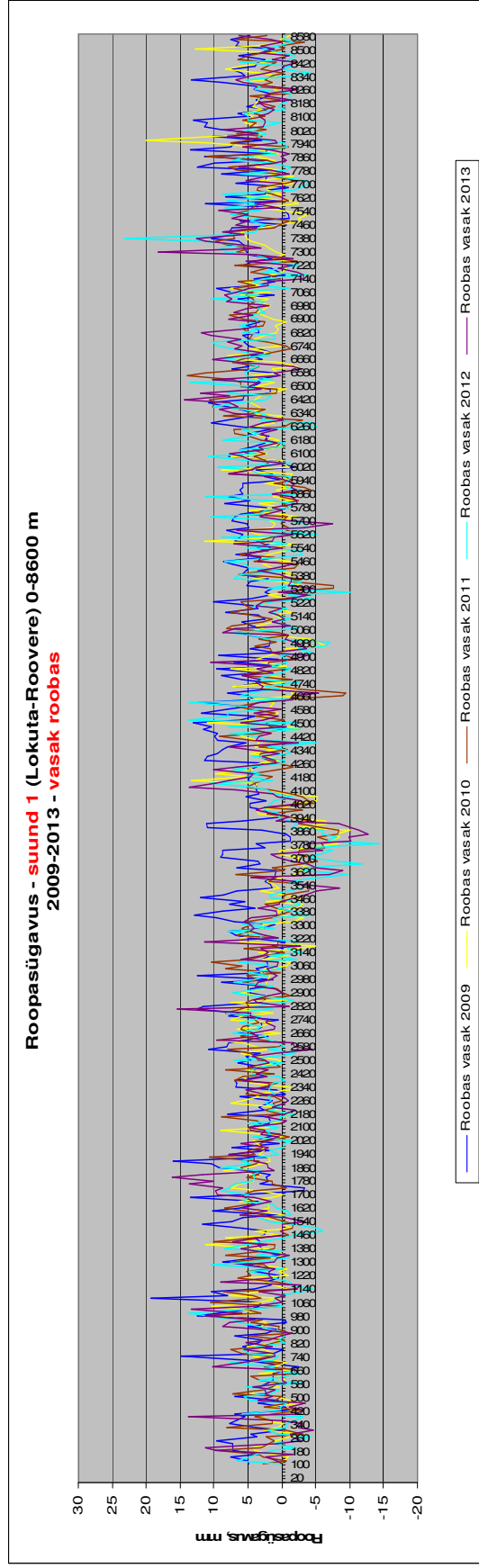
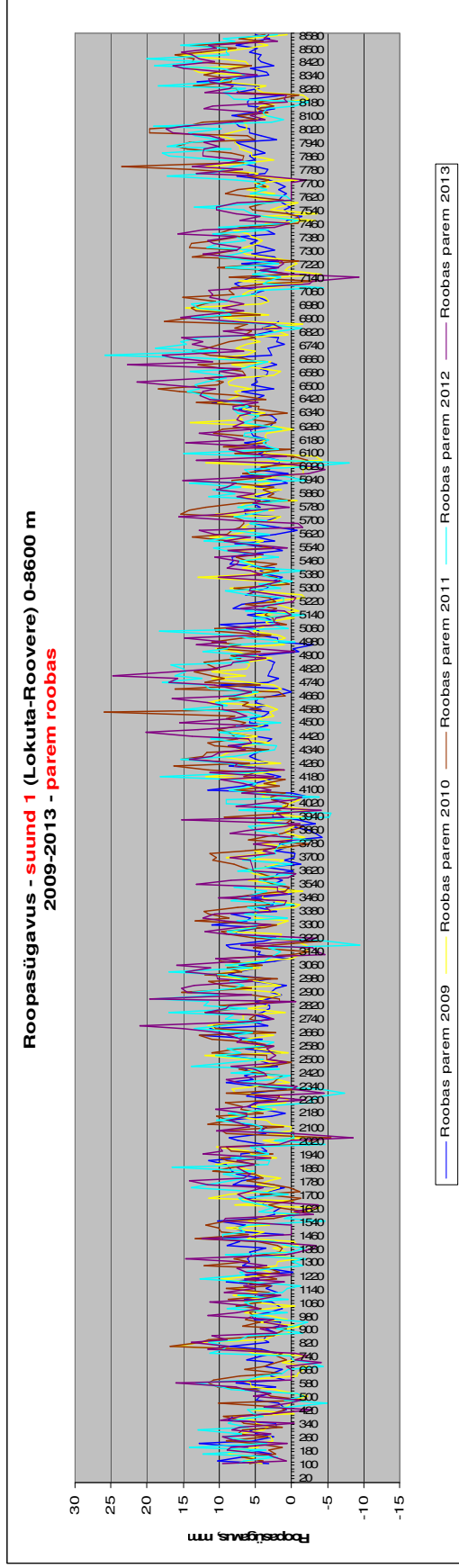
Tabel 4.3. Keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed roopasügavused ning harjakõrgused 2009-2013. aastal, mm

Väärtus	Suund 1 (Lokuta-Roovere)														
	Roobas parem					Roobas vasak					Hari				
	2009	2010	2011	2012	2013	2009	2010	2011	2012	2013	2009	2010	2011	2012	2013
keskmine	4	4	6	6	7	5	2	2	2	2	-6	2	2	1	1
minimaalne	-4	-4	-6	-9	-9	-3	-10	-10	-14	-13	2	12	11	14	16
maksimaalne	13	16	26	26	25	19	20	14	23	16	-16	-5	-6	-10	-10
Väärtus	Suund 2 (Roovere-Lokuta)														
	Roobas parem					Roobas vasak					Hari				
	2009	2010	2011	2012	2013	2009	2010	2011	2012	2013	2009	2010	2011	2012	2013
keskmine	5	4	6	6	7	5	3	4	3	4	-7	1	0	-1	-1
minimaalne	-2	-4	-4	-11	-5	-3	-9	-6	-9	-6	3	11	11	14	10
maksimaalne	16	18	23	18	31	25	20	24	17	19	-16	-7	-7	-10	-12

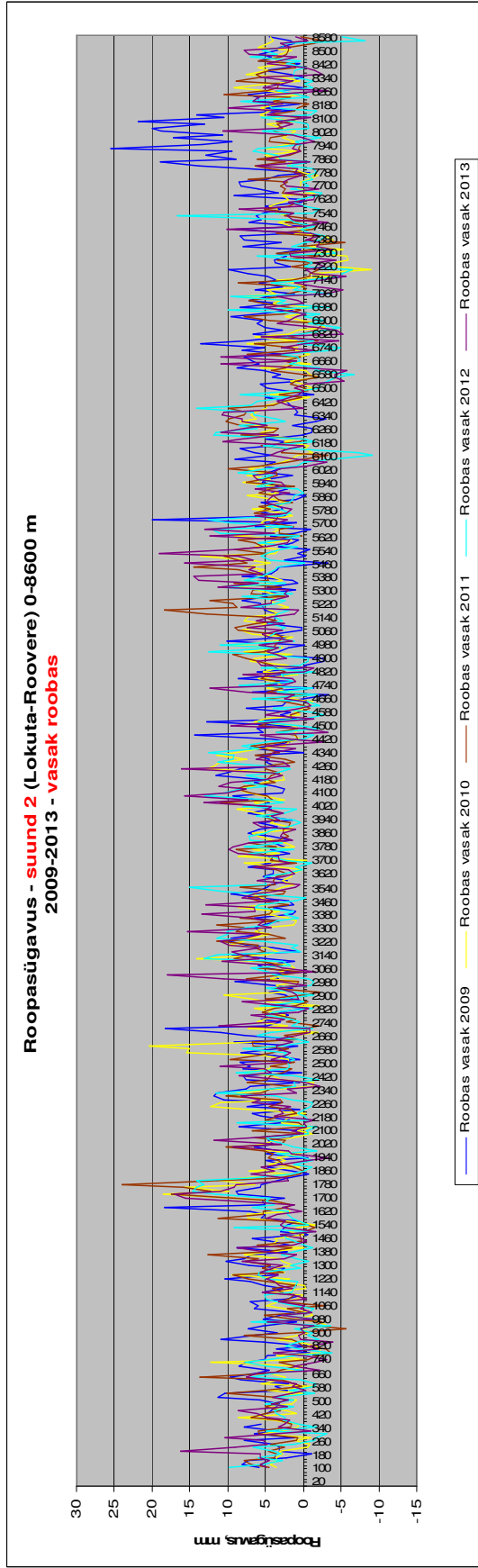
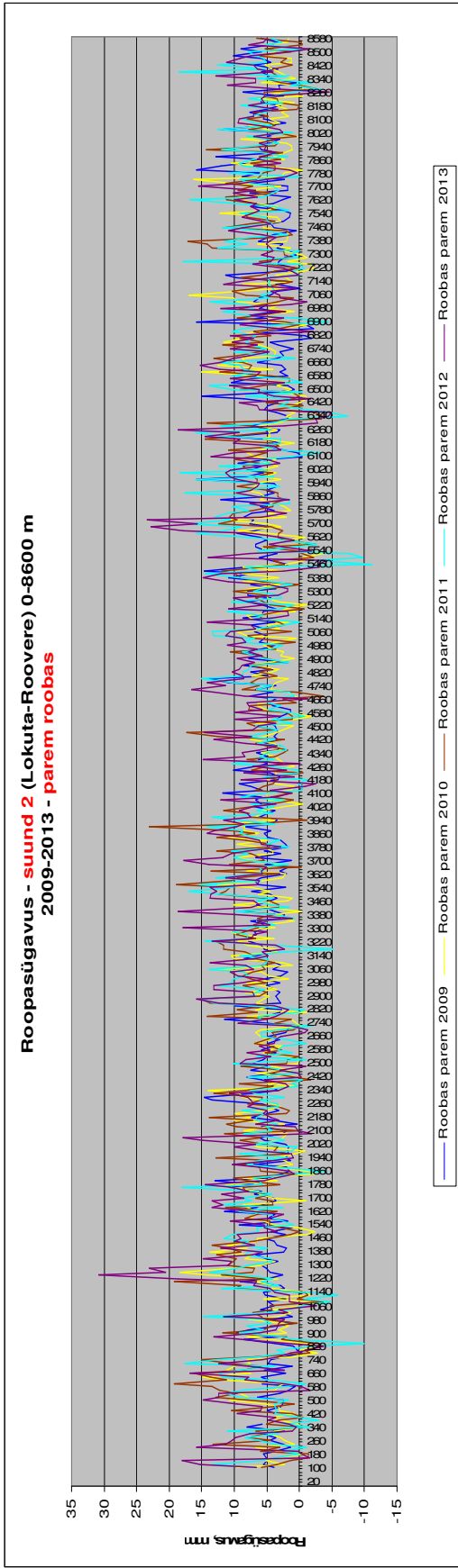
negatiivne väärtus tähendab, et pind on mõõtmistasapinnast kõrgemal ja positiivne väärtus, et pind on mõõtmistasapinnast madalamal

Sidumata kihtide ja aluspinnase püsivad deformatsioonid väljenduvad tee pinnal peamiselt roobastena. Kitsastel teedel on liikluskoormuse mõju koondunud tee serva lähedale, põhjustades serva vajumisi, mistõttu on neil sõidujälgede vahelise harja kõrgus paremaks seisukorra näitajaks, kui välimise roopa sügavus. Laiadel teedel tekivad püsivate deformatsioonide tulemusena roopad. (Joonis 4.4).

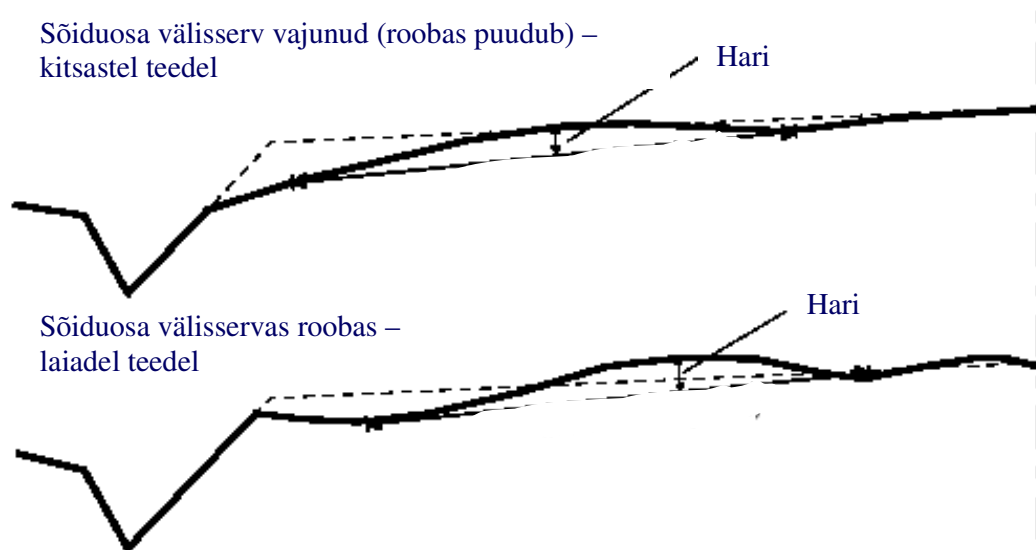
Katendi sidumata materjal püüab sõidujälgede kohal liikluskoormuse all nihkuda allapoole, lükates kõrvale kõrvalasetseva materjali. Kõrvalasetsev materjal nihkub kõrvale ja ülespoole, kus vastusurve on kõige väiksem (joonis 4.5). Kattealuse konstruktsiooni püsivad deformatsioonid on sõidujälgede kohal toimuva sidumata materjali vajumise ja sõidujälgede vahel toimuva kerkimise (ehk harja tekke) tulemus.



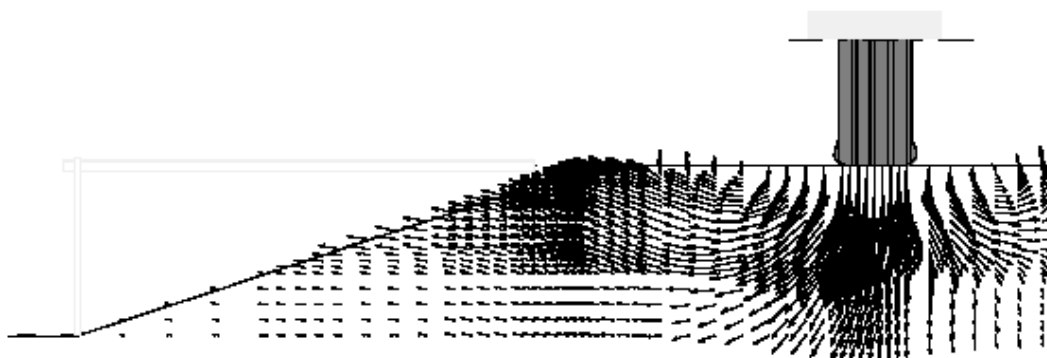
Joonis 4.2. Roopasügavus, suund 1 (Lokuta-Roovere) (negatiivne väärtus - pind on mõõtmistasapinnast kõrgemal, positiivne väärtus - pind on mõõtmistasapinnast madalamal)



Joonis 4.3. Roopasügavus, suund 2 (Roovere-Lokuta) (negatiivne väärtus - pind on mõõtmistasapinnast kõrgemal, positiivne väärtus - pind on mõõtmistasapinnast madalamal)



Joonis 4.4. Roopa ja harja teke laiadel ja kitsastel teedel



Joonis 4.5. Nihkevektorid koormatud katendis

Kitsaste õhukese katteliste teede ristprofiil mõjutab oluliselt põiksuunaliste ebatasasuste ehk sõidujälgedevahelise harja teket (tabel 4.4). Mida kitsam on tee või mida järsem on nõlva kalle, seda kiirem on harjakõrguse kasv. Näiteks tee laiuse vähendamine 6,5 m-lt 5,5 m-le nõlva kalde 1:3 juures kiirendab sõidujälgedevahelise harjakõrguse kasvu 20 %.

Tabel 4.4. Kergkatttega tee laiuse ja nõlva kalde mõju sõidujälgede vahelise harja kasvu kiirusele

Nõlva kalle	Tee laius, m		
	5,5	6,5	7,5
Kergkatttega tee ristprofiili mõju harja kasvu kiirusele			
1:1,5	1,7	1,4	0,9
1:3	1,2	1,0	0,6
1:4	1,0	0,8	0,6

Keskmine sõidujälgede vaheline harja kõrgus Lokuta-Roovere lõigul oli 2009. aastal 6 ... 7 mm ja maksimaalne 16 mm. 2010. aastal oli aga hari meil „vajunud“ mõõtmistasapinnast madalamale keskmiselt 1-2 mm, maksimaalne harja kõrgus oli 5-7 mm ülevalpool mõõtmistasapinda ning minimaalne 11-12 mm allpool mõõtmistasapinda. 2011. aastal oli hari mõõtmistasapinnast madalamal keskmiselt 0-2 mm, maksimaalne harja kõrgus oli 6-7 mm ülevalpool mõõtmistasapinda ning minimaalne 11 mm allpool mõõtmistasapinda. 2012. aastal oli keskmine harjakõrgus mõlemas sõidusuunas mõõtmistasapinna suhtes vahemikus 1 ... -1 mm, maksimaalne harja kõrgus oli 10 mm ülevalpool mõõtmistasapinda ning minimaalne 14 mm allpool mõõtmistasapinda. 2013. aastal oli samuti keskmine harjakõrgus vahemikus 1...-1 mm, maksimaalne harjakõrgus 12 mm ülevalpool ja minimaalne 10 mm allpool mõõtmistasapinda ([tabel 4.3](#)). Seega harjakõrgus kõigub maksimaalselt vahemikus -16...+12 mm roopa mõõtmisbaasi suhtes, mis ei ole eriti suur kõrguste erinevus ning ei ole antud teelõigu puhul probleemiks.

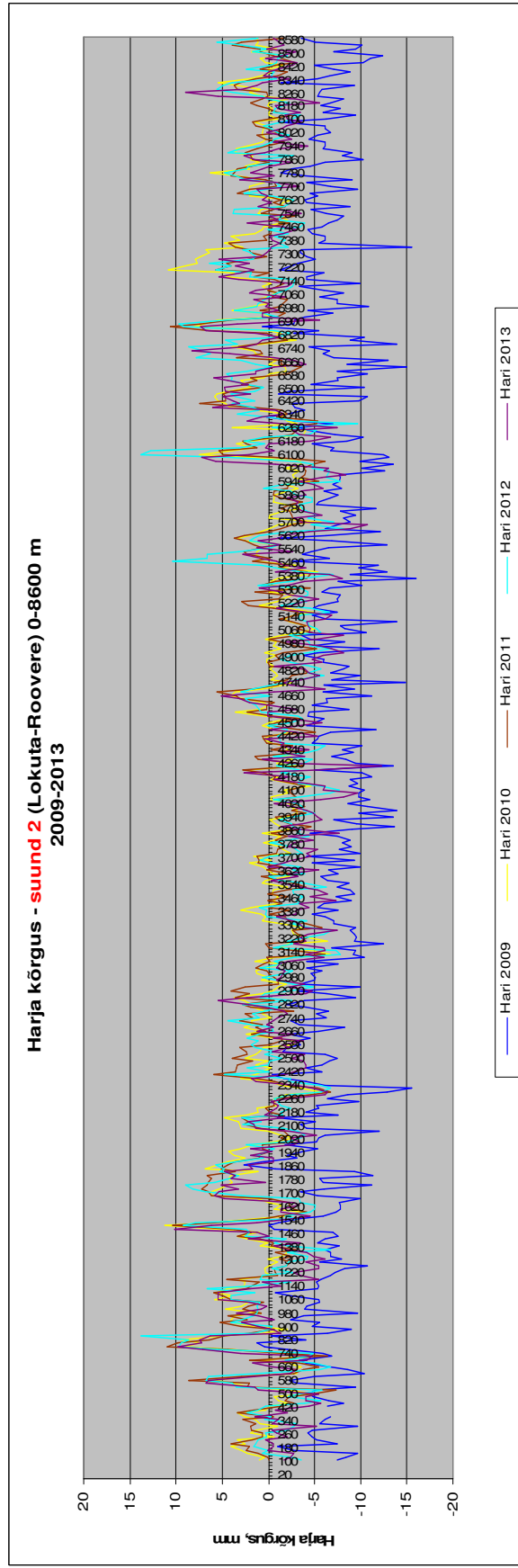
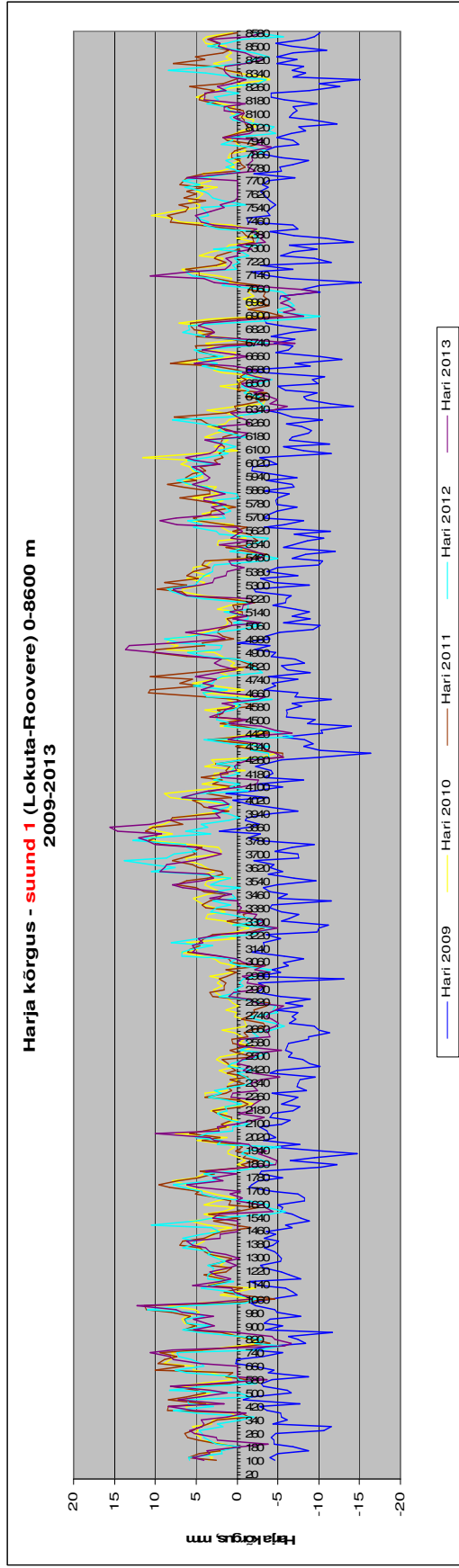
[Jooniselt 4.6](#) on selgelt näha, et küllaltki suures trassi ulatuses on hari 2010-2013. aastatel võrreldes 2009. aastaga „vajunud“ allapoole mõõtmistasapinda ehk tegelikult on kogu sõidurada muutunud „nõgusaks“ (eriti sõidusuunal 1 Lokuta-Roovere). Sellist muutust võrreldes 2009. aastaga loogiliselt seletada on võimatu.

Analüüsides roopasügavuse ja harjakõrguse väärtuseid eraldi geotekstiili ja -võrguga tugevdatud lõikudel ja ilma geosünteedita lõikudel ([tabel 4.5](#)) selgub, et suunal 1 (Lokuta-Roovere) kasvab geosünteediga lõikudel roobas 13 (parem) kuni 27 (vasak) % kiiremini, kui geosünteedita lõikudel. Suunal 2 (Roovere-Lokuta) aga vastavalt 10 (parem) kuni 32 (vasak) % aeglasemalt. Sellist vastupidist arengut on raske põhjendada. Roobastevahelise harjakõrguse areng on toimunud geosünteedidega tugevdatud lõikudel mõlemal suunal (95 ja 445 %) aeglasemalt, kui tugevdamata lõikudel.

Järgnevalt on uuritud 2011-2013.a. mõõtmistulemuste alusel seost katendi üldise E-mooduli ja roopasügavuse ning E-mooduli ja harjakõrguse vahel ([joonis 4.7](#)). Kuna E-moodul on mõõdetud paremas sõidujäljes tee kulgemise suunas, siis on analüüsis arvestatud ainult ka Lokuta-Roovere suuna parema roopa sügavust ning sama suuna roobastevahelist harjakõrgust.

Nagu näha [jooniselt 4.7](#) puudub seos katendi üldise E-mooduli ja kattes tekkivate roobaste sügavuse ning sõidujälgedevahelise harjakõrguse vahel.

Edasi on analüüsitud kattes tekkivate roobaste sügavuse ning sõidujälgedevahelise harjakõrguse ja FWD vajumikausi parameetrite vahelist seost ([joonised 4-8-4.10](#)). Jällegi tuleb tõdeda, et seos eelnimetatud parameetrite vahel puudub.

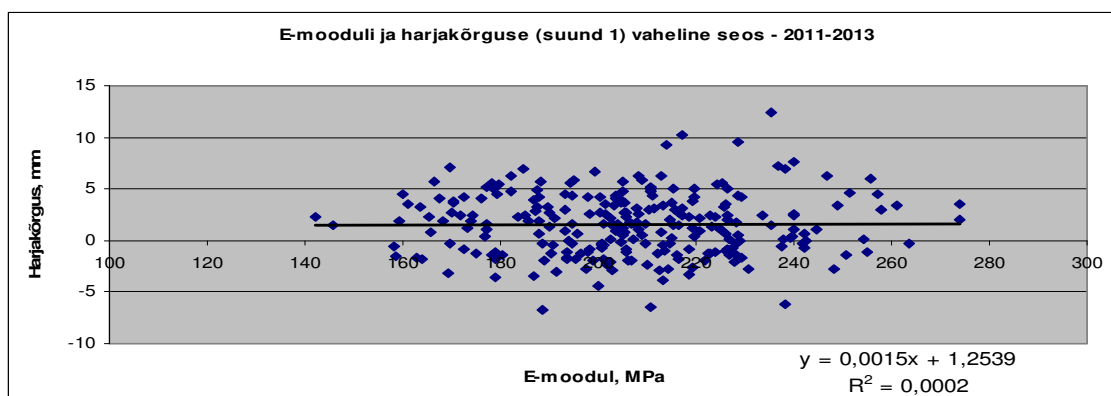
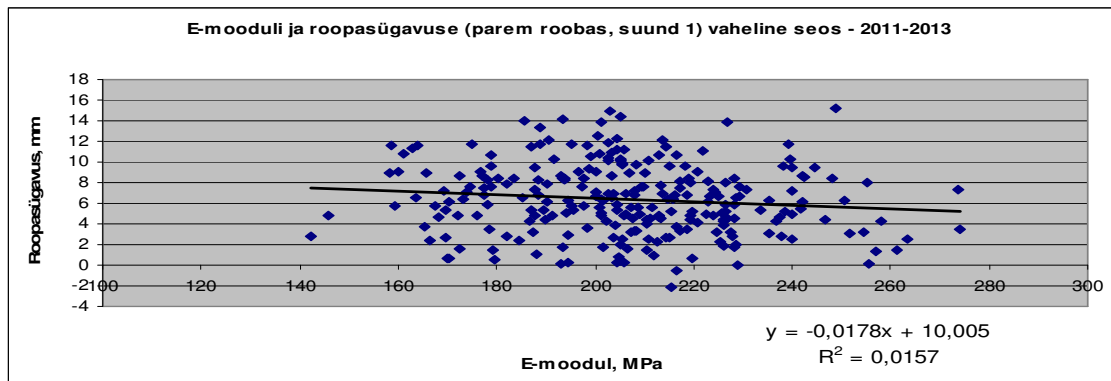


Joonis 4.6. Harja kõrgus (negatiivne väärtus - pind on mõõtmistasapinnast kõrgemal, positiivne väärtus - pind on mõõtmistasapinnast madalamal)

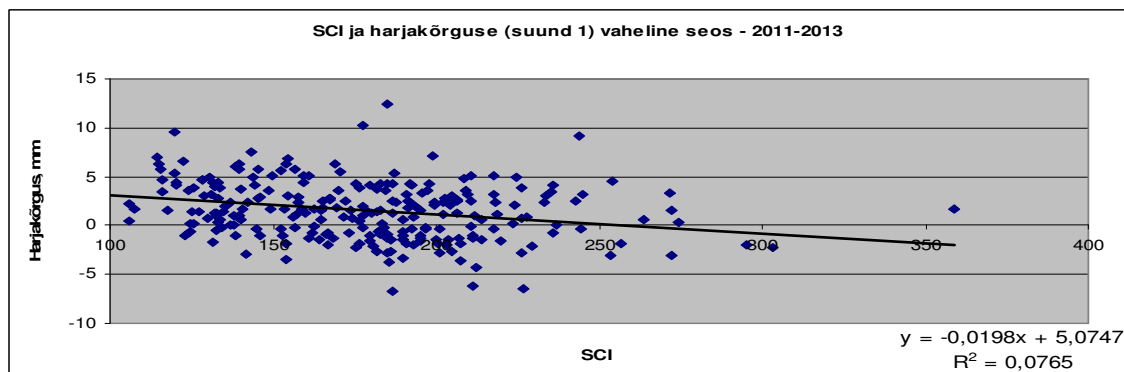
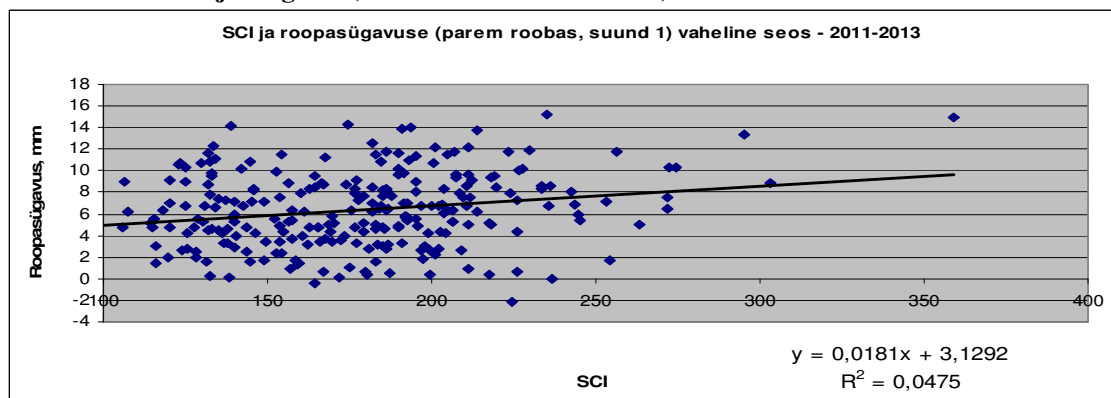
Tabel 4.5. Roopasügavuse ja harjakõrguse väärtused eraldi geotekstiili ja –võrguga tugevdatud lõikudel ja ilma geosünteedita lõikudel

Väärtus	Roopa sügavus, harja kõrgus, mm																				
	Parem roobas							Vasak roobas							Hari						
	Aastad					Kesk	Erinevus geosün- teedita lõigust, %	Aastad					Kesk	Erinevus geosün- teedita lõigust, %	Aastad					Kesk	Erinevus geosün- teedita lõigust, %
	p09	p10	p11	p12	p13			v09	v10	v11	v12	v13			h09	h10	h11	h12	h13		
Suund 1 (Lokuta-Roovere)																					
Geotekstiili ja –võrguga lõigud																					
Keskmine	4,3	4,4	6,7	6,4	6,6	5,7	+12,95	4,6	2,2	2,7	2,5	2,6	2,9	+26,96	-6,3	2,1	2,3	1,2	0,8	-0,0	-94,63
min	-1,5	-4,3	-5,5	-8,0	-9,4	-5,7	+9,6	-2,5	-3,9	-9,5	-10,1	-7,5	-6,7	-31,42	0,2	11,5	10,9	8,5	10,6	8,3	-22,17
max	13,1	16,1	26,0	25,9	24,7	21,2	+27,72	16,0	20,0	13,9	23,1	18,3	18,3	+23,31	-15,2	-4,1	-5,6	-10,2	-9,8	-9,0	+10,54
Ilma geotekstiili ja -võrguta lõigud																					
Keskmine	3,8	4,1	5,9	5,5	6,4	5,2	-	5,0	1,5	2,0	1,0	2,0	2,3	-	-5,7	2,9	2,4	1,6	1,4	0,5	-
min	-4,2	-3,8	-4,1	-9,4	-4,6	-5,2	-	-3,3	-10,0	-8,4	-14,3	-12,7	-9,8	-	2,2	10,7	11,3	13,8	15,6	10,7	-
max	12,7	14,0	16,3	18,9	21,0	16,6	-	19,2	13,4	11,4	13,8	16,2	14,8	-	-16,4	-4,9	-5,6	-6,9	-6,8	-8,1	-
Suund 2 (Roovere-Lokuta)																					
	p09	p10	p11	p12	p13	Kesk		v09	v10	v11	v12	v13	Kesk		h09	h10	h11	h12	h13	Kesk	
Geotekstiili ja –võrguga lõigud																					
Keskmine	4,9	4,4	5,5	5,3	6,6	5,3	-9,90	5,0	2,8	3,3	1,6	2,8	3,1	-31,94	-6,4	0,9	0,4	0,0	-0,8	-1,2	-44,77
min	-2,2	-3,7	-3,7	-11,1	-4,6	-5,1	+33,32	-3,3	-9,0	-5,7	-9,1	-5,7	-6,6	+148,04	2,6	10,9	11,0	13,7	9,8	9,6	+16,92
max	15,8	18,4	19,3	18,5	30,9	20,6	+13,61	25,5	20,4	18,4	16,7	19,1	20,0	+4,88	-16,0	-5,7	-7,3	-8,2	-10,7	-9,6	-1,81
Ilma geotekstiili ja -võrguta lõigud																					
Keskmine	5,0	4,7	6,4	6,2	7,3	5,9	-	4,4	4,5	4,5	4,5	4,9	4,6	-	-7,0	0,1	-0,3	-1,5	-2,0	-2,2	-
min	1,0	-4,0	-3,7	-7,4	-4,9	-3,8	-	-3,0	-2,0	-2,8	-2,2	-3,2	-2,7	-	0,2	11,2	10,4	9,2	10,1	8,2	-
max	12,9	13,1	23,1	18,1	23,4	18,1	-	19,9	18,5	24,0	15,0	18,0	19,1	-	-13,9	-6,8	-6,2	-9,7	-12,2	-9,8	-

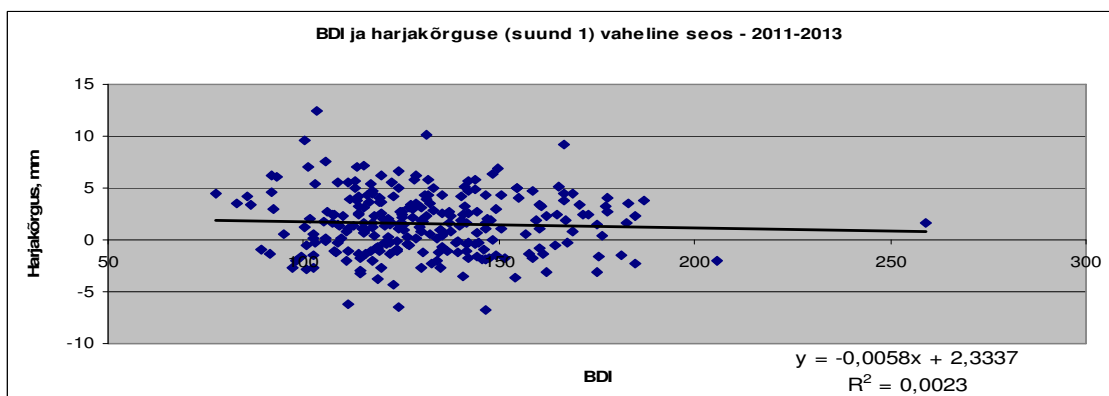
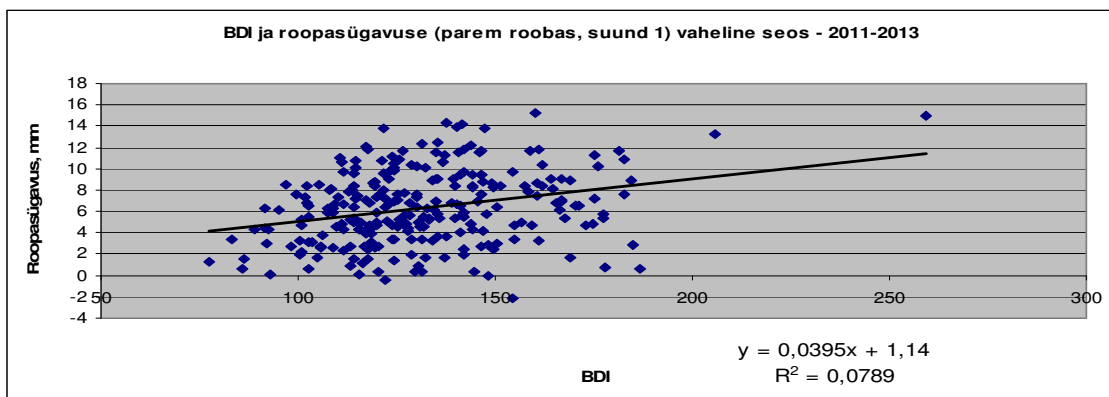
negatiivne väärtus - pind on mõõtmistasapinnast kõrgemal, positiivne väärtus - pind on mõõtmistasapinnast madalamal



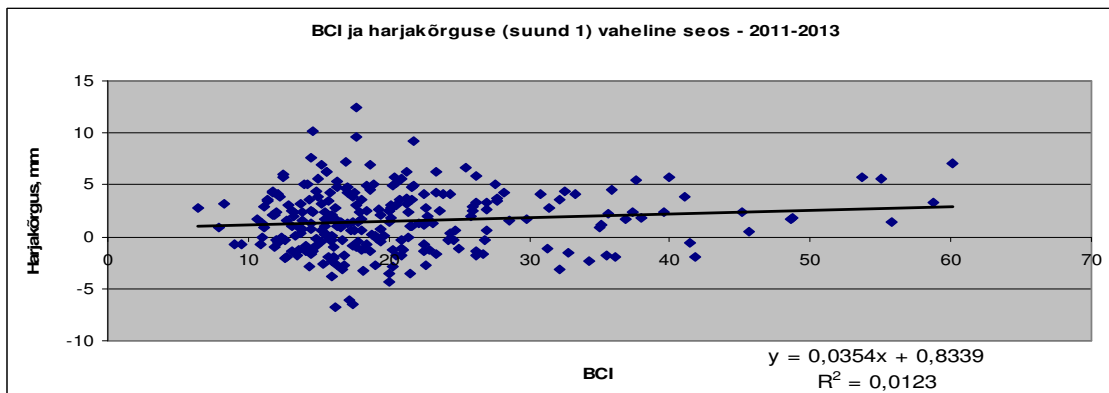
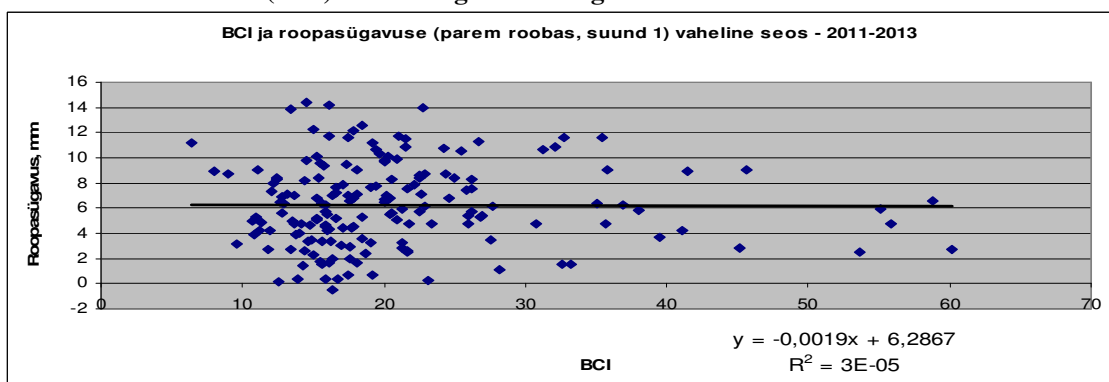
Joonis 4.7. Mustkatte 2011-12. aasta elastsusmoodulite ja roopasügavuste ning harjakõrguste (suund 1: Lokuta-Roovere) vaheline seos



Joonis 4.8. Roopasügavuste ning harjakõrguste (suund 1: Lokuta-Roovere) ja Surface Curvature Index'i (SCI) e. pinna kõverusteguri vaheline seos



Joonis 4.9. Roopasügavuste ning harjakõrguste (suund 1: Lokuta-Roovere) ja Base Damage Index'i (BDI) e. aluse vigastatuse teguri vaheline seos



Joonis 4.10. Roopasügavuste ning harjakõrguste (suund 1: Lokuta-Roovere) ja Base Curvature Index'i (BCI) e. aluse kõverusteguri vaheline seos

5. DEFEKTID

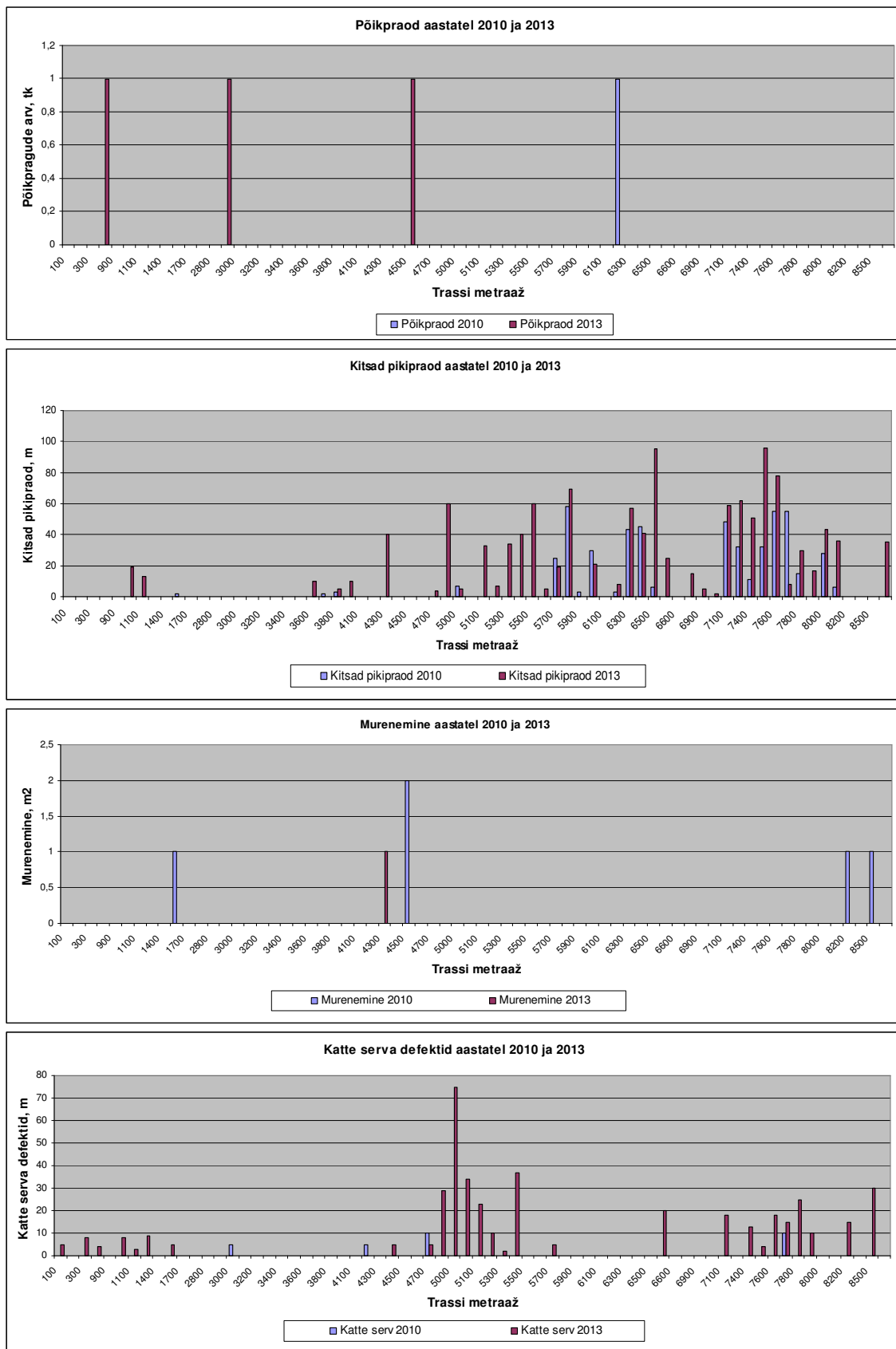
Defekte on inventeeritud maanteel 15111 2010. ja 2013. aasta kevadel tavapärase teede seisukorra hindamise protsessi raames Teeregistri andmete tarbeks (tabel 5.1).

Tabel 5.1. Defektide inventeerimise tulemused 2010. ja 2013. aastal

Algus	Lõpp	Pikkus	Põik-praad		Kitsad pikipraad		Murene-mine		Katte serva defektid		Lapid	Defektide summa	
			2010	2013	2010	2013	2010	2013	2010	2013		2013	2010
Geotekstiil + geovõrk: 0-450													
0	100	100	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0
100	200	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	300	100	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0
300	400	100	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	1
Soo (geotekstiil + -võrk): 450-975													
400	900	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
900	1000	100	0	0	0	19	0	0	0	8	0	0	2
Ilma geosünteedita: 975-1200													
1000	1100	100	0	0	0	13	0	0	0	3	0	0	1
1100	1200	100	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0
Geotekstiil + geovõrk: 1200-1425													
1200	1400	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ilma geosünteedita: 1425-1850													
1400	1500	100	0	0	2	0	1	0	0	5	0	0	0
1500	1700	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700	1800	100	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Geotekstiil + geovõrk: 1850-2650													
1800	2800	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ilma geosünteedita: 2650-4500													
2800	2900	100	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2900	3000	100	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
3000	3100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3100	3200	100	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3200	3300	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3300	3400	100	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3400	3500	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3500	3600	100	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	1
3600	3700	100	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
3700	3800	100	0	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0
3800	3900	100	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	1
3900	4100	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4100	4200	100	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
4200	4300	100	0	0	0	40	0	1	0	0	0	0	4
4300	4400	100	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0
4400	4500	100	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Geotekstiil + geovõrk: 4500-4930													
4500	4600	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4600	4700	100	0	0	0	4	0	0	10	5	0	0	1
4700	4800	100	0	0	0	60	0	0	0	29	0	0	6

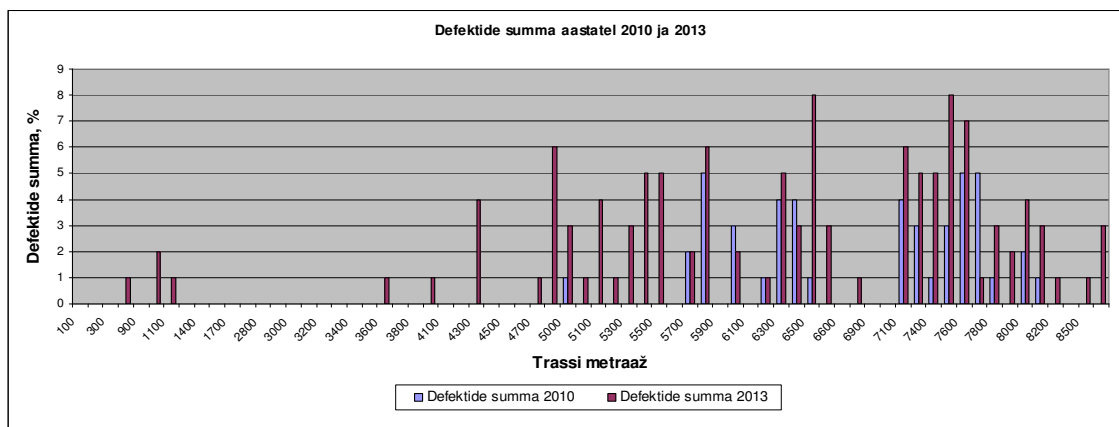
Algus	Lõpp	Pikkus	Põikpraod		Kitsad pikipraod		Murene-mine		Katte serva defektid		Lapid	Defektide summa	
			2010	2013	2010	2013	2010	2013	2010	2013		2010	2013
Ilma geosünteedita: 4930-5100													
4800	4900	100	0	0	7	5	0	0	0	75	0	1	3
4900	5000	100	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	1
5000	5100	100	0	0	0	33	0	0	0	23	0	0	4
Geotekstiil + geovõrk: 5100-5700													
5100	5200	100	0	0	0	7	0	0	0	10	0	0	1
5200	5300	100	0	0	0	34	0	0	0	2	0	0	3
5300	5400	100	0	0	0	40	0	0	0	37	0	0	5
5400	5500	100	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	5
5500	5600	100	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
5600	5700	100	0	0	25	19	0	0	0	5	0	2	2
Ilma geosünteedita: 5700-5800													
5700	5800	100	0	0	58	69	0	0	0	0	0	5	6
Geotekstiil + geovõrk: 5800-6150													
5800	5900	100	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
5900	6000	100	0	0	30	21	0	0	0	0	0	3	2
6000	6100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ilma geosünteedita: 6150-6400													
6100	6200	100	1	0	3	8	0	0	0	0	0	1	1
6200	6300	100	0	0	43	57	0	0	0	0	0	4	5
6300	6400	100	0	0	45	41	0	0	0	0	0	4	3
Geotekstiil + geovõrk: 6400-8592													
6400	6500	100	0	0	6	95	0	0	0	0	0	1	8
6500	6600	100	0	0	0	25	0	0	0	20	0	0	3
6600	6800	200	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	1
6800	6900	100	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
6900	7000	100	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
7000	7100	100	0	0	48	59	0	0	0	18	0	4	6
7200	7300	100	0	0	32	62	0	0	0	0	0	3	5
7300	7400	100	0	0	11	51	0	0	0	13	0	1	5
7400	7500	100	0	0	32	96	0	0	0	4	0	3	8
7500	7600	100	0	0	55	78	0	0	0	18	0	5	7
7600	7700	100	0	0	55	8	0	0	10	15	0	5	1
7700	7800	100	0	0	15	30	0	0	0	25	0	1	3
7800	7900	100	0	0	0	17	0	0	0	10	0	0	2
7900	8000	100	0	0	28	43	0	0	0	0	0	2	4
8000	8100	100	0	0	6	36	0	0	0	0	0	1	3
8100	8200	100	0	0	0	0	1	0	0	15	0	0	1
8200	8400	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8400	8500	100	0	0	0	0	1	0	0	30	0	0	1
8500	8592	92	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	3

Nagu selgub tabelist 5.1 ja jooniselt 5.1, on põhilisteks defektitüüpideks kitsas pikipragu ja servadefekt, mis esineb nii lõikudel, kuhu ei ole geotekstiili ja geovõrku paigaldatud, aga ka geosüntetikaga lõikudel ning nimetamisväärset vahet neil lõikudel eelnimetatud defektide esinemissageduse osas ei ole. Servadefektiks on tavaliselt katte serva lähedal jooksev pikipragu (joonis 5.3). Võrreldes 2011. aastaga on nii kitsa pikiprao kui ka servadefekti esinemissagedus 2013. aastal märgatavalt kasvanud (joonis 5.1).



Joonis 5.1. Erinevate defektitüüpide esinemissagedus maanteel 15111 2011. ja 2013.a.

Defektisumma väärtus 2013.a. on 0 % 50-l 100-meetrise lõigu ehk siis 58-l %-l kogu lõigu pikkusest ning väärtus 1 % on 12-l lõigul ehk 14-l %-l kogu lõigu pikkusest. Seega 72-l %-l lõigust võib tee seisukorda tekkinud defektide alusel hinnata väga heaks. 18-l lõigul (21 %) on defektisumma väärtus vahemikus 2-5 % ehk kate seisukord on hea. 6-l lõigul (7 % kogu lõigu pikkusest) on seisukord rahuldav. (Tabel 5.1-5.2, joonis 5.2). Suurimad probleemid defektidega esinevad aadressil 7000-7600 m ehk Kukepuu soo lähedastel aladel.



Joonis 5.2. Defektide summa maanteel 15111 2011. ja 2013.a.

Tabel 5.2. Defektisumma piirväärtuste iseloomustus

Tee seisukord	ISELOOMUSTUS (defektid, sõidumugavus ning vajalikud meetmed)	DEFEKTI-SUMMA, %
Väga hea	Teekate praktiliselt ilma defektideta. Võib esineda ainult üksikuid joonpragusid. Ei ole vaja midagi teha.	≤ 1
Hea	Defektideks põhiliselt erinevad joonpraod. Kohati esineb ka veidi võrkpragu. Vajalik laiemate pragude täitmine.	2 - 5
Rahuldav	Esineb joonpragu, võrkpragu ja kohati hakkab tekkima ka murenemine või on kergeid servadefekte. Tee kasutaja märkab defekte, kuid need ei mõjuta sõidutrajektoori ja kiirust. Suuremad defektid tuleb kõrvaldada.	6 - 9
Halb	Esineb laiu ja pikki joonpragusid, võrkpragu ja suuri servadefekte. Defektid mõjutavad sõidutrajektoori valikut. Defektid tuleb kõrvaldada.	10 - 19
Väga halb	Rohkesti võrkpragu ning lisaks ka murenemist või auke ja serva defekte. Defektid avaldavad mõju sõidutrajektoori valikule ja sõidukiirusele. Üksikuid defekte ei ole mõtet kõrvaldada, kogu kate tuleks uuendada.	≥ 20

2011-2013.a. kevadistel fotodel (joonis 5.3) on selgelt näha, et tegemist on peamiselt külmakerke tulemusel tekkinud pragudega. Joonisel 5.3 esitatud külmakerkepragude tekke põhjuseks on tavaliselt erinevatest pinnasetüüpidest ehitatud mulle. Taolist tehnoloogiat on kasutatud ka Lokuta-Roovere tee rekonstrueerimisel, kus olemasolevat mullet ei lükatud kogu ehitatava tee laiuses laiali, vaid kaevati mõlemast olemasoleva tee servast välja mittesobiv pinnas ning ehitati uuest pinnasest juurde tee laiendused (joonised 1.2 ja 1.13).



Joonis 5.3. Defektid maanteel 15111

Erinevad pinnasetüübid töötavad samades niiskuse- ja temperatuuritingimustes erinevalt, mille tulemusena tekib neil ka talvel erinev külmakerke suurus, mis põhjustab katte pinnale ka pikiprao tekke.

Seega kasutatud remonditehnoloogia määras juba eos ette võimalike külmakerkepragude tekke võimaluse.

6. LIIKLUSLOENDUS

Liiklusloendus maanteel nr 15111 teostati voolikloenduritega kolmel aastal (2009-2011) iga aasta sügisel: 28.09.-5.10.2009, 5-13.10.2010 ja 16-26.09.2011.a. (eesmärgiga saada 7 päeva ehk nädala loendusandmed). Loendus toimus kahes loenduspunktis korraga, kuna maantee on liikluse suhtes jagunenud kaheks homogeenseks lõiguks:

- Km 3, liiklus lõigule km 0-4,292 (ristmik mnt 15108-ga),
- Km 6, liiklus lõigule km 4,292-8,7.

Liiklusleonduse tulemused on esitatud [lisas 9](#) vastavalt MetroCount loendurite sõidukite klassifikatsioonile ([tabel 6.1](#)).

Tabel 6.1. MetroCount loendurite sõidukite klassifikatsioon

Klass	Tüüp	Telgi	SP1, m	SP2, m	SP3, m	SP4, m	SP5, m	SP6, m	SP7, m	SP8, m	Jaotus
1	F1	2	0,3 - 1,8								
2	F2	2	1,8 - 3,1								
		3	1,8 - 3,1	1,8 - 5,5							
		4	1,8 - 3,1	1,8 - 5,5	0,0 - 1,8						
3	F3	2	3,1 - 4,0								
		3	3,1 - 4,0	1,8 - 5,5							
		4	3,1 - 4,0	1,8 - 5,5	0,0 - 1,8						1 (Kerge)
4	F4	2	6,1 - 12,2								
		3	6,1 - 12,2	0,0 - 1,8							
5	F5	2	4,0 - 6,1								
6	F6	3	1,8 - 7,0	0,0 - 1,8							
7	F7	4	1,8 - 7,0		0,0 - 2,7						
		5	1,8 - 5,2	0,0 - 1,8	0,0 - 1,8	0,0 - 1,8					
		6	1,8 - 5,2	0,0 - 1,8	0,0 - 1,8	0,0 - 1,8	0,0 - 1,8				2 (Keskmine)
8	F8	3	1,8 - 5,2	4,3 - 12,2							
		4	1,8 - 6,1	0,0 - 1,8	1,8 - 12,2						
		4	1,8 - 5,2	4,3 - 12,2	0,0 - 1,9						
9	F9	5	1,8 - 6,7	0,0 - 1,8	1,8 - 12,2	0,0 - 3,8					
		5	1,8 - 6,7	0,0 - 1,8	1,8 - 7,0	0,3 - 7,0					
10	F10	6	1,8 - 6,7	0,0 - 1,8	0,0 - 12,2	0,0 - 3,4	0,0 - 3,4				
		7	1,8 - 6,7	0,0 - 1,8	0,0 - 12,2	0,0 - 4,0	0,0 - 4,0	0,0 - 4,0			
11	F11	5	1,8 - 5,2	3,4 - 7,6	1,8 - 5,5	3,4 - 7,6					
12	F12	6	1,8 - 6,7	0,0 - 1,8	0,3 - 7,6	1,8 - 5,5	3,4 - 7,6				
13	F13	7-9	0,0 - 12,2	0,0 - 12,2	0,0 - 12,2	0,0 - 12,2	0,0 - 12,2	0,0 - 12,2	0,0 - 12,2	0,0 - 12,2	3 (Raske)

1 Motorcycles	2 Passenger Cars	3 Two Axle, 4 Tire Single Unit	4 Buses
			
5 Two Axle, Six Tire Single Unit	6 Three Axle Single Unit	7 Four or More Axle Single Unit	8 Four or Less Axle Single Trailers
			
9 Five Axle Single Trailers	10 Seven or More Axle Single Trailers	11 Five or Less Axle Multi-Trailers	
			
12 Six Axle Multi-Trailers	13 Seven or More Axle Multi-Trailers		
			

Teeregistris oleva jaotuse saamiseks tuleks sõidukite klassid (lisa 9) summeerida järgnevalt:

- Sõidu- ja pakiautod (kerged): SAPA – Cls1+Cls2+Cls3
- Veoautod, autobussid (keskmised): VAAB – Cls4+Cls5+Cls6+Cls7
- Autorongid (rasked): AR – Cls8+...+Cls13

Liiklusloenduse koondtulemused on esitatud tabelis 6.2 ja joonistel 6.1-6.3. Keskmise ööpäevane liiklussagedus lõigul km 0-4,292 oli 2009.a. 220 autot ööpäevas (max 250), 2010.a. 254 autot ööpäevas (max 295) ja 2011.a. 211 autot ööpäevas (max 258). Maksimaalne ööpäevane liiklussagedus langes reedesele päevale. Keskmiselt kasvas liiklussagedus 2010. aastal võrreldes 2009. aastaga 15 % ning langes 2011. aastal võrreldes 2010. aastaga 17 %. Lõigul km 4,292-8,7 oli liiklussagedus 2009.a. vastavalt 135 autot ööpäevas (max 172), 2010.a. 164 autot ööpäevas ning 2011.a. 128 autot ööpäevas. 2010.a. oli lõigu liiklussageduse kasv võrreldes 2009. aastaga keskmiselt 21 % ja 2011. aastal oli liiklussageduse langus võrreldes 2010. aastaga 22 %. Seega esimesel aastal peale tolmuva katte ehitust lõigul liiklussagedus tõusis, aga peale seda langes tagasi katteehituse eelsele tasemele.

Liiklusest mõlemal lõigul (km 0-4,292 ja km 4,292-8,7) moodustasid 2009.a. sõiduaudod umbes 90 %, keskmised veoautod ja bussid 4 % ning autorongid 5-6 %. 2010.a. toimus märkimisväärne raskeliikluse osakaalu kasv: sõidu- ja pakiautod moodustasid umbes 75 %, keskmised veoautod ja bussid 16 % ja autorongid 9 % kogu liiklussagedusest. 2011.a. on aga mõlemal lõigul taastunud praktiliselt sama liikluse koosseis, mis oli 2009. aastal. (Tabel 6.3).

Tabel 6.3. Erinevate sõidukiliikude osakaal (%) kogu liiklusest

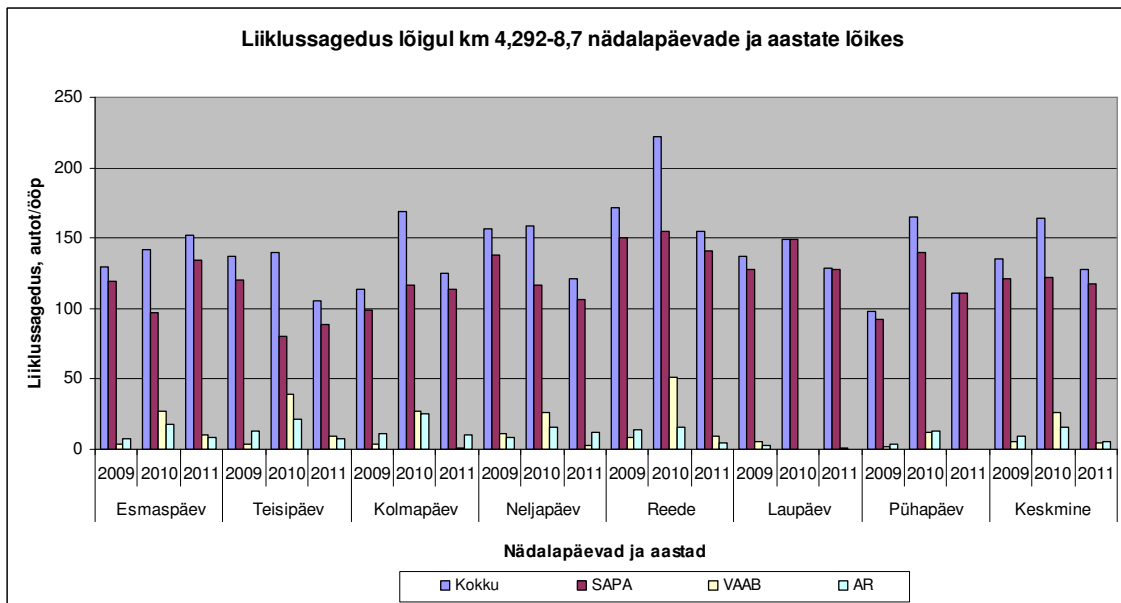
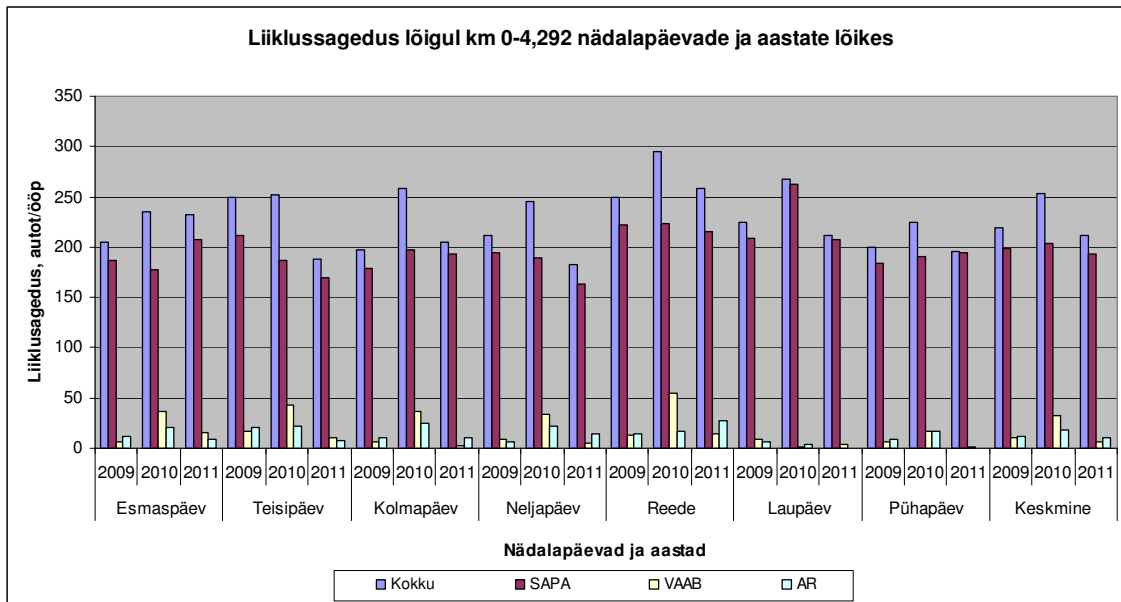
Lõik	Aasta									
		Suund 1 (Lokuta-Roovere)			Suund 2 (Roovere-Lokuta)			Suund 1 ja suund 2 kokku		
		SAPA	VAAB	AR	SAPA	VAAB	AR	SAPA	VAAB	AR
Lõik km 0-4,292	2009							90,38	4,36	5,26
	2010	83,11	11,56	5,33	77,65	13,41	8,94	80,36	12,49	7,15
	2011	92,47	3,56	3,97	90,99	3,49	5,51	91,72	3,53	4,75
Lõik km 4,292-8,7	2009							89,53	4,08	6,39
	2010	78,21	14,64	7,1	71,16	17,06	11,77	74,61	15,88	9,5
	2011	92,27	4,09	3,64	91,05	3,28	5,68	91,65	3,67	4,68

Liiklussageduse kasvu lõikudel 2010. aastal võrreldes 2009. aastaga (vastavalt 15 ja 21%) ning veokite osakaalu kasvu (vastavalt 10 ja 15 %) aasta jooksul peale tolmuva katte ehitamist Lokuta-Roovere lõigule võib ilmselt kirjutada paranenud sõidutingimuste arvele. Samas 2011. aasta liiklusloenduse andmetel on liiklussagedus maanteel 15111 langenud tagasi 2009. aasta tasemele. Täna me ei tea, kas 2010. aasta veokite osakaalu märkimisväärse tõusu võis anda hoopis mingi muu põhjus – näiteks mõni suurem ehitusobjekt piirkonnas või ümbersõiduvajadus.

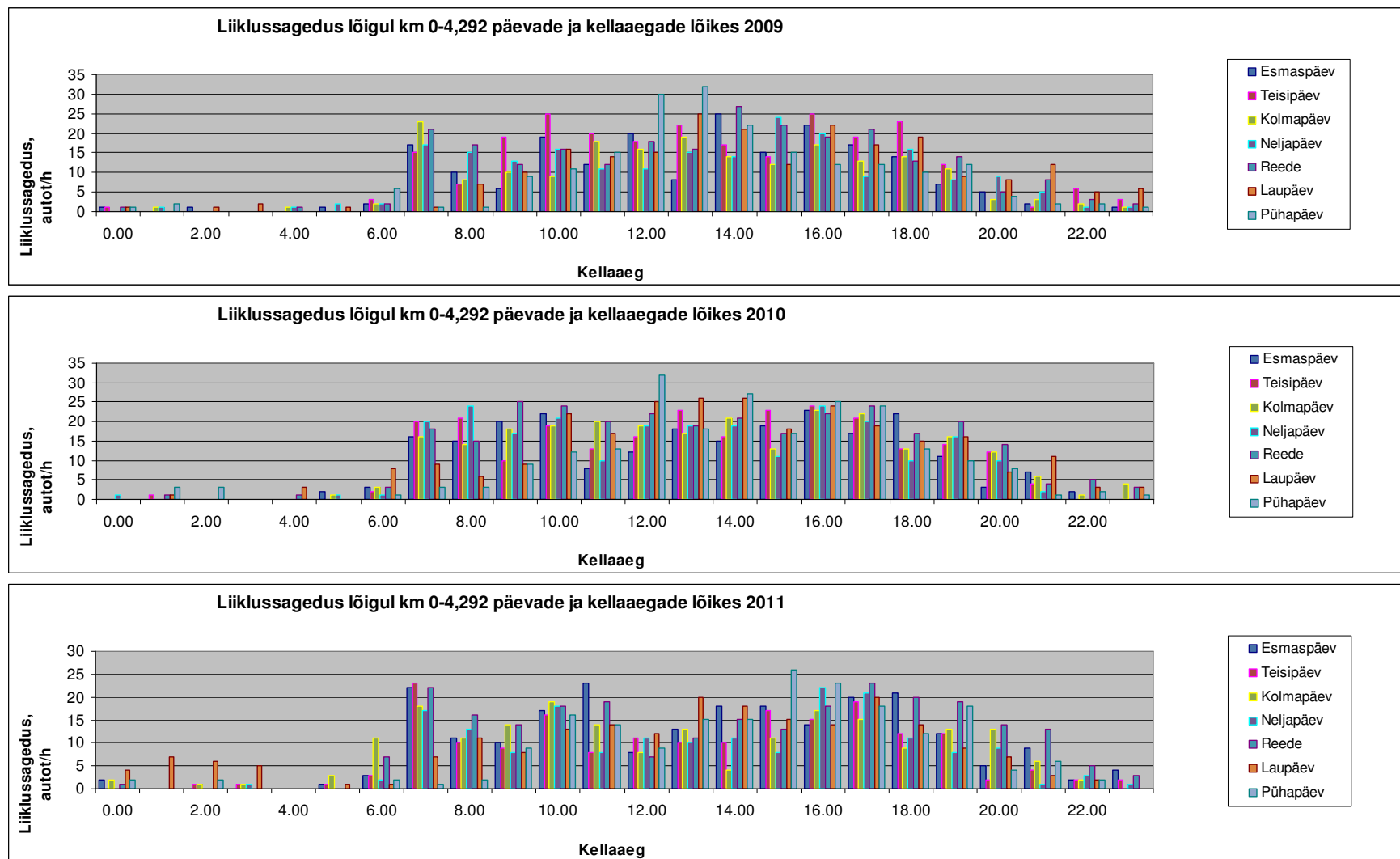
Tabel 6.2. Liiklussagedus (autot/ööpäevas) päevade ja aastate lõikes ja selle muutus aastate võrdluses (kordades)

Nädala-päev	Sõiduki tüüp	Km 0-4,292						Km 4,292-8,7					
		Liiklussagedused, autot/ööp.			Aastaste liiklussageduste suhted			Liiklussagedused, autot/ööp.			Aastaste liiklussageduste suhted		
		Aastad						Aastad					
		2009	2010	2011	10/09	11/09	11/10	2009	2010	2011	10/09	11/09	11/10
Esmaspäev	Kokku	205	235	233	1,15	1,14	0,99	130	142	152	1,09	1,17	1,07
	SAPA	187	178	208	0,95	1,11	1,17	119	97	134	0,82	1,13	1,38
	VAAB	6	36	16	6,00	2,67	0,44	4	27	10	6,75	2,50	0,37
	AR	12	21	9	1,75	0,75	0,43	7	18	8	2,57	1,14	0,44
Teisipäev	Kokku	250	252	188	1,01	0,75	0,75	137	140	105	1,02	0,77	0,75
	SAPA	212	187	170	0,88	0,80	0,91	120	80	89	0,67	0,74	1,11
	VAAB	17	43	10	2,53	0,59	0,23	4	39	9	9,75	2,25	0,23
	AR	21	22	8	1,05	0,38	0,36	13	21	7	1,62	0,54	0,33
Kolmapäev	Kokku	197	258	205	1,31	1,04	0,79	114	169	125	1,48	1,10	0,74
	SAPA	179	197	193	1,10	1,08	0,98	99	117	114	1,18	1,15	0,97
	VAAB	7	36	2	5,14	0,29	0,06	4	27	1	6,75	0,25	0,04
	AR	11	25	10	2,27	0,91	0,40	11	25	10	2,27	0,91	0,40
Neljapäev	Kokku	211	245	183	1,16	0,87	0,75	157	159	121	1,01	0,77	0,76
	SAPA	195	189	163	0,97	0,84	0,86	138	117	106	0,85	0,77	0,91
	VAAB	9	34	5	3,78	0,56	0,15	11	26	3	2,36	0,27	0,12
	AR	7	22	15	3,14	2,14	0,68	8	16	12	2,00	1,50	0,75
Reede	Kokku	250	295	258	1,18	1,03	0,87	172	222	155	1,29	0,90	0,70
	SAPA	222	223	216	1,00	0,97	0,97	150	155	141	1,03	0,94	0,91
	VAAB	13	55	14	4,23	1,08	0,25	8	51	9	6,38	1,13	0,18
	AR	15	17	28	1,13	1,87	1,65	14	16	5	1,14	0,36	0,31
Laupäev	Kokku	224	268	211	1,20	0,94	0,79	137	149	129	1,09	0,94	0,87
	SAPA	209	263	207	1,26	0,99	0,79	128	149	128	1,16	1,00	0,86
	VAAB	9	1	4	0,11	0,44	4,00	6	0	1	0,00	0,17	-
	AR	6	4	0	0,67	0,00	0,00	3	0	0	0,00	0,00	1,00
Pühapäev	Kokku	200	225	196	1,13	0,98	0,87	98	165	111	1,68	1,13	0,67
	SAPA	184	191	195	1,04	1,06	1,02	92	140	111	1,52	1,21	0,79
	VAAB	7	17	1	2,43	0,14	0,06	2	12	0	6,00	0,00	0,00
	AR	9	17	0	1,89	0,00	0,00	4	13	0	3,25	0,00	0,00
Keskmine	Kokku	220	254	211	1,15	0,96	0,83	135	164	128	1,21	0,95	0,78
	SAPA	198	204	193	1,03	0,97	0,95	121	122	118	1,01	0,98	0,97
	VAAB	10	32	7	3,20	0,70	0,22	6	26	5	4,33	0,83	0,19
	AR	12	18	10	1,50	0,83	0,56	9	16	6	1,78	0,67	0,38

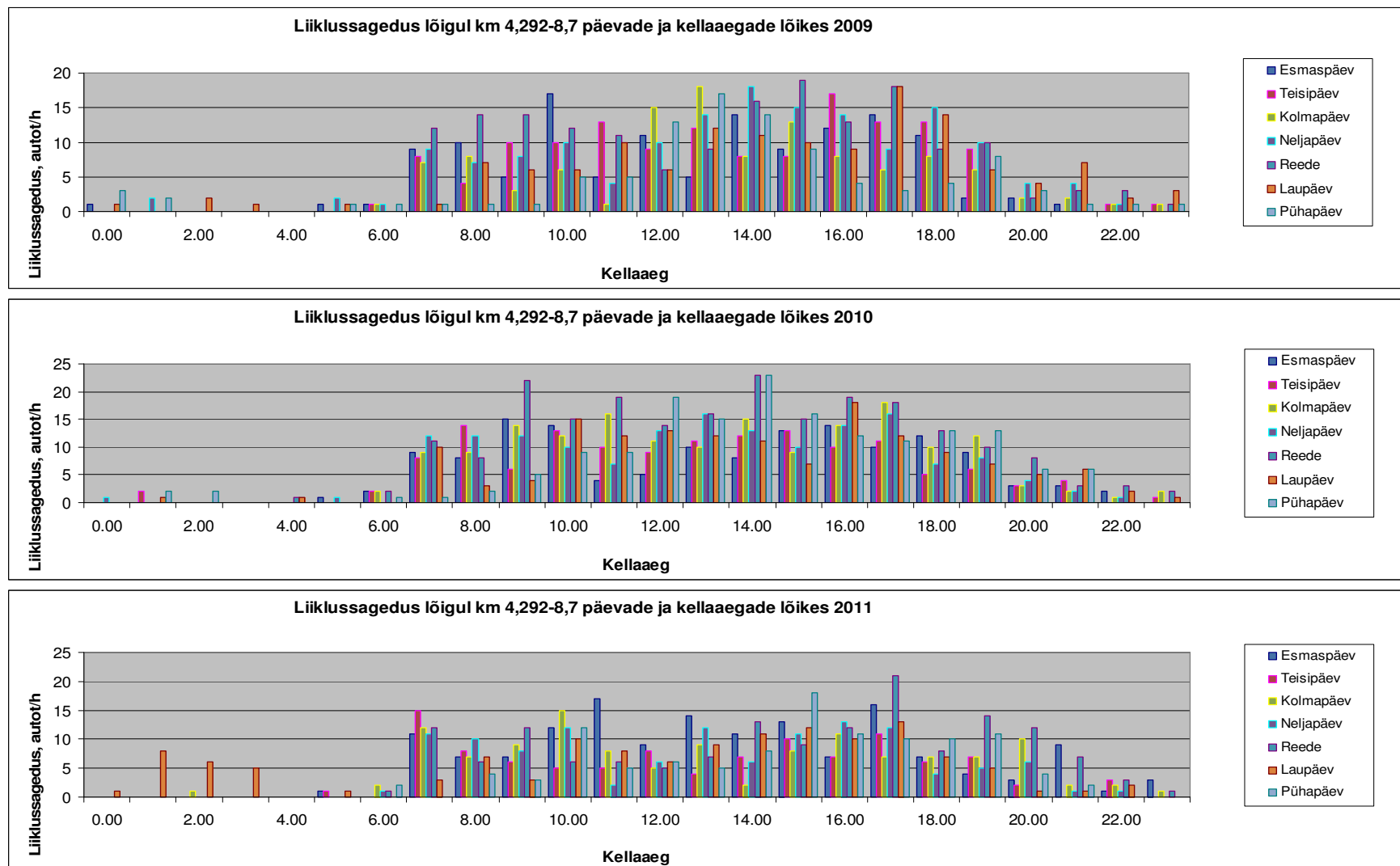
- SAPA - sõidu- ja pakiautod (kerged)
- VAAB - veoautod, autobussid (keskmised)
- AR - autorongid (rasked)



Joonis 6.1. Liiklussagedused maanteel 15111 nädalapäevade ja aastate lõikes



Joonis 6.2. Liiklussagedus lõigul km 0-4,292 nädalapäevade ja kellaegade lõikes 2009, 2010 ja 2011 aastal



Joonis 6.3. Liiklussagedus lõigul km 4,292-8,7 nädalapäevade ja kellaegade lõikes 2009, 2010 ja 2011 aastal

Tabel 6.4. Liiklussagedused kellaajavahemikes (autot/ajavahemikus) maantee 15111 lõigul km 0-4,292

Kellaaja- vahemik	Esmaspäev			Teisipäev			Kolmapäev			Neljäpäev			Reede			Laupäev			Pühapäev		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Lõik km 0-4,292																					
KOKKU, autot																					
07-19	185	207	195	224	219	160	173	215	153	181	214	158	214	244	196	179	216	166	170	196	160
06-22	201	231	224	240	251	181	192	252	196	205	243	178	243	285	249	208	258	186	194	216	190
06-00	202	233	230	249	251	185	195	257	198	207	243	182	248	293	257	219	264	188	197	219	192
00-00	205	235	233	250	252	188	197	258	205	211	245	183	250	295	258	224	268	211	200	225	196
Sõidu- ja pakiautod																					
07-19	169	152	173	187	157	144	156	159	143	165	161	141	186	175	157	166	211	162	156	163	159
06-22	184	175	199	202	187	164	174	194	184	189	188	158	215	216	208	193	253	182	179	182	189
06-00	185	176	205	211	187	167	177	196	186	191	188	162	220	222	215	204	259	184	181	185	191
00-00	187	178	208	212	187	170	179	197	193	195	189	163	222	223	216	209	263	207	184	191	195
Veoautod ja autobussid																					
07-19	6	36	13	17	42	10	6	33	2	9	33	5	13	53	12	9	1	4	7	17	1
06-22	6	36	16	17	43	10	7	33	2	9	33	5	13	53	13	9	1	4	7	17	1
06-00	6	36	16	17	43	10	7	36	2	9	33	5	13	55	14	9	1	4	7	17	1
00-00	6	36	16	17	43	10	7	36	2	9	34	5	13	55	14	9	1	4	7	17	1
Autorongid																					
07-19	10	19	9	20	20	6	11	23	8	7	20	12	15	16	27	4	4	0	7	16	0
06-22	11	20	9	21	21	7	11	25	10	7	22	15	15	16	28	6	4	0	8	17	0
06-00	11	21	9	21	22	8	11	25	10	7	22	15	15	16	28	6	4	0	9	17	0
00-00	12	21	9	21	22	8	11	25	10	7	22	15	15	17	28	6	4	0	9	17	0

Tabel 6.5. Liiklussagedused kellaajavahemikes (autot/ajavahemikus) maantee 15111 lõigul km 4,292-8,7

Kellaaja- vahemik	Esmaspäev			Teisipäev			Kolmapäev			Neljäpäev			Reede			Laupäev			Pühapäev		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Lõik km 4,292-8,7																					
KOKKU, autot																					
07-19	122	122	131	125	122	92	101	147	100	133	142	107	153	193	117	110	126	99	77	135	92
06-22	128	139	147	135	137	101	112	166	121	152	156	120	168	216	151	127	144	106	90	161	111
06-00	128	141	151	137	138	104	114	169	124	153	157	121	172	221	155	132	147	108	92	161	111
00-00	130	142	152	137	140	105	114	169	125	157	159	121	172	222	155	137	149	129	98	165	111
Sõidu- ja pakiautod																					
07-19	113	79	114	108	65	78	86	100	91	114	103	94	131	129	107	103	126	98	73	110	92
06-22	118	95	129	118	78	86	97	117	110	133	115	105	146	152	138	118	144	105	85	136	111
06-00	118	96	133	120	79	88	99	117	113	134	116	106	150	155	141	123	147	107	86	136	111
00-00	119	97	134	120	80	89	99	117	114	138	117	106	150	155	141	128	149	128	92	140	111
Veoautod ja autobussid																					
07-19	4	27	9	4	39	9	4	24	1	11	24	3	8	49	7	6	0	1	2	12	0
06-22	4	27	10	4	39	9	4	24	1	11	25	3	8	49	8	6	0	1	2	12	0
06-00	4	27	10	4	39	9	4	27	1	11	25	3	8	51	9	6	0	1	2	12	0
00-00	4	27	10	4	39	9	4	27	1	11	26	3	8	51	9	6	0	1	2	12	0
Autorongid																					
07-19	5	16	8	13	18	5	11	23	8	8	15	10	14	15	3	1	0	0	2	13	0
06-22	6	17	8	13	20	6	11	25	10	8	16	12	14	15	5	3	0	0	3	13	0
06-00	6	18	8	13	20	7	11	25	10	8	16	12	14	15	5	3	0	0	4	13	0
00-00	7	18	8	13	21	7	11	25	10	8	16	12	14	16	5	3	0	0	4	13	0

7. NIVELLEERIMISMÄRKIDE JA –REEPERITE KÕRGUSTE NING VAJUMISTE MÄÄRAMINE

7.1 Aruande lühikokkuvõte

Käesolev aruanne käsitleb teadustöö „Geosüntetika kasutamine teekatendis maantee 15111 km 0.0 – 8.7 remondi näitel“ raames teekattes asetatud nivelleerimismärkide kõrguste määramist geomeetrilise nivelleerimisega 2013.a. Tööde teostamise aluseks on Maanteeameti ja TTÜ Teedeinstituudi vahel 2008. a. detsembris sõlmitud töövõtuleping nr. 8132.

2013.a. mõõdeti kokku kolm nivelleerimistsükli (XII-XIV, mis on järjeks 2009.a. läbiviidud kahele esimesele nivelleerimistsükli I ja II ning 2010-2012.a. läbi viidud tsüklitele III-XI, tulemusi vt 2009-2012 a tööaruandeid). XII nivelleerimistsükli mõõtmised viidi läbi aprilli keskel. XIII nivelleerimistsükkel toimus juulikuul alul, XIV nivelleerimistsükkel oktoobris. Mõõtmised viis läbi TTÜ Teedeinstituudi töögrupp.

Tööde läbiviimisel lähtuti spetsiaalselt selleks tööks väljatöötatud meetodikast, mõõtmiste ja andmetöötluse põhimõtetest, mis on üksikasjalikult kirjeldatud 2009-2012.a. tööaruannetes. Et käesoleva aruande põhirõhk on 2013.a mõõtmistulemuste kirjeldamisele, siis on siinkohal püütud hoiduda eelnevates aruannetes juba sisalduva informatsiooni asjatust dubleerimisest.

Sarnaselt varasemate (2010-2012) kevadiste mõõtettsüklitega ilmnes ka aprillis 2013, et talviste teehooldusega on osa teekattes paigutatud nivelleerimismärkidest suuremal või vähemal määral kahjustada saanud. Asetada tuli üks lisamärk, profiilil 5875, tee keskel (tähistus 5875.222). Sarnaselt eelnenutega viidi andmetöötlusega kahjustada saanud märkide mõõtmistulemustesse sisse spetsiaalne parand.

Nivelleerimisreeperite vaheliste käikude kõrgtäpsel nivelleerimisel kasutati digitaalnivelliiri Trimble DiNi03 ja 2 m pikkuseid invarribaga triipkoodlatte LD12 (edasises tekstis on kasutatud ka lühendit – invarlatt). Teekattes olevate nivelleerimismärkide kõrguste määramiseks kasutati teleskoopset (alumiiniumist) triipkoodlati.

Kõrgtäpsel nivelleerimisest ilmnes, et lähtereeperite kõrgusliku asendid on olnud küllaltki stabiilsed, nii ühildusid 2013 a. enamus reeperitevahelised kõrguskasve 0...3 mm ulatuses algtsükli suhtes (2009.a. mõõtmised). Erandiks osutus reeper nr. 3, aprillis 2013 läbiviidud mõõtmistulemustest ilmnes, et reeper nr. 3 oli tõusnud ca 8 mm algkõrguse suhtes. Tõsi, juulikuul ning oktoobri mõõtmised näitasid, et nimetud reeper oli ligikaudselt taastanud esialgse kõrgusliku asendi. Vajumite/kergete väiksusest hoolimata korregeeriti kõikide reeperite kõrguseid, mis seejärel võeti aluseks teekattes paigutatud nivelleerimismärkide kõrguste määramisel.

Mõõtmistulemustest ilmneb (vt. [tabelleid 7.2...7.4](#) ja nende järgnevaid jooniseid), et lõunapoolisel teelõigul (eriti aga profiilil PK06+75) küünib maksimaalne vajum 14 cm, samas kui põhjapoolse teelõigu ristprofiilide keskmised vajumid jäävad peale külmakerke taandumist suve- ja sügisperioodidel endiselt 10 mm piiridesse. Küll aga esineb põhjapoolisel teelõigul märkimisväärse suurusega külmakerget (paiguti kuni 10 cm), mis on põhjustanud sügavate pikipragude tekkimist teekattes (terve lõigu PK45...PK72 ulatuses).

7.2 Sissejuhatus

Käesolev aruanne käsitleb järgmiseid peamiseid teemasid:

- 1) nivelleerimise lähtereeperite kõrgusliku asendi stabiilsuse uuring;

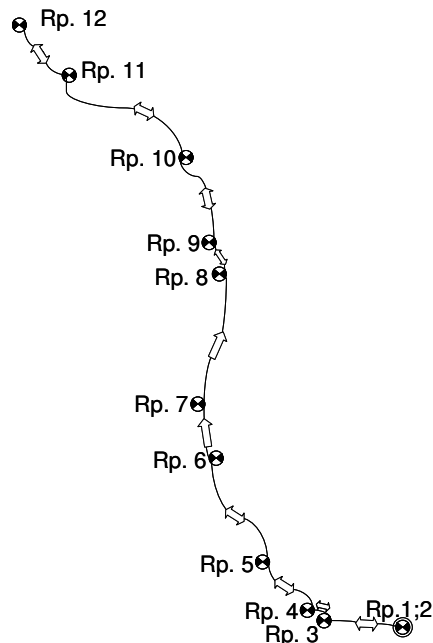
2) teekattes 2009-2010 ja 2012¹.a. paigutatud nivelleerimismärkide kõrguste määramist kolmes nivelleerimistsükli (aprill, juuli ja november 2012) ning nende võrdlust algkõrgustega (I nivelleerimistsükkel, 2009.a. septembri esimesel poolel, kohe peale teekatte valmimist);

3) Nivelleerimistsüklite tulemuste omavahelist võrdlust, kasutades pikiprofiilide keskmistatud väärtuseid. Ristprofiilide osas toimub võrdlus valikuliselt.

Mõõtmised viis läbi TTÜ Teedeinstituudi töögrupp. Mõõtmistel osalesid Artu Ellmann, Innar Metsala, Nelli Ustinova, Silver Aule, Hannes Lõhmus, Sander Saarik, Annika Urbel, Mihkel Lindpere, Aivar Palumaa, Simo Rebane. Andmetöötluse viis läbi A. Ellmann, kes koostas ka käesoleva aruande.

7.3 Nivelleerimisreeperite püsivuse väljaselgitamine

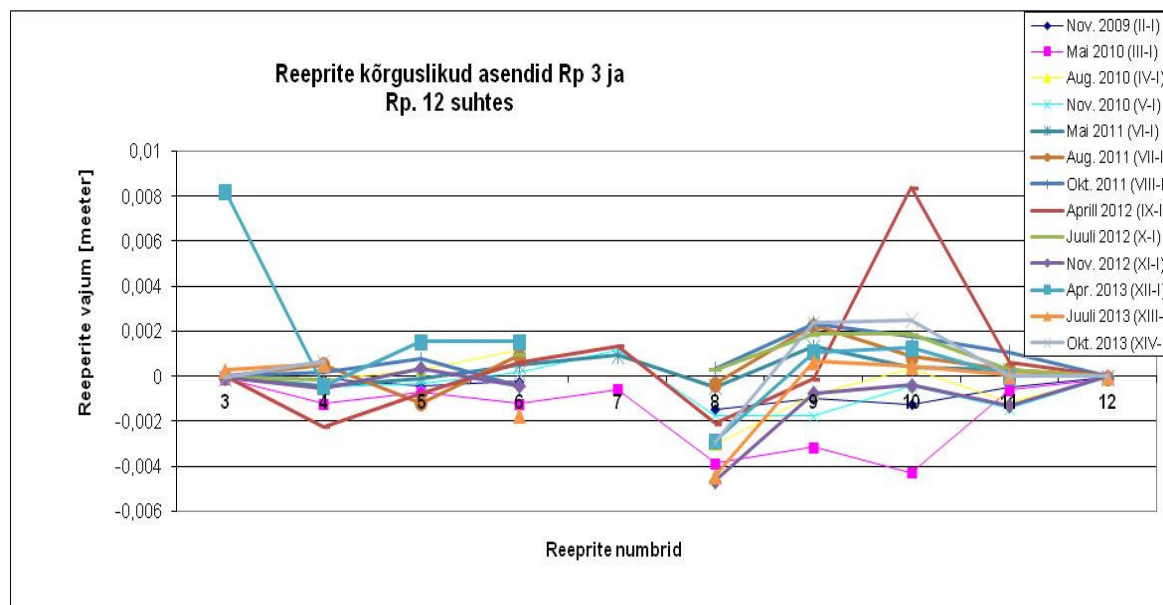
2013.a. mõõdeti kokku kolm nivelleerimistsükli (XII-XIV), mis on järjeks 2009-2012.a. läbiviidud nivelleerimistsüklitele I-XI. XII nivelleerimistsükli mõõtmised viidi läbi aprilli keskel, XIII nivelleerimistsükkel toimus juulikuul alul, XIV nivelleerimistsükkel oktoobris. Juba 2009.a. tööaruandes rõhutati vajadust kasutatavate lähtereeperite omavahelisi kõrguskasvude jätkuvaks võrdlemiseks, selleks et välja selgitada nende kõrgusliku asendi stabiilsus. Seetõttu määrati kõrgtäpse nivelleerimisega igas mõõtmistsükli (lisaks teekattes paigaldatud nivelleerimismärkidele) ka lähtereeperite omavahelised kõrguskasvud. Sarnaselt varasemate mõõtmistega tuvastati reeperite vertikaalliikumisi, mis enamikus jäid siiski mõõtmistäpsuse piiridesse. Erandiks osutus reeper nr. 3, aprillis 2013 läbiviidud mõõtmistulemustest ilmses, et reeper nr. 3 oli tõusnud ca 8 mm algkõrguse suhtes. Tõsi, juulikuul ning oktoobri mõõtmised näitasid, et reeper oli taastanud esialgse kõrgusliku asendi. Sarnaseid kahtlusi tekkis ka Rp. 12 kerke (kuni 6...7 mm) osas, kuid suve- ning sügisperioodi mõõtmistel ilmses esialgse asendi taastumine. Analoogselt eelmiste tsüklitega olid sektsioonide alg- ja lõpp-punktideks 2009.a. valitud (või paigaldatud) sein- või pinnasereeperid, vt käikude skeemi [joonisel 7.1](#) ja [tabelil 7.1](#).



Joonis 7.1. Kõrgtäpse nivelleerimiskäigu skeem.

¹ Lisaks 2010.a. paigutatud asendusmärkidele (vt. 2010 a aruannet) paigutati 2012 a aprillis veel üks asendusmärk (profiilile 5875).

Nivelleerimisreeperite vaheliste käikude kõrgtäpsel nivelleerimisel kasutati digitaalnivelliiri Trimble DiNi03 ja 2 m pikkuseid invarribaga triipkoodlatte LD12. Iga sektsiooni nivelleerimine sooritati eelnevalt teeperve sisse löödud metallvaiadel. Andmetöötlus viidi läbi Excel tabelarvutusprogrammiga, käigu sektsioonide nivelleerimise tulemused on esitatud [tabelis 7.1](#).



Joonis 7.2. Reeperite kõrgusliku asendid nivelleerimistsüklites II-XIV.

Reeperite kõrgused igaks mõõtmistsükliks (aprill, juuli ja oktoober 2013) on toodud [tabeli 7.1](#) parempoolses osas. Põhjapoolse teelõigu (PK44+75 kuni PK77+75) reeperite nr. 8...11 ([tabeli 7.1](#) alaosa) kõrguskasvude lähteks on võetud Rp. 11 või 12. Lõunapoolse teelõigul (PK1+25 kuni PK22+75) paiknevate reeperite nr. 4...6 (vt, [tabeli 7.1](#) ülaosa) kõrguskasvude lähteks on Rp. 3 või 7. Lähtereeperite kasutatud kõrgused nivelleerimistsüklites on [tabelis 7.1](#) tähistatud rasvase fondiga. Kõrguserinevused I tsükli tulemuste osas on näidatud [joonisel 7.2](#).

[Tabelis 7.1](#) toodud reeperite kõrgused on omakorda lähteks teekattesesse paigutatud nivelleerimismärkide kõrguste mõõtmistel ja arvutustöödel, vt järgnevat jaotist. Seega on teekattesesse paigutatud nivelleerimismärkide kõrguste arvutamisel arvesse võetud ka lähtereeperitega toimunud tõuse ja vajumisi.

Tabel 7.1. Reeperite vahelised kõrguskasvud ning kõrgused 2009, 2012-2013.a. mõõtmistsüklites

Reeper	Käigu pikkus [km]	Jaamu	Kõrguskasvud nivelleerimistsüklites								Kõrgused nivelleerimistsüklites							
tüüp	nr.		I sept.09	II nov.09	IX apr.12	X juuli.12	XI nov.12	XII apr.13	XIII juuli.13	XIV okt.13	I sept.09	II nov.09	IX apr.12	X juuli.12	XI nov.12	XII apr.13	XIII juuli.13	XIV okt.13
SR	1										55,9140						55,9140	
		0,9	12	2,5371					2,5373									
SR	3										58,4511	58,4510	58,4510	58,4510	58,4510	58,4593	58,4513	58,4510
		0,15	2	1,2652	1,2651	1,2630	1,2651	1,2647	1,2565	1,2655	1,2659							
PR	4										59,7162	59,7161	59,7140	59,7161	59,7157	59,7158	59,7168	59,7169
		0,8	10	-0,2120	-0,2124	-0,2106	xxx	-0,2111	-0,2101	xxx	xxx							
SR	5										59,5042	59,5038	59,5034	xxx	59,5046	59,5057	xxx	xxx
		1,47	20	-0,0382	-0,0380	xxx	-0,2491	-0,2501	-0,0382	-0,2525	-0,2507							
PR	6								3,6687		59,4660	59,4658	59,4671	59,4670	59,4656	59,4676	59,4643	59,4662
		0,72	10	5,5089		5,5091			1,83953*									
SR	7										64,9749		64,9763			64,9758		
		1,58	20	-5,6168		-5,6198												
GPS	8										59,3586	59,3571	59,3565	59,3589	59,3540	59,3557	59,3542	59,3557
		0,5	8	2,1475	2,1479	2,1494	2,1490	2,1513	2,1514	2,1525	2,1527							
SR	9										61,5060	61,5051	61,5059	61,5079	61,5053	61,5071	61,5067	61,5084
		1,1	14	0,2877	0,2874	0,2961	0,2877	0,2880	0,2878	0,2874	0,2878							
PR	10										61,7937	61,7925	61,8021	61,7956	61,7933	61,7950	61,7941	61,7962
		1,68	22	1,7850	1,7857	1,7772	1,7834	1,7841	1,7840	1,7846	1,7825							
SR	11										63,5787	63,5782	63,5793	63,5790	63,5774	63,5790	63,5787	63,5787
		0,82	12	0,7153		0,7147		0,7166	0,7217	0,7153	0,7153							
SR	12										64,2940		64,2940		64,2940		64,2940	64,2940

Tabeli selgitused: SR- seinareeper; PR – pinnasereeper, GPS – riikliku GPS tihendusvõrgu punkt.

Kollasel foonil esitatud seinareeper SR 7-ga seonduvad kõrguskasvud ja kõrgused on kombineeritud. Nimelt ilmnes 2012 a kevadel, et SR 7 lähedusse on ketistatud kuri valvekoer, mistõttu selle reeperi edasine kasutamine osutus probleemseks. Seetõttu paigaldati lähedusse täiendav seinareeper (andmefailides on see tähistatud SR 7A). Koera peremehe abiga saadi reeperitevahelise 7A -> 7 kõrguskasvu väärtuseks kõrgtäpsest nivelleerimisest $dh = +1.8395$ m (tabelis tähistatud tärniga, vt. ka 2012 aasta tööaruannet). Reeperit 7A kasutatakse edaspidistes nivelleerimistes. Siiski parema ülevaatlikkuse huvides jätkatakse võrdlustabelis erinevuste näitamist SR 7 suhtes.

Tabelis rohelisel foonil esitatud kõrguskasvud on kombineeritud, kuna seinareeper SR5 kauguse tõttu nivelleerimistrassis ning hämarust tekitavate puude lopsakuse tõttu pole õnnestunud saada kindlat lugemist reeperile asetatud latilt. Seetõttu on moodustatud pinnasereeperite PR4 ning PR6 vahele nõ. liitsektsioon (kaasamata vahepealset Rp. 5), seega rohelisel foonil olev PR6 kõrguskasv on antud PR4 suhtes. Rp3-Rp4 vaheline kõrguskasv aprillis 2013 on saadud edasi-tagasi nivelleerimisest.

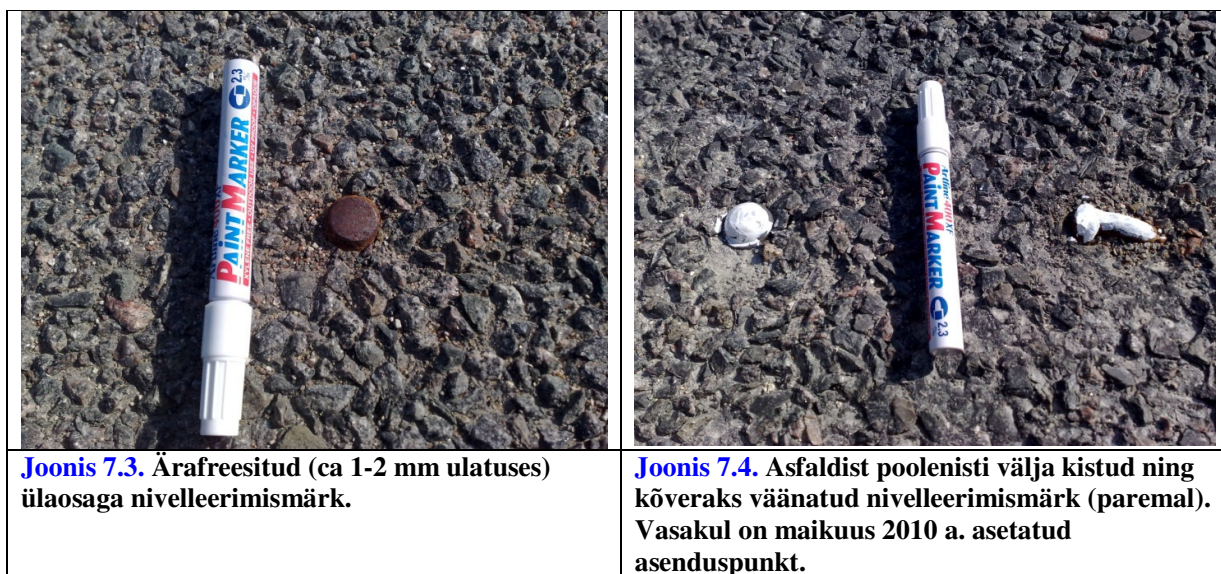
Tabeli lahtrites olevad xxx tähistavadki SR 5 sidumisega seonduvaid ebaõnnestumisi. Märka, et sellistes tsüklites on PR6 kõrgused saadud SR7 suhtes.

Tabeli lühendamise huvides on võrdlustabelist eemaldatud 2010-2011.a. vaatlustsüklite (III-VIII) tulemused. Need on leitavad 2010 ja 2011 mõõtmisaruanetest.

7.4 Nivelleerimismärkide kõrgused, vajumid või kerked XII, XIII ja XIV mõõtmistsüklis

Aprillis 2013 toimunud mõõtmistel täheldati (sarnaselt eelnevate aastatele), et nii 2012/2013 kui ka varasemate aastate talviste teehooldustööde käigus oli osa teekattesse paigutatud profiilipunkte kannata saanud. Kahjustused võib jagada kaheks peamiseks liigiks:

- 1) Rauast mõõtmispunktide ülemine osa oli 1-2 mm ulatuses ära freesitud, ilma et punkt oleks nähtavalt oma asendit muutnud, vt. [joonis 7.3](#);
- 2) Asfaldist poolenisti välja kistud ning kõveraks väänatud punktid, vt. [joonis 7.4](#).



Asjakohane on meenutada, et sept 2009 paigaldati nivelleerimismärkide tipud äsjaavalminud teekatte tasapinnast allapoole. Eelnimetatud kahjustuste iseloom näib viitavat asjaolule, et tee talvehooldusel kasutatakse ilma „kaitseharjadeta“ metallsahka. Ilmne, et see võib oluliselt kahjustada ka uurimisalust objekti, põhjustades esmajoones teekatte enneaegset kulumist.

Otsustati jätkata kergemaid kahjustusi (ülaosa ca 1-2 mm ära freesitud) saanud punktide kasutamist. Kahjustada saanud punktide kõrguste võrdlemiseks 2009 a saadud kõrgustega viidi mõõtmistulemuste andmetöötluses sisse spetsiaalne „freesimisparand“ +1 mm. [Tabelites 7.2-7.4](#) on taolised punktid esile tõstetud rohelisel taustal.

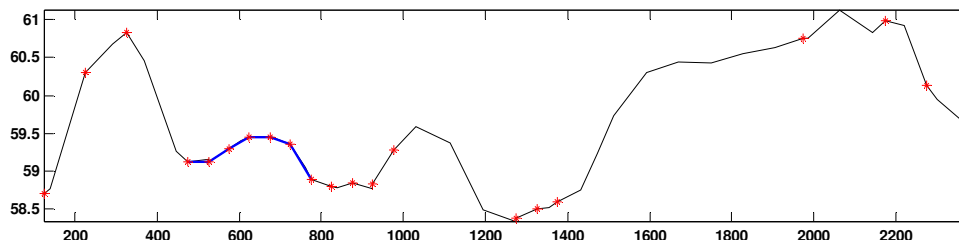
Kergemate kahjustustega punkte saab edaspidi kasutada järgnevate mõõtmistsüklite analüüsil. Nii põhinevadki profiilipunktide nivelleerimistsüklite vahelised erinevused XII-XI, XIII-XII ja XIV-XII kahjustamata ning kergemate kahjustustega asenduspunktide mõõtmistel, vt. [tabelid 7.2-7.4](#).

Kontrolliks jätkati lisaks ristprofiilide asenduspunktidele ka tugevalt deformeerunud punktide kõige kõrgema osa nivelleerimist kõikides nivelleerimistsüklites. Et kahjustamata ning kergemaid kahjustusi saanud punkte on veel küllaldaselt, siis tugevalt deformeerunud punktide kaasamiseks võrdlusesse veel otsene vajadus puudub. Küll aga võivad need kasulikuks osutuda edaspidi, kui kahjustused jätkuvad sama tempoga.

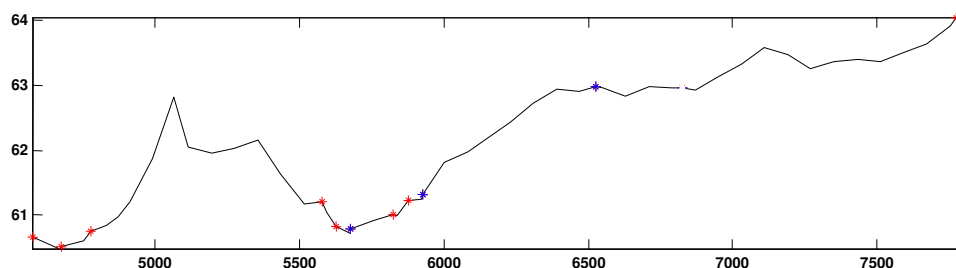
Teise kategooria kahjustusi (asfaldist poolenisti välja kistud ning kõveraks väänatud punktid) saanud punkte oli 2012 a kümnekond. Tee keskele asetatud Profiilipunkt 5875.22 oli hävinud, see

asendati² profiilipunktiga 5875.222. Tabelites 7.2-7.4 on profiilipunkt 5875.222 aga ka varasemad (vt. eelnevate aastate aruandlust) taolised punktid esile tõstetud punasel taustal.

Tabelites 7.2...7.4 esitatud tulemused on lähteks käesoleva jaotise joonistele. Lõuna- ja põhjapoolsete teelõikude pikiprofiilid (koos nivelleerimismärkide asukohtadega) on kujutatud joonistel 7.5 ja 7.6.



Joonis 7.5. Lõunapoolse teelõigu pikiprofiil (koos nivelleerimismärkide asukohtadega). Sinisega on tähistatud lõik, kus tsüklitevaheline (ca 2...3 kuuline ajavahemik) keskmine vajum ületab 3...4 mm. Vertikaalteljel on kõrgus merepinnast, horisontaalteljel on teepiketaaz, mõlemad meetrites. Vertikaal- ja horisontaaltelg pole samas mõõtkavas.



Joonis 7.6. Põhjapoolse teelõigu pikiprofiil (koos nivelleerimismärkide asukohtadega). Siniste tärnidega on tähistatud ristprofiilid, mille talvine külmakerge küündis 2013.a. ligi 10 cm. Vertikaalteljel on kõrgus merepinnast, horisontaalteljel on teepiketaaz, mõlemad meetrites. Vertikaal- ja horisontaaltelg pole samas mõõtkavas.

Järgnevalt vaatleme nivelleerimistsüklike XII...XIV olulisemaid tulemusi üksikasjalikumalt.

Suurimad vajumid tuvastati tee lõunapoolseimas lõigus PK1+25...PK9+75, mis tõenäoliselt on põhjustatud antud teelõigu looduslikest eripäradest (vt. 2009 a. tööaruannet). Teelõigu kõrgusliku asendi muutuste dünaamika 2010-2013.a kajastub joonisel 7.7.

² Meenutuseks, igas ristprofiilis oli algselt 3 punkti, millest tee lääneservale lähima punkti laiend on alati 1 (nt. 125.1) ning tee idaservas oleval punktil on 3 (nt. 125.3). Tee teljel olev profiilipunkti laiend on 2 (nt. 125.2). Asenduspunktid paigaldati üldjuhul deformeerunud punktist paar detsimeetri põhja poole (v.a. profiilipunkt 825.33, mis asetati deformeerunud punktist 825.3 lõuna poole). Uute punktide nummerdamisel lisati varasemale numbrile spetsiaalne indeks (1,2 või 3) sõltuvalt punkti asukohast teekattes. Näiteks tee lääneserva asetatud uuele profiilipunktile määrati numbriks *.11, tee keskele asetatud uue profiilipunkti numbriks määrati *.22, tee idaserva paigutatud punktile *.33.

Tabel 7.2. Teelõigu PK0+00...9+75 profiilipunktide kõrgused erinevatest mõõtetüklitest (XII-I, XIII-I, XIV-I, XII-XI, XIII-XII, XIV-XIII) ja nende omavahelised erinevused („-“, vajum, „+“ kerge)

Teelõik	Pikett nr	Profiilipunktide kõrgused 2009-2010					Profiilipunktide kõrgused 2011			Profiilipunktide kõrgused 2012			Profiilipunktide kõrgused 2013			Profiili-punktide erinevus (XII-I) [m]	Profiili keskmine vajum [m]	Profiili-punktide erinevus (XIII-XI) [m]	Profiili keskmine vajum [m]	Profiili-punktide erinevus (XIII-I) [m]	Profiili keskmine vajum [m]	Profiili-punktide erinevus (XIII-XII) [m]	Profiili keskmine vajum [m]	Profiili-punktide erinevus (XIV-I) [m]	Profiili keskmine vajum [m]	Profiili-punktide erinevus (XIV-XIII) [m]	Profiili keskmine vajum [m]	
		I tsükel sept.09	II tsükel	III tsükel	IV tsükel	V tsükel	VI tsükel	VII tsükel	VIII tsükel	IX tsükel	X tsükel	XI tsükel	XII tsükel	XIII tsükel	XIV tsükel													
Lõik PK 0+00...9+75	125,1	58,717	58,717	58,720	58,718	58,717	58,722	58,720	58,719	58,728	58,721	58,720	58,766	58,722	58,720	0,0488		0,0460		0,0045		-0,0443		0,0031		-0,0014		
	125,2	58,799	58,799	58,800	58,799	58,798	58,801	58,800	58,800	58,807	58,801	58,799	58,842	58,801	58,800	0,0437	0,0397	0,0434	0,0404	0,0023	0,0008	-0,0414	-0,0389	0,0015	-0,0003	-0,0009	-0,0012	-0,0012
	125,3	58,726	58,726	58,727	58,725	58,724	58,726	58,724	58,723	58,723	58,723	58,721	58,753	58,722	58,721	0,0266		0,0317		-0,0044		-0,0310		-0,0056		-0,0012		
	225,1	60,300	60,300	60,301	60,300	60,299	60,301	60,302	60,300	60,300	60,302	60,300	60,303	60,303	60,301	0,0023		0,0024		0,0023		0,0000		0,0009		-0,0014		
	225,2	60,408	60,408	60,409	60,408	60,407	60,408	60,408	60,407	60,405	60,409	60,405	60,405	60,406	60,405	-0,0030	0,0004	0,0000	0,0021	-0,0022	0,0004	0,0009	0,0000	-0,0034	-0,0008	-0,0012	-0,0012	-0,0012
	225,3	60,409	60,409	60,411	60,410	60,409	60,409	60,413	60,408	60,406	60,409	60,407	60,411	60,410	60,409	0,0020		0,0040		0,0011		-0,0009		0,0001		-0,0011		
	325,1	60,835	60,835	60,835	60,836	60,834	60,837	60,837	60,836	60,853	60,837	60,836	60,879	60,839	60,837	0,0446		0,0430		0,0041		-0,0405		0,0025		-0,0016		
	325,2	60,932	60,932	60,931	60,932	60,930	60,928	60,928	60,927	60,934	60,927	60,925	60,956	60,928	60,927	0,0245	0,0325	0,0308	0,0355	-0,0041	-0,0005	-0,0286	-0,0330	-0,0048	-0,0016	-0,0006	-0,0012	-0,0012
	325,3	60,874	60,873	60,870	60,871	60,869	60,871	60,871	60,870	60,878	60,871	60,870	60,902	60,872	60,871	0,0285		0,0326		-0,0014		-0,0299		-0,0027		-0,0013		
	475,1	59,151	59,147	59,136	59,133	59,127	59,123	59,121	59,118	59,125	59,118	59,114	59,144	59,114	59,104	-0,0071		0,0307		-0,0375		-0,0304		-0,0473		-0,0099		
	475,2	59,039	59,036	59,029	59,023	59,017	59,012	59,012	59,009	59,015	59,009	59,005	59,032	59,005	58,996	-0,0074	-0,0093	0,0267	0,0283	-0,0342	-0,0377	-0,0268	-0,0284	-0,0430	-0,0467	-0,0088	-0,0091	-0,0091
	475,3	58,914	58,910	58,903	58,895	58,890	58,887	58,883	58,880	58,882	58,877	58,873	58,900	58,872	58,864	-0,0134		0,0276		-0,0413		-0,0279		-0,0499		-0,0086		
	525,1	59,179	59,169	59,153	59,142	59,134	59,127	59,123	59,119	59,122	59,115	59,109	59,137	59,108	59,099	-0,0423		0,0275		-0,0715		-0,0292		-0,0803		-0,0087		
	525,2	59,140	59,128	59,103	59,090	59,081	59,069	59,066	59,062	59,064	59,059	59,052	59,072	59,050	59,038	-0,0679	-0,0531	0,0194	0,0217	-0,0899	-0,0765	-0,0220	-0,0234	-0,1012	-0,0870	-0,0113	-0,0105	-0,0105
	525,3	59,047	59,039	59,020	59,010	59,003	58,996	58,992	58,987	58,987	58,986	58,980	58,998	58,979	58,967	-0,0491		0,0182		-0,0681		-0,0191		-0,0795		-0,0114		
	575,1	59,312	59,311	59,309	59,304	59,301	59,302	59,299	59,298	59,298	59,297	59,294	59,311	59,295	59,292	-0,0005		0,0169		-0,0171		-0,0166		-0,0201		-0,0030		
	575,2	59,370	59,368	59,355	59,343	59,340	59,337	59,332	59,331	59,334	59,331	59,327	59,346	59,326	59,320		-0,0103		0,0186		-0,0280		-0,0178		-0,0340		-0,0066	-0,0066
	575,22			59,359	59,348	59,345	59,342	59,338	59,336	59,338	59,335	59,331	59,350	59,332	59,324			0,0194				-0,0179				-0,0078		
	575,3	59,272	59,270	59,260	59,250	59,247	59,244	59,239	59,237	59,238	59,237	59,232	59,252	59,233	59,224	-0,0200		0,0196		-0,0389		-0,0189		-0,0479		-0,0090		
	625,1	59,479	59,477	59,471	59,464	59,460	59,459	59,455	59,453	59,456	59,451	59,448	59,474	59,447	59,442	-0,0053	-0,0294	0,0257	0,0239	-0,0325	-0,0566	-0,0272	-0,0272	-0,0377	-0,0660	-0,0107	-0,0094	-0,0094
	625,2	59,487	59,481	59,472	59,456	59,451	59,446	59,439	59,436	59,439	59,434	59,430	59,449	59,425	59,414	-0,0382		0,0193		-0,0620		-0,0237		-0,0726		-0,0107		
	625,3	59,383	59,376	59,358	59,343	59,337	59,330	59,323	59,320	59,323	59,317	59,312	59,339	59,308	59,296	-0,0447		0,0267		-0,0755		-0,0307		-0,0878		-0,0123		
	675,1	59,534	59,520	59,481	59,469	59,458	59,441	59,435	59,430	59,437	59,425	59,418	59,452	59,411	59,392	-0,0820		0,0341		-0,1232		-0,0413		-0,1418		-0,0186		
	675,2	59,431	59,415	59,377	59,361	59,350	59,333	59,329	59,323	59,330	59,320	59,312	59,348	59,307	59,291	-0,0824	-0,0768	0,0360	0,0362	-0,1240	-0,1185	-0,0415	-0,0416	-0,1393	-0,1347	-0,0154	-0,0162	-0,0162
	675,3	59,325	59,311	59,281	59,267	59,256	59,243	59,237	59,232	59,238	59,229	59,220	59,259	59,217	59,202	-0,0661		0,0387		-0,1082		-0,0422		-0,1229		-0,0147		
	725,1	59,412	59,405	59,382	59,372	59,365	59,358	59,351	59,347	59,359	59,345	59,339	59,378	59,337	59,321	-0,0339	-0,0270	0,0385	0,0367	-0,0748	-0,0657	-0,0409	-0,0387	-0,0908	-0,0789	-0,0161	-0,0132	-0,0132
	725,2	59,332	59,326	59,300	59,289	59,282	59,274	59,271	59,268	59,280	59,268	59,263	59,301	59,260	59,248	-0,0304		0,0387		-0,0715		-0,0411		-0,0844		-0,0129		
	725,3	59,233	59,229	59,215	59,207	59,202	59,196	59,192	59,189	59,196	59,188	59,184	59,217	59,183	59,172	-0,0168		0,0329		-0,0509		-0,0341		-0,0616		-0,0107		
	775,1	58,904	58,902	58,901	58,893	58,889	58,890	58,885	58,883	58,898	58,883	58,878	58,920	58,879	58,872	0,0163		0,0420		-0,0253		-0,0417		-0,0317		-0,0064		
	775,2	58,972	58,969	58,970	58,957	58,953	58,954	58,948	58,946	58,964	58,947	58,943	58,983	58,943	58,934	0,0114	0,0139	0,0404	0,0418	-0,0287	-0,0270	-0,0401	-0,0412	-0,0379	-0,0348	-0,0092	-0,0075	-0,0075
	775,3	58,928	58,926	58,924	58,916	58,912	58,914	58,910	58,907	58,920	58,908	58,904	58,946	58,903	58,897			0,0430				-0,0419				-0,0070		
	775,33			58,926	58,919	58,915	58,916	58,910	58,909	58,920	58,909	58,905	58,948	58,906	58,899													
	825,1	58,800	58,78																									

Tabel 7.3. Teelõigu PK12+00...22+75 profiilipunktide kõrgused erinevatest mõõtetükkidest (XII-I, XIII-I, XIV-I, XII-XI, XIII-XII, XIV-XIII) ja nende omavahelised erinevused (,-,-, vajum, „+“ kerge)

Teelõik	Pikett nr	Profiilipunktide kõrgused					Profiilipunktide kõrgused 2011			Profiilipunktide kõrgused 2012			Profiilipunktide kõrgused			Profiilipunktide erinevus (XII-I) [m]	Profiili keskmine vajum [m]	Profiilipunktide erinevus (XII-XI) [m]	Profiili keskmine vajum [m]	Profiilipunktide erinevus (XIII-I) [m]	Profiili keskmine vajum [m]	Profiilipunktide erinevus (XIII-XII) [m]	Profiili keskmine vajum [m]	Profiilipunktide erinevus (XIV-I) [m]	Profiili keskmine vajum [m]	Profiilipunktide erinevus (XIV-XIII) [m]	Profiili keskmine vajum [m]
		I tsükel sept.09	II tsükel nov.09	III tsükel mai.10	IV tsükel aug.10	V tsükel nov.10	VI tsükel mai.11	VII tsükel aug.11	VIII tsükel okt.11	IX tsükel apr. 12	X tsükel juuli 12	XI tsükel nov. 12	XII tsükel	XIII tsükel	XIV tsükel												
Lõik PK 12+00...14+25	1275,1	58,393	58,393	58,395	58,392	58,391	58,395	58,394	58,393	58,397	58,394	58,391	58,424	58,393	58,391	0,0308	0,0270	0,0328	0,0317	-0,0005	-0,0038	-0,0313	-0,0029	-0,0024	-0,0024		
	1275,2	58,483	58,482	58,484	58,480	58,480	58,481	58,479	58,478	58,484	58,480	58,477	58,509	58,478	58,475	0,0260		0,0316		-0,0050	-0,0310	-0,0076	-0,0026	-0,0026			
	1275,3	58,398	58,397	58,398	58,395	58,395	58,395	58,394	58,393	58,398	58,394	58,391	58,422	58,392	58,390	0,0241		0,0306		-0,0058	-0,0299	-0,0080	-0,0022	-0,0022			
	1325,1	58,519	58,519	58,520	58,517	58,517	58,518	58,517	58,516	58,520	58,517	58,514	58,541	58,515	58,513	0,0221		0,0279		-0,0043	-0,0264	-0,0063	-0,0020	-0,0020			
	1325,2	58,609	58,608	58,606	58,604	58,603	58,602	58,601	58,601	58,605	58,601	58,598	58,619	58,599	58,597	0,0105	0,0126	0,0213	0,0214	-0,0103	-0,0081	-0,0208	-0,0117	-0,0097	-0,0014		
	1325,3	58,517	58,516	58,515	58,513	58,513	58,511	58,510	58,509	58,511	58,510	58,507	58,522	58,507	58,506	0,0052		0,0151		-0,0097	-0,0149	-0,0110	-0,0013	-0,0013			
	1375,1	58,613	58,611	58,612	58,609	58,608	58,610	58,608	58,607	58,611	58,607	58,604	58,633	58,606	58,603	0,0198		0,0287		-0,0072	-0,0271	-0,0096	-0,0024	-0,0016			
	1375,2	58,692	58,692	58,692	58,690	58,690	58,690	58,689	58,688	58,692	58,689	58,686	58,709	58,687	58,685	0,0171	0,0131	0,0233	0,0223	-0,0055	-0,0079	-0,0225	-0,0067	-0,0013			
	1375,3	58,604	58,603	58,602	58,600	58,600	58,598	58,597	58,596	58,595	58,594	58,591	58,606	58,593	58,592	0,0025		0,0151		-0,0109	-0,0134	-0,0121	-0,0012	-0,0012			
	1975,1	60,760	60,759	60,761	60,761	60,760	60,762	60,762	60,760	60,762	60,762	60,758	60,770	60,760	60,759	0,0100		0,0118		-0,0003	-0,0103	-0,0005	-0,0002	-0,0002			
	1975,2	60,768	60,767	60,765	60,765	60,765	60,763	60,763	60,762	60,764	60,764	60,761	60,771	60,761	60,761	0,0022	0,0070	0,0099	0,0109	-0,0070	-0,0025	-0,0092	-0,0071	-0,0001			
	1975,3	60,682	60,682	60,683	60,682	60,682	60,682	60,683	60,680	60,684	60,684	60,680	60,691	60,682	60,682	0,0087		0,0111		-0,0003	-0,0090	-0,0004	-0,0001	-0,0001			
	2175,1	60,989	60,988	60,988	60,984	60,989	60,988	60,987	60,986	60,984	60,983	60,980	60,986	60,980	60,981	-0,0032		0,0056		-0,0087	-0,0039	-0,0055	-0,0076	0,0011			
	2175,2	61,059	61,058	61,052	61,053	61,053	61,051	61,051	61,050	61,052	61,052	61,050	61,051	61,049	61,050		0,0024				-0,0039	-0,0050	-0,0028	0,0014			
	2175,22			61,054	61,056	61,056	61,054	61,054	61,052	61,055	61,055	61,053	61,054	61,051	61,053			0,0002	0,0046		-0,0022	-0,0050	-0,0028	0,0014			
	2175,3	60,974	60,973	60,974	60,975	60,976	60,975	60,975	60,974	60,977	60,976	60,974	60,982	60,975	60,976	0,0080		0,0078		0,0008	-0,0072	0,0020	0,0013	0,0013			
	2275,1	60,138	60,138	60,137	60,136	60,135	60,135	60,136	60,133	60,136	60,135	60,133	60,140	60,133	60,134												
	2275,11			60,135	60,136	60,135	60,134	60,134	60,132	60,135	60,135	60,132	60,140	60,132	60,133		0,0007	0,0078			-0,0078	-0,0056	-0,0026	0,0013			
	2275,2	60,069	60,068	60,069	60,069	60,068	60,068	60,069	60,066	60,069	60,069	60,066	60,066	60,066	60,063	-0,0026		0,0004	0,0046	-0,0070	-0,0038	-0,0043	-0,0056	0,0014			
	2275,3	59,926	59,925	59,926	59,927	59,926	59,927	59,927	59,925	59,928	59,927	59,924	59,930	59,925	59,926	0,0040		0,0055		-0,0007	-0,0048	0,0004	0,0011	0,0011			

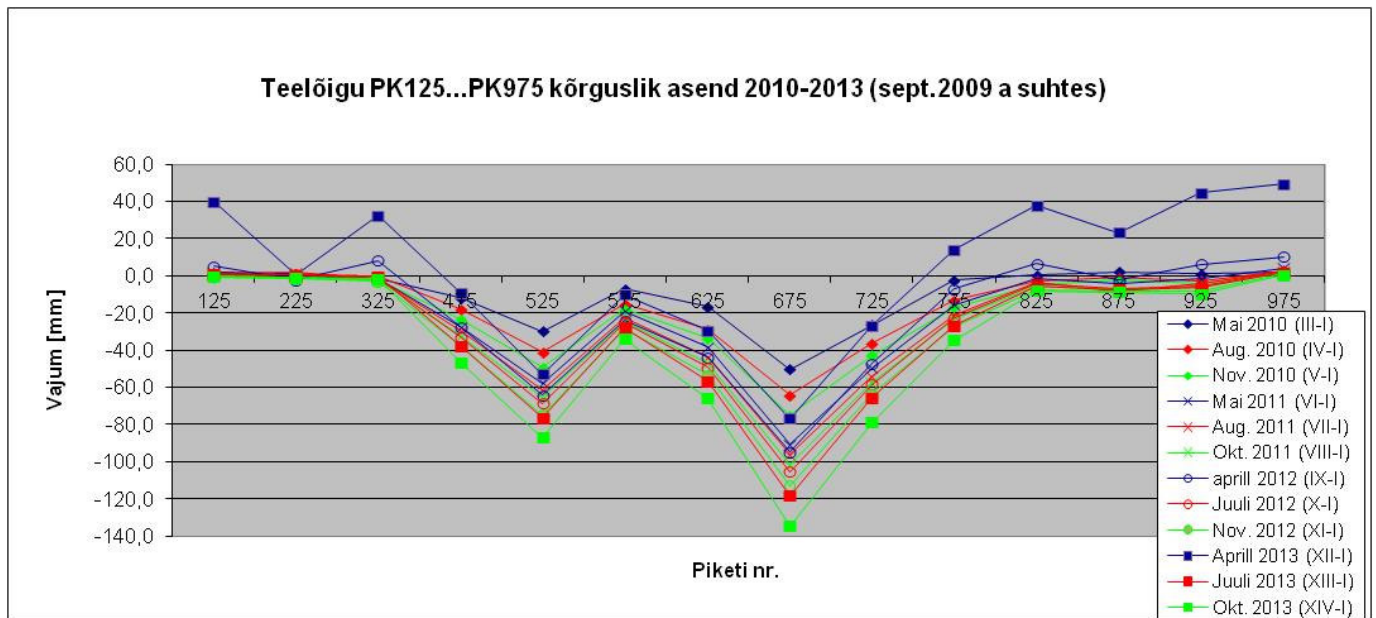
NB! Tabelites 7.2-7.4 sisaldavad kõik kõrgusväärtused alumiiniumlati skaalajaotiste varieerumist arvestavat parandit (vt. Tabel 5, veelgi detailsemalt on seda teemat käsitletud 2009 .a. tööaruandes). Lisaks sisaldavad roheline taustaga kõrgused spetsiaalset „freesimisparandit“ (+ 1mm).

Tabel 7.5. Alumiiniumlati lugemite parandid sõltuvana lugemi väärtusest.

Lugem x [m]	Parand [mm]
0.85 < x	-0.2
0.85 < x <1.00	-0.4
1.00 < x <1.15	-1.0
1.15< x <1.20	-1.3
1.2< x <1.3	-1.7
1.3 < x < 1.6	-1.8
x > 1.6	-1.9

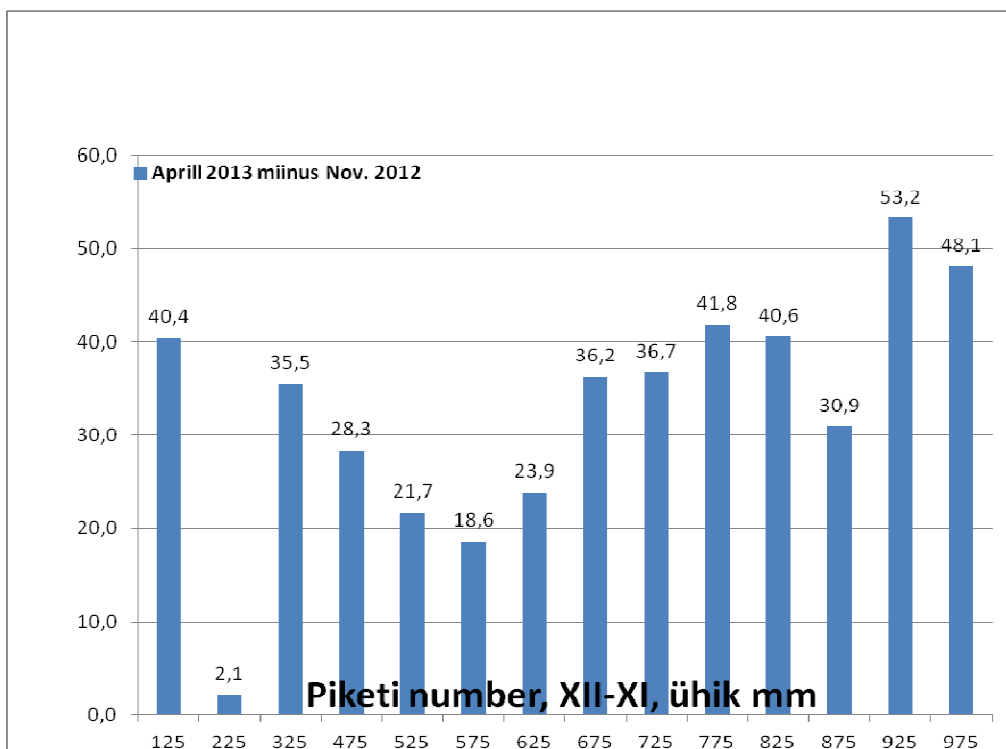
Tabel 7.4. Teelõigu PK45+00...86+00 profiilipunktide kõrgused erinevatest mõõtetsüklitest (XII-I, XIII-I, XIV-I, XII-XI, XIII-XII, XIV-XIII) ja nende omavahelised erinevused („-“, vajum, „+“ kerge

Teelõik	Profilipunktid kõrgused					Profilipunktid kõrgused 2011			Profilipunktid kõrgused 2012			Profilipunktid kõrgused			Profilii- punktide erinevus (XII - I) [m]	Profilii kesk- mine vajum [m]	Profilii- punktide erinevus (XII-XI) [m]	Profilii kesk- mine vajum [m]	Profilii- punktide erinevus (XIII- I) [m]	Profilii kesk- mine vajum [m]	Profilii- punktide erinevus (XIII-XII) [m]	Profilii kesk- mine vajum [m]	Profilii- punktide erinevus (XIV- I) [m]	Profilii kesk- mine vajum [m]	Profilii- punktide erinevus (XIV-XIII) [m]	Profilii kesk- mine vajum [m]						
	Pikett nr	I tsükel sept.09	II tsükel nov.09	III tsükel mai.10	IV tsükel aug.10	V tsükel nov.10	VI tsükel mai.11	VII tsükel aug.11	VIII tsükel okt.11	IX tsükel apr. 12	X tsükel juuli 12	XI tsükel nov. 12	XII tsükel	XIII tsükel													XIV tsükel					
Lõik PK 45+00...49+30	4575,1	59,738	59,738	59,737	59,737	59,736	59,740	59,742	59,740	59,741	59,742	59,731	59,756	59,734	59,735	0,0174	0,0358	0,0242	0,0423	-0,0045	-0,0046	-0,0219	-0,0400	-0,0030	-0,0034	0,0015	0,0013					
	4575,2	59,831	59,831	59,824	59,823	59,822	59,826	59,827	59,825	59,834	59,827	59,820	59,861	59,822	59,823																	
	4575,22			59,828	59,829	59,827	59,827	59,829	59,826	59,834	59,828	59,821	59,862	59,823	59,825			0,0408				-0,0392				-0,0037			0,0015			
	4575,3	59,760	59,759	59,758	59,758	59,757	59,760	59,761	59,760	59,772	59,760	59,752	59,814	59,755	59,756	0,0542	0,0617	-0,0047	-0,0589	-0,0037	-0,0589	-0,0037	-0,0589	-0,0037	0,0010							
	4675,1	59,602	59,602	59,602	59,602	59,601	59,609	59,608	59,608	59,628	59,609	59,603	59,680	59,606	59,607	0,0772	0,0682	0,0763	0,0704	0,0038	0,0013	-0,0734	-0,0679	0,0043	0,0017	0,0005	0,0006					
	4675,2	59,704	59,703	59,698	59,698	59,696	59,702	59,700	59,700	59,718	59,702	59,696	59,767	59,697	59,698			0,0713				-0,0701				-0,0701			0,0010			
	4675,22			59,700	59,700	59,698	59,703	59,703	59,702	59,720	59,704	59,698	59,769	59,699	59,700			0,0592		-0,0011		-0,0603		-0,0011		-0,0603		-0,0011	-0,0603	-0,0011	0,0002	
	4675,3	59,636	59,635	59,634	59,634	59,633	59,637	59,635	59,634	59,640	59,638	59,631	59,695	59,635	59,635																	
	4775,1	59,825	59,824	59,828	59,828	59,827	59,836	59,833	59,834	59,855	59,835	59,829	59,907	59,834	59,834	0,0813	0,0889	0,0777	0,0884	0,0084	0,0037	-0,0729	-0,0852	0,0086	0,0046	0,0002	0,0009					
	4775,2	59,914	59,913	59,913	59,913	59,913	59,917	59,916	59,916	59,937	59,916	59,912	60,000	59,913	59,914	0,0853		0,0880		-0,0018		-0,0872		-0,0872		-0,0872		-0,0872	-0,0872	-0,0872	0,0012	
4775,3	59,835	59,833	59,835	59,835	59,835	59,839	59,837	59,838	59,863	59,840	59,835	59,935	59,840	59,841	0,0999	0,0995		0,0045		-0,0954		-0,0954		-0,0954		-0,0954		-0,0954	-0,0954	0,0058	0,0013	
Lõik PK 51+00...57+00	5575,1	61,209	61,207	61,209	61,211	61,209	61,217	61,215	61,215	61,228	61,216	61,210	61,281	61,215	61,213	0,0723	0,0389	0,0706	0,0407	0,0059	0,0017	-0,0665	-0,0372	0,0047	0,0008	-0,0012	-0,0009					
	5575,2	61,328	61,327	61,326	61,328	61,326	61,332	61,331	61,332	61,337	61,330	61,326	61,363	61,329	61,328	0,0348		0,0368		0,0008		-0,0340		-0,0340		-0,0340		-0,0340	-0,0340	-0,0340	0,0000	-0,0008
	5575,3	61,463	61,461	61,459	61,461	61,460	61,464	61,463	61,463	61,469	61,463	61,457	61,472	61,461	61,460	0,0096		0,0147		-0,0016		-0,0112		-0,0112		-0,0112		-0,0112	-0,0112	-0,0112	-0,0023	-0,0007
	5625,1	60,828	60,827	60,828	60,829	60,828	60,836	60,833	60,833	60,849	60,833	60,829	60,885	60,832	60,831	0,0576	0,0455	0,0560	0,0443	0,0043	0,0037	-0,0533	-0,0417	0,0033	0,0030	-0,0010	-0,0007					
	5625,2	60,944	60,943	60,941	60,943	60,942	60,948	60,946	60,947	60,958	60,947	60,943	60,988	60,946	60,946	0,0433		0,0443		0,0021		-0,0412		-0,0412		-0,0412		-0,0412	-0,0412	-0,0412	0,0014	-0,0007
	5625,3	61,014	61,013	61,014	61,016	61,015	61,021	61,019	61,019	61,029	61,020	61,017	61,049	61,018	61,018	0,0355		0,0325		0,0048		-0,0307		-0,0307		-0,0307		-0,0307	-0,0307	-0,0307	0,0043	-0,0004
	5675,1	60,780	60,779	60,784	60,783	60,783	60,790	60,787	60,787	60,831	60,791	60,783	60,885	60,789	60,787	0,1051	0,0873	0,1015	0,0840	0,0096	0,0087	-0,0955	-0,0786	0,0079	0,0073	-0,0017	-0,0013					
	5675,2	60,880	60,879	60,905	60,882	60,881	60,889	60,886	60,886	60,924	60,885	60,881	60,968	60,887	60,885	0,0886		0,0873		0,0069		-0,0817		-0,0817		-0,0817		-0,0817	-0,0817	-0,0817	0,0055	-0,0013
	5675,3	60,842	60,841	60,843	60,843	60,843	60,851	60,849	60,849	60,875	60,851	60,847	60,910	60,851	60,850	0,0681		0,0632		0,0095		-0,0586		-0,0586		-0,0586		-0,0586	-0,0586	-0,0586	0,0085	-0,0010
	Lõik PK 58+00...61+50	5825,1	61,027	61,025	61,018	61,020	61,019	61,022	61,020	61,020	61,026	61,020	61,015	61,022	61,017	61,016		-0,0003		0,0060		-0,0050		-0,0045		-0,0058		-0,0010				
5825,11					61,020	61,022	61,021	61,023	61,021	61,021	61,026	61,023	61,016	61,023	61,018	61,017			0,0062				-0,0043		-0,0043		-0,0043		-0,0043	-0,0043	-0,0043	-0,0013
5825,2		61,116	61,114	61,110	61,112	61,111	61,114	61,112	61,112	61,117	61,114	61,108	61,113	61,108	61,108	-0,0032	0,0046		-0,0074		-0,0043		-0,0043		-0,0043		-0,0043		-0,0043	-0,0043	-0,0082	-0,0008
5825,3		61,041	61,039	61,035	61,038	61,037	61,041	61,040	61,039	61,045	61,042	61,036	61,043	61,038	61,038	0,0026		0,0072	-0,0025	-0,0051	-0,0051	-0,0051	-0,0051	-0,0051	-0,0034	-0,0009						
5875,1		61,248	61,248	61,244	61,246	61,245	61,249	61,247	61,248	61,256	61,249	61,245	61,263	61,248	61,247		0,0163		0,0175		0,0027		-0,0085		0,0021		-0,0007					
5875,11				61,248	61,251	61,250	61,249	61,247	61,248	61,257	61,249	61,245	61,265	61,250	61,249			0,0195				-0,0148									-0,0008	
5875,2		61,320	61,320	61,316	61,318	61,317	61,320	61,318	61,319	61,331	61,321	61,316																				
5875,22							III 2012 paigaldatud asenduspunkt				61,332	61,323	61,318																			
5875,222							aprill 2013 asenduspunkt							61,337	61,321	61,319																
5875,3		61,239	61,239	61,236	61,238	61,238	61,243	61,241	61,242	61,250	61,246	61,240	61,256	61,245	61,243	0,0163		0,0155	0,0054	-0,0109	-0,0109	-0,0109	-0,0109	-0,0109	-0,0109	0,0042	-0,0012					
5925,1	61,320	61,319	61,325	61,326	61,324	61,331	61,329	61,329	61,352	61,330	61,325	61,383	61,330	61,329	0,0634	0,0653	0,0581	0,0596	0,0107	0,0101	-0,0527	-0,0552	0,0097	0,0030	-0,0010	-0,0011						
5925,2	61,319	61,319	61,329	61,319	61,317	61,325	61,322	61,322	61,350	61,323	61,319	61,386	61,323	61,322	0,0663		0,0667		0,0040		-0,0623		-0,0623		-0,0623		-0,0623	-0,0623	-0,0623	0,0040	-0,0010	
5925,3	61,239	61,239	61,243	61,245	61,244	61,254	61,252	61,252	61,276	61,255	61,251	61,305	61,255	61,254	0,0661		0,0542		0,0156		-0,0506		-0,0506		-0,0506		-0,0506	-0,0506	-0,0506	0,0143	-0,0012	
Lõik PK 64+00...86+00	6525,1	62,989	62,988	62,987	62,986	62,984	62,988	62,985	62,986	63,033	62,987	62,984	63,061	62,986	62,985		0,0845		0,0820		0,0017		-0,0802		0,0008		-0,0011					
	6525,11			62,988	62,987	62,985	62,990	62,987	62,988	63,036	62,990	62,986	63,063	62,988	62,986			0,0768				-0,0749		-0,0749		-0,0749		-0,0749	-0,0749	-0,0749	-0,0015	
	6525,2	63,070	63,069	63,081	63,072	63,070	63,077	63,073	63,074	63,140	63,074	63,072	63,173	63,073	63,072	0,1024		0,1013		0,0029		-0,0995		-0,0995		-0,0995		-0,0995	-0,0995	-0,0995	0,0020	-0,0010
	6525,3	63,041	63,039	63,043	63,042	63,040	63,047	63,043	63,043	63,083	63,043	63,039	63,107	63,041	63,041	0,0666		0,0680	0,0005	-0,0661	-0,0661	-0,0661	-0,0661	-0,0661	-0,0003	-0,0008						
	6825,1	62,970	62,970	62,978	62,972	62,972	62,979	62,976	62,976	63,007	62,979	62,973	63,038	62,978	62,975		0,0346		0,0513		-0,0084		-0,0488		-0,0097		-0,0016					
	6825,11			62,979	62,974	62,973	62,981	62,979	62,978	63,010	62,980	62,975	63,040	62,980	62,978			0,0653				-0,0604		-0,0604		-0,0604		-0,0604	-0,0604	-0,0604	-0,0604	-0,0020
	6825,2	63,051	63,050	63,055	63,046	63,045	63,047	63,044	63,043	63,066	63,043	63,039	63,090	63,039	63,038	0,0391		0,0512		-0,0114		-0,0506		-0,0506		-0,0506		-0,0506	-0,0506	-0,0506	-0,0131	-0,0016
	6825,3	62,998	62,996	62,995	62,993	62,992	62,996	62,994	62,994	63,007	62,994	62,990	63,028	62,992	62,991	0,0302		0,0374	-0,0053	-0,0354	-0,0354	-0,0354	-0,0354	-0,0354	-0,0354	-0,0063	-0,0010					
	7775,1	64,052	64,052	64,050	64,049	64,046	64,051	64,050	64,050	64,050	64,049	64,046	64,072	64,047	64,047	0,0206	0,0243	0,0264	0,0313	-0,0046	-0,0025	-0,0252	-0,0294	-0,0050	-0,0030	-0,0005	-0,0006					
	7775,2	64,124	64,124	64,124	64,124	64,123	64,126	64,126	64,126	64,128	64,12																					



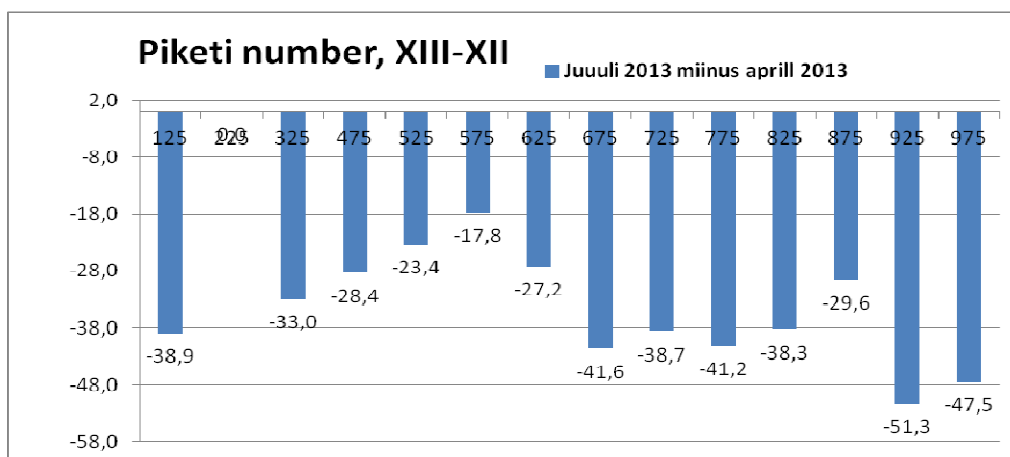
Joonis 7.7. Teelõiku PK1+25...PK9+75 paigutatud ristprofiilide (keskmistatud) vajumite dünaamika 2010-2013 aastal (2009.a septembrikuu suhtes). Sinise, punase ja rohelisega on tähistatud vastavalt kevadised, suvised ja sügisesed tulemused. Rombi, risti, ringi ja ruudu tähised on omistatud vastavalt 2010, 2011, 2012 ja 2013 aasta tulemustele. Ühik mm.

Pane tähele, et [joonisel 7.7](#) on ristprofiilide vajumite (aga mõnedes tsüklites ka kerke) väärtused antud I mõõtmistsükli (2009 a. september) suhtes. Enamuses on järjestikused tulemused näidanud üha suuremat vajumit, erandiks on kevadised tulemused, mis kergitavad teekatet paari varasema tsükli tulemustest kõrgemaks. 2013 a. aprillis osutus aga külmakerge kohati ka kõrgemaks teelõigu algsest kõrgusest. Ilmneb, et maksimaalsed muutused on toimunud talveperioodidel või nende järel. Suve ja sügisperioodil on vajumite kiirus aeglustunud, kuid mitte peatunud. Järgnevalt vaatlemegi erinevate nivelleerimistsüklite vahelisi ristprofiilide deformatsioone lähemalt. Profiilipunktide keskmised vajumid/kerked teelõigul PK 1+25... 09+75 talve-, suve- ja sügisperioodil on üksikasjalikult näidatud [joonistel 7.8...7.10](#).



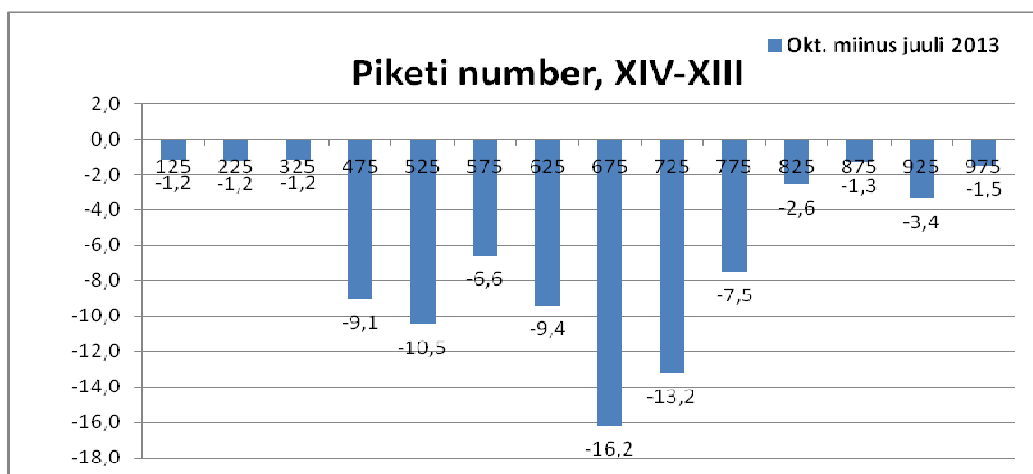
Joonis 7.8. Talveperioodi 2012/2013 keskmised kerked (aprillis 2013 okt. 2012 suhtes, tsüklid XII-XI) teelõigul PK1+25 ... 09+75. Kergete määramise hinnanguline piirviga on ± 2 mm antud lõigu lähtereeperite suhtes. Ühik mm.

Varasematel aastatel pole niivõrd märgatavaid kerkeid täheldatud, seda ilmselt kahel järgneval põhjusel: eelnevate tsüklite vajumid on külmakerkest suuremad olnud, samas on varasemate aastate kevadised mõõtmised jäänud maikuusse, mil külmakerke mõju on taanduma hakanud. Külmakerge taandub täielikult suvekuudel, seetõttu on ka [joonisel 7.9](#) olevad XII ja XIII tsükli erinevuste väärtused praktiliselt samad tsüklite XI ja XI erinevustele, kuid vastasmärgiliselt.



Joonis 7.9. Suveperioodi (XIII-XII) keskmised vajumid teelõigul PK1+25 ... 09+75. Vajumite määramise hinnanguline piirviga on ± 2 mm antud lõigu lähtereeperite suhtes. Ühik mm.

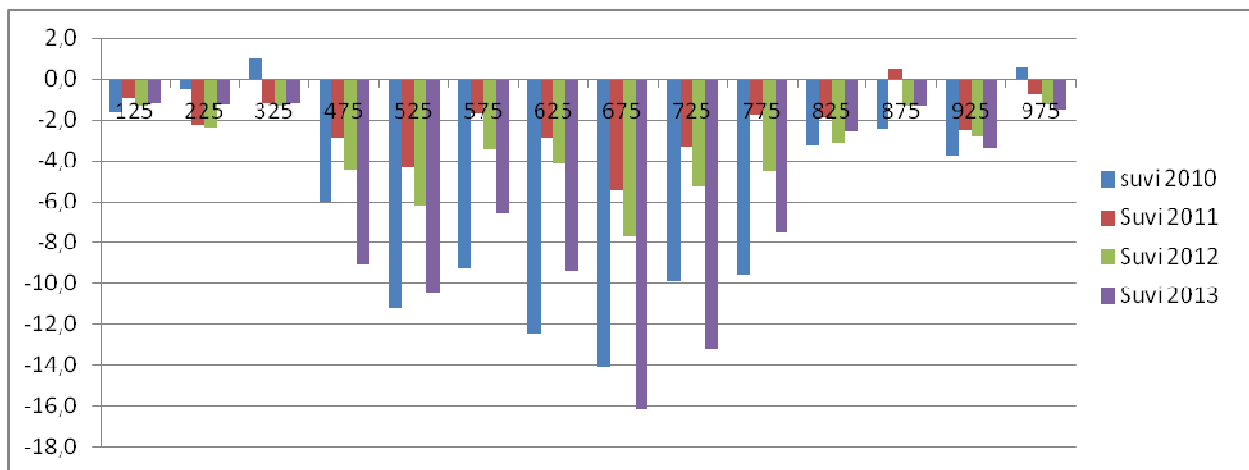
Sügisperioodi tulemused on näidatud [joonisel 7.10](#), mis kajastab vajumeid suve keskelt kuni novembrini 2013.



Joonis 7.10. Sügisperioodi (XI-X) keskmised vajumid teelõigul PK1+25 ... 09+75. Vajumite määramise hinnanguline piirviga on ± 2 mm antud lõigu lähtereeperite suhtes. Ühik mm.

Vajumine on iseloomulik kõikidele profiilidele, kuid eriti ebastabiilsetes profiilides (näiteks PK 675, 525) on see endiselt suurima väärtusega.

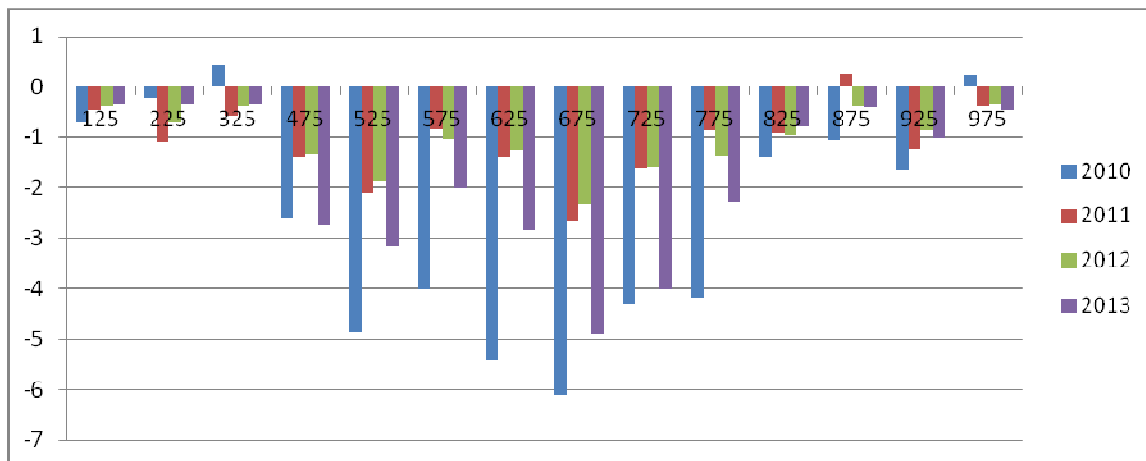
[Joonis 7.11](#) võrdleb vajumite väärtuseid aastate 2010...2013.a. sügisperioodidel, ehk siis peale külmakerke mõju täielikku taandumist ning enne uut talve.



Joonis 7.11. 2010 kuni 2012 sügisperioodide koguvajumid teelõigul PK1+25 ... 09+75. Ühik mm.

[Joonisel 7.11](#) näidatud väärtused on saadud vaadeldava aasta suvise tsükli tulemuste lahutamisel sama aasta sügistsüklist. Samas on tsüklite vahelised ajavahemikud aastati kõikunud. Nii näiteks toimusid 2010, 2011, 2012 ja 2012 aastate mõõtmised vastavalt august-november, august-oktoober, juuli-november ja juuli-oktoober. Järgneval [joonisel 7.12](#) on

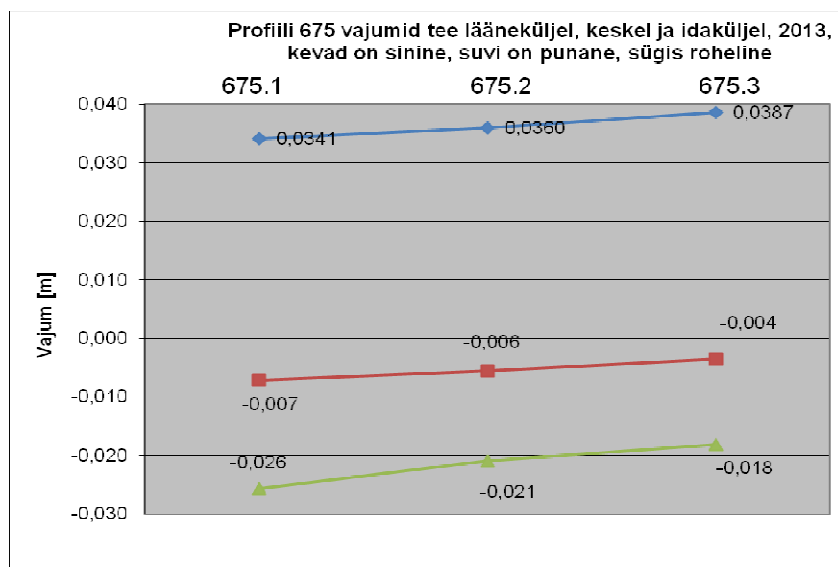
sügisperioodi vajumite väärtused taandatud kalenderkuule, st. leitud on vajumite kiirus (mm/kalenderkuu kohta).



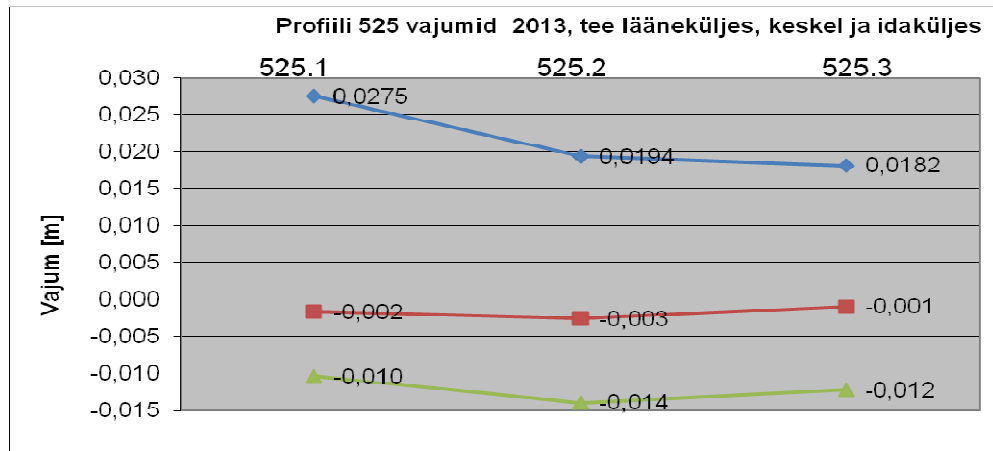
Joonis 7.12. 2010 kuni 2013 vajumite kiirus (ühik: mm/kalenderkuu kohta) suve- ja sügisperioodi kalenderkuu kohta teelõigul PK1+25 ... 09+75.

Siit ilmneb, et kuigi peale 2010 aastat on vajumite kiirus 2...3 korda kahanenud, kuid vajumid jätkuvad siiski kiirusega 1...2 mm kuus. Peale 2013 aasta külmakerget on vajumiste kiirus ebastabiilsetel teelõikudel pea kahekordistunud. Seega võib eeldada, et teelõigu PK4+75...PK7+75 vajumid võivad sarnaselt jätkuda ka mõnel järgneval aastal.

Joonised 7.13 ja 7.14 kujutavad suurimate koguvajumitega ristprofiilide 675 ja 525 punktide vertikaal-liikumisi 2013.a. jooksul (kõiki kolme vaatlustsükli on võrreldud tsükkel XI tulemustega). Teisisõnu 0 väärtusest allapoole jäävad profiiliväärtused tähistavad vajumit nov. 2012 mõõtmistulemuste suhtes.

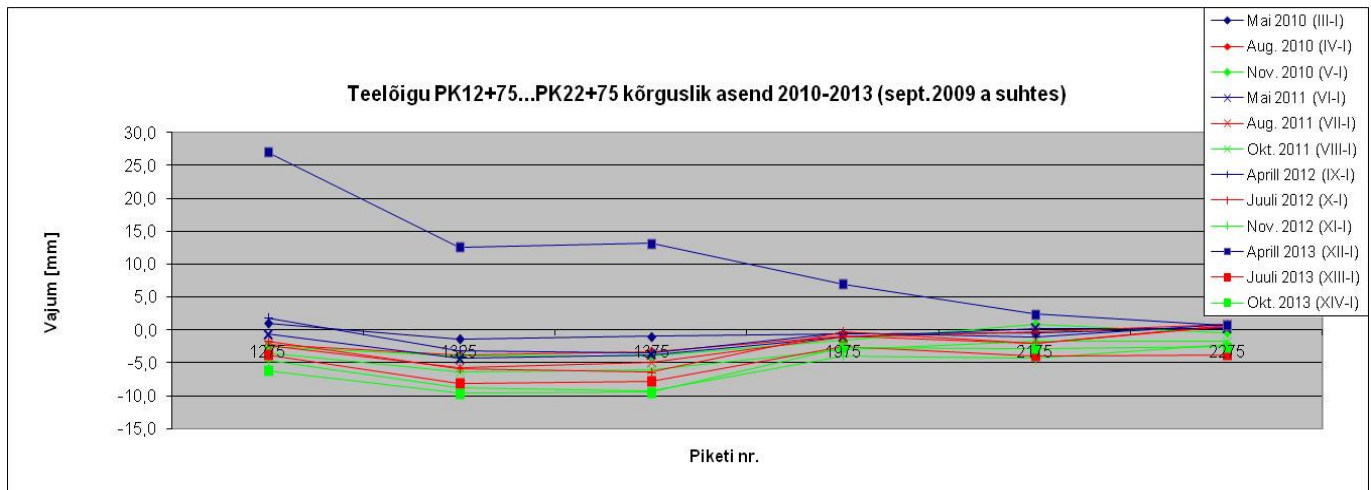


Joonis 7.13. Nivelleerimismärkide vajumid profiilil 675. talve-, suve ning sügisperioodil 2013.a. (tähistatud vastavalt sinise, punase ja rohelise joonega). Väärtused on antud tsükli XI (november 2012) suhtes Vajumi määramise hinnanguline piirviga on ± 2 mm antud lõigu lähtereperite suhtes.



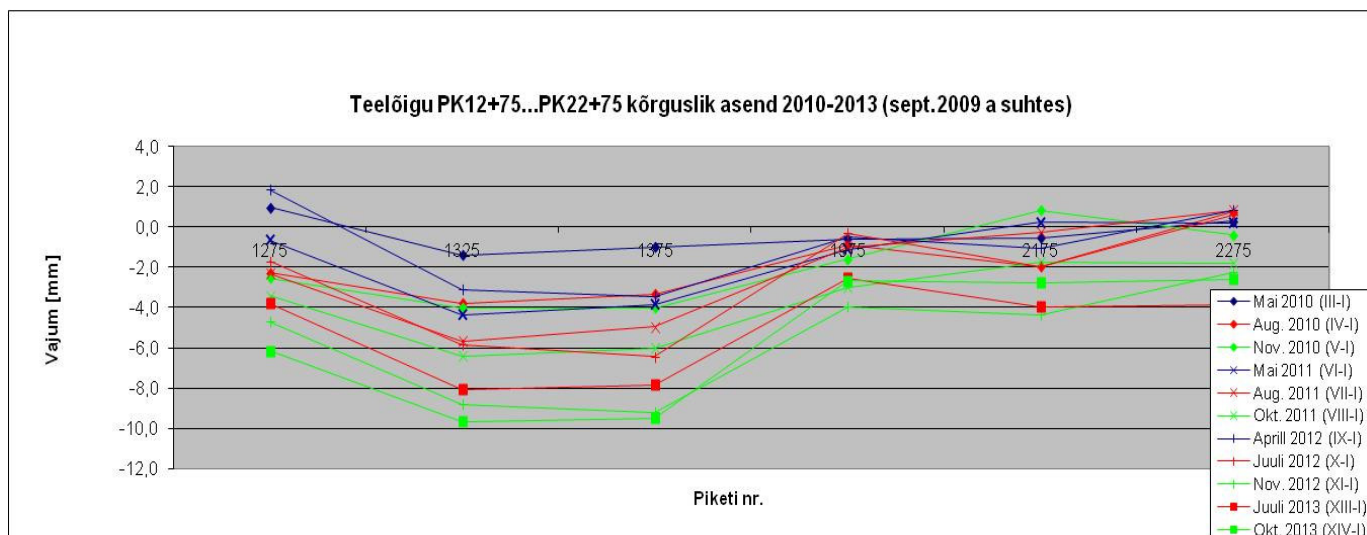
Joonis 7.14. Nivelleerimismärkide vajumid profiilil 525 2013 a. talve-, suve ning sügisperioodil (tähistatud vastavalt sinise, punase ja rohelise joonega). Väärtused on antud tsükli XI (november 2012) suhtes. Vajumi määramise hinnanguline piirviga on ± 2 mm antud lõigu lähtereeperite suhtes.

Tee lõunapoolses lõigus PK12+75...PK22+75 tuvastatud vajumid jäid oluliselt tagasihoidlikumaks. Teelõigu kõrgusliku asendiga 2010-2012.a toimunud muutuste dünaamika kajastub [joonisel 7.15](#).



Joonis 7.15. Teelõiku PK12+75...PK22+75 paigutatud ristprofiilide (keskmistatud) vajumite/kergete dünaamika 2010-2013 aastatel (2009.a septembrikuu suhtes).

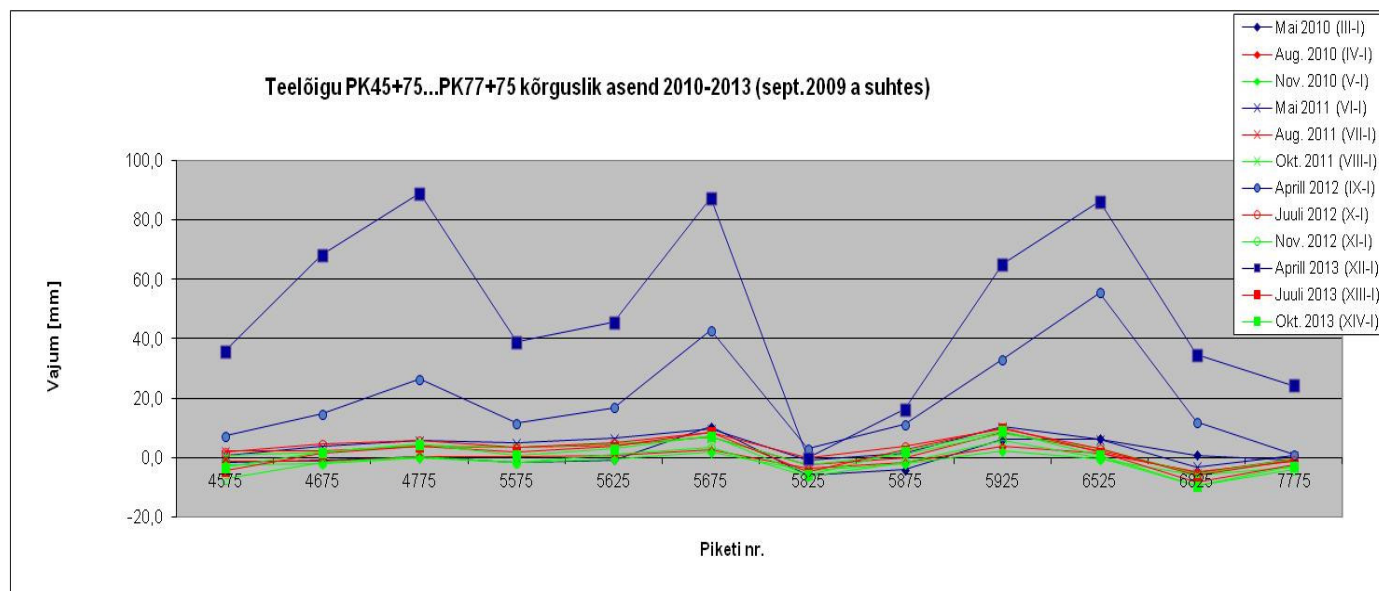
Parema ülevaate saamiseks teelõigu vajumitest on otstarbekas jooniselt eemaldada 2013 a külmakerke mõju, saadud tulemust illustreerib [joonis 7.15A](#).



Joonis 7.15A. Teelõiku PK12+75...PK22+75 paigutatud ristprofiilide (keskmistatud) vajumite dünaamika 2010-2013 aastatel (2009.a septembrikuu suhtes, 2013 a külmakerke väärtuseid ei ole kujutatud).

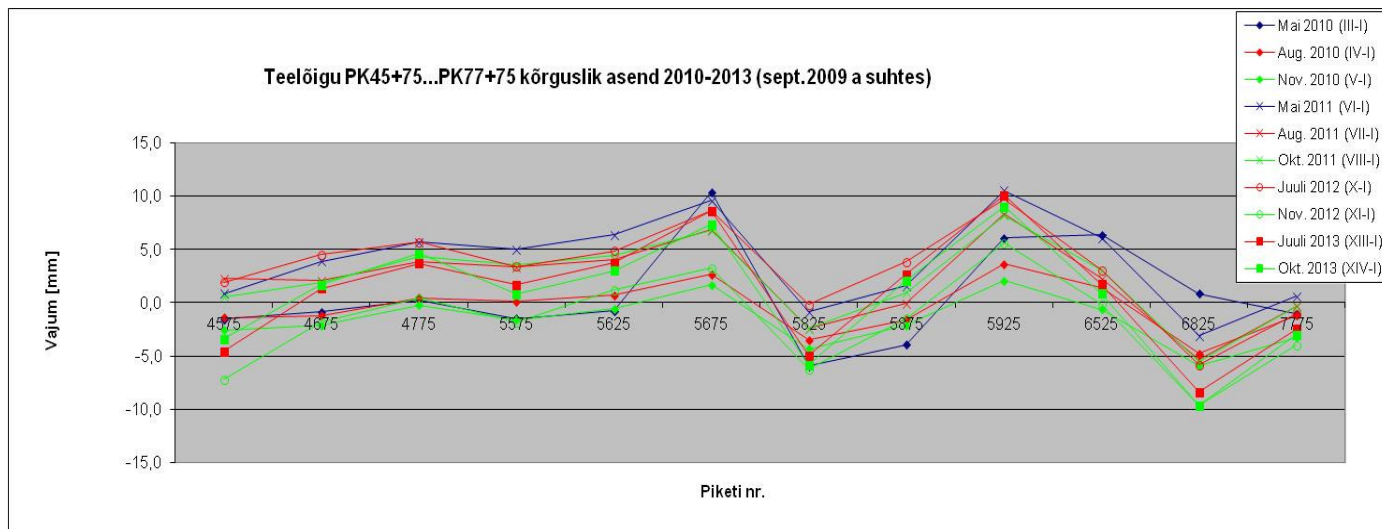
Nii tabelist 7.3 kui jooniselt 7.15A ilmneb, et selle teelõigu ristprofiilidega toimuvad mõõtetsükli vahelised vajumid on valdavalt vaid mõni millimeeter mõõtmistsükli kohta. Suurimad on nad teelõigul PK12+75...PK13+75.

Tee põhjapoolses lõigus PK45+75...PK75+75 tuvastati lisaks vajumitele ka märkimisväärset külmakerget, kuni 10 cm (profiilidel 4775, 5675 ja 6525). Teelõigu kõrgusliku asendiga 2010-2013.a toimunud muutuste dünaamika kajastub joonisel 7.16.



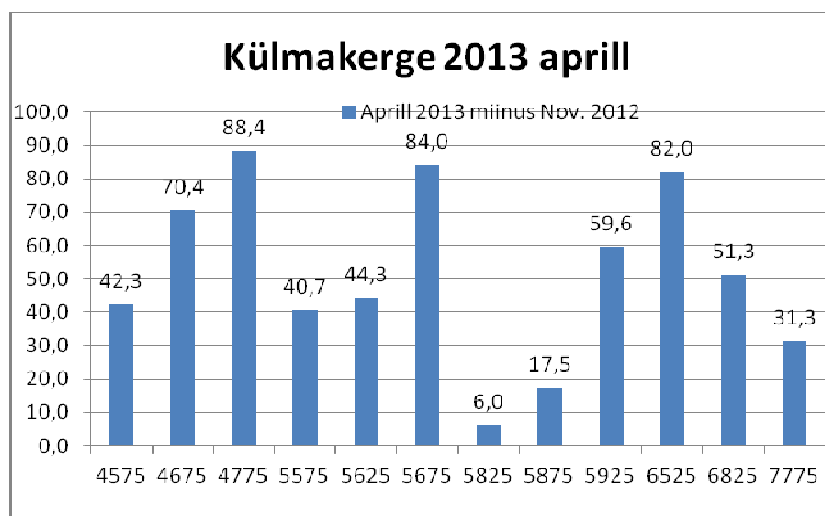
Joonis 7.16. Teelõiku PK45+75...PK77+75 paigutatud ristprofiilide (keskmistatud) vajumite/kergete dünaamika 2010-2013 aastal (2009.a septembrikuu suhtes).

Parema ülevaate saamiseks teelõigu vajumitest on otstarbekas jooniselt eemaldada 2012 ja 2013 a külmakerke mõju, saadud tulemust illustreerib [joonis 7.16A](#).



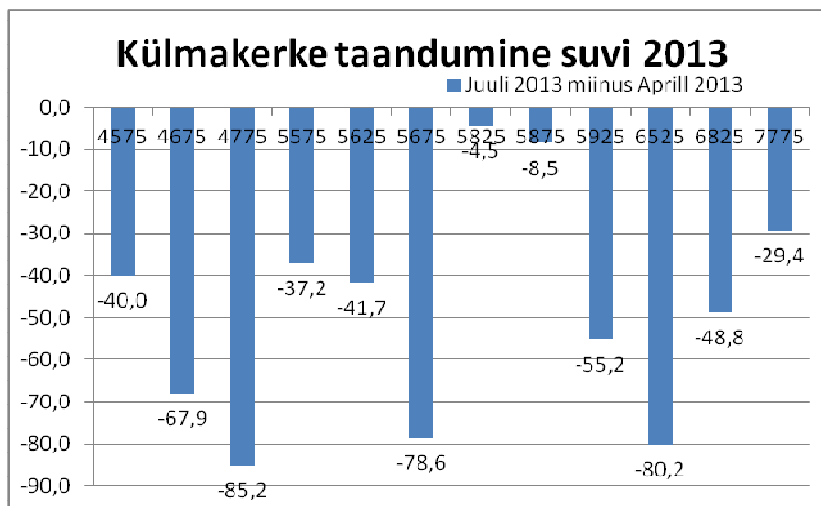
Joonis 7.16A. Teelõiku PK45+75...PK77+75 paigutatud ristprofiilide (keskmistatud) vajumite/kergete dünaamika 2010-2013 aastal (2009.a septembrikuu suhtes, 2012 ja 2013 a külmakerke väärtuseid ei ole kujutatud).

Arvatavast külmakerkest annavad tunnistust mõõtmistiimi poolt teelõigul PK65+00...PK72+00 täheldatud pikipraod teekattes, vt ka 2010 a aruannet. Profiilipunktide keskmised vajumid teelõigul PK45+75...PK75+75 talve- ja suvesügisperioodil on üksikasjalikult näidatud [joonistel 7.17 ja 7.18](#).



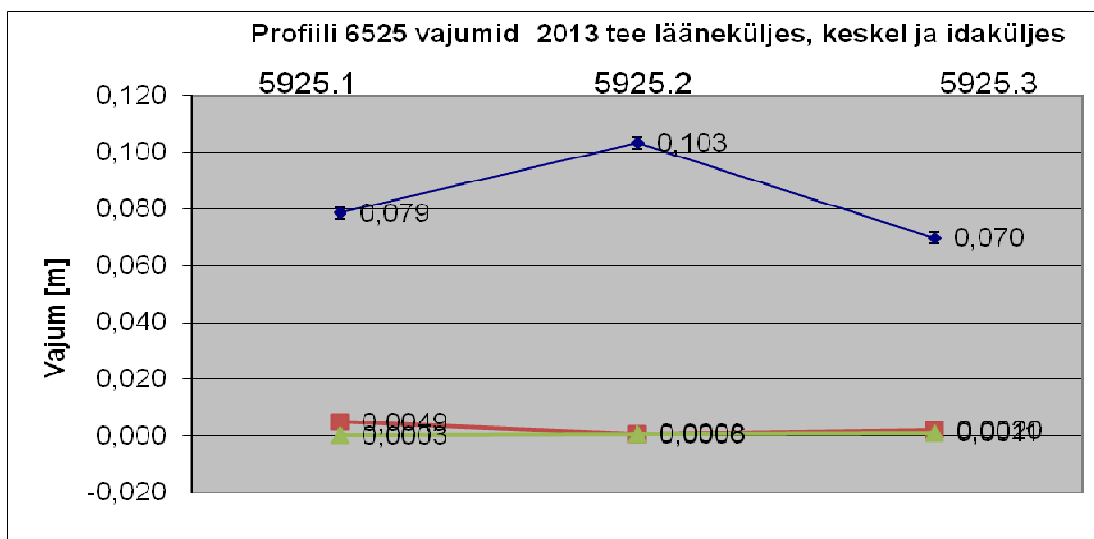
Joonis 7.17. Talveperioodi 2012/2013 keskmised kerked (aprillis 2013 nov. 2012 suhtes, tsükliid XII-XI) teelõigul PK45+75...PK77+75. Kergete määramise hinnanguline piirviga on ± 2 mm antud lõigu lähtereeperite suhtes. Ühik mm.

Ka siin pole varasematel aastatel niivõrd märgatavaid kerkeid (2012 aasta külmakerge oli poole tagasihoidlikum) täheldatud, seda ilmselt kahel järgneval põhjusel: eelnevate tsüklite vajumid on külmakerkest suuremad olnud, samas on varasemate aastate kevadised mõõtmised jäänud maikuuks, mil külmakerke mõju on taanduma hakanud. Külmakerge taandub täielikult suvekuudel, seetõttu on ka [joonisel 7.18](#) olevad XIII ja XII tsükli erinevuste väärtused praktiliselt samad tsüklite XII ja XI erinevustele, kuid vastasmärgiliselt.

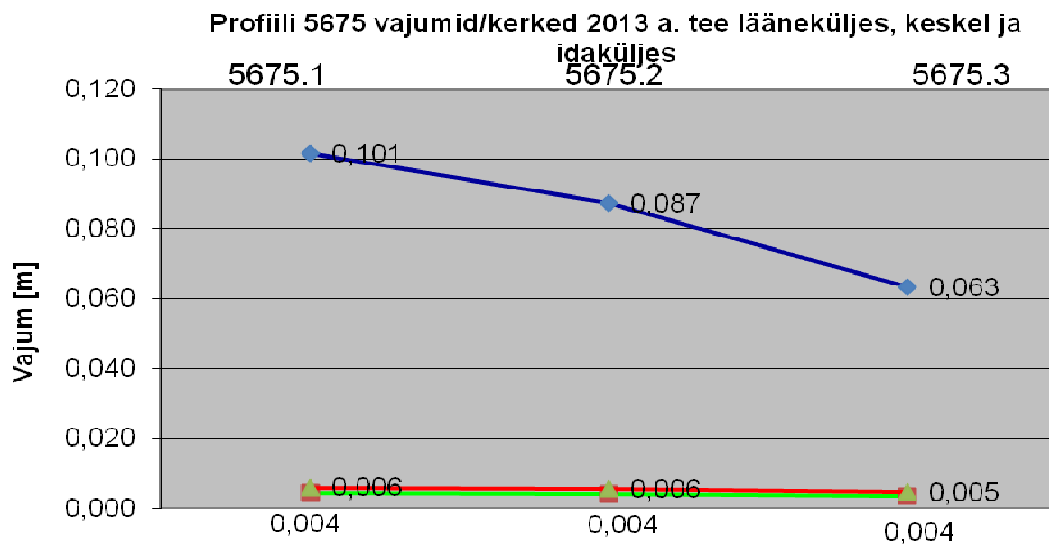


Joonis 7.18. Suveperioodi (XIII-XII) keskmised vajumid teelõigul PK45+75...PK77+75. Vajumite määramise hinnanguline piirviga on ± 2 mm antud lõigu lähtereeperite suhtes. Ühik mm.

[Joonised 7.19](#) ja [7.20](#) kujutavad suurimate kogukergetega ristprofiilide 5925 ja 5675 punktide liikumisi 2013.a. jooksul (kõiki kolme vaatlustsükli on võrreldud tsükkel XI tulemustega).



Joonis 7.19. Nivelleerimismärkide vajumid/kerked profiilil 5925 2013 a. talve-, suve ning sügisperioodil (tähistatud vastavalt sinise, punase ja rohelise joonega). Väärtused on antud tsükli XI (november 2012) suhtes Vajumi/kerke määramise hinnanguline piirviga on ± 2 mm antud lõigu lähtereeperite suhtes.



Joonis 7.20. Nivelleerimismärkide vajumid/kerked profiilil 5675 2013 a. talve-, suve ning sügisperioodil (tähistatud vastavalt sinise, punase ja rohelise joonega). Väärtused on antud tsükli XI (november 2011) suhtes Vajumi/kerke määramise hinnanguline piirviga on ± 2 mm antud lõigu lähtereeperite suhtes.

Sarnaseid võrdluseid saab koostada iga ristprofiili kohta, vt. tabelid 7.2-7.4. Kuid nende väärtused on siintooduist oluliselt tagasihoidlikumad.

Alljärgnevad jaotised on vaid kokkuvõtte olulisemast asjassepuutuvast informatsioonist, rohkem detaile vt. 2009 a. tööaruandest. Saadud tulemuste numbrilist ja graafilist võrdlusmaterjali leiab 2010, 2011 ja 2012 mõõtmisaruanetest.

7.5 Kasutatud instrumendid ja tarvikud

Nivelleerimisel kasutati digitaalnivelliiri Trimble DiNi03 (seerianumber 730171), mille peamised tehnilised spetsifikatsioonid on järgnevad:

Täpsus (DIN 18723 kohaselt):

- 1 km edasi-tagasisuunalise nivelleerimiskäigu kõrguskasv ± 0.3 mm
- Vahemaade mõõtmine ca' ± 2 cm

Väikseim mõõtühik:

- kõrguskasvud 0.01 mm
- vahemaad 1 mm

Pikksilma suurendus: 30×

Kompensaator (vaatekiire horisontaalsuse tagamiseks):

- horisonteerimistäpsus $\pm 0.2''$

- tööpiirkond ca $\pm 15'$ kaareminutit

Vajalik latikujutise vahemik latilugemi võtmisel: 30 cm

Nivelliiri alusena kasutati puidust statiivi (Wild GST20), mille jalgade pikkust annab kruvikinnitustega reguleerida. Komplektis Trimble DiNi03 nivelliiriga kasutati täppisnivelleerimiseks kahte 2 m pikkust invarribaga koodlatti LD12, mille seerianumbrid on 037800 ja 037648. Invarlattide tootjafirmaks on NEDO GmbH ning valmistatud on need Trimble standardi kohaselt. Latilugemite võtmisel tagati latitugede (mark Seco) ning latile kinnitatud kahe ümarvesiloodi (skaalajaotis 12' kaareminutit) abiga invarlattide vertikaalsus. Iga invarlati ümarvesiloodi telje paralleelsust latiga kontrolliti ja justeeriti perpendikulaarselt paigutatud kahe tahhümeetri abil enne välitööde algust, vt. [joonis 7.21](#).



Joonis 7.21. Invarlati ja ümarvesiloodi telgede paralleelsuse kontroll ja justeerimine kahe elektron-tahhümeetriga.

Invarlattide transportimisel tööobjektile kasutati spetsiaalset transporditaarat, mis kaitseb raputuste ja löökide eest.

Lattide joonpaisumisteguri ning refraktsiooni mõju arvessevõtmiseks mõõdeti üheksandas tsüklis (sarnaselt eelnenud tsüklitele) invarlattide temperatuurid maapinnast erinevatel kõrgustel digitaalse infrapuna termomeetriga. Vahepeal valminud uurimistöö (Kala, Ellmann, Shaposhnitsenko: „*Vajumisreeperite stabiilsuse uurimisest liiniehitiste rajamisel*“, Geodeet nr. 42, 2012) näitas, et kasutatavate invarlattide joonpaisumisteguri võib selle tühisuse tõttu arvestamata jätta. Ka muid meteoroloogilisi parameetreid mõõtmispunktidel ei jälgitud.

Siiski, [Lisas 10](#) on väljatrükituna tabelitena toodud EMHI Türi vaatlusjaama mõõtmisandmed (temperatuur, niiskus, tuule kiirus) mõõtmispäevadel. Sealt nähtub, et ilmastikuolud olid suhteliselt stabiilsed. Vajadusel võib teiste vaatlusjaamade meteoroloogilisi andmeid huvipakkuvateks ajahetkedeks retrospektiivselt päringute abil nõutada EMHI veebilehelt <http://www.emhi.ee/index.php?id=21>.

Vaatlustingimuste lühikokkuvõtteks, mõõtmispäevadel olid valdavalt soodsad ja stabiilsed ilmastikutingimused, mistõttu võib eeldada, et nendes tingimustes oli refraktsiooni lokaalne mõju nivelleerimisjaamas tühine ja kumulatiivne mõju, arvestades suhteliselt laugjalt unduleeruvat profiili, samuti tühine.

Invarlatte kasutati üksnes lähtereeperite vaheliste käikude mõõtmiseks. Asfaltkattesse paigutatud nivelleerimismärkide kõrguste määramiseks (nn. vahevaatlustena) kasutati alumiiniumist teleskoopset (kuni 4 m pikendatavat) koodlatti (mark TD24). Teleskooplatti vertikaalsus tagati lati külge monteeritud ümarvesiloodi abiga (skaalajaotis 25'). Et nivelleerimismärkide kõrgusliku asendi määramise täpsuseesmärgiks oli seatud 2-3 mm saavutamine (antud löigu lähtereeperite suhtes), siis joonpaisumisest tingitud mõju täpne arvestamine siin vajalik ei ole. On see ju mitu korda väiksem eeldatavatest mõõtmisvigadest. Pealegi ei too see endaga kaasa süstemaatilist viga nivelleerimiskäiku. Seetõttu koodlatti temperatuuri mõõtmine otstarbekaks ei osutunud.

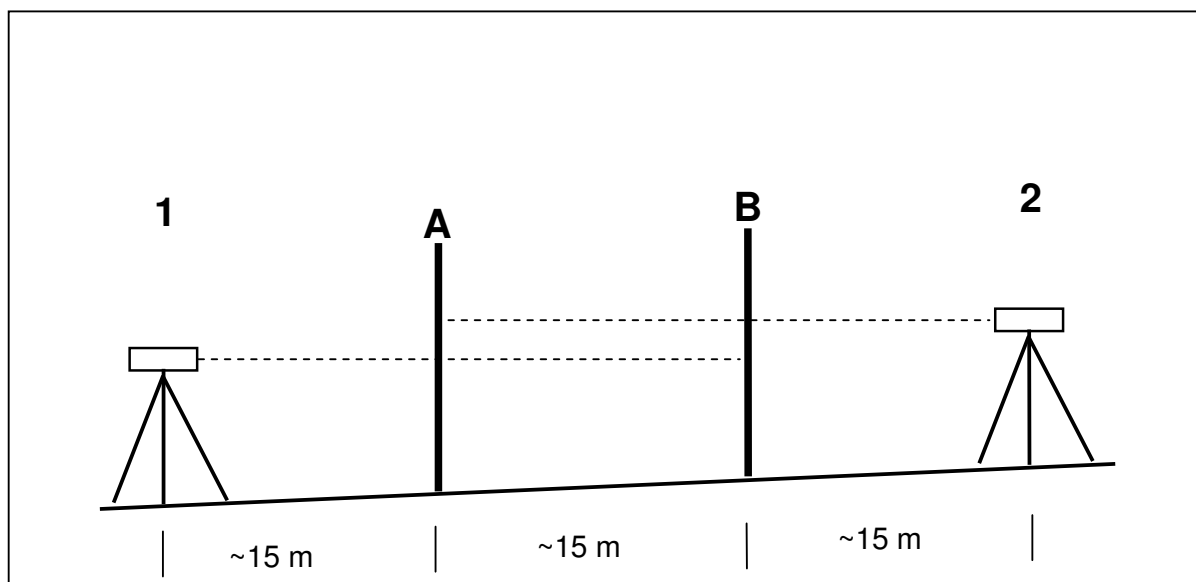
7.6 Nivelliiri ja lattide kontrollid

Invarlattide kompareerimine

Invarlattide normidele vastavust on tarnija (Trimble) korraldamisel sertifitseeritud Müncheneri Tehnikaülikooli katselaboris 2008 a lõpus ning 2009 a alguses. 2010.a. välihooaja lõppedes kompareeriti terviksüsteemina nivelliir-invarlatid uuesti rahvusvaheliselt tunnustatud nivelleerimislattide kompareerimislaboris Soome Geodeesia Instituudis Helsingi lähedal Masalas. Saadud kompareerimissertifikaadist ilmneb, et süsteemiparandi väiksuse tõttu see lõpptulemusi oluliselt ei mõjuta.

Nivelliiri vaatekiire horisontaalsuse kontroll

Nivelliiri viseerimiskiire ja horisontaaltasapinna vahelist nurka, i , kontrolliti igapäevaselt enne mõõtmiste algust (mõnikord ka mõõtmiste keskel, enne uue käigu alustamist) *Nähbauer* meetodil. Selle kontrollimeetodi kohaselt paigutatakse nivelleerimislatid (A ja B) teineteisest ca 15 m kaugusele, vt [joonis 7.22](#).



Joonis 7.22. Nivelliiri viseerimiskiire horisontaalsuse kontroll *Nähbauer*'i meetodil.

Nivelliir asetatakse esimesse seisupunkti (~15 m kaugusel latist A) ning võetakse lugemid mõlemalt latilt (esimene A siis B). Seejärel pööratakse latid vastassuunda ning teises seisupunktis (~15 m kaugusel latist B) võetakse lugemid vastupidises järjekorras (nüüd B, siis A). Nivelliir asetatakse esimesse seisupunkti (~15 m kaugusel latist A) ning võetakse lugemid mõlemalt latilt (esimene A siis B). Seejärel pööratakse latid vastassuunda ning teises seisupunktis (~15 m kaugusel latist B) võetakse lugemid vastupidises järjekorras (nüüd B, siis A). Kontrolli käigus võeti järjestikku vähemalt kolm väärtust. Kontrolli tulemusena saadud keskmist visiirkiire kõrvalekalde väärtus salvestati nivelliiri andmekandjale, vt tabel 7.6.

Tabel 7.6. Nivelliiri viseerimiskiire horisontaalsuse kontrolli tulemused

Jrk. nr	Kontroll		Kõrvalekalle c ["]
	kuupäev	Kellaaeg suveaeg	
1	18.04.2013	08:38	-12,2
2	02.07.2013	08:09	-14,6
3	11.10.2013	08:15	-12,2

Visiirkiire kõrvalekalde horisontaalasendist c ["] arvutatakse järgmise valemi kohaselt:

$$c = \frac{(a_2 - b_2) - (a_1 - b_1)}{(d_{a2} - d_{b2}) - (d_{a1} - d_{b1})} \rho'' \quad (1)$$

kus a_1 on lähima lati lugem esimesest seisust ja b_1 on kaugema lati lugem esimesest seisust ning a_2 on kaugema lati lugem teisest seisust ja b_2 on lähima lati lugem teisest seisust, vastavad kaugused on tähistatud d -ga.

Nivelliiri tarkvara arvestab saadud kõrvalekalde parandit latilugemi võtmisel. Seega ka koodlattice tulemused on vastavalt korrigeeritud. Ilma selle parandita tooks näiteks 5" kaaresekundit ületav vaatekiire mittehorisontaalsus kaasa 1-2 mm vea 50 m õlapikkuse juures ($\tan(i) \cdot 50$ m). Nivelliiri valikutes olevat refraktsiooniparandi mudelit ning Maa kumeruse parandit eirati. See on tingitud asjaolust, et tootjafirma poolt väljatöötatud refraktsioonimudelid pole piisavalt täpsed kohandamiseks neid konkreetsetele mõõtmisoludele, Maa kumeruse mõju võrdlõngusel taandub täielikult.

Invarlattice nulli aseme ning alumiiniumlati skaalajaotiste parandite määramine

Kasutatud invarlattice nullpunktide kõrguse erinevus määrati 2013.a uuesti (samuti laboritingimustes TTÜ ehitusteaduskonna hallis Mäepealse 3, Tallinnas). Samaaegselt määrati alumiiniumist koodlati skaalajaotiste parandid. Selleks kasutati labori põrandas olevaid tsentrimärke ning malmist latialust (nn. konna), kokku 3 punkti. Saadud tulemused sarnanevad eelnevate aastate tulemustele. Alumiiniumlati skaalajaotuse varieerumisest tingitud parandeid (vt. käesoleva aruande tabel 7.5) on arvestatud tabelites 2-4 esitatud tulemuste arvutamisel.

7.7 Mõõtmiste meetoodika ja nivelleerimistulemuste andmetöötluse põhimõtted

Sama nagu kirjeldatud 2009.a. tööaruannetes.

7.8 Mõõtmisandmete säilitamine

Iga mõõtmispäeva nivelleerimisandmed (M5 formaadis) on failidena, mille nimetamisel on juhitud järgmisest reeglist: *aaaakkpp.dat*

kk – aasta

pp – kuu

pp – päev

Lisaks nivelleerimisandmetele salvestati (kas elektrooniliselt või paberkandjal) igas nivelleerimisjaamas järgmised andmed:

- kuupäev ja kellaeg
- käigu number
- käigusektsiooni (käigu) alg- ja lõppreperi number
- jaama number
- vaateleja ja latihoidjate nimed
- nivelliiri tüüp ja number
- nivelliiri termomeetri näit
- statiivi kõrgus
- lattide tüübid ja numbrid
- lattide invarskaalade temperatuurimõõtmise tulemused
- vaia pinnas

Nimetatud originaalandmeid säilitatakse süstematiseerituna TTÜ teedeinstituudis.

KOKKUVÕTE

Käesoleva teadustöö põhieesmärk oli uurida geosünteedide kasutusvõimalusi ja otstarbekust katendite konstrueerimisel maantee 15111 Lokuta-Roovere lõigu näitel ning anda soovitusel analoogseid soolõike läbivate teede ehitamiseks ja remontimiseks.

2009-2013.a. katendi seisukorra mõõtmistulemuste analüüsi alusel saab teha järgmisi järelsusi:

Kandevõime (FWD) mõõtmised:

1. OÜ Tinter-Projekti poolt oli liikluskoormuse alusel arvatud **katendi vajalikuks elastsusmooduliks** maantee 15111 lõigul 0,0-8,7 km **109 MPa** (E_{vajalik}). **Kogu lõigul on peale mustkatte ehitamist ja pindamist keskmiseks üldiseks elastsusmooduliks 191 MPa**, miinimumväärtuseks 136 MPa ja maksimumväärtuseks 269 MPa. **Seega vajalik elastsusmoodul on peale ehitamist keskmiselt lõigul saavutatud.**
2. Samas tuleb märkida, et **madalaimad üldise elastsusmooduli väärtused mustkattel esinevad** soo lõigul (**450-975 m**) ja sellele järgneval geosünteedidega lõigul (**1200-1425 m**) ning ka geosünteedidega lõikudel **4700-4850, 6550-6750 ja 7450-7650 m**, mis siiski ületavad vajalikku elastsusmoodulit 109 MPa. **Kuna vajalik elastsusmoodul on siiski neil nõrkadel lõikudel saavutatud, peaksid ka need teoreetiliselt kandma teel olevat liikluskoormust katendi projekteeritud tööea jooksul.**
3. E-mooduli mõõtmise tulemused näitavad, et lõikudele **1100-1200 m, 2650-3100 m ja 5700-5800 m oleks samuti tulnud** katendikonstruktsiooni ühtlasema tugevuse saavutamiseks **paigaldada geosünteed**, kuna nende lõikud E-moodulid on kõrvalasetsevatest geosünteedidega tugevdatud lõikude moodulitest väiksemad.
4. Analüüsides eraldi geotekstiili ja –võrguga ning ilma nendeta lõikude elastsusmooduleid, selgub, et 2009-2013 mõõtmisandmete alusel **on geotekstiili- ja võrguga lõikude keskmine E-moodul umbes 5 % väiksem ilma geosünteedita lõikudest**, kusjuures minimaalsed E-mooduli väärtused on viimastega võrreldes umbes 10 % ja maksimaalsed väärtused 10 % väiksemad. See on ka loogiline, et lõikudel, kus kasutati geosünteede, on ka **halvemad pinnase- ja veerežiimi tingimused ning lähtudes sellest ka madalam kandevõime.**
5. Võrreldes FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud **SCI, BDI ja BCI keskmiseid, minimaalseid ja maksimaalseid väärtuseid nende piirväärtustega selgub, et mitte ühelgi juhul ei ole piirväärtused E_{vajaliku} puhul ületatud.** See tähendab, et katendikonstruktsiooni tugevus katte pinnalt kuni 600 mm sügavuseni ja ka sügavusel 1200-1500 mm peaks vastama meie katendi vajalikule elastsusmoodulile 109 MPa.
6. Arvutusliku E-mooduli **151 MPa ($E_{\text{arvutuslik}}$) puhul on aga olukord teine: piirväärtuste ületamist esineb nii SCI (2010, 2012 ja 2013.a.), BDI (2009-2013) kui ka BCI (2009-2013) puhul.**
- **SCI** ehk pinna kõverusteguri puhul, mis iseloomustab katendikonstruktsiooni ülemist osa, esineb **piirväärtuste ületamist** 2010. ja 2013.a. kevadiste mõõtmiste puhul ja seda peamiselt lõigul **6500-7400 m** Kukepuu soo vahetus läheduses ja 2010 ning 2012 aadressil **1100 m**, kus puudub armeeriv geosünteed ning ka mille E-moodul on suhteliselt madal.

- **BDI** ehk aluse vigastuste tegur, mis iseloomustab võimalikke probleeme 30-60 cm sügavusel katendis, **ületab oma piirväärtust** peamiselt 2010-2012.a. kevadistel FWD mõõtmistel lõikudel **1000-1200 m, 4700-4850 m, 5650-5950 m** ning 2010-2013.a. lõikudel **6500-6750 m ja 7200-7550 m**.
- **BCI** ehk aluse kõverusteguri puhul, mis iseloomustab aluspinnase seisukorda, esineb aga **piirväärtust ületavaid väärtusi** kõigil aastatel (2009-2013) soo lõigul **450-975 m**, lõigul **1200-1400 m** ja ka Kukepuu soo lähedasel lõigul **6650-6750 m**.

Lähtudes eeltoodust võib eeldada ka eelnimetatud lõikudel tee puudulikust kandevõimest tingitud kattedefektide tekkimist aja jooksul. Selgelt eristub soo lõik (450-975 m) ja sellele vahetult järgnev nõrk lõik (1200-1425 m), aga samuti ka lõik 6400-7600 m, kus on ka selgelt kõige väiksemad katendi üldised elastsusmoodulid mustkatte kihil.

7. Tuleb märkida, et FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud **SCI** (pinna kõverusteguri) **2010-2013. aasta väärtused on vähenenud võrreldes 2009.a. sügiseste mõõtmistulemustega**, mis viitab sellele, et **aja jooksul on toimunud katendi ülemise osa (0-300 mm) formeerumine**.
8. Analüüsides eraldi geotekstiili ja –võrguga ning ilma nendeta lõikude vajumikausi parameetreid, selgub, et 2009-2013 mõõtmisandmete alusel:
 - **Geotekstiili- ja võrguga lõikude keskmine SCI väärtus on umbes võrdsed ilma geosünteedita lõikude keskmise SCI väärtusega (erinevus 0,13 %).** Minimaalsed SCI väärtused on viimastega võrreldes umbes 21 % ja maksimaalsed väärtused 2,5 % väiksemad. See viitab kaudselt sellele, et **geosünteediga tugevdatud lõikude katendi ülemine osa on paremas seisukorras, kui geosünteedita lõikude katenditel**.
 - **BDI keskmised väärtused on aga geosünteediga tugevdatud lõikudel suuremad, kui tugevdamata lõikudel** (keskmised väärtused 6 %, minimaalsed 15 % ja maksimaalsed 9 %), mis tähendab, et **geosünteediga tugevdatud lõikude alused (300-600 mm sügavusel) on halvemas olukorras, kui tugevdamata lõikude alused**.
 - **Geosünteediga tugevdatud lõikude BCI keskmised väärtused on aga umbes 23 % suuremad tugevdamata lõikude BCI väärtustest**, mis tähendab, et **geosünteedidega tugevdatud lõikude aluspinnased (sügavusel 1200-1500 mm) on halvamate kandvate omadustega, kui tugevdamata lõikude aluspinnased**. See on ka loomulik, sest **geosünteedide kasutamine toimuski lõikudel, mille aluspinnased olid halvamad, kui geosünteedideta lõikudel**.
9. Katendi üldise E-mooduli ja FWD vajumikausi parameetrite väärtuste vahelise seose analüüsi kohta peab ütlema, et **E-mooduli väärtust mõjutavad ennekõike otseselt katendikonstruktsiooni alumiste kihtide ja aluspinnase seisukord**. See kehtib käesolevas uuringus vaadeldud katendikonstruktsiooni kohta – õhuke mustkate killustikalusel, kus tegemist on võrreldes asfaltbetoonkattega elastsema kattega, mis ei moodusta „plaati“ ning seetõttu ei „leevenda“ ka allasetsevata nõrkade kihtide koormusolukorda. **Selgelt on näha seos suuremate E-mooduli väärtuste ja sellest tulenevate väiksemate vajumikausi parameetrite vahel ja vastupidi**.

Tasasuse (IRI) mõõtmised:

1. **Tasasuse keskmised ja minimaalsed väärtused lõigu mõlemal suunal on aastate lõikes jäänud praktiliselt samaks**, maksimaalsed tasasuse väärtused on kasvanud märkimisväärselt suunal 2 (Roovere-Lokuta) – 2013. aastal väärtuseni 7,98 mm/m,

- mis esineb soo lõigul aadressil 460-480 m, IRI arv 7,22 mm/m esineb aadressil 680-700 m ning 5 mm/m aadressil 5600-5620. Tegemist on kolme üksiku lühikese 20 m lõiguga, kus esineb üks lokaalne suur ebatasasus, mis üldjuhul on tingitud truubi olemasolust teekonstruktsioonis, kus truubi ümber on toimunud tee vajumine ning truup ise ei ole nii palju vajunud.
2. 2009-2013. aasta **keskmised kevadised ja sügisesed tasetasuse mõõtmise tulemused on praktiliselt võrdsed**, mis näitab, et vaatamata mõningatele külmakergetele need katte tasetasust nimetamisväärselt ei mõjuta.
 3. Tee ja teetööde kvaliteedinõuetes (MKMm määruse eelnõu) esitatud uue mustkatte **nõutava IRI väärtuse 2,2 mm/m ületamine** toimus **2009.aastal umbes 8 % kogu ehitatud lõigu pikkusest**. Järgnevatel aastatel on suunal 1 (Lokuta-Roovere) üle 2,2 mm/m kohta IRI arvuga 20 m pikkuseid lõike suhteliselt **stabiilselt ca 8,5 %** ehk 740 m 8700 m pikkusest lõigust. **Suunal 2 (Roovere-Lokuta)** on aga nende lõikude osakaal tõusnud umbes **11,5-le %-le** ehk 1000 m kogu vaadeldava lõigu pikkusest.
 4. Analüüsides 2009-2013 mõõtmisandmete alusel eraldi geotekstiili ja -võrguga ning ilma nendeta lõikude tasetasust ehk IRI väärtuseid, nähtub, et **geotekstiili- ja võrguga lõikude keskmine IRI väärtus suunal 1 (Lokuta-Roovere) on umbes 7 % suurem ilma geosünteedita lõikudest**, kusjuures maksimaalsed IRI väärtused on viimastega võrreldes umbes 31 % suuremad. **Suunal 2 (Roovere-Lokuta)** on eelnimetatud erinevused **vastavalt umbes 3 % ja 44 %**. Samas IRI minimaalsed väärtused esinevad just geosünteedidega tugevdatud lõikudel. **Suurimate IRI väärtuste esinemine tugevdatud lõikudel viitab nende lõikude aluspinnasest tingitud halvemale struktuursele seisukorrale.**
 5. Katendi üldise E-mooduli ja tasetasuse vahel seos puudub. Samuti puudub seos tasetasuse ja FWD vajumikausi parameetrite vahel.

Roopasügavuse mõõtmised:

1. Roopa sügavuse mõõtmistulemused ja nende alusel arvutatud keskmised väärtused näitavad, et **keskmine roopasügavus ehitatud lõigul oli 2009. aastal 4-5 mm, 2010. aastal 2-4 mm, 2011. ja 2012. aastal 2-6 mm ja aastal 2013 2-7 mm**, mis vastavad **väga hea ja hea tee maksimumroopasügavusele**. Samas roopasügavuse maksimumväärtused olid 2009. aastal vahemikus 13-25 mm, 2010. aastal 16-20 mm, 2011. aastal 14-26 mm, 2012. aastal 17-26 mm ja 2013. aastal 16-31 mm, mis tähendab, et kohati on roopasügavusest lähtudes **katte seisukord** rahuldav, halb või isegi **ühel kohal (lõik aadressil 1240-1260 m) väga halb**. Katte parempoolse ehk **välimise roopa sügavus on kuni 2 korda suurem, kui vasakpoolse roopa sügavus**, kuna enamus tee laiendusi ehitati mõlemale poole olemasolevat muldkeha ning nende laienduste püsivad vajumid on liikluskooormuse all suuremad, kui vanal muldkehal oleval katendikonstruktsioonil.
2. Parema roopa puhul on pidevalt vähenenud väga heas seisukorras oleva katte % ja kasvanud vastavalt rahuldava seisukorra % ning hea seisukorra % on püsinud suhteliselt stabiilsena.
3. Analüüsides roopasügavuse ja harjakõrguse väärtuseid eraldi geotekstiili ja -võrguga tugevdatud lõikudel ja ilma geosünteedita lõikudel selgub, et **suunal 1 (Lokuta-Roovere) kasvab geosünteediga lõikudel roobas 13 (parem) kuni 27 (vasak) % kiiremini, kui geosünteedita lõikudel**. **Suunal 2 (Roovere-Lokuta) aga vastavalt 10 (parem) kuni 32 (vasak) % aeglasemalt**. Sellist vastupidist arengut on raske põhjendada. Roobastevahelise **harjakõrguse areng on toimunud geosünteedidega tugevdatud lõikudel mõlemal suunal (95 ja 445 %) aeglasemalt**, kui tugevdamata lõikudel.

4. Puudub seos katendi üldise E-mooduli ja kattes tekkivate roobaste sügavuse ning sõidujälgedevahelise harjakõrguse vahel. Samuti puudub seos roobaste sügavuse ning sõidujälgedevahelise harjakõrguse ja FWD vajumikausi parameetrite vahel.

Defektide inventeerimine:

1. **Põhilisteks defektitüüpideks on kitsas pikipragu ja servadefekt**, mis esineb nii lõikudel, kuhu ei ole geotekstiili ja geovõrku paigaldatud, aga ka geosüntetikaga lõikudel ning nimetamisväärselt vahet neil lõikudel eelnimetatud defektide esinemissageduse osas ei ole. Servadefektiks on tavaliselt katte serva lähedal jooksev pikipragu. **Võrreldes 2011. aastaga on nii kitsa pikiprao kui ka servadefekti esinemissagedus 2013. aastal märgatavalt kasvanud.**
2. Defektisumma väärtus 2013.a. on 0 % 58-l %-l kogu lõigu pikkusest ning väärtus 1 % on 14-l %-l kogu lõigu pikkusest. Seega **72-l %-l lõigust võib tee seisukorda tekkinud defektide alusel hinnata väga heaks. 21 %-l lõigust on defektisumma väärtus vahemikus 2-5 % ehk katte seisukord on hea. 7 %-l kogu lõigu pikkusest on seisukord rahuldav. Suurimad probleemid defektidega esinevad aadressil 7000-7600 m ehk Kukepuu soo lähedastel aladel.**
3. 2011-2013.a. kevadistel fotodel on selgelt näha, et **tegemist on peamiselt külmakerke tulemusel tekkinud pragudega**, mille tekkepõhjuseks on tavaliselt erinevatest pinnasetüüpidest ehitatud mulle. Taolist tehnoloogiat on kasutatud ka Lokuta-Roovere tee rekonstrueerimisel, kus olemasolevat mullet ei lükatud kogu ehitatava tee laiuses laiali, vaid **kaevati mõlemast olemasoleva tee servast välja mitesobiv pinnas ning ehitati uuest pinnasest juurde tee laiendused.**
4. Erinevad pinnasetüübid töötavad samades niiskus- ja temperatuuritingimustes erinevalt, mille tulemusena tekib neil ka talvel erinev külmakerke suurus, mis põhjustab katte pinnale ka pikiprao tekke. Seega **kasutatud remonditehnoloogia määras juba eos ette võimalike külmkerkepragude tekke võimaluse.**

Liiklusloendus:

1. **Lõigul 1 (km 0-4,292) kasvas liiklussagedus keskmiselt 2010. aastal võrreldes 2009. aastaga 15 % ning langes 2011. aastal võrreldes 2010 aastaga 17 %. Lõigul 2 (km 4,292-8,7) oli 2010.a. liiklussageduse kasv võrreldes 2009. aastaga keskmiselt 21 % ja 2011. aastal oli liiklussageduse langus võrreldes 2010. aastaga 22 %.**
2. **Liiklussageduse kasvu lõikudel 2010. aastal võrreldes 2009. aastaga (vastavat 15 ja 21%) ning veokite osakaalu kasvu (vastavalt 10 ja 15 %) aasta jooksul peale tolmuva katte ehitamist Lokuta-Roovere lõigule võib ilmselt kirjutada paranenud sõidutingimuste arvele. Samas 2011. aasta liiklusloenduse andmetel on liiklussagedus maanteel 15111 langenud tagasi 2009. aasta tasemele. Täna me ei tea, kas 2010. aasta veokite osakaalu märkimisväärse tõusu võis anda hoopis mingi muu põhjus – näiteks mõni suurem ehitusobjekt piirkonnas või ümbersõiduvajadus.**

Nivelleerimine:

1. **Suurimad vajumid (kuni 115 mm) tuvastati tee lõunapoolseimas lõigus PK1+25...PK9+75**, mis tõenäoliselt on põhjustatud antud teelõigu looduslikest eripärast (soo). Enamuses on järjestikused tulemused näidanud üha suuremat vajumit, erandiks on kevadised tulemused, mis kergitavad teekatet paari varasema tsükli tulemustest kõrgemaks. 2013 a. aprillis osutus aga külmakerge kohati ka kõrgemaks teelõigu algsest kõrgusest. Ilmneb, et maksimaalsed muutused on toimunud talveperioodidel või nende järel. Suve ja sügisperioodil on **vajumite kiirus PK4+75...PK7+75 aeglustunud**, kuid mitte peatunud. Ilmneb, et kuigi peale 2010

aastat on vajumite kiirus 2011. ja 2012. aastal 2...3 korda kahanenud, kuid 2013. aastal on vajumite kiirus kasvanud ja on praktiliselt sama 2010.a. maksimaalse vajumiga. Seega võib eeldada, et teelõigu **PK4+75...PK7+75 vajumid võivad sarnaselt jätkuda ka mõnel järgneval aastal.**

2. **PK12+75...PK22+75** tuvastatud **vajumid** jäid oluliselt tagasihoidlikumaks (ca 9 mm). Selle teelõigu ristprofiilidega toimuvad mõõtmistsükli vahelised vajumid on valdavalt vaid mõni millimeeter mõõtmistsükli kohta. **Suurimad on nad teelõigul PK12+75...PK13+75.**
3. Tee põhjapoolses lõigus **PK45+75...PK75+75** tuvastati lisaks vajumitele ka **märkimisväärset külmakerget, kuni 10 cm** (profiilidel **4775, 5675** ja **6525**), mis on põhjustanud sügavate pikipragude tekkimist teekattes (terve lõigu **4500-7200 m** ulatuses). Põhjapoolse teelõigu ristprofiilide keskmised vajumid jäävad endiselt +/- 10 mm piiridesse.
4. Sarnaseid võrdluseid saab koostada iga ristprofiili kohta, kuid nende külmakergete ja vajumite väärtused on siintooduist oluliselt tagasihoidlikumad.

Vastused lähteülesandes püstitatud küsimustele:

1. Kas kasutatud lahendus oli sobiv (nii soolõigul kui ka ülejäänud lõikudel)?

- Kasutatud lahendus oli soolõigul (450-975 m) sobiv, mille õigsust kinnitavad faktid, et antud lõigul ei ole tekkinud teekattes defekte, vajumid on olnud ühtlased ning külmakerke kahjustusi praktiliselt ei esine. Samas on soolõigu elastsusmoodul kogu lõigu üks madalamaid (aga täidab vajaliku mooduli nõude).

Tabel 1. Probleemsete lõikude aadressid vastavalt seisukorranäitajale

	Seisukorranäitajad						
	E-moodul	SCI	BDI	BCI	Roobas	Defektid	Vajumid/ külma- kerge
Lõikude aadressid, m	450-975			490-975			125-975
	1100-1200*		1000-1200				
	1200-1425			1200-1400	1240-1260		1275-1375
	4700-4850		4700-4850				4575-7575
	5700-5800*		5650-5950				
	6550-6750	6500-7400	6500-6750	6650-6750			
	7450-7650		7200-7550			7000-7600	

* geosüntetideta lõigud

- Enamus katte seisukorra probleeme on koondunud teelõigu teisele osale ehk km 4,292-8,7 ehk Kukesoo mõjupiirkonda (vt. tabel 1). Tee projekteerimisel oli põhitähelepanu pööratud soolõigule 450-975 m, mis oli enne remonti algselt kõige halvemas seisukorras. Seetõttu pöörati ilmselt vähem tähelepanu Kukesoo mõjule teisel teelõigul, kus oleks võib-olla pidanud kasutama sama ehitustehnoloogilist lahendust nagu ka esimesel soolõigul (kasutama geosüntete ka laienduste all).
- Tabelis 1 esitatud geosüntetideta lõikude peamiseks probleemiks on kandevõime. Ka neile lõikudele oleks pidanud ette nägema geosüntetide paigaldamise.

2. Kas katendi kandevõime vastab geovõrgu tootja poolt arvatutule? Kui ei, siis kui palju erineb ja milliseid parandustegureid tuleks hiljem kasutada?

- Katendi arvutuse teostas Saksamaal asuv ettevõtte BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG, kes nägi ette, et katendikonstruktsiooni elastsusmoodulid on:
 - kruusakihil 120 MPa;
 - killustikukihil 140 MPa;
 - asfaltkihil ??? MPa (pole näidatud).
- Aluspinnase ehk vana olemasoleva tee muldkeha E-mooduliks on arvutustes võetud 25 MPa (mis tegelikkuses võib olla suurem).
- Arvutades katendi kasutades Maano Koppeli poolt koostatud tarkvara vastavalt Elastsete teekatendite projekteerimise juhendile 2001-52, saame ehitaja ja Maanteeameti vahel kokku lepitud katendikonstruktsiooni elastsusmoodulid kruusa, killustiku ja mustsegu kihil sakslaste poolt arvatututest mõnevõrra erinevad: kruusa kihil 79 MPa ja killustiku kihil 133 MPa (läheldes killustikukihi arvutuslikust E-moodulist 280 MPa). Mustsegust katte pinnal saime katendi üldiseks E-mooduliks killustiku arvutusliku mooduli 280 MPa puhul 151 MPa. Tuleb arvestada, et juhend 2001-52 ei võimalda arvestada katendiarvutuses geosünteedide mõju katendi kandevõimele.
- OÜ Tinter-Projekti poolt oli liikluskoormuse alusel arvatud katendi vajalikuks elastsusmooduliks maantee 15111 lõigul 0,0-8,7 km 109 MPa (E_{vajalik}). Kogu lõigul on peale mustkatte ehitamist ja pindamist keskmiseks üldiseks elastsusmooduliks 191 MPa, miinimumväärtuseks 136 MPa ja maksimumväärtuseks 269 MPa. Seega vajalik elastsusmoodul on peale ehitamist lõigul keskmiselt saavutatud.
- Kuna erinevatel geotesünteedide tootjatel on kasutusel enda poolt välja arendatud tarkvara, siis me ei ole suutelised ühe katendiarvutuse põhjal hindama geosünteedide tootja tarkvara ning kehtestama mingeid parandustegureid nendepoolsete arvutuste korrigeerimiseks vastavalt meie kandevõime tulemustele peale tegelikku ehitamist.
- Geosünteedi tootja katendiarvutus tagas ehitatud katendi vajaliku kandevõime.

3. Kas mõõdetavad parameetrid erinevad sõltuvalt geotekstiili ja -võrgu olemasolust?

- Geosünteedid paigaldati 5580 m-le kogu 8,7 km pikkusest lõigust ehk 64-le %-le. Geosünteedide mõju mõõdetud parameetritele on käsitletud Kokkuvõtte esimeses osas iga prameetri juures.
- Teostatud analüüsi alusel saame öelda, et märkimisväärset erinevust mõõdetud parameetrite väärtustel geosünteedidega ja -sünteedideta lõikudel ei esinenud.
- Geosünteedideta lõike oli kogu jälgitavast lõigust ainult 36 % ning reeglina olid neil lõikudel ka paremad pinnase- ja niiskustingimused. Seega ei ole võimalik võrrelda otseselt geosünteedide mõju katendi seisukorrale, kuna tegemist on erinevates tingimustes töötavate katendikonstruktsioonidega.

4. Kui palju ja millist efekti (ka majanduslikult) geotekstiili ja -võrgu kasutamine annab?

- Võttes arvesse esialgses kululoendis ka ettenägemata kulud (p.1.5), osutus uus lahendus esialgselt kallimaks 14888 euro võrra. Arvestades uue lahenduse katte hinna kallinemist (PAB-i asendamine MSE-ga), oleks uus lahendus vana kattega (PAB-iga) aga tulnud kokkuvõttes esialgselt lahendusest 46706 eurot odavam (so 2,7 % esialgselt maksumusest).
- Esialgse lahenduse järgi oli vajaminev mineraalmaterjali kogus maantee 15111 osas ligikaudu 140 000 m³. Sellist kogust materjali piirkonnas asuvatest karjäärdest tarnida poleks olnud võimalik – töövõtja kasutuses olnud karjäärides selline

kaevandamismaht puudus ning konkureeriva ettevõtte valduses olevatest riigile kuuluvatest karjäärdest ei olnud karjäärde valdaja nõus materjali tarnima. Seega oleks tulnud osa mineraalmaterjalist vedada kauge maa tagant, mis oleks tähendanud olulisi veokulusid ning ehitusmaksumuse kallinemist. Täpseid võimalikke kulusid ei ole siin võimalik välja tuua, kuna ei ole teada täpseid materjalide koguseid, nende maksumusi võimalikes karjäärdes ning veomaad.

- Tänu muudetud projektlahendusele ja geosünteedide kasutamisele jäi objektilt ära vedamata 18094 m³ ehituseks sobimatut materjali ja 10380 m³ turvast. Karjäärist toodi mulde ehitamiseks ette nähtud 61982 m³ liivpinnase asemel 33620 m³ liivpinnast ja 600 m³ kruusa ehk siis 27762 m³ vähem, kui algses projektis oli ette nähtud. Sellega säästeti meie keskkonda ja loodusvarasid, aga ka objekti ümbruskonna maanteid vedudega tekitatava kahju eest.
- Kokkuvõtteks võib öelda, et geosünteedide kasutamise majanduslik efektiivsus sõltub alternatiivide olemasolust ja kohalikest tingimustest. Karjäärdes müüdava materjali hind ja karjäärde kaugus objektist ühelt poolt ning projekti tehniline lahendus, kasutatavate geosünteedide tüüp ja hind teiselt poolt määravad geosünteedide kasutamise majandusliku efektiivsuse.

5. Millised muutused katendiga toimuvad viie aasta jooksul? Kas eeldatavad pikaajalised muutused on olulised ja mõjutavad geotekstiilide- ja võrkude kasutamist?

- Katendi seiukorra muutuseid (kandevõime, tasasus, roopad, defektid, vajumised, külmakerked) on kirjeldatud käesoleva töö peatükkides 2-7.
- Enamus seisukorranäitajate muutuseid toimub esimese aasta jooksul ning hiljem on muutused marginaalse tähendusega. See tähendab, et esimese aasta jooksul toimub katendikonstruktsioonis lõplik formeerumine ning ilmnevad võimalikud defektid.
- Järgnevate aastate jooksul võib täheldada defektisumma kasvu, kuid põhilised defektitüübid (pikipragu ja pragu katte servas), mis tekkisid juba esimesel aastal, on jäänud muutumatuks.
- Samuti on märgata roopasügavuse kasvu parempoolses roopas, mis võib olla tingitud sellest, et enamus tee laiendusi ehitati mõlemale poole olemasolevat muldkeha ning nende laienduste püsivad vajumid on liikluskoormuse all suuremad, kui vanal muldkehal oleval katendikonstruktsioonil.
- Eeldatavad pikaajalised muutused ei ole katendi tööea seisukohalt olulised ning maanteele 15111 ehitatud katendikonstruktsioon on oma käitumisega näidanud valitud tehnoloogia sobivust antud tingimustesse.

6. Kas analoogseid lahendusi ka edaspidistes projektides kasutada?

- Geosünteedide kasutamine maanteele 15111 sarnastes tingimustes on otstarbekas ning aitab säästa meie keskkonda ja loodusvarasid nende mittesobivate pinnaste ja materjalide arvelt, mis jäävad teehitusel/remondil välja vahetamata tänu geosünteedide kasutamisele.
- Samuti säästame ehitatava objekti ümbruskonna maanteid ja elanikkonda vedudega tekitatava kahju eest.