



Elari Vettik

ASFALDIVÕRGUD

LÕPUTÖÖ

Ehitusteaduskond
Teedehitus eriala

Tallinn 2015

Mina, Elari Vettik, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Lõputöö autor

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

Üliõpilase kood: 110820573

Õpperühm TEI-81

Lõputöö vastab sellele püstitatud kehtivatele nõuetele ja tingimustele.

Juhendajad

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....

Konsultandid

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....

Kaitsmisele lubatud „.....“20....a.

..... teaduskonna dekaan.....

Teaduskonna nimetus

Nimi ja allkiri

SISUKORD

SISUKORD	4
SISSEJUHATUS.....	6
1. ASFALDIVÕRKUDE VAJALIKKUS.....	7
1.1. Asfaldivõrkude mõju defektide vastu.....	7
1.1.1. Uued katendid	8
1.1.2. Olemasolevad katendid	8
2. KATTE TUGEVDUSTE TÜÜBID	12
2.1. Geosünteesilised võrgud	14
2.1.1. Klaaskiust võrgud.....	15
2.1.2. Polümeerist võrgud	16
2.2. Geotekstiil.....	17
2.3. Geokomposiit.....	18
2.4. Terasvõrgud	19
2.5. SAMI	21
2.6. Võrdlused.....	23
3. KATENDI KIHID JA TUGEVDUSTE ASUKOHAD VASTAVALT DEFEKTILE.....	26
3.1.1. Roobaste teke	26
3.1.2. Kandevõime parandamine.....	27
3.1.3. Peegelduspraod.....	27
3.1.4. Katendi vajumine	28
3.1.5. Mulde deformatsioon	28
3.1.6. Külmakerge	29
4. PROJEKTEERIMINE.....	30
4.1. Olemasoleva pinnase analüüs	30
4.1.1. Jäik katend.....	31
4.1.2. Elastne teekatend.....	31
4.1.3. Elastne teekatend stabiliseeritud alusel	31
4.2. Tugevdustetüübi valik	32

5. PAIGALDUS	34
5.1. Sobiva paigaldaja valik.....	34
5.2. Töö planeering ja teostus	34
5.3. Objekti ettevalmistus	34
5.4. Krunt ja ülekate	36
5.5. Geosünteedide paigaldus	37
5.6. Terasvõrkude paigaldus.....	38
5.6.1. Naelutamine	38
5.6.2. Möss	38
5.6.3. Asfaltbetoon ülekate.....	39
6. TARK TEE.....	40
KOKKUVÕTE.....	44
SUMMARY	46
KASUTATUD KIRJANDUS	48
LISAD	50

SISSEJUHATUS

Asfaltbetoonkattega teed on Eestis tavapärane nähtus, aga materjalid, millest neid ehitatakse, on enamasti taastumatud loodusvarad või siis väga aeglaselt taastuvad. Sellepärast on vajalik olemasolevate teede remontimisel ja uute teekonstruktsioonide ehitamisel kasutada kaasaegseid materjale, mis pikendavad katendi eluiga, et kulutada vähem ressursse. Teekonstruktsioonis saab kasutada kihtide vahel lisa tugevduskihina geosüntetilisi ja analoogse tööpõhimõttega materjale (edaspidi asfaldivõrgud), mis pikendavad katendi eluiga. Käesolevas töös pööratakse tähelepanu teekatendi ülaosale ehk kattele. Välisriikides on teekatte tugevdamiseks kasutatud asfaldivõrke juba aastaid, aga endiselt areneb see valdkond väga kiiresti. Ka Eestis kasutatakse geosüntete järjest enam, kuid kahjuks on asfaldi geosünteteide kasutamine veel tagaplaanil.

Eestis on juba aastast 2006 käigus geosünteteide kasutamise juhend, kus aga asfaldi geosünteteidest tehakse juttu põgusalt. 2015. aasta algusest on Eestis olemas ka asfaldi geosünteteide projekteerimis- ja paigaldusjuhend, kus on küll kõik tähtsamad nõuded välja toodu ja selle järgi saab geosüntete paigaldada, on siiski tegemist suhteliselt pealiskaudse juhendiga arvestades asfaldivõrkude mitmekülsust.

Lõputöö eesmärgiks on tutvuda erinevate defektidega, mida saaks asfaldivõrkude abil ennetada ja sellega nende tekkimist ära hoida või siis edasi lükata. Kui defekti tüüp ja allikas on selgeks tehtud, tuleb valida vastav süsteem, mis pärsib defekti edasist arengut või kaotab selle üldse. Käesolevas töös räägitakse veel kasutatavatest materjalidest, nende kogustest ja paigaldusest, ka asfaldi geosünteteide edasiarengust.

1. ASFALDIVÕRKUDE VAJALIKKUS

Katte tugevusomadusi saab parandada geosünteedide ja terasest asfaldivõrkude abil. Tugevduselemendid, nagu geosünteeatilised võrgud, tekstiilid, terasvõrgud, plastikust, klaaskiust võrgud ja komposiitmaterjalid, on sageli kasutuses sideainega seotud- ja sidumata kihtides. Nende otstarve on ennetada pragude teket ja edasiarengut katte kihtides, et pikendada katendi eluiga. Eritüüpi praod on üheks suurimaks probleemiks mis esineb teekorrashoius. Geosünteedid ja terasvõrgud ehk asfaldivõrgud, aitavad pikendada tee eluiga ja sellega seoses vähenevad ka tee korrashoiu kulud. Kui asfaldivõrgud paigaldatakse katte kihtide siis need tooted aeglustavad ja pärsivad pragude edasist arengut. Asfaldivõrkudel on pikk ajalugu, 1980 aastast on ainuüksi Euroopas neid paigaldatud üle 100 miljoni ruutmeetri. Kahjuks Eestisse jõudsid asfaldivõrgud tunduvalt hiljem ja seetõttu kasutatakse neid ka vähem, aga töö selles suunas käib.

Asfaldivõrkude otstarve [1]:

- tõsta katendi eluiga,
- minimaliseerida katendi vajumisi,
- vähendada roobaste teket,
- ennetada ja piirata peegelduspragusid,
- vastupidavus külmakergetele,
- vähendada täitematerjali koguseid,
- alandada hoolduskulusid,
- tõsta kandevõimet.

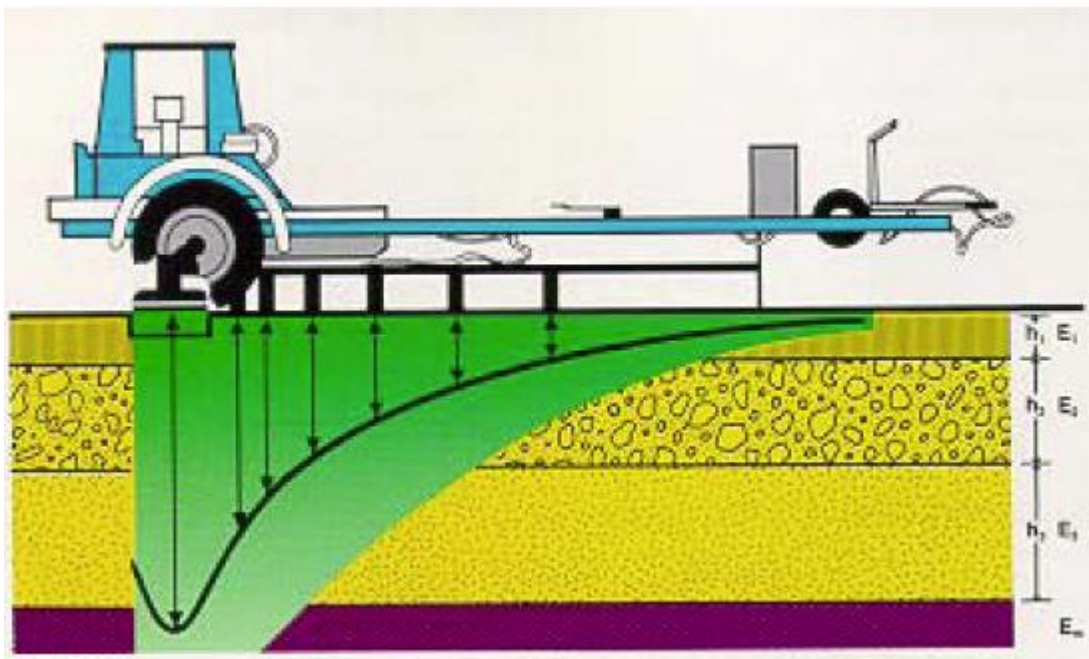
1.1. Asfaldivõrkude mõju defektide vastu

Asfaldivõrgud mõjutavad asfaltkatte käitumist nii uutes- kui ka vanades juba olemasolevates katendites. [2] [3]:

1.1.1. Uued katendid

Asfaldivõrkude mõju uutes katendites [2]:

- asfaldivõrkude kasutamisel asfaltkatte vajumikauss suureneb ja seetõttu üldine vajum väheneb;
- suurem vajumikausi raadius tähendab, et koormus hajub suuremale alale;
- tänu vajumi vähenemisele väheneb ka paindemoment, mis omakorda tähendab katendile pikemat eluiga;
- olenevalt välismõjutajatest hakkab asfaldivõrkude kasulikkus välja paistma alles pärast viite aastat, kui katend hakkab väsima.



Joonis 1. Vajumikausi raadiuse määramine [4, p. 15]

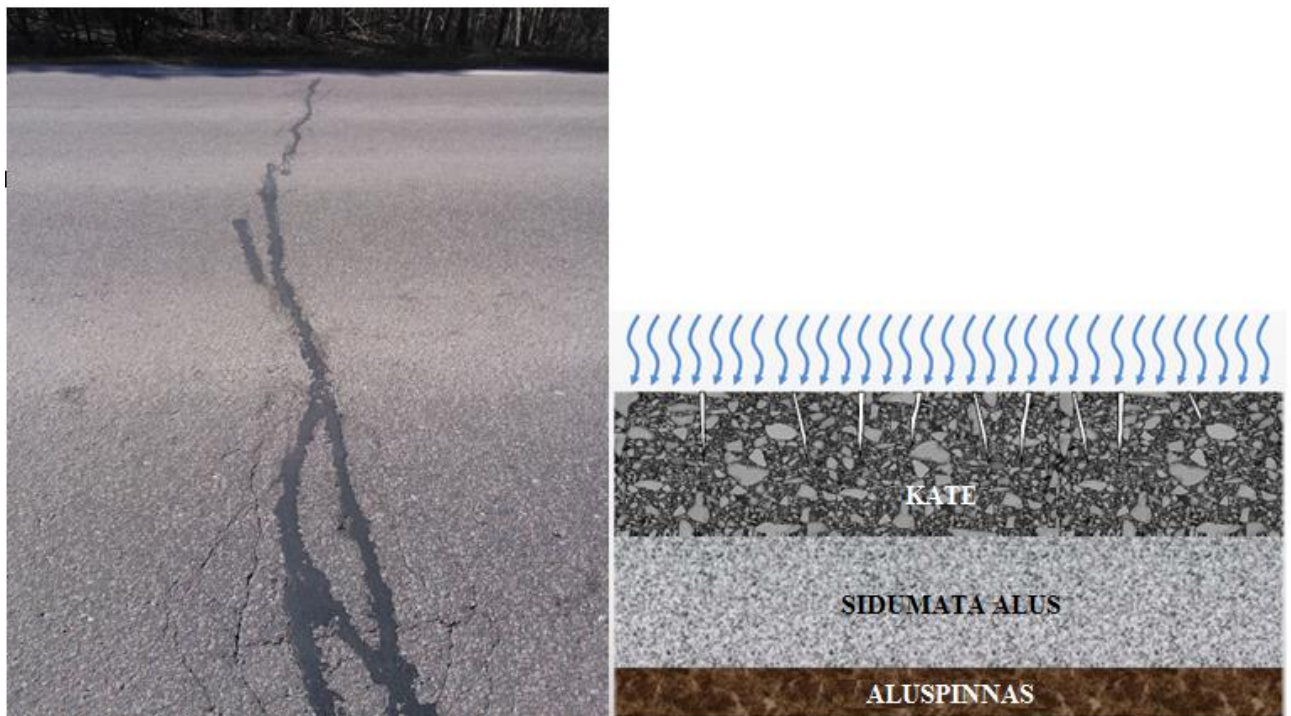
1.1.2. Olemasolevad katendid

Asfaltkattes võib aja möödudes esineda palju erinevaid defekte [3, p. 33]:

- roopad,
- murenemised,
- pragunemised, mis võivad esineda mitmel eri moel:
 - temperatuuripraod,
 - väsimuspraod,
 - külmakerkepraod,

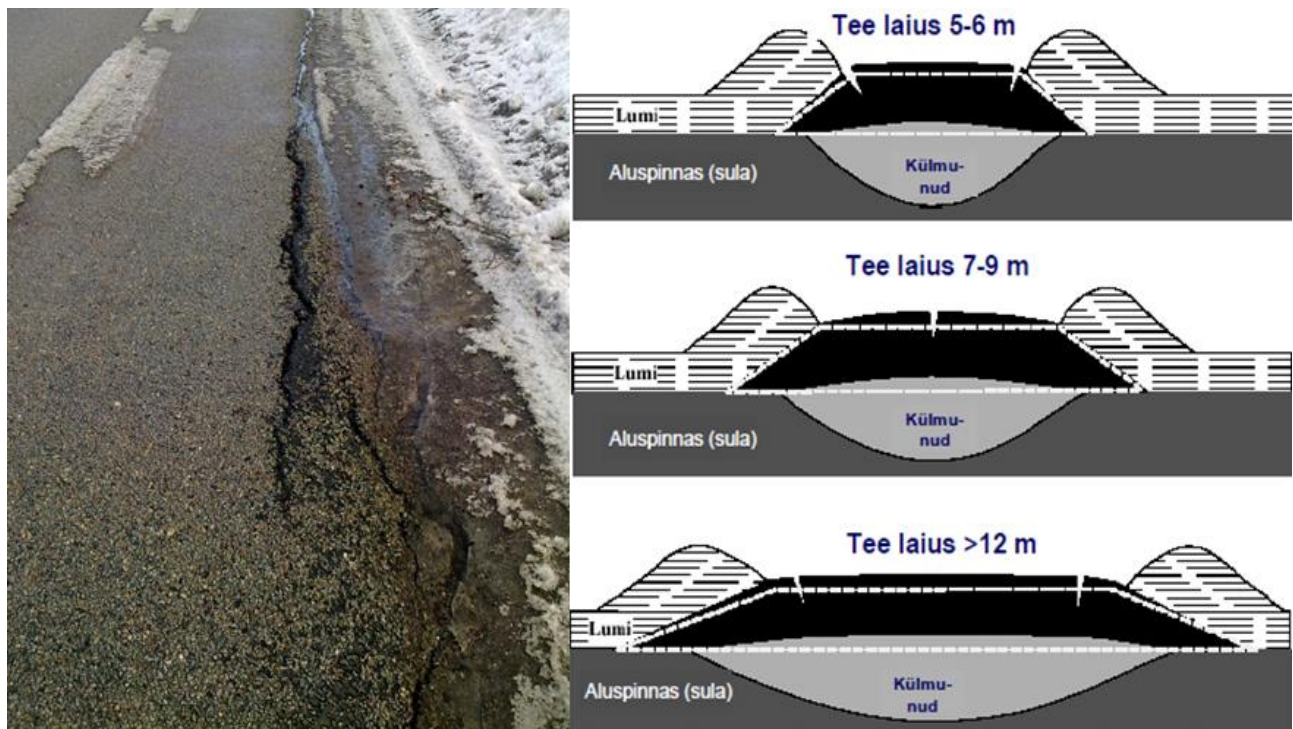
- peegelduspraod.

Teekatet mõjutab ilmastik pea iga külje pealt. Temperatuur tekitab asfaldi pinnal külmumis- ja sulamistsükleid, mis omakorda kulutavad sideainet. Sideaine temperatuuri tõustes paisub ehk osakesed pikenevad ja temperatuuri langedes osakesed tõmbuvad kokku. Ükski materjal ei ole igavene – kui piisavalt palju kordi seda venitada ja jälle kokku suruda, siis lõpuks materjal puruneb. Seega, kui sideaine asfaltsegus järgi annab, tekivad praod. Sama asi võib tekkida ka soojemal ajal, kui päike tee pinda kõvasti kuumutab. Siis muutub sideaine kuumaga vedelaks ja kuumu möödudes jälle taheneb, nii tekivad ka praod (Joonis 2). [5]



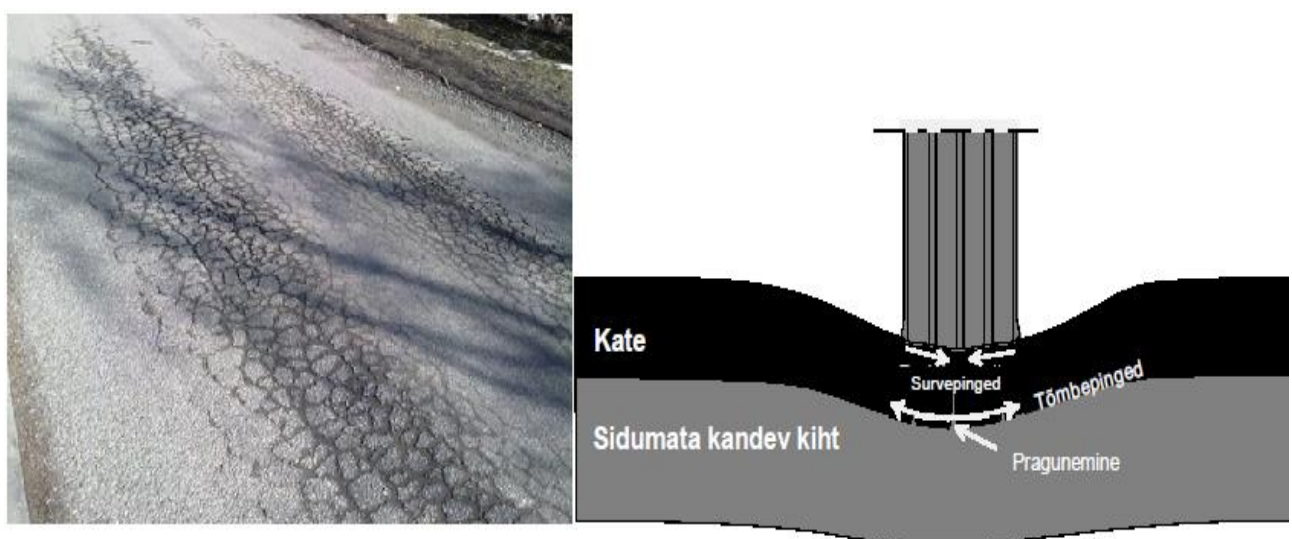
Joonis 2. Temperatuuripraod (vasakul) ja temperatuuriprao tekkimine [2]

Teekonstruktsiooni all oleval pinnasel peavad olema kindlad omadused, et külmakerge saaks tekkida. Külmakerkeline pinnas on pinnase tüüp, kus kapillaartõusu ja jäätumise koostöös tekib vee küllastumine pinnases ja kui vesi külmub, muutub selle maht kordades suuremaks. Kui aluskonstruktsioon paisub, peab see kuskil väljenduma, see väljendub teekatte pinnal, mis üles surudes järgi annab ja nii tekivadki praod (Joonis 3). Külmakerkeliste pragude tekkimine kattes on alati seotud vee olemusega pinnases. [5]



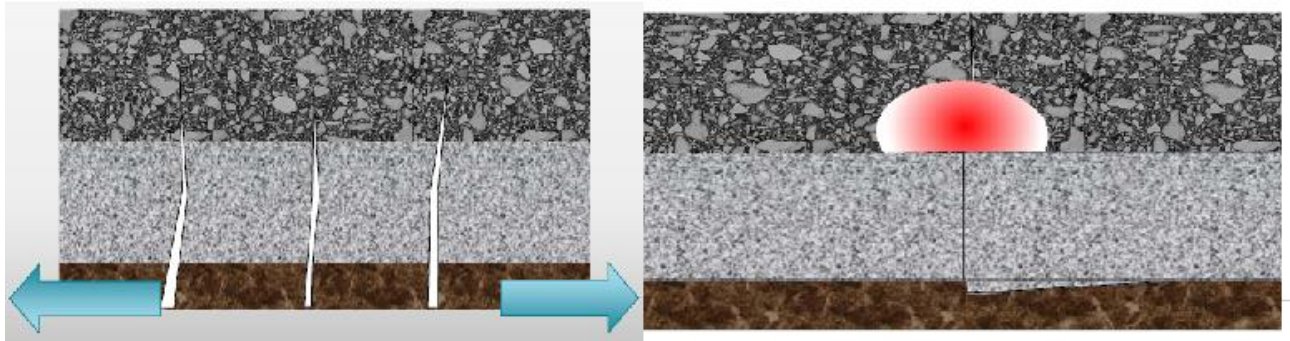
Joonis 3. Külmakerkepragu (vasakul) ja külmakerkepragude tekkimine [2] [6]

Väsimuspraod tekivad, kui teel on tihe liiklus ja seetõttu peavad sideaine osakesed kõvasti tööd tegema. Sideaine on elastne nagu kumm kui masinad teel sõidavad, läheb kumm pingesse ja liiklustiheduse vähenedes, võtab kumm oma algse kuju tagasi. Kummi saab venitada ainult teatud arv kordi ja kui need korrad täis saavad, peab midagi juhtuma ning kumm ehk sideaine puruneb. Sedasi tekivad väsimuspraod (Joonis 4). [5]

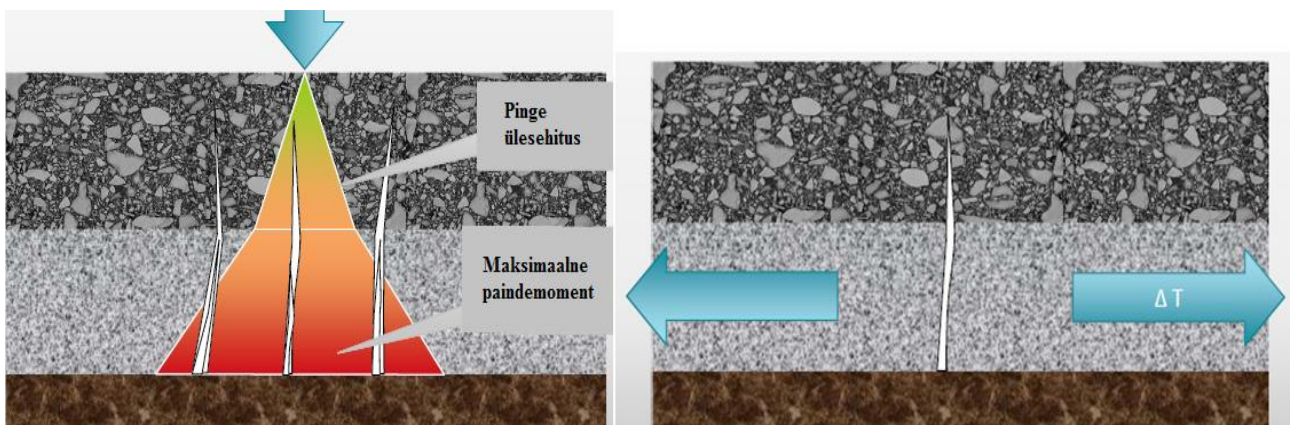


Joonis 4. Väsimuspraod (vasakul) ja väsimuspragude tekkimine [2]

Peegelduspraod on praod, mis eelnevalt vanas kattes juba olemas on olnud, nüüd aga need peegelduvad uude ülekatte kihti (Joonis 5 ja Joonis 6), kuna neid pole õigeid meetodeid kasutades parandatud. [7]



Joonis 5. Peegelduspraod ebaühtlasest horisontaalsest liikumisest (vasakul) ja peegelduspraod ebaühtlasest vertikaalsest liikumisest [6]



Joonis 6. Peegelduspraod liikluskõormusest (vasakul) ja peegelduspraod temperatuurimuutustest [6]

Peegelduspraod on üks suuremaid pragude gruppe ja asfaldivõrgud on näidanud just peegelduspragude vastu väga häid tulemusi. Kuna peegelduspraod erinevad teistest pragudest selle poolest, et need tekkivad väga mitmel eri moel, nagu eelpool joonistel näidatud. Asfaldivõrkude abil on aga leitud hea lahendus nende tekkimise ja olemasolevate pragude summutamiseks. [1]

2. KATTE TUGEVDUSTE TÜÜBID

Enamikes tee katendite ehitamisjuhendites ei ole erilisi täpsustusi, kus ja kuidas kasutada katendi tugevdusi. Üldjuhul saadakse juhendid ja juhised kasutusel oleva toote maaletoojalt. Nii terasest kui ka polümeersetest materjalidest toodete materjali spetsifikatsioonidest räägime natuke detailsemalt alljärgnevalt.

Paigaldajad peaksid olema teadlikud punktidest, mis võivad asfaldivõrkude paigaldust ja ülekatmist mõjutada, need on aeg, hind ja kvaliteet. [7]

Geosüntetilisi ja terasest tooteid jaotatakse tüübi (võrgud, komposiidid, tekstiilid jne.) ja veel tootmismaterjali põhjal (klaas, polümeer või teras). Materjali koostisest oleneb palju, kuna erinevatel materjalidel on erinevad tugevus- ja venivusomadused (Joonis 7). [7]

Standard EVS-EN 15381:2008 „Geotekstiilid ja geotekstiilipõhised tooted. Nõutavad omadused kasutamisel katendites ja asfaldikihtides“ selles standardis on ka välja toodud geosüntetiliste materjalide kolm tööpõhimõtet [8]:

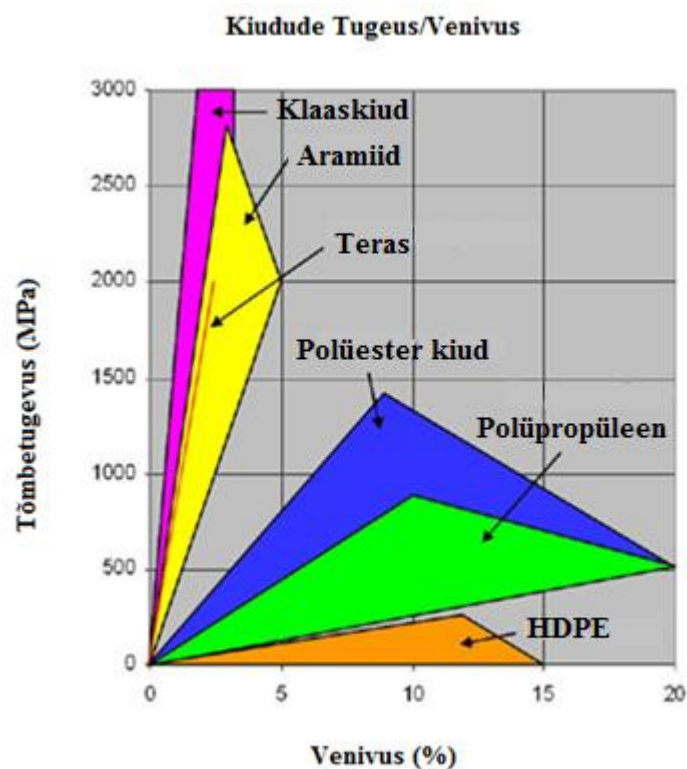
- pingetustamine (*ing. stress relief, STR*);
- vahetõkestamine (*ing. interlayer barrier, B*);
- sarrustamine (*ing. reinforcement, R*).

Pingetustamine tähendab SAMI-vahekihi (*ing. stress absorbing membrane interlayer*) loomist takistamaks peegelduspragude edasiliikumist teistesse kihtidesse. SAMI-vahekihti tekitab asfaldivõrgu küljes olev geotekstiil, mille eesmärk on enda sisse tõmmata suur bituumenikogus, mis tekitabki all ja üleval olevate asfaltbetoonkihtide vahele hüdrofoobse vahekihi. Selleks saab kasutada teistsugust ilma tõmbeelementideta geotekstiili (*ing. paving fabric*) või ka vaid pindamiskihte. Pindamiskihtide kohta on tehtud Eestis katselõik, mille kohta saab lugeda aruandest („Kattes olevate pragude ja võrkpragude katmine SAMI – Fiberdec ja SAMI – Modiseal tehnoloogiaga. Lõpparuanne. AS Teede Tehnokeskus, 2013. Tellijaks Maanteeamet), sellest aruandest selgub, et SAMI tehnoloogia on pidurdanud võrkpragude ja peenemate pikipragude edasi

liikumist ülekattes. Põik- ja vuugipragude puhul sellest meetodist kasu ei olnud, arvatavasti on see põhjustatud pindamiskihi vähesest tõmbetugevusest. [3]

Vahetõkestamise eesmärk on tekitada hüdrofoobne kiht mis ei lase läbi erinevaid gaase ega vedelikke all olevatesse seotud ja sidumata kihtidesse. Väga oluline on see sellisel juhul kui alumistes kihtides esineb niiskus tundlike materjale. Lisaks vähendab veekindel vahekiht ka külmakerke tekkimise võimalust kuna ülevalt poolt on vee ligipääs takistatud. [3]

Sarrustamine tähendab kui pinnas ei suuda oma nõrkade tugevusomaduste tõttu vastu võtta konstruktsiooni enda koormusest tingitud või ekspluateerimisel tekkivaid tõmbe- ja nihkepingeid. Need kantakse pinnastelt geosünteedile üle tekkivate nake- (haardumine) ja hõõrdejõudude toimet. Seega tõstab asfaldivõrk asfaltbetooni tõmbetugevust suurendades selle väsimuskindlust ja takistades peegelduspragude jõudmist ülemistesse kihtidesse või kihti. [3]



Joonis 7. Materjalide omadused [7]

Vastavalt toodete materjalile ja nende omadustele, leitakse neile ka vastav kasutusvaldkond. Asfaldivõrke toodetakse erinevatest materjalidest (Joonis 7) klaaskiud, aramiid, teras, polüester (PET), polüpropüleen (PP), kõrge tihedusega polüetüleen (HDPE). Tuleb teada, mis materjalist ja mis toode millise probleemi vastu sobib, sellisel juhul on võimalik valida optimaalne lahendus just

selle probleemi lahendamiseks. Ei ole otstarbekas võtta kõige tugevam materjal, mis on väga mitmekülgne, sest need on üldjuhul suhteliselt kulukad (kui on vaja parimat ja mitmekülgset materjali, siis tuleb see valida). Valida tuleks vajaminevate omaduste abil, vaadake (Tabel 1).

Tabel 1.

Tooterühmade kolme põhiomaduse olemasolu [6]

Tooterühm	Tõmbetugevus (sarrustamine)	Veekindlus (tõkestamine)	Peegelduspragude kindlus (pingetustamine)
Terasvõrgud	Jah	Ei	Jah
Geosünteeetilised võrgud	Jah	Ei	Jah
Kootud geotekstiil	Jah	Ei	Jah
Mittekootud geotekstiil	Vähe	Jah	Jah
Geokomposiit (võrk+ mittekootud tekstiil)	Jah	Jah	Jah
Pihustatud vahekiht	Ei	Jah	Jah

Kõikide järgnevalt toodud materjalide tootmiskvaliteet peab olema kontrollitud ja neil peab olema CE märgistus (materjali omadused ja spetsifikatsioonid saadakse vastava toote tootja käest). Kvaliteedinõuded, mis on seatud toodetele, peavad tagama pikaajalise kestvuse ja toote funktsioonide toimivuse. Selleks aga peab olema toode paigaldatud korrektselt. [7]

2.1. Geosünteeetilised võrgud

Geovõrgud on sünteetilised võrgutaolised materjalid, mis koosnevad omavahel seotud paralleelsetest lamedatest ribadest, millede vahel olevad avaused peavad olema piisavalt suured, et tagada haakumine teda ümbritseva pinnasega või kivimaterjaliga (killustik vms). Geovõrkude peamine tööülesanne on teda ümbritseva pinnase või kivimaterjali armeerimine. [9]

Geovõrk peab olema katendis erinevate välismõjude stressi maandav vahekiht, mis pikendab katendi eluiga. Geovõrgud töötavad katendis sarrustusena, mis tähendab, et võrk ei lase pragudel edasi areneda ja hoiab neid koos. Erinevad uuringud on katsetused ja proovi lõigud on näidanud, et

asfaldivõrgud parandavad katendi koormustaluvust ja suurendavad kihtide jäikust. Asfaltkate mis sisaldab asfaldivõrku, talub tunduvalt rohkem erinevaid pingeid, kui tavaline katte-konstruktsioon ilma võrguta. Suurt rolli asfaldivõrgu toimimises mängib korrektne ja oskuslik paigaldus, mis on teostatud vastavalt tootja poolsetele nõuetele. [7]

Geosüntetilised võrgud, mis sobivad katendi tugevdamiseks, on tavaliselt valmistatud kootud klaaskiust või polümeerist võrkstruktuuriga. Võrkudel peab olema hea vastupanu kemikaalidele (alates õlidest, parafiinist kuni erinevate lahustiteni, mida kasutatakse bituumen sideainetes), kopitusele ja pehkimisele. Lisaks peavad need vastama omadustele, mis on toodud (Tabel 2) ja mille põhjal on võimalik eristada erinevaid toote gruppe. Materjal peab vastama standardile EVS-EN 15381:2008 Geotekstiilid ja geotekstiilipõhised tooted. [7]

Tabel 2.

Tüüpilised spetsifikatsioonid geovõrkudele [7]

Omadused		Ühikud	Test
Mass	Nominaal	g/m ²	EN ISO 9864
Tõmbetugevus	Pikki	kN/m	EN ISO 10319
	Suhteline pikenemine	%	
	Laius	kN/m	
	Suhteline laienemine	%	
Sulamistäpp	Min.	°C	ISO 7884-5
Tõmbetugevus (nakkel)	Pikki	N	EN ISO 10319
	Laius	N	
Ladustamine			Survetundlik

2.1.1. Klaaskiust võrgud

Klaaskiust võrgud (Foto 1) on üldjuhul kootud, need võivad olla kaetud polümeeri, bituumeni või mõlemaga. Klaaskiust võrkude suureks plussiks on nende suur tõmbetugevus, nii pikki- kui risti võrku. Üheks miinuseks klaaskiud võrkude puhul on nende nõrk vastupanu erinevate lõigete ja

teravate servade vastu hõõrdumisel. Osadel toodetel on omapäraks isekleepumine aluse ja kattematerjaliga, see tähendab, et puudub krundi kihi vajadus. [10]

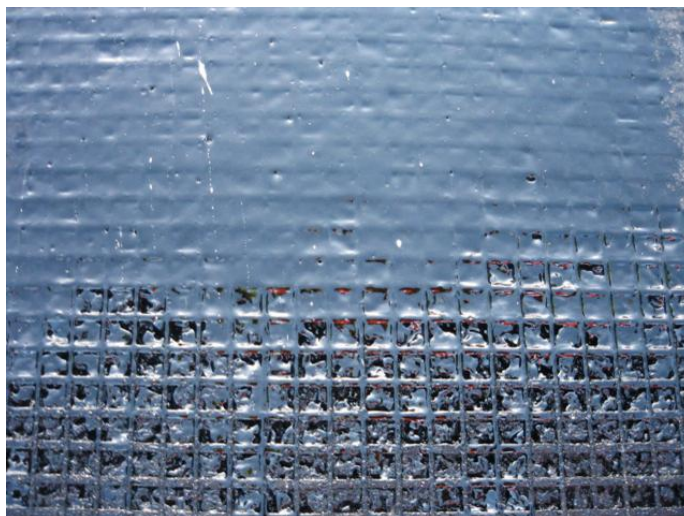


Foto 1. Klaaskiust võrk [10]

2.1.2. Polümeerist võrgud

Polümeerist võrgud on üldiselt kahte ossa pressitud geovõrgud, mida on valmistatud polüpropüleenist ja kootud geovõrgud, mis on valmistatud polüestrist. On ka olemas teistest polümeeridest valmistatud geovõrke, aga neid kasutatakse vähem. Polümeersed geosünteedid on enamlevinud. Polümeerist geovõrkudele lisatakse tihtipeale geotekstiil, mis immutatakse bituumeniga veekindlaksi saamiseks (Foto 2). [10]



Foto 2. Pressitud polümeerist geovõrk [10]

Aastal 2010 tehti Eestis katselõik mida uuriti nelja aasta vältel ja see järel tehti kokkuvõtte. Katselõik tehti Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maanteel 46,5-50,9 kilomeetritel, kus kasutati klaaskiust- ja polüestervõrku. Polüestervõrgu paigaldamisel esines materjalis volte, mis lõigati küll ehitaja poolt lahti, aga lahti lõigatud materjalile ei tehtud ülekattet mis on äärmiselt vajalik. Hilisemates uuringutes on esinenud probleeme sellel lõigu kus kasutatid polüestervõrku, kuna paigaldus on oluline võib üks põhjustest miks asfaldivõrk ei tööta olla just selles. [11]

Klaaskiust võrk paigaldati käsitsi (Foto 7) ja seal probleeme vähemalt paigalduse käigus ei esinenud, kuigi paigaldusel probleeme ei esinenud tekkisid praod mõne aastaga ülekattes. Eestis oleva vähese paigaldus kogemuse ja teadmatus õige sideaine valikul, võis põhjustada probleeme teelõigul kus paigaldati klaaskiust võrk. Seetõttu on kindlasti vaja edasi uurida ja proovida erinevaid tooteid mida turul pakutakse ning teha uusi katselõike. [11]

2.2. Geotekstiil

Geotekstiile kasutatakse katendis veekindla kihi loomiseks ja pingete hajutamiseks. Tekstiil imab sideaine (bituumen, bituumen emulsioon jne.) endasse ning kanga poorid täituvad sideainega ja see muudab tekstiili hüdrofoobseks. Kasutatakse mittekootud geotekstiili, mis on nõeltöödeldud (Foto 3) ja valmistatud polüestrist või polüpropüleenist, olemas on ka variante klaaskiust. Mittekootud geotekstiilid on üldjuhul paksemad kui kootud geotekstiilid. Nende tootmisprotsess algab samuti kiudude moodustamisega sulatatud polümeeridest. Kiud kas lõigatakse staapelkiududeks või jäetakse pikkadeks elementaarniitideks. Staapelkiud saadakse elementaarkiudude lõikamisel 75 kuni 150 mm pikkusteks osadeks, mis pakitakse pallideks hilisemaks kasutamiseks geotekstiilide tootmisel. Mittekootud geotekstiil peab vastama omadustele (Tabel 3). Materjal peab vastama standardile EVS-EN 15381:2008 Geotekstiilid ja geotekstiilipõhised tooted. [7] [1] [9]



Foto 3. Nõeltöödeldud geotekstiil [10]

Tabel 3.

Mittekootud geotekstiili vajalikud omadused [7]

Omadused	Ühik	Test
Mass	g/m ²	EN ISO 9864
Tõmbetugevus	kN/m	EN ISO 10319
Venivus max. koormusel	%	EN ISO 10319
Tõmbetugevus (nakkel)	N	EN ISO 10319
Pikenemine (nakkel)	%	EN ISO 10319
Paksus koormusel 2 kN/m ²	mm	EN 964-1
Sulamistäpp	C°	EN ISO 3146

2.3. Geokomposiit

Geokomposiit on geovõrgu ja geotekstiili kokku liidetud materjal, millel säilivad mõlema materjali omadused. Geokomposiit on üldjuhul kas polümerist- või klaasikiust geovõrk ja sellele lisandub mittekootud geotekstiil, mis on omavahel ühendatud õmmeldes või lamineerimise teel (Foto 4). Geokomposiidil peab olema hea vastupanu kemikaalidele (alates õlidest, parafiinist kuni erinevate lahustiteni, mida kasutatakse bituumen sideainetes), kopitusele ja pehkimisele. Lisaks peab vastama geotekstiilidele ja geosünteedidele esitatavatele nõuetele. Materjal peab vastama standardile EVS-EN 15381:2008 Geotekstiilid ja geotekstiilipõhised tooted. [7] [10]

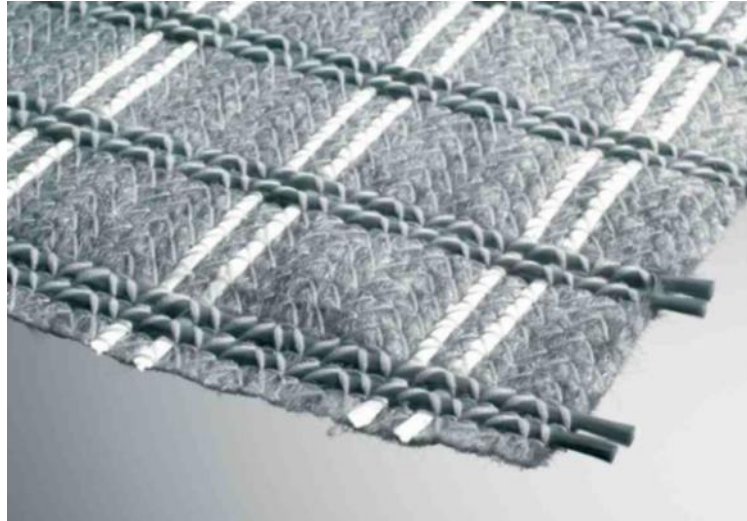


Foto 4. Geokomposiit [10]

Suurematel aladel tuleb geokomposiiti paigaldada spetsiaalse masinaga, aga väiksemates kohtades võib seda teha käsitsi (tuleb vaadata, et jääks ühtlane ja ilma kortsudeta). [7]

Geokomposiit on tänu oma mitmekülgsusele enimkausutatud asfaldivõrgu lahendus, kuna see koosneb geotekstiilist ja geovõrgust. Geotekstiil annab komposiit materjalile bituumeniga üleküllastamisel SAMI efekti, mis on vee ja gaas kindel. Geovõrk see vastu on annab kattele lisa tugevust erinevate nihke- ja tõmbepingete vastu, kuna see seob materjali osakesed olles ise väga vähe veniv. Nende kahe geosünteedi kooslusel saadakse väga mitmekülgse katendi tugevdussüsteemi. [10]

2.4. Terasvõrgud

Terasvõrgud on üldjuhul tsingitud terastraadist, mis on topelt põimitud võrk, mille sees jooksevad intervalliga tugevdusvardad, mis aitavad stabiliseerida ja kinni hoida terasvõrku (Foto 5). Tsingitud teras parandab võrgu vastupanu välismõjudele nagu näiteks niiskus ja muud kemikaalid, mida võib esineda objektidel. Terasvõrke kasutatakse tihti just katendi alumistes sidumata kihtides, kuna sealt on neid tunduvalt lihtsam kätte saada kui asfaltbetoonist. Terasvõrgud vähendavad külmakerke- ja muid pragusid, roopaid ning mõningal määral parandab ka tee kandevõimet (kasutatakse ka kruusateedel). Terasvõrke on mõistlik kasutada kui toormaterjal on lihtsasti kättesaadav ja hind odav, seega on mõislik kasutada nendes riikides kus on seda toormaterjali. [7] [3]

Täpsemalt [3, p. 29]:

- külmakergetest tekkivate pikipragude hulk maanteedel ja kergliiklusteedel väheneb märgatavalt;
- terasvõrgud vähendavad roobaste teket ja terasvõrke sisaldavatel on teedel 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;



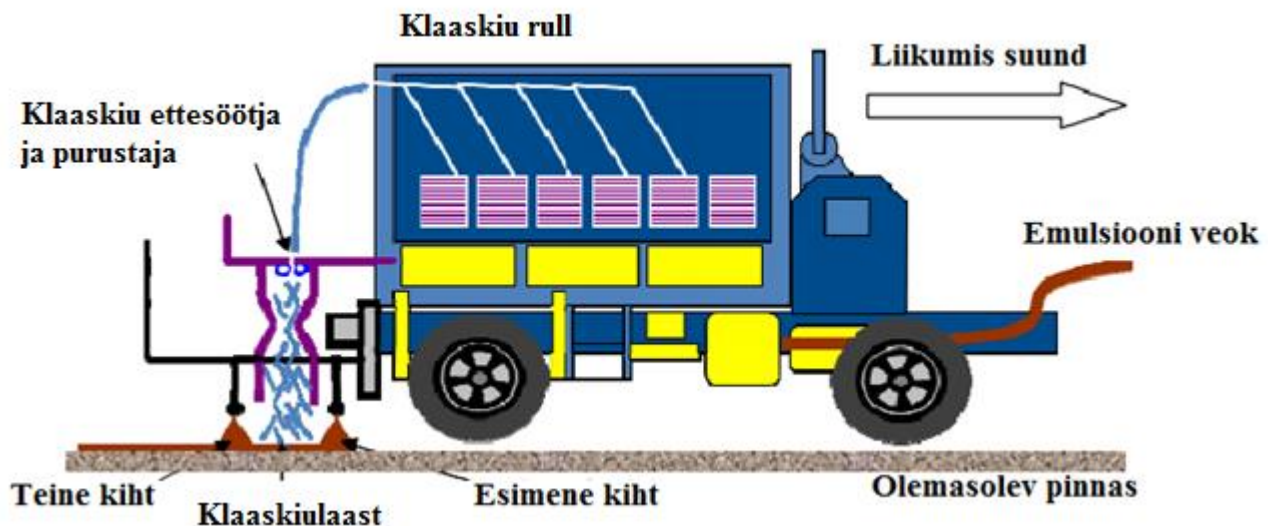
Foto 5. Terasvõrk tugevdusvarrastega [10]

Aastal 2010 tehti Eestis katselõik mida uuriti nelja aasta vältel ja see järel tehti kokkuvõtte. Katselõik tehti Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maanteel 46,5-50,9 kilomeetritel, kus kasutati terasvõrke. Antud objektile paigaldati terasvõrgud asfaltbetooni sisse. Terasvõrkude paigaldamisel esines korduvalt probleeme, võrk jäi laoturi mehhanismi kinni ja tõmbas seda edasi, millest tingituna tõusis see asfaltbetooni sees välja. [11, p. 5]

Olenemata komplikatsioonidest paigaldusel näitas terasvõrk uuringutel esimestel aastatel paremaid tulemusi, kui samal katselõigul katsetatud klaaskiust geovõrk ja polümeervõrk. Antud objektile puudus info katendis kasutatud materjalide kohta, mis tõttu võisid olla täitematerjalid külmakerkelised. Pragude mõõtmised teostati hilistalvel kui on suurim külmakerke oht. Terasvõrguga tugevdatud lõigule tekkisid 2-3 mm praod aasta hiljem kui teiste toodete puhul. [11]

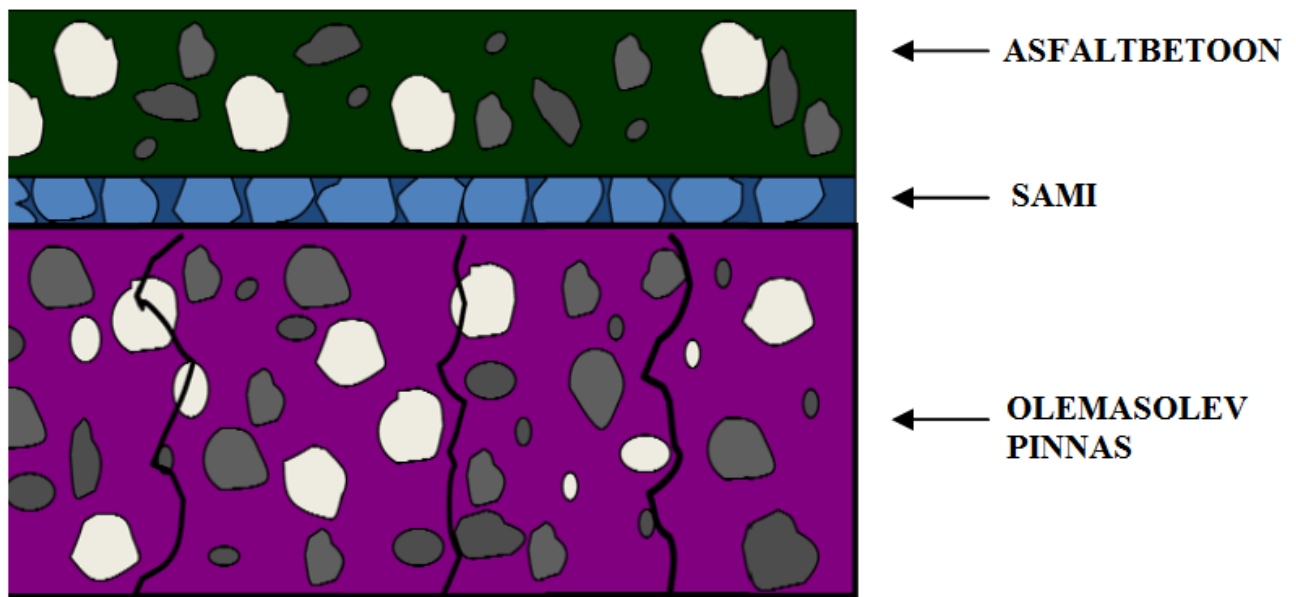
2.5. SAMI

SAMI (*ing. stress absorbing membrane interlayer*) ehk veekindel lisakiht (pingetustamine) on segu klaasikiust laastudest, täiteainest ja polümeermodifitseeritud emulsioonist. SAMI kantakse maha spetsiaalse masinaga, mis kannab maha krundi ja seejärel klaaskiulaastud ning selle katab omakorda bituumenemulsioon ülekattega (Joonis 8). Pärast jahtumist toimib see segu veekindla kihina, mis aeglustab peegelduspragude edasiarengut ja maandab katendi ülakihist tulevaid pingeid. Üldiselt paigaldatakse SAMI olemasolevale aluspinnasele (Foto 9) ja pärast kaetakse kuuma asfaltbetoonseguga (Joonis 9). Pingetustamiskihi võib paigaldada ka uuele lisa tasanduskihile, kui aluspind oli eelnevalt liiga halvasti seisukorras. [12]



Joonis 8. SAMI kihi mahakandmine vastava masinaga [12]

Pingetustamis kiht on võimalik luua ka kasutades geosüntee. Geotekstiili üleküllastamisel bituumeniga saadakse SAMI efekti täitva vahekihi, sest tekstiil imab bituumeni enda sisse nii, et kõik poorid täituvad bituumeniga. Kui tegu on geokomposiidiga ja teha sama, mis eelnevalt sai teha geotekstiiliga, saame veel tugevama kihi, kus pingetustamis ja vahe tõkestamis osa täidab tekstiil ja lisatugevuse annab geovõrk (sarrustamine). [12]



Joonis 9. Paigaldatud SAMI kihi ristlõige [12]

Maanteeamet lasi Eestis Teede Tehnokeskusel uurida ja katsetada kahte tüüpi SAMI kihiti klaaskiustlisandiga pindamismeetodit ja polümeerbituumeniga pindamismeetodit. Katse teostati viie aasta jooksul kus avastati, et pindamismeetod ei ole kõige efektiivsem. Tuuakse välja uuringute põhjal tehtud järeldused. [13]

Katselõigu põhjal tehtud järeldused [13, p. 11]:

- Põikpragude teket (paljandumist) on katselõikudel kasutatud meetodikad pidurdanud ca 1,5 aastat (43% pragudest polnud veel paljandunud 2011 aastal), aga peale 2,5 aastast ekspluatatsiooni on põhimõtteliselt kõik põikpraod peegeldunud uuesti katte pealispinnale ning aastal 2013 on põikpragude hulk isegi suurenenud;
- Kitsaste pikipragude teket (paljandumist) on suutnud katselõikudel kasutatud meetodikad edukalt pidurdada. Peale 3,5 aasta möödumist on veel 74% kitsaid pikipragusid paljandumata;
- Kitsa vuugiprao teket (paljandumist) pole katselõikudel kasutatud meetodikad suutnud pidurdada, sest ca 1,5 aastat pärast katselõikude valmimist tekkis kitsas vuugipragu uuesti. Tänapäevaks ja peale 3,5 aasta möödumist, on kitsa vuugiprao osakaal muutunud veel suuremaks (ca 120% rohkem kitsast vuugipragu esineb võrreldes 2007 aastaga);
- Võrkprao teket on katselõikudel kasutatud meetodikad suutnud edukalt pidurdada ja nende paljandumist pole tuvastatud peale 3,5 aastast ekspluatatsiooni;

- Ülejäänud defektide liike, mis oleksid olulised uurimistöö eesmärgi jaoks, pole tuvastatud uurimistöö kestvuse ajal.

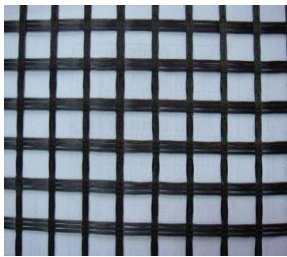
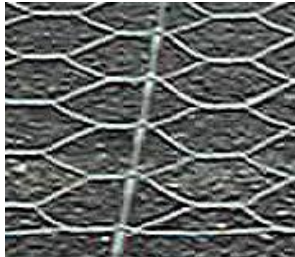
Antud uuringul ei olnud andmeid muldkehast ja seetõttu on võimalik, et katend on ehitatud külmakerkelisest materjalist, mis võib olla pragude tekke põhjustajaks katte peal. Tasasuse mõõtmisel erilisi erinevusi ei tähendatud. Antud uuring näitas, et SAMI kihi loomine pindamise abil aitab leevendada pikipragude ja võrkpragude arengut. Vuugi- ja põikpragude edasi arengut ja tekkimist SAMI pindamiskiht takistada ei suuda. [13]

2.6. Võrdlused

Et luua erinevatest kasutusel olevatest toodetest selgem pilt, saab kasutatavaid asfaldivõrke ja nende omadusi võrrelda (Tabel 4) ja (Tabel 5). [7]

Tabel 4.

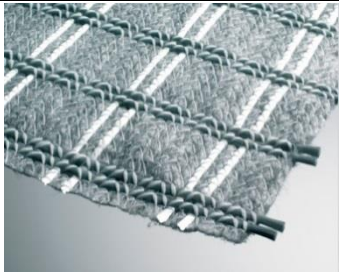
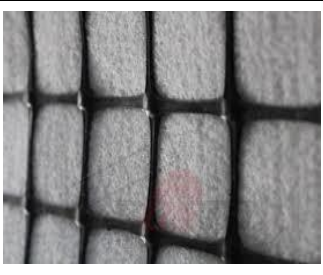
Asfaldivõrkude võrdlus osa 1 [7]

Teema	Võrgud		
	Klaasikiust võrgud	Polüester võrgud	Terasvõrgud
Pilt tüüpilisest tootest			
Pingetustamine ülekatte	• Kõrge jäikus vähendab pragude levikut • Elastsusmoodul 20:1 asfaldi suhtes • Kõrge jäikus kaitseb deformatsioonide eest	• Tõstab asfaltkatte kihtide tõmbetugevust • Vähendab vajumiskausi raadiust • Toetab väsinud katet • Vähendab roobaste tekkevõimalust	• Vähendab vajumiskausi raadiust • Parandab asfaltkatte vastupidavust • Vähendab roobaste teket
Ülekatte paksus	• Minimaalne ülekatte 40mm • 25mm võimalik kasutada väga heades	• Minimaalne 50mm laoturiga • Mehaaniliselt paigaldades minimaalne 40mm	• Minimaalne ülekatte 50mm

Teema	Võrgud		
	Klaasikiust võrgud	Polüester võrgud	Terasvõrgud
	tingimustes		
Sidusus aluspinna ja ülekattega	• Sulamistemperatuur 1000 C° • Hea nakke alusega ja ülekattega, kui eelnev bituumenkate	• Polüestri kuumataluvus kuni 210 C° • Hea nakke aluspinna ja ülekattega	• Hea sidusus asfaltiga • Kinnitatakse ja pingutatakse kindlate vahedega aluspinnasesse
Vastupidavus ja korrosiooni-kindlus	• Ei korrudeeru • Vastupidavus õlile ja kütustele • Uv kiirguse ja ilmastikukindel	• Ei korrudeeru • Vastupidavus õlile ja kütustele	• Tugevalt tsingitud
Freesimine ja järelkasutus	• Klaaskiud purunevad freesides ja on lihtsad töödelda	• Kergesti freesitav (ka kuumalt freesimisel) • Kergesti ümbertöödeldav	• Tuleb freesida võrgu pealt ja siis see masinaga katte seest välja tõmmata • Ei ole taaskasutatav

Tabel 5.

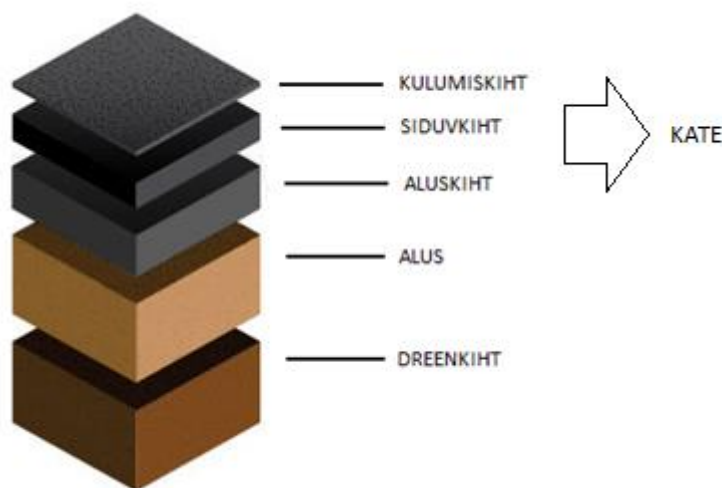
Asfaldivõrkude võrdlus osa 2 [7]

Teema	Tekstiil	Komposiit võrgud	
	Polüester ja polüpropüleen tekstiil	Kootud või põimitud võrgud	Keevitatud võrgud
Pilt tüüpilisest tootest			
Pingetustamine ülekattes	• Käitub nagu SAMI vahekiht • Ei lase vett katendi kihtidesse • Ülekatte vastupidavus tõuseb 20-40%	• Kõrge jäikus summutab pragusid • Vähendab vajumiskausi raadiust • Parandab asfaltkatte vastupidavust	• Pikendab nõrkadel alustel olevate katete eluiga • Vähendab roobaste ja peegelduspragude teket

Teema	Tekstiil	Komposiit võrgud	
	Polüester ja polüpropüleen tekstiil	Kootud või põimitud võrgud	Keevitatud võrgud
Ülekatte paksus	• Minimaalne ülekate 35mm • 25mm võimalik kasutada väga heades tingimustes	• Minimaalne 40mm laoturiga • Kergliiklusteedel minimaalne 25mm	• Minimaalne ülekate 70mm • Õhemate komposiitide puhul 50mm
Sidusus aluspinna ja ülekattega	• Polüpropüleeni kuumataluvus kuni 145 C° ja polüestril kuni 210 C° • Tugev tekstuur tagab hea sidususe • Robustne, kannatab kehva käsitlemist	• Kangas bituumeniga immutada, tekitab hüdrofoobse kihi • Hea nake aluspinna ja ülekattega • Kuumataluvus vastavalt materjalile	• Hea sidusus asfaltiga • Kangas bituumeniga immutada, tekitab hüdrofoobse kihi • Tõstab katte eluiga
Vastupidavus ja korrosiooni-kindlus	• Polüester ja polüpropüleen ei korrudeeru ja on enamike õlide ja kütuste kindlad	• Ei korrudeeru • Vastupidavus õlile ja kütustele	• Ei korrudeeru • Vastupidavus õlile ja kütustele
Freesimine ja järelkasutus	• Külmfreesimise puhul probleeme pole • Kuumfreesimisel võib esineda probleeme	• Külvalt freesitav • Kuumalt freesimisel võib tekkida probleeme	• Tugevad plastikvõrgud võivad freesimisel probleeme tekitada • Taaskasutus vähetõenäoline

3. KATENDI KIHID JA TUGEVDUSTE ASUKOHAD VASTAVALT DEFEKTILE

Tee katend koosneb kolmest kihist: drenkiht, alus ja kate. Kate omakorda jaguneb kulumiskihiks, siduvkihiks, aluskihiks ja sinna võib olla lisatud veel kihte vastavalt vajadusele. Katendi kihtide asukohad (Joonis 10). [1]

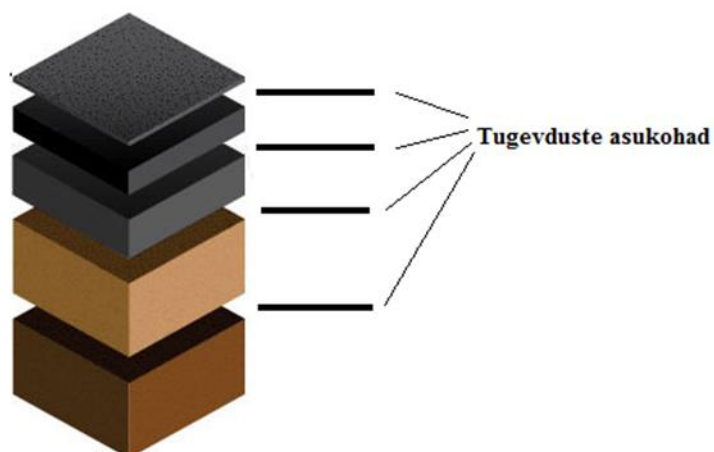


Joonis 10. Katendikihtide definitsioon [1]

Erinevalt muldele kasutatakse katendis palju eri tüüpi materjale. Seoses sellega peab olema ka palju erinevaid vastumeetmeid deformatsioonide ennetamiseks ja juba olemasolevate deformatsioonide parandamiseks. Teekonstruktsiooni kihtides võib tugevdusi kasutada erinevate kihtide vahel, et saavutada vajalik mõju. Katendis kasutatakse kõiki tüüpe tugevdusi, polümeer geotekstiilid, polümeer geovõrgud, terasvõrgud, klaaskiust võrgud – kõik vastavalt probleemile. [7]

3.1.1. Roobaste teke

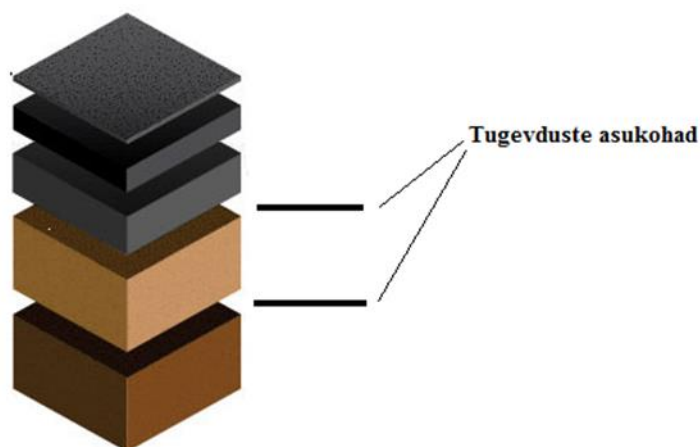
Roobaste teke: võib kasutada kõiki tüüpe tugevdusi kulumis-, siduv-, aluskihtides, aluses ja drenkihis. Tugevduste asukohad on näidatud (Joonis 11). [1]



Joonis 11. Tugevduste asukohad roobaste vastu [1]

3.1.2. Kandevõime parandamine

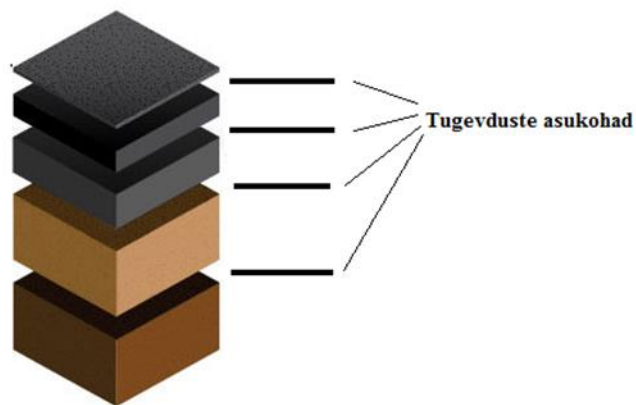
Kandevõimet parandab terasvõrkude paigaldamine alusele või katte alumisse kihti, mis on välja toodud (Joonis 12). [1]



Joonis 12. Tugevduste asukohad kandevõime parandamiseks [1]

3.1.3. Peegelduspraod

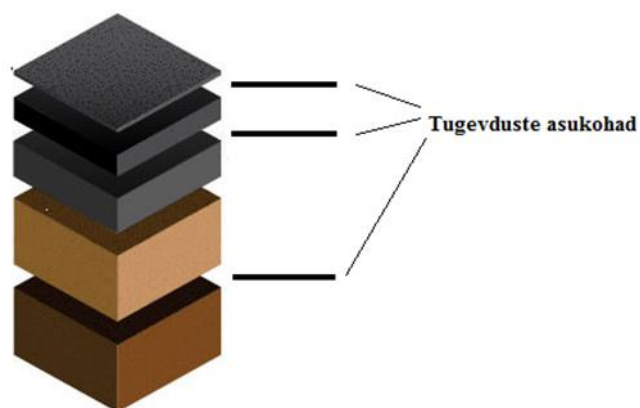
Peegelduspragude ära hoidmiseks võib kasutada kõiki tüüpe tugevdusi kulumis-, siduv-, aluskihtides, aluses ja drenkihis. Tugevduste asukohad on näidatud (Joonis 13). [1]



Joonis 13. Tugevduste asukohad peegelduspragude vastu [1]

3.1.4. Katendi vajumine

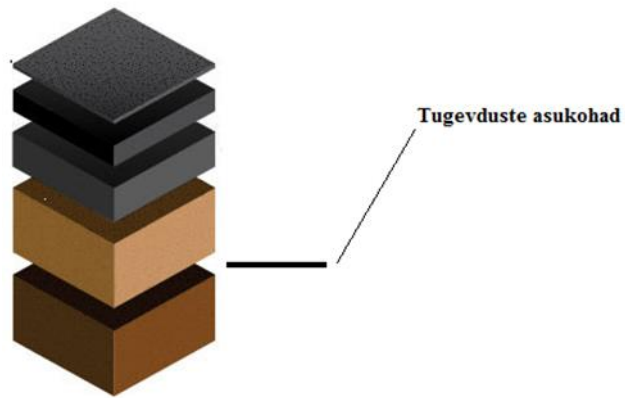
Katendi vajumise ärahoidmiseks tuleks paigaldada tugevdused asukohtadesse, mis on näidatud (Joonis 14). Võib kasutada kõiki tüüpe tugevdusi kulumis-, siduv-, aluskihtides ja drenkihisis. [1]



Joonis 14. Tugevduste asukohad vajumise ärahoidmiseks [1]

3.1.5. Mulde deformatsioon

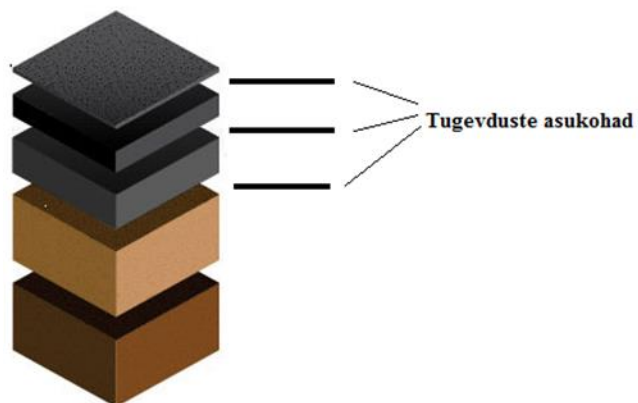
Mulde deformeerumise vastu tuleks paigaldada drenkihile tugevdus, mis on välja toodud (Joonis 15). Kasutada võib kõiki tüüpe tugevdusi. [1]



Joonis 15. Tugevduse asukoht mulde deformatsiooni vastu [1]

3.1.6. Külmakerge

Külmakerke vastu tuleks paigaldada terasvõrgud katte kihtide vahele, mis on näidatud (Joonis 16). [1]



Joonis 16. Tugevduste asukohad külmakerke vastu [1]

Tugevdatud vahekihte kasutatakse, et olla üle probleemidest, mida ei ole võimalik saavutada, kasutades tavapäraseid katendi ehitustehnoloogiaid. [1]

4. PROJEKTEERIMINE

4.1. Olemasoleva pinnase analüüs

Enne, kui saab välja pakkuda kas geosüntetidest või terasvõrgust tugevdused, peaks olemasolevat olukorda korralikult hindama. Infot tuleks koguda objekti spetsiifilisi tingimusi arvestades. Võib välja tulla, et olemasolev objekt võib vajaliku tulemuse saavutamiseks vajada hoopis teisi lahendusi, kui geosüntetidest või terasvõrgust tugevdused. [10]

Nagu eespool mainitud, tuleb meeles pidada, et paljudel juhtudel on teed pigem välja arenenud kui loodud süsteemselt. Katendite ehitamiseks on palju erinevaid ehitusmeetodeid, vastavalt sellele ka palju erinevaid defekte. Seda enam tuleb läbi viia põhjalik uuring olemasoleva konstruktsiooni vigastuste kohta, et oleks võimalik antud objektile parim lahendus leida. [10]

Teadaolevalt mängib katendi defektide tekkimises suurt rolli vesi. Pinnavee taseme ja drenaaži probleemid peaksid olema prioriteetsed ja need tuleks lahendada nii kiiresti kui võimalik, et mitte lasta veel rohkem konstruktsiooni lõhkuda. Kui katend on ebastabiilne ja uuringud näitavad, et tegu on pinnasevee probleemiga, tuleb sellega tegeleda esmajärjekorras, enne kui üldse saab teiste deformatsioonidega tegelema hakata. [10]

Kui eelnevad probleemid on lahendatud, võib asuda katte deformatsiooni juurde. Kattele ilmunud pragude kohta tuleb teha põhjalik uuring, et välja selgitada, mis tüüpi ja kuidas on pragu tekkinud. [10]

Pragude kohta tuleks infot koguda alljärgnevalt [10]:

- pragude, mille laius on suurem kui 5 mm, arv ja pikkus ning kas on näha kahestumist ja killustumist nende ümber;
- pragude, mille laius on väiksem kui 5 mm, arv ja pikkus;
- pragude asukoht (näiteks kas praod asuvad ratta jäljes või üle tee laiali);
- fotod deformatsioonidest on väga kasulikud ja neid võiks teha umbes 1 m kauguselt pinnast.

Teekonstruktsiooni üldist infot tuleks koguda alljärgnevalt [10]:

- reaalne liiklussagedus antud lõigul;
- olemasoleva konstruktsiooni projekt;
- temperatuuri tsüklid (päeval, öösel, hooajaliselt);
- pinnase ja katte omadused;
- drenaaži ja pinnasevee informatsioon.

Nagu eelpool mainitud, on oluline mõista olemasoleva tee konstruktsiooni elemente, et defekti algallikast täpselt aru saada.

4.1.1. Jäik katend

Betoneeritud teekatendil tekivad sageli peegelduspraod konstruktsiooni liitekohtades. Selliseid katendeid ehitatakse erinevat moodi: osadele lisatakse terasvõrgud, aga enamikele mitte mingit tugevdust pole lisatud. Betoonest teekatendil on paisumisvuugid, mis tekitavad elastsetesse kattekihtidesse peegelduspragusid. Pragusid tekitab veel ka plaatide ebaühtlane vajumine ja selle tõttu ka teiste plaatide pragunemine. [10]

4.1.2. Elastne teekatend

Elastsetes teekatendites võivad tekkida defektid mitmel erineval põhjusel, on tähtis leida õige algallikas, et saaks kasutada vastavaid meetmeid just selle defekti vastu. Nõrgale muldele ehitatud katendil võib tihti esineda võrkpragusid, mis tulenevad vajumisest. Nõrga mulde või aluse korral tuleb ette ka liikluskoormusest tulenevaid roopaid sõidu jälgedes. Elastsete teekatendite puhul on ka palju tee serva pragunemisi, mis tekivad raskete masinate peatumisel teepeenral või mu raske tehnika teeristi ületus. [10]

4.1.3. Elastne teekatend stabiliseeritud alusel

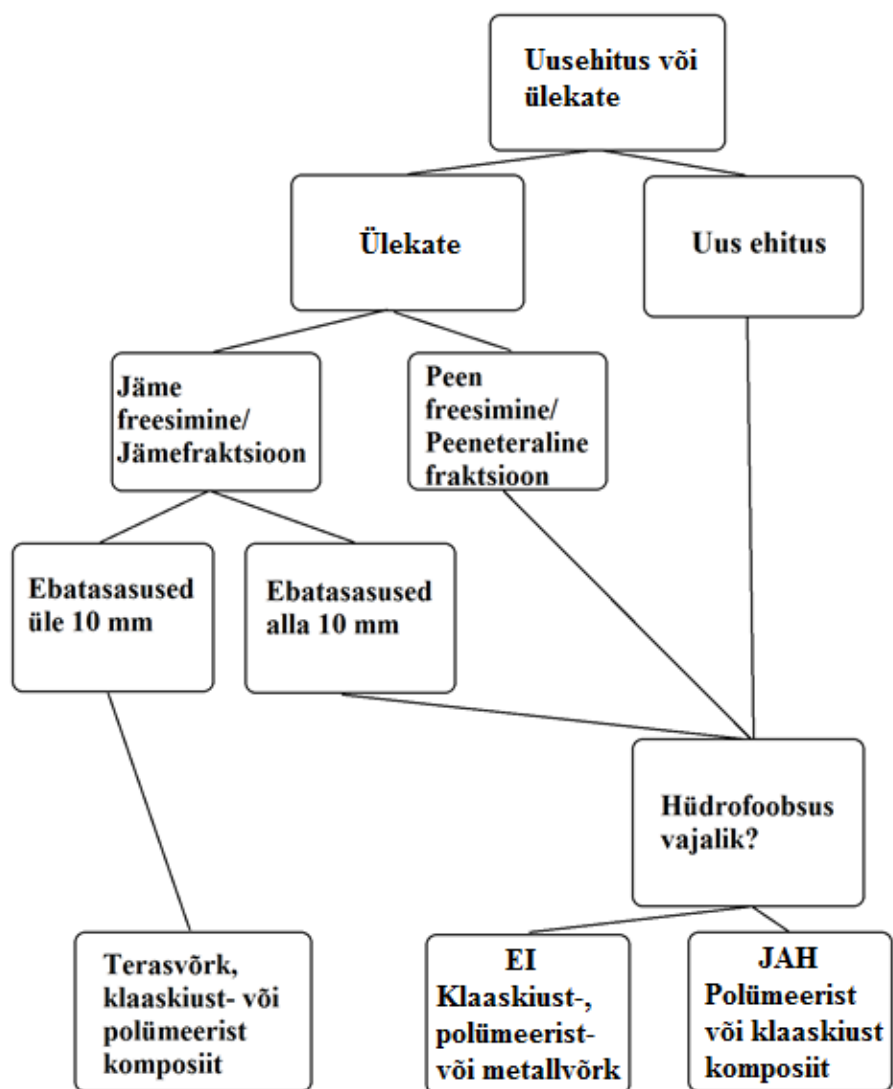
Elastsed teekatendid stabiliseeritud alusel on suhteliselt sarnased püsikatendiga, sellel aluse tüübil pole ainult jäikaid vuugikohtasid nagu betoonplaatidel. Sellegipoolest esineb ka selle aluse puhul vajumist ja pragunemist, mis peegelduvad elastsesse teekattesse. [10]

4.2. Tugevdustetüübi valik

Ülalpool sai välja toodud palju tugevdusmaterjale, mille vahel valida. Algselt jagunevad need tooted materjali järgi, toote valik vastavalt vajadusele on välja toodud (Joonis 17). Teekatte projekteerimisel erinevate defektide vastu jaotatakse alljärgnevalt [10]:

- need, mis tekitavad tugeva siduvuse kattekihtide vahel ja tugevdavad ülemist kihti, mis omakorda takistab pragude levikut;
- need, mis muudavad horisontaalse jäikuse kattekihtide vahel sujuvamaks ning maandavad kihtidevahelist stressi. Sageli kutsutakse seda SAMI efektiks (*ing. stress absorbing membrane interlayer*);
- need, millel on kahe eelpool mainitud materjali omadused ehk siis komposiitsed materjalid.

Tuleb märkida, et edu on saavutatud kõigi kolme kirjeldatud meetodiga ja nendega seotud materjalidega. Iga meetod on siiski väga kohaspetsiifiline ja alati tuleks iga objekti kohta teha uuring. Enne veel, kui meetod ja materjal valitud, tuleks kindlasti läbi rääkida materjali tootjaga, et teha selgeks, kas see materjal on ikkagi sellele objektile sobilik. [10]



Joonis 17. Asfaldivõrkude valik olemasoleva aluse põhjal [10]

5. PAIGALDUS

Objekti kavandamisel ja korraldamisel tuleks esmalt lahendada tööohutus, töötervisehoiu ja keskkonna küsimused ning alustada tööd siis, kui vastavad load on saadud. [10]

5.1. Sobiva paigaldaja valik

Geosünteeete ja terasvõrke on nüüd juba mõnda aega kasutatud. On väga oluline, et need saaks paigaldatud korrektselt. Korrektne paigaldus pikendab materjali ja sellega seoses ka katendi eluiga. Kui paigaldajal ei ole just pikka kogemust geosünteeetide ja terasvõrkude paigalduses, tuleks palgata spetsialist või vähemalt teostada tööd tema juhendamisel. Tavaliselt ei ole asfalteerimismeeskonnal vajalike oskuseid ega mehhanisme geosünteeetide ja terasvõrkude paigaldamiseks. Materjali eluiga sõltub suuresti selle paigaldamises, ning seetõttu tuleks paigaldaja valida hoolikalt. [10]

5.2. Töö planeering ja teostus

Geosünteeetide ja terasvõrkude paigaldus on tavaliselt kavandatud vahetult enne asfaltkatte paigaldust. Materjale ei tohiks jätta pikemaks ajaks katmata, sest nii võib tekkida erinevaid vigastusi või nakkeomadused vähenevad. Paigaldusele kuluv aeg sõltub objekti keerukusest. Näiteks sirgeid paane sirgele teele panna on suhteliselt lihtne, aga linnades olevate takistuste (bussipeatuse tasku, kaevuluugid, ohutussaad, jne) vahel toimetamine keerulisem. Seetõttu tuleb materjalide paigaldamisel arvestada objekti keerukusega, sest asfalteerijatele ette jääda ei tohiks. [10]

5.3. Objekti ettevalmistus

Ettevalmistus erineb vastavalt geosünteedi või asfaldivõrgu tüübist. Geotekstiili sisaldavad tooted, nagu näiteks mitte kootud geotekstiil ja geokomposiit, tuleb paigaldada bituumensideainega kaetud aluspinnale. Aluspind ei tohi olla värskest paigaldatud asfalt, mis on alles kuum – kiht peab olema jahtunud ümbritseva temperatuuriga samale tasemele. Lisaks ei tohi esineda löökauke ega lahtist aluspinnast. Aluspind peab olema puhas, tolmuva, suhteliselt kuiv ning ei tohi esineda seisuvett. Kõik löökaukud ja suuremad kui 5 mm praod tuleb eelnevalt täita. Isekleepuvad geosünteedid tuleb

paigaldada siledale aluspinnale (Tabel 6.). Kui pind ei ole piisavalt sile, tuleb paigaldada tasanduskiht. Isekleepuvad geosünteedid vajavad ka bituumensideainega katmist, alus peab olema kuiv. Terasvõrgud võib paigaldada olemasolevale pinnasele, mis on eelnevalt puhastatud. Terasvõrgud tuleb alusega siduda kas kasutades naelutamist või katta mössiga. Iga toote puhul on soovituslik kontakteeruda vastava materjali tootja või edasimüüjaga. [10]

Tabel 6.

Ilma tasanduskihita asfaldivõrgu paigalduse korral peab aluspind olema sile ja tihe [14]

	
Jäme freesimine mittesobiv otseseks paigalduseks.	Peen freesimine sobilik otse paigalduseks (kui tootja ei sätesta teisiti)
	
Aluspind: Jäme fraktsioonist (> 12 mm D) a/b ja mustsegud on vähesobilikud, kuna nad kipuvad krunti absorbeerima.	Aluspind: Peeneteralisi a/b segusid (AC 4 või 8 surf) kasutatakse SAMI (pingeleevenduskihina) – sobilik aluspind.

5.4. Krunnt ja ülekatte

Geosünteedid, mille puhul on nõutud bituumensideainega kruntimine, juures on vajalik mõista kruntimise vajalikkust korrektse paigalduse seisukohast, sellest alljärgnevalt räägimegi. [10]

1. Bituumen hoiab geosünteedid asfalteerimise ajal paigal.
2. Bituumen tekitab aluskihi ja kattekihi vahele hüdrofoobse kihi. Kui asfalteerimisel kangas kaetakse kuuma asfaltiga, kuumeneb ka bituumen, mis on kanga all, ja see imbub materjali sisse.

On oluline kasutada õiget tüüpi bituumenit ja seda õiges koguses, paigaldaja peab olema nende andmetega kursis ja tegutsema vastavalt ettekirjutustele. Geotekstiil tuleb katta bituumeniga nii, et see on bituumeni korralikult sisse imanud, muidu ei teki veekindlat kihti. Samas ei tohi seda üle küllastada, muidu võib tekkida potentsiaalne lihekiht. Paigaldades kuuma asfaltbetooni geosünteedile, imendub segust piisavalt bituumenit, et küllastada geosünteedi. Aluspinnase ebatasasused ja geosünteedi paksus mängivad ka rolli bituumeni koguse määramisel. Koguse arvutamiseks on võimalik kasutada järgnevat valemit (1) [14, p. 4]:

$$Q_d = 0,36 + Q_s \pm Q_c \quad (1)$$

kus Q_d – vajaminev bituumenikogus l/m²;

Q_s – geotekstiili küllastamiseks vajaminev bituumenikogus, mis sõltub geotekstiili paksusest/massist ja mille annab ette tootja;

Q_c – tegur, mis arvestab aluspinna seisukorda (Tabel 7.).

Tabel 7.

Bituumenikoguse parandustegur sõltudes aluse seisukorrast [14, p. 4]

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

Kui kuum bituumenkrunt on maha kantud, tuleks koheselt paigaldada ka geosünteeet, sest see parandab siduvusomadusi krundi ja geosünteedi vahel. Asfalteerimismeeskond võib tulla asfaldi kihiga koheselt pärast geosünteedi paigaldust, et hoida kokku tööle kuluvat aega. [10]

Kasutusel on ka bituumenemulsioon, mida aga ei tohi koheselt katta, kuna bituumenemulsioonist peab vesi välja aurustuma. Kui bituumenemulsiooni kasutatakse, tuleb kogus välja arvestada selliselt, et vesi ei oleks sisse arvestatud. Vee aurustumisel jääb pinnale bituumensideaine ja seda peab olema geosünteedi nõuetele vastavas koguses. [10]

Bituumensideaine võib olla polümeeriga modifitseeritud, mis aga võib tekitada mõningate omaduste muutumist.

Bituumen tuleb pihustada pinnale kudrunaatoriga, millel peavad kõik pihustid töötama ja ühtlaselt bituumenit pihustama. Teekattel olevad objektid (kaevuluugid, äravool jne) tuleb katta kaitsekilega, et need ei saaks rikutud. [10]

5.5. Geosünteedide paigaldus

Geosünteedid tuleb paigaldada selleks ettenähtud masinaga (Foto 6), mis on võimeline hoidma materjali pingel all, et ei tekiks kortse, ja suruks materjali korralikult aluspinnale. Sellele on eelnevalt pandud krundi kiht, millesse toode peab korralikult kinni jääma. Geosünteedide käsitsi lahtirullimist tuleks vältida, kasutada ainult juhul, kui on tegu väikeste aladega või kohtadega, kuhu masinaga ei pääse. Toote paigaldamisel tuleb jälgida, et ei tekiks kortse. Juhul kui kortsud on siiski tekkinud, tuleks need eemaldada vastava toote tootja poolt ettenähtud nõuetele. Olenevalt objektist ja selle eripärasustest on geosünteedide paigaldamisel servade ja otsade ülekate nõutud. Ülekatete puhul tuleks vältida suurt kihi paksuse muutust ja tühimike tekkimist. Pikisuunaline ülekate peaks olema minimaalselt 50 mm ja külgede ülekatte miinimum on 100 mm. Suurem ülekate kui miinimumnõue on lubatud ja isegi soovituslik, aga tuleks jälgida, et kahe materjali kihi vahele saaks krunti. [10]

Ühe paani lõppedes tuleb geosünteeet läbi lõigata, selleks tuleks kasutada sobivat lõikeriista (näiteks terav nuga või käärid) ja sarnaselt võib lõigata ka kaevude ning muude takistuste ümber. [10]

Geosünteedide tarnimisel tuleks kasutada veoautosid või geosünteedide paigaldusmasinat. Veoautojuht peaks vältima järske pidurdusi ja lahtisi esemeid kastis, mis võivad toodet vigastada. Geosünteede kastist maha tõstes tuleks kasutada troppe ja tõstukit, mitte seda maha tõmmata. [10]

5.6. Terasvõrkude paigaldus

Terasvõrk tuleks lahti rullida selliselt, et võrk jookseks rulli pealt. Nii jääb terasvõrgu kaardus osa aluspinna poole ja ei teki kokkurullimise efekti. Terasvõrgu lahti rullimiseks võib kasutada erinevaid masinaid, nagu näiteks veoauto või koppladur. Lahtirullimisega tuleks jõuda lõpppunkti lähedale ja sealt edasi käsitsi kui vaja. Ülekatted peaksid olema pikkupidi 300 mm ja külgepidi 150mm ning võrgud tuleb omavahel traadiga siduda. [10]

Kui terasvõrk on oma lõplikule kohale maha laotatud, tuleb võrk rullida pneumaatilise ratasrulliga, ning minimaalselt kaks rullikäiku. Peab olema kindel, et rullitud sai kogu võrgu laiuses ja võrk oleks ühtlustatud aluspinnaga. Otsatraadi äralõikamine võib lihtsustada terasvõrgu tasandamist aluspinnaga. [10]

Terasvõrk tuleb pingutada, et saada välja kõik kortsud enne, kui see kinnitatakse aluspinnale. Võrk tuleb kinnitada ühest otsast ankrutega või rasketehnikaga, näiteks teerull, et see püsiks pingutades paigal. Terasvõrku pingutatakse teisest otsast, kus raudlatt või toru on läbi võrgu, mis omakorda on ühendatud masina külge. Pärast pingutamist tuleb võrk aluspinna külge ankurdada. Iga rulli esimesed neli meetrit tuleb tugevalt kinnitada. Edasi võrk fikseeritakse, kasutades naelu, mössi või mõnda muud ülekatte meetodit. [10]

5.6.1. Naelutamine

Naelutada tuleb kogu terasvõrgu ulatuses, naelutus tihedusega üks nael ruutmeetrile, ülekatted kaasa arvatud. Naelad tuleks eelistatult panna kohtadesse, kus traat on ühekordne, mitte ristumise-ega sidumiskohtadesse. Uue asfaltkatte puhul tuleks terasvõrgu kinnitamisel kasutada PVC kattega naelu. [10]

5.6.2. Möss

Kasutades terasvõrgu kinnitamiseks mössi, tuleb kasutada vähemalt 17 kilogrammi mössi ruutmeetrile. Soovituslik kogus ebatasasematele aluspindadele oleks 20-22 kg ruutmeetrile. Mössis peab olema modifitseeritud bituumenemulsioon. Kui minimaalne kogus 17 kg ruutmeetrile maha pannakse, on terasvõrgu struktuuri veel läbi mössi kihi näha. Pärast mössi kihi tahenemist on liiklus objektil lubatud, aga ainult kiirusepiirangutega. Mössi ei tohiks paigaldada, kui välistemperatuur on alla 5 °C või üle 30 °C või kui aluspind on märg ja sajab vihma. [10]

5.6.3. Asfaltbetoon ülekate

Laoturi ette tuleb teha labidatega 10-20 mm paksune asfaltbetoonist rada veokitele, et mitte kahjustada terasvõrku. Tihenda asfaltbetoonkiht rulli või kummist ratastega masinaga. Terasvõrgu katmisel tuleks jälgida, et laotur saaks ühtlaselt ja ilma peatusteta liikuda. Pidurdamisel võib võrk laoturi all üles tõusta. [10]

Ühegi kolme eelpool mainitud meetodi puhul ei ole lubatud laoturil veokit lükata, sest see kahjustab terasvõrku. Veok peab kas järk-järgult käima segu laoturi kolusse kallamas või vaikselt edasi liikudes omal jõul vähehaaval kallutades segu laoturi kolusse kallama. Kõik objektile olevad masinajuhid peavad olema teadlikud, et terasvõrgul sõites ei tohi teha äkilisi pöördeid, pidurdusi ega kohaltminekuid. Minimaalne tasanduskihi paksus, mida võib paigaldada terasvõrgule, on 50 mm. Võrguga tuleb olla ettevaatlik, et see mingil juhul üles ei tõuseks. [10]

6. TARK TEE

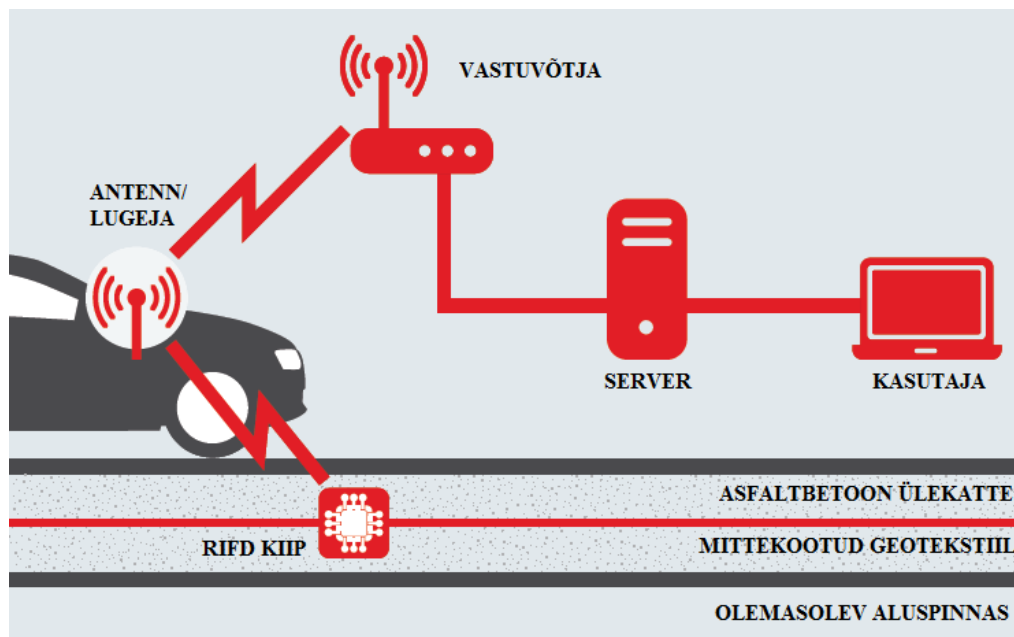
Tark tee on Austria firma Proviles poolt välja mõeldud kaasaegne lahendus teedehhituse ja hoolduse lihtsustamiseks, kus teekatte sisse paigaldatakse mittekootud geotekstiil, mille sees omakorda on passiivtransponderid. RIFD-id (*ing. radio-frequency identification.*) edastavad signaali töötlemiseks ja vastusignaali saatmiseks vastuvõetava elektromagnetvälja energiat. Sellepärast puudub vajadus toiteallika olemasolule. Passiivtransponderid kasutavad raadiosagedusliku lähituvastussüsteemi ehk RIFD-i, mida kasutatakse erinevates kiipkaartides, näiteks pääslakaardid ja ühistranspordi ühiskaardid. RIFD-i kasutades saab lihtsasti tuvastada erinevaid objekte ja esemeid rasketes ja mitmesugustes oludes, seejuures pole kiibi ja lugeja vaheline otsenähtavus oluline. Kuigi otsenähtavus pole oluline, peab lugeja olema umbes meetri läheduses, et informatsiooni koguda. Lugejaga kogutud info läheb juhtmevaba võrgu abil serverisse ja sealt edasi kasutajate käsutusse (Joonis 18). [15]

RIFD süsteem koosneb kolmest põhiosast [15]:

- Transponder (kiip) koos mälu ja antenniga;
- Lugejasüsteem (lugeja) koos antenniga;
- Vastuvõtja koos vajaliku tarkvaraga.

RIFD transponder koosneb kiibist ja antennist. Kiibi puhul on nõutud kirjutamis/lugemis kiirus, krüpteerimine ja andmemahut, mis on määravad kriteeriumid kiibi valikul ja mõõtmetel. Antenni puhul on olulisemad omadused suurus, kuju ja mis sagedustel see töötab, sellest oleneb informatsiooni kättesaadavuse kaugus. Informatsiooni kättesaamiseks on vajalik siiski minna vastavale teelõigule ja seal lugeja abiga teekattes oleva kiip ära tuvastada, kui kiip on tuvastatud ühendab juhtmevaba võrk kasutaja serveriga kus on vajalik informatsioon. Info saab lugejaga kätte kui teel sõita kuni 30 km/h. Lugeja koos antenniga võib olla sõidukil, kust on lihtne ja mugav informatsiooni koguda, ilma otsese kontaktita teega. Kui inspektoreid on kaks on tegevus veelgi lihtsam kuna sellisel juhul saab üks lugeda andmeid ja teine juhtida sõidukit. Masinale paigaldatud seadme puudumisel on olemas ka käsiseade millega kiipidelt infot lugeda. Käsiseadme kiibi tuvastus süsteem on nõrgem, seega tuleb minna aparaadiga suhteliselt teepinna lähedale. Kiibid on

paigutatud ülekatte alla umbes 150 m vahedega, selle maa tagant saab teekonstruktsiooni kohta infot. Igal kiibil on unikaalne ID kood mille järgi tuvastatakse just selle teelõigu rekonstrueerimis info. Kiibi saab aktiveerida kohe pärast ülekatte paigaldamist, veel tuleb kinnitada kuupäev ja asukoht. Vastavad seadmed info lugemiseks ja kiipidele tuvastamiseks annab tootja, info säilitatakse kasutaja andmebaasi. Kasutaja saab lisada andmebaasi andmeid mida peetakse antud teelõigu puhul vajalikuks.[15]



Joonis 18. Info liikumine konstruktsioonist kasutajale [15]

Info mida kogutakse [15]:

- konstruktsiooni hetkeolukord (teostatud tööd ja uuringud);
- seotud ja sidumata kihtide paksused;
- kasutatud materjali tüüp ja kvaliteet;
- eelmise remondi aeg, tüüp ja praegune olukord;
- liiklussagedus.

Informatsiooni kogumiseks on serveris erinevad moodulid kuhu talletatakse mitmesuguseid andmeid, konstruktsioonis peituva kiibi ja lugeja abil. Antud süsteemis on neid mooduleid kümme. [15]

Kümme süsteemi moodulit [15]:

- 1) klient (otsetee kasutaja serverisse kus on kõik antud objekti puudutavad andmed) ,
- 2) teeolud (tee olukorra hinnang),

- 3) asukoht (GPS jälgimine, geograafiline info, kilometraaž),
- 4) paigaldus, ehitus tööd (kuupäev, töö teostanud firma, kasutatud materjalid),
- 5) kvaliteedi kontroll (katset raportid, materjalide nõuded, tehnilised andmed, vastavus euroopa nõuetele),
- 6) konstruktsiooni uuringuid (puuraukude andmed, monitooring, visuaalne kontroll),
- 7) tee seisund (remondi vajadus, defektid),
- 8) edasine tegevus (defektide analüüs ja tähtsuse järjekord),
- 9) aruandlus (aruanne klientidele),
- 10) dokumentatsioon (olemas olevad dokumendid objektist).

Toode, mida see firma müüb ja paigaldab, on „RVS Asfalt” ehk asfaltikatte mittekootud geotekstiilga, mille sisse on paigaldatud RFID transponderid, täpsemad spetsifikatsioonid (Tabel 8). Selle toote abil saavutatakse püsiv ja kontaktivaba kommunikatsioon teekonstruktsiooniga. Kasutatav geotekstiil on mittekootud, mehaaniliselt keevitatud, materjaliks on kõrgetasemeline polüpropüleenkiud, ümbertöödeldav ja vastab Euroopa Liidu nõuetele. [15]

Tabel 8.

Andmed „RVS Asfalti“ kohta [15]

Andmed	Kogus	Ühik
RFID Transponder	866-916	mhZ
Mass	140	g/m ²
Paksus	1,2	mm
Toormaterjal	100% kõrgetasemeline polüpropüleenkiud	
Sulamis täpp	165	°C
Bituumeni kulu	1,2	kg/m ²
Tõmbetugevus (EN ISO 10319)	8	kN/m

Toote puhul on üheks väga heaks omaduseks see, et paigaldades „RVS Asfalt“ saab teekate tugevduskihi, mis on samade omadustega nagu tavaline mittekootud geotekstiil, aga veel parem, kuna sinna on veel lisaks lisatud targad kiibid, mis annavad informatsiooni teekonstruktsiooni kohta. Saadud informatsioon lihtsustab tee hooldamist ja arhiveerimist. [15]

Toode on saadaval 150 m pikkustes rullides, mille laiuseid on vahemikus 0,85-3,0 m, et saaks paigaldada vastavalt vajaminevale laiusele. Erinevalt tavalisest geotekstiilist tuleb Targa Tee

geotekstiili ladustada kuivades tingimustes, kuna see sisaldab kiipe. Muud transportimise ja liigutamise tingimused on samad, mis tavalisel geotekstiilil. [15]

Toode paigaldatakse peenfreesitud või vanale kattele, mis on puhastatud ja krunditud. Paigaldamisel on soovitatav kasutada selleks ettenähtud masinat (vaata Lisa 1). Kui ei ole võimalik masinat kasutada, võib teha ka käsitsi, aga geotekstiili pingutamisel tuleb olla tähelepanelikum ja kortse ei tohi tekkida. Kui siiski kortsud tekivad, näiteks kurvides, kus on vaja kangast liigutada, siis tuleb kortsu kohas teha sisselõige ja katta see ekstra bituumeniga. Pärast geotekstiili maha panemist ja selle korralikkuse kontrollimist võib alustada ülekatte paigaldamisega. Ülekate paigaldatakse laoturiga ja minimaalne ülekatte kihi paksus on 4 mm. Masinad, mis sõidavad üle katmata geotekstiili, ei tohi teha järske pidurdusi, pöördeid ega kohalt minekuid. Geotekstiili on lubatud paigaldada kuivades tingimustes ja ei tohi esineda seisuvett. Paigaldada võib temperatuuridel, mis on lubatud madalaim asfaldi ja bituumeni kasutamisel. [15]

Süsteemi kasulikkus [15]:

- efektiivsed teeparandustööd;
- madalad kulud tee uurimisel;
- hea alus järgnevateks remontideks;
- pikaajaline info kogumine ja haldamine;
- täielik ja turvaline info jälgimine teekonstruktsiooni remontide ja ehituste kohta.

Kuna toode on alles arenemas ja vähe kasutusel, tuleks seda kindlasti edasi arendada ja loota, et mõni riik võtab selle kasutusele ja näitab selle toimimist ka suuremahuliselt. Lahendus ise on väga mugav ja mitmekülgne teedehituse ja arenduse seisukohalt. Eestis võiks võimalusel kindlasti selle tootega katsetusi teha.

Hetkel arendatakse välja uut toodet mille leviala on suurem ja ühenduvus seega parem. Uue toote puhul on võimalik sõidukile paigaldatud lugeja abil kiirelt ja lihtsalt informatsiooni kätte saada.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö teemaks on “Asfaldivõrgud“. Teema valikul mängis suurt rolli eestikeelse informatsiooni vähesus asfaldi geosüntetide ja sarnaste toodete kohta ning teadmatus, milliste probleemide vastu kasutada asfaldivõrke.

Töös tuuakse välja mitmesuguseid teekatteid mõjutavaid faktoreid, mis tekitavad tee pinnale erinevaid defekte. Teel esinevate kahjustuste põhjustajad on põhiliselt ilmastik, aluspinnase iseärasused ning liikluskoormuse suurenemine. Nende kolme mõjutusel tekivad kattesse defektid nagu näiteks eri tüüpi praod, roopad ja murenemised. Kuna defekte on erinevaid, peab olema ka mitmesuguseid lahendusi, seetõttu saabki kasutada erinevaid tugevdussüsteeme. Kattekihtide vahele paigutatavad tugevdused on geovõrgud, geotekstiilid, geokomposiidid, terasvõrgud ja SAMI vahekihid. Loetletud tugevdusi valmistatakse mitmesugustest materjalidest, erineb ka tootmisviis, mis annab toodetele erinevad omadused. Vastavalt toote omadustele ja kindlaks tehtud defektile saab projekteerija valida toote, mida oma projektis kasutada. Projekteerimisel tuleb veel eelnevalt teha pinnaseanalüüs, et teada saada, kas defekti põhjus on pinnases. Kui pinnas enam ei kannu, siis ei ole mõtet teekatte parandamisel, vaid tuleb parandada tervet teekonstruktsiooni või ehitada uus.

Töö pöörab tähelepanu ka asfaldivõrkude paigaldusele, mis on vastavalt tootele mõneti erinev. Paigaldusel mängib kindlasti rolli ka ilmastik, kuna asfaldivõrkude paigaldusel kasutatakse kruntimiseks bituumenisisaldusega tooteid ja ülekate on üldjuhul asfaltbetoon või mingi pindamise liik, nende materjalidega töötades peab temperatuur olema vähemalt +5 C° ja sademed ei ole lubatud. Paigaldamismeeskond peaks kindlasti omama eriseadmeid ja olema välja koolitatud, et projekt lõppeks edukalt.

Asfaldivõrkude innovatsiooni poole pealt räägin geotekstiilist, mille sisse on paigaldatud väikesed kiibid. Tänu sellele on võimalik täpselt teada teekonstruktsiooni olemust praegusel hetkel ning mida seal varem tehtud on ja mis projekti järgi. See kõik tuleb kasutajale käepäraselt arvutisse või mõnda teise nutiseadmesse.

Tulevikus tuleks kindlasti edasi arendada asfaldivõrkude katsetamist, nii laboratoorselt kui ka reaalsetel objektidel. Eestis on seda ka tehtud, aga kindlasti tuleks veel teha ja rohkem, et teada saada erinevate toodete kasulikkus just Eesti tingimustes.

SUMMARY

The topic of the present Final Paper is Asphalt Nets. The lack of relevant information in Estonian concerning asphalt geosynthetics and similar products as well as in case of which problems to employ asphalt nets, was a major reason for choosing this as the topic of this paper.

This paper outlines several factors influencing road pavement, which cause different defects on the surface of the road. The main causes for the damages on the surface of the road are weather, peculiarities in the ground surface below the road and an increase in traffic. Defects in the pavement, such as cracks, ruts and crumbling develop under the influence the three factors. Since the defects are different, the solutions must be different as well, therefore it is possible to use different systems of reinforcement. The following reinforcements are placed under the covers of pavement: geonets, geotextiles, geocomposites, steel nets and SAMI (stress absorbing membrane interlayer) interlayers. The highlighted reinforcements are made of different materials and the method of production also differs, giving the products different qualities. The designer can choose the product to be incorporated in the project based on the qualities of the product and the nature of the defect. A ground analysis must be performed before designing a project to determine whether the ground itself is not the cause of the defect. When the ground no longer carries, then there is no reason in fixing the pavement but the whole road construction should be fixed or a new one built.

The paper also focuses on the installation of asphalt nets, which differs in the case of different products. An important factor in the process of installation is weather because in the installation of asphalt nets, bitumen-based products are used for priming and generally the top pavement is concrete asphalt or some other form of paving. When working with these materials, the temperature must be at least +5 C° and no precipitation is allowed. The installation team should have special equipment and have training for all the projects to end in success.

Concerning the innovation of asphalt nets, the paper focuses on geotextile, which features little chips installed in it. Owing to that, it is possible to always know the state of the road construction and to know what has been done earlier and according to which project. All this information is available for the user in the computer or any other smart device.

Testing asphalt nets should definitely be developed in the future, in laboratories as well as real objects. It has been done in Estonia, but the testing should continue to determine the usefulness of different products in Estonian conditions.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] COST 348, „Reinforcement of Pavements with Steel Meshes and Geosynthetics,” 2006.
- [2] S. Sillamäe, „Asfaldivõrkudest,” Tallinn, 2015.
- [3] Tallinna Tehnikakõrgkool, „Mnt.nr.5 Pärnu-Rakvere-Sõmeru km 91,8-92,8 asfaldivõrkudega katselõigu jälgimine ja analüüs ning kasutusjuhendi arendustööd,” 2014.
- [4] Tallinna Tehnikaülikool Teedeinstituut, „FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud parameetrite SCI, BDI ja BCI kasutamine teekatendi seisukorra hindamisel,” 2007. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.mnt.ee/failid/uuringud/sci_bdi_bci-l6pparuanne.pdf.
- [5] Maanteeamet, „MULDKEHA REMONDI PROJEKTEERIMISE JUHIS,” 2006. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.mnt.ee/failid/juhised/muldkeha_remondi_projekteerimise_juhis.pdf.
- [6] J. v. d. (. Berg, „Asphalt reinforcement (Armatex)“.
- [7] A. Academy, „www.asphaltacademy.co.za,” november 2008. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.asphaltacademy.co.za/documents/tg3nov08.pdf>.
- [8] *EVS-EN 15381:2008 Geotekstiilid ja geotekstiilipõhised tooted. Nõutavad omadused kasutamisel katendites ja asfaldikihtides*, 2008.
- [9] Maanteeamet, „GEOSÜNTEETIDE KASUTAMISE JUHIS,” 2006. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.mnt.ee/failid/juhised/geosyntheetide_kasutamise_juhis.pdf.
- [10] R. S. T. A. (RSTA), „CODE OF PRACTICE FOR GEOSYNTHETICS AND STEEL MESHES,” Road Surface Treatments Association (RSTA) Geosynthetics & Steel Meshes

Committee, 2012.

- [11] AS Teede Tehnokeskus, „A/b ülekatte alla paigaldatavate asfaldivõrkude mõju hindamine olemasolevas kattes esinevate pragude vähendamisele,“ 2013.
- [12] Ministry of Transportation Geotechnical Office Eastern Region, „Stress Absorbing Membrane Interlayer (SAMI),“ 2012. [Võrgumaterjal]. Available: <http://conf.tac-atc.ca/english/annualconference/tac2012/docs/session8/sproule.pdf>.
- [13] AS Teede Tehnokeskus, „Kattes olevate pragude ja võrkpragude katmine SAMI – Fiberdec ja SAMI – Modiseal tehnoloogiaga,“ 2013.
- [14] Maanteeamet, „ASFALDI GEOTEKSTIILIDE PROJEKTEERIMISE JA PAIGALDUSE JUHIS,“ 2015. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.mnt.ee/public/MA_asfaldivorkude_projekteerimise_ja_paigalduse_juhised_30_01_15.pdf.
- [15] „Proviles Pavement Data,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.provlies.com/en/2166373/ROADS-THAT-TALK-Transponder-Technology.html>.
- [16] „Google,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.google.ee>.

LISAD

Lisa 1. Asfaldivõrkude paigaldus spetsiaalse masinaga

Lisa 2. Asfaldivõrgu käsitsi paigaldus

Lisa 3. Asfaldivõrgu sirgeks rullimine ja ülekaetud asfaldivõrk

Lisa 4. SAMI paigaldus faasid ja kihtide mahakandmine

Lisa 1. Asfaldivõrkude paigaldus spetsiaalse masinaga



Foto 6. Asfaldivõrgu paigaldus spetsiaalse masinaga [16]

Lisa 2. Asfaldivõrgu käsitsi paigaldus



Foto 7. Asfaldivõrgu paigaldus käsitsi [16]

Lisa 3. Asfaldivõrgu sirgeks rullimine ja ülekaetud asfaldivõrk



Foto 8. Asfaldivõrgu sirgeks rullimine [16]

Lisa 4. SAMI paigaldus faasid ja kihtide mahakandmine



Foto 9. SAMI paigaldus faasid ja kihtide mahakandmine [16]