



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja Arhitektuuri Instituut

**ERINEVAD BITUUMENMAKADAMIST (BIMAC)
KATTEKONSTRUKTSIOONID LÕUNA-EESTI
NÄITEL**

**DIFFERENT BITUMEN MACADAM (BIMAC) PAVEMENT
STRUCTURES IN THE EXAMPLE OF SOUTHERN ESTONIA**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Karl Jaanson

Üliõpilaskood: 191954EAXM

Juhendaja: Andrus Aavik, dotsent

Tallinn 2023

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 2023

Autor: Karl Jaanson

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2023

Juhendaja: Andrus Aavik

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....2023

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Karl Jaanson (sünnikuupäev: 19/02/1988),

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose BITUUMENMAKADAMIST (BIMAC) ERINEVAD KONSTRUKTSIOONID LÕUNA-EESTI NÄITEL,

mille juhendaja on

Andrus Aavik,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

Ehituse ja Arhitektuuri Instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Karl Jaanson 191954EAXM
Õppekava, peeriala: EAXM15/15 - Hooned ja rajatised, teedeehitus
Juhendaja(d): Andrus Aavik, dotsent

Lõputöö teema:

ERINEVAD BITUUMENMAKADAMIST (BIMAC) KONSTRUKTSIOONID LÕUNA-EESTI NÄITEL

DIFFERENT BITUMEN MACADAM (BIMAC) PAVEMENT STRUCTURES IN THE EXAMPLE OF SOUTHERN ESTONIA

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Ülevaade bituumenmakadam (bimac) katetest
2. Valitud aastatel 2020-2022 Eestis rajatud bimac katete ülevaade ja seisundi analüüs
3. Valitud aastatel 2020-2020 Eestis rajatud bimac katete suurkehade ja IRI analüüs
4. Ettepanekud ja juhised bimac katete edasiseks ehitamiseks

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Teoreetilise osa kirjutamine, andmete kogumine	01.11.2022
2.	95% valmis, lõputöö kaitsmistootluse esitamine	12.12.2022
3.	Töö valmis, ettevalmistused kaitsmiseks, töö esitamine retsenseerimiseks	04.01.2023
4.	Lõppkaitsmine	11.01.2023

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: 02.01.2023

Üliõpilane: Karl Jaanson 18.10.2022

/allkiri/

Juhendaja: Andrus Aavik 18.10.2022

/allkiri/

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	7
1. Bituumenmakadam.....	8
1.1 Bituumenmakadam katete kasutus Eestis	9
1.2 Nõuded bituumenmakadam kattele	9
2. Eestis rajatud bimac lõike aastatel 2020-2022	12
2.1 Ülevaade	12
2.2 Riigitee 18157 Miiaste-Kanassaare km 0,023-2,012.....	13
2.2.1 Tee hetkeseisukord	13
2.3 Riigitee 23140 Sihva - Vidrike - Kär gula – Jär vere km 20,046-23,747	14
2.3.1 Tee hetkeseisukord	15
2.4 Riigitee 14163 Adavere - Rutikvere km 0,07 – 1,332	16
2.4.1 Tee hetkeseisund.....	17
2.5 Riigitee 14169 Pajusi - Loopre km 1,955-5,128	18
2.5.1 Tee hetkeseisukorra hinnang.....	18
2.6 Riigitee 18167 Kanepi-Ihamaru km 10,15 – 11,828	19
2.6.1 Tööde teostus	20
2.6.2 Tee hetkeseisukorra hinnang.....	21
2.7 Riigitee 22234 Vara-Kaitsemõisa km 2,694-9,563.....	22
2.7.1 Tee seisukorra hinnang	23
2.8 Riigitee 22267 Melliste – Heiti km 1,747-6,087 tolmu vaba katte	23
2.8.1 Tee seisukorra hinnang	24
2.9 Riigitee 25132 Rõuge - Vastseliina km 12,098-14,834.....	25
2.9.1 Tee seisukorra hinnang	26
3. Rajatud Bimac lõikude täiendav analüüs	27
3.1 Puurkehad	27
3.1.1 Sideaine kogused	28
3.1.2 Jäädvustatud puurkehad ning nende analüüs	31
3.2 Teekatte tasasuse analüüs.....	37

4.	Ettepanekuid bamac tehnoloogia edasiseks rakendamiseks eesti tingimustes ...	44
5.	Kokkuvõte	47
6.	Summary	49
7.	Kasutatud kirjanduse loetelu	51
8.	Lisad	52
8.1	Pildid bamac katte ehitusest	52
8.2	Pildid pindamistööst	53

SISSEJUHATUS

Vastavalt Vabariigi Valitsuse tegevusprogrammile 2011-2015, millega püstitati eesmärk koostada ja rakendada riiklikku programmi "Eesti teed tolmuwabaks aastaks 2030" kui ka Eesti Vabariigi valitsuse tegevusprogrammi 2019-2023 muuta arvestatava kasutusega kruusateed 2030. aastaks tolmuwabaks, investeeritakse kruusateele katete ehitamiseks riigieelarvest täiendavaid rahalisi vahendeid. [1]

Suurel osal riigiteede nimekirjas olevatel kruusateedel ei ole korralikult välja ehitatud muldkeha ja kraavid ning seega ei vasta hetkel kehtivatele normidele ja nõuetele. [1]

Olemasolevate kruusateede kandevõimet tõstetakse purustatud kruusa lisamisega, vajadusel likvideeritakse nõrgema kandevõimega kohad jämedateralise skelettmaterjali lisamisega. [1] Tee maa-ala ulatuses puhastatakse või rajatakse kraavid ning vajadusel paigaldatakse veeviimarite toimivuseks truubid. [1]

2020. aastal suunati kruusateedele tolmuwabade katete rajamiseks kokku 20,5 miljonit eurot. [1] Antud summaga ehitati kokku ca 200 km tolmuwabasid katteid, millest suure osa moodustasid sideainega immutatud killustikalus ehk bituumenmakadamkatted, mida tuntakse nimega bimac. [1] Perioodil 2021-2022 rajati Eestis kokku 369 km tolmuwabasid katteid, paraku seevastu on Transpordiameti prognoosi kohaselt 2023. aastaks eraldatud vaid 1,6 miljonit eurot ning aastad 2024-2025 jäävad sootuks rahastuseta. [2]

Magistritöö eesmärk on uurida ja analüüsida rajatud bituumenmakadamist teede erinevaid konstruktsioone ning saavutatud tulemusi. Esmalt tutvustatakse immutatud killustikaluste praktiseerimist Eestis ning sellele kehtivaid nõudeid. Seejärel tutvustatakse ja analüüsitakse lõputöös aastatel 2020, 2021 ja 2022 Eestis rajatud bimacist teelõike, kus autor arutleb erinevates projektides tehtud tehnoloogiliste võtete, kulunormide ja lõpptulemusel ilmnunud vigade üle. Diplomitöö viimases osas võrreldakse rajatud bimaci teede tasasust, puurkehasid ning analüüsitakse Transpordiameti ühikhindade põhjal bituumenmakadam katete rahalist tasuvust võrrelduna teiste kergkatteliikidega. Viimaks esitab autor omapoolsed ettepanekud, kuidas praeguses olukorras bimac tehnoloogiat katendite ehituses kasutada ning mida riik peaks suurima tellijana rohkem uurima ja millele rõhku panema enne, kui bimac tehnoloogia rakendamist jätkab. **Võtmesõnad:** bituumenmakadam, bimac, kergimmutus, pindamine, kruusatee, tolmuvaba kate, teehoiukava, teedeehitus, magistritöö.

1. BITUUMENMAKADAM

Bituumenmakadam ehk bimac kate on killustiku bituumeniga immutamisel saadav kate või kiilumismeetodil ehitatud mustkillustikkate. [3] Immutatud killustikaluse puhul laotatakse killustikukihid vaheldumisi sideaine paigaldamisega ja tihendatakse kuniks on tekkinud kiilumiseffekt. Valatud sideaine funktsionaalsus seisneb killustikuterade omavahelisel sidumisel, mille tulemusena tekkinud kergkate kandevõime näitaja ehk elastusmoodul suureneb ca 20-30 %. [4] Sideainega immutatud alus rajatakse samaaegselt aluse ülemise kihiga: rajatud bimac kattekiht moodustub ühtse terviku. [4] Aluse immutatud ülemine kiht ehitatakse tavaliselt kahest kuni kolmest killustikfraktsioonist sõltuvalt rajatava kergkatte kihipaksusest ja killustiku suurima fraktsiooni terasuurusest, kusjuures sidumata segudest konstruktsiooni kihtidele immutustehnoloogiat ei rakendata. [4, 5]

Immutusmeetodi rakendamine on üks lihtsamaid viise, kuidas suhteliselt kiire ajaga, ilma täiendavate seadmete kasutamiseta ehitada püsiva katendikihi – praktikas kasutatakse killustiku laotamisel homogeense paksusega kihi saavutamiseks asfaldilaoturit, kuid tööd saab teostada ka greiderit kasutades. [4]

Bituumenmakadam katete ehitust kasutatakse: [4]

- teedele aastase liiklussagedusega kuni 1000 autot ööpäevas kattekihi konstrueerimiseks,
- etapiviisilisel teekatete ehitamisel ajutise kattekihina,
- püsikatetele aluse ehitusel.

Immutuskatte ehitamise ajal peab õhutemperatuur olema +10 C [5], sest antud väärtusest madalamate temperatuuride korral on bituumeni imbuvus killustikalusesse kehvem, niisamuti ka killustikuterade nakkuvus sideainega. [4] Kvaliteetse töö tulemuse saavutamiseks teostatakse bituumenmakadam katete ehitust kuivadel ilmastikutingumustel, lisaks peab kasutatav kivimaterjal olema kuiv. [4] Peamiseks Eestis bimac katete ehitusel kasutatavaks materjaliks on lubjakivi- ja kruuskillustik, harva graniitkillustikku, sest see on võrreldes eelnevatega ebaproportsionaalselt kulukas. [4]

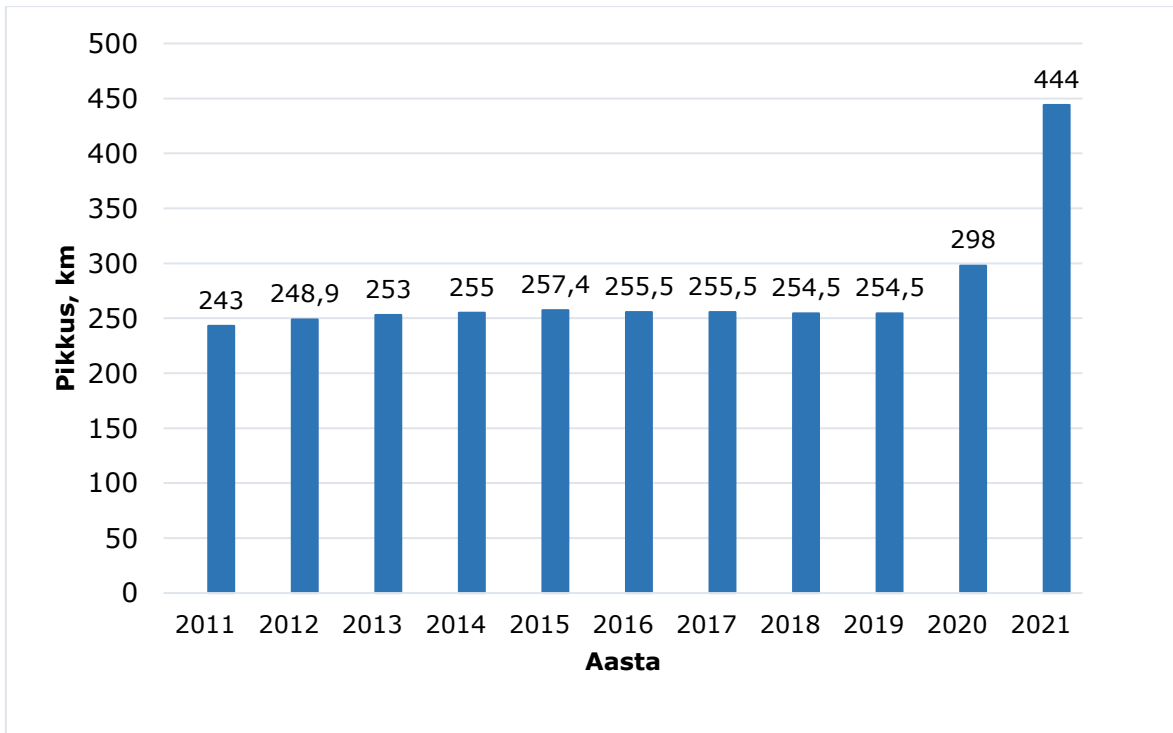
Immutatud katted jaotatakse kaheks:

- kergimmutus ehk poolimmutus – sideainetega töödeldud kihi paksus 4-6 cm, kasutatakse kahte kuni kolme killustikfraktsiooni, [4]
- sügavimmutus ehk täisimmutus - sideainetega töödeldud kihi paksus 6,5-8 cm, kasutatakse kolme kuni nelja killustikfraktsiooni. [4]

Sideainena on lubatud kasutada bituumenemulsiooni, teebituumenit ning väljaspool asulaid ka põlevkivibituumenit. [5]

1.1 Bituumenmakadam katete kasutus Eestis

Teeregistri andmetel on Eestis 01.01.2022. seisuga riigiteid 16 933 km, millest bimac kergkattega 444 km st 2,6 %. [6]



Joonis 1. 1 Ehitatud bimac teede kogupikkus riigiteedel aastate lõikes [6]

Joonis 1. 1 nähtub, et bimac tehnoloogia on senimaani pigem vähesel määral praktiseeritud ehitustehnoloogia. Joonis 1. 1 kujutab, et aastatel 2011-2019 rajatud bituumenmakadam katete pikkus on püsinud samas suurusjärgus, seejuures saadud tulemused põhinevad eelkõige olemasolevate katendite rekonstrueerimisel bimac tehnoloogiat kasutades. Bimac katteid hakati Transpordiameti poolt suuremal hulgal rajama aastal 2020, kuid seda vaid üürikeseks ajaks seoses riigi plaanidega, mis on kajastatud Teehoiukavas. [1]

1.2 Nõuded bituumenmakadam kattele

Eestis tuleb juhendada bituumenmakadam katete konstrueerimisel Transpordiameti normdokumendist „Killustikust katendikihtide ehitamise juhis“. [5] Killustikust katendikihtide ehitamise juhis annab põgusa ülevaate Eestis kehtivate nõuetest ja ehitustehnoloogiast seoses bimac katete rajamisega, lisaks ka nõuded sideainele ja jämetäitematerjalile. [5] Täitematerjali puhul on kirjutatud, et aluse kergimmutatud ülemine kiht ehitatakse kasutades kahte kuni kolme killustikufraktsiooni sõltuvalt bimac katte vastavalt ettenähtud kihipaksusest ja kasutatava killustiku suurima tera diameetrist. [5] Seevastu erinevalt killustikmaterjalidest on sideaine puhul on

väljatoodud täpsed bituumenemulsiooni ja põlevkivibituumeni tüübid. [5] Killustikust katendikihtide ehitamise juhendis on käsitletud põhifraktsioonina ainult fr 16/32 killustik, mis tekitab vastuolu seoses juhises olevates tabelites kirjeldatuga, mille kohaselt rajatavate bimar katete kihipaksus on 2-4 cm (vt Tabel 1. 2). [5] Nimelt, immutamisel kasutatava killustiku põhifraktsiooni suurima tera suurus ei tohi olla suurem kui 90% laotatud ja eeltihendatud killustikukihi paksusest. [5] Kuid kui kasutada immutamise põhikihina killustiku fraktsiooniga 16/32, siis ei ole reaalsuses võimalik rajada katendit kihipaksusega 2-4 cm.

Vaatamata kiilumiskillustiku fraktsioonide ja nendele vastavate kulunormide olemasolule pole Killustikust katendikihtide ehitamise juhises väljatoodud kiilumisel kasutatava killustikku marke, ega samuti nõudeid omadustele. [5] Bimar katte ehitustööde ajal peab välistemperatuur olema vähemalt +10 C, kuid erinevalt Pindamisjuhise puudub vastav juhend immutatud killustikaluse rajamise kohta saju korral. [5, 7] Sarnaselt pindamisjuhisele on kajastatud, et enne rajatud bituumenmakadam katte liiklusele avamist on vajalik liiklemiskiirust piirata kiirusega 30 km/h kuni aluse täieliku formeerumiseni, kuid pole lahtiseletatud, mille alusel on võimalik katendi formeerumist kindlaks teha. [5, 7] Eesti kogemuse vähesust seoses bimar katete rajamisega kajastab kriteeriumite puudumine, millest lähtuvalt tuleks valida immutatud killustikalusele pindamise tehnoloogia[5, 7]: käesolevas magistritöös analüüsitud lõikude puhul esineb mitmeid erinevaid pindamistehnoloogiaid. Samuti pole ülevaadet, kuidas bimar katete järeltöötlus teostada. [5]

Bituumenmakadamist katetele kehtivad Killustikust katendikihtide ehitamise juhise järgselt täpsed nõuded juhised ehitatud kergkatte kvaliteedikontrolli- kui ka materjalide omaduste osas. [5] Materjalidest proovide võtmine kui ka ehitatud katendi aluse kontrolltoimingud tuleb teostada vastavalt EVS-EN standarditest lähtuvalt. [5]

Magistritöö autori hinnangul tuleks siinkohal Transpordiameti normdokumendid „Killustikust katendikihtide ehitamise juhise“ ning „Pindamisjuhise“ viia reaalse eluga vastavusse, samuti vähendamaks mitmeti tõlgendamisruumi, sest hetkel on tegemist mingil määral eksitava infot andvate juhistega. Palju nõudeid jääb töövõtjale tõlgendamiseks, mis on kindlasti üks põhjuseid, miks on Eestis niivõrd palju erinevaid konstruktsioonilisi lahendusi rakendatud bituumenmakadam katete ehitusel. Järgnevas peatükis analüüsitakse Lõuna-Eestis rajatud bimar katteid, millest saadud info on kahtlemata ka Transpordiameti jaoks edasisel bimar tehnoloogia viljelemise planeerimisel tulevikus abiks.

Tabel 1. 1 Immutatud katte ja aluse ehitamine 4 kuni 6 cm paksuselt [5]

Töö nimetus	Kulunorm	
	Kate	Alus
Immutuskihi põhifraktsiooni fr 16/32 mm laotamine, cm	4 või 6	4 või 6
Eeltihendamine, korduslähikud	4-6	4-6
Eeltihendatud fr 16/32 mm killustikust kihile sideaine valamine, kg/m ²	1,4-2,0	2,4-3,0
Kiilumiskillustiku fr 4/16 mm või 8/16 mm või fr 8/12 (8/11) mm laotamine, kg/m ²	14-16	14-16
Tihendamine, korduslähikud	3-5	4-5
Sideaine valamine, kg/m ²	1,6-2,2	-
Kiilumiskillustiku fr 4/8 mm või 5/8 mm laotamine, kg/m ²	10	-
Tihendamine, korduslähikud	3-4	

Tabel 1. 2 Immutatud katte ja aluse ehitamine 2 kuni 4 cm paksuselt [5]

Töö nimetus	Kulunorm	
	Kate	Alus
Immutuskihi põhifraktsiooni fr 16/32 mm laotamine, cm	2 või 4	2 või 4
Eeltihendamine, korduslähikud	3-5	3-5
Eeltihendatud fr 16/32 mm killustikust kihile sideaine valamine, kg/m ²	1,4-1,8	1,8-2,2
Kiilumiskillustiku fr 4/16 mm või 8/16 mm või fr 8/12 (8/11) mm laotamine, kg/m ²	14-16	14-16
Tihendamine, korduslähikud	3-4	3-4

2. EESTIS RAJATUD BIMAC LÕIKE AASTATEL 2020-2022

2.1 Ülevaade

Käesolevas magistritöös tutvustatakse ja analüüsitakse autori valitud Lõuna-Eestis aastatel 2020-2022 rajatud bimak lõike. Võrreldakse erinevaid konkreetsete lõikude tehnilistes kirjeldustes olevaid konstruktsioonilisi erinevusi, killustiku ja sideaine kulunorme ning materjalidele esitatavaid nõudeid. Magistritöös käsitletavad teelõigud on väljatoodud Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Analüüsitavad teelõigud

Tee number	Tee nimetus	Km	Ehitamise aasta
18157	Miiaste - Kanassaare	0,023-2,012	2020
23140	Sihva - Vidrike - Kärgula - Järvere	20,046-23,747	2020
14163	Adavere - Rutikvere	0,07-1,332	2021
14169	Pajusi - Loopre	1,955-5,128	2021
18167	Kanepi - Ihamaru	10,15-11,828	2021
22234	Vara- Kaitsemõisa	2,694-9,563	2021
25132	Rõuge - Vastseliina	12,098-14,834	2022
22267	Melliste - Heiti	1,747-6,192	2022

Kõik Tabel 2. 1 olevad analüüsitavad teelõigud ehitati nendele vastavatel aastatel tolmuwabaks, seega varasemalt oli nende kõigi puhul tegemist kruusateega, mis ehituse käigus muudeti kõvakattega teeks kasutades bimak tehnoloogiat.

Tabel 2. 1 olevad esimesed kaks teed konstrueeriti 2020. aastal riigihanke „Põlva, Valga ja Võru maakonna kruusateedele tolmuwabade katete ehitus“ raames.

Kolmel analüüsitaval teelõigul andis oma panuse samuti ka käesoleva magistritöö autor, olles pindamistöode (sh ka killustikaluse immutamisel) projektijuht. Need olid 2021 sügisel teostatud bimak katted teedel Adavere-Rutikvere, Pajusi-Loopre ning Kanepi-Ihamaru. Seega nimetatud objektide analüüsimisel pannakse suuremat rõhku tööde tehnoloogia kajastamisele ning tähelepanekute suhtes.

Tehnilistes kirjeldustes etteantud lähteülesannete puhul seob kõiki analüüsitavaid objekte pos 1 purustatud kruusast kattekihi ehitamise nõue, küll aga kihipaksused olid erinevad. Immutatud killustikaluse puhul jäi põhifraktsiooni kihipaksus $h=6$ cm ja materjali tüüp lõiguti samaks, kuid kasutatav killustiku fraktsioon kohati erines. Pindamistööd oli tehniliste kirjelduste järgselt ettenähtud teostada Transpordiameti normdokumendist „Pindamisjuhhis“ lähtuvalt. Pindamisel kasutatud graniitkillustiku

fraktsiooni ning pindamiskordade arvu puhul esines erinevusi. Järgnevatel alapeatükkides analüüsitakse väljaehitatud lõikude konstruktsioonilisi erinevusi.

2.2 Riigitee 18157 Miiaste-Kanassaare km 0,023-2,012

Aastal 2020 konstrueeriti Põlva maakonnas asuvale riigiteele nr 18157 Miiaste-Kanassaare km 0,023-2,012 tolmuva kate bimar meetodil. Olemasoleva kruusatee katte keskmiseks laiuks mõõdeti Transpordiameti esindaja poolt 6,53 m. [8] 2019. aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus oli Transpordiameti loenduse andmetel 138 autot ööpäevas, millest sõiduautod ja pakiautod moodustasid 95%, autobussid 1% ning autorongid 4%. [8] Tolmuva kate oli ettenähtud kergimmutatud killustikalus ehk bimar kate koos 1,5-kordse pindamisega. [8] Tehnilise kirjelduse järgselt tuleb põhitee konstruktsiooni valikul juhendada killustikust katendikihtide ehitamise juhendist ja pindamisjuhiseist, sest täpseid kiilumis- ja pindamiskillustiku ega ka sideaine kulunorme pole ette antud. Täpne väljaehitatud tee konstruktsioon on näidatud Tabel 2. 2.

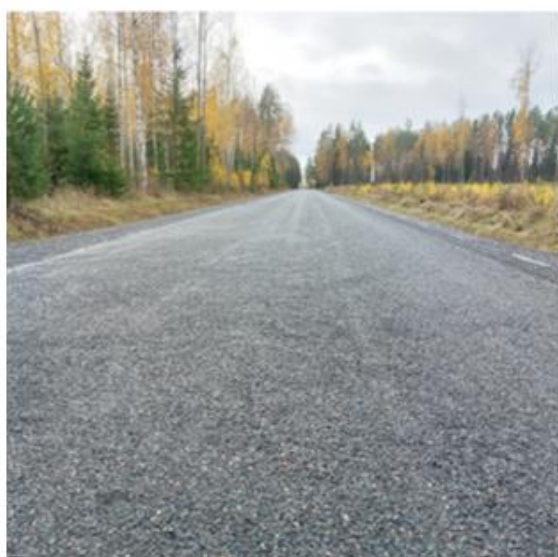
Tabel 2. 2 T18157 ehitatud konstruktsioon [9]

Töö nimetus	Kulunorm	
	Sideaine kg/m ²	Killustik kg/m ²
Purustatud kruusast (pos. 1) kiht h=15 cm	-	-
Immutuskihi põhifraktsiooni fr 16/32 mm laotamine h=6 cm	-	-
Eeltihendatud immutuskihile sideaine C67B4 valamine Kiilumiskillustiku (kruuskillustik) fr 8/16 mm laotamine	2,21	14,05
Sideaine C67B4 valamine Kiilumiskillustiku (kruuskillustik) fr 4/8 mm laotamine	2,58	11,21
1,5x pindamine fr 8/12+4/8	2,42	11,06/5,03

2.2.1 Tee hetkeseisukord

Magistritöö autor käis Miiaste-Kanassaare lõiku vaatlemas 20.10.2022, mil ühtlasi teostati puurkehade võtmine. Autorile teadaolevalt oli vaatluse ajaks sellele teele rajatud juba täiendav kulumiskiht pindamise näol. Peamise põhjusena tõid asjaosalised välja katendi pealispinnast suurel määral paekillustiku läbikumamise, mistõttu võeti vastu otsus rajada täiendav tehnoloogiline kulumiskiht. Üleüldine seisukord oli sügisel 2022 autori hinnangul väga hea: pragusid ei esinenud, samuti polnud tunda kasutajamugavust häirivaid ebatasasusi. Joonis 2. 1 nähtub, et peale täiendava pindamistöö teostamist on kulumiskiht kaetud graniitkillustikuga, mis on moodustanud ühtlase tekstuuriga tasase ning veetiheda kooriku. Siinkohal saab järeldada, et bituumenmakadamkatete ehitusel tuleks pindamine teostada vähemalt kahekordne või siis vähemalt viimane kiilumine graniitkillustikku kasutades. Sellist lähenemist

kasutades jääb hea ehitustava järgselt tegutsedes enamus osa teest ilma paekivi paljandumiseta, ehk ei oleks vajadust täiendava kulumiskihi, mille teostamist finantseerib tihtilugu lepinguline töövõtja, rajamisele.



Joonis 2. 1 T18157 seisukord okt 2022

2.3 Riigitee 23140 Sihva - Vidrike - Kärgula – Järvere km 20,046-23,747

Sarnaselt eelnevas alapeatükis kajastatud teelõigule, konstrueeriti 2020. aastal varasemalt väljatoodud Transpordiameti hanke raames riigiteele nr 23140 Sihva – Vidrike – Kärgula – Järvere km 20,046-23,747 tolmuvaba kate bimac meetodil. Aastane keskmine ööpäevane liiklussagedus sel lõigul oli 2019. aastal 104 autot, millest raskeliiklus moodustas 2%, seega võrreldes Miiaste-Kanassaare lõiguga oli antud lõigul ligi veerandi võrra väiksem liiklussagedus. [10]

Võrreldes eelnevalt analüüsitud riigiteega, oli tehnilise kirjelduse järgselt T23140 puhul mitmed konstruktsioonilised muutused. Näiteks, sidumata segu ehk antud juhul pos 1 kruuskatte paksus 15 cm asemel 10 cm, lisaks teise kiilumiskihi puhul kasutati graniitkillustikku ning teostati 1,5x pindamise asemel 1x pindamine. Täpne konstruktsioon on väljatoodud Tabel 2. 3.

Tabel 2. 3 T23140 ehitatud konstruktsioon [9]

Töö nimetus	Kulunorm	
	Sideaine kg/m ²	Killustik kg/m ²
Purustatud kruusast (pos. 1) kiht h=10 cm	-	-
Immutuskihi põhifraktsiooni fr 16/32 mm laotamine h=6 cm	-	-
Eeltihendatud immutuskihile sideaine C67B4 valamine Kiilumiskillustiku (paekillustik) fr 8/16 mm laotamine	3,09	16
Sideaine C67B4 valamine Kiilumiskillustiku (graniitkillustik) fr 4/8 mm laotamine	2,26	11
1x pindamine fr 8/12	2,31	15

2.3.1 Tee hetkeseisukord

Riigitee nr 23140 Sihva - Vidrike - Kärgula – Järvere ülevaatus teostati autori poolt oktoobris 2022. Üldine katte seisukord oli hea, kuid siiski esines näiteks talihooldusel tekkinud kahjustusi, mil tappteraga on lund lükatud (vt. Joonis 2. 2). Madalamate temperatuuride puhul muutub sideaine hapramaks, mistõttu kulumiskiht on hapram: graniitkillustiku ning sideaine vaheline nake ei ole piisav hoidmaks talvisel teehooldusel valedest töövahenditest põhjustatud kahju ära. Seega tuleks magistritöö autori hinnangul panna suuremat rõhku teehooldele, pikendamaks bimac katte eluiga.

Murekohaks on veel pindamistöid hõlmav lähteülesanne. Nimelt, tehnilise kirjelduse kohaselt tuli antud lõigul paigaldada 1-kordne pindamiskiht, erinevalt eelnevalt kajastatud teest, mil puhul teostati 1,5-kordne pindamine kahte erinevat graniitkillustikufraktsiooni kasutades (8/12 ja 4/8). Paigaldatud ühe pinnatud kihi jaoks kasutati fraktsioon 8/12 killustikku, mistõttu jäi katte tekstuur üsna poorne. Samuti oli valget kivi (st paekivi) visuaalselt Joonis 2. 2 näha, mis näitab, et teisel kiilumisel kasutatud fr 4/8 graniitkillustik on esimesel kiilumisel kasutatud fr 8/16 vahedesse paigutatud ehk on moodustunud on ühtlane tasapind. Pindamiskillustik fr 8/12 graniit on seevastu võrreldes fr 4/8 killustikuga nii palju suurema teramõõduga, et katte pealispind jääbki poorne. Lahedus oleks olnud lisakulumiskiht fr 4/8 fraktsiooniga pinnates rajada – saavutatava tulemusena oleksid hetkel olevad poorid suurel määral täidetud ning katte pealispind ühtlase tekstuuriga.



Joonis 2. 2 T23140 seisukord okt 2022

2.4 Riigitee 14163 Adavere - Rutikvere km 0,07 – 1,332

Vastavalt 2021. aastal aset leidnud Transpordiameti riigihankele „Jõgeva maakonna kruusateedele katte ehitus“ konstrueeriti riigiteele nr 14163 Adavere-Rutikvere km 0,07-1,332 bimak meetodil tolmuvaba kate. Aasta keskmine liiklussagedus 2019. aasta liiklusloenduse andmetel oli 113 autot ööpäevas, millest sõiduautod ja pakiautod moodustasid 90% ning autorongid 10%. [11]

Võrreldes eelneva kahe analüüsitud lõiguga kasutati käesoleval juhul immutatud killustikaluse põhifraktsioonil fr 16/32 asemel fr 8/22 killustikku, mis etteruttavalt kirjutatuna annab katendi pealispinna tasasusele hea tulemuse. Pikemalt analüüsitakse tasasusnäitajaid järgmises peatükis. Immutatud killustikalus kiiluti kahe korra asemel üks kord, kasutades paekillustikku fraktsiooniga 4/16. Pindamine teostati kahes kihis kasutades mõlemal puhul sama fraktsiooniga 4/8 graniitkillustikku. Täpsem konstruktsiooniline info on Tabel 2. 4.

Tabel 2. 4 T14163 ehitatud konstruktsioon [9]

Töö nimetus	Kulunorm	
	Sideaine kg/m ²	Killustik kg/m ²
Purustatud kruusast (pos. 1) kiht h=10 cm	-	-
Immutuskihi põhifraktsiooni fr 8/22 mm laotamine h=6 cm	-	-
Eeltihendatud immutuskihile sideaine C67B4 valamine Kiilumiskillustiku (paekillustik) fr 4/16 mm laotamine	3,19	15
2x pindamine fr 4/8 (1. kiht)	2,25	14
2x pindamine fr 4/8 (2. kiht)	1,90	14

2.4.1 Tee hetkeseisund

Adavere-Rutikvere lõigul ehitati immutatud killustikalus 2021. aasta septembri alguses ning vahetult peale seda tehti ka esmane pindamine. Vaatamata sellele, et antud aasta september oli harvaesinevalt sademetevaene, mis soodustas pindamistöid, ei saanud katte kulumiskiht enne talve piisavalt tugevneda. Asjaolu, et sellel teelõigul on raskeliikluse osakaal 10%, on suure tõenäosusega üheskoos hilise pindamistöde teostamisega aidanud kaasa teekatte lagunemisele.

Joonis 2. 3 nähtub, kuidas valget värvi killustik (paekillustik) kumab läbi katte pealispinna, seda eelkõige sõidujälgedes. Lisaks esines niisamuti talvisel teehooldel kasutatud tappteraga lumelükkamise jälgi. Garantiitööde raames on ribapindamise läbi parandatud lokaalseid liikluse mõjul lagunenuid kohti.



Joonis 2. 3 T14163 seisukord okt 2022

2.5 Riigitee 14169 Pajusi - Loopre km 1,955-5,128

Vastavalt tehnilisele kirjeldusele oli riigieelarve vahenditest kavandatud ehitada riigiteele nr 14169 Pajusi – Loopre km 1,955-5,128 bimac meetodil tolmuva kate. [12] Käesoleval lõigul oli aastane keskmine liiklussagedus 2019. aastal 80 autot ööpäevas, millest veoautod ja autobussid moodustasid 8%. [12] Tabel 2. 5 nähtub, et sarnaselt Adavere-Rutikvere teele tolmuva kate ehitusega kasutati ka siinkorral kahekordset pindamist, misjuures graniitkillustiku fraktsioon jäi samaks. Peamine erinevus oli bimac kate põhifraktsiooni muutmine fr 8/32 peale ning seda seetõttu, et paekillustikukarjäär ei jõudnud piisavalt kiiresti 8/22 materjali toota ning otsustati kiirelt optimaalse lahenduse kasuks, et maksimaalselt sademetevaest septembrikuud ära kasutada.

Tabel 2. 5 T14169 ehitatud konstruktsioon [9]

Töö nimetus	Kulunorm	
	Sideaine kg/m ²	Killustik kg/m ²
Purustatud kruusast (pos. 1) kiht h=10 cm	-	-
Immutuskihi põhifraktsiooni fr 8/32 mm laotamine h=6 cm	-	-
Eeltihendatud immutuskihile sideaine C67B4 valamine Kiilumiskillustiku (paekillustik) fr 4/16 mm laotamine	3,18	15
2x pindamine fr 4/8 (1. kiht)	2,25	14
2x pindamine fr 4/8 (2. kiht)	1,89	14

2.5.1 Tee hetkeseisukorra hinnang

2021. aasta septembris rajatud bimac kate koos kahekordse fr 4/8 pindamisega on aasta aega hiljem autori hinnangul üsna hästi vastu pidanud, mida tõendab Joonis 2. 4. Mõningal määral esineb paekivi läbikumamist kate pealispinnast, niisamuti nagu Adavere-Rutikvere tee puhul seda eelkõige sõidujäljes, kuid käesolev lõik on kindlasti paremas seisukorras kui eelnev ning selle peamine põhjus on autori arvates nii väiksem liiklussagedus kui ka väiksem raskeliikluse maht.



Joonis 2. 4 T14169 seisukord okt 2022

2.6 Riigitee 18167 Kanepi-Ihamaru km 10,15 – 11,828

Aastal 2021 tellis Transpordiamet ehitushanke „Põlva maakonna kruusateedele katte ehitus“ raames riigiteele nr 18167 Kanepi – Ihamaru km 10,15-11,828 bimac meetodil tolmuva kätte konstrueerimise. 2019. aasta loenduse andmetel oli aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus vastaval lõigul 117 autot, millest veoautod ja autobussid moodustasid 7%. [13] Tabel 2. 6 on väljatoodud Kanepi-Ihamaru teel realiseeritud konstruktsioon, mille puhul on võrreldes eelnevalt analüüsitudle on mõningad erinevused.

Immutuskihi põhifraktsioonina kasutati fr 16/32 paekillustikku, kiilumiskihi paigaldus toimus ühe korra, mille puhul kasutati fr 4/16 paekillustikku. Pindamine oli ettenähtud, analoogselt eelmisele kahele lõigule, kahekordne, kusjuures kasutati samuti fr 4/8 graniitkillustikku.

Tabel 2. 6 T18167 ehitatud konstruktsioon [9]

Töö nimetus	Kulunorm	
	Sideaine kg/m ²	Killustik kg/m ²
Purustatud kruusast (pos. 1) kiht h=10 cm	-	-
Immutuskihi põhifraktsiooni fr 16/32 mm laotamine h=6 cm	-	-
Eeltihendatud immutuskihile sideaine C67B4 valamine Kiilumiskillustiku (paekillustik) fr 4/16 mm laotamine	3,11	15
2x pindamine fr 4/8 (1. kiht)	2,14	14
2x pindamine fr 4/8 (2. kiht)	2,14	14

2.6.1 Tööde teostus

Nagu varasemalt mainitud, on Kanepi-Ihamaru km 10,15-11,828 tolmuva kate ehitus bimac meetodil üks kolmest käsitletavast lõigust, mis on valminud käesoleva magistritöö autori käeläbi, olles sellesse protsessi kaasatud pindamistöde projektijuhina. Kuna lõputöös analüüsitavate bimac katete lõikude valmimisprotsess on vägagi sarnane, pole mõistlik igaühe puhul teatud töid kirjeldada, seega autor valis selle lõigu välja detailsemaks tööde kirjelduseks.

Tehnilise kirjelduse kohaselt oli olemasoleva tee laius 7 meetrit, küll aga mõningase mööndusega ühel lõigul, mil puhul oli ettenähtud tee muldkeha laiendamine. Töövõtja mõõtis niisamuti ka ise olemasoleva kruusatee laiused üle peale teekatte põikkalde nõutud vahemikku (kahepoolse kalde puhul 3,5% ja viraažides 4-6% kurvi tsentri suhtes[13]) greiderdamist, mille järgselt veenduti, et rohkem tee laiemaks tegemise vajadust pole. Kindlasti tasub meeles pidada, et tee laiuste kontrollimine tuleks teostada peale esialgset tee profileerimist, sest ajapikku on tee servadesse, mis sõidukoormusest jäävad puutumata, tekkinud rohuriba, mille greideriga eemaldamisel paljandus tegelikult sama kruuskate nagu ülejäänud tee puhul.

Sõidutee mõlemale poole tuli rajada muldkeha niiskusrežiimi alandamiseks kraavid. Enne kraavide kaevamist märgiti välja vajalik minimaalne tee laius, seejuures arvestades, et iga konstruktsioonikiht on võrreldes järgnevaga laiem. Lõigus, kus oli vajalik muldkeha laienduse ehitamine, teostati see kaevates tee muldesse täisnurkne nõ aste, mis täideti kruusliivaga. Astme lõikamine on vajalik, sest vastasel korral ei fikseeruks tee laienduseks paigaldatud materjal, vaid nihkuks mööda olemasolevat kaldpinda tee teljest suhtes kaugemale.

Järgmine tööetapp oli pos 1 purustatud kruusa laotamine kihipaksusega 10 cm. Selleks oli eelnevalt arvutatud mitu meetrit keskmiselt ühe poolhaagise koorma materjaliga ehitada saab. Seejuures tuli arvestada tee laiust, ühe koorma keskmist massi, materjali mahumassi. Lõigule toodud kruus paigaldati esmalt buldooseriga, hilisem profileerimine teostati greideriga.

Järgnes bimac katte ehitus, mille käigus laotati asfaldilaoturiga 6 cm paksune kiht fr 16/32 killustikku. Tööde tegemisel kasutati pool-pool meetodit, sest kõrvalist liiklust võis Transpordiameti suunitlustest lähtuvalt sulgeda vaid põhiteetruupide ehitusel. Väljaehitatud killustikaluse maksimaalseks säilimiseks oli materjali objektile kohalevedu suur logistiline ülesanne, leidmaks optimaalne marsruut. Kasutati maksimaalselt ümberkaudseid teid, vähendamaks värske bimac katte kahjustusi. Lisas 8.1 on pildid bituumenmakadam katte ehitusest.

Kiilumiskillustiku paigaldamine toimus pindamistehnikaga, sest olemuselt on tegemist justkui pindamistöoga. Erisus paikneb vaid sideaine kulunormis ning kasutatava killustiku tüübis ja fraktsioonis. Peale bimac katte valmimist teostati koheselt ka esimene kihi pindamine, sest vastasel korral oleks liikluse all katte kvaliteet suuremal määral halvenenud. Teine pindamiskiht paigaldati ca ühe nädala möödudes mil sideaine ja graniitkivi vahel oli esmane nake saavutatud. Lisas 8.2 on pildid pindamistööst.

2.6.2 Tee hetkeseisukorra hinnang

Kanepi-Ihamaru teelõigu ülevaatus toimus esmalt peale esimese talve möödumist st kevadel 2022 ning teisel korral oktoobris 2022 puurkehasid võttes. Joonis 2. 5 nähtub, et peale talve on ilmnenud külmakerkeline koht, pinnatud kate on liikluse mõjul lagunenu. Autori mäletamist mööda esines seal üks analoogne olukord veel, kuid paraku sellest fotot pole. Siinkohal lõputöö autor rõhutab, kui oluline on ehitushanget koostades tellijal teha kohalike olustike kohta põhjalikum uuring, saamaks teada külmakerkelised kohad, kus kevaditi esineb kandevõimekadu. Kindlasti tuleks konsulteerida tee hooldajaga, lisaks ka mõne kohaliku elanikuga, kes vaadeldavat lõiku tihti kasutavad.

2022. aasta oktoobriks ehk teise ülevaatus ajaks olid külmakerkelised kohad pindamisega ära parandatud. Tee katte seisukord oli küllalt hea, kuigi esines paekillustiku paljandumist – seda eelkõige sõidujälgedes. Tekkinud olukorra peamine põhjus on küllaltki suureteraline bimac katte põhifraktsioon ehk 16/32 paekillustiku kasutamine koos ühekordse immutusega, mistõttu on tekkinud olukord, kus pindamiskillustik on sõidujälgedes nihkunud bimac katte sisse.



Joonis 2. 5 T18167 seisukord okt 2022 (vasakul) ja aprill 2022 (paremal)

2.7 Riigitee 22234 Vara-Kaitsemõisa km 2,694-9,563

Seoses 2021. aastal toimunud Transpordiameti hankega „Tartu maakonna kruusateedele katte ehitus“ ehitati bimac meetodil kate riigiteele nr 22234 Vara – Kaitsemõisa km 2,694-9,563. Aasta keskmine liiklussagedus 2019. aasta loenduse andmetel oli antud lõigul 77 autot ööpäevas, millest sõiduautode ja pakiautode osakaal oli 68% ning autorongid moodustasid 32%.[14] Seega ligi kolmandiku koguliiklusest moodustavad autorongid, mis on võrreldes eelnevalt analüüsitud lõikudega mitmeid kordi suurem määr.

Väljaehitatud konstruktsioon on Tabel 2. 7, mille kohaselt on seekord killustiku fraktsioonid ülemistes kihtides järjest väiksemad kui alumistes, sealhulgas ka pindamise puhul fr 8/12 ja 4/8. Seega teoorias ülemises kattekihis poorid olema täielikult täidetud ning kogu konstruktsioon vett mitte läbilaskev ja tasane.

Tabel 2. 7 T22234 ehitatud konstruktsioon [9]

Töö nimetus	Kulunorm	
	Sideaine kg/m ²	Killustik kg/m ²
Purustatud kruusast (pos. 1) kiht h=10 cm	-	-
Immutuskihi põhifraktsiooni fr 16/32 mm laotamine h=6 cm	-	-
Eeltihendatud immutuskihile sideaine C67B4 valamine Kiilumiskillustiku (paekillustik) fr 8/16 mm laotamine	2,20	14,60
2x pindamine fr 8/12 (1. kiht)	2,25	14,50
2x pindamine fr 4/8 (2. kiht)	2,72	14,10

Siinkohal on järgitud kergkatteid ehitava ettevõtte OÜ ÜLE töötaja Rein Freibergi põhimõtteid, mis on tema poolt esitletud üritusel „Pindamispäev 2022“, mille kohaselt konstruktsioon tuleks alati projekteerida jämedamast killustiku fraktsioonist allpool

järjest väiksemaks ülespoole. [15] Ühesõnaga, ülemine kiht peab olema piisavalt tihe ja pooridevaba, takistamaks sadevee valgumist teekonstruktsiooni.

2.7.1 Tee seisukorra hinnang

2022. aasta sügisel ehk aasta aega peale tee valmimist toimunud vaatlusel oli riigitee Vara – Kaitsemõisa üldine seisukord väga hea. Siiski lõputöö autorile teadaolevalt teostati paekillustiku paljandumise tõttu aasta peale teekatte rajamist *fog seal* ehk nõudupindamine, mis kujutab endast pindamist peenefraktsioonilise (nt fr 0/4) graniitkillustikuga täitmaks katte pealispinnas olevad poorid. Täiendav töö tagas teele ühtlaselt vett hüljava funktsiooni, samuti parandas mõningal määral taset. Vaatamata suurele raskeliikluse osakaalule polnud sõidujälgedes valget killustikku paljandunud peale *fog seal* tehnoloogia rakendamist (vt Joonis 2. 6). Seega võib järeldada, et bimac kattetüüp sobib ka teedel, millel esineb protsentuaalselt suuremal määral raskeliiklust, kuid kindlasti tuleks kaaluda järgneval aastal täiendava kulumiskihi rajamise peale tagamaks sõiduteele pikem ekspluatatsiooniaeg.



Joonis 2. 6 T22234 seisukord okt 2022

2.8 Riigitee 22267 Melliste – Heiti km 1,747-6,087 tolmuvaba katte

Viimasena kruusateedele bituumenmakadam katte ehitamise lõikudest 2021. aasta analüüsitakse käesolevas magistritöös Tartu maakonnas asuvat teed nr 22267 Melliste – Heiti km 1,747-6,087. Aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus sel lõigul oli 2019.

aasta liiklusloenduse andmetel 81 autot, millest sõiduautod ja pakiautod moodustasid 88%, veoautod ja autobussid 1% ning autorongid 11%. [16] Arvestamata eelmisena analüüsitud Vara-Kaitsemõisa lõiku, kvalifitseerub hetkel vaadeldav lõik oma raskeliikluse osakaalu suhtes esikohale. Tasub meelde tuletada, kuidas eelneva lõigu näitel oli bimac katte ehitus protsentuaalselt suurema raskeliiklusega teele teatud nüansse arvestades sobilik tehnoloogia. Tabel 2. 8 on lahtikirjutatud Melliste – Heiti sõiduteele realiseeritud tee konstruktsioonilahendus. Erinevalt eelnevalt kajastatud Tartu maakonna kruusateedele katte ehituse raames rajatud lõigule, paigaldati kiilumiskihit sel puhul kahel korral: esmalt fraktsiooniga 8/16 ning teisena fraktsiooniga 4/8. Pindamine tehti analoogselt eelnevale lõigule kahe erinevat fraktsiooni graniitkillustikku kasutades.

Tabel 2. 8 T22267 ehitatud konstruktsioon[9]

Töö nimetus	Kulunorm	
	Sideaine kg/m ²	Killustik kg/m ²
Purustatud kruusast (pos. 1) kiht h=10 cm	-	-
Immutuskihi põhifraktsiooni fr 16/32 mm laotamine h=6 cm	-	-
Eeltihendatud immutuskihile sideaine C67B4 valamine Kiilumiskillustiku (paekillustik) fr 8/16 mm laotamine	2,20	14,20
Sideaine C67B4 valamine Kiilumiskillustiku (paekillustik) fr 4/8 mm laotamine	2,50	12,20
2x pindamine fr 8/12 (1. kiht)	2,20	7,50
2x pindamine fr 4/8 (2. kiht)	2,70	14,60

2.8.1 Tee seisukorra hinnang

Joonis 2. 7 on kujutatud riigitee Melliste – Heiti katte pealispinda 2022. aasta sügisel. Sarnaselt eelnevalt analüüsitud lõigule on ka praegusel juhul katte pealispind väga heas seisus: ühtlaselt tasase tekstuuriga, graniidikivivärvi st paekivi pole paljandunud ehk ühesõnaga on moodustunud tugev vett mitteläbilaskev koorik. Lõputöö autori hinnangul andis saavutatud tulemusel suure panuse bituumenmakadam katte kahekordne kiilumine, mille tulemusel oli kiilutud killustikupind ühtlase tekstuuriga, kuhu vahele pindamisel kasutataval graniitkillustikukivil ei olnud enam vajuda võimalik. Autori mõtet toetab ka Transpordiameti taristu ehitamise ja korrashoiu osakonna lõuna üksuse ehituse juhtivinseneri Toomas Tõnuristi esitatud presentatsioon Pindamispäev 2022 üritusel, kus on väljatoodud, et ühe kiilumiskihiga immutatud katete puhul tuvastati rohkem paekivi paljandumist. [2]



Joonis 2. 7 T22267 seisukord okt 2022

2.9 Riigitee 25132 Rõuge - Vastseliina km 12,098-14,834

Viimasena käsitletakse magistritöös ühte 2022. aastal rajatud bimac katet Võru maakonnas asuval riigiteel nr 25132 Rõuge – Vastseliina km 12,098-14,834. Aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus oli 2019. aasta liiklusloenduse andmetel 89 autot, millest veoautod ja autobussid moodustasid 5%. Tabel 2. 9 on väljatoodud Rõuge-Vastseliina teele ehitatud lahendus, mille raames piirduti ühekordse bituumenmakadamkatte kiilumisega. Pinnati taaskord kahekordselt ja seda erinevat graniitkillustiku fraktsiooni kasutades.

Tabel 2. 9 T25132 ehitatud konstruktsioon [9]

Töö nimetus	Kulunorm	
	Sideaine kg/m ²	Killustik kg/m ²
Purustatud kruusast (pos. 1) kiht h=10 cm	-	-
Immutuskihi põhifraktsiooni fr 16/32 mm laotamine h=6 cm	-	-
Eeltihendatud immutuskihile sideaine C67B4 valamine Kiilumiskillustiku (paekillustik) fr 8/16 mm laotamine	2,18	15
2x pindamine fr 8/12 (1. kiht)	2,33	14,59
2x pindamine fr 4/8 (2. kiht)	2,11	13,04

2.9.1 Tee seisukorra hinnang

Joonis 2. 8 on kujutatud riigitee Rõuge – Vastseliina kate pealispinna seisukord 2022. aasta sügisel, seega pinnatud kate oli sel ajal veel suhteliselt värske. Joonis 2. 8 nähtub, et ääremarkeeringute vaheline osa on tumedamat tooni kui nõ kindlustatud peenar – selle põhjus on taaskord *fog seal* tehnoloogia kasutamine töövõtja poolt, seekord ennetamiseks külma ja niiske aja liikluskoormuse põhjustatud kahjustusi.



Joonis 2. 8 T25132 seisukord okt 2022

Siiski, nagu võib ka Joonis 2. 8 näha, on sõidujälgedes paekillustik läbi autorehvi laiuselt vähesel määral paljandunud, mis annab alust järeldada, et pindamisel kasutatud graniitkillustik on osaliselt bimar kate põhifraktsiooni vahele nihkunud. Ülejäänud teekatte seisukorra üldmulje on väga hea, kuid tõele aru andes polnud sellele lõplikule järeldusele jõudmiseks veel piisaval ajahulgal liikluskoormust rakendunud.

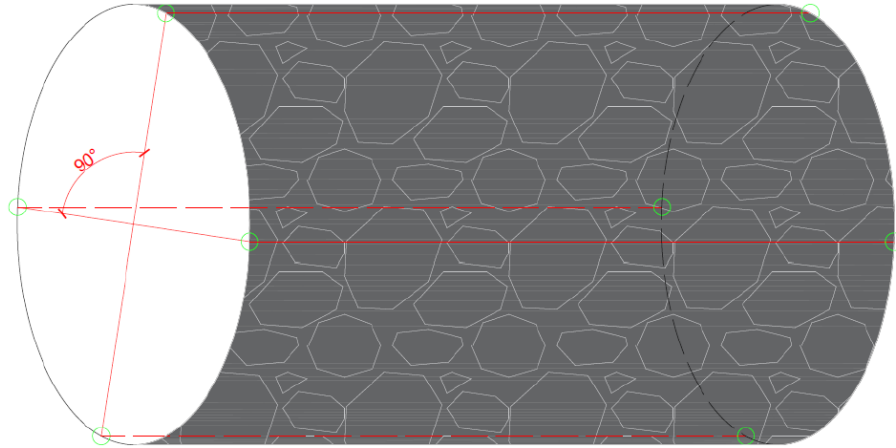
3. RAJATUD BIMAC LÕIKUDE TÄIENDAV ANALÜÜS

3.1 Puurkehad

2022. aasta oktoobris teostati käesoleva magistr töö autori poolt analüüsitava telõikudel 15 cm diameetriga puuriga puurkehade võtmine, saamaks ülevaate millises ulatuses on bituumen tee konstruktsiooni sisse imunud. Iga katselõigu puhul võeti kokku kolm puurkeha ning seda samast ristlõikest: vasak serv, tee telg, parem serv. Olgu öeldud, et puurkehade paksused varieerusid kohati mitmekordselt, kuid selle põhjus on eelkõige erinev bituumeni imbumise ulatus teekonstruktsioonis, mitte puurkehade võtmisel tekkinud viga. Käesolevas alapeatükis on illustreeritud kõikide eelnevalt kirjeldatud telõikude puurkehad mitmes vaates, saamaks üldpilti samuti ka katte pealispinna tekstuurst. Kõikide analüüsivate lõikude puhul oli bituumenmakadamkatte ehitamisel killustiku asfaldilaoturiga paigaldamisel tihendatud kihipaksus $h=6$ cm, mis paigaldati tihendatud fr 0/32 pos 1 purustatud kruuskattele, millest võib järeldada, et võrreldes bimak katte põhikillustikaluse fraktsiooniga, on palju väiksema filtratsiooniga kruusa olemasolu puurkehades minimaalne, sest sellel kattepinna ei eksisteeri arvestataval määral avatud poore, kuhu bituumen imbuda saaks.

Puurkehade kihipaksus määrati vastavalt katsestandardile EVS-EN 12697-36:2003, mille kohaselt puurkeha paksus on mõõdetud risti vastava keha ülemise tasandi suhtes. [17] Erinevalt kirjeldatud standardist ei mõõdetud seekord iga puurkeha puhul neli lugemist, vaid kaks, sest tihtilugu bituumeni imbumine varieerus puurkeha eri külgedel mitmekordselt – seega mõõdeti maksimaalne ja minimaalne väärtus 1 mm täpsusega. Joonis 3. 1 kujutab lõputöö raames kasutatud puurkehade paksuse mõõtmise meetodikat. [17, 18]

Arvesse tuleb ka võtta, et näiteks fr 16/32 killustikaluse puhul esinevad võrreldes mõõtmistulemuste täpsusega ebaproportsionaalse suurusjärguga kivid, mille puurkehast pudenemine või mittepudenemine annab mõõdetud bituumenmakadam kihi paksusele suuri erinevusi. Seega võib eeldada, et mõõtmistulemuste erinevused on suured, kuna kasutati erinevat killustiku põhifraktsiooni (nt fr 8/22 vs fr 16/32), samuti valatud sideaine kulunormid olid erinevad. Eriti loeb bimak katte immutuskihi põhifraktsioonile paigaldatud sideaine maht, sest sellest sõltub, kui suures mahus on kandevkonstruktsioon sideainega küllastunud.



Joonis 3. 1 Puurkehade immutuse paksuse määramise skeem [17]

3.1.1 Sideaine kogused

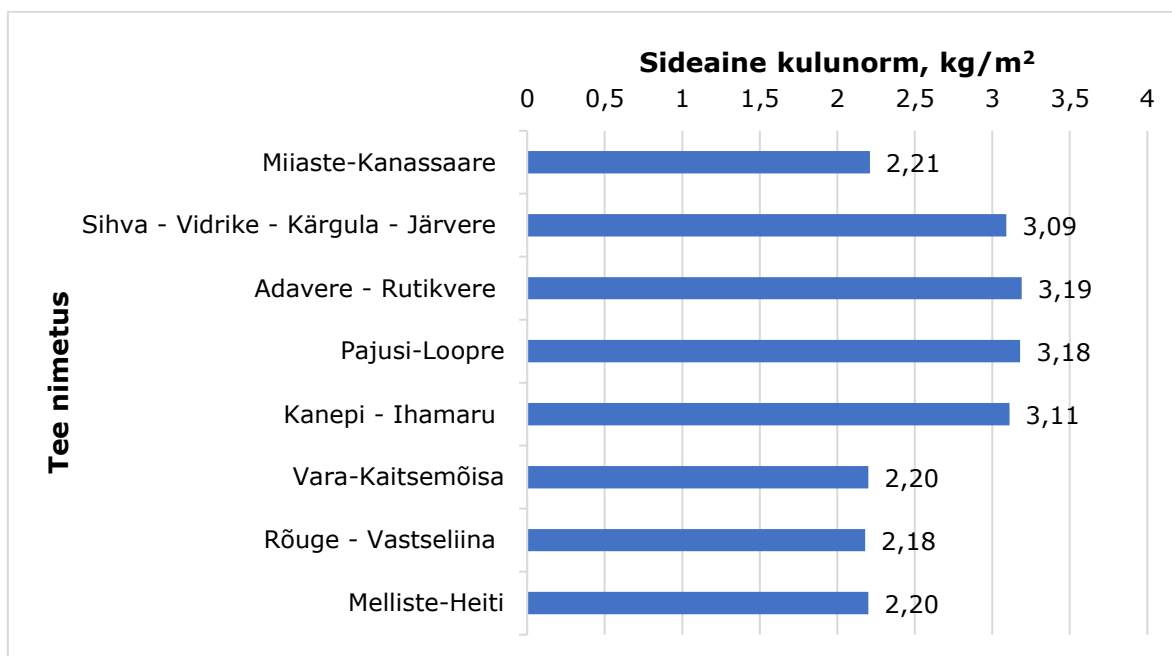
Analüüsitavate bimar katete ehitusel kasutatava sideaine kulunormide puhul oli vajalik tehniliste kirjelduste järgselt lähtuda Killustikust katendikihtide juhiseist ning Pindamisjuhiseist. Kasutatud bituumensideaine kulunormid olid lõiguti üsna erinevad (kohati kuni ca 50%), mida näitab ka Tabel 3. 1, kus on väljatoodud kõikide katselõikude täielik konstruktsioon ning kasutatud bituumensideaine kogused ruutmeetri kohta.

Tabel 3. 1 Kasutatud bituumensideaine kogused [9]

Bimac kate + pindamine		Materjal (nimetus, tüüp, fraktsioon)	Sideaine
Tee nr.	Tee nimetus		kg/m ²
18157	Miiaste-Kanassaare	pr kr pos 1	-
		16/32 pae	-
		immutus fr 8/16 kr kild	2,21
		immutus fr 4/8 kr kild	2,58
		1,5x pindamine: 8/12+4/8	2,42
23140	Sihva - Vidrike - Kärgula - Järvere	pr kr pos 1	-
		16/32 pae	-
		immutus fr 8/16 pae	3,09
		immutus fr 4/8 graniit	2,26
		pindamine fr 8/12	2,31
14163	Adavere - Rutikvere	pr kr pos 1	-
		8/22 pae	-
		immutus fr 4/16 p	3,19
		pindamine fr 4/8	2,25
		pindamine fr 4/8	1,9
14169	Pajusi-Loopre	pr kr pos 1	-
		8/32 pae	-
		immutus fr 4/16 pae	3,18
		pindamine fr 4/8	2,25
		pindamine fr 4/8	1,89
18167	Kanepi - Ihamaru	pr kr pos 1	-
		16/32 pae	-
		immutus fr 4/16 pae	3,11
		pindamine fr 4/8	2,14
		pindamine fr 4/8	2,14
22234	Vara-Kaitsemõisa	pr kr pos 1	-
		16/32 pae	-
		immutus fr 8/16 pae	2,20
		pindamine fr 8/12	2,25
		pindamine fr 4/8	2,72
25132	Rõuge - Vastseliina	pr kr pos 1	-
		16/32 pae	-
		immutus fr 8/16 kr	2,18
		pindamine fr 8/12	2,33
		pindamine fr 4/8	2,11
22267	Melliste-Heiti	pr kr pos 1	-
		16/32 pae	-
		immutus fr 8/16 pae	2,20
		immutus fr 4/8 pae	2,50
		pindamine fr 8/12	2,20
		pindamine fr 4/8	2,70

Bituumenmakadam katte puhul sideaine imbumise ulatust mõjutab eelkõige järjekorras esimesel immutamisel rakendatud kulunorm. Järgnevad immutamised täidavad mõningal määral kihi pealispinnal olevaid poore, kuid ei ole enam niivõrd suure osatähtsusega. Sellest põhimõttest lähtuvalt on Joonis 3. 2 kujutatud vaadeldavate

bimac katete immutuskihi põhifraktsioonis kasutatud sideaine kulunorme. Joonis 3. 2 nähtub, et pooltel lõikudel laotati sideainet kulunormiga üle 3 kg/m² ning ülejäänud neljal lõigul sarnases suurusjärgus ca 2,20 kg/m². Lisaks ilmneb, et analüüsitavate 2020. aastal rajatud Sihva – Vidrike – Kärgula – Järvere lõigul on ca 50% suurem laotatud sideaine kulunorm kui Miiasta – Kanassaare puhul (3,09 kg/m² vs 2,21 kg/m²). Lõputöö autor järeldab, et ehitatud Miiaste – Kanassaare bituumenmakadam katte kvaliteet oli kasin, mistõttu suurendati järgneval lõigul märgatavalt sideaine kulunormi. Arvamust kinnitab ka järgnevas alapeatükis pikemalt analüüsitud Miiaste - Kanassaare tee kattepinna tasasusnäitaja kõige kehvem tulemus teiste lõikudega võrreldes. Samas, ei saa väita, et pelgalt tee pealispinna tasasuse peamine mõjutegur oleks valatud bituumensideaine kulunorm, sest ülejäänud kolm väiksemas mahus sideainet ehitusel kasutanud lõikude tasasusnäitajad olid normide piires.



Joonis 3. 2 Bimac põhifraktsioonis kasutatud sideaine kulunorm [9]

Näitamaks, kui suurel hulgal sideainet mahud erineva killustiku fraktsiooni vahele, on OÜ ÜLE katsetulemused esitatud Tabel 3. 2, mis annab ülevaate sideaine kogusest erinevatel fraktsioonidel täitmaks kõik poorid kivide ülemise pinnani. [15] Ilmneb, et näiteks fr 16/32 ja 8/22 killustikkatendite kihipaksusega h=6 cm puhul on sideaine mahutavus üsnagi sarnane: 30,9 kg/m² ja 28 kg/m². [15] Tabel 3. 2 näidatud maksimaalsed sideaine maksimaalseid mahutavusi praktikas kindlasti kasutama ei hakata, sest bimac tehnoloogia puhul piisab killustikaluse puhul tugeva skeleti moodustumiseks vähemalt 10 korda väiksemast kulunormist kui Tabel 3. 2 väljatoodud maksimaalsed väärtused. Järeldub, et praegusel juhul immutuskihi põhifraktsioonis kasutatud killustiku puhul ei ole sideaine imuvuse puhul määrav kas kasutati fr 16/32

või fr 8/22 killustikku, sest kihipaksuse $h=6$ cm korral on nende mahutavus kordades suurem kui tegelik kasutamisevajadus.

Tabel 3. 2 Sideaine kogus erinevate fraktsioonide puhul täitmaks kõik poorid [15]

Killustiku fraktsioon, mm	Puiste		Sideaine mahutavus kg/m^2
	paksus	kogus kg/m^2	
16/32	6 cm	89,5	30,9
8/22	6 cm	83,3	28
12/16	1x	19,3	7
8/12	1x	10,5	4,5
4/8	1x	7,1	3
3/6	1x	6,7	2,5
2/5	1x	4,9	1,9

3.1.2 Jäädvustatud puurkehad ning nende analüüs

Alljärgnevatel joonistel on kujutatud kõikide lõputöö analüüsitud teelõikude puurkehad, mille paksus on kohati kardinaalselt erinev, mille mõjutegurina võib välja tuua puurkehade võtmisel tekkivad probleemid: puurkeha puuri kinnijäämine või puurist välja löömine.

- **T18157 Miiaste-Kanassaare**

Joonis 3. 3 on kujutatud Miiaste – Kanassaare teelt võetud puurkehad. Maksimaalne keskmine sideaine imbumisulatus oli 22 mm, mis on kõikide katsetatud lõikude vähim määr (vt Joonis 3. 11). Kõigi kolme puurkeha puhul oli minimaalne imbumine 4-5 mm, seega võib järeldada, et imbumisulatus on ühtlane.



Joonis 3. 3 T18157 Miiaste-Kanassaare puurkehad (kahes vaates)

- **T23140 Sihva - Vidrike - Kärgula – Järvere**

Joonis 3. 4 nähtub teise 2020. aastal rajatud katsetatud lõigu T23140 puurkehad, mille maksimaalne keskmine sideaine imbumise ulatus on 58 mm (vt Joonis 3. 11) ning võrreldes eelnevalt analüüsitud Miiaste – Kanassaare lõiguga on puurkehad suurema sideaine imbuvusena: ühel on isegi kruusast kiht kinnistunud. Järeldub, et Joonis 3. 2

kujutatud sideaine kulunorm 3,09 kg/m², mis on võrreldes eelneval lõigu puhul olnud kulunormile 2,21 kg/m² ca poole suurem, on siinkohal oluline faktor bituumensideaine imbumisulatuse puhul.



Joonis 3. 4 T23140 Sihva - Vidrike - Kärgula - Järvere puurkehad

- **T14163 Adavere – Rutikvere**

Joonis 3. 5 kujutab Adavere – Rutikvere teelt võetud puurkehasid, mis autori hinnangu kohaselt on üksteisele kõige sarnasemad võrreldes teiste analüüsitud puurkehadega. Joonis 3. 11 kohaselt on sel lõigul maksimaalne keskmine sideaine imbumise paksus 45 mm (vt Joonis 3. 11). Autori arvates on puurkehadele moodustunud veetihe sideainega küllastunud koorik, ehk bimac tehnoloogia on end siinkohal õigustanud. Lisaks, tegemist on ainsa fr 8/22 põhifraktsiooni killutikku kasutatud lõiguga.



Joonis 3. 5 T14163 Adavere – Rutikvere puurkehad

- **T14169 Pajusi-Loopre**

Joonis 3. 6 on Pajusi-Loopre puurkehad, mille maksimaalne keskmine sideaine imbumise ulatus on 50 mm (vt Joonis 3. 11). Taaskord on moodustunud veetihe koorik, kust paekivi paljandumist ei esine.



Joonis 3. 6 T14169 Pajusi-Loopre puurkehad

- **T18167 Kanepi – Ihamaru**

Kanepi – Ihamaru puurkehad on kujutatud Joonis 3. 7. Joonis 3. 11 järgselt on käesoleva lõigu puurkehade maksimaalne keskmine sideaine imbumise ulatus 54 mm. Nagu piltidelt nähtub, on puurkeha külge kinnistunud suuremad killustikuterad, seega bimac täidab taaskord oma eesmärgi.



Joonis 3. 7 T18167 Kanepi – Ihamaru puurkehad

- **T22234 Vara-Kaitsemõisa**

Joonis 3. 8 on kujutatud Vara – Kaitsemõisa teelõigu puurkehad, mille maksimaalne keskmine immutuse ulatus on autori mõõtetulemuste järgselt 54 mm (vt Joonis 3. 11). Sellelt lõigult saadud puurkehade paksused on serviti suurel määral varieeruvad, kuid sellele vaatamata on pealispinnale moodustunud veetihe koorik, seega bimac katte funktsionaalsus on täidetud.



Joonis 3. 8 T22234 Vara-Kaitsemõisa puurkehad

- **T25132 Rõuge – Vastseliina**

Ainsa käesolevas lõputöös analüüsitava 2022. aastal rajatud bituumenmakadam katte puurkehad on kujutatud Joonis 3. 9 ning nende maksimaalne keskmine sideaine imbumisulatus on Joonis 3. 11 kohaselt 52 mm. Imbunud sideaine on moodustanud katte pealispinnale täielikult veetiheda kooriku: pealispinna poorid on täielikult täidetud *fog seal* tehnoloogia kasutamise mõjul.



Joonis 3. 9 T25132 Rõuge – Vastseliina puurkehad

- **T22267 Melliste-Heiti**

Viimasena analüüsitakse riigitee nr 22267 Melliste – Heiti puurkehasid, mis on kujutatud Joonis 3. 10. Sideaine maksimaalne keskmine ulatus on Joonis 3. 11 kohaselt 68 mm (vt Joonis 3. 11), mis on kõikide puurkehade kõige kõrgem näitaja. Katte pealispinnale on moodustunud koorik imbunud sideaine mõjul koorik, mis on seevastu poorsem kui

eelnevalt

analüüsitud

lõigu

puurkehade

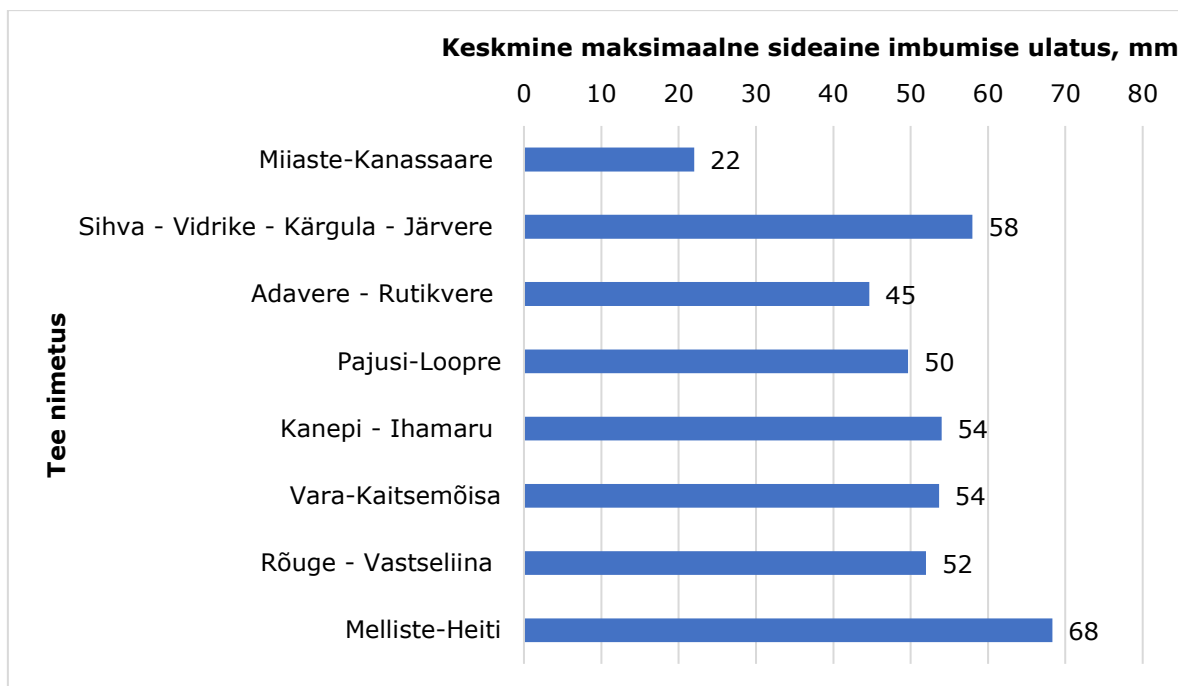
puhul.



Joonis 3. 10 T22267 Melliste-Heiti puurkehad

Tabel 3. 3 Analüüsitavate bimac katete puurkehade immutuse paksused

Bimac kate + pindamine		Immutuse paksus (mm)		
Tee nr.	Nimetus	Puurkeha	Min	Max
18157	Miiaste-Kanassaare	V	10	18
		K	5	20
		P	6	27
23140	Sihva - Vidrike - Kärgula - Järvere	V	6	45
		K	4	75
		P	5	54
14163	Adavere - Rutikvere	V	5	47
		K	5	47
		P	5	40
14169	Pajusi-Loopre	V	5	46
		K	5	55
		P	4	48
18167	Kanepi - Ihamaru	V	5	51
		K	5	58
		P	4	54
22234	Vara-Kaitsemõisa	V	5	41
		K	5	65
		P	6	55
25132	Rõuge - Vastseliina	V	5	57
		K	4	49
		P	5	50
22267	Melliste-Heiti	V	7	61
		K	7	73
		P	10	71



Joonis 3. 11 Analüüsitavate puurkehade sideaine imbumise maksimaalne ulatus lõiguti

3.2 Teekatte tasasuse analüüs

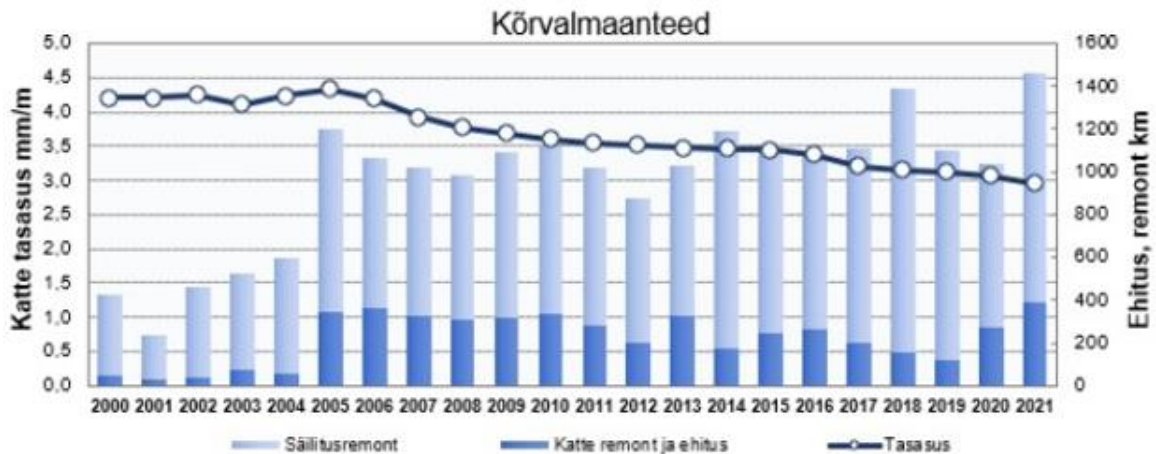
Tavapärase praktika kohaselt rakendub enamuses Transpordiameti tellimusel valminud teelõikudele teekatte pealispinna tasasuse mõõtmise kohustus. Eestis on selliseid mõõtmisi teostatud alates aastast 1995. [19] Teekatte tasasus ja ebatasasus on teekasutajate kulusid otseselt mõjutavad tegurid, seda nii rahalises- kui ka ajalises mõistes. [20] Finantsiline kulu seisneb eelkõige auto remondiga seonduv pideval halva tasasusega teede kasutamisel, samuti ajaliselt võib sõit kauem kesta kui piirkiirust järgides, sest sõites on tarvis jälgida teekatte ebatasasusi.

Teekatte tasasusnäitajana kasutatakse IRI-arvu (*Internatsional Roughness Index*), mis on rahvusvaheliselt heakskiidetud sõidumugavust iseloomustav väärtus. [20] IRI väärtus arvutatakse standardse sõiduki kere vertikaalsuunaliste võngete summana etteantud teelõigule, mis on reeglina 100 meetri pikkune. [20] IRI mõõtühik on 1 mm/m. [20] Teede Tehnokeskus kasutab teekatte tasasuse mõõtmiseks maastikusuutliku sõiduauto külge fikseeritud laserseadet *Laser Texture Meter LTM-1*, mis läbib iga-aastaselt kontrolli ja kalibreerimise tootja juures. Pinnatud teede puhul toimub IRI mõõtmine eelkõige sõidujälgedes, kust saadav tulemus on parem kui näiteks teeservadest, sest teekatte tasasus paraneb olemasoleva liikluse mõjul. Teedevõrgu tasandil on teekatte tasasuse väärtused lähtuvalt sõidumugavusest lahtikirjutatud Tabel 3. 4. Ühekihiliste katendite puhul hinnatakse selle pealiskihi tasasust IRI4 arvuga. [21]

Tabel 3. 4 IRI väärtused lähtuvalt sõidumugavusest koos kirjeldusega [19]

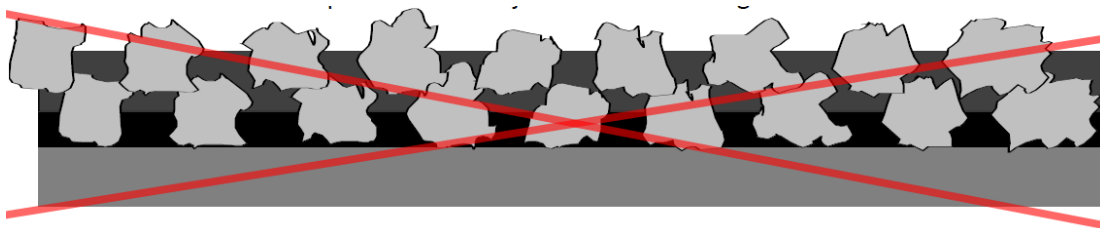
TEEKATTE SEISUKORD	ISELOOMUSTUS (SÕIDUMUGAVUS JA EBATASASUSE MÕJU)	TEEKATTE TASASUS IRI, (mm/m)
Väga hea	Tasane teekate. Hea sõita, sõidukiirus kipub ületama lubatud.	≤ 1,39
Hea	Üldiselt tasane teekate, esineb kergelt pikisuunalist ebataasasust ning üksikuid põiksuunalisi ebataasasusi, mis üldiselt ei mõjuta sõidumugavust. Lubatud sõidukiirust kerge ületada.	1,4 – 2,69
Rahuldav	Teekate suhteliselt ebataasane. Esineb üksikuid kergeid heitusid. Sõidukiirus üldiselt lähedal lubatule maksimaalsele sõidukiirusele, sõites on vaja teepinda jälgida.	2,7 – 4,19
Halb	Teekate on ebataasane, esineb rohkesti kergeid heitusid ja üksikuid suuri heitusid. Sõidukiirus kõigub, sõidutrajektoori tuleb muuta, tuleb keskenduda sõitmisele.	4,2 – 5,59
Väga halb	Teekate on väga ebataasane, rohkesti kergeid ja suuri heitusid. Sõitmine ebamugav, sõidukiirus üldiselt allpool maksimaalselt lubatud piiri. Tuleb mööduda defektidest ja ebataasasustest. Tuleb keskenduda sõitmisele.	≥ 5,6

Transpordiamet nendib, et kogu kattega riigiteede võrgu keskmised tasetasunäitajad on aastate lõikes paranenud teekatete ehituseks, remondiks ja hoolduseks ettenähtud rahaliste vahendite taseme säilimise ja remondiobjektide otstarbeka planeerimise tulemusena. [19] Samas nenditakse, et kui põhi- ja tugimaanteed keskmine tasetasunäitaja on väga hea ja tugimaanteed tasetasus kolmel viimasel aastal hea piirides, siis kõrvalmaanteed keskmine tasetasunäitaja (IRI) on siiani liialt suur ja paranemine soovitud aeglasem. [19] Magistritöös analüüsitavad bimac tehnoloogiaga rajatud lõigud kvalifitseeruvad eranditult kõrvalmaanteedeks, mille puhul tehnilist kirjelduse järgset oli maksimaalne keskmine lubatud IRI väärtus 2,4 mm/m. Lubatud piirväärtuse ületamisel kaasnevad töövõtjale tellijapoolsed sanktsioonid ehk antud juhul rahaline mahaarvamine tehtud töödelt. Võrdluseks on Joonis 3. 12 väljatoodud kõrvalteede teekatte tasetasunäitajad, kust selgub, et 2021. aastal oli keskmine tasetasunäitaja mõõdetud kõrvalmaanteed puhul ligikaudu 3 mm/m.



Joonis 3. 12 Teekatte tasasuse näitajad kõrvalmaanteedel [19]

Olgu öeldud, et mitte kõikide lõputöös vaatluse all olevatelt teelõikudelt mõõdetud IRI väärtus ei olnud 2,4 mm/m või alla selle. Alla normi piires oleva teekatte tasasuse põhjuseks võib olla mitmeid aspekte: näiteks ebasobiv teekonstruktsioon, ebakvaliteetne töö teostamine, teekatte rikkumine kõrvalise liikluse poolt. Tee konstruktsiooni valikul on parema IRI tulemuse saamiseks, nagu ka edasistest magistritööst lugeda saab, bimar katete puhul väiksema fraktsiooniga põhifraktsiooni killustiku (nt fr 8/22) kasutamine. Samas, väiksema terasuurusega killustikaluse puhul ei toimu teoreetiliselt sideaine imbumine sellises ulatuses kui suurema terasuurusega fraktsiooni kasutades, sest immutatava pinna poorsus on väiksem. Paraku käesolevas magistritöös analüüsiti vaid ühte lõiku, kus kasutatud killustiku tera maksimaalne suurus oli väiksem st 22 mm (Adavere-Rutikvere puhul), kõikidel ülejäänud juhtudel oli maksimaalne terasuurus 32 mm – seega paikapanevaid järeltöid siinkohal teha ei saa. Bimar konstruktsiooni valikul tuleks kahekordse pindamise puhul kasutada kahte erinevat graniitkillustikufraktsiooni, sest vastasel korral tekib olukord, mis on illustreeritud Joonis 3. 13, kus kahel korral sama terasuurusega killustikuga pinnatud katte pealispind jääb poorne. Lisaks hermeetilisuse tagamiseks on parema IRI tulemuse saamisel oma roll killustikukivide omavahelisel sidususel, st katte tasapinnal olevate pooride täituvuses.



Joonis 3. 13 2x pindamine ühe ja sama fraktsiooniga [15]

Hea tee tasasuse saavutamiseks on kriitilise tähtsusega kvaliteetne töö teostamine. Aluskillustiku laotamise puhul peab paanide jätkamist teostama korrektselt, et jätkukoht

oleks ühtlane, sest lohakusest või ebakomponentsusest tekkinud vajumit/muhku on väga problemaatilise parandada, sest kasutatava killustiku terasuurus on võrreldes näiteks pindamiskillustikuga mitmekordne. Paanide jätkamisel tuleb samuti ka pindamistöode tegemisel rõhku pöörata, nt kasutada jätkukohas kartongitükke välistamiseks topelt ülekatte tekke. Teekatte tihendamise teostamisel tuleb jälgida, et rullimisel ei tekiks tee tasetasust halvendavaid valtsijärgi.

Teekatte tasetasuse kontrollitoimingud teostatakse mitte vähem kui kaks nädalal peale katte valmimist. Selleks ajaks on liigne mittefikseerunud tardkivikillustik kattelt harjatud ning katte pealispind muutunud kõrvalise liikluse mõjul ühtlasemaks, seda eelkõige rattajälgedes. Samas on kahe nädalane periood ka piisav aeg teekatte deformeerumiseks näiteks piirkiirust ületavate sõidukite manööverdumise mõjul. Teadupärast kulub vahetult peale pindamistöode teostamist mitu päeva aega enne kui teel varasemalt olnud piirkiirus taastatakse: sel ajal toimub katte kulumiskihi fikseerumine sideainega. Heaperemehelik liiklemine vähendab katte pealiskihi killustiku irdumise teket. Halb näide pinnatud teekatte eksplutatsioonist on kujutatud Joonis 3. 14, kus metsa väljaveomasin on piikrehvidega sõiduteed kasutanud, jättes teekatte auklikuks. Katendite eluea pikendamiseks tuleks parandada niisamuti ka üleüldist liikluskasvatust.



Joonis 3. 14 Pinnatud teekatte seisukord lume sulamise järgselt

Käesolevas magistritöös aastatel 2020-2022 rajatud bituumenmakadam katete pealispinna tasetasuse mõõtmised teostati lõikude valmimisaastatel, autor on tulemused väljatoonud Tabel 3. 5, seejuures on kajastatud ka iga teelõigu puhul väljaehitatud teekonstruktsioon. Tabel 3. 5 nähtub, et mõlemad lõigud, kus keskmine IRI-väärtus on Transpordiameti lubatud normide piiresst väljas, on rajatud 2020. aastal: Miiaste – Kanassaare ja Sihva – Vidrike – Kärgula, millest esimese puhul on keskmine tasetasunäitaja peagu 1 mm/m kohta suurem kui lubatud 2,4 mm/m. Magistritöö autorile teadaolevalt rajas sama töövõtja ka 2021. aastal mitmed käesolevas töös analüüsitud bimac lõikudest, mille IRI-väärtused on lubatud normide piires. Üks põhjus võib olla 2021. aasta lõikudel kasutatud teistsugune konstruktsioonilahendus, eriti

Miiaste – Kanassaare puhul 1,5-kordne pindamine, kuid kindlasti ka kogemuspõhine ehitustegevuse meetodiline parandamine tööde teostamisel.

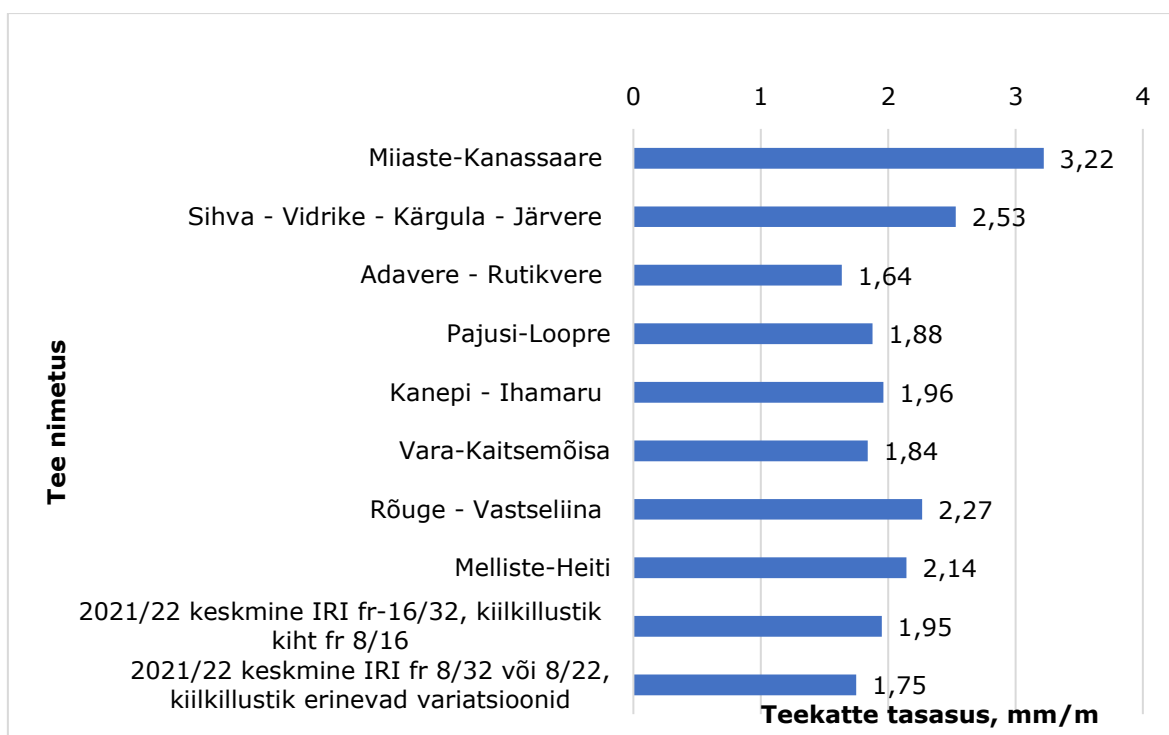
Tabel 3. 5 Analüüsitud teelõikude IRI-väärtused koos teekonstruktsioonidega [22]

Bimac kate + pindamine		Materjal (nimetus, tüüp, fraktsioon)	Keskmine IRI4	Keskmine IRI4 esimese ja viimase 20 m teelõiguta	Keskmine IRI4 esimese ja viimase 100 m teelõiguta
Tee nr.	Tee nimetus				
18157	Miiaste-Kanassaare	pr kr pos 1	3,22	3,22	3,21
		16/32 pae			
		immutus fr 8/16 kr kild			
		immutus fr 4/8 kr kild			
		1,5x pindamine: 8/12+4/8			
23140	Sihva - Vidrike - Kärgula - Järvere	pr kr pos 1	2,53	2,52	2,50
		16/32 pae			
		immutus fr 8/16 pae			
		immutus fr 4/8 graniit			
		pindamine fr 8/12			
14163	Adavere - Rutikvere	pr kr pos 1	1,64	1,64	1,59
		8/22 pae			
		immutus fr 4/16 p			
		pindamine fr 4/8			
		pindamine fr 4/8			
14169	Pajusi-Loopre	pr kr pos 1	1,88	1,87	1,85
		8/32 pae			
		immutus fr 4/16 pae			
		pindamine fr 4/8			
		pindamine fr 4/8			
18167	Kanepi - Ihamaru	pr kr pos 1	1,96	1,93	1,86
		16/32 pae			
		immutus fr 4/16 pae			
		pindamine fr 4/8			
		pindamine fr 4/8			
22234	Vara-Kaitsemõisa	pr kr pos 1	1,84	1,84	1,83
		16/32 pae			
		immutus fr 8/16 pae			
		pindamine fr 8/12			
		pindamine fr 4/8			
25132	Rõuge - Vastseliina	pr kr pos 1	2,27	2,25	2,21
		16/32 pae			
		immutus fr 8/16 kr			
		pindamine fr 8/12			
		pindamine fr 4/8			
22267	Melliste-Heiti	pr kr pos 1	2,14	2,14	2,12
		16/32 pae			
		immutus fr 8/16 pae			
		immutus fr 4/8 pae			
		pindamine fr 8/12			
		pindamine fr 4/8			

Tabel 3. 5 kohaselt saavutas tabelis olevatest teelõikudest parima pealispinna tasetasuse 2021. aastal ehitatud Adavere-Rutikvere kõrvaltee, mille keskmine IRI väärtus oli 1,64. Seejuures antud lõik on ainuke, kus kasutati bimac killustiku põhifraktsioonina peeneteralisemat 8/22 killustikku, kõigi teiste lõikude puhul oli laotatud killustikaluse

suurim kivi 32 mm. Järeldub, et jämedamõdulisema killustikukivi kasutamisel jääb katte pealispind ebatasasem. Peaaegu kõikide ülejäänud bimac katselõikude puhul teostati killustikaluse paigaldamine fr 16/32 killustikku kasutades, ainsaks erisuseks 2021. aastal rajatud Pajusi-Loopre lõik, kus juba eelnevalt mainitud põhjusel, võeti kasutusse fr 8/32 paekillustik, seejuures IRI lõpptulemus on autori hinnangul igati hea 1,88 mm/m.

Joonis 3. 15 on graafiliselt kujutatud analüüsitava teelõikude keskmised tasetasusnäitajad, seejuures on võrdluseks lisatud Transpordiameti poolt keskmistatud 2021. aastal rajatud bimac katete IRI väärtus kahe erineva killustiku põhifraktsiooni kasutamisel: fr 16/32 ning fr 8/32 koos fr 8/22 killustikuga. [2]



Joonis 3. 15 Analüüsitava teekatete tasetasusnäitajad [2, 22]

Joonis 3. 15 nähtub, et 2021/2022 ehitushooaja bituumenmakadam katete keskmine tasetasusnäitaja immutuskihi põhifraktsioonina fr 16/32 killustikku kasutades oli 1,95 mm/m [2], millest kõrgem IRI väärtus on analüüsitavatest lõikudest vaid kolmel. Seevastu fr 8/22 killustikku 2021. aastal bimac katete ehitusel põhifraktsioonina kasutatud lõikude keskmine IRI-väärtus oli 1,75 mm/m, mida ületas katselõikudest vaid Adavere-Rutikvere, kus seejuures kasutati sama killustiku fraktsiooni.

Üks lõputöö autori arvatavaid põhjuseid, miks fr 16/32 killustikku kasutades on katendi kulumiskihi keskmine tasetasusnäitaja väiksem kui fr 8/22 põhifraktsioonina kasutades, on paigaldatud kihi paksus $h=6$ cm, mis on väiksem kui kaks suurima killustiktera läbimõõtu ($< 2D$). Asfaldilaoturiga killustikku paigaldades ei sobitu kaks 32 mm

killustikukivi üksteise peale, vaid laoturi vibropruss tekitab ülemisele kivile täiendavat survet. Kõikide analüüsitud bituumenmakadam katete ehitusel oli ettenähtud immutuskihil killustikku, mis vastaks Transpordiameti normdokumendis „Killustikust katendikihtide ehitamise juhise“ aastasele keskmisele ööpäevasele liiklussagedusele 2500-3000 autot ehk killustiku kulumiskindlus pidi olema vähemalt LA35. [5] Paigaldades fr 16/32 killustikku, mille kulumiskindlus on LA35 (võrdluseks, kasutusel on lisaks veel nõrgem LA40 terade kategooria [5]), ei purune suurema teramõõduga killustik vibroprussi all, vaid nihkub edasi. Kui aga kasutatava fraktsiooni peenem teramõõt on näiteks 16 mm nagu enamuse katselõikude puhul, on keeruline asfaldilaoturiga väga hea tasetasusega pinda tagada, seevastu näiteks fr 8/22 puhul on killustikuteradel rohkem ruumi, kuhu sobituda. Riigiteede ehitustööde vastuvõtueeskirja kohaselt on bituumenmakadam katete puhul vähimaks kihipaksuseks 2 cm, erinevalt näiteks mustsegust, millel on 2D [21] – autori arvates tuleks vastavat normdokumenti muuta. Kogemuspõhiselt on jõutud arusaamale, et senine IRI piirarv bimac katete puhul on olnud kohati raskesti saavutatav, seega nüüdseks on Transpordiametil kokkulepe Eesti Taristuehituse Liiduga (ESTEL) rakendada edasistes bituumenmakadam katete ehituslepingutes teekatte IRI4 nõuet <2,4 mm/m asemel mitte üle 2,6 mm/m. [2]

4. ETTEPANEKUID BIMAC TEHNOLOOGIA EDASISEKS RAKENDAMISEKS EESTI TINGIMUSTES

Käesolevas magistritöös varasemalt mainitud Transpordiameti teehoiukava põhjal on tolmuwabade katete ehitus, kuhu alla kuulub ka bituumenmakadam tehnoloogia, Eestis väljasuremise ohus, sest aastatel 2023-2026 planeeritakse nende tarbeks eraldada vaid 3 miljonit eurot. [2] Sellisel moel jätkates saavad ettenähtud teed tolmuwaba katte 2050-2100 aastaks [2], mis autori hinnangul ei ole jätkusuutlik lähenemine. Siiski, kogemuspõhiselt lähtudes, on Teehoiukava pidevas muutumises, seega ei ole välistatud, et lisarahastus siiski lähiaastateks leitakse, sest perioodil 2020-2022 saavutatud tulemused näitavad, et Eestis osatakse bimak katteid ehitada. Juurutada tuleks üle-eestiline ühene lähenemine, eelkõige konstruktsioonilist lahendust silmas pidades.

Valik hetkel Eestis kasutatud bituumenmakadam katte konstruktsioonilisi lahendusi [2]:

- fr-16/32, kiilumiskillustik fr 8/16 või fr 4/16 + 2x pindamine
- fr-8/32 või 8/22, kiilumiskillustik fr 8/16 või fr 4/16 või fr 8/12 või fr 4/12 või fr 4/8 + 2x pindamine
- fr-8/32 või 8/22, kiilumiskillustik fr 8/12 + 4/8 + 1x pindamine
- fr-16/32, kiilumiskillustik fr 8/16 (sideaineta) ja fr 4/8 + 2x pindamine
- fr-16/32, kiilumiskillustik fr 8/16 ja fr 4/8 + 1x pindamine
- fr-16/32, kiilumiskillustik fr 8/16 ja fr 4/8 + 1,5x pindamine
- fr-16/32, kiilumiskillustik fr 8/16 ja fr 4/8 + 2x pindamine
- fr-16/32, kiilumiskillustik fr 8/16 + 2x pindamine

Autori hinnangul on praktiseeritud liigselt suurel määral erinevaid variatsioone liiga väikse ajaperioodi ning tööde mahu vältel. Teadupoolest on Eesti geoloogiliselt vägagi erinev, seega sama tehnoloogia rakendamisel erinevas asukohas olevate teede puhul võib tulemuslikult vägagi erineda. Arvestades juurde veel liiklussageduse ja selle olemuse (raskeliikluse osakaal) erinevused ning tee olemus (kurviline/sirge, künklik/tasane). Üks variant oleks teostada katselõik, kus katsetada näiteks viiete erinevat bimak konstruktsioonilahendust, sellisel juhul oleks suure tõenäosusega geoloogilised tingimused ning liikluse mõju sarnane.

Käesolevas magistritöös varasemalt analüüsitu põhjal järeldub, et immutuskivi põhifraktsioonina annab parema tulemuse kasutades fr 8/22 killustikku fr 16/32 asemel. Saadud mõtet toetab ka Transpordiamet edasine suunitlus lõpetada ajutiselt fr 16/32 killustiku kasutamise bimak katetes ning asendada see valikuga (fr 4/32 või (8/32 või 8/22)). [2] Rajatava teekonstruktsiooni projekteerimisel tuleb eelnevalt põhjalikult läbimõelda, välistamiseks lähteülesandest tulenevad tehnoloogilised vead.

Olulised aspektid: [15]

- Tagada kiilumine erinevate killustiku fraktsioonide vahel
- Killustikukivide sidusus sideainega
- Eesmärk on katte pealispinnale saavutada tihe, veekindel kulumiskiht

Erinevate killustikukihtide ehitamisel tuleks lähtuda põhimõttest, mis kujutab endast järjest väiksemamõõdulisema killustikufraktsiooni kasutamist, saamaks poorid maksimaalsel määral täidetud ning seeläbi tugevam bituumenmakadam kate. Sellisel moel on sideainel rohkem kokkupuutepindasid, st see ei valgu aluspinnale, vaid moodustub tugev skelett. Ülemise pindamiskihi veetihedus on tee eksplutatsioonile kriitilise tähtsusega, sest poorsesse kattesse tungib vesi, soodustades külmakergete teket ning seeläbi tekitades ebatasasusi ning ajapikku lõhkudes teekatet. Viimase kihi veetiheduse parandamiseks tuleks pindamisel kasutada kahte erinevat graniitkillustikufraktsiooni (nt fr 8/12 ning fr 4/8) saavutamaks veetihedam ühtlase tekstuuriga kattepinna. Katendi kulumiskihi täieliku veekindluse tagamiseks on autori hinnangul vajalik teostada udupindamine ehk *fog seal* ning seda mitte töövõtja enda finantseeringuga, vaid antud kulurida peaks ehitushankes sisalduma.

Autori hinnangul peaks bimak katte rajamise eelselt vastavat lõigu kohta teostama täiendava analüüsi, uurimaks olemasoleva tee varasemat olemust, eelkõige külmakerkelisi kohti. Bimak katte ehitustegevuse eelselt külmakerkekohtade likvideerimine väljakaevamine ning uue skelettmaterjali lisamisega on finantsiliselt palju mõistlikum võrreldes uue rajatud kergkattes tekkinud defektide likvideerimisega. Lisaks on väga oluline rakendada konkreetsele teelõigule sobiv kergkatte ehitustehnoloogia. Näiteks 2021. suvel rajas autor bimak katte lõigule, mis pikiprofililt oli väga varieeruv (künklik), mistõttu killustikaluse laotamine oli väga problemaatiline: laotamist tuli teostada allamäge, sest vastasel korral poleks asfaldilaotur teepinda kahjustamata poolhaakeid ülesmäge lükata, kuid allamäge ehitades oli vastupidine probleem – veokid kippusid killustikku asfaldilaoturisse laadides mäest mõningal määral alla libisema ning seeläbi kahjustasid need teekatet. Sellisele lõigule oleks olnud otstarbekam rajada näiteks mustsegust katend ehk MSE.

Ehitushankele täiendav analüüs peaks hõlmava veel raskeliikluse osakaalu, sest praktikas bimak katted ei kesta liigse raskeliikluse esinemise korral. [15] Mõelda tuleks ka bimak katetel kloriidide kasutamise vältimise peale talvisel libedustõrjel, sest vastasel korral hakkab kandevkonstruktsioon ehk immutuskihi põhifraktsioonina kasutatav pae- või kruuskillustik lagunema. Kõrvalmaanteid reeglina Eestis ei soolatata, küll aga üksikuid ristumisi kõrgema kategooriaga maanteedega, lisaks mõningal määral võib bimak kattele ristuvalt teelt tuleneva liikluse mõjul kanduda teekatet kahjustavaid kloriide.

Finantsilise poole pealt on bimak katete ehitusmaksumuse ruutmeetrihinnad väljatoodud Tabel 3. 6, millest nähtub, et erineva killustiku fraktsiooniga rajatud katetel on maksimaalselt ca 10% vahe. [2] Arvesse tuleb võtta ka aspekti, et erinevalt kergimmutatud killustikalusest on nii mustsegu kui ka bituumenstabi puhul vajalik freespuru olemasolu, mis on Eestis piiratud ressurss. Tabel 3. 6 nähtub, et justkui 2xE (eelpuistega) pindamine oleks majanduslikus perspektiivist lähtuvalt kõige tasuvam kergkatte ehituse lahendus, sest tegemist on ligikaudu kaks korda odavama tehnoloogiaga kui ülejäänud. Siinkohal tuleb arvestada teekatte ekspluatatsiooniperioodi kestvust, sest pelgalt 2xE pindamisel valminud katet on vajalik tihedamini uuendada, seega bimak on kindlasti jätkusuutlikum investering, pikema ajahorisondiga.

Tabel 3. 6 Teekonstruksioonide ühikhinnad 2021. aasta näitel [2]

Teekatte konstruktsioon	Keskmine ühikhind (€/m²)
Kergimmutatud killustikalus fr-16/32, kiilkillustik kiht fr 8/16, fr 4/8	6,56
Kergimmutatud killustikalus fr-16/32, kiilkillustik kiht fr 8/16	6,14
Kergimmutatud killustikalus fr-8/32 või 8/22, kiilkillustik kiht fr 8/16 või fr 4/16 või fr 8/12 või fr 4/12 või fr 4/8	5,81
MSE 20+2x pindamine	6,09
2xE Pindamine	3,34
Pinnasestab.+2x pindamine	4,43
BS 32+2x pindamine	6,43

5. KOKKUVÕTE

Magistritöös vaadeldi immutatud killustikaluse tehnoloogia ehk bituumenmakadam katete (bimac) olemust ning praktikat Lõuna-Eesti teede näitel aastatel 2020-2022. Praeguse Transpordiameti prognoosi kohaselt kaovad tolmuwab katete sh ka bimac katete ehitus lähiaastate perspektiivis varjusurma, mis arvestades viimaste aastate hüppeliselt kasvanud kergkatete ehitusmahtu, on lõputöö autori hinnangul äärmiselt ebamõistlik, sest hetkel on mitmel töövõtjal vajalikul määral teadmised ja oskused bituumenmakadamkatteid ehitada olemas.

Teadustöö esimeses pooles tutvustati autori väljavalitud bimac tehnoloogiat kasutades ehitatud esialgselt kruusateelõike, mida oli kaheksa erineva konstruktsiooniga, rajatuna valdavalt 2021. aastal. Nende teelõikude puhul kirjeldati konstruktsioonilisi erinevusi ning katte seisukorda 2022. aasta oktoobris toimunud ülevaatusel põhjal. Lisaks arutleti esinenud defektide võimalike põhjuste üle. Ühe autori kaasosalusel valminud bimac katete rajamise ehitustehnoloogiaid kirjeldati põhjalikumalt, alates ehitustegevuse algusest kuni katte pealispinna valmimiseni.

Peale katsetatud teelõikude tutvustamist ning teekatte seisundi hinnangut analüüsitakse 2022. aasta oktoobris võetud puurkehasid, täpsemalt bituumensideaine imbumise ulatust. Ilmneb, et bimac katetelt puurkehade võtmine on keeruline protsess ning osa vajalikust infost läheb kaduma kui võetud puurkeha saab kahjustada. Sellele vaatamata antakse ülevaade sideaine minimaalsest ja maksimaalset imbuvusest, tee ristlõikes võetud kolme puurkeha põhjal. Põhirõhk pannakse immutatud killustikaluse põhifraktsioonile paigaldatud sideaine kulunormi analüüsimisele võrrelduna nendele vastavate puurkehadega.

Põhjalik analüüs ja hinnang antakse rakendatud tee konstruktsioonilahendusele ning tehtud töö kvaliteedile läbi tee tasasusnäitaja (IRI) analüüsi. Selgub, et kõige tasasema pealispinnaga teelõik oli fr 8/22 immutatud killustikalusega, ülejäänute puhul oli suurima terasuurusega kivi eranditult 32 mm. Kahe lõigu mõõdetud IRI näitaja ei mahtunud Transpordiameti lubatud normide piiresse, selle põhjuseid analüüsis autor samuti.

Lõputöö viimases osas on väljatoodud autoripoolsed ettepanekud ja hinnangud, kuidas edaspidiselt Eestis võiks bimac katteid rajada ning millele eelnevalt mõtlema peaks. Kindlasti tuleks tutvuda olemasoleva olukorraga põhjalikumalt, suhelda vaatluse all oleva teelõigu hooldaja esindajaga, saamaks info külmakerkelistest kohtadest ja olemasoleva liikluse iseloomust. Vaatluse alla võeti ka bimac katete rajamise finantsiline

kulu tellijale, mis on samas suurusjärgus mustsegust- bituumenstabiliseeritud katenditega. Vahe on selles, et viimase kahe ehitustehnoloogia puhul on vajalik freespuru olemasolu, mis on Eestis piiratud ressurss, sest olemasolevate teede rekonstrueerimisel kasutatakse samuti freespuru – stabiliseerimistööd.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et bituumenmakadam on autori arvates väga hea kergkatte ehitamise meetod, mida tuleks Eesti tingimustest lähtudes täiendavalt edasi uurida ja saadud teadmisi praktikas rakendada.

6. SUMMARY

In the master's thesis, the essence and practice of impregnated crushed stone technology, i.e. bitumen macadam pavements (bimac), was examined using the example of roads in South Estonia in 2020-2022. According to the current forecast of the Transport Agency, the construction of dust-free pavements, including bimac pavements, will disappear in the coming years, which, considering the construction volume of lightweight pavements that has increased by leaps and bounds in recent years, is extremely unreasonable in the opinion of the author of the thesis, because currently several contractors have the necessary knowledge and skills to build bituminous macadam pavements.

In the first part of the research work, a gravel road section was initially built using the bimac technology selected by the author, which had eight different constructions, mostly built in 2021. For these road sections, structural differences and pavement condition were described based on the October 2022 inspection. In addition, the possible causes of the defects that occurred were discussed. The construction technologies of the construction of the bimac pavement completed with the participation of one of the authors were described in more detail, from the beginning of construction activities to the completion of the surface of the pavement.

After the introduction of the tested road sections and the evaluation of the condition of the road surface, the drills taken in October 2022 will be analyzed, more precisely the extent of bituminous binder seepage. It appears that taking drill bits from bimac covers is a complicated process, and part of the necessary information is lost if the taken drill bit is damaged. Despite this, an overview of the minimum and maximum percolation of the binder is given, based on three boreholes taken in the cross section of the road. The main emphasis is placed on the analysis of the wear rate of the binder installed on the main fraction of the impregnated crushed stone bed compared to the corresponding drill bodies.

A thorough analysis and assessment is given to the applied road construction solution and the quality of the work done through the road International Roughness Index (IRI) analysis. It turns out that the road section with the flattest surface was impregnated with fr 8/22 crushed stone, for the rest, the stone with the largest grain size was exclusively 32 mm. The measured IRI indicator of two sections did not fit within the allowed norms of the Transport Agency, the reasons for this were also analyzed by the author.

In the last part of the thesis, the author's suggestions and assessments are presented on how bimac coverings could be built in Estonia in the future and what should be thought about in advance. You should definitely study the existing situation in more detail, communicate with the representative of the road section under observation, in order to get information about the cold spots and the nature of the existing traffic. The financial cost of building bimac pavements for the customer was also taken into consideration, which is in the same order of magnitude as black mix-bitumen stabilized pavements. The difference is that in the case of the last two construction technologies, the presence of recycled asphalt is necessary, which is a limited resource in Estonia, because recycled asphalt is also used in the reconstruction of existing roads - for stabilization works.

In summary, it can be said that, in the author's opinion, bituminous macadam is a very good method of light pavement construction, which should be further investigated based on Estonian conditions and the knowledge gained should be applied in practice.

7. KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. Teehoiukava aastateks 2021-2030 kinnitatud 10-12-2020. 2020.
- [2] Toomas Tõnurist. Presentatsioon "Tolmuwabade katete ehitus 2021/2022." 2022.
- [3] Majandus- ja taristuminister. Tee projekteerimise normid. 2022.
- [4] Andrus Aavik. Tee-ehitus II loengumaterjal.
- [5] Transpordiamet. Killustikust katendikihtide ehitamise juhend. 2022.
- [6] Transpordiamet. Teeregister, valmisaruanded. [accessed 2022 Dec 7]. <https://transpordiamet.ee/teeregister#riigiteede-valmisaru>
- [7] Transpordiamet. Pindamisjuhis. 2017.
- [8] Transpordiamet. Lisa 2.6 Tehniline kirjeldus - 18157 Miiaste-Kanassaare km 0,023-2,012. 2020.
- [9] AS TREV-2 Grupp; TREF AS. Pindamispäevikud.
- [10] Transpordiamet. Lisa 2.5 Tehniline kirjeldus - 23140 Sihva-Vidrike-Kärgula-Järvere. 2020.
- [11] Transpordiamet. Tehniline kirjeldus (Riigitee 14163). 2021.
- [12] Transpordiamet. Tehniline kirjeldus (riigitee 14169) (1). 2021.
- [13] Transpordiamet. Tehniline kirjeldus(18167)2_. 2021.
- [14] Transpordiamet. Tehniline kirjeldus (Riigitee 22234). 2021.
- [15] Rein Freiberg. Presentatsioon "Tolmuwabade katete ehitus." 2022.
- [16] Transpordiamet. Tehniline kirjeldus (Riigitee 22267). 2021.
- [17] Eesti Standardikeskus. CEN, EVS-EN 12697-36:2003" Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 36: Determination of the thickness of a bituminous pavement". 2003.
- [18] Ralf Kalm. ASFALKATTE KVALITEEDI HINDAMISMEETODITE ANALÜÜS. 2021.
- [19] Transpordiamet. Riigiteede katete seisukord. 2021 [accessed 2022 Dec 19]. <https://www.transpordiamet.ee/ru/node/50>
- [20] Teede Tehnokeskus. Teekatte tasasus (IRI). <https://www.teed.ee/teenused/katsetamine-ja-mootmine/mootmine/iri/>.
- [21] Transpordiamet. Riigiteede ehitustööde vastuvõtueeskiri TA 2021. 2021.
- [22] Teede Tehnokeskus. IRI mõõtetulemused.

8. LISAD

8.1 Pildid bimac katte ehitusest



Bimac katte rajamine: immutuskilustiku põhifraktsiooni laotamine



Bimac katte rajamine: immutuskilustiku põhifraktsiooni laotamine – teine paan, pikivuuk



Bimac katte rajamine: immutusküllustiku põhifraktsiooni kiilumine

8.2 Pildid pindamistööst



Pindamistööd



Pindamistööd: värskest pinnatud kate