



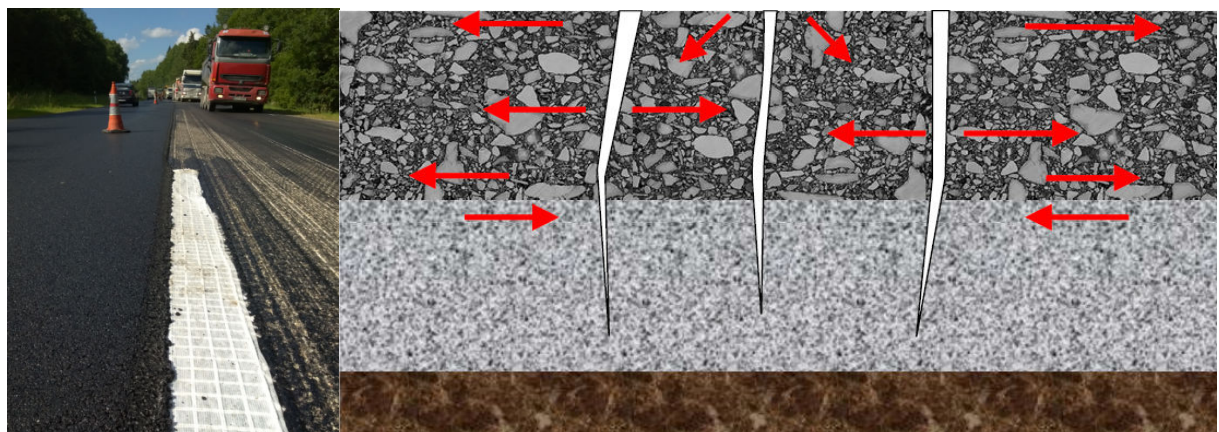
MAANTEEAMET



Mnt.nr.5 Pärnu-Rakvere-Sõmeru km 91,8-92,8 asfaldivõrkudega katselõigu jälgimine ja analüüs ning kasutusjuhendi arendustööd

Lõpparuanne

Sven Sillamäe



Tallinn 2017



Mnt.nr.5 Pärnu-Rakvere-Sõmeru km 91,8-92,8 asfaldivõrkudega katselõigu jälgimine ja analüüs ning kasutusjuhendi arendustööd Lõpparuanne

Tellij:

Maanteeamet

Aadress: Pärnu mnt 463a, 10916 Tallinn

Kontaktisik: Taavi Tõnts (e-mail: taavi.tonts@mnt.ee)

Teostaja:

Tallinna Tehnikakõrgkool

Aadress: Pärnu mnt 62, 10135 Tallinn

Vastutav täitja: Sven Sillamäe (e-mail: sven@tkk.ee)

Töö teostamisel aitasid kaasa: Margus Vaino, Katrin Uueküla, AS Teede Tehnokeskus (FWD mõõtmised), Raxoest OÜ (geodeesia).

© Maanteeamet 2017

Töö tellija on Maanteeamet, kuid töö tulemus ei pea olema kooskõlas Maanteeameti seisukohaga ega väljenda Maanteeameti poolt heakskiidetud arvamusi. Vastutus antud dokumendis toodud informatsiooni ja esitatud arvamuste eest lasub täies mahus töö teostajal. Tööd võib vabalt tervikuna tasuta kasutamiseks välja anda või tsiteerida allikale viidates.

SISUKORD

Sissejuhatus	5
1. T-5 Katselõigu ehitamine ja monitoorimine	6
1.1. Objekti iseloomustus.....	6
1.1.1. Katselõigu geoloogia.....	9
1.2. Katselõigu ehitamine.....	13
1.2.1. Üldist	13
1.2.2. Terasvõrk.....	14
1.2.3. Geotekstiiliga klaaskiudvõrk 100kN/m (Tensar Glasstex® P100)	16
1.2.4. Polümeeriga kaetud klaaskiudvõrk (Synteen Bitutex® Stargrid™ 120/200 – 30) ..	18
1.3. Katselõigu monitoorimine.....	20
1.3.1. Defektide esiletulek.....	20
1.3.2. Pikiroobas.....	29
1.3.3. Kandevõime FWD seadmega.....	31
1.4. Katselõigu kokkuvõte	34
2. Taustinfo asfaldigeosünteedidest	36
2.1. Standardikohased kasutusvaldkonnad	36
2.2. Asfaldigeosünteedide liigid	38
2.3. Asfaltkattes esinevad defektid vs asfaldigeosünteedid	39
2.4. Asfaldivõrkude valimise põhjendus Paide katselõigule – näidis	42
3. Asfaldigeosünteedidest teaduskirjandusest	44
3.1. Robert M. Koerner. Designing with geosynthetics. Fifth edition [8]	44
3.2. Shukla, S.K; Yin, J-H. Fundamentals of Geosynthetic Engineering [9]	45
3.3. Ülevaade Soome juhenditest.....	47
3.4. Vene metoodilised juhendid.....	50
3.5. Teadusartiklid	61
3.6. Asfaldigeosünteedide tootjate soovitusel materjali valikuks	70
3.6.1. Tensari GlasGrid® ja GlasPave™	70
3.6.2. TenCate Polyfelt® PGM-G E	71
3.6.3. Cidex	72
4. Asfaldivõrkude paigaldus – ülevaade kirjandusest.....	75
4.1. Kokkuvõte erinevate tootjate nõuetest asfaldivõrkude paigaldamise osas	75
4.2. Paigaldusnõuded Vene metoodilisest juhendist.....	77
4.3. Paigalduse lisamõtted Eesti kogemustele tuginedes	78
5. Eesti kogemused – näited muudest katselõikudest ja ehitusobjektidelt	80
5.1. Muud katselõigud.....	80

5.1.1. Narva maanteele aastatel 2004 ja 2005 esitatud lõikude vaatlus	80
5.1.2. Muud Eestis tehtud uuringud	86
5.2 Näiteid ehitusobjektidelt	87
5.2.1. Näidis 1.....	89
5.2.2. Näidis 2.....	92
5.2.3. Näide 3	94
5.2.4. Kokkuvõtte objektidel nähtavatest probleemidest.....	97
6. Asfaldist geotekstiilide projekteerimise ja paigalduse juhise täiendusettepanekud	100
Kokkuvõte.....	102
Viidatud allikad	103
Lisad	105

SISSEJUHATUS

Tänapäeva teedehituses kasutatakse konstruktsioonide tugevdamiseks järjest rohkem geosüntete, mida arendatakse pidevalt edasi ning mille kasutusvaldkondi laiendatakse, mistõttu seonduva informatsiooni hulk suureneb ja täieneb aasta-aastalt.

Kuigi Eestis on olemas juba 2006. aastal välja antud geosüntete kasutamise juhised, jääb see siiski väga üldiseks tegemaks detailseid konstruktsioonide tugevdamisotsuseid. Seda on selgelt öeldud ka uuringu kokkuvõttes: „Käesolev töö annab vaid üldise ülevaate geosüntete liikidest, nende põhiomadustest, kasutusala-dest, valikupõhimõtetest ja paigaldustehnoloogiast, et projekteerija, kes ei ole varem eelnimetatud probleemistikuga kokku puutunud, saaks siit lühikest üldist informatsiooni.“

Kuna eelpool mainitud juhises ei käsitleta Eestis üha enam katte remontides kasutatavaid asfaldigeosüntete ega nende kasutamist, on siinjuures väga vajalik põhjalikumalt läbi töötada teiste riikide vastavad infomaterjalid ja juhised ning teostada kohalikke katseid ja vaatlusi töötamiseks välja *Asfaldigeosüntete valikute kriteeriumid ja paigaldusjuhised koos näidislahendustega* eesmärgiga tõhustada katete remondikvaliteeti.

Kohalikuks referentsobjektiks ehitati aastal 2013 mnt. nr. 5 Pärnu-Rakvere-Sõmeru km 91,8-92,8 asfaldivõrkude katselõik, mille kohta koostati ka aruanne. Katselõiku on lõpparuande koostamise ajaks jälgitud neli aastat ja täheldatud üles kõik muutused. Lisaks on vaadeldud ja tehtud järeldusi ka muudelt Eestis ehitatud asfaldigeosüntete puudutatavalt katselõikudelt ja ehitusobjektidelt.

Käesolev lõpparuanne võtab kokku aja jooksul kogutud informatsiooni, mille alusel saab oluliselt täiendada aastal 2015 välja antud Asfaldi geotestiilide projekteerimise ja paigalduse juhiseid.

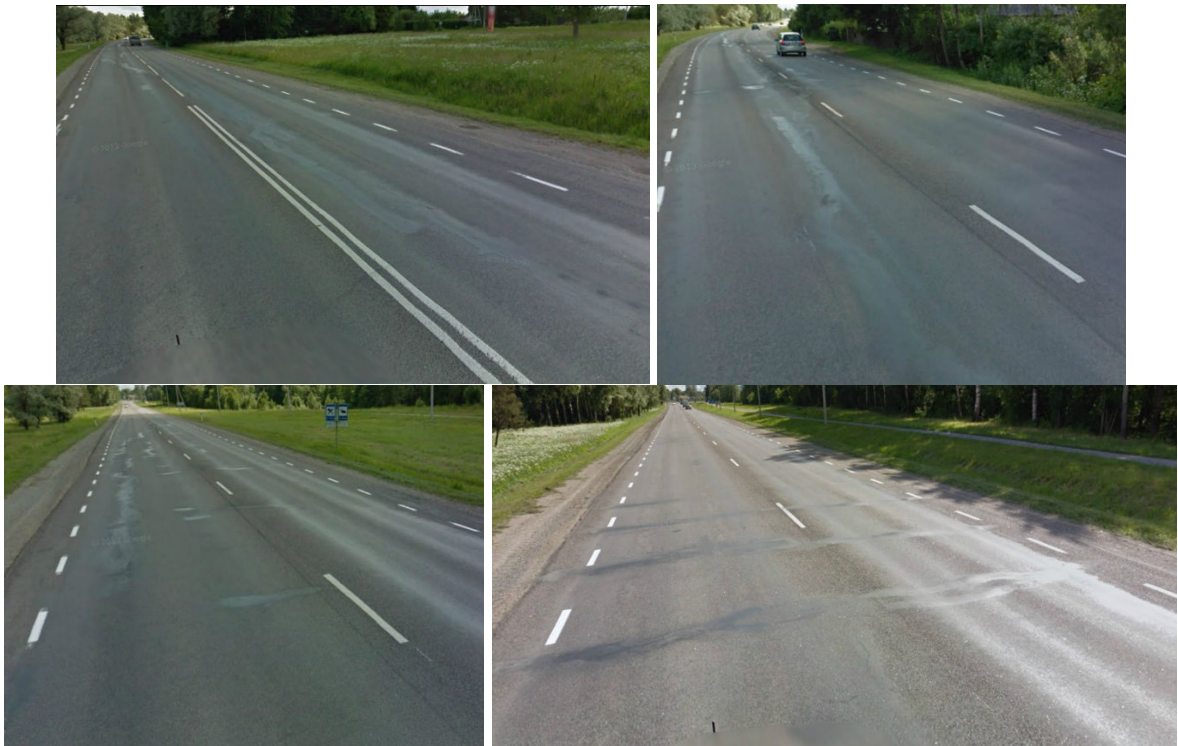
1. T-5 KATSELÕIGU EHTAMINE JA MONITOORIMINE

1.1. Objekti iseloomustus

Katselõik on tugevalt pragunenud, sh külmakerke-, põik- ja pikipraad. Mõningad objekti iseloomustavad fotod enne ehituse algust on näidatud joonistel 1.1...1.3. Parema visuaalse ülevaate objektile olnud pragudest saab Google maps'i abil – kuna fotod on võetud kõrgemal asunud kaameraga, on need tänu sellele ülevaatlikumad, kui õnnestus ise fotografeerida. Mõningad näited joonistel 1.4...1.7.



Joonised 1.1...1.3. Erinevad praad katselõigus enne ehitust.



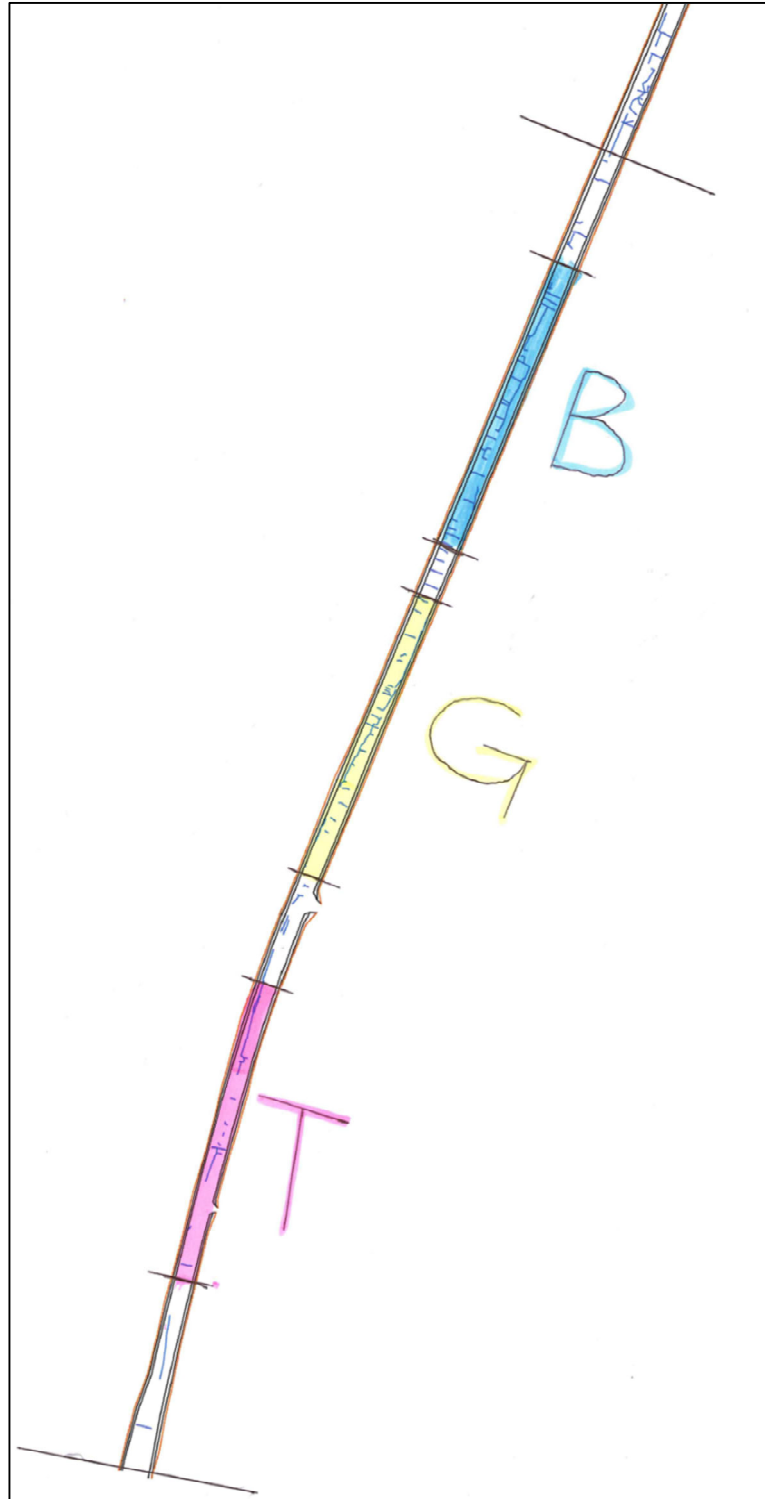
Joonised 1.4...1.7. Google mapsi abil nähtavad defektid katselõigul enne ehitust.

Mõõdistatud pragude asukohad on esitatud OÜ Reaalprojekti poolt oktoobris 2013 Eesti Maanteeametile, ülevaate pragude asukohtadest ja kujust saab jooniselt 1.8, kuhu on peale kantud ka katselõigu erinevad sektsioonid koos kasutatud geosünteedidega.

Objektil valiti kasutamiseks kolm erinevat geosünteeti:

- lõik 1 – terasvõrk Bekaert Mesh Track 1 (joonisel 1.8 tähistatud tähega „T“), asukoht T-5 km 92.46...92.61.
- lõik 2 – geotekstiiliga klaaskiudvõrk Tensar Glasstex® P100 (joonisel 1.8 tähistatud tähega „G“), asukoht T-5 km 92.24...92.39;
- lõik 3 – klaaskiudvõrk Synteen Bitutex® Stargrid™ 120/200 – 30 (joonisel 1.8 tähistatud tähega „B“), asukoht T-5 km 92.05...92.2.

Iga lõigu mõlemal pool on ka ilma geosünteedita referentslõik.

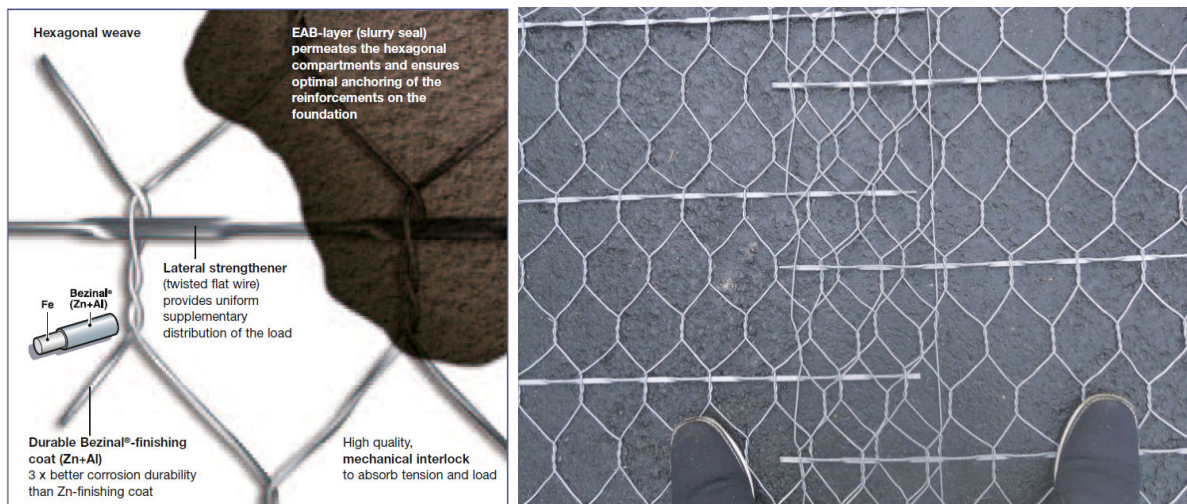


Joonis 1.8. Paigaldatud toodete skemaatiline asukoht. Üleval asub Paide ja all Sillaotsa.

Materjalid katselõigule kasutamiseks valiti lähtuvalt teekattel nähtuvatest defektidest. Eeldati, et pikemad pikipraad on tekkinud külmakerkest, mis nõuab tugeva ja jäiga võrgu kasutamist (sellele vastavad teras- ja klaaskiudvõrgud). Esines ka temperatuurist tingitud põikpragusid ning aastal 2006 tehtud geoloogilistele andmetele põhinedes oli teada, et asfaltkatte paksus on märkimisväärne olles maksimaalselt 29 cm (objekti geoloogia on kirjeldatud peatükis 1.1.1). Seega võivad taolises seotud kihis toimuda märkimisväärsed temperatuurist tingitud paisumised ja kahanemised, mistõttu vajatakse tugevat ja jäika võrku.

Terasvõrk paigaldati teadaolevalt kõige suurema külmakerkega piirkonda. Kasutatud klaaskiudvõrgud erinevad üksteisest lisaks maksimaalsele tõmbetugevusele ka selle poolest, et võrgul „G“ on küljes mittekoostud geotekstiil, mille eesmärk on tekitada asfaltkatte sisse veekindel kiht ja SAMI-vahekiht (nendest täpsemalt hiljem). Iga geosünteedi asukoht fikseeriti geodeetiliste mõõtmistega, üles mõõdeti kõik ülekatete kohad, terasvõrgu kinnituskohad ja paigalduse käigus tekkinud probleemsed kohad (tootevigastused, probleemid ülekatetega, sisselõiked ja tekkinud voldid).

Terasvõrguks valiti kasutamiseks **Bekaert Mesh Track 1**, mille iseloomustus on joonistel 1.9...1.11. Materjal on valmistatud tsingitud terasest maksimaalse tõmbetugevusega ristisuunas 50 kN/m 2% venivuse juures ja pikisuunas 40 kN/m 19% venivuse juures. Külmakerkepragude puhul ongi oluline just ristisuunaline moodul ja väga hea nake ümbritseva asfaldiga. Naket parandab erineva ristlõikekujuga terasvarras ja asjaolu, et võrgu paigaldamiseks kasutatakse mössikihti.



Joonised 1.9 ja 1.10. Bekaert Mesh Track 1.

Tensar Glasstex® P100 koosneb polüpropüleen-geotekstiilist, millesse on nõelutud muustriliselt polüesterniit, mis annab materjalile stabiilsust ja veidi jäikust ning mis hoiavad kinni klaaskiust tõmbeelemente. Klaaskiud annab materjalile kõrge mooduli (madal venivus suure tõmbetugevuse juures, antud juhul 3% venivust maksimaalse 100 kN/m tõmbetugevuse juures) armeerimaks asfaltkihti ja bituumeniga immutatud geotekstiil tekitab veeläbilaskmatu kihi võimaldades takistada (sool)vee penetreerumist läbi asfaltkatte. Geotekstiil tekitab kahe asfaltkihi vahele ka SAMI-vahekihi (ing. *stress absorbing membrane interface*), mis takistab peegelduspragude teket uude kattes. Toode on kujutatud joonisel 1.12.

 1301 – CPD		NV BEKAERT SA – Bekaertstraat 2 B- 8550 Zwevegem - Belgium	
		EN 15381: 2008 11	
Certificate FPC: 1301- CPD- 0683		Product: MESH TRACK 1 Metallic, geotextile-related product <u>Intended use:</u> reinforcement for pavements and asphalt overlays - R	
Declared characteristics - on the mesh:		Nominal Values	
Tensile strength:			
MD	(kN/m)	40.0	
CMD	(kN/m)	50.0	
Elongation: at max force			
MD	(%)	19.0	
CMD	(%)	2.0	
Durability:		Coating Zn95Al5	
Round wires		Class B	
Reinforcement wire		Class E	



Joonised 1.11 ja 1.12. Bekaert Mesh Track 1 andmed ja geotekstiiliga klaaskiudvõrk Tensar Glasstex P100 (viimase andmed on lisas 1).

Synteen Bitutex Stargrid 120/200-30 on võrdlemisi jäik, polümeeriga töödeldud klaaskiudvõrk, kus tõmbeelementide vahele on paigaldatud klaaskiust filament (joonis 1.13), mille eesmärk on lihtsustada paigaldust. Kuna materjal on jäik, püsivad selle tõmbeelemendid alati joondatuna. Toote ristsuunaline maksimaalne tõmbetugevus on 200 kN/m ja pikisuunaline 120 kN/m, mõlemad 3% venivuse juures. Materjalis ei ole geotekstiili, kuid on kaetud bituumeniga eesmärgiga tagada asfaltbetooniga hea nake. Tegelikult on toote pealispind väga libe (tõenäoliselt selleks, et pakendis materjal ei kleepuks kokku), mistõttu asfaltbetoon kipub selle peal libisema.



Joonis 1.13. Synteen Bitutex Stargrid 120/200-30.

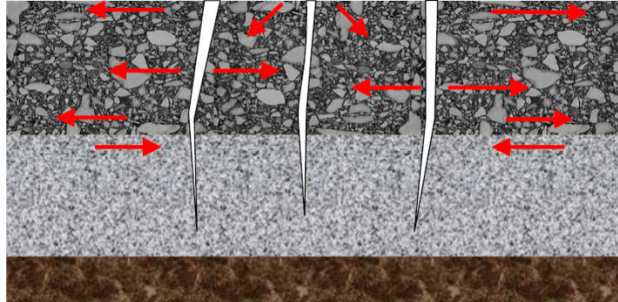
1.1.1. Katselõigu geoloogia

Geoloogia 1

Katselõigul on tehtud kaks geoloogilist uuringut. Esimene tehti detsembris aastal 2006 Paide ringtee ja Paide – Mäo lõigu rekonstrueerimisplaanide raames iga 100 m tagant, mille

geoloogilised ristlõiked ja puurimise orienteeruv koht on näidatud lisas 2 olevatel fotodel. Puurauk võeti parempoolse sõiduraja (liikumissuund Paide -> Sillaotsa) keskelt.

Geoloogilistest andmetest nähtub esiteks asfaltkatte võrdlemisi suur paksus, mis on valdavalt 20 cm kandis. Tegemist on paksusega, milles hakkavad tekkima asfaltkatte väsimuse tõttu nõ ülevaalt alla ehk *top-down* praod seoses asfaltkatte sees toimuvate nihkepingetega (joonis 1.14). Samuti on asfaltkate nii paks, et seda mõjutavad tugevalt temperatuurierinevused tekitades sisse põikpragusid. Mõlemat tüüpi praod olid katselõigul täheldatavad.



Joonis 1.14. Praod asfaltkattes, mis liiguvad ülalt alla olles tingitud nihkepingetest kihi sees ja pinnal.

Teine geoloogiaandmetest nähtuv tegur on suhteliselt kõrgel olev pinnasvee tase ja mittedreenivate pinnaste olemasolu. Lõigus 3 oli pinnasvee kõrgus vahemikus 1.0...1.25, mistõttu näiteks külmakerkearvutust KAPi abil teha ei saa ja tegemist on erakordselt külmaohtliku olukorraga. Lõigus 2 oli pinnasvee kõrgus 1.40 m. Lõigus 1 oli kuiv, kuigi enne ja pärast seda oli pinnasvee kõrgus vahemikus 1.50...1.65 m. Seega on igati põhjendatud arvata, et pikemate pikipragude näol on tegemist külmakerkepragudega.

Varasemalt on teada, et lõigus 1 on talviti olnud märkimisväärne pikiprao avanemine, mis viitab suurele külmakerkele. Kuna paremast sõidurajast võetud geoloogiapunkti alusel oli koht kuiv ja ka ümbruskonnas on vesi sügavamal, kui kriitilisel 1.25 m, siis arvatavasti on külmakerge põhjustatud lisateguritest kui vaid kapillaartõusuga alt üles tulevast veest.

Esiteks kogu teelõigu väga vaheldusrikas geoloogia võimaldab järeldada, et teed on kunagi laiendatud, mistõttu ristlõige ei ole ühtlane. Teiseks võib vesi liikuda külmumistsoonidesse ka horisontaalselt, nimelt on maapind antud lõigus kaldu ja külgsuunas liikuv vesi võib „sõõta“ külmumistsooni. Kolmandaks on lõigus 1 asfaltkatte all mittedreeniv kruusliiv, mis tähendab, et kui asfaltkattes on sees pragu, võimaldab see vee juurdepääsu külmaohtlikku pinnasesse ülaltpoolt.

Veel üheks tähelepanuväärseks nüansiks on katselõigu Paidepoolsest osast võetud puurauk PA 38, mille alusel on 120 cm paksuse teekatte all muld või turvas. Peatükis 1.3.3 esitatud kandevõimetulemuste põhjal näeb, et suuna 1 PK 0+50 BCI väärtus on alati ületanud piirväärtuse. Samuti on selles piirkonnas tunda raskeveokite möödumisel, et maapind veidi õõtsub/väreleb, kuid üldine kandevõime on siiski piisav.

Geoloogia 2

Kui esimene geoloogiaaruanne põhines 2006 võetud puuraukudel, mis võeti kindla sammuga iga 100 m tagant esimese sõiduraja keskelt, siis teise geoloogiaga võeti puuraukudel kohtadest, kus esinesid defektid (piki- ja põikpraod), samuti jälgiti, et puuraukudel oleks mõlemalt poolt teed ja esindaksid kõiki asfaldivõrkude lõike. Teine geoloogiaaruanne on lisatud lisse 3.

Teisest geoloogiaaruandest nähtub esiteks see, et tõenäoliselt on teed kunagi laiendatud – PA 6, 7 ja 10 leiti vana mustkate ning PA 1, 3, 8 ja 9 puuraukudel on tõenäoliselt võetud laiendatud osast, kuna geoloogia on mõnevõrra erinev, kui teisel pool teed – eriti nähtub see PA 3 puhul, kui kruusliiva (täite) paksus on 1.54 m. Mõnel määral võimaldaks see selgitada enamasti terasvõrgu sektsiooni jäävat (arvatavasti külmakerke poolt põhjustatud) pikipragu. Võimalik on

ka see, et pikipragu on tekkinud tee laiendamise tagajärjel, kui uus muldkeha on vajunud (PA 8 asfaltkatte paksus on 32 cm, mis on pea 10 cm enam, kui mujal). Peale seda pääseb vesi teekatendisse ülevalt poolt põhjustades suurema pikiprao avanemise. Kui vana ja uus muldkeha osa pole üksteisega korralikult ühendatud ning pinnased on erinevad, toimub nendes ebaühtlane liikumine. Peale katselõigu ehitamist pole pikipragu (veel) avanenud ja järeldus sellest on, et uus (terasvõrguga armeeritud) teekate on sidunud vana tee ja laienduse tugevamalt üksteise külge.

Laboriandmetele põhinedes leiti ka see, et kõik pinnased on EVS 901-20:2013 alusel drenimatud.

Kuna puurauke ei hoitud pikalt lahti, siis pinnasevesi ei jõudnud enamikesse puuraukudesse koguneda ja seega registreeriti vee tase neljast puuraugust: PA 3 – 1.5 m, PA 4 – 0.8 m, PA 8 – 2.05 m ja PA 9 – 2.20 m. Võrreldes PA 3 ja PA 4 omavahel ning FWD väärtusi suunal 1 ja suunal 2 nähtub, et suunal 2 ületavad BCI, aga ka BDI väärtused enamasti piirarve, mida võib selgitada sellega, et vee tase on suunal 2 teekattele lähemal, kui suunal 1. Samuti kinnitab FWD mõõtmine arvamust, et teed on kunagi laiendatud.

Geoloogiaandmetele põhinedes saaks järeldada, et terasvõrgu ning sellele eelnevas ja järgnevas lõigus nähtav pikipragu on põhjustatud külmakerkest, mida on soodustanud tee laiendamine.

Lisaks geoloogilistele puuraukudele tehti iga sektsiooni äärde ka vaatluskaevud veetaseme jälgimiseks (joonised 1.15...1.16). Mõõdetud vee tase seoti tee all oleva vee tasemega ära geoloogiaandmetele tuginedes. Vaatluskaevude asukohad valiti nii, et iga võrgusektsiooni kõrval oleks üks ning see paikneks kohas, kus teekattes on pikipragu, mis võib olla tekkinud külmakergetest. Kaevude asukohad on joonistel 1.17...1.19 (Google Maps).



Joonised 1.15 ja 1.16. Vaatluskaevu rajamine.



Joonis 1.17. Vaatluskaev nr 1 asub terasvõrgu sektsioonis.

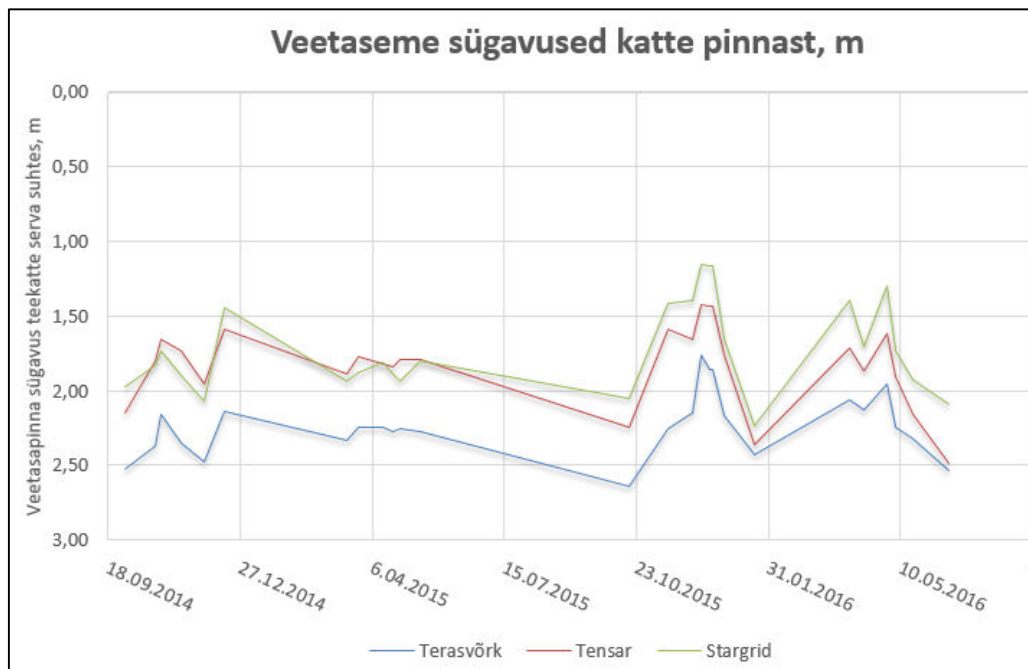


Joonis 1.18. Vaatluskaev nr 2 asub Tensari sektsioonis.



Joonis 1.19. Vaatluskaev nr 3 asub Stargridi sektsioonis.

Veetaseme vaatluse tulemused on joonisel 1.20. Arvestades järgmistes peatükkides esitatud tulemusi, saab teha järelduse, et veetaseme muutused ei ole mõjutanud külmakerkepragude esiletulekut, kuid teekatendi veesisalduse muutused on mõjutanud kandevõimemõõtmise tulemusi.



Joonis 1.20. Veetasemete kõrgused kolmes puuraugus.

1.2. Katselõigu ehitamine

1.2.1. Üldist

Asfaldivõrgud paigaldati 24., 25. ja 28. oktoober 2014. Sellele eelnevalt oli alumine pind freesitud tasaseks ja paigaldatud tihedast asfaltbetoonist tasanduskiht.

Paigalduse päevadel oli õhuniiskus kõrge, neljapäevale (24. okt) eelnevatel päevadel oli sadanud vihma ehk teekate oli pidevalt niiske. Vihma sadas kergelt ka nädalavahetusel, kuid esmaspäeval geovõrkude paigaldamise ajaks oli teekate vaid niiske ja ilmastik üldiselt sobiv. Kogu ehitusperioodi jooksul oli õhutemperatuur pluss viie kraadi ümbruses või veidi üle selle ja puhus väga külm tuul. Paigaldusaegne madal õhutemperatuur ja kõrge õhuniiskus aeglustas geosünteedide paigalduseks kasutatud bituumenemulsiooni lagunemist, mistõttu ei haakunud „B“ sektsiooni asfaldivõrk tugevalt alusele ja liikus asfalteerimise ajal.

Enne geosünteedide paigaldust oli tasanduskihilt võimalik leida kahest kohast defekte – suunal 1 teeääres enne „G“-sektsiooni algust oli näha pragunemist õhukese kihipaksuse tõttu, mis jätkus ka ~10 m ulatuses geosünteedi alla (joonis 1.21). Suunal 2 jäi „G“-sektsiooni alale vajunud koht, mida tasanduskihiga ei parandatud ja kuhu kogunes vesi (joonis 1.22). Kohati oli tasanduskiht visuaalsel hinnangul poorsust silmas pidades ebaühtlane, st laiguti oli poorsemaid kohti, kuid paigalduse ajal ühtegi probleemi sellest ei tekkinud. Muid defekte ega probleeme tasanduskihilt ei leitud.



Joonised 1.21 ja 1.22. Defektsed kohad tasanduskihil. Joonisel 1.21 kujutatud pragunemine hakkas pihta vahetult enne „G“-sektsiooni ja jätkus ~10 m ulatuses ka selle all.

Paigalduse üldiseks probleemiks oli kohati ka puhtus. Nimelt jäi gudrunaatori ülesõidust järgi bituumenitükke (joonis 2.23). Sellistes kohtades jääb asfaltkihi paksus väiksemaks kui mujal, samuti on seal väga kõrge bituumenisisaldus, mis võib mõjutada selle koha hilisemat käitumist koormuse all.



Joonis 1.23. Bituumenijäägid keset krunditud pinda.

1.2.2. Terasvõrk

Terasvõrgu paigaldus koos mössiga toimus 24. oktoobril 2014. Terasvõrk rulliti maha, kinnitati ottest terasnaeltega ja tasandati kummivaltsidega teerulliga (joonised 1.24 ja 1.25). Selle etapi töö sujus muretult ja probleeme ei esinenud. Geodeetilisele kaardile mõõdistati ülesbterasvõrkude kinnitused.



Joonised 1.24 ja 1.25. Terasvõrgu rullimine pneumorulliga ja terasvõrgu kinnitid.

Probleemid tekkisid mössiga. Esiteks haakus mössimasina „kelk“ mitmeid kordi terasvõrgu külge kinni tõmmates materjali paigast, kõveraks ja puruks (joonised 1.26 ja 1.27).



Joonised 1.26 ja 1.27. Vasakpoolsele teepoolele mössi paigaldus. Kelk takerdus korduvalt lõhkudes võrku ja tõmmates seda aluse küljest lahti.

Ilm mössitamiseks ei olnud soodne ning materjal ei kuivanud piisavalt. Lastes liikluse peale jätkamaks teise teepoolega oli näha, et liiklus kahjustab mössi (joonised 1.28 ja 1.29). Võrgule see siiski suuremat kahju ei tekitanud ja möss täitis selle eesmärgi, et hoidis kogu ehituse käigus terasvõrku kindlalt paigal.



Joonised 1.28 ja 1.29. Liikluse all sõideti möss terasvõrgu pealt lahti, kuna madala õhutemperatuuri ja suure –niiskuse tõttu materjal ei tahenenud piisavalt.

Tee parempoolse lõigu ehitus venis õhtusse ja terasvõrk paigaldati hämaras. Seetõttu ei olnud võimalik üles mõõta parempoolse teeosa terasvõrkude kinnitusi. Tagantjärele õnnestus fikseerida ülekatete kohad ja võrkude täpsed asetsused ning paigaldusel tekitatud vigastused. Mössi paigaldus jäi täiesti pimedasse (joonis 1.30 ja 1.31). Tee äär paigaldati mössimasina kelguga, mis takerdus mitmel korral võrku kinni. Tee teljele paigaldati materjal käsitsi seoses vasakul teepoolel oleva liikluse ja sellest tuleneva ruumipuudusega.



Joonised 1.30 ja 1.31. Mössimasina kelk takerdus korduvalt võrgu ribidesse. Vasaku teepoolle paigaldus toimus pilkases pimeduses ja tee teljel olev paan paigaldati käsitsi.

Mössist üleliigse vee aurustumist mõjutas tugevalt olnud ilmaolud. Vesi eemaldus (kas täielikult või osaliselt) alles asfalteerimise käigus, kui kuum asfalt aurustas alla jäänud niiskuse (joonised 1.32 ja 1.33). Aastaaeg ja valitsevad ilmastikutingimused mössi silmas pidades sobivad ei olnud, kuid terasvõrguga sektsiooni toimivust see kuidagi mõjutanud ei ole.



Joonised 1.32 ja 1.33. Auru läbitungimine asfaltkihist rullimise käigus oli märkimisväärne, mis osutas mössi kõrgele niiskustasemele.

Terasvõrgu defektsed kohad fikseeriti geodeetilise mõõdistusega, samuti on olemas kõikidest probleemsetest kohtadest fotod, mille alusel on võimalik tuvastada täpsed asukohad (näiteks joonised 1.34...1.36). Katselõigu jälgimise ajal ühtegi defekti terasvõrguga sektsioonil ei ilmnenu.



Joonised 1.34...1.36. Defektid terasvõrgus enne asfalteerimist.

1.2.3. Geotekstiiliga klaaskiudvõrk 100kN/m (Tensar Glasstex® P100)

Üheks suurimaks probleemiks asfaldigeosünteedide puhul on mittepiisav nake alusega ning toote paigalt nihkumine asfalterimise käigus. Seetõttu pöörati katselõigu ehitusel sellele väga suurt tähelepanu. Tootja nägi ette materjali paigaldamisel sideainenormiks bituumenikulu 1 l/m². Reaalsuses kasutatud gudrunaator sideainenormi mõõta ei võimaldanud, seega ei olnud võimalik seda ka kalibreerida ja emulsioon paigaldati tunnetuslikult. Kui kirjeldada protsessi, siis gudrunaator sõitis paigaldatava ala läbi suhteliselt aeglase käiguga ja kahekordselt. Võrgu paigaldust alustati enne emulsiooni täielikku lagunemist ja sellele eelnevalt katsetati naket ka väikese geosünteedi tükiga. Kui geosünteeet paigaldatakse juba lagunenud bituumenemulsioonile, ei teki piisavat naket aluse ja materjali vahel.

Paigalduse ajal oli probleeme puhangulise külgtuulega, mis tõstis materjali õhku enne, kui see jõudis alusele kleepuda. Seetõttu tekkisid sisse mõned voldid, mis suudeti eemaldada vaid kohe tegutsedes. Voldid tuli välja „venitada“ kohe pärast nende tekkimist, vastasel juhul haakus tekstiil alusele nii tugevalt, et toodet ei olnud võimalik enam liigutada. Suuremad voldid (joonised 1.37 ja 1.38) fikseeriti ka geodeetiliselt.



Joonised 1.37 ja 1.38. Geosünteedi tekkinud ja jäänud voldid.

Esimese paani paigaldusel suruti geosünteedi vastu alust asfaldiroopidega, mis ei olnud eriti tulemusrikas, kuna need ei võimaldanud piisavalt vajalikku survet. Toote paremaks kinnitamiseks talluti see sõna otseses mõttes aluse külge tootel käinud tööliste poolt. Hiljem muretseti objektile paar harja, mis surusid geosünteedi tugevamini emulsiooni külge. Geoünteedi paigaldamisel kasutati paigaldusrakist, kuid nii, et traktor tagurdas. See võimaldas konkreetselt selle rakise puhul kontrollitumat paigaldust (joonised 1.39 ja 1.40).



Joonised 1.39 ja 1.40. Hari võimaldas paremat survet geosünteedile, kui asfaldiriop. Surudes harjaga geotekstiiliga toodet vastu alust, haakus see paremini kinni. Võrdle joonisel 1.40 roobitagust ja harjatagust jälge (vasak vs parem), kus viimane on oluliselt tumedam ehk bituumenemulsioon on surutud läbi tekstiili.

Paigalduse käigus ilmnemise järgnevad probleemid:

- esiteks ei suudetud materjali laotada sirge paanina, mistõttu toote laius tee teljel varieerus, mistõttu ei saavutatud tee teljel piisavalt ülekattet kui üldse (joonised 1.41 ja 1.42);
- teiseks ei kinnitunud tootele paigaldatud asfalt kuigi tugevalt ja asfaltkatte servad hakkasid murenema. Probleem võis kohati olla ka asfaltbetoonis endas, kuna serva lagunemine ei olnud üleüldine probleem, vaid kohatine (joonis 1.43). Kuuma asfaltbetooni tihendades oli näha, kuidas asfalt „sõidab“ või kuidas väike vall liigub pidevalt rulli ees. Sellist probleemi kohtades, kus geosünteedi polnud, ei esinenud. Ka vajus paigaldatav kiht laiemaks, kui ilma geosünteedita kohtades ehk asfalt liikus materjali peal;
 - probleem nakkega oli eriti selgelt nähtav siis, kui juba paigaldatud asfaltbetooni kõrvale paigaldati järgmist paani. Paigaldatav asfalt haakus hästi kõrvale oleva asfaldi külge, kuid samal ajal „sõitis“ geosünteedi peal. Tulemuseks tekkisid tee telje vahetusse lähedusse pikad praod (joonised 1.44 ja 1.45).

Hiljem, teelõigu monitoorimise käigus võetud puurkehad püsisid koos, mis võimaldab järeldada, et geosünteedi ja asfaldi vaheline nake oli puudulik vaid ehituse käigus.



Joonised 1.41...1.43. Geosünteedi ei suudetud paigaldada sirgelt, mistõttu mitmetes kohtades jäigi materjal täielikult asfaltbetooni alla ja ei võimaldanud enam ülekattet kõrvale tuleva paaniga. Nake asfaldiserva ja geosünteedi vahel oli kohati äärmiselt halb, mistõttu paani serv lagunes.



Joonised 1.44 ja 1.45. Teise asfaltbetoonpaani paigalduse käigus tekkisid tee telje vahetusse lähedusse pikad pikipraad, kuna asfalt haalus varem paigaldatud paani külge, kuid liikus geosünteedi peal.

1.2.4. Polümeeriga kaetud klaaskiudvõrk (Synteen Bitutex® Stargrid™ 120/200 – 30)

Kuna gudrunaator ei võimaldanud mõõta emulsiooni kogust, siis ka siin pandi seda poolenisti tunnetuslikult. Võrreldes Tensari ja Synteeni paigaldusjuhendeid, oleks olnud viimase puhul võimalik kasutada esimesega võrreldes poole vähem sideainet. Ka nõuab tootja, et emulsioon peab olema enne paigaldust lagunenu. Kumbki väide ei osutunud tõeks. Vajalik emulsioonikogus võrreldes tekstiili sisaldava tootega oli tõesti väiksem, kuid mitte poole väiksem.

Suunal 2 prooviti geosünteedi paigaldada lagunenu emulsioonile, kuid naki nii võimalik saavutada polnud. Seetõttu kaeti tee pind veel korra emulsiooniga ja toode paigaldati vahetult pihustatud sideainele. Tulemus oli hea, toode haalus aluse külge üpris hästi ja asfalteerimise käigus püsis toode kinni, kuid siiski mitte nii hästi kui tekstiiliga Tensari geosünteed ja kippus kohati „lokkima“ (joonised 1.46 ja 1.47).

Siit järeldati, et antud juhul sai kehtida nõue paigaldada geosünteed lagunenu emulsioonile vaid oluliselt soojemate ilmade ja polümeermodifitseeritud bituumenemulsiooni kohta. Samuti tuleb siit järeldada, et alati on oluline teha väike katselõik testimaks, kas kasutatava sideainenormiga haalus geosünteed piisavalt tugevalt alumise pinna külge ning kuidas käitub selle peale tulev asfaltbetoon.



Joonised 1.46 ja 1.47. Asfaldivõrk kippus asfalteerimistehnika all veidi liikuma ja paari kohta tekkisid voldid, kuid mis tihendatud asfaltbetooni siiski pragu ei tekitanud.

Sõidusuunal 2 paigaldati bituumenemulsioon kahes kihis. Erinevus sõidusuunaga 1 oli selles, et esimest emulsioonikihti ei lastud laguneda enne järgmise paigaldust. Selle tagajärjel käitus geosünteed paigalduse käigus teisiti – asfalteerimise käigus, oli näha, et geosünteed ei olnud

aluse küljes nii kõvasti kinni kui teisel tee poolel ja kippus tekitama „valli“ laoturi ette (joonis 1.48). Paigaldatud asfaldikihi ühtegi defekti sellest siiski ei tekkinud.

Paigaldusaegne temperatuur $+5^{\circ}\text{C}$ oli piiripealne ning tõenäoliselt mõjutas see geosünteedi haakumist alusele negatiivselt. Suuna 1 puhul emulsioon ei olnud täielikult lagunened ka enne asfalteerimise algust, mistõttu jäi nake puudulikuks.



Joonis 1.48. Suunale 1 paigaldatud geosünteed ei nakkunud aluse külge nii tugevalt kui suuna 2 puhul. Põhjuseks oli lagunemata bituumenemulsioon, mis oli põhjustatud jahedast õhutemperatuurist.

Paigalduse probleemid antud materjaliga olid üldiselt samad, mis Tensari geosünteedi puhul. Geosünteedi peale paigaldatud asfalt haakus tootega veel halvemini ja asfalt „sõitis“ visuaalsel hinnangul veel enam. Samuti tekkisid laoturi järgi vaid selle toote puhul laigud või augud, mis tuli täita käsitsi (joonis 1.49). Siiski ühtegi sellist serva murenemist ei olnud, nagu oli Tensari geosünteedi puhul. Tee teljele tekkisid ka siin samasugused praod, nagu kujutatud joonistel 1.44 ja 1.45, kuid väiksemas ulatuses (joonis 1.50).

Hiljem, teelõigu monitoorimise käigus võetud puurkehad püsisid koos, mis võimaldab järeldada, et geosünteedi ja asfaldi vaheline nake oli puudulik vaid ehituse käigus.



Joonis 1.49 ja 1.50. Nake asfaltbetooni ja geosünteedi vahel paigalduse ajal oli halb. Kuidas jäi olukord pärast asfaltbetooni jahtumist, peab selgitama puurkehade uurimine. Autor Sven Sillamäe

Ka siin oli probleeme sirgelt paigaldamisega (joonised 1.51...1.54). Nimelt on antud toode oluliselt jäigem, kui Tensari materjal ning väiksemagi kõrvalekalde korral jäid sisse voldid, mis lõigati lahti ja parandati ülekatttega. Paranduseks tehtud ülekate paigutati lahti lõigatud voldi alla, kuna oli näha, et peale paigutades see sinna ei haakuks, kuna ilmatingimused ei võimaldanud emulsiooni kiiret lagunemist ja laotustehnika oleks paigad kohalt nihutanud.



Joonised 1.51 ja 1.52. Geosünteedi kõver paigaldus.



Joonised 1.53 ja 1.54. Kõveralt paigaldatud geosünteed ei võimaldanud kõrvalpaani ülekattet pärast asfalteerimist.

1.3. Katselõigu monitoorimine

Katselõigu monitoorimise eesmärk oli:

- näha, kas ja kuidas mõjutavad paigaldusaegsed probleemid teekatte toimivust;
- kui efektiivselt kasutatud materjalid (lahendused) töötavad esinenud defektide vastu ehk kas ja mis aja jooksul avastatakse kas uusi või vanast kattest üles kandunud defekte;
- kas ja kuidas kasutatud materjalid mõjutavad teekatendi toimivust kandevõime ja roopa arengu suhtes.

1.3.1. Defektide esiletulek

Katselõigul oli võimalik peale kolmandat monitoorimise aastat näha kahte defekti, millest kumbki polnud asfaldivõrkudega seotud. Esimene defekt on joonisel 1.55 ja tegemist on vaid pealmise asfaltkatte defektiga, mis asub terasvõrgu sektsiooni keskel. Nähtav defekt on asfaldis olnud katselõigu ehitamisest alates – joonisel 1.56 on foto samast kohast aastal 2014.



Joonised 1.55 ja 1.56. Defekt terasvõrgu sektsioonis, mis on tingitud pealmise asfaltkatte ebahomogeensusest ega ole seotud geosünteediga.

Teine defekt on Sillaotsa pool sõidurajal 2. Sinna on tekkinud külmakerkepragu, kuid vaid väga vähesel määral. Enne katselõigu ehitamist oli terasvõrgu sektsioonis ja sellele eelnenud referentssektsioonis sees väga märgatav külmakerkepragu, mis talvel avanes silmnähtavalt. Kahjuks talvisest olukorrast pilte ei ole, küll on võimalik vaadata olukorda nii Google maps-ist kui ka enne ehitust tehtud fotodelt (joonised 1.57 ja 1.58), millest nähtub prao ulatus.



Joonised 1.57 ja 1.58. Terasvõrgu ja sellele eelnenud referentssektsioonis olnud pikipragu enne katselõigu ehitust. Joonisel 1.57 on musta ringi sees 2016 kevadel pildistatud koht, mida on kujutatud joonisel 1.59.

2016 algus oli suhteliselt külm, mis eelduslikult oleks võinud esile kutsuda joonisel 1.58 nähtava prao esiletuleku. Sillaotsa ristmiku piirkonnas on bussipeatuse poolses teepool sees märgatav pikipragu, mis tuli 2016 kevadel esile ehk tegemist oli külmakerkepraoga (joonis 1.59) – seesama pragu jätkus ka katselõigust enne selle ehitamist avanedes külmadel talvedel autori mäletamist mööda märgatavalt. Aastal 2016 tuli külmakerkepraost katselõiku sisse vaid joonistel 1.57 ja 1.59 musta ringiga näidatud pragu, sealt edasi pragu liikunud ei ole. Antud kohas ei ole kasutatud terasvõrku ja tegemist on referentssektsiooniga.

Võinuks eeldada, et joonistel 1.58 näidatud külmakerkepragu tuleb esile katselõigu referentssektsioonis ja peatub kohas, kust algab terasvõrk. Reaalsuses ei ole pragu edasi liikunud ka kohas, kus asfaldivõrku ei kasutatud. Tõenäoline põhjus selleks on see, et vesi ei pääse külmumistsooni enam ülevalt, kuid kuna Sillaotsa ristmikus on pragu, siis sedakaudu vesi pääseb ka katselõigu sektsiooni asfaltkatte alla põhjustades külmakerget seal. Arvamust toetab ka see, et geoloogilise uuringuga leiti, et pinnasvesi on oluliselt sügavamal, kui külmumissügavus, mistõttu külmumistsooni ei pruugi jätkuda piisavalt vett põhjustamaks tõsiseid külmakerkeid.



Joonis 1.59. Külmakerkepragu 2016 kevadel Sillaotsa ristmikul. Pragu on jätkunud veidi ka katselõigis, aga terasvõrguni see pole jõudnud. Musta ringiga näidatud koht on sama, mis joonisel 1.57 kujutatud musta ringiga piirkond. Parempoolne foto on võetud Sillaotsa ristmiku rekonstrueerimistööde ajal suunaga Paide poole.

Katselõigu ehitamise käigus otsustati, et asfalteeritakse ka teelõik, mis jääb Pärnu jõge ületava silla ja katselõigu vahele. Kui katselõigis oli asfaltbetooni paksus kuni 10 cm (ca 2 cm tasanduskiht ja 4 + 4 cm asfaltbetooni geosünteedi peal), siis lisanduvast lõigust kasutati vaid 4 cm ülekattet.

2016 talvel ilmnesid lõigust mitmed praod, nagu näidatud alljärgnevatel fotodel (joonised 1.60...1.64). Lisaks võeti kolmest kohast ka puurkehad, mis näitasid, et pragu on tekkinud samasse kohta, kus on olnud vana pragu.



Joonised 1.60 ja 1.61. Rattajälje tekkinud põikpragu; vana pragu oli rattajäljes peegeldunud ülekattesse sarnaselt, kui oli allolevas asfaltkattes.

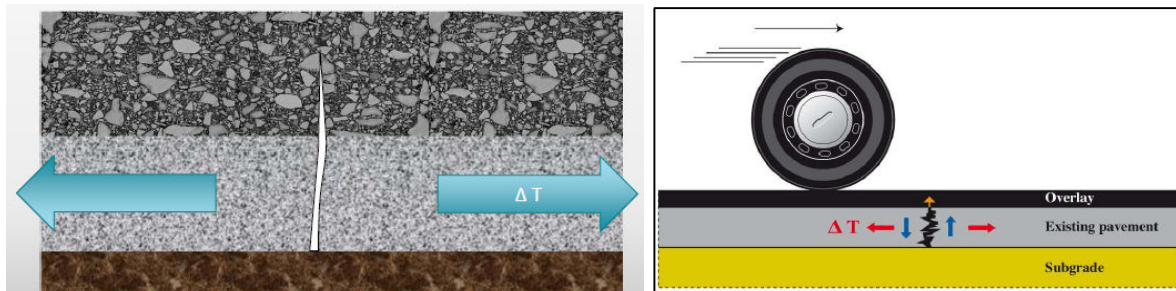


Joonised 1.62 ja 1.63. Põikpragu on peegeldunud ülekattes pea kogu tee ulatuses.



Joonis 1.64. Muud objektile leitud praod olid nii põik- kui pikipraad.

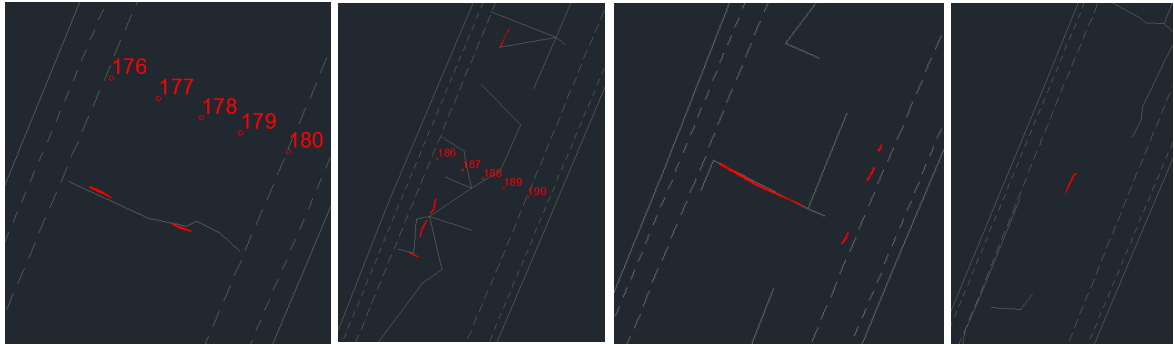
Uude ülekattes ilmnenud pragusid võib teatud mõttes liigitada kaheks – temperatuurimuutustest tingitud praod ja liikluse toimet ilmnenu praod. Teelõigul oli kaks teistest pragudest laiemat põikpragu, mis läbistavad teekatet peaaegu terves laiuses ja mis on tõenäoliselt ilmnenu peamiselt temperatuurikõikumistega seoses. Ülejäänud praod meenutavad võrkprao algeid, mis on tingitud liikluse toimest ja arvatavasti sellest, et allolevas asfaltkattes olevad praod liiguvad liikluse toimet. Ehk katselõigul on välja tulnud kaks peegeldusprao liiki, mida kujutatakse joonistel 1.65 ja 1.66.



Joonised 1.65 ja 1.66. Praod vanast asfaltkattest uude ülekattes võivad kanduda läbi temperatuurimuutuste, liikluskooormuse või mõlema koostoimest. Katselõigul on selgelt eristatavad mõlemad liigid.

Asfaltkattes nähtud praod mõõdistati üles ja võrreldi enne katselõiku tehtud geodeetilise mõõdistusega, millest nähtub, et põikprao kattuvad vanade pragude asukohtadega, kuid pikipraad enamasti mitte (joonis 1.67). Kõik puurkehad näitasid, et pragu ülekattes oli ka pragu

vanas teekattes, kuid see ei tähenda tingimata seda, et pragu (eriti väsimuspragu) ei oleks võinud tekkida ekspluatatsiooni käigus, s.t see ei olnud (veel) nähtav katselõigu ehitamise ajal.

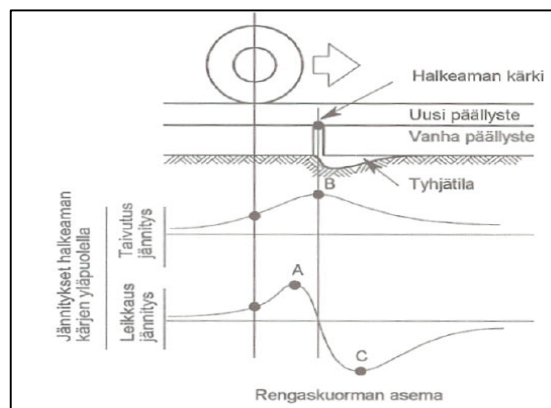


Joonis 1.67. Katselõigule järgnenud 4 cm paksuse ülekattega sektsioonis olevate pragude asukohtade võrdlus enne katselõigu ehitamist mõõdistatud pragude asukohtadega.

Puurauke puuriti ka katselõigus kohtades, kus oli vanas teekattes olnud sees praod. Puuriti kõikidest sektsioonidest nii põik- kui pikipragude kohtadest. Joonistel 1.68...1.70 on kujutatud Stargridi sektsioonis olevat põikpragu, saadud puurkeha ja -auku. Nähtu meenutab pilti teooriast joonisel 1.71, mille kohaselt on üks peegeldusprao tekkemehanism see, kui prao alt on toimunud erosioon ja seetõttu kate liigub vertikaalselt tingides prao tekke. Antud juhul on tühimik küll asfaltkatte sees, kuid see võib saada kunagi põhjuseks sellele, miks just seal peegelduspragu ilmneb, eriti kui kasutusel ei oleks asfaldivõrku. Joonis 1.71 on ka ilmekaks põhjuseks sellele, miks asfaldivõrkude tootjate paigaldusjuhendid nõuavad, et praod laiussega alates 3...6 mm (erinevatel tootjatel on eri nõuded) tuleb puhastada ja täita. Puurkehast nähtub, et pragu ei ole hakanud liikuma ülespoole, isegi tasanduskiht on täiesti terve.

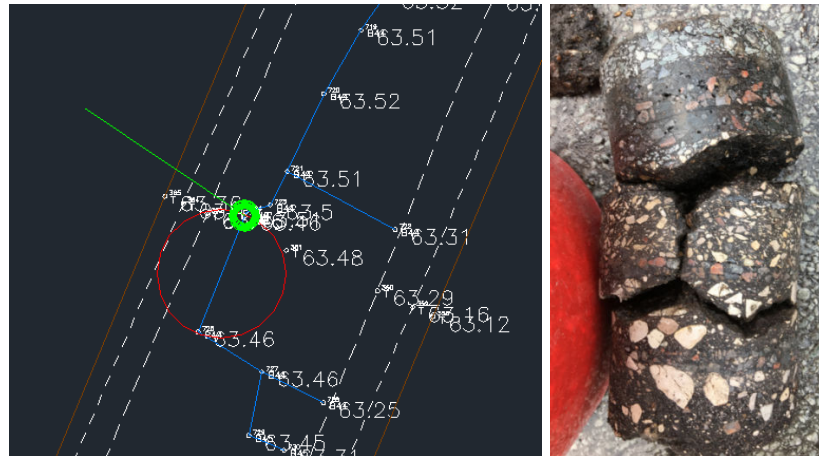


Joonised 1.68...1.70. Stargridi sektsioonis olnud põikpragu.



Joonis 1.71. Joonisel 1.69 nähtav meenutab pilti teooriast, et peegeldusprao üks tekkemehanism on prao alla erodeerunud tühimik, mis põhjustab asfaltkatte vertikaalsuunalist liikumist.

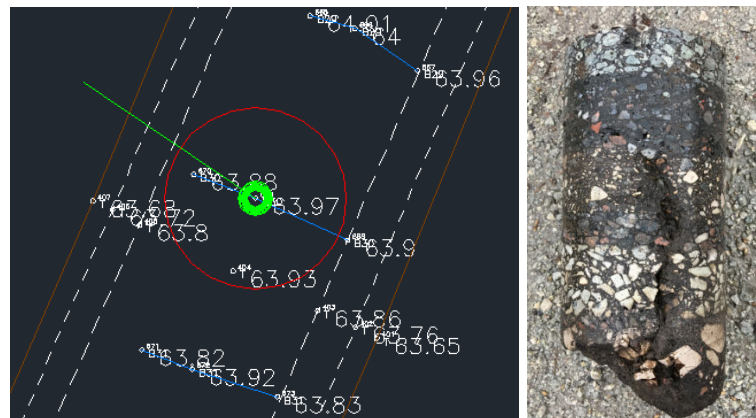
Joonistel 1.72 ja 1.73 on kujutatud Stargridi sektsioonis olnud põikpragu. Tulemus on sama, mis eelmise praio osas ehk pragu on jäänud alla ega ole hakanud liikuma üles. Huvitav on see, et põikpragu näib olla tekkinud vaid vanas asfaltbetoonis ja vähemalt sellel puurkehal on asfaltkatte all olev mustsegu terve.



Joonis 1.72 ja 1.73. Stargridi sektsioonis puuritud pikipragu.

Stargridi ja Tensari sektsioonide vahele jäänud referentssektsioonis puuriti põikpragu, mida kujutatakse joonistel 1.74 ja 1.75. Vaadates lähemalt nii puurkeha kui -auku, oleks justkui nähtavad mingid ilmingud sellele, et pragu on liikunud ülespoole, nagu nähtub joonisel 1.76 ja 1.77. 2017 suvise ülevaatusel ajal oli selles kohas näha teekattes õhkõrn praosarnane joon, kuid otseselt pragu sellest tuvastada võimalik ei olnud ning see ei jäänud ka fotole.

Võrreldes katselõigule järgnenud teosaga, kus kasutati vaid 4 cm paksust asfaltbetooni, ei ole seal, kus kasutati ilma geosünteedita 4+4+2 cm asfaltkatet pragusid veel välja tulnud. Avastus kinnitab kirjandusest leitud teooriat, et 1 toll (ca 2,5 cm) asfaltkatet pidurdab peegeldusprao ilmumist ülekattesse ühe aasta võrra. 4 cm asfaltkattega teelõigul võttis praod uuestiilmumine aega ca 2 aastat, 10 cm ülekattega referentslõikudel peaks praod ilmnema seega ca 5 aasta pärast peale ehitamist.



Joonis 1.74 ja 1.75. Referentslõigul puuritud põikpragu.

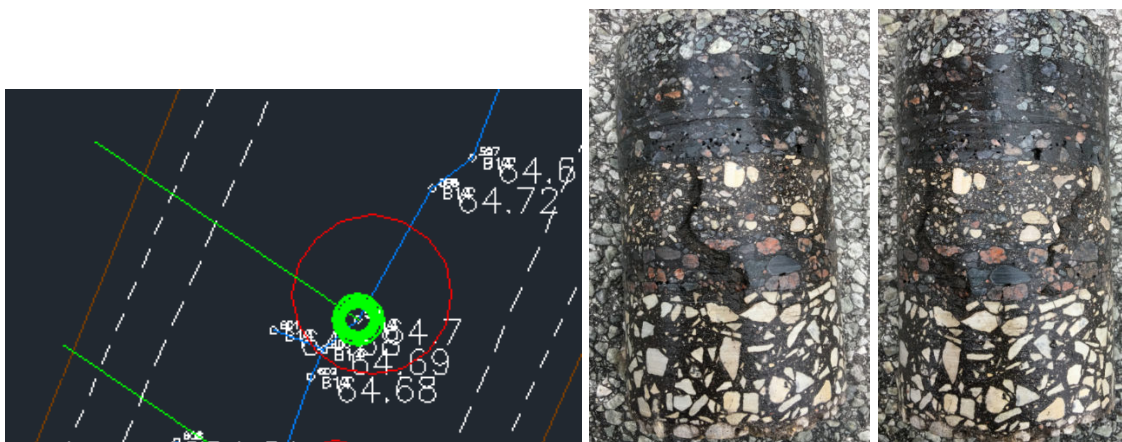


Joonis 1.76. Vaadates lähemalt joonisel 1.75 kujutatud puurkeha leiab justkui ilminguid sellele, et pragu oleks hakanud liikuma alt ülespoole.



Joonis 1.77. Vaade puuraugu sisse näitab ka teise prao olemasolu, mida puurkehast ei nähtu.

Tensari sektsioonis puuriti pikipragu, mida kujutatakse joonisel 1.78 ja 1.79. Vaadates lähemalt puurkeha nähtub, et samas ristlõikes on kaks pragu ehk tegemist on olnud kas võrkprao või selle algega. Igal juhul pragu ei ole liikunud ülespoole nagu toimus 4 cm paksuse ülekattega sektsioonis. Ka siin on näha, et pragu on sees vanas asfaltkattes, mitte selle all olevas mustkattes.



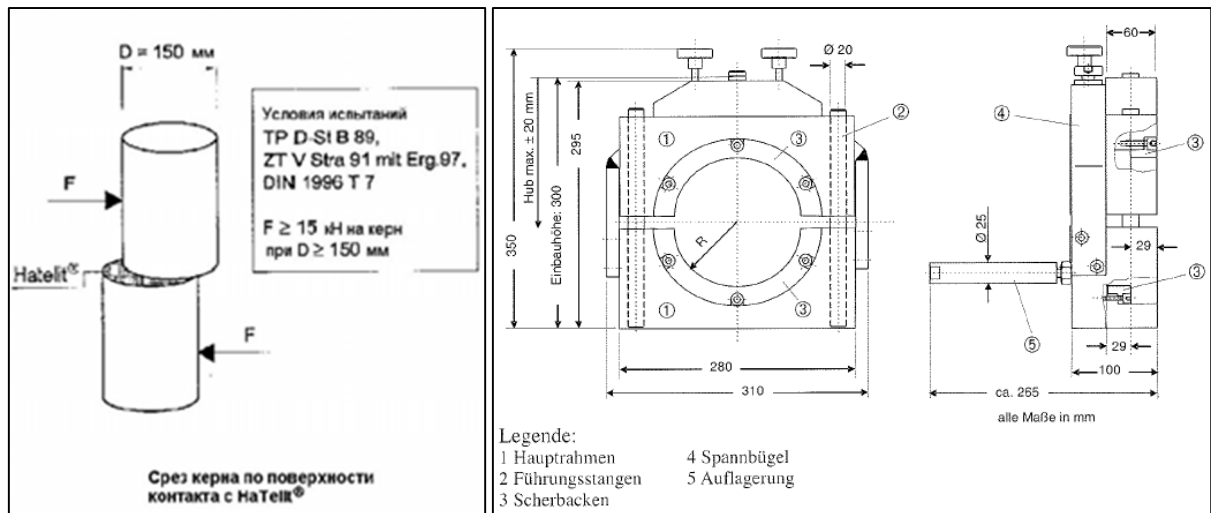
Joonised 1.78 ja 1.79. Tensari sektsioonis puuritud pikipragu.

Katselõigu ehitamise ajal nähtus probleeme nakkega, s.t asfaltkate ei haakunud tugevalt geosünteedi külge. Aasta pärast ehitust võeti puurkehad ja nendest lagunes laiali üks Tensari sektsioonist võetud proovikeha. Pärast seda ei lagunenud enam ükski puurkeha, mis näitab, et

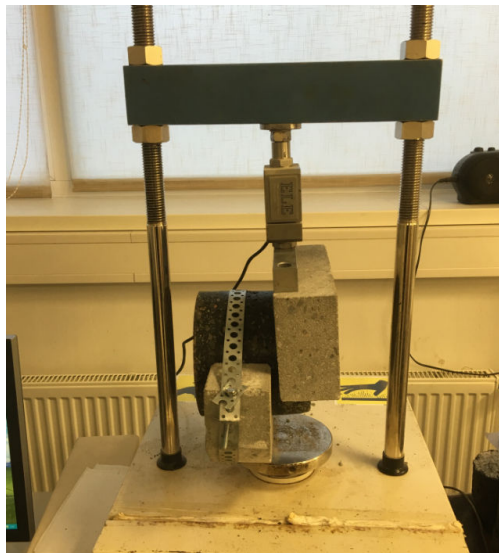
aja jooksul oli nake suurenenud. Saamaks lisaks visuaalsele vaatlusele ka mõõdetavaid väärtusi, otsustati sooritada Leutner test 150 mm läbimõõduga puurkehadele.

Saksamaal ja Austrias on nõue asfaltkihtide omavahelise nakke testimiseks. Selleks kasutatakse Leutner testi, mis on oma olemuselt väga lihtne. Teelt puuritakse 150 mm läbimõõduga puurkeha, mis kinnitatakse rakisesse (joonis 1.81) nii, et alumine osa on fikseeritud ning uuritavat asfaltkatet hakatakse nihutama mõõtes samal ajal jõudu ja siiret. Et asfaltkate töötaks ühtse tervikuna, on nõutud, et jõud peab oletama 10 kN. Katse tööpõhimõtet on kujutatud joonisel 1.80.

Eestis taolist testi tehtud ei olnud ning seega ei olnud olemas ka testimiseks vajalikku varustust. Tehnokeskus leidis siiski „hädapärase“ võimaluse, kuidas saada esmaseid tulemusi jõu mõõtmisel. Leiutatud ajutine rakis ja katseseade on kujutatud joonisel 1.82.



Joonised 1.80 ja 1.81. Leutner-testi põhimõte ning rakis puurkeha kinnitamiseks.



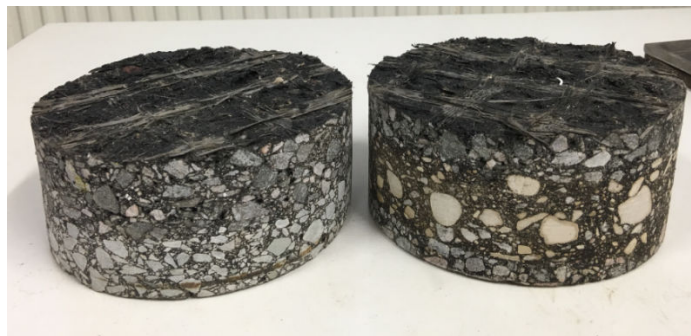
Joonis 1.82. Improviseeritud Leutner-testi rakis AS Teede Tehnokeskuses.

Kokku katsetati seitset erinevat puurkeha:

- Joonisel 1.83 on kujutatud Stargridi sektsioonist võetud puurkeha, mille vastupanu koormusele võrgu tasapinnas oli 1,61 kN. Purunemine toimus võrgu tasapinnas ehk võrk ise rebiti puruks enne, kui toimus purunemine nakke tõttu asfaltkihtide vahel, mis näitab, et võrk oli asfaltkatte vahele väga tugevalt kinnitunud ja nakkeprobleeme ei esinenud.

- Teisel Stargridi katsekehal see-eest tulemust kirja ei saadud, kuna materjali nake alusega oli niivõrd nõrk (joonis 1.84).
- Kolmanda Stargridi katsekehaga saavutati jõuks 0,69 kN ning nõrgimaks kohaks sai võrgu nake alumise asfaltbetooni külge.
- Joonisel 1.85 on kujutatud Tensari sektsioonist võetud puurkeha, mille vastupanu koormusele võrgu tasapinnas oli 1,33 kN. Nõrgimaks kohaks sai asfaldivõrgu peale paigaldatud asfaldi nake geosünteediga ehk geosüntee oli küll tugevalt alumise kihi küljes mitte, kuid pealmine asfaltkate geosünteedi küljes mitte. See viitab, et paigalduseks kasutatud bituumeni hulk ei olnud piisav.
- Terasvõrguga saadi katsetulemuseks 1,3 kN ja puurkeha purunes mössi tasapinnast.
- Testiti ka kulumiskihti (ehk kahe asfaldikihi omavahelist naket ilma geosünteedi olemasoluta). Tulemuseks saadi kõikidest katsetest kõige nõrgem väärtus – 0,8 kN (joonis 1.86).

Asfaltkatte kui terviku toimimiseks on oluline kahe asfaltkihi vahel olev nake. Kui see ei ole piisav, jääb ka kihi paindejäikus nõrgaks, samuti võib tekkida olukordi, kui vesi pääseb nõrgalt seotud kihtide vahele. Peamine tegur nakke tagamiseks on piisava bituumenikoguse kasutamine ja asfaldivõrgu paigaldamise ajastus bituumenemulsiooni lagunemise suhtes – paigaldada tuleb siis, kui emulsioon on lagunemas ehk värv on muutumas pruunist mustaks.



Joonis 1.83. Stargridi testimine – tulemuseks saadi 1,61 kN, nake asfaltkatte küljes oli tugev.



Joonis 1.84. Teise Stargridi testimine – tulemust kirja ei saadud, võrk irdus alumiselt kihilt.



Joonis 1.85. Tensari testimine – tulemuseks saadi 1,33 kN, irdus pealmine asfaltkate geosünteedi küljest.



Joonis 1.86. Kulumiskihi testimine. Tulemuseks saadi vaid 0,8 kN.

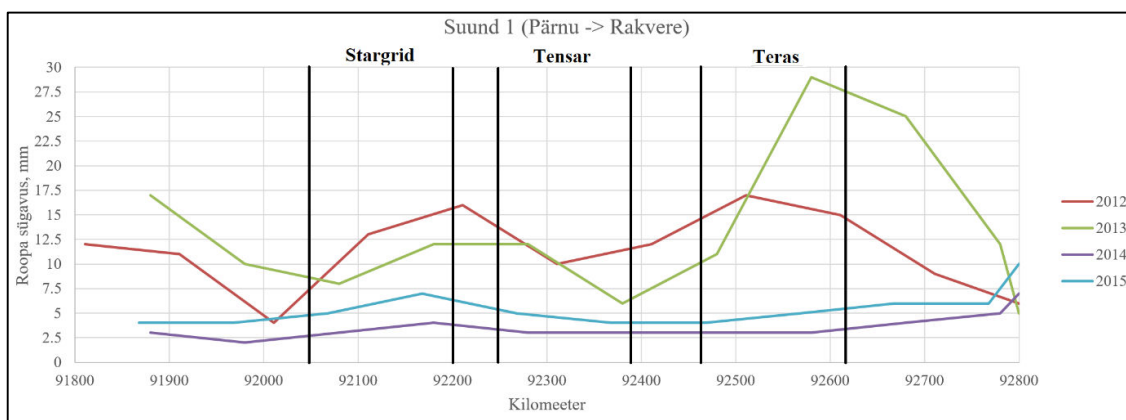
1.3.2. Pikiroobas

Enne ehitamist esines teekattes kohati märkimisväärne roobas, mis on Teeregistri andmetel suurenenud aastatel 2012...2013 hüppeliselt (joonised 1.87 ja 1.88). Kõige suuremad roopa sügavused olid enne katselõigu ehitust suunal 1 terasvõrgu sektsioonis (veidi alla 30 mm) ja suuna 2 Stargridi sektsioonis (ca 25 mm). Joonistel 1.87 ja 1.88 on andmed ka pärast katselõigu ehitamist aastatest 2014 ja 2015, millest nähtub, et ca ühe aastaga on kattesesse tekkinud sisse umbes 2.5 mm roobas mõlemas suunas, mis suurenes järgmise aastaga ca 5 mm peale, kuid see olenes lõigust.

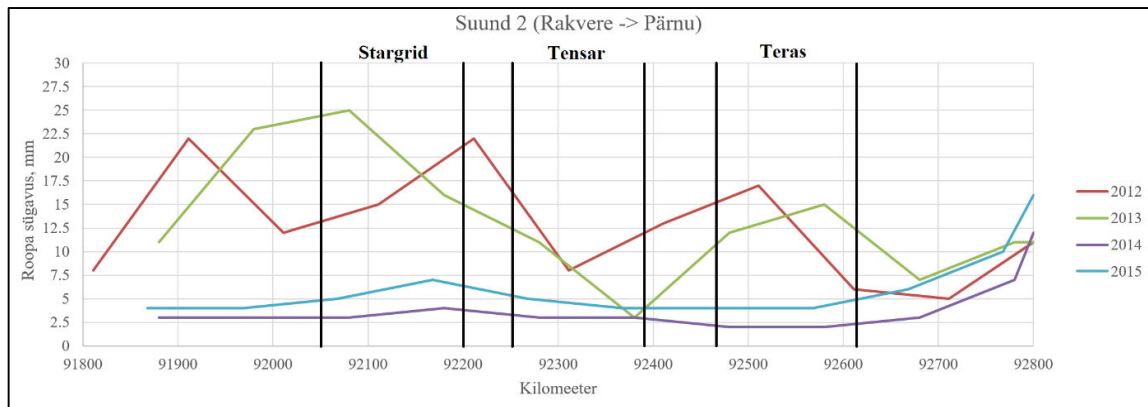
Iga aasta sügisel (2014, 2015, 2016) ja suvel 2017 mõõdeti roobast ka käsitsi. Kõikide mõõtmiste puhul kasutati 1,5 m pikkust latti koos mõõtekiiluga, mistõttu tuleb saadud tulemusi lugeda suhteliseks (tavapäraselt tuleb kasutada 3.0 m latti). Mõõtmisel otsiti kõige suuremat roopa väärtust välimisest rattajäljest. Tulemused on esitatud joonisel 1.89 ja 1.90.

Roopa sügavuse osas kerkib esile Stargridi sektsioon, kus on roobas arenenud kõige kiiremini. Andmed võimaldavad järeldada, et kasutatud geosünteeet on mõningal määral roopa arengut mõjutanud, kuid selle täpne mõju on teadmata. Antud lõigul oli ka varasemalt märkimisväärne roobas, mis mõjutab selle peal asetsevat uut asfaltbetooni. Kõige sügavama roopaga kohast võeti roopa servast puurauk nägemaks, kas lihkepind on geosünteedi peal või mujal (joonised 1.91 ja 1.92). Puuraugu põhjal ei saa järeldada, et roobas oleks tekkinud just nimelt asfaldivõrgu kasutamise tõttu, pigem asetseb probleem alumises kihis, kuid siiski võib oma osa olla ka geosünteedil.

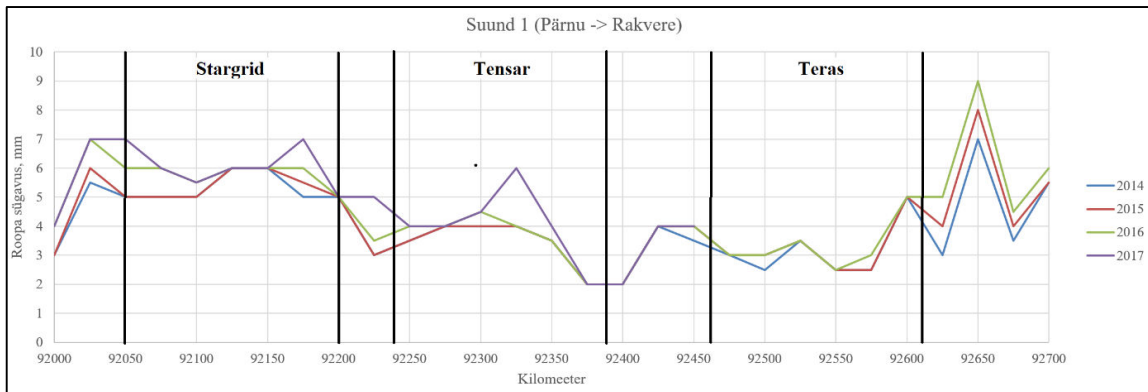
Vaadates roopa arengut ka muudes lõikudes nähtub, et selle suurust mõjutavad pigem muud tegurid nagu tee paiknemine päikesevalguse, varjude suhtes ja alumise asfaltbetooni omadused, kui geosünteedi kasutamine asfaltkihtide vahel.



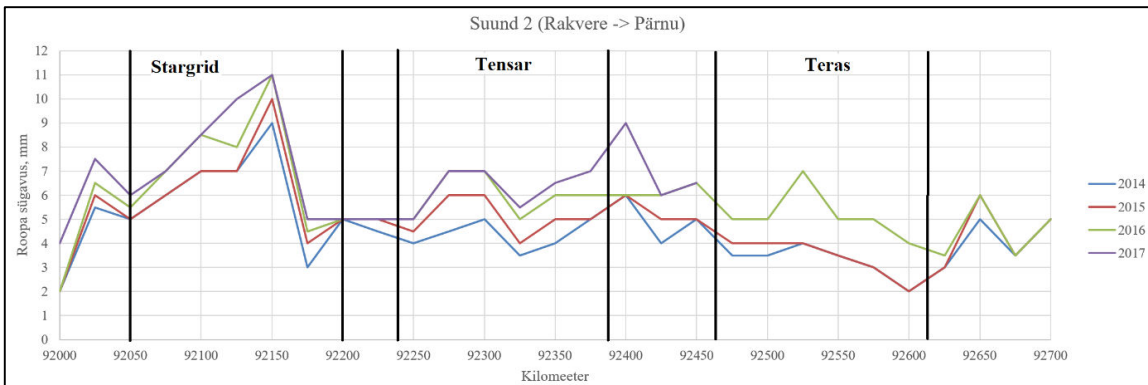
Joonis 1.87. Roopa sügavus suunal 1 (suund Pärnu -> Rakvere) Teeregistri andmetel.



Joonis 1.88. Roopa sügavus suunal 2 (suund Rakvere -> Pärnu) Teeregistri andmetel.



Joonis 1.89. Roopa sügavus suunal 1 mõõtes latiga.



Joonis 1.90. Roopa sügavus suunal 2 mõõtes latiga.



Joonised 1.91 ja 1.92. Puurkeha puurimine kõige sügavama roopaga kohast.

1.3.3. Kandevõime FWD seadmega

Igal kevadel ja sügisel mõõdeti katselõigul kandevõimet FWD seadmega mõlemast sõidusuunast iga 50 m tagant, kui nii, et suundade mõõtmispunktid olid omavahel 25 m võrra nihutatud. Kandevõime tulemused on esitatud joonistel 1.93 ja 1.97 ning joonistel 1.94...1.96 ja 1.98...1.00 on näidatud vajumikausi parameetrid.

Võttes aluseks kandevõime tasanduskihilt enne geosünteedide ja kattekihtide paigaldust nähtub, et graafik järgib sama kuju ehk suurim kandevõime mõjutaja igas lõigus on olemasolev konstruktsioon. Samuti nähtub see, et kandevõimete variatsioon eri aastatel on suur – eriti selgelt eristuvad 04.05.16 ja 20.10.16 mõõtmised, kus esimene on üks kõige madalamaid kandevõimeid ja teine suuremaid. 04.05.16 mõõtmisel saadi väga kõrge SCI ja ka suurem BDI väärtus. Vaadates samaaegselt ka BCI väärtust, siis nähtub, et seal ei ole suuri muutusi. Järelikult mõjutab tee toimivust peamiselt katendi pealmine osa, eriti vahemik 0...300 mm. Geoloogilistest andmetest nähtus, et teekatend ei ole dreniv ja kihtide vaheldumine on suur. Kandevõime vaheldumine on seega tingitud peamiselt niiskussisalduse muutustest.

Madalamad kandevõimed ja märkimisväärselt suured SCI väärtused 04.05.16 (v.t joonis 1.94 ja tabel 1.2) on selgitatavad mõõtmisaegse temperatuuriga. Mõõtmisaegsed kattetemperatuurid on olnud järgnevad:

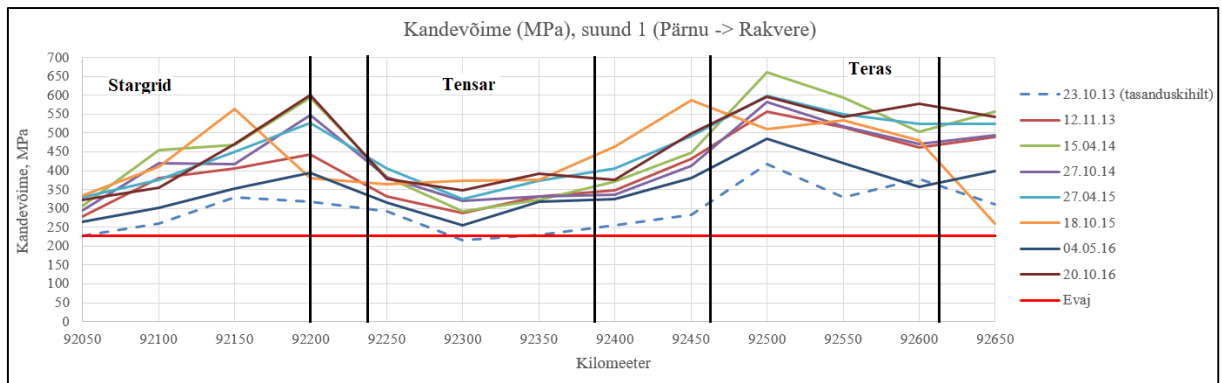
- tasanduskihilt enne ehitust (23.10.13) – AB temperatuur 4,5°C;
- peale ehitust 2013 sügisel (12.11.13) – AB temperatuur 6,0°C;
- 2014 kevadel (15.04.14) – AB temperatuur 12,0°C;
- 2014 sügisel (27.10.14) – AB temperatuur 6,5°C;
- 2015 kevadel (27.04.15) – AB temperatuur 12,5°C;
- 2015 sügisel (18.10.15) – AB temperatuur 6,7°C;
- 2016 kevadel (04.05.16) – AB temperatuur 25,5°C;
- 2016 sügisel (20.10.16) – AB temperatuur 7,8°C.

... millest nähtub, et 04.05.16 mõõtmisaegne temperatuur on olnud märkimisväärselt kõrgem, kui muudel aegadel, mis annab selgituse SCI parameetritele. Kuigi FWD mõõtmistulemuste teisendamisel kandevõimeks on sees ka temperatuuri arvestav tegur, mõjutab arvatavasti paks asfaltkate selle omadusi rohkem, kui valem arvestab.

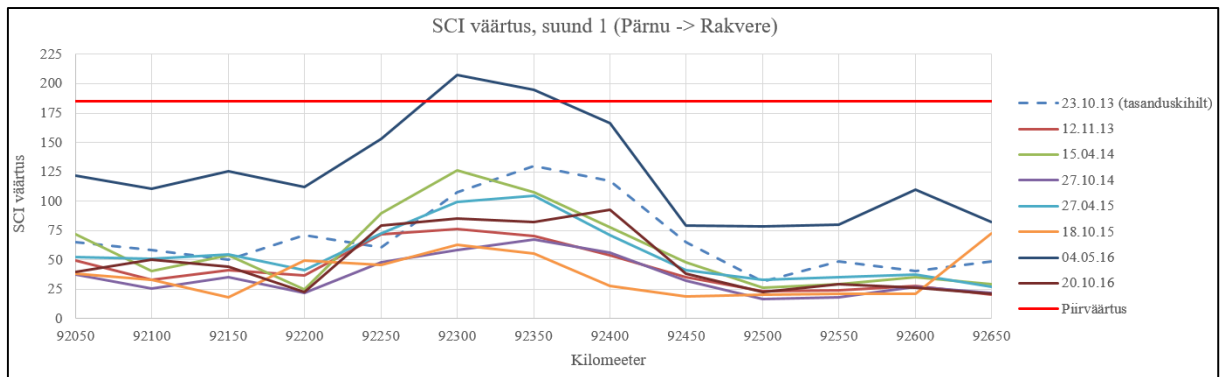
Detailsema võrdluse jaoks on tabelis 1.1 esitatud kandevõime protsentuaalne muutus eri mõõtmisaegadel võrreldes tulemusega, mis saadi tasanduskihilt. Ehk 8 cm asfaltkatet koos geosünteediga on tõstnud teekatendi kandevõimet keskmiselt ca 24...31% isegi, kui lugeda sisse 2016 kevadise mõõdistuse märgatavalt madalamad tulemused, kui on saadud muudel aegadel. Klaaskiust geosünteede sisaldavate lõikude kandevõimed suurenesid mõnevõrra vähem, kui referentslõikudel ja terasvõrguga lõigul. Põhjus on selles, et asfaldivõrkude paigaldamiseks kasutati asfaltkihtide vahel rohkelt bituumenit, mis vähendab kogu asfaltbetoonkihi seotust.

Tabel 1.1. Eri lõikude keskmised kandevõimemuutused protsentuaalselt võrreldes mõõtmisega tasanduskihilt

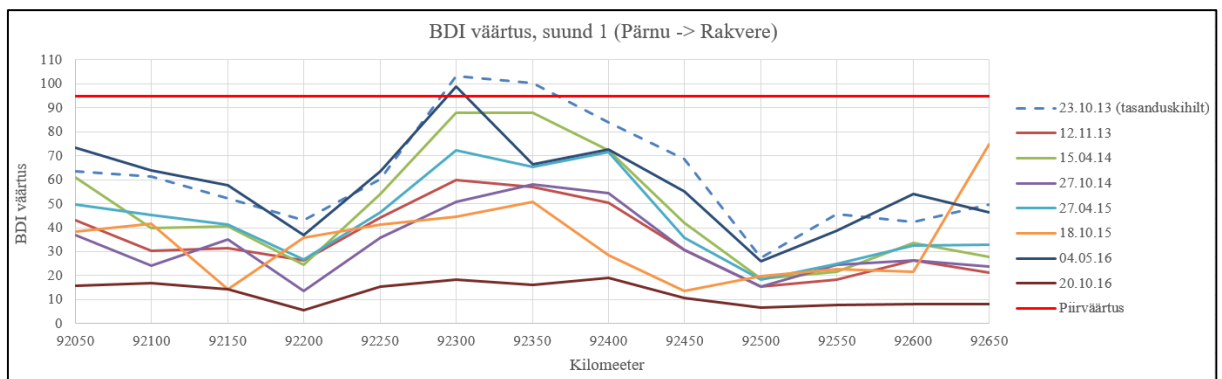
	valmis 2013	kevad 2014	sügis 2014	kevad 2015	sügis 2015	kevad 2016	sügis 2016	Keskmine
Stargrid	25,8	45,4	25,0	28,4	33,5	8,7	28,8	27,9 %
Tensar	24,1	33,4	25,6	27,4	28,1	2,0	31,5	24,6 %
Teras	34,7	45,8	26,4	28,4	25,5	5,9	34,3	28,7 %
Referents (kõik koos)	35,7	49,4	29,3	33,9	25,7	9,0	35,3	31,2 %



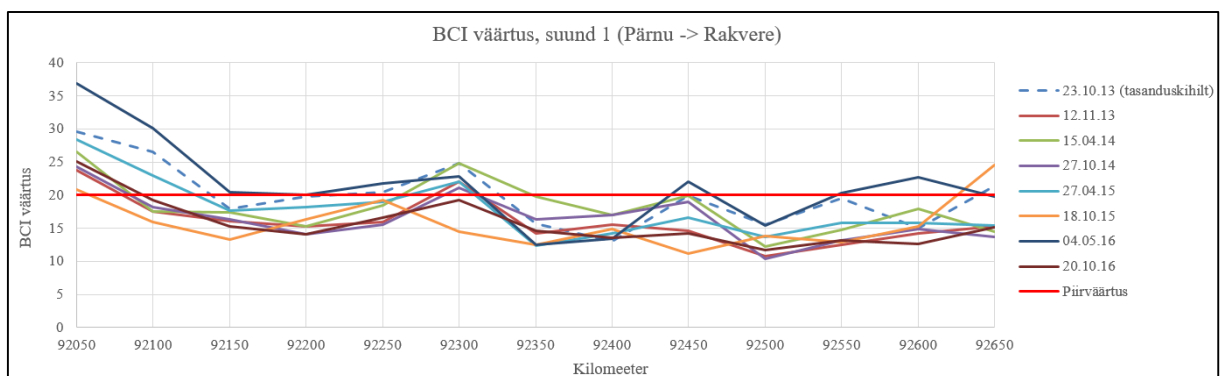
Joonis 1.93. Suuna 1 kandevõime välimisest rattajäljest.



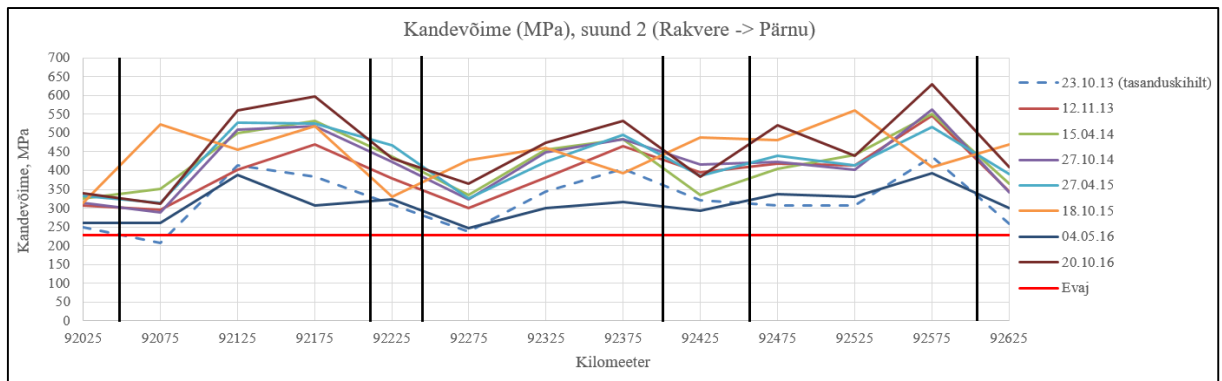
Joonis 1.94. Suuna 1 kandevõimemõõtmise SCI väärtus.



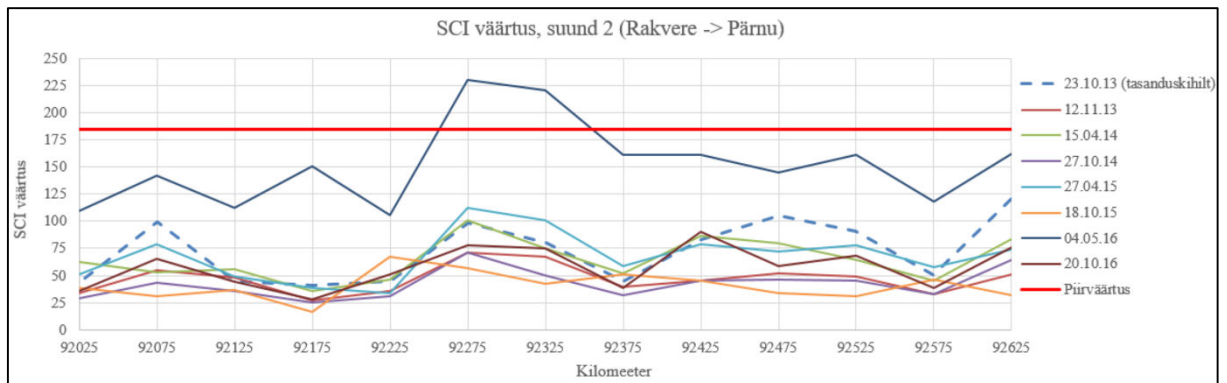
Joonis 1.95. Suuna 1 kandevõimemõõtmise BDI väärtus.



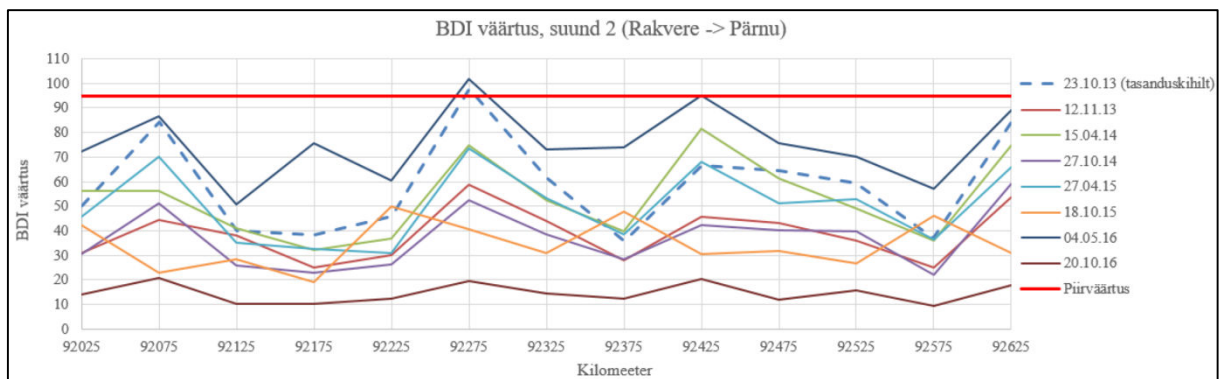
Joonis 1.96. Suuna 1 kandevõimemõõtmise BCI väärtus.



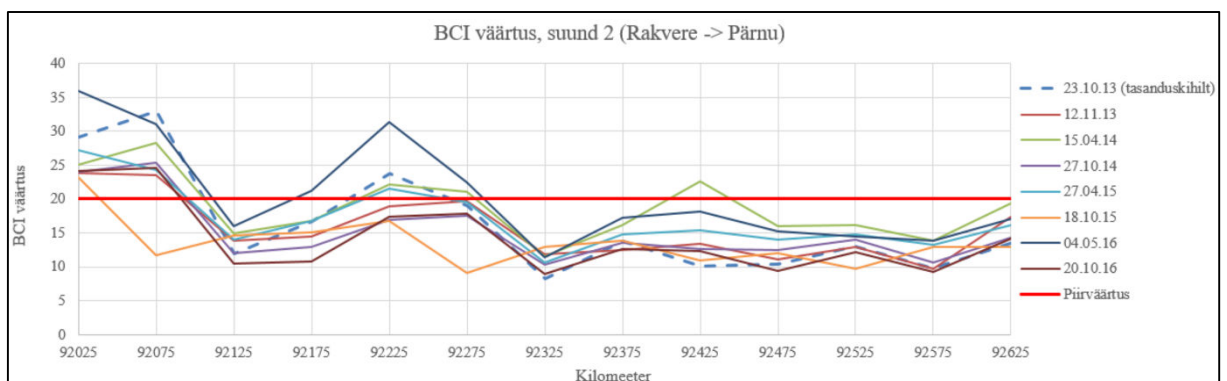
Joonis 1.97. Suuna 2 kandevõime välimisest rattajäljest.



Joonis 1.98. Suuna 2 kandevõimemõõtmise SCI väärtus.



Joonis 1.99. Suuna 2 kandevõimemõõtmise BDI väärtus.



Joonis 1.100. Suuna 2 kandevõimemõõtmise BCI väärtus.

Kandevõimemõõtmiste tulemustelt näeb veel järgmist:

- suunal 1 tasanduskihtl mõõdetud keskmine kandevõime oli 295 MPa. Kohe pärast ehitust katte pealt mõõdetud keskmine kandevõime oli 404 MPa ja kõikide mõõtmiste

keskmise 427 MPa. Kasutades neid väärtusi Odemarki valemis saadakse, et asfaltbetooni e-moodul on vastavalt 2450 ja 3300 MPa;

- suunal 2 tasanduskihilt mõõdetud keskmine kandevõime oli 322 MPa. Kohe pärast ehitust katte pealt mõõdetud keskmine kandevõime oli 400 MPa ja kõikide mõõtmiste keskmine 413 MPa. Kasutades neid väärtusi Odemarki valemis saadakse, et asfaltbetooni e-moodul on vastavalt 1460 ja 1800 MPa.

Seega suurenes suuna 1 kandevõime rohkem, kui suunas 2, teisisõnu suurenes laiendatud teeosa rohkem, kui vana tee. Tõenäoliselt on kandevõimete erinevused seotud kogu teekatendi niiskusréžiimiga.

Kuna paigaldatud geosünteedid paiknevad ca 8 cm sügavusel teekatte pinnast, on huvipakkuvaks näitajaks veel kandevõimemõõtmiste SCI parameeter, mis kirjeldab teekatendi olukorda kuni 300 mm sügavuseni. Tabelis 1.2 on esitatud SCI näitaja protsentuaalsed muutused võrreldes mõõtmisega tasanduskihilt eri sektsioonide kaupa, kust nähtub, et kõige vähem on SCI parameeter paranenud Tensari sektsioonis. Tulemus ei ole üllatav, kuna just Tensari materjali küljes on geotekstiil, mille ülesanne on tekitada barjääri ja pingestutamise olukord. Samuti seob kasutatav geotekstiil enim bituumenit.

Tabel 1.2. Eri lõikude SCI parameetri muutused protsentuaalselt võrreldes mõõtmisega tasanduskihilt

	valmis 2013	kevad 2014	sügis 2014	kevad 2015	sügis 2015	kevad 2016	sügis 2016	Keskmine
Stargrid	38,6	11,0	75,0	5,4	95,7	-50,7	28,0	29,0 %
Tensar	29,8	-6,3	56,3	-6,9	64,8	-55,9	18,1	14,3 %
Teras	70,4	30,2	98,5	15,3	116,4	-48,4	49,9	47,5 %
Referents (kõik koos)	91,3	48,5	105,5	47,4	130,7	-41,2	66,0	64,0 %

1.4. Katselõigu kokkuvõte

Katselõigu näol on tegemist tüüpilise Eesti teega, millele ei ole tehtud rekonstrueerimist ja mis on arenenud nõ omasoodu. Seotud kihtide paksused on võrdlemisi suured (ca 20 cm) ja nende pealispind on pragunenud. Esinevad defektid on külmakerkest tekkinud pikipragu (osad pikipraad on arvatavasti põhjustatud ka kunagisest muldkeha laiendamisest ja asfaltkatte väsimisest), temperatuuri toimet tekkinud põikpraod ja pikiroopad. Võrkpragunemist objektile ei olnud ja kandevõime oli kõrge (üle 300 MPa). Teekatendi geoloogia on väga erinev, s.t kihipaksused ja omadused varieeruvad suuresti. Lisaks on suur varieeruvus ka pinnasevee kõrguses (kohati ulatub veetase katendiarvutuses kasutatava külmumissügavuseni) ja aluspinnases – esineb nii turvast, mulda kui saviliiva.

Tegemist oli seega ideaalse lõiguga, kus testida võimalust parandada tee olukorda geosünteedidega armeeritud ülekattega.

Katselõigul kasutatud geosünteedid valiti vastavalt esinenud olukordadele:

- terasvõrk valiti sektsiooni, kus oli teadaolevalt kõige tõsisem külmakerkepragu;
- klaaskiust ja polüpropüleenist 100/100 kN/m geokomposiit (Tensar) valiti lõiku, kus oli nii piki- kui põikpragused;

- 200/100 klaaskiudvõrk (Stargrid) valiti lõiku, kus pinnasvee tase oli geoloogia järgi kõige kõrgem (eeldatav külmakerge), kus esines palju põik- ja pikipragusid.

Ühtegi defekti katselõigul käesoleva aruande kirjutamiseks tekkinud ei olnud, kui arvata välja lõigu lõpus referentssektisoonis olnud külmakerkepragu ja enne katselõiku olevas 4 cm paksuse ülekattega lõiku tekkinud praod. Defekte ei ole tekkinud ei asfaldivõrkude vahel olnutesse referentssektisioonidesse ega ka armeeritud lõikudesse.

Kirjanduse alusel takistab 1 tolli paksune (2.5 cm) asfaltkate peegeldusprao esiletulekut ühe aasta võrra. 4 cm paksuse ülekattega lõigus sai see kinnitust. Selle kohaselt ei tohiks olla ühtegi pragu sees katselõigus endas, kuna seal on asfaltkate paksus 10 cm ja nii see ka on. Esimesed praod peaksid referentssektisioonides välja tulema aasta-kahe pärast ja ühe puuraugu põhjal nähtus, et pragu on hakanud liikuma ülespoole. Asfaldivõrgud peaksid pikendama seda aega paarist 10+ aastani olenevalt mitmetest eri teguritest, millest peamised on liiklus ja pealmise asfaltkate vastupidavus temperatuurile. Käesoleva töö autor jätkab katselõigu iga-aastast visuaalset jälgimist.

2. TAUSTINFO ASFALDIGEOSÜNTEETIDEST

Käesolevas peatükis tuuakse välja kirjandusest leitav taustinfo seoses asfaldigeosünteedidega.

2.1. Standardikohased kasutusvaldkonnad

Standard EVS-EN 15381:2008 „Geotekstiilid ja geotekstiilipõhised tooted. Nõutavad omadused kasutamisel katendites ja asfaldikihtides“ [1] käsitleb asfaldigeosünteedide kolme tööpõhimõtet:

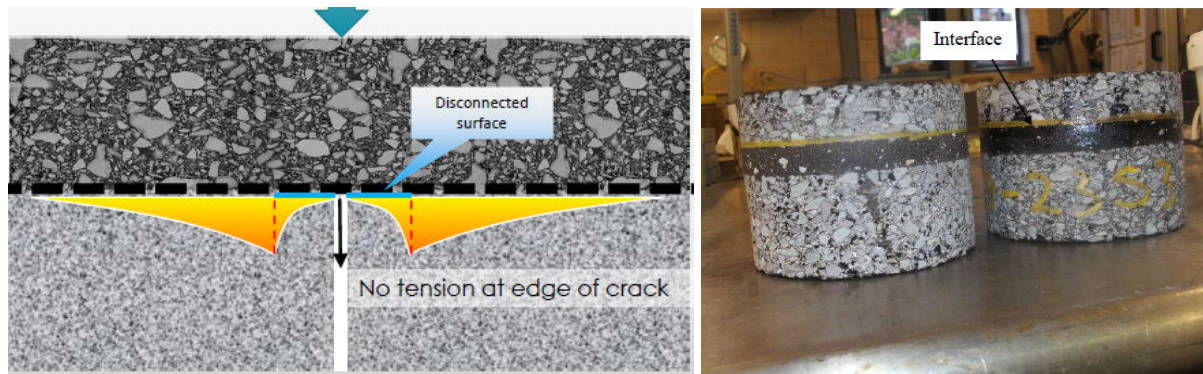
- pingetustamine (ing. *stress relief*, STR);
- vahetõkestamine (ing. *interlayer barrier*, B);
- sarrustamine (ing. *reinforcement*, R).

Tabelis 2.1 on väljavõtte vastavuse tõendamiseks nõutavatest omadustest.

Tabel 2.1. Standardi EVS-EN 15381:2008 kohased asfaldigeosünteedide vastavuse tõendamiseks nõutavad omadused

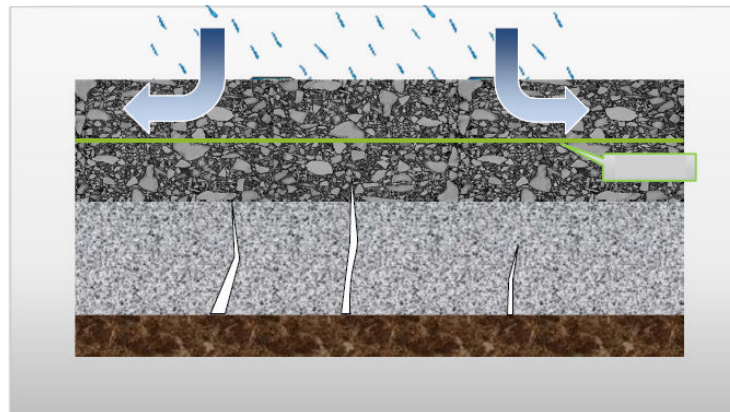
Omadus	Funktsioonid
Tõmbetugevus	Sarrustamine, tõkestamine, pingetustamine
Pikenemine	Sarrustamine, tõkestamine, pingetustamine
Staatiline torketugevus	Sarrustamine, tõkestamine, pingetustamine
Dünaamiline torkekindlus	Sarrustamine, tõkestamine
Bituumenisiduvus	Pingetustamine
Kestvus	Sarrustamine, tõkestamine, pingetustamine (vastavalt kasutustingimustele)

Pingetustamine tähendab SAMI-vahekihi (ing. *stress absorbing membrane interlayer*) moodustamist takistamaks peegelduspragude edasiarenemist (joonis 2.1). SAMI-vahekihti tekitab asfaldigeosünteedi küljes olev geotekstiil, mille ülesanne on imada endasse suur bituumenikogus ($\geq 1,1 \text{ kg/m}^2$), mis tekitab ülemise ja alumise asfaltbetoonkihi vahele elastse vahekihi. SAMI-vahekihi tekitamiseks võidakse kasutada spetsiaalset ilma tõmbeelementideta geotekstiili (ing. *paving fabric*), aga ka pindamiskihte või peeneteralist (kummilisandiga) asfaltbetooni (joonis 2.2). Eestis on pindamise osas tehtud ka katselõik ning esitatud monitooringuaruanne [2], kust selgus, et spetsiaalne pindamistehnoloogia on takistanud kitsaste pikipragude ja võrkpragude, kuid mitte vuugi- ja põikpragude uuestiilmumist. Võimalik põhjus on selles, et pindamiskiht ei tekitas asfaldivõrkudele omast tõmbetugevust, mis on vajalik, et kompenseerida temperatuurimuutustest tekkivaid liikumisi.



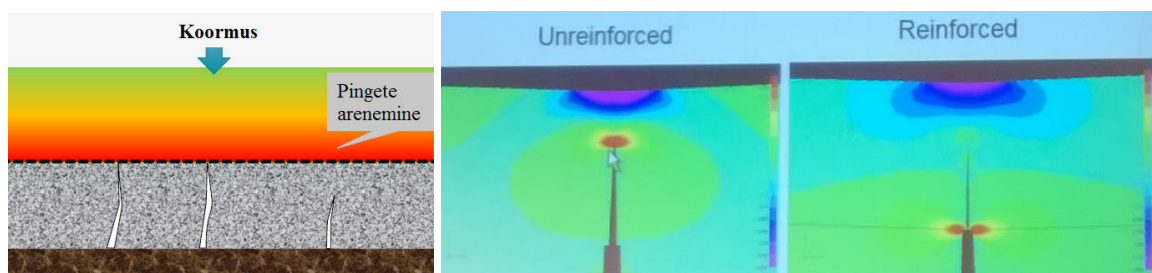
Joonised 2.1 ja 2.2. Pingetustamise ülesanne on absorbeerida alla jäävate pragude liikumised ja mitte lasta neid kanduda edasi pealmisesse asfaltkattes.

Vahetõkestamise eesmärk on takistada vee ja õhuhapniku edasipääsu allolevatesse seotud ja sidumata kihtidesse (joonis 2.3). Eelkõige on see oluline, kui aluses esinevad niiskustundlikud täitematerjalid. Nii takistatakse ka vee juurdepääs külumistsooni ülaltpoolt. Vahetõkestamiskihi loomine toimub samamoodi, kui SAMI-vahekihi puhul ehk kahe asfaltkihi vahele tekitatakse bituumenirikas tsoon.



Joonis 2.3. Vahetõkestamise eesmärk on takistada vee pääsemist all olevatesse kihtidesse.

Sarrustamine tähendab tõmbepingete kandmist asfaltkattest asfaldivõrku. Seega suurendab asfaldivõrk asfaltbetooni tõmbetugevust tõstes selle väsimuskindlust ja takistades (peegeldus)pragude jõudmist uude ülekattes (joonised 2.4 ja 2.5).



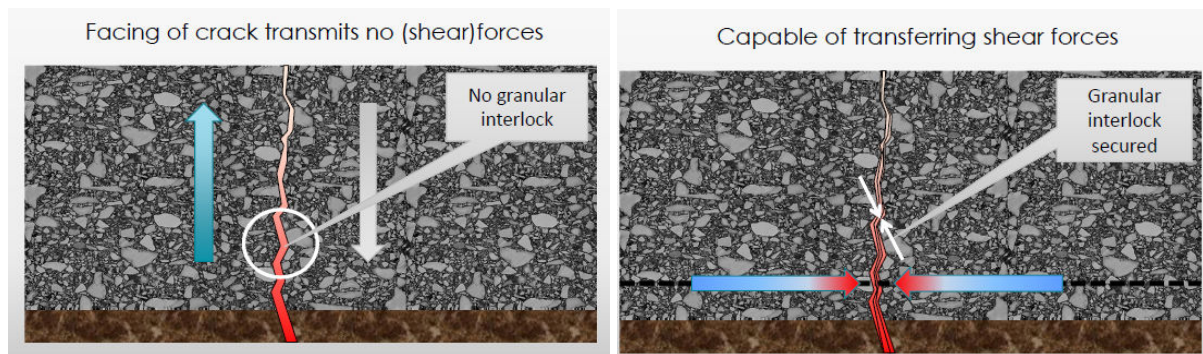
Joonis 2.4 ja 2.5. Asfaldigeovõrk takistab pingete arenemist uues ülekattes kandes need enda tasapinda.

Sarrustamine hoiab pragu koos ega luba kaotada kividevahelist lukustust. Seetõttu tagab asfaldivõrk ka asfaltkatte suurema väsimuskindluse ning nende kasutamist võidakse soovitada ka täiesti uutes teekatetes.

Sarrustamine võib toimuda kahel viisil:

- läbi nakke ehk siis, kui sünteetilised fiibrist (klaaskiud, polümeer või karbon) valmistatud võrgud või komposiidid kleebitakse kahe asfaltkihi vahele;

- läbi täitematerjali terade lukustamise (joonis 2.6) ehk siis, kui kasutatakse kõrge profiiliga võrke, milleks on terasvõrgud ja monoliitsed jäigad võrgud, mis kas kleebitakse või kinnitatakse kahe asfaltkihi vahele.



Joonis 2.6. Sarrustamine läbi täitematerjalide lukustamise. Kihti võib sisse tulla mikropagu, kuid tänu täitematerjalide vahel säilivale kontaktile ei arene pragu selliseks, et see oleks nähtav. Kui prao laius jääb alla 0.3 mm, ei suuda vesi minna praost sisse.

Tabel 2.2 kajastab seda, missugune asfaldigeosünteedi tüüp täidab missugust ülesannet. Tabelist selgub, et kõige universaalsem materjal on asfaldivõrk koos geotekstiiliga, kuid jätab lahtiseks vajalike omaduste (mis on näidatud tabelis 2.1) suurused.

Tabel 2.2. Erinevad asfaldisse paigaldatavad tootegrupid vastavalt täidetavale ülesandele [3].

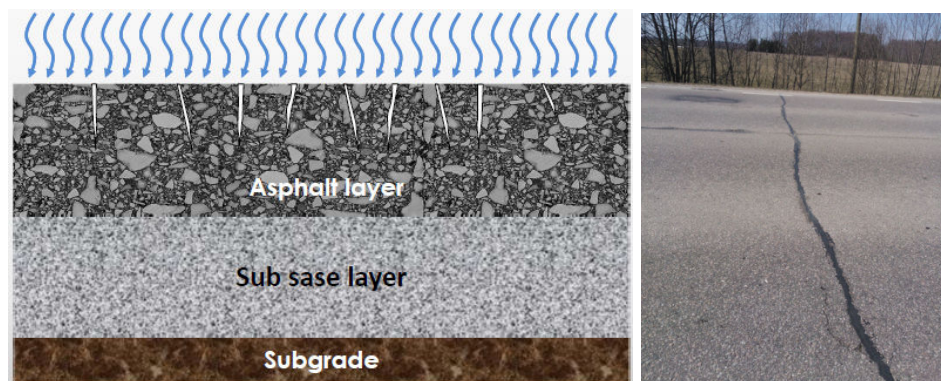
Geosünteed	Mis omadust geosünteed täidab			
	Tõmbetugevus ehk sarrustamine	Veekindel kiht ehk vahetõkestamine	Toime peegelduspragude vastu ehk pingetustamine	Roobaste tekke vähendamine
Terasvõrgud	Jah	Ei	Jah	Jah
Sünteevilised võrgud	Jah	Ei	Jah	Ei
Monoliitsed jäigad võrgud	Mõõdukas	Ei	Ei	Jah
Kootud tekstiilid	Mõõdukas	Ei	Jah	Ei
Mittekootud tekstiilid	Vähe	Jah	Jah	Ei
Võrk koos mittekootud tekstiiliga	Jah	Jah	Jah	Ei
Monoliitsed jäigad võrgud koos mittekootud tekstiiliga	Mõõdukas	Jah	Jah	Jah
Vahekiht pindamisega	Ei	Jah	Jah	Ei

2.2. Asfaldigeosünteedide liigid

Asfaldigeotekstiil (ing. *paving fabric*)

Asfaldigeotekstiil on mittekootud geotekstiil, mida kasutatakse koos vajaliku bituumenihulgaga, et tekitada tõkestamise ja pingetustamise funktsiooni. Tegemist võib olla

tõmbepingeid. Asfaldivõrgud ei saa seega takistada taoliste pragude teket ega arengut ning probleem tuleb lahendada asfaltsegu projekteerimisega.

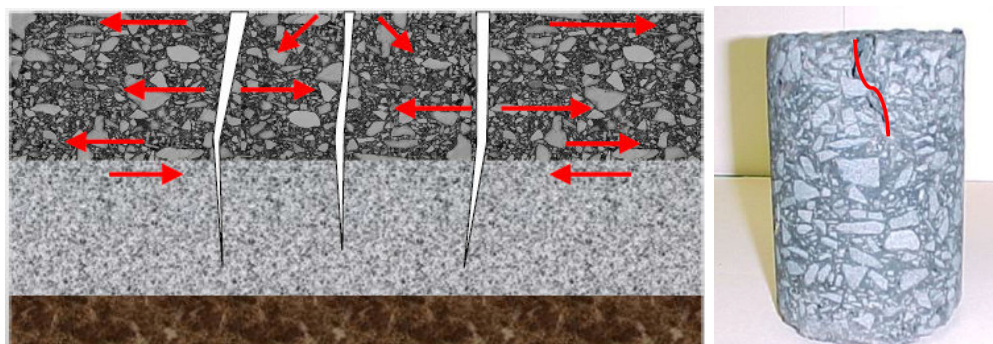


Joonised 2.8 ja 2.9. Temperatuuripraad arenevad ülalt alla ning on reeglina tee teljega risti.

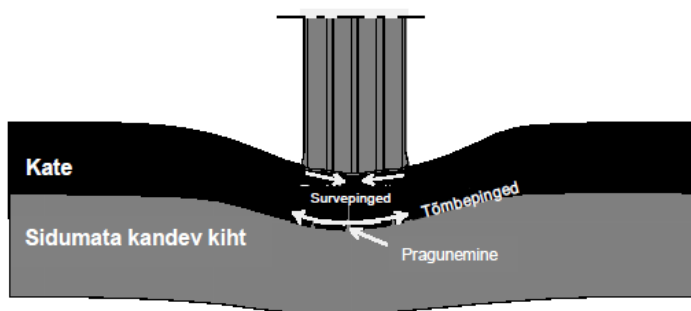
Väsimuspragude tekkeks on kaks võimalust:

- suhteliselt paksude (üle 15 cm) asfaltkatete sees esinevad liikluskoormuse tagajärjel nihkepinged, mida algselt kompenseerib bituumeni elastsus. Asfaltkatte vastupidavusele nihkepingete suhtes aitab kaasa ka asfaltkatte sobiv terasikuline koostis. Bituumeni vananedes selle elastsus väheneb ning mingi aja möödudes tekivad kattesse nihkepingete tagajärjel praod, mis arenevad ülalt alla (joonised 2.10 ja 2.11). Asfaldivõrgud tõstavad asfaltkatte tõmbetugevust (antud juhul suurendavad selle nihketugevust liikluskoormuse suhtes) vähendades seega väsimuspragude teket, kuid taoliste pragude osas peaks keskenduma eelkõige asfaltsegu projekteerimisele;
- õhemate asfaltkatete korral (alla 10 cm) tekivad suured tõmbepinged asfaltkatte alapinda ning väsimuspragu hakkab arenema alt üles (joonised 2.12 ja 2.13). Asfaldivõrgud takistavad väga efektiivselt just taoliste väsimuspragude teket.

Väsimuspragude vältimiseks ei piisa vaid geotekstiilide kasutamisest asfaldikihtide vahel ning vajalik on kasutada asfaldivõrke või komposiite. Võrgu vajalik tõmbetugevus ja valmistusmaterjal sõltuvad teekonstruktsiooni tugevusomadustest (ehk kuivõrd suur on koormuse avaldudes katendi läbipaine) ja liikluskoormusest.



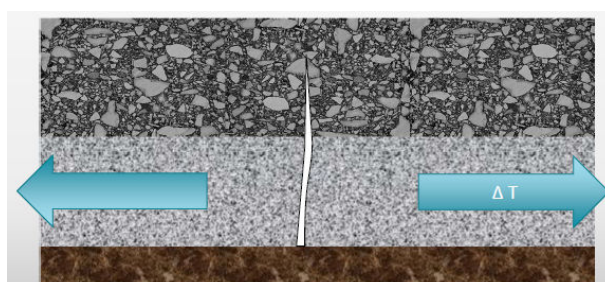
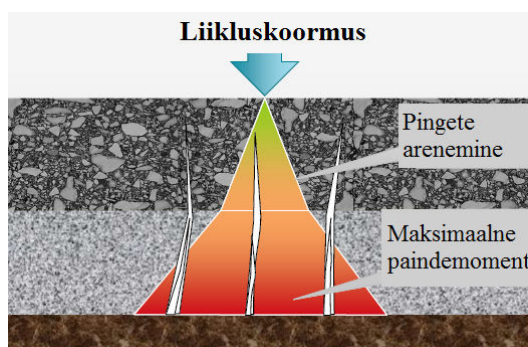
Joonised 2.10 ja 2.11. Väsimuspraod tingituna asfaltkattes tekkivatest nihkepingetest (joonis 2.11 allikast [5])



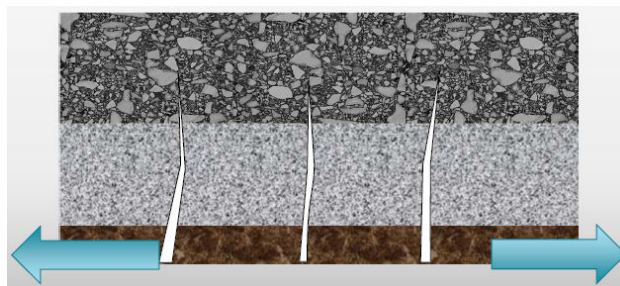
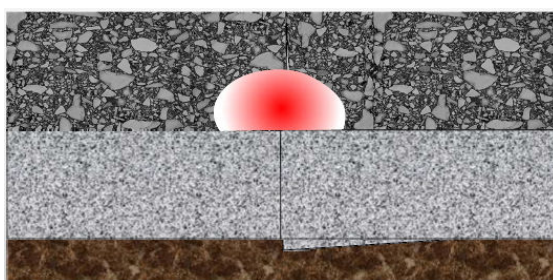
Joonised 2.12 ja 2.13. Väsimuspraod tingituna asfaltkatte läbipainumisest (joonis 2.12 allikast [6]).

Peegelduspraod on praod, mis arenevad vanast asfaltkattest või alusest läbi uue ülekatte uuesti tee pinnale. Põhjuseks see, et vanad praod on pidevas liikumises tingituna temperatuurist (joonis 2.15) ja/või ebaühtlastest vertikaalsetest ning horisontaalsetest nihkumisest (joonised 2.16 ja 2.17). Lisaks mõjutab nende teket liikluskoormus (joonis 2.14).

Kirjanduse andmetel takistab 1 tolli (2.5 cm) paksune ülekattekiht peegeldusprao esiletulekut ca ühe aasta võrra. Tüüpiline kulumiskihi uuendamise ülekatte suurus Eestis on 4...5 cm, millest tulevad praod seega läbi 2...3 aastaga. Asfaldigeosüntheedid takistavad peegelduspragude arenemist edukalt pikendades nimetatud aega paarist 10+ aastani olenevalt mitmetest teguritest (paigalduse kvaliteet, liikluskoormus, vana prao liikumine, ülekatte paksus).



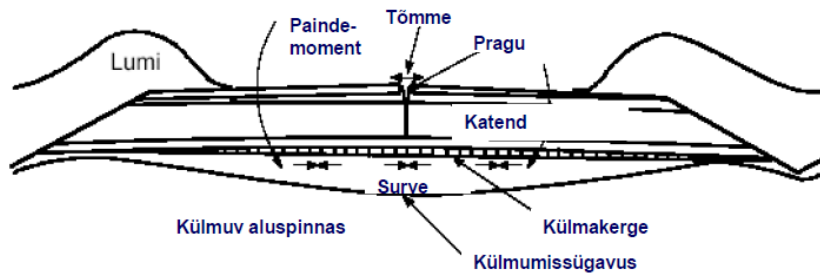
Joonised 2.14 ja 2.15. Liikluskoormuse ja temperatuurimuutuste mõju.



Joonised 2.16 ja 2.17. Ebaühtlased vertikaalsed ja horisontaalsed liikumised.

Külmakerkepraod tekivad, kui külmaohtlikus pinnases vesi külmub. Viimane külmudes paisub, mis põhjustab ülespoole suunatud üleslükkejõu (joonis 2.18). Külmakergete tekkepõhjust on käsitletud põhjalikult uuringus [7]. Asfaldigeosüntheedid võivad takistada või vähendada külmakerkekahjustuste hulka, kuid tegemist on kõige nõudlikuma valdkonnaga, kuna teed liigutavad jõud on niivõrd suured.

Kõige efektiivsemaks asfaldivõrguks külmakergete vastu on leitud olevat terasvõrk, aga häid kogemusi on saadud ka klaaskiudvõrkudega.



Joonis 2.18. Külmakerkepragude tekkimise skemaatiline joonis [6].

2.4. Asfaldivõrkude valimise põhjendus Paide katselõigule – näidis

Paide katselõigu teekattes oli väga palju piki- ja põikpragusid. Oli teada, et kindlasti kolmandas (terasvõrguga) sektsioonis on tegemist külmakerkepraoga, kuna talvine vaatlus näitas, et pragu liigub tugevalt. Tellija üheks sooviks oli kasutada katselõigus ühe materjalina terasvõrku. Tuginedes Soome juhenditele ja kogemustele otsustati paigaldada just see külmakerkelisse tsooni. Selle terasvõrgu paigaldusjuhend nägi ette mössi kasutamist. Möss tekitab kahe asfaltkihi vahele veekindla kihi, mis on külmakerkepragude puhul üheks oluliseks teguriks, kuna läbi selle saab takistatud vee lisandumine külmumistsooni ülaltpoolt.

Külmakerkepragunemise takistamiseks peaks materjali valik tuginema realselt tekkival külmakerke suurusel. Kahjuks Paides seda enne ehituse algust mõõta ega ka arvutada ei õnnestunud. Hilisemad mõõtmised näitasid talvise ja sügisese teekatte kõrguse erinevust kuni 20 mm, mis on väiksem, kui Eestis etteantud piir 40 mm. Seega katselõiku külmakerkehajustusi ei tekkinud. Tõenäoliselt on põhjus selles, et kuna peale sai uus (armeeritud) asfaltkate, siis on vee juurdepääs teekatendisse ülaltpoolt takistatud.

Paides on kasutusel 50 kN/m maksimaalse tõmbetugevusega terasvõrk. Materjal pärineb Kesk-Euroopast ja on pigem ette nähtud vanade asfaltkatete renoveerimiseks, kus esineb võrkpragu. Toote tõmbetugevusnäitajate kohaselt sobiks see väikeste, kuid mitte keskmiste ega suurte külmakergetega kohtade ülekatetesse (materjalide vajalikest omadustest järgmistes peatükkides).

Katselõigu keskmine sektsioon sisaldas kõige tüüpilisemat asfaldivõrku, mida tavapäraselt kasutatakse. Materjal koosneb 120 g/m² mittekootud geotekstiilist ning mõlemas tõmbesuunas 100 kN/m klaaskiust tõmbeelementidest. Lõigul, kus materjali kasutati, oli palju piki- ja piki- ja põikpragusid ning ühes kohas ka roobas. Eeldatavalt on tegemist asfaltbetooni vananemisest tulenevate temperatuuripragudega ning võimalik, et piki- ja põikpragude puhul osaliselt ka külmakerkest või siis muust ebaühtlasest liikumisest tingitud pragudega.

Peegelduspragude vastu töötab SAMI-vahekiht, mida tekitab toote küljes olev ehitusaegselt bituumeniga läbiimmutatud geotekstiil. Selleks on vaja suhteliselt paksu geotekstiili – kirjanduse andmetel peaks mass olema vähemalt 130 g/m² ja bituumenisidumise võime vähemalt 1.1 l/m². Tootjate andmetel võiks geotekstiili paksus olla ka väiksem, kui tegemist on geokomposiidiga. Eri tootjatel on eri lahendused ja piirväärtus näib olevat 60 g/m². Alla selle töötab geotekstiil vaid paigalduse jaoks ning tavaliselt kasutatakse siis väga kergeid geotekstiile – 25 g/m² ja alla selle. Mida paksem geotekstiil, seda tugevam vahekiht moodustub. Mittekootud geotekstiili kaal võib olla kuni 200 g/m² ning taolist toodet kasutatakse betoonplaatidest koosnevale alusele asfalteerimiseks, kui temperatuurist tingitud liikumised on suured.

Valitud toote tõmbelementide tõmbetugevus oli 100 kN/m mõlemas suunas. See on klaaskiudvõrkude puhul kõige levinum suurus. Tõmbeelementid on vajalikud sarrustamiseks võrkpragude, vajumistest tekkivate pragude, külmakerkepragude ja roobaste vastu.

Esimesesse sektsiooni valiti suure tõmbetugevusega klaaskiudvõrk (ristisuunas tõmbetugevus 200 kN/m ja pikisuunas 120 kN/m), mille küljes ei ole tekstiili. Materjal valiti teadmisega, et veetase on kõrge ja külmakerkekahjustused väga tõenäolised. Soome, Rootsi ja Norra uuringutest ja juhenditest on võimalik lugeda, et külmakahjustuste vastu on aidanud vaid teras- ja klaaskiudvõrgud.

Lisaks on valitud materjal suhteliselt jäik ehk paigaldamise ajal jääb see eelpingestatult, mis on teoreetiliselt külmakerkepragude vältimise puhul oluline.

3. ASFALDIGEOSÜNTEETIDEST TEADUSKIRJANDUSEST

Käesolevas peatükis käsitletakse erialastes käsiraamatutes leiduvat infot ja teadusuuringute tulemusi seoses asfaldigeosünteedidega.

3.1. Robert M. Koerner. Designing with geosynthetics. Fifth edition [8]

Refereeringu algus.

Erialakirjandus käsitleb peamiselt geosünteedide kasutamist asfaltkatetes eesmärgiga vähendada või vältida peegelduspragunemist allolevast jäigast katendikihist. Kihti minetatakse „SAMI“-ks ehk „*stress absorbing membrane interlayer*“.

Teinekord kasutatakse geosünteediribasid vaid pragude peal, materjali laius ulatub 150...600 mm mõlemale poole pragu. Selleks on kasutatud polüester-, polüpropüleen- ja klaasfiibertekstiile ning võrke (joonis 3.1). Enamasti kasutatakse siiski geosünteede täislaiuses, mis võimaldab muuta kattekihi veekindlaks. Eesmärgiks on kas vähendada asfaltkatte paksust või suurendada teekatendi eluiga sama koormuse ja asfaltkatte paksuse juures. Asfaldivõrke peaks paigaldama vaid asfaltkihtide vahele, mitte otse betoonplaatidele, kuna viimaste puhul läbistavad teravad servad aja jooksul õhukese geosünteedi.



Joonis 3.1. Asfaldigeosünteedi paigaldamine vaid prao kohale. [Tensar]

Paigaldamine

Täislaiuses geosünteedi paigaldus kahe asfaltkihi vahele on näiliselt lihtne ja koosneb järgnevatest etappidest:

1. olemasoleva aluse defektid tuleb parandada. Olenevalt probleemist võib parandamisvajadus olla laialdane;
2. praod asfaltkattes tuleb täita. Kuni 6 mm pragu võib täita mastiksiga, suuremad praod asfaltbetooniga;
3. paigaldatakse bituumenikiht, mis võib olla kas kuum bituumen või bituumenemulsioon. Bituumeni kogus jääb vahemikku 0,2...2,3 l/m² olenevalt aluspinna olukorrast ja paigaldatavast geosünteedist. Bituumenemulsiooni kasutamisel peaks ootama momenti, mil emulsioon hakkab lagunema. Vedeldatud bituumeneid ei tohi kasutada polüpropüleenist (PP) geotekstiilide puhul, kuna lahusti ja PP reageerivad omavahel;
4. geosünteed paigaldatakse kas käsitsi või mehhanismiga. Suuremad voldid tuleb lõigata lahti. Ülekatted jäävad tavaliselt vahemikku 25...75 mm. Ülekatetel tuleks kasutada lisabituumenit. Kui bituumen tuleb läbi geosünteedi, võib kasutada selle sidumiseks liiva;

5. asfalt paigaldamiseks otse geosünteedile.

Eraldi tuleks tähelepanu pöörata bituumeni kogusele, kuna see on määrava tähtsusega. Liiga väike kogus ei küllasta geotekstiili, mistõttu ei teki veekindlat vahekihti ning ei võimalda piisavat naket asfaltbetooni ja geotekstiili vahel. Liiga suur kogus tekitab potentsiaalse lihkpinna. Geosünteedile paigaldatud kuum asfaltbetoon „tõmbab“ bituumeni geotekstiili küllastades selle. Bituumeni kogus sõltub aluse olukorrast ja geotekstiili paksusest. Vajaliku koguse hindamiseks sobib järgnev valem:

$Q_d = 0,36 + Q_s \pm Q_c$, kus

Q_d – vajaminev bituumenikogus l/m^2 ;

Q_s – geotekstiili küllastamiseks vajaminev bituumenikogus, mis sõltub geotekstiili paksusest/massist ja mille annab ette tootja. Kui tootja andmetes see puudub, siis saab arvestada, et 130 g/m^2 geotekstiil mahutab endasse bituumeni ca 1.1 l/m^2 ;

Q_c – tegur, mis arvestab aluspinna seisukorda (tabel 3.1).

Tabel 3.1. Bituumenikoguse parandustegur sõltudes aluse seisukorrast.

Aluspinna kirjeldus	Q_c (l/m^2)
Poleeritud	-0,09...0,09
Sile, mittepoorne	0,09...0,23
Kergelt poorne, kergelt vananenud	0,23...0,36
Kergelt poorne, vananenud	0,36...0,50
Väga poorne, vananenud, freesitud	0,5...0,59

Geovõrgud asfaltkihtide vahel

Refereeritav allikas viitab erinevatele uuringutele ja toob välja järgnevad järeldused:

- geovõrgud vähendavad roobaste teket, kuid vaid suurte deformatsioonide korral;
- geovõrk tuleks paigaldada pingestatult, kuid seda on väga raske saavutada;
- valmistusmaterjali ja geovõrgu tüübid on olulised saavutamaks head naket asfaldi vahel. Asfalt ei nakku kergesti polüetüleen, polüpropüleen või polüestrist ribaga. Nake on oluliselt parem, kui materjal on lõnga kujul ning kui on kaetud bituumeniga;
- geovõrgu temperatuurikäitumine paigalduse ajal võib olla probleemiks molekulaarsete jõudude vähenemise tõttu ja see mõjutab negatiivselt geovõrgu tõmbetugevust ning moodulit;
- hoolimata toodud probleemidest on saavutatud häid tulemusi peegelduspragude vastu kasutades asfaldivõrke.

Refereeringu lõpp.

3.2. Shukla, S.K; Yin, J-H. Fundamentals of Geosynthetic Engineering [9]

Refereeringu algus.

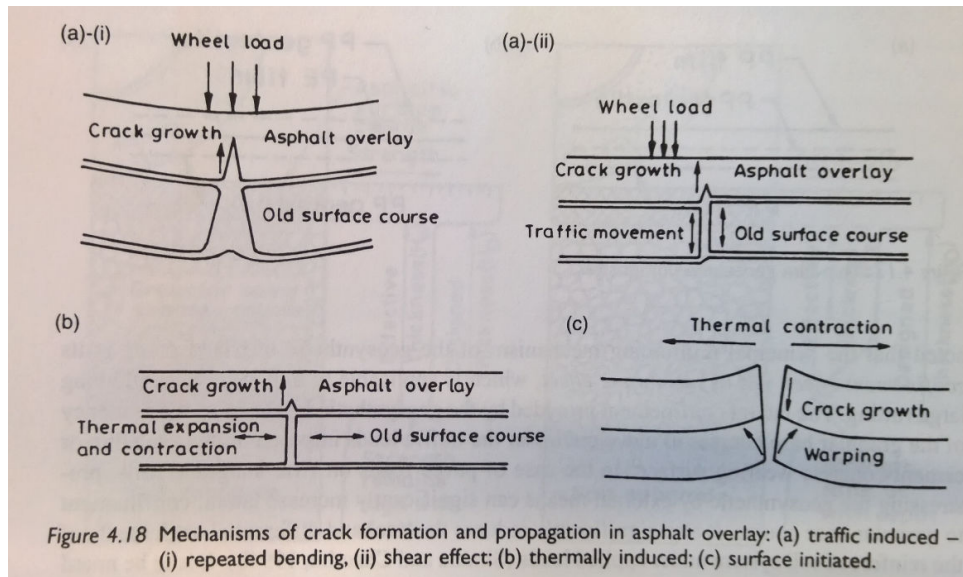
AsfalDIGEOSÜNTEETIDE kasutamine uuttes teedes

Asfaltkattega teede puhul võidakse asfaltkatte all kasutada veekindlat kihti, milleks on bituumeniga läbiimbunud geotekstiil. Taoline kiht aitab vähendada niiskusest tekkivaid mõjutusi katte all. Nii on võimalik kasutada madalama kvaliteediga täitematerjale, mille

omadused sõltuvad niiskusest. Ültal lõigatakse vesi ära immutatud tekstiiliga ning alt drenkihiga või geosünteedist drenmatiga.

Asfaldigeosünteedide kasutamine ülekatete puhul

Tavaliselt vajavad asfaltkatted ülekatteid, kui kattes on sees praod ja lõõkaugud. Praod on põhimõtteliselt ebajätkevuskohad. Paigaldades sinna peale uue asfaltkihi, ilmub alla jääv pragu mingi aja jooksul uuesti katte pinnale. Seda põhjustab liiklus ja temperatuur (joonis 3.2).



Joonis 3.2. Erinevad viisid pragude tekkeks ülekattesse.

Peegelduspragude tekke vältimist ja katete eluigade tõusu mõjutavad ülekatete paksused ja kasutatava asfaltsegu omadused. Kõige lihtsam viis peegelduspragude taasilmnemist vältida on kasutada suuremaid ülekattepakksuseid. Mida paksem kiht, seda pikem on pragude taasilmnemiseni kuluv aeg. Teatud pakksusest alates muutub meetod majanduslikult ebaefektiivseks.

Asfaldisse lisatavad lisandid ei takista peegelduspragude uuestitekkimist, kuid aeglustavad protsessi. Lisanditeks võivad olla klaasfiiber, metallifiiber või polümeerid.

Peegelduspragude vastu saab võidelda ka vahekihtide kasutamisega vana ja uue asfaltkatte vahel. Selle eelised on:

- veekindla kihi tekitamine;
- pragude uuestitekkimise edasilükkamine;
- ülekattekihi eluea pikendamine;
- väsimuspragunemise edasilükkamine;
- sääst ülekattekihi paksuses.

Vahekihi tekitamiseks kasutatakse bituumeniga immutatud geotekstiili, mis tekitab:

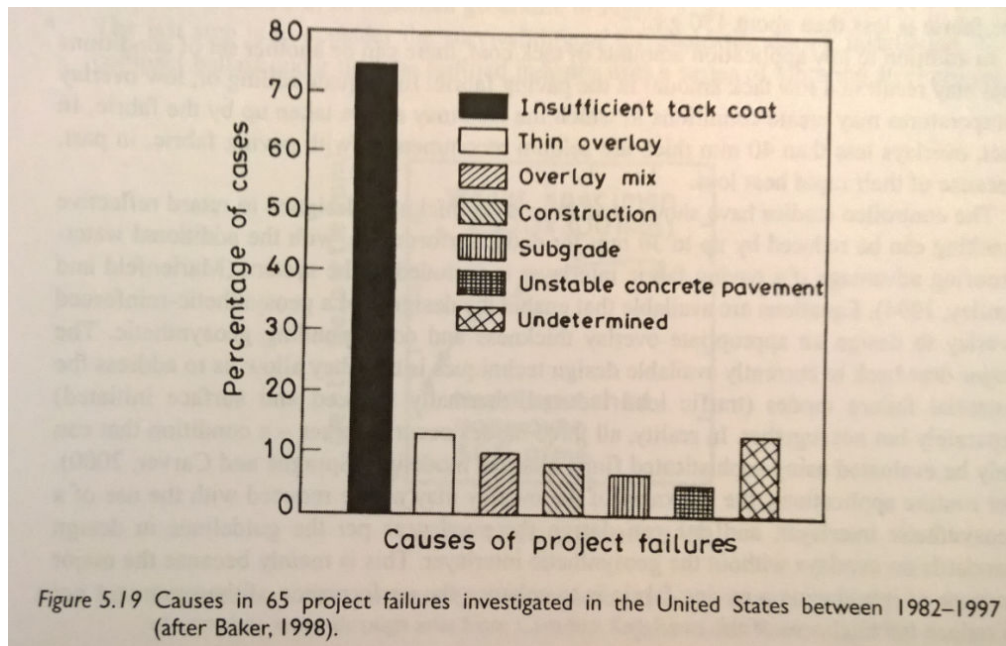
- veekindla vahekihi (kui on immutatud bituumeniga piisaval määral), mis kaitseb all olevaid kihte sisseimbuva niiskuse eest;
- „padja“ ehk pingeid maandava vahekihi, mis takistab all olevate pragude liikumist uude kattekihti.

Veekindla vahekihi tekitamine on kasulik, kui teekate asetseb niiskustundlikul alusel. Pingeid maandav vahekiht takistab peegelduspragude teket uude ülekattesse. Praost tingitud pinged maandatakse võimaldades geotekstiilis kergeid liikumisi ilma, et suuremad pinged kanduksid edasi peal olevasse asfaltkattes. Vahekiht vähendab vana ja uue asfaltkatte vahelist nihkejõudu tekitades puhvertsooni, mis annab ülekattele veidi „iseseisvust“ all oleva vana katte

suhtes. Vahekihti sisaldavates asfaltkattes tekib ka väsimuspragusid oluliselt vähem. Et nimetatud nähtused saaksid toimida, peab geotekstiil olema bituumenist täielikult immutatud.

Asfaldigeovõrgud või geovõrgud koos geotekstiiliga töötavad asfaltkattes armeerimisele ehk hoiavad pragu koos ning vähendavad sellest ebajätkuvuskohast tekkivaid pingeid. Uuringud on näidanud, et asfaldivõrgud tõstavad asfaltbetoonkihi jäikust ja suurendavad selle koormustaluvust. Asfaldivõrku sisaldava asfaltkatte koormustaluvus on oluliselt kõrgem, kui puhtal asfaltbetoonil. Et asfaldivõrk toimiks, on selle paigaldus kriitilise tähtsusega.

Et asfaldigeosünteedi paigaldus õnnestuks, on määrava tähtsusega bituumeni kogus. See sõltub olemasolevast aluspinnast ja kasutatavast geosünteedist. Geotekstiil peab saama täielikult immutatud, selleks vajaliku minimaalse koguse annab ette tootja. Ühe uuringu raames vaadeldi, mis olid suurimad ebaõnnestumise põhjused asfaldigeosünteedidega seonduvalt. Avastati, et kasutatud bituumenikogus oli enamikul juhtudel selgelt liiga vähene (joonis 3.3).



Joonis 3.3. Uuringute kohaselt on väga suure osa asfaldigeosünteedidega seonduvatest probleemidest põhjustanud liiga vähene bituumenikogus.

Refereeringu lõpp.

3.3. Ülevaade Soome juhenditest

Soomes on väga levinud terasvõrkude kasutamine teekonstruktsioonides. Peamine põhjus on selles, et Soomes on terasetööstus ning terasvõrgud on seega suhteliselt odavad ja hästi kättesaadavad. Teema kohta on tehtud mitmeid uuringuid, antud välja soovitusi ja nõudeid. Muudest asfaldigeosünteedidest on juttu väga minimaalselt ning ka vastavasisuliselt uuringuid pole.

Soomes kasutatakse terasvõrke tihti just asfaldialustes kihtides, mitte asfaldi sees, eesmärgiga vähendada külmakerke- ja muid pragusid, roopaid ning tõsta teede kandevõimeid. Asfaldisse ei soovitata paigaldada seda eelkõige töötehnoloogia keerukuse ja võimalike hilisemate tegevuste (näiteks teekatte freesimine või kuumtaastamine ei ole enam võimalik) tõttu.

Terasvõrke kasutatakse Soomes järgmistel põhjustel:

- vähendamaks külmakerkepragude teket;
- vähendamaks roobaste teket;
- teede laiendamine;
- peegelduspragude vältimine;

- kruusateede tugevdamine;
- teekonstruktsioonide stabiilsuse suurendamine.

Võttes kokku erinevad juhendmaterjalid näeme järgmisi punkte (üldine):

- terasvõrkude kasutamisega pikendatakse selgelt teekonstruktsioonide eluiga;
- terasvõrkude kasutamisega vähendatakse teekonstruktsioonide püsivaid deformatsioone;
- terasvõrkude kasud ilmnevad selgemini teelõikudel, millel esineb probleeme või mille aluspinna kandevõime on ebapiisav;
- terasvõrgu mõju teekonstruktsioonile sõltub osaliselt ka sellest, kuhu see on paigutatud.

Täpsemalt:

- külmakergetest tekkivate pikipragude hulk maanteedel ja kergliiklusteedel väheneb märgatavalt;
- terasvõrgud vähendavad roobaste teket ja terasvõrke sisaldavatel teedel on roopa sügavused 40...60% väiksemad. Terasvõrku sisaldava teekonstruktsiooni eluea pikenemine roopa sügavuse suhtes on 50...100% suurem;
- teede laiendamisel takistavad terasvõrgud pragude teket üleminekukohtadesse;
- on täheldatud, et terasvõrgud vähendavad peegelduspragude hulka umbes 35%;
- kruusateedel on terasvõrke kasutatud kevadiste madalate kandevõimete ja roobaste tekke vastu. Kogemused on üldiselt head ja ilmastikust tingitud defektide teke on suhteliselt väike;

Terasvõrkude kasutamise piirangud:

- terasvõrgud ei paranda teede pikisuunalist tasadust;
- terasvõrgud ei tõsta teede otseselt mõõdetavaid kandevõimeid. Muutused tulevad esile kaudselt läbi vähenenud pragude hulga;
- terasvõrgud raskendavad teede freesimist (kui võrk on paigaldatud asfaltkattesse);
- arvutusmetoodikate puudumine;
- mõnevõrra probleemne on terasvõrkude paigaldamine, eriti vahetult nende peal asetsevate kihtide tihendamine, et mitte vigastada võrku. Keerulised on ka pärastised tegevused võrgusektsioonis. Seetõttu ei soovitata terasvõrgu kasutamist teelõikudel, mille all paiknevad kommunikatsioonid.

Soomes käsitlevad rohkemal või vähemal määral asfaldisse paigaldatavaid geosünteesilisi tooteid järgmised dokumendid.

Teräsverkon käyttö tierakenteiden koerakennuskehteissa. Tiehallinnon selvityksiä 34/2003 [10]. Tegemist on kokkuvõttega terasvõrkude kasutamise kohta teedel ning katsetustest. Kõik tulemused viitavad, et terasvõrkude kasutamine aeglustab märgatavalt roobaste teket ehk püsivate deformatsioonide arenemist. Keskmiselt olid konstruktsioonide roopasügavused vaid 40...60% sellest, mis tekkisid ilma võrkudeta lõikudel. Võrkudest tulenev kasu vähenes aluspinna tugevuse kasvades.

Järeldati, et muudest valmistusmaterjalidest, näiteks klaaskiust valmistatud asfaldivõrgud on sama efektiivsed, kui terasvõrgud.

Kokkuvõtlikult võib öelda, et terasvõrkude kasutamine on majanduslikult otstarbekas vähendamaks külmakerkehajusid, roopaid ja tõstmaks teede kandevõimeid. Eriti kasulik on terasvõrke kasutada teekonstruktsioonides, kuhu on tekkimas või juba tekkinud suuri nihkeid, roopaid ja defekte.

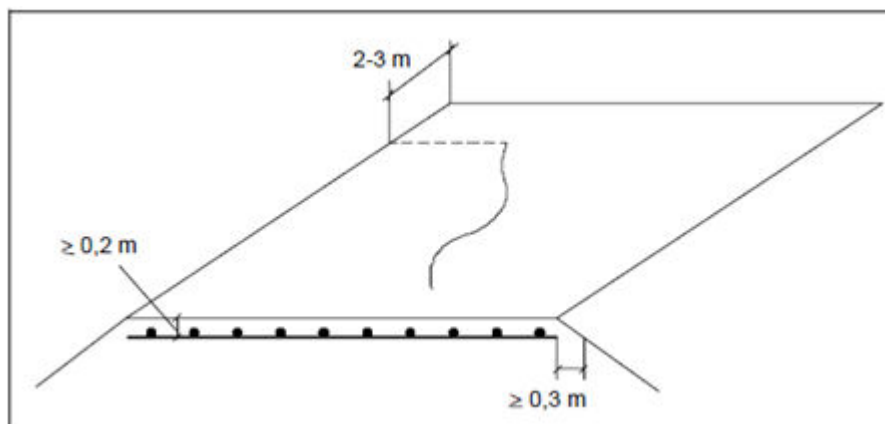
Heikkokuntoisen päällystetyn alemman tieverkon ylläpito. Tiehallinnon selvityksiä 45/2005 [11]. Juhend viitab remondimeetodi valikul terasvõrgule, kui tee pinnal esinevad

külmakerkepraod. Terasvõrk paigaldatakse mitte asfaldi vaid „kandvasse kihti“ ehk killustiku sisse.

Rakenteen parantamisen suunnittelu. Tiehallinto 2005 [12]. Dokument käsitleb seda, kuidas valida remondimetoodikat sõltuvalt teel nähtavatest ja mõõdetavatest probleemidest.

- Peatükk 6.1.1.3 räägib sellest, kuidas parandada teede koormustaluvust. Kui probleem esineb halvakvaliteedilises kandvas kihis on üheks parandusmeetodiks võimalik kasutada kas teras- või klaaskiudvõrku. Terasvõrke kasutatakse külmakerkepragude vastu. Teras- ja klaaskiudvõrgud vähendavad koormusest tekkivaid roopaid. Klaaskiudvõrke kasutatakse ka võrkpragude parandamiseks. Sellisel juhul peab ülekate võrgu peale olema minimaalselt 50 mm ning võrgu tugevus peab olema 2% venivuse juures minimaalselt 5...10 kN/m.
- Peatükk 6.1.2.2 käsitleb pikipragude parandamist. Terasvõrk ei kõrvalda defektide tekkepõhjust, kuid takistab nende ilmnemist. Terasvõrk ei kõrvalda pöikpragusid.

Terasvõrk paigaldatakse tee pikisuunas vähemalt 2...3 m üle prao ja vähemalt 20 cm sügavusele katte pinnast, et see ei saaks takistuseks freesimisele ja kuumtaastamistele (joonis 3.4).



Joonis 3.4. Terasvõrgu soovituslik paigutus Soome juhiste kohaselt. [12]

Terasvõrgud tuleb laotada teesse kogu laiuses, kaasa arvatud laiendused ja ühistranspordipeatused, kuna selle serv põhjustab teekattes prao teket.

Terasvõrgud asetatakse nii, et jämedam ribi (suurema tugevusega) läheb tee põiksuunda ja õhem ribi pikisuunda.

Terasvõrk võidakse paigaldada ka asfaltkatte sisse, siis peab minimaalne asfaltkatte paksus selle peal olema 6 cm ning on selge, et sellise parandusmeetodikaga saavutatakse veenev majanduslik võit.

Terasvõrguks soovitatakse kasutada B500K/F marki terasest valmistatud võrku, mille ribide paksused ja vahekaugused vahelduvad nii, et ≥ 10 m teedel kasutatakse tüüpi 8/6-150/200 (risti/piki ribide paksused ning ava mõõdud), kitsamatel teedel tüüpi 7/5-150/200 ning kergliiklusteedel tüüpi 6/5-100/150. Alla 5 mm paksusega ribisid ei kasutata, kuna neid on keeruline ilma vigastamata paigaldada.

Teräsverkkojen käyttö tierakenteissa. Tiehallinnon selvityksiä 20/2009 [13]. Käsitletakse teemasid nagu külmkerkepragunemise vältimine, roobaste tekke aeglustamine, teede laiendamine, peegelduspragude vältimine, kruusateede tugevdamine, kandevõime tõstmine, teede muldkehade stabiilsuse parandamine. Esitatud on nõuded terasvõrkude kvaliteedi kohta. Märgitakse, et terasvõrkude eluiga on sama, mis teekonstruktsioonilgi (20...30 a).

Välja on toodud Põhja-Rootsis 20.a jooksul tehtud jälgimistulemused, millest nähtus, et külmakerkepragunemise vastu aitavad „traditsiooniliste“ meetodite kõrval vaid teras- ja klaaskiudvõrgud. Soomes on nendest kahest ökonoomsem terasvõrgu kasutamine.

Terasvõrgu kõige optimaalsem paigaldussügavus on 200...300 mm katte pinnast. Põhjused on tehnilist laadi. Põhja-Soomes ei tohi terasvõrke paigutada asfaltkattes, kuna selle ääred tulevad kergesti välja. Külmakerkepraod hakkavad tekkima kõigepealt tee servadesse ning kanduvad pikkamööda edasi tee telje suunas. Probleemi saab lahendada painutades terasvõrgu otsad allapoole. Paigaldades terasvõrke asfaltkattes, tuleb need asetada vähemalt 100 mm sügavusele, kuna need tõusevad tihti paigaldamise käigus tee pinnale lähemale.

Külmakerkepragude vältimiseks tuleks terasvõrk asetada tee pinnale nii lähedale, kui võimalik, kuid siiski vähemalt 100 mm sügavusele. Praktikas on hea asetada see 200 mm sügavusele katte pinnast.

Terasvõrgu valimiseks ei ole olemas ühtset tunnustatud metoodikat. Enamasti põhineb terasvõrgu valik kogemustel või nende põhjal koostatud soovitusel. Dokumendis on ka uus arvutusmetoodika terasvõrgu valikuks külmakerkepragude vältimiseks, kuid see on tihedalt seotud Soomes kehtiva teekatendi dimensioonimisega.

Neid mehhanisme, kuidas terasvõrk mõjutab teede kandevõimeid, ei tunta veel selgelt. Palju on üritatud luua arvutusmudeleid selle hindamiseks, kuid tulemus on praktikas kasutamiseks liiga keeruline. Seega keskendutakse Soomes terasvõrgu kasutamise puhul peamiselt külmakerkepragude vältimisele.

Tienrakenteen suunnittelu. Tiehallinto 2004 [14]. Dokumendis käsitletakse terasvõrgu kasutamist koos külmakerkearvutustega. Tabelis on esitatud lubatavad arvutuslikud külmakergete suurused ilma ja koos terasvõrguga. Enamikel juhtudel lubatakse terasvõrgu kasutamisel suuremat arvutuslikku külmakerget. Terasvõrk vastab umbes 0,5 m paksusele külmakindlale kihile. Terasvõrk tuleks paigaldada tehnilistel põhjustel vähemalt 150 mm sügavusse katte pinnast. Juhendi kohaselt ei muuda terasvõrk teede kandevõimeid.

LUPAV2. Tie- ja katurakenteiden elinkaaren pidentäminen lujitteiden avulla [15]. Tegemist on mahuka uuringuga/kokkuvõttega geosüntetidest ning käsitletakse ka asfaldigeosüntete. Üheks huvitavaks osaks on välja toodud terasvõrkude arvutamine külmakerkele. Metoodikat saaks teoreetiliselt kasutada ka muudest valmistusmaterjalidest võrkude suhtes.

Mainimist väärivad Rootsi kogemused, mille kohaselt külmakerkepragunemise vastu aitavad vaid teras- ja klaaskiudvõrgud. Norras on nõuded, et väikeste külmakerkepragude puhul peab võrgu tõmbetugevus olema minimaalselt 50 kN/m, keskmiste puhul 80 kN/m ja suurte puhul 100 kN/m (kõik väärtused 2% venivuse juures).

3.4. Vene metoodilised juhendid

Järgnevalt kokkuvõtte projekteerimist puudutavatest nüanssidest Vene dokumendist ODM 218.5.001-2009 „Metoodilised soovitusel geovõrkude ja lamedate geovõrede kasutamiseks täiustatud teekatendite asfaltbetoonkihtide armeerimiseks maanteede kapitaalremondil ja parandustöödel“ [16], kus tuuakse esile järgmisi mõtteid ja nõudeid.

Armeeriv materjal täidab oma funktsioone ainult siis, kui on täidetud järgnevad põhitingimused:

- armatuuri tugev haakumine armeeritava materjaliga, et tagada tekkivate pingete ümberjaotumine;
- armatuuri tõmbetugevus peab olema oluliselt suurem armeeritava materjali tugevusest, võttes arvesse väsimusnähtusid korduvate lühiajaliselt mõjuvate jõudude tagajärjel (vastasel juhul kaob materjali armeerimise mõte);
- armatuuri elastsusmoodul peab olema märksa suurem kui armeeritaval materjalil (vastasel korral võib materjal saada horisontaalseid jääkdeformatsioone varem, kui armatuur võtab vastu ja jaotab ümber tõmbepingeid);

- armeeriva materjali tugevus ja deformatiivsus peavad olema ajas stabiilsed nii plusskraadide kui ka madalate külmakraadide, suure niiskuse ja agressiivsete mõjude puhul (ainult sel juhul on võimalik garanteerida katendi armeerimise pikaajast positiivset efekti);
- armatuuril ei tohi olla liigset roomavust, et oleks võimalik vastu võtta pikaajalisi pingeid (muidu võib armatuur kas mitte vastu pidada olulistele pikaajalistele temperatuuripingetele, mis tekivad asfaltbetoonis madalatel külmakraadidel, või lõdvestada neid pingeid, kaotades oma otstarbe);
- armatuur peab vastu võtma armeeritavas kihis vastu kõige suuremaid tõmbepingeid;
- armeeritava ja armeeriva materjali soojuspaisumise koefitsiendid peavad olema lähedaste väärtustega, et täita esimest tingimust.

Täiendavaid nõudeid asfaltbetoonile (armeeritavale materjalile) ei esitata. Soovitatav on järgida asfaltbetooni kivimaterjali terasuuruse ja geovõrgu (armeeriva materjali) silmade mõõtmete suhet. Selle suhte järgimine parandab armeeritava ja armeeriva materjali koostoimet ning tagab ka geovõrkude minimaalsed vigastused pealmise segukihi tihendamisel katendi paigaldamise käigus.

$$0,5 (d + D) < 1,5 A$$

kus d — asfaltbetooni kivimaterjali terade vähim nominaalne terasuurus;

D — asfaltbetooni kivimaterjali terade suurim nominaalne terasuurus;

A — silma keskmine suurus (väärtuste A_L ja A_T keskmine).

Nõuded geosünteedi omadustele

Geovõrgud, sealhulgas geokomposiitide koosseisu kuuluvad, mida kasutatakse asfaltbetoonkatendite armeerimiseks teekatendite kapitaalremondis ja parandustöödel, peavad vastama tabelis 3.2 esitatud nõuetele.

Omaduslike näitajate reglementatsioon on tabelis 3.2 esitatud minimaalsel määral, sest efektiivse armeeriva materjali valiku määrab konkreetne projektlahendus. Geovõrkusid, mille tugevus on väiksem kui on näidatud tabelis 3.2, on suurema deformatiivsusega, kuid vastavad ülejäänud omaduslike näitajate poolest, võib kasutada pragude peegeldumist takistavates vahekihtides, samuti roobaste tekkimise vähendamiseks asfaltbetoonkatendites.

Tabelis 3.2 on esitatud nõuded vastavalt maantee klassile (vastavalt standardile ΓOCT P 52398-2005) ja kliimatsioonile. See on tingitud asjaolust, et kõrgemate klasside maanteedel on autotranspordi koormus katendile ja teekattele suurem ning nõuded tarbimisomadustele ja töökindlusnäitajatele oluliselt suuremad kui madalamate klasside teede puhul. Eesti asetseb kliimatsioonil II.

Lisakommentaarina tabelis 3.2 esitatud nõuetele öeldakse, et edaspidi, sedamööda, kuidas kogutakse teaduslikke ja praktilisi andmeid, tuleb nõuded ülejäänud omaduslikele näitajatele jaotada olenevalt neist teede kliimatsioonidest, kus geovõrke on kavas kasutada. Mitmed tabelis viidatud katsemetoodikad ei ole standardiseeritud ning nende osas leiab täiendavat infot refereeritava dokumendi lõpust.

Geovõrkude (geokomposiitide) materjalid peavad olema keskkonnaohutud, sealhulgas ka pärast nende utiliseerimist.

Tabel 3.2. Asfaltbetoonkatendite armeerimiseks (tugevdamiseks) kasutatavate geosünteesiliste materjalide omaduslikud näitajad.

Omaduslik näitaja	Näitaja tähistus maanteede kategooriate järgi		Kontrollimeetodika
	I, II*	II, III, IV	
	2	3	4
1. Mehaanilised omadused			
a) Tõmbetugevus piki- (põik-) suunas R_{LR} (R_{TR}), kN/m, vähemalt	80	40 (80)**	DIN EN ISO 10319 või lisa B ^I meetodil
b) Jõud näidises materjali piki- (põiki-) suunas $R_{LR}(\epsilon)$ ja $R_{TR}(\epsilon)$, näidise laiuse suhtes, kN/m, mis tekib suhtelise deformatsiooni puhul $\epsilon = 2 \%$, vähemalt	40	20 (40)**	DIN EN ISO 10319 või lisa B ^I meetodil
c) Pikaajaline tugevus, % lühiajalisest tugevusest R_{LR} (R_{TR}), vähemalt	70		Lisa B ^V meetodil
d) Geovõrgu sõlmühenduste suhteline tugevus R_{JR} , % ribide tugevusest, vähemalt	5		DIN EN ISO 10321 või lisa B ^{II} meetodil
2. Vastupidavus agressiivsetele mõjudele			
a) Tugevuse vähenemine R_{LR} (R_{TR}), pärast kuumutamist kuni 160 °C (kuumakindlus), %, mitte üle	15		Lisa B ^{III} meetodil
b) Materjali tugevuskadu (vigastatavus) asfaltbetooni paigaldamise käigus, % algtugevusest R_{LR} (R_{TR}), mitte üle	40		Lisa B ^{VI} meetodil
c) Algtugevuse R_{LR} (R_{TR}) vähenemine agressiivsetes keskkondades, %, mitte üle	40		ISO/TR 12960, DIN EN 14030
d) Algtugevuse R_{LR} (R_{TR}) vähenemine pärast 25 (50)** külmumis-sulamistsükli, %, mitte üle	25		Lisa B ^{IV} meetodil
3. Adhesiooniomadused			
a) Haakuvuse (adhesiooni) tugevuspiir R_c , kN/m, vähemalt	1		Lisa B ^{VII} meetodil

4. Geomeetrilised parameetrid		
a) Geovõrgu silma suurus, mm, vähemalt - väikeseteralisele asfaltbetoonile - suureteralisele asfaltbetoonile	20 x 20 30 x 30 35 x 35	ГОСТ 3811
b) Rulli laius, m	1,5 – 4	
c) Materjali pikkus rullis, m	20 – 100	
* – nelja sõidureaga teise kategooria teed		
** – kõigi kategooriate teed I teede kliimatsoonis		

Geotekstiilmaterjalid, mida kasutatakse geokomposiitide valmistamiseks koos geovõrkudega, peavad vastama soovitustele, mis on esitatud tabelis 3.3. Geokomposiitidele sobivad kõige paremini mittekoatud geotekstiilmaterjalid mis on tugevdatud mehaaniliste või (ja) termiliste meetoditega.

Geokomposiiti ei ole soovitatav kasutada kohtades, kus sõiduosa pikikalle on üle 30‰, samuti kohtades, kus transpordivahendite kiirus oluliselt muutub.

Tabel 3.3. Geokomposiitide valmistamisel kasutatavate geotekstiilmaterjalide reglementeeritud omaduslikud näitajad.

Näitaja nimetus	Näitaja väärtus	Kontrollimeetod
Mass pinnaühiku kohta (pindtihedus), g/m ²	100 – 200	DIN EN ISO 9864 või ГОСТ P 50277
Paksus koormusel 2 kPa, mm, mitte üle	2,0	DIN EN ISO 9863 -1,2 või ГОСТ P 50276
Tõmbetugevus piki- (põik-) suunas R_{LR} (R_{TR}), kN/m, vähemalt	7,5	DIN EN ISO 10319 või lisa B ^I meetodil
Suhteline deformatsioon piki- (põik-) suunas katkemisel ϵ_{LRmax} (ϵ_{TRmax}), %, vähemalt	30	DIN EN ISO 10319 või lisa B ^I meetodil
Sideaine imbuvus (bituumeni neelduvus) koormuseta*, kg/m ² , vähemalt	1,0	prEN 15381:2005, Anhang C
* – nõue puudutab materjali, mida ei ole valmistamisel immutatud.		

Geosünteedi paigutumine

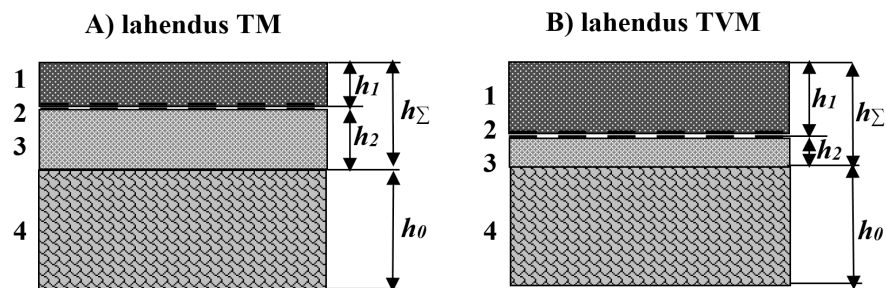
Armeeriva vahekihi asukoha valik teekattes oleneb selle esmasest otstarbest – võtta vastu temperatuurimõjusid (TM) või transpordivahendite mõjusid (TVM). Esimene mõju ning sellele vastavalt temperatuurilised tõmbepinged ilmnevad kõige rohkem katendi pinna lähedal. Teise puhul aga lähemal asfaltbetoonkatte alapinda. Ülaltoodule tuginedes saab armeeriva vahekihi asukohta valides lähtuda tabeli 3.4 ja joonise 3.5 soovitusi.

Armeeriva vahekihi asukoha täpsustamisel tuleb arvesse võtta et lahendustüübi TM valiku puhul määratakse $h_1 \leq h_2$, lahenduse TVM puhul aga $h_1 > h_2$. Võttes arvesse et katendile mõjuvad ühtaegu transpordivahendite tekitatud koormused ja temperatuuripinged, saavutatakse parimaid tulemusi, kui lahendusi TV ja TVM kasutatakse üheaegselt.

Asfaltbetoonkatte pealmise kihi minimaalne paksus armeeriva vahekihi peal (h_1 joonisel 3.5) moodustab 5-6 cm (väiksemat väärtust võib kasutada, kui on garanteeritult lubatud paigaldatava kihi paksuse muutused ± 1 cm piires).

Tabel 3.4. Armeeriva vahekihi asukoha valik sügavuti

Teede kliimatsioon ja allsoon	h_{Σ} / h_0	Konstruksioonilahenduse tüüp
I, II ¹	< 1	TM
	≥ 1	TVM
II ²	$< 0,9$	TM
	$\geq 0,9$	TVM
III	$< 0,8$	TM
	$\geq 0,8$	TVM



Joonis 3.5. Põhimõtteliste konstruktsioonilahenduste tüübid: 1 – katendi pealne kiht paksusega h_1 ; 2 – armeeriv vahekiht; 3 – katendi alumine kiht paksusega h_2 uuest või regenereeritud segust; 4 – olemasolev katend või kandev aluspind.

Armeeriva vahekihi paigaldamine vahetult olemasolevale asfaltbetoonkattele, aga eriti tsementbetoonkattele on vähem efektiivne, kui paigaldamine värskelt paigaldatud või regenereeritud asfaltbetoonikihi. See on seletatav vajadusega tagada armatuuri tugev haakumine armeeritava materjaliga, et tagada tekkivate pingete ümberjaotamine. Seepärast võib lahenduse TVM valimise puhul teha katendi alumise kihi (tasandava kihi) väikeseteralisest asfaltbetoonist või olemasoleva katendi regenereeritud materjalist.

Kui laialt või kui ulatuslikult kasutada asfaldigeosünteeite?

Täiustatud katendite parandustöödel ja kapitaalremondil on soovitatav kasutada lausarmeerimist:

- kõigil juhtudel, kui töid tehakse I ja II teede kliimatsioonis (tsementbetoonkatendite ja raudbetoonplaatide parandamisel ja kapitaalremondil I teede kliimatsioonis võib kasutada ka armeerimise kombineeritud skeemi, paigaldades täiendavad armeerivad ribad põik- ja pikivuukidele plaatide vahel);
- asfaltbetoonkatendite puhul, milles on põikisuunalised ja viltused praod vahemaaga alla 10 m, kui on tegemist pragude võrguga;

- tsementbetoonplaatide pinna deformatsioonide ja purustuste puhul (kui teekatte tugevus on piisav) olemasoleva purunenud tsementbetoonkatendi defragmenteerimisel;
- armeeritud asfaltbetoonkatendi paigaldamisel mineraalse sideainega tugevdatud kivimaterjalidest ja pinnasest aluskihile.

Lausarmeermist tuleb käsitada kui asfaltbetoonkatendite tugevdamise peamist meetodit.

Armeerimist lõikude kaupa geosünteesilise materjali ribadega on täiustatud katendite parandamisel ja kapitaalremondil soovitatav kasutada:

- asfaltbetoonkatenditel põiksuunaliste ja viltuste pragudega, mille omavaheline kaugus on üle 10 m;
- asfaltbetoonkatenditel, millel on praod keskel või servades;
- olemasolevate tsementbetoonist või raudbetoonplaatidest katendite vuukidel ja pragudel (kui teekatte tugevus on piisav).

Lõikude kaupa armeerimise skeemi valiku puhul tuleb arvestada, et selle skeemi järgi armeeritud asfaltbetoonkatendite kasutamise kogemused on näidanud positiivseid tulemusi suhteliselt pehme kliimaga piirkondades. Seda armeerimisskeemi ei soovitata kasutada I ja II teede kliimatsoonis, sest seal tekivad katendis tihtipeale praod pärast karmi talve armeerivate ribad kõrvale.

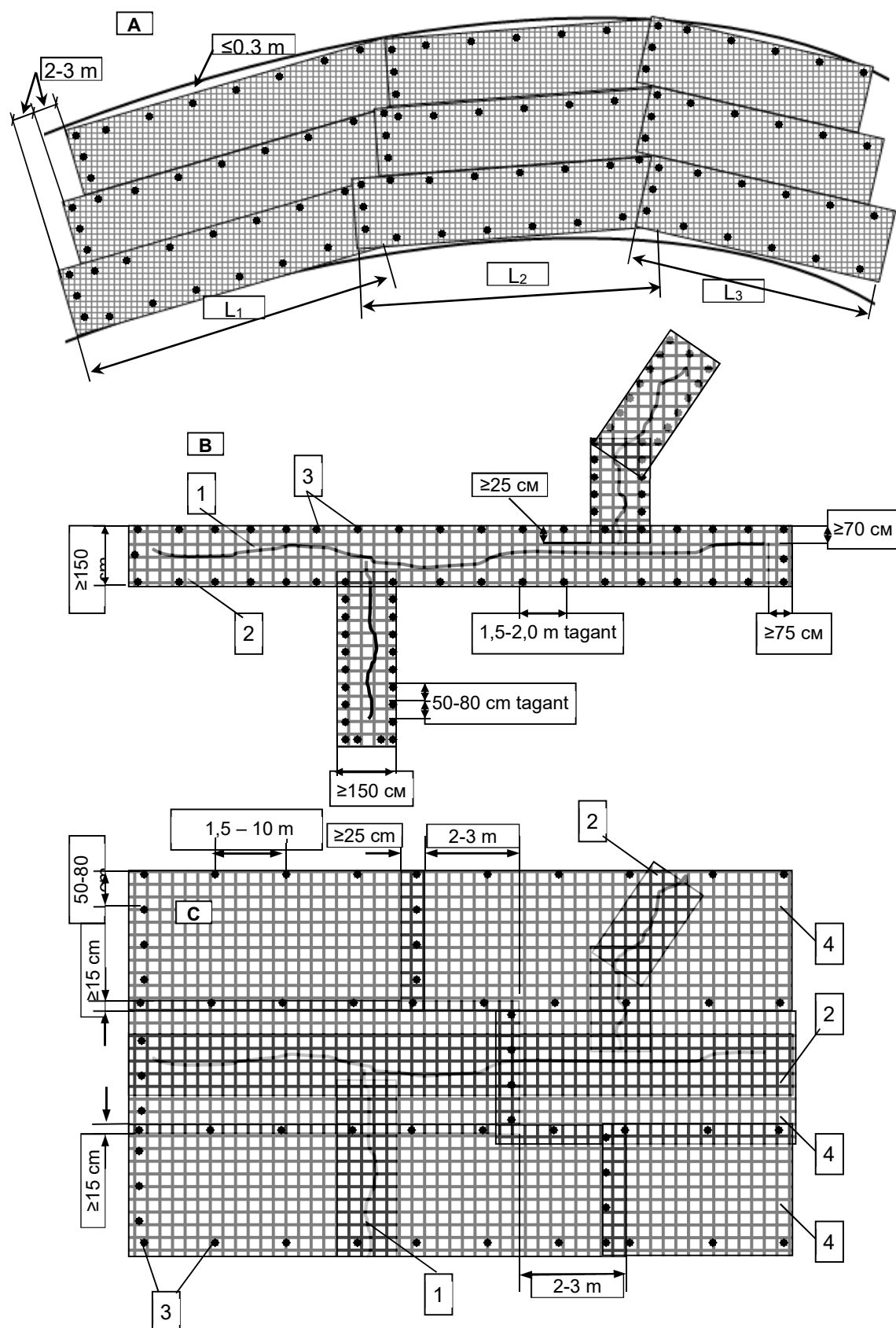
Armeerimise **kombineeritud skeemi** (lausarmeerimise ühitamist geovõrguribade täiendava paigaldamisega nõrgenenud ühenduskohtadele) on täiustatud katendite parandamisel ja kapitaalremondil soovitatav kasutada:

- kui asfaltbetoonkatendi sõiduradades on pragudevõrk;
- roobaste likvideerimisel nende tekkepõhjuste kõrvaldamiseta või osalise kõrvaldamisega;
- kui vanade tsementbetoonist või raudbetoonplaatidest katenditel on purunenud vuugid, nurkadest killud lahti tulnud või tekkinud plaatide vahel astangud üle 20 mm;
- teekatte laiendamisel maantee remonditava lõigu vastavate kategooriate normideni;
- teekatte taastamisel muldkeha remontimisel ja lahtikaevamisel truupide, drenaazüsteemide, torujuhtmete, kaablite jne kohal;
- Joonisel 3.6 esitatakse näidis lausarmeerimisest, ribad paigaldamisest ja kombineeritud variandist.

Ei ole soovitatav paigaldada armeeritud asfaltbetoonkatteid, kui teekatte tugevuskoeffitsient selle seisukorra hindamisel vastavalt ОДН 218.1.052-2002 ja ОДМ 218.0.006-2002 on alla 0,85 I kategooria teedel, alla 0,80 II kategooria teedel ning alla 0,75 III ja IV kategooria teedel. Teekatete ebapiisava tugevuse puhul on vaja teha arvutused ning rakendada eelnevaid abinõusid, mis on suunatud teekatte tugevdamisele (vastavalt ОДН 218.1.052-2002), vajaduse korral ka muldkeha vee- ja soojusrežiimi reguleerimiseks (СНП 2.05.02-85 „Tüüplahendused muldkeha kandevõime taastamiseks ning teekatte tugevuse ja külmakindluse tagamiseks maanteed külmaergetega lõikudel“).

Asfaltbetoonkatte paksuse vähendamine on võimalik ainult konstruktsioonilise lahenduse tüübi TVM kasutamisel või lahendustüüpide TVM ja TM ühitamise korral, mille puhul kasutatakse lausarmeermist või armeerimise kombineeritud skeemi. Armeeritud asfaltbetoonkatendi vajaliku paksuse määratlemisel tehakse teekatete arvutustesse mõningad täiendused ning sealjuures tuleb järgida katendi minimaalpaksuse tingimusi. Arvutuskriteeriumidest lähtudes, vastavalt ОДН 218.046-01, ОДН 218.1.052-2002 ja Metoodilistele soovitudele jäikade teekatete projekteerimiseks, võimaldab armeeriva geovõrgu paigaldamine asfaltbetoonkatendisse suurendada selle tugevust lubatud elastse painde kriteeriumi järgi, suurendada vastupanuvõimet väsimuspurunemisele paindel tekkiva tõmbe tagajärjel, samuti tõsta vastupanuvõimet temperatuurilistele tõmbepingetele. (Arvutuskäiku

käesolevas aruandes ei refereerita, kuna selles osas on vaja eelnevaid teadmisi ОДН 218.046-01, ОДН 218.1.052-2002, kuid see on esitatud refereeritavas dokumendis.



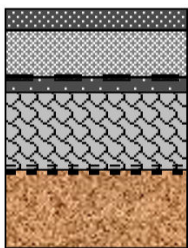
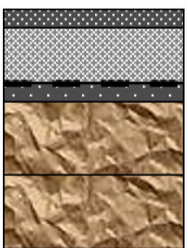
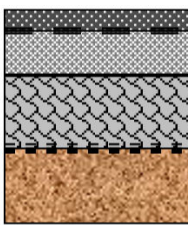
Joonis 3.6. Geovõrgu kangaste ja ribade aluspinnale kinnitamise skeemid. A – armeerimisel lasukangaga väikese raadiusega kaartel; B – armeerimisel ribadega pragude kohal; C –

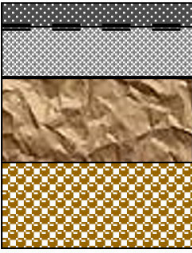
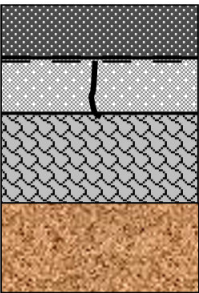
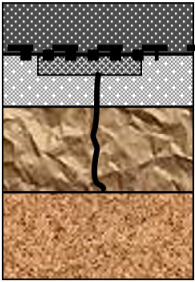
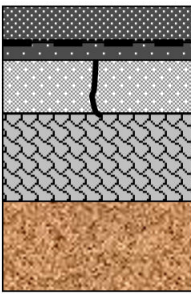
kombineeritud armeerimisel ribad ja lauskangaga; 1 – piki- ja põikpraod; 2 – geovõrgu ribad; 3 – täiendav fikseerimine aluspinna külge; 4 – geovõrgu paanid, mis paigaldatakse ribad peale.

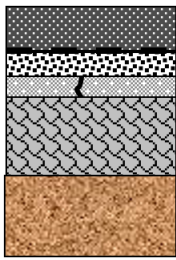
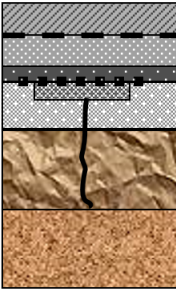
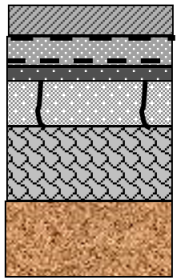
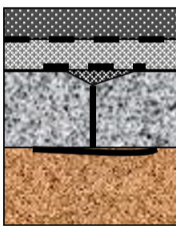
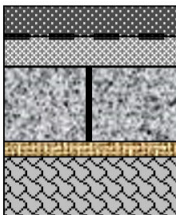
Näited lahendustest koos selgitusega

Tabelis 3.5 on esitatud konstruktsioonilised lahendused teekatete katendite ratsionaalseks armeerimiseks geovõrkude ja geokomposiitidega. Neis konstruktsioonides on realiseeritud põhilised soovitusel, mis on toodud refereeritud materjalis. Tuleb arvestada, et tabelis 3.5 on esitatud ainult mõned põhimõttelised konstruktsioonilised lahendused. Kihtide paksused ja materjalid valitakse ja määratakse kindlaks iga konkreetse juhtumi puhul eraldi, arvestades kohalikke tingimusi.

Tabel 3.5. Näidistekattekonstruktsioonid.

Konstrukt. nr	Konstruktsiooni skeem	Materjalide nimetus, kihtide ligikaudne paksus h , cm
1	2	3
Teekatte ehitamine, taastamine muldkeha remondi kohtades		
1		1. Killustik-mastiksfaltbetoon, $h = 4-5$ cm. 2. Poorne asfaltbetoon, suureteraline, $h = 6-10$ cm. 3. Geovõrk. 4. Asfaltbetoon, väikeseteraline (suure deformatsioonikindlusega), $h = 3-4$ cm. 5. Fraktsioneeritud killustik, $h = 18-40$ cm. 6. Pinnasegeovõrk või -komposiit. 7. Keskliiv, $h = 20-50$ cm.
2		1. Polümeerasfaltbetoon, tihe, väikeseteraline, $h = 4-6$ cm. 2. Asfaltbetoon, poorne, suureteraline, $h = 10-12$ cm. 3. Geovõrk. 4. Asfaltbetoon, väikeseteraline (suure deformatsioonikindlusega), $h = 3-4$ cm. 5. Segu killustikust ja kruusliivast, töödeldud anorgaanilise sideainega, lahja betoon, $h = 18-24$ cm. 6. Pinnas, töödeldud anorgaanilise sideainega, $h = 16-24$ cm.
3		1. Asfaltbetoon, tihe, väikeseteraline, $h = 5-8$ cm. 2. Geovõrk. 3. Asfaltbetoon, poorne, suureteraline, $h = 6-12$ cm. 4. Fraktsioneeritud killustik, $h = 15-40$ cm. 5. Pinnasegeovõrk või -komposiit.

4		1. Asfaltbetoon. tihe, väikeseteraline, $h = 6-8$ cm. 2. <u>Geovõrk</u>. 3. Asfaltbetoon, poorne, suureteraline, $h = 10-18$ cm. 4. Segud ja pinnased, töödeldud anorgaanilise sideainega (ГОСТ 23558-94), lahja betoon, $h = 20-24$ cm. 5. Liiva ja kruusa segu, $h = 20-40$ cm.
Teekatte taastamine või tugevdamine		
5		1. Asfaltbetoon (polümeerasfaltbetoon), tihe väikeseteraline, $h = 6-10$ cm. 2. <u>Geovõrk</u>. 3. Olemasolev pragunenud, plokkideks jaotunud asfaltbetoonkate. 4. Olemasolev killustikukiht. 5. Olemasolev aluskiht.
6		1. Asfaltbetoon, tihe, väikeseteraline, $h = 8-10$ cm. 2. <u>Geovõrk</u>. 3. <u>Geokomposiidist ribad</u>. 4. Ribad prao kohal <u>termoprofileeritud</u> asfaltbetoonist või polümeerasfaltbetoon, mis on paigaldatud freesitud süvendisse, $h = 4-5$ cm. 5. Olemasolev asfaltbetoonkatend põikpragudega. 6. Olemasoleva põikpragudega teekatendi tugevdatud aluskiht. 7. Olemasoleva aluskiht.
7		1. Asfaltbetoon, tihe, väikeseteraline, $h = 6-8$ cm. 2. <u>Geovõrk</u>. 3. Polümeerasfaltbetoon või kõrgendatud <u>deformatiivsusega</u> asfaltbetoon, $h = 3-5$ cm. 4. Olemasolev pragunenud, plokkideks jaotunud asfaltbetoonkatend. 5. Olemasolev killustikalus. 6. Olemasolev aluskiht.

8		1. Asfaltbetoon, tihe, väikeseteraline, $h = 6-8$ cm. 2. Geovõrk 3. Termoprofileeritud asfaltbetoon, $h = 3-5$ cm. 4. Olemasolev pragunenud, plokkideks jaotunud asfaltbetoonkate. 5. Olemasolev killustikalus. 6. Olemasolev aluskiht.
9		1. Killustik-mastiksasfaltbetoon, $h = 5$ cm. 2. Geovõrk. 3. Asfaltbetoon, poorne, suureteraline, $h = 6-8$ cm. 4. Väikeseteraline polümeerasfaltbetoon, kõrgendatud deformatiivsusega asfaltbetoon, $h = 3-5$ cm. 5. Geokomposiidist riba. 6. Riba prao kohal termoprofileeritud asfaltbetoonist või polümeerasfaltbetoonist, paigaldatud freesitud süvendisse, $h = 3-5$ cm. 7. Olemasolev, pragunenud, plokkideks jaotunud asfaltbetoonkate. 8. Olemasolev pragunenud, plokkideks jaotunud tugevdatud aluspind. 9. Olemasolev aluskiht.
10		1. Killustik-mastiksasfaltbetoon, $h = 5$ cm. 2. Geovõrk. 3. Asfaltbetoon, poorne, suureteraline, $h = 6-8$ cm. 4. Geovõrk. 5. Termoprofileeritud asfaltbetoon, $h = 3-5$ cm. 6. Olemasolev pragunenud, plokkideks jaotunud asfaltbetoonkatend. 7. Olemasolev killustikalus. 8. Olemasolev aluskiht.
Tsementbetoonkatendite või raudbetoonplaatide ülekatmine		
11		1. Asfaltbetoon, tihe, väikeseteraline, $h = 6-8$ cm. 2. Geovõrk. 3. Asfaltbetoon, poorne, suureteraline, $h = 8-10$ cm. 4. Geokomposiidist ribad. 5. Astangud või purunenud vuugid, mis on tasandatud väikeseteralise asfaltbetooniseguga. 6. Olemasolevad raudbetoon- või tsementbetoonplaadid. 7. Geotekstiilist ribad vuukide all. 8. Liivast või peenest liivast muldkeha.
12		1. Asfaltbetoon, tihe, väikeseteraline, $h = 6-8$ cm. 2. Geovõrk. 3. Asfaltbetoon, poorne, suureteraline, $h = 8-10$ cm. 4. Olemasolevad raudbetoon- või tsementbetoonplaadid. 5. Olemasolev montaažikiht ja aluspõhi.

Teekatendite laiendamine

Konst- rukts. nr	Konstruktsiooni skeem	Materjalide nimetus, kihtide ligikaudne paksus h, cm	
		Vana teekate	Laiendus
1	2	3	4
13		1. Asfaltbetoon, tihe, väikeseteraline, h = 6-8 cm. 2. Geovõrk. 3. Geokomposiidist riba ühenduskohal.	4. Asfaltbetoon, poorne, suureteraline, h=8-12 cm. 5. Fraktsioneeritu killustik, h = 15-40 cm. 6. Pinnasegeovõrk või -komposiit 7. Kesikliiv, h = 20-50 cm.
		4. Kõrgendatud deformatiivsusega väikeseteraline polümeerasfaltbetoon, h=3-5 cm. 5. Olemasolev asfaltbetoonkate. 6. Olemasolev killustikalus. 7. Olemasolev aluskiht.	
14		1. Asfaltbetoon, tihe, väikeseteraline, h = 6-8 cm. 2. Geovõrk. 3. Geokomposiidist riba ühenduskohal.	4. Asfaltbetoon, poorne, suureteraline, h = 8-6 cm. 5. Pinnasesegud, töödeldud anorgaanilise sideainega (ГОСТ 23558-94), lahja betoon, h=20-24 cm. 6. Liiva-kruusa segu, h = 20-40 cm.
		4. Termoprofileeritud asfaltbetoon, h= 3-5 cm. 5. Olemasolev pragunenud, plokkideks jaotunud asfaltbetoonkate. 6. Olemasoleva teekatendi tugevdatud, pragunenud ja plokkideks jaotunud aluskiht. 7. Olemasolev aluskiht.	

Katendis killustik-mastikasfaltbetooni, polümeerasfaltbetooni ja suurendatud bituumenisisaldusega asfaltbetooni kasutamine võimaldab realiseerida kõige efektiivsemaid teekattekonstruktsioone. Need materjalid tagavad armatuuri hea haakumise armeeritava materjaliga, mis soodustab nende ühist töötamist tõmbel koos paindega. Selle tulemusena suureneb katendi vastupidavus korduvatele koormustele ning peegeldus- ja väsimuspragude tekkele. Kui mainitud asfaltbetooni liikide kasutamine ei ole võimalik, võib kasutada asfaltbetooni liike ja tüüpe vastavalt standardile ГОСТ 9128-97.

Täiendavad kommentaarid eespool toodud näidistele:

- Konstruktsioonides 8, 10 ja 14 etendab täiendava kihi osa taastatud asfaltbetooni kiht, millele on lisatud sideaine termoprofileerimise meetodiga.
- Konstruktsiooni 5 võib tihti näha soovitusel ja ka praktikas, kuid see on vähemefektiivne. Vähemefektiivsed on ka konstruktsioonid, milles geovõrk paigaldatakse otse olemasolevale tsementbetoonkattele enne pealmiste asfaltbetoonikihtide paigaldamist. Niisuguste konstruktsioonide puhul on raske täita

nõuet, mille kohaselt on vaja tagada armatuuri tugev ja pikaajaline haakumine armeeritava materjaliga.

- Olemasolevate pragunenud ja plokkideks jagunenud asfaltbetoonkatete parandamine ainult 1 – 1,5 m laiuste geovõrguribadega, mis pannakse pragude peale, ei anna alati positiivseid tulemusi. Karmi kliimaga piirkondades moodustuvad temperatuuripraad katte olemasolevate pragude kõrvale 1 – 2 aasta pärast.
- Konstruktsioonides 3 ja 13B on armeeriva materjali paigaldamine asfaltbetoonkatte alumise kihi alla killustikalusele ebaefektiivne. Niisuguste teekatete kandevõimet on võimalik suurendada, paigaldades geosünteesilise materjali killustikkihi alla.
 - Tihenemisprotsessis kuni killustikukihtide täitumiseni toimub teravate servadega terade oluline liikumine, järelikult ka geosünteesilise materjali deformatsioon. Seepärast on asfaltbetoonkatendite armeerimiseks parem kasutada kvaliteetseid, vastupidavaid ja vähedeformatsiivseid geovõrke ja nende alusel valmistatud geokomposiite.
 - Efektiivne on aluspindade täiendav tugevdamine jäikade võrkudega transpordivahendite peatumiskohtades, kus koormuse mõjumisaeg on kaks suurusjärku suurem, kui pideva liiklusega teelõikudel. Selle konstruktsioonilise lahenduse efektiivsus kasvab aluspõhja termoreoloogilise tundlikkuse suurenedes.
- Konstruktsioonides 3, 4, 6, 9, 11, 12, 13 ja 14 on geovõrk paigaldatud asfaltbetoonkatte pealmise kihi alla, mis on kõige vastuvõtlikum temperatuuriliste mõjude suhtes. See geovõrk takistab temperatuuripragude tekkimist talvel ja roobaste moodustumist suvel, kuid selle panus katendi paindetugevusele on minimaalne. Geovõrgu paigaldamist katte pealmisse kihti soovitatakse teekatetes, mis rahuldavad tugevusnõudeid põhiliste arvutuslike kriteeriumide järgi.
- Konstruktsioonis 10 on armeeriv materjal paigaldatud nii kõige suuremate jõududest tingitud tõmbepingete kui ka maksimaalsete temperatuuriliste tõmbepingete tsooni. Võib prognoosida nende teekatete pikaajalisust, mis on ehitatud või remonditud selle konstruktsioonilis-tehnoloogilise skeemi järgi (geovõrgu paigaldamisega katendi alumisse ja pealmisse kihti).
- Konstruktsioonides 2, 4, 6, 9 ja 14 soovitatakse kasutada lisaks armeeritud katendile ka tugevdatud aluseid. Viimasel ajal on oluliselt vähenenud tugevdatud alustega teekatete ehitamine, kuigi teooria ja maanteede kasutuspraktika nii välisriikides kui ka Venemaal kinnitab, et ainult tugevdatud alused suudavad tagada kasvavaid nõudmisi asfaltbetoonkatendite transpordialaste eksploatatsiooninäitajate suhtes.

Üldjuhul tagavad tsementbetoonalused (konstruktsioonid 11 ja 12) teekatete suure kandevõime. Asfaltbetoonkatendeid, mis paigaldatakse neile alustele, tuleb kaitsta peegelduspragude kiire tekkimise eest vuukide kohal, paigaldades armeeriva materjali alumisele tasandavale poorse asfaltbetooni kihile.

Ei ole otstarbekas paigaldada asfaltbetoonkatendit (isegi mitte armeeritud) tsementbetoonile, kui plaadid on liitekohtades oluliselt vertikaalselt nihkunud transpordivahendite rataste mõjul. Käesoleval ajal on välja töötatud spetsiaalsed tehnoloogiad nende liikumiste tagajärgede kõrvaldamiseks. Kui asfaltbetoonkatend armeerida ribadega ainult plaatide kokkupuutekohtadel, tekivad selles praod armeerimata tsoonis.

Juhul kui tsementbetoonkate on oluliselt purunenud, tuleb tsementbetoon fragmenteerida enne tasanduskihi paigaldamist eraldi, „ohutute“ mõõtmetega (vähem kui 1 m), plokkideks.

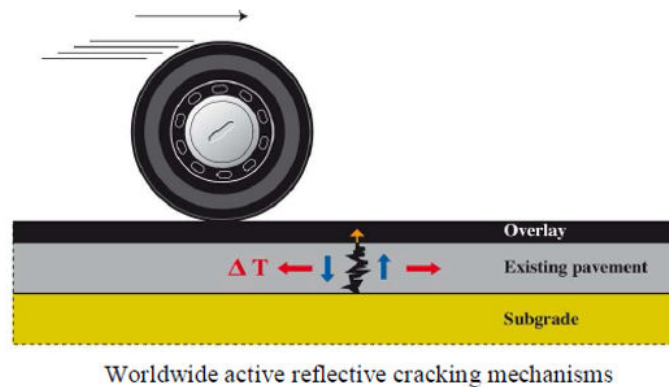
3.5. Teadusartiklid

Artikkel [17] toob välja erinevad nüansid, mis mõjutavad pragude uuestiilmnemist (joonis 3.7):

- liiklus (eriti külmadel aegadel);

- päevased temperatuurikõikumised;
- aastaaegadevahelised temperatuurikõikumised;
- kuivadel perioodidel pinnase kahanemised;
- ebaühtlased vajumised ja tõusmised.

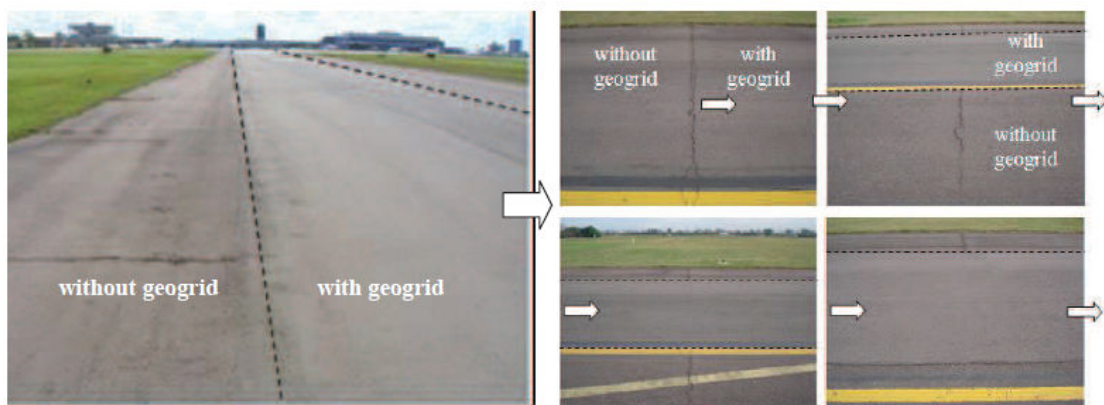
Nimetatud tingimustega tuleb projekteerimisel arvestada – kui suured on erinevas suunas liikumised, kuidas seda mõjutab liiklus ja mis on (raske)liikluse hulk. Laboratoorselt saadud tulemusi ekstrapoleeritakse seejärel saavutamaks objektile sarnanevaid tulemusi.



Joonis 3.7. Vanast praost tulenev liikumine ilmastiku- ja liikluskoormuse mõjul.

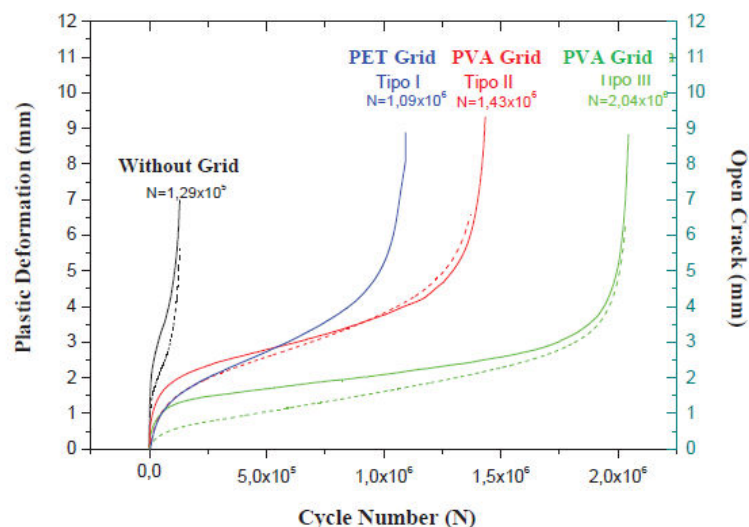
Laborikatsetusi on käsitletud **artiklis** [18], kus tuuakse ühele kirjandusallikale tuginedes välja, et temperatuuripragunemist saab prao liikumise suhtes jagada kolmeks:

- 0...0,762 mm (0,03 tolli) – geosünteti kasutada vaja ei ole;
- 0,762...1,778 mm (0,03...0,07 tolli) liikumine on see, kus geosünteedid on efektiivsed (joonised 3.8 ja 3.9);
- Üle 1,778 (0,07 tolli) on piir, mida geosünteedid tavaliselt enam vastu ei pea.



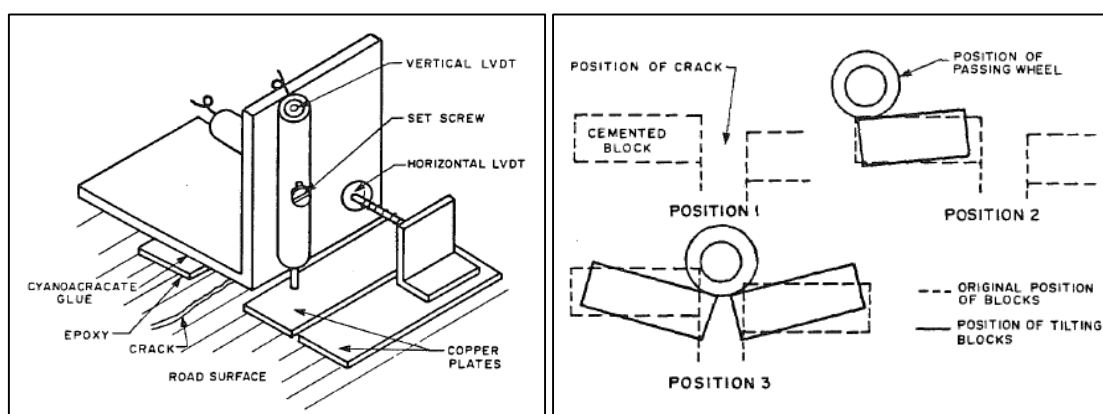
Joonised 3.8 ja 3.9. Asfaldivõrgud takistavad vanade pragude uuestiilmnemist, kui paigaldus on olnud korrektne ja uus asfaltkatte liiklusele ja ilmastikule vastavate omadustega.

Refereeritavad artiklis tutvustatakse uuringu tulemusi, millega sooviti täpsustada projekteerimise käiku. Uuringuga võrreldi ilma võrguta, polüester võrguga (PET) ja polüvinüülalkoholist (PVA) valmistatud võrguga proovikehade toimimist koormuse all. **Leiti, et PVA on märkimisväärselt vastupidavam, kui PET** (joonis 3.10).



Joonis 3.10. PVA on märkimisväärselt paremate omadustega, kui PET asfaldivõrgud.

Lisaks tutvustati artiklis lihtsat meetodit, mille abil saaks valida sobivat geosünteti, mis on summeeritud joonisele 3.13. Meetod põhineb prao horisontaalse ja vertikaalse liikumise koormamisaegsele mõõtmisele, mida tehakse kas spetsiaalselt selleks kohandatud FWD-ga või prao liikumise seadme kasutamisega, mille põhimõttelist olemust on näidatud joonistel 3.11 ja 3.12. Taolisi seadmeid on võimalik lihtsa vaevaga valmistada või siis osta.



Joonised 3.11 ja 3.12. Põhimõttelised skeemid, kuidas töötab prao liikumise mõõtmine selleks mõeldud rakisega. [19]

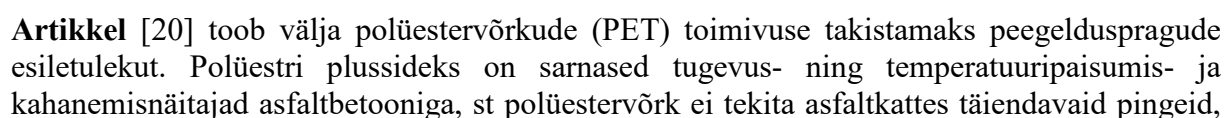
Tulemustest seoses prao **horisontaalse liikumisega** lähtub järgmist:

- Kui prao liikumine on madal (alla 0,3 mm), saab hakkama ilma geosüntete kasutamata. Pragu tuleb puhastada ja täita. Kui prao liikumine jääb alla 0,125 mm, võib kasutada tavalist ülekate. Kui prao liikumine on vahemikus 0,125 kuni 0,3 mm, peaks kasutama SAMI vahekihti („sand mix“, nagu kujutatud joonisel 2.2).
- Kui prao liikumine on keskmine (kuni 0,9 mm), tuleb pragu puhastada ja täita ning kasutada SAMI vahekihti või geotekstiili ning ülekattena polümeermodifitseeritud asfaltbetooni.
- Kui prao liikumine ületab 0,9 mm, tuleb pragu puhastada ja täita ning kasutada PVA või klaaskiust võrku ning ülekattena polümeermodifitseeritud asfaltbetooni.

Tulemustest seoses prao **vertikaalse liikumisega** lähtub järgmist:

- Kui prao liikumine on madal (alla 0,125 mm), saab hakkama ilma geosüntete kasutamata. Pragu tuleb puhastada ja täita, mille peale paigaldatakse ülekate.

- Esitatud tulemustega tuleb arvestada, et need pärinevad Brasiilia ülikoolist tehtud mõõtmistest, mis tõenäoliselt põhjamaistes oludes vajaksid tugevamat lähenemist, nagu on tutvustatud Vene metoodilistes juhendites.



vaid toimib armeervõrguna väliste jõudude vastu. Polüestervõrk nõ mängib asfaltbetooniga kaasa.

Uuringud näitavad, et klaaskiud on väga rabe ning võib juba paigalduse käigus kaotada suure osa oma tugevusest (tugevuse kadu võib olla 50...70+%). Ka ei talu klaaskiud oma rabaduse tõttu vertikaalseid nihkeid vaid suudab tulla toime vaid horisontaalse venitusega. Samuti on väga oluline osa nakkel – polüestril on suurepärane nake asfaltbetooniga, kuid klaaskiul väga nõrk või lausa olematu (joonis 3.14). Need on põhjused, miks tihti eelistatakse polüestrit klaaskiu asemel.

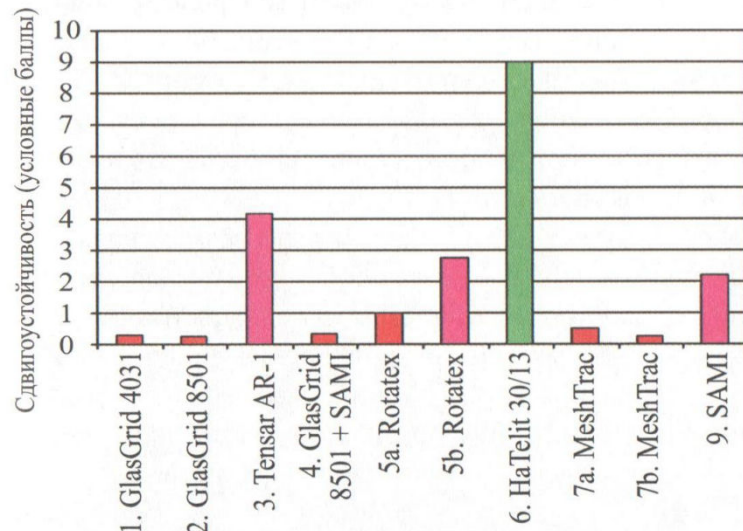


Рис. 9. Результат испытаний армированных асфальтобетонных образцов на сдвигоустойчивость

Joonis 3.14. Ühe uuringu tulemused seoses asfaldivõrkude nakkega asfaltihtide vahel. Parimaid tulemusi näitas polüester (PET), halvimaid klaaskiud.

Artikkel [21] lisab, et kuna klaaskiud ja ka karbon on väga rabedad, siis neid ei tohiks paigaldada freesitud pinnale, kuna seetõttu need purunevad ja kaotavad oluliselt oma omadustest; seega tuleks kasutada tasanduskihte. Polüestervõrgud venivad rohkem ning võimaldavad seega paigaldust ka freespinnale. Samuti ei talu rabedad klaaskiudvõrgud nii hästi dünaamilist koormust, kui rohkem venivad polüestervõrgud.

Kõik allikad ei nõustu sellega, et klaaskiud ei võiks olla sobilik või oleks kuidagi ebaefektiivne. Näiteks **allikas** [22] uuriti katselõigult (joonis 3.15) võetud asfaltdiplaadi väsimuskindlust laboratooriumis ning leiti, et klaaskiudvõrgust ja polüpropüleen geotekstiilist koosnenud geokomposiiti sisaldanud asfaltdiplaadi väsimuskindlus oli 283% ja klaaskiust asfaldivõrku sisaldanud asfaltdiplaadi väsimuskindlus oli 129% suurem, kui armeerimata proovikehal.

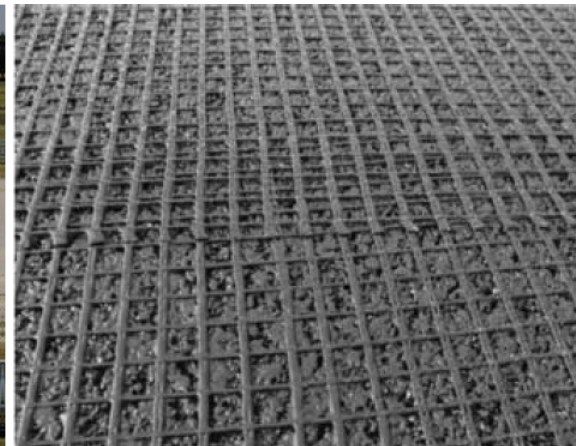


Joonis 3.15. Katselõik, millelt võeti uuringus [22] katsetatud proovikehad.

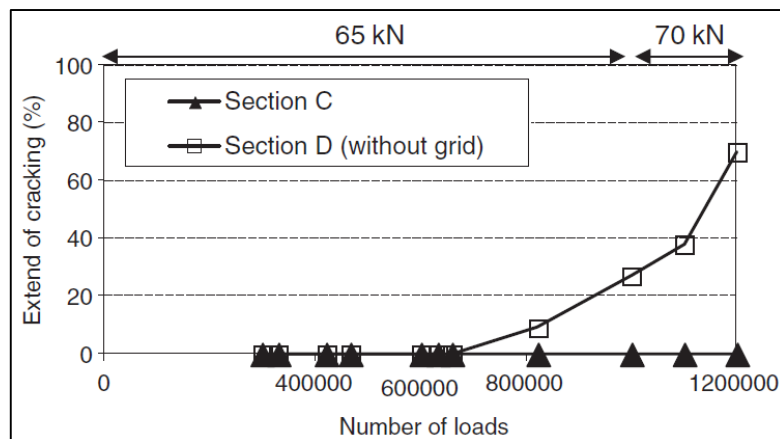
Artikkel [23] keskendub samuti klaaskiudvõrkude toimivuse hindamisele. Uuringu raames tehti põhjalik ülevaade kirjanduse andmetest ja leiti, et enamasti toimivad klaaskiudvõrgud teistest võrgutüüpidest paremini.

Lisaks vaadeldi kiirendatud koormustesti tulemusi, mis olid läbi viidud Prantsusmaal HVSi karusselliga (joonis 3.16). Võrdluseks „sõideti“ koormusrattaga kokku 1,2 milj tsükli 65 kN koormaga nii armeerimata kui klaaskiudvõrguga (joonis 3.17) armeeritud seksioonil; asfaltkatte paksus oli 70 mm. Tulemused olid järgmised (joonis 3.18):

- FWD vajumikauss ei näidanud seksioonide võrdluses erinevusi;
- Roopa areng oli mõlemas seksioonis sama;
- Esimesed väsimuspraod ilmnasid armeerimata seksioonil peale 800'000 tsükli läbimist. Katse lõpuks oli armeerimata seksioon 70% ulatuses pragunenud. Klaaskiudvõrguga armeeritud seksioonis ei ilmunud ühtegi pragu.



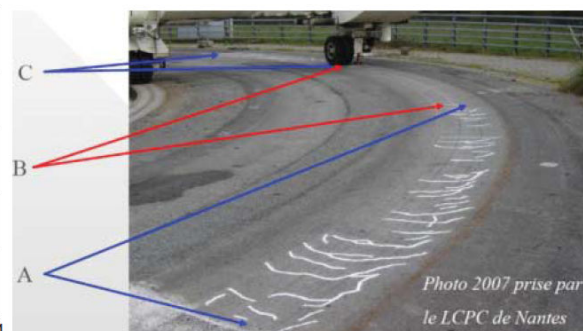
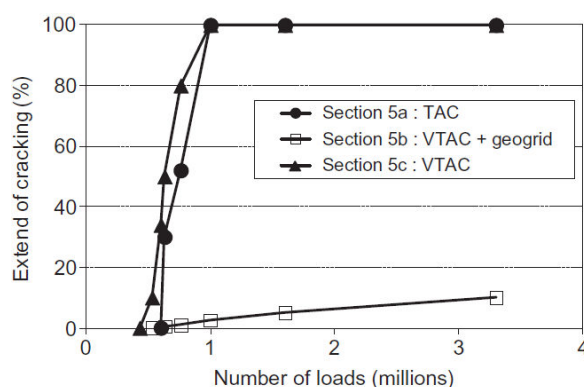
Joonised 3.16 ja 3.17. Uuringus [23] kasutatud katseseade ja klaaskiudvõrk.



Joonis 3.18. Klaaskiudvõrguga armeeritud sektsiooni ei tekkinud koormamise tagajärjel pragusid. See-eest armeerimata sektsioon purunes peale 1,2 milj. koormustsükli.

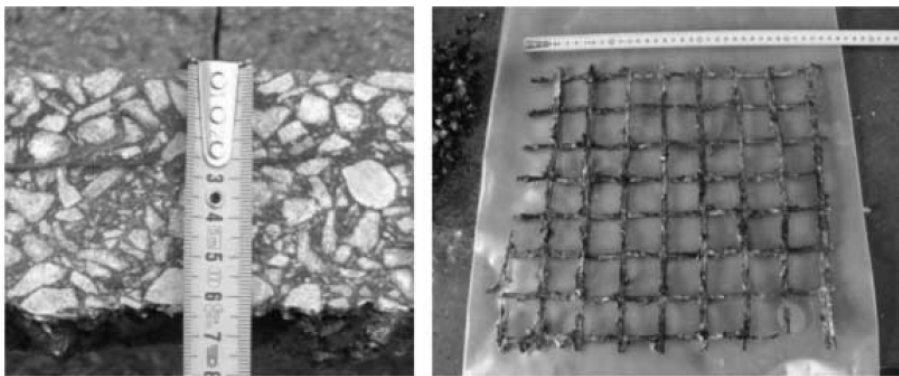
Järgnevas uuringus Prantsusmaa HVSiga ehitati võrkpragudega katsesektsioonile kolm erinevat sektsiooni uurimaks, kuidas käituvad järgmised lahendused ülekattena (joonised 3.19 ja 3.20):

- 40 mm ülekate (TAC);
- 25 mm ülekate koos klaaskiudvõrguga (VTAC+geogrid, joonis 3.21);
- 25 mm ülekate (VTAC).



Joonised 3.19 ja 3.20. Katsetuse tulemused, kus katsetati ülekattega vana amortiseerunud teekatendi parandamist. Peale üle 3 milj. tsükliga koormamist tekkis klaaskiudvõrguga sektsioonis vaid 10 % pragusid. Armeerimata sektsioonid purunesid peale ca 1 milj. koormustsükli.

Esimesed praod tekkisid 25 mm lõigule peale 430'000 tsükli, koos võrguga lõigule peale 530'000 tsükli ja 40 mm lõigule peale 600'000 tsükli. Kokku sõideti 3,3 milj. koormustsükli – ilma võrguta sektsioonid olid purunenud täielikult, kuid võrguga sektsioonil oli pragusid vaid 10% (joonis 3.19). Järeldati, et peamiseks põhjuseks võrgusektsiooni toimivusele oli see, et võrk oli väga tugevalt seotud kahe asfaltkihi vahele, samuti oli asfaltkihtide enda vahel suurepärane nake. Pärast katseid ekstraheeriti katsekehast klaaskiudvõrk ning leiti, et see oli heas korras (joonis 3.22).



Joonised 3.21 ja 3.22. Klaaskiudvõrk paigaldati vaid 2,5 cm paksuse ülekatte alla. Võrk oli katse lõpus heas korras.

Uuringu kokkuvõtteks leiti, et erinevates kirjandusallikates on klaaskiudvõrkude tulemuste osas väga erinevaid tulemusi. Peamiseks põhjuseks võrkude halvale toimivusele on ebapiisav nake võrgu (asfaldigeosünteedi) ja asfaltkatte vahel. Oluline on samuti võrgu silma ava suurus – kui see on võrreldes asfaltkatte terakoostisega liiga väike, ei teki piisavalt tugevat komposiiti. Kui paigaldus on läinud hästi ning nake on olnud hea, siis kirjandusallikad, k.a refereeritav artikkel näitavad, et klaaskiudvõrgud pikendavad teekatte eluiga ca kahekordselt. Seega on oluliseks märksõnaks paigaldus.

Artiklis [24] kirjeldatakse uuringuga leitud metoodikat, kuidas hinnata asfaldigeosünteedi mõju teekatendile FWD abil.

Poola tee-ehituspraktikas kasutatakse geosünteeite asfaltkihtide vahel eesmärgiga vähendada või vältida väsimuspragunemist, kui nõrga aluspinnase või elastse katendi tõttu võivad läbivajumised olla asfaltbetooni jaoks liiga suured. Teine kasutuseesmärk on peegelduspragude vältimine, kui asfaldi all asub jäik katendikiht. Mõlemal juhul suudab geosünteeit täita oma rolli vaid juhul, kui ta on paigaldatud pingete tekkimise tsooni. Lisaks peavad olema täidetud järgnevad tingimused:

- geosünteeit peaks asetsema võimalikult lähedal asfaltkihtide põhjale (see pole alati võimalik ülekattete puhul);
- kasutatava geosünteedi jäikusmoodul (ing. *stiffness modulus*) peab olema ümbritsevast asfaltbetoonist kõrgem ükskõik mis eksploatatsiooniaegsel temperatuuril;
- geosünteedil peab olema hea nake ümbritseva asfaldiga;
- geosünteeit peaks jääma paigaldamisel pingestatud seisu (st ilma voltideta ning sirgelt ja tugevalt maas).

Artiklis välja toodud järeldused tulenevad 2001. a ehitatud katselõigust. Tegemist on põhjalikult rekonstrueeritud teelõiguga, mille katend on alljärgnev:

- 5 cm AC 16 PmB;
- 5 cm AC 20 PmB;
- klaaskiudvõrk 35 kN/m (tol ajal oli taoline materjal tavaline)*;
- 9 cm AC 32 35/50;
- 25 cm mehaaniliselt stabiliseeritud alus;
- 20 cm külmakaitsekiht;
- mittekoostatud geotekstiil, PP*;
- 10 cm killustik.

* lõigu kogupikkus on 700 m, millest pooles on kasutatud geosünteeite ja teisel poolel mitte.

Peamine probleem hindamaks asfaldivõrkude efektiivsust esimestel aastatel on visuaalsete indikaatorite (nähtavate defektide) puudumine. Võimalus on kasutada teoreetilisi mudeleid,

kuid need vajavad kalibreerimist. Saaks kasutada ka otseseid mõõtmisi kasutades pinge- ja asfaldiandureid, kuid see meetod on aja- ja ressursimahukas.

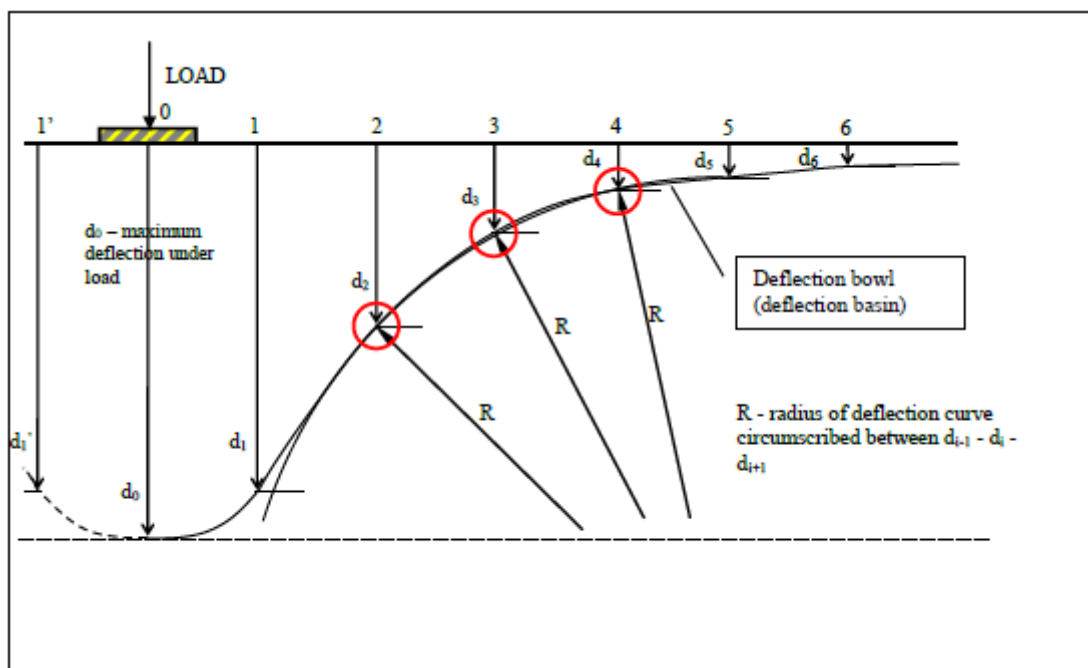
Refereeritavas uuringus hinnati asfaldivõrgu mõju kasutades FWD-d. FWD puhul hinnatakse kahte andmetüüpi – maksimaalne läbivajum ja vajumikausi geomeetria lisades sinna juurde mõjutavad tegurid. Maksimaalne läbivajum kirjeldab katendi üldist seisukorda ja järelejäänud eluiga – mida suurem läbivajum, seda vähem koormust suudab katend vastu võtta ja seda lühem eluiga katendil on.

Esimesed mõõtmised näitasid, et asfaldivõrk ei muuda FWD mõõtetulemusi ning muutusi saab seostada vaid katendi konstruktiivsete kihtide olukorraga. Seetõttu otsiti muid näitajaid, millega oleks võimalik kirjeldada asfaldivõrgust tulenevat potentsiaalset kasu. Uuringus hakati võrdlema vajumikausi kuju, täpsemalt andurite vahele jäävate kaarte raadiusi, kui mõõtetulemus on visualiseeritud (joonis 3.23). Hüpoteesi kohaselt peaks armeeritud sektsioonil olema nimetatud raadius suurem.

Neli aastat pärast ehitamist ei näidanud FWD mõõtmised märkimisväärseid tulemusi armeeritud ja armeerimata katendi vahel. Suured erinevused ilmnesisid pärast kaheksat aastat tehtud mõõtmiste juures, kui maksimaalne vajum võrkude sektsioonis oli märgatavalt väiksem. Suurem erinevus tuli välja sellel teepoolel, millel oli rohkem raskeliiklust. Asfaldivõrgu kasu tuleb välja juhul, kui on olemas defektide tekkeks soodne tegur (nt raske liiklus, alusest tulenevad vajumised, temperatuuripraod).

Lisaks FWD-le jälgiti ka defektide arengut asfaltkattes. Armeeritud osas oli defektide osakaal väiksem, kuid mitte täielikult puudu. Asfaldivõrk ei takistanud põik- ja pikipragude teket vaid neid oli isegi rohkem, kui armeerimata lõigul. Kokkuvõtteks saab siiski öelda, et asfaldivõrkudest oli pikemas perspektiivis (10 aastasel jälgimisperioodil) suur kasu.

Asfaldivõrkude kasutamine suurendas vajumikausi raadiust ja vähendas mõõdetud vajumise suurust. Suurem vajumikausi raadius tähendab, et koormamise vastu töötab suurem ala. Tulemusena tekib asfaltbetooni väiksem paindemoment, mis tähendab kattele suuremat eluiga (kõrgem väsimuskindlus). Sellest võib järeldada, et asfaldivõrk vähendab alt üles suunduvate pragude teket. Tingimus kehtib vaid juhul, kui nake asfaldigeosünteedi ja asfaldi vahel on hea.



Joonis 3.23. FWD vajumikauss ja uuringus vaadeldud raadiused

3.6. Asfaldigeosüntheetide tootjate soovitused materjali valikuks

Mitmed tootjad käsitlevad oma materjalides seda, mis tingimustel ja kus peaks nende tooteid kasutama, et saavutataks parimaid tulemusi. Järgnevalt ei tõlgita kogu teksti, vaid tehakse kokkuvõtlik ülevaade.

3.6.1. Tensari GlasGrid® ja GlasPave™

Tegemist on Põhja-Ameerikas levinud toodetega, mida Euroopas (vähemalt mitte meie piirkonnas) ei kasutata – GlasGrid on avatud struktuuriga isekleepuv klaaskiust võrk ja GlasPave klaaskiust tekstiil.

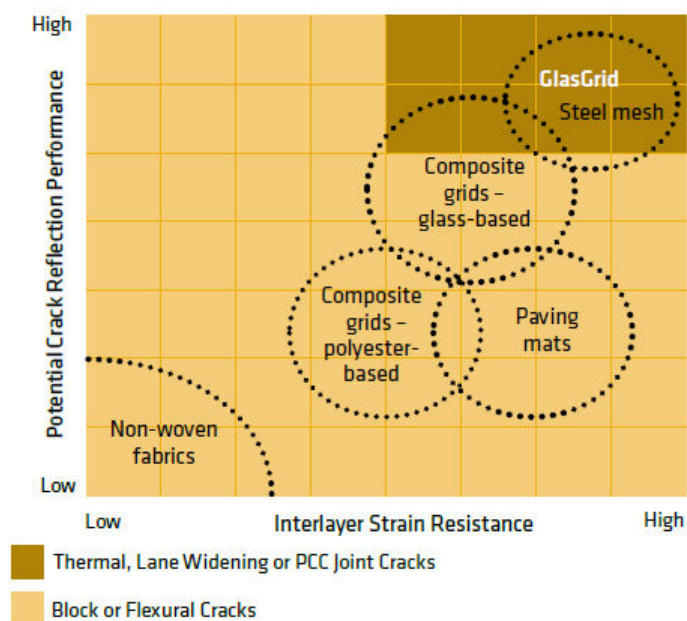
Soovitustes tuuakse välja, et kuna klaaskiul on väga suur moodul (vähese venivuse juures saavutatakse suur tõmbetugevus), on materjal eriti sobilik asfaltbetooni armeerimiseks, kuna viimane praguneb reeglina juba väikeste siirete juures. Kuna GlasGrid on avatud võrk, siis tagatakse ülekatte hea nake alumise asfaltbetooniga ning materjal on eriti sobilik keskmise ja suure raskeliikluse osakaaluga teedele. GlasPave on sobilik kasutamiseks väiksema ja kergema liiklusega teedel, lisaks võimaldab see tekitada veekindla kihi.

Vajalikud näitajad, millega projekteerija peaks arvestama, on:

- teekatendi tüüp;
- oodatav liiklus;
- kas vajatakse ka veekindla kihi olemasolu;
- objekti defektid ja nende põhjused.

Tulenevalt objekti olukorrast, antakse joonisel 3.24 kujutatud soovitus materjali valikuks. Joonise põhimõtteks on see, et mida suuremaks lähevad koormused, seda tugevamat geosüntheeti asfaldikihtide vahel tuleb kasutada. Kui praod on liikuvad ehk kui tegemist on temperatuuripragudega, tuleb kasutada teras- või klaaskiudvõrku. Kui vanas asfaltkattes on väsimuspraod, siis olenevalt liiklusest, saab kasutada alates geotekstiilidest, polüestervõrkudest kuni geokomposiitideni.

Terasvõrku ja GlasGrid võrku soovitatakse liikuvate pragude vastu just seetõttu, et need lukustavad asfaltbetooni osakesed oma struktuuri ning ei takista alumise ja ülemise asfaltkihi omavahelist naket. Seetõttu on tagatud nende väga efektiivne toimivus.



Joonis 3.24. Graafik, mille alusel empiiriliselt valida asfaldivõrgu tüüp ja valmistusmaterjal.

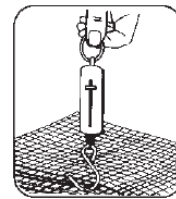
Tootja brožüüris tuuakse soovitused erineva tugevuse võrgu ja tekstiili valimisel järgnevalt:

- kui on vaja tõsta teekatte eluiga (suurendada asfaltkatte väsimuskindlust), kasutada 100 kN/m klaaskiudvõrku;
- kui on vaja parandada võrkpragudega kohti, kasutada kas klaaskiust geotekstiili tõmbetugevusega 25 kN/m väikste teede ja 50 kN/m suurte teede puhul või 100 kN/m klaaskiudvõrku ning paigaldada materjal kogu tee laiuses;
- temperatuuripragude osas külmas kliimas kasutada alati 100/200 kN/m (materjali tõmbetugevus piki ja risti teed) võrku ning võib katta vaid pragude kohad;
- külmakerkepragude osas kasutada alati 100/200 kN/m (materjali tõmbetugevus piki ja risti teed) võrku kogu tee laiuses.

GlassGrid juhendis on kirjas soovitus, et võrgu paigaldamisel parema nakketugevuse saavutamiseks alusega võib sellel sõita kummiratastega rulliga (metallvaltsid on keelatud!). Rulli rattad peavad olema puhtad. Nakke testimiseks võib kasutada kaalu, millega üritatakse tõmmata materjali aluse küljest lahti. Kui tulemus on üle 5 kg, on kõik hästi (joonis 3.25).

Test for Proper Adhesion

1. Cut 1 m² (approx. 1 sq yd) of GlasGrid mesh.
2. Place on area to be paved.
3. Activate self-adhesive glue by rolling with a rubber tired roller.
4. Insert hook of spring balance under center of GlasGrid mesh piece.
5. Pull upwards until GlasGrid mesh starts to pull from the surface.
6. Record results in kg (or lb).
7. If 5 kg (approx. 11 lbs) or more, OK to pave. Stop immediately if GlasGrid mesh moves or ripples.

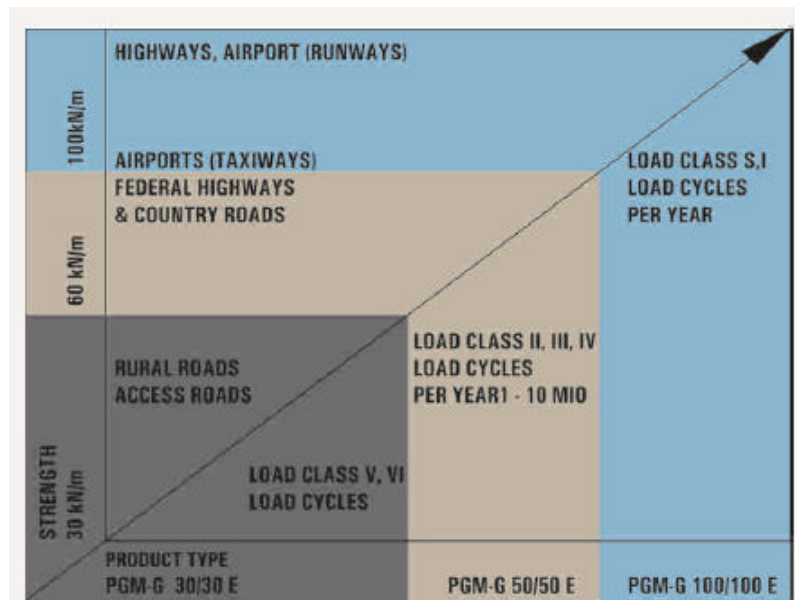


If less than 5 kg (approx. 11 lbs),
Do Not Pave with the GlasGrid System.

Joonis 3.25. Üks näidis, kuidas kontrollitakse asfaldivõrgu nakketugevust aluse külge.

3.6.2. TenCate Polyfelt® PGM-G E

Brožüüris sisaldub joonis 3.26, millest nähtub soovitus erineva tugevusega materjali kasutamiseks. Põhimõte on sama, mis GlasGrid'il ehk mida suurem koormus, seda suurema tugevusega materjali peaks kasutama.



Joonis 3.26. Empiiriline graafik, kuidas valida asfaldivõrgu tugevustugevust.

3.6.3. Cidex

Et asfaldivõrgud suudaksid armeerida asdaldikihte ehk pikendada nende eluiga (suurendada väsimuskindlust), peab geosüntetide elastsusmoodul olema parem, kui asfaldil. Tootja brožüüris tuuakse välja järgmised numbrid eri materjalide elastsusmoodulite osas põhinedes kirjanduse andmetele:

- asfaltbetoon 5000...15'000 MPa;
- polüpropüleen (PP) 4000 MPa;
- polüester (PET) 5000...10'000 MPa;
- klaaskiud 70'000 MPa.

Asfaldivõrke valmistatakse veel PVast (polüvinüülalkohol), eksootilisemad materjalid võivad olla karbonfiiber ja kevlar ehk aramiid, mille omadusi ei ole käsitletava tootja materjalides kajastatud. Internetist on leitavad järgmised väärtused:

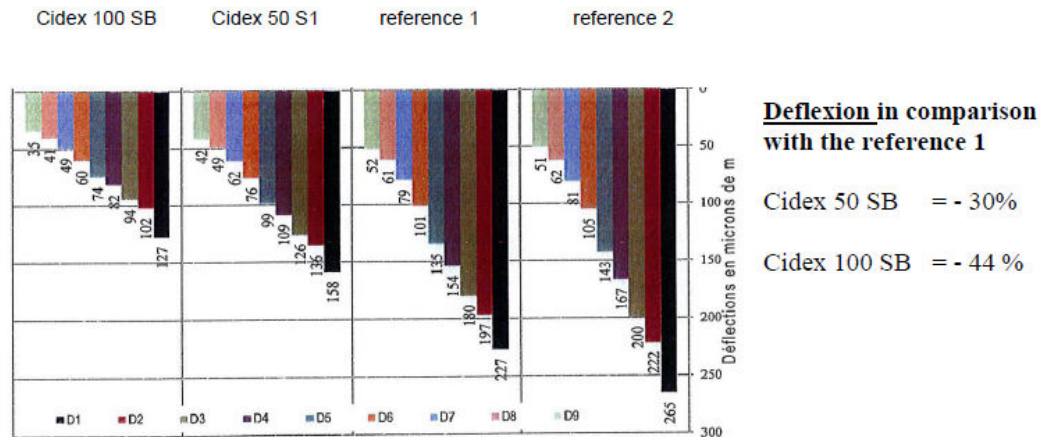
- PVA (allikast [25]) 46'000...70'000 MPa;
- Kevlar 60'000...120'000 MPa;
- Karboonfiiber 150'000 MPa.

Põhjamaades on laialdaselt kasutusel terasvõrgud, mis on toodetud taaskasutatud terasest. Hea kvaliteediga ehitusterasel elastsusmoodul on 200'000 MPa.

Asfaltbetooni vastupidavus venivusele on kuni 1%. Armeerivad asfaldivõrgud peavad hakkama tööle juba nii madalate venivuste juures, kui 0,1%. Seetõttu peavad armeerimiseks kasutatavate asfaldivõrkude elastsusmoodulid olema suuremad, kui asfaltbetoonil. Samuti on oluline, et paigaldamisel võrku eelpingestatakse. Väga oluline on ka nake. Cidexi võrgud on avatud struktuuriga ehk alumine ja pealmine asfaltkate saavad olla omavahel kontaktis.

Joonisel 3.27 kujutatakse mõõtmistulemusi teelt, kus on kasutatud avatud struktuuriga armeerivaid võrke kahe asfaltkihi vahel. FWD tulemused näitasid, et armeeritud sektsioonides olid läbipainded väiksemad ehk koormus jaotus suuremale alale.

FWD measurement, 7 months after the works.



Joonis 3.27. Asfaldivõrguga armeeritud teekatendi läbipainded olid väiksemad, kui armeerimata juhul.

Ökonoomika vaatevinklist ei ole mõistlik kasutada alati kõige kallimat ehk kõige tugevamat materjali. Geosünteedile esitatavad tugevusnõuded tulenevad objekti oludest (defektide liik, liiklus ja temperatuurivaheldumised).

Põikpragude vastu soovitatakse kasutada SAMi vahekihti või 50...100 kN/m klaaskiudvõrku koos kerge geotekstiiliga. Tuuakse välja, et kui pragude vertikaalne liikumine on suurem kui 0,3 mm (ehk üks praod on paigal ning teine serv liigub vertikaalselt üles), ei suudeta seda lahendada geovõrkude kasutamisega.

Pikipragude vastu (näiteks teede laiendamistel) soovitatakse kasutada 100 kN/m klaaskiudvõrku laiusel 0,65...1,0 m. Väiksem laius pole soovitatav, kuna vastasel juhul ei saavutata piisavat ankurduskaugust ning on oht, et võrgu äärtesse tekivad uued praod. Samuti võiks kasutada SAMi kihti vältimaks vee läbitungimist. Liikuvate pragude osas on oluline, et kasutatakse piisavalt paksu asfaltkatte kihti – minimaalselt 50...60 mm.

Külmakergete osas pakutakse välja kolm lahendust olenevalt olukorra tõsidusest:

- Olukord 1 – suhteliselt tagasihoidlikud liikumised ja praod vähene avanemine. Kasutada avatud struktuuriga klaaskiudvõrku, mille tõmbetugevus risti praoga on 100 kN/m. Prao kohal tuleb praosuunalisi ülekatteid vältida.
- Olukord 2 – tõmbepinged on suured ja külmakerkepraod keskmised. Kasutada avatud struktuuriga klaaskiudvõrku, mille tõmbetugevus risti praoga on 150 kN/m. Prao kohal tuleb praosuunalisi ülekatteid vältida. Asfaltkate peab olema paks (paksust ei ole täpsustatud).
- Olukord 3 – suured, mitu cm laiad praod. Tuleks koostada „sandwich“ struktuur. Kõigepealt paigaldada 30...70 mm asfaldi, seejärel võrk, uuesti 30...70 cm asfaldi, võrk, mille peale kulumiskiht. Kasutada avatud struktuuriga klaaskiudvõrku, mille tõmbetugevus risti praoga on 100 kN/m. Prao kohal tuleb praosuunalisi ülekatteid vältida.

Külmakerkepragude osas kõikide näidete puhul toodi nõue tõmbetugevuse osas risti praoga. Teine suund võib olla oluliselt madalama tõmbetugevusega, nt 20 kN/m. Kui pragude suund muutub ehk pragu ei ole enam sirgelt piki teed, siis tuleb kasutada võrku, mille tõmbetugevus on mõlemas suunas 100 kN/m.

Võrkpraod tekivad raskeliikluse dünaamiliste mõjutuste toimel. Nende takistamiseks tuleb paigaldada võrk võimalikult kihi alapinda, kuid siiski sideainega seotud kihi peale. Sobilikud on 50 ja 100 kN/m avatud struktuuriga klaaskiudvõrgud, mis on leitud suurendavat

asfaltbetoonkihi väsimuskindlust vastavalt 1,5 kuni 2 korda. Võrgud võimaldavad vähendada asfaltkatte kogupaksust umbes 30%.

4. ASFALDIVÕRKUDE PAIGALDUS – ÜLEVAADE KIRJANDUSEST

Artikkel [26] ütleb, et juba asfaldivõrkude algusaastatel mõisteti, et nende toimimiseks on võtmetähtsusega see, et geosünteed oleks kindlalt kleepunud aluspinna külge enne, kui paigaldatakse selle peale asfalt. Vastasel juhul tõmmatakse geosünteed aluse küljest lahti ja kortsu ning see kahjustab oluliselt peale paigaldatava asfaltbetoonkihi omadusi. Esimestel aastatel tehti võrgu peale pindamiskihti tagamaks materjali kinnipüsimine, tänapäeval kasutatakse võrkude küljes geotekstiile. Ükskõik kuidas võrgud asfaltkihtide vahele paigaldatakse, kindel on see, et nende toimivus ei ole tagatud, kui paigaldus pole tehtud korrektselt.

Järgnevalt esitatakse kokkuvõtte erinevate tootjate paigaldusjuhistest, lisaks esitatakse mõtteid Vene meetodilistest juhenditest asfaldivõrkude osas [16].

4.1. Kokkuvõtte erinevate tootjate nõuetest asfaldivõrkude paigaldamise osas

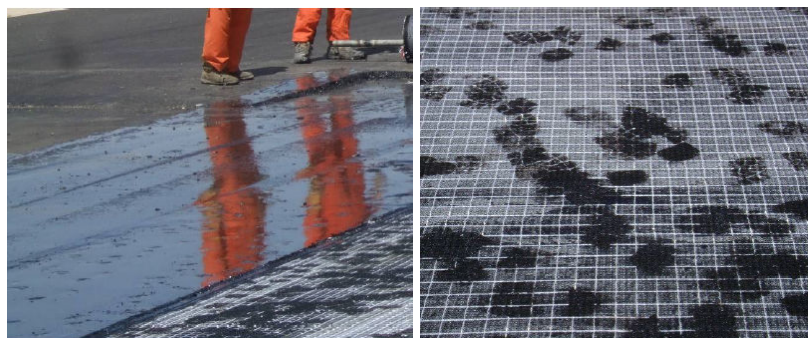
Kokkuvõtte tegemiseks vaadeldi järgmiste tootjate nõudeid: Bonsing, Bonar, Synteen & Lückenhaus, Tensar, Cidex, Huesker:

- Asfaltkatte olukord peab olema puhas tolmust, lahtisest materjalist ja õlist ning peab olema kuiv (vastupidiselt joonistele 4.1 ja 4.2).
- Teekatte tasasuse osas on erinevatel tootjatel erinevaid nõudeid (kui need väljuvad piiridest, tuleb teha tasandusfreesimine või paigaldada ülekate):
 - 1 m lati all võib olla maksimaalselt 6 mm ebatasasus;
 - 4 m lati all võib olla maksimaalselt 5 mm ebatasasus. Freesjälje sügavus ei tohi olla suurem, kui 4 mm.
 - Freesjälje sügavus ei tohi olla suurem, kui 10 mm.
- Ka pragude osas erinevatel tootjatel erinevad nõuded:
 - suuremad, kui 6 mm praod tuleb täita, väiksemad tuleb puhastada;
 - suuremad, kui 5 mm laiused praod tuleb täita, väiksemad tuleb puhastada;
 - väiksemad kui 3 mm laiused praod võib jätta täitmata. Suuremad tuleb puhastada ja täita.
- Paigaldusaegne asfaldigeosünteedi alla jääva teekatte minimaalsed temperatuurid on sõltuvalt tootjast +5...+10 °C. Kui temperatuurid on madalamad, tuleb kasutada puhast bituumenit (näiteks pen 160/220);
- Asfaldivõrgu paigaldamiseks kasutatava bituumeni kogus on väga palju sõltuv materjalist ning selles osas tuleks alati lähtuda konkreetse tootja juhendist. Bituumeni kogus sõltub veel aluse poorsusest, tasadusest, õhutemperatuurist ja niiskusest. Geosünteedile peab jääma piisavalt bituumenit ehk mida rohkem alus seda endasse „imeb“, seda rohkem tuleb bituumenit kasutada.
- Bituumeni laotamise põhimõte on see, et seda võib ette laotada vaid nii pikalt, et saaks tagatud toote tugev nake.
 - Vajaliku bituumenikoguse hindamiseks tuleb enne paigalduse algust teha väike katselapp (min 30 x 30 cm, soovituslikult 1 m²).
 - Kasutades näiteks valge geotekstiiliga geokompisiiti, on bituumenikogus piisav, kui selle peal kõndides värvub materjal mustaks (joonis 4.4). Samuti on üheks vihjeks piisavale bituumenikogusele see, et pihustatud pind muutub „peegliks“ (joonis 4.3, kehtib tasanduskihile paigalduse korral).
 - Bituumenit on liiga palju, kui tekivad sideainega üleküllastunud kohad.

- Tasanduskihi paigaldamine. Enamasti lubatakse paigaldada materjale freesitud pinnale, kui on täidetud nõuded tasaduse osas, aga enamasti soovitatakse kasutada ikkagi tasanduskihti, kuna see võimaldab paremat naket.
- Bituumenit tuleb laotada geosünteedi laiusest 150 mm laiemalt.
- Asfaldivõrkude ülekatted peaksid jääma vahemikku 50...250 mm (olenevalt tootjast);
- Kasutades bituumenemulsiooni, peab selle bituumenisisaldus olema vähemalt 65%. Osad soovivad/nõuavad ka polümeermodifitseeritud bituumeni/bituumenemulsiooni kasutamist. Emulsiooni kasutamisel tuleb oodata momenti, millal see hakkab lagunema ehk värvus hakkab muutuma pruunist mustaks. Asfaltkatte võib geosünteedile paigaldada peale emulsiooni täielikku lagunemist ja vee eemaldumist.
- Parima paigaldustulemuse saavutamiseks peaks iga 5 m järel materjali venitama, et seda eelpingestada. Kasutatavad paigaldusmasinad peavad võimaldama eelpingestamist. Materjal tuleb suruda vastu alust kasutades näiteks tänavaharja. Peale bituumeni tahenemist ei tohiks materjalis olla kortse. Suuremad kortsud, kui 2...3 cm kõrged, tuleb lõigata lahti. Materjali alla tohi jääda „õhutaskud“ ehk geosünteed peab olema täies ulatuses ja täielikult aluse küljes kinni.
- AsfalDIGEOSünteed ei tohi jääda tee ääres asfaltkatte alt välja, vaid peab jääma asfaldi sisse ca 10 cm ulatuses (võib olla ka rohkem, aga see sõltub objektist). Vastaselt juhul hakkab sealtkaudu toimuma vee sisseimbumine asfaldikihtide vahele.
- Minimaalne asfaltkatte paksus, mis võrgule tuleb paigaldada, on olenevalt materjalist 4 kuni 7 cm ning see täpsustub tootja paigaldusjuhise. Põhjamaistes oludes peaks minimaalne asfaltkatte paksus geosünteedi peal olema 5 cm.
- Vibrorullide kasutamine võib mõjutada asfaldivõrgu ja selle peale paigaldatava asfaltbetooni omavahelist naket. Seda tuleb kontrollida katselapi paigaldamisega.
- Paigaldatud tootele ei tohi lubada muud liiklust, kui asfalteerimistehnika (v.a metallvaltsidega teerullid). Järske pidurdusi ja keeramisi tuleb vältida.



Joonised 4.1 ja 4.2. Taolisele pinnale ei tohi asfaldivõrku paigaldada – freesijalg on liiga sügav, asfaltkatte must, ebatasane ja õline.



Joonised 4.3 ja 4.4. Tasanduskihile tekkiv peegeldav pind bituumenist viitab sellele, et bituumenit on piisavalt. Peale geotekstiiliga materjali paigaldamist peaks jalajäljed jääma mustaks, samuti veokite sõidujäljed.

4.2. Paigaldusnõuded Vene metoodilisest juhendist

- Lihtsaimal juhul seisneb aluspinna ettevalmistamine selle puhastamises tolmust ja porist, lohkude ja muude pisidefektide kõrvaldamises ning üle 5 mm laiuste pragude puhastamises ja täitmises hermetiseeriva materjaliga. Kui aluspind ei ole nõuetekohaselt tasane, siis tasandatakse see freesimise või tasanduskihi paigaldamisega.
- Kohe pärast aluspinna puhastamist valatakse peale sideaine (krunt), mille valik, kulu ja valamise kord olenevad tehtavate tööde tingimustest, kasutatavast geosünteesilisest materjalist, ning aluskihist, millele armeeriv vahekiht paigaldatakse. Kruntimine tehakse igal juhul. See operatsioon tuleb sooritada väga hoolikalt ning see on vajalik kahel põhjusel:
 - selleks, et tagada geovõrgu haakumine katte alumise ja pealmise kihiga ning kihtide omavaheline haakumine edasiseks ühiseks toimimiseks;
 - tehnoloogilistel kaalutlustel – geovõrgu fikseerimiseks (kinnikleepimiseks) alumisele kihile ajaks, mil sellel liiguvad kallurid ja asfaldilaotur, mis paigaldab katendi pealmise kihi.
- Nii esimene kui ka teine põhjus on väga tähtsad. Võrgu fikseerumise kvaliteedi määrab see, et armeerival materjalil ei ole katendi pealmise kihi paigaldamise ajal nihkeid ega laineid. See aga määrab omakorda armeerimise efektiivsuse.

Madala õhutemperatuuri puhul, kui on vajadus paigaldada kate niiskele aluspinnale või kui tuleb kasutada geokomposiite geotekstiilmaterjaliga, mida ei ole töödeldud sideainega, on soovitatav kasutada kiiresti lagunevaid bituumen- või polümeerbituumenemulsioone.

- Bituumenemulsioonide kasutamise positiivne iseärasus on sideaine ühtlasem jaotumine ja võimalus parandada vigu, mis võivad tekkida geosünteesilise materjali paigaldamisel enne emulsiooni täielikku lagunemist. Samas aga vajadus oodata emulsiooni lagunemist, viivitab tehnoloogiliste protsesside alustamist asfaltbetoonisegu laotamisel ja tihendamisel.

Erilist tähelepanu tuleb pöörata sideaine valamise ühtlusele ja kulunormile. Sideaine ebapiisav kogus tervikuna või mõnedes tsoonides võib põhjustada geosünteesilise materjali halba kinnitumist alumisele kihile, mille tagajärjel tekivad geovõrgu nihked asfaltbetooni paigaldamisel.

Sideaine liigne kogus raskendab tööde tehnoloogiat ning võib põhjustada geosünteesilise materjali kleepumist kallurite rataste külge ja geosünteedi purunemist, kui veokid selle peal sõidavad.

Sideaine kulunorm määratakse olenevalt aluspinna seisukorrast (olemasolev või värskelt paigaldatud kiht), kasutatava geosünteesilise materjali ja sideaine enda liigist, samuti geovõrgu tootja soovitusi arvestades. Sideaine kõrgendatud kulunormi (bituumen 0,9-1,2 l/m², emulsioon 1,1-1,5 l/m²) kasutatakse:

- armeeriva materjali paigaldamisel olemasolevale katendile, millel on väheseid pisidefekte, mis ei ole kõrvaldatud eelmisel tööetapil (väikesi pragusid jne);
- olemasoleva katendi olulise konarlikkuse puhul;
- kui kasutatakse geovõrku või geokomposiiti, mis ei ole tootmisprotsessis sideainega töödeldud.

Ülejäänud juhtudel moodustab sideaine kulunorm tavaliselt 0,7-1,0 l/m². Kohtades, kus võivad tekkida suuremad nihutusjõud transpordivahendite liikumise tagajärjel (järsud kallakud, pidurduskohad), peab sideaine kulunorm olema väiksem, kuid mitte alla 0,7 l/m².

Võttes arvesse sideaine kulunormi täpse määramise keerukust, on otstarbekas korrigeerida seda kaudsete väliste tundemärkide järgi, vastavalt geosünteesilise materjali pinnale jääva jälje värvusele pärast selle paigaldamist ja auto ülesõitmist. Kui kulunorm on määratud õigesti, on

sõidurada intensiivse musta värvusega. Liigse bituumeni puhul tekivad sellele peegeldused ning geomaterjal kleepub auto rataste külge. Kui bituumenit vähe, on sõidujäljed raskesti eristatavad või omandavad pruunika tooni.

Üldpõhimõtte sideaine pealevalamiskordade kindlaksmääramiseks kruntimisel seisneb järgmises: kui pindala, mille võtavad enda alla geovõrgu ribide vahel olevad avad (võrgu silma avatud pindala), moodustab 70 – 75 %, piki- ja põikribid aga alla 25 – 30 % geovõrgu kanga üldpinnast, siis võib sideaine peale valada ühe korra. Vastasel korral on soovitatav kaht pealevalamist: esimene 70 % ja teine 30 % kogu kulunormist, enne ja pärast armeeriva materjali laotamist. Kui kasutatakse geovõrku või geokomposiiti, mis ei ole tootmisprotsessis sideainega immutatud, on soovitatav sideaine valamine kaks korda.

- Kui soovitatavaid reegleid ei järgita ning sideaine valatakse alati vaid üks kord, võib põhiosa kleepiva materjali pinnast jääda geovõrgu ribide või mittekoatud tekstiili alla, mis oluliselt nõrgendab sidet asfaltbetoonikihtide vahel ega võimalda realiseerida armeeritud katendi eeliseid täiel määral.

Geosünteesilise materjali paanide paigaldamisel looklevatele pragudele on paani soovitatav laius 1,5 m. Faktiline laius määratakse pragude piirjoonte ja nende looklevuse järgi (joonis 3.6). Sealjuures tuleb lähtuda nõudest, et geovõrgu minimaalne laius peab olema prao kummalgi poolel 70 cm ning paanide minimaalne ülekate 25 cm. Efekttiivsemad on ühtsed paanid kogu pikkuses, kuid pragude suure looklevuse korral võib paanid läbi lõigata ja paigaldada ülekattega.

Kui pärast mõne kalluri liikumist on märgata geosünteesilise materjali kleepumine rataste külge, tuleb korrigeerida valatava sideaine kulunormi või puistata käsitsi asfaltbetoonisegu sõidureale asfaldilaoturi punkrist.

Lõpliku otsuse niisuguse tihendusrežiimi kohta, mis geovõrku ei vigasta, saab teha igal konkreetsel juhul ainult kihi proovipaigalduse ja -tihendamise tulemusena. Selleks tuleb näidisteks olevad geovõrguribad (vähemalt 5 näidist) katendist välja võtta (välja lõigata) kohe pärast proovitihendamist enne kihi jahtumist ning anda katsetamiseks üle laborile.

Geokomposiitide vigastatavus asfaltbetoonikihtide tihendamisel on oluliselt väiksem kui geovõrkudel, millel puudub mittekoatud geotekstiil.

4.3. Paigalduse lisamõtted Eesti kogemustele tuginedes

- Asfaldigeosünteesidel ei ole lubatud sõita metallvaltsidega teerulliga, eriti klaaskiudvõrgul.
- Objektile on vaja nuga ja kääre ehk sobivat lõiketehnikat materjali lõikamiseks.
- Oluline on jälgida bituumeni paigaldamise laiust ja seda, mis hetkel materjal selle peale paigaldatakse. Bituumenit ei tohi hoida liiga kaua katmata.
 - Kõige parem nake on saavutatud olukorras, kui bituumenemulsiooni norm on pihustatud maha vähemalt kahes osas nii, et esimese ringi emulsioon on lagunenu, mille peale tuleb teine ring ja kuhu peale paigaldatakse asfaldigeosüntees enne emulsiooni lagunemist.
- Võrk tuleb vastu alust harjata ka väikeste lappide osas. Voldid tuleb eemaldada, materjal tuleb suruda kindlalt vastu aluspinda.
- Võrk tuleb tõmmata paigalduse ajal pingesse, parim oleks seda teha paigaldusrakisega. Vastasel juhul tekivad sisse voldid ning võrk ei hakka konstruktsioonis efektiivselt tööle.
 - Teisalt on olnud probleeme just paigaldusrakise ja seda kandva masinaga ehk nende kahe koostoimel tekivad sisse voldid ja käsitsi paigalduse tulemus oleks parem.

- Võrkude paigaldamise juures oleks kasulik kasutada kahte gudrunaatorit, kuna asfaltteerimistöödel kasutatakse väiksemaid kulunorme ja vähema bituumenisisaldusega emulsioone, mis ei võimalda asfaldivõrkudele piisavat sideainenormi.
- Võrgu toimimine sõltub ka asfaldi enda kvaliteedist – on pandud tähele, et paigaldamist hõlbustavad lisandid asfaldis (mida kasutatakse sügiseti) põhjustavad paigaldusaegse nakke halvenemist. Samuti on tähendatud, et väga hästi töödeldavad ehk suhteliselt peeneteraliseid asfaltbetoonid ei haaku hästi selle alla jääva geosünteediga. Joonistel 4.5 ja 4.6 on kujutatud olukorda, kus asfaldivõrk ei ole hästi haakunud kahe asfaltkihi vahele ja peale paigaldatud asfaltsegu koostis oli liiga peenike.
- Väga tihti ei peeta kinni freesjälje maksimaalse sügavuse nõudest.
- Tuleb kinni pidada madalaima temperatuuri nõudest, mis on +5 °C. Kui õhutemperatuur on külmem, peaks kasutama kuumu bituumenit.
 - Kui võimalik, peaks asfaldivõrgu paigaldama temperatuuri vähemalt +10 °C juures.

Ehitaja peab aru saama materjali olulisusest – väga tihti paigaldavad asfaldigeosüntee objektidel töömehed, kellele ei ole antud vastavat väljaõpet ja kes ei ole saanud tutvuda isegi paigaldusjuhenditega.

On oluline, et enne suuremahulisi paigaldustöid testitaks asfaldivõrgu ja objektil esinevate tingimuste omavahelist sobivust. On mitmeid näiteid, kui korraga laotatakse maha suur hulk asfaldigeosünteeiti ja pärast selgub, et nake pealmise asfaltkattega on ebapiisav, mis halvendab selle omadusi.

Üks peamisi küsimusi või probleeme, mida Eesti töövõtjatel on olnud, on see, et veokirehvid kleepuvad asfaldivõrgu külge ja rebivad seda lahti. Selles osas on märksõnaks bituumeni kogus. Ühelt poolt, kui seda on liiga vähe, ei saa tekkida piisavalt tugevat naket. Teisalt, kui seda on liiga palju, siis nagu Vene juhendis öeldi, tungib see läbi asfaldigeosünteedi ning nakkub veokirehvidega. Üks võimalik probleem on veel vale bituumenemulsiooni kasutamine ning asfaldivõrgu liiga kiire paigaldamine selle peale. Kui bituumenemulsioonis ei ole piisavalt bituumenit (alla 65%) ning geosünteeit paigaldatakse emulsiooni peale liiga vara, tungib vesi koos bituumeniga võrgu peale ja haakub veokirastastega.

Aidata võib ka juba mainitud emulsiooni paigaldamine kahes kihis – esimene kiht tekitab nakke alusega ja teine kiht asfaldigeosünteediga. Kui korraga paigaldatakse kogu ettenähtud norm ja selle peale kohe ka geosünteeit, imbub emulsioon koos veega koormuse all geosünteedist läbi haakudes autorastate külge. Veelkord tuleb rõhutada katselapi olulisust, millega saab testida objekti olukorda ja avastava võimalikke probleeme enne, kui on liiga hilja.



Joonised 4.5 ja 4.6. Tagajärjed, kui asfaldivõrgu paigaldus ei ole olnud korrektne. [Fotod Ragnar Fortuna-Juks]

5. EESTI KOGEMUSED – NÄITED MUUDEST KATSELÕIKUDEST JA EHITUSOBJEKTIDELT

5.1. Muud katselõigud

5.1.1. Narva maanteele aastatel 2004 ja 2005 esitatud lõikude vaatlus

Aastatel 2004 ja 2005 paigaldati erinevates lõikudes kattesse geotekstiili (*paving fabric*, 140 g/m²), polüestervörku (50 kN/m) ja klaaskiudvörku (50 kN/m), kumbki vörk sisaldas väga kerget, vaid paigalduse ajaks mõeldud geotekstiili. Valitud lõigud, kuhu materjale paigaldati, olid probleemsed – esines väga palju põikpragusid (käesoleva uuringu raames vaadeldi nimetatud lõike lähemalt ning puuriti objektidel puurkehasid):

- Sõidusuund nr 1, km 18,5...19,6. Aastal 2003 on inventeeritud lõigul 107 põikpragu. Aastal 2005 paigaldati uus ülekate kasutades asfaldikihtide vahel *geotekstiili*. 2015 oli lõigul 8 põikpragu, mis kõik on ilmenenud viimastel aastatel. Lõik püsis ca 7...8 aastat pea pragudevabana (aastal 2009 on inventeeritud 1 põikpragu). 2015 oli ühe kilomeetri tee kohta lõigul 8 põikpragu.
- Sõidusuund nr 1, km 32,7...39,0. Aastal 2003 on inventeeritud lõigul 720 põikpragu. Aastal 2005 tehti uus ülekate kasutades asfaldikihtide vahel *geotekstiili*. Aastal 2006 inventeeriti 27, aastal 2007 samuti 27, aastal 2009 – 31, aastal 2010 – 23 ja aastal 2014 – 99 põikpragu. 2015 oli ühe kilomeetri tee kohta lõigul 15,4 põikpragu.
- Sõidusuund nr 2, km 39,3...40,5. Aastal 2003 inventeeriti 111 põikpragu. Aastal 2005 tehti uus ülekate kasutades asfaldikihtide vahel *geotekstiili*. Aastal 2007 ei ilmnenu ühtegi põikpragu, aastal 2009 inventeeriti 1 pragu, aastal 2011 – 9 ja aastal 2015 – 16 põikpragu. 2015 oli ühe kilomeetri tee kohta lõigul 12 põikpragu.
- Sõidusuund nr 2, km 40,5...43,0. Aastal 2003 inventeeriti 315 põikpragu. Aastal 2005 tehti uus ülekate kasutades asfaldikihtide vahel *polüestervörku*. Aastal 2007 oli ilmnenu 2, aastal 2009 – 5, aastal 2011 – 20 ja aastaks 2015 – 51 põikpragu. 2015 oli ühe kilomeetri tee kohta lõigul 22,2 põikpragu.
- Sõidusuund nr 2, km 58,1...59,2. Aastal 2004 inventeeriti 15 põikpragu. Aastal 2005 tehti uus ülekate kasutades asfaldikihtide vahel *klaaskiudvörku*. Hetkel on teelõigul kolm põikpragu, mis on ilmunud viimastel aastatel. 2015 oli ühe kilomeetri tee kohta lõigul 2,7 põikpragu.

Raske on hinnata geosünteedide toimivust, kuna ei ole olemas võrdlusmaterjali referentsseksioonide osas. Kõik valitud lõigud, kus geosünteede paigaldati, olid väga probleemsed – eelnevatel ja pärastistel lõikudel oli defekte vähem või parandati need mõnda teist tehnoloogiat kasutades. Vaadeldes lihtsalt pragude arvu kilomeetri kohta võiks järeldada, et kõige paremini toimis klaaskiudvörk. Geotekstiili ja polüestervörkude omavahelise võrdluse tulemus on sarnane. Vaadeldes põikpragude arvu enne rekonstrueerimistöid saab järeldada, et geosünteedid on parandanud tee eluiga.

Kõikidest andmetest nähtub, et suur hüpe pragude tekkes toimus vahemikus 2010/2011 kuni 2014/2015. Aastal 2012 oli Euroopas külmalaine ning Eestis mõõdeti madalaimaks

temperatuuriks ca -35 °C. Just sel ajaperioodil toimus ka väga suur hüpe põikpragude arvus. Maanteeameti bituumeniuuringust on teada, kuidas asfaltkatted käituvad madalamate temperatuuride juures, mida bituumen ja asfaltkate suudavad vastu võtta ehk kõige ülemises kihis tekivad suured pinged, mis teatud piiri ületades arenevad põikpragudeks. Allikas [27] tuuakse muuhulgas välja see, et praod tekivad tihti just ülalt alla liikudes, mitte vastupidi, nagu eeldatakse asfaldivõrkude kasutamisel. Sama mõtte tuuakse välja ka allikas [28], kust pärineb joonis 5.2. Reeglina koonduvad uued praod samadesse kohtadesse, kus oli ka vana pragu, kuna sellistes kohtades on teekatendi läbipaine ümbritsevast teest veidi suurem (joonis 2.17).

Asfaldivõrgud ei tööta ülalt alla liikuvate ehk temperatuuripragude (Vene asfaldivõrkude juhised siiski välja teistsuguse lähenemise, mis teoreetiliselt on korrektne) ja nihkepingetest johtuvate *top down* pragude (piki teed kulgevad) vastu. Taoliste pragude teke tuleb takistada asfaltbetooni omadustega.



Joonised 5.1 ja 5.2. Praod uues ülekattes ei pruugi liikuda alt üles, vaid hoopis ülalt alla. Joonised pärinevad allikatest [27] ja [28].

Käesoleva uuringu raames vaadati eelnevalt nimetatud asfaldivõrke sisaldavad lõigud üle ning puuriti puurkehasid nägemaks, kuidas on toimunud pragude areng ning mis seisus on kasutatud geosünteesilised materjalid. Huvipakkuvaks nüansiks oli ka see, kuidas on praod arenenud. Eelnevale tuginedes arvati, et praod on liikunud ülalt alla, mitte vastupidi ning seega ei oleks saanud geosünteesit kuigi palju tõkestada nende arengut, eriti arvestades seda, et peamine muutus pragude hulgas on tekkinud peale külmalainet.

Geotekstiiliga ja polüestervõrguga lõigud

Kõikides lõikudes oli palju põikpragusid, suuremaid ja väiksemaid. Osad olid parandatud ehk mastiksiga täidetud, osad olid hakanud lagunema ja osad olid tekkinud alles suhteliselt värskest ja olid veel vaevunähtavad ning täitmata (joonised 5.3...5.5). Proovikehad puuriti nendest kõikidest.

Kõige huvitavamad olid need praod, mis olid veel kitsad ehk värskest tekkinud. Nende puhul oli näha, et pragu oli tulnud ülalt alla ja geosünteesi (vähemalt mitte puurkehaga tuvastatavalt) all vana pragu ei olnud – taolisi olukordi leiti kaks (joonised 5.7 ja 5.8). Juba parandatud pragude puhul oli kõikides puuritud kohtades, v.a ühel juhul (joonis 5.6), praod sees ülevaalt alla ehk uues ülekattes oli pragu sees samas kohas, kus oli olnud ka vana pragu (joonised 5.9 ja 5.10).

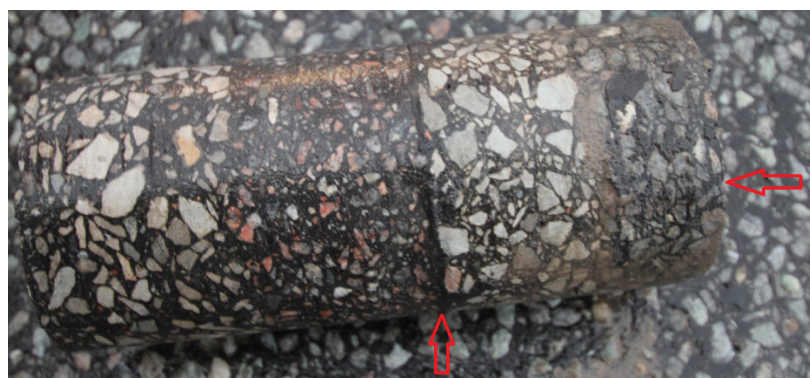
Puurkehad viitavad sellele, et praod on hakanud arenema ülalt alla ehk seetõttu, et ülemine asfaltkate ei ole toime tulnud piirkonnas esinenud madalate temperatuuridega. Enamasti olid vanad ja uued praod samas kohas tõenäoliselt seetõttu, et teekatte läbipaine on nendes kohtades võrreldes tervete kohtadega suurem. Samas ei saa välistada, et mõningatel juhtudel on võinud pragu hakata arenema ka alt, kuid olemasolevatele andmetele tuginedes ei saa seda tõestada.



Joonised 5.3...5.5. Enamus põikpragudest olid täidetud, osad juba lagunenud, osad veel vaevunähtavad ehk värskest tekkinud.



Joonis 5.6. Temperatuuripragu on arenenud ülalt alla kohta, kus varasemalt pragu olnud ei ole. Tekkinud pragu ei ole arenenud ka edasi vaid on peatunud geotekstiili tasapinnas.



Joonis 5.7. Puurkeha on võetud värske praoga kohast. Pragu on vaevunähtav vaid kulumiskihis ning ei ole jõudnud välja asfaldigeosünteedini. Pragu on tekkinud kohta, kus eelnevalt vana pragu olnud ei ole.



Joonis 5.8. Teine vaevunähtava praoga puurkeha. Kommentaariks saab öelda sama, mis joonise 5.7 puhul.



Joonised 5.9 ja 5.10. Praod on läbistanud kogu asfaltkatet, kuid geosünteeet oli terve.

Klaaskiudvõrguga lõik

Teelõigul oli vaid kolm põikpragu ja kõik visuaalselt kitsamad, kui eelnevates lõikudes, st praod geotekstiiliga ja polüestervõrguga sektsioonides olid laiemad. Põhjuseks võib olla see, et laiemad praod olid parandatud pragude laiendamise meetodil, mis tingis taolise visuaalse hinnangu. Klaaskiudvõrgu lõikudes olid praod lihtsalt pealt sõelmetega pinnatud (joonised 5.11 ja 5.12).

Klaaskiudvõrgu sektsioonis oli välimises sõidusuunas märkimisväärne deformatsiooniroobas, mida teistes lõikudes ei olnud (joonised 5.13 ja 5.14).

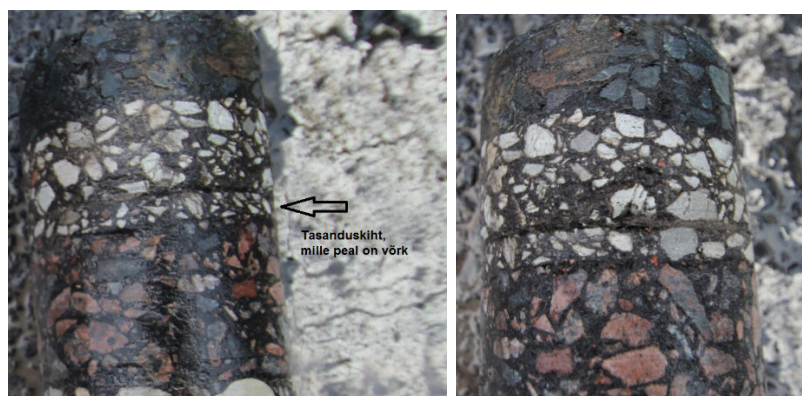


Joonised 5.11 ja 5.12. Põikpraod klaaskiudvõrguga sektsioonis olid visuaalselt kitsamad, mis võib johtuda ka parandusmetoodikast.



Joonised 5.13 ja 5.14. Klaaskiudvõrgu sektsioonis oli arenenud märkimisväärne pikiroobas.

Puurimised näitasid, et ka klaaskiudvõrgul on praod läbistanud terve puurkeha. Suuremaks probleemiks oli see, et nake asfaltbetooni ja võrgu vahel oli halb ning arvatavasti see oli põhjustanud ka pikiroopa tekke (joonised 5.15 ja 5.16). Joonistel 5.17 ja 5.18 nähtuvad nakkeprobleemid.



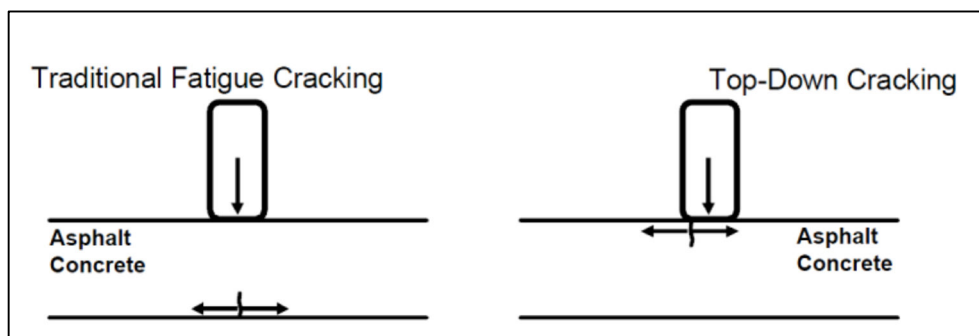
Joonised 5.15 ja 5.16. Pikiroopa tõenäoliseks põhjuseks puurkeha põhjal on asfaltbetooni nihkumine klaaskiudvõrgu pinnal seoses materjalide omavahelise halva nakkega.



Joonised 5.17 ja 5.18. Klaaskiudvõrgu sektsiooni ühiseks näitajaks paistis olevat nakkeprobleemid. Defektid olidki tekkinud kohtadesse, kus ei olnud piisavat naket. Ka kirjanduses on viiteid ses osas, et klaaskiud ei nakku asfaltbetooniga hästi.

Narva maantee jälgimise kokkuvõtteks saab teha järgmised järeldused:

Sobivate omadustega asfaldivõrk takistab efektiivselt alt üles, mitte ülalt alla liikuvaid pragusid (joonis 5.19). Seega tuleb defektsete teekatendite remontimise osas arvestada ka uue asfaltkatte omadustega, et selle koostis vastaks liiklus- ja ilmastikukoormusele. Vastasel juhul on asfaldivõrkudest vähe abi. Nii Narva maanteel tehtud puurimised kui ka kirjandusest leitav info näitavad, et väga tihti tekivad temperatuuripraod samadesse kohtadesse, kus need on olnud ka varem. Kui teekatendis on kattes allpool ebahomogeenne koht (näiteks vana temperatuuripragu), siis seal toimuvad mingil määral liikumised; samuti paindub taoline koht liikluskoormuse all rohkem läbi, kui muu tee osa. Asfaltbetoonis tekkivad mikropraad koonduvad taolistesse nõrgematesse kohtadesse ning avalduvad seejärel tee pinnal. Seega ei pruugi avaldunud pragu olla peegelduspragu, vaid samasse kohta tekkinud uus temperatuuripragu uue asfaltbetooni ebapiisavate omaduste tõttu.



Joonis 5.19. Kui asfaldivõrku kasutada asfaltkihi alapinnas, takistab see väsimuspragude teket, mis liiguvad alt üles. Asfaldivõrgud ei takista ülalt alla liikuvate pragude teket (nihkepingetest), kuid võivad takistada temperatuuripragude arengut. [28]

Ühestki muust kirjandusest, v.a Vene metoodilistest juhenditest selle kohta andmeid ei ole leitud, kuid teoreetiliselt peaks sobivate omadustega asfaldivõrk vähendama vana prao mõju ning hoidma uut ülekate tugevalt koos sillates probleemse praoga koha nii, et see ei saaks kõige nõrgemaks kohaks, kui uus ülekate ei ole piisavate omadustega madalatele temperatuuridele. Kaudselt viitab sellele väsimuskindluse katse ehk asfaldivõrk armeerib asfaltikihi alapinda muutes seda jäigemaks.

Asfaldivõrk peab olema jäik, suurema mooduliga, kui asfaltbetoon. Narva maanteel kasutatud geotekstiil ja polüestervõrk on suure venivusega ning on kas madalama või väga sarnase

mooduliga, kui asfalt. Nendes lõikudes esines ka palju põikpragusid. Klaaskiul on oluliselt suurem jäikus, kui asfaldil ning Narva maanteel oli selle lõigus ka märgatavalt vähem pragusid. Asfaldi nake tekstiili ja polüestervõrguga oli hea – kõik suurkehad püsisid geosünteedi tasapinnas koos. Kõik probleemsed klaaskiudvõrgu kohad lagunesid ehk nake asfaldi ja võrgu vahel oli puudulik, mis võib olla defektide tekkimise põhjuseks. Kirjandus toetab sama mõtet. Mitmetes kohtades tuuakse välja, et klaaskiud on oma tugevusomadustelt väga sobilik asfaltbetooni armeerimiseks, kuid probleemiks on nakke teke. Klaaskiud ei haaku bituumeniga ning selleks kasutatakse tootmisel eri lisandeid. Nakkeprobleemide tõttu on klaaskiud osas oht, et selle peale paigaldatav asfaltbetoon hakkab koormuse all nihkuma ning tekib roobas – täpselt see, mida nähti Narva maanteel, kuid see sõltub kasutatud võrgu olemusest.

5.1.2. Muud Eestis tehtud uuringud

Imavere – Viljandi teelõigule ehitati fiiberpindamisest SAMI vahekiht, mille toimivusest on AS Teede Tehnokeskus teinud aruande [2], kus toodi välja järgmist:

- Põikpragude teket (paljandumist) on fiiberpindamine pidurdanud ca 1,5 aastat, aga peale 2,5 aastast eksploatatsiooni on põhimõtteliselt kõik põikpraod peegeldunud uuesti katte pealispinnale ning aastal 2013 on põikpragude hulk isegi suurenenud;
- Kitsa vuugiprao teket (paljandumist) pole katselõikudel kasutatud meetodikad suutnud pidurdada, sest ca 1,5 aastat pärast katselõikude valmimist tekkis kitsas vuugipragu uuesti;
- Kitsaste pikipragude teket (paljandumist) on suutnud katselõikudel kasutatud meetodikad edukalt pidurdada. Peale 3,5 aasta möödumist on veel 74% kitsaid pikipragusid paljandumata;
- Võrkprao teket on katselõikudel kasutatud meetodikad suutnud edukalt pidurdada ja nende paljandumist pole tuvastatud peale 3,5 aastast eksploatatsiooni.

Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maantee (põhimaantee nr 2) km 46,5...51,0 teelõigu probleemiks pikipragu külmakerke tagajärjel. Selle vältimiseks prooviti kolme materjali kasutamist - kasutati terasvõrku („kanavõrk“), polüestervõrku (50 kN/m) ja klaaskiust geokomposiiti (100 kN/m + 140 g/m²). Uuringu lõpparuanne on koostatud AS Teede Tehnokeskuse poolt [29]

Kokkuvõtteks saab tuua välja järgmised järeldused:

- klaaskiudvõrk ei takistanud külmakerkeprao ilmnemist;
- polüestervõrk ei takistanud külmakerkeprao ilmnemist;
- terasvõrgul ei tekkinud esimesel talvel külmakerkepragu, kuid järgmisel talvel oli pragu nähtav.

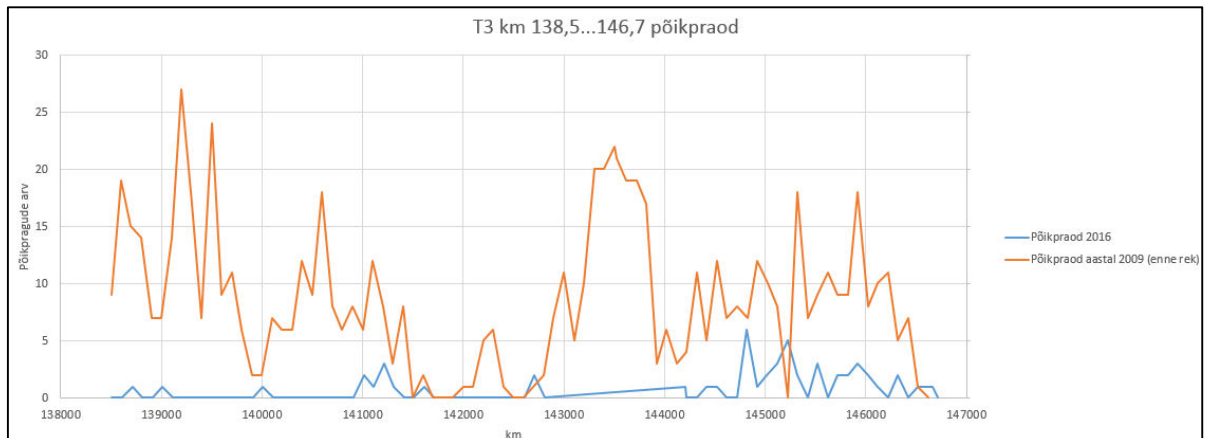
Mitte kõik praod ei olnud tulnud uue ülekatte pinnale – vana pragu oli jäänus nii võrkudeta kui võrkudega sektsioonide alla. Leitud tulemusi on uuringus vaid konstateeritud ning põhjusi, miks miski töötas ja ei töötanud, ei ole analüüsitud. Samuti ei ole selgitatud, mille alusel katselõigus kasutatud võrgud valiti ja missugune oli paigaldusprotsess ning kas viimane võis mõjutada ka lõpptulemusi.

Teeregistri alusel sai vaadelda kahte üle viie aasta vanust objekti:

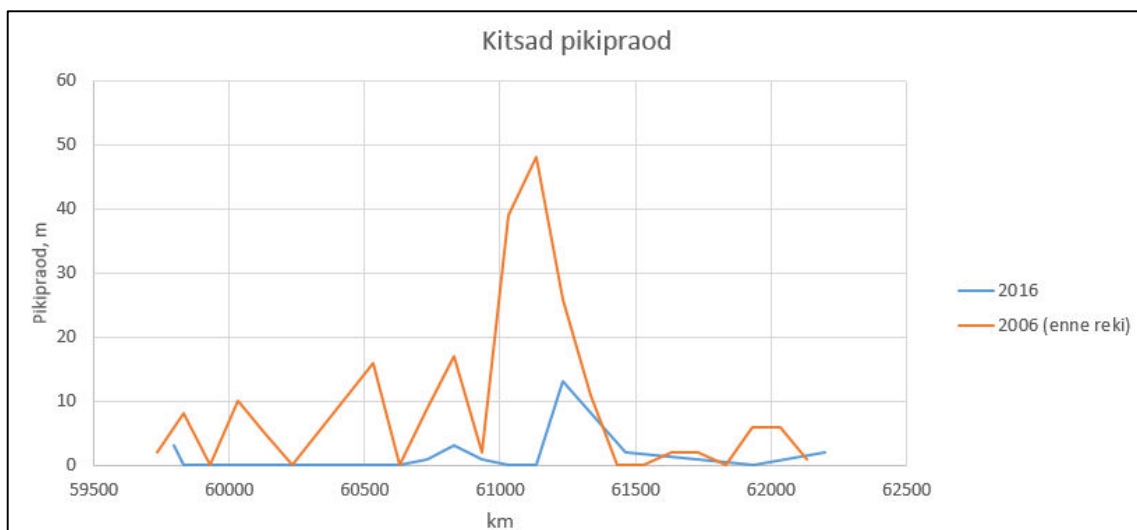
- T-3 Jõhvi – Tartu – Valga km 138,5...146,7;
- T-4 Tallinn – Pärnu – Ikla km 59,8...62,2.

T-3 peal oli peamiseks probleemiks põikpraod, aastal 2011 tehti ülekate 4+4 cm kasutades asfaldikihtide all 50 kN/m polüestrist komposiitvõrku. Eelnev olukord koos 2016 tehtud defektide inventeerimisega on näidatud joonisel 5.20, millest nähtub, et remondist on olnud kindlasti kasu, kuigi mõningad põikpraod on uuesti välja ilmunud.

T-4 peal oli peamiseks probleemiks kitsad pikipraad, aastal 2009 tehti 6+4 cm ülekate kasutades 100 kN/m klaaskiudvõrku koos geotekstiiliga. Eelnev olukord koos 2016 tehtud defektide inventeerimisega on esitatud joonisel 5.21, millest nähtub, et objekt on veel heas seisus.



Joonis 5.20. Pööikpragude hulk T-3 peale aastal 2009 (kaks aastat enne remonti) ja aastal 2016 ehk ca 5 aastat pärast remonti (ülekate tehti aastal 2011).



Joonis 5.21. Kitsaste pikipragude hulk T-4 peale aastal 2006 (kolm aastat enne remonti) ja aastal 2016 ehk ca 7 aastat pärast remonti (ülekate tehti aastal 2009).

5.2 Näiteid ehitusobjektidelt

Käesoleva uuringu autor on külastanud mitmeid objekte, kus on paigaldatud asfaldigeosüntee. Kuigi on leidunud ka häid näiteid, siis enamasti jäädvustati tegevusi, mida ei peaks tegema ja millest tuleb järgnevalt juttu.

Suurem osa probleemidest puudutab probleeme nakkeks kasutatud bituumenemulsiooniga. Enamasti on bituumenemulsiooni liiga vähe, mistõttu asfaldivõrk ei kleepu alusele ja pealmine asfaldikiht geosünteedile. Bituumeni puuduse põhjuseid on mitmeid:

1. emulsiooni pannaksegi meelega vähe, kuna vastasel juhul tõuseb ta geosünteedist läbi haakudes autorataste külge;
2. kasutatavas bituumenemulsioonis sisaldub liiga vähe bituumenit;
3. tootjapoolses juhendis on antud ette kulumormi vahemik, millest kasutatakse alumist väärtust, kuigi tegelikult peaks kasutama rohkem.

Lahendused probleemidele:

1. oluline on geosünteedi paigalduse ajastus suhtena emulsiooni lagunemisse. Materjal tuleb paigaldada hetkel, kui emulsioon hakkab lagunema ehk kui värvus hakkab muutuma pruunist mustaks. Häid tulemusi on andnud ka see, kui emulsioonikogus pannakse maha kahes jaos – esimene pihustus lastakse ära laguneda ja geosünteedi paigaldatakse teise pihustuse peale. See tagab selle, et alus on krunditud ja geosünteedi jõuab vaid see bituumen, mis sinna jõudma peab. Kui ka siis jäävad veoki rattad geosünteedi külge kinni, on võimaluseks väga õhukese asfaldikihi käsitsi laotamine rattajälgedesse;
2. bituumenit peaks sisalduma emulsioonis vähemalt 65%, mida rohkem, seda parem. Osad tootjad nõuavad, et kasutama peab polümeermodifitseeritud bituumenemulsiooni ja selle kasutamine võib tagada parema nakke ning selle, et autorehvid ei kleepuks materjali külge;
3. tootjapoolses juhendis sisaldub vahemik, millest peab valima sobiliku vastavalt objekti olukorrale. Vajaliku bituumeni hulka mõjutab eelkõige aluse poorsus – kas alla on jäänud freesitud pind (kui poorne see on ja kui sügav on freesjalg), kas all on poorne asfaltbetoon (emulsioon valgub selle pooridesse), kas all on peeneteralisest asfaltbetoonist tasanduskiht (mis on parim variant).

On soovituslik, et enne asfaldigeosünteedi paigaldamist tehtaks väikesemõõduline (ca 1 m²) katsetükk, millega testitakse naket aluse ja peale tuleva asfaldiga.

Bituumeninormi valimiseks on soovituslik võtta aluseks peatükis 3.1 esitatud valem.

Nakke suurendamiseks tuleks geosünteedi aluse külge suruda tänavaharjaga.

Kui kasutusel oleva paigaldusrakisega ei suudeta geosünteedi paigaldada sirgelt ja ilma voltideta, tuleb leida paigalduseks muu viis või teha paigaldus käsitsi.

Joonistel 5.22 ja 5.23 on olukord, kus asfaldigeosünteed oli paigaldatud õigel ajal suhtena bituumenemulsiooni lagunemisse võrrelduna sellesse, kui geosünteed oli paigaldatud peale emulsiooni lagunemist (fotod on tehtud samast kohast, kuid auto erinevatelt pooltelt). Kolmanda paani puhul olukord päästeti sellega, kui enne geosünteedi paigaldust pihustati uus emulsioonikiht (ette oli nähtud pihustada 0.9 l/m², kuid selle peale pihustati hiljem veel lisaks 0.2 l/m²).



Joonised 5.22 ja 5.23. Auto ühelt ja teiselt poolt tehtud fotod asfalteerimise käigus. Bituumeni kulumorm oli sama, aluspind oli sama, asfaldivõrk oli sama. Ainus erinevus oli võrgu paigalduse ajastus suhtena emulsiooni lagunemisesse. Kolmas paan „päästeti“ sellega, kui alla pihustati väikese kulunormiga värske emulsioon.

Mõningad soovitused projekteerimiseks arvestades paigaldusel nähtud olukordi:

- kasutades asfaldigeosünteedil vaid ühekihilist asfaltbetooni, peab kihipaksus olema minimaalselt 5 cm. Sellisel juhul tuleks kasutada asfaldivõrku, mille küljes võib olla kuni 60 g/m² geotekstiil.
- paigaldades asfaldigeosünteedi poorsele asfaltbetoonile tuleks samuti kasutada asfaldivõrku, mille küljes võib olla kuni 60 g/m² geotekstiil, kuna emulsioon võib valguda alumise kihi pooridesse, mistõttu ei jää seda geosünteedile piisavalt. Projekti tuleks teha ka sellekohane hoiatus, et ehitaja oskaks arvestada vajaliku bituumenikogusega. Objektil tuleks teha katselõik sobiva bituumenikoguse määramiseks.

5.2.1. Näidis 1

Objektil kasutati polüestervõrku (PET) koos 60 g/m² PP geotekstiiliga. Objektil oli selgelt puudus bituumenist (joonised 5.24...5.27), töövõtja selgitas seda probleemiga, kui bituumen tungib läbi asfaldigeosünteedi haakudes veoki rataste külge. Seetõttu keerati ka materjal tagurpidi ehk tõmbelemendid olid vastu alumist pinda. Asfaltkatte paksus geosünteedi peal oli 4 cm.



Joonised 5.24 ja 5.25. Geosünteed oli valge ehk pigaldamiseks kasutatud bituumen ei tulnud välja ka peale raskeveoki pealesõitu.



Joonis 2.26. Taoline nähtus juhtub, kui asfaldi ja geosünteedi vahel ei ole piisavat naket ehk kui pole kasutatud piisavalt bituumenit. Asfalt kas libiseb geosünteedi peal või libisevad mõlemad koos aluse peal.



Joonis 5.27. Tegelikult peaks geosünteed olema bituumeniga läbiimbunud. Käesoleval juhul bituumen vaevalt „mustas“ geotekstiili.

Teema kohta küsiti arvamust ka tootjalt ning kommentaar oli järgnev:

„Adhesion of the top layer is very important, and this can only be obtained by a complete emulsion saturation of the nonwoven. The 'upside down' installation is not recommendable. In this case, adhesion of the grid to the top layer is blocked by the nonwoven. Reinforcement is most effective when connected to the top layer. It shouldn't be a big issue in the case of a well saturated nonwoven, sadly this is not the case. The risk of grid damage by the tires is limited, because in our production we are knitting the grid on the nonwoven. The nonwoven side should be faced down to get the highest capillary effect (sucking the tack coat into the fibres).“

The nonwoven has to be saturated/black (joonis 5.28): if the bitumen content of the tack coat is high enough (>70%) and the application of the woven takes place between the moment of 'tack coat break' and 'tack coat set', this 'dirty tire' problem should not appear.

As the nonwoven is not saturated during installation, the adhesion will inevitably be a problem. Maybe not instantly, but after some time and (seasonal) temperature changes, it could be within a year.

4 cm is definitely not enough, even with a perfect preparation/installation is a risk. In this case it seems there are wrinkles and triple overlapping sections. What also could be causing problems is the bitume content of the tack coat. Especially at the overlap sections crack due lack of bitume content arises instantly.“

Tootjapoolne kommentaar tõlkes:

Paigaldatava asfaldi nake geosünteediga on väga oluline ja see saavutatakse vaid juhul, kui mittekootud geotekstiil on bituumenist täielikult läbi imbunud.

Kommentaariks siia vahele tuleb lisada, et see ongi peatüki 3.1 valem juures oleva Q_s 'i tähendus. Kõikidel tootjatel on olemas andmed oma asfaldigeosünteedide kohta, kui palju nende toote küljes kasutatav mittekootud geotekstiil vajab bituumenit täieliku küllastuse saavutamiseks. Üheks näiteks võib tuua Tensar Glasstex P100 (üks Paide katselõigul kasutatud geosünteed), mille tehnilised andmed on näidatud tabelis 5.1 ning vajalik bituumeni kogus tekstiili küllastamiseks viimasel real. Kui need andmed siiski puuduvad, võib arvestada seosega, et 130 g/m^2 geotekstiil mahutab ca 1.1 l/m^2 .

Tabel 5.1. Tensar P100 tehnilised andmed, kust viimane rida tähistab tekstiili bituumeni sidumise võimet.

Glasstex P100 Composite			
Roll width	m	1.0, 2.0	Rulli laius
Roll length	m	100	Rulli pikkus
Unit weight	kg/m ²	0.43	Ühikkaal
Glass filament content	tex/m	12 × 10 ⁴	Klaaskiu hulk
Glass filament mesh pitch	mm	40 × 40	Klaaskiudvõrgu ava suurus
Index strength (1)	kN/m	100.0	Maksimaalne tõmbetugevus
Maximum strain at failure (1)	%	3.0	Venivus purunemisel
Paving fabric properties			Küljes oleva tekstiili omadused
Polymer (2)		PP	Polümeer
Grab tensile strength (3)	N	450.0	Tõmbetugevus
Approx strain at failure (3)	%	50.0	Venivus purunemisel
Asphalt retention (4)	l/m ²	1.1	Bituumeni kogus küllastamiseks

Tootja kommentaar jätkub:

„Tagurpidi“ paigaldus ei ole soovituslik. Sellisel juhul takistab geotekstiil võrgu tõmbelementide naket peale paigaldatava asfaldiga. Sarrustamisfunktsioon on kõige efektiivsem, kui see on seotud pealmise kihiga. Materjali tagurpidi keeramine ei oleks iseenesest suur probleem, kui tekstiil oleks bituumenist küllastunud, kuid kahjuks selles näites see nii ei ole. Võrgu tõmbelementide kahjustumine sõiduki rehvide poolt on minimaalne, kuna meie tootmisprotsessis need silmuskootakse geotekstiili külge. Geotekstiil peaks olema alati allpool saavutamaks maksimaalset bituumeniga läbiimbumist.

Mittekootud geotekstiil peab olema tõmbunud mustaks ehk küllastunud (joonis 5.28): kui bituumenisisaldus emulsioonis on piisav (> 70%) ja materjali paigaldus toimub momendil, kui emulsioon hakkab lagunema, peaks „kleepuvate rehvide“ probleem olema välditud.

Kui mittekoostatud geotekstiil ei ole bituumenist küllastunud, tekivad paratamatult nakkeprobleemid. Võib-olla mitte kohe, aga pärast mingit ajaperioodi (peale aastaegade vaheldumisest tingitud temperatuurimuutusi).

4 cm ülekatet ei ole kindlasti mitte piisav, isegi peale ideaalseid ettevalmistusi ja paigaldust on see risk. Praegusel juhul tundub, et voldid ja nakkeprobleemid tulevad esile eelkõige ülekatetes. Ka bituumeni vähesus kruntbituumenis võib tekitada probleeme, eriti ülekatete kohtades.



Joonis 5.28. Parempoolne on õige küllastusaste, vasakpoolsele pole piisavalt bituumenit. Foto on saadud tootjalt.

5.2.2. Näidis 2

Objektil paigaldati 60 g/m² PET geotekstiiliga 100/100 kN/m klaaskiudvõrku. Probleemiks oli see, et materjal küll nakkus väga hästi alusega, kuid peale paigaldatav asfalt selle külge kinni ei jäänud ning hakkas rullimise all liikuma tekitades kattes nii piki- kui põikpragusid (joonised 5.29). Katsetati küll väga ettevaatlikku rullimistehnoloogiat –segul lasti kõigepealt veidi jahtuda ning rullimine toimus väga aeglaselt ning algselt ilma vibratsioonita, kuid see ei andnud tulemust.



Joonis 5.29. Suureks probleemiks oli asfaldivõrgule paigaldavata asfaldi mittehaakumine tootega. Probleemiks oli liiga vähene bituumen ja õhuke kihipaksus.

Objekti kohta küsiti ka tootja arvamust ning selgitus oli järgnev:

„From my point of view it seems so that not enough emulsion has been used, because it didn't penetrate the complete non-woven. Normally the non-woven should be after the installation completely black, to achieve a good adhesion between the composite and the asphalt layer. Generally we suggest to use a emulsion with at least 60% of bitumen inside, to achieve a good adhesion, a 70% would be even better.”

Tootjapoolne kommentaar tõlkes:

Minu vaatevinklist vaadates ei ole kasutatud piisavalt emulsiooni, kuna see ei ole läbistanud mittekootud geotekstiili täielikult. Tavaliselt peaks geotekstiil olema kohe paigaldusjärgselt täiesti musta värvi saavutamaks head naket asfaltbetooniga. Tavaliselt soovitame kasutada emulsiooni vähemalt 60% bituumeni sisaldusega, 70% oleks veel parem saavutamaks piisavat naket.

Lisakommentaarina tuleb öelda, et objektil kasutati 4 cm paksust asfaldikihti materjali peal. Arvestades eelmist tootjapoolset kommentaari võib oletada, et osaliselt võis objektile olnud probleeme põhjustada ka see.

Ühel teisel objektile kasutati täpselt sama materjali ja 4 cm asfaltkate paksust. Ehitamine toimus aastal 2014 ja aastaks 2016 oli näha joonistel 5.30 ja 5.31 kujutatud olukord, millest nähtub, et asfaltbetoon sõidujäljes ei ole haakunud korralikult asfaldivõrgu külge tekitades poorseid kohti, mis on edasi arenenud aukudeks. Samuti oli geosünteedi peal ulatuslik võrkpragude võrgustik. Probleemi põhjustas sisuliselt puuduv nake asfaltbetooniga, mille põhjuseks on omakorda ebapiisava bituumenikoguse kasutamine. Probleeme põhjustas tõenäoliselt ka õhuke asfaltkate (vaid 4 cm) ja madal õhutemperatuur (ca 5 °C), mistõttu asfaltbetoon jahtus nii kiiresti, et ei jõudnud tõmmata geosünteedi all olevat bituumenit läbi materjali – seda oletust kinnitab joonis 5.32, millest nähtub, et tekstiilis on valgeid laike ja pealmise asfaltbetooni alumine pind on täiesti kuiv. Kaasa võis aidata ka see, et geosünteeet paigaldati AC32base peale, mis on poorne ja kuhu võis bituumenemulsioon siss imbuda, mistõttu geosünteedile ei jäänud seda piisavalt.



Joonis 5.30. Halva nakke ja liiga väikse AB paksuse tõttu tekkinud augud teekattes.



Joonis 5.31. Kogu objekti pikkuses on näha, et asfaltkate ei haakunud tugevalt asfaldivõrgu külge põhjustades poorseid ja pragunenud kohti.



Joonis 5.32. Geotekstiil ei olnud bituumeniga küllastunud (näha on valgeid laiike), mistõttu ei olnud tagatud nake pealmise asfaltbetooniaga.

5.2.3. Näide 3

Asfalteeritava platsi probleemiks oli see, et aluse halva drenivuse tõttu pressis vesi alt üles ning tekitas katte sisse ulatuslikult pragusid (joonis 5.33). Samuti oli lagunenud paekivikillustikust asfalt. Täielikku renoveerimist ei olnud võimalik teha, kuid kate vajab uuendamist. Peegelduspragude vältimiseks otsustati kasutada asfaldivõrku. Probleemide tõttu veega ei soovinud tellija kasutada materjali, mis tekitaks geotekstiili tõttu veekindlat kihti. Seetõttu sai valitud materjal, millel oli küljes vaid väga kerge marlitaoline riie, mis paigalduse

käes sulab. Kõik pinged pidid vastu võtma tõmbelemendid. Valitud toode oli klaaskiust ja mõlemas suunas tõmbetugevusega 100 kN/m.



Joonise 5.33. Platsil esinevad defektid olid pikipraod.

Esimeseks probleemiks oli freesimisjalg, mis oli liiga sügav (joonised 4.1 ja 5.34) ja bituumen vajus lohkude põhja (joonis 5.39). Teiseks probleemiks oli see, et freesimisjalg oli liiga terav, mistõttu klaaskiudvõrgu kiud hakkasid murduma, kui asfalteerimistehnika selle peal liikus (joonised 5.36 ja 5.38). Kolmandaks probleemiks oli puhtus – võrgu all oli palju „bituumenilärakaid“ ning freesimisjälge jäi palju tolmu ning muud puru (joonised 5.35 ja 5.37), kuid õnneks tegeles töövõtja nende puuduste likvideerimisega jooksvalt.



Joonised 5.34 ja 5.35. Freesimisjalg oli liiga sügav ja terav. Suuri probleeme oli aluse puhtuse ja tasadusega.



Joonis 5.36. Klaaskiud on olemuselt väga rabe. Kui aluse ebatasasused on liiga teravad, materjal puruneb. Samuti oli probleem selles, kui auto sõitis materjali peal, hakkas see tõmbelemente puruks rebima, kuna materjal ei olnud aluse küljes piisavalt tugevalt kinni.

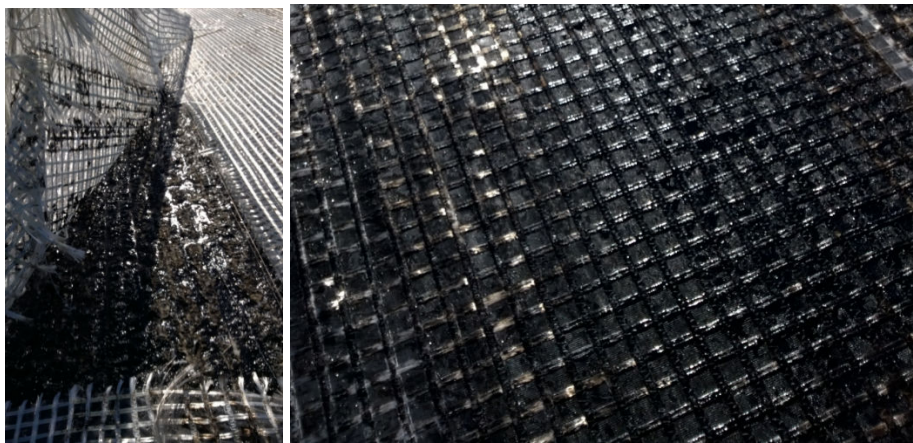


Joonis 5.37. Nakke- ja puhtuseprobleemid. Palju oli gudrunaatori rehvide küljest jäänud „bituumenilärakaid“.



Joonised 5.38 ja 5.39. Probleem oli selles, et kui auto sõitis materjali peal, hakkas see tõmbeelemente puruks rebima, kuna materjal ei olnud aluse küljes piisavalt tugevalt kinni. Teise joonise keskel on näha, kuidas asfaldivõrk kaardub ebatasasuse all. See on potentsiaalne koht, kus klaaskiud rebeneb.

Kohati oli probleemiks jällegi bituumeni vähesus. Seetõttu ei olnud materjal kõikjal aluse küljes piisavalt tugevalt kinni ning veokirehvid hakkasid materjali üles rebima, mis kahjustas rabedat klaaskiudu (joonis 5.40). Kohtades, kus bituumenit oli piisavalt, seda probleemi ei tekkinud (joonis 5.41).



Joonised 5.40 ja 5.41. Bituumenit on vähe vs bituumenit on piisavalt.

Materjalitootja kommenteeris objekti probleeme suuliselt nii, et freespind oli selgelt liiga karm, kuigi see materjal on välja töötatud kasutamiseks veidi ebatasasemale pinnale. Samuti kasutati bituumenit kohati liiga vähe ning aluse puhtus andis soovida.

Töövõtja kommenteeris pärast ehitust olukorda nii, et objekti vaatlus, mida kajastatakse ka käesolevas aruandes, toimus liiga vara. Meeskond alles õppis paigaldust. Lisaks oli probleem selles, et asfaldiveokid pidid tagurdama otse võrgu peal väga pika maa ega saanud tulla laoturile ette küljelt. Esimese ja teise kalluriga probleeme ei tekkinud, kuid pärast mitmendat ülesõitu haakus võrk rataste külge ja hakkas seda lahti rebima. Aruandes kujutatud oli probleemiks

alguses, pärast läks töö sujuvamaks ja probleeme oli vähem või üldse mitte. Enamus suurkehasid püsisid koos, mis viitab sellele, et bituumenit oli piisavalt.

Antud näitest nähtus, et klaaskiu üheks suurimaks probleemiks on rabadus. Klaaskiu venivus on 3% ning see ei talu korduvat painutamist ega suuri konarusi. Joonisel 5.42 on kujutatud sama probleemi ühe teise objekti näitel. Klaaskiuga sarnased tugevusomadused on PVAI (klaaskiu venivus on kuni 3%, PVA võrkudel kuni 5%), kuid see pole rabe ja ei purune paigalduse käigus.



Joonis 5.42. Klaaskiud on rabe ja puruneb kergesti, kui seda „vääntutada“.

5.2.4. Kokkuvõtte objektidel nähtavatest probleemidest

Kokkuvõtte täheldatud probleemidest ja nende kohastest soovitusetest on järgnev:

- Ei kasutata sobilikku bituumenemulsiooni. Tootjad soovivad, et bituumeni sisaldus peaks olema vähemalt 65...70%, kuid tihti kasutatakse Eestis 50...60% bituumenisisaldusega materjale. Põhjus on selles, et kui võrku kasutatakse lõiguti, siis tavapärastelt teistsuguse emulsiooni jaoks oleks vaja ka teist gudrunaatorit ja mahutit, mis tõstab kulusid ning mida seega ei tehta. Teiseks variandiks oleks kogu teel krunt emulsioonina kasutada sama materjali, mis asfaldivõrkude puhul, kuid ka see tõstab töövõtja kulusid, mistõttu seda välditakse. Liiga „lahja“ emulsiooni kasutamine ei võimalda teele pihustada nõutud normiga bituumenit, mistõttu nake asfaldi ja geosünteedi vahel jääb olematuks või nõrgaks.
- Teiseks probleemiks on kasutatavad gudrunaatorid. Asfalteerimistöodel on kasutusel kõige lihtsamad gudrunaatorid, mis ei võimalda mõõta kulunormi. Üheks kommentaariks seoses bituumenemulsiooniga oli see, et objektile kasutada olnud gudrunaator ei võimalda pihustada üle 60% bituumenisisaldusega emulsiooni. Vaadates tootjate brožüürides olevaid paigalduse pilte nähtub, et kõikjal on kasutusel pindamistöodel kasutatavate gudrunaatoritega võrdsed seadmed, mis võimaldavad täpselt reguleerida kulunorme ning mis ei sea piiranguid kasutatava sideaine omaduste (sitkuse) osas.
- Töövõtjad on kommenteerinud bituumeninormi osas seda, et väga keeruline on pidada kinni vajalikust kulunormist seetõttu, et bituumen tungib asfaldigeosünteedist läbi ning hakkab kleepuma veokirataste külge. See on töövõtjatele peamiseks probleemiks. Arvatavaks põhjuseks on see, et bituumenemulsiooni veesisaldus on liiga suur ning vesi koos bituumeniga tungib geosünteedist läbi. Kasutada tuleks soovituslikult 70% bituumenisisaldusega emulsioone. Teiseks tõenäoliseks põhjuseks on asfaldivõrgu paigalduse aeg suhtena bituumenemulsiooni lagunemisse. Kõikide tootjate juhendites on kirjas, et geosünteed tuleb paigaldada hetkel, mil bituumenemulsioon hakkab lagunema. Kui materjal paigaldada varem, tungib bituumen koos veega geosünteedist läbi ning puutub kokku veokirahvidega. Kui materjal paigaldada hiljem, ei suudeta

tagada enam piisavat naket. Seetõttu on oluline, et emulsiooni pihustataks teele nii pikalt, et see suudetaks õigel ajal materjaliga ka katta. Teine võimalus on pihustada emulsiooni kahes osas – esimene lastakse ära laguneda, mis tekitab kihi alumise kihiga ja geosünteedi paigaldatakse teisele.

- Neljandaks probleemiks on aluse puhtus ja tasetas. Mitte alati ei ole alus sobilik asfaldigeosünteedi paigaldamiseks, mis põhjustab nakkeprobleeme ja materjali kahjustumise.
- Viiendaks probleemiks on inimesed, täpsemalt (vähemalt osade) töövõtjate halb suhtumine asfaldigeosünteedidesse ja töötajate vähesed teadmised. Objektil olevad töömehed tihtilugu ei tea, kuidas neid materjale paigaldada – mitte keegi ei ole neid ses osas koolitanud. Näiteks ei teata isegi seda, mis tähendab bituumenemulsiooni lagunemine rääkimata muudest nüanssidest. Mitte ühelgi korral ei ole olnud objektidel paigaldusjuhendeid ja töömehed ei olnud sellega ka varasemalt tutvunud, mistõttu nad ei saagi teada, kuidas materjali peaks paigaldama. Töömehed, kes hakkavad asfaldivõrke paigaldama, peavad olema saanud varasemalt ses osas ettevõttesisesest juhendamise või siis võivad materjali paigaldusega tegeleda vaid sellega varasemaid kogemusi omavad brigaadid. Võib öelda, et väga mitmed probleemid tekivad objektitööliste puudulike teadmiste ning projektijuhtide halva planeerimise/suhtumise tõttu.

Lisaks eelnevatele näidetele tuleb välja tuua veel järgmise olukorra, mida tuleb kindlasti vältida. Kui alus ei ole hästi puhastatud, ei saa ka piisava emulsiooni paigaldamisega tekkida asfaldivõrgu ja aluse vahel head naket.

Ühel objektil tuli mõningates kohtades peale freesimist välja juba ka killustikalus, mille peale paigaldati asfaldivõrk – sellises kohas on asfaldivõrk kasutu. Suured ebatasasused aluses kahjustavad harbast klaaskiudvõrku, mida objektil kasutati (joonised 5.43 ja 5.44). Objektil oli probleeme puhtuse ja bituumenikogusega (joonis 5.45) Samuti on täiesti lubamatu metallvaltsidega teerulliga klaaskiudvõrgul sõitmine, mis kahjustab materjali väga tugevalt (joonis 5.46).

Antud objekti peamiseks probleemiks on see, et mitte ükski tööline ei teadnud asfaldivõrgu paigaldamisest kuigi palju – keegi ei olnud neid ses osas korralikult juhendanud ning samuti ei oldud loetud paigaldusjuhendit.



Joonised 5.43 ja 5.44. Kohati paigaldati asfaldivõrk isegi killustikalusele, kus pole võrgust mingisugust kasu.



Joonised 5.43 ja 5.44. Objektil ei olnud olemasolev alus piisavalt puhas ja tasane ning otse klaaskiudvõrgul sõideti metallvaltsidega rulliga, mis hävitab võrgu tõmbeelemendid.

6. ASFALDIST GEOTEKSTIILIDE PROJEKTEERIMISE JA PAIGALDUSE JUHISE TÄIENDUSETTEPANEKUD

Asfaltkatetes võib ilmneda väga erinevaid defekte, muuhulgas:

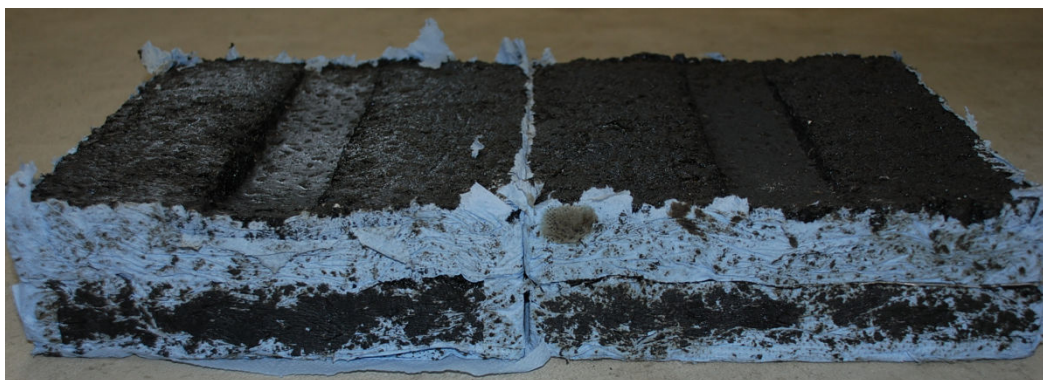
- murenemised, augud;
- roopad;
- praod:
 - temperatuuripraad;
 - väsimuspraod;
 - peegelduspraod;
 - külmakerkepraod.

Tee remondilahendus, sh see, kas ja missuguseid asfaldigeosünteeete kasutada, sõltub tee olukorrast ja esinevatest defektidest.

Murenemised ja augud on otseselt sõltuvuses asfaltkatte omadustest, vanusest, paigalduse kvaliteedist, sh ka sellest, kui hästi on tagatud kulumiskihi ja selle all oleva asfaltbetooni omavaheline nake. Nende defektide parandamisele geosünteediga kaasa aidata ei saa.

Roopad on otseselt seotud asfaltbetooni omadustega ja deformatsioonikindlus tuleb seega tagada segureseptiga. Uuringud on siiski näidanud, et joonise 2.7 tüüp 2 võrgud ja komposiidid (ehk jäigad ja kõrge profiiliga võrgud) suurendavad teekonstruktsiooni deformatsioonikindlust. Soome uuringutes on leitud, et terasvõrke sisaldavatel teedel on roopa sügavused 40...60% väiksemad. Katsed on näidanud, et jäigad monoliitsed polüpropüleenist (PP) võrgud suurendavad samuti asfaltkatte deformatsioonikindlust (joonis 6.1).

Kui olemasolevas teekattes on sees asfaltkatte deformatsioonist tingitud pikiroopad, saab ülekatte eluiga pikendada, kui kasutada ülekatte all jäika monoliitset geovõrku. Antud võrk armeerib teekatet läbi täitematerjali lukustamise ja materjal takistab ka pragude peegeldumist ülekattesse. Kui võrgu küljes on üle 100 g/m² geotekstiil, tekitatakse ka SAMI-vahekiht ja veekindel kiht. Kuna võrk tekitab joonisel 2.6 kujutatud sarrustamise võib see koos SAMI-vahekihiga olla tõhus ka külmakerkepragunemise vastu, kuid katseandmed sellest puuduvad.



Joonis 6.1. Rattaroopa katse, kui vasakul pool on puhas asfaltsegu ja paremal kahe kihi vahel jäik monoliitne PP-võrk.

Pragude puhul määrab kasutatava geosünteedi omadused ja selle tõhususe prao liikumine. Heaks lähtematerjaliks sobiliku materjali valikuks ja tehnilise lahenduse väljatöötamiseks on peatükk 3.4 (Vene metoodilised juhendid), peatükk 3.6 (geosünteedide tootjate soovitusel), joonis 3.13 koos selle juurde käiva selgitusega ja allikas [15] välja toodud info selle kohta, et

külmakerkepragunemise vastu aitavad vaid teras- ja klaaskiudvõrgud (tõenäoliselt ka PVA võrgud) ning Norra nõuded, mille alusel väikeste külmakerkepragude puhul peab võrgu tõmbetugevus olema minimaalselt 50 kN/m, keskmiste puhul 80 kN/m ja suurte puhul 100 kN/m (kõik väärtused 2% venivuse juures). külmakerkepragunemise vastu aitavad vaid teras- ja klaaskiudvõrgud. Norras on nõuded, et väikeste külmakerkepragude puhul peab võrgu tõmbetugevus olema minimaalselt 50 kN/m, keskmiste puhul 80 kN/m ja suurte puhul 100 kN/m (kõik väärtused 2% venivuse juures).

Temperatuuri- ja külmakerkepragude puhul peab kasutama minimaalselt 100 kN/m klaaskiud- või PVA võrku. Tartu mnt katselõigul 100 kN/m klaaskiudvõrk külmakerkepragu siiski tagasi ei hoidnud, mis tähendab, et võrgu tugevuse valikul peaks lähtuma külmakerke suurusest. Vajalik võib olla 100/200 kN/m võrgu kasutamine või *sandwich* lahenduse tekitamine. Temperatuuriprao puhul sõltub tugevama võrgu kasutamine praost liikumisest, mis omakorda sõltub asfaltkatte paksusest.

Põhimõtteks on see, et mida liikuvam on pragu ja mida suurem koormus ning mida suuremad temperatuurikõikumised, seda jäigemad ja tugevamat võrku peaks kasutama, kuid seda teatud piirini. Näiteks betoonkatete asfalteerimisel kasutatakse hoopis paksu (ca 200 g/m²) geotekstiili, mis võimaldab nii suurt liikumist, mida klaaskiudvõrgud näiteks vastu ei pea.

Polüestervõrgud (PET) sobituvad võrkpragudele ja asfaltkatte väsimuskindluse tõstmiseks.

SAMI-vahekihid sobituvad võrkpragunemise vastu.

Ääretult oluline on materjali paigaldus, mille kohta on lõpparuandes küllaldaselt näiteid ja nõudeid – kogu peatükk 4 käsitleb vaid paigaldust. Üldiselt piisab siiski sellest, kui järgida tootjapoolset paigaldusnõuet ja kui teha objektile enne materjali täismahus paigaldamist väike (min 1 m²) katselapp, millega kontrollida paigaldusbituumeni kogust ja peale tuleva asfaltbetooni nakkumist geosünteedile.

KOKKUVÕTE

Käesolev lõpparuanne sisaldab asfaldigeosünteedide kohta nii Eestist kui välismaalt saadud infot. Aja jooksul on kogemusi ja teadmisi kogunenud märkimisväärselt, mille alusel saab järeldada, et asfaldigeosünteedid töötavad ja nende kasutamine on kuluefektiivne. Käesolevas aruandes anti juhendeid, mille alusel valida sobivate omadustega materjal ja kuidas seda paigaldada nii, et teekatte eluiga oleks võimalikult pikk.

Peab märkima, et otsus asfaldivõrkude kasutamise ja nende vajaminevate omaduste osas tuleb teha koos tee seisukorra ja probleemide analüüsimisega. Geosünteedidega üksi ei saa lahendada kõiki probleeme, kuid õige kasutamisega need toetavad tavapäraseid lahendusi suurendades kuluefektiivsust. Näiteks sõltub asfaltkatete eluiga segureseptist, sellest kinnipidamisest, kasutatavate materjalide omadustest ja paigaldusest – kui need ei ole korras, ei aita ka asfaldivõrkude kasutamine.

Asfaldigeosünteedid on üks osa tervikust. Kui neid kasutada oskuslikult, muutub tervik tugevamaks ja pikaajaliseks.

VIIDATUD ALLIKAD

1. EVS-EN 15381:2008 „Geotekstiilid ja geotekstiilipõhised tooted. Nõutavad omadused kasutamisel katendites ja asfaldikihtides“;
2. Kattes olevate pragude ja võrkpragude katmine SAMI – Fiberdec ja SAMI – Modiseal tehnoloogiaga. Maanteeamet 2013-17;
3. Geosüntetika käsiraamat. Teedeklaster 2016;
4. ISO asfaldigeosüntetide draft 2016 (avaldamata);
5. Dinegdae, Y. H. Top-Down Fatigue Cracking Initiation and Propagation. AF2903 Road Construction and Maintenance. KTH Department of Transportation Science;
6. Defektide tekkimine teekonstruktsioonis ja teedevõrgu seisukord.” MNT 2003;
7. Muldkehades ja drenkihtides kasutatavate mineraalmaterjalide veejuhtivus- ja tugevusomadused seotuna terastikulise koostisega. Maanteeamet 2016-008;
8. Robert M. Koerner. Designing with geosynthetics. Fifth edition;
9. Shukla, S.K; Yin, J-H. Fundamentals of Geosynthetic Engineering;
10. Teräsverkon käyttö tierakenteiden koerakennuskehteissa. Tiehallinnon selvityksiä 34/2003;
11. Heikkokuntoisen päällystetyn alemman tieverkon ylläpito. Tiehallinnon selvityksiä 45/2005;
12. Rakenteen parantamisen suunnittelu. Tiehallinto 2005;
13. Teräsverkkojen käyttö tierakenteissa. Tiehallinnon selvityksiä 20/2009;
14. Tienrakenteen suunnittelu. Tiehallinto 2004;
15. LUPAV2. Tie- ja katurakenteiden elinkaaren pidentäminen lujitteiden avulla;
16. ODM 218.5.001-2009 „Metoodilised soovitusel geovõrkude ja lamedate geovõrede kasutamiseks täiustatud teekatendite asfaltbetoonkihtide armeerimiseks maanteede kapitaalremondil ja parandustöödel“;
17. A.H. de Bondt. Research on Geogrids in Asphalt Pavements;
18. Montestruque, G., Rodrigues, M., R., Miranda, L. Geogrid Effects on the Resistance to Crack-Growth and Fracture of Asphalt Concrete Mixtures;
19. Rust, F.C. Load-Associated Crack Movement in Road Pavements;
20. Thesseling, B., Quiel, M. Investigation of the Long Term Performance of a High Tenacity Polyester Reinforcement in asphalt Pavement Rehabilitation;
21. Thesseling, B., Elsing, A. Pavement rehabilitation by using an asphalt reinforcement grid made of high modulus Polyester;
22. Grabowski, W., Pozarycki, A. Energy Absorption in Large Dimension Asphalt Pavement Samples Reinforced with Geosynthetics;
23. Mai-Lan Nguyen , Juliette Blanc , Jean-Pierre Kerzrého & Pierre Horny (2013) Review of glass fibre grid use for pavement reinforcement and APT experiments at IFSTTAR, Road Materials and Pavement Design, 14:sup1, 287-308;
24. Maliszewski, Maciej. et.al. Evaluation of long term glass-grid test section using unique method. TRA 2014, Paris;

25. T. Peijs, R.J.M. van Vught, L.E Govaert. Mechanical properties of polyvinyl alcohol fibres and composites. *Composites* 26 (1995) 83-90;
26. Brown, F., S. An Assessment of Geogrid Use in Railways and Asphalt Applications;
27. Ferne, B. Long-life pavements—a European study by ELLPAG. *International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 7, No. 2, June 2006, 91–100;
28. Bennert, T., Worden, M., Turo, M. Field and Laboratory Forensic Analysis of Reflective Cracking on Massachusetts Interstate 495;
29. A/b ülekatte alla paigaldatavate asfaldivõrkude mõju hindamine olemasolevas kattes esinevate pragude vähendamisele. AS Teede Tehnokeskus. Töö nr 2015-12.

LISAD

Lisa 1 – Katselõigul kasutatud geosünteedid

Lisa 2 – 2006 geoloogia kokkuvõte

Lisa 3 – 2015 geoloogiaaruanne

Lisa 1. Katselõigul kasutatud Tensari ja Stargridi asfaldigeosünteedid

Tensar

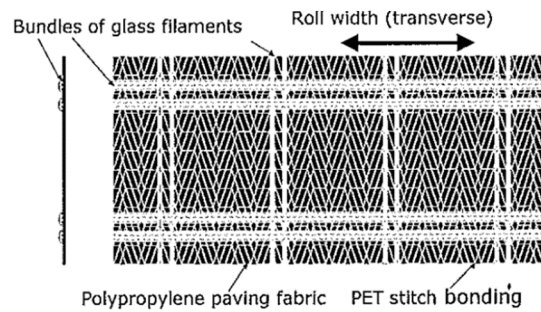
THE COMPANY
YOU CAN BUILD ON™

Tensar technical note
TN/GT-P100_Spec/09.08.11

Glasstex® P100 Paving Composite Product Specification

Glasstex® P100 is used for both the reinforcement of asphalt layers in the construction of new pavements and of asphalt overlays in the rehabilitation of existing pavements.

Glasstex® P100 is a composite consisting of bundles of glass filaments stitched onto a polypropylene paving fabric in both the longitudinal and transverse directions using polyester (PET) yarn. The glass fibres provide high tensile stiffness, and the polypropylene fabric provides a means of maintaining the required geometry of the composite, as well as a fixing layer during installation. Once installed and saturated with bitumen, the paving fabric then acts as a waterproofing layer and also a stress absorbing membrane interface (SAMI).



Glasstex® P100 Composite

Roll width	m	1.0, 1.5, 2.0 and 3.0
Roll length	m	100
Unit weight	kg/m ²	0.43
Glass filament content	tex/m	12 × 10 ⁴
Glass filament mesh pitch	mm	40 × 40
Index strength (1)	kN/m	100.0
Maximum strain at failure (1)	%	3.0
Paving fabric properties		
Polymer (2)		PP
Grab tensile strength (3)	N	450.0
Approx strain at failure (3)	%	50.0
Asphalt retention (4)	l/m ²	1.1

(1) Index property based on testing the individual glass filaments in accordance with BS EN ISO 3341:2000.

(2) PP denotes polypropylene.

(3) Mean value determined in accordance with ASTM D 4632.

(4) Mean value determined in accordance with ASTM D 6140.

(5) **Glasstex® P100** is manufactured in accordance with a Quality Management System which complies with the requirements of BS EN ISO 9001:2000.

(6) All quoted dimensions and values are typical unless stated otherwise.

TECHNISCHES DATENBLATT

TECHNICAL DATA SHEET

Ausgabe

Edition

Jan. 10

Produktname

Product trade name

Produkt-Ident

Product-ID-No.

Textiltyp

Textile type

Ausrüstung

Coating type

Farbe

Colour

Schmelzpunkt

Melting point

Maschenfüllung

Mesh filling

Gitteröffnung

Aperture size

Höchstzugkraft

Tensile strength at max load

Dehnung

Elongation

Übliche Bezugskraft

Usual force at strain

Flächengewicht

Mass per unit area

Rollenmasse

Roll dimensions

Vorgesehene Funktion

Intended use

03/GEG

Polymer

C°

g/m²

mm

kN/m

%

kN/m

g/m²

±10%

R

0799 - CPD

GTX-W

Bitutex® - Stargrid™

120 / 200 - 30

GEU120200

Farbcode:

colour code:

schwarz + braun

black + brown

MD

Glass

E-Glass

CMD

Glass

E-Glass

bituminös

bituminous

schwarz

black

Glas

Glass

850-900

Glas

Glass

40

40

Glaslunte

Glass texture

MD

30

(±

3)

CMD

30

(±

3)

MD

3

(±

1,0)

CMD

3

(±

1,0)

(± 1,0)

(± 1,0)

DIN EN
ISO 10319

DIN EN
ISO 10319

@

MD

CMD

2%

123

172

3%

130

210

5%

n

n

10%

n

n

DIN EN
ISO 9864

Breite

width

2,20 m

Länge

length

100 m

Gewicht

weight

181 kg

Bewehrung von Erdbauwerken

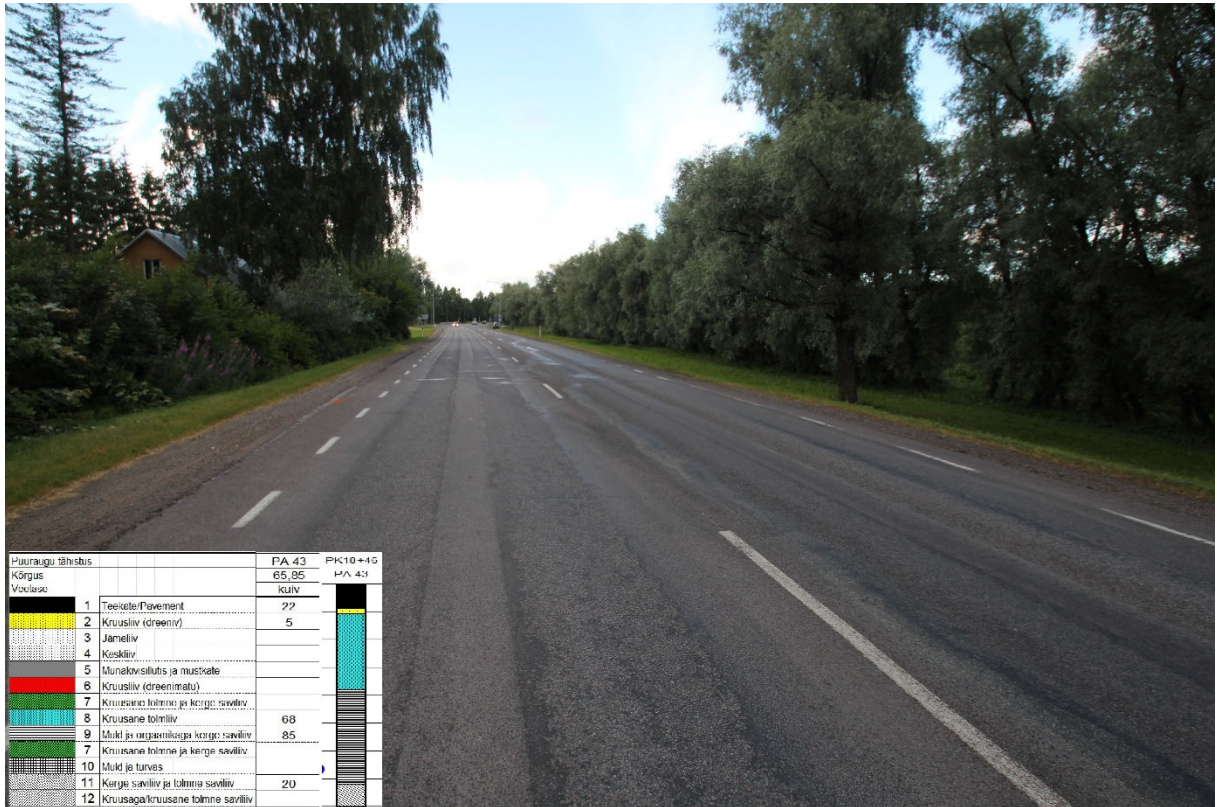
Soil reinforcement

Standard tolerances and technical developing change reserved

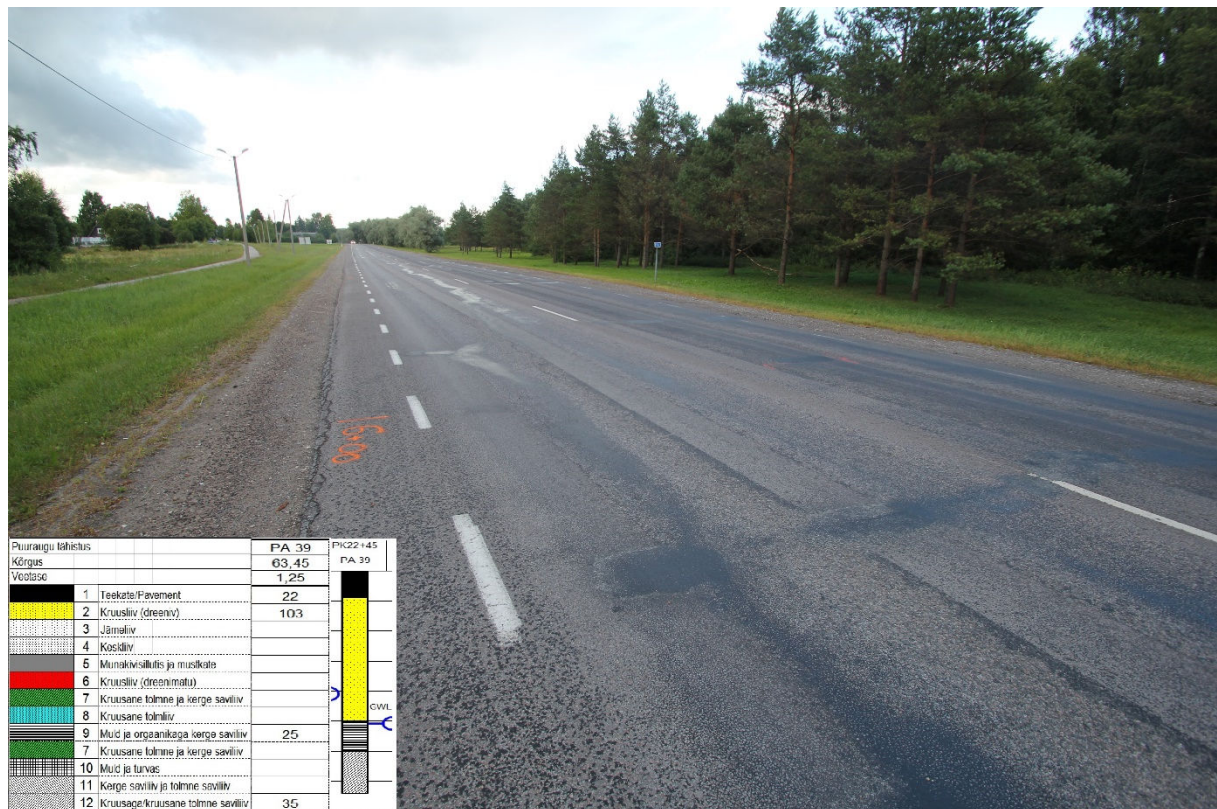
The latest version of all Technical Data Sheets is available at www.synteen.de.

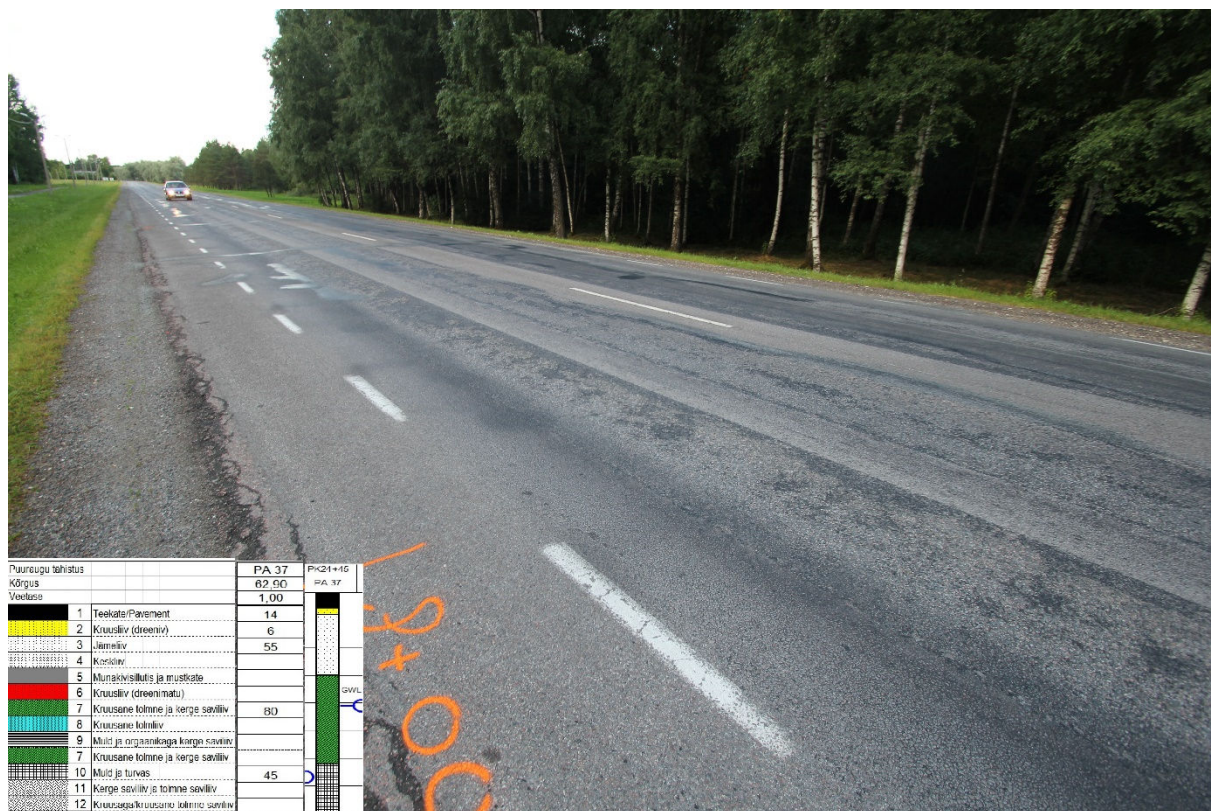
Lisa 2. Kokkuvõtte aastal 2006 tehtud geoloogiast











Lisa 3. Aasta 2015 geoloogiaaruanne

**Järvamaa
Paide linn**

Töö nr GL15022

**Mnt nr 5 Pärnu - Rakvere - Sõmeru
Km 91,8 - 92,8
Asfaldivõrkude katselõik**

GEOLOOGILINE UURING

Tellija: Tallinna Tehnikakõrgkool

Töövõtja: Reaalprojekt OÜ
Osakonna juhataja: P. Ilves
Töötäitja: K. Vrublevski

TALLINN
juuni 2015

KOOSSEIS

Mnt nr 5 Pärnu - Rakvere - Sõmeru km 91,8 - 92,8
Paide linn, Järvamaa

Tekst	Lehekülje nr
Üldosa	3
Geoloogiline iseloomustus.....	5

Lisad

1. Geoloogilised profiilid
2. Katseprotokollid

Joonised

1. Üldskeem
2. Puuraukude asukoha plaan (M 1:1000)

ÜLDOSA

Objekti iseloomustus ja uuringu eesmärk

Maantee nr 5 Pärnu - Rakvere - Sõmeru, km 91,8 - 92,8 asub Järvamaal, Paide linna territooriumil, Paide ringtee ning Sillaotsa küla vahelisel alal (joonis 1). Tegemist on asfaldivõrkude katselõiguga, kus vanas teekattes olevate pragude leviku vältimiseks uude kattesse on katendi konstruktsioonis kasutatud lõiguti metallvõrku või erinevaid geokomposiite.

Käesoleva uuringu eesmärgiks oli määrata tee konstruktsioonikihid ja aluspinnased, selgitada pinnase omadused ning pinnasevee tase. Aruande tegemisel on kasutatud Reaalprojekt OÜ poolt teostatud uuringu ja Maa-ameti kaardirakenduse andmeid. Töö on koostatud Tallinna Tehnikakõrgkooli tellimusel.

Teostatud tööde kirjeldus

Geoloogilise uuringu välitöö toimus mais 2015. aastal. Tellija poolt ette antud ning objektile täpsustatud asukohtadesse rajati 10 uuringupuurauku (PA1...PA10) sügavusega 3,05...3,20 m. Uuringu teostamiseks kasutati roomikutel puuragregaat GM 100 GTT (Foto 1) ning keerd- ja vibrosüdamikpuurimise meetodit. Uuringupunktid rajati 1 km teelõigul mõlemale sõidusuunale, vahemaaga 10...160 meetrit (joonis 2).



Foto 1 Puuragregaat GM 100 GT

Välitöö käigus kirjeldati puuraugus esinenud pinnased, mõõdeti kihipaksused ja pinnasevee tase ning saadud info talletati hilisemaks töötluks välipäevikusse, samuti võeti proovid laboratoorseks katsetamiseks.

Kokku võeti 24 pinnaseproovi, millest 20 katsetati Eesti Keskkonnauuringute Keskuse geotehnikalaboris. Proove katsetati GOST 5180-84; 12536-79 nõuete kohaselt ning pinnaste nimetused anti GOST 25100-95* (MA parandus 2006) järgi. Pinnase filtratsiooni võime määrati vastavalt standardile EVS 901-20:2013. Labori katseprotokollid on lisatud käesoleva köite koosseisu.

Saadud laboritulemuste põhjal täpsustati välimäärangud ning vormistati aruandes sisalduvad geoloogilised profiilid puurtulpadena (lisa 1). Puurtulpadel on ära toodud uuringupunkti asukoht tellija poolt esitatud piketaži alusel, kirjelduste juures on ära näidatud ka proovide võtmise asukohad ning esitatud on pinnasevee tasemed.

GEOLOOGILINE ISELOOMUSTUS

Reljeef

Vaadeldav ala paikneb Vahe-Eesti madalikul, Türi voorestiku kirde servas. Lainjat moreentasandikku liigestavad kirde - edela suunalised, kuni 2 km pikkused väikevoored, esineb ka oose ja mõhnu. Uuritav teelõik algab Prääma raba servast ning kulgeb piki Sillaotsa vooremäe nõlva jalamit. Maapinna absoluutkõrguseks lõigu alguses on 62 meetrit, misjärel tõuseb maapinna kõrgus 67 meetrini lõigu lõpu osas.

Geoloogiline ehitus

Pinnakate koosneb valdavalt liustikulise tekkega saviliiv- ja liivsavimoreenist, üksikute laikudena esinevad jääjõelised liivad ja kruusad, madalamatel aladel katab savipinnaseid soo- või rabaturvas. Karbonaatse aluspõhja moodustab Siluri ladestu lubjakivi. Käesoleva uuringu käigus rajatud puuraugud lubjakivi massiivini ei ulatunud.

Järgnevalt on iseloomustatud uuritud ala geoloogilises lõikes väljaeraldatud pinnaseid kihi kaupa ülevaalt alla:

Asfaltkate – puurimisel kihtideks lagunenu asfaltkate kogupaksus ulatub 0,22...0,40 meetrini. Katte sees esineb geokomposiite (geovõrk ja geotekstiil ühendatud) ning metallvõrku, mis on paigaldatud mössi sisse. Puuraukudes PA6, PA7 ja PA10 esineb kruusliivast drenikihi all 0,41...0,46 m sügavusel vana mustkate. Vana katte paksus ulatub 0,17...0,29 meetrini, materjal on pude ning laguneb puurimisel mustaks puruks.

Võrgud – puuraukudes PA1...PA3 ning PA5 ja PA6 on 8 cm asfaltbetoonkihi alla paigaldatud geovõrk. Puuraukudes PA7...PA9 asetseb samal sügavusel metallvõrk. PA4 ja PA10 asukohtades võrku ei esinenud.

Kruusliiv – kruusliivast drenikiht on muutliku paksusega, ulatudes 0,08...1,54 meetrini. Materjal on sõre ning visuaalsel hinnangul dreniiv. Drenikihist võeti 9 rikutud struktuuriga pinnaseproovi laborimääranguteks.

Katseprotokolli kohaselt sisaldub pinnases kruusa 29,8...50,0% (osised $\varnothing > 2$ mm) ja tolmu ning saue 5,8...10,5% (osised $\varnothing < 0,05$ mm). Seejuures moodustavad fraktsiooni $\varnothing < 0,063$ mm osakesed 7...14,0% (fraktsioon $\varnothing < 0,063$ mm osakesed on võetud lõimiskõveralt). Terastikulise koostise põhjal liigitub pinnas kruusliivaks, mille vahetäite moodustab kesk- kuni jämeliiv (vahetäide määrati sama katsetulemuse põhjal ümberarvutamise teel, jämepurru (osised $\varnothing > 2$ mm) osakaalu välja arvamisel).

Filtratsioonimooduli määramisel lähtuti standardi EVS 901-20:2013 nõuetest ning selle punkti 6.1 märkusest, mis lubab pinnased, mille peenosise ($\varnothing < 0,063$ mm) sisaldus ületab 8 % lugeda mittefiltreerivateks ($K < 0,1$ m/ööp) ja jätta filtratsioonikatse tegemata. Seetõttu määrati esimese sammuna drenikihist võetud proovidel terastikuline koostis ning seejärel tehti proovil, mille peenosise sisaldus oli $< 8\%$, EVS 901-20:2013 kohane filtratsioonikatse. Võetud proovidest vaid ühel jäi peenosise sisaldus alla 8% (PA10, proov1, osiste $\varnothing < 0,063$ sisaldus - 7,0%). Tehtud filtratsioonikatse tulemusel määrati teimitud pinnase filtratsioonimooduliks $k - 0,014$ m/ööp. Tuginedes filtratsioonikatse tulemusele ning EVS 901-20:2013 punkti 6.1 märkusele on antud drenikihist võetud proovide puhul tegemist mittefiltreeruva pinnasega ($k < 0,1$ m/ööp.).

Dreenihi materjal on pruunikas-kollase värvusega ning visuaalsel hinnangul orgaanika vaba. Erandiks oli PA2 proov21, mis oli musta värvusega ja orgaanika lisandiga. Lisaks oli keskmisest tumedama värvusega PA5 proov17 ja PA6 proov14. Orgaanika sisalduse täpsustamiseks kuumutati loetletud proove 550°C juures ning määrati nende tuhasus. Katse tulemusel saadi proovi nr 21 kuumutuskaks 2,4%, proovidel 14 ja 17 vastavalt 1,4% ja 0,9%.

Tolmne kruusliiv – puuraukudes PA5...PA10 levib dreenihi või vana mustkatte all halli värvusega tolme kruusliiv - vana kruusalus. Kiht asub 0,5...0,7 m sügavusel teetasapinnast ning selle paksuseks on 0,20...0,70 m. Kihist võeti laborimääranguteks 5 rikutud struktuuriga pinnaseproovi. Pinnase kruusa sisaldus on 15,2...51,6% (osised $\varnothing > 2$ mm) ja tolmu ning saue sisaldus 8,8...19,6% (osised $\varnothing < 0,05$ mm). Seejuures moodustavad fraktsiooni $\varnothing < 0,063$ mm osakesed 11...23,0%. Terastikulise koostise põhjal liigitub pinnas kruusliivaks, muutliku jäme purru sisalduse tõttu ka ühel juhul kruusaks ning ühel juhul keskliivaks. Vahetäite moodustab kõigil proovidel tolmlüiv.

Tulenevalt suurest peenosise sisaldusest (fraktsiooni $< 0,063$ mm üle 8 %) liigitub antud kruusliiva kiht mittefiltrerivaks pinnaseks. Kahe proovi puhul määrati ka orgaanika sisaldus, milleks oli vastavalt 0,9 ja 1,5%.

Kerge saviliiv orgaanikaga ja muld (kruusane) – mulde materjaliks on kogu lõigu ulatuses muutliku koostisega, mulla pesasid ja vahekihte sisaldav savipinnas. Kiht on allosas loodusliku aluspinnasega segunenud. Üleminek mullale on raskesti jälgitav, mistõttu on kihid enamasti arvatud kokku. Kompleks algab alates 0,5 m sügavusel teekattest ning selle paksus ulatub kuni 1,1 m-ni. Laborimääranguteks võeti 5 rikutud struktuuriga pinnaseproovi, mille tulemusel määrati pinnase nimetuseks kerge saviliiv, väiksema savisisalduse ning plastsusomaduste puudumise puhul sai pinnas nimetuseks tolmlüiv või kruusliiv. Materjali kruusasisalduseks on 3,9...34,2%, tolmu ja savi sisalduseks 24,5...51,9%. Plastse- kuni kõva konsistentsiga, mittefiltreruv pinnas sisaldab orgaanikat 1,4...2,8%.

Turbamuld – kiht esines lõigu alguses, esimeses puuraugus, 1,75 m sügavusel teekattest. Kihi paksuseks mõõdeti 0,45 m, turvas on hästi lagunenud ning teemulde all tihenunud.

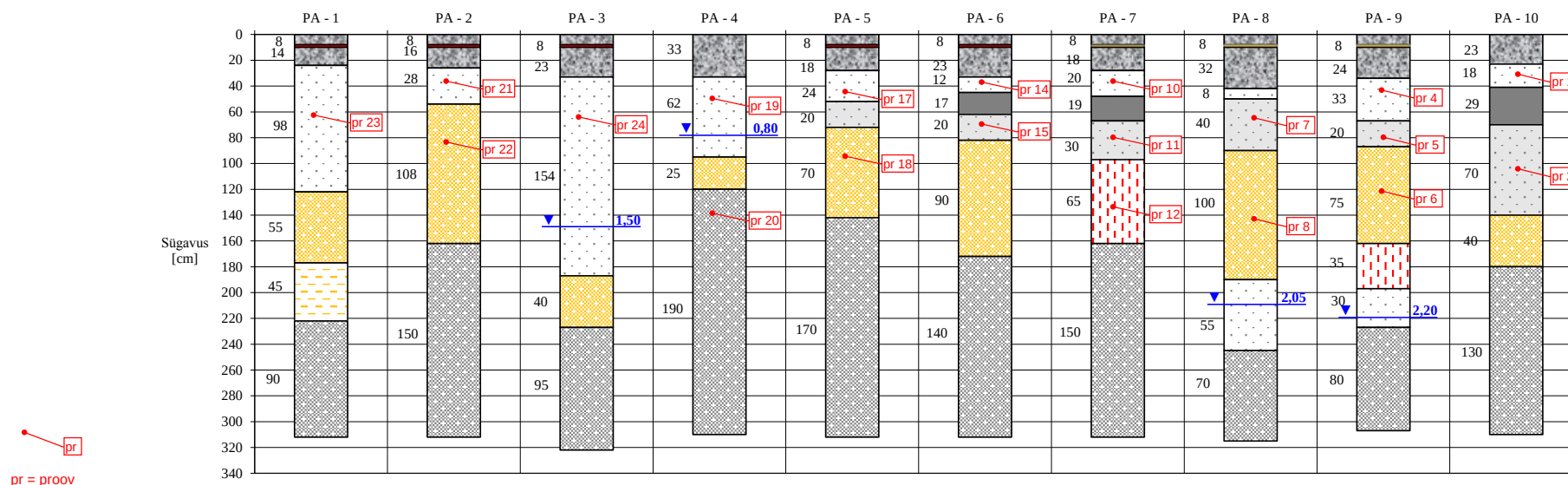
Tolmne saviliiv (saviliivmoreen) – moodustab uuringuala savise aluspinnase. Kiht algab puuraukude suudmeist 1,20...2,40 meetri sügavuselt ning seda läbiti kuni 1,90 meetri paksuselt. Saviliivmoreen on värvuselt helepruun või helehall, konsistentsilt aga pehme kuni sitkeplastne. Katseprotokolli kohaselt sisaldab pinnas kruusa 13,4%, tolmu ja savi 51,9%, plastsusarvuks on $I_p - 3,9\%$. Sügavuse suunas pinnase jäme purru sisaldus suureneb ning konsistents muutub kõvaks.

Hüdrogeoloogilised tingimused

Välitööde ajal (12.05.2015) kogunes pinnasevett puurauku vaid kruusakamaid kihte sisaldavates puuraukudes. Kõige kõrgemale ulatus pinnasevee tase puuraugus PA4, kus see mõõdeti 0,8 m sügavusel tee tasapinnast. Lisaks ilmus vesi puurauku PA3 sügavusel 1,5 m ning PA8 ja PA9, vastavalt 2,05 ning 2,2 m. sügavusel. Teistes puuraukudes esinesid savikad, madala filtratsioonivõimega pinnased, mistõttu vett uuringute käigus puurauku ei ilmunud. Vett pidava kihi moodustab savikas moreenpinnas. Sadevee ärajuhtimine toimub külgnerva kraavi kaudu Pärnu jõkke või iseooluna mõõda vooremäe nõlva, reljeefi languse suunas.

Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi (2001-52) tabeli L1.T1. määrangul kuulub uuringupiirkond II niiskuspaiikkonda. Seda tingitud peamiselt puuraukude külmumistsoonis esinevatest külmakerkeohtlikest pinnastest (tolmlüiv, saviliiv ja moreen) ning kohatisest kõrge pinnasevee tasemest.

GEOLOOGILISED PROFIILID



		22		24							
PA nr. asukoht/sõidusuund		PA - 1 Pk 0+47 Parem	PA - 2 Pk 1+10 Vasak	PA - 3 Pk 1+20 Parem	PA - 4 Pk 1+93 Vasak	PA - 5 Pk 2+84 Vasak	PA - 6 Pk 3+13 Parem	PA - 7 Pk 4+97 Vasak	PA - 8 Pk 5+07 Parem	PA - 9 Pk 5+72 Parem	PA - 10 Pk 6+36 Vasak
Mustkate, asfalt		8	8	8	33	8	8	8	8	8	23
Võrk		2	2	2		2	2				
Terasvõrk								2	2	2	
Mustkate, asfalt		14	16	23		18	23	18	32	24	
Kruusliiv		98	28	154	62	24	12	20	8	33	18
Vana mustkate							17	19			29
Kruusliiv, tolmne, hall						20	20	30	40	20	70
Kerge saviliiv, orgaanikaga		55	108	40	25	70	90		100	75	40
Muld, kruusane								65		35	
Turbamuld		45									
Kruuspinnas									55	30	
Tolmne saviliiv (moreen)		90	150	95	190	170	140	150	70	80	130
veetase (12.05.2015)				1,50	0,80				2,05	2,20	

Geoloog: K.Vrublevski

Kuupäev: 05. 2015

**EESTI
KESKKONNAUURINGUTE
KESKUS**

ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE

GEOTEHNIKALABOR

GEOTECHNICAL LABORATORY

EAK poolt akrediteeritud katselabor reg. nr. L008

A testing laboratory accredited by EAK under reg. no. L008

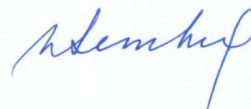
Teimiprotokoll: 18RP - 15 (GL15022)
Objekt: Mnt 5 km 91,8 - 92,8 asfaldivõrk - Paide
Tellija: K.Vrublevski Reaalprojekt OÜ
Proovitaja: Reaalprojekt OÜ
Proov on laborisse toodud: 20.05.2015
Proovid: 20 rikitud struktuuriga proovi
Teimiülesanne: 20.05.2015
Norm: GOST, DIN, EVS
Liigitus: GOST 25100 - 95*(MA parandus 2006)
Keel: eesti

Laboritööde koosseis:

1. Sisukord		1 leht
2. Pinnase omadused	tabel 1	1 leht
lisa	stand.Proctorteimi graafik	1 leht
3. Lõimimine	tabel 2	3 lehte
lisa	lõimiseköverad	10 lehte
	Kokku	16 lehte

Tulemused: osaliselt 2. ja 3. juuni, lõplik 4.06.2015.a.
Tulemused on e-mailiga saadetud: osaliselt 2. ja 3. juuni, lõplik 4.06.2015.a.
Tulemused on postiga saadetud: -

EKUK-i geotehnikalabori juhataja:



4.06.2015.a.

NB!

GOST-i liigituses ei kajastu liiva proovide nimetuses jämepeurru sisaldus. Fraktsioonid liidetakse kokku suuremast fraktsioonist alates. Proovid sisaldavad orgaanilist ainet.

Labori töö aluseks on tellija poolt koostatud teimimisülesanne ja selles esitatud nõuded.

Labor ei vastuta laborisse toodud proovide kvaliteedi eest, teimitakse olemasoleva kvaliteediga proove.

Kõik teimimistulemused kehtivad ainult antud objekti proovide kohta.

**EESTI
KESKKONNAUURINGUTE
KESKUS**

ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE
GEOTEHNIKALABOR
GEOTECHNICAL LABORATORY

EAK poolt akrediteeritud katselabor reg. nr. L008

Labor ei vastuta laborisse toodud proovide kvaliteedi eest

**** akrediteerimata teim**

Tabel: 1

PINNASE OMADUSED

Objekt:

Mnt 5 km 91,8 - 92,8 asfaldivõrk - Paide

Teimiprotokoll:

**18RP - 15
(GL15022)**

Labori nr.	PA nr.	Proov		Kiht	Pinnas GOST 25100-95* (MA parandus 2006)	Vassiljevi koonus			** u	Filtratsioon (frakts. < 4 mm)								Standard-Proctorteim (fr. < 4 mm)						
		w _L ^V %	w _P %			I _P ^V %	w _{plan} %	w %		ρ g/cm ³	ρ _d g/cm ³	k m/ööp.	k m/sek x10 ⁻⁵	Tihen- damis- energia A MJ/m ³	I _s ρ _d / ρ _{dmax}	Frakt- sioon <0,063 mm %	w _{opt} %	ρ _{d max} g/cm ³	w _{opt} * %	ρ _{d max} * g/cm ³	Frakt- sioon >4 mm %	Tihen- damis- energia A MJ/m ³		
4054	2	0,24-0,52	21		kruusliiv				2,4															
4055	"	0,65-1,40	22		tolmliiv				1,4															
4058	4	1,20-1,60	20		tolmne saviliiv	17,4	13,5	3,9																
4059	5	0,70-1,25	17		kruusliiv				0,9															
4060	"	0,26-0,50	18		kerge saviliiv	25,4	18,7	6,7	2,8															
4061	6	0,31-0,43	14		kruusliiv				1,4															
4062	"	0,60-0,80	15		keskliiv				1,5															
4064	7	0,65-0,95	11		kruusliiv				0,9															
4065	"	0,95-1,40	12		kruusliiv				1,8															
4067	8	0,90-1,60	8		kerge saviliiv	24,7	17,9	6,8	2,6															
4070	9	0,85-1,25	6		kerge saviliiv	18,3	15,2	3,1	1,6															
4071	10	0,23-0,41	1		kruusliiv					10,0	10,1	2,12	1,93	0,014	0,016	0,9	1,00	7,0	10,0	1,93	6,6*	2,12*	33,5	0,6
"	"	"	"		"					10,0	9,8	2,12	1,93	0,014	0,016	0,9	1,00							
"	"	"	"		"					X =	10,0	2,12	1,93	0,014	0,016									
4072	"	0,70-1,25	2		kruus (jäme purdpinnas)				1,1															
										Filtratsioon (ap. FMS, EVS-i meetod):								Standard-Proctorteim (ELE seade):						
										teimik: h = 10,0 cm, d = 5,0 cm;								teimik: h = 11,6 cm; d = 10,1 cm;						
										tihendus 3 x 40 löögiga, maks.tihed. ja opt.w juures								teim: tihendamine 3 kihis a' 25 lööki;						
										teim: gradient I = 2,0; veeküllastatud olek; t = 20°C								w _{opt} *, ρ _{d max} * - arvest. on >4 mm frakts.sis.						

Tellija: Reaalprojekt OÜ; K.Vrublevski

Teimimeetod: GOST 5180-84; EVS 901-20:2013; DIN 18127; DIN 18128

Leht: 1 (1)

Suur - Sõjamäe 34 Tallinn
Tel 6112992 Fax 6112990

Labori juhataja

A. Lemberg

/U.Lemberg/ Kuupäev

3.05.2015

pinnase omad.-18rp-15.xls

**EESTI
KESKKONNAUURINGUTE
KESKUS**

ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE

GEOTEHNIKALABOR

GEOTECHNICAL LABORATORY

EAK poolt akrediteeritud katselabor reg. nr. L008

A testing laboratory accredited by EAK under reg. no. L008

**STANDARD PROCTORTEIM - 2,5 KG RASKUS
STAND.COMPACTION TEST - 2,5 KG RAMMER**

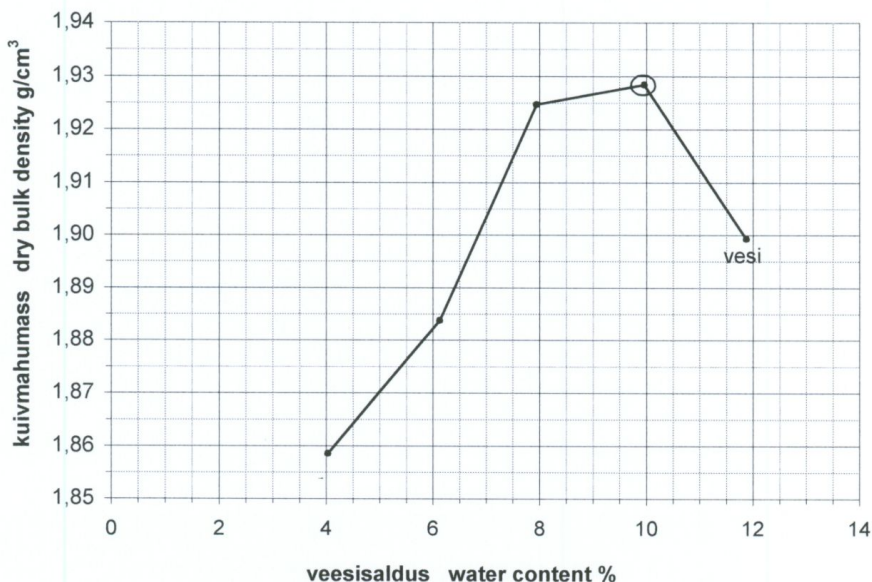
Objekt:

**Mnt 5 km 91,8 - 92,8
asfaldivõrk - Paide**

Teimiprotokoll:

**18RP - 15
(GL15022)**

Labori No. Sample No.	PA BH	Sügavus, m Depth, m	Pinnas Soil GOST 25100-95*	W _{opt} %		ρ _{d max} g/cm ³		Frakts.>4 mm Particles >4 mm %
4071	10	0,23 - 0,41	kruusliiv	10,0	6,6*	1,93	2,12*	33,5



Fraktsioon <4 mm
Lab. 4071

W %	ρ _d g/cm ³
4,0	1,859
6,1	1,884
7,9	1,925
10,0	1,928
11,9	1,899

Standard Proctorteim:

ELE automaatseade
haamer 2,5 kg
kukkumiskõrgus 30 cm
tihendamine 3x25 lööki

W_{opt}*, ρ_{d max}* - arvestatud on
>4 mm frakts. sisaldust

Tellija / Customer: Reaalprojekt OÜ; K.Vrublevski

Teimimeetod / Method of test: DIN 18127

Suur-Sõjamäe 34 Tallinn Tel. 6112992 Fax 6112990	Teimis Operator	Kontrollis Checked	Kuupäev Date	Lisa tabelile 1 Add for table 1
	<i>Kruusliiv</i>	<i>Kruusliiv</i>	08.06.15	1 (1)

Tabel: 2 LÕIMIS	Objekt: Mnt 5 km 91,8 - 92,8 asfaldivõrk - Paide	Teimiprotokoll: 18RP - 15 (GL15022)
---------------------------	--	---

Labori nr.	PA nr.	Proov		Kiht	Pinnas GOST 25100-95* (MA parandus 2006)	I _p ^v %	Fraktsiooni läbimõõt mm, sisaldus %																		C _u		
		Sügavus m	nr.				Kruus							Liiv						Tolm+sau		Tolm				Sau	
							>60	60..40	40..20	20...10	10...5	5...2	kokku	2...1	1,0...0,5	0,50...0,25	0,25...0,10	0,10...0,05	kokku	<0,05	<0,063	0,05...0,01	0,01...0,002	kokku		<0,002	
4053	1	0,22-1,20	23		kruusliiv		3,2	3,2	14,7	6,3	8,2	6,7	42,3	9,6	17,2	12,8	6,7	3,4	49,7	8,0	9,0	3,0	3,5	6,5	1,5	36,0	
" *	"	"	"		keskliiv									16,6	29,8	22,2	11,6	5,9	86,1	13,9		5,2	6,1	11,3	2,6		
4054	2	0,24-0,52	21		kruusliiv		0	1,7	13,0	8,3	8,3	9,1	40,4	10,7	16,7	12,3	6,8	4,1	50,6	9,0	10,5	4,1	3,5	7,6	1,4	35,6	
" *	"	"	"		keskliiv									18,0	28,0	20,6	11,4	6,9	84,9	15,1		6,9	5,9	12,8	2,3		
4055	"	0,65-1,40	22		tolmliiv		0	3,7	2,5	3,1	1,2	2,1	12,6	5,2	10,9	12,3	17,6	12,5	58,5	28,9	33,5	15,2	10,3	25,5	3,4	46,4	
" *	"	"	"		tolmliiv									5,9	12,5	14,1	20,1	14,3	66,9	33,1		17,4	11,8	29,2	3,9		
4056	3	0,31-1,30	24		kruusliiv		0	2,0	10,0	6,4	4,8	6,6	29,8	12,4	21,9	16,8	7,9	2,4	61,4	8,8	9,5	3,9	2,0	5,9	2,9	15,7	
" *	"	"	"		keskliiv									17,7	31,2	23,9	11,3	3,4	87,5	12,5		5,6	2,8	8,4	4,1		
4057	4	0,33-0,95	19		kruusliiv		0	5,2	13,9	7,0	7,3	7,4	40,8	12,1	22,5	10,3	5,1	1,2	51,2	8,0	8,5	3,5	3,1	6,6	1,4	19,1	
" *	"	"	"		jämeliiv									20,4	38,0	17,4	8,6	2,0	86,4	13,6		5,9	5,2	11,1	2,5		
4058	"	1,20-1,60	20		tolmne saviliiv	3,9	0	0	4,9	3,5	3,1	1,9	13,4	2,7	4,4	5,3	11,8	10,5	34,7	51,9	55,5	21,3	20,1	41,4	10,5	>43,5	
" *	"	"	"		tolmne saviliiv									3,1	5,1	6,1	13,6	12,1	40,0	60,0		24,6	23,2	47,8	12,2		
4059	5	0,26-0,50	17		kruusliiv		0	2,1	10,5	9,6	9,4	9,5	41,1	11,7	17,7	11,4	7,3	1,8	49,9	9,0	9,5	3,7	3,1	6,8	2,2	28,8	
" *	"	"	"		keskliiv									19,9	30,1	19,4	12,4	3,1	84,9	15,1		6,3	5,3	11,6	3,5		
4060	"	0,70-1,25	18		kerge saviliiv	6,7	0	0	3,4	1,1	1,3	0,7	6,5	1,5	4,9	9,7	18,7	17,1	51,9	41,6	47,5	21,2	15,1	36,3	5,3	34,4	
* Määratud fraktsioonist < 2 mm																											
Dispergaatorina on kasutatud Na-heksametafosfaadi 2 %-list lahust																											
Fraktsioon <0,063 mm on võetud lõimisekõveralt																											

* Määratud fraktsioonist < 2 mm

Dispergaatorina on kasutatud Na-heksametafosfaadi 2 %-list lahust

Fraktsioon <0,063 mm on võetud lõimisekõveralt

Tellija: Reaalprojekt OÜ; K.Vrublevski

Analüüsimeetod: GOST 12536-79

Leht: 1 (3)

**EESTI
KESKKONNAUURINGUTE
KESKUS**

ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE
GEOTEHNIKALABOR
GEOTECHNICAL LABORATORY

EAK poolt akrediteeritud katselabor reg. nr. L008

Labor ei vastuta laborisse toodud proovide kvaliteedi eest

Tabel: 2

LÕIMIS

Objekt:

Mnt 5 km 91,8 - 92,8 asfaldivõrk - Paide

Teimiprotokoll:

**18RP - 15
(GL15022)**

Labori nr.	PA nr.	Proov		Kiht	Pinnas GOST 25100-95* (MA parandus 2006)	I _p ^v %	Fraktsiooni läbimõõt mm, sisaldus %																		C _u	
		Sügavus m	nr.				Kruus							Liiv						Tolm+sau		Tolm				Sau
							>60	60..40	40..20	20...10	10...5	5...2	kokku	2...1	1,0...0,5	0,50...0,25	0,25...0,10	0,10...0,05	kokku	<0,05	<0,063	0,05...0,01	0,01...0,002	kokku		<0,002
4061	6	0,31-0,43	14		kruusliiv		0	0	5,2	7,8	11,7	9,4	34,1	12,7	17,2	14,0	8,4	3,1	55,4	10,5	11,5	4,9	3,8	8,7	1,8	34,1
" *	"	"	"		keskliiv									19,3	26,1	21,2	12,7	4,7	84,0	16,0		7,4	5,8	13,2	2,8	
4062	"	0,60-0,80	15		keskliiv		0	0	3,7	4,7	2,4	4,4	15,2	8,3	13,6	15,0	17,7	10,6	65,2	19,6	23,0	10,6	5,9	16,5	3,1	38,2
" *	"	"	"		tolmliiv									9,8	16,0	17,7	20,9	12,5	76,9	23,1		12,5	7,0	19,5	3,6	
4063	7	0,26-0,46	10		kruusliiv		0	1,7	11,1	13,6	13,7	9,9	50,0	8,2	9,2	9,6	8,9	4,9	40,8	9,2	11,0	3,3	4,1	7,4	1,8	96,2
" *	"	"	"		keskliiv									16,4	18,4	19,2	17,8	9,8	81,6	18,4		6,6	8,2	14,8	3,6	
4064	"	0,65-0,95	11		kruusliiv		0	8,6	13,9	9,7	8,4	7,4	48,0	7,2	9,9	7,2	7,4	6,1	37,8	14,2	16,0	6,7	5,1	11,8	2,4	283
" *	"	"	"		tolmliiv									13,8	19,0	13,8	14,2	11,7	72,5	27,5		12,9	9,8	22,7	4,8	
4065	"	0,95-1,40	12		kruusliiv		0	0	13,0	11,0	5,4	4,8	34,2	4,6	6,9	8,1	11,1	10,6	41,3	24,5	28,0	13,0	8,7	21,7	2,8	129
" *	"	"	"		tolmliiv									7,0	10,5	12,3	16,9	16,1	62,8	37,2		19,8	13,2	33,0	4,2	
4066	8	0,50-0,90	7		kruus (jämepeurpinnas)		0	7,1	18,5	11,5	8,7	5,8	51,6	3,2	2,5	3,0	16,3	14,3	39,3	9,1	14,0	5,7	1,8	7,5	1,6	157
" *	"	"	"		tolmliiv									6,6	5,2	6,2	33,7	29,5	81,2	18,8		11,8	3,7	15,5	3,3	
4067	"	0,90-1,60	8		kerge saviliiv	6,8	0	0	2,1	0,1	0,3	1,4	3,9	3,4	6,2	11,6	18,7	17,6	57,5	38,6	44,0	21,3	13,3	34,6	4,0	32,5
4068	9	0,32-0,65	4		kruusliiv		0	3,6	11,8	13,3	6,8	6,1	41,6	9,6	10,6	13,0	10,2	5,5	48,9	9,5	11,0	4,7	3,2	7,9	1,6	48,0
" *	"	"	"		keskliiv									16,4	18,2	22,3	17,5	9,4	83,8	16,2		8,0	5,5	13,5	2,7	
* Määratud fraktsioonist < 2 mm						Dispergaatorina on kasutatud Na-heksametafosfaadi 2 %-list lahust								Fraktsioon <0,063 mm on võetud lõimiseköveralt												

* Määratud fraktsioonist < 2 mm

Dispergaatorina on kasutatud Na-heksametafosfaadi 2 %-list lahust

Fraktsioon <0,063 mm on võetud lõimisekõveralt

Tellija: Reaalprojekt OÜ; K.Vrublevski

Analüüsimeetod: GOST 12536-79

Leht: 2 (3)

Suur - Sõjamäe 34 Tallinn
Tel 6112992 Fax 6112990

Labori juhataja *U.Lemberg/* Kuupäev *03.06.15*

lõimis-tab-18rp-15-II.xls

ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE
GEOTEHNIKALABOR
GEOTECHNICAL LABORATORY

Labor ei vastuta laborisse toodud proovide kvaliteedi eest

LÕIMIS

Mnt 5 km 91,8 - 92,8 asfaldivõrk - Paide

18RP - 15
(GL15022)

* Määratud fraktsioonist < 2 mm

Dispergaatorina on kasutatud Na-heksametafosfaadi 2 %-list lahust

Fraktsioon <0,063 mm on võetud lõimisekõveralt

Analüüsimeetod: GOST 12536-79

Leht: 3 (3)

Labori juhataja *R. Lemberg* /U.Lemberg/ Kuupäev *03.06.18*

lõimis-tab-18rp-15-III.xls

**EESTI
KESKKONNAUURINGUTE
KESKUS**

ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE

GEOTEHNIKALABOR

GEOTECHNICAL LABORATORY

EAK poolt akrediteeritud katselabor reg. nr. L008

A testing laboratory accredited by EAK under reg. no. L008

**LÕIMISEKÕVER
GRADING CURVE**

Objekt:

Mnt 5 km 91,8 - 92,8 asfaldivõrk - Paide

Teimiprotokoll:

**18RP - 15
(GL15022)**

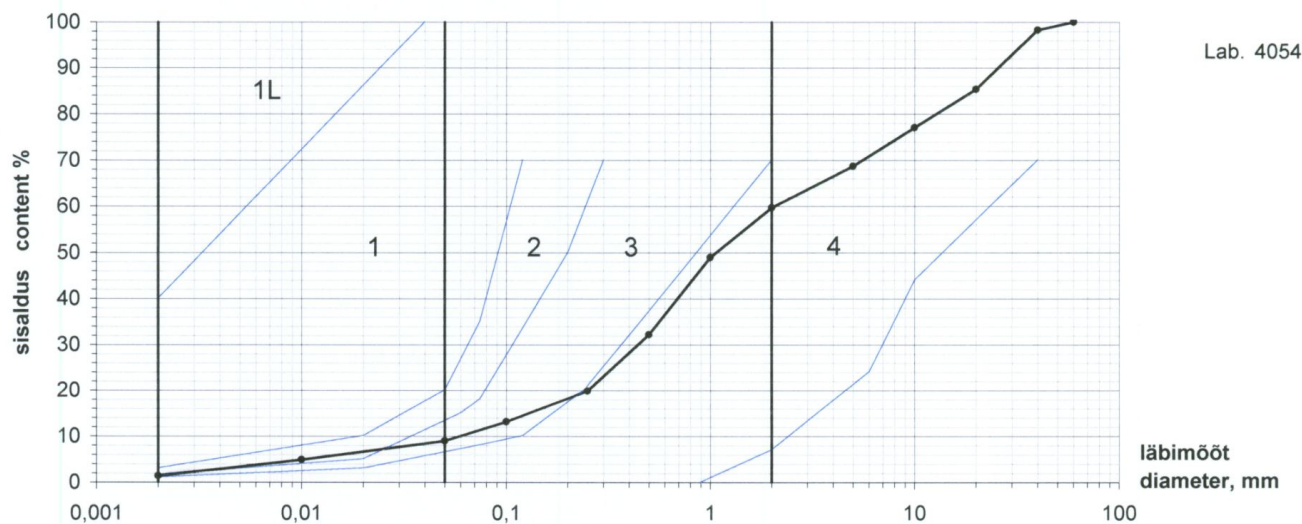
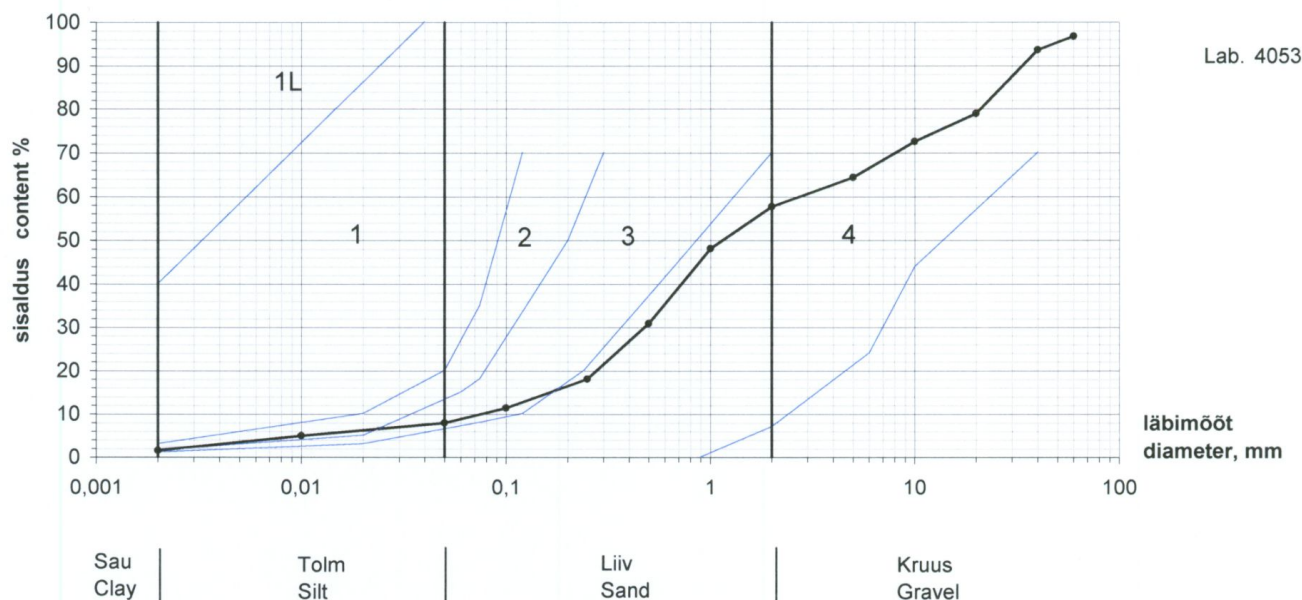
Labori nr. Sample No.	PA BH	Sügavus, m Depth, m	Pinnas Soil GOST 25100-95*	Proov nr.	d ₁₀ mm	d ₃₀ mm	d ₆₀ mm	C _u	<0,05 %	w _L ^V %	w _p %	I _p ^V %
4053	1	0,22 - 1,20	kruusliiv	23	0,075	0,47	2,70	36,0	8,0			
4054	2	0,24 - 0,52	kruusliiv	21	0,059	0,42	2,10	35,6	9,0			

Külmahtlikkuse piirid ISSMFE TC 8 järgi

Frost susceptibility groups according to ISSMFE TC 8

1; 2 - külmahtlik

1L; 3; 4 - ei ole külmahtlik



Tellija / Customer: Reaalprojekt OÜ; K.Vrublevski
Analüüsimeetod / Method of analysis: GOST 12536-79

Labor ei vastuta toodud proovide kvaliteedi eest
Laboratory isn't responsible for the samples quality

Suur-Sõjamäe 34 Tallinn	Teimis Operator	Kontrollis Checked	Kuupäev Date	Lisa tabelile 2 Add for table 2
Tel. 6112992 Fax 6112990	<i>Uroo</i>	<i>Almky</i>	03.06.15	1 (10)

**EESTI
KESKKONNAUURINGUTE
KESKUS**

ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE

GEOTEHNIKALABOR

GEOTECHNICAL LABORATORY

EAK poolt akrediteeritud katselabor reg. nr. L008

A testing laboratory accredited by EAK under reg. no. L008

**LÕIMISEKÕVER
GRADING CURVE**

Objekt:

Mnt 5 km 91,8 - 92,8 asfaldivõrk - Paide

Teimiprotokoll:

**18RP - 15
(GL15022)**

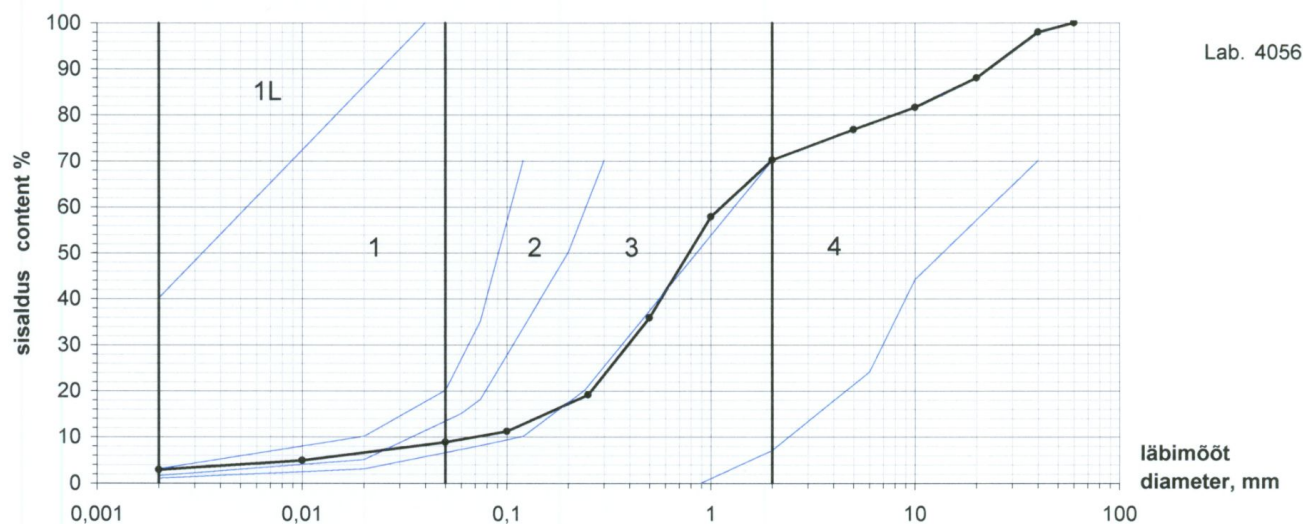
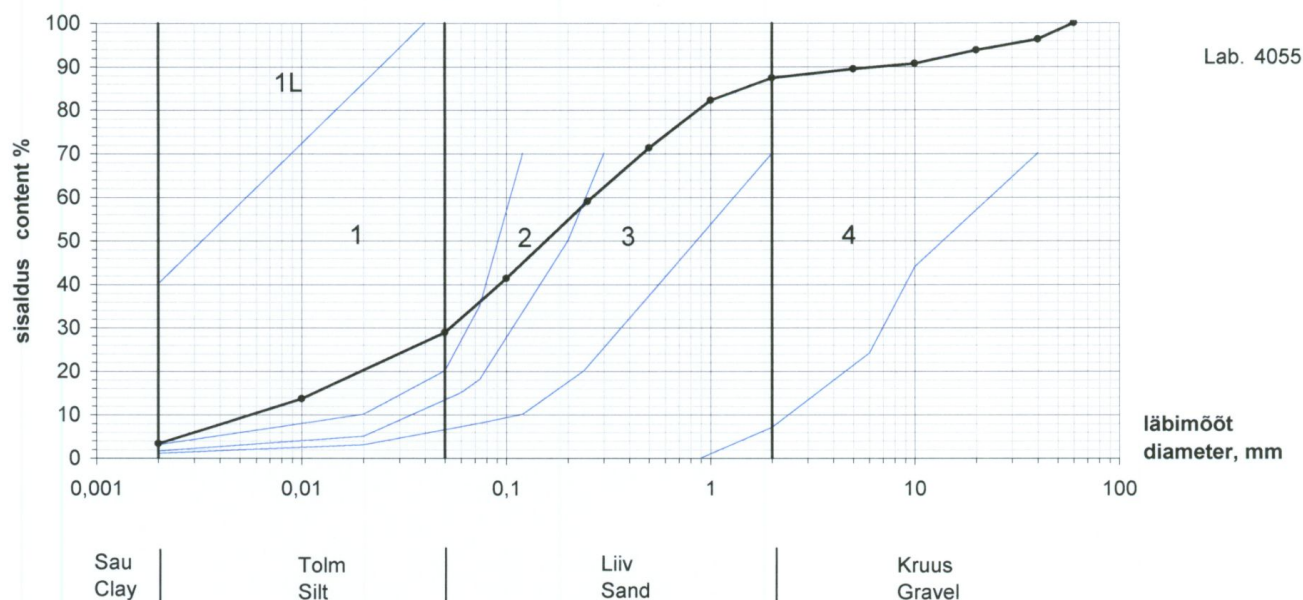
Labori nr. Sample No.	PA BH	Sügavus, m Depth, m	Pinnas Soil GOST 25100-95*	Proov nr.	d ₁₀ mm	d ₃₀ mm	d ₆₀ mm	C _u	<0,05 %	w _L ^V %	w _p %	I _p ^V %
4055	2	0,65 - 1,40	kruusliiv	22	0,0056	0,051	0,26	46,4	28,9			
4056	3	0,31 - 1,30	tolmliiv	24	0,07	0,39	1,10	15,7	8,8			

Külmaohtlikkuse piirid ISSMFE TC 8 järgi

Frost susceptibility groups according to ISSMFE TC 8

1; 2 - külmaohtlik

1L; 3; 4 - ei ole külmaohtlik



Tellija / Customer: Reaalprojekt OÜ; K.Vrublevski
Analüüsimeetod / Method of analysis: GOST 12536-79

Labor ei vastuta toodud proovide kvaliteedi eest
Laboratory isn't responsible for the samples quality

Suur-Sõjamäe 34 Tallinn	Teimis Operator	Kontrollis Checked	Kuupäev Date	Lisa tabelile 2 Add for table 2
Tel. 6112992 Fax 6112990	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	03.06.15	2 (10)

**EESTI
KESKKONNAUURINGUTE
KESKUS**

ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE

GEOTEHNIKALABOR

GEOTECHNICAL LABORATORY

EAK poolt akrediteeritud katselabor reg. nr. L008

A testing laboratory accredited by EAK under reg. no. L008

**LÕIMISEKÕVER
GRADING CURVE**

Objekt:

Mnt 5 km 91,8 - 92,8 asfaldivõrk - Paide

Teimiprotokoll:

**18RP - 15
(GL15022)**

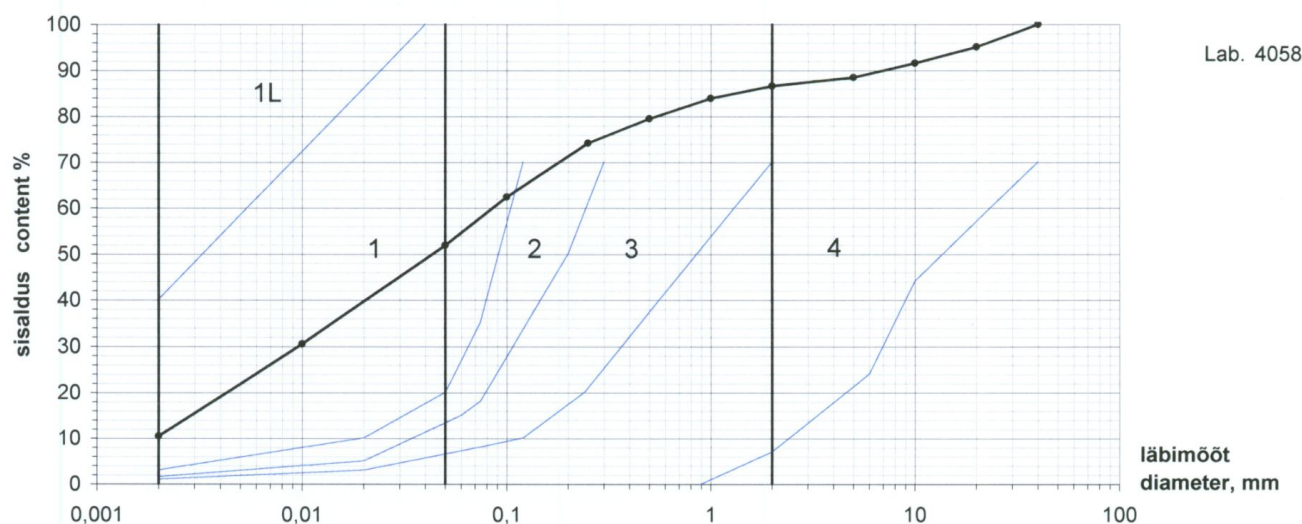
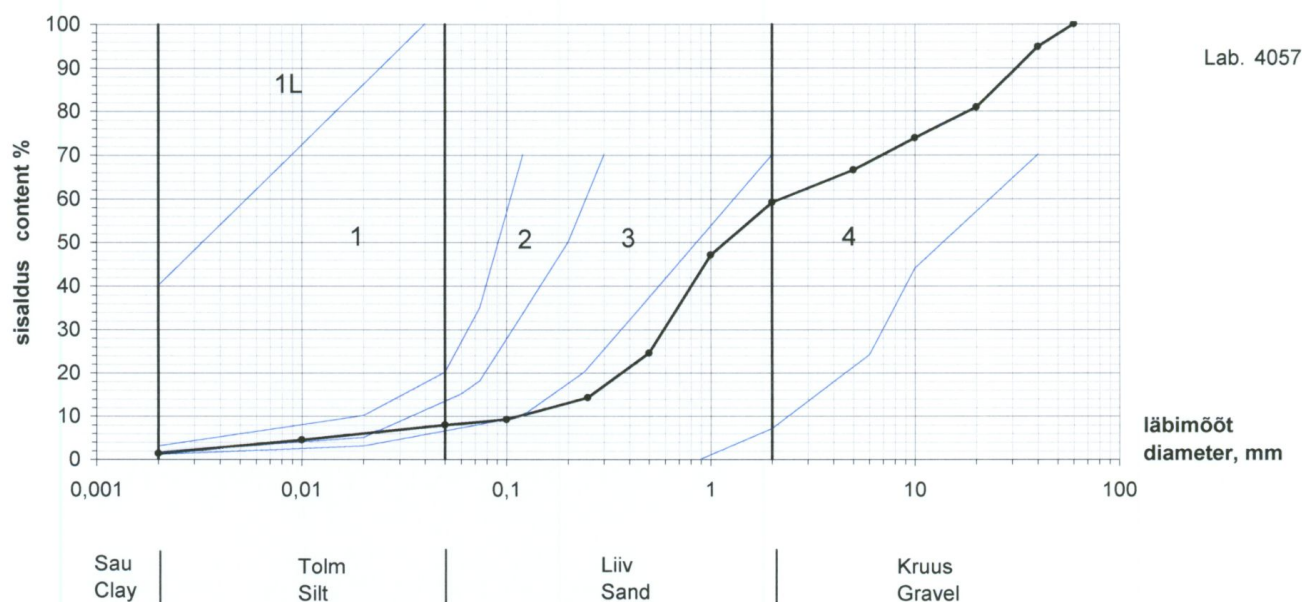
Labori nr. Sample No.	PA BH	Sügavus, m Depth, m	Pinnas GOST 25100-95*	Soil	Proov nr.	d ₁₀ mm	d ₃₀ mm	d ₆₀ mm	C _u	<0,05 %	w _L ^V %	w _p %	I _p ^V %
4057	4	0,33 - 0,95		kruusliiv	19	0,11	0,59	2,10	19,1	8,0			
4058	"	1,20 - 1,60		tolmne saviliiv	20	<0,002	0,0093	0,087	>43,5	51,9	17,4	13,5	3,9

Külmaohtlikkuse piirid ISSMFE TC 8 järgi

Frost susceptibility groups according to ISSMFE TC 8

1; 2 - külmaohtlik

1L; 3; 4 - ei ole külmaohtlik



Tellijä / Customer: Reaalprojekt OÜ; K.Vrublevski
Analüüsimeetod / Method of analysis: GOST 12536-79

Labor ei vastuta toodud proovide kvaliteedi eest
Laboratory isn't responsible for the samples quality

Suur-Sõjamäe 34 Tallinn	Teimis Operator	Kontrollis Checked	Kuupäev Date	Lisa tabelile 2 Add for table 2
Tel. 6112992 Fax 6112990	<i>M. Vrublevski</i>	<i>A. Kõrre</i>	03.06.15	3 (10)

**EESTI
KESKKONNAUURINGUTE
KESKUS**

ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE

GEOTEHNIKALABOR

GEOTECHNICAL LABORATORY

EAK poolt akrediteeritud katselabor reg. nr. L008

A testing laboratory accredited by EAK under reg. no. L008

**LÕIMISEKÕVER
GRADING CURVE**

Objekt:

Mnt 5 km 91,8 - 92,8 asfaldivõrk - Paide

Teimiprotokoll:

**18RP - 15
(GL15022)**

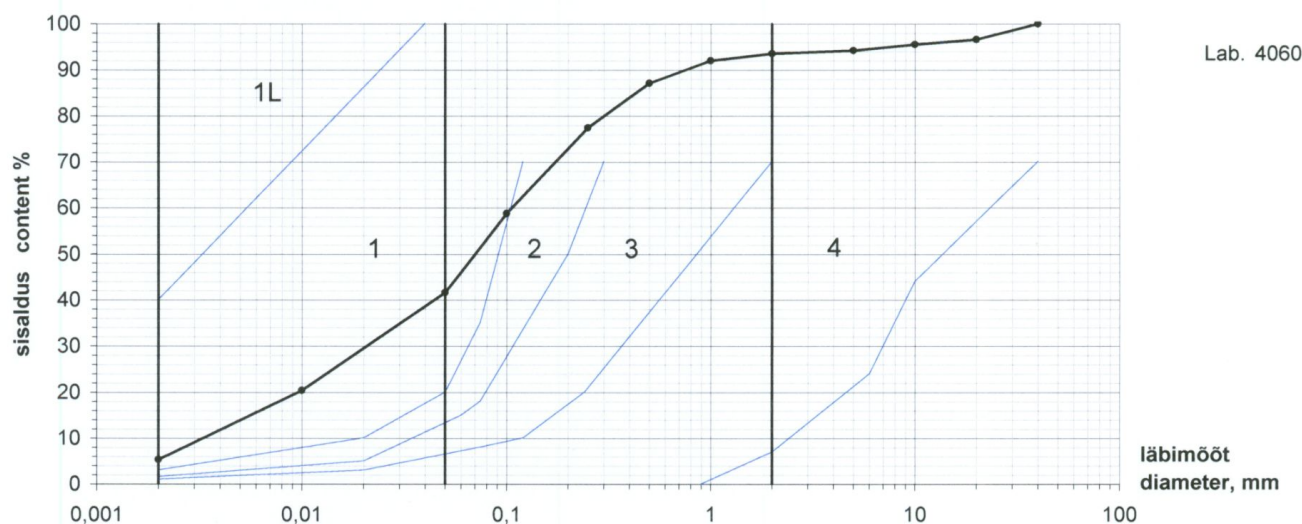
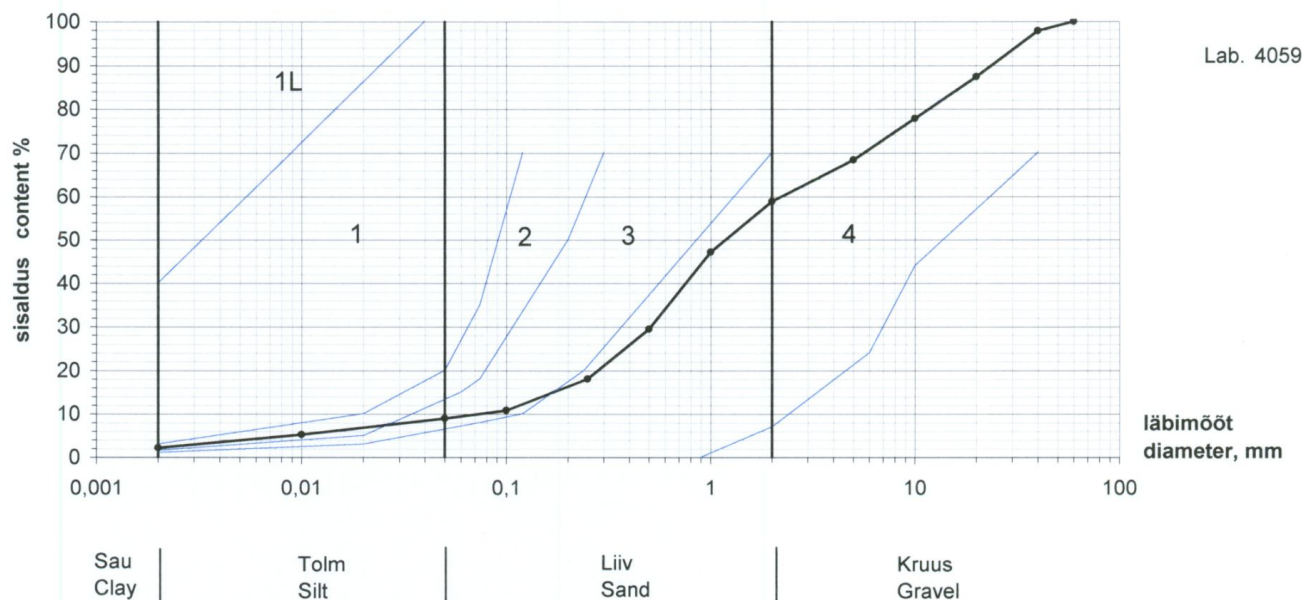
Labori nr. Sample No.	PA BH	Sügavus, m Depth, m	Pinnas GOST 25100-95*	Soil	Proov nr.	d ₁₀ mm	d ₃₀ mm	d ₆₀ mm	C _u	<0,05 %	w _L ^V %	w _p %	I _p ^V %
4059	5	0,26 - 0,50	kruusliiv		17	0,073	0,51	2,10	28,8	9,0			
4060	5	0,70 - 1,25	kerge saviliiv		18	0,0032	0,021	0,11	34,4	41,6	25,4	18,7	6,7

Külmaohtlikkuse piirid ISSMFE TC 8 järgi

Frost susceptibility groups according to ISSMFE TC 8

1; 2 - külmaohtlik

1L; 3; 4 - ei ole külmaohtlik



Tellijä / Customer: Reaalprojekt OÜ; K.Vrublevski
Analüüsimetod / Method of analysis: GOST 12536-79

Labor ei vastuta toodud proovide kvaliteedi eest
Laboratory isn't responsible for the samples quality

Suur-Sõjamäe 34 Tallinn	Teimis Operator	Kontrollis Checked	Kuupäev Date	Lisa tabelile 2 Add for table 2
Tel. 6112992 Fax 6112990	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	03.06.15	4 (10)

**EESTI
KESKKONNAUURINGUTE
KESKUS**

ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE

GEOTEHNIKALABOR

GEOTECHNICAL LABORATORY

EAK poolt akrediteeritud katselabor reg. nr. L008

A testing laboratory accredited by EAK under reg. no. L008

**LÕIMISEKÕVER
GRADING CURVE**

Objekt:

Mnt 5 km 91,8 - 92,8 asfaldivõrk - Paide

Teimiprotokoll:

**18RP - 15
(GL15022)**

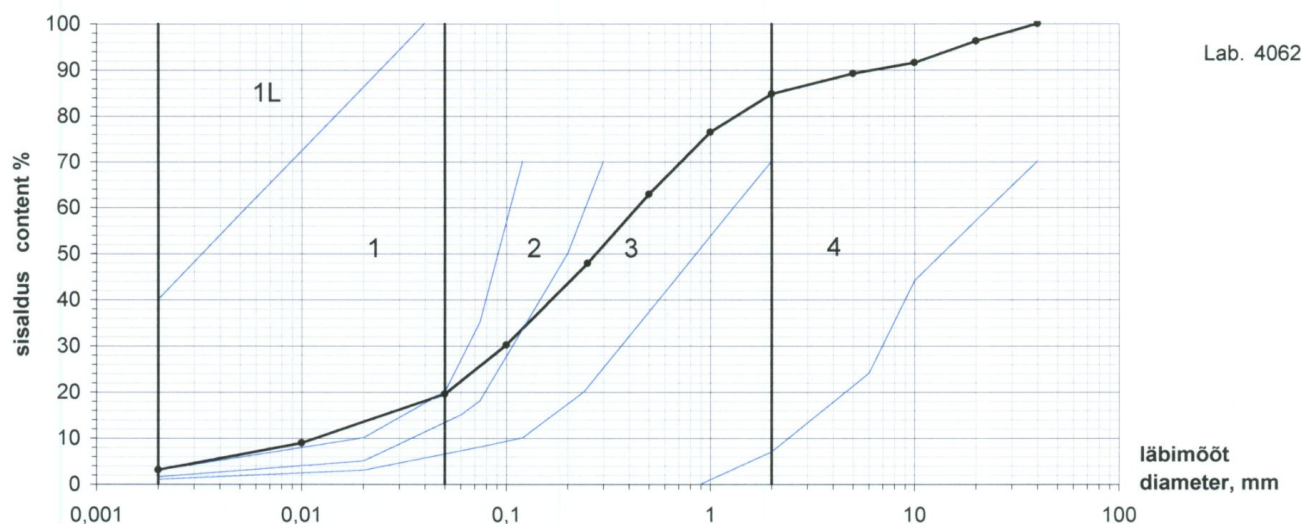
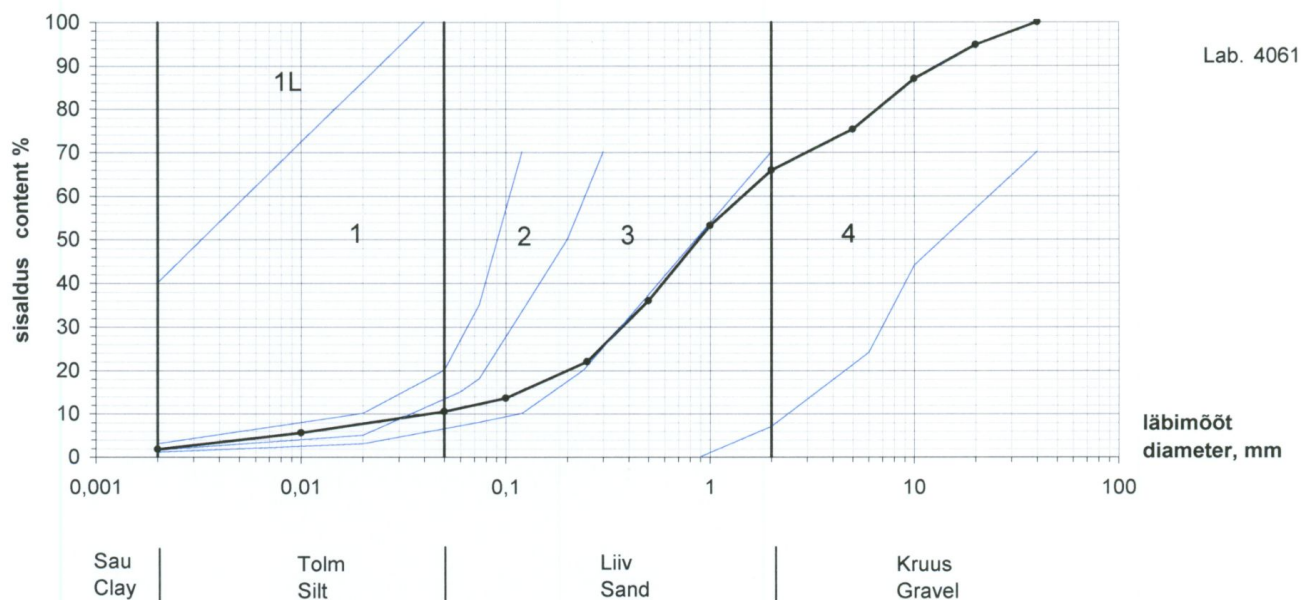
Labori nr. Sample No.	PA BH	Sügavus, m Depth, m	Pinnas GOST 25100-95*	Soil	Proov nr.	d ₁₀ mm	d ₃₀ mm	d ₆₀ mm	C _u	<0,05 %	w _L ^V %	w _p %	I _p ^V %
4061	6	0,31 - 0,43	kruusliiv		14	0,044	0,37	1,50	34,1	10,5			
4062	"	0,60 - 0,80	keskliiv		15	0,011	0,099	0,42	38,2	19,6			

Külmaohtlikkuse piirid ISSMFE TC 8 järgi

Frost susceptibility groups according to ISSMFE TC 8

1; 2 - külmaohtlik

1L; 3; 4 - ei ole külmaohtlik



Tellija / Customer: Reaalprojekt OÜ; K.Vrublevski
Analüüsimeetod / Method of analysis: GOST 12536-79

Labor ei vastuta toodud proovide kvaliteedi eest
Laboratory isn't responsible for the samples quality

Suur-Sõjamäe 34 Tallinn	Teimis Operator	Kontrollis Checked	Kuupäev Date	Lisa tabelile 2 Add for table 2
Tel. 6112992 Fax 6112990	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	03.06.15	5 (10)

**EESTI
KESKKONNAUURINGUTE
KESKUS**

ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE

GEOTEHNIKALABOR

GEOTECHNICAL LABORATORY

EAK poolt akrediteeritud katselabor reg. nr. L008

A testing laboratory accredited by EAK under reg. no. L008

**LÕIMISEKÕVER
GRADING CURVE**

Objekt:

Mnt 5 km 91,8 - 92,8 asfaldivõrk - Paide

Teimiprotokoll:

**18RP - 15
(GL15022)**

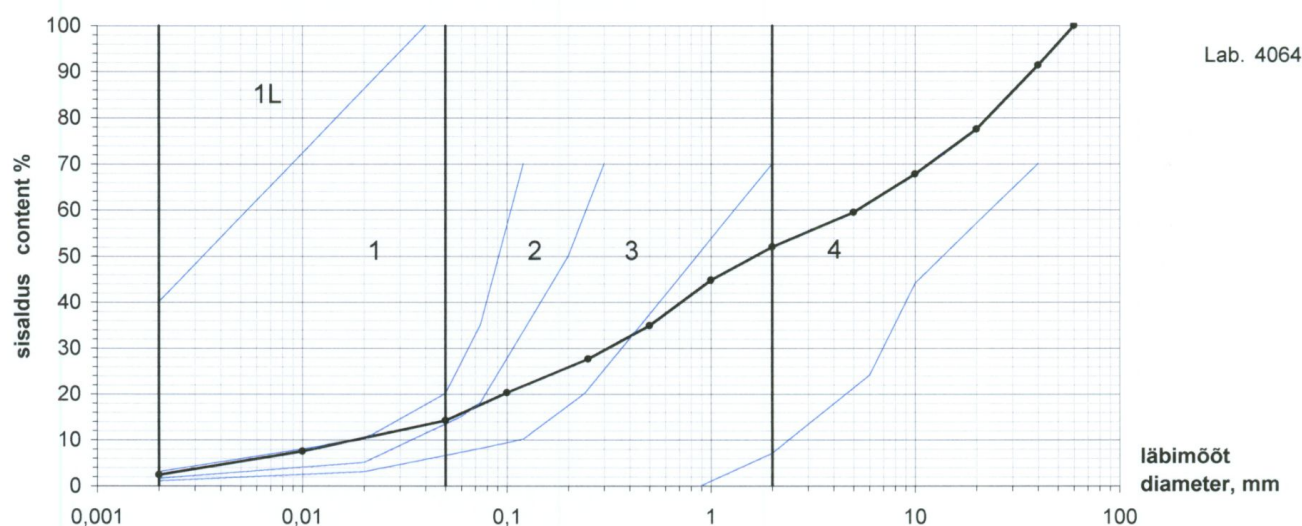
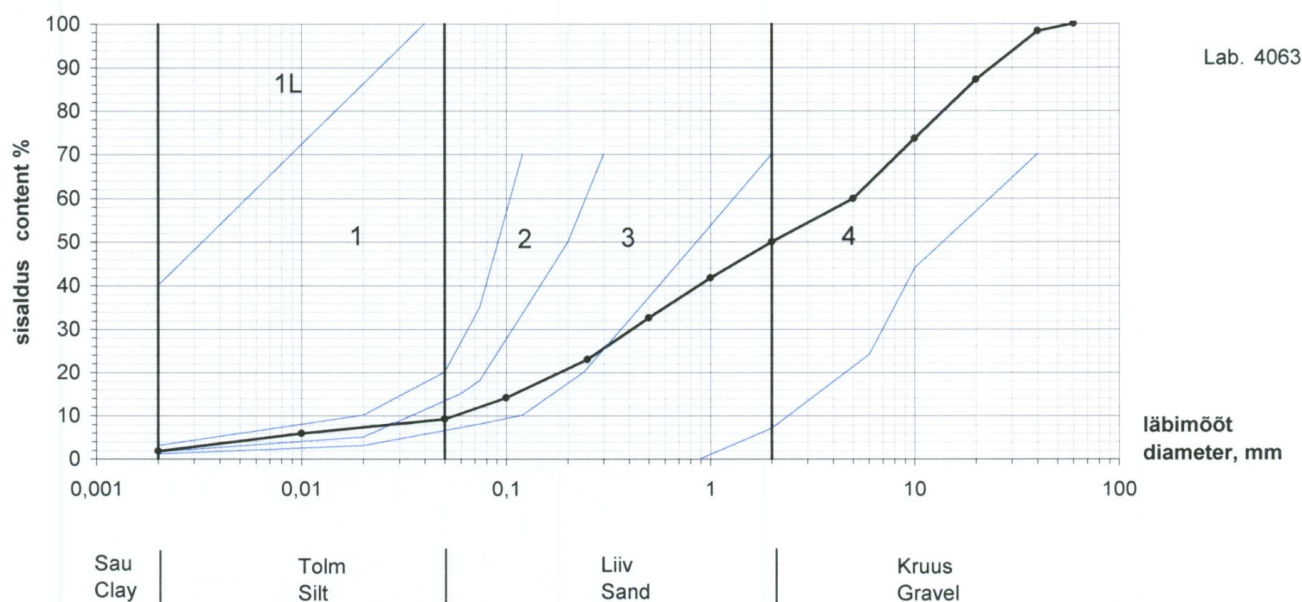
Labori nr. Sample No.	PA BH	Sügavus, m Depth, m	Pinnas Soil GOST 25100-95*	Proov nr.	d ₁₀ mm	d ₃₀ mm	d ₆₀ mm	C _u	<0,05 %	w _L ^V %	w _P %	I _P ^V %
4063	7	0,26 - 0,46	kruusliiv	10	0,052	0,41	5,00	96,2	9,2			
4064	"	0,65 - 0,95	kruusliiv	11	0,018	0,30	5,10	283	14,2			

Külmaohtlikkuse piirid ISSMFE TC 8 järgi

Frost susceptibility groups according to ISSMFE TC 8

1; 2 - külmaohtlik

1L; 3; 4 - ei ole külmaohtlik



Tellijä / Customer: Reaalprojekt OÜ; K.Vrublevski
Analüüsimeetod / Method of analysis: GOST 12536-79

Labor ei vastuta toodud proovide kvaliteedi eest
Laboratory isn't responsible for the samples quality

Suur-Sõjamäe 34 Tallinn	Teimis Operator	Kontrollis Checked	Kuupäev Date	Lisa tabelile 2 Add for table 2
Tel. 6112992 Fax 6112990	<i>M. Oodis</i>	<i>M. Oodis</i>	03.06.15	6 (10)

**EESTI
KESKKONNAUURINGUTE
KESKUS**

ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE

GEOTEHNIKALABOR

GEOTECHNICAL LABORATORY

EAK poolt akrediteeritud katselabor reg. nr. L008

A testing laboratory accredited by EAK under reg. no. L008

**LÕIMISEKÕVER
GRADING CURVE**

Objekt:

Mnt 5 km 91,8 - 92,8 asfaldivõrk - Paide

Teimiprotokoll:

**18RP - 15
(GL15022)**

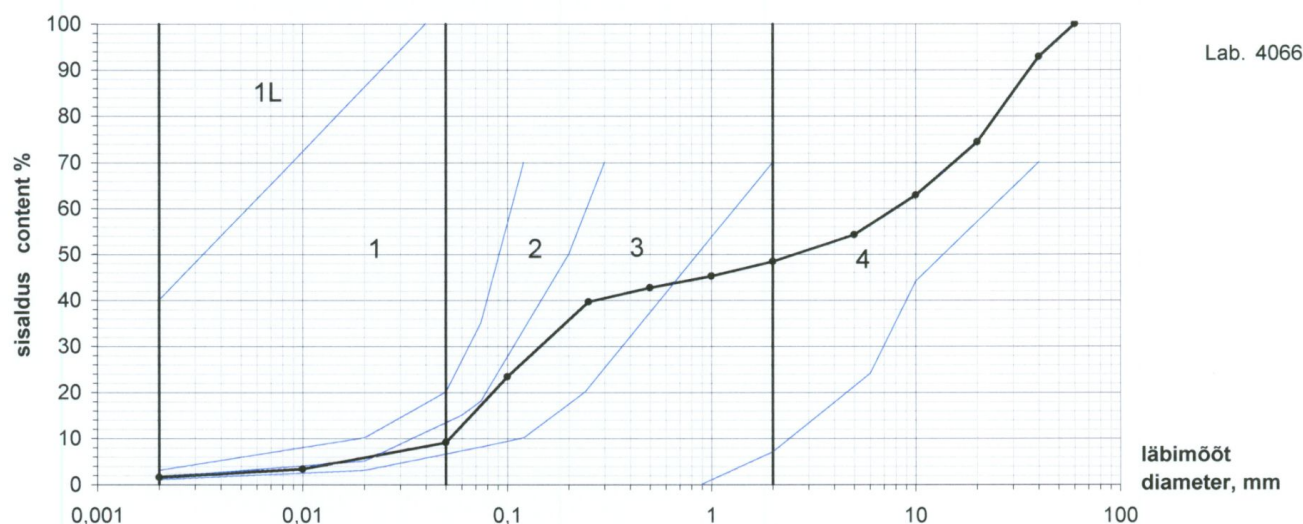
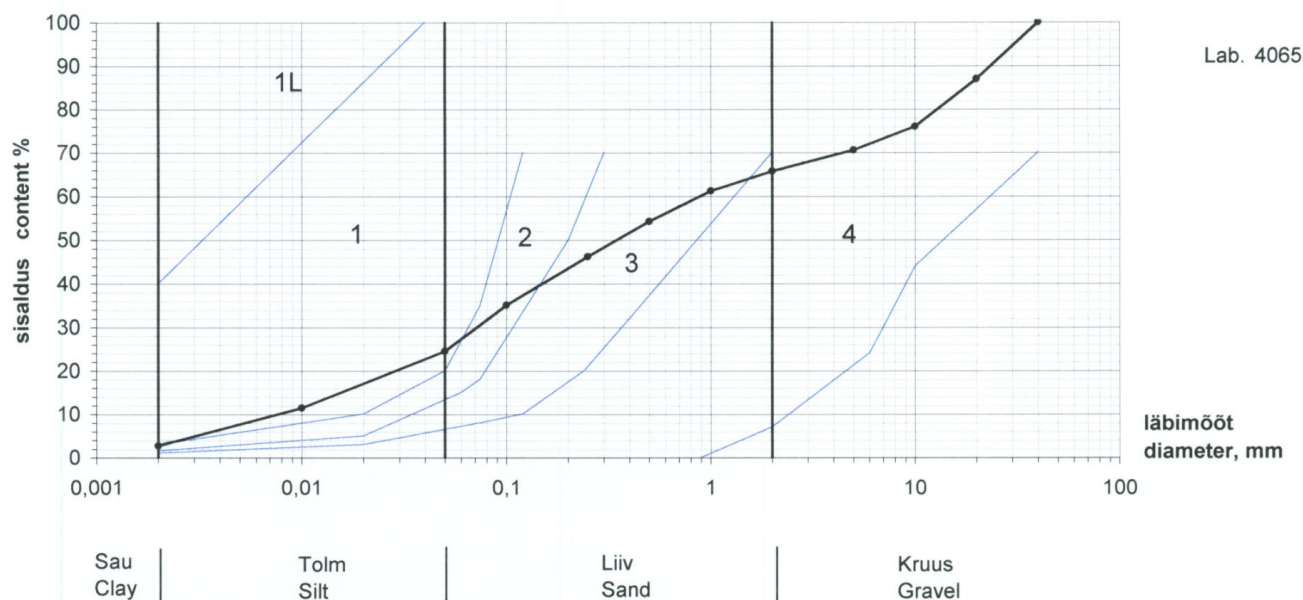
Labori nr. Sample No.	PA BH	Sügavus, m Depth, m	Pinnas Soil GOST 25100-95*	Proov nr.	d ₁₀ mm	d ₃₀ mm	d ₆₀ mm	C _u	<0,05 %	w _L ^V %	w _p %	I _p ^V %
4065	7	0,95 - 1,40	kruusliiv	12	0,007	0,07	0,90	129	24,5			
4066	8	0,50 - 0,90	kruus (jämedapurdpinnas)	7	0,051	0,14	8,00	157	9,1			

Külmaohtlikkuse piirid ISSMFE TC 8 järgi

Frost susceptibility groups according to ISSMFE TC 8

1; 2 - külmaohtlik

1L; 3; 4 - ei ole külmaohtlik



Tellijä / Customer: Reaalprojekt OÜ; K.Vrublevski
Analüüsimeetod / Method of analysis: GOST 12536-79

Labor ei vastuta toodud proovide kvaliteedi eest
Laboratory isn't responsible for the samples quality

Suur-Sõjamäe 34 Tallinn	Teimis Operator	Kontrollis Checked	Kuupäev Date	Lisa tabelile 2 Add for table 2
Tel. 6112992 Fax 6112990	<i>M. Oodas</i>	<i>M. Oodas</i>	03.06.15	7 (10)

**EESTI
KESKKONNAUURINGUTE
KESKUS**

ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE
GEOTEHNIKALABOR
GEOTECHNICAL LABORATORY
EAK poolt akrediteeritud katselabor reg. nr. L008
A testing laboratory accredited by EAK under reg. no. L008

**LÕIMISEKÕVER
GRADING CURVE**

Objekt:

Mnt 5 km 91,8 - 92,8 asfaldivõrk - Paide

Teimiprotokoll:

**18RP - 15
(GL15022)**

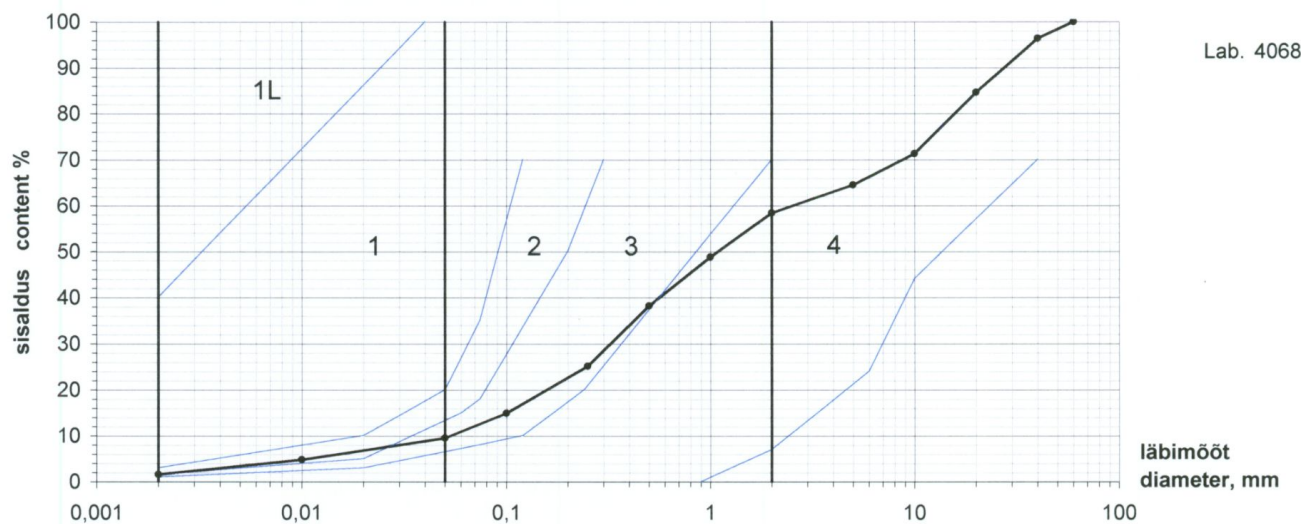
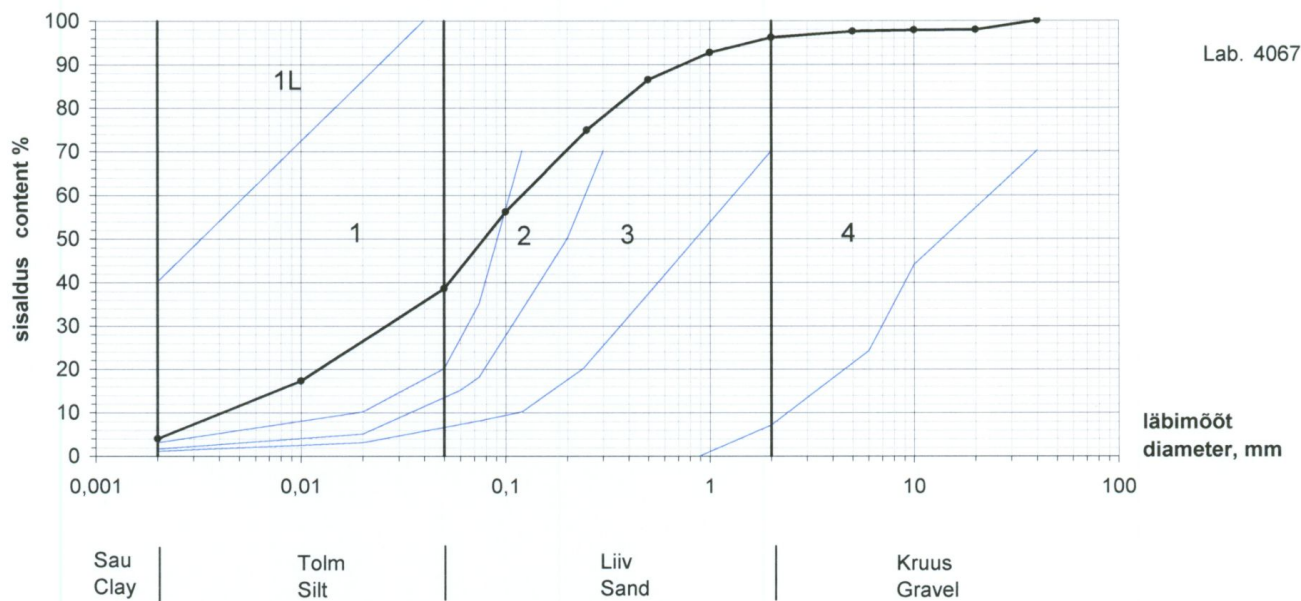
Labori nr. Sample No.	PA BH	Sügavus, m Depth, m	Pinnas Soil GOST 25100-95*	Proov nr.	d ₁₀ mm	d ₃₀ mm	d ₆₀ mm	C _u	<0,05 %	w _L ^V %	w _p %	I _p ^V %
4067	8	0,90 - 1,60	kerge saviliiv	8	0,004	0,024	0,13	32,5	38,6	24,7	17,9	6,8
4068	9	0,32 - 0,65	kruusliiv	4	0,05	0,31	2,40	48,0	9,5			

Külmaohtlikkuse piirid ISSMFE TC 8 järgi

Frost susceptibility groups according to ISSMFE TC 8

1; 2 - külmaohtlik

1L; 3; 4 - ei ole külmaohtlik



Tellijä / Customer: Reaalprojekt OÜ; K.Vrublevski
Analüüsimeetod / Method of analysis: GOST 12536-79

Labor ei vastuta toodud proovide kvaliteedi eest
Laboratory isn't responsible for the samples quality

Suur-Sõjamäe 34 Tallinn	Teimis Operator	Kontrollis Checked	Kuupäev Date	Lisa tabelile 2 Add for table 2
Tel. 6112992 Fax 6112990	<i>Moody</i>	<i>Alumäe</i>	03.06.15	8 (10)

**EESTI
KESKKONNAUURINGUTE
KESKUS**

ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE

GEOTEHNIKALABOR

GEOTECHNICAL LABORATORY

EAK poolt akrediteeritud katselabor reg. nr. L008

A testing laboratory accredited by EAK under reg. no. L008

**LÕIMISEKÕVER
GRADING CURVE**

Objekt:

Mnt 5 km 91,8 - 92,8 asfaldivõrk - Paide

Teimiprotokoll:

**18RP - 15
(GL15022)**

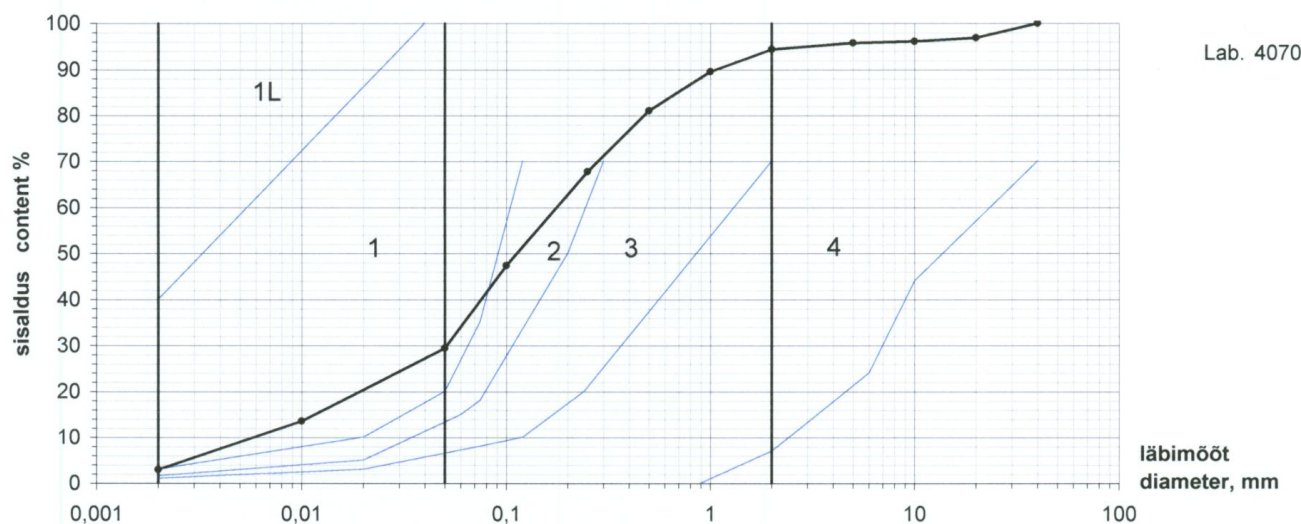
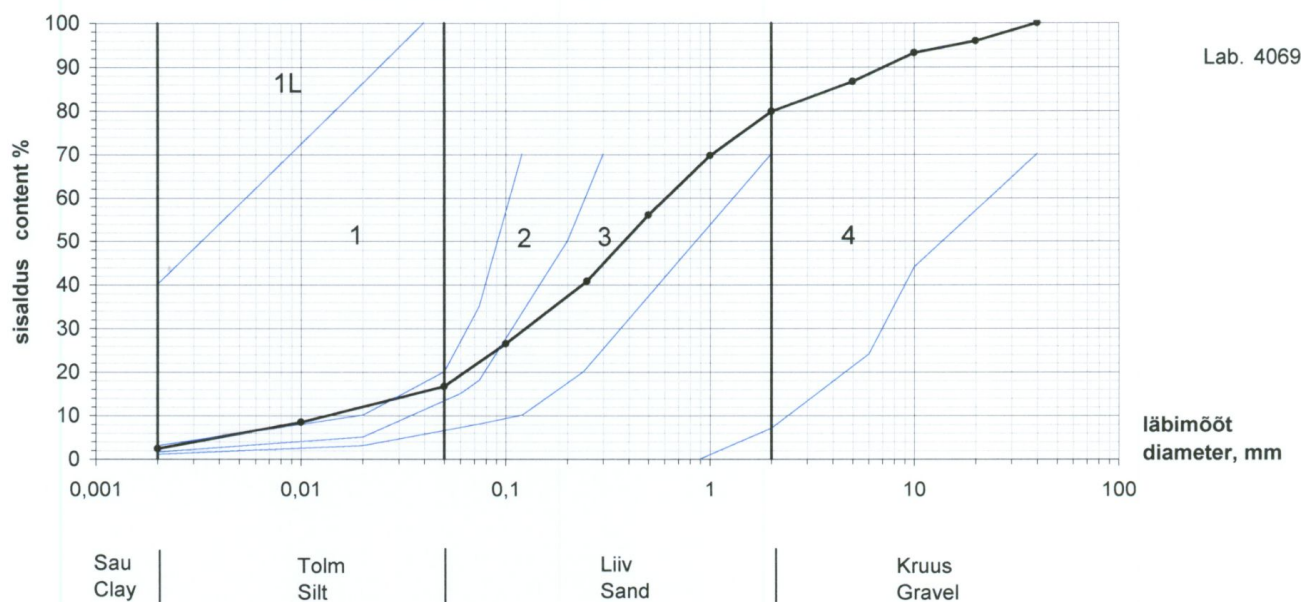
Labori nr. Sample No.	PA BH	Sügavus, m Depth, m	Pinnas GOST 25100-95*	Soil	Proov nr.	d ₁₀ mm	d ₃₀ mm	d ₆₀ mm	C _u	<0,05 %	w _L ^V %	w _p %	I _p ^V %
4069	9	0,65 - 0,85	keskliiv		5	0,013	0,12	0,60	46,2	16,7			
4070	"	0,85 - 1,25	kerge saviliiv		6	0,0058	0,051	0,18	31,0	29,4	18,3	15,2	3,1

Külmaohtlikkuse piirid ISSMFE TC 8 järgi

Frost susceptibility groups according to ISSMFE TC 8

1; 2 - külmaohtlik

1L; 3; 4 - ei ole külmaohtlik



Tellija / Customer: Reaalprojekt OÜ; K.Vrublevski
Analüüsimeetod / Method of analysis: GOST 12536-79

Labor ei vastuta toodud proovide kvaliteedi eest
Laboratory isn't responsible for the samples quality

Suur-Sõjamäe 34 Tallinn	Teimis Operator	Kontrollis Checked	Kuupäev Date	Lisa tabelile 2 Add for table 2
Tel. 6112992 Fax 6112990	M. Ordeus	M. Lõnnus	03.06.15	9 (10)

**EESTI
KESKKONNAUURINGUTE
KESKUS**

ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE

GEOTEHNIKALABOR

GEOTECHNICAL LABORATORY

EAK poolt akrediteeritud katselabor reg. nr. L008

A testing laboratory accredited by EAK under reg. no. L008

**LÕIMISEKÕVER
GRADING CURVE**

Objekt:

Mnt 5 km 91,8 - 92,8 asfaldivõrk - Paide

Teimiprotokoll:

**18RP - 15
(GL15022)**

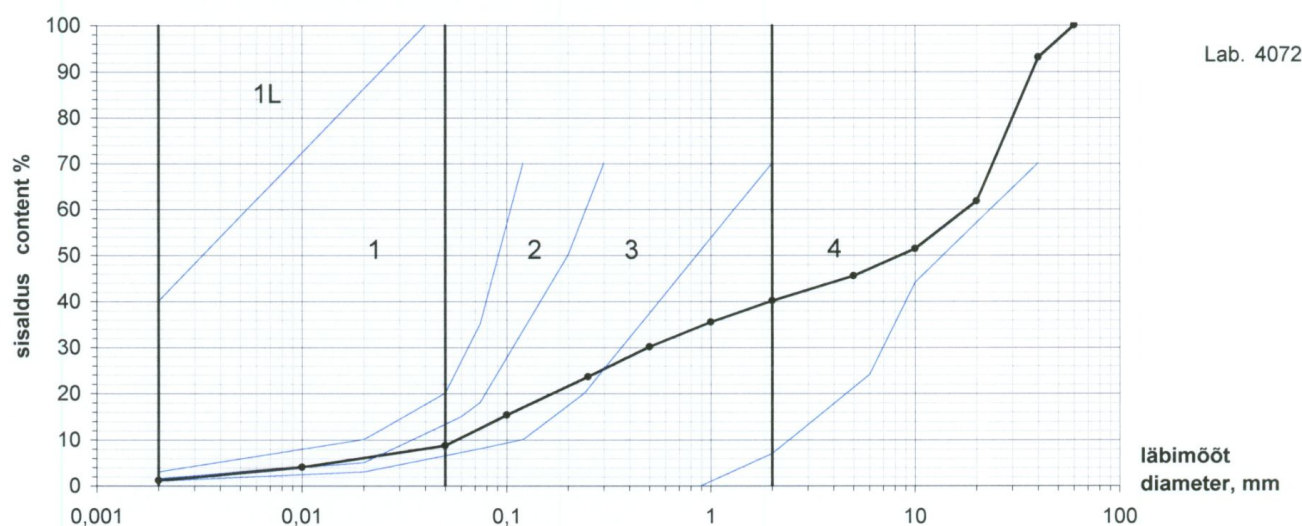
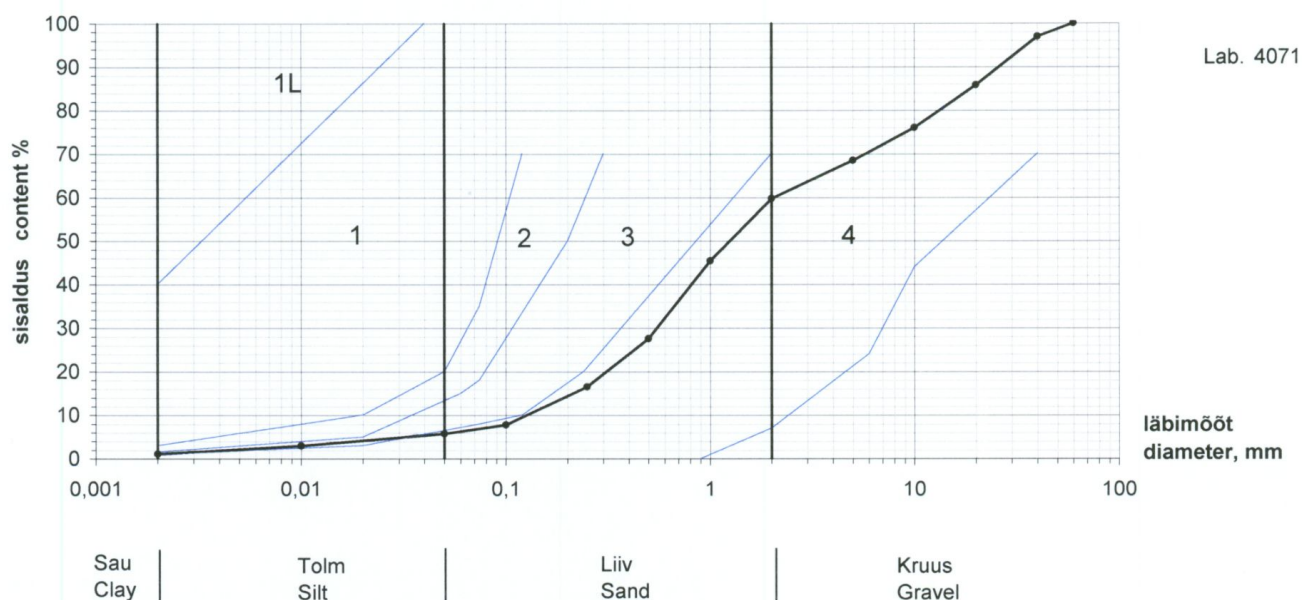
Labori nr. Sample No.	PA BH	Sügavus, m Depth, m	Pinnas GOST 25100-95*	Soil	Proov nr.	d ₁₀ mm	d ₃₀ mm	d ₆₀ mm	C _u	<0,05 %	w _L ^V %	w _P %	I _P ^V %
4071	10	0,23 - 0,41		kruusliiv	1	0,13	0,52	2,00	15,4	5,8			
4072	"	0,70 - 1,25		kruus (jämepeurdpinnas)	2	0,054	0,49	18,0	333	8,8			

Külmaohtlikkuse piirid ISSMFE TC 8 järgi

Frost susceptibility groups according to ISSMFE TC 8

1; 2 - külmaohtlik

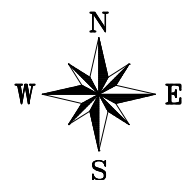
1L; 3; 4 - ei ole külmaohtlik



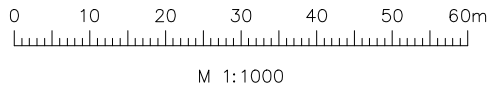
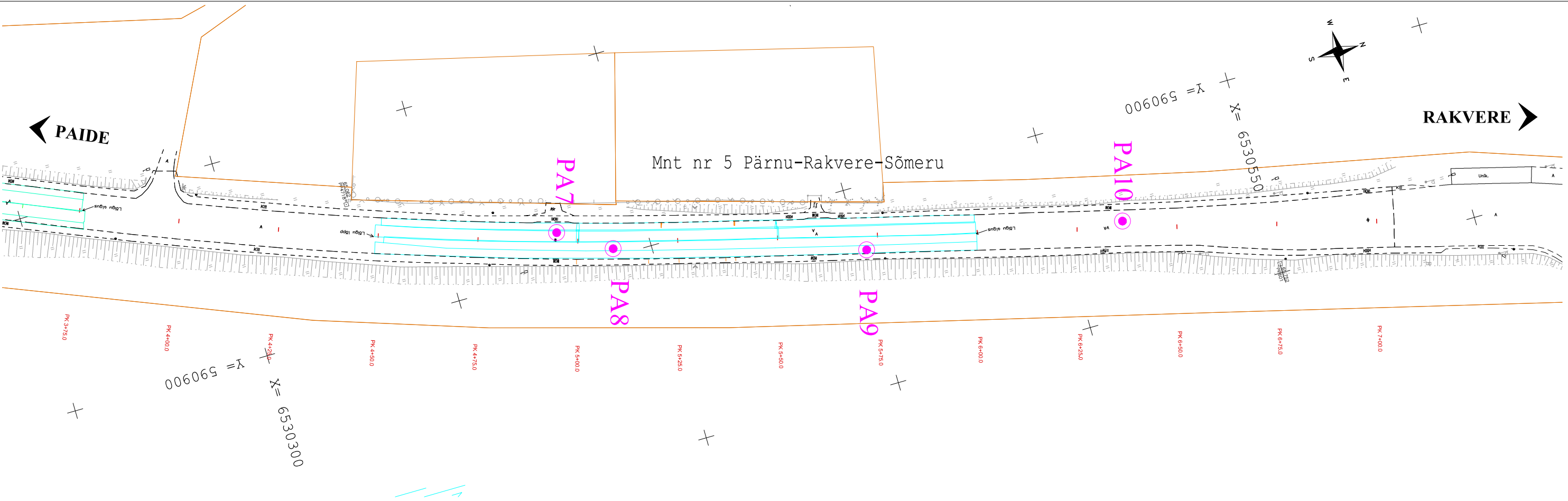
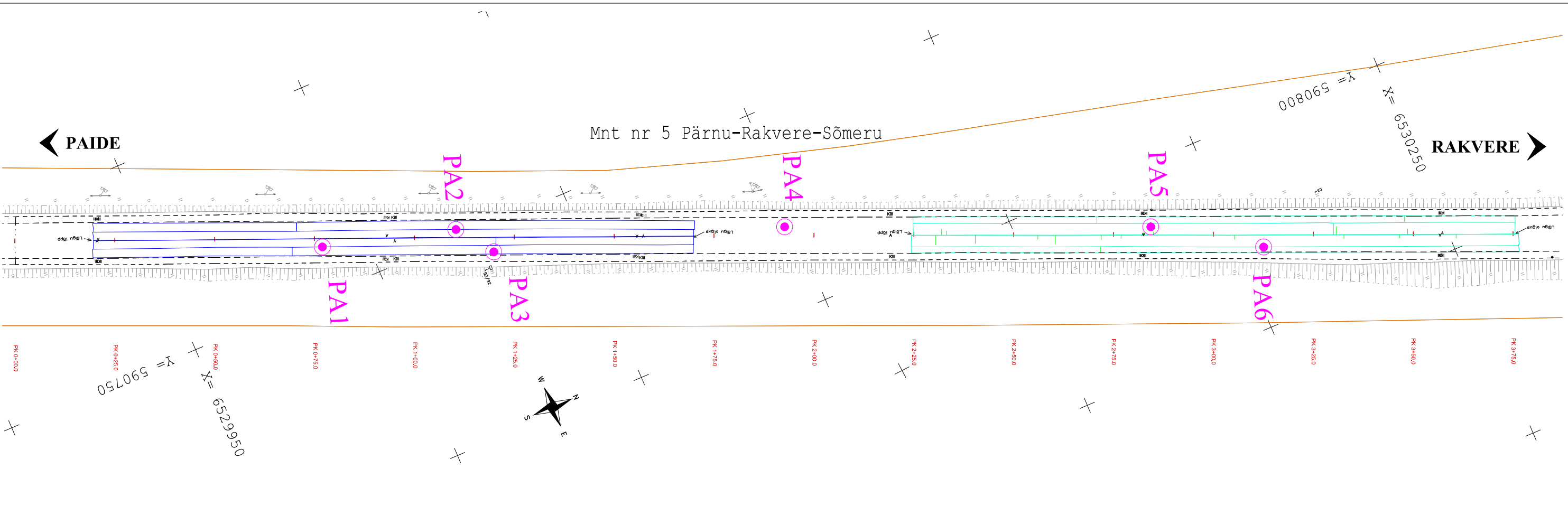
Tellija / Customer: Reaalprojekt OÜ; K.Vrublevski
Analüüsimeetod / Method of analysis: GOST 12536-79

Labor ei vastuta toodud proovide kvaliteedi eest
Laboratory isn't responsible for the samples quality

Suur-Sõjamäe 34 Tallinn	Teimis Operator	Kontrollis Checked	Kuupäev Date	Lisa tabelile 2 Add for table 2
Tel. 6112992 Fax 6112990	M. Ordean	A. Kankrup	03.06.15	10 (10)



PROJ.	EG 10765904-0001 457 MA	TELLIJAJA	TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOOL		
Reaalprojekt		PROJEKT	GEOLOOGILINE UURING		
LITSENTSID:	200170/0498	OBJEKT	MNT 5 PÄRNU - RAKVERE - SÕMERU, KM 91.8-92.8		
PROJ.	PROJ.	KONTR.	JOONISE NIMI		TÖÖ NR.
-	K.VRUBLEVSKI	P. ILVES	PUURAUKUDE ASUKOHA PLAAN		GL15022
KUUP.	KUUP.	KUUP.	MÕÖTKAVA	JOONISE NR.	REV
-	JUUNI 2015	JUUNI 2015	N/A	1	0



LEGEND:



Puurauk nr 2

PROJ.		EG 10765904-0001 457 MA		TELLIJA		TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOO			
				PROJEKT		GEOLOOGILINE UURING			
				OBJEKT		MNT 5 PÄRNU - RAKVERE - SÕMERU, KM 91.8-92.8			
LITSENTSID:		200170/0498							
PROJ.		PROJ.		KONTR.		JOONISE NIMI		TÖÖ NR.	
-		K.VRUBLEVSKI		P. ILVES		PUURAUKUDE ASUKOHA PLAAN		GL15022	
KUUP.		KUUP.		KUUP.		MÕÕTKAVA		JOONISE NR.	
-		JUUNI 2015		JUUNI 2015		M 1:1000		2	
								REV	
								0	