



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

JALGRATTATEE JA SÕIDUTE ERIKATMISE VÕIMALUSED ERIVÄRVILISE PINNAKATTEGA

POSSIBILITIES OF DISTINGUISHING BICYCLE PATHS AND ROADWAYS WITH DIFFERENT COLORED SURFACE COATINGS

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Karl Kadak

Üliõpilaskood 192634EATI

Juhendaja: Kristjan Lill,

Labori juhataja - Teedehituse ja
geodeesia uurimisrühm: Ehituse
ja arhitektuuri instituut

Tallinn 2024

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.

"....." 20.....

Autor: Karl Kadak

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja: Kristjan Lill

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Karl Kadak

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

JALGRATTATEE JA SÕIDUTEE ERISTAMISE VÕIMALUSED ERIVÄRVILISE PINNAKATTEGA,

mille juhendaja on Kristjan Lill,

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.

_____ (kuupäev)

_____ (allkiri)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Karl Kadak, 192634EATI

Õppekava, peeriala: EATI02/17 - Teedehitus ja geodeesia, teedehitus

Juhendaja(d): Kristjan Lill, Teede ja liikluse teadus- ja katselaboratooriumi juhataja ja kvaliteedijuht – Teedehituse ja geodeesia uurimisrühm: Ehituse ja arhitektuuri instituut, +372 5302 2437

Lõputöö teema:

JALGRATTATEE JA SÕIDUTE ERIKATAMISE VÕIMALUSED ERIVÄRVILISE PINNAKATTEGA

POSSIBILITIES OF DISTINGUISHING BICYCLE BATHS AND ROADWAYS WITH DIFFERENT COLORED SURFACE COATINGS

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Tutvustada ning anda ülevaade erinevatest tehnoloogiatest, miks ja mida kasutatakse teekatte markeerimisel, tagamaks turvalisem liikluskeskkond. Lõputöö keskendub ennekõike jalgrattateede markeerimisele.
2. Tutvustada värvitud asfaldi tehnoloogiaid, omadusi ja kasutusvõimalusi.
3. Võrrelda visuaalselt laboris kokku segatud punaseid asfaltseguisid.
4. Võrrelda visuaalselt punast külmplasti, termoplasti ja värvi.
5. Anda soovitusel, millal mingisugust tehnoloogiat kasutada punaste jalgrattateede kavandamisel ja ehitamisel.

Lõputöö etapid ja ajakava:

| Nr | Ülesande kirjeldus | Tähtaeg |
|----|---|------------|
| 1. | Teoreetilise osa kirjutamine, informatsiooni otsimine, katseplaani paika panemine | 29.02.2024 |
| 2. | Laboratoorsete katsetuste jaoks materjalide otsimine, katseplaani paika panemine, katsetamine | 28.03.2024 |
| 3. | Katsete tulemuste kirjeldamine, materjalide visuaalne analüüs, hinnangute andmine | 26.04.2024 |
| 4. | Töö valmis, töö esitamine retsenseerimiseks, ettevalmistused kaitsmiseks | 20.05.2024 |
| 5. | Lõppkaitsmine | 29.05.2024 |

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 20.05.2024

Üliõpilane: Karl Kadak ".....".....20.....a
/allkiri/

Juhendaja: Kristjan Lill ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: Mihkel Kask ".....".....20.....a
/allkiri/

SISUKORD

| | |
|---|----|
| EESSÕNA | 7 |
| Lühendite ja tähiste loetelu..... | 8 |
| SISSEJUHATUS | 10 |
| 1. Erivärvi katendi ja markeeringu kasutamise võimalused linnakeskkonnas | 13 |
| 1.1. Värv | 13 |
| 1.2. Termoplast | 15 |
| 1.3. Külmplast | 17 |
| 1.4. Epoksiid ja polüuretaan | 19 |
| 1.5. Polüester | 20 |
| 1.6. Polüurea | 21 |
| 1.7. Värvilised sillutiskatendid | 22 |
| 1.8. Värvitud asfalt | 24 |
| 2. Värvilise asfaldi tehnoloogiad, omadused ja kasutamine | 27 |
| 2.1. Värvilistes asfaltides kasutusel olevad sideained | 27 |
| 2.1.1. Tavapärase must bituumen | 27 |
| 2.1.2. Läbipaistev ehk sünteetiline bituumen | 28 |
| 2.2. Värvilistes asfaltides kasutusel olevad täitematerjalid | 31 |
| 2.2.1. Kivimaterjal | 31 |
| 2.2.2. Pigmentid | 33 |
| 2.2.3. Muud asfaltsegude lisandid | 34 |
| 2.3. Värvilise asfaldi muud omadused | 37 |
| 2.3.1. Kuumasaared | 37 |
| 2.3.2. Valgusreostus | 38 |
| 2.3.3. Vastupidavus | 39 |
| 2.3.4. Välimus | 40 |
| 2.3.5. Haardumine | 41 |
| 3. Laboratoorsed katsetused | 42 |
| 3.1. Taust asfaldist proovikehade kokku segamiseks ning laboratoorsete katsetuste läbiviimiseks | 43 |
| 3.2. Asfaltsegude kokku segamine ning võrdlemine | 45 |
| 3.2.1. Katseplaan | 45 |
| 3.2.2. Kasutatud materjalide kirjeldus | 45 |
| 3.2.3. Värvitud sideaine kokku segamine | 47 |
| 3.2.4. Asfaltsegude proovikehade segamine ja tihendamine | 48 |

| | |
|---|----|
| 3.2.5. Asfaltsegude seguretseptid | 50 |
| 3.2.6. Asfaltsegude omavaheline visuaalne võrdlus | 57 |
| 3.3. Katenditele peale kantavad lahendused | 61 |
| 4. Soovitused erinevate lahenduste kasutamiseks | 65 |
| 4.1. Uue katte rajamine | 65 |
| 4.1.1. Asfaltkate | 65 |
| 4.1.2. Sillutiskatend ja betoonkatend | 66 |
| 4.2. Olemasoleva katte markeerimine | 67 |
| 4.2.1. Asfaltkate | 68 |
| 4.2.2. Sillutiskatend ja betoonkatend | 69 |
| 4.3. Ettepanekud järgnevateks uurimistegevusteks | 69 |
| KOKKUVÕTE | 71 |
| Summary | 73 |
| Kasutatud kirjanduse loetelu | 75 |

EESSÕNA

Antud lõputöö ei oleks saanud valmida ilma heade inimeste abita. Seoses sellega soovin esmalt tänada juhendajat Kristjan Lille, kes on TalTech teede ja liikluse teadus- ja katselaboratooriumi juhataja ja kvaliteedijuht. Tänu temale sündis idee antud lõputöö teema valimiseks. Samuti oli ta suureks toeks antud lõputöö kirjutamisel, katseplaani paika panemisel ning katsetamisel. Samuti soovin tänada ka Urmo Pappelit laborimeeskonnast, kes oli suureks abiks asfaltsegude retseptide koostamisel ning segude segamisel.

Lisaks juhendajatele sooviksin tänada ettevõtteid, kes olid valmis lahkelt jagama materjale ning infot, millega töö tegemisel arvestada. KMG OÜ jagas lahkesti meiega värvitut sideainet ning pigmenti asfaltsegu värvimiseks, samuti ka oma kogemusi, millega seejuures arvestada. Signaal AS jagas meiega punast värvi ning termoplastist linti, mis olid laborist puudu.

Suured kiitused lähevad ka mu praegusele tööandjale Roadplan OÜ-le, kes oli väga vastutulelik kogu lõputöö kirjutamise vältel. Tööandja poolt sain moraalset tuge kui ka vajalikku aega, et keskenduda lõputöö kirjutamisele.

Lühendite ja tähiste loetelu

km – kilomeeter

FHWA – The Federal Highway Administration

K – Kelvin, temperatuuri mõõtühik

mm - millimeeter

km/h – kilomeetrit tunnis (liikumiskiirus)

°C – temperatuuri mõõtühik

VOC – Volatile organic compounds ehk lenduvad orgaanilised ühendid

MMA – metüülmetakrülaad

AC – asphalt concrete ehk asfaltbetoon

SMA – stone mastic asphalt ehk killustikmastiksfalt

PMB – polümeermodifitseeritud bituumen

lb – pound ehk nael, kaalu mõõtühik, $1\text{lb}\approx 0,45\text{kg}$

PEA – polüetüülakrülaad,

PMA – polümetüülakrülaad

PBA – polübutüülakrülaad

SBS – stüreen-butadieen-stüreen,

EVA – etüül-vinüül atsetaat

PE – polüetüleen

ASTM – American Society for Testing and Materials ehk Ameerika testimise ja materjalide ühing

W – watt, võimsuse ühik

g – gramm

kg – kilogramm

SISSEJUHATUS

Mida aeg edasi, seda suuremaks probleemiks muutub meie linnades õhu saastatus, süsiniku emissioonid, soojusaared ja ulatuslikumad liiklusummikud. Ühe võimaliku probleemi lahendusena nähakse kergliikluse arendamist, mis tagaks jätkusuutlikuma liikumisruumi linnas. Paljud riigid ja linnad on märganud, et jalgrattaga või jala liikuvate inimeste füüsiline ja vaimne tervis on paranenud. Lisaks tervislikele hüvedele, pakub jala ning jalgrattaga liikumine võimaliku lahenduse ka liiklusummikutele ja parkimisprobleemidele. [1]

Lühikeste ja keskmiste vahemaade läbimiseks linnas peetakse jalgratast üheks paremaks liikumisvahendiks. Selle võimaldamiseks tuleb aga tagada korralik infrastruktuur, mis toetaks turvalist liiklemist [1]. Jalgrataste ja kergliikurite kasutamine tõuseb alles peale seda, kui on tehtud vastavad investeeringud turvalisse liikluskeskkonda. Näiteks New Yorgi linnas suurenes aastatel 2007-2011 jalgratastega pendelliikumine kaks korda. Muutused saavad toimuda ka väga kiirelt. Aastal 2008 rajas New-York 90 miili ehk umbes 145 km uusi jalgrattateid ja samal aastal kasvas jalgrataste kasutatavus pendelliikumises 35%. Suurima enamuse moodustab nendest sõidud, mille vahemaaks kujuneb ligikaudu 5 km [2].

Olulist rolli mängib jalgrataste kasutamisel sõitjate turvatunne. Riikides, kus autokultuur on tugevalt juurdunud, vaadeldakse jalgrattureid ja teisi kergliiklejaid kui madalama klassi esindajaid. Samuti suhtutakse jalgratturitesse kehvasti ka jalakäijate poolt. Liikluskeskkonnas toimub seega pidev võimuvõitlus jalgratturite ja teiste liiklejate vahel. See loob olukorra, kus jalgrattur ei saa ennast mugavalt tunda ei sõiduteel ega jalakäijate teel, mis pärsib kergliikurite kasutamist. See pole aga eesmärk, mida saavutama peaks. Selleks, et jalgrataste kasutatavus ja ratturite turvatunne suureneks, tuleks rajada oma liikumisruum kõigile liiklejatele. [3]

FHWA poolt tellitud uuringus, mis keskendus haiglate erakorralise meditsiini osakondade statistikale, selgus, et enamus jalgratturitega juhtunud õnnetustest jääb registreerimata. Hinnanguliselt registreeritakse umbes üks neljandik õnnetusjuhtumeid ning need on tavaliselt vigastustega lõppenud tõsisemad õnnetused. Paljud nendest õnnetustest on juhtunud ratturite ja sõidukite kokkupõrkest. Enamik õnnetusi, mis juhtuvad ainult jalgratturite või jalakäijate ja jalgratturite vahel jäävad registreerimata, sest sellised õnnetused ei too kaasa tõsiseid vigastusi. [4]

1990-ndate aastate alguses viidi USA kuues osariigis läbi uuring, et aru saada, kus leiavad aset peamised jalgratturite ja sõidukite vahel juhtuvad õnnetused. Uuringus selgus, et umbes 70% jalgratturite ja sõidukite vahel juhtunud õnnetustest leidis aset linnaruumis. Cambridge, Massachusettsis läbi viidud uuringu käigus selgus, et linnaruumis juhtunud õnnetustest 68% toimusid ristmikel või nende lähipiirkondades, 39% nendest toimus reguleerimata ristmikel ja 29% reguleeritud ristmikel. Sellest lähtuvalt tuleks parema liikumisruumi tagamise eesmärgil keskenduda ületuskohtade turvalisemaks muutmisele. [2]

Üldjuhul on suurimaks ohuks jalakäijatele ja ratturitele ületuskohad, mis ei asu sõiduteede ristmikel. Peamiseks probleemiks selliste ületuskohtade juures on sõidukite liikumiskiirus. Sirge tee soosib kiiremat liikumist ja tähelepanu on lihtne hajuma. Nende turvalisemaks muutmiseks tuleb ristumised muuta oluliselt paremini nähtavateks. Üheks meetodiks selle saavutamisel on kasutada erivärviga katendeid, mis aitab parandada nii jalgratturite kui ka autojuhtide käitumist. Tänu sellele muutub ristmik oluliselt paremini nähtavaks. [1]

Rootsis tehtud uuring kinnitab disainitud katendi efektiivsust liikluse ohutumaks muutmisel. Ristmikel, kus oli kasutatud erilahendusi nagu näiteks punaseks värvitud asfalt või punastest tänavakividest sillutis, oli sõidukite liikumiskiirus oluliselt madalam. Tänu madalamale liikumiskiirusele suureneb aeg, kus juht on võimeline reageerima ning ka juhtide tähelepanu antud piirkonnas suureneb. Isegi, kui sellisel juhul peaks õnnetus juhtuma, on tagajärjed leebemad, sest liikumiskiirus õnnetuse hetkel on üldjuhul madalam. [5]

Lisaks liiklusohutuse suurenemisele on värvilistel katenditel positiivne mõju temperatuuri alandamisele linnakeskkonnas kuumadel suveilmadel. Võrreldes tavapärase musta asfaldiga, võib erinevat värvi katendi maksimaalne pinnakatte temperatuur erineda pea 10 K. Näiteks kollane, beež, roheline ja punane kattevärvus on vastavalt 9, 7, 5 ja 4 K madalama maksimaalse pinnatemperatuuriga kui must asfalt. Põhjuseks materjalide erinev võime valgust ja infrapunakiirgust peegeldada. Must asfalt seevastu salvestab enamuse kiirgusest, mis muudab asfaldist pinna kuumaks. [6]

Antud lõputöö võtab vaatluse alla võimalused ja lahendused, kuidas on võimalik erinevaid tehnoloogiaid rakendades muuta liikluskeskkond kergliiklejate jaoks turvalisemaks ning tähistada erinevad liikumisruumid. Töö käigus vaadeldakse katenditele peale kantavaid lahendusi, nagu näiteks erinevaid värve, termoplastikust ja

külmplastikust katteid, kui ka konstruktsioonilisi lahendusi, nagu näiteks sillutiskividest lahendused ja värvitud asfaldi kasutamine liikumisruumi eristamisel.

Lõputöö keskendub suuremal määral värvitud asfaldist lahendustele ning püüab leida lahendusi, kuidas muuta värvitud asfaldist lahendused visuaalselt vastupidavamaks ekspluatatsioonitingimustes. Suurimaks probleemiks värvitud asfaldi kasutamisel on saanud värvi tuhmumine või lausa kadumine kohtades, kus peal liiklevad ka sõidukid. Sõidukitel ja neil kasutatavatel rehvidel on suur roll nii värvitud asfaldi kui ka asfaldile peale kantavate katemärgistuse kulumisel. Lõputöö üheks eesmärgiks on pakkuda lahendusi, kuidas muuta värvitud asfaldiga lahendused vastupidavamaks, et investering tasuks ennast paremini ära.

Lisaks materjalide analüüsile ning laboratoorsetele katsetele, tehakse antud magistritöö raames ettepanekud, milliseid tehnoloogiaid millistes situatsioonides oleks mõistlik kasutada. Selleks vaadeldakse eraldi nii asfaltkatteid kui ka betoonist või sillutiskividest katendeid.

Võtmesõnad: liiklusohutus, liikumisruumide eraldamine, jalgrattateed, värvilised katendid, värv, termoplast, külmplast, epoksiid, polüuretaan, värvilised sillutiskatendid, bituumen, värvitu sideaine, pigment, täitematerjal, magistritöö.

1. ERIVÄRVI KATENDI JA MARKEERINGU KASUTAMISE VÕIMALUSED LINNAKESKKONNAS

Antud peatükis tuuakse välja erinevad võimalikud tehnoloogiad, kuidas on võimalik suurendada sõidukijuhtide tähelepanu kriitilistes kohtades. Eesmärk on selgitada erinevate tehnoloogiate eripärasid ning leida, mis tingimustesse sobivad allpool välja toodud tehnoloogiad.

1.1. Värv

Värvina mõistetakse materjali, mis algkujul on vedel ning sisaldab sideaineid, pigmente, erinevaid täiteaineid, lahusteid ja muid lisaaineid. Kattemarkeeringuna kasutatakse kas ühe- või kahekomponentseid värve. Nende materjalidega katmise korral toimub kivinemine lahusti või vee aurumise teel. Samuti võib toimuda kivinemine ka keemilise reaktsiooni või ühinemisprotsessi tulemusel. [7]

Värvide puhul on oluline, kuidas see mõjutab keskkonda. Lahustipõhised värvid omavad keskkonnale negatiivsemat mõju kui veebaasil toodetud värvid. Samuti on lahustipõhiste värvide mõju keskkonnale suurem kui termoplastikul ja külmplastil. Lahustipõhised värvid võivad olla mõnevõrra odavamad, kui veebaasil olevad värvid, kuid nende eeldatav eluiga on sarnases vahemikus. Mõlema värvi puhul võib eeldada, et eluiga on umbes 1 aasta. [8]

Värvide üheks probleemiks on see, et aluskiht kaetakse väga õhukese värvikihiga. Keskmiselt jääb värvikihi paksuseks umbes 0,3 mm [9]. Vastavalt Eesti Vabariigi seadusandlusele, on riigis lubatud kasutada naastrehve. Naastud võivad ulatuda teatud olukordades rehvipinnast välja maksimaalselt kuni 2,5 mm [10]. Naastrehvide tulemusel kulub värv oluliselt kiiremini. 1970. aastatel tegi Minnesota kiirteede osakond katse avamata teelõigul, et näha, kui kiiresti kulub värv naastrehvide kasutamisel. Tulemuseks saadi, et värvi peaaegu täielikuks kulumiseks piisas umbes 7000 läbikust 80 km/h liikumiskiiruse juures [11].

Teine suurem probleem värvi puhul on selle kehva nähtavus öisel ajal. Kuna värvikiht on väga õhuke, ei ole võimalik sellele lisada klaasist helmeid, mis muudaksid märgistuse

paremini nähtavaks. Kehvem kulumiskindlus ja halvemad nähtavusomadused muudavad värvi kasutamise avatud liikluse korral ebamõistlikuks. Selle tõttu kasutatakse värvi asemel avatud liikluse korral pigem termoplastikut, vaatamata värvi odavamale hinnale. [12]

Tulenevalt värvimisest saadavast õhukesest kihist ning materjali nõrgast vastupidavusest kulumisele, ei ole värv kõige sobivam markeerimise viis avatud sõidukiliikluse korral. Eriti kiirelt kulub värv talvel, kus lisaks naastrehvidele liiguvad teedel ka sahad. Sellest tulenevalt sobib värv kasutamiseks peamiselt ajutiste lahendustena, näiteks teetööde korral. Samuti võiks värvi kasutamist kaaluda madalate liiklussagedustega aladel, nagu näiteks parklad või kergliiklusteed.

Värvimise tehnoloogiat ilmestab joonis 1.1.



Joonis 1.1. Veebaasil põhineva punase värvi paigaldamine [13]

1.2. Termoplast

Termoplast on lahustivaba katte märgistustoodete. Tavaliselt tarnitakse seda plokkidena, graanulitena, pulbrina või eelvormitud kujul. Paigaldamiseks materjal kuumutatakse sulanud seisundisse ning kantakse teekattele. Jahtumisel moodustab ühtse kile teepinnale. [7]

Termoplastik koosneb üldjuhul klaashelmestest, pigmentidest ja täiteainest, mida hoiab koos sideaine. Üldjuhul on sideaineks erinevad plastikud ja vaigud. Sideained moodustavad kogu segust 15-25%. Termoplastik muutub üldjuhul vedelaks 200°C juures. Tänu sellele, et materjal ise on tahke ja muutub vedelaks kõrgel temperatuuril, vajab see materjal oluliselt lühemat kuivamisega, kui värvid, tänu millele on liiklus häiritud lühemat aega. Samuti pole termoplastik nii kahjulik loodusele kui värvid, sest ei sisalda oma koostises lahusteid. [14]

Termoplastiku saab üldjoontes jaotada kahte erinevasse gruppi. Nendeks on naftal põhinev süsivesinik termoplast ja alküüdtermoplast. [15]

Naftal põhinev süsivesinik termoplast on termoplast, mille sideaineteks on nafta töötlemisel saadud vaigud. Nafta baasil toodetud termoplastik on kuuma suhtes parema stabiilsusega, tänu millele on tema paigaldamise tulemus paremini ennustatav. Seevastu on aga materjal tundlik õlile ja teistele sõidukitega seotud kemikaalidele, mistõttu ei sobi väga hästi piirkonda, kus sõidukid seisavad või peatuvad. [15]

Alküüdtermoplast on valmistatud puidust saadud vaikudest ning see on vastupidav erinevatele naftatoodetele. Teised eelised naftal põhineva termoplasti ees on parem peegelduvuse väärtus ja parem vastupidavus kulumisele. Samuti on soovitatav kasutada alküüdtermoplasti kõrgema liikluskagedusega aladel. Seetõttu sobib see hästi kasutamiseks linnakeskkonnas. [15]

Termoplasti loetakse ka võrdlemisi keskkonnasõbralikuks teekatte märgistuseks. Peamine põhjus on, et termoplast ei sisalda erinevaid lahusteid, mis muudab selle loodusele sõbralikumaks ning samuti ka paigaldajatele ohutumaks. [8]

Termoplastiku paksus teele kandmisel on oluliselt suurem kui värvil. Tavaliselt on termoplastiku kihil paksus 1,5-3 mm. See on oluline, et oleks tagatud termoplasti kestvus ajas. Samuti on üldine arusaam, et mida paksem on teele kantava

termoplastiku kiht, seda parem on tema vastupidavus eksploatatsioonitingimustele. [14]

Termoplastiku kihi paksusel on ka oluline roll selle korrektsele kinnitumisele katendi külge. Paigalduse tehnoloogiast tulenevalt on oluline, et ilmastikutingimused oleksid õiged ja kihi paksus piisav. Nimelt termoplasti korrektsel paigaldamisel sulatab materjal üles asfaldis kasutatud bituumeni ning tänu sellele moodustub termoplasti ja asfaldi vahel termiline side. See muudab nakkepinna tugevaks ja takistab enneaegset koorumist. Paigaldatava kihi paksus peab olema seega piisav, et termoplast ei jahtuks liiga kiiresti ning tekiks tugev termiline side. Samuti annab piisav kihi paksus aega, et kattermärgistus saaks valguda asfaldis olevatesse pooridesse. Lõpptulemusena saavutatakse tugev termiline ja mehaaniline side. [15]

Termoplasti kasutamine betoonkivisillutisel on mõnevõrra keerulisem. Kui asfaldi korral sulatatakse üles osa asfaldi bituumenist, mis moodustab koos termoplastiga tugeva termilise sideme, siis betoonkivide korral see juhtuda ei saa. Et tagada hea nake, on vajalik eelnev kivisillutise kruntimine. Sama tuleks teha ka vanema asfaltkatte korral, sest osa bituumenist on kulunud ning bituumeni omadused ajas on muutunud. [12]

Termoplastiku vastupidavuse seisukohalt tasub välja tuua, et ristmike piirkonnas on markeeringu eluiga oluliselt väiksem, kui sujuva liiklusega aladel. Sõltuvalt liiklussagedusest võib eeldada, et markeeringu eluiga võib ristmikel olla lausa 2-3 korda lühem, kui sujuva liiklusega aladel [14].

Arvestades naastrehvide kasutamist talvisel perioodil, termoplasti omadustega ning paigaldamise eripäradega, võiks markeeringu kihi paksus autoliiklusega alal olla üle 3 mm, et tagada parem kulumiskindlus.

Termoplastikust tehnoloogia kasutamist ilmestab joonis 1.2.



Joonis 1.2. Punase termoplastiku paigaldamine [16]

1.3. Külplast

Külplast on materjal, mis on mitmekomponentne ja sisaldab kõvendit ja põhikomponenti. Kõvendiks kasutatakse peroksiidi ja põhikomponendiks plastiku massi. Külplast moodustab ühtlase õhukese kile peale materjalide kokku segamist. Tahenemine toimub ainult tänu keemilisele reaktsioonile. [7]

Külplast on keskkonnale mõnevõrra ohtlikum toode, kui seda on termoplast. Nimelt külplasti koostisesse kuuluvad lahustid ja lenduvad orgaanilised ühendid ehk VOC-id. Selle tõttu on külplasti paigaldamine töötajatele ka mõnevõrra ohtlikum. [8]

Külplasti negatiivsemaks omaduseks on selle pikem tahenemisaeg võrreldes termoplastiga. Seetõttu on liiklus külplasti paigaldamisel kauem häiritud. Teisest küljest ei ole külplasti paigaldamise juures oluline, et kaetav pind oleks asfalt, vaid see sobib ka kandmiseks otse betoonile. Samuti on külplast vastupidav erinevatele õlidele ja teistele kemikaalidele, mis tulenevad sõidukite kasutamisest. [17]

Külplasti eelisena on välja toodud ka tema hea vastupidavus külmas kliimas. Soojas kliimas ei pruugi külplasti eelised nii tugevalt välja lüüa, kui jahedamas kliimas ning

seega on toote kasutamine pigem soovitatav jahedamates piirkondades, kus esineb ka lumesadu. [17]

Kuigi külplast on mõnevõrra kahjulikum loodusele, kui termoplast, on tegu siiski võrdlemisi keskkonnasõbraliku lahendusega. Väiksem mõju keskkonnale saavutatakse sellega, et külplasti on võimalik õhukese kihiga uuesti üle katta. Samuti on külplasti eluiga mõnevõrra pikem kui termoplastil ja materjali kulu pinna katmisele on väiksem. [18]

Külplasti all mõistetakse tavaliselt metüülmetakrülaati ehk MMA-d. Nagu eelpool mainitud, on külplast mitmekomponentne. MMA esimene osa sisaldab metüülmetakrülaadi monomeeri, pigmente, täiteaineid, klaashelmeid ja ränidioksiidi. Teine osa koosneb bensüülperoksiidis lahustunud plastifikaatorist. Need osad on omavahel kokku segatud vahekorras 4:1. [19]

MMA kasutamise tehnoloogiaid on mitmeid ning seda saab kanda katendile nii pritsimise tehnoloogiaga kui ka katmise ehk ekstrudeeritud tehnoloogiaga. On täheldatud, et ekstruud MMA püsib kauem, kuid pritsitava MMA eelis on soodsam hind. Üldjoontes jääb MMA kihi paksus vahemikku 0,8-3 mm. [19]

Külplastikust tehnoloogia kasutamist ilmestab joonis 1.3.



Joonis 1.3. Punase pritsitava külplastiku paigaldamine [20]

1.4. Epoksiid ja polüuretaan

Epoksiid, sageli nimetatud ka epoksiidvärvi, on vastupidav katemärgistusvahend, mis on kahekomponentne. Epoksiidi esimene komponent koosneb pigmendist, vaigust ja erinevates täiteainetest, teine komponent aga kõvendajast, mis kiirendab tardumisaega. Klaashelmed lisatakse kas värskelt peale kantud materjalile või segatakse eelnevalt materjali sisse. Materjali komponendid kuumutatakse eraldi üles ja siis segatakse omavahel kokku. Paigaldamise ajal on materjali temperatuur ca 45°C. Epoksiidi on kiiresti kuivavat kui ka aeglaselt kuivavat. [17]

Epoksiid oma olemuselt sarnaneb polüestri, polüurea ja metakrülaadiga. Epoksiidi peetakse heaks katteks, millel on väga hea nakkumine nii asfaldi kui betooniga. Nagu kõigi teiste tehnoloogiatega, on oluline, et aluspind oleks korralikult puhastatud. Üheks suuremaks probleemiks epoksiidi puhul on tema võrdlemisi pikk kuivamisega, mis võib ulatuda üle 40 minuti. Seetõttu on seda raske kasutada suure liikluskoormuse korral. [17]

Teise probleemina võib välja tuua, et epoksiidid sisaldab vähesel määral VOC-e. Lisaks VOC-idele on võrdlemisi ohtlikud materjalid, millega toodetakse epoksiide. Teisest küljest peetakse aga epoksiide üheks parimaks materjaliks, millega katta betooni. [17]

Eestis on kasutatud modifitseeritud epoksiidi ehk polüuretaani baasil tehnoloogiat Viimsis. Kuna teelõik oli suure kaldega, tuli ette näha tehnoloogia, mis oleks libisemist takistav. Pooljuhuslikult kasutati selleks tehnoloogiat *Rocbinda™*, millega on võimalik rajada erinevat tooni katteid. [21]

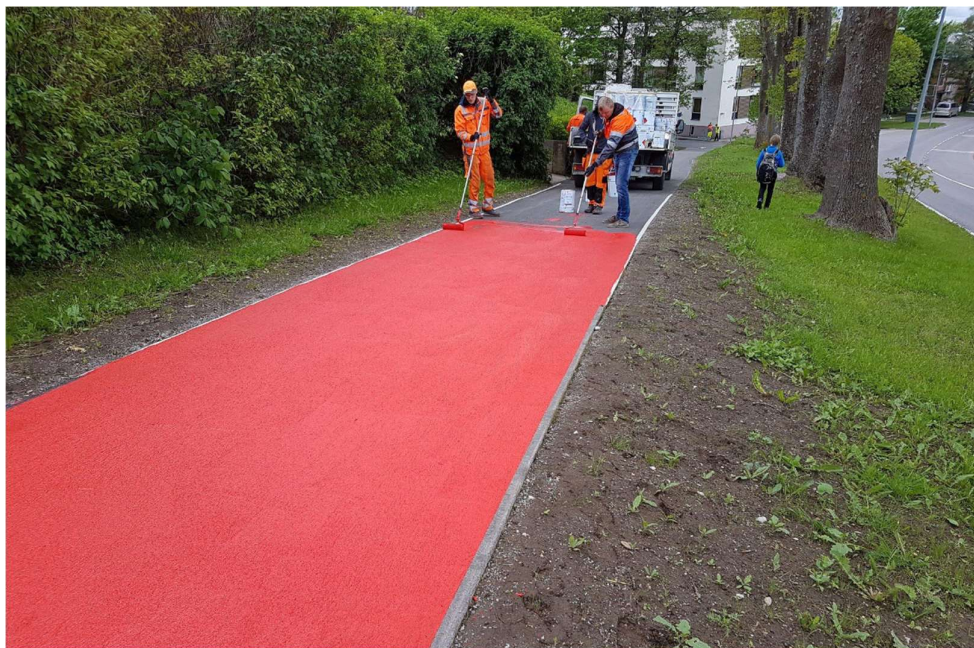
Rocbinda™ tehnoloogiaga saab kattele anda väga laialdase värvispektriga toone, nagu nt roheline, punane, sinine, kollane jne. Nagu eelnevalt mainitud, sobib tehnoloogia väga hästi ka betoonil kasutamiseks. Teggu on kaheosalise külmkantava polüuretaanvaiguga, mida kasutatakse koos 1-5 mm epoksiidist täitematerjaliga, mis tagab kõrge hõõrdetakistuse. [22]

Epoksiidide eluiga peetakse üldiselt heaks ning see on hea alternatiiv tavapärastele värvidele. Epoksiidide probleem on aga selle võrdlemisi õhukeses kihis, mis jääb alla 1 mm, tavapäraselt 0,5 mm kanti. [23]

Epoksiidide õhukesest kihist tulenevalt ei sobi antud tehnoloogia väga hästi kasutamiseks avatud sõidukiliiklusega aladele. Nagu teiste värvide puhul, kulutavad

naastrehvid katet väga kiiresti. Kuna aga epoksiidid on mõnevõrra paksemad, kui tavalised värvid, kestavad nad ka liikluses mõnevõrra paremini. Kui tavaliste värvide puhul on keskmiseks elueaks umbes 1 aasta, siis epoksiidvärvide puhul võib see ulatuda 2 aastani. [24]

Rocbinda™ tehnoloogia asfaltkattele peale kandmist ilmestab joonis 1.4.



Joonis 1.4. *Rocbinda™* paigaldamine Viimsis [21]

1.5. Polüester

Polüestrist katemärgistuse segu koosneb kahest eraldiseisvast kemikaalist, mis segatakse omavahel kokku vahetult enne pinna katmist. Klaashelmed puistatakse värskelt maha pandud materjalile. Kõige paremini sobib polüester kasutamiseks asfaldil ning seda saab peale kanda ka olemasolevale markeeringule. Kuigi polüester on madala VOC-ide sisaldusega, peetakse selles kasutatavaid materjale ohtlikeks. [17]

Polüestri kasutuseaks peetakse 2-3 aastat. Oma olemuselt on see sarnane värvile ning seetõttu on kaetav pind võrdlemisi õhuke. Sageli kutsutakse polüestrit ka polüester värviks. Lisaks sellele on probleemiks polüestri madal võime valgust tagasi peegeldada. [19]

Kuna polüestri kiht kattele on võrdlemisi õhuke, ei sobi see avatud sõidukiliiklusega alale.

Polüestrit kasutatakse pinnakattematerjalina rohkem teistes tööstusharudes. Peamiselt kaetakse antud tehnoloogiaga erinevaid metallist pindasid. [25]

Polüestrist pulbriga pinna katmine on välja toodud joonisel 1.5.



Joonis 1.5. Polüestervärviga detailide katmine [25]

1.6. Polüurea

Polüurea on kahekomponente materjal, mis segatakse kokku objektile. Materjali esimene komponent sisaldab vaikusid, pigmenti ja erinevaid täiteaineid, teine komponent sisaldab aga sidujat. Klaashelmed puistatakse sarnaselt polüestriks värskelt maha pandud materjalile. Polüureat peetakse heaks ja tugevaks materjaliks, mis säilitab väga hästi oma värvi ultravioletvalgusele. Samuti saab polüureat kanda võrdlemisi madala temperatuuriga pinnale. Näiteks saab seda kasutada isegi 5°C juures. Polüurea on materjal, mis töötab hästi nii asfaldil kui ka betoonil. [17]

Polüurea on võrdlemisi uus kattematerjal ning seetõttu ei teata liiga hästi tema omadusi. Kuigi seda peetakse väga tugevaks materjaliks ja on vastupidav niiskusele, ei pruugi selle materjali kulumiskindlus väga suur olla. Samuti peetakse üheks probleemiks, et

polüürea kasutamine nõuab eritehnikat, mis muudab kogu tehnoloogia ka võrdlemisi kalliks. [17]

Polüürea tehnoloogiat kasutatakse väga paljudes erinevates tööstusharudes. Antud tehnoloogiat kasutatakse sageli ka metallpindade katmiseks. Samuti sobib see tehnoloogia sildade, teede ja erinevate tööstuspõrandate katmiseks. Kuna polüürea on veekindel ning ka vastupidav kemikaalidele, on antud tehnoloogiat kasutatud näiteks sildade kaitsmiseks korrosiooni vastu. [26]

Polüüreaga pinna katmist ilmestab joonis 1.6.



Joonis 1.6. Polüürea tehnoloogiaga pinna katmine [26]

1.7. Värvilised sillutiskatendid

Üks võimalik viis, kuidas eristada erinevaid liikumisruume, on kasutada eri värviga kivisillutisi. Sillutiskatendite üks positiivne omadus on, et see vähendab sõidukite liikumiskiiruseid. Philadelphia linnas USA-s mõõdeti sõidukite liikumiskiiruseid asfaldil, betoonist või tellistest tänavakividel ja graniittänavakividel ning selgus, et suurim keskmine liikumiskiirus oli asfaldil. Tehislikel tänavakividel langes liikumiskiirus ca 5km/h ja graniidist tänavakividel ca 11/km/h. [27]

Sillutiskatendeid kasutades on võimalik vähendada ka jalgratturite liikumiskiirust tiheda jalakäijate liiklusega alal. Siledam kate soodustab kiiremat liikumist. Kuna kergliikurite kasutamine muutub aina populaarsemaks, peab ühel hetkel hakkama ka mõtlema, kuidas luua turvalist liikumiskeskonda jalakäijate ja jalgratturite vahel. Üks võimalik variant, kuidas vähendada ka jalgratturite liikumiskiiruseid, on kasutada just värvilist sillutist.

Sillutiskatenditena kasutatakse peamiselt betoonist tänavakive/plaate või looduslikust kivist tänavakive/plaate. Loodusliku kivina kasutatakse peamiselt graniiti. Betoonist sillutiskive ja graniidist sillutiskive peetakse väga vastupidavaks ehitusmaterjaliks. Need pakuvad ka alternatiivi tavapärasele asfaltkatele. [28]

Erivärvi kividega on võrdlemisi lihtne luua efektset maastikukujundust. Kui arvestada juurde ka sillutiskatendi hea vastupidavus, on see väga hea alternatiiv teistele märgistusvariantidele, mis loob kauakestva lahenduse. Erivärvi kivide kasutamisel kaob ära probleem, kus võrdlemisi lühikese aja tagant tuleb katendit värvida. Üks efektne lahendus on välja toodud joonisel 1.7, kus on loodud erivärvi kividega kujutis ning kaugemal on märgitud ka liikumiskoridorid.

Sillutiskatendi kasutamisel avatud sõidukiliikluse korral on aga oluline tagada korrektne ja õigesti projekteeritud katendikonstruktsioon. Samuti on oluline jälgida kivide paksust ja konstruktsioonilisi kihte, et tagada hea pingete jaotus ja võimalikult pikk eluiga. Kuna sillutiskate ja asfaltkate töötavad erinevalt, ei toimu nende projekteerimine samadel põhimõtetel. [29]



Joonis 1.7. Punase ja halli graniidi kuubikud jalakäijate alal Torggatani tänaval Mariehamni kesklinnas [30]

1.8. Värvitud asfalt

Lisaks erinevatele peale kantavatele märgistustele, on võimalik liikumisruumi välja tuua ka püsivamate lahendustega nagu näiteks värvitud asfaldiga. Selle eluiga on märgatavalt suurem, samuti on lahendus hooldevabam. Teisest küljest on aga antud tehnoloogia märkimisväärselt kallim, kui muud pinnale peale kantavad tehnoloogiad.

Värvitud asfaldi saab laias laastus jaotada kaheks vastavalt kasutatavale sideainele. Värviline katend on võimalik saada tavabituumenile pigmendi lisamisega või kasutada spetsiaalset heledat sünteetilist bituumenit, millele on lisatud pigmenti. Samuti on võimalik ka nende kahe tehnoloogia segu. Kõige parem tulemus on võimalik saavutada kasutades sideainena läbipaistvat sünteetilist bituumenit. Hinnanguliselt võib see aga olla 5-8 korda kallim, kui tavaline bituumen. [31]

Lisaks eribituumeni ja pigmentide kasutamisele, on võimalik asfaldile värvi anda ka täitematerjalide kaudu. Selleks on võimalik kasutada värvilisi täitematerjale, näiteks

erinevat tooni mineraale ja graniite. Võimalikud erivärvi mineraalid on näitena välja toodud joonisel 1.7. Samuti on võimalik kasutada taaskasutatud klaasi, räbu ja muid jääkmaterjale. [32]

1999. aastal on läbi viidud uuring Portlandi linnas, kus võrreldi erinevaid tehnoloogiaid värviliste katendite rajamise jaoks. Sealt selgus, et värvitud asfaldi vastupidavust peeti kõige paremaks, mistõttu on tegu perspektiivika lahendusega, mida tuleks erivärviga katendi lahenduste kavandamisel kindlasti kaaluda. Uuringu tulemused on välja toodud tabelis 1.1. Värvitud asfaldi näiteid on võimalik näha näiteks joonisel 2.9 ja joonisel 3.1. [33]

Tabel 1.1. Portlandi linna värviliste jalgrattateede materiaalseste kaalutluste uuringu tulemused [33]

| Materjal | Teadaolevad müüjad | Ligikaudne materjalide hind | Vastupidavus | Värvide saadavus |
|--------------------------------------|---|--|--|--------------------------------|
| Värv | Kohalikud värvipoed | \$.04-\$.10/ jalg (1 jalg \approx 30cm) | Halb | Lai valik erinevaid värve |
| Termoplastik | Flint Trading (Premark®)' 336-475-6600 | \$2.66/ jalg ² (1 jalg ² \approx 929 cm ²) | Hea. Talub märkimisväärset liikluskoormust ja pööramisi | Sinine, punane, kollane, valge |
| Metüülmetakrülaat makeering | Morton Traffic Markings (Dura Stripe®) 800-835-3357 | \$.50-\$.60/ jalg (1 jalg \approx 30cm) | Potentsiaalselt hea | Kollane, valge, punane |
| Külmplastik | 3M (Stamark®) 800-362-3455 | \$4.50 jalg ² (1 jalg ² \approx 929 cm ²) | Vastupidav, pole nii hea vanemal asfaldil; tõenäoliselt ei talu suuri pöördesagedusi | Sinine, punane, kollane, valge |
| Värvitud asfalt | Asphacolor® 800-258-7679 | Väga kulukas. Tuleb värskelt paigaldada, töödeldud asfalt. | Suurepärase | Maalähedased toonid |
| Asfaldi pinnale pitseeritav materjal | Integreeritud sillutise kontseptsioonid (Street Print) 800-688-5652 | Kulukas. Tuleb kanda värsketele asfaldile. | Teadmata | Maalähedased toonid |

| Materjal | Teadaolevad müüjad | Ligikaudne materjalide hind | Vastupidavus | Värvide saadavus |
|----------------------|--|------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| Värviline akrüülkate | Liiklusohutus-süsteemid (Zebraflex®) 407-348-2624 | Teadmata | Potentsiaalselt hea | Sinine, roheline, punane, kollane |

2. VÄRVILISE ASFALTI TEHNOLOOGIAD, OMADUSED JA KASUTAMINE

2.1. Värvilistes asfaltides kasutusel olevad sideained

Nagu eelnevalt peatükis 1.8 välja toodi, kasutatakse värvitud asfaldi tootmisel kahte erisugust bituumenit. Odavam variant on kasutada tavalist, nn musta bituumenit ning teine variant on kasutada sünteetilist läbipaistvat või biobituumenit.

Vastavalt Eestis kehtivatele normidele, on asfaltbetoonsegudel kindlaks määratud minimaalne sideainesisaldus, mis erineb vastavalt asfaldi sõelkõverale. Asfaltbetoonsegude kulumiskihi ehk AC surf korral jääb minimaalne sideaine sisalduse massiprotsent vahemikku 4,8-5,8% ning killustikmastiksfaldi ehk SMA korral 5,8-6,2%. [34]

2.1.1. Tavapärane must bituumen

Eestis kasutatakse teebituumeneid, mille mark jääb vahemikku 50/70 kuni 160/220. samuti võib kasutada ka polümeermodifitseeritud bituumeneid. Eestis on kõige enam kasutusel teebituumen margiga 70/100 ning polümeermodifitseeritud bituumen PMB 65/100-65. [34]

Teebituumeni mark 70/100 näitab bituumeni nõelpenetratsiooni väärtust. Nõelpenetratsiooni väärtusega klassifitseeritakse erinevaid teebituumeneid. [35]

Polümeermodifitseeritud bituumeni ehk PMB mark 65/100-65 tähistab, et penetratsiooni vahemik jääb 65 ja 100 vahele ning sidekriipsuga eraldatud 65 näitab, et pehmenemistäpp on vähemalt 65°C. [36]

Eelnevalt välja toodud bituumenid on teada tuntult mustad. Selleks, et asfaltsegu värvust muuta, on vajalik kasutada erinevaid pigmente. Kõige enam kasutatakse selleks erinevat tooni raudoksiide, tavaliselt punane või kollane. Pigmenti kogusest sõltub ka

asfaltsegu värvi lõpptulemus. Tavapäraselt jääb pigmendi osakaaluks kuni 5% asfaltsegu massist. [37], [38] ja [39]

Tavalise bituumeni kasutamisel ei ole aga võimalik saada nii erksat tulemust, nagu kattele peale kantavate tehnoloogiatega. Samuti pole tavapärase musta bituumeni kasutamisel asfaltsegu värv nii erk, kui seda on võimalik saavutada sünteetilise läbipaistva bituumeniga. Klassikalise musta bituumeni kasutamisel on piiratud ka saavutatav värvitoon. Lõpptulemus on pigem maalähedase tooniga. Valdavalt on võimalik saavutada musta sideainega punakaid toone. Võimalikud saadavad asfalti toonid on välja toodud joonisel 2.1. [33], [39] ja [40]



Joonis 2.1. Võimalikud saadavad asfalti värvitoonid kasutades tavapärasest musta bituumenit ja Asphalt Color pigmenti. 50lb≈22,5kg [39]

2.1.2. Läbipaistev ehk sünteetiline bituumen

Läbipaistev bituumen on sünteetiline bituumen, mis on bioloogilist või mineraalset päritolu. Oma omadustelt on sünteetiline bituumen võrdlemisi sarnane tavapärasele mustale bituumenile, kuid kuna päritolu on siiski sünteetisel bituumenil teine, võivad mõned omadused siiski erineda. [40]

Heledaid sünteetilise sideaineid valmistatakse peamiselt kahel meetodil. Üks variant on eemaldada must värv tavapärasest bituumenist. Teine variant on kasutada heledat sünteetilisest vaigust sideainet, mis on valmistatud nafta rafineerimisjärgist, naftavaigust ja polümeermodifikaatorite abil. Peamisteks algmaterjalideks on aromaatsed õlid ja naftavaigud. [41]

Kuna naftavarud ei ole maailmas lõputud, on otsitud lahendusi, kuidas toota sideaineid taastuvatest allikatest. Sünteetilist sideainet on võimalik toota ka näiteks sojavalgust,

tärglisest, tselluloosist ja muudest polüsahhariididest. Samuti on toodetud sideaineid erinevatest valkudest, suhkrutest ja taimeõlidest. [42] ja [43]

Bioloogilised sideained kategoriseerivad peamiselt kolme rühma: polüetüülakrülaad ehk PEA, polümetüülakrülaad ehk PMA ja polübutüülakrülaad ehk PBA. Katsetulemustest on selgunud, et PEA on oma reoloogilistelt omadustelt võrdlemisi sarnane 100/150 penetratsiooniga bituumeniga. PMA on oma reoloogilistelt omadustelt sarnane bituumenile penetratsioonimargiga 10/20. PBA on aga voolavam, mistõttu seda ei saaks üksi bituumeni asendajana kasutada. [43]

Neid bioloogilisi sideaineid saab kasutada täielikult bituumeni asendajana, bituumeni modifikaatoritena kui ka osaliselt bituumeni asendajana. Küll aga ei saa kindlalt väita, et 100% bituumeni asendamine bioloogilise bituumeniga võimaldaks saavutada samasid tulemusi tavapärase bituumeniga. Bioloogilise bituumeni ja tavapärase bituumeni segud on andnud paremaid ja ühtlasemaid tulemusi. [43]

Süntheetilise bituumeni värv võib võrdlemisi suurel määral erineda. Värvus võib varieeruda helekollasest kuni võrdlemisi tumeda pruunini. Tänu väga laiale värvitoonide vahele, saab neist toota väga erineva värvusega asfalti. Värvitud asfalt ei piirdu vaid punase või rohelise asfaltiga, vaid on võimalik toota ka nii-öelda valget asfalti. Kasutatava pigmendi kogus sõltub aga paljudest asjaoludest, nagu näiteks pigmendi tootja, pigmendi omadused, sideaine omadused ja ka soovitud värv. [40]

Kui musta bituumeni kasutamisel jääb tavapäraselt pigmendi osakaal 5% juurde asfaldi massist (vt ka peatükk 2.1.1), siis värvitu bituumeni kasutamisel on vaja märkimisväärselt vähem pigmenti. Rohelise ja punase asfaldi tootmisel läbipaistva bituumeniga jääb pigmendi kogus üldjuhul 1,5-2% juurde asfaltsegu massist. [44]

Kees Plug ja Arian de Bondti uuringust on selgunud, et erinevate tootjate sünteetilised bituumenid võivad teineteisest päris märgatavalt erineda ning segude välja töötamiseks vajavad modifitseerimist. Tuleb välja, et soojades tingimustes töötavad sünteetilised sideained sarnaselt tavapärastele sideainetele, kuid suuremad erinevused esinevad just külmades tingimustes. Uuritud sideainete omadused on välja toodud tabelis 2.1 ja tabelis 2.2. [40]

Uuringus selgub, et kuigi tüüp A sideaine korral on Fraass-i murdumistäpp sama nagu bituumenil margiga 70/100, siis ΔT_{cr} , mis näitab sideaine varajast pragunemist, on

oluliselt kõrgem kui bituumenil 70/100. See tuleneb painduva tala katsest, mis hindab jäikuse muutust ajas koormamisel. [40]

Tabel 2.1. Tüüpilised omadused saadaolevatel läbipaistvatel sünteetistel sideainetel erinevate tootjate poolt [40]

| Omadus (värske sideaine) | Ühik | Modifitseerimata, tarnija B | Modifitseeritud, tarnija A | Modifitseeritud, tarnija B |
|---|-------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Penetratsioon | [0.1 mm] | 81 | 41 | 82 |
| Pehenemistäpp | [°C] | 46,0 | 69,1 | 53,0 |
| Fraass murdumispunkt | [°C] | -8 | -19 | -11 |
| Painduv tala (BBR) S=300 | [°C] | -9,5 | -27,0 | -10,2 |
| BBR m=0.300 | [°C] | -16,0 | -14,5 | -17,0 |
| $\Delta T_{cr} = T_{cr} (m=0.300) - T_{cr} (S=300)$ | [°C] | -6,5 | 12,5 | -6,8 |

Tabel 2.2. Standardse musta bituumeni omadused vastavalt standardile EN 12591 [40]

| Omadus (värske sideaine) | Ühik | Bituumen 40/60 | Bituumen 70/100 |
|---|-------------|-----------------------|------------------------|
| Penetratsioon | [0.1 mm] | 40-60 | 70-100 |
| Pehmenemistäpp | [°C] | 48-56 | 43-51 |
| Fraass murdumispunkt | [°C] | ≤ -7 | ≤ -10 |
| Painduv tala (BBR) S=300 | [°C] | -16 | -19 |
| BBR m=0.300 | [°C] | -18 | -22 |
| $\Delta T_{cr} = T_{cr} (m=0.300) - T_{cr} (S=300)$ | [°C] | -2 | -3 |

Eelnevast tulenevalt on oluline, et enne asfaldisegu paigaldamist tuleb kindlasti projekteerida õige asfaldisegu vastavalt kasutatavale sideainele. Sideainete omadused võivad oluliselt erineda erinevatel temperatuuridel ning on oluline leida just sobiv sünteetiline sideaine Eesti heitlikusse kliimasse. Selleks võib osutuda vajalikuks sideaine modifitseerimine erinevate lisanditega, et saavutada sobivad omadused.

Kui tavapärase musta bituumeni kasutamisel on võimalik saavutada võrdlemisi maalähedased toonid (vt peatükk 2.1.1), siis sünteetilise bituumeniga on võimalik saada väga lai valik erinevaid toone, kasutades selleks erinevaid pigmente. Võimalikud värvitoonid on välja toodud joonisel 2.2, kus on näha, et asfaldi on võimalik toonida punasest siniseni ja valgest/helehallist roheliseni. [40]



Joonis 2.2. Valik võimalikke asfaldi värvitoone [40]

2.2. Värvilistes asfaltides kasutusel olevad täitematerjalid

Värvilistes asfaltides on kasutusel samad täitematerjalid, mis tavapärasel asfaltis, kuid lisaks on juures erinevad pigmendid ja lisandid, mis aitavad pigmentidel paremini seguneda ning parandada bituumeni omadusi. Samuti tuleks värvitud asfaltkatendit kavandades arvesse võtta mõnda lisadetaili. Järgnevatel peatükkides on välja toodud detailid, millega tuleks arvestada värviliste asfaltkatendite rajamisel lisaks tavapärasele asfaltkatendi kavandamisele.

2.2.1. Kivimaterjal

Värvitud asfaldi värvi püsivuse seisukohalt on oluline, et täitematerjali värvus oleks sarnane soovitud asfaldivärviga. See tagab asfaldi värvi pikaajalisuse. [40] Näiteks on Hollandis katsetatud heledat värvi asfaldi, kus tulemus on võimalik saavutada mitmel viisil. Koheselt on võimalik heledat tooni saavutada, kui kasutada heledat tooni täitematerjali, läbipaistvat sünteetilist bituumeni ja heledat tooni pigmenti. Teine variant on kasutada musta bituumeni, kuid heledat täitematerjali. Hele värv tuleb esile aga alles siis, kui asfaldilt on bituumeni kiht maha kulunud liikluse tagajärjel. Sellisel juhul tekib aga „sebra“ taoline välimus, sest sõidujäljes toimub kulumine kiiremini. Kui

aga must bituumeni kiht eemaldada kohe peale paigaldamist, on võimalik saavutada hele toon ka kiiremini. Lisaks sellele, jääb visuaal palju ühtlasem. [45]

Vastavalt Eestis kehtivale normile (vt ka peatükk 2.1), on sideaine sisaldus kogu asfaltsegust võrdlemisi väikene ja jääb üldjuhul 5% ümbrusesse kogu massist. See aga tähendab, et peale pealmise asfaldikihi kulumist, hakkab asfaltsegu värvitooni enam mõjutama täitematerjali värvus. Kulumise kiirust mõjutab väga tugevalt ka lubatavad rehvid. Kuna Eestis on lubatud ka naastrehvid, võib värvitud asfaldi pealne kiht väga kiirelt ära kuluda.

Asfaltsegude kulumist naelrehvidest tingituna on varasemalt väga palju uuritud. Naastrehvide arenguga on küll olukord ajas paranenud, kuid sellegipoolest põhjustavad naastrehvid väga palju tolmu, kiirendavad oluliselt kulumist ning põhjustavad suurt müra. SMA segud on naastrehvidest tingitud kulumisele oluliselt vastupidavamad kui AC segud, kuna sisaldavad suurema terasuurusega täitematerjali. [46]

Naastrehvidest tingitud kulumise üheks võimalikuks katsemeetodiks on Pralli meetod. Pralli meetodi korral kasutatakse asfaldist proovikeha, mille kõrgus on 30 mm ja diameeter 100 mm ja mis viiakse 5°C juurde. Proovikeha kulutakse 15 minuti jooksul 40 teraskuuliga ning mõõdetakse, kui palju mahust selle aja jooksul proovikeha kaotas. See katse imiteerib hästi naastrehvidest tingitud kulumist. Katse tulemus on välja toodud joonisel 2.3. [46] ja [47]



Joonis 2.3. Pralli aparaat (joonis võetud EN 12697-16:2004, pilt on tehtud Brynhild Snilsbergi poolt) [46]

Pralli katsetulemus näitab hästi, millist tooni muutub asfaltsegu peale kulumist. Katsekeha äärtes domineerib selgelt must värv, kuid peale kulumist hakkab värvitooni palju enam mõjutama täitematerjali värvus. Värvilist asfaltkatendit kavandades tuleks

seda kindlasti arvesse võtta, eriti, kui asfaltsegu hakkab kasutusel olema avatud sõidukiliiklusega aladel.

2.2.2. Pigmentid

Nagu eelnevalt peatükis 2.1.1 mainiti, moodustavad pigmentid värvitud asfaltsegu kuni 5% massist. Pigmentid on oma olemuselt nagu fillerid või kivipulbrid ning nende teramõõt on väga väike. Seetõttu asendatakse teatud osa tavapärasel asfaltsegu kasutusel olevast fillerist pigmentidega. [37], [38] ja [48]

Üldjuhul asendatakse fillerist kuni 75% pigmentiga. [37]

Pigmentidena kasutatakse peamiselt erinevat tooni raudoksiide. Enim on kasutusel punane, roheline ja kollane raudoksiid. Pigmentide võimalikud välimused on välja toodud joonisel 2.4. [37] Raudoksiid saadakse raua oksüdeerimisel ning nimetatakse ka roosteks. [33] Samuti võib raudoksiidi saada ka erinevatest mineraalide kaevandustest. Nendes piirkondades on ka mulla värv sarnane oksiidi värvile. Näiteks kollast raudoksiidi võib saada mineraalset goetiit, mis on troopilistes piirkondades võrdlemisi levinud savimineraal. Punast raudoksiidi võib saada näiteks hematiidist, mida samuti võib leida troopilise kliimaga piirkondade muldades. [38]



Joonis 2.4. Võimalikud erinevad pigmentid asfaltsegu värvimiseks [37]

Pigmentid muudavad asfaltsegude omadusi. Üldjuhul parandavad erinevad pigmentid asfaltsegude omadusi kõrgetel temperatuuridel. Katsetest on ka välja tulnud, et mida suuremaks muutub raudoksiidist pigmentide sisaldus asfaltsegu, seda paremaks muutuvad segu omadused kõrgemal temperatuuril. [37]

Vastupidine efekt võib olla aga pigmentide lisamisel asfaltsegu omadustele külmemates tingimustes ning neis tingimustes võivad erinevad pigmentid üksteisest erinevaid tulemusi anda. On soovitatud, et külmasse tingimustesse värvilise asfalti

planeerimisel võiks pigmendi sisaldus jääda vahemikku 25-60% filleri mahust. Selles vahemikus on asfaldi omadused võrdlemisi stabiilsed ja ennustatavad. Sellest kõrgema korral ei pruugi saadavad katsetulemused olla enam stabiilsed. [37]

Peamiselt kasutatakse asfaldi värvimiseks erinevaid metallide oksiide. Punase asfaldi tootmisel leidub pigmendis peamiselt raudoksiidi. Raudoksiid ehk rooste võib aga olla kahjulik asfaldile, sest võib põhjustada asfaldil konarusi, muhke ja tekitada pragusid. Nimelt raudoksiid võib asfaldis paisuda eksploatatsioonitingimustes ning kaasa tuua täitematerjalide paisumise ning konaruste tekkimise asfaltpinnas. [33]

Pigmentide koostises võivad esineda lisaks raudoksiidile ka näiteks magneesiumoksiidi, alumiiniumoksiidi, kroomi ja muid metallioksiide. Need oksiidid võivad toimida katalüsaatorina, mis kiirendavad sideaine vananemisprotsessi. Selle tulemusel on oht, et sideaine muutub liiga jäigaks ning tekkida võivad väsimusest ja temperatuuri muutustest tingitud praod. [33]

2.2.3. Muud asfaltsegude lisandid

Süntheetilise bituumeniga asfaltsegude tootmisel võib osutada oluliseks erinevate bituumeni omadusi parandavate lisandite kasutamine (vt ka peatükk 2.1.2). Sageli leiavad kasutust erinevad polümeer modifikaatorid nagu näiteks stüreen-butadieen-stüreen ehk SBS, etüül-vinüül atsetaat ehk EVA ja polüetüleen ehk PE. Üldine eesmärk lisanditel on parandada sideaine toimivust erinevates temperatuurivahemikes. [40] ja [41]

Ping Tang ja teised on oma uuringus läbi viinud katsed sünteetilise bituumeni ja nendes kasutatavate lisanditega. Tulemuste paremaks võrdlemiseks katsetati ka tavapärasest asfaldides kasutatavat bituumenit ning tavapärasest SBS-iga modifitseeritud bituumenit. Uuringus kasutati lisanditena SBS-i, EVA ja PE-d. Katsekehades kasutatud lisandite osakaalud on välja toodud tabelis 2.3. [41]

Tabel 2.3. Materjalide osakaalud heledas sünteetilises sideaines [41]

| Nr | Aromaatne õli | SBS | EVA | PE | Naftavaik |
|----|---------------|-----|-----|----|-----------|
| A0 | 52 | | | | 40 |
| A1 | 52 | 8 | | | 40 |
| A2 | 52 | | 8 | | 40 |
| A3 | 52 | | | 8 | 40 |

| Nr | Aromaatne õli | SBS | EVA | PE | Naftavaik |
|-----------|----------------------|------------|------------|-----------|------------------|
| A4 | 52 | 4,5 | 3,5 | | 40 |
| A5 | 52 | 4,5 | | 3,5 | 40 |
| A6 | 52 | | 4,5 | 3,5 | 40 |
| A7 | 52 | 3 | 2 | 2 | 40 |

SBS ülesanne sideaines on muuta seda jäigemaks. SBS-iga modifitseeritud tavapärase bituumeni korral (joonis 2.5, joonis 2.6 ja joonis 2.7 märgitud kui SBS) on välja toodud, et selle penetratsioon 25°C juures langes võrreldes tavapärase bituumeniga (BA) ning pehmenemistäpp suurenes (vt ka joonis 2.5 ja joonis 2.6). See tähendab, et SBS aitab muuta liiga pehmet bituumenit jäigemaks. Võrreldes aga algupärase sünteetilise bituumeniga, mida uuringus katsetati, suurendas 8% SBS-i bituumeni penetratsiooni ja ka pehmenemistäppi. Oluliselt mõjutas SBS ka algupärase sünteetilise bituumeni elastsust, parandades oluliselt tulemust (vt ka joonis 2.5, joonis 2.6 ja joonis 2.7). [41]

EVA ülesannet võib pidada sarnaseks SBS ülesandega. Võrreldes algupärase sünteetilise bituumeniga, jäi 8% EVA kasutamisel penetratsioon 25°C juures ligilähedasele tulemusele. Küll aga suurenes pehmenemistäpp. Elastsuse koha pealt paranesid aga omadused oluliselt võrreldes tavapärase sünteetilise bituumeniga (vt ka joonis 2.5, joonis 2.6 ja joonis 2.7). [41]

Lisaks eelnevalt kirjeldatud omadustele on EVA-l veel üks vajalik omadus värvilise asfaldi tootmise seisukohalt. Tihti kasutatakse EVA pigmentide katmisel, et hõlbustada nende kasutamist asfaltsegus. See aitab pigmendil paremini seguneda ning lisaks parandab ka asfaltsegu omadusi. [40]

PE ülesannet võib pidada sarnaseks SBS ja EVA lisanditega. Võrreldes algupärase sünteetilise bituumeniga, langes 8% PE kasutamisel penetratsioon. Pehmenemistäpp mõnevõrra suurenes, kuid vähem, kui SBS ja EVA korral. Samuti muutus oluliselt vähem bituumeni elastsus võrreldes SBS ja EVA kasutamisega (vt ka joonis 2.5, joonis 2.6 ja joonis 2.7). [41]

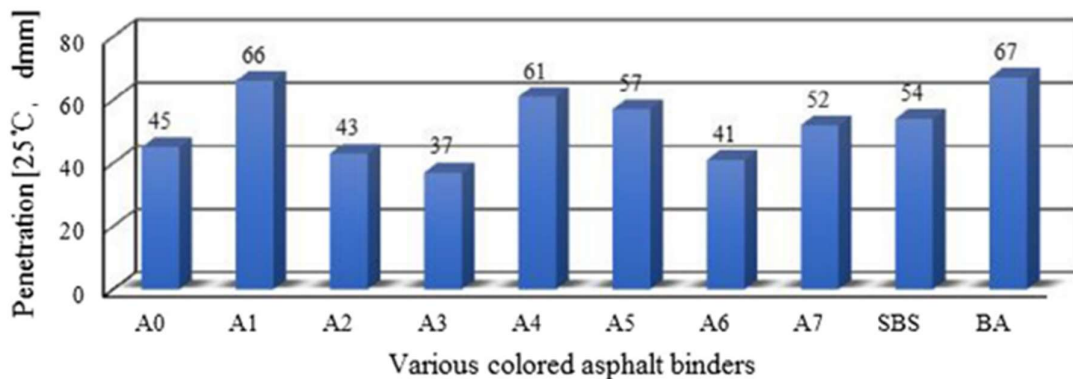
SBS, EVA ja PE lisandite kasutamist tuleb enne asfaltsegu kavandamist põhjalikult katsetada. Uuringus kasutati võrdlemisi suures osakaalus naftast saadud vaiku, mis oma olemuselt on tugev ja habras. Uuringus järeldati, et külmemates kliimades võib tekkida sellise seguga probleeme, sest madalatel temperatuuridel oli segu liiga jäik.

Lahendust võib pakkuda erineva sünteetilise bituumeni algupärase segu kasutamine. [41]

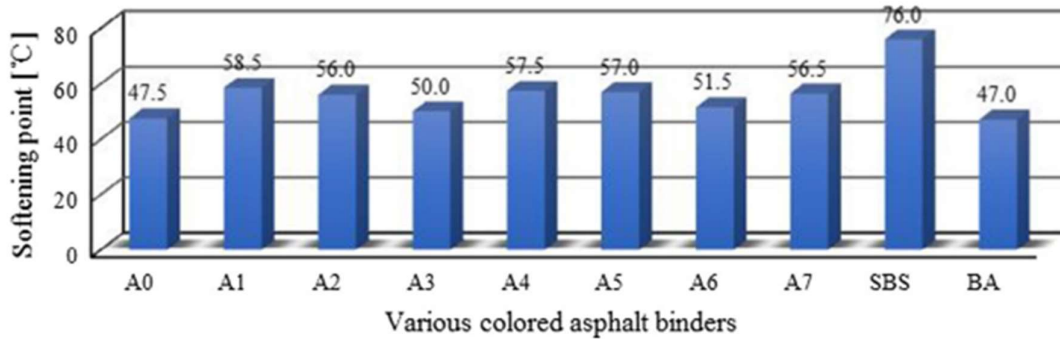
Antud uuringus sideainete penetratsioone katsetati vastavalt ASTM ehk Ameerika testimise ja materjalide ühingu standardi ASTM D5 järgi. Antud standardi protseduur sarnaneb suuresti Eestis kasutatava EVS-EN 1426:2015 protseduuriga, millega määratakse sideainete nõelpenetratsiooni. [35], [41] ja [49]

Sideainete pehmenemistäppi katsetati ASTM D36 standardi järgi. Antud protseduur sarnaneb suuresti Eestis kasutatava EVS-EN 1427:2015 protseduuriga, millega määratakse sideainete pehmenemistäppi. [41], [50] ja [51]

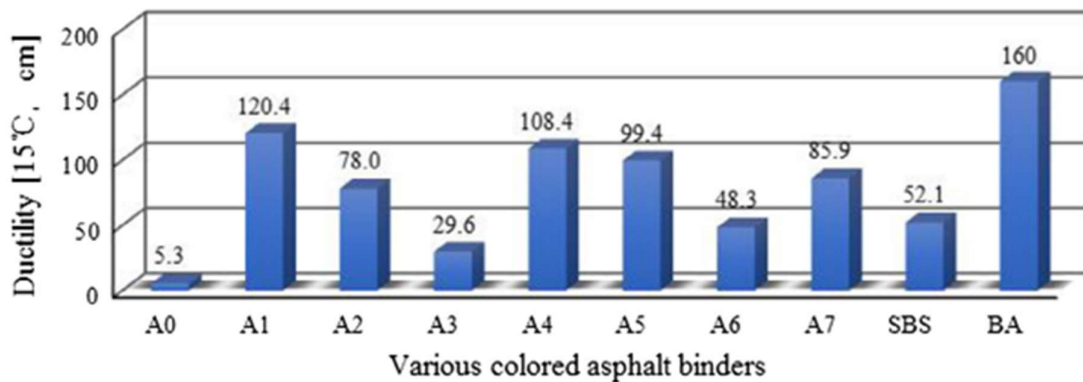
Sideainete duktiilsust ehk sideainete venivust või plastsust katetati ASTM D113 standardi järgi. Kuigi katse protseduur sarnaneb Eestis kasutatavale EVS-EN 13589:2018 standardile, siis tulemustena esitatakse erinevaid väärtuseid. Euroopas kasutatava standardi puhul mõõdetakse duktiilsuse katse korral deformatsiooni energiat. ASTM standardi järgi mõõdetakse aga katsekeha venitamisel katsekeha pikkust peale purunemist. [41], [52] ja [53]



Joonis 2.5. Penetratsioon erinevatel bituumenitel, katsetatud ASTM D5 standardi järgi, joonis inglise keeles [41]



Joonis 2.6. Pehmenemistäpp erinevate bituumenitel, katsetatud ASTM D36 standardi järgi, joonis inglise keeles [41]



Joonis 2.7. Sideainete plastsus 15°C juures, välja arvatud SBS modifitseeritud asfalt, mida katsetati 5°C juures, katsetatud ASTM D113 järgi, joonis inglise keeles [41]

2.3. Värvilise asfaldi muud omadused

2.3.1. Kuumasaared

Lisaks püsivale markeerimise ülesandele, on hakatud värvitud asfaldi kasutama ka võitluses kuumasaarte vastu. On teada, et mida tumedam on teepind, seda rohkem kuumust see endasse salvestab. Värvitud asfaldi kasutamisega on seda võimalik vähendada, sest värvitud pind peegeldab rohkem kiirgust. [33], [38], [40] ja [45]

Võrreldes tavalise asfaldiga on võimalik vähendada asfaltkatte pinnatemperatuuri umbes 2-3°C, kui kasutatakse tavapärasest musta bituumenit ning punast pigmenti. [33], [38] Huvitaval kombel annab näiteks punase pigmendi kasutamine aga parema

tulemuse, kui kollase pigmendi kasutamine. See on selgitatav, sest kollase pigmendiga asfaldi värvimisel on probleemiks pigmendi liiga hele toon, mis ei suuda musta bituumeni värvi piisavalt muuta. [38]

Värvitud asfalt ei pea aga olema punane. Kasutades heledaid sünteetilisi bituumeneid, on võimalik toota ka heledat või nii-öelda valget asfaldi, mille peegeldamise võime on suurem (vt ka joonis 2.8) [40], [45]. Läbi selle oleks võimalik vähendada pinnatemperatuuri veelgi ning teatud hetkedel võib näha pinnatemperatuuri vahet võrreldes tavapärase musta asfaldiga lausa 8°C. [45]

Heleda asfaldi korral on võrreldud pinnatemperatuuri ka madalamate välistemperatuuride korral. Jahedamate ilmadega ei ole heleda asfaldi ja tavapärase musta asfaldi pinnatemperatuuril suurt vahet, märgatav vahe on aga kõrgetel temperatuuridel. [45]

2.3.2. Valgusreostus

Heleda asfaldi üheks suurimaks eeliseks on tema võime peegeldada valgust. Tänu sellele on võimalik olulisel määral vähendada energiat, mis kulub teede ja tänavate valgustuse peale. Uuringutes on välja tulnud, et avaliku valgustuse peale kuluvat energiat on võimalik vähendada isegi rohkem kui 40%. See tähendab suurt kokkuhoidu energias ja väiksemaid CO₂ emissioone. [40] Kui tavapärase musta asfaldi korral kulub 1 km valgustamiseks 7800 W, siis heleda asfaldi korral on see umbes 3600 W. Tavapärase ja heleda asfaldi vahelist visuaalset erinevust ilmestab joonis 2.8. [45]

Lisaks energia säästmisele on võimalik oluliselt parandada turvalisust heledate asfaltidega. Hele asfalt peegeldab sõiduki tuledest tagasi umbes kaks korda rohkem valgust, kui must asfalt. Samuti suureneb distants, mis on sõiduki esituledest valgustatud. See parandab teedel oluliselt nähtavust, eriti piirkondades, kus ei ole tänavavalgustust (vt ka joonis 2.8). [45]

Heleda asfaldi negatiivne omadus on aga selle hind. Lahenduse muudab kalliks läbipaistev bituumen, hele täitematerjal ja valge pigment. Seetõttu on soovitatav kasutada ainult õhukese pinnakatte kihina tavapärase asfaldi peal. Mingitel hetkedel võib selline lahendus olla majanduslikult tasuv, näiteks piirkondades, mis on valgustatud 24h päevast. Kui kasutada heledat asfaldi, oleks võimalik vähendada valgustusele kuluvat

energiat ligikaudu 40%. Sellised kohad võiksid olla näiteks tunnelid, mis on valgustatud ööpäev läbi. [45]

Värvitud asfaldi kasutamiseks ei pea selle kihi paksus olema samaväärne nagu tavapärase musta asfaldi korral. Tulemuse saavutamiseks võib piisata vaid õhukesest pinna katmisest värvitud asfaltiga, kus kihi paksus võib olla ka 25-30mm, mille all on tavapärase musta bituumeniga ehitatud asfaltkate. Võimalikult õhukese kihi kasutamine võimaldab alla viia ehituse hinda. [40] ja [45]

Heleda asfaldi puhul tuleks aga täiendavalt uurida kattermärgistuse ja pinnakatte omavahelisi seoseid. Valge termoplast paistab hästi silma mustalt asfaldilt, kuid heledal asfaldil võib valge termoplast halvasti silma jääda. [45]



Joonis 2.8. Heleda asfaldi (parem) ja tavapärase musta asfaldi (vasak) nähtavus [45]

2.3.3. Vastupidavus

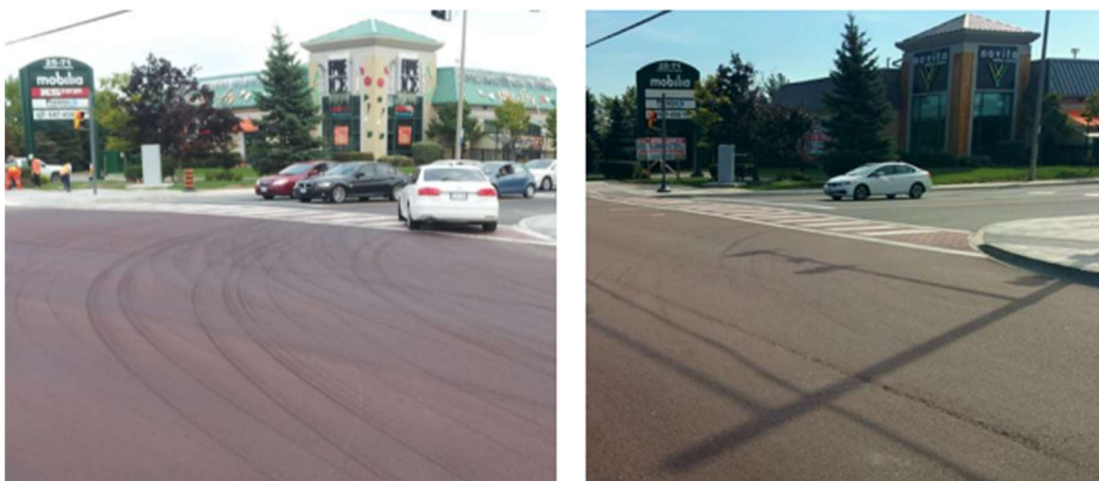
Värvitud asfaldi puhul võivad pigmendid, milleks enamasti on erinevad raudoksiidid ja teiste metallide oksiidid, kiirendada sideaine vananemist (vt ka peatükk 2.2.2). Teise külje pealt võib aga värvitud asfaldi eluiga olla tavapärasest asfaldist pikem, kuna asfaldi temperatuur kuumade ilmadega ei tõuse nii kõrgeks. [33] ja [40]

Kuna värvitud asfalt, eriti just hele asfalt, peegeldab rohkem kiirgust kui tavapärane must asfalt, jääb värvitud asfaldi pinnatemperatuur madalamaks. Tänu sellele on ka asfaldi temperatuuri kõikumised väiksemad [40]. Kõrgetel temperatuuridel on tavapärase musta asfaldi korral täheldatud mitmeid asfaldi omadusi kahjustavaid nähtuseid, nagu näiteks kiirem bituumeni vananemine ja ka bituumeni laikude tekkimine asfaltkattele. Kui aga asfaldi pinnatemperatuur on madalam, võib see kaasa tuua parema vastupidavusega teed, mis nõuavad vähem hooldust. [33]

2.3.4. Välimus

Kanadas Ontario provintsis Toronto linna põhjaosas viidi läbi visuaalne vaatlus punase asfaltiga tähistatud bussiradadele. Peamiste probleemidena toodi välja rehvijälgedest tulenevad mustad jutid (vt ka joonis 2.9), õli ja teiste kemikaalide laigud pinnakattel ja UV kiirguse tagajärjel tuhmimaks muutunud asfaltkate. [31]

Rehvijälgi asfaldil ei peetud aga suureks probleemiks, sest need kippusid normaalse liikluse korral hajuma ning lõpuks kadusid ka ära. Küll aga on välja toodud, et peenema terakoostisega segu korral on saavutatav tulemus küll visuaalselt ilusam, kuid tänu sellele võib katte pind olla vastuvõtlikum rehvijälgede tekkimisele. Samuti täheldati, et rehvijälgede tekkimise tõenäosus on suurem soojemal perioodil aastas. Punasele asfaldile tekkivad rehvijäljed on välja toodud joonisel 2.9. [31]



Joonis 2.9. Rehvijäljed värvitud asfaldil [31]

Lisaks rehviälgedele tekkimisele mõjutab asfaldi värvust ka puudelt langevad lehed ja muud määriivad ained. Üldpildis ei tohiks need aga üldist välimust palju muuta vaid muudavad algse värvi veidi tuhmimaks. [40]

Rehviälgedele tekkimise probleemile on otsitud ka lahendusi. Üks võimalik variant on katta värvitud asfalt termoreaktiivse akrüülvaigu emulsiooniga. Esiteks see vähendab rehviälgedele tekke asfaldile ning teiseks lihtsustab asfaldi puhastamist rehviälgedest. On välja toodud, et rehviälgedele määr asfaltkattel ja algse värvi kadumise määr vähenes ligi 50% võrreldes katmata pinnaga, ehk pinna katmine ainega aitab väga hästi taastada värvitud asfaldi värvust. [48]

Teine visuaalne välja toodud probleem, mis võib esineda, on erinevad õli- ja muud sõidukites kasutusel olevate keemiliste ainete laigud asfaldil. Need jäljed olid suuremaks probleemiks bussipeatustes ning ristmikute piirkondades, kus sõidukid seisavad paigal. Sellised laigud olid ka sagedasemad piirkondades, kus esineb rohkem raskeliiklust. Kuigi need laigud on välimuselt ebameeldivad, võib suuremaks probleemiks osutuda kemikaalides leiduvad ühendid, mis võivad lahustada asfaldi sideainet ning põhjustada probleeme asfaltkattetele. [31]

UV kiirguse mõju värvitud asfaldile võib olla päris suur. Nimelt ajapikku UV kiirgus vähendab värvitud asfaldi erksust ning teekate muutub vähem efektiivseks sõiduradade markeerimisel. Toronto linnas vaadeldud lõigud olid ehitatud tavapärase musta bituumeni värvimise teel. [31]

2.3.5. Haardumine

Värvitud asfaldi kasutamist peetakse heaks alternatiiviks erinevatele pinnakatmise tehnoloogiatele (vt ka peatükk 1). Enamus pinnale peale kantavatest tehnoloogiatest on välimuselt küll väga efektsed, kuid probleemiks on haardumine. Näiteks epoksiidvärvil on pinna tekstuuri oluliselt siledam, kui asfaldil, mistõttu võib see olla oluliselt libedam, eriti just märja ilma korral. Värvitud asfaldi haardeomadused on aga võrdlemisi sarnased tavapärase musta asfaltiga, mistõttu võib värvitud asfaldi tehnoloogia osutada liiklejatele turvalisemaks. [31]

3. LABORATOORSED KATSETUSED

Käesoleva magistritöö peamiseks eesmärgiks oli uurida erinevaid teekatte märgistamise võimalusi, keskendudes just punastele toonidele. Visuaalselt võrreldi punast värvi, punast termoplasti, punast külmplasti ning erinevaid asfaltsegusid. Asfaltsegusid segati antud töö raames kokku kolm erinevat varianti, lisaks võrreldi eelnevalt olemasolevat punast asfaltsegu ning rohelist asfaltsegu.

Katseplaan nägi ette, et asfaltsegude juures keskendutakse ainult värvile ning muid asfaltsegu omadusi antud töö raames ei katsetata. Küll aga segati kokku umbkaudselt AC 8 Surf segule vastavad asfaltsegud, et visuaalne tulemus oleks võimalikult sarnane reaalsele olukorrale, mis saavutatakse objektil. Täpseid sõelkõveraid antud töö raames ei vaadeldud ning oluliseks sai ainult visuaalselt võimalikult täpne segukoostis AC 8 Surf segule.

Töö autorile teadaolevalt ei ole Eestis varasemalt teadlikult kasutatud punast täitematerjali punase asfaltsegu tootmisel. Sellest tulenevalt kasutati lõputöös täitematerjalidena kättesaadavaid materjale, mis oleksid võimalikud punased. Tallinna Tehnikaülikooli laborist õnnestus saada 4/8 mm fraktsiooniga punast graniitkillustikku Ahvenamaalt. Samuti õnnestus saada graniitsõelmeid fraktsiooniga 0/4 mm, mis sisaldas erineva värviga kivimaterjali, sealhulgas mingil määral ka punast tooni kivimaterjali. Graniitsõelmed pärinevad Inkoo karjäärist Soomest. Fillerina kasutati tavapärasest jahvatatud lubjakivi, mis pärineb Rakkes asuvast Nordkalk AS tehasest.

Sideainena kasutati kahte erinevat materjali. Asfaltsegude kokku segamiseks kasutati tavapärasest 70/100 margiga musta bituumenit ning 70/100 bituumeni margile vastavalt läbipaistvat sünteetilist bituumenit, mille kasutamist ja katsetamist võimaldas ettevõtte KMG OÜ. Kasutatud sünteetiline bituumen oli Colclair® [54].

Pigmentina kasutati punast granuleeritud pigmenti. Kasutatud pigmentile andis punase värvi raudoksiid. Graanulid olid kaetud EVA-ga, mis lihtsustab pigmenti segunemist asfaltseguga, kui tootmine toimub karjääris ja kogused on suured. Laboris käsitsi segades oli pigmenti graanuli kasutamine mõnevõrra raskendatud. Pigmenti kasutamisel tuli arvestada, et graanul sisaldas oma massist umbes 20% sideainet.

Lisaks asfaldist proovikehadele, vaadeldi lõputöö käigus ka punast külmplasti, kahte erinevat termoplasti ning värvi. Punase külmplasti ja pulbrist otse kuumutatud ning pritsiga peale kantud termoplasti katsekehad olid laboris eelnevalt olemas. Lõputöö autor hankis täiendavalt juurde punase värvi ning termoplastist lindi, mis saadi

ettevõttelt Signaal AS. Värv kanti katsekeha peale pintsliga, termoplastist lint sulatati proovikeha peale tööstusliku kuumaõhu fööniga.

3.1. Taust asfaldist proovikehade kokku segamiseks ning laboratoorsete katsetuste läbiviimiseks

Eestis varasemalt kasutatud punaste asfaltsegude kulumisel on probleemiks osutunud värvi tuhmumine või sootuks kadumine eksploatatsiooni tingimustes. Eriti suureks probleemiks on osutunud kulumine kohtades, kus üle punase asfaldi sõidavad üle ka sõidukid (vt ka peatükk 2.2.1).

Probleemi ilmestamiseks vaadeldi visuaalselt Tartus Viljandi maantee ja Ravila tänava ristmikku, mis avati peale rekonstrueerimist esmakordselt liiklusele 2023. aasta oktoobri lõpus [55]. Antud ristmikule rajati ka punasest asfaldist rattateed. Peale ühte talve on näha, et ristmiku osal, kus liiklejad ka sõidukid, on raske eristada tavapärasest mustast asfaldist punast asfaldi. Olukorda ilmestavad joonis 3.1 ja joonis 3.2.

Oma rolli välimusel mängib kindlasti ka tõsiasi, et kevad on piltide tegemisel alles alanud ning on võimalik, et tänavate pesuga pole sinna piirkonda jõutud. Küll aga on asfaldist tehtud lähikaadri selgelt näha, et värvitud punast asfaldi on tooni mõistes raske eristada tavapärasest mustast asfaldist. Jalakäijate tee servast on näha punakat tooni, kuid piirkonnas, kust üle sõidab suurem hulk sõidukeid, on asfaldite toonid äärmiselt sarnased. Kohas, kus sõidukid ei ületa punast asfaldi, on selle toon oluliselt paremini eristatav. See ilmestab hästi, et kui kasutatakse punaseks värvitud asfaldi tootmisel sama värvi täitematerjali ülejäänud asfaltiga, siis peale mõningast kulumist muutuvad asfaltkatete toonid teineteisega väga sarnaseks. Asfaldi pealispinnalt kulub värvitud sideaine kiht maha ning tooni jääb andma kasutatud täitematerjali värvus.

Kui värvitud asfalt oma välimuselt hakkab sarnanema musta asfaldiga, kaotab värvitud asfalt oma eesmärgi ning ei toimi enam erinevate liiklejate gruppide liikumisteede eristamisel. Seda arvestades võib tekkida küsimus, kas lisainvesteering asfaldi värvimiseks ristmiku piirkonnas tasub ennast ära või mitte. Antud lõputöö üheks eesmärgiks on leida lahendus, kuidas muuta värvitud asfalt paremini nähtavaks ka peale kulumist.



Joonis 3.1. Tartus Viljandi maantee ja Ravila tänava ristmik, punase asfaldi värvi kulumine ristmikul, pilt tehtud 27.03.2024 [Erakogu]



Joonis 3.2. Tartus Viljandi mnt ja Ravila tänava ristmik, punase asfaldi kulumine ristmikul, lähikaader, pilt tehtud 27.03.2024 [Erakogu]

3.2. Asfaltsegude kokku segamine ning võrdlemine

3.2.1. Katseplaan

Enne asfaltsegude kokku segamist pandi paika katseplaan.

Katseplaani ülesehitus:

1. Materjalide hankimine;
2. Ligikaudse AC 8 Surf seguretsepti koostamine;
3. Materjalide kuivatamine ja kuumutamine;
4. Bituumeni värvimine ja kuumutamine;
5. Täitematerjali ja sideaine kokkusegamine asfaltseguks;
6. Asfaltsegude proovikehade tihendamine;
7. Asfaltsegude proovikehade pooleks saagimine.

3.2.2. Kasutatud materjalide kirjeldus

Täitematerjal

Kolmes kokku segatud asfaltsegu kasutati samasid täitematerjale. Jämedama osa täitematerjalist moodustas 4/8 mm fraktsiooniga punane graniitkillustik, mis pärineb Ahvenamaalt. Antud graniitkillustik valiti antud lõputöö praktilises osas, sest see on teadaolevalt kõige punasema tooniga graniitkillustik, mis Eestis saadaval.

Sõelmetena kasutati 0/4 mm fraktsiooniga Inkoo graniitkivi sõelmeid. Inkoo sõelmed pole läbinisti punased ning see jäi mõjutama ka katsekehade lõpptulemust. Sellele vaatamata sisaldab Inkoo graniitkivi sõlmed ka punast kivi, mis parandab lõpptulemust. Materjalide otsimisel ei õnnestunud leida punast värvi graniitsõelmeid ning seetõttu langetati otsus, et kasutatakse Inkoo sõelmeid.

Fillerina kasutati klassikalist jahvatatud paekivi, mis pärineb Rakkes asuvast Nordkalk AS tehases. Kasutatud filler ei erine kuidagi tavapäraselt asfaltsegudes kasutatavast täitematerjalist. Samuti ei jää filleri toon lõpuks mõjutama asfaltsegu värvi.

Asfaltsegu täitematerjalide algset kivimaterjalide tooni on võimalik näha joonisel 3.3.



Joonis 3.3. Täitematerjal enne bituumeni lisamist ja käsisegu valmistamist [Erakogu]

Sideaine

Sideainena kasutati kahte erinevat bituumenit. Tavapärase musta sideainena kasutati Nynas 70/100 penetratsiooniga bituumenit, mida oli olemas Tehnikaülikooli laboris. Värvitu sideainena kasutati KMG OÜ poolt tarnitud sideainet Colclair®, mille omadused vastasid 70/100 penetratsiooniga sideainele. Värvitu sideaine värvust on võimalik näha joonisel 3.5.

Pigment

Pigmentina kasutati graanuli kujul punast pigmenti. Pigmentide iseloomuliku punase värvuse andis raudoksiid, mis on ka levinuim asfalti värvimiseks kasutatav pigment. Lisaks värviomadustele, on pigment kaetud EVA-ga (vt peatükk 2.2.3), mis aitab parandada asfaltsegu omadusi. Samuti aitab EVA pigmentil paremini seguneda asfaltsegu.

Pigmenti välimus on välja toodud joonisel 3.4.



Joonis 3.4. asfaltsegudes kasutatud pigment graanuli kujul [Erakogu]

3.2.3. Värvitud sideaine kokku segamine

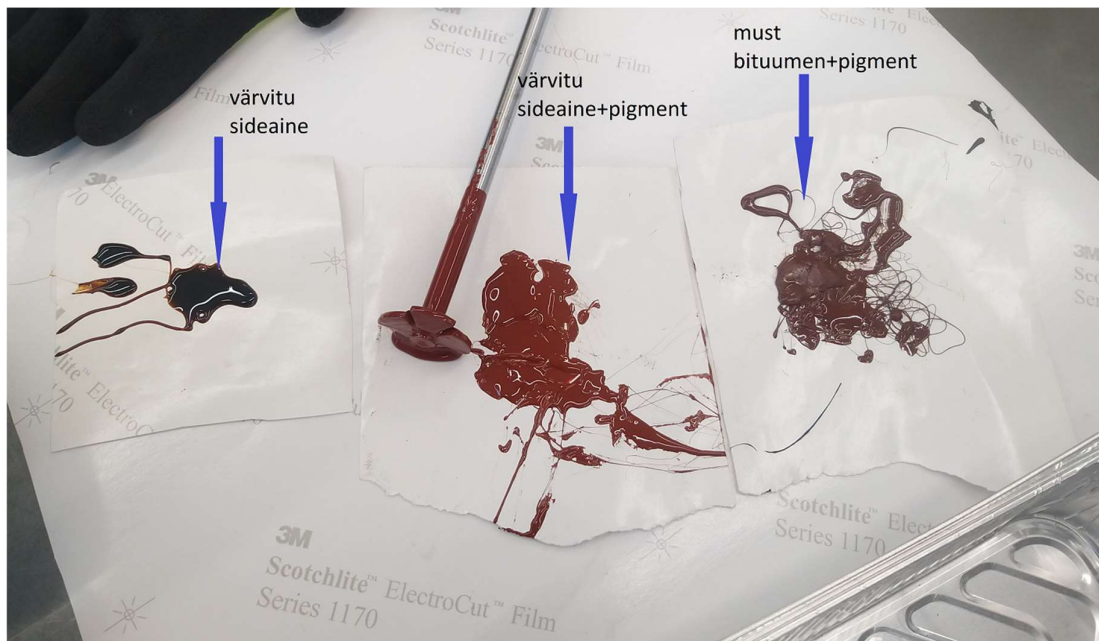
Kuna segusid segati käsitsi, sai otsustatud, et punaste asfaltsegude puhul on mõistlik segada pigment otse sideaine hulka. Asfalditehastes tootmise korral lisatakse pigment otse täitematerjalide hulka, sest suurte mahtude korral seguneb see ilusti ära. Laboratoorselt väikseid koguseid tehes ei olnud see mõistlik. Et saavutada ühtlane värviline sideaine, segati pigment otse sideaine hulka väikeste osade kaupa.

Esmalt üritati töö raames segada pigment sideaine sisse käsitsi, kuid see ei andnud tulemust. Seejärel otsustati segamist jätkata käsi akutrelli ja seguvispli abil. Sideaine kuumutati eelnevalt üles ning seejärel lisati varem välja arvatud kogus pigmendi graanuleid. Musta bituumeni korral tuli pigmenti lisada samal hulgal, nagu oli eelnevalt bituumenit ehk lõplikult oli 50% musta bituumenit ja 50% lisatud pigmenti. Kuna pigmenti ei soojendatud eelnevalt üles, oli vajalik sideaine segu korduvalt kuumutada ja uuesti segada, et saavutada ühtlane värv.

Värvitu sideaine korral oli tarvis lisada pigmenti oluliselt vähem ning seetõttu oli ka bituumeni värvimine kiirem ja lihtsam. Lõplikus värvitud segus oli 73,7% värvitud bituumenit ja 26,3% lisatud pigmenti.

Bituumeni ja lisatud pigmentide koguste arvutamine on välja toodud peatükis 3.2.5.

Värvitu sideaine, värvitud musta bituumeni ja värvitud läbipaistva sideaine võrdluseks võeti valgele paberile sideainete näited. Sideainete välimused on välja toodud joonisel 3.5.



Joonis 3.5. Värvitu sideaine, värvitu sideaine + pigment ja must bituumen + pigment näited [Erakogu]

Nagu joonisel 3.5 näha, on kasutatud värvitu sideaine oma olemuselt võrdlemisi tume. Õhukese kihi korral on aga näha, et sideaine on värvuselt pruunikas ning kergelt ka läbipaistev.

Suuremat erinevust saab aga näha värvitu sideaine ja musta bituumeni värvimise juures. Pildilt on selgelt näha, et värvitu bituumeni värvimisel on saadud väiksema pigmendikoguse juures oluliselt erksam punane toon võrreldes musta bituumeni toonimisel (vt ka peatükk 3.2.5). Värvitud sideainete võrdlusel on selgelt näha, et suurema efektiga tulemus on võimalik saavutada värvitu sideaine kasutamisel värvilise asfaldi tootmisel.

3.2.4. Asfaltsegude proovikehade segamine ja tihendamine

Antud lõputöö raames valmistati kolm erinevat asfaltsegu. Asfaltsegud valmistati käsitsi segades kausis (vt joonis 3.6). Kaussi oli eelnevalt lisatud täitematerjal. Seejärel lisati varem välja arvatud sideaine kogus, kuhu oli värviliste segude puhul sisse segatud pigment. Asfaltsegude segamise ajal lisati juurde ka seguretseptides välja arvatud filleri kogused.



Joonis 3.6. Punase asfaltsegu käsitsi segamine [Erakogu]

Valmis segud tihendati Marshalli lööktihendajaga ning selle jaoks järgiti EVS-EN 12697-30:2018 protseduuri. Saadud proovikehade diameeter pidi jääma vahemikku $101,6 \pm 0,1$ mm ja kõrgus vahemikku $63,5 \pm 2,5$ mm. Selleks oli vajalik tihendusvormi lisada õige kogus materjali. Antud töö raames lisati tihendusvormi 1250 ± 5 g segu. Vormi lisatud musta asfaltsegu tihendamata näidet on võimalik näha joonisel 3.7. [56]

Selleks, et järgida Marshalli proovikehade tihendamise protseduuri, tuli asfaltsegu kuumutada õigele temperatuurile. Samuti oli oluline kuumutada üles ka vormid, milles asfaltsegu tihendada hakati. Kuna asfaltsegudes kasutati bituumeneid, mille mark vastas penetratsioonile 70/100, pidi asfaltsegu temperatuur tihendamise hetkel olema vahemikus $145 \pm 5^\circ\text{C}$. Selle saavutamiseks hoiti enne tihendamist asfaltsegu ahjus, mille temperatuur oli vahemikus $145\text{-}150^\circ\text{C}$. [56] ja [57]



Joonis 3.7. Marshalli tihendamismvorm koos asfaltseguga enne tihendamist [Erakogu]

Marshalli lööktihendajaga tihendamisel järgiti tavapärast protseduuri. Peale vormide täitmist asfaltseguga (vt ka joonis 3.7), tuli proovikehad tihendada 4 minuti jooksul. Proovikeha tihendati nii, et mõlemale proovikeha otsale rakendati 50 lööki ehk kokku 100 lööki. Löökide sooritamisel standardjuhul (50 lööki) pidi tihendamise aeg jääma 55-60 sekundi vahele. [56]

Peale proovikehade tihendamist lasti segul vormis mõni aeg jahtuda enne vormist välja võtmist. Enne proovikehade pooleks saagimist lasti neil täielikult maha jahtuda. Proovikehad saeti pooleks järgneval päeval.

3.2.5. Asfaltsegude seguretseptid

Nagu eelnevalt mainitud, valmistati antud lõputöö raames kolm erinevat asfaltsegu. Nende asfaltsegude seguretseptid erinevad mõnevõrra teineteisest. Järgnevalt on välja toodud laboris tehtud asfaltsegude seguretseptid.

AC 8 Surf 70/100 musta bituumeniga

Värviliste asfaldite paremaks omavaheliseks võrdlemiseks, segati kokku tavalise musta bituumeniga ja olemasolevate täitematerjalidega (vt ka peatükk 3.2.2) asfaltsegu. Seguretsepti arvutus on välja toodud tabelis 3.1 ja tabelis 3.2.

Vastavalt EVS 901-3:2021 on AC 8 Surf segude korral minimaalne sideaine kogus 5,8% [34]. Antud töö raames koostati must asfaltsegu seguretsept standardist lähtuvalt bituumeni kogusest.

Tabelis 3.1 on välja toodud arvutus, kuidas leiti vajaliku bituumeni ja täitematerjalide kogused. Seguretsepti koostamisel pandi paika soovitud segu kogus, milleks antud töö raames sai määratud 3 kg. Bituumeni kogus arvutati soovitud segu algkogusest protsentarvutusega. Täitematerjali kogus määrati vastavalt soovitud segu kogusele ja vajalikule bituumeni kogusele. Selleks lahutati soovitud segu kogusest vajaminev bituumeni kogus.

Tabel 3.1. Seguretsepti täitematerjalide ja bituumeni koguse arvutamise abitabel [Erakogu]

| | | |
|-------------------------|-------|----|
| Soovitud segu kogus | 3 | kg |
| Bituumen osakaal segust | 5,8% | % |
| Bituumeni kogus | 0,174 | kg |
| Täitematerjali kogus | 2,826 | kg |

Nagu eelnevalt mainitud, ei koostatud asfaltsegusid vastavalt standardile ehk asfaltsegude täitematerjalidel ei kontrollitud sõelkõverat. Antud töö raames asfaltsegude iseloomulikke omadusi ei kontrollitud, vaid oluliseks sai visuaalse välimuse vaatlemine. Selleks määrati asfaltsegude täitematerjalide osakaalud kogemuslikult, et lõpptulemus sarnaneks AC 8 Surf segule.

Lõplikul musta bituumeniga asfaltsegu retseptil määrati, et punase 4/8 mm fraktsiooniga Ahvenamaa graniitkillustiku osakaaluna kasutatakse 55% täitematerjalide mahust, ehk segusse lisati 1554,3 g materjali. Inkoo graniitsõelmeid lisati 40% täitematerjalide mahust ehk 1130,4 g materjali. Rakke tehasest pärit jahvatatud lubjakivi lisati 5% täitematerjali mahust ehk 141,3 g materjali. Lõplik musta bituumeniga segatud asfaltsegu retsept on välja toodud tabelis 3.2.

Tabel 3.2. Segu 1, musta bituumeniga asfaltsegu seguretsept [Erakogu]

| Segu 1, AC 8 surf 70/100 musta bituumeniga | | |
|---|------|----------|
| Täitematerjali fraktsioon, mm | % | kogus, g |
| Ahvenamaa, punane graniit 4/8 | 55% | 1554,3 |
| Inkoo graniitsõelmed 0/4 | 40% | 1130,4 |
| Rakke filler | 5% | 141,3 |
| Täitematerjalid kokku | | 2826,0 |
| Must bituumen Nynas 70/100 | 5,8% | 174,0 |

Musta bituumeniga kokku segatud asfaltsegu proovikeha välimus peale pooleks saagimist on välja toodud joonisel 3.8.



Joonis 3.8. Musta bituumeniga asfaltsegu [Erakogu]

AC 8 Surf 70/100 must bituumen+punane pigment

Teise seguna segati kokku asfaltsegu, kus värviti tavapärase must bituumen punaseks. Nagu eelnevalt mainitud (vt ka peatükk 3.2.3), segati esmalt kokku pigment ja must bituumen. KMG OÜ-lt poolt saadud info kohaselt ja antud lõputöö läbiviimisel kogutud materjali põhjal (vt ka peatükk 2.2.2) oli teada, et mustale bituumenile tuleks lisada

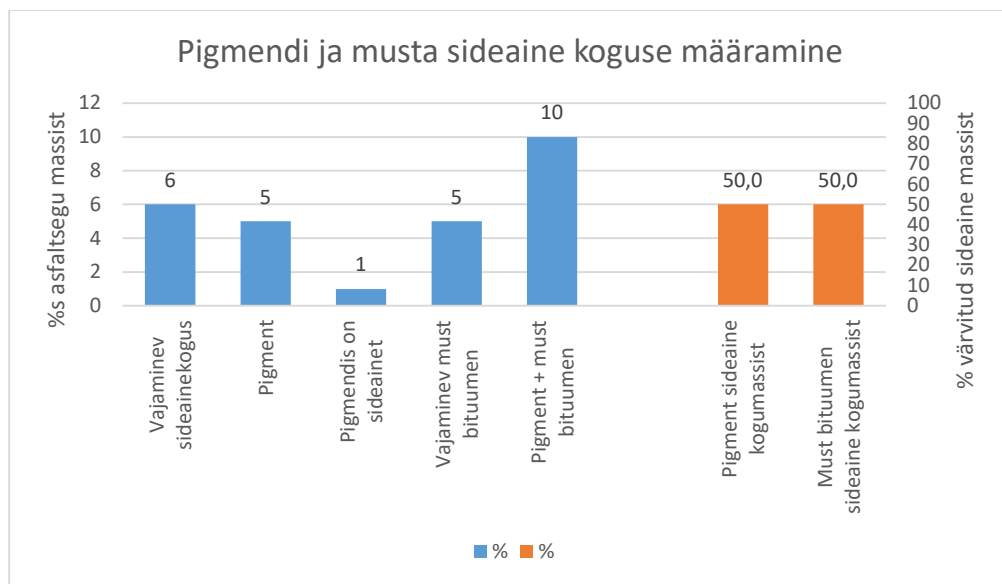
umbes 5% pigmenti asfaldi kogumassist. Lõputöö seguresepti koostamisel võeti eesmärgiks lisada 5% pigmenti.

Asfaltsegu koostamisel võeti eesmärgiks, et sideaine kogus segust moodustaks 6% asfaltsegu massist. Samuti oli oluline tagada, et pigmenti mass moodustaks 5% segu massist. Sealjuures tuli arvestada, et granuleeritud pigmentist 20% oli ise sideaine.

Allpool on välja toodud arvutus, mille järgi määrati, kui palju on vaja lisada pigmenti bituumenile, et oleks tagatud 6% sideaine sisaldus hilisemas asfaltsegus.

5-st protsendist pigmentist on $5\% \cdot 20\% = 1\%$ sideainet. Kuna eesmärgiks võeti, et kogu segust oleks 6% sideainet, siis musta bituumenit oli vaja kokku lisada $6\% - 1\% = 5\%$ kogumassist. Sellest tulenevalt selgus, et pigmenti ja musta bituumenit on vaja mõlemat sama kogus ehk pigmenti ja musta bituumeni osakaal moodustasid teineteisest 50% ja 50%.

Pigmenti ja musta sideaine omavaheliste koguste osakaale ilmestab joonis 3.9.



Joonis 3.9. Pigmenti ja musta bituumeni koguste määramine [Erakogu]

Arvutuskäigust lähtuvalt segati kokku pigment ja must bituumen. Musta bituumeni algkogus oli 588 g ehk juurde lisati 588 g pigmenti. Pigmenti ja musta bituumeni kokku segamiseks (vt ka peatükk 3.2.3) lisati pigmenti osade kaupa ning segati seguvispliga ühtlaseks, aeg-ajalt uuesti kuumutades. Kokku saadi 1176 g värvitud bituumenit, millest värvi andvad pigmentid ja muud peenosakesed (pigmentidgraanulis sisalduv

sideaine on maha arvestatud) moodustasid 470,4 g ehk 40% kokku segatud värvitud bituumenist.

Eelnevast lähtuvalt oli vaja segule lisada kokku 10% punaseks värvitud bituumenit, et tagatud oleks lisatud pigmendi ja vajaliku sideaine kogused. Võttes arvesse, et pigmenti saab kasutada osaliselt filleri asendajana (vt ka peatükk 2.2.2), vähendati asfaltsegus filleri osakaalu vastavalt sellele, et filleri ja pigmendi koguste summa vastaks võrdluses aluseks olevale mustale asfaltsegule ehk filler ja pigment annaksid kokku 141,3 g. Fillerit lisati lõpuks segule 21,2 g.

Lõplik värvitud musta bituumeniga asfalti seguretsept on välja toodud tabelis 3.3.

Tabel 3.3. Segu 2, värvitud musta bituumeniga asfaltsegu seguretsept [Erakogu]

| Segu 2, AC 8 surf 70/100 must bituumen + pigment | | |
|---|-------|----------|
| Täitematerjali fraktsioon, mm | % | kogus, g |
| Ahvenamaa, punane graniit 4/8 | 55% | 1554,3 |
| Inkoo graniitsõelmed 0/4 | 40% | 1130,4 |
| Rakke filler | 0,75% | 21,2 |
| Täitematerjalid kokku | | 2705,9 |
| Must bituumen Nynas 70/100+pigment | 10% | 300,0 |
| Sellest värv ja muud peenosised | 40,0% | 120,0 |

Värvitud musta bituumeniga kokku segatud asfaltsegu proovikeha välimus peale pooleks saagimist on välja toodud joonisel 3.10.



Joonis 3.10. Värvitud musta bituumeniga asfaltsegu [Erakogu]

AC 8 Surf 70/100 värvitu bituumen+pigment

Kolmanda seguna segati kokku asfaltsegu, kus värviti läbipaistev sideaine punaseks. Nagu eelnevalt mainitud (vt ka peatükk 3.2.3), segati esmalt kokku pigment ja värvitu sideaine. KMG OÜ-lt poolt saadud info kohaselt ja antud lõputöö läbi viimisel kogutud materjali põhjal (vt ka peatükk 2.1.2 ja 2.2.2) oli teada, et värvitule sideainele tuleks lisada umbes 2% pigmenti asfaldi kogumassist. Lõputöö seguretsepti koostamisel võeti eesmärgiks lisada 2% pigmenti.

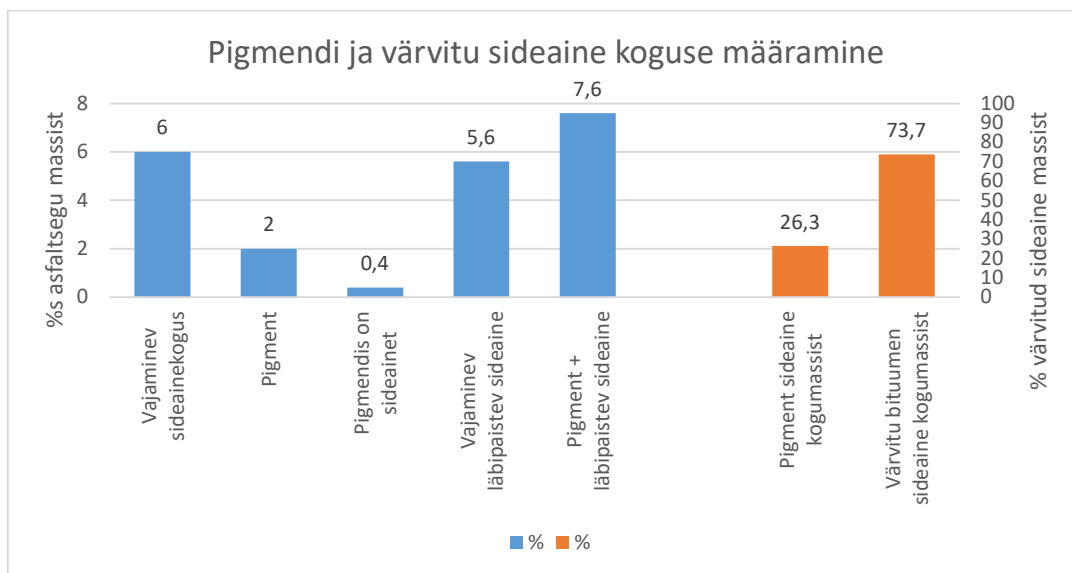
Asfaltsegu koostamisel võeti eesmärgiks, et sideaine kogus segust moodustaks 6% asfaltsegu massist. Samuti oli oluline tagada, et pigmendi mass moodustaks 2% segu massist. Sealjuures tuli arvestada, et granuleeritud pigmendist 20% oli ise sideaine.

Allpool on välja toodud arvutus, mille järgi määrati, kui palju on vaja lisada pigmenti bituumenile, et oleks tagatud 6% sideaine sisaldus hilisemas asfaltsegus.

2-st protsendist pigmendist on $2\% \cdot 20\% = 0,4\%$ sideainet. Kuna eesmärgiks võeti, et kogu segust oleks 6% sideainet, siis värvitud bituumenit oli vaja kokku lisada $6\% - 0,4\% = 5,6\%$ kogumassist. Sellest tulenevalt selgus, et pigmenti ja värvitud bituumenit

on vaja kokku $5,6\% + 2\% = 7,6\%$. Läbipaistvat bituumenit oli vaja lisada $5,6\%/7,6\% = 73,7\%$ sideainesegu massist ning pigmenti oli vaja lisada $2\%/7,6\% = 26,3\%$ sideainesegu massist.

Pigmendi ja värvitu sideaine omavaheliste koguste osakaale ilmestab joonis 3.11.



Joonis 3.11. Pigmendi ja värvitu sideaine koguste määramine [Erakogu]

Arvutuskäigust lähtuvalt segati kokku pigment ja värvitu sideaine. Kuna värvitu bituumeni kogus oli laboris piiratud, sai otsustatud, et kokku segatakse 500g värvitud sideainet. Vastavalt eelnevas lõigus välja toodud arvutustele, võeti värvitud sideainet $73,7\% \cdot 500 = 368,4 \text{ g}$. Pigmenti lisati sideainele $26,3\% \cdot 500 = 131,6 \text{ g}$. Pigmendi ja läbipaistva bituumeni kokku segamiseks (vt ka peatükk 3.2.3) lisati pigmenti osade kaupa ning segati seguvispliga ühtlaseks, aeg-ajalt uuesti kuumutades. Kokku saadi 500 g värvitud sideainet, millest värvi andvad pigmendid ja muud peenosakesed (pigmendi graanulis sisalduv sideaine on maha arvestatud) moodustas 105,3 g ehk 21,1% kokku segatud läbipaistvast sideaine massist.

Eelnevast lähtuvalt oli vaja segule lisada kokku 7,6% värvitud sideainet, et tagatud oleks lisatud pigmendi ja vajaliku sideaine kogused. Võttes arvesse, et pigmenti saab kasutada osaliselt filleri asendajana (vt ka peatükk 2.2.2), vähendati asfaltsegu filleri osakaalu vastavalt sellele, et filleri ja pigmendi koguste summa vastaks võrdluses aluseks olevale mustale asfaltsegule ehk filler ja pigment annaksid kokku 141,3 g. Fillerit lisati lõpuks segule 93,3 g.

Lõplik värvitud läbipaistva sideainega asfaldi seguretsept on välja toodud tabelis 3.4.

Tabel 3.4. Segu 3, värvitud läbipaistva sideainega asfaltsegu seguretsept [Erakogu]

| Segu 3, AC 8 surf värvitu sideaine + pigment | | |
|---|-------|----------|
| Täitematerjali fraktsioon, mm | % | kogus, g |
| Ahvenamaa, punane graniit 4/8 | 55% | 1554,3 |
| Inkoo graniitsõelmed 0/4 | 40% | 1130,4 |
| Rakke filler | 3,3% | 93,3 |
| Täitematerjalid kokku | | 2778,0 |
| Värvitu sideaine + pigment | 7,6% | 228,0 |
| Sellest värv ja muud peenosised | 21,1% | 48,0 |

Värvitud läbipaistva sideainega kokku segatud asfaltsegu proovikeha välimus peale pooleks saagimist on välja toodud joonisel 3.12.



Joonis 3.12. Värvitud läbipaistva sideainega asfaltsegu [Erakogu]

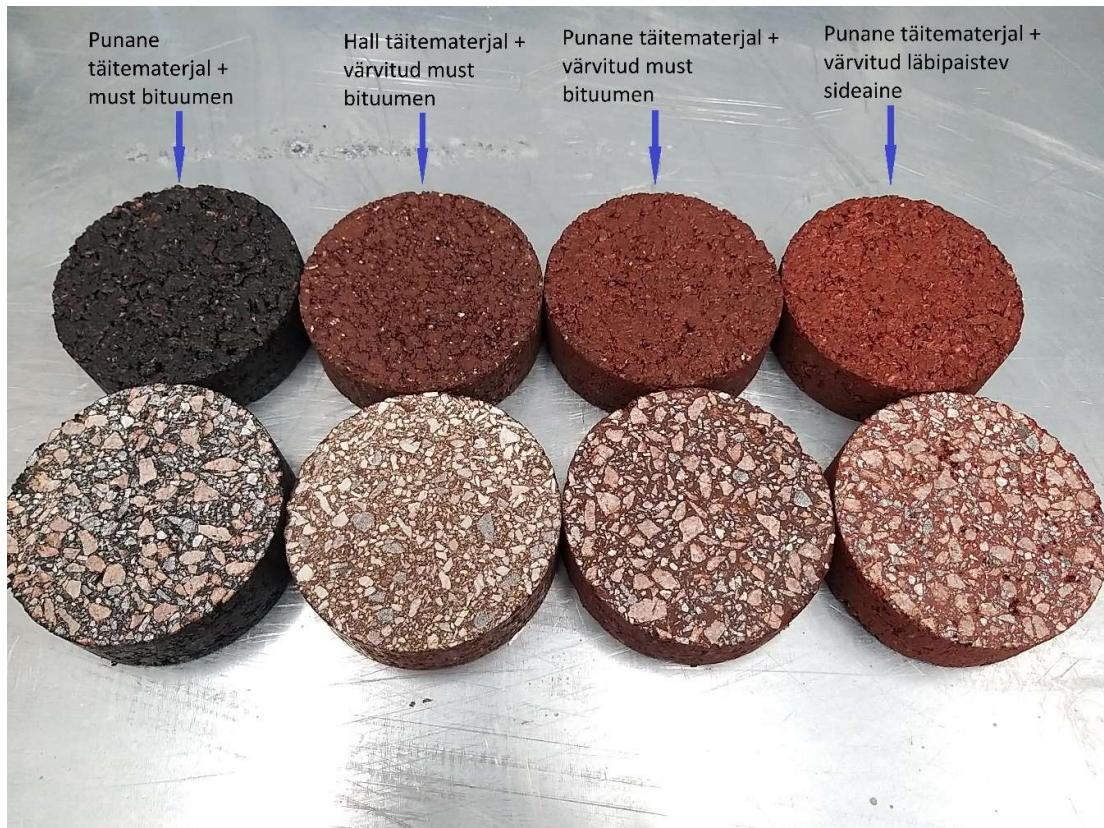
3.2.6. Asfaltsegude omavaheline visuaalne võrdlus

Lõputöö praktilise osana valmistati laboris kolm erinevat asfaltsegu proovikeha, mis võrdluse eesmärgil ka pooleks saeti. Lisaks antud töö raames kokku segatud

asfaltsegudele, kasutati võrdluseks varasemalt KMG OÜ poolt toodetud punast asfaltsegu, mille täitematerjalina on kasutatud tavapärasest heledat graniitkillustikku, 5,5% musta bituumenit kogu asfaltsegu massist ja 5% punast pigmenti graanulit kogu asfaltsegu massist. Kasutatud pigment on sama, mida antud lõputöö asfaltsegudes kasutati. [44]

Proovikehade pooleks saagimisel oli antud lõputööd silmas pidades ka kindel eesmärk. Nimelt asfaldist proovikehad saeti pooleks, et oleks võimalik hinnata, milline võiks olla värvitud asfaldi toon peale reaalselt kulumist avatud liikluse korral (vt ka peatükk 3.1). Kulumiskindluse hindamiseks ei hakatud läbi viima Pralli meetodil baseeruvat katset, sest töö eesmärgiks oli vaid visuaalne hindamine. Katseplaani paika panemisel hinnati, et visuaalse hinnangu saamiseks reaalses kulumise situatsioonis piisab katsekehade pooleks saagimisest.

Katsekehade omavaheline visuaalne võrdlus on välja toodud joonisel 3.13.



Joonis 3.13. Katsekehade visuaalne võrdlus [Erakogu]

Nagu joonisel 3.13 näha võib, erinevad proovikehad teineteisest võrdlemisi palju. Töö autori hinnangul saab neli katsekeha jaotada põhiliselt kahte gruppi:

- Grupp 1, punane täitematerjal + must bituumen ja hall täitematerjal + värvitud must bituumen;
- Grupp 2, punane täitematerjal + värvitud must bituumen ja punane täitematerjal + värvitud läbipaistev sideaine.

Grupp 1 puhul on suur erinevus proovikehadel enne saagimist, kus musta bituumeniga segu on selgelt musta värvi. Peale saagimist on aga näha, et punase täitematerjali kasutamisel hakkab võrdlemisi palju tooni andma täitematerjal ise, vaatamata sellele, et täitematerjali vahelt kumab läbi musta tooni. Halli täitematerjali ja värvitud musta bituumeniga segu korral on visuaal veidi parem, kui musta bituumeni kasutamise korral, kuid peale saagimist pole segu punane toon nii silmatorkav, kui laboris antud töö raames koostatud segude korral. Võrdlemisi palju mõjutab tooni hallikas täitematerjal, mis muudab kogu proovikeha tooni tuhmiks ning punane värv ei ole nii selgelt vaadeldav.

Grupp 2 eristub selgelt grupp 1-es välja toodud asfaltsegudest. Segud on oluliselt paremini silma torkavad ning on läbinisti punased. Värvitu sideainega tehtud asfaltsegu erineb oma toonilt võrdlemisi palju ka värvitud musta bituumeniga asfaltsegust. Segu on värvi poolest heledam ning peale pooleks saagimist on värvi vahe veelgi suurem. Värvitud musta bituumeniga asfaltsegu mõjub veidi pruunikana ning on maalähedasema tooniga. Värvitud läbipaistva sideainega asfaltsegu on aga erksam ning punane mõjub tugevamalt.

Antud töö raames toodetud kolme proovikeha korral tasub aga välja tuua, et asfaltsegud saaksid oma olemuselt veel punasemad olla. Kui vaadelda punase täitematerjaliga toodetud segusid, võib näha mõningast hallikat tooni peale pooleks saagimist. See tuleneb segude koostamisel kasutatud Inkoo graniitsõlmetest. Need sõelmed ei olnud läbinisti punased, vaid sisaldasid vähesel määral punakaid kive (vt ka joonis 3.14). Valdavalt sisaldasid sõelmed musta tooniga kive. Kui kasutusel oleks olnud ka punased sõelmed, oleks katsekehade toon veelgi mõjusam olnud.

Asfaltsegudes kasutatud Inkoo sõelmed on välja toodud joonisel 3.14.



Joonis 3.14. Asfaltsegudes kasutatud Inkoo sõelmed pestud kujul [Erakogu]

Lisaks punastele asfaltsegudega vaadeldi töö raames ka rohelist asfaltsegu, mis on varasemalt toodetud KMG OÜ poolt. Vaadeldava rohelse asfaltsegu iseloomulik värvuse andev seguretsept oli järgnev: asfaltsegu kasutati 6,1% sideainet kogu massist, millest 20% oli must tavapärase bituumen ning 80% värvitu bituumen. Värvimiseks kasutati 2% rohelist graanuli kujul olevat pigmenti asfaltsegu kogumassist. Proovikeha näide on välja toodud joonisel 3.15.



Joonis 3.15. Roheline pooleks saetud asfaldist proovikeha, toodetud KMG OÜ poolt [Erakogu]

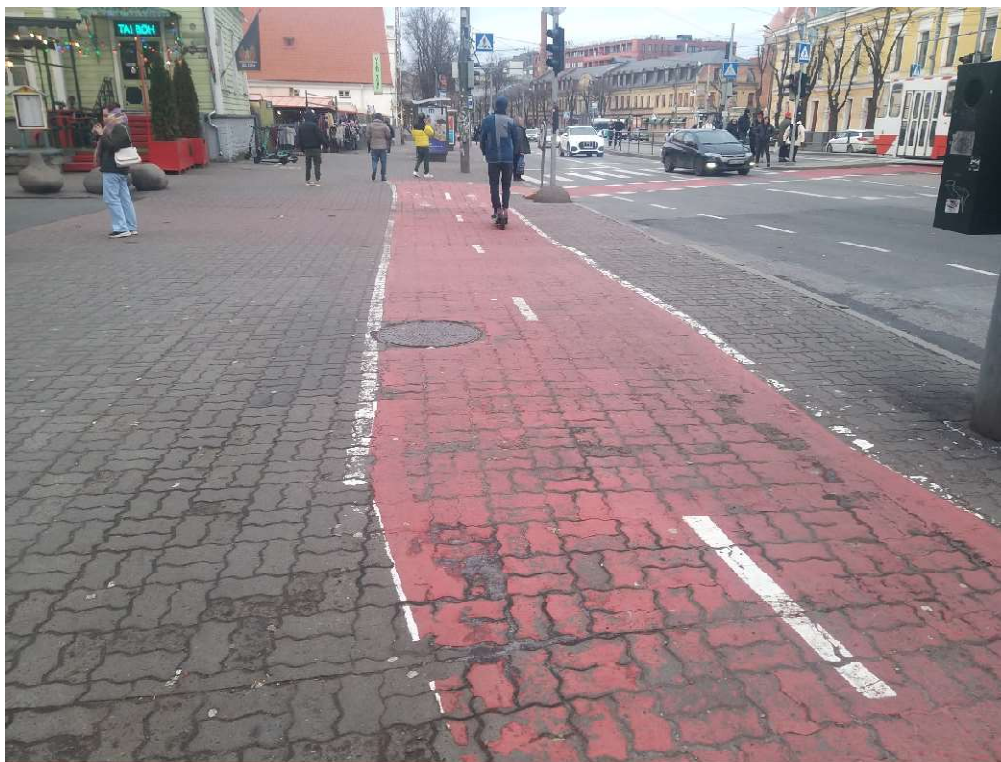
Nagu jooniselt näha, siis peale pooleks saagimist domineerib asfaldist proovikeha värvust hall täitematerjali toon. Selline võiks olla ka asfaldi toon peale pealmise värvitud sideainekihi maha kulumist. Rohelise asfaldi tootmise üheks peamiseks probleemiks võib pidada seda, et väga keeruline on leida rohelist värvi täitematerjali, mis hiljem vastaks asfaldi tootmisel vajalikele tugevusnõuetele.

3.3. Katenditele peale kantavad lahendused

Antud magistritöö raames vaadeldi ka katenditele peale kantavaid lahendusi. Võrdluseks võeti enim kasutatud tehnoloogiad ehk punane värv, punane termoplast kahel erineval kujul ja punane külmplast.

Probleeme peale kantavate lahenduste korral on mitmeid. Oluline on valida õige tehnoloogia õigele katile. Tehnoloogiad, mis sobivad mingitele katenditele, on põhjalikumalt välja toodud peatükkides 1.1 kuni 1.6. Samuti on üheks suureks probleemiks peale kantavate lahenduste kiire füüsiline kulumine avatud sõidukiliikluse korral. Liiklusohutuse seisukohalt on katendile peale kantavad materjalid oma olemuselt oluliselt siledama pealispinnaga, mis muudab katte pealispinna libedamaks. Libeduse oht suureneb märgatavalt, kui teekatte pind on märg (vt ka peatükk 2.3.5).

Värskelt katendile peale kantud lahendused mõjuvad küll efektselt ning võivad olla silmatorkavamad, kui näiteks värvitud asfalt, kuid peale kulumist muutub vaatepilt visuaalselt ebameeldivaks. Probleemi ilmestab joonis 3.16, kus on näha, kuidas sillutiskatendile peale kantud materjal on kohati lahti koorunud ning visuaalselt ei mõju lahendus ilusalt. Võib oletada, et kasutatud tehnoloogia ei sobinud hästi sillutiskatendile, sest on näha, kuidas materjal on hakanud katendi pealt lahti kooruma.



Joonis 3.16. Sillutiskatendile peale kantud värviline lahendus Tallinnas, Viru väljaku juures, pilt tehtud 19.11.2023 [Erakogu]

Laboris vaadeldi nelja erinevat võimalikku tehnoloogiat, millega on võimalik olemasolevaid teekatteid katta. Eelnevalt oli laboris olemas külmplastist ja pritsitavast

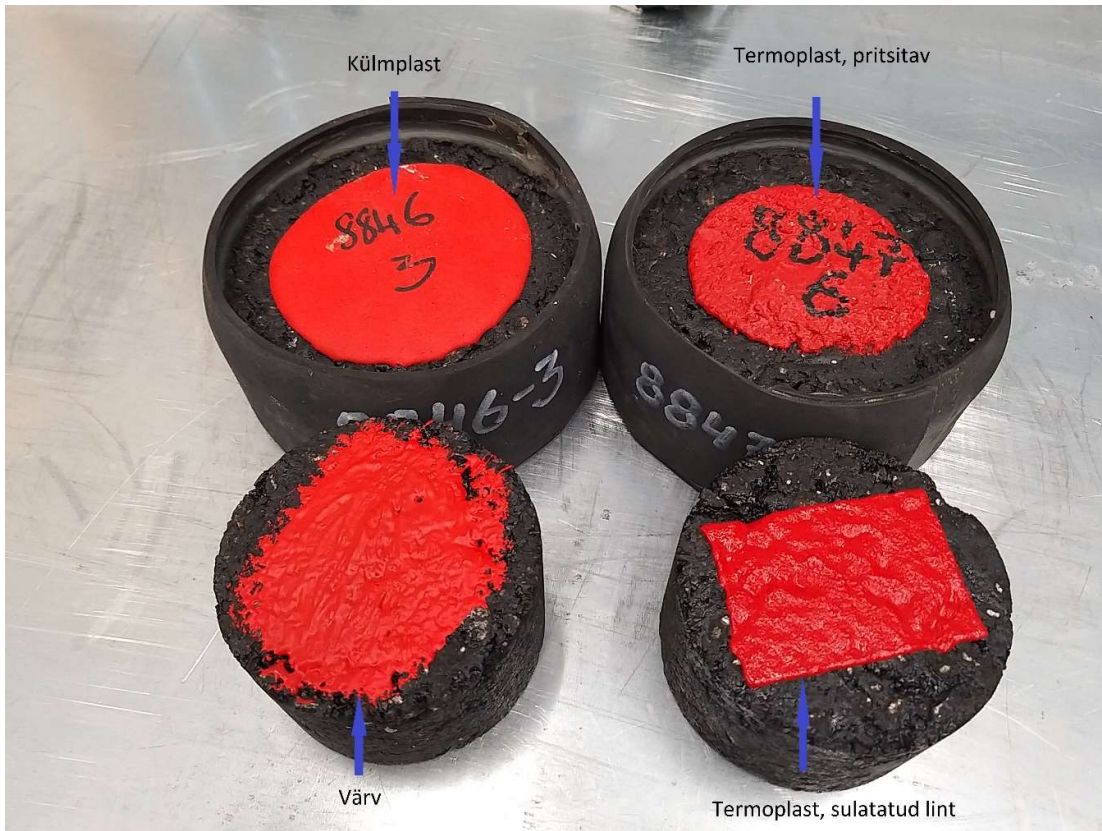
termoplastist katsekehade näited. Signaal AS-ilt oli võimalik saada lisaks veel punast värvi ning lindi kujul termoplasti. Näited on välja toodud joonisel 3.17.

Nagu joonisel 3.17 näha, on värvitud katsekeha oluliselt õhukesema kihiga kaetud, kui seda on külmplastist ja termoplastist katsekehad. Samuti on mõnevõrra õhem termoplastist lint võrreldes külmplasti ja pritsitava termoplastiga. Kõige paksemad kihid on saavutatud pritsitava termoplasti ja külmplasti tehnoloogiatega. Pritsitavale termoplastile on sisse segatud ka paekivi sõlmed, mis muudavad segu paksemaks ning pealispinna mõnevõrra karedamaks, võrreldes teiste tehnoloogiatega.

Erinevate peale kantavate tehnoloogiate vastupidavuse kulumisele määrab suuresti nende kihtide paksused. Sellest tulenevalt võib järeldada, et võrdluseks olevatest tehnoloogiatest peaksid avatud liikluse korral kõige paremini vastu külmplast ja pritsitav termoplast. Termoplastist lint on mõnevõrra paksem kui värvikiht ning seega peaks füüsilisele kulumisele ka mõnevõrra paremini vastu. Värvilise puhul on näha, et peale kantav kiht on väga õhuke ning seega avatud sõidukite liikluse korral kulub väga kiiresti.

Nagu eelnevalt mainitud, on peale kantavate tehnoloogiate puhul üheks probleemiks nende liiga sile pealispind, mis muudab need oluliselt libedamaks võrreldes tavapärase asfaldi või sillutiskividest katendiga. Probleem on suurem märja ilma korral. Nagu joonisel 3.17 näha võib, on kõikide peale kantavate materjalide pealispind siledam, kui seda on asfaltipind, millele proovikehad peale kanti. Teistest mõnevõrra karedam on pritsitav termoplast, kuhu on juurde segatud paekivist sõlmed.

Liiga sileda pealispinna probleemi saab lahendada, kui lisada peale kantavate segude sisse jämedama terasuurusega materjali, nagu on tehtud pritsitava termoplasti katsekeha puhul. Seda aga ei saaks rakendada termoplastist lindi ja värvi kasutamise korral. Termoplastist lint sulatatakse otse kaetavale pinnale ning sellele ei saa segu sisse lisada täiendavalt libisemist takistavat materjali. Samuti jääb lindi kasutamise korral kaetav kiht võrdlemisi õhuke. Värvilise puhul ei saa lisada libisemist takistavaid lisandeid, sest värvikiht jääb peale kandmisel liiga õhuke.



Joonis 3.17. Külplastiga, termoplastiga ja värviga kaetud katsekehad [Erakogu]

4. SOOVITUSED ERINEVATE LAHENDUSTE KASUTAMISEKS

Antud magistritöö üheks eesmärgiks oli välja pakkuda soovitused, millal mingisuguseid tehnoloogiaid kasutada, märgistamaks erinevate liiklejate liikumisruumi. Töö autor ei pretendeeri lõplikule tõele, sest mõned tehnoloogiad sobiksid kasutamiseks mitmele poole ja on universaalsemad. Soovituste andmine on antud töö raames jaotatud kahte erinevasse gruppi: uue katte rajamine ning olemasoleva katte täiendav markeerimine.

4.1. Uue katte rajamine

Uue katte rajamisel on esmalt vajalik planeerida, kas soovitakse rajada sillutiskatendist või asfaldist lahendused. Vastavalt sellele on ka soovitatavad tehnoloogiad erinevad.

4.1.1. Asfaltkate

Uue asfaltkatte planeerimisel võiks eesmärgiks olla võimalikult väikese hooldekuluga lahendus. Kuigi visuaalselt võivad paremini mõjuda asfaldile peale kantavad materjalid, siis need nõuavad iga-aastast hooldust ning üsna sagedast uuendamist eriti just avatud sõidukiliiklusega aladel. Värvitud asfalt, rajades selle õigetest täitematerjalidest, võiks pakkuda pikaajalist lahendust.

Töö autori hinnangul sobivad Eesti kliimasse kõige paremini punased asfaldid, sest Eesti naaberriikidest oleks võimalik hankida punast graniitkillustiku ning graniitsõelmeid. Samuti on võimalik punase pigmendiga väga edukalt toonida ka musta bituument. Rohelist värvi asfalti autor Eestis kasutamiseks ei soovita, kui seda kavandatakse avatud sõidukiliiklusega alale. Kuigi alguses võib lahendus küll efektne välja paista, siis peale värvitud sideaine pealmise kihi kulumist jääb tooni andma täitematerjal. Rohelist täitematerjali oleks aga Eesti lähi piirkonnast keeruline leida, seejuures tagades ka vajalikud tugevusomadused (vt ka peatükk 3.2.6).

Punase katendi planeerimisel on parim ning hooldevabam tulemus saavutatav kasutades punast täitematerjali, sünteetilist värvitud sideainet ja punast pigmenti.

Asfaldi toon peale lahti lõikamist, mis imiteerib realselt kulumist sõidukiliikluse korral, on läbipaistva sideaine värvimisel saadud tulemus kõige efektsam ning punane toon paistab hästi silma (vt ka peatükk 3.2.6). Värvitud asfaltkattega pole probleeme ka libedusega märjal ajal, sest selle omadused on ligilähedased tavapärase musta asfaltiga.

Teine eelistus punase katendi rajamisel oleks kasutada punast täitematerjali, punast pigmenti ja musta bituumenit. Sellise tehnoloogiaga on võimalik saavutada maalähedasemad toonid. Kui aga kasutada punast täitematerjali, on lõpptulemus peale proovikehade lahti lõikamist siiski võrdlemisi hea ning punane toon selgesti eristatav (vt ka peatükk 3.2.6). Värvitud asfaltkattega pole probleeme ka libedusega märjal ajal, sest selle omadused on ligilähedased tavapärase musta asfaltiga.

Kolmandana võiks autori hinnangul kaaluda külmplastiga musta asfaltkatte katmist. Külmplast on mõnevõrra parema kulumiskindlusega kui seda on termoplast. Samuti on külmplast Eesti heitlikus ja jahedamas kliimas vastupidavam, kui seda on termoplast. Külmplasti on võimalik ka õhukesema kihiga hiljem katta ning pole vajadust asfaldi pinda eelnevalt kruntida, kui tegu on juba vanema asfaltkattega (vt ka peatükk 1.3). Visuaalselt on punane külmplast efektse välimusega ning torkab hästi silma. Külmplastist kihi paksus võiks peale kandmise hetkel olla pigem paksema poolne, eriti just avatud sõidukiliikluse korral. Paksus võiks sellisel juhul jääda 3-4 mm vahemikku. Samuti tuleks kaaluda libisemist takistavate materjalide lisamist tehnoloogiale.

Neljanda valikuna võiks kaaluda termoplastiga musta asfaldikihi katmist. Termoplast sobib hästi värske asfaldi markeerimiseks, kuid ta on mõnevõrra halvema kulumiskindlusega, kui seda on külmplastist kattemarkeering. Samuti on selle üle katmine hiljem keerulisem (vaata ka peatükke 1.2 ja 1.3). Termoplastist kihi paksus võiks peale kandmise hetkel olla pigem paksema poolne, eriti just avatud sõidukiliikluse korral. Paksus võiks jääda 3-4 mm vahemikku. Samuti tuleks kaaluda libisemist takistavate materjalide lisamist tehnoloogiale.

4.1.2. Sillutiskatend ja betoonkatend

Sillutiskatendi planeerimisel võiks olla samuti eesmärk saavutada võimalikult hooldevaba tulemus. Hooldevaba tulemuse eesmärgil oleks mõistlik kasutada erivärvi tänavakive, millega on võimalik lihtsasti eristada erinevate liiklejate liikumisruumi (vt

ka peatükk 1.7). Tänavakivide värv on üldjuhul ajas püsiv, olgu selleks siis erivärvi graniitkivist lahendused või betoonist tänavakivid.

Teise lahendusena võiks kaaluda külmplastiga katendi katmist. Külmplast sobib hästi nii tavapärase betooni kui ka betoonkivi sillutise katmiseks. Nagu eelnevalt mainitud, on võimalik külmplastist katet aja jooksul värskendada ning seda üle katta. Seejuures pole vajalik aluskatendi eelnev kruntimine (vt ka peatükk 1.3). Külmplastist kihi paksus võiks peale kandmise hetkel olla pigem paksema poolne, eriti just avatud sõidukiliikluse korral. Paksus võiks jääda sellisel juhul 3-4 mm vahemikku. Samuti tuleks kaaluda libisemist takistavate materjalide lisamist tehnoloogiale.

Kolmanda valikuna võiks kaaluda epoksiidist või polüuretaanist lahendusi. Need lahendused sobivad hästi betoonpindadele ning neil on hea nake sellega. Peamiseks probleemiks on aga peale kantava kihi võrdlemisi õhuke paksus. Selletõttu võivad need lahendused avatud sõidukiliikluse korral kiiresti kuluda (vt ka peatükk 1.4).

Neljanda valikuna võiks kaaluda termoplastiku kasutamist betoonpindadel. Termoplastiku kasutamisel on seejuures oluline, et betoonist või betoonkividest katend oleks eelnevalt krunditud, et tagada võimalikult hea nake termoplastikuga. Termoplast nakkub hästi värske asfaltiga, kus ta saab üles sulatada pealmise bituumeni kihi ja moodustada tugeva termilise sideme. Betoonpindadega see aga võimalik ei ole (vt ka peatükk 1.2). Küll aga korrektsel paigaldamisel võib saavutada hea kulumiskindluse, kuna peale kantakse paksem kiht materjali. Samuti tuleks kaaluda libisemist takistavate materjalide lisamist tehnoloogiale.

4.2. Olemasoleva katte markeerimine

Olemasoleva katte markeerimisel saab jaotada suures pildis lahendused kolme gruppi. Eraldi tasuks vaadelda taaskord asfaldist ja betoonist kattede konstruktsioonide lahendusi. Lisaks on asfaldist katte puhul mõningane erisus, kas tegu on värskest maha pandud asfaldiga või on tegemist juba mõnda aega maas olnud asfaldiga.

4.2.1. Asfaltkate

Nagu eelnevalt mainitud, tuleks katte markeerimisel asfaldi puhul vaadelda eraldi värsket kuni aasta vanust asfaldi ning üle aasta vanust asfaldi.

Uus asfaltkate

Esimene valik uue asfaltkatte markeerimisel on külmplastikust lahendus. Selle lahenduse eeliseks on see, et pole vajalik kattepinna eelnev kruntimine ning tegu on hea kulumiskindla lahendusega, mis küll vajab korralist hooldamist ning üle katmist (vt ka peatükk 4.1).

Teisena võiks kaaluda uue asfaltkatte korral termoplastikuga markeerimist. Termoplast töötab hästi värskel asfaldil ning saavutab hea nakke aluspinnaga. Samuti on võimalik termoplastiga saada paksem kiht materjali, mis tagab parema kulumiskindluse kui näiteks epoksiididel ja värvidel (vt ka peatükk 4.1).

Kolmanda valikuna võiks uuel kattel kaaluda epoksiidist või polüuretaanist materjaliga katmist. Epoksiididel ja polüuretaanist materjalidel on hea nakkuvus ka vanema asfaltiga ning puudub vajadus eelnevaks kruntimiseks. Samuti on neid tehnoloogiaid lihtne hiljem uuesti üle katta ja värskendada. Kuna antud tehnoloogiaga saavutatakse võrdlemisi õhuke kihipaksus, siis sõidukiliikluse korral võib kulumine kiiresti toimuda (vt peatükk 1.4 ja 4.1).

Vana asfaltkate

Esimene valik vana asfaltkatte markeerimisel on külmplastikust lahendus. Selle lahenduse eeliseks on see, et pole vajalik kattepinna eelnev kruntimine ning tegu on hea kulumiskindla lahendusega, mis küll vajab korralist hooldamist ning üle katmist (vt ka peatükk 4.1).

Vana asfaltkatte markeerimisel oleks teiseks eelistuseks epoksiidist või polüuretaanist materjaliga katmine. Kuigi termoplast töötab hästi värskel asfaldil ning saavutab hea nakke aluspinnaga, vajaks termoplasti kasutamine vanal asfaldil eelnevat kruntimist. Samuti võib probleeme valmistada termoplastikust katte värskendamine peale mõningast kulumist. Epoksiidist ja polüuretaanist katet on lihtsam hiljem taastada ning värskendada. Küll aga on peale kantav kiht võrdlemisi õhuke ning sõidukiliikluse korral võib kiiresti kuluda (vt peatükk 1.4 ja 4.1).

Kolmanda valikuna võiks vanal asfaltkattel kaaluda termoplasti kasutamist. Vanema asfaltkatte korral võib osutada vajalikuks katte eelnev kruntimine, et tagada parem ning tugevam termiline side. Termoplastikust katte uuendamisel võib aga tekkida probleeme nakkumisega (vt ka peatükk 4.1). Küll aga korrektsel paigaldamisel võib saavutada hea kulumiskindluse, kuna peale kantakse paksem kiht materjali.

4.2.2. Sillutiskatend ja betoonkatend

Sillutiskatendi ja betoonkatendi puhul on tehnoloogilise valiku soovitusel samad nagu seda on uue katte planeerimisel. Olemasoleva sillutiskatendi markeerimisel oleks autori hinnangul esimene valik olemasolevate kivide asendamine värviliste kividega, teisena soovitatakse külmpistikuga katte markeerimist, kolmandana eposkiidist või poliüuretaanist lahendusi ning neljandana termoplastikust lahendusi eelneva kruntimisega (vt ka peatükk 4.1.2).

4.3. Ettepanekud järgnevateks uurimistegevusteks

Antud lõputöö võttis vaatluse alla erinevad materjalid ja tehnoloogiad, millega on võimalik katendeid markeerida ja tähistada erinevate liiklejate liikumisruumi. Magistritöös keskenduti peaaesjalikult visuaalsele poolele ning erinevate tehnoloogiate tugevus- ja kulumisomadusi ei katsetatud. Küll aga vaadeldi kulumisest tingitud visuaalseid muutusi ning nende mõju tehnoloogiate toimivusele. Suurem rõhk antud uuringus pandi punase asfaldi omadustele ning potentsiaalsele muutusele eksploatatsioonitingimustes.

Kuna värviliste katendite, eelkõige just värvilise asfaldi kasutamine Eestis on väga uus nähtus, on sel teemal väga vähe uuringuid tehtud. Magistritööd kirjutades sai autor aru, et teema on väga lai ning nüansirohke. Sellest tulenevalt tekkis juurde nii mõnigi idee edaspidisteks uuringuteks.

Autori hinnangul tasuks edaspidiselt täiendavalt uurida:

- Katsetada avatud liiklusega alal punaseid asfaltseguisid, kus on kasutatud punast täitematerjali, sealhulgas ka punaseid sõelmeid.

- Antud töö raames ei uuritud värvitu sideaine omadusi. Tulenevalt aga Eesti heitlikust kliimast, oleks vajalik leida meie kliimas hästi toimiv läbipaistev sideaine, mis vastaks hetkel kehtivatele nõuetele. Sellise sideaine segu leidmiseks võib olla vajalik mitmete lisandite kasutamine, et saavutada vajalike omadustega sideaine.
- Antud töö raames ei uuritud pigmentide mõju sideainetele ja asfaltsegudele. Erinevad pigmendid võivad sisaldada erinevaid aineid ning oluline oleks teada, kuidas erinevad pigmendid mõjutavad nii musta bituumeniga kui ka värvitu sideainega toodetud asfaltsegusid.
- Uurida täiendavalt, milliste erinevate pigmentide koosmõjul ja segamisel oleks võimalik saavutada erksam ning püsivam asfaltsegu toon.
- Eestis on võrdlemisi suur osa aastast pime ning ööd pikad. Sellest tulenevalt tasuks uurida, kas Eestis oleks piirkondi, kus tasuks katsetada heledat asfalti, et vähendada valgustamisele kuluvat energiat.
- Uurida erinevate peale kantavate tehnoloogiate kulumiskindlust avatud liiklusega aladel. Uurida tuleks eraldi uut, kuni aasta vanusele asfaldile kantud materjalide kulumiskindlust, vanemale asfaldile peale kantud materjalide kulumiskindlust ning betoonile või sillutiskatendile peale kantud materjalide kulumiskindlust.

KOKKUVÕTE

Antud magistritöö eesmärgiks oli analüüsida erinevaid võimalusi ja tehnoloogiaid, millega on võimalik tagada turvalisem liikluskeskkond kergliikuritele. Eelkõige keskenduti magistritöö raames jalgrattateede markeerimisele. Lõputöö teema valikul mängis olulist rolli see, et töö autor liikleb igapäevaselt palju jalgrattaga ning linnapildis on näha palju kulunud, halvasti eristatavaid või sootuks silmale kadunud jalgrattateid, kus pole aru saada, kellele liikumisruum ette on nähtud.

Lõputöös antakse põgus ülevaade, miks üldse võiks olla vajalik kergliikurite infrastruktuuri arendamine ning milliseid tehnoloogiaid võiks kasutada liikumisruumide eristamisel. Selle raames vaadeldakse tuntuimaid tehnoloogiaid, mida kasutatakse liikumisruumi markeerimiseks. Käsitlusele tulevad näiteks värv, termoplast, külmpplast ja värvitud asfalt, kuid lisaks vaadeldakse ka teisi tehnoloogiaid. Suur osa magistritööst keskendub aga värvilise asfaldi omadustele, tootmiseks vajalikele tehnoloogiatele ja nüanssidele, mida selle juures arvestada tuleks.

Laboratoorsete katsetuste puhul võeti eesmärgiks segada kokku erinevad värvilised asfaltsegud ning neid visuaalselt hinnata. Oluline oli seejuures, et kasutataks võimalikult punast täitematerjali. Selleks, et hinnata asfaltsegude värvitooni peale kulumist, saeti need pooleks. Saetud proovikehad võiksid imiteerida asfaltsegu välimust peale seda, kui pealmine värvitud sideaine kiht on maha kulunud.

Antud töö puhul segati kokku kolm erinevat asfaltsegu. Esimeses segus kasutati musta bituumenit, punast jämetäitematerjali, sõelmeid, mis sisaldasid vähesel määral punast kivi ning paekivi fillerit. Teises asfaltsegus kasutati musta bituumenit, mida värviti punase granuleeritud pigmendiga. Kolmandas asfaltsegus kasutati värvitud sideainet, mida värviti granuleeritud pigmendiga. Kasutatud täitematerjalid olid teise ja kolmanda segu korral samad, mis esimese segu korral. Lisaks kasutati võrdluseks eelnevalt olemasolevat punaseks värvitud musta bituumeniga tehtud asfaltsegu, milles oli kasutatud heledat tooni täitematerjali.

Asfaltsegude omavahelisel visuaalsel võrdlemisel selgus, et parim tulemus on saavutatav värvitu sideaine värvimisel. Samuti on võimalik võrdlemisi hea tulemus saavutada musta bituumeni värvimisel. Musta bituumeni värvimisel on saavutatav asfaltsegu toon mõnevõrra tumedam. Kolmanda asfaltseguna vaadeldi tavapärase musta bituumeniga kokku segatud proovikeha. Peale pooleks saagimist oli see selgelt

kehvema punase tooniga kui värvitud asfaltsegud. Neljanda seguna võrreldi eelnevalt olemasolevat värvitud asfaltsegu, kus oli kasutatud heledat täitematerjali. Vaatamata asfaltsegu värvimisele, oli peale saagimist näha, et punane toon ei ole nii tugev, kui antud magistritöö raames kokku segatud punased asfaltsegud ning sarnases rohkem tavapärase musta bituumeniga kokku segatud asfaltsegule peale saagimist. Sellest võib järeldada, et punaste asfaltsegude kavandamisel on oluline, et kasutataks ka samasugust tooni täitematerjali.

Lisaks värvitud asfaldile vaadeldi antud töö raames katenditele peale kantavaid materjale. Visuaalselt vaadeldi laboris kahte erinevat termoplastikut, külmplastikut ning värvi. Visuaalsel hinnangul oli selge, et paksemad materjalikihid on saavutatavad termoplastiku ja külmplastiku kasutamisel. Värvil kasutamisel on saavutatav materjalikiht võrdlemisi õhuke, mistõttu kuluks see avatud sõidukiliikluse korral kiiresti. Arvestades juurde ka antud magistritöö raames kogutud informatsiooni, võib väita, et kõige universaalsema ja kulumiskindlama materjalina tasuks kasutada külmplastikust lahendusi.

Antud lõputöö raames toodi välja soovitusel, millist tehnoloogiat võiks kasutada erinevates olukordades. Asfaltkatteid ja sillutiskatendeid tuleks vaadelda eraldiseisvalt, kui valitakse tehnoloogiat, millega eristada erinevate liiklejate liikumisruumi. Uue asfaltkatte rajamise korral on parim ning hooldevabam tulemus saavutatav, kui rajada punane asfaltsegu, kasutades selleks värvitud sideainet, punast pigmenti ning punast täitematerjali. Olemasoleva asfaltkatte markeerimisel on parim tulemus saavutatav kasutades markeerimiseks külmplastikust lahendusi. Sillutiskatendite puhul oleks parim ning hooldevabam tulemus saavutatav, kui olemasolevad kivid asendatakse uute värvitud kividega. Kui aga eesmärgiks on kasutada katendile peale kantavat lahendust, siis esimene valik võiks olla külmplastikust lahendus.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was to analyze different possibilities and technologies which allow to ensure safer traffic environment for light vehicles like bicycles and scooters. Specifically, the focus of the master's thesis was on marking bicycle lanes. The choice of the thesis topic was significantly influenced by the fact that the author of the work travels by bicycle on daily basis and it can be seen in the urban landscape that there are many worn-out, poorly distinguishable or completely faded bicycle lanes, where it is unclear for who the space is intended for.

The thesis provides a brief overview of why developing infrastructure for light vehicles might be necessary and what technologies could be used to differentiate designated pedestrian and light traffic zones. Within this context, the best-known technologies used for marking such zones are examined. These include paint, thermoplastic, cold plastic and colored asphalt, among other technologies. However, a significant part of the master's thesis focuses on the properties of colored asphalt, the technologies required for its production and the details to consider.

In laboratory experiments, the aim was to mix different colored asphalt mixtures and visually evaluate them. It was important to use as much red aggregate material as possible. To assess the color tones of asphalt mixtures after wearing, the test objects were sawn in half. The sawn samples could simulate the appearance of asphalt mixtures after the top painted binder layer has worn off.

In this work, three different asphalt mixtures were created. In the first mixture, black bitumen, red coarse aggregate, fine aggregates containing small amount of red stone and limestone filler were used. In the second asphalt black bitumen colored with red granular pigment was used. The third asphalt mixture used colorless binder colored with red granular pigment. The used aggregate materials were the same for the second and third mixtures as for the first mixture. In addition, an existing asphalt mixture made with red-dyed black bitumen with a light-colored aggregate was used in comparison.

Visual comparison of the asphalt mixtures revealed that the best result is achieved with coloring the colorless binder. Similarly, a relatively good result can be achieved by coloring black bitumen. Coloring black bitumen produces a slightly darker tone of asphalt mixture. The third asphalt mixture examined was a sample mixed with regular

black bitumen. After sawing it in half, it was clearly poorer in red tone compared to the colored asphalt mixtures. As a fourth mixture, the previously existing colored asphalt mixture with light-colored aggregate, was compared. Despite coloring the asphalt mixture, it was evident after sawing that the red tone was not as strong as in the red asphalt mixtures mixed for this master's thesis, and it was more similar to asphalt mixture with regular black bitumen. Based on that it can be concluded that in designing red asphalt mixtures, it is important to use the same tone of aggregate material.

In addition to colored asphalt, materials applied on pavements were also examined in this work. In the laboratory, two different thermoplastics, cold plastic and paint were observed. Visually, it was clear that thicker material layers can be achieved with thermoplastic and cold plastic. When using paint, the material layer achieved is relatively thin and would wear off quickly under open vehicular traffic. Considering the information gathered in this master's thesis, it can be concluded that the most universal and wear-resistant material to use is cold plastic solutions.

In this thesis, recommendations were made as to which technology should be used in different situations. Asphalt pavements and paved surfaces should be analyzed separately when selecting technology to differentiate between types of traffic. For laying a new asphalt pavement, the best and most maintenance-free result can be achieved by using red asphalt mixture made by colorless binder, red pigment and red aggregate material. The best result for marking existing asphalt pavement can be achieved using cold plastic solutions. For paved surfaces, the best and most maintenance-free result can be achieved by replacing existing stones with new colored stones. However, if the goal is to use material that can be laid on a surface, the first choice should be a cold plastic solution.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] N. Ghasemi, E. M. Acerra, C. Lantieri, A. Simone, . F. Rupi ja V. Vignali, „Urban Mid-Block Bicycle Crossings: The Effects of Red Colored Pavement and Portal Overhead Bicycle Crossing Sign,” *MDPI*, 2022.
- [2] D. Nabors, E. Goughnour, L. Thomas, W. DeSantis ja M. Sawyer, „Bicycle Road Safety Audit Guidelines and Prompt Lists,” *ROSAP*, 2012.
- [3] S. Kaplan, R. Luria ja C. G. Prato, „The relation between cyclists’ perceptions of drivers, self-concepts and their willingness to cycle in mixed traffic,” *ScienceDirect*, 2019.
- [4] Federal Highway Administration, „Injuries to Pedestrians and Bicyclists: An Analysis Based on Hospital Emergency Department Data,” *ROSAP*, 1999.
- [5] H. Iasmin, A. Kojima ja H. Kubota, „Safety effectiveness of pavement design treatment at intersections: Left turning vehicles and pedestrians on crosswalks,” *ScienceDirect*, 2016.
- [6] M. Santamouris, „Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments,” *Elsevier*, 2013.
- [7] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus MTÜ, „EVS-EN 1871:2020 Road marking materials - Paint, thermoplastics and cold plastic materials - Physical properties,” 2020.
- [8] R. Kaps ja N. Dodd, „Development of the EU Green Public Procurement (GPP) Criteria for Paints, Varnishes and Road Markings,” 2018.
- [9] G. Zhang, J. E. Hummer, W. Rasdorf ja N. Mastin, „The Impact of Pavement Type and Roughness on Paint Marking Retroreflectivity,” *sagepub*, 2013.

- [10] „Mootorsõiduki ja selle haagise tehnonõuded ning nõuded varustusele - Lisa 1,“ 2022.
- [11] J. M. Dale, „Studded tires versus pavement markings. A collision Course,“ *Highway Research Board*, 1970.
- [12] HK Highways Department, „Guidance Notes on Road Markings,“ 2016.
- [13] Swarco Industries, „SWARCO AQUAROLL ECO WP15,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.swarco.com/products/road-markings/bike-lanes-markings/swarco-aquaroll-eco-wp15>. [Kasutatud 17 aprill 2024].
- [14] Scottish Road Research Board, „Durability of White Thermoplastic Road Markings,“ 2015.
- [15] Swarco Industries, „Thermoplastic Field Guide,“ 2010.
- [16] National Association of City Transportation Officials, „Pavement Markings & Color,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://nacto.org/publication/transit-street-design-guide/transit-lanes-transitways/lane-elements/pavement-markings-color/>. [Kasutatud 17 aprill 2024].
- [17] Y. Jiand, „Durability and Retro-reflectivity of Pavement Markings (Synthesis Study),“ 2008.
- [18] M. Cruz, A. Klein ja V. Steiner, „Sustainability assessment of road marking systems,“ *ScienceDirect*, 2016.
- [19] Iowa State University, „Durable, Cost-Effective Pavement Markings. Phase I: Synthesis of Current Research,“ 2001.
- [20] Swarco Industries, „SWARCOPLAST Spraytex, Cold Plastic,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.swarco.com/products/road-markings/bike-lanes-markings/swarcoplast-spraytex>. [Kasutatud 17 aprill 2024].

- [21] Delfi meedia, „FOTOD | Uus turismiobjekt Viimsis: punaseks vööbatud kergliiklustee on saanud omaette vaatamisväärsuseks,” 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.delfi.ee/artikkel/86366971/fotod-uus-turismiobjekt-viimsis-punaseks-voobatud-kergliiklustee-on-saanud-omaette-vaatamisvaarsuseks>. [Kasutatud 25 jaanuar 2024].
- [22] Jobling Purser, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://rocbinda.com/wp-content/uploads/2016/05/Rocbinda-Brochure-2020-e-mail.pdf>. [Kasutatud 17 04 2024].
- [23] L. Sasidharan, V. Karwa ja T. E. Donnell, „Use of Pavement Marking Degradation Models to Develop a Pavement Marking Management System,” *Sage Journals*, 2009.
- [24] D. Babić, Š. Anđelko, D. Babić ja M. Fiočić, „Model for Predicting Road Markings Service Life,” *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 2019.
- [25] Nu-Style Products, „Everything You should know about Polyester Powder Coating,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.nu-styleproducts.com/news/everything-you-should-know-about-polyester-powder-coating/>. [Kasutatud 17 aprill 2024].
- [26] Teknopur PRO, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.teknopur.ee/>. [Kasutatud 17 aprill 2024].
- [27] X. R. Nogueira ja J. Mennis, „The Effect of Brick and Granite Block Paving Materials on Traffic Speed,” *MDPI*, 2019.
- [28] J.-M. F. Mendoza, J. Oliver-Solà, X. Gabarrell, A. Josa ja J. Rieradevall, „Life cycle assessment of granite application in sidewalks,” 2012.
- [29] G. A. Shafabakhsh, B. P. H. Abad ja A. Familyb, „Numerical Analysis of Concrete Block Pavements and comparison of its Settlement with Asphalt Concrete Pavements using Finite Element Method,” *Engineering Journal*, 2014.

- [30] O. Selonen ja C. Ehlers, „Stone buildings and building stones on the Åland Islands – historic and modern applications of natural stone,” *KIVI*, 2020.
- [31] Q. Liu, S. Varamini ja S. Tighe, „Field Evaluation of Red-Coloured Hot Mix Asphalt Pavements for Bus Rapid Transit Lanes in Ontario, Canada,” *MDPI*, 2017.
- [32] K. Kawther, „Colored asphalt and street print are decorating paving in public spaces,” *MATEC Web of Conferences*, 2018.
- [33] S. Varamini, „Technical, Economic and Environmental Evaluation of Warm Mix Asphalt and Coloured Asphalt for Usage in Canada,” 2016.
- [34] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus MTÜ, „EVS 901-3:2021, Tee-ehitus, Osa 3: Asfaltsegud,” 2021.
- [35] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus MTÜ, „EVS-EN 1426:2015, Bituumen ja bituumensideained. Nõelpenetratsiooni määramine,” 2015.
- [36] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus MTÜ, „EVS 901-2:2016 Tee-ehitus. Osa 2: Bituumensideained,” 2016.
- [37] X. Fu, Y. Chen ja M. Sun, „Effects of different colorants on service performance for colored asphalt pavement in cold regions,” *Emerald Insight*, 2022.
- [38] T. R. Porto, A. E. d. F. L. Lucena, T. M. R. P. d. Moraes, O. d. M. M. Neto, D. B. Costa, F. d. S. d. S. Carvalho ja B. P. R. Torres, „The use of iron oxide in asphalt mixtures to reduce the effects of urban heat islands,” *ScienceDirect*, 2022.
- [39] Asphalt Color, [Võrgumaterjal]. Available: <https://asphaltcolor.com/>. [Kasutatud 04 veebruar 2024].
- [40] K. Plug ja A. d. Bondt, „Required Mechanical Properties of a Clear Binder for Coloured Asphalt Concrete,” *ResearchGate*, 2017.

- [41] P. Tang, L. Mo, C. Pan, H. Fang, B. Javilla ja M. Riara, „Investigation of rheological properties of light colored synthetic asphalt binders containing different polymer modifiers,” *ScienceDirect*, 2017.
- [42] S. Hosseinnezhad, . E. H. Fini, B. K. Sharma, M. Basti ja B. Kunwar, „Physiochemical characterization of synthetic biooils produced from bio-mass: a sustainable source For construction bio-adhesives,” *RSC*, 2015.
- [43] G. D. Airey, M. H. Mohammed ja C. Fichter, „Rheological characteristics of synthetic road binders,” *ScienceDirect*, 2008.
- [44] J. Ruumet, Interviewee, *Värvilise asfaldi tootmine asfalditehases*. [Intervjuu]. veebruar 2024.
- [45] R. Naus ja J. Voskuilen, „Light Coloured asphalt,” Rijkswaterstaat - Ministry of Infrastructure and Water Management, 2016.
- [46] B. Snilsberg, R. G. Saba ja N. Uthus, „Asphalt pavement wear by studded tires – Effects of aggregate grading and amount of coarse aggregate,” *Eurasphalt & Eurobitume Congress*, 2016.
- [47] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus MTÜ, „EVS-EN 12697-16:2016 Asfaltsegud, Katsemeetodid, Osa 16: Vastupidavus naastrehvide toimele,” 2016.
- [48] R. Luo, K. Zhang, W. Xu ja G. Feng, „Quantification of the tyre-track resistance of coloured asphalt mixtures,” *Taylor & Francis Online*, 2017.
- [49] ASTM, „Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials,” 2006. [Vörgumaterjal]. Available: <https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CD0005-06E01%7Cen-US&proxycl=https%3A%2F%2Fsecure.astm.org&fromLogin=true>. [Kasutatud 03 mai 2024].

- [50] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus MTÜ, „EVS-EN 1427:2015, Bituumen ja bituumensideained. Pehmenemistäpi määramine. Kuuli-rõnga meetod,“ 2015.
- [51] ASTM, „Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus),“ 2010. [Võrgumaterjal]. Available: <https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CD0036-06%7Cen-US&proxycl=https%3A%2F%2Fsecure.astm.org&fromLogin=true>. [Kasutatud 04 mai 2024].
- [52] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus MTÜ, „EVS-EN 13589:2018, Bitumen and bituminous binders - Determination of the tensile properties of modified bitumen by the force. Ductility method,“ 2018.
- [53] ASTM, „Standard Test Method for Ductility of Asphalt Materials,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CD0113-17%7Cen-US&proxycl=https%3A%2F%2Fsecure.astm.org&fromLogin=true>. [Kasutatud 04 mai 2024].
- [54] COLAS Slovakia, „ROADS – CONSTRUCTION, Colclair,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.colas-sk.sk/en/construction-materials-and-products/asphalt-mixes/colclair>. [Kasutatud 18 aprill 2024].
- [55] Tartu Postimees, „Ristmik avatud, aga foore polegi – kõik on plaani järgi,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://tartu.postimees.ee/7883768/ristmik-avatud-aga-foore-polegi-koik-on-plaani-jargi>. [Kasutatud 29 märts 2024].
- [56] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus MTÜ, „EVS-EN 12697-30: 2018. Asfaltsegud. Katsemeetodid. Osa 30: Proovikehade valmistamine lööktihendajaga,“ 2019.
- [57] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus MTÜ, „EVS-EN 12697-35:2016. Bituminous mixtures - Test methods - Part 35: Laboratory mixing,“ 2016.