



**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL**  
INSENERITEADUSKOND  
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**LAHENDUSTE VÄLJATÖÖTAMINE  
SILLUTISKATETE PROJEKTEERIMISEKS**

**DEVELOPING SOLUTIONS FOR SLAB PAVEMENTS  
DESIGN**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Egle Rebane  
Üliõpilaskood: 211660EAXM  
Juhendaja: Ain Kendra  
Kaasjuhendaja: Riho Eichfuss

Tallinn 05.2023

# AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

"....." mai 2023.a.

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." mai 2023.a.

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." mai 2023.a

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Egle Rebane (sünnikuupäev: 15.02.1995.a)

Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„LAHENDUSTE VÄLJATÖÖTAMINE SILLUTISKATETE PROJEKTEERIMISEKS“,

mille juhendaja on Ain Kendra ja kaasjuhendaja Riho Eichfuss,

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.

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

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

---

“.....” mai 2023.a.

---

<sup>1</sup> 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

## Ehituse ja arhitektuuri instituut

# LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Egle Rebane, 211660EAXM

Õppekava, peeriala: EAXM15/18 – Hooned ja rajatised (peeriala: teede- ja sillaehitus)

Juhendaja: Ain Kendra, lektor

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) LAHENDUSTE VÄLJATÖÖTAMINE SILLUTISKATETE PROJEKTEERIMISEKS

(inglise keeles) DEVELOPING SOLUTIONS FOR SLAB PAVEMENTS DESIGN

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Sillutiskatendi probleemide kaardistamine;
2. Sillutiskatte materjalide tutvustus;
3. Eesti juhendmaterjali ja teiste riikide juhendite läbitöötamine ja tutvustus, mis on antud juhendites oluline;
4. Lahenduste pakkumine kindlate konstruktsiooni kihtidena.

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Materjali kogumine	02.03.2023
2.	Kirjaliku osa koostamine	15.05.2023
3.	Vormistamine	18.05.2023

**Töö keel:** EESTI

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....." mai 2023 a.

**Üliõpilane:** Egle Rebane ..... "....." mai 2023.a.  
/allkiri/

**Juhendaja:** Ain Kendra ..... "....." mai 2023.a.  
/allkiri/

**Kaasjuhendaja:** Riho Eichfuss ..... "....." mai 2023.a.  
/allkiri/

**Programmijuht:** Mihkel Kask ..... "....." mai 2023.a.  
/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

EESSÕNA .....	7
SISSEJUHATUS .....	8
1. SILLUTISKIVIKATEND .....	10
1.1 Sillutiskatendid Eestis .....	11
2. PROBLEEMIDE KAARDISTAMINE .....	13
2.1 Tellija .....	13
2.2 Projekteerija .....	14
2.3 Ehitaja .....	14
2.4 Omanikujärelevalve .....	15
2.5 Sillutiskatendite defektid .....	15
3. MATERJALID .....	18
3.1 Looduskivist sillutis .....	18
3.1.1 Täringukivi .....	18
3.1.2 Parkettkivi ehk klompkivi .....	19
3.1.3 Munakivi .....	20
3.2 Keraamiline sillutis .....	22
3.2.1 Klinkerkivi .....	22
3.3 Betoonest kivisillutis .....	23
3.4 Muud sillutiskivid .....	24
3.4.1 Murukivi .....	24
3.4.2 Taktiline kivi .....	24
3.5 Sängituskiht .....	25
3.6 Vuuk ja vuugitäide .....	27
3.7 Deformatsioonivuuk .....	28
3.7.1 Deformatsioonivuuk kergliiklusalale .....	29
3.7.2 Deformatsioonivuuk raskeliiklusega alale .....	31
3.8 Sillutiskivi mustri valik .....	34
4. JUHENDID .....	38
4.1 Tallinna tüüpkatendikonstruktsioonid .....	38
4.2 MKM määrus 101 .....	42
4.3 Soome InfraRYL .....	43
4.3.1 Betoonkivi .....	43

4.3.2	Betoonplaat .....	43
4.3.3	Looduskiviplaad.....	44
4.3.4	Täringukivi.....	45
4.3.5	Parkettkivi ehk klompkivi .....	45
4.3.6	Munakivi .....	45
4.3.7	Ebaregulaarse kujuga kiviplaad .....	45
4.3.8	Soome teekonstruktsioonide projekteerimine .....	46
4.4	Saksa juhendmaterjalid .....	46
4.5	Taani juhend.....	51
4.6	Järeldused.....	54
5.	ETTEPANEKUD .....	56
5.1	Pargiteed/ jalgteed.....	56
5.2	Väljakud ja platsid .....	57
5.3	Õuealad .....	58
5.4	Vanalinna tänavad.....	59
5.5	Ühistranspordialad .....	60
5.6	Olulised punktid, mida võiks projekteerimisel arvesse võtta .....	61
	KOKKUVÕTE .....	63
	SUMMARY .....	65
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	67

## **EESSÕNA**

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on koostada peamiselt projekteerijatele, kuid ka arhitektidele sillutiskatendi konstruktsioonide lahendused ehk sillutiskatendite katalooglahendused.

Lähtematerjalideks olid nii Eestis kehtivad juhendid, määrused ja nõuded kui ka teiste riikide dokumendid. Töös on kasutatud Taani, Saksa ja Soome juhendmaterjale.

Magistritöö valmimisel abistasid nõuannetega juhendajad ettevõttest T-Konsult OÜ Ain Kendra ja Riho Eichfuss.

## SISSEJUHATUS

Sillutiskivi on tänuväärt materjal, mida leidub eri värvides, kujus ja suurustes. Sillutiskivi kasutatakse kõnniteede, ohutussaarte ning linnatänavate ja- väljakute projekteerimisel. Oma heade omaduste poolest on kivilillutus meie kliimas hea valik. Ta kannab hästi koormust, on ilmastikukindel ja vastupidav ning võib kesta aastakümneid. Kivilillutisel on oma ajalooline ja kultuuriline väärtus ning arhitektuuri poolt vaadates saab seda kasutada disainielemendina ja miljöõ taastamisel, sest valida on mitmete kivitüüpide vahel. Kokku saab panna eri värvide, suuruste ja kujudega kive ning seada erinevaid mustreid.

Tee katteks kasutatav sillutus võib olla looduskivist, betoonist või põletatud savist, mida tuntakse ka klinkerkivina.

Sillutiskatendi peamised kasutuskohad on erinevad alad, kus liiklus on jagatud sõidukite ja jalakäijate vahel, näiteks sõiduautoparklates, kergliikluse aladel, ohutussaartel, ühiskasutatavatel aladel, linnatänavatel ja -väljakutel, parkides ning eraldusriba-aladel. Sillutiskatendi projekteerimisel tuleb arvestada erinevate näitajatega, nagu koormused, külmakindlus, vuugid ja ka kivide enda kvaliteedinäitajad. Projekteerimise käigus tuleb leida optimaalne lahendus, mis sobiks konkreetsele kasutuskohale ning tagaks kõikidele nõuetele vastavuse. Samuti tuleb arvestada kivide paigaldamise ja hooldamise võimalustega ning tagada katendi vastupidavus ja pikaajalisus.

Laias laastus saab käesoleva lõputöö põhiosa jaotada kolmeks osaks. Töö esimeses osas on kirjeldatud ja kaardistatud probleemseid kohti. Välja on toodud osapooled, kes selle eest vastutavad.

Töö teiseks osaks on läbi töötada erinevad juhendmaterjalid. Selleks on kasutatud nii Eesti juhendeid, nõudeid, määruseid, dokumente kui ka teiste maade juhendmaterjale nagu näiteks Saksa, Taani ja Soome omasid. Teise osa töö eesmärgiks on analüüsida erinevaid juhendmaterjale ja tuua välja nende tehnoloogilised lahendused, mida projekteerija saaks oma töös kasutada.

Töö kolmanda osa eesmärgiks on anda reaalsed lahendused projekteerijale ja arhitektile enamlevinud olukordadeks. See tähendab, et projekteerija ja arhitekt saavad kasutada erinevate sillutiskatendide kasutusala jaoks vastavat konkreetset tüüpsset ehk kataloogilahendust, kus on vastavalt lähteandmete järgi ette antud konkreetset kihipaksused ja nõuded materjalidele.



Magistritöö eesmärkideks on:

- Sillutiskatendi probleemide kaardistamine;
- Sillutiskatte materjalide tutvustus;
- Eesti juhendmaterjali ja välisriikide juhendite läbitöötamine ja tutvustus, mis on antud juhendites oluline;
- Tüüpsete lahenduste esitamine.

Töö koostamisel on kasutatud teadusartikleid, fotosid, jooniseid, juhendmaterjale ja muid dokumente, sh. T-Konsult OÜ viimase kolme aasta jooksul tehtud töid.

Töö sisaldab peale teoreetilise osa ka fotosid, et anda edasi visuaalsemat käsitlust antud teemast.

# 1. SILLUTISKIVIKATEND

Sillutiskivikate on teekatte tüüp, mis koosneb väikestest individuaalsetest kividest, mida paigaldatakse teekatte loomiseks. Need kivid võivad olla erineva kuju, suuruse ja materjaliga. Sillutiskivikate erineb teistest teekatetest oma materjali, struktuuri, disaini, paigaldusprotsessi ja vastupidavuse poolest.

Sillutiskatte rajamiseks võib kasutada erinevaid materjale – korrapärase (murtud või saetud) kujuga looduskive, standardse vormiga toodetud betoon- või klinkerkive, looduskivist või betoonist plaate või ka vabakujulisi looduskive. Teiseks oluliseks faktoriks on süngituskivi ja vuugitäite materjali valik.

Sillutiskivikatendid sobivad erinevatesse liikluspiirkondadesse ja liikluskoormustele. Enam levinumad kasutuskohad on parklad, pargiteed, ühistranspordialad, tänavad ja väljakud. Samas ei tohiks sillutiskive kasutada teedel, kus sõidukiirused ületavad 60km/h, kuna sillutise suhtelise ebatasasuse ja vuukide tõttu on sõidumugavus piiratud.

Sillutiskivi eelised:

- Sillutiskivikatted on tundud oma vastupidavuse poolest ning suudavad taluda rasket liiklust;
- Sillutiskivikatend pakub suurt disainivabadust, võimaldades erinevate kivimustrite, värvide ja tekstuuride kasutamist;
- Sillutiskivikatend on lihtsasti hooldatav, kuna üksikute kivide asendamine võimaldab hõlpsat remonti kahjustuste korral ning juurdepääsu maa-alustele kommunikatsioonidele;

Sillutiskivi puudused:

- Sillutiskivikatendi paigaldamine võib olla kulukam võrreldes teiste katte tüüpidega, sealhulgas materjali ja paigaldustööde maksumuse tõttu;
- Sillutiskate võib olla ebamugav sõita või kõndida, eriti ratturitele, ratastoolidele või muudele liikumispiirangutega inimestele;
- Sillutiskivikatend võib tekitada rohkem müra ja vibratsiooni võrreldes siledamate katetega, eriti intensiivse liikluse korral;
- Sillutiskivikatted võivad olla libedamad märja või jäise ilmaga, mis suurendab libisemisohtu ja võib vajada täiendavaid meetmeid libeduse vältimiseks.

Sillutiskivikatte paigaldamine nõuab hoolikat ettevalmistustööd, sealhulgas aluspinna tasandamist, vajalike aluskihtide loomist ja kivide paigaldamist kindlasse mustrisse. Korralikult paigaldatud sillutiskivikate on tugev, vastupidav ja võimeline taluma sõidukite liiklust ning tagama ohutu ja mugava sõidukogemuse.

## 1.1 Sillutiskatendid Eestis

Sillutiskatet on ajalooliselt kasutatud Eesti juba pikalt. Sillutamine oli tihedama liikluskoormusega tänavatel läbipääsetavuse tagamiseks hädavajalik. Kivisillutist kasutatakse nii uute alade ehitamisel kui ka ajaloolise miljöö taastamisel. Kuigi asfaldi kõrval kasutatakse kivisillutist vähe, võibki siiski öelda, et sellise katte rajamine Eestis on pigem hoogustunud.

Peamised sillutiskivikatendi kasutusala on järgmised:

- Pargiteed;
- Väljakud;
- Elutänavad;
- Vanalinna läbivad teed;
- Ühistranspordialad;

Sillutiskatendi projekteerimisel tuleb arvesse võtta, milliste koormuste jaoks on ala ettenähtud, seega kivi ja konstruktsiooni valikul tuleb lähtuda kavandatud koormustest.

Katendite projekteerimisel võiks eristada kolme meetodit:

- Kataloogikatend, katendikataloog – seni nimetatud ka tüüpkatendiks, kus kataloogi koostaja on teostanud kõik arvutused ning projekteerija valib kataloogist teatud eeldustele (koormus, aluspinnased) vastava variandi. Aluspinnase liigituse määrab geoloog või projekteerija ning pinnaste omadused valitakse pinnaseniimetuse järgi.
- Tüüpkatend – seni enamlevinud meetod, kus projekteerija valib konstruktsiooni (standardised materjalid ja nende omadused vastavas juhendis) ja kihipaksused ning teostab vajalikud kontrollarvutused, et veenduda valitud konstruktsiooni toimivuses. Aluspinnase liigituse määrab geoloog või projekteerija ning pinnaste omadused valitakse pinnaseniimetuse järgi.
- Erilahendused – arvutustes kasutatavad parameetrid on mõõdetud otseselt looduses või laboris. Reeglina kasutusel vaid erijuhtumil.

Projekteerijatel on aluseks erinevad määrused, standardid ja muud juhendmaterjalid, millest projekti koostamisel lähtutakse. Enamasti kasutatakse juhendina Tallinna tüüpkatendite kataloogi, kuigi see ei kata väga suurt osa kivisillutise teemast, lähtub ainult Tallinna näitajatest ja viitab Soome juhendile, siis paremat varianti projekteerijatel seni ei ole.

Sillutiskividele ja plaatidele esitatavad nõuded on kirjeldatud järgmistes standardites:

- EVS EN 1342 – looduskivist sillutiskivid;
- EVS EN 1342 – looduskivist sillutisplaadid;
- EVS EN 1338 – betoonist sillutiskivid;
- EVS EN 1349 – betoonist sillutisplaadid.

Paraku sätestavad standardid, vaid parameetrite esituse ja mõõteviisid, esitamata konkreetseid seoseid, millises olukorras, millistele parameetritele vastavaid materjale kasutada.

## **2. PROBLEEMIDE KAARDISTAMINE**

Sillutiskatete ehitamisega kaasneb hulga riske, mida tuleks hoolikalt arvesse võtta. Üks olulisemaid riske on ehitusprojekti koostamisel tehtud vead, mis võivad põhjustada tõsisemaid probleeme kogu ehitusprotsessi käigus. Lisaks võib probleeme tekitada ka puudulikult sätestatud nõuded ja neile mittevastav ehitamine, sealhulgas materjalide ja kvaliteedinõuete mittejärgimine. Sellised probleemid võivad omakorda kaasa tuua ehitusvigade avastamata jäämise ning seeläbi suurendada tulevaste hooldus- ja remondikulude riski. Seetõttu on äärmiselt oluline tagada ehitusprojekti asjatundlik koostamine ning nõuetele vastav ehitusprotsess.

Sillutiskivikatendi projekteerimisel esinevatest probleemidest võib eraldi välja tuua juhendamaterjali puudulikust, mis võib teha kvaliteetse projekti koostamise keeruliseks.

Murekohaks saab tuua ka teisi projekti osapooli, kes ei tee oma tööd korrektselt ja kes peaksid selgusele jõudma, millises osas on kvaliteet seotud nende tegevusega või teisel juhul tegevusetusega. Ettenähtud standarditest võidakse lihtsalt mööda vaadata ja üleüldine kontroll puudub.

### **2.1 Tellija**

Tellija peaks looma ja olema eeskuju ka teistele tellijatele. Tema eesmärgiks peaks olema optimaalsete lahenduste esitamine ning fookuse suunamine olulisele. Kuid esineb endiselt tellijaid, kes nõuavad sisuliselt ebaolulist, mis illustreerib tellija teadmatusetaset selles valdkonnas.

On ka tellijaid, kes tahavad saada küll häid insenerilahendusi, kuid lisaklausliga, et eelarve oleks võimalikult väike. Tänu sellele võidaksegi kasutada lahendusi, mis pole nii kulukad, kuid tuleb arvestada, et sellisel juhul ei pruugi ka teostus olla kvaliteetne ja sellest tingitud vead tulevad välja, kui ehitaja on oma töö lõpetanud. Tuleb mõista, et odavalt head asja ei saa.

On oluline märkida, et tellija võib liigselt usaldada lepingupartnereid, nende pädevust ja oskusi, kuid see võib tuua kaasa riske, kui partnerite pädevus ei ole piisavalt kontrollitud. Näiteks võib juhtuda, et seni teostatud analoogsete tööde kohta ei ole esitatud piisavalt tagasisidet või ei ole tehtud vajalikke kontrole, mis võimaldaksid hinnata partnerite võimekust ja pädevust. Selline olukord võib omakorda viia nõuete napolisõnaliseks jäämiseni projekteerijale, ehitajale ja omanikujärelevalvele ning nõuete täitmise kontrollimata jäämiseni. Seetõttu on oluline tagada, et partnerite pädevus oleks piisavalt kontrollitud ning nõudeid esitatakse piisavalt detailselt ja kontrollitakse nende täitmist.

Eelkõige tuleks rõhuda analoogsete tööde kogemustele, sest teedehituses on võimalik üsna kitsas spetsialiseerumine. Olukorras, kus juhendmaterjal on puudulik, seonduvad seniste tööde õnnestumised valdavalt tegija kogemustega.

## **2.2 Projekteerija**

Projekteerija töö eesmärgiks on pakkuda tellijale sobivaid ja olusid arvesse võtvaid lahendusi. Pakkuda vajadusel alternatiive ja võtta arvesse tellija soove. Projekteerija peab oma töös lähtuma lähteülesandest ja valdkonda reguleerivatest standarditest. Nii ka sillutiste projekteerimisel. Nii tuleb ka sillutiste projekteerimisel leida piiratud ressursside tingimustes optimaalne lahendus.

Sillutiskatendi projekteerimisel on projekteerijal kõige lihtsam võtta parameetrid ja vajalikud konstruktsioonid eelnevatest samataolistest projektidest. Kopeerida ühest ja lisada teisele. Nii aga ei tohiks teha, sest kasutustingimused või koormused on erinevad. Iga projekti tuleb käsitleda eraldi. Inseneri tööks on välja mõelda insenerilahendused antud tööle, selleks on aga oluline, et projekteerijal oleks inseneri haridus, asjakohane suhtumine ja piisav kogemus. Sellest tulenevalt võib väita, et sillutiskivide defektid, mis võivad ilmnedä tänavapildis, on sageli seotud sillutiskatendi inseneriteaduse mittetundmisega ja oskamatute projekteerimislahendustega. Selliste defektide tekkepõhjuseks võivad olla näiteks ebasobivad tehnilised lahendused, mis puudutavad sillutiskatendi konstruktsiooni muude elementide paigutust või disaini, aga ka liikluskorralduse mittevastavust mistõttu liigeldakse sõidukitega aladel, mis pole selleks kavandatud. Seega on oluline tagada, et sillutiskatete ehitamisel oleks projekteerimisprotsess hoolikalt läbi mõeldud ning kasutatud tehnilised lahendused vastaksid kõikidele nõuetele ja standarditele.

Tihti on aga tellija soovide ja projekti vahel arhitekt, kes juhindub mitmetest kujunduslikest aspektidest ja kel puuduvad teadmised konkreetsete lahendite võimalikkusest ja tehnilistest aspektidest. Kui projekteerimishanke võidab arhitekt, kes on projektijuhina igati omal kohal, on tihti esinenud juhtumeid, kus algselt nõuete järgi meeskonda kaasatud teedeinseneri siiski sisuliselt ei kaasata sest eelarve lihtsalt seda ei võimalda.

## **2.3 Ehitaja**

Projekteerija esitatud projekt edastatakse edasi tellijale ning seejärel lõpuks ehitajale. Ehitaja eesmärgiks on realiseerida projekt vastavuses esitatud nõuetele ja ka omaenda praktilistele kogemustele.

Ehitajale peab olema selge ja arusaadav, mida projekt ette näeb. Ehitamine peab olema projekti järgi loogiline ja probleemivaba.

Üheks murekohaks on ehitaja suutmatuse lugeda juhendmaterjale, sealhulgas konkreetse materjalide tootjate poolt koostatud kasutusjuhiseid. Ehitaja ebakvaliteetse sillutustöö tagajärjeks võivad olla teekatendi deformeerumine ja sadevete uhtumine, mis põhjustab lahtised kivid ja augud sillutises. Näiteks võib olla kasutatud vale kujuga kivi, kivid võisid olla paigaldatud valet pidi või ei olnud need laotud nii tihedalt, et oleksid üksteise vahele korralikult kinni kiilunud. Seetõttu tulevad kivid aja jooksul lahti. [1]

Kui projekteerija pole projektis piisavalt informatsiooni lahenduste kohta andnud, siis tuleks ehitajal ise tutvuda vajaminevate juhendite ja standarditega, mitte loota ainult oma kogemustele.

## **2.4 Omanikujärelevalve**

Tulenevalt Ehitusseadustikust tuleb tee ehitamisel teha omanikujärelevalvet ennetamaks riske ja probleeme ehitusel. Omanikujärelevalve peab tagama kvaliteetse ja korrektse ehitamise objektil ja ehitusprotsessi dokumenteerimise ehitaja poolt.

Paraku esineb olukord, kus omanikujärelevalve on nõrga ja ebaühtlase kvaliteediga. Järelekontrollides selgub, et omanikujärelevalve lepingutes jäetakse kirjutamata näiteks järelevalveinseneri kohalviibimise aeg, materjalide kontrollproovide võtmised ja analüüskorraldused. Puudulik on ka töökoosolekute protokollimine, mille tõttu jääb ebaselgeks otsustatud lahenduste muutmise või lisatööde vajadus.

## **2.5 Sillutiskatendite defektid**

Sillutiskatenditega seotud probleemid võivad varieeruda sõltuvalt erinevatest teguritest. Nendeks võivad olla kasutatavad materjalid, ehitustehnoloogia ja kliimatingimused.

Mõned levinumad sillutiskatendite defektide põhjustest on järgmised:

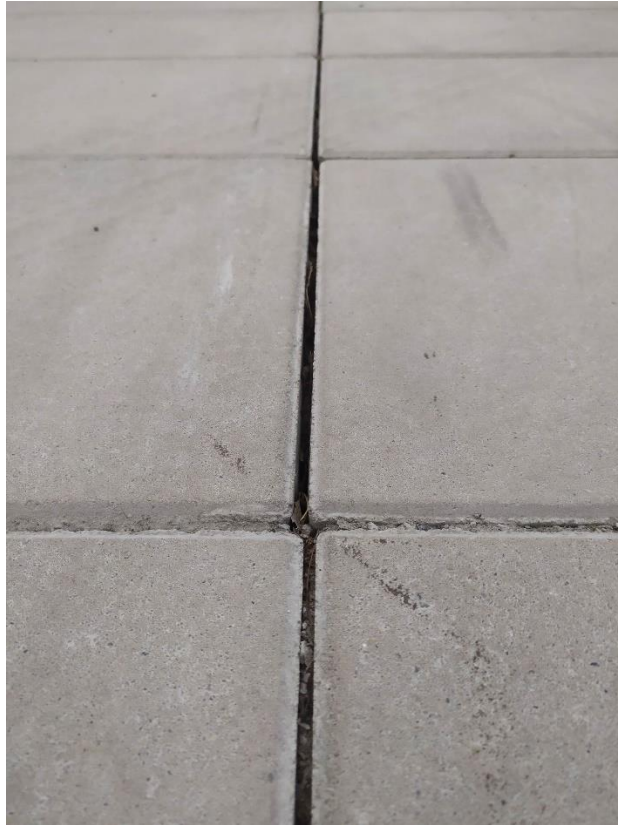
- Temperatuuri kõikumised: kui sillutiskatendi kivid paisuvad ja kokku tõmbuvad temperatuuride muutumisel, võivad tekkida esmalt mörad vuukidesse (jäik vuugisegu) või ka sillutiskivide purunemine kui paisumiseks pole jäetud ruumi. Soojuspaisumise tulemusel võivad tekkida katte kerked [2];



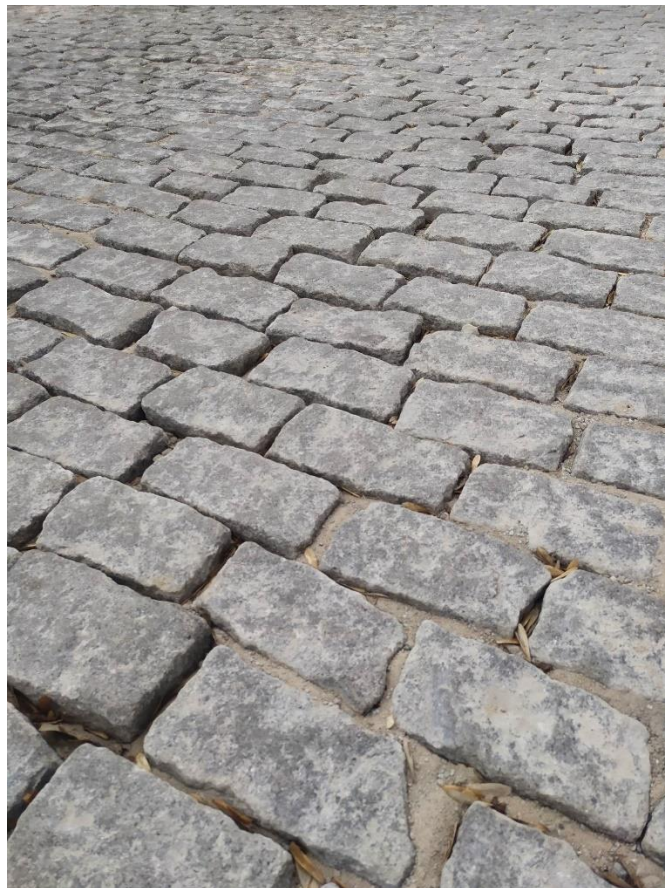
Joonis 2.1 Pilt Riho Eichfuss, Katte ebatasasus soojuspaisumisest tingitult Kuressaare keskväljakul [2]

- Liiklus: Sõidukite liiklussagedus ja -koormus võivad põhjustada vajumeid ning avaldada kividele survet, mis aja jooksul võib tekitada mõrasid. See probleem esineb, kui liikluskoormus on suur või kui tee katend on aladimensioneeritud ning aluse kandevõime on ebapiisav;
- Halvasti ehitatud alus võib põhjustada kivide liikumist ja selle tõttu kivide kahjustusi;
- Sillutises kasutatavate kivide ebakorrekse vuukimise ja ebakorrekse paigalduse tulemusena võivad paigaldatud kivid puruneda;
- Kivisillutiskatendi vananedes võib see muutuda hapraks ja kividel tekivad mõrad ja praod ilma otseselt nähtava põhjusega, kuid siia kuuluvad ka madala külmakindluse tõttu lagunevad kivid või plaadid;
- Sillutiskivi vuugid ei ole täidetud korrekselt ja sademeveed uhuvad vuugitäitematerjali minema. Esiteks võib vesi koguneda sillutiskivide alla ja põhjustada nende vajumist või nihkumist. See võib viia ka asjaoluni, et kõnniteel või sõiduteel on ebameeldivad ja ohtlikud süvendid või triibud. Sama efekti võivad anda ka sipelgad vuugiliiva teisaldamisega.





Joonis 2.2 Erakogu (Egle Rebane), Rakvere Pikk tänav jalg- ja jalgrattatee betoonplaatide vuugivahed



Joonis 2.3 Erakogu (Egle Rebane) Rakvere Pikk tänav sõidutee sillutiskatte vuugivahed

### **3. MATERJALID**

Sillutise materjalideks, mida katendi ehitamisel kasutatakse on looduskivist või betoonist sillutiskivid või -plaadid ja keraamilised sillutiskivid. Need materjalid saavad olla erineva kuju ja mõõtmetega. Peale sillutiskatte materjali on väga oluline osa ka sängituskihil ja vuugitäite materjalil. Sillutise valmistamisel ja paigaldamisel on oluline, et kõik peaksid vastu ettenähtud kasutusaja.

#### **3.1 Looduskivist sillutis**

Looduskivist välissillutise kividele esitatavad nõuded on kirjeldatud standardis EVS-EN 1342 ja plaatidele standardis EVS-EN 1341.

Looduskivist sillutiskivi kutsutakse sillutismaterjalina kasutatavat lõigatud või lõhestatud looduskivi, mille nimilaius ei ületa kahekordset paksust ja pikkus ei ületa kahekordset laiust (minimaalne nimilaius on 40 mm) [3].

Looduskivist välissillutise sillutisplaadiks kutsutakse sillutismaterjalina välissillutises ja teekatetes kasutatavat lõigatud või lõhestatud looduskivi, mille nimilaius ületab kahekordset paksust [4].

Looduskivist sillutiskivid on tavaliselt vastupidavad ja pikaajalised, kuid nende hooldamine ja paigaldamine võib olla keerukam kui teiste materjalide puhul.

##### **3.1.1 Täringukivi**

Täringukivi on looduskivist sillutiskivi. Täringukivi on reeglina kuubikujuline, pealt krobelisem, karestatud ja teistelt külgedelt murtud. Täringukivi kare pealispind on ilmastikuoludele vastupidav, samuti on ta kulumiskindel ja sobib hästi välitingimustesse.



Joonis 3.1 Täringukivi sillutiskate

Täringukivi sillutiskate koosneb tihedalt paigaldatud täringukividest, mis on omavahel ühendatud sobiva vuugitäitega, et luua tugev ja vastupidav teekate.

Täringukivi paigaldatakse tavaliselt liiva või muldniiskesse betooni.

Madalam 5 cm paksune täringukivi sobib kergema liiklusega aladele, nagu kergliiklusteed ja sissesõiduteed. Raskema liiklusega aladel, nagu linnatänav või sõidukiliiklusega väljak, kus on suurem inim- ja sõidukivool, on sobilik valik vähemalt 10 cm paksune kivi. Mõndadel juhtudel on soovitatud ka 14 cm paksune kivi. [5]

Kui sillutis on ühendatud mõne teise kattega, näiteks asfalt, paigaldatakse sillutise serva servaga paralleelne kivirida (jooksev rida, „jooksukivi“) ülemineku korrastamiseks.

Üldiselt sobib täringukiviga teekate igale alale, kus on vaja vastupidavat, tugevat ja esteetiliselt kena katendit.

### **3.1.2 Parkettkivi ehk klompkivi**

Klompkivist sillutiskatend võib olla nii funktsionaalne kui ka esteetiline. Klompkivid võivad olla erineva suuruse ja kujuga, mis annab võimaluse luua erinevaid mustreid ja disainilahendusi. Lisaks on klompkivi vastupidav koormustele ja ilmastikutingimustele ning säilitab oma värvi ja tekstuuri aastaid.

„Parkett“ sillutiskivi võimaldab oma ümara kuju tõttu laduda erinevaid mustreid. Toodete kasutusjuhenditest võib leida soovitusi, et 60 mm kivi kasutada kõnniteede sillutamiseks ning sõiduteede ja mujal raskemates tingimustes 80 mm paksuseid kive. 80 mm paksuse kivide puhul on maksimaalne teljekoormus 10 t [6].

Vanalinnas on valdavalt kasutatud 14 cm paksust klompkivi, mille vertikaalsed servad on tahatud koonusesse ja paigaldusel moodustub võlv, mis toetub tänava äärekividele – sel juhul võivad nõuded aluskihtidele olla leebemad ja ilmselt on see ka põhjus, miks Tallinna vanalinna sillutised on suhteliselt heas seisus. Seda ei saa aga kinnitada väljakute osas, kus puudub võlvi konstruktsioon.

Murtud pinnaga klompkive kasutatakse ka ringteedel, eriti suuremate sõidukite jaoks, mille pöörderaadiused pole kuigivõrd suured. Selleks on võimalik kasutada niinimetatud nihkekindlat klompkivi, mis tagab sõiduki sujuva liikumise üle sillutatud. Otstarbekas on kasutada pikemaid kive, mis paigaldatakse püstisesse asendisse, et tagada sillutise vastupidavus.

Klompkivist sillutuskatendit võib kasutada erinevatel välialadel, nagu sissesõiduteed, jalgrattateed, kõnniteed, parkimisalad ja teised väliterritooriumid. Klompkivi annab neile aladele loomuliku ja maalähedase ilme.



Joonis 3.2 Parkettkivi sillutiskate

### **3.1.3 Munakivi**

Munakivisillutus on maakividest teekatend. Seda on nii looduslikku ja lõhestatud kui ka erinevate mõõtudega klombitult. [1]



Joonis 3.3 Munaakivi sillutiskate

Munaakivisillutise eelisteks saab lugeda väga head kulumis- ja külmakindlust. Hoolikalt paigaldatud munaakivisillutisele pinnase külmumise tõttu deformatsioone peaaegu ei teki. Lisaks dreeneerib ilma tsemendita paigaldatud munaakivisillutis suhteliselt hästi pinnavett ja ei ole märjalt nii libe kui teised kivisillutised. [1]

Teiselt poolt on munaakivisillutise puuduseks selle paratamatu ebatusus ja rajamise töömahukus. [1]

Munaakivisillutise puhul on oluline valida õige materjal. Enamasti paigaldatakse munaakivisillutist tsemendiga stabiliseeritud liivakihi või lausa betoonile. Tsemendiliisandiga liiva kasutatakse ka vuugitäiteks. Sillutis on võimalik sel viisil kiiremini paigaldada, see ei vaja järeltöötamist (seda ei olegi võimalik teha!) ja mõneti kompenseerib tsemendiviletsa kivivaliku. [1]

Tsemenditud sängituskihiga kaasneb siiski mitu probleemi. Teekatend ei dreeneeri enam vett ja seepärast tuleb pöörata sademete ärajuhtimisele rohkem tähelepanu. Kui kivid lahti pöruvad, ei tihene tee iseenesest, nagu on iseloomulik traditsioonilisel viisil rajatud sillutisele – selline teekatend vajab isegi ühe lahtise kivi tõttu mahukat remonti. Vuuke on hiljem peaaegu võimatu parandada ja järeltöötada ilma, et neid peaks sügavamalt lahti raiuma. [1]

Õhuke tsemenditud sängituskiht ja vuugitäited võivad olla külmumisele väga tundlikud, mistõttu tekivad praod ning neist algab tee lagunemine. Lisaks mõjub selline sillutis üldjuhul võltsilt. [1]

## 3.2 Keraamiline sillutis

### 3.2.1 Klinkerkivi

Keraamiliste sillutiskivide nõuded on kirjeldatud standardis EVS-EN 1344. Standardis on keraamiline sillutiskivi määratletud, kui kivi, mis vastab kindlatele kuju- ja mõõtmenõuetele ja mida kasutatakse sillutise pinnakihina ning mis on peamiselt toodetud savist või muudest savimaterjalidest, kas koos lisanditega või ilma nendeta, vormides, kuivatades ja põletades materjali piisavalt kõrgel temperatuuril, et valmistada vastupidav keraamiline toode [7].



Joonis 3.4 Klinkerkivi sillutiskate

Välitingimustes kasutamisel peab keraamiliste sillutuskivide külmakindluse klass olema FP100. Kui keraamilistel sillutuskividel on kokkupuude jäätumisvastaste sooladega, peab külmakindluskatse tegema samasuguste jäätumisvastaste soolade keskkonnas. Külmakindluskatse on kirjeldatud standardis EVS-EN 1344. [8]

Üks kasutatavamaid keraamilisi sillutuskive on klinkerkivid. Savist põletatud klinkersillutuskividest ehitamine on ökoloogiliselt mõistlik: tänu kivi väga väikesele veeimavusele laseb sillutatud pind, milles vuukide osakaal on ainult 10%, vihmaveel pinnasesse imbuda. Nii annavad sillutuskivid olulise panuse ümbritseva pinnase tasakaalustatud niiskusbilansi saavutamiseks ja kanalisatsiooni koormuse vähendamiseks. [9]

Sillutuskivi põletatakse väga kõrgel temperatuuril (u 1100°C). Peaaegu paakumispiirini põletamisel tekib eriti suure tugevuse ja tihedusega materjal, klinkerkivi, mis on väga vastupidav ja talub väga hästi kõrgeid temperatuure ega paisu või tõmbu temperatuuri muutudes kokku. [9]

Klinkersillutuskivid taluvad karme ilmastikumõjusid ja suurt mehaanilist koormust, nende värv on igikestev ning peale selle on need happe-, soola- ja õlikindlad. Neid on eriti lihtne hooldada ja tänu veidi krobelinele pealispinnale on seal mugav ja ohutu kõndida. [9] Kuna nende materjal on kõdunematu, on klinkerkivi kasutusiga praktiliselt lõpmatu.

Eestis on klinkerkivide kasutuses ka negatiivsed kogemused – naastrehvid jätavad kivi pinnale jälje ning kui vuugid kivide vahel on sügavamad ja talihoolduses satuvad vuuki tardkivimaterjali tükid, siis võivad need suveteratuuridel murda kivi servad. Väidetavalt seonduvad siiski need defektid Eesti tehase toodanguga (Wienerberger) ja Saksa tehaste toodang on kvaliteetsem. Kindlasti vajab aga täpsustamist paigaldusjuhhis.

### **3.3 Betoonist kavisillutis**

Betoonist sillutiskividele on nõuded kirjeldatud standardis EVS-EN 1338 ja sillutisplaatidele standardis EVS-EN 1339.

Standardis on kirjeldatud betoonsillutiskivi betoonist valmistootena, mida kasutatakse pinnakattematerjalina ja mis vastab järgmistele tingimustele:

- Mistahes servast 50 mm kaugusel oleva ristlõike horisontaalmõõde ei tohi olla väiksem kui 50 mm;
- Üldpikkuse ja paksuse suhe peab olema väiksem või võrdne neljaga [10].

Betoonsillutisplaat on standardi järgi kirja pandud, kui betoonist valmistoode, mida kasutatakse pinnakattematerjalina ja mis vastab järgmistele tingimustele:

- Üldpikkus ei ületa 1 m;
- Üldpikkuse ja paksuse suhe on suurem kui neli [11].

Betoonsillutiskatted sobivad hästi välitingimustesse, kuna need on vastupidavad ja suudavad taluda erinevaid ilmastikutingimusi. Neid kasutatakse laialdaselt erinevates kohtades, kus on vaja kõva ja vastupidavat katet. Näiteks parklates ja sissesõiduteedel, kus autod regulaarselt liiguvad, võivad betoonsillutiskatted olla väga kasulikud, kuna need suudavad taluda suuri koormuseid. Samuti on betoonsillutiskatted populaarsed kõnniteedel ja muude välialade katmiseks. Betoonkivi saab mitmeid külmutus-sulatustsükleid, sõltuvalt temperatuurist. Kuigi betoon peaks olema homogeenne materjal, näitab elu siiski vastupidist ja betoonist tänavakividel esineb tihti külmakahjustusi.

## **3.4 Muud sillutiskivid**

### **3.4.1 Murukivi**

Murukivi erineb tavalisest tänavakivist oma väljanägemise poolest. See erinevus seisneb eelkõige selles, et murukivi on seest tühi, võimaldades murul selle sees kasvada, võimalik on ka kuju millisel muruvahed jäävad kivide vahele ja see kivide vahe on määratud kivi kujus kasutatud nukkidega. Murukivi võib eelkõige näha parklates, kus oma tugevuse tõttu pole sõidukitel probleemi nende peal parkida.

Murukivi on vett juhtiv. Vett juhib sängituskiht, mitte paesõelmed. Tüüpne lahendus: 80 mm kivi, sängituskihiks (3 cm) jämedateraline liiv või tardkivisõelmed, 20 cm killustikku, geotekstiil aluspinnasel – kui aluspinnased ei ole piisava veejuhtivusega (peenosiste sisaldus mitte üle 7%), tuleb kogu pind profileerida vee äravoolu tagamiseks [12].

### **3.4.2 Taktiiline kivi**

Taktiiline kivi ehk braikivi, tekstuurne mummude või soontega betoonkivi, on mõeldud vaegnägijatele. Selle eesmärk on inimesi suunata ja hoiatada ohu eest. Braikivi kasutatakse kergliiklusaladel ja selle paigaldamine on piiratud autoliiklusega aladel. Mummudega kivi tähistab liiklusolukorra muutust ja paigaldatakse näiteks ülekäiguraja ette, triibukivi näitab liikuja suunda ning paigaldus on eeldatava trajektoori kõrval, näiteks, kergliiklusteelt bussipeatusse suunaval lõigul.

Liiklusaladel, kus on ettenähtud suur koormus, ei pea braikivi vastu. Samuti on oluline märkida, et kergliiklusteedel, kus braikivid on paigaldatud, võib kivi tekstuur kahjustada saada talihoolduse tõttu. Lumekoristus, jää sulatamine ja soolamine võivad mõjutada braikivi seisukorda negatiivselt, põhjustades kulumist ja pragunemist. See võib vähendada braikivi otstarvet ja nõuda hooldust või kivide asendamist. Soome kogemuse järgi ei suudeta tagada betoonist braikivide kulumiskindlust ja seetõttu eelistatakse graniidist kive, millesse on tehases paigaldatud metallist mummud. Lahendus on selgelt kallim, kuid ka vastupidavam.

Teatud pinnatekstuuriga, nagu on selleks ka braikivid, ei kontrollita kulumiskindlust, seega autoliiklusega aladel neid ei kasutata [13].





Joonis 3.5 Pilt Riho Eichfuss, Kuressaare keskväljak taktiilsete kivide kulumine sõidukoormuse all [2]

Braikivide puhul on veel üks oluline aspekt nende värviline eristatus teistest kividest. See on eriti oluline vaegnägijatele, kellel on mingil määral nägemisvõime ja kes suudavad värve eristada. Just seetõttu on oluline, et braikivid eristuksid ka värvi poolest, et tagada nende ohutus (värvaine lisamine betoonile, mida paraku näeb väga harva).

Vaegnägijate jaoks on värvi eristamine oluline navigeerimisel ja ohutuse tagamisel. Kui braikivid ei erine värviliselt ülejäänud pinnakattematerjalidest, võib see tekitada segadust või takistada vaegnägijatel neid ära tunda ja kasutada. Seega on värviline eristamine braikivide puhul oluline ohutusnõue, mis aitab vaegnägijatel hõlpsamini ära tunda spetsiaalselt loodud kivid, mis viitavad ohutsoonidele või juhatavad neid õigesse suunda [14].

Seega on oluline teadlikult kaaluda braikivi paigaldamist, arvestades selle kasutamise sobivust vastavalt liiklusaladele ja oodatavale koormusele. Samuti tuleks võtta arvesse talihoolduse mõju ja teha vajalikke meetmeid kivi kulumise vähendamiseks ning tagada vaegnägijatele ohutu ja tõhus suunaviitamine kergliiklusaladel.

### **3.5 Sängituskiht**

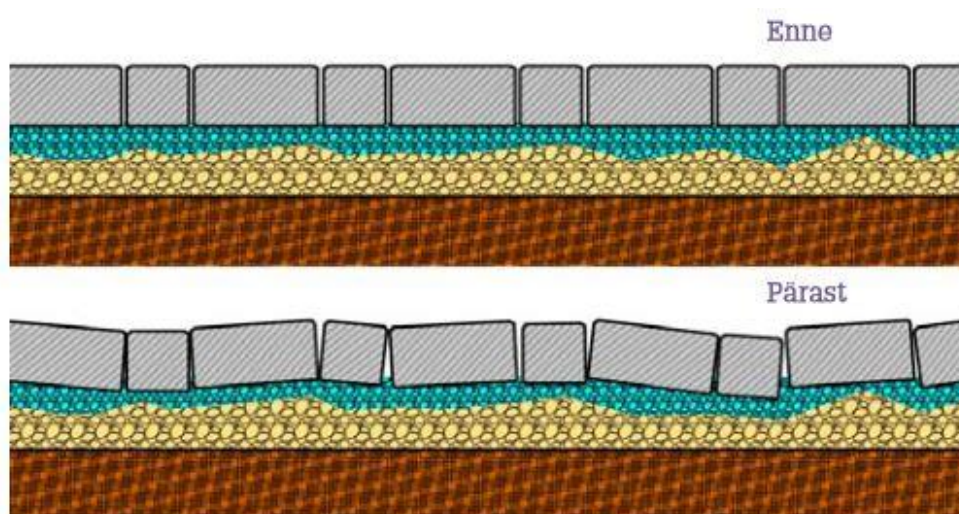
Sängituskiht on oluline osa sillutiskatendi konstruktsioonis, kuna see tagab korraliku ja stabiilse aluse sillutiskivi jaoks. Sängituskihi ülesannete hulka kuulub koormuste vastu võtmine liikluskoormustele, nende juhtimine aluskihtidesse ja sillutiskivide tolerantsidest tingitud ebaühtluste tasandamine.

Sängituskihi materjali valiku puhul tuleb lähtuda valitud sillutiskatte materjalist, vete ärajuhtimisest ja liikluskoormustest. Soovitatav ei ole kasutada paesõelmeid sängituskihiks, kuna selleks sobivad paremini tardkivikillustiku sõelmed ja peenkillustik (mille fraktsioonid jäävad vahemikku 2-8 mm) ilma nullfraktsioonita. Samuti tuleks vältida loodusliku peenema liiva kasutamist sängituskihina ning eelistada jämeliiva ja purustatud kruusa [12]. Võimalik on ka pestud paekiviliiva kasutus sängituskihis, kuigi siin on mõistlik tingimusena piirata peenosiste (<0,063 mm) sisaldust.

Sillutiskatte alla paigaldatav sängituskiht võib olla seotud või sidumata. Seotud sängituskihi materjalideks on muldniiske betoon, tsemendi-liivasegu või sängitusbetoon (arvesse tuleb võtta, et betoonile paigaldatakse sillutiskivid 2 tunni jooksul betooni segamisest, kui toote ehk sängitussegu kasutusjuhendis pole öeldud teisiti). Sidumata sängituskihi materjalid on liiv ja sõelmed. Sängituskihi paksus on reeglina 3-4 cm, mõnel juhul kuni 6 cm.

Tugevdamiseks sillutiskatte alust, saab kasutada lisaks sängituskihi all ka dreenasfalti või korebetooni. Dreenasfaldi või korebetooni peamised kasutamise põhjused on vee äravool ja vastupidavus. Nad võimaldavad vee vabalt läbi materjali imbumist ja äravoolu. See aitab ärajuhtida vihmavee, pinnasevee või muu niiskuse, mis koguneb sillutiskivi katte pealispinnale. Nii saab vältida veekogunemist ja potentsiaalseid probleeme, mis võivad tekkida seisva vee tagajärjel, nagu libedus või katte defektid. Dreenasfalt ja korebetoon on mõlemad tugevad ja vastupidavad materjalid, mida kasutada raskema koormusega sillutiskivialadel.

Ebaühtlase sängituskihi ehitamisel võib olla tagajärjeks ebatasane sillutispind ja katkised vuugid.



Joonis 3.6 Ebatasase sängituskihi tagajärg

Väiksemate liikluskoormuste puhul kasutatakse liiva, sõelmeid ja liiva-tsemendisegu. Raskema liikluskoormusega aladel saab kasutada sängitusbetooni.

### **3.6 Vuuk ja vuugitäide**

Sillutiskivikatendi osadest üheks olulisemaks on vuugid, mis täidavad mitmeid ülesandeid: stabiliseerivad sillutise elemente, jagavad ja hajutavad koormust, kontrollivad vee ärajuhtimist ja aitavad kaasa sillutise esteetilisele kvaliteedile. [15]

Vuugid peavad vastu võtma sõidukite koormust ja sellest tulenevaid nihkeid, ka rehvi surve- ja tõmbejõude, samuti sademe- ja pinnavete mõjusid. [15]

Vuugid ei ole lihtsalt vahed, mida tuleb sillutisel täita. Nad kujutavad endast süsteemi, mis oma omadustega mõjutavad sillutiskatendi käitumist erinevatele mõjutajatele ja omavad tähtsust, millist sillutise kivi, suurust ja paigaldamise tehnikat ning ladumise mustrit valida. [15]

Betoonkividel on spetsiaalsed distantsnukid, mis tagavad ühtlase vuugitäite paksuse naaberkivide vahel paigaldamisel. Klinkerkivil selliseid distantsnukke ei ole, mistõttu on äärmiselt oluline järgida täpset vuugipaksust, et vältida ebaregulaarset ja ebavõrdset paigaldust – võimalik on kasutada spetsiaalseid vuugiriste. Klompkivil ehk parkettkivil on minimaalne vuugilaius null, kuna selle kivisillutise paigaldamisel eeldatakse, et kivisillutis töötab kaarena, mis eeldab kiilutud konstruktsiooni [12].

Vuugitäide jaotub sidumata ja seotud vuugitäiteks. Üldjuhul kantakse sidumata vuugitäide vuuki kuivmeetodil (harjaga) ja seotud vuugitäite materjal, kas kallatakse või lisatakse käsitsi suunates. Seotud vuugisegu kasutamisel on vajalik minimaalne vuugi laius 5 mm, et vuugisegu saaks vuuki valguda.

Vuugisegu valikukriteeriumid:

- Eeldatav liikluskoormus;
- Veeläbilaskvus;
- Sillutiskivi tüüp (betoonkivi, graniitkivi, klinkerkivi);
- Sillutiskatte tüüp (plaat, kivi);
- Esteetiline disain;
- Ehitusmeetod (seotud, sidumata segud);
- Vuugi laius.



Joonis 3.7 Näide liiga suurest vuugivahest

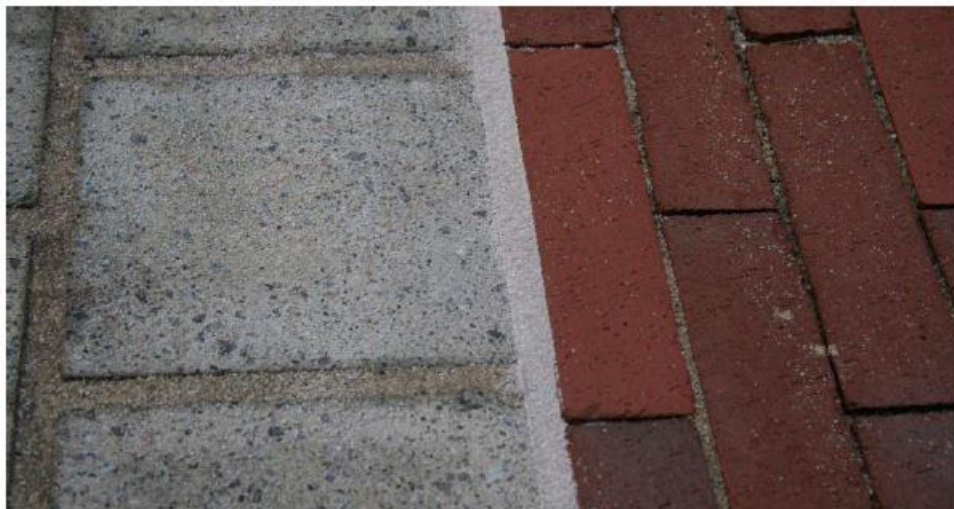
Väikese koormusega aladele, näiteks parklad ja kergliikusteed, sobivad vuugitäite materjaliks sidumata lahendused, nagu täiteliiv ja sõelmed. Sellisel juhul peab vuugitäite liiv olema sorteeritud ja fraksioneeritud (alla 0,63 mm). Täiteliiv ja sillutiskivid peavad vuukide täitmisel olema täielikult kuivad. Liiv hõõrutakse vuukidesse luua või harja abil. Tagamaks vuukide täielikku täitumist, käiakse vibroplaadiga sillutisest üle. Üleliigne vuugitäiteliiv eemaldatakse. [16]

Seotud alusel peab vuugitäide olema samuti seotud materjalist. Seotud lahendused sobivad raskema liikluse jaoks, nagu sõiduteed ja ka alad, kuhu võib sattuda prügiveoautosid või kaubaautosid. Seotud vuugitäite materjale on palju. Võib leida vuugisegusid, mis on drenivad ja ka tihedaid segusid. Suurema sideainesisaldusega segud sobivad sõidukitega liiklusaladele ja polümeer- või väiksema sideainesisaldusega segud reeglina ainult kergliikluse aladele.

### **3.7 Deformatsioonivuuk**

Deformatsioonivuugid rajatakse eesmärgiga, et kompenseerida termilisest paisumisest tekkivaid siirdeid ja kaasnevaid sisepingeid ning seeläbi vähendada kaasnevat pragunemist/purunemist (pragusid võib siiski esineda). Deformatsioonivuugid rajatakse 4 – 7 (kirjanduses kohati ka kuni 8 m) meetrise sammuga. Looduskividest katendite puhul ei tohiks vuukide vahe olla suurem kui 7 meetrit ja betoonkividest katendite puhul 5 meetrit. Oluline valiku kriteerium on katte ehitamise aeg, kuna kevadel või sügisel

ehitatud konstruktsioon paisub suve kuumaga rohkem (võrreldes ehituse aegsete mõõtmetega ehk nõ. algmõõduga) kui suvisel ajal ehitatud konstruktsioon. Samas on suvisel ajal ehitatud konstruktsioonil suurem risk talvel mahukahanemisest tingitud pragude tekkeks, mida on samuti võimalik vähendada väiksema deformatsioonivuukide sammuga.



Joonis 3.8 Deformatsioonivuuk

### **3.7.1 Deformatsioonivuuk kergliiklusalale**

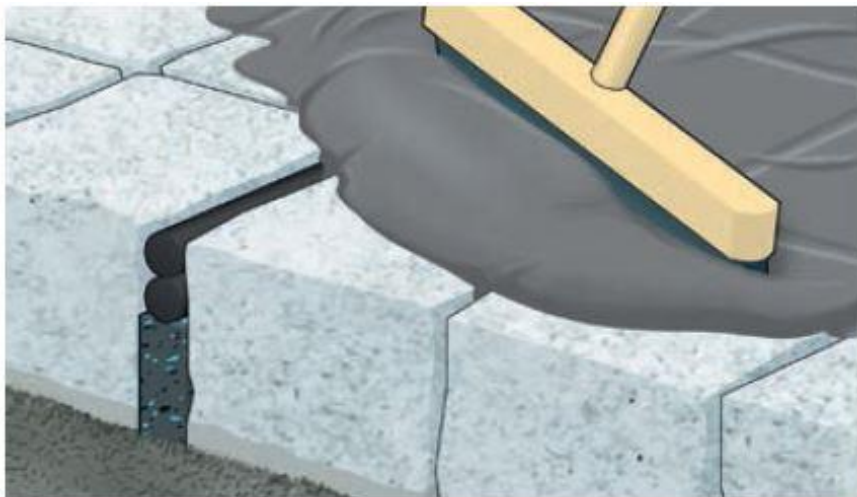
Kergliiklusalas piisab suhteliselt lihtsast vuugilahendusest. Kivide paigaldamisel paigaldatakse konstruktsiooni vuugilint, mis ulatub sidumata aluskihist kuni kõrguseni, mis tagab ülemiste vuugi kihtide mahtumise vuuki kõrguslikult. Näiteks Sakreti tooteseerias lahutatakse pealispinnast 2 vuuginööri paksust ja saadakse vuugilindi kõrgus pealispinna suhtes.

Vuugilint paigaldatakse kogu deformatsioonivuugi ulatuses. Vuugilint paigaldatakse umbes 2/3 kõrgusele sängituskihist [17].



Joonis 3.9 Sakret GmbH juhise väljavõte

Selle peale tuleb kahes kihis vuuginöör, mille järel vuugitakse sillutiskatend vuugibetooniga [17].



Joonis 3.10 Sakret GmbH juhise väljavõte

Peale täielikku vuugibetooni kuivamist eemaldatakse ülemine vuuginöör (vuugibetoon jääb seega vaid tavavuukidesse, mitte paisumisvuuki). Vuuk puhastatakse ja krunditakse vastavate kemikaalidega. Paigaldatakse vuugimastiks [14].



Joonis 3.11 Sakret GmbH juhise väljavõte

Vuugimastiksi eelised [18]:

- Ilmastikukindel;
- Elastne;
- Kasutusiga väga pikk;
- Jää ja jäätumisvastase soola kindel;
- Materjal ei muutu temperatuuri muutumistega pudedaks ega tükiliseks;
- Hallituse kindel.

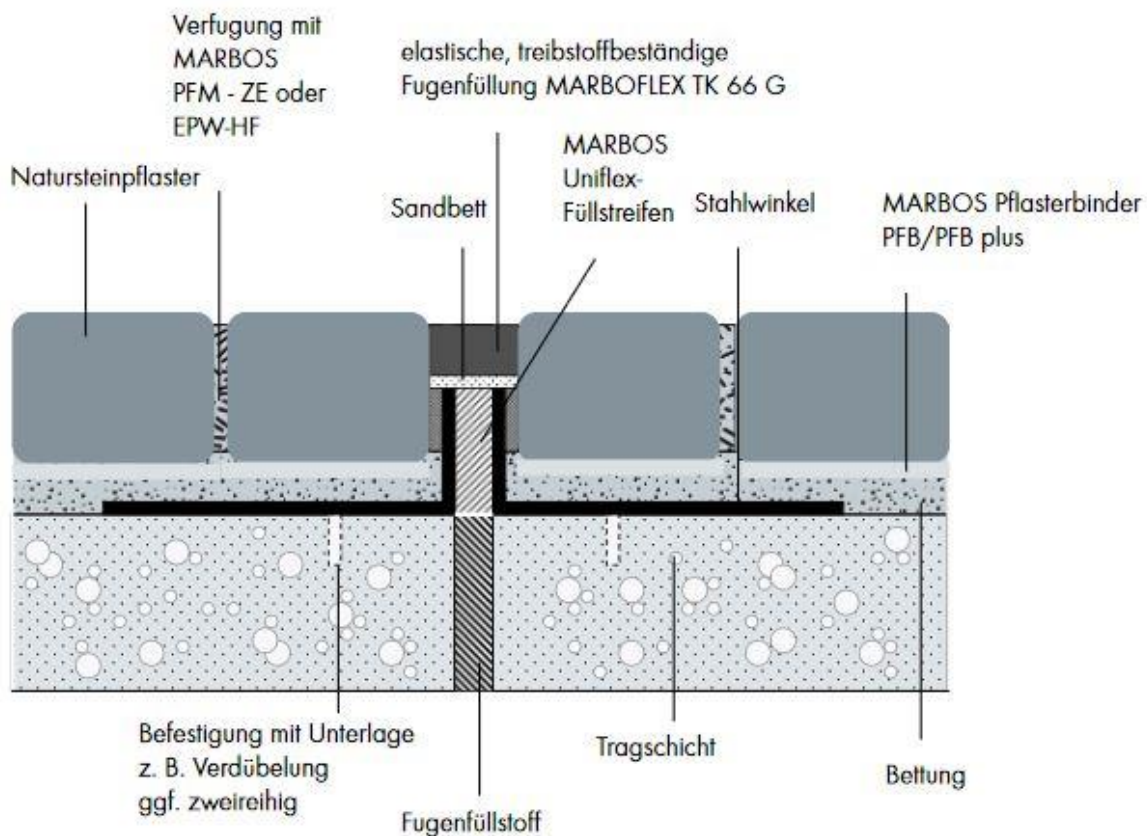
Vuugimastiksi kasutuskohad [18]:

- Erinevatest materjalidest kõnniteede ja plaatkatete eraldamiseks;
- Paisumis- ja liikumisvuugiks;
- Sillutatud aladel asuvate kaevukaante, hüdrantide, valgustuspostide, vundamentide kaitsmiseks;
- Kõnnitee ääre kivide kaitseks;
- Erinevate aluskihtide/vundamentidega alade eraldamiseks.

Korralikult paigaldatud paisumisvuugidid võivad pikendada sillutiskatte eluiga ja vähendada hooldusvajadust.

### **3.7.2 Deformatsioonivuuk raskeliiklusega alale**

Vuugi vinkelraud on spetsiaalne L-kujuline konstruktsioon, mis paigaldatakse sillutiskatte deformatsioonivuukidesse. Vinkelraua eesmärk on hoida deformatsioonivuuk avatuna, et võimaldada sillutiskattel vabalt paisuda ja kokku tõmbuda vastavalt temperatuuri muutustele. Vinkelraua kasutamine raskema liiklusega aladel aitab vältida sillutuskivide pragunemist ja tagab kogu sillutiskatte pikaajalise vastupidavuse.



Joonis 3.12 Joonis saksakeelsest juhendist vinkelraua kohta



Joonis 3.13 Vinkelraud

Deformatsioonivukkide ankurdamine on samuti oluline, et tagada nende tugevus ja stabiilsus ning vältida nende liikumist või ebatasasusi.

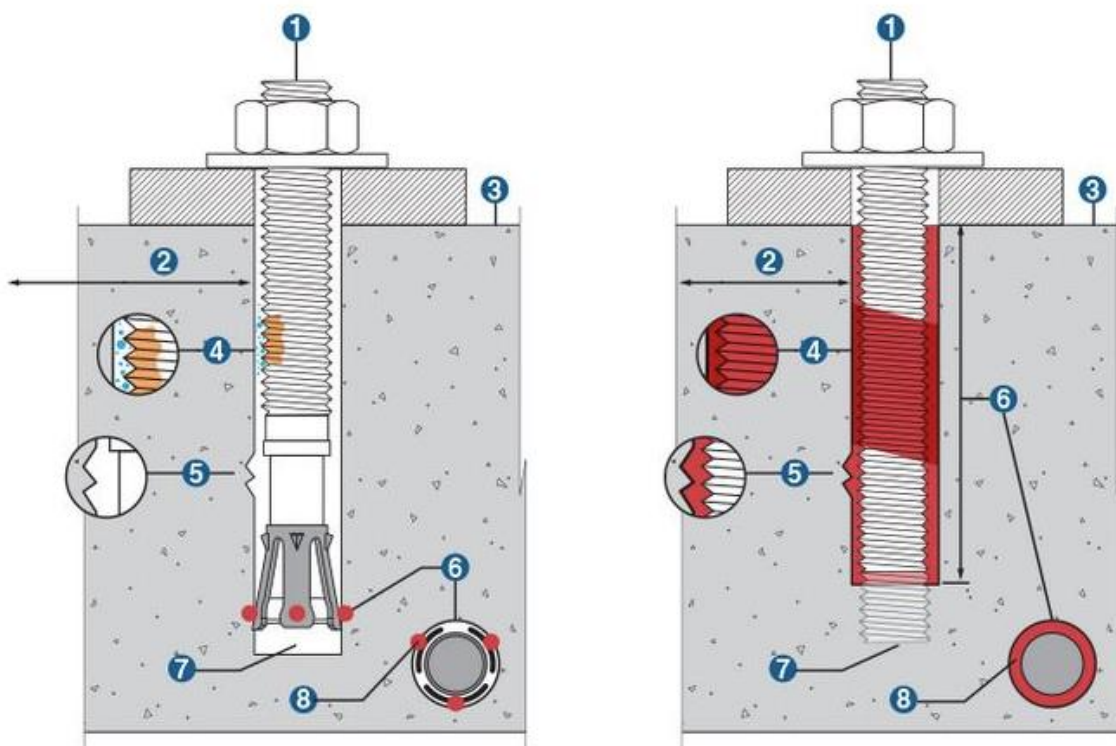
Ankurdamine tähendab tavaliselt vuugiplaadi või vuugilindi kinnitamist katendi aluspinnale või aluskihi peale, et tagada deformatsioonivuuigi fikseerimine ja kinnitamine.



Üks võimalus ankrute paigaldamiseks on kasutada keermestatud vardaid, mis laienevad pingutamisel vastu aluspinnamaterjali. Selle laienemise tulemusel tekib tihendus ankrumahendi ja aluspinnamaterjali vahele, mis aitab tagada, et kinnitusvahend jääb kindlalt paika. Siiski võib sellise ankrute paigaldamise meetodi puuduseks olla piiratud vibratsioonitaluvus [19].

Deformatsioonivuukide ankurdamisel võib kasutada keemilisi ankruid. Keemilised ankurdussüsteemid koosnevad tavaliselt keemilisest ankurmastiksist ja ankurvardast ning neid kasutatakse eelkõige siledatel ja kõvadel betoonpindadel [19].

Keemiliste ankurdussüsteemide eeliseks on nende suurem tugevus ja vastupidavus ning nende paigaldamine nõuab minimaalselt aega, kuna mehaanilisi komponente pole vaja paigaldada. Lisaks on neil suurepärane vibratsioonitaluvus ja neid saab kasutada niisketes ja kõrge temperatuuriga tingimustes [19].



Joonis 3.14 Vasakul keermestatud vardaga ankurdamine ja paremal keemiline ankurdamine [20]

*Keermestatud vardaga ankurdamine [20]*

1. Piiratud parameetriga (diameeter, pikkus);
2. Suurema vahega ääred on vajalikud, et mitte ääri lõhkuda;
3. Pole sobilik pehmema alusmaterjali korral;

4. Sademete/ vee suhtes vastuvõtlik, võib põhjustada korrosiooni;
5. Pole hea ebakorrektselt puuritud aukude korral;
6. Koormus on jaotatud kindlatesse kohtadesse;
7. Õige augu sügavus, läbimõõt ja paigaldamine on väga oluline;
8. Pinge kandub otse aluspinnale.

#### *Keemiline ankurdamine [20]*

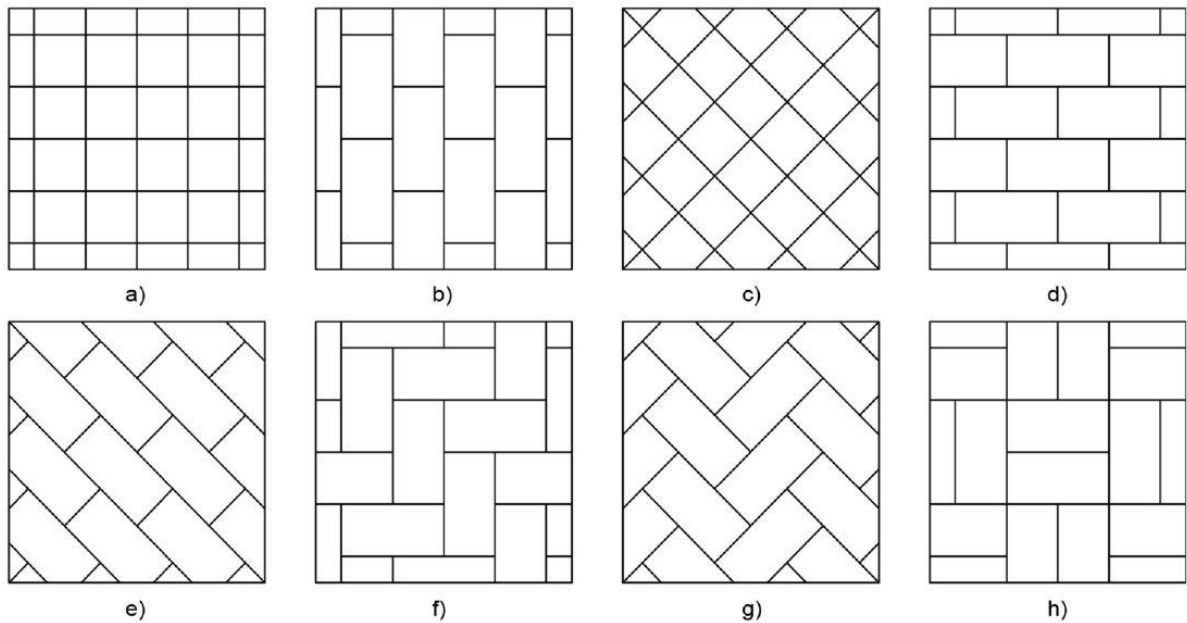
1. Lai valik;
2. Võib paigaldada serva lähedale;
3. Sobib paljudele alusmaterjalidele;
4. Kaitseb ankrut korrodeerumise eest;
5. Keemiline täide võib täita vahesid ja auke;
6. Koormus on rakendatud kinnituse ulatuses;
7. Ankru sügavus on piiramatult;
8. Molekulaarne side tekib pinge ühtlase jaotumise korral.

### **3.8 Sillutiskivi mustrivalik**

Sillutise laotamise mustrivalik tehakse esteelisi väljanägemise seisukohalt, kuid tuleb arvestada, et liikluskoormuse jaotumine sillutisel oleneb suuresti kivide ja plaatide paigaldamisest ja ka mustrivalikust.

Sillutiskivi mustrivalik sobivust on uuritud enamasti, vaid betoonist sillutise puhul. Need uuringud on näidanud, et horisontaalne põimumine on saavutatud vormitud betoonplokkide ja keerukate paigaldusmustrite kasutamisega, mis soodustavad koormuste ülekandumist betoonplokkide vahel.

Tüüpilised kivimustrilahendused betoonsillutise puhul:

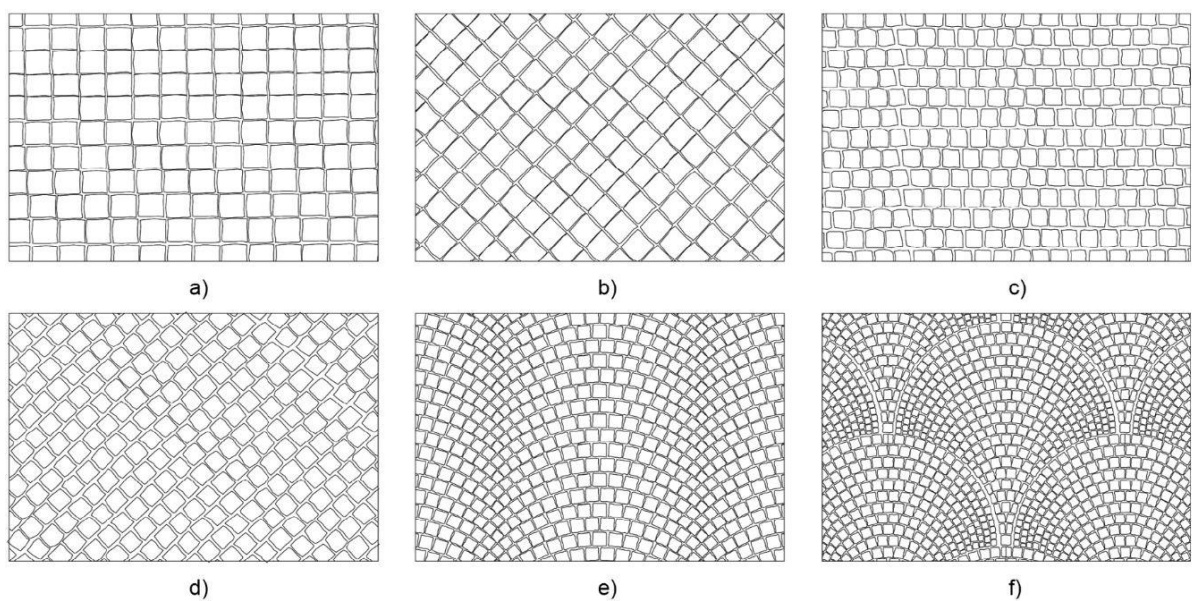


Joonis 3.15 Betoonsillutise muster [21]

Kuna looduskivist sillutise kivi ei ole ühes tükis jooksev teekate, vaid koosneb üksikutest ebakorrapärasest külgpindadega elementidest, mis omavahel interakteeruvad, on projekteerimisel oluliseks parameetriks nende konstruktsiooniline tugevus horisontaalsete pingete suhtes, mis tulenevad peamiselt sõidukite pidurdamisest, pööramisest ja kiirendamisest. [21]

Looduskivist sillutise kohta on vähe teaduslikku materjali. Ühes Itaalias tehtud uuringus uuriti mustrite valikut looduskivide puhul.

Tüüpilised kivimustrilahendused looduskivisillutise puhul:



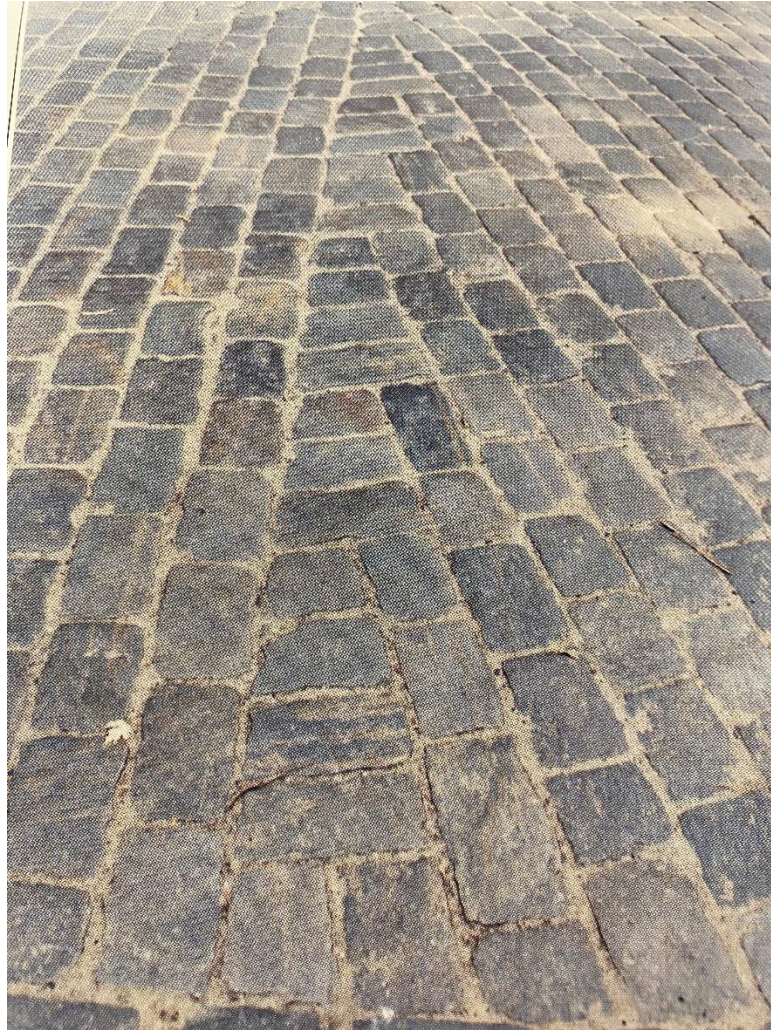
Joonis 3.16 Looduskivi mustri valik [21]

Selle uuringu põhjal tehti järgmised looduskivi sillutise järeldused:

- Kivisillutise käitumist horisontaalpinnas mõjutab oluliselt ladumise mustri õige valik, nii jõudude ülekandumisel kividele kui ka nende kokkusobimisel;
- Kõige suurem horisontaalne jõudude ülekandumine oli ladumismuster A puhul, kui seal puudub tavasõidukite liikluskoormus ja ladumismuster B puhul, kui liikluskoormuse annavad raskesõidukid;
- Kivide omavahelist sobivust uurides selgus, et kivimuster A puhul liigub rida piki koormuse suunda monoliitselt isegi madalate rakendatud koormuste väärtuste korral. Lisaks jaotavad muster A ja muster D suurema koormuse teekatte laiuse ulatuses võrreldes samade mittenuksete paigaldusmustritega [21].

Uuringu kokkuvõtteks saab öelda, et parimad ladumismustrid on need, mille horisontaalne ülekanne on kõige väiksem koos kõige parema kokkusobivusega kivide vahel. Seega on väiksema liiklussagedusega aladel parimaks ladumismustriks muster C ja muster E. Viimane paigaldusmuster peaks olema suunatud nii, et sõidukite liiklus oleks kaare suunas, mitte vastupidi, vastasel juhul võib tekkida suurem horisontaalne jõudude ülekandumine ja osaliselt väiksem kivide vaheline kokkusobivus.

Oluline on ka sillutise suuna muutused, ääred ja mustri üleminekud teisele mustrile. Näiteks juhul, kui on vaja muuta sillutismustrit, ei ole soovitatav kasutada väikeseid purustatud kive, mis võivad kergesti katki minna või isegi konstruktsioonist välja tulla. Selle asemel tuleks eelistada võimalikult suuri kive, mis tagavad konstruktsiooni tugevuse ja vastupidavuse.



Joonis 3.17 Õige ladumismuster suunamuudu korral [22]

Sellest saab järeldada, et oluline on projekteerimisetapis valida ka sobilik kivi paigaldamismuster, et kivilutiskatend püsiks ilma defektideta pikemat aega ja ei laguneks koormuste all liiga kiirelt.

## 4. JUHENDID

Eestis puudub sillutiskatendi projekteerimise jaoks üks hea juhendmaterjal. Olemas on erinevad juhendid, normid ja määrused, mida saab projekteerimisel aluseks võtta, paraku katavad need teemat vaid osaliselt.

Kehtivas Tee projekteerimise normis (MKM määrus 106/89) on reguleeritud, et teede projekteerimisel võib kasutada Eestile lähedastes kliimavöötmetes asuvate Euroopa riikide projekteerimise norme ning muid juhendmaterjale, kui sellega luuakse tingimused ohutuks liiklemiseks. [23] Seda on ka tehtud. Peamiselt on projekteerimisel aluseks võetud Soome, Rootsi, Saksamaa ja Taani analoogilise sisuga materjale. Kavandatavas uues normitekstis selline viide puudub, asemele on pakutud, et normi võib eirata katseliselt, täpsustamata, mida see sisuliselt tähendab.

### 4.1 Tallinna tüüpkatendikonstruktsioonid

Tallinnal on olemas enda tüüpkataloog sillutisega tänavate jaoks, mida kasutavad projekteerijad üldjuhul ka teistes projektides üle Eesti (esimene versioon 2015, teine 2019). Samas tuleb arvesse võtta, et Tallinna juhendi puhul on ennekõige lähtutud Tallinna eripäradest.

Tallinna juhendis käsitletakse ainult parkett- ja munakivisillutistega seonduvat, viidates muudel juhtudel Soome InfraRYL-juhisele. Siit tuleneb ka vajadus tänast juhendit täiendada.

Liiklus- ja koormussageduse arvutamiseks võetakse arvesse konkreetse teelõigu liiklusloenduse tulemusi või heakskiidetud liiklusmudelist tuletatud liiklussagedusi. Projekteerija võib teha liiklusuuringu või kasutada olemasolevat liiklusmudelit, et määrata kindlaks teelõigu liiklussagedus ja koostada 15 aasta prognoos [13].

Tallinna juhendis pole konkreetset sillutiskivi konstruktsiooni välja toodud. On viidatud asfaltbetoon tüüpkonstruktsioonile, mille koormusklass on E5 ja mida tuleb üldjuhul sillutiskivialuse konstruktsioonina kasutada. Sealt tuleb välja, et koormus, millisele sobib sillutiskate on kuni 0,7 miljonit normtelge [13].

Tänavakoormusklassile E5, millele viidatakse, on antud järgnevad kandevõimed:

Tabel 4.1 Tallinna juhendi koormusklassid ja nõudtud kandevõime [13]

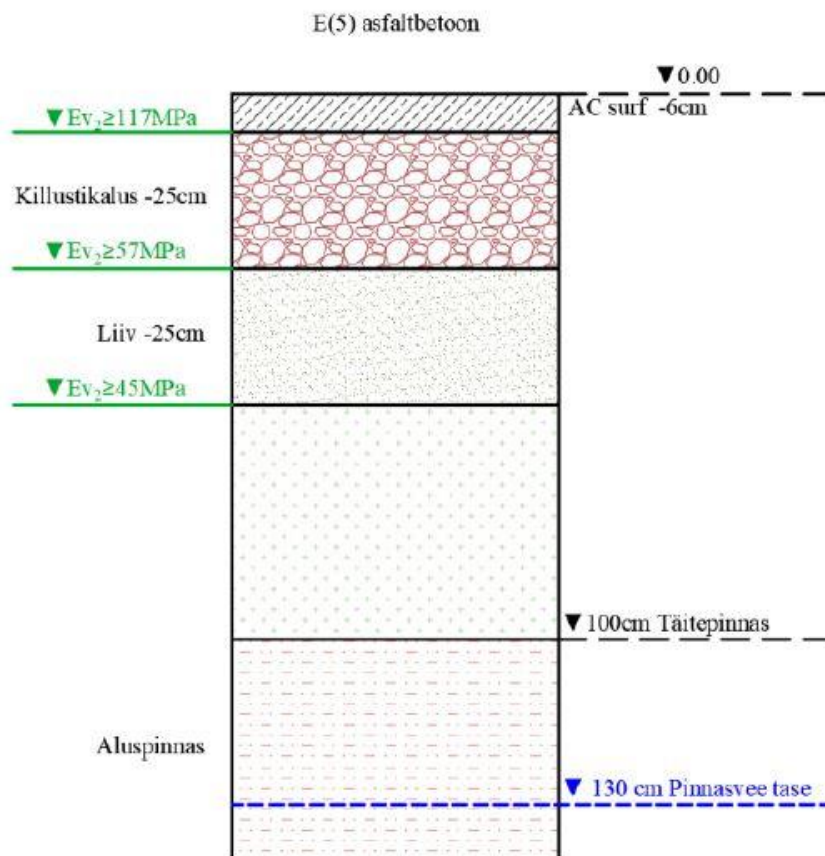
Tänavaga koormusklass	A1	B2	C3	D4	E5	KLT
Liiklussagedus (2+2)	30,000+	10,000-30,000				
Liiklussagedus (1+1)		8000+	2500-8000	500-2500	0-500	
Koormussagedus (35 a) (miljonit telge)	40 ja üle	10-40	2-10	0,7-2	<0,7	
$E_{vaj}$ MPa >	510	420	325	245	165	135
Aluskonstr. $E_{v2}$ MPa >	159 *127	150	130	130	117	103
TS32 aluse all $E_{v2}$ MPa >	127 **93	127				
Liivakiht $E_{v2}$ MPa>	59 ***55	59	59	59	57	55
Teekatendi aktiivsooni ülemise osa all $E_{v2}$ MPa>	45	45	45	45	45	45

\* Killustikalusel tsementbetoonist kattele asfaldist vahekihi all

\*\* Killustikalusel tsementbetoonist kattele stabiliseeritud aluse ülakihi all (tehasesegu)

\*\*\* Liival betoonkatte ja tsementstabiliseeritud aluse korral

Joonis 4.1 Tallinna juhendi koormusklassid ja nõudtud kandevõime [13]



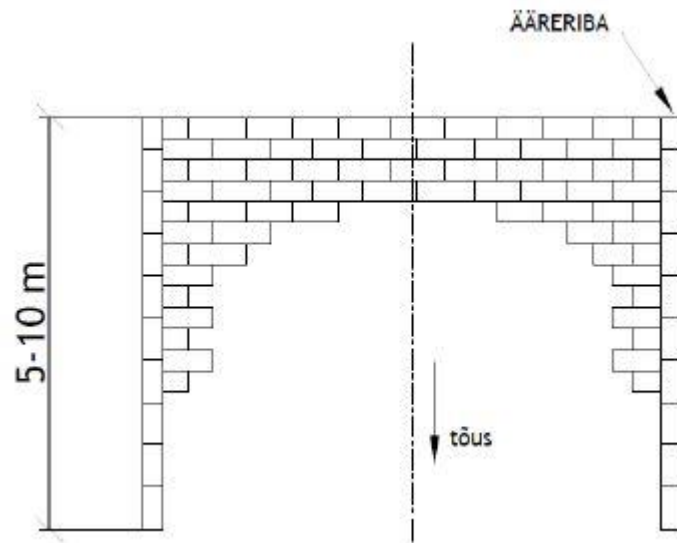
Joonis 4.2 Konstrukioon, mida tuleb kasutada sillutiskatte projekteerimisel alusena [13]

Tallinna juhendis on öeldud, et sillutise ehitamisel asetatakse killustikalusele tsementliivasegust, kuivbetoonist või spetsiaalsest segust sängituskiht. Iga 10 meetri tagant tuleb paigaldada vaiad põikprofiili märkimiseks ning 2–3 meetri tagant tuleb märgistada katte serva ja keskkoha kõrgus. Ladumist alustada äärmiste kiviridade paigaldamisest sillutise serva tõmmatud nööri mööda. Kõrgemad ja suurema pealispinnaga kivid tuleks valida ääreridade jaoks. Kivid, mis on märgatavalt erinevate mõõtmete ja kõrgusena üle 2 cm, ei tohiks olla kõrvuti. Sõidutee ääres tuleks paralleelselt ääre kiviga paigaldada sillutiskivist veerenn, mis peaks olema 1 cm madalam kui ülejäänud sillutis. Ääreritta kõrgemalt laotud kivid peavad kogu pikkuses olema ühel kõrgusel. Kui ääre kivi on paigaldatud 5–10 m kaugusele, tuleks sillutiskivi paigutada keskkoha poole võlvikujuliselt, et tagada õige pöikkalde tõusudel ja langustel [13]. Rõhutame siinjuures, et tegu on spetsiifiliselt klompkividest või munakividest sillutisega.

Sängitusalusesse tuleks paigutada kivid vertikaalselt tehtud pesadesse. Kivid tuleks paigutada pikema küljega põiki tee suhtes ning nende külgnevate servade vahele ei tohiks jääda tühimikke ega vuuke, mis on täidetud sängituskihi seguga. Vuugid ei tohiks kokku langeda rohkem kui kahe kivirea ulatuses. Pärast sillutise paigaldamist tuleks see

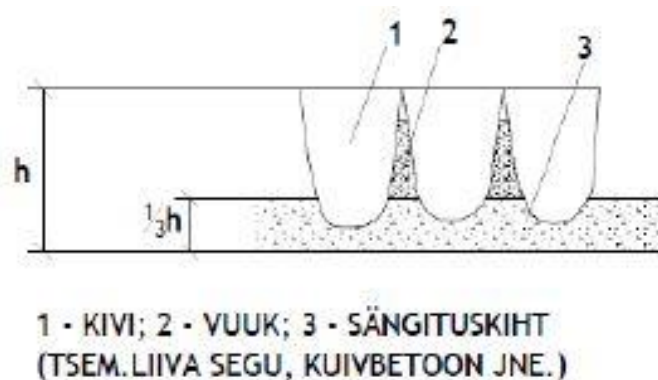


järeltihendada 12 tunni jooksul. Seejärel tuleks kividevahelised tühimikud täita kas pae- ja tardkivimist sõelmete 0–4 mm seguga vahekorras 1 : 4 või spetsiaalse seguga [13].



Joonis 4.3 Tallinna juhendist kivilillutise ladumine [13]

Sängituskihi paksus sõltub kasutatavast materjalist. Sidumata segude korral peaks sängituskihi paksus olema 3-4 cm, muldbetooni kasutamisel peaks see olema 10 cm ning erisegude kasutamisel tuleks järgida segu tootja juhiseid. Sidumata segude puhul on võimalik kasutada ka sidumata (liiva, sõelmete) vuugitäidet, kuid seotud aluspindade puhul peab vuugitäide olema valmistatud seotud materjalist [13].



Joonis 4.4 Tallinna juhendist kivilillutise ehitamine [13]

Tallinna tüüpkatendi juhendist järeldeb, et kaetud on vaid parkett- ja munakivilillutised osa ja muude sillutisega seonduvatel juhtudel tuleb kasutada muid juhendmaterjale (InfraRYL). Välja ei ole toodud konkreetseid lahendusi, mida oleks projekteerijal ja ka arhitektil mugav kasutada teatud sillutisalade puhul.

## 4.2 MKM määrus 101

Järgmine juhend, mida kasutatakse Eestis sillutiskatendite projekteerimisel ja ehitamisel, tuleneb määrusest „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“. Selle määruse raames on kirjeldatud nõudeid, mis peavad olema täidetud, et tagada vastupidav sillutiskatend.

Määrusest leiab sillutisega seotud materjali kokku kolmes paragrahvis.

Välja on toodud materjalid, nagu looduskivi, betoonist sillutiskivid või -plaadid või keraamilised sillutiskivid, mida sillutise ehitamiseks kasutatakse. Sillutiste valmistamine ja paigaldamine peab toimuma nii, et need vastaksid ette nähtud kasutusajale ning kestaksid aja jooksul. [8]

Sõltuvalt konstruktsiooni tüübist laotakse sillutiskivid kas liivast, tsemendiga stabiliseeritud liivast või muust sobivast materjalist sängituskihile. Killustik- või kruusaluse paksus sillutiskatte all peab olema vähemalt 15 cm. [8]

Probleeme on tekitanud määratlematus „muust sobivast materjalist“.

Sillutiskatte suurimad lubatud hälbed projektist on järgmised [8]:

- pöikkalde erinevus  $\pm 1\%$ ;
- tee telje kõrgus  $\pm 50$  mm, asustatud alas või külgneva rajatise või konstruktsiooniga liitumisel  $\pm 20$  mm;
- piki- ja pöikitasasus (ebatasasus 1 meetri pikkuse lati all)  $\leq 5$  mm, klombitud munakivisillutisel  $\leq 15$  mm;
- tehiskivisillutisel ei või kivide omavaheline kõrguste erinevus ületada 2 mm ja klombitud munakivisillutisel 5 mm;
- looduskivist sillutise paigaldamisel betoonist sängituskihile peab vuugi täitekõrgus tsementmördiga täidetult olema vähemalt  $2/3$  sillutiskivi kõrgusest;
- murtud pinnaga sillutiskivide vahelise vuugi laius ei tohi ületada 20 mm;
- lõigatud pinnaga looduskivide vahelise vuugi ja tehskivide vahelise vuugi laius ei tohi ületada 10 mm.

Ülejäänud tekst toob määrusest välja erinevate materjalide jaoks kehtestatud erinevad standardid ja nõuded, mida tuleb järgida. Näiteks ei tohi betoonist sillutuskivide ja -plaatide keskmine massikdu külmakindluse katsel ületada  $0,2 \text{ kg/m}^2$ , keraamilistel

sillutuskividel tuleb järgida külmakindlusklassi FP100 ning looduskivide veeimavus 24 tunni jooksul ei tohi ületada 0,5%.

Määrus sätestab teatud parameetrid, mida tuleb järgida ning sisaldab mõningaid standardeid ja nõudeid, millele on viidatud ja mida tuleb sillutise projekteerimisel aluseks võtta.

## **4.3 Soome InfraRYL**

Eesti juhendmaterjalides võib leida viiteid Soome InfraRYL juhendile, kuna Eesti regulatsioon on puudulik ja kahe riigi kliima on sarnane ning sillutise konstruktsioonid sobiksid hästi kasutamiseks ka Eestis.

Sillutiskatte kasutamisel on üks põhitõde - sillutiskivide kasutusel dimensioneeritakse konstruktsioon analoogselt asfaltkattega, see tähendab, et kivi koos sängituskihiga asendab võrreldava paksusega asfaldi. Detailsemalt on kirjeldatud projekteerimise osa juhendis 38/2018.

Antud peatükis on esitatud olulisemad punktid, mis on seotud sillutiskivi katendiga ja puudutavad projekteerimisetappi.

### **4.3.1 Betoonkivi**

Tagamaks teede vastupidavus ja pikem kasutusiga, kasutatakse teedel ja madala liiklussagedusega aladel betoonkive paksusega vähemalt 80 mm. Kivi paksus 60 mm on lubatud kasutada rampidel ja platvormidel [24].

Vuugi vahe, kui pole öeldud teisiti, on 2-4 mm [24].

Sängitusbetoonina kasutatava tsemendi kogus on vähemalt 250 kg/m<sup>3</sup>. Täitematerjali terasuurus on 0/8 mm [24].

### **4.3.2 Betoonplaat**

Vähemalt 80 mm paksused betoonplaate kasutatakse madala liiklussagedusega teedel, sealhulgas ka kergliiklusaladel [24].

Sängitusbetoonina kasutatava tsemendi kogus on vähemalt 250 kg/m<sup>3</sup>. Täitematerjali terasuurus on 0/8 mm [24].

Vuugi vahe, kui pole öeldud teisiti, on 2-4 mm. Vuugitäiteliiv on maksimaalselt terasuusega 0,5 mm vuugi laiust [24].

Sängituskihiks on liiv või sängitusbetoon [24].

Betoonplaadi paindetugevuse klass U (mitte alla 5 MPa, üksikkatsel 4 MPa) [24].

Eraldi kontrollida plaatide tugevusolukord kui küljepikkus on üle 600 mm [24].

Betoonplaate ei ole soovitatav kasutada aladel, kus liiguvad raskesõidukid (sõiduteed, väljakud) [24].

### 4.3.3 Looduskiviplaat

Vastavalt klassidele, mis on välja toodud InfraRYL juhises, on plaatide vähimad lubatud murdumistugevused järgmised [24]:

Tabel 4.1 Murdumistugevused

Klass	Miinimum murdumistugevus	Kasutusala
0	Puudub	Dekoratiivkasutus
1	0,75 kN	Seotud alusel jalakäijate alal ainult
2	3,5 kN	Jalg- ja kergliiklusteed, pargiteed
3	6,0 kN	Osaline sõiduliiklusala, garaaži sissepääsud
4	9,0 kN	Kergliiklusalad, teenindava liiklusega alad, osalise teenindava sõiduliiklusega
5	14,0 kN	Raskeliiklusega alad
6	25,0 kN	Sõiduteed ja tänavad, bensiinjaamad

Vuugitäite terasuuruseks looduskiviplaatidel on 0/1, 0/2 või 0/4. Vuugitäite märg tsemendi-liiva segu suhe on 1:1 ja vett lisatakse piisavalt, et tagada voolavus [24].

Vuugivahe on  $5 \pm 2$  mm ja murtud kivide puhul 15 mm [24].

Kasutatavad looduskiviplaadid on vähemalt 80 mm paksud [24].

Sängituskihis kasutatakse liiva, sängitusbetooni või tsemendiliivasegu, mille tsemendi sisaldus on 5% [24].

Praktika näitab, et analoogsed tugevusnäitajad tuleks fikseerida ka betoonplaatidele.

#### **4.3.4 Täringukivi**

Täringukivi küljepikkuseks võib olla 50 mm, 90 mm või 140 mm.

Täringukivid, mille küljepikkus on väiksem, kui 90 mm, paigaldatakse sängitusbetooni.

Vuugitäite (liiv) terasuuruseks on öeldud 0/4 mm.

Sängituskihi materjaliks on liiv, asfalt või betoonsegud.

Vuugivahe laius on maksimaalselt 10 mm. Tuleb meeles pidada, et sidumata vuugitäite puhul tuleb kivid kiiluda, et need ei saaks nihkuda [24].

#### **4.3.5 Parkettkivi ehk klompkivi**

Parkettkividel on tavaliselt standardmõõtmed, mis on 140 mm laiust x 140 mm paksust x 200 mm kuni 280 mm kõrgust. Parkettkivi on alt kitsenev [24].

Vuugitäite (liiv) terasuuruseks on öeldud 0/4 mm. Kui vuugitäiteks kasutatakse bituumenmastiksit, on vuuk suurem 10-15 mm.

Sängituskihiks on liiv, sängitusbetoon miinimum 10 cm [24].

#### **4.3.6 Munakivi**

Üheks soovitatavaks kivi suuruseks on 100-150 mm. Lisaks tohib kasutada ka teisi suuruseid, nagu 70-120 mm ja 150-250 mm. Eriti oluline on kasutada kivi suurust 150 mm nendel aladel, mis on ülesõidetavad või kus kasutatakse hooldustehnikat [24].

Sängituskihis kasutatakse liiva või betooni. Sängitusliiva kihi paksus on 50-100 mm. Kui kivid paigaldatakse muldniiskesse betooni, on selle paksuseks 100 mm ± 20 mm [24].

Sängitusbetoonina kasutatava tsemendi kogus on vähemalt 250 kg/m<sup>3</sup>. Täitematerjali terasuurus on 0/8 mm [24].

Sängituseks kasutatav tsemendiliivasegu tsemendi sisaldus peab olema 5% [24].

Vuugiliiva või killustiku terasuurus peab olema 0/6,4 mm [24].

#### **4.3.7 Ebaregulaarse kujuga kiviplaad**

Individaalse kivi kõige väiksem diagonaal on vähemalt 0,20 m väikse liiklusega aladel, muudel juhtudel vähemalt 0,25 m [24].

Sängitusliiva paksus on 50-100 mm.

Sängitusbetoonina kasutatava tsemendi kogus on vähemalt 250 kg/m<sup>3</sup>. Täitematerjali terasuurus on 0/8 mm [24].

Vuugivahe laius sõltub otseselt nii vuugi tüübist kui ka paigaldatava kivi kujust ning seetõttu võib vuugi laius olla vahemikus 20-70 mm. Vuugitäidetes kasutatavate sõelmede suurus on 0/6 [24].

#### **4.3.8 Soome teekonstruktsioonide projekteerimine**

Transpordiameti kodulehel on võimalik leida Teekonstruktsioonide projekteerimise juhend, mis on tõlgitud Soome Transpordiameti vastavast juhendist. Antud juhendis käsitletakse mitmeid teemasid, sealhulgas betoonkivikonstruktsiooni osa.

Betoonkivikonstruktsiooni minimaalne paksus koormusklassis 5,0 ja kõrgemates klassides (üle 3000 AKÖL – dimensioneerimise aluseks on 10-nda kasutusaasta perspektiivne liiklus) on 100 mm. Sellisel juhul asendavad betoonkivi ja 30-40 mm paigaldusliiva kiht kuni 130 mm paksusi kattekihte. Kui nõutav üldpaksus on suurem, siis rajatakse paigaldusliiva alla vähemalt 40 mm paksune ABK kiht (näiteks koormusklassi 5,0 puhul on 140 mm paksust katet asendav betoonkivikonstruktsioon: betoonkivi 100 mm + paigaldusliiv 30 mm ja ABK 40 mm, kokku 170 mm; ABK – kandevkihi asfaltbetoon, Eesti analoogina võib käsitleda AC base).

Koormusklassi 2,0 (kuni 2 miljonit normtelge, ehk üldistatuna, kuni 3000 AKÖL) ja madalamate klasside (kuni 3000 AKÖL) kattekonstruktsioonide puhul on ette nähtud, et betoonkivi paksus peaks olema vähemalt 80 mm ning paigaldusliiva kihi paksus vahemikus 30-40 mm. Sellisel juhul saavad need asendada kattekonstruktsioone, mille maksimaalne paksus ei ületa 100 mm. [25]

### **4.4 Saksa juhendmaterjalid**

RStO 12 („Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen“) on Saksamaal kasutusel olev teede ja sillutuskatete projekteerimisjuhend (kataloog). See sisaldab suuniseid ja nõudeid erinevate teekatendite ja sillutuskatete projekteerimiseks, ehitamiseks ja hooldamiseks. Juhend sisaldab ka koormusklasse ja nendele vastavaid nõudeid, mis on oluline mõõde, mida tuleb projekteerimisel arvestada.

Üheks lisa juhendiks on veel „Planung und Ausführung dauerhafter Betonpflasterbauweisen, Stand 03.13“ tõlgituna „Kestva betoonsillutise kavandamine ja teostamine“, mis viitab palju põhijuhendile RstO 12.

Antud lõputöö peatükis keskendutakse just sillutuskivide teemale, nagu seda kirjeldavad eelnevalt mainitud juhendid.

Saksa kehtivad lahendused põhinevad ennekõige kogemustele, mis on tekkinud pika aja jooksul ja ei tugine arvutustel.

Õige sillutiskivi valik on väga oluline. Kivi kuju ja suurus on olulised aspektid seoses sillutise vastuvõtlikusega koormustele.

Juhendi kohaselt on koormusklassid jaotatud erinevateks kategooriateks vastavalt sõidukite tüübile, mis sõidavad projekteeritava alal. Koormusklassid varieeruvad vahemikus Bk0,3 kuni Bk100 (miljonites normtelgedes) ning neid kasutatakse sillutuskivide, asfaldi ja muude sarnaste materjalide valikul ja projekteerimisel. Koormusklassid määravad, kui suure koormuse teatud sõidukid teedel tekitavad, mille järgi määratakse ka vajalik paksus ja tugevus teekatte ehitamisel [26].

Saksa juhendis kasutatavad koormusklassid [26]:

Tabel 4.2 Koormusklassid

Koormusklass	Normtelgede arv katendi tööea jooksul miljonites telgedes
Bk <sub>100</sub>	>32
Bk <sub>32</sub>	>10 - 32
Bk <sub>10</sub>	>3,2 - 10
Bk <sub>3,2</sub>	>1,8 - 3,2
Bk <sub>1,8</sub>	>1,0 - 1,8
Bk <sub>1,0</sub>	>0,3 - 1,0
Bk <sub>0,3</sub>	≤ 0,3

Suurema liikluskoormusega aladel (koormusklass Bk3.2, võimalik ka Bk1.8) on ette nähtud vähemalt 100 mm paksune kivi, mis võtab vastu intensiivsemat liiklust. Samuti on soovitatav valida muster, mis tagab kivide tugeva omavahelise sidumise ning tagab seeläbi konstruktsiooni vastupidavuse. Selliste alade puhul on eelistatud diagonaal- või kalasaba kivide paigaldus [27].

Keskmise kuni madala liikluskoormusega aladel, mida tähistavad koormusklassid Bk1,0 ja Bk0,3, soovitatakse kasutada kivide nominaalpaksust vähemalt 80 mm. Selleks võib valida peaaegu igat tüüpi kive, kuid tuleks vältida kuubikukujulisi kive, eriti neid, mis on väiksemate mõõtmetega. Samuti tuleks vältida jooksvaid vuuke sõidusuunas või koormussuunas [27].

Tagamaks jalgrattateede, kõnniteede ning sõidukitele keelatud alade vastupidavus on kivide nominaalpaksuseks määratud vähemalt 60 mm. Tagamaks ka visuaalse pildi, võib kasutada erinevaid kivi kujusid. Samas on soovitatav vältida palju vuugivaheid mööda sõidusuunda, et tagada kivikatte tugevus ja vastupidavus [27].

### Saksa lahendused

Tabel 4.3 Saksamaa juhis - sillutiskatte konstruktsioonid tänaval või teel [26]

	Normteljed (miljon)	Bk <sub>3,2</sub>	Bk <sub>3,2</sub>	Bk <sub>3,2</sub>	Bk <sub>3,2</sub>
		>1,8-3,2	>1,0-1,8	>0,3-1,0	≤0,3
1	Sillutiskivi 8-10 cm Sängituskiht 4 cm Killustik 15-25 cm				
2	Sillutiskivi 8-10 cm Sängituskiht 4 cm Kruus 20-30 cm				
3	Sillutiskivi 8-10 cm Sängituskiht 4 cm Killustik või kruus 25-30 cm				
4	Sillutiskivi 8-10 cm Sängituskiht 4 cm Asfalt 10-14 cm				



5	Sillutiskivi 8-10 cm Sängituskiht 4 cm Asfalt 8-10 cm Killustik 15 cm				
6	Sillutiskivi 8-10 cm Sängituskiht 4 cm Asfalt 8-10 cm Kruus 20 cm				
7	Sillutiskivi 8-10 cm Sängituskiht 4 cm Dreenbetoon 15-20 cm				

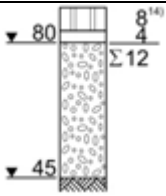
Kandevõime alusel on kuni 3,2 miljoni normtelje puhul 180 MPa, 150 MPa kuni 1,8 ja 1,0 normtelje korral ning kuni 0,3 miljonit telge on 120 MPa. Kandevõime väärtuse all mõistetakse Saksa juhistes plaatkoormuskatse tulemit Ev2.

Saksa sillutiskatte konstruktsioonid jalgratta- ja jalgteel on järgmised:

- Kivi 8 cm (märkusega, võimalik ka väiksem paksus) 3-4 cm sängituskihil ja aluskihi kandevõimega 80 MPa

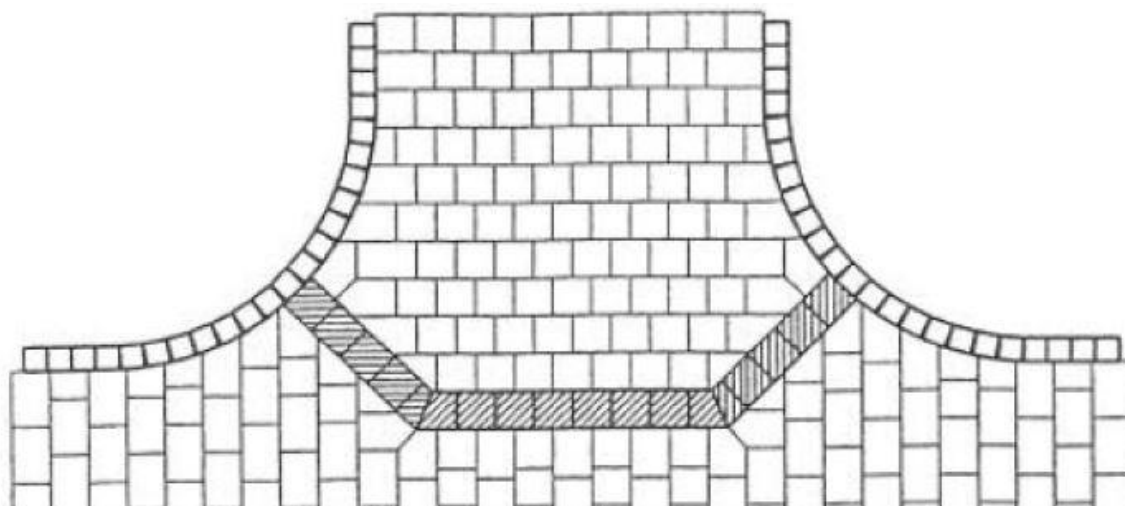
Tabel 4.4 Väljavõtte saksa juhisest - sillutiskatte konstruktsioonid jalgratta- ja jalgteel [26]

		Sillutiskivi
1	Sillutiskivi 8 cm Sängituskiht 3 cm Külmakindlast materjalist kiht	
2	Sillutiskivi 8 cm Sängituskiht 4 cm Killustiku või kruusa aluskiht 15 cm	

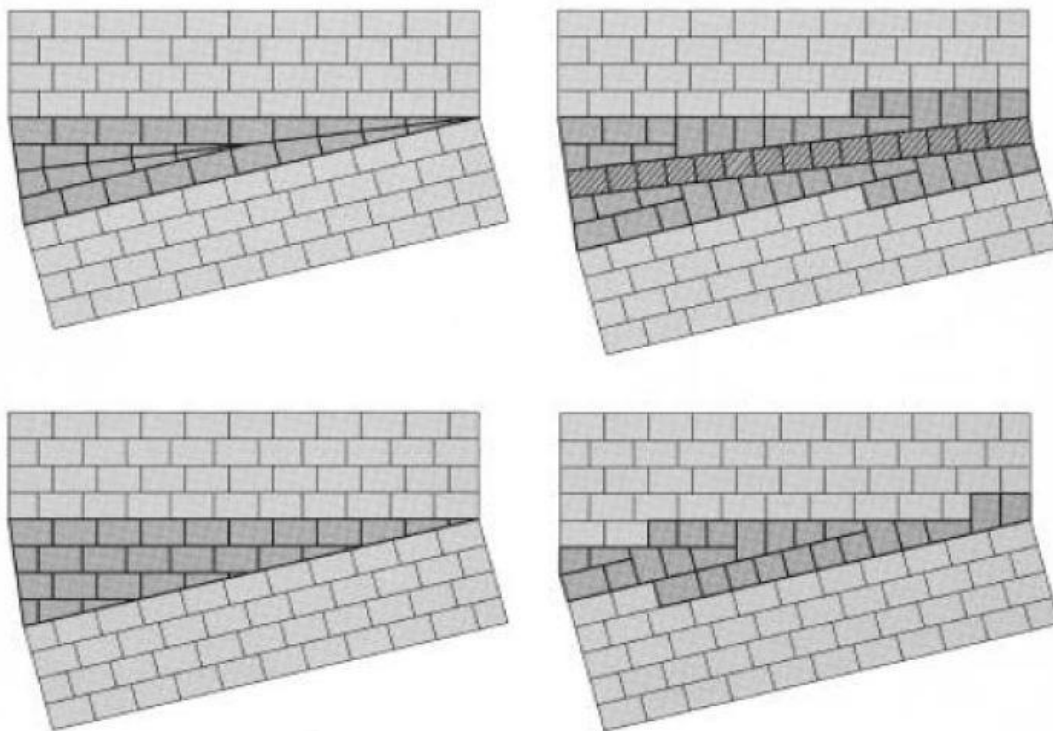
	Külmakindlast materjalist kiht	
3	Sillutiskivi 8 cm Sängituskiht 4 cm Kruus või külakindel aluskiht	

Aluskihtide paksuse erinevused tulenevad materjalist, mida on kasutatud. Need jagunevad kolmeks: killustik, asfalt ja drenbetoon. Aluskihi materjal on soovitatavalt 0/32 või 0/45.

Saksa juhendites on esile tõstetud kivi kuju ja suurus ning samuti paigaldusmustrivaliku olulisus seoses sillutiskivide ja -plaatide käitumisega liikluskoormuse all. Joonisel 4.7 ja 4.8 on väljavõtte Saksa juhendist, kus on näidatud, kuidas peaks laduma sillutiskivi suuna muutumisel ja kuidas ei tohiks seda teha. Kuna kõik need tegurid võivad oluliselt mõjutada sillutiskatte käitumist, tuleks seetõttu neid arvestada juba projekteerimisfaasis.



Joonis 4.5 Tehniliselt veatu paigaldus, kui muuta ladumismustri suunda [27]



Joonis 4.6 Vasakul halb lahendus, paremal hea lahendus kui vaja muuta ladumismustri suunda [27]

Kivi paigaldamisel on üheks oluliseks faktoriks vuukide laiuse valik, mis omakorda sõltub kivide paksusest. Vastavalt juhistelet soovitatakse, et kivide paksusest sõltuvalt peaks vuukide laiused olema erinevad. Näiteks kivide puhul, mille paksus on alla 120 mm, soovitatakse kasutada 3-5 mm laiusega vuuke. Samas, kivide puhul, mille paksus on 120 mm või rohkem, soovitatakse kasutada laiemaid vuuke, mille laius võiks olla 5-8 mm.

## 4.5 Taani juhend

"DIMENSIONERING – BEFÆSTELSER OG FORSTÆRKNINGSBELÆGNINGER" on Taani juhendmaterjal, mis annab soovitusi ja juhiseid teekatete projekteerimiseks ja ehitamiseks.

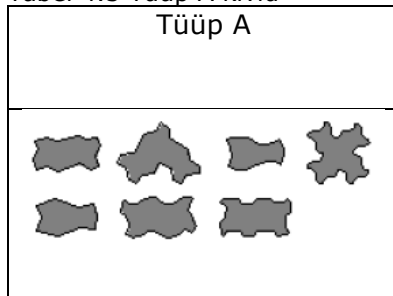
Antud juhendis räägitakse betoonist sillutiskividest ja nende omadustest ning selles on välja toodud, et oluline on arvestada mitme faktoriga, nagu näiteks kivide geomeetria, paksuse ja paigaldusmustriga.

Taanis kasutatava MMOPP2017 tarkvaraga on võimalik dimensioneerida erinevate aluskihtidega konstruktsioone erinevatele koormustele. Siiski soovitatakse sillutiskivide puhul kasutada tüüpseid sillutiskatte lahendusi.

Taanlased jagavad enda juhendis sillutiskivi erinevateks kategooriateks. Neid saab jagada kolmeks [28]:

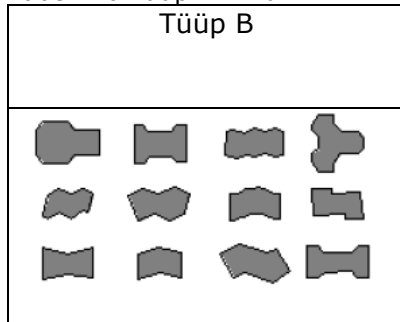
- Tüüp A – sakilise kujuga kivid, mis haakuvad teineteisega ja mis võtavad koormust vastu nii igas suunas;

Tabel 4.5 Tüüp A kivid



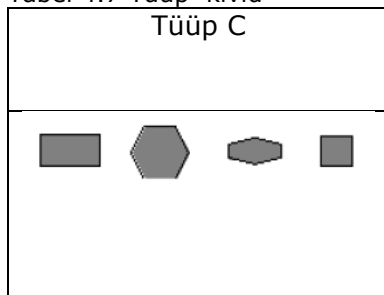
- Tüüp B – sopistatud kujuga kivid, mis haakuvad teineteisega ja mis võtavad koormust vastu ainult ühes suunas;

Tabel 4.6 Tüüp B kivid



- Tüüp C – korrapärase kujuga kivid, mis ei haaku teineteisega ja millel puudub koormust vastu võttev suund.

Tabel 4.7 Tüüp C kivid



Taani juhendis jagunevad liiklusklassid T0-st kuni T7-ni vastavalt liiklussagedusele. Selle järgi saab valida vastavalt liikluskoormusele õiget kivi kuju [28]:

- T0 on alla kuuluvad näiteks kergliikustee ja muud teed, kus raskesõidukite koormust peal ei ole (normteljed puuduvad);

- T1 alla kuuluvad kõrvaltänavad, kuhu on lubatud ööpäevas 1 raskesõiduk (normtelgi 0,5 päevas);
- T2 klassi kuuluvale teele on lubatud kuni 65 raskesõidukit päevas (normtelgi 0,5-20 päevas);
- T3 klassis on lubatud kuni 120 raskesõidukit (normtelgi 20-50 päevas);
- T4 klassis kuni 560 raskesõidukit (normtelgi 50-200 päevas);
- T5 klassis on lubatud kuni 1200 raskesõidukit (normtelgi 200-500 päevas).

Taani sillutiskatte konstruktsioonid jalgteel/kõrvaltänaval on järgmised [28]:

Tabel 4.8 Taani sillutiskatte lahendused jalgteel/kõrvaltänaval

Koormusklass	T0	T1
Kivi+sängituskiht	6+3 cm	6+3 cm
Killustik+liiv	12+15	12+19 cm
C8/10+liiv	-	12+19 cm
AC base+liiv	-	8+23 cm
Kivi tüüp	A, B, C	A, B, C

Taani sillutiskatte konstruktsioonid sõiduteel on järgmised [28]:

Tabel 4.9 Taani sillutiskatte lahendused sõiduteel

Koormusklass	T2	T3	T4	T5
Kivi+sängituskiht	8+3 cm	8+3 cm	8+3 cm	9+3 cm
Killustik+liiv	19+20 cm	24+25 cm	29+30 cm	33+25 cm
C8/10+liiv	13,35+25,5 cm	15,5+33,5 cm	17,5+41,5	21+37 cm
AC base+liiv	9,5+29,5 cm	11+38 cm	13+46 cm	14,5+43,5
Kivi tüüp	A, B, C	A, B	A	A

Antud juhendis on välja toodud, et sillutiskivi vuugid peaksid olema piisavalt laiad, et võimaldada kivide vaba liikumist ning vältida pragunemist ja muid kahjustusi. Samuti soovitatakse vuuke täita sobiva täitematerjaliga, mis tagab kivisillutise tugevuse ja vastupidavuse [28].

Juhend soovitab sillutiskivide vuukide vaheks vähemalt 3 mm ja mitte rohkem kui 5 mm. Samuti soovitatakse, et vuukide laius oleks võimalikult ühtlane kogu katendi ulatuses.

## 4.6 Järeldused

### *Eesti ja Soome juhendmaterjal*

Eesti juhendmaterjalides jääb puudu konkreetsete sillutiskivide konstruktsiooni kirjeldustest ning viidatakse üldiselt asfaltbetoon tüüpkonstruktsioonile koormusklassiga E5. Samuti võib jääda arusaamatuks, kuidas täpselt arvutatakse liiklussagedust ning milliseid normtelgi tuleks kasutada. Põhimõtteliselt on linnalahendustes piiratud liiklussageduse põhise lähenemisega nagu ka InfraRYL kogumikus, sest adekvaatset koormusprognoosi on linnatingimustes raske koostada nagu on probleemne ka liiklusloenduse teostamine ja tulemuste taandamine aastakeskmiseks.

Samas on juhendmaterjalis põhjalikult kirjeldatud, kuidas sillutiskatte ehitamisel toimida ning kuidas sillutuskivid paigaldada. Antud juhend on suunatud ennekõike Tallinna eripäradele, kuid sellest võivad ka teised projekteerijad üle Eesti kasu saada.

Kokkuvõttes võiks antud juhendmaterjale täiendada konkreetse sillutiskivi konstruktsiooni kirjeldusega. Lisaks, kuigi Tallinna tüüpkatendite juhendis on seletatud liiklus- ja koormussageduse arvutamise põhimõtte, siis võib uskuda, et projekteerijad seda ei kasuta ja ei kontrollita üle, kas konstruktsioon soovitud sillutiskatte jaoks sobib. Siit tuleneb ka vajadus täpsustada kehtivat juhendit.

Soome sillutiskivikatte juhend on asjakohane ka Eesti jaoks, kuna Eesti regulatsioonid sillutiskatete projekteerimiseks ja ehitamiseks on piiratud. Soome sillutiskivide katte juhendis on esitatud olulised punktid, mis on seotud sillutiskivi katendiga ja puudutavad projekteerimisetappi.

### *Saksa ja Taani juhendmaterjal*

Järelduste tegemiseks on võimalik kombineerida Saksamaa ja Taani juhendid, kuna need omavad teatavat sarnasust omavahel.

Võrreldes Saksa ja Taani juhendmaterjale, on mõlemal riigil sarnased põhimõtted sillutiskatete projekteerimisel ja ehitamisel, kuid neil on ka mõned erinevused.

Üks erinevus on see, et Taani juhendites pööratakse suuremat tähelepanu arvutustele ja analüüsile, samas kui Saksamaa juhendites on prioriteet pigem kogemusel põhineval lähenemisel.

Mõlemad juhendid on koormuspõhised – tuginevad arvutuslikul normtelgede läbikute arvul.

Mõlemad riigid pööravad suurt tähelepanu sillutiskivide paigaldusele ja soovivad valiku tegemisel arvestada kivi kuju ja suurusega. Saksa juhendites soovitatakse diagonaal- või kalasaba kivide paigaldust aladele, kus on suurem liikluskoormus, samas kui Taani juhendites soovitatakse kivide paigaldust erinevates mustrites, mis võimaldab paremat kivide omavahelist sidumist ja vastupidavust.

Mõlemad riigid soovivad pigem vältida kuubikukujulisi kive, kuid Saksa juhendites soovitatakse vältida ka jooksvaid vuuke sõidusuunas või koormussuunas. Saksa juhendites on kivi nominaalpaksuseks jalgteel vähemalt 60 mm, kuigi tüüpkonstrukstioonis on selleks ikkagist 80 mm, samal ajal Taani juhendis soovitatakse vähemalt 80 mm nominaalpaksust.

Kokkuvõttes võib öelda, et mõlemad riigid omavad tõhusaid ja põhjalikke juhendeid sillutiste projekteerimiseks, kuid neil on mõningaid erinevusi. Samas on mõlemad riigid oma juhendites keskendunud sillutiskatte vastupidavusele ja peavad oluliseks liiklussageduse ja koormuste kasutamist projekteerimisel.

## 5. ETTEPANEKUD

Ettepanekute peatükk keskendub sillutiskattega alade lahendustele, võttes arvesse erinevaid juhendeid nii Eestist kui välismaalt (Soome, Saksa, Taani). Selles peatükis on välja toodud tüüpilised lahendused, kuid need ei põhine arvutustel. Seega on võimalik nende edasiarendamisega ja täpsemate arvutuste tegemisega pakkuda täpsemaid lahendusi. Samuti on peatükis antud ettepanekuid projekteerijatele, mida võiks silmas pidada sillutiskivi alade projekteerimisel.

Lahenduste ettepanekute tegemisel teeb esmase kivitüübi valiku arhitekt. Selleks kaalutakse loodusliku või tehismaterjali, samuti plaadi või kivi kasutamist. Sõltuvalt sillutise eeldatavast kasutusalaast ja koormusest tuleb valida sobiv aluse tüüp ning vuukimise meetod.

### 5.1 Pargiteed/ jalgteed

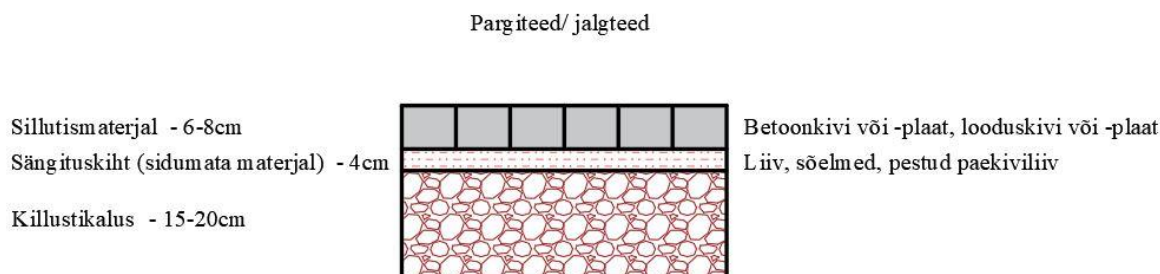
Sillutiskatendil on oluline roll parkide kujundamisel ja kasutatavuse tagamisel. Kuigi realselt on parkide koormuseks, vaid hooldussõidukid, tuleb arvestada ka ajutiste koormustega, mis on seotud ürituste korraldamisega. Ajutised koormused võivad parkide sillutiskatendile suurt survet avaldada, seega on oluline valida õiget tüüpi sillutiskate, mis vastab nii parki külastavate inimeste kui ka sõidukite vajadustele.

Tabel 5.1 Pargitee ja jalgteede lahenduse ettepanek

Pargiteed ja jalgteed	
Kivi	Pargiteede puhul on sobilikud sillutismaterjalid betoonkivid või -plaadid ning looduskivid või -plaadid. Sõltuvalt kasutatava ala tüübist on soovitatav valida vastav kivi paksus. Jalakäijatele ja kergliiklejatele mõeldud aladel kasutada 6 cm paksust kivi, samas kui aladel, kus on eeldada raskemat liiklust, näiteks hooldussõidukite liikumist, arvestada kuni 8 cm kivi paksusega.
Vuuk	Vuugitäide on sidumata materjalist, milleks on liiv, sõelmed või lubjakivi või graniitsõelmete segu. Siiski, juhul kui pargialal on planeeritud ka imuritega katete puhastamine, soovatakse kasutada vuugitäitena seotud materjali, näiteks betooni.
Sängitus	Sängituskiht on sidumata materjalist, milleks on liiv, sõelmed või pestud paekiviliiv ning mille paksus on 4 cm.



Alus	Killustikalus, mille paksus on vähemalt 15 cm, kui katendile satuvad hooldussõidukid, siis vähemalt 20 cm.
------	--



Joonis 5.1 Pargi- ja jalgteede lahenduse joonis

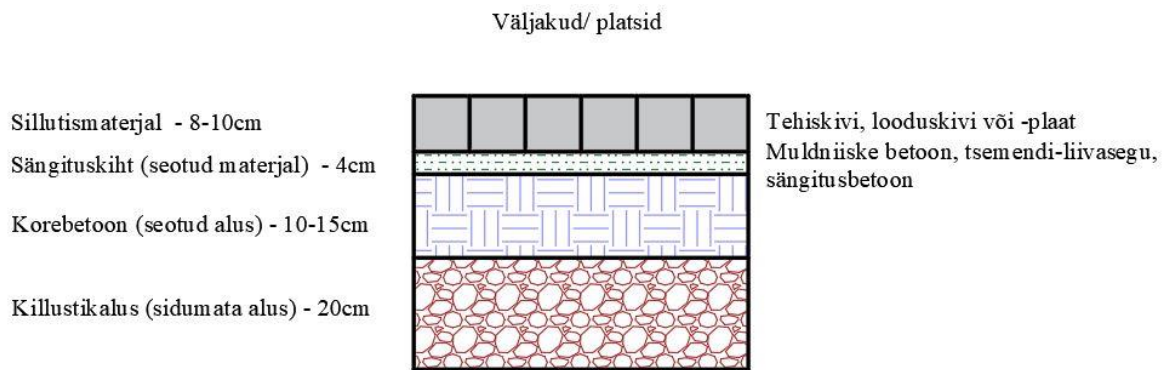
## 5.2 Väljakud ja platsid

Linnaväljakutel ja platsidel võib olla erinevaid kasutusotstarbeid, näiteks jalakäijate liikumine, laste mänguplatsid, istumisalad ja ürituste korraldamine. Seetõttu tuleb sillutiskivi konstruktsiooni valikul arvestada ka kasutusotstarbega ning valida vastavalt sellele sobiv kivimaterjal.

Kindlasti tuleb siin kategoorias ka ala segmenteerida ja sillutiskivist saame rääkida selles osas, kus puudub läbiviiklus.

Tabel 5.2 Väljakute ja platside lahenduse ettepanek

Väljakud ja platsid	
Kivi	Väljakute ja platside puhul on sobilikud tehiskivid ning looduskivid või -plaadid, mille paksus on 8-10 cm.
Vuuk	Vuugitäide on seotud materjalist, milleks sobivad spetsiaalsed vuugisegud.
Sängitus	Sängituskiht on seotud materjalist. Selleks sobib muldniiske betoon, tsemendi-liivasegu või sängitusbetoon. Sängituskihi paksus võiks olla 4 cm.
Seotud alus	Suurema vastupidavuse jaoks korebetoon 10-15 cm vastavalt sõidukite koormusele .
Sidumata alus	Killustikalus, mille paksus soovitatavalt on 20 cm.



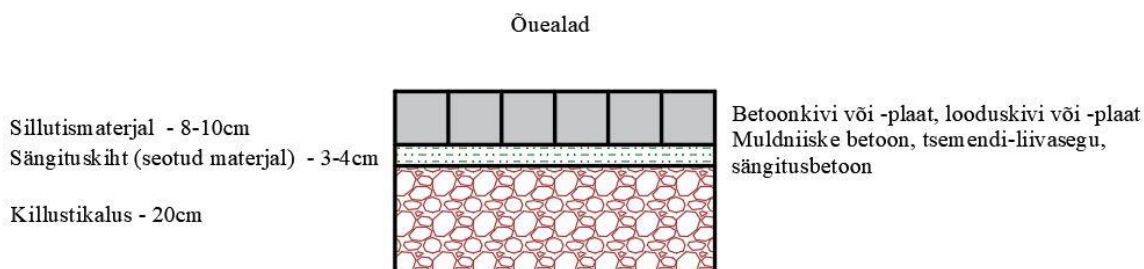
Joonis 5.2 Väljakute ja platside lahenduse joonis

### 5.3 Õuealad

Õueala puhul tuleb silmas pidada, et need on raskeliikluse suhtes vähese intensiivsusega alad. Nendel aladel liiguvad peamiselt jalakäijad ning esineb ka sõidukite parkimist. Samuti on oluline arvesse võtta, et suurimaks koormuseks võivad olla prügiveo või kolimistega seotud transpordivahendid. Seetõttu tuleks sillutiskivi valikul arvestada ka parkivate sõidukite raskuse taluvusega.

Tabel 5.3 Õueala lahenduse ettepanek

Õuealad	
Kivi	Sillutiskatte kiviks sobib nii betoon- kui looduskivi, kaasa arvatud plaadid. Parkimisaladel võiksid kivid olla suuremad kui kõnniteel ning kivi paksus olenevalt alast 8-10 cm (kergem kuni raskem liiklus).  Parkimisaladel sobib kasutada murukivi (v.a invakohtadel).
Vuuk	Vuugitäide on seotud materjalist, milleks sobivad spetsiaalsed vuugisegud.
Sängitus	Sängituskiht on seotud materjalist läbiva liiklusega aladel. Sobib muldniske betoon, tsemendi-liivasegu või söngitusbetoon. Sängituskihi paksus on 3-4 cm.
Alus	Killustikalus, mille paksus on 20 cm



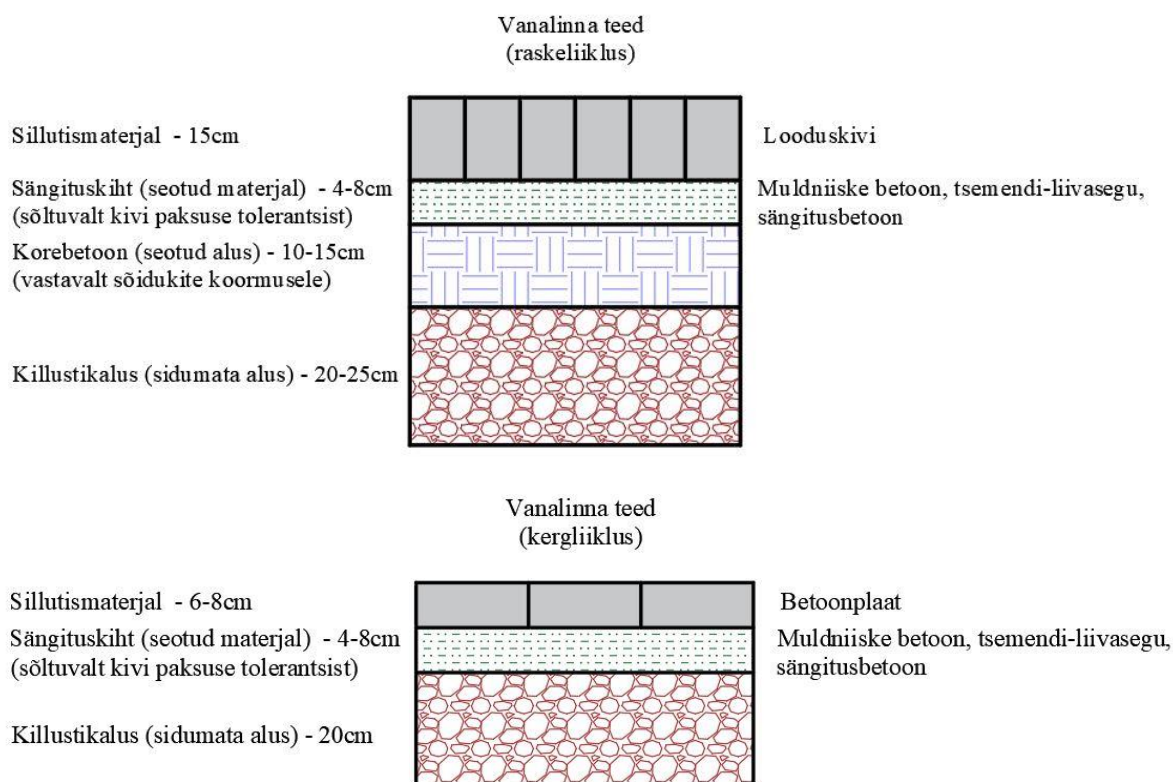
Joonis 5.3 Õueala lahenduse joonis

## 5.4 Vanalinna tänavad

Vanalinn on tavaliselt tuntud oma ajaloolise atmosfääri ja sellest tulenevalt ka kitsaste tänavate poolest, mis muudab sõidukite liikumise raskemaks. Sel põhjusel kasutatakse vanalinna teedel reeglina klompkivi, mis lisaks ajaloolisele ilmele pakub ka vastupidavust ning talub hästi liikluskoormust. Kõnniteedel on levinud aga betoonplaadid, mis sobivad hästi jalakäijatele ja kergliiklejatele. Silmas tuleb pidada, et vanalinnas võib esineda ka ajaloolisi piirkondi, kus kivide suurus ja paigutus on reglementeeritud. Seetõttu tuleb sillutiskivide valikul arvestada ka piirkondade eripäradega.

Tabel 5.4 Vanalinna läbiva tee lahenduse ettepanek

Vanalinna läbivad teed	
Kivi	Sillutiskatte kivi valikul tuleks kaaluda ajaloolise väärtuse aspekti. Olenevalt liikluskoormuselt saab kasutada erineva paksusega kive. Kui tegemist on jalakäijatele mõeldud alaga, on sillutisplaadi paksus 6-8 cm. Raskema liikluse korral, näiteks kui vanalinnas liiguvad ka hooldussõidukid või turismibussid, oleks kivi paksus suurem, umbes 15 cm. Audentseuse huvides võiks olla klompkivi võimalik lahendus (võlv toetub tänava äärekividele, sel juhul on nõuded alusele leebemad).
Vuuk	Vuugitäide on seotud materjalist, milleks sobivad spetsiaalsed vuugisegud.
Sängitus	Sängituskiht on seotud materjalist. Sobib muldniiske betoon, tsemendi-liivasegu või sängitusbetoon. Sängituskihi paksus on 4-8 cm. Kihi paksus sõltub kivi paksuse tolerantsist.
Seotud alus	Suurema vastupidavuse jaoks korebetoon 10-15 cm vastavalt sõidukite koormusele.
Sidumata alus	Killustikalus, mille paksus on 20-25 cm



Joonis 5.4 Vanalinna teede lahenduse joonis

## 5.5 Ühistranspordialad

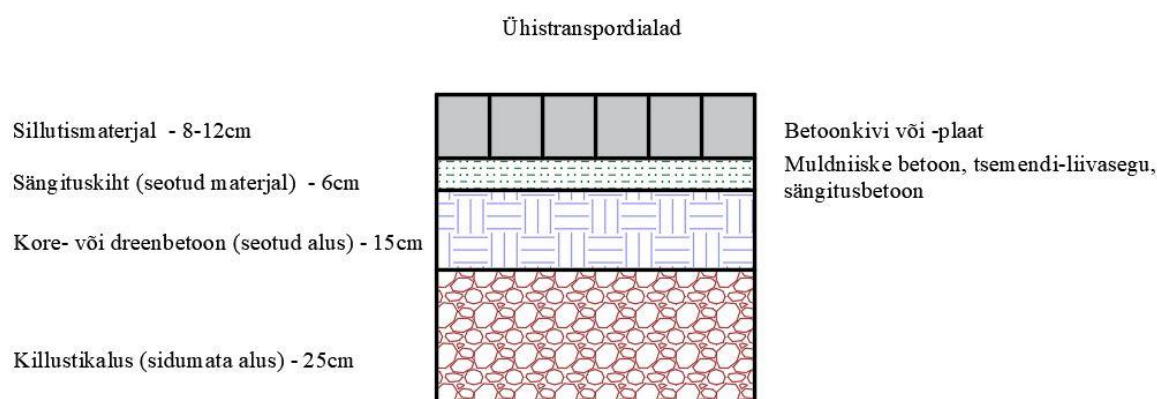
Bussipeatuste puhul on oluline arvestada, et pind oleks vastupidav ning taluks suurt liikluskoormust. Tallinna kogemus näitab, et betooni kasutamine on pigem tavapärane lahendus. Betoon on vastupidav ja tagab stabiilsuse ka suure liikluskoormusega aladel. Siiski, kui bussipeatuse liiklussagedus on tagasihoidlikum, siis võib kaaluda alternatiivsete materjalide kasutamist sillutiskivide näol.

Peatustes, mida kasutavad liigendbussid või trollid, tuleb kasutada betoonkatendit.

Tabel 5.5 Ühistranspordiala lahenduse ettepanek

Ühistranspordialad	
Kivi	Bussisõidumugavuse arvestamisel soovitatakse kasutada madalama profiiliga betoonist sillutist. Sillutise valik sõltub liikluskoormusest ja liiklussagedusest ning eelistatavalt tuleks seda paigaldada aladele, kus koormus ja liiklus on väiksemad. Sillutise paksus võiks olla 8-12 cm.

Vuuk	Vuugitäide on seotud materjalist, milleks sobivad spetsiaalsed vuugisegud.
Sängitus	Sängituskiht on seotud materjalist. Selleks sobib muldniiske betoon, tsemendi-liivasegu või sängitusbetoon. Sängituskihi paksus võiks olla 6 cm.
Seotud alus	Suurema vastupidavuse jaoks korebetoon või drenbetoon 15 cm.
Sidumata alus	Killustikalus, mille paksus on 25 cm



Joonis 5.5 Ühistranspordiala lahenduse joonis

## 5.6 Olulised punktid, mida võiks projekteerimisel arvesse võtta

Sillutiskatete projekteerimisel tuleb arvestada mitmete teguritega, sealhulgas kavandatava ala eesmärgi, kasutusintensiivsuse ja paigaldusmeetodi osa. Allpool on toodud mõned peamised soovitusel, millega projekteerija võiks arvestada:

- Korrektnen koormusarvestus – peab olema selge, mis sõidukid liikuma hakkavad, kui palju neid on ning kui laia kattega tuleb arvestada (kataloogikatendid eeldavad vähemalt standardset üle 6 m katte laiust)
- Sobiv sillutiskattematerjal - Sillutiskattematerjale on erinevaid ja nende valik sõltub eesmärgist. Näiteks on tavaliselt vaja tugevamat ja vastupidavam materjali, kui tegemist on sõiduteega. Kõnniteede puhul võib olla sobivamad pigem dekoratiivsemad materjalid nagu kivid või plaadid, kuid arvestada tuleb ka ajutise liikluse ja hooldussõidukitega;

- Mustri valik – korrektne mustri valik võib aidata koormustel jaguneda ja suunata neid õigesti, mis omakorda võib suurendada sillutuskatte vastupidavust ja eluiga. Samuti annab muster ka esteetilise välimuse;
- Deformatsioonivuuk – deformatsioonivuugid tuleb ette näha pikemate teelõikude ja jäikade vuugisegude korral, kui ka väljakute kattes. Need on vajalikud iga 4-8 meetri tagant. Samuti on deformatsioonivuugid vajalikud kivide või plaatide puhul, mis puutuvad omavahel kokku distantsnuki kaudu;
- Kergema liiklusega aladele ette näha sidumata vuugitäide, kuna vuugid pole nii suure koormuse all ja neil ei ole vaja nii suurt tugevust;
- Raskema liiklusega aladele ette näha seotud alus ja seotud vuugitäide, nagu näiteks teedel ja platsidel, kus sõidukid raskemad ja koormus suurem;
- Tuleb arvestada, et looduskivid sileda pinnaga ei saavuta piisavat haardetegurit ning keraamilise pinnaga kivid ei ole vastupidavad naastrehvide mõjule. Seega, on oluline võtta arvesse neid tegureid ja kasutada projekteeritaval alal sobivat tüüpi kive [14];
- Kergema liiklusega aladel on aluseks traditsiooniline killustik ja raskema liikluse korral, kus on koormused suuremad, võiks kasutada korebetooni või drenasfalti killustikalusel ja vastavat sängituskihti;
- Seotud aluste korral tuleb kasutada ka seotud vuugitäitematerjali.

## KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli välja pakkuda lahendused, mis vastaks nii Eesti kui ka teiste riikide standarditele, määrustele ja nõuetele ning sobiks Eesti oludesse. Selle eesmärgi saavutamise hõlmas erinevate lahenduste analüüsi ja võrdlemist Eesti vajaduste ja tingimustega. Lahenduste valikul võeti arvesse nende sobivust erinevate sillutiskivi aladele, liikluskoormust ja jätkusuutlikust. Töö tulemused võiksid olla kasulikud projekteerijatele ja teistele spetsialistidele, et nad saaksid neid lahendusi oma töös rakendada.

Sillutuskivi katendid on Eestis väga levinud, kuna need on vastupidavad ja sobivad erinevatele pindadele. Sillutuskivi kasutatakse nii jalakäijate ja jalgratturite teedel kui ka sõidukitega sõiduteedel ja parklates. Kuna sillutuskivi paigaldamisel on palju erinevaid võimalusi ja lahendusi, on oluline tagada, et need lahendused sobiksid kohalikesse tingimustesse.

Sillutuskivi katete projekteerimisel on äärmiselt oluline koostada projekt täpselt, kuna pooliku projekti tegemine selles etapis võib põhjustada probleeme kogu ehitusprotsessi käigus ja hiljem veelgi. On vaja tagada projekti põhjalik ja täpne koostamine, arvestades olemasolevaid nõudeid ja standarditele vastavust. Tuleb arvestada erinevate osapoolte suhtlemist ja partnerite pädevust.

Sillutise ehitamisel kasutatakse erinevaid materjale, nagu looduskivist või betoonist sillutiskivid või -plaadid ja keraamilised sillutiskivid. Neid materjale saab valida erinevate kujude ja mõõtmetega vastavalt vajadusele. Lisaks sillutiskatte kivile on oluline ka sängituskiht ja vuugitäite materjal, mis jagunevad veel omakorda ja mille õige valimine on oluline vastupidava sillutise ehitamisel. Püsiva ja terve sillutise puhul peab valima õiged materjalid, et sillutiskatte ei hakkaks kohe peale kasutamist lagunema.

Eesti ei oma hetkel oma standardit ega lahendusi sillutiskatte projekteerimiseks. See tähendab, et sillutiskatte projekteerimisel tuleb lähtuda välismaisetest standarditest ja praktikatest. Samas on oluline arvestada, et välismaiste standardite ja lahenduste rakendamine võib olla seotud kohalike olude ja ehituspraktika erinevate probleemidega, mis võivad kaasa tuua kvaliteedi ja vastupidavuse probleeme, seega tuleb neid kohandada meile sobivaks.

Kohalikud lahendused peaksid olema suunatud erinevatele kasutusotstarvetele, nagu jalakäijate- ja rattateede, autoteede ja parklate sillutamisele. Samuti peaksid need arvestama erinevate ehitusmaterjalide, näiteks betooni, asfaldi ja looduslike kivide omadustega. Lisaks tuleks arvestada ka kohalike seaduste ja normidega.

Lõputöös esitatud lahendused on valminud ainult Eesti ja teiste riikide juhendite alusel, võttes samuti arvesse T-Konsulti kogemusi. Antud lahenduste täiustamine on kindlasti võimalik ja vajalik läbi põhjalike uuringute ja katsete tegemise.

Kohalike lahenduste väljatöötamine sillutiskatte projekteerimiseks võimaldaks parandada projekteerimise kvaliteeti ja tõsta sillutiskatete vastupidavust. Lisaks võiks see aidata kaasa kohalike ehitusmaterjalide ja ehituspraktika arendamisele.



## **SUMMARY**

The aim of the master's thesis was to propose solutions that would comply with both Estonian and international standards, regulations, and requirements, while also being suitable for Estonian conditions. Achieving this goal involved analyzing and comparing various solutions in relation to the needs and conditions of Estonia. The selection of solutions took into account their suitability for different pavement areas, traffic loads, and sustainability. The findings of this work could be beneficial for designers and other professionals, enabling them to implement these solutions in their work.

Paved stone coverings are widely used in Estonia due to their durability and suitability for various surfaces. Paved stones are used on pedestrian and bicycle paths, as well as on roads and parking lots for vehicles. Since there are numerous options and solutions available for the installation of paved stones, it is essential to ensure that these solutions are suitable for local conditions.

The precise development of the paving design is crucial, as creating an incomplete design at this stage can lead to problems throughout the construction process and beyond. It is necessary to ensure thorough and accurate design, taking into account existing requirements and compliance with standards. Communication among different parties and the competence of partners must be considered as well.

Various materials are used in pavement construction, such as natural stone, concrete paving stones or slabs, and ceramic paving stones. These materials can be selected with different shapes and dimensions according to specific needs. In addition to the paving stones, the bedding layer and jointing material are also important, and their proper selection is crucial for constructing a durable pavement. To achieve a long-lasting and intact pavement, it is necessary to choose the correct materials to prevent immediate deterioration after use.

Currently, Estonia does not have its own standard or solutions for pavement design. This means that the design of pavements must be based on foreign standards and practices. However, it is important to consider that the implementation of foreign standards and solutions may be associated with various problems related to local conditions and construction practices, which can lead to quality and durability issues. Therefore, they need to be adapted to suit our specific requirements.

Local solutions should be aimed to different uses, such as paving pedestrian and bicycle paths, roads for vehicles, and parking lots. They should also take into account the

properties of different construction materials, such as concrete, asphalt, and natural stones. Additionally, local laws and regulations should be considered.

The presented solutions in the thesis are based solely on Estonian and international guidelines, taking into account T-Consult's expertise as well. Improving these solutions is certainly possible and necessary through thorough research and tests.

Developing local solutions for pavement design would enhance the quality of design and increase the durability of pavement coverings. Furthermore, it could contribute to the development of local construction materials and practices.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] T. Sepp, „MUNAKIVISILLUTIS“.  
[https://www.muinsuskaitseamet.ee/sites/default/files/content-editors/kasiraamat/44.\\_munakivisillutis\\_0.pdf](https://www.muinsuskaitseamet.ee/sites/default/files/content-editors/kasiraamat/44._munakivisillutis_0.pdf) (vaadatud 13. märts 2023).
- [2] R. Eichfuss, „SILLUTISKATTE AVAMISE PROTOKOLL KURESSAARE KESKVÄLJAKUL JA ANALÜÜS“. 1. november 2021.
- [3] Eesti Standardikeskus, „Looduskivist sillutuskivid välissillutiseks. Nõuded ja katsemeetodid“. EVS-EN 1342:2012, 2013.
- [4] Eesti Standardikeskus, „Looduskivist sillutisplaadid välissillutiseks. Nõuded ja katsemeetodid“. EVS-EN 1341:2012, 2013.
- [5] „Tänavakivid“. <http://www.graniitkivi.ee/index.php-id=13.html> (vaadatud 15. märts 2023).
- [6] „Sillutiskivi “parkett” kasutusala | Columbia-Kivi AS“, 10. september 2020.  
<https://www.columbia-kivi.ee/sillutiskivi-parkett-kasutusala/> (vaadatud 15. märts 2023).
- [7] Eesti Standardikeskus, „Keraamilised sillutiskivid. Nõuded ja katsemeetodid“. EVS-EN 1344:2013, 2013.
- [8] Määrus, „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“.  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/107082015001?leiaKehtiv> (vaadatud 20. märts 2023).
- [9] Wienerberger AS, „Mis on Penter klinkersillutuskivid?“, *Estonia*.  
<https://www.wienerberger.ee/tooted/penter-klinkersillutuskivid/mis-on-penter-klinkersillutuskivid.html> (vaadatud 13. märts 2023).
- [10] Eesti Standardikeskus, „Betonist sillutiskivid. Nõuded ja katsemeetodid“. EVS-EN 1338:2003+AC:2006, 2007.
- [11] Eesti Standardikeskus, „Betonist sillutisplaadid. Nõuded ja katsemeetodid“. EVS-EN 1339:2003+AC:2006, 2003.
- [12] T-Konsult, „Tartu tüüpkatendid (kataloogikatend) (kavand)“. 12. detsember 2022.
- [13] T-Konsult, „Sillutiskivi, asfalt- ja tsementbetooniga teede ja tänavate tüüpkatendikonstruktsioonide projekteerimisele, rajamisele ja remondile esitatavad nõuded“. 2019.
- [14] T-Konsult, „Tallinna sillutiskatendite konstruktsioonide lahendused ja paigaldustehnoloogiad. Kaevupäised sillutiskatendites (kavand)“.
- [15] F. Autelitano, E. Garilli, ja F. Giuliani, „Criteria for the selection and design of joints for street pavements in natural stone“, *Constr. Build. Mater.*, kd 259, okt 2020, Vaadatud: 20. märts 2023. [Online]. Available at:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006182031727X>
- [16] „Sillutiskivide paigaldamise juhend | Columbia-Kivi AS“, 9. juuli 2020.  
<https://www.columbia-kivi.ee/sillutiskivide-paigaldamise-juhend/> (vaadatud 15. märts 2023).
- [17] SAKRET, „SAKRET paisumisvuugi tootejuhend“.
- [18] PLEXBAND, „PLEXBAND tootejuhend“.
- [19] A. Modak, „Chemical Anchor vs Set Anchor - What’s the Difference“, *ThePipingMart Blog*, 18. veebruar 2023.  
<https://blog.thepipingmart.com/fasteners/chemical-anchor-vs-set-anchor-whats-the-difference/> (vaadatud 25. aprill 2023).
- [20] „What Is a Chemical Anchor? | Allfasteners Explains“.  
<https://www.allfasteners.com.au/news-articles/what-is-a-chemical-anchor> (vaadatud 25. aprill 2023).
- [21] E. Garilli, F. Autelitano, R. Roncella, ja F. Giuliani, „The influence of laying patterns on the behaviour of historic stone pavements subjected to horizontal loads Elsevier Enhanced Reader“. 10. juuni 2020.

- [22] S. Vogel, *Die Kunst des Pflasterns mit Natursteinen*. TUSA-NATURSTEINEN GmbH, 1998.
- [23] Määrus, „Tee projekteerimise normid“. <https://www.riigiteataja.ee/akt/131122021034> (vaadatud 6. aprill 2023).
- [24] „InfraRYL“.
- [25] Transpordiameti juhend, „Teekonstruksioonide projekteerimine“. 28. november 2018.
- [26] „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, RStO 12“. 2012.
- [27] „Planung und Ausführung dauerhafter Betonpflasterbauweisen, Stand 03.13“.
- [28] Vejregel, „Handbog DIMENSIONERING – BEFÆSTELSER OG FORSTÆRKNINGSBELÆGNINGER“. Jaanuar 2022.