



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**LAMEKATUSTE
HÜDROISOLATSIOONIMEMBRAANIDE JA
MONOLIITSETE
RAUDBETOONKONSTRUKTSIOONIDE
TÖÖVUUKIDE
HÜDROISOLATSIOONIMATERJALIDE UURIMINE
JA VÕRDLEMINE**

**Exploring and Comparing Waterproofing Materials for
Flat Roof Membranes and Joints in Monolithic
Reinforced Concrete Structures**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Viktor Safonov

Üliõpilaskood 192737

Juhendaja: Erki Soekov

Tallinn 2024

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

03. mai 2024

Autor: Viktor Safonov
.....
/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele.

03. mai 2024

Juhendaja: Erki Soekov
.....
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....":20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees:

.....
/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ REPRODUTSEERIMISEKS JA LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS

Mina, **Viktor Safonov**

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Lamekatuste hüdroisolatsioonimembraanide ja monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalide uurimine ja võrdlemine

mille juhendaja on Erki Soekov

- 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

01.mai 2024

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: **VIKTOR SAFONOV**

Üliõpilaskood **192737**

Õppekava: **EAEI02 Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine**

Peeriala: Ehitusmajandus ja juhtimine

Lõputöö teema:

Lamekatuste hüdroisolatsioonimembraanide ja monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalide uurimine ja võrdlemine

Exploring and Comparing Waterproofing Materials for Flat Roof Membranes and Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures

Juhendaja: **Erki Soekov**

erki.soekov@taltech.ee

Lõputöö konsultandid:

Tiitel või ametikoht, Ees- ja Perekonnanimi	Kontakt (e-post või telefon)	Allkiri ja kuupäev
Ehitusinsener, Tõnis Kurrik		+372 53400 798
Juhatuse liige, Indrek Uusalu		+372 5185062
Juhatuse liige, Aivar Kalda		+372 5622 9297

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Hinnata kõige sagedamad vead katuse- ja monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalide paigaldamisel ja projekteerimisel.
2. Selgitada optimaalsed lahendused katuse- ja monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide defektide kõrvaldamiseks mittetoimiva hüdroisolatsioonimaterjali või lahenduse puhul.
3. Analüüsida Eesti turul kasutatavate katuse- monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjale.

Töö keel: eesti keel

Lõputöö etapid ja ajakava:

Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1. Kirjanduse ülevaade.	15.03.2024
2. Uurimisküsimuste püstitamine.	22.03.2024
3. Uurimismetoodika kavandamine.	04.04.2024
4. Uurimise teostamine vastavalt kavandatud uurimismetoodikale ja püstitatud uurimisküsimustele.	24.04.2024
5. Teostatud uurimise analüüs ja järeldused.	26.04.2024
7. Kokkuvõte	29.04.2024

Lõputööde ülevaatus, mille läbimine on kaitsmise eelduseks

06.05.2024

Peale ülevaatus saab teha väiksemaid korrekture ja üles laadida töö Moodle keskkonda plagiaadikontrolliks.

Esitlusmaterjalid kaitsmisel: Powerpoint esitlus ja jaotusmaterjalid

Kirjeldus	Tähtaeg
1 Power point esitlus ja jaotusmaterjalid	16.05.2023

Lõputöö esitamise tähtaeg:

20. mai 2024

Lõputöö ülesanne välja antud: 05.02.2024

Juhendaja: **Erki Soekov**

Ülesande vastu võtnud: **Viktor Safonov**

Avalikustamise piirangu tingimused: puuduvad

SISUKORD

EESSÖNA.....	11
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	12
TABELITE LOETELU	13
JOONISTE LOETELU.....	14
SISSEJUHATUS	15
LÕPUTÖÖ FOOKUS JA EESMÄRGID	16
1. Kirjanduse ülevaade	18
1.1 Lõputöös käsitletud lamekatuse hüdroisolatsioonimaterjalid.....	18
1.1.1 Polümeersest membraanist PVC hüdroisolatsiooni ajalugu ja üldine informatsioon 19	
1.1.2 Polümeersest membraanist TPO hüdroisolatsiooni ajalugu ja üldine informatsioon 25	
1.1.3 Modifitseeritud bituumenpõhise SBS hüdroisolatsiooni ajalugu ja üldine informatsioon.....	33
1.2 Lõputöös käsitletud monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalid	41
1.2.1 Metall profiilide ajalugu ja üldine informatsioon.....	42
1.2.2 Betoonlisandi mahukahanemis pragude kinni kasvatamiseks ajalugu ja üldine informatsioon.....	51
1.2.3 Paisuva bentoniilindi ajalugu ja üldine informatsioon	55
1.3 Mittetoimivad hüdroisolatsioonimaterjalid	64
1.4 Kirjanduse lühikokkuvõte	65
2. Uurimistöe meetodika ja materjalid	66
2.1 Uurimistöe etapid ja meetodid	67
2.1.1 Mittetoimivate hüdroisolatsioonilahenduse tuvastamine	67
2.1.2 Ebaõigesti rakendatud hüdroisolatsioonilahenduste riskianalüüs	68
2.1.3 Hüdroisolatsiooni defektide kõrvaldamine ja õige paigaldusprotsessi ja lahenduste selgetus	70
2.1.4 Intervjuude läbiviimine probleemide süvendatud analüüsiks ja aruteluks	70
2.1.5 Erinevate hüdroisolatsiooni lahenduste võrdlus.....	71
3. Hüdroisolatsioonilahenduste võrdlemine.....	73
3.1 Mittetoimivate katusehüdroisolatsiooni lahenduste tuvastamine	73
3.1.1 Tuvastatud defektid SBS katusemembraani puhul	73
3.1.2 Tuvastatud defektid PVC ja TPO katusemembraanide puhul	81

3.2	Mittetoimivate maa-aluste konstruktsioonide hüdroisolatsioonilahenduste tuvastamine	87
3.2.1	Tuvastatud defektid metall-profiilide puhul	87
3.2.2	Tuvastatud defektid paisuva bentoniitlindi puhul	91
3.3	Hüdroisolatsioonimaterjalide mittetoimivate lahenduste riskianalüüs	93
3.3.1	SBS katusekatte mittetoimivate lahenduste riskianalüüs.....	94
3.3.2	PVC ja TPO katusekatete mittetoimivate lahenduste riskianalüüs.....	97
3.3.3	Metall-profiilide mittetoimivate lahenduste riskianalüüs	103
3.3.4	Paisuva bentoniitlindi mittetoimivate lahenduste riskianalüüs.....	107
3.4	Mittetoimivate katusehüdroisolatsiooni lahenduste parandusmeetodid.....	110
3.4.1	Mittetoimivate SBS katusekatte parandusmeetodid	111
3.4.1	Mittetoimivate PVC ja TPO katusekatete parandusmeetodid	114
3.5	Maa-aluste konstruktsioonide mittetoimivate hüdroisolatsioonilahenduste parandusmeetodid.....	118
3.5.1	Enne teise valujärgu betoneerimist kasutatud mittetoimivate metall-profiilide parandusmeetodid.....	119
3.5.2	Enne teise valujärgu betoneerimist mittetoimiva paisuva bentoniitlindi lahenduse parandusmeetodid.....	121
3.5.3	Peale teise valujärgu betoneerimist mittetoimivate paisuva bentoniitlindi ja metallprofiilide lahenduste parandusmeetodid	121
3.6	Intervjuude põhjalik analüüs.....	123
3.6.1	Telora OÜ projektijuhiga korraldatud intervjuu põhjal tehtud järeldused	123
3.6.2	Katuseseire OÜ juhatuse liikmega korraldatud intervjuu põhjal tehtud järeldused	126
3.7	Katuse hüdroisolatsioonilahenduste võrdlemine	129
3.7.1	Hüdroisolatsioonimaterjalide tootmisprotsessis eraldatud CO ₂ heidete võrdlemine	129
3.7.2	Katuseembraanide keskkonnasõbralikkuse võrdlemine.....	130
3.7.3	Katuseembraanide ümbertöötlemise võimalused.....	131
3.7.4	Katuseembraanide sobivus Eesti kliimaga ning kasutusiga	135
3.7.5	Katuseembraanide maksumuse võrdlus	137
3.8	Monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalide võrdlemine	138
3.8.1	Monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalide tootmisprotsessis eraldatud CO ₂ heidete võrdlemine	138
3.8.2	Monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalide keskkonnasõbralikkuse võrdlemine	139

3.8.3	Monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalide ümbertöötlemise võimalused	140
3.8.4	Monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalide sobivus Eesti kliimaga ning kasutusiga	143
3.8.5	Monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalide maksumuse võrdlus.....	144
JÄRELDUSED		145
KOKKUVÕTE		148
SUMMARY		150
KASUTATUD KIRJANDUS.....		152

EESSÕNA

Käesolevas töös analüüsitakse PVC, TPO ja SBS katusekatte hüdroisolatsioonimaterjale ning monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjale. Uurimuse käigus tuuakse esile levinumad vead erinevate hüdroisolatsioonitüüpide paigaldamisel ja projekteerimisel erinevate projektide jaoks, hinnatakse iga lõputöös analüüsitud vea riskiastet ning pakutakse välja lahendused defektide kõrvaldamiseks. Lisaks käsitletakse materjalide sobivust kohalikule kliimale ja muudele olulistele aspektidele. Oluline osa uurimistööst keskendub paigaldusvea põhjustajatele ning valesti valitud hüdroisolatsioonimaterjalidele ühes või teises olukorras. Arutletakse, kas ehitaja on alati leitud defektide eest vastutav või mitte, ning uuritakse võimalusi ehituskvaliteedi tõstmiseks Eestis. Samuti analüüsitakse tegevusi, mis aitavad kvaliteeti parandada.

Lõputöö autor tänab ettevõtteid Inseneribüroo Telora OÜ, Primostar OÜ ja Katuseseire OÜ abi eest andmete kogumisel ja analüüsimisel. Avaldatakse tänu ka nimetatud ettevõtetele, kes aitasid selgitada hüdroisolatsiooni ja hoone pikemaajalise vastupidavusega seotud erinevaid nüansse ja detaile.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

Järgnevas loendis on toodud töös kõige sagedamini kasutatavad lühendid ja tähistused:

- CO₂ -süsihappegaas
- PVC -polüvinüülkloriid
- TPO -termoplastiline polüolefiin
- SBS -stüreen-butadieen-stüreen
- g/mol -gramm molekuli kohta
- VCM -vinüülkloriidmonomeer
- ECHA -Euroopa Kemikaaliamet
- PE -polüetüleen
- HDPE -kõrge tihedusega polüetüleen
- LDPE – madala tihedusega polüetüleen
- UV – ultraviolett
- NPD pigment – nanoftalotsüaniini pigment
- VOC – lenduvad orgaanilised ühendid
- g/L -gramm liitri kohta
- QUV – kvarts-ultraviolett (katse, mis jäljendab ultraviolettkiirguse mõju)
- Bar – bar (rõhuühik)
- IARC uuring – Rahvusvahelise Vähiuuringute Agentuuri uuring
- kgCO₂e – kilogrammi süsihappegaasi ekvivalent
- LCA – elutsükli hindamine

TABELITE LOETELU

Tabel 1.1 LCA uuringu tulemused	29
Tabel 1.2 TPO materjali kaalu muutmine.....	31
Tabel 1.3 TPO materjali läbitorkamiskindluse muutmine.....	32
Tabel 1.4 SBS materjali katsetuse tulemused	39
Tabel 1.5 Testitavad katsekehad.....	53
Tabel 1.6 Katsekehade survetugevuse mõõtmine	61
Tabel 1.7 Katsekehade tõmbetugevuse mõõtmine	61
Tabel 3.1 Riskianalüüs tarbijale erinevate SBS defektide juhul, praktiline osa.....	94
Tabel 3.2 Riskianalüüs hoone omadustele SBS erinevate defektide juhul, praktiline osa.....	95
Tabel 3.3 Riskianalüüs tarbijale PVC ja TPO erinevate defektide juhul, praktiline osa.....	97
Tabel 3.4 Riskianalüüs hoone omadustele PVC ja TPO erinevate defektide juhul, praktiline osa.	101
Tabel 3.5 Riskianalüüs tarbijale metall-lehe erinevate defektide juhul, praktiline osa	104
Tabel 3.6 Riskianalüüs hoone omadustele metall-lehe erinevate defektide juhul, praktiline osa	106
Tabel 3.7 Riskianalüüs tarbijale savilindi erinevate defektide juhul, praktiline osa	107
Tabel 3.8 Riskianalüüs hoone omadustele savilindi erinevate defektide juhul, praktiline osa	109
Tabel 3.9 Katuseembraanide tootmises kasutuses olevad peamised lisandid ja nende mõju väliskeskkonnale, praktiline osa.....	130
Tabel 3.10 Katuseembraanide ümbertöötlemise meetodid, praktiline osa.....	132
Tabel 3.11 Katuseembraanide mehaaniline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa	132
Tabel 3.12 Katuseembraanide keemiline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa	132
Tabel 3.13 Katuseembraanide termiline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa	133
Tabel 3.14 Katuseembraanide füüsikaline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa.....	134
Tabel 3.15 Erinevate katuseembraanide lahenduste maksumuse võrdlus, praktiline osa	137
Tabel 3.16 Maa-aluste hüdroisolatsioonilahenduste tootmises kasutuses olevad peamised lisandid ja nende mõju väliskeskkonnale, praktiline osa.....	139
Tabel 3.17 Maa-aluste hüdroisolatsioonilahenduste ümbertöötlemise meetodid, praktiline osa	140
Tabel 3.18 Maa-aluste hüdroisolatsioonilahenduste mehaaniline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa.....	140
Tabel 3.19 Maa-aluste hüdroisolatsioonilahenduste keemiline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa.....	141
Tabel 3.20 Maa-aluste hüdroisolatsioonilahenduste termiline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa	142
Tabel 3.21 Maa-aluste hüdroisolatsioonilahenduste füüsikaline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa.....	142
Tabel 3.22 Maa-aluste hüdroisolatsioonilahenduste maksumuse võrdlus, praktiline osa.....	144

JOONISTE LOETELU

Joonis 1.1 Iga üksuse protsessi keskkonnamõjud	38
Joonis 1.2 Iga üksuse protsessi keskkonnamõjud	48
Joonis 1.3 Erinevate bentoniidi tüüpide kasutamine tööstusvaldkondades	60
Joonis 3.1 Aurukottide kahjustused, praktiline osa	75
Joonis 3.2 Sammal ja orgaanilised reoained, praktiline osa	76
Joonis 3.3 Mehaanilised kahjustused, praktiline osa	77
Joonis 3.4 Puistekihi valgumine, praktiline osa.....	78
Joonis 3.5 Keevitamata SBS, praktiline osa	79
Joonis 3.6 Tihendamata läbiviigid, praktiline osa	80
Joonis 3.7 Sagedased vead SBS paigaldamisel, praktiline osa	80
Joonis 3.8 Tugevdused sisemised ja välisnurgad, praktiline osa.....	82
Joonis 3.9 Vale laiusega paanid, praktiline osa	83
Joonis 3.10 Madal ülespööre, praktiline osa.....	84
Joonis 3.11 Lohud katuseembraanil, praktiline osa	84
Joonis 3.12 Seadme vale keevitustemperatuur, praktiline osa	85
Joonis 3.13 Sagedased vead PVC membraani paigaldamisel, praktiline osa	86
Joonis 3.14 Sagedased vead TPO membraani paigaldamisel, praktiline osa	86
Joonis 3.15 Lühike või liiga pikk ülekate, praktiline osa	88
Joonis 3.16 Valed kinnitustarvikud, praktiline osa.....	89
Joonis 3.17 Profiili vale paigalduskõrgus, praktiline osa	89
Joonis 3.18 Osaliselt katkestatud profiil, praktiline osa.....	90
Joonis 3.19 Sagedased vead metall-lehe paigaldamisel, praktiline osa.....	91
Joonis 3.20 Savilindi ebapiisav ülekate või ülekate puudub, praktiline osa.....	92
Joonis 3.21 Sagedased vead savilindi paigaldamisel, praktiline osa	93
Joonis 3.22 Injekteerimisvooliku paigaldusprotsessi näide, praktiline osa.....	120
Joonis 3.23 Punktinjekteerimise näide, praktiline osa.....	122
Joonis 3.24 Täiendava hüdroisolatsioonikihi peale kandmine konstruktsiooni veepidavuse saavutamiseks, praktiline osa	123
Joonis 3.25 CO ₂ gaaside eraldamise hulk materjali tootmisetapis, praktiline osa.....	130
Joonis 3.26 Katuseembraanide kasutusiga, praktiline osa	136
Joonis 3.26 CO ₂ gaaside eraldamise hulk materjali tootmisetapis, praktiline osa.....	139
Joonis 3.27 Maa-aluste hüdroisolatsioonilahenduste kasutusiga, praktiline osa.....	143

SISSEJUHATUS

Käesolevas magistritöös kirjeldatakse väliskeskkonnaga kokkupuutuvate lamekatuste ja maa-aluste raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjale, analüüsitakse nende tugevusi ja nõrkusi ning võrreldakse erinevaid lahendusi. Magistritöö käsitleb hüdroisolatsioonimaterjalide mõju keskkonnale, sealhulgas materjalide kasutusiga, materjalide ümbertöötlemist, süsteemi CO₂-emissioone, materjalide sobivust Eesti kliimaga, lahenduste rahalist aspekti ja otstarbekust.

Ehitusvaldkonna inseneride kasvav huvi rohepöörde suunas nõuab materjalivalikul arvestamist mitte ainult maksumusega, vaid ka teiste oluliste teguritega. Turul olevad hüdroisolatsioonimaterjalid on universaalsed, kuid iga süsteemi tundmine võimaldab valida projekti jaoks optimaalse materjali. Sobiva materjali valimisel tuleb arvestada mitte ainult materjalide parimate omadustega, vaid ka nende vajalikkusega konkreetses projektis.

Enne materjali valiku kinnitamist projektis tuleb hinnata materjali sobivust hoone konstruktsioonile, riigi kliimale ja eripärasele väliskeskkonna mõjule antud piirkonnas. Mõned hüdroisolatsioonimaterjalid ei sobi Eesti kliimasse, mis võib põhjustada materjali ostjale probleeme, kuna paigaldatud või projekteeritud lahendus võib vajada korrigeerimist või täielikku eemaldamist, lisaks mõjutab see negatiivselt keskkonda raisatud materjalide tõttu.

Töö käigus tutvustatakse Eesti ja Soome piirkonnas mittetoimivate hüdroisolatsioonilahenduste näiteid kogutud informatsiooni põhjal, korraldatakse intervjuusid, analüüsitakse defekte, hinnatakse iga defekti mõju hoone omadustele ja omanikule ning antakse juhiseid olukorra parandamiseks. Arvutatakse iga hüdroisolatsioonimaterjali CO₂-emissioon süsiniku jalajälje kalkulaatori või keskkonnamõju deklaratsioonide abil. Koostatakse tabel, milles võrreldakse hüdroisolatsioonimaterjalide tugevusi ja nõrkusi, arvestades materjali kasutusiga, ümbertöötlemise võimalusi, CO₂-emissiooni, materjali sobivust Eesti kliimaga ning rahalist aspekti.

Antud lõputöö on aktuaalne, kuna see pakub ülevaadet ja võrdlust Eesti kliimale sobivatest hüdroisolatsioonimaterjalidest, kirjeldab õige paigaldusprotsessi töös käsitletud hüdroisolatsioonimaterjalide jaoks ning käsitleb vale paigaldustehnoloogia tagajärgi äärmuslikes kliimatingimustes.

Võtmesõnad: hüdroisolatsioon, kliima, CO₂, sobivus, magistritöö

LÕPUTÖÖ FOOKUS JA EESMÄRGID

Töö eesmärk on analüüsida kõige sagedamini esinevaid vigu ja defekte töös analüüsitud hüdroisolatsioonimaterjalide paigaldamisel ja valikul, sealhulgas projekteerimisvigade mõju. Selgitada välja nendega seotud riskid ning nende parandamise viisid. Uuritakse, kes on vigade toimepanijad ja kuidas vähendada nende esinemissagedust. Töö hõlmab analüüsi lamekatuse- ja monoliitse raudbetoonkonstruktsiooni töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalidest Eesti turul, pakkudes nendele materjalidele hinnangu võrdlustabeli kujul järgmistes kategooriates:

1. Materjali kasutusiga
2. CO₂ emissioon ja keskkonnasõbralikkus
3. Ümbertöötlemise meetodid ja võimalused
4. Sobivus Eesti kliimatingimustega
5. Materjalide maksumus
6. Mittetoimivate lahenduste parandusmeetodid

Töös analüüsitakse järgmiseid katuseembraane ja monoliitse raudbetoonkonstruktsiooni töövuukide hüdroisolatsioonimaterjale.

Katuseembraanid:

1. PVC katuseembraan
2. TPO katuseembraan
3. SBS katuseembraan

Monoliitse raudbetoonkonstruktsiooni töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalide:

1. Bentoniitlint
2. Metallprofiilid

Uurimistöö eesmärkide saavutamiseks ja ülesannete lahendamiseks on püstitatud järgmised küsimused:

1. Mida tähendab mittetoimiv hüdroisolatsioonilahendus Eestis kliima seisukohalt?
2. Millised võimalikud riskid kaasnevad mittetoimiva lahenduse kasutamise ja projekteerimisega Eesti kliimatingimustes ja kas kõik riskid on omavahel võrreldavad nende mõju astme poolest?
3. Milline analüüsitud hüdroisolatsioonimaterjalidest on parim, või kas kõik sõltub konkreetsest juhtumist ning erinevates olukordades võib üks materjal olla teisest parem või halvem?

Magistritöö on jaotatud kolme etappi. Esimeses etapis esitatakse kirjanduse ülevaade, milles käsitletakse Eestis kasutatavaid hüdroisolatsioonilahenduste tüüpe ja nende sobivust kliimaga. Järgnevas etapis analüüsitakse materjale, hinnates nende jätkusuutlikkust, CO2 emissiooni ja keskkonnasõbralikkust, ümbertöötlemist, sobivust väliskeskkonna mõjuga ning lahenduse maksumust ja mittetoimivate hüdroisolatsiooni lahenduste parandusmeetodeid. Viimases etapis tehakse analüüsi põhjal järeldused ning vastatakse püstitatud küsimustele, et saavutada töö eesmärgid.

Teema suuremahulisuse tõttu analüüsi lõputöös ainult sisukorras viidatud hüdroisolatsiooni lahendusi või materjalide tüüpe. Töö kirjutamisel ja materjalide valimisel lähtus autor oma kogemusest ning huvi tõttu just valitud materjalide vastu. Oma analüüsi jaoks otsustasin valida just need hüdroisolatsioonimaterjalid järgmistel põhjustel. PVC materjal on tuntud oma väikese kaalu ja hea vastupidavuse poolest keskkonnamõjudele. TPO materjal omab head keemilist vastupidavust ja mis kõige tähtsam, tõrjub suures koguses UV-kiirgust, mis pikendab materjali eluiga. SBS materjal on tuntud oma elastsuse poolest madalatel ja kõrgetel temperatuuridel, mis on eriti oluline Eesti kliimatingimustes. Savilint ja metallprofiilid on turul juba pikka aega kasutusel ja on tuntud kui usaldusväärsed tooted, pakkudes veekindlaid lahendusi töövuukidele raudbetoonist monoliitkonstruktsioonides

Materjalid, mida lõputöö ei hõlmanud, ei olnud põhjalikult analüüsitud ega võrreldud töös käsitletud hüdroisolatsiooni tüüpidega.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Käesolevas peatükis kirjeldatakse töö analüüsitud hüdroisolatsioonimaterjale, keskendudes eriti lamekatuste ning monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalidele. Iga materjali puhul selgitatakse selle tugevaid ja nõrku külgi. Materjali omaduste tundmine võimaldab teha ettepanekuid selle kasutamise otstarbekuse kohta erinevates keskkondades ning tuua välja tingimused, mille puhul selle kasutamist tuleks vältida. Lisaks Eestis levinud materjalidele antakse ülevaade ka neist materjalidest, mis ei sobi Eesti kliimasse ja mille kasutamine võib kaasa tuua nii rahalised kulutused kui ka maa ressurside raiskamise.

Sageli on õige ja sobiva lahenduse leidmiseks vajalik võrrelda praegu käsitletava projekti varasemate ehitiste lahendustega, mis on kasutusel olnud juba 10 või 20 aastat. Selline lähenemine on asjakohane, kui tegemist on sarnaste väliskeskkonna tingimustega ja tellija pole vastu sellisele probleemilahenduse lähenemisele projektis. Kui klient aga soovib projektis kasutada uusi lahendusi, tuleb osata valida õige variant uute ja alternatiivsete hüdroisolatsioonitüüpide vahel. Selleks tuleb isolatsiooni valimisel pöörata tähelepanu mitmetele võtmeteguritele, mis määravad õige lahenduse valiku.

Kirjanduse ülevaate käigus otsitakse vastuseid järgmistele küsimustele:

- Kuidas tagada hüdroisolatsioonimaterjalide õige valik?
- Millised hüdroisolatsioonimaterjalid on sobimatud Eesti kliimasse?
- Mis on iga materjali nõrgad ja tugevad küljed?

1.1 Lõputöös käsitletud lamekatuse hüdroisolatsioonimaterjalid

Selles peatükis täpsemini räägitakse järgmistest katuse hüdroisolatsioonimaterjalidest.

1. Katuseembraani PVC rullmaterjalist hüdroisolatsioon
2. Katuseembraani TPO rullmaterjalist hüdroisolatsioon
3. Katuseembraani SBS rullmaterjalist hüdroisolatsioon

Peatükis käsitletud lahendused on universaalsed ning enamasti sobib kasutamiseks samas projektis. Kuid minnes detailidesse tuleb välja, et igal materjalil on oma eripärad millega tuleb arvestada.

1.1.1 Polümeersest membraanist PVC hüdroisolatsioon ajalugu ja üldine informatsioon

PVC hüdroisolatsiooni membraan teisesõnu polüvinüülkloriid oli loodud 1920 aastal Waldo Semon ettevõttes BFGoodrich. Polüvinüülkloriid on termoplast, ainult USAs PVC materjali tootmise võimsus on umbes 7,25 miljardit kilogrammi aastas. PVC materjal on inimkonna poolt juba rohkem kui sajandi vältel kasutatud ja see jääb siiani üheks enim uuritud materjaliks. [1]

PVC materjali seisund on väga mitmekesine, see võib olla jäik või paindlik, läbipaistev või läbipaistmatu, sõltuvalt lisatud lisanditest ja plastifikaatorite lisamise kogusest. PVC materjali töötlemiseks on palju erinevaid variante näiteks seda on võimalik töödelda lahuse, pasta või pulbrina, samal ajal materjali on võimalik ekstrudeerida, kasutada survevalu, kastmisvalu või pöörlevalu, kaetada noa või tagasikerimisega levitamise meetodil. Iga töötlemise meetod on unikaalne ning valitakse vastavalt otstarbele. [1]

Kui PVC on paindlik, on see tingitud selle segamisest pehmedajaga. Pehmendi kogus ja tüüp määravad muuhulgas valmistoodangu pandlikkuse, tugevuse, meditsiinilise kasutuse ning kõrgete ja madalate temperatuuride omadused. Paindlike toodete näideteks on seinakatted, rõivad, dušikardinad ja juhtmestiku isolatsioon. [1]

Erinevalt paindlikust PVC-st ei sisalda jäik PVC pehmedit, kuid võib sisaldada muid jäikadele materjalidele omaseid lisandeid, nagu löögikindluse parandajad. Jäikade kasutusala hulka kuuluvad torud, voodrilauad, aknad, aiad ja paljud eriotstarbelised profiilid mööbli, autotööstuse ja tööstuslike rakenduste jaoks. Mõningaid neist profiiltoodetest valmistatakse nüüd ka jäigast vahustatud PVC-st, mis pakub sama materjali eeliseid väiksema kaaluga. [1]

PVC materjali toomisprotsessis kasutatavad peamised lisandid

Rääkides PVC toomisprotsessis kasutuses olevatest lisanditest kõigepealt on vaja alustada platsifikaatoritest, kuna täpselt plastifikaatoritest sõltub materjali paindlikus, tugevus, kõrgete ja madalate temperatuuride omadused. Plastifikaatorid on suured orgaanilised molekulid mille kaal on tavaliselt järgmises suurusjärgus 300-600 g/mol. Selleks, et PVC materjal oleks piisavalt paindlik on vaja vähemalt 15 osa plastifikaatorit 100 osa vaigu kohta. Kui plastifikaatori kogus on väiksem, tekib antiplastifitseerimine mis suurendab materjali jäikust. Plastifikaatoreid võib kasutada üksi või kombinatsioonis, et saavutada soovitud omadusi, nagu tõmbetugevus ja rebimiskindlus või madalatemperatuuriline paindlikkus. Esimene lause tähendab, et PVC muutmiseks

paindlikuks materjaliks on vajalik minimaalne kogus plastifikaatorit. Kõige levinud plastifikaatorite tüübid on Ftalaadid ja adipaadid kuna pakuvad head tasakaalu madala yoksilisuse, ühilduvuse hostmaterjaliga, lenduvuse puudumise ja kulude vahel. [1]

Kuna PVC materjal ei ole termiliselt ebastabiilne tema arendamine sõltus sama palju termiliste stabilisaatorite väljatöötamisest kui ka plastifikaatorite avastamisest. Stabilisaatorid põhinevad tavaliselt metallil, pliipõhised ühendid olid mõned esimesed kasutatud stabilisaatorid, kuid eriti jäikade materjalide tõttu olid hiljem asendatud. [1]

Selleks, et hoida kontrolli all sulandumine ja metalli vabastamine jäikades PVC-toodetes lisatakse määrdeid. Neid on kaks tüüpi, täpsemini sisemine ja välimine. Väline määrdeaine soodustab peamiselt metalli vabanemist. Sisemine määrdeaine aitab sulamisprotsessi ja avaldab sarnast mõju polümeersetele ahelatele nagu plastifikaator. [1]

PVC materjali ümbertöötlemise võimalused

Kuna PVC materjal on üks kõige sagedamini kasutatavaid termoplastilisi materjale mitte ainult ehitusfääris kui ka meditsiinis ja toidu pakenditööstuses iga aastaga suureneb vajadus kasutatud materjali ümbertöötlemiseks. [2]

Alati on lihtsam kasutatud materjali või demonteeritud katusekatet lihtsalt prügi viisata, kuid selline käitumine tänapäevaks ei ole meie maailmas aktsepteeritud. Saastades planeeti kasutatud materjalidega, pole võimalik lõpmatult jätkata. See, mida me praegu teeme, mõjutab nii meid ennast kui ka meie tulevasi põlvkondi. [2]

PVC materjali mehaaniline ümbertöötlemine

Kõige soovitam meetod PVC materjali ümbertöötlemiseks on mehaaniline töötlemine. Vaadates kõige soodsama olukorda on lihtsam viis materjali ümber töödelda otse tootmisettevõttes, kus jäätmed tekivad. Sellised jäätmed tekivad näiteks tootmise alguses ja lõpus ning valmistoodangu või tootmisvigadest tingitud jäätmete mehaanilise töötlemise käigus. PVC jäätmeid peale mehaanilist jahvatamist saab näiteks kasutada lisandina uue PVC materjali tootmisprotsessis. Üks väga oluline faktor, et samas tootmisettevõttes ümbertöödeldud PVC jäätmetel oleks võimalik teada koostis. Sellel juhul on võimalik ümbertöödeldud PVC omadused täiendavalt parandada lisandite abil. [2]

Rääkides ümbertöötlemisest ei tohi unustada, et PVC materjalis lisaks pea lisanditele on palju erinevaid mineraalseid täitematerjale, nagu kriit, talk jne. Niisuguste nüansside teadmine võimaldab toota suurepärasega omadustega materjali säästes maa ressursi.

Sellega mõnel juhul võib PVC materjali ümbertöötlemine võrreldes esmaste materjalide kasutamiseks vajaliku energiakulu säästa kuni 90% energiat. Võttes seda faktorit arvesse on võimalik vähendada CO₂ heitkogused. [2]

Vana hoone lammutamise järel tekkivaid PVC jäätmeid, samuti PVC materjalist torusid ja näiteks PVC materjalist pudeleid on võimalik ringlusse võtta ja mehaaniliselt töödelda. Siiski sellel juhul ringlusvõtu protsess palju keerulisem ja ajamahukam, kuna kvaliteetse materjali saamiseks on vaja lisada suuremaid lisandeid, et materjali näitajad oleksid tasakaalus. Samuti sorteeritakse materjal enne tööde alustamist selle päritolu järgi, kuna mõned PVC tüübid mõjutavad üksteist kahjulikult ja nende omadused on vastuolulised. [3]

PVC materjali keemiline ümbertöötlemine

Lisaks materjali mehaanilisele ümbertöötlemise protsessile on nii öelda „feedstock“ ümbertöötlemine, mis omakorda tähendab materjali keemiline ümbertöötlemine. Keemiline ümbertöötlemine rohkem sobib sorteerimata PVC jääkide ümbertöötlemiseks mille puhul mehaaniline ümbertöötlemine ei ole võimalik oma raskuse ja ebaökonoomsuse põhjusel. PVC jäätmete termiline transformatsioon on protsess, mis hõlmab nende jäätmete termilist töötlemist vesinikklooriidi eraldamiseks, mida seejärel töödeldakse PVC tootmiseks või muudeks keemilisteks protsessideks. Kahjuks suurem osa uuringutest kinnitab PVC termilise ringlussevõttu meetodeid ebatõhusaks ja seetõttu tulevikku mittevaatavateks, on praegu käimas tohutu suur kogus uurimistegevused nende protsesside optimeerimiseks. [2]

Suurem osa probleemidest termilisel ümbertöötlemisel seotud kasutatavate PVC koostises lisanditega nagu plastifikaatorid, stabilisaatorid. Tänapäeval need lisandid keelatud, kuna need on kahjulikud. Kui me ei pööra tähelepanu sellele, kuidas õigesti taaskasutada PVC-d ja muid kloori sisaldavaid materjale, võib see tõsiselt kahjustada seadmeid korrosiooni tõttu, mida põhjustavad protsessis tekkivad gaasid. PVC termiline töötlemine jaguneb tavaliselt kaheks osaks: esmalt eemaldatakse kloor, et vältida keskkonnakahju ja suurendada saadavate süsivesiniku hulka ja peale seda kasutada järelejäänud süsivesinikke. Protsessi lõpus on vaja puhastada gaase vesinikklooriidist. Praegu tegelevad teadlased aktiivselt tööga, et muuta PVC jäätmed klooriks, vesinikklooriidiks ja soolaks, ning peavad neid tooteid mitte lihtsalt prügiks, vaid väärtuslikuks materjaliks edasiseks kasutamiseks. On väga oluline leida viis kloori eemaldamiseks PVC jäätmetest enne nende lõplikku kõrvaldamist, ja see on üks kaasaegse jäätmete taaskasutamise uuringute peamisi ülesandeid. [2]

PVC katusekatte materjali keskkonnasõbralikus ja jätkusuutlikkus

Tänapäeval lamekatused muutuvad iga aastaga populaarsem ja populaarsem. Lamekatusel võrreldes kaldkatusega on palju eeliseid, kuid samal ajal katuse hüdroisolatsioon nõuab rohkem tähelepanu pööramist. Lamekatuse kaldenurk võrreldes kaldkatusega on palju väiksem ning iga väike eksimus hüdroisolatsiooni paigaldamisel toob kaasa tohutu suured nii rahakulud kui ka keskkonna probleemid. Praegu ei piisa ainult katusematerjali ilust, inimesed samal ajal mõtlevad materjali praktilisusest, sobivust kliimale ja paljudest teistest teguritest.

PVC materjali keskkonnasõbralikus

Greenpeace viimase 30 aasta jooksul pidanud kampaaniat, et keelata PVC tootmist ja kasutamist. Vältides see faktor PVC tarbimine 2016 aastal oli umbes 400 miljonit tonni ning oodatakse, et see näitaja kasvab iga aasta 2,3% võtta kuni 2024 aastani. Praegu on ehitustoodete valdkond PVC suurim tarbija, moodustades umbes 60-70% selle kogutarbimisest. Ehituses kasutatakse PVC-d sellistes rakendustes nagu torud, juhtmed, kiled jne. [4]

PVC on kuulub polümeeri ja plastiku gruppidesse mida inimesed kasutavad igapäevaselt alates 19-ndast sajandist. Praegu toodetakse kuni 95% kõigist sünteetilistest ainetest fossiilsetest ressurssidest. PVC materjali sünteesis peamiselt on kaasatud järgmised elemendid: [4]

1. VCM – vinüülkloriidmonomeer on keemiline aine. See on ohtlik kuna sissehingamisel võib põhjustada tõsiseid haigusi, sh. vähki, maksa ja kopsude kahjustusi. Seetõttu on oluline järgida ohutusnõudeid töötamisel selle ainega ja minimeerida heitkoguseid keskkonda. [4]
2. Stabilisaatorid – Mõned stabilisaatorid sisaldavad rasked metallid mille mõju inimesele tervisele on tohutu ohtlik. Needid ained võivad põhjustada mürgistusi, närvisüsteemi, neerude, luuüdi töö häireid ja muid tõsiseid tervisemõjusid. [4]
3. Plastifikaatorid - Nad võivad sisaldada ftalaate (keemiline ühend, mida kasutatakse plastifikaatorina paljudes plastmaterjalides), mis pole meile eriti head. Ftalaadid võivad häirida meie hormoonide tööd ja põhjustada terviseprobleeme, näiteks reproduktiivsüsteemiga. On eriti tähtis kaitsta lapsi ja kasutada ohutuid meditsiiniseadmeid [4]

Näiteks alates 2008 aastast organisatsioon ECHA kajastas oma nimikirjas 8 ftalaadi mille mõju inimese tervisele on väga ohtlik ja viib inimese surmani. Mainides eelnimetatud keemilist ainet VMC järeldatakse sellele, et PVC ümbertöötlemine on väga raskendatud kuna PVC materjali kuumutamine võib põhjustada dioksiini vabanemist. [4]

Kuna ehitustööstus on PVC kõige olulisem kasutaja, siis just siin saab saavutada suurimad parendused. Praegu domineerib PVC mõnedes ehitusturu segmentides. USA-s ja Kanadas on üle 70% hiljuti paigaldatud maa-alustest veetorudest ja 75% kanalisatsioonitorudest valmistatud PVC-st. Nende kasutusalaade teenindusaja täpne mõistmine pole täielikult teada ja seda hinnatakse tavaliselt vahemikus 40 kuni 80 aastat. Üldiselt peetakse PVC kättesaadavust peamiseks eeliseks. Siiski on turul juba olemas PVC alternatiivid kõigile ehituslikuks kasutamiseks. Kõigist teistest polümeeridest võib polüetüleen (PE) tõhusalt asendada paljusid PVC ehituslikke rakendusi. Polüetüleen on saadaval kõrge tihedusega (HDPE) ja madala tihedusega (LDPE) vormis ning seda peetakse hetkel üheks kõige ohutumaks polümeeriks laialdasel kasutamise. [4]

Võttes arvesse eelnimetatud faktorid ja kirjanduses viidatud informatsiooni on võimalik järeldada, et tänapäeval PVC kõrval seisavad puhtama struktuuriga materjalid, mille mõju keskkonnale ning inimese tervisele ei ole nii kahjulik. Samas ei tohi väita, et teiste materjalide kasutamisel maavarasid ei vähene ega mõju keskkonnale kaob täielikult. Hetkel peamine probleem PVC materjali jätkusuutlikkuses on materjali ebastabiilne termiline pidevus mille tulemusena eraldub keemiline aine VCM ning samal põhjusel raskendatud tooraine taaskasutus. Eelnimetatud probleemi lahenduse leidmisel materjal muutub palju atraktiivsemaks ning rohelisemaks.

PVC materjali jätkusuutlikkus

Materjali paindlikkus madalate ning kõrgete temperatuuride juures on väga oluline tegur hüdroisolatsiooni puhul. Väga madala temperatuuri puhul väikse paindlikkusega materjal muutub hapraseks ning mehaanilise mõju all praguneb mis viib katuse veelekketele. Väga kõrge temperatuuri puhul materjali paindlikkus suureneb paljukordselt see toob kaasa struktuuri rikkumine ja terviku struktuuri kaotamine. [5]

Selleks, et aru saada kui hästi materjal tuleb madalate temperatuuridega toime tehakse katsetus vastavalt SIA280 meetodile. Vastavalt sellele meetodile materjali ei pea pragunema -20 temperatuuri puhul mehaanilisel mõjul. [5]

„Viis 10 mm laiust ristkülikukujulist proovi painutatakse umbes 15 mm raadiusega ja kinnitatakse kahe metallplaadi vahele. Seejärel hoitakse katsevahendit kambris ja

lastakse soovitud testitemperatuurini jahtuda. Kui proovid on saavutanud nõutud temperatuuri, eemaldatakse seade sügavkülmast ja kaks metallplaati surutakse kohe ja kiiresti kokku, nii et proovid painduvad 5 mm raadiuseni". [5]

Katsetuse läbi viimisel kasutati 40 PVC katusekatte proovi mille keskmine vanus oli 25 aastat. Peale katsetuse lõpetamist 25 proovi 40-st jätkuvalt vastavad uute materjalide nõuetele vastavalt SIA nõuetele, mille kohaselt peab madalaim temperatuur olema -20 °C või madalam. [5]

PVC katusekatte materjali omadused muutuvad mitte ainult temperatuuri mõjul, kuid ka UV-kiirguse mõjul. Selleks, et oleks võimalik hinnata materjali vastupidavus UV-kiirgusele PVC katusekattest proovid asetakse tehisliku keskkonda. Tehislikus keskkonnas loodi tingimused, mis jäljendavad materjali mõjutavaid reaalseid keskkonnaolusid. Katsetulemuste põhjal selgus, et ultraviolettkiirguse mõjul 0 kuni 400 tunni jooksul suurenes PVC-membraanide keskmine tugevus 20%. Ultraviolettkiirguse kestuse suurenedes täheldati materjali tugevuse vähenemist, mis viitab hävitusprotsesside algusele. Vananemise hilisemates etappides tugevus vähenes monotoonselt mikrokahjustuste kuhjumise tõttu. Peale UV-kiirguse vananemist täheldati proovide keskmise suhtelise venivuse 30% suurenemist võrreldes algväärtustega, mis tähendab, et materjal muutus kuumutamisel plastilisemaks. Samuti täheldati, et materjali struktuur oli tasakaalustatud ja venivus toimus lineaarsemalt. [6]

Toodud kirjanduse analüüsil võib järeldada, et PVC materjalist katusekate saab hästi hakkama pidevalt madalate temperatuuriga. Materjali paindlikkus langeb, kuid see ei vii materjali purunemiseni ning materjali tervikus sellel põhjusel ei lange. Pidevalt kõrged temperatuurid ning suur UV-kiirgus mõjutab materjalile halvast küljest. Pikaajalisel UV-kiirguse mõjul PVC materjali tugevus langeb ning plastsus suureneb mille põhjusel uuringus katsetatud PVC tüüp ei sobi pikaajaliseks kasutamiseks regioonis kõrge UV-kiirguse mõjuga. Kui tegelikult turul on PVC materjali tüübid millised on vastupidavad UV-kiirgusele ja pikaajaliselt püsivad isegi kõrge UV mõjul.

PVC katusekate ja tema omadused

PVC on termoplastiline katusemembran, mis eristub erakordselt kõrge tugevuse ja kvaliteediga. [7]

Allpool on toodud materjali põhiomadused:

1. Paksus – 1,8 mm [7]
2. Tõmbetugevus – > 1800 N/50mm [7]
3. Paindlikkus madalatel temperatuuridel – <-40 °C [7]

4. Kokkupuude UV kiirgusega – määramata kui sisaldab struktuuris NPD pigmenti [7]
5. Vastupidavus staatilisele koormusele – >30 kg [7]

PVC katusekatte paigaldusprotsessi selgitamine

Vaatame lühidalt, kuidas paigaldada PVC-membraane vastavalt Protani juhendile. [8]

1. Veenduge, et aluspind on puhas ja kuiv. [8]
2. Rullige lahti PVC membraan. [8]
3. Sõltuvalt katuse tsoonist kasutage vajaliku laiusega PVC paani. [8]
4. Sõltuvalt katuse tsoonist kinnitage membraan kinnitusdetailidega vajaliku sammu järgi. [8]
5. Seadke keevitusseadme kiirus ja temperatuur [8]
6. Kasutage tugevdamiseks profiili parapetti alumises tsoonis ning sarnastes kohtades [8]
7. Kinnitage konstruktsiooni välis- ja sisenukkadesse tugevduselemendid. [8]
8. Kontrollige tehtud töö kvaliteeti. [8]

1.1.2 Polümeersest membraanist TPO hüdroisolatsiooni ajalugu ja üldine informatsioon

TPO ehk teisiti termoplastiline polüolefiin on polümeeritüüp, mis pehmeneb kuumutamisel pöörduvas protsessis. Pöörduv protsess on keemiline reaktsioon, mis toimub mõlemas suunas, näiteks teatud tingimuste täitmisel, need tingimused viivad polümeeride tagasipöördumiseni nende algse oleku või struktuurini. Selline käitumine polümeerkeemias hõlmab polümerisatsiooni ja depolümerisatsiooni, kristalliseerumist ja sulamist. TPO on materjal, mis sisaldab üle 95% TPO polümeerist massiprotsendi järgi. Euroopas on materjali laialdaselt kasutatud juba üle 30 aasta ja USA-s alates 1987. aastast. [9]

On palju TPO materjali olekuid sõltuvalt selle materjali töötlemisest ning kasutusala. TPO materjali erinevad seisundid võimaldavad eelnimetatud materjali kasutada mitmesugustes sfäärides. [9]

TPO materjali tootmisprotsessis kasutatavad peamised lisandid

TPO materjali tootmisprotsessis kasutatud lisandid mängivad väga olulist rolli TPO struktuuri ning materjali käitumise suhtes. Mõnes lisandid toovad kaasa materjali füüsiliste omaduste parandamist, teised lisandid tagavad materjali suuremat

vastupidavust UV-kiirgusele ja kolmandad suurendavad materjali taluvust erinevate temperatuuritingimustele. Selles alapeatükis kirjeldatakse peamiste lisandite kasutamist ühtlase struktuuriga TPO materjali moodustamiseks ning tootmiseks. [10]

Allpool on kirjeldatud peamised TPO tootmisprotsessis kasutuses olevad lisandid:

1. Antioxidandid ja kuumusstabilisatsioon – kuna TPO materjal nagu teised termoplastilised struktuurid on kuumus ja hapnikutundlikud nende töötlemisel võib tekkida reaktsioon mille tulemusena tekitab molekulaarsete ahelate murdumist ja lühenemist ehk ahela lõikamist. Selleks, et seda vältida töötlemisprotsessis kasutatakse autoooksüdatsiooni protsessi, mis viib polümeeri järkjärgulise lagunemiseni ning vähendab riski ahela murdumiseks. [10]
2. Ultravioletne valguskaitse ja stabiliseerimine – UV kiirguse mõjul TPO materjali omadused muutuvad täpsemini materjali värv hajub, tugevus langeb, tekkivad praod. Sellel põhjusel pööratakse UV-blokeerivatele, -absorbeerivatele ja -stabiliseerivatele lisanditele suurt tähelepanu. UV-blokeerijad ja ekraanid kasutavad tavaliselt süsinikmusta ja teisi pigmente või täiteaineid, et muuta vaik läbipaistmatuks. Titaandioksiid on selles kontekstis hinnatud oma võime tõttu efektiivselt UV-kiirgust blokeerida ja neelata, muutes seeläbi materjali vastupidavaks UV-kiirguse kahjulikele mõjudele. Need pigmendid ja täiteained mitte ainult ei takista UV-valguse läbimist, vaid muundavad ka osa neelatud UV-kiirgusest soojuseks, aidates kaasa materjali stabiilsusele ja pikaealisusele. [10]
3. Leegiaeglustavad lisandid – Kuna plastiliste materjalide mahu kasutamine tootmisprotsessis iga aastaga suureneb see oli ainult aja küsimus millal inimestel tekkib soov neid teha tulekindlaks. Selleks, et tootel oleks võimalik saavutada vajalikku tulekindlust lisatakse halogeenitud tulekindlad ained. Tulekindlad ained koos broomi ja klooriga püüavad kinni vabad radikaalid struktuuris ja seeläbi peatavad põlemisprotsessi, asendades vesiniku ja hüdroksiili radikaalid kloori ja broomi radikaalidega. See protsess toimub korduvalt ringis. [10]

Analüüsid eeltoodud infot väidan, et TPO materjali tootmine stabiilsete omadustega võimalik ainult vajalike lisandite abil. Vastasel juhul materjali struktuur ei ole ühtlane, materjali pikaajalisus väheneb, vastupidavus ilmastiku mõjule väheneb ning materjali tootmisemaht samal põhjusel suureneb.

TPO materjali ümbertöötlemise võimalused

TPO materjali ümbertöötlemine on väga oluline vaadates nii ökoloogilise kui ka majandusliku aspekti. Viimase 50 aasta jooksul on rahvastiku arv pidevalt ja jõuliselt

kasvanud, mis omakorda on kaasa toonud nõudluse uute materjalide järele tarbijate vajaduste rahuldamiseks. Seetõttu on materjalide turule ilmunud suur hulk polümeerimaterjale. Selliste materjalide näideteks on kumm, fenoolvaigud, polüuretaanvahud. Suur osa, nimelt 80% sellistest plastidest, on termoplastid. Pool neist kasutatakse ühekordselt kasutatavates toodetes. Veerand kasutatakse pikaajalistes toodetes, nagu katusekattematerjalid. Oodatakse, et aastane tootmine kasvab 2050. aastaks enam kui 1100 miljoni tonnini. Hoolimata toote kasutusea pikkusest, peaks iga ese olema ringlusse võetav ja taaskasutatav. [11]

TPO materjali saab järgmiste meetoditega ümber töödelda: [11]

1. Mehaaniline
2. Keemiline
3. Põletamine

TPO materjali mehaaniline ümbertöötlemine

Mehaaniline protsess kujutab endast füüsilist mõju materjalile. Selles meetodis vormitakse TPO materjali jäätmed esmalt lõikamise, jahvatamise või pesemise teel granuleeritud, helveste või pelletite kujul, mis on vajalik kvaliteet edasiseks tootmiseks. Seejärel sulatatakse materjal uue toote valmistamiseks ekstrusioonimeetodil. Pärast nimetatud protsessi saadud materjali võib segada algmaterjaliga, et saada kvaliteetsemaid lõpptulemusi. Pärast seda, kui plast on sorteeritud, puhastatud, kuivatatud ja seejärel otse lõpp-toodetesse töödeldud, väheneb plastjäätmete kogus märkimisväärselt. Selle meetodi puudusteks on saadud struktuuri heterogeensus ja materjali kvaliteedi halvenemine iga korduvtsükli järel. Peamiseks eeliseks antud meetodi puhul on töötlemisprotsessi maksumus. [12]

Kokkuvõttes võib öelda, et see meetod on väga kasulik, kui tegeletakse jäätmega, mille struktuur on ühtne, sest sel juhul on võimalik saada homogeense struktuuriga materjali ja tulevikus seda uuesti kasutada. Siiski, see meetod ei võimalda materjali lagundada väikesteks osadeks ja saada algset toodet - monomeere, mis on selle meetodi suur puudus.

TPO materjali keemiline ümbertöötlemine

Seda meetodit saab kasutada koos mehaanilise ringlussevõtuga, et saavutada paremaid tulemusi. Keemiline ringlussevõtt tähendab protsessi, kus polümeerid keemiliselt muundatakse monomeerideks või osaliselt depolümeeritakse oligomeerideks keemilise reaktsiooni abil, muutes nende keemilist struktuuri. Saadud monomeere saab kasutada uute polümeeride loomiseks, taastootmaks algset toodet või luues sarnaseid. See viis

võimaldab plastmassi muuta väiksemateks molekulideks, mida saab kasutada toorainena edasiseks tootmiseks, sealhulgas monomeeridest, oligomeeridest või muudest süsivesinike segudest. [12]

Selleks, et polümeerist saada monomeeri vaha polümeeri viia läbi järgmisi protsesse (kirjeldatud ainult peamised reaktsioonid): Hüdrogeenimine, glükolüüs, gaasistamine, hüdrolüüs, pürolüüs, depolümerisatsioon, termiline lõhustumine, fotodegradatsioon, ultrahelidegradatsioon [11]

Keemilise töötlemise meetod TPO materjali jaoks ei ole veel lõpuni uuritud, kuid sellele vaatamata vajab see suurt tähelepanu, kuna see võimaldab keerulistest polümeerstruktuuridest saada monomeerne struktuur, mis omakorda võimaldab toota uusi materjale suurepärase omadustega inimeste igapäevaelus kasutamiseks. Kõiki ülalmainitud protsesse tuleb põhjalikult uurida, et tuvastada nende puudused ja mõju inimestele ja keskkonnale

TPO põletamine energia saamiseks

Selle meetodi kasutamine oli meie ajastul 20. sajandil laialt levinud, kuna see võimaldas kasutatud tootest, mille elutsükkel oli lõppenud, saada energiat uue toote tootmiseks. Kõige aktiivsem meetod orgaaniliste materjalide mahu vähendamiseks, mis hõlmab energiasaamist, on põletamine lõpp-produktina. Energiatootmise seisukohast on see meetod kindlasti parim, kuid samal ajal keskkonna seisukohast kõige halvem. Põletamismeetodi riskid seisnevad selles, et materjali põletamisel eralduvad õhku toksilised ained, mis toob kaasa keskkonna saastamise riski ning on inimestele kahjulik. [12]

TPO katusekatte materjali keskkonnasõbralikus ja jätkusuutlikkus

TPO katusekatte jätkusuutlikkus ning vastupidavus ilmastiku mõjule on hinnatud väga kõrgelt nagu teiste katusekattete materjalide puhul. TPO materjalist katusekate peegeldab päikevalgust seega vähenevad hoone jahutuskulud. TPO materjal on madala toksilisusega täna kloori puudusele tema struktuuris. [13]

TPO materjali keskkonnasõbralikus

Et näha, kui ökoloogiline on TPO materjal näiteks võrreldes SBS membraaniga, vaatleme järgnevat näidet. Katusemembraanide tootmiseks 1,5 mm paksusega TPO materjalist on vaja 20 barrelit naftaõli, arvestus käib 1000 m² kohta. Samal ajal kui sama mahu membraani jaoks SBS materjalist on vaja juba kahekordselt rohkem naftaõli, nimelt 40

barrelit. Samal ajal ei tohiks unustada, et TPO materjali tootmisel jääb võimalus kasutada TPO materjali jääke või toorainet korduvtootmiseks, olgu need siis tootmisprotsessis üle jäänud materjalilõiked või algne tooraine. [13]

Veel üheks suureks eeliseks TPO katusematerjali puhul on selle katte värv ja päikesekiirgust peegeldav omadus. See omadus võimaldab energiat säästa, vähendades koormust hoone jahutussüsteemile, seeläbi vähendades energiatarbimist ja energiakulusid. [13]

Selleks, et hinnata TPO materjalist katuseembraani jätkusuutlikkust, viidi läbi LCA uuring. See uuring hõlmab oma arvutustes taastumatut esmast energiat, globaalset soojenemist, hapestumist ja fotokeemilist sudu. Analüüsis arvestatakse katuse ruutmeetri kohta, võttes arvesse iga pakutud kriteeriumi. Selgus, et võrreldes SBS materjaliga on TPO ja PVC materjalid peaaegu kaks korda ökoloogilisemad testi tulemuste põhjal. Vaadeldava aspekti hindamine toimub protsentides, kus 100% on maksimaalne mõju antud punktile ning 0% on minimaalne mõju antud pintkile. Uuringu tulemused toodud tabelis „Tabel 1.1 LCA uuringu tulemused“. [13]

Tabel 1.1 LCA uuringu tulemused

Hindamiskriteerium	Materjali nimetus		
	TPO	PVC	SBS
Taastumatu esmane energia	22%	30%	67%
Globaalne soojenemine	33%	40%	79%
Hapestumine	42%	49%	83%
Fotokeemiline sudu	20%	22%	38%

Isegi suure hulga eeliste juures on sellel materjalil puudusi, mida tuleb jätkusuutlikkuse hindamisel arvestada. Ühed suurimad puudused on toksilised gaasid, millest allpool täpsemalt räägitakse. [14]

1. VOC - TPO materjali töötlemisel võivad eralduda lenduvad orgaanilised ühendid (VOC), mis tugevalt saastavad keskkonda ja on samuti osoonitekke ja fotokemilise smogi tekkimise allikaks maapinna lähedal. [14]
2. Raskemetallide moodustamine – Töötlemisprotsessis on võimalik raskemetallide eraldumise oht, kui neid on varem kasutatud stabilisaatoritena. Raskemetallid kogunevad aja jooksul mulda, mis viib keskkonna ja põhjavee saastumiseni. [14]

3. Toksiliste gaaside eraldamine - TPO töötlemisel tekivad HCl ja SO₂. Suur kogus toksilist gaasi eraldub nendest toodetest, mis sisaldavad klooritud lisandeid. Eelmainitud gaasid kujutavad endast suurt ohtu loodusele ja inimesele. [14]

Kogutud teabe kokkuvõtteks võib järeldada, et TPO materjali näitajad jätkusuutlikkuse teemal on rahuldavad. Materjali on võimalik töödelda mitmel viisil, selle tootmiseks vajaliku kütuse nõudlus on väike võrreldes SBS-ga ja samal tasemel PVC-ga. Materjali värv ja struktuur on soodsad päikesekiirguse peegeldamiseks, mis aitab vähendada kodude jahutusulusid. Samal ajal on miinuseid, mille kallal teadlastel tuleks töötada, et vähendada TPO materjali töötlemisel tekkiva ohtu, kuna gaaside ja teiste ainete eraldumine TPO töötlemisel on väga ohtlik inimese tervisele, loodusele ja üldiselt elusorganismidele.

TPO materjali jätkusuutlikkus

Selleks, et aru saada kuidas materjal tuleb toime erinevate ilmastikutingimustega, viidi läbi katsed, mille käigus selgus TPO materjali läbitorkamiskindluse, kaalu muutused. Uuringu tulemused näidatud tabelites „Tabel 1.2 TPO materjali kaalu muutmine ” ja „Tabel 1.3 TPO materjali läbitorkamiskindluse muutmine“. [15]

Esimese katse puhul kontrolliti kuidas TPO materjali kaal muutub erinevate ilmastikutingimuste juures. Algne kaal katseproovist võeti TPO materjali tükk kaaluga 5,07 grammi. Antud katse näitas suurimat kaalukaotust proovis, mis oli 1000 tundi niiskuses ja soolas 0,32 g/L soola vees, nimelt 3,97 protsenti. Sellele kaalukaotusele aitasid kaasa järgmised põhjused. [15]

1. Sool ja niiskus võivad soodustada mõnede materjali komponentide väljauhtumist, eriti kui need on vees lahustuvad [15]
2. Niiske ja soolane keskkond võib materjalis esile kutsuda keemilisi reaktsioone, nagu hüdrolyüs või oksüdatsioon, mis võib viia materjali lagunemiseni ja seeläbi kaalu vähenemiseni [15]

Teisel kohal kaalu kadu poolest osutusid tingimused, kus TPO materjal viibis QUV kambris 2000 tundi atmosfäärirõhu ja UV-kiirguse mõjul, kaalu kadu oli 2,51%. Kaalu kadu oli tingitud järgmistest teguritest. [15]

1. QUV-katsetused jäljendavad materjalidele ultraviolettkiirguse mõju tingimusi, mis põhjustab fotooksidatsiooni ja TPO polümeersetes ahelates lagunemist. See

protsess võib põhjustada haprust, pragusid ja kaalu kadu ilmastikust tingitud kulumise ja madalmolekulaarsete fragmentide eraldumise tõttu. [15]

2. Termilised kõikumised: QUV-kambris simuleeritakse ka temperatuuri kõikumiste tsükleid, jäljendades looduslikke tingimusi soojenemisest jahtumiseni. Sellised temperatuuri kõikumised võivad põhjustada materjali termilist laienemist ja kokkutõmbumist, mis soodustab mikropragude teket ja järk-järgulist kaalu kadu. [15]

Tabel 1.2 TPO materjali kaalu muutmine

Katsetatud TPO materjalide tükkide kaalud (gramm)			
Kasutatud tingimused	Keskmine kaal	Standard Hälve	Kaalu erinevus
Algne kaal	5,07	0,05	0,00%
1000 tundi QUV	5,08	0,04	0,15%
2000 tundi QUV	4,94	0,03	-2,51%
1000 tundi niiskuses ja soolas 0,32 g/L soola vees	4,87	0,03	-3,97%
1000 tundi niiksust	5,05	0,04	-0,32%
20 külmutamise- sulatamise tsüklit	5,00	0,13	-1,33%
40 külmutamise- sulatamise tsüklit	5,03	0,12	-0,82%

Järgmise sammuna testiti TPO materjalide läbitorkamiskindluse muutust, lähtudes ilmastikutingimuste mõjust. Antud katsetes näitasid halvimaid tulemusi need proovid, mis olid läbinud 20 ja samuti 40 külmutamis- ja sulamistsüklit, nende läbitorkamiskindlus vähenes võrreldes algväärtusega 13,72% ja 15,22%. Läbitorkamiskindluse lang seotud järgmiste põhjustega. [15]

1. Mikropraod temperatuurikõikumiste tõttu: Külmutamis- ja sulamistsüklid põhjustavad materjali paisumist ja kokkutõmbumist, mis võib viia mikropragude tekkimiseni selle struktuuris. Need mikropraod halvendavad materjali mehaanilisi omadusi, sealhulgas selle vastupanuvõimet läbistamisele. [15]
2. Faasimuutused materjalis: Materjalis või selle pinnal olev vesi laieneb külmutamisel, mis võib põhjustada lisisest pinget materjalis. Sulamisel võivad need pinged materjali struktuuri nõrgestada, vähendades selle torketugevust. [15]

Tabel 1.3 TPO materjali läbitorkamiskindluse muutmine

Katsetatud TPO materjalide tükide läbitorkamiskindlus (N)			
Kasutatud tingimused	Keskmine läbitorkamiskindlus	Standard Hälve	läbitorkamiskindluse erinevus
Algne läbitorkamiskindlus	891,11	35,19	0,00%
1000 tundi QUV	873,56	46,90	-1,97%
2000 tundi QUV	830,00	39,76	-6,86%
1000 tundi niiskuses ja soolas 0,32 g/L soola vees	856,00	19,29	-3,94%
1000 tundi niiksust	839,33	72,87	-5,81%
20 külmutamise-sulatamise tsüklit	768,89	44,40	-13,72%
40 külmutamise-sulatamise tsüklit	755,44	48,90	-15,22%

Tabelite tulemusi kokkuvõttes võib järeldada, et sulatamis- ja soojendamistsüklid peaaegu ei mõjuta materjali kaalu muutusi, kuid samal ajal vähendavad oluliselt TPO materjali läbitorkamiskindlust. Samal ajal muudab kaalu kadu struktuuri vähem vastupidavaks mehaanilistele mõjudele ja UV-kiirgusele, mis toob kaasa suurema soojuse imendumise ja katuse soojenemise UV-kiirte mõjul. See suurendab omakorda maja jahutussüsteemidele tehtavaid kulutusi. Tasub märkida, et TPO materjalist katuse puhul tuleks võimalikult palju tähelepanu pöörata TPO materjali tugevdusstruktuuri mõjule ja selles kasutatavate plastifikaatorite hulgale, kuna see aitab suurendada materjalide külmumis- ja sulamistsükleid, mille tõttu katus ei kaota oma mehaanilisi omadusi.

TPO materjal ja tema omadused

TPO on homogeenne katusekate, mis põhineb polüolefiinidel. See toode on mõeldud veekindlate detailide pakkumiseks lamekatustel ja väikese kaldega katustel. [16]

1. Paksus – 1,5 mm [16]
2. Tõmbetugevus – > 12 N/mm² [16]
3. Paindlikkus madalatel temperatuuridel – <-25 °C [16]
4. Kokkupuude UV-kiirgusega – > 1000 t [16]

5. Vastupidavus staatilisele koormusele – >20 kg [16]

TPO katusekatte paigaldusprotsessi selgitamine

Vaatame lühidalt, kuidas paigaldada TPO-membraane vastavalt Protan juhendile. [17]

1. Veenduge, et aluspind on puhas ja kuiv. [17]
2. Rullige lahti TPO membraan. [17]
3. Tagage vajalik kihtide ülekatte laius. [17]
4. Sõltuvalt katuse tsoonist kasutage vajaliku laiusega PVC paani. [17]
5. Sõltuvalt katuse tsoonist kinnitage membraan kinnitusdetailidega vajaliku sammu järgi. [17]
6. Seadke keevitusseadme kiirus ja temperatuur. [17]
7. Kasutage tugevdamiseks profiili parapetti alumises tsoonis ning sarnastes kohtades. [17]
8. Kinnitage konstruktsiooni välis- ja sisenurkadesse tugevduselemendid. [17]
Kontrollige tehtud töö kvaliteeti. [17]

1.1.3 Modifitseeritud bituumenpõhise SBS hüdroisolatsiooni ajalugu ja üldine informatsioon

Stüreen-butadieen-stüreen kopolümeer (SBS) luuakse stüreeni ja butadieeni blokkopolümerisatsiooni teel. See annab termoplastilise materjali, mis omab kummilaadseid omadusi toatemperatuuril, kuid mida saab töödelda kõrgetel temperatuuridel, kasutades tavalist termoplastidele mõeldud seadmeid. Sellist materjali nimetatakse termoplastiliseks elastomeeriks. Umbes 10-15% SBS-i segatakse bituumeniga temperatuuril umbes 180°C, mis muudab bituumeni madalatel temperatuuridel vähem jäigaks ja kõrgetel temperatuuridel viskoossemaks. [18]

SBSi seisund on mitmekesine sõltuvalt valmistamisprotsessist ta võib olla tahke, lahustunud, elastomeerne, impulsiion, vedel.

Tahke SBS - Tavaliselt kasutatakse tahket SBS-i vormi plastmassi tootmisel. Selliste toodete hulka võivad kuuluda kumm ja põrandakatted. Tahke oleku puhul materjalil on hea üldine tugevus ja suurepärase tõmbetugevus. Materjal on piisavalt elastne ning on taastuv materjali omadus. [18]

SBS materjali tootmisprotsessis kasutatavad peamised lisandid

SBS-materjal kuulub polümeersetesse komposiitmaterjalidesse, mille loomine eeldab teatud lisaainete kasutamist. SBS-materjali ainulaadsed omadused ja karakteristikud saavutatakse tänu komponentidele, mis parandavad selle mehaanilisi, termilisi ja adhesiooniomadusi jne lähtudes materjali kasutamise konkreetsest eesmärgist. Käesolevas peatükis vaatlleme erinevate lisaainete tüüpe ja nende mõju materjalile. Nii saame mõista, kuidas üks või teine lisaaine mõjutab materjali ja millised on selle puudumise tagajärjed SBS-materjali struktuuris. SBSi tootmises kasutuses olevad lisandid on järgmised: [19]

1. Divinüülstüreeni blokopolümeerid (termoelastoplastid) - on lisaaine, mis annab materjalile suurema deformatsioonijärgse elastsuse. Kui lisaainet on suures protsendis, säilitab materjal deformatsioonijärgse elastsuse temperatuurivahemikus -80 kraadist kuni +80 kraadini. Seeläbi muutub materjal soojakindlamaks ja vastupidavamaks. [19]
2. Elastomeerid - Elastomeeride kasutamisel suureneb lõpp-produkti elastsus. Sellega suureneb bituumeni deformatsioonivõime madalatel temperatuuridel. See lisaainete tüüp on populaarne, kuna selle lisamisel SBS-i struktuuri ei hävita see peaaegu materjali skeletti kõrgetel temperatuuridel toimides ning vähendab ka struktuuri hävimise võimalust madalatel temperatuuridel. [19]
3. Termoplastid - see lisaainete tüüp võimaldab SBS struktuuril kuumutamisel korduvalt laieneda ja jahtudes taas tahkuda ilma materjali struktuuri hävitamata. Selle lisaaine puudusteks võib lugeda madalat vastupidavust UV-kiirgusele ning madalat termilist vastupidavust. [19]
4. Reaktoplastid - See lisaaine on SBS kompositsioonis vajalik, et luua pärast materjali sulamist ja selle pinna peale kandmist hävimatut struktuur. Lihtsalt öeldes annab lisaaine materjalile lisatugevust ja termilist vastupidavust. Samuti parandab selliste lisaainete kasutamine SBS materjali adhesiooniomadusi, mis viib erinevate pindadega parema nakketugevuseni. [19]
5. Antioksidandid - Antioksidandid on vajalikud SBS struktuuris, et suurendada vastupidavust keskkonnateguritele, oksüdatsioonile ja UV-kiirgusele. [19]

Lõpetuseks rõhutatakse selles peatükis kasutatavate lisaainete olulisust ja nende mitmekesisust SBS komposiidi koostises, et saavutada materjali optimaalsed omadused ja karakteristikud. Teadmine iga lisaainetüübi mõjust materjalile võimaldab luua innovaatilisi komposiitmaterjale, mis rahuldavad tarbijate nõudmisi.

SBS materjali ümbertöötlemise võimalused

2016 aastal identifitseeriti 9,2 miljonit tonni kummijäätmeid, millest vaid 1,7 miljonit tonni tunnistati töödeldavaks ja taaskasutatavaks. Praegu tehakse väga vähe pingutusi bituumeni sisaldavate materjalide töötlemiseks. Materjalide ringlussevõtt ja bituumenist toodete taaskasutamine moodustavad vaid 1,5% kogu tekitatud jäätmetest. Nõudlus kummitoodete järele kasvab iga aastaga. Statistika kohaselt toodeti 2018. aastal 13,9 miljonit tonni kummi. Kummi jagatakse sünteetiliseks, mida kasutatakse rehvide, ehitusmaterjalide ja muu tootmiseks, ning looduslikuks, mida kasutatakse enamasti kindate tootmiseks. [20]

Bituumenipõhiste toodete ümbertöötlemiseks on neli meetodit: [20]

1. Termiline
2. Mehaaniline
3. Keemiline
4. Füüsikaline

SBS materjali termiline ümbertöötlemine

Termiline meetod on üks kõige sagedamini kasutatavaid ja uuritavaid meetodeid. Selles meetodis kasutatakse materjalist energia taastamiseks kahte lähenemist: termolüüs ja pürolüüs. [20]

Termolüüs võimaldab materjali lagundada kuumuse mõjul, samas kui pürolüüs võimaldab materjali lagundada hapniku puudumisel. Parimad energiatootlikkuse näitajad saavutati termolüüsi teostamisel 40 minutit, temperatuuril 420 kraadi ja rõhul 18 MPa. Sellistes tingimustes õnnestus saada 21,21% õli testitud materjalist, mis moodustab 1/5 materjali tootmiseks kulutatud energiast. Selle meetodi miinuseks on toksiliste gaaside eraldamine. [20]

Pürolüüs on enamlevinud bituumenipõhine toodete ümbertöötlemiseks. See protsess võimaldab kummijäätmed ümber töödelda kasulikeks toodeteks nagu gaas, õli ja süsinikujääk, mida sageli nimetatakse "must süsinik". [20]

SBS materjali mehaaniline ümbertöötlemine

Mehaaniline meetod on korduvalt lihtsam võrreldes termilise meetodiga. Eri masin hävitab kummi struktuuri, hävitades sellega materjali füüsilised omadused nagu kuju, jäikus ja kandevõime. Mehhaaniline protsess jaguneb neljaks etapiks: [20]

1. Jahvatamine toatemperatuuril
2. Niiske jahvatamine
3. Krüoogenne jahvatamine
4. Jahvatamine osoonlõhestamise abil

Madalama kvaliteediga saadud materjale kasutatakse asfaltsegude modifikaatoritena, laste mänguväljakute elastsete plaatide loomisel. Kõrgema kvaliteediga saadud materjali kasutatakse taastootmiseks, näiteks SBS katuseembraanide puhul. Membraanide kasutamiseks teistes polümeerides läbib kumm devulkaniseerimise protsessi. Devulkaniseerimine tähendab vulkaniseerimisprotsessi tagasipööramist, nimelt vulkaniseerimissidemete purustamist polümeerimolekulide vahel. [20]

SBS materjali keemiline ümbertöötlemine

Selle meetodi eesmärk on kummi devulkaniseerimine ja selle degradatsioon. Protsessi käigus säilitatakse suurem osa materjali omadustest, mis võimaldab selle kasutamist järgnevatel toodetes. Keemilise töötlemise käigus kasutatakse kahte tüüpi keemilisi taastamisprotsesse. [20]

1. Orgaanilised disulfiidid - nende abil toimub kummi molekulides väävlisildade rebend, mis hõlbustab devulkaniseerimist. [20]
2. Anorgaanilised ühendid - hõlmavad erinevaid anorgaanilisi reagente, mida saab kasutada väävlisildade rebendiks. [20]

Selle meetodi miinuseks on keskkonna reostamise risk keemiliste ainete kaudu ja kõrge hind.

SBS materjali füüsikaline ümbertöötlemine

Praegusel hetkel on füüsiline taaskasutusmeetod üks enim uuritud meetodeid. Füüsiline meetod põhineb väliste energiaallikate kasutamisel vulkaniseeritud sidemete purustamiseks polümeermolekulide vahel, erinevalt keemilistest või mehaanilistest meetoditest. [20]

Selle meetodi läbiviimiseks kasutatakse mikrolaine- ja ultraheli devulkanisatsiooni. Selle meetodi kasutamisel devulkanisatsiooni protsessi ajal ei eraldu toksilisi aineid. Meetodi kasutamisel näitab materjal suurenenud voolavust ja paremat korduvkasutamise võimalust. Meetodi miinusteks on vajadus spetsialiseeritud seadmete järele mikrolainete genereerimiseks ja kontrollimiseks, mis võib suurendada algkapitali

kulusid, mis omakorda muudab selle meetodi väikeettevõtete jaoks kättesaamatuks seoses meetodi kõrge maksumusega. [20]

Kokkuvõttes, kuigi füüsilised töötlusmeetodid nagu mikrolaine- ja ultrahelidevulkanisatsioon pakuvad materjali paremat voolavust ja taaskasutusvõimalusi ilma toksiliste ainete kasutamiseta, piiravad neid kõrge algkapitali nõue spetsialiseeritud seadmetele, mis teeb need väikeettevõtete jaoks vähem kättesaadavaks. Praegu on kõige laiemalt kasutatavad meetodid keemiline ja mehaaniline töötlus. Keemiline töötlus võimaldab täpset kontrolli devulkanisatsiooni protsessi üle, kasutades reagente sulfidsildade purustamiseks, samas kui mehaaniline töötlus hõlmab kummi füüsilist purustamist peeneks materjaliks. Termiline töötlemine, mida kasutatakse materjali omaduste muutmiseks kuumutamise teel, on samuti oluline. Need meetodid pakuvad laiemat valikut materjalide töötlemise võimalusi, kuigi igaühel neist on oma piirangud ja nõuded ohutuse ning efektiivsuse osas.

SBS katusekatte materjali keskkonnasõbralikus ja jätkusuutlikkus

Arvestades kliimamuutuste mõju planeedile ja vajadust pikaajaliste materjalide järele, kasvab huvi SBS materjalide vastu pidevalt. Kuna katusematerjali valik mõjutab nii katuse enda kui ka teiste konstruktsiooniosade vastupidavust, tuleks sellele küsimusele läheneda targalt. On vaja arvestada paljude väli tingimuste omadustega, nagu ekstreemsed temperatuurid, niiskus, ultraviolettkiirgus ja muud ilmastikutingimused, mis lõppkokkuvõttes võivad mõjutada materjali kasutust. Kõigist neist teguritest räägitakse antud lõigus. [21]

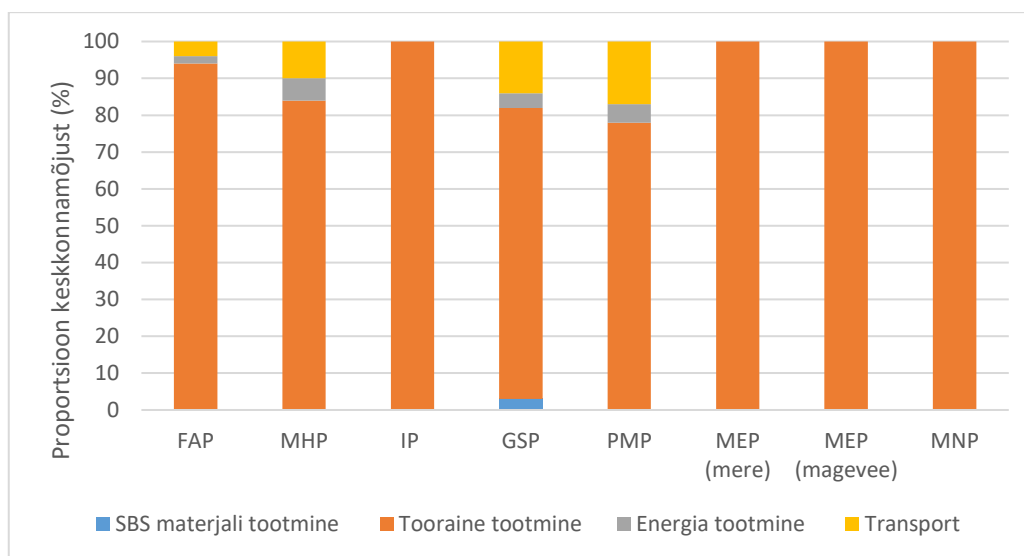
SBS materjali keskkonnasõbralikus

Statistika 2020. aastast näitab, et kogu hoonete elutsükli süsinikdioksiidi heitkogus oli 5,08 miljardit tonni CO₂, mis moodustas peaaegu 51% riigi kogu süsinikdioksiidi heitest Hiinas. Ehitusmaterjalide osa oli 2,82 miljardit tonni CO₂, ehk 28,2%. Seega võib järeldada, et CO₂ heitkoguste vähendamine ja roheline-ökoloogiliste materjalide arendamine sõltuvad teineteisest otseselt. Hüdroisolatsioonimaterjalide tööstuses on vajalik edasine areng, keskendudes uute materjalide või tehnoloogiate uurimisele, mis eelistavad rohelisi ja madala süsinikuheitega omadusi. [21]

SBS materjali keskkonnasõbralikkuse ja jätkusuutlikkuse hindamiseks viidi läbi LCIA (Life Cycle Impact Assessment) meetodil põhinev uuring. Selles hinnati erinevaid keskkonnamõjusid, mis kaasnevad SBS materjali tootmisega. Valitud kriteeriumid on

kirjeldatud tabelis „Tabel 1.4 SBS modifitseeritud bituumeni hüdroisolatsioonimembraanide keskkonnamõjude indikaatorid“. [21]

Põhinedes kogutud andmetele ja valitud hindamiskriteeriumitele viidi SimaPro tarkvara abil läbi analüüs, mis võttis arvesse erinevate elutsükli etappide panust kaheksasse keskkonnamõjude kategooriasse. Tulemusena leiti, et suurim mõju on tooraine kogumisel ja tootmisel, millele järgneb transport ja energia tootmine ning kõige vähem mõjutab keskkonda SBS hüdroisolatsiooni materjali tootmine. Seega on tooraine tootmise etapil suurim potentsiaal keskkonnamõju panuseks. Uuringu tulemused näidatud graafikul „Joonis 1.1 Iga üksuse protsessi keskkonnamõjud“. [21]



Joonis 1.1 Iga üksuse protsessi keskkonnamõjud

Lähtudes asjaolust, et tooraine kaevandamine avaldab meie planeedi keskkonnale kõige suuremat mõju, on keskkonnasõbralikumaks tootmise saavutamiseks vajalik muuta tooraine kaevandamine ja samuti selle transport töötlemiskohta keskkonnasõbralikumaks. Et vähendada transpordi mõju keskkonnateguritele, peaksid ettevõtted arvestama tooraine hankimisega seotud transpordivahemaid. Selle probleemi lahendamiseks võiks näiteks ehitada toorainet töötlevad ettevõtted võimalikult kaevanduste või karjäärade lähedale, kust vajalik tooraine saadakse.

Selleks, et vähendada tooraine tarbimist materjali tootmiseks, on vaja muuta SBS struktuuri nii, et tootmiseks oleks vaja vähem toorainet, mis omakorda vähendaks selle tarbimist. SBS tootmine ise ei mõjuta suures ulatuses planeedi ökoloogiat võrreldes tooraine transpordi ja kaevandamisega, seega ei vaja see radikaalseid muudatusi tootmisprotsessis, kuid on oluline märkida, et on vaja välja töötada uus SBS struktuur, mis märkimisväärselt vähendaks tooraine kogust ühiku valmis materjali kohta, mis omakorda vähendaks transpordi vajadust.

SBS materjali jätkusuutlikkus

Selleks, et mõista, kuidas väliskeskonna tingimused mõjutavad SBS-i mehaanilisi omadusi, viidi läbi järgmised katsetused. Võeti 5 proovi SBS katuseembraanist, millest kolm testiti kahe aasta jooksul, olles avatud keskkonna mõjudele Phoenixis, Arizonas (kuum kuiv kliima), Key Westis, Floridas (kuum ja niiske kliima), Champaignis, Illinois'is (möödukas mandrikliima). Viimased kaks proovi testiti laboris tingimustes: sundõhu ahjus 70°C juures 28 päeva jooksul ja 1500 tunni vältel tsüklites, kus 20 tundi ultravioletvalgust 60°C juures ja 2 tundi kondenseeruvat niiskust. [22]

Pärast katsetuste läbiviimist selgus, et materjali purustamiseks vajalik maksimaalne koormus suurenes materjalidel, mis asusid Key Westi osariigis, samuti nendel materjalidel, mis olid ahjus ja UV-kiirguse mõju all. Phoenixi osariigis asunud materjali proovi maksimaalne purustamiskoormus vähenes. Champaigni osariigis testitud materjali proovi maksimaalne purustamiskoormus suures pildis ei muutunud. [22]

Edasi uuriti, kuidas kliimatingimused mõjutavad materjali venivust. Leiti, et absoluutselt kõigil testitud materjalidel vähenes venivus võrreldes materjali algse prooviga. Järelmõjuna venivuse vähenemisele igal testitud näidisel vähenes ka vajalik energia tippkoormus materjali läbitorkamiseks, kuna materjal muutus jäigemaks. [22]

Edasi uuriti iga testitava proovi veeimavust. Uuring näitas, et üldiselt iga testitava proovi veeimavuse protsent materjalis kasvas võrreldes algandmetega, välja arvatud materjaliproov, mida töödeldi UV-kiirgusega 1500 tunni vältel. [22]

Viimases eelviimases etapis uuriti materjali võimet jääda elastseks madalatel temperatuuridel. Selles kriteeriumis näitasid kõik uuritavad näidised võrreldes algandmetega paremaid tulemusi ja suurendasid oma võimet püsida elastne madalatel temperatuuridel. [22]

Viimasel etapil uuriti materjali dünaamilist läbistamist. Phoenixi ja Champaigni artiklites kirjeldatud proovid näitasid materjali läbistamiseks vajaliku energia suurenemist, eriti erines UV-kiirgusele 1500 tundi kokku puutunud materjali proov, mille läbistamiseks vajalik energia ületas rohkem kui kahekordselt vajaliku energia. Key Westi artiklis ja ahjus testitud proovid ei näidanud mingeid muutusi. [22]

Koondülevaade katsetustest näidatud tabelis „Tabel 1.5 SBS materjali katsetuse tulemused“

Tabel 1.4 SBS materjali katsetuse tulemused

		Tippkoormus materjali purustamiseks	Venivus	Energia tippkoormus materjali läbitorkamiseks	Veeimavus	Tg (E _{max} ")	Dünaamiline läbistamine
Proov	Proovi katsetuse asukoht	kN/m	%	kN/m	%	°C	J
SBS	Originaalproov	13,8	13,1	5,1	1,8	-41	13,1
SBS	Phoenix	12,6	6,4	1,8	2,4	-46	15,6
SBS	Key West	17,7	8,4	3,2	2,7	-47	13,1
SBS	Champaign	13,7	8,1	2,6	2,3	-49	15,6
SBS	Ahjused	16,2	7,3	2,4	1,8	-48	13,1
SBS	UV-kiirgus 1500 tundi	15,2	9,0	2,2	1,6	-46	31,2

Ülalnimetatud katse viidi läbi kuivas kuumas kliimas, kuumas ja niiskes kliimas ning mõõdukas mandri kliimas. Kõige lähemad ilmastikutingimused Eesti kliimale leiti Illinois' osariigis Champaignis. SBS materjali proov näitas selles kliimas head tulemust. Materjali purustamiseks vajalik tippkoormus langes võrreldes algandmetega 0,1 Kn/m võrra ja see ei avalda suurt mõju materjali omadustele. Materjali venivus vähenes võrreldes algse prooviga 5%, mis võib suurendada purunemise riski ja vähendada paindlikkust, kuid tuleb märkida, et 5 protsenti ei mängi olulist rolli materjali hüdroisolatsioonivõimetes, kui see ei ole iga päev mehaaniliste koormuste all. Venivuse vähenemisega vähenes ka materjali läbitorkamiseks vajalik energia peaaegu kahekordselt, mis näitab materjali nõrgenemist. Antud juhul on see kriitiline punkt ja viib sellele, et SBS materjali ei saa kasutada isolatsioonikihina pööratud katustel ilma seda kaitsekihtidega eraldamata, kuna vastasel juhul võib see põhjustada katuse läbistamist ja vee sattumist hüdroisolatsiooni alla - lekkeid. Veeimavus suurenes võrreldes algandmetega 0,5%, mis pikemas perspektiivis võib viia niiskuskahjustusteni, kui veeimavuse protsent aastate jooksul suureneb. Materjali elastsus suurenes 20%, mis ei ole kriitiline, kuid kui materjal muutub tulevikus veelgi elastsemaks, toob see kaasa materjali struktuuri hävimise ja selle hüdroisolatsiooniomaduste kaotuse. Dünaamiline läbistamine suures plaanis ei muutunud ega mõjuta antud juhul materjali hüdroisolatsiooniomadusi. [22]

SBS katusekatte ja tema omadused

SBS-elastomeerse polümeeri omadused tagavad materjali elastsuse madalatel temperatuuridel. Materjali pealispind on kaetud kiltkivipuistega. [23]

1. Paksus – $4 \pm 0,2$ mm [23]
2. Tõmbetugevus – > 850 N/50 mm [23]

3. Paindlikkus madalatel temperatuuridel – <-20 °C [23]
4. Kokkupuude UV-kiirgusega – Vastupidav [23]
5. Vastupidavus staatilisele koormusele – >25,5 kg [23]

SBS katusekatte paigaldusprotsessi selgitamine

Vaatame lühidalt, kuidas paigaldada SBS-membraane. [24]

1. Aluspind peab olema kuiv, puhas tolmust ja suuremast prahist. [24]
2. Valige membraani kinnitamise meetod õhutemperatuuri alusel, kas mehaaniline kinnitus või keevitamismeetod. [24]
3. Kuumutage korralikult ettevalmistatud aluspinda ja paigaldatavat materjali põletiga, rullides seda samal ajal lahti. [24]
4. Veenduge, et kihtide ülekاتمine on korrektselt järgitud. [24]
5. Paigaldage peale teine SBS isolatsioonikiht risti esimesega, korrates samu samme. [24]
6. Konstruksiooni nurkadesse kandke lisakiht isolatsiooni tugevamate ühenduskohtade saavutamiseks. [24]
7. Kontrollige tehtud töö kvaliteeti. [24]

1.2 Lõputöös käsitletud monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalid

Selles peatükis täpsemini räägitakse järgmistest monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsiooni tüüpidest.

- 1) Metall-leht veetõke (tihenduselement) + betoonilisand mahukahanemis pragude kasvatamiseks
- 2) Profiil pingete leevendamiseks + betoonilisand mahukahanemis pragude kasvatamiseks
- 3) Savilint + betoonilisand mahukahanemis pragude kasvatamiseks

Hüdroisolatsioonimaterjalide loetelu erineb oluliselt oma omaduste poolest, kuid neid ühendab see, et nad tagavad raudbetoonkonstruktsiooni hermeetilisuse. Iga materjal on omal moel unikaalne ja nõuab paigaldamisel teatud eripärasid.

1.2.1 Metall profiilide ajalugu ja üldine informatsioon

Ehitusturul on esindatud tohutu hulk võimalusi raudbetoonkonstruktsioonide liidete lahendamiseks. Armatuuriplaatide tüüpe ja nende vorme on tohutult palju. Armatuuriplaatide tüübid jagunevad kolme põhiliiki: [25]

1. Kokkutõmbumisvuugid
2. Paisumisvuugid
3. Ehitusvuugid
4. Eri otstarbega liigesete ja pragude kompenseerimiseks vuugid

WPM metall-leht kuulub osaliselt kolmandasse gruppi kasutatavatest liidetest.

Ehitusliidete kavandamine ja loomine suurte massiliste betoonitööde jaoks teatud kohtades kavandatud pausidena hõlbustab ehitamist ja betooni paigaldamist. Betoonipinna peatamispunkt muutub ehitusliiteks, kui betooni paigaldamine jätkub. Paigaldamise suurus ja aeg on ehitusliidete jaoks olulised tegurid. Mõned ehitusliited on vältimatud betoonitööde planeerimata katkestuste tõttu. Ehitusliited võivad olla kavandatud kokku langema kokkutõmbumis- või paisumisliidetega, kus betoonpinnad ei ole ühendatud. Monoliitse paigalduse korral võivad kaks betoonpinda nõuda täielikku haakumist ehitusliite kaudu struktuurse terviklikkuse jaoks. [25]

WPM profiil pingete leevendamiseks kuulub osaliselt neljandasse gruppi kasutatavatest liidetest.

See tüüpi ühendused leiutati kindlateks ja eriotstarbelisteks funktsioonideks, täpsemalt konstruktsioonides pragude tekkimise vähendamiseks. Betoonis esinevad praod ei ole midagi ebatavalist ja need tekivad peaaegu kontrollimatult betoonis mitmesugustel põhjustel. Enamik pragusid mõjutavad betooni välimust, kuid mitte betoonelemendi või konstruktsiooni struktuurset terviklikkust, kuid on ka pragude liike, mille tekkimisel kaotab konstruktsioon oma terviklikkuse ja pikaajalise deformatsiooniga pragunenud lõigu korral kaotab konstruktsioon oma stabiilsuse, misjärel järgneb konstruktsiooni osa kokkuvarisemine. [25]

Profiil aitab kontrollida teatud tüüpi pragude tekkimist. See ei lase pragudel kogu konstruktsiooni ulatuses tekkida ja piirab nende esinemist profiili paigalduskohas, mis võimaldab kiiresti ja õigeaegselt võtta vajalikke meetmeid konstruktsiooni lünga parandamiseks. [26]

Samal ajal kasutatakse profile ka hüdroisolatsioonina tänu selle unikaalsele mineraalsest materjalist pinnale, mis tagab suurepärase nakke betooni ja metallriba vahel, takistades vee sisenemist konstruktsiooni sisse. [26]

Kuna profiil mängib suurt rolli konstruktsiooni veekindluse säilitamisel, peab see vastama järgmistele nõuetele:

1. Olema läbimatu [27]
2. Püsima kontaktis liitepindadega ehk omama head adhesiooniomadusi [27]
3. Mitte rebeneda betoonpinnalt [27]
4. Mitte pehmenema kõrgematel temperatuuridel [27]
5. Mitte muutuma hapraks madalamatel temperatuuridel [27]
6. Mitte alluma kahjulikule mõjule vananemisest [27]

Metall-lehte tootmine ning peamised lisandid

Selliste profiilide tootmiseks kasutatakse kvaliteetseid materjale. Antud materjali valmistamiseks kasutatakse teraslehte, mis on eelnevalt kuumtsingitud, mis suurendab korrosioonikaitset ja seeläbi toote eluiga. Tsinkimisprotsess toimub sulatatud tsingi vannis, kuhu metallileht sukeldatakse. [26]

Parema adhesiooni saavutamiseks betooniga kaetakse üks plaatide külgedest mineraalsekattega. Katte koostis võib iga materjali tarnija juures erineda ja on sageli konfidentsiaalne. Kattematerjalid on spetsiaalselt valitud, et suurendada adhesiooniomadusi ja keemilist vastupidavust. Katte koostisesse võivad kuuluda ka teised materjalid, mis näiteks parandavad katte elastsust. [26]

Metallist plaatide tootmisprotsess hõlmab mitut etappi:

1. Metall-leht tsingitakse kuumtsinkimisega [26]
2. Tsingitud teraslehest lõigatakse vajaliku suurusega profiilid [26]
3. Ühele profiili küljele kantakse komposiitkattekiht pihustamise meetodil [26]
4. Pärast komposiitkatte pealekandmist kuivatatakse profiil, et tagada katte pikaajaline vastupidavus [26]

Kuumtsingitud metalli ümbertöötlemise võimalused ning mineraalsekatte eemaldamine

Tsingitud materjalide õigeks töötlemiseks tuleb esmajärjekorras korralikult puhastada terase pind tsingikihi eemaldamisega, mis ongi sarnaste materjalide töötlemise peamine väljakutse. [28]

Praegu, nagu ka 20 aastat tagasi, on tsingi eemaldamiseks metallpinnalt kõige populaarsem meetod tsingitud metalli kastmine HCl (vesinikkloriidhape), H₂SO₄ (väävelhape), HNO₃ (lämmastikhape) lahustega vanni. Vanni kastmisel toimub tsingi ja lahuse vahel äge keemiline reaktsioon. Reaktsiooniga kaasneb rohke gaasi eraldumine, mõne aja pärast reaktsioon aeglustub või peatub täielikult, mis viitab tsingikatte täielikule lahustumisele. On märkimisväärne, et keemilise reaktsiooni lõppedes väheneb metalli mass. Leiti, et mida suurem on HCl kontsentratsioon lahuses, seda rohkem kannatab metall keemilise reaktsiooni käigus. Samuti ei tohiks HNO₃ aine protsent ületada lahuse koguproportsioonist 5%, kuna suurema osakaalu korral hakkab metall tsingi puhastamisel metallpinnalt tugevalt korrodeeruma. [28]

Mineraalse eemaldamiseks metallpinnalt kasutatakse samuti keemilist eemaldamise meetodit. Parema eemaldamise tagamiseks puhastatakse pind mustusest ja muudest saasteainetest. Lahustit NaOH ja KOH kantakse pinnale, sukeldades profiili vanni. Lahusti pealekandmise aeg sõltub polümeerse katte paksusest ja lahusti kontsentratsioonist. Järgneb neutraliseerimise etapp, et vältida korrosiooni või edasist keemilist mõju. [26]

Eeldatakse, et pärast tsingi eemaldamist metallpinnalt suunatakse kogu metall töötlemisele. Tavaliselt kasutatakse konverterprotsessi meetodit või elektrikaarupõletusahju meetodit. [29]

Siiski on oluline arvestada teatud punktidega. Metall ümbertöötlemisel jaotatakse valitud metall peamiselt kaheks grupiks. [29]

1. Puhas – hästi sorteeritud metall [29]
2. Määrduvad – halvasti sorteeritud metall [29]

Seejärel jagatakse metall veel kaheks alamrühmaks, mis mõjutavad taaskasutatava metalli kasutamist ja eesmärki. [29]

1. Tolerantne - sulamis on kasutatavate materjalide head proportsioonid, terases on saasteainete väike kogus või need puuduvad täielikult [29]

2. Mittetolerantne - sulamis on kasutatavate materjalide ebavõrdsed proportsioonid, terases on suur hulk saasteaineid [29]

Arvatakse, et metalli, mille kasutusiga on lõppenud, saab taaskasutada tagasi ainult algseks sulamiseks, millest toode valmistati, kuna metalli sulam on spetsiifiline ja iga toote puhul kasutatakse tootmisel erinevaid proportsioone. Saastunud metall vajab oma taaskasutamisel lahjendamist esmase maagiga, et saavutada toote nõutav tolerantsus, kuid sellise toote hind on madalam kui puhtal ja täielikult vastava tolerantsusega tootel. Seega saab ainult puhas metall taaskasutada tagasi algseks tooteks ja müüakse kõrgema hinnaga, samas kui saastunud metall müüakse madalama hinnaga ja selle kvaliteet on halvem. [29]

Tsingitud metalli puhul toimub selle ümbertöötlemine eraldi teistest metallidest ja peetakse, et see taaskasutatakse täielikult algseteks lõppkasutusteks oma sulami spetsiifilise koostise ja terase pinnal pärast metalli keemilist puhastamist jäävate tsingijääkide tõttu. [29]

Metalli ümbertöötlemine on tänapäeval väga kõrgel arengutasemel võrreldes näiteks polümeeride töötlemisega. Praegu peetakse, et 100% kasutatavast metallist kuulub ümbertöötlemisele selle eluea lõppedes. Siiski tekivad ümbertöötlemisel raskused nende metallide puhul, mis asuvad teiste materjalide sees. Meie juhul on metallprofiilid betooni sisse valatud ja nende ümbertöötlemine muutub keerulisemaks. Kuna esmalt tuleb betoonkonstruktsioonid lammutada, seejärel eraldada teras betoonist ja alles pärast seda suunata materjalid ümbertöötlemisele või taaskasutusse. Siiski, arvestades fakti, et korraliku hoolduse ja õige ehitustehnoloogia korral võivad raudbetoonkonstruktsioonid kesta 100 aastat ja kauem, ei tundu see protseduur nii tõõmahukas, arvestades, et tegemist pole 2- või 5-aastase materjali kasutuseaga.

Metall-lehte-profiilide keskkonnasõbralikus ja ilmastiku mõju materjali omadustele

Kuna profiil mängib olulist rolli raudbetoonkonstruktsioonide pikaajalisuses, peab see vastu pidama nii betooni mõjudele profiilile kui ka välistele keskkonnateguritele, nagu vesi, vee bioloogilised lisandid, külm ja soe temperatuur. Vastasel juhul hakkab konstruktsioon kohtades, kus profiilid on paigaldatud, järk-järgult lagunema, mis viib paratamatult pöördumatute tagajärgedeni. [30]

Katsete tulemuste põhjal sai üheks peamiseks mõjuallikaks keskkonnale ise teras, mis domineeris absoluutselt igas uurimisjaos. Tõestati, et terase mõju vähendamiseks

keskkonnale on võimalik kasutada vanametalli uute toodete tootmiseks. Sel juhul tooraine hankimise protsess väheneb oluliselt, seeläbi vähendades materjali mõju uuritud faktoritele. [30]

Metall-lehte ja profiilide (tsingitud terase) keskkonnasõbralikus

Selleks, et hinnata tsingitud terase tootmise mõju keskkonnale, valiti LCA (Life Cycle Assessment ehk elutsükli hindamine) meetod. Selle meetodi analüüsimisel võetakse arvesse materjali tootmist, kasutamist, elutsükli lõpu töötlemist, ümbertöötlemist ja lõplikku kõrvaldamist. LCA arvestab kõiki ökosüsteemi aspekte, inimeste tervist ja ressursse. [30]

Kuumtsingitud terase tootmise keskkonnasõbralikkust hinnati kuues peamises rühmas. [30]

1. Fossilsed kütused [30]
2. Ökotoksilisus [30]
3. Kantserogeenid [30]
4. Mineraalid [30]
5. Globaalne soojenemine [30]
6. hingamisteedele ohtlikud anorgaanilised ained [30]

Kõik kuus rühma omakorda hinnati tsingi, terase, kemikaalide, energiaemissioonide kasutamise seisukohast. Täpsem ülevaade korraldatud uuringust antud joonisel „Joonis 1.2 Iga üksuse protsessi keskkonnamõjud“. [30]

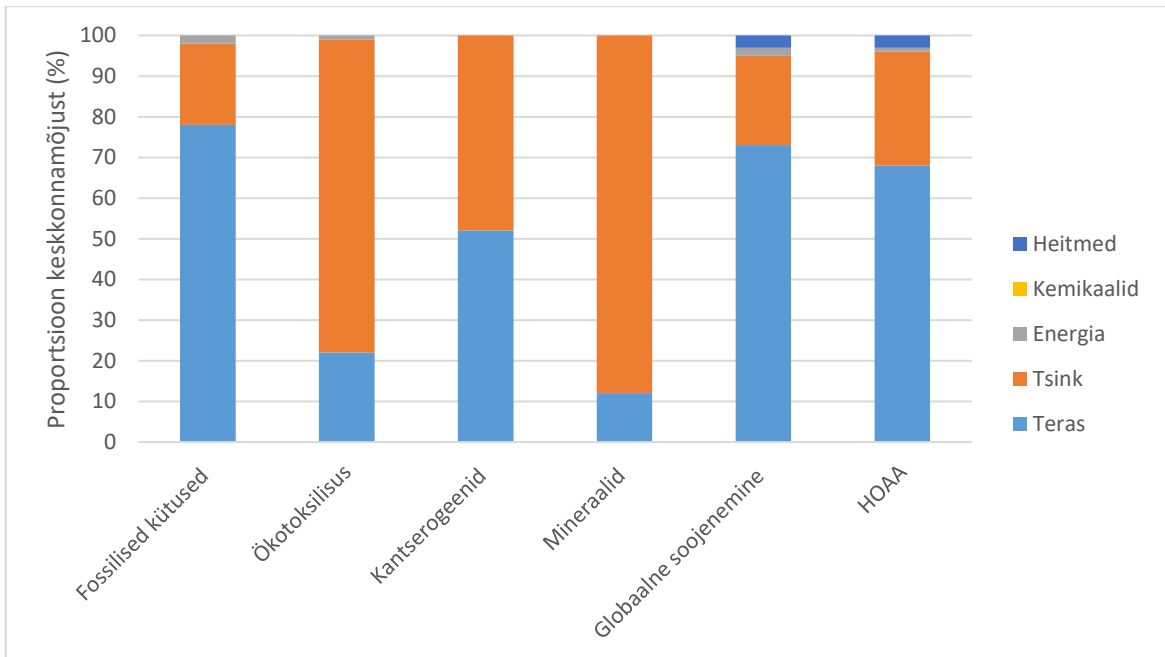
Katsete tulemuste põhjal sai üheks peamiseks mõjuallikaks keskkonnale ise teras, mis domineeris absoluutselt igas uurimisjaos. Tõestati, et terase mõju vähendamiseks keskkonnale on võimalik kasutada vanametalli uute toodete tootmiseks. Sel juhul tooraine hankimise protsess väheneb oluliselt, seeläbi vähendades materjali mõju uuritud faktoritele. [30]

Edasi uuriti energiakulu tsingitud terase tootmisprotsessis, arvesse võttes nii elektri kui ka fossiilsete kütuste kasutamist. Elektrikasutuse mõju oli suhteliselt kõrge mõnes alarühmas, mis on seotud elektrilise kaarahu ahju kasutamisega tootmisprotsessis. Selle punkti mõju vähendamiseks on võimalik kasutada gaasi- ja hüdroenergiat süsinikul põhineva energia asemel, millel on oluline mõju sellistele alarühmadele nagu globaalne soojenemise potentsiaal, mineraalid ja kantserogeenid, või naftal põhinevat

elektrienergiat, mis mõjutab tugevalt selliseid alarühmi nagu fossiilsed kütused, ökotoksilisus ja hingamisteedele ohtlikud anorgaanilised ained. [30]

Tsingi panus keskkonnamõjudele domineeris tugevalt kolmes analüüsitud kategoorias, nimelt ökotoksilisuses, mineraalides ja kantserogeenides. See oli tingitud asjaolust, et iga tüüpi fossiilne materjal omab oma kahjufaktorit. Tsingi puhul on see koefitsient 5,15 MJ ja terase puhul 1,79 MJ. Koefitsiendi suurus sõltub suuresti fossiilsete kütuste kogusest loodusvarades ja samuti mõjutab koefitsienti fossiilkütuste toksilisus. Näiteks 1 kg tsingi põhjustatud ökotoksilisus oli 39,6 korda suurem kui 1 kg külmtöödeldud terase põhjustatud ökotoksilisus. Üheks meetodiks tsingi mõju vähendamiseks uuritud analüüsi alarühmades on tsingi ümbertöötlemine, kui selle elutsükkel on lõppenud. Sellisel juhul eemaldatakse tsink metalli pinnalt elektrilise protsessi abil, muutudes tolmuks, mille järel see saab taastatud ja taaskasutatud. [30]

Rääkides terasetootmise heitmetest, siis need põhjustasid globaalse soojenemise potentsiaali. Terasetoodete globaalse soojenemise ja respiratoorsete anorgaaniliste ainete panus oli vastavalt alla 7% ja 9%, mis moodustas suhteliselt väikese osa mõjust võrreldes teiste teguritega, näiteks terase ja tsingi tootmisega. Globaalse soojenemise potentsiaal oli põhjustatud kasvuhoonegaaside heitmetest. Respiratoorsete anorgaaniliste ainete suurenenud potentsiaal oli põhjustatud selliste gaaside heitmetest nagu lämmastikoksiidid, vääveldioksiidid ja osakesed, mis tekivad fossiilkütuste põlemisel. Praegu on ainus töötav meetod nimetatud potentsiaalide vähendamiseks fossiilkütuste tarbimise vähendamine, mis omakorda vähendab kasvuhoonegaaside heitmeid ja anorgaaniliste ainete eraldumist, põhjustades respiratoorseid haigusi. [30]



Joonis 1.2 Iga üksuse protsessi keskkonnamõjud

Kõigest eelnevast lähtudes võib järeldada, et tsingitud terase tootmine avaldab olulist mõju keskkonnale võrreldes tavalise terase tootmisega. Peamised keskkonnamõjutajad on terase ja tsingi tarbimine toorainena, elektrienergia ja fossiilkütuste kasutamine tootmisprotsessis ning nende protsessidega seotud heitkogused. Tsink, hoolimata oma suhteliselt väikesest osakaalust koostises, avaldab suurt mõju, eriti ökotoxilisuse, mineraalide tarbimise ja kantserogeensuse kategooriates. Fossiilkütuste kasutamise vähendamine ja tsingi ümbertöötlemine pärast selle eluea lõppu võivad oluliselt vähendada negatiivset mõju keskkonnale. Samal ajal annavad terase tootmisel tekkivad heitmed, kuigi need moodustavad väiksema osa mõjust võrreldes terase ja tsingi sisenditega, samuti panuse globaalse soojenemise potentsiaali ja respiratoorsete haigustega seotud probleemidesse.

Väliskeskkonna mõju tsingitud terase omadustele

Selleks, et mõista, kuidas profiil toime tuleb korrosiooniga betoonis, võeti uurimiseks artikkel. Allikas tehti uuring, kui palju mõjutab valitud tugevdusmaterjali liik korrosiooni teket. [31]

Testiti kahte tüüpi materjale. [31]

1. Süsinikteras [31]
2. Tsingitud teras [31]

Materjali karboniseerumise mõõtmiseks, varasemalt valmistatud kuubikukujulised proovid koos testitavate materjalide tüüpidega asetati karboniseerumiskambrisse. Betoonkuubikud olid kambris suhtelise õhuniiskuse juures 70% ja temperatuuril 25 kraadi. Testimise eesmärk oli esile kutsuda süsinikdioksiidi kiirenenud difusioon betooni pooride kaudu armeerimisele, mis viib materjali korrosioonini. [31]

Katse käigus selgus, et süsinikterase puhul tihedusvool suureneb peaaegu lineaarselt kokkupuute ajaga kiirendatud karboniseerumiskambris, mis viitab korrosiooni pidevale arengule. Samal ajal suurenes tsingitud terase vool kuni 35 päeva kokkupuutumiseni, mille järel kasv muutus ebaoluliseks ja jäi pärast 49 päeva kokkupuutumist konstantseks, millest järeldub, et tsingitud terase korrosioon aja jooksul vaibub ja ei kasva võrreldes süsinikterasega. [31]

Rääkides veesurve, mida mõlemad profiilid suudavad taluda ilma nende struktuuri hävitamata, võib mainida survet 2,4 bar'i. Lubatud veesurve testimine viidi läbi Taltechi ülikoolis (katse nr N° 372- A/19). [32]

Suurema aru saamiseks, kuidas välistegurid mõjutavad tsingitud terast, viidi läbi uuring, mille käigus tsingitud teras puutus kokku huumushappe, dekstroosi, oblikhappe ja sidrunhappega. Nii on tsingitud teras ei ole kiire korrosiooni suhtes vastuvõtlik puhta veega kokkupuutel. Uuringu eesmärk oli kontrollida, kuidas tsingitud teras käitub teatud hapetega, mis võivad esineda põhjavee koostises. [33]

Korrodeerumispotentsiaali erinevates tingimustes mõõdeti OCP meetodil. [33]

OCP on elektrokeemiline parameeter, mis mõõdab potentsiaalide erinevust kahe elektroodi vahel, kui nende kaudu ei läbi elektrivool. Korrosiooni ja materjaliteaduse kontekstis kasutatakse OCP-d sageli materjali korrosiooniaktiivsuse hindamiseks teatud keskkonnas

Huumushappe lahuses liikus potentsiaal kiiresti positiivse väärtuse suunas kõikidel kontsentratsioonidel kuni stabiilsuse saavutamiseni, mis omakorda tähendas metallis korrosiooniprotsessi peatumist ning antud juhul korrosiooni mõju metallile oli minimaalne. [33]

Dektrooshappe puhul näitas potentsiaal järsku nihet potentsiaali negatiivses suunas, mis näitas korrosiooniprotsessi kiiret kiirenemist. Siiski pärast järsked hüppeid saavutas potentsiaal stabiilse seisundi ja korrosiooniprotsess peatus. [33]

Sidrunhappe lahuses liikus potentsiaal ühtlaselt negatiivse väärtuse suunas, mis näitas metalli pinnal aeglast korrosiooniprotsessi kuni potentsiaali stabiilsuseni. [33]

Viimasena mõõdeti tsingitud terase käitumist oblikhappe lahuses, kus igal kontsentratsioonil olid potentsiaali väärtused positiivses potentsiaalis kuni stabiilsuseni. See tähendab, et antud happes korrosiooniprotsess ei alganud. [33]

Arvestades eespool mainitud uuringut, võib öelda, et tsingitud metall talub hästi muldas leiduvate hapete mõju. Tsingitud teras näitas katsetes sidrunhappega halbu tulemusi, kuid tuleb arvestada, et antud happe sisaldus mullas kas puudub täielikult või on olemas, kuid väga väikeses kontsentratsioonis. Dektrooshappe katsetes täheldati potentsiaali järsu muutust negatiivses suunas, mis, nagu varem öeldud, viib korrosiooniprotsessi kiirenemiseni. Siiski, kui rääkida muldas leiduvatest hapetest, siis dektrooshapet seal ei esine, selle asendab glükooshape, mis ei ole tsingitud terasele ohtlik.

Metall-leht ja tema omadused

Metall-leht on mineraalse kattega tsingitud terasleht, kasutatakse töövuukide hüdroisoleerimiseks survele vee vastu erinevates maa-alustes raudbetoonkonstruktsioonides. [34]

1. Lehe kõrgus – 125 mm [34]
2. Lehe paksus – 0,5 mm [34]
3. Veekindlus – kuni 2,4 bar [34]
4. Temperatuurkindlus - -35 C° - $+75\text{ C}^{\circ}$ [34]
5. Paigaldustemperatuur – piiranguid ei ole [34]

Metall-lehe paigaldusprotsessi selgitamine

Vaatame lühidalt, kuidas paigaldada metall-profili vastavalt Primostar juhendile. [35]

1. Tehke vuugiplekk lahti kogu rulli ulatuses. [35]
2. Lõigake välja vajalikud pleki pikkused lähtudes konstruktsiooni kujust. [35]
3. Eelpaigaldage plekk umbes 30cm valust kõrgemale töövuugi kohale. [35]
4. Kohe peale betoonivalu paigaldage plekk värske betoonivalu sisse, et ta asetuks töövuugi keskel. [35]
5. Kontrollige, et vähemalt 3 cm pleki kõrgusest oleks betooni sees ning jätkuühenduste ülekate. [35]

Profiil-metall-leht pingete leevendamiseks ja tema omadused

WPM profiil pingete leevendamiseks on raudbetoonkonstruktsioonides siduvat mahukahanemispragu moodustav tsingitud teraslehtedest element. [36]

1. Lehe kõrgus – 150 mm [36]
2. Lehe paksus – 0,7 mm [36]
3. Veekindlus – kuni 2,4 bar [36]
4. Temperatuurkindlus - -35 C° - $+75\text{ C}^{\circ}$ [36]
5. Paigaldustemperatuur – piiranguid ei ole [36]

1.2.2 Betoonlisandi mahukahanemis pragude kinni kasvatamiseks ajalugu ja üldine informatsioon

Kaasaegses ehituses on betoonil üks kõige olulisemaid rolle ja see on üks kõige laialdasemalt kasutatavaid materjale. Kuigi betoon on väga vastupidav ja tugev materjal, on see kokkutõmbumisele vastuvõtlik nii aktiivse kivistumisfaasi ajal kui ka pärast seda. Betoonil on suhteliselt madal läbilaskvus, vahemikus 10^{-10} kuni 10^{-12} cm sekundis. Tänu sellele omadusele on betooni pikka aega kasutatud veemahutite, tammide jms ehitamiseks. Nagu varem mainitud, tekivad probleemid siis, kui betoonis hakkavad tekkima praod, mis mitmekordistavad betooni läbilaskvust. Kui see ahelreaktsioon ja pragude edasine tekkimine jätkub, võib see lõpuks viia betoonkonstruktsiooni hävitava halvenemiseni. [37]

Pragude parandamise probleemi lahendamiseks pakuti välja betoonile lisatav kristalliline lisand, mis kuulub integraalse isolatsiooni tüüpi. Kristalliline lisand koosneb kuivsegust portlandtsemendist, kvartsliaavast ja spetsiifilisest eriomastest kemikaalidest. Kui kristallilist tehnoloogiat kasutatakse uue ehituse puhul, lisatakse lisand betooni segamisetapil. Lisandina on see tuntud selle poolest, et parandab betooni värsked omadused, nagu töödeldavus ja voolavus omadused. [37]

Tuleb lisada, et antud magistritöö puhul ei käsitleta kristallilise lisandi lisamist eraldi tüüpi hüdroisolatsioonina. Lahendust vaadeldakse süsteemina, kus betoonivalu ajal on lisatud kristalliline lisand, kuid konstruktsiooni veetiheduse saavutamiseks töövuukides kasutatakse metall-profiile või paisuvaid betoonlinte.

Kristalse lisandi tootmine ning peamised lisandid

Kristallilise tervikliku hüdroisolatsiooni tehnoloogia põhineb betooni hüdratatsiooni ja kõvenemise protsessidele sarnastel põhimõtetel. Tsement koosneb peamiselt

kaltsiumsilikaatidest, mis veega segunedes käivitavad keemilise reaktsiooni, mille tulemusena tekivad uued ühendid. Kristallilise tehnoloogia kasutamisel reageerivad aktiivsed koostisosad veega ja tsemendiosakestega, moodustades kaltsiumsilikaadi hüdraate ja aineid, mis blokeerivad poorid, vältides seeläbi mikropragude ja kapillaaride teket. [37]

Allpool on toodud erinevus keemilises valemis tavalise ja lisandiga betooni vahel: [37]

1. Tsement + Vesi = Kaltsiumsilikaadi hüdraat (CSH) + Kaltsiumhüdroksiid (CH) [37]
2. Tsement + Vesi + Kristalne lisand = CSH + CH + Pooride blokeeriv kristall [37]

Iseparanduv betoon viitab betoonkomposiidile, mis on võimeline automaatselt parandama väikeseid pragusid ilma välise diagnostika või inimese sekkumiseta. Betooni taastamine jaguneb peamiselt kaheks tüübiks: [38]

autogeenne taastamine - Toimub ilma igasuguste lisanditeta ja läbi betoonis oleva hüdreerimata tsemendi hüdratatsiooni [38]

1. autonoomne taastamine - Toimub mittetavapäraste lisandite lisamisega betoonisegusse, seejuures võimaldab antud taastamisviis parandada laiemaid pragusid võrreldes eelnevalt nimetatud meetodiga [38]

Betooni iseparandamisvõime võib olla tugevdatud materjalide kasutamise või iseparandustehnoloogiate rakendamise abil. Iseparanduva betooni saamiseks mõeldud segamisproportsioonid sõltuvad kavandatavast betoonisegust. Segu valimisel tuleks arvestada betoonis kasutatavaid mineraalseid lisandeid, kuna mõned komponendid võivad omavahel kokkupuutel betooni tugevust vähendada. [38]

Kaasaegsed betooni tootmise tehnoloogiad võimaldavad tänu erinevate lisandite kasutuselevõtule oluliselt parandada betooni omadusi. Seega avab nende materjalide ja tehnoloogiate kooskasutamine uusi horisonte betooni tootmises, muutes selle vastupidavamaks välistele mõjudele, parandades kasutusomadusi ja pikendades konstruktsioonide eluiga. Need innovatsioonid aitavad kaasa mitte ainult keskkonnaohutuse ja ehituse majandusliku efektiivsuse suurendamisele, vaid annavad betoonile ka uusi funktsionaalseid omadusi, nagu enesehooldusvõime, mis oluliselt vähendab hooldus- ja remonttööde vajadust.

Kristalse lisandi ümbertöötlemise võimalused.

Käsitatud toode ümbertöötlemine ei ole tänapäeval võimalik ning antud töös ei ole kirjeldatud.

Kristalse lisandi keskkonnasõbralikus

Käsitatud toode keskkonnasõbralikuse hindamine on raskendatud, kuna tegelikud lisandite koostised on patentitud. See osa jääb töös kirjeldamata.

Kristalse lisandiga betooni jätkusuutlikkus

Kristallilise lisandi töövõime kontrollimiseks enesetervendavas betoonis viidi läbi katse, kus testiti betoonkuubikuid erinevate kristallilise lisanditega. Kokku valmistati 5 testkeha, mille omadused on kirjeldatud tabelis "Tabel 1.8 Testitavad katsekehad".

Tabel 1.5 Testitavad katsekehad

Katsekeha	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	Tihedus (kg/m ³)	Survetugevus MPa (7 päeva)	Survetugevus MPa (28 päeva)	Survetugevus MPa (90 päeva)	Lisand
C1	950	570	380	2350	57,2	58,6	64,5	-
C2	950	570	380	2366	57,4	62,9	69,4	CA/CSA
C3	950	570	380	2330	52,3	59,6	65,1	CSA
C4	950	570	380	2371	51,1	58,4	66,5	CSA/DCA1/DCA2/S C
C5	950	570	380	2351	58,8	63,5	79,4	CSA/DCA1/DCA2/S C/SF

Betoon valmistati segust, mille vesitsementtegur oli 0,53. Lisandite doosid määrati pärast mitmeid katseid, betooni töödeldavus saavutati plastifikaatori abil. Betooni enesetaastumise protsessi hinnati 50 mm kõrgusel betoonilõikel. Esimene katsekehade rühm paigutati laboritingimustesse, teise rühma lõikudele tekitati kunstlikud praod, mis kulgesid mõlema ringikujulise pinna piki igat proovi. Seejärel paigutati teise rühma proovid 60 päevaks vette temperatuuril 20±2 kraadi. [39]

Taastava pragude protsessi uuriti kolme lähenemisviisi abil ja kasutades ZEISS Stemi 2000C stereomikroskoopi, samuti arvestati pragudega, mille laius oli suurem kui 400 µm vastavalt Eurokoodeks 2: [39]

1. Pragude paranemise stereomikroskoopiline jälgimine aja jooksul [39]
2. Enesetervendunud proovide vastupidavuse hindamine [39]
3. Enesetervendusprotsessi toodete keemiline ja struktuurne iseloomustus [39]

Katsete tulemuste põhjal hinnati C1, C2, C3, C4, C5 proovikehade pragude sulgumist laiustega 0–100 µm, 100–200 µm, 200–300 µm ja 300–400 µm. Tulemus näitas, et enamik pragusid, nimelt C1 proovikehal 72%, C2 proovikehal 67%, C3 proovikehal 78%, C4 proovikehal 64% ja C5 proovikehal 74%, olid sulgunud, samuti vähenes osaliselt sulgunud pragude laius 60 päeva kestnud katse järel. Pragude keskmine vähenemine määrati umbes 61, 74, 78, 65 ja 70 µm proovikehade C1, C2, C3, C4 ja C5 puhul vastavalt. DCAs ja CSA lisandite ühine toime proovikehas võimaldas sulgeda 325 µm laiuse prao ja oluliselt vähendada algse laiusega üle 400 µm (≈ 470 µm) pragu. Veelgi enam, algse laiusega umbes 880 µm pragu vähendati umbes 60% võrra. [39]

Katse käigus märgati, et C1 proovi puhul, kus ei kasutatud kristallilist lisandit, oli pragude sulgumise laius sarnane ja väikeste erinevustega sulgumises, mis viis järeldusele, et materjali autogeenne taastumine toimus tänu hüdreerimata tsemendi hüdratatsioonile uuritavas proovis. C2-C5 proovide puhul oli pragude sulgumine autonoomse käitumise iseloomuga. [39]

Katse tulemusena tõestati, et kristallilised lisandid toimetavad hästi betooni kokkutõmbumisest tekkinud pragude sulgemisega, mis näitab nende vajalikkust kasutamisel lisanditena betoonisegu ettevalmistamisel. Samuti tõestas katse nende kasulikkust laiemate pragude sulgemisel ja nende eeliseid võrreldes autogeensete meetoditega betoonis, milles laiemad praod 300–400 µm ja rohkem ei sulgu. Kuigi katse oli tõepoolest edukas, tuleks arvestada katsekeskkonnaga. Sageli küll lisand sulgeb mikropraod, kuid dünaamiliste koormuste ilmnemisel, olgu see siis tee liiklus või läheduses toimuv ehitus, sulgemisprotsess märgatavalt aeglustub, intensiivse dünaamilise koormuse korral peatub protsess täielikult ja jääb seisma, kuna värske ja kivistumata prao sulgemise struktuur lihtsalt puruneb.

Betoonilisand ja tema omadused

See on eriline betoonilisand, mis muudab selle veekindlaks. Selle koostisosade hulka kuuluvad erilised keemilised ained, mis reageerivad betoonis oleva niiskusega, moodustades tugeva kristallilise struktuuri, mis aitab vältida vee sissepääsu ja kaitseb betooni väliskahjustuste eest. [40]

1. Doseerimine – 1kg m³ betooni kohta [40]

2. Sulgeb staatilised praod kuni 0,5 mm [40]
3. Betoonisegu temperatuur $>4\text{ C}^0$ [40]
4. Ei ole toksiline [40]
5. Suurendab betooni töödeldavust [40]

1.2.3 Paisuva bentoniilindi ajalugu ja üldine informatsioon

Nagu WPM profiil, paisuv bentoniidilint osaliselt kuulub konstruktsioonides kasutatavate õmbluste kolmandasse kategooriasse. [25]

1. Kokkutõmbumisvuugid [25]
2. Paisumisvuugid [25]
3. Ehitusvuugid [25]
4. Eri otstarbega liigesete ja pragude kompenseerimiseks vuugid [25]

Ehitusliidete kavandamine ja loomine suurte massiliste betoonitööde jaoks teatud kohtades kavandatud pausidena hõlbustab ehitamist ja betooni paigaldamist. Betoonipinna peatamispunkt muutub ehitusliiteks, kui betooni paigaldamine jätkub. Paigaldamise suurus ja aeg on ehitusliidete jaoks olulised tegurid. Mõned ehitusliited on vältimatud betoonitööde planeerimata katkestuste tõttu. Ehitusliited võivad olla kavandatud kokku langema kokkutõmbumis- või paisumisliidetega, kus betoonpinnad ei ole ühendatud. Monoliitse paigalduse korral võivad kaks betoonpinda nõuda täielikku haakumist ehitusliite kaudu struktuurse terviklikkuse jaoks. [25]

Omakorda, bentoniidilint on waterstop, mis on selle materjali vuukidesse paigaldamise peamine eesmärk. Waterstop on eelnevalt vormitud vuugimaterjali tüüp, meie juhul mittemetalliline. Sageli kasutatakse hüdrostoppe hüdrotehniliste betoonkonstruktsioonide monoliitühendustes, kuid see ei tähenda. [25]

Waterstop'id on tavaliselt kahte tüüpi - metallist ja mittemetallist. Metallist hüdrostopid valmistatakse pliist, terasest, vasest, pronksist. Sageli kasutatakse metallist hüdrostoppe suurtes ehitusprojektides, kus on vajalik tugevus, mitte paindlikkus. Mittemetallilised hüdrostopid on valmistatud sünteetilistest kummidest, nagu butüülkumm, neopreen, stüreen-butadieenkumm ja nitril-butadieenkumm. Mittemetalliliste hüdrostopide eripära on see, et nad pakuvad ehitistele paindlikkust, mitte tugevust. [25]

Sellepärast peavad mittemetallilised hüdrostopid omama järgnevaid omadusi: [25]

1. Hea taastusvõime [25]
2. Keemiline vastupidavus [25]
3. Väsimuskindlus [25]

Paisuva bentoniitlindi tootmine ning peamised lisandid

Paisuv bentoniitlint on hüdrofiilne materjal, mille koostises on nii looduslik bentoniitsavi kui ka naatriumiga butüülkumm. Kvaliteetse toote tootmise peamine tegur on kvaliteetse savi valik ja sobivate lisandite koguse ning nende ühilduvuse kasutamine. Bentoniitsavi omaduste parandamiseks lisatakse sellele polümeerseid lisandeid, mis parandavad selle plastilisust, elastilisust ja ennetavad enneaegset paisumist õhuniiskuse mõjul. Ettevalmistatud segu pressitakse linti kasutades rullikut, seejärel kuivatatakse see vajaliku kuju ja tugevuseni, mille järel see testitakse ja pakendatakse. [41]

Kahjuks, ilma teatud lisandite kasutamiseta on sel juhul vastupidava veetõkkevuugi lahenduse tootmine võimatu. Allpool on loetletud kõige sagedamini kasutatavad lisandid Paisuva bentoniidilindi tootmiseks. [41]

1. Polümeersed lisandid - Selle lisandite tüübi abil paraneb toote elastsus ja plastilisus. Samuti väheneb materjali veepidavus mehaaniliste mõjude korral
2. Stabilisaatorid - see lisandite tüüp ei lase bentoniidil enneaegselt paisuda, kui see puutub kokku õhuniiskusega [41]
3. Antibakteriaalsed lisandid - kuna materjal koosneb suurel määral looduslikest komponentidest, kaitseb see lisandite tüüp materjali bioloogiliste agentide poolt põhjustatud hävimise eest [41]
4. Adhesiooni parandajad - kuna hüdrostopi kvaliteet sõltub otseselt hüdrostopi ja selle ümbritseva aine vahelisest nakkuvusest, aitab see lisandite tüüp parandada lindi nakkumist betooniga [41]

Suures osas võib öelda, et sellise tüüpi hüdrostopi tootmine on ökoloogilisem võrreldes teiste tüüpi hüdroisolatsioonidega, kuna peamine osa materjalist koosneb bentoniitsavist. Kahjuks on ilma teatud lisandite kasutamiseta võimatu saavutada vajaliku kvaliteediga materjali. Üheks halva tüüpi lisanditeks on stabilisaatorid, mis suurel määral kahjustavad keskkonda nende kasutamise ja tootmise käigus, kuna stabilisaatorid sisaldavad raskeid metalle, mille mõju inimese tervisele on tohutult ohtlik.

Paisuva bentoniitlindi ümbertöötlemise võimalused

Selle materjali töötlemine, eriti kui seda kasutatakse hüdroisolatsiooni tootena monoliitsetes raudbetoonkonstruktsioonides, on üsna keeruline. Kuna selle materjali sajaprotsendiliseks töötlemiseks tuleb see betoonist pärast konstruktsiooni eluea lõppu eemaldada. Kuid selguse huvides, et mõista selle toote võimalikku töötlemist teist tüüpi konstruktsioonides, vaatleme paisuva bentoniidilindi peamiste komponentide töötlemist. Peamised komponendid on. [42]

1. Butüülkumm [42]
2. Naatriumbentoniit [42]

Butüülkummi on tänapäeval võimalik ümber töödelda kiirguse abil, sellisel juhul sõltuvalt selle meetodi ja kasutatava kiirguse hulgast on võimalik materjali taaskasutada lisandina uue butüülkummi või adhesiivide tootmiseks, mis sobivad pindade korrosioonikaitseks, tihenditeks. [42]

Radiatsiooniefekt on keskendunud materjali struktuuri nõrkade sidemete murdmisele. Seega, mida tugevam on kasutatav radiatsioon, seda tugevamaid sidemeid on võimalik murda. Seda protsessi nimetatakse sageli degradatsiooniks ja seda kasutatakse paljudes polümeeride töötlemise protsessides. On märkimisväärne, et protsessi edukus sõltub suuresti sidemete nõrkusest ja vastupidiselt nende ühendamise tugevusest. Seetõttu on väga tugevate sidemetega polümeeride puhul degradatsioonimeetodiga võimatu saada stabiilseid kiiritatud polümeere. [42]

Kui kasutatakse kiirgust materjali lagundamiseks, siis leiti, et kui kiirgusdoos on väiksem kui 100 kGy, võib butüülkumm rekombineeruda ja taaskasutada. Kuid kui kiirgusdoos on suurem kui 100 kGy ja temperatuurid on kõrgemad, suureneb laguneva materjali kogus. Selline materjali käitumine jätkub kuni kiirgusdoosini 270 kGy, mille juures lagunemisindeks suureneb võrreldes 100 kGy doosiga 15 protsendi võrra, kuid materjali ei saa edasise kiirgusdoosi suurendamise tõttu kahjustatud maatriksi tõttu taastada. [42]

Na-bentoniidi ümbertöötlemise meetod sõltub suuresti selle kasutamise eripärast ja selle seisukorrast pärast kasutamist. Bentoniidi ümbertöötlemisel võetakse arvesse ka selles sisalduvaid lisandeid. [43]

Bentoniidi ümbertöötlemine toimub kolme meetodi abil:

1. Termiline meetod - See meetodit kasutatakse juhul, kui bentoniit on tugevalt saastunud orgaaniliselt, mis põhjustab adsorptsiooniomaduste halvenemist. [43]

2. Keemiline meetod - See meetod on suunatud bentoniidi pinnalomaduste muutmisele spetsiifilisteks rakendusteks, kui selle omadused ei vasta praegu materjali tootmiseks vajalikele normidele. [43]
3. Mehaaniline meetod - Kui bentoniit ei ole keemiliselt ega orgaaniliselt saastunud, kasutatakse seda meetodit ainult materjali esialgsete füüsiliste omaduste taastamiseks edasiseks kasutamiseks. [43]

Bentoniidi ümbertöötlemise peamine eesmärk on jäätmete minimeerimine ja toormaterjali taaskasutamine. Selliste põhimõtete järgimine aitab vähendada keskkonnareostust. [43]

Mõlemad materjalid, naatriumbentoniit ja butüülkumm, on tõepoolest võimalik ümber töödelda. Naatriumbentoniidi puhul ei kaasne ümbertöötlemisprotsessiga lisaraskusi, ja enamik jäätmeid läheb termilisele ja mehaanilisele töötlemisele. Siiski tuleb arvestada, et suur osa naatriumbentoniidi jäätmetest nõuab individuaalset lähenemist, kuna bentoniiti kasutatakse peaaegu igas tööstusharus. Butüülkummi ümbertöötlemisel on praegu ainsaks võimaluseks kiiritamine, mis võimaldab suure osa toorainest taaskasutada. Kahjuks pole praegu täpset teavet selle kohta, kuidas butüülkummi ja naatriumbentoniiti koos ümber töödelda, kuid on võimalik, et esmalt ekstraheeritakse naatriumbentoniit ja seejärel töödeldakse butüülkummi erimeetodi abil. Tuleb korrata, et kui me räägime paisuva bentoniitlinde ümbertöötlemisest, siis tõenäoliselt ei ole ühiskond praegu selle ümbertöötlemisest huvitatud, kuna protsess on keeruline, eriti kui on vaja saada bentoniitlint betoonist heas seisukorras tagasi töötlemiseks.

Paisuva bentoniitlinde keskkonnasõbralikus

Selleks, et paremini mõista selle tüüpi hüdroisolatsiooni keskkonnasõbralikkuse astet, jagame toote kaheks osaks ja arutame erinevaid komponente eraldi. Nagu varem mainitud, koosneb materjal peamiselt Na-bentoniidist, butüülkummist ja erinevatest lisanditest, mis aitavad saavutada hüdroisolatsioonitootel vajalikke omadusi. [44]

Materjali tootmise aluseks on sünteetiline kumm. Sünteetilise kummi tootmisel on peamiseks tooteteks naftapõhised materjalid ja struktuurid. Materjal ise ei ole inimesele eriti ohtlik, kuid selles sisalduvad lisandid kujutavad peamist ohtu nii keskkonnale kui ka inimesele. Alustame täiteainetest, mille osakaal valmistoodetes moodustab kummtoodete põhiosa. [44]

1. Sõe - umbes 65 protsenti toodetud sõest kasutatakse kummtoodete, sealhulgas butüülkummi tootmiseks. Näiteks IARC-i uuring on tõestanud, et sõe suurendab

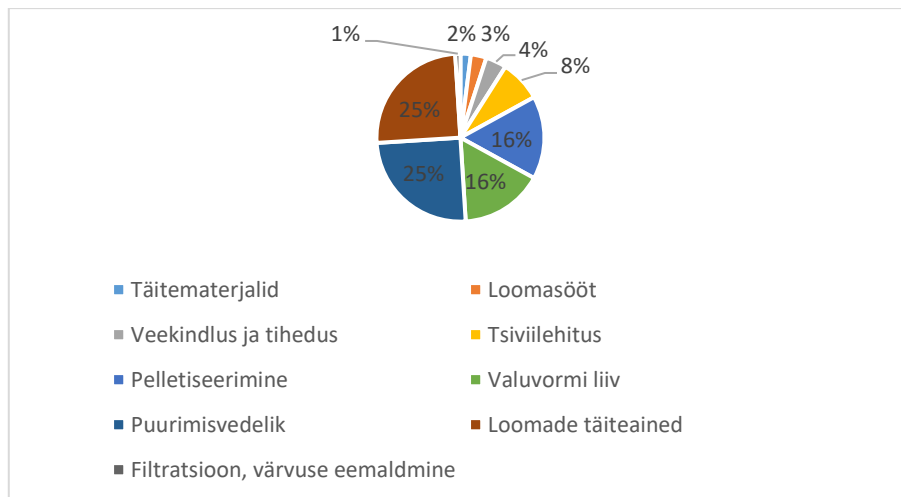
inimestel pahaloomuliste kasvajate tekkimise riski, kui inimene on pidevas kontaktis sellega. Väikestes söeannustes võivad inimestel esineda järgmised sümptomid: köha, röga tootmine, bronhiit, rindkere röntgenpildil nähtavad muutused (näiteks pneumokonioos) ja kopsufunktsiooni langus. [44]

2. Ränidioksiid - see täitematerjal on inimestele ohtlik, selle mõju inimesele kaasneb armkoe moodustumisega kopsudes, mis omakorda võib viia tuberkuloosini. [44]
3. itaandioksiid - praegu ei ole kinnitatud tõendeid selle täitematerjali mõju kohta inimesele, kuid on täheldatud TiO₂ mõju loomadele, nimelt selle kantserogeensust. [44]

Seejärel järgneb teema plastifikaatoritest, mida kasutatakse butüülkummi tootmisel. Plastifikaatoreid kasutatakse butüülkummi tootmisprotsessis mitte ainult kummi töötlemise parandamiseks, vaid need muudavad ka kummi keemilisi omadusi. [44]

1. Aroomilised protsessõlid - see lisanditüüp sisaldab aroomilisi lisandeid. On tõestatud, et see tüüpi lisandid on inimesele kantserogeensed ja võivad põhjustada inimese DNA mutatsioone. Euroopa Liidu määrusega on keelatud kasutada protsessõlised, mis sisaldavad ≥ 10 mg kilogrammi kohta toodet. [44]
2. Ftalaadid - kummitootmises kasutatavate peamiste ftalaatide tüübid on diooktilftalaat, dibutüülftalaat. Ftalaatide miinus on nende mõju nii inimeste kui ka loomade endokriinsüsteemile. Kõige ilmsem miinus seisneb selles, et isegi väikesed ftalaatide kogused, sattudes organismi koos teiste kemikaalidega, võivad põhjustada kumulatiivseid, kahjulikke mõjusid. Seega, eraldi võetuna ftalaat inimesele ohtlik ei ole, kuid arvukate meid ümbritsevate kemikaalide tõttu suureneb ftalaatide oht oluliselt. Kokkuvõttes võib öelda, et kemikaal on aditiivne. [44]

Na-bentonit, nagu paljud teised bentoniidi tüübid, on inimestele ohutu. Muidugi on erandeid, soovitatakse mitte hingata bentoniidi pulbrilist vormi, kuna see võib põhjustada hingamisteede ärritust. Samuti võib bentoniit nahaga kokkupuutel põhjustada ärritust. Bentonidist tooted leiduvad paljudes meie eluvaldkondades. Täpsem protsentuaalne kasutamine bentoniidi erinevates tööstusharudes on näidatud joonisel "Joonis 1.3 Erinevate bentoniidi tüüpide kasutamine tööstusvaldkondades". [45]



Joonis 1.3 Erinevate bentoniidi tüüpide kasutamine tööstusvaldkondades

Uuritud isolatsioonitüübi komponentidele jagades sai selgeks, et kuigi suur osa materjalist koosneb inimestele ohutust Na-bentoniidist, on selles sisalduv butüülkumm äärmiselt ohtlik aine nii meie planeedi elusorganismidele kui ka üldiselt keskkonnale. Butüülkummi keskkonnasõbralikkuse paremaks mõistmiseks tuleks teha LCA-analüüs, mida praegu ei ole teostatud. Samuti võib järeltada uurimusest, mis keskendus teisele kummiliigile, nimelt SBS-le. Uuringu tulemustest saab selgeks, et suurim mõju on siiski toorme kaevandamisel ja töötlemisel, mitte kasutatavatel lisanditel, kuigi nende tähtsust elusorganismide ohutuse küsimuses ei saa alahinnata ning neid tuleb arvesse võtta edasise analüüsi koostamisel.

Väliskeskkonna mõju paisuva bentoniitlindi Na-bentoniidi komponendi omadustele

Selleks, et paremini mõista, kuidas Na-bentoniit segus teiste ainetega erinevatele keskkonnateguritele reageerib, viidi läbi järgmine eksperiment. [46]

Katse käigus uuriti, kuidas Na-bentoniit liivaga segatuna parandab saadud materjali tugevusomadusi nii survekindluses, tõmbekindluses kui ka elastse mooduli osas ning samuti vastupidavuses vahelduvate märgade ja kuivade tsüklite puhul. Peale Na-bentoniidi segati Yamuna jõest New Delhist pärit liiv ka ksantaankummi ja guaarkummiga, et visuaalselt näidata saadud segu eeliseid ja puudusi. Bentoniidiga liiva stabiliseerimiseks segati bentoniit proportsioonis 10%, 15%, 20% ja 25% kogu kuiva liiva-bentoniidi segumassi kaalust. Guaarkummi (GG) ja ksantaankummi (XG) kasutati lahuste valmistamisel, lisades 0,5%, 1,0%, 1,5% ja 2,0% destilleeritud vette. Enne katsete läbiviimist kasutatav liiv puhastati orgaanilistest ainetest, kuivatades seda ahjus temperatuuril 105°C 24 tunni jooksul. [46]

Katsete käigus saadi järgmised tulemused katsekehade survetugevuse mõõtmisel, mida on näha tabelis „Tabel 1.8 Katsekehade survetugevuse mõõtmine“.

Tabel 1.6 Katsekehade survetugevuse mõõtmine

Na-betoniidi sisaldus segus (%)	Saadud survetugevus (MPa)	GG lisandi sisaldus segus (%)	Saadud survetugevus (MPa)	XG lisandi sisaldus segus (%)	Saadud survetugevus (MPa)
10	0,2	0,5	0,14	0,5	0,125
15	0,25	1	0,185	1	0,16
20	0,475	1,5	0,25	1,5	0,175
25	0,5	2	0,225	2	0,135

Täheldati, et liiva ja Na-betoniidi segu ületab peaaegu kaks korda liiva ja GG ning XG lisandi segude näitajaid iga uuritud kontsentratsiooni korral. Tuleb märkida, et kui betoniidi kontsentratsioon segus ületab 25%, väheneb selle tõmbetugevus järsult, kuna suurem protsent muudab segu plastiliseks saviks. GG ja XG lisandite puhul ei muutu tõmbetugevus lisandi kontsentratsiooni suurendamisel oluliselt. Kui GG ja XG kontsentratsioon on kaks protsenti, hakkab tõmbetugevus vähenema, mis on tingitud paksema vaigukihi ilmumisest liivaterade vahel. [46]

Järgmises etapis testiti tõmbetugevusi erineva betoniidi, GG, XG lisandi kontsentratsiooniga segudes. Katsetulemused on näidatud tabelis „Tabel 1.9 Katsekehade tõmbetugevuse mõõtmine“

Tabel 1.7 Katsekehade tõmbetugevuse mõõtmine

Na-betoniidi sisaldus segus (%)	Saadud tõmbetugevus (MPa)	GG lisandi sisaldus segus (%)	Saadud tõmbetugevus (MPa)	XG lisandi sisaldus segus (%)	Saadud tõmbetugevus (MPa)
10	1,2	0,5	1	0,5	0,7
15	1,21	1	1,05	1	0,94
20	2,2	1,5	1,3	1,5	0,99
25	2,23	2	1,4	2	1,42

Kõige ilmsemad muutused tõmbetugevuses olid märgatavad Na-betoniidi kontsentratsioonil 15-20%, mis on otseselt seotud segu muutumisega mitteplastilisest plastiliseks saviks, mis toetab ka eelnevat katset, kus survetugevuse testil täheldati, et betoniidi kontsentratsiooni suurendamisel ei kasvanud katsekehade survetugevus

kiiresti, vaid pigem hakkas vähenema. GG ja XG lisandiga proovid suurendasid peaaegu lineaarselt oma tõmbetugevust biopolümeeri kontsentratsiooni suurendamisega. [46]

Na-bentoniidi kontsentratsioonil 20% ja XG lisandil 1,5% oli tõmbetugevuse erinevus peaaegu kaks korda. See viib järeldusele, et bentoniit on tõmbekoormustele vastupidavam kui XG ja GG vaigud. [46]

Viimases etapis testiti liiva ja bentoniidi, XG, GG lisanditega segude võimet säilitada omadusi vahelduvates niisutus-kuivamise tingimustes. Tsüklilise kujuga proovid valmistati kompakteeerides, mille koostises oli bentoniit, GG lisand ja XG lisand. Seejärel paigutati proovid 7 päevaks niiskuskambrisse ja pärast seitsme päeva möödumist neid allutati vahelduvale niisutamisele-kuivatamisele. Bentoniidiga proovide puhul katse ebaõnnestus ja proovid hävinesid pärast vette kastmist, kui bentoniidi kontsentratsioon oli 10-15% ja rohkem. GG lisandiga proovid ei suutnud üle elada esimest niisutamistsüklit ja hävinesid igal testitud kontsentratsioonil. XG lisandiga proovid osutusid vastupidavamaks ja säilitasid oma kuju isegi pärast 12 tsüklit. Peamiseks tugevuse languse faktoriks XG lisandiga proovides oli biopolümeeri väljauhtumine niisutus-kuivamise tsüklite ajal. [46]

Katsete käigus selgus, et Na-bentoniidiga segu näitas survetugevuse ja tõmbetugevuse katsetes parimaid tulemusi. Elastsusmooduli mõõtmisel näitas bentoniidiga segu samuti paremaid tulemusi, edestades XG ja GG segusid umbes 10 protsendiga. Niisutamise ja kuivatamise katse käigus ei läbinud bentoniidiga proov kontrolli ja lagunes kohe pärast vette kastmist. See on tingitud sellest, et veega kokkupuutel muutub modifitseerimata bentoniit plastiliseks saviks ja ei suuda enam deformatsioonidele vastu seista. Bentoniit imab endasse vett ja paisub, mis põhjustab sisemisi pingeid. Just seetõttu kasutatakse paisuva bentoniidilindi tootmisel polümeerset lisandeid, stabilisaatoreid, plastifikaatoreid, mis ei lase materjalil enneaegselt paisuda ja parandavad materjali tugevust. Samal ajal muudab butüülkumm Na-bentoniidi struktuuri tugevamaks ja pikaealisemaks ning veekindlaks ja selles sisalduvate lisandite suhtes vastupidavamaks.

Väliskeskkonna mõju paisuva bentoniitlindi butüülkummi komponendi omadustele

Materjali mehaaniliste ja termiliste omaduste mõjutavate erinevate tegurite mõistmiseks viidi läbi eksperiment, kus testiti: [47]

1. Temperatuuri mõju tõmbetugevusele
2. Temperatuuri mõju vuugi tõmbetugevusele

Katsete tulemusel uuriti erinevate temperatuuride mõju butüüli vuugi tõmbetugevuse omadustele kolmel erineval temperatuuril: 80, 100 ja 120 kraadi. Katsete tulemuste põhjal. Iga proovi uuriti 25 tundi kestel. Katsete tulemusena leiti, et kõige suurem mõju butüüli vuugi tõmbetugevuse omadustele avaldas temperatuur 120 kraadi, kõige väiksem mõju avaldas temperatuur 100 kraadi. Pärast 5 tundi temperatuuril suurenes materjali tõmbetugevus 0,7 MPa-st 1,3 MPa-ni, seejärel langes 1 MPa-ni ja näitas stabiilset seisundit katse lõpuni. Temperatuuride 100 ja 80 kraadi puhul olid materjali viskoelastsuse muutused vuugikindluse puhul ebaolulised. [47]

Edasi uuriti materjali üldist tõmbetugevust temperatuuridel 80, 100 ja 120 kraadi. Nagu oli oodata, sai kõige paremini hakkama materjal, mis asus 80 kraadi juures, võrreldes 100 ja 120 kraadiga, kuna 80 kraadi juures jäi materjali struktuur stabiilseks ja tõmbetugevus ei langenud, jäädes katse esimesest tunnist kuni 25. tunnini konstantseks. Kõige halvem näitaja oli proovil, mis testiti 100 kraadi juures, mille keskmine tõmbetugevus oli 16N, samas kui 80 kraadi juures oli tõmbetugevus 19N ja 120 kraadi juures 17N. [47]

Katsete põhjal on võimalik järeldada, et butüülkummi ei saa kasutada hüdroisolatsioonina nendes ruumides, mis on pidevalt kõrgete temperatuuride mõju all, kuna kõrgematel temperatuuridel suureneb materjali elastsus ja viskoossus, mis viib materjali deformatsioonini ja võimalike õõnsuste tekkimiseni betooni ja isolatsioonipinna vahel, millest võivad tekkida lekked.

Savilint ja tema omadused

Bentoniitlint kasutatakse monoliitbetooni töövuukide tihendamiseks. Tänu iseparandavatele omadustele on paisuvatel bentoniitlintidel võime tungida katkemispunktidest, mittevajalikesse süvenditesse ja kõige väiksematessegi pragudesse ja sulgeda ning tihendada need kindlalt. Reversiivse paisumisprotsessi tõttu on võimalik kasutada vahelduva veetasemega piirkondades. [48]

1. Reversiivne paisumisprotsess [48]
2. Iseparanduvad omadused [48]
3. Maksimaalne veesurve – 5 bar [48]
4. Lindi kuju – 20x25 mm [48]

Savilindi paigaldusprotsessi selgitamine

Vaatame lühidalt, kuidas paigaldada metall-profiili vastavalt Webac juhendile. [49]

1. Veenduge, et aluspind on tasane ning puhas. [49]
2. Paigalda savilint töövuugi keskele. [49]
3. Paigaldus teostada kas liimiga või paigaldusprofiiliga. [49]
4. Kontrollida, et kinnituspunktide vaheline kaugus oleks maksimaalselt 25 cm. [49]
5. Kontrollida, et jätkuühenduste kohtades oleks tagatud lintide ülekate minimaalselt 5 cm. [49]

1.3 Mittetoimivad hüdroisolatsioonimaterjalid

Pealkirja teema hõlmab väga laia mõistet, kõigepealt annan suunatumat arusaama terminist "Mittetoimivad hüdroisolatsioonimaterjalid". Sageli, nähes seda väljendit esimesena, mõtleb inimene mingitele konkreetsetele materjalidele või polümeeride tüüpidele, kuid tegelikult räägitakse samadest PVC, TPO ja SBS materjalidest, kui jutt käib katustest. Maa-aluste konstruktsioonide puhul on hüdroisolatsiooni tüüpide valik samuti lai, alates SBS-st ja lõpetades erinevate profiilide ja lintidega.

Kuigi Eesti ehitusturul kasutatakse pidevalt PVC, TPO ja SBS tooteid, on erijuhtudel, kus materjal ei pruugi olla sobilik hüdroisolatsiooni paigaldamiseks. Tavaline inimene või väheste kogemustega insener võib arvata, et ükskõik milline ülalnimetatud toode sobib kasutamiseks. Siiski, tihti ei ole kõik nii lihtne ja üsna varsti võib vesi jõuda maja kandekonstruktsioonideni. Näiteks on olemas nii tugevdatud kui ka tugevdamata hüdroisolatsioonitüüpe. Eesti kliimatingimustes sobivad väliskeskkonnas kasutamiseks eranditult ainult tugevdatud tooted, kuna materjal on pidevalt temperatuuride tõttu deformatsioonile allutatud. Samuti tuleks arvestada toote UV-kiirgusele vastupanuvõime faktoriga, kuna ka see võib erinevate toodete puhul erineda. Lõpetuseks tuleb mainida, et peale tugevdava võrgu materjalis mängib olulist rolli ka selle elastsus, mis iga tootetüübi puhul erineb.

„Eestis kasutatakse lamekatuste ehituses kahjuks üsna palju ka kehva kvaliteediga SBS katteid. Ilmselt on see tingitud klientide hinnatundlikkusest ja tihedast konkurentsist turul. Tihti peale nende kasutatavate katete tehnilise elukaare pikkus ei küündi üle 10-15 aasta olenevalt hoone ilmastiku koormusklassist. Võrdlusena võib tuua näiteks meie põhjanaabri Soome kus turul ei ole lubatud kasutada katusekatteid mille tehnilise elukaare pikkus jääks alla 30 aasta. Soomes ongi määratletud RT-juhendamaterjalis bituumenkatete tehnilise elukaare pikkuseks keskmiselt 35 aastat. Näiteks ballastiga kaetud katused on mõeldud kestma keskmiselt kuni 45 aastat. SBS katte kvaliteet aga

on olulise tähtsusega lamekatuste ehituses. Kehvema kvaliteediga kate kulub kiiremini läbi." (Katuseseire OÜ, intervjuu)

1.4 Kirjanduse lühikokkuvõte

Eestis kasutatavate hüdroisolatsioonimaterjalide arv on väga suur, nagu juba varem mainitud, igal hüdroisolatsioonimaterjalil on sarnased ja erinevad omadused. Lisaks on paljudel hüdroisolatsioonimaterjalidel ka teisejärgulisi omadusi, nagu gaasi läbilaskvus, UV-kiirguse tõrjumine, mis omakorda vähendab hoonele langevat soojuskoormust.

Analüüsidest uuritud kirjandust, võib kindlalt öelda, et praegusel ajal ei eksisteeri tõeliselt rohelist tüüpi hüdroisolatsiooni. Mõned hüdroisolatsioonitüübid on paremini kohandatud materjali taaskasutamiseks, kuid nende CO₂ jalajälg on võrreldes teiste hüdroisolatsioonitüüpidega üsna kõrge. Teised jätavad oma tootmisel väga väikese CO₂ jalajälje, kuid nende taaskasutamine on kas keeruline või peetakse sobimatuks. Neljandad on omakorda pooleldi valmistatud ökoloogilisest materjalist, mille CO₂ jalajälg ja mõju keskkonnale on tühine, väljendudes ainult toksiliste lisandite kasutamise mõjus materjalis. Siiski on teise poole materjali tootmine äärmiselt toksiline ja selle taaskasutamine on raskendatud loodud polümeeriga. Lõpuks võib kindlalt öelda, et uuritud materjalide nimekirjas on ka võitjad materjali ökoloogilisuse osas, kuid ökoloogilise toote hind on palju kõrgem ja see ei sobi kasutamiseks kõigil juhtudel.

Töö "Kirjanduse ülevaade" peatükis tehtud töö kokkuvõttes võib esile tuua mõned aspektid, mis kehtivad igat tüüpi hüdroisolatsiooni kohta. Materjali taaskasutamist tuleb parandada sõltuvalt polümeeride koostisest, et parandada taaskasutatavate materjalide kvaliteeti, tuleks tooted paremini sorteerida, samuti tuleb orgaanilised saasteained eemaldada taaskasutatavate materjalide pinnalt. Selleks, et tootmise mõju planeedi ökoloogiale ja inimesele tervikuna oleks väiksem, peaksid materjalide tootmisettevõtted asuma võimalikult lähedal toorme leiukohtadele, samal ajal tuleks materjali, tooraine ja lisandite transportimist optimeerida nii, et CO₂ heitkogused, mis kaasnevad transportimisega, oleksid viidud miinimumini. Lõpetuseks tuleb lisada, et inimkond ei tohiks piirduda uuritud hüdroisolatsioonitüüpidega ja peaks võtma kasutusele kõik võimalikud meetodid uute polümeertüüpide loomiseks, mis on keskkonnasõbralikumad ja kergemini taaskasutatavad. Enamik uuritud polümeertüüpe ja nendest valmistatud isolatsioonitüüpe uuriti ja lasti tootmisel juba 20. sajandi keskel ning praegu keskendutakse nende füüsikaliste omaduste parandamisele, kuid mitte enam.

2. UURIMISTÖÖ METOODIKA JA MATERJALID

Lõputöö eesmärk on analüüsida mittetoimivalt paigaldatud ja valitud hüdroisolatsioonimaterjale ning projekteeritud lahendusi, kasutades selleks autori poolt külastatud objektidelt kogutud fotograafiaid ning intervjuusid ettevõtete Primostar OÜ, Katuseseire OÜ ja Telora OÜ esindajatega. Lisaks põhineb töö nende ettevõtete pakutaval toetusel ja teadmistel. Lõputöö keskne osa on suunatud efektiivsete lahenduste ja juhiste väljatöötamisele mittetoimivalt paigaldatud ja valitud hüdroisolatsiooni parandamiseks. Täpsemaks mõistmiseks, kuidas vead tekivad ja millised probleemid nende taga seisavad, viiakse läbi kolm intervjuud Inseneribüroo Telora OÜ inseneridega ja Katuseseire OÜ spetsialistidega, samuti toimub vabamas vormis vestlus ettevõtte Primostar OÜ esindajatega, kus arutletakse uute hüdroisolatsioonilahenduste üle maa-alustele monoliitsetele raudbetoonkonstruktsioonidele ja kõige sagedamini esinevate vigade üle nende paigaldamisel ja lahenduse kasutusel erinevate projektide puhul. Ettevõtete peamine fookus on ehitustööde kvaliteedi kontrollimisel ja hüdroisolatsioonitoodete müügil. Kõik valitud hüdroisolatsioonitüübid analüüsitakse järgmistes põhikategoorias: CO₂ heitkogused ja keskkonnasõbralikkus, jätkusuutlikkus, ümbertöötlemise võimalused, materjali sobivus Eesti kliimasse ning lahenduste maksumus. See võimaldab teha nende kohta põhjalikumat analüüsi, arvestades mitte ainult defektseid lahendusi, vaid ka muid aspekte.

Töö käigus külastas autor seitset erinevat objekti. Kaks nendest objektidest olid tootmishooned, kus kasutati katuseembraanina PVC materjali. Nendel kahel objektil õnnestus autoril jälgida metallprofiilide paigaldustööd monoliitsete raudbetoonseinte valamisel; mõlemad asusid Ida-Virumaal. Järgmised kaks objekti olid büroohooned, ühel kasutati katusekattena SBS membraani ja teisel PVC membraani. SBS-kattega büroohoones oli võimalik näha, kuidas kasutati savilinti, injekeerimisvoolikuid ja metallprofiile maa-aluse parkla monoliitse raudbetoonist valamisel. Üks objektidest oli Saku vallas asuv munitsipaalnõuetehase, kus kasutati SBS materjali katusekattematerjalina. Viimased kaks objekti olid eramud, kus ühel kasutati katusekattena TPO membraani ja teisel PVC membraani; viimase kahe objekti omanike soovil ei lisatud nende hoonete fotosid diplomitöösse. Lisaks sai autor palju pilte ettevõtetest Primostar ja Katuseseire, mis dokumenteerisid materjalide defektset paigaldust või projekteerimisvigu. Primostar ja Katuseseire saadetud fotod kajastasid erinevat tüüpi hooned alates eramutest kuni büroohooneteni, objektid asusid nii Eestis kui ka Lätis, Rootsis ja Soomes. Informatsiooni kogumine toimus alates 2024 aasta septembrikuu algusest kuni 2024 aasta aprillikuu lõpuni.

Kuigi Eesti turul on lai valik hüdroisolatsioonimaterjale, keskendub autor antud töös vaid sisukorras viidatud materjalidele varasemalt selgitatud põhjustel peatükis „lõputöö fookus ja eesmärgid“.

2.1 Uurimistöö etapid ja meetodid

Uurimistöö koosneb 5-st etapist.

1. Vigade tuvastamine hüdroisolatsiooni paigaldamisel või lahenduse projekteerimisel – Vigade tuvastamine põhineb autoripoolt objektide külastuste ajal kogutud informatsioonil ja fotodel, samuti intervjuude käigus ning ettevõtetelt Telora OÜ, Katuseseire OÜ ja Primostar OÜ saadud materjalidel. Kogutud andmete põhjal esitab autor iga tuvastatud vea tõsiduse hinnangu.
2. Riskianalüüs - Pärast vigade tuvastamist antakse ülevaade iga mittetoimiva hüdroisolatsioonilahendusega seotud riskidest. Analüüsitakse probleeme, millega tarbija võib kokku puutuda, kui jätta defekt kõrvaldamata.
3. Defekti kõrvaldamisprotsessi selgitus - Seejärel tutvustatakse lahendusi probleemide kõrvaldamiseks. Selgitatakse samm-sammult õiget hüdroisolatsiooni paigaldusprotsessi ning rõhutatakse, millele tuleks tähelepanu pöörata vigade minimeerimiseks.
4. Intervjuude põhjal probleemide tuvastamine ehitusturul – Läbiviidud intervjuud aitavad mõista ehitusvaldkonna inseneride ja ehitajate seisukohti, tuues esile nende kogemused. See süvendab arusaama uuritavast temast ning pakub autorile väärtuslikku teavet, mis on kasulik mitte ainult diplomitöö kirjutamisel, vaid ka tulevikus projektide kvaliteedi tõstmisel.
5. Hüdroisolatsiooni lahenduste võrdlus - Lõpuks koostatakse analüüs erinevate hüdroisolatsioonilahenduste võrdlemiseks järgmistes kategooriates: CO₂-emissioon ja keskkonnasõbralikkus, jätkusuutlikkus, ümbertöötlemise võimalused, materjali sobivus Eesti kliimaga ning lahenduse maksumus.

2.1.1 Mittetoimivate hüdroisolatsioonilahenduse tuvastamine

Nagu varem mainitud, põhineb andmeanalüüs kogutud fotodel ning läbiviidud intervjuudel. Kuna erinevate materjalide puhul esinevate vigade arv ja tüübid varieeruvad, analüüsitakse iga hüdroisolatsioonitüüpi eraldi, välja arvatud PVC ja TPO materjalid, mille paigaldustehnoloogiad ja kasutatavad sõlmed on sarnased. Defektide

tüübid grupeeritakse vastavalt nende sarnasusele. Samuti arvestatakse analüüsis, et teatud tüüpi defektide ilmumine võib sõltuda teistest seotud defektidest, mistõttu analüüsitakse nende omavahelisi seoseid.

Käsitletud lõputöö etapp jaguneb kaheks alaetapiks. Esimene etapp keskendub katusekatete vigade tuvastamisele ja nende raskusastme hindamisele. Teine etapp on suunatud maa-aluste konstruktsioonide vigade tuvastamisele ja nende raskusastme hindamisele. Koostöös Telora, Primostar ja Katuseseire inseneridega hinnatakse probleeme järgmistes kategooriates.

1. Probleemi raskusaste.
2. Veelekked – kas need on tingitud projekteerimisvigadest või ebaõigest paigaldustehnoloogiast.

Peale hinnangute andmist koostatakse võrdlustabelid, mille alusel määratakse iga hüdroisolatsioonimaterjali puhul kõige sagedamini esinevad paigaldusvead. Kui kogutud fotode arv on suur, viiakse analüüs läbi nende põhjal, samal ajal arvestatakse ka inseneride arvamustega. Kui defektidega fotode arv on väike, jaotatakse tehtavate vigade protsentuaalsus koostöös Katuseseire, Telora ja Primostar inseneridega, kasutades 10-punktilist süsteemi, kus punktid jaotatakse kumulatiivselt uuritavate defektide vahel.

2.1.2 Ebaõigesti rakendatud hüdroisolatsioonilahenduste riskianalüüs

Antud etapi peamine erinevus võrreldes eelneva etapiga seisneb uurimises, mis juhtub, kui avastatud viga jääb kõrvaldamata. Etapi fookus on analüüsida, milliste probleemidega puutub tarbija kokku ja kuidas mittetoimivalt kasutatud hüdroisolatsioon mõjutab hoone karakteristikuid. Riskianalüüs viiakse läbi koostöös Telora, Primostar ja Katuseseire ettevõtetega ning jaotatakse järgmisteks alaetappideks.

1. Probleemi mõju tarbijale.
2. Probleemi mõju hoone karakteristikutele.

Pärast nimetatud alaetappide läbiviimist koostab autor iga käsitletud probleemi kohta eraldi riskianalüüsi, mis selgitab valesti paigaldatud hüdroisolatsiooni mõju nii hoonele kui ka tarbijale. Riskid on tabelis jaotatud kolmepallises süsteemis, kus 1 tähendab suurt

riski, 2 keskmist riski ja 3 madalat riski. Autor põhjendab, miks konkreetne defekt kuulub teatud riskigruppi, arvestades nii defekti kahjulikkust elanikele kui ka hoonele endale. Elanikele tekitatud kahju määratakse defekti kõrvaldamiseks vajalike tööde mahu ja defekti tekitatud kiirete probleemide alusel. Hoone omadustele avaldatava mõju hinnatakse selle järgi, kui suuri kahjustusi defekt võib hoonele põhjustada, kui seda ei kõrvaldata. On oluline märkida, et mõned defektid võivad olla ainult esteetilised, samas kui teised võivad kahjustada hoone kandekonstruktsioone või muid olulisi omadusi.

Parema arusaamise saamiseks, kuidas riskide skaala konkreetsetel juhtudel jaotub, on allpool tekstis esitatud riskide astme jaotuse detailne selgitus.

Riskiskaala, mis on seotud hooneomaniku heaoluga.

1. Esimene grupp (suur risk) – Defekti kõrvaldamisega seotud potentsiaalselt suured rahalised kulud, defekt võimaldab vee takistusteta levikut konstruktsiooni sügavuses. Puudust ei pruugi õigeaegselt märgata hoone inspekteerimisel vastava ettevõtte poolt, mis toob kaasa mitte ainult vee sattumise konstruktsiooni siseosadesse, vaid mõjutab ka teisi konstruktsiooniosi nagu soojusisolatsioon, tehnilised süsteemid jm, mis omakorda toob kaasa suurenenud rahalised kulutused hoone taastamisele.
2. Teine grupp (keskmine risk) – Defekt ei põhjusta vee otseselt sattumist konstruktsiooni siseosadesse, kuid selle kõrvaldamata jätmine nõrgestab hüdroisolatsiooni struktuuri ja toob kaasa rahalised kaotused selle parandamiseks. Tõenäoliselt kõrvaldatakse defekt ennetähtaegselt hoone inspekteerimise käigus vastava ettevõtte poolt. Raha kulub ainult defekti kõrvaldamisele, ülejäänud maja osad defekt ei kahjusta.
3. Kolmas grupp (madal risk) – Defekt on suuresti esteetiline või selle arenemine kriitiliseks seisundiks nõuab palju aega, mis võimaldab kõrvaldamiskulud minimeerida. Defekt kõrvaldatakse kindlasti vastava ettevõtte poolt läbiviidava inspektsiooni käigus enne selle kriitiliseks muutumist.

Riskiskaala, mis on seotud hoone karakteristikute säilitamisega.

1. Esimene grupp (suur risk) - Defekt põhjustab vee takistusteta ja kohese sattumise hoone siseosadesse. See kahjustab mitte ainult hüdroisolatsiooni, vaid ka teisi konstruktsioonelemente nagu tehnosüsteemid, siseviimistlus, soojusisolatsioon, hoone kandekonstruktsioonid jms. Antud defekti potentsiaalne risk on väga kõrge kriitiliste asjaolude juhul, mis võivad

- põhjustada pöördumatuid tagajärgi hoone omadustele, nagu soojapidavus, hoone stabiilsus, hallituse tekkimine ja palju muud.
2. Defekt võib aja jooksul kaasa aidata lekete tekkimisele, kui seda ei kõrvaldata teatud aja jooksul. Otsene vee sattumine hoone konstruktsiooni on antud riskitasemel välistatud. Defekt kõrvaldatakse tõenäoliselt enne esimeste lekete ilmumist vastava ettevõtte poolt läbiviidava inspektsiooni käigus.
 3. Defekt on puhtalt esteetiline. Sellest tulenevaid ilmseid lekkeid või muid riske ei esine. Defekt vähendab materjali kasutusiga.

2.1.3 Hüdrolatsioonide defektide kõrvaldamine ja õige paigaldusprotsessi ja lahenduste selgetus

Defekti tuvastamine on oluline, kuid samavõrd kriitiline on ka defekti korrektne kõrvaldamine. Selles etapis annab autor paigaldusjuhendi ja nii enda kui ka inseneride kogemuste põhjal juhiseid defektide kõrvaldamiseks, kaaludes erinevaid võimalusi ning selgitades probleemi lahendamiseks optimaalset lahendust. Lõpetuseks käsitletakse, millele tuleks tähelepanu pöörata erinevate hüdrolatsioonimaterjalide paigaldamisel, ning tutvustatakse lühidalt norme, mille järgimine hüdrolatsioonide paigaldamisel aitab vähendada tulevikus esinevate defektide hulka.

2.1.4 Intervjuude läbiviimine probleemide süvendatud analüüsiks ja aruteluks

Arvestades, et autori kogemus ehitusvaldkonnas on piiratud, otsustati läbi viia kaks põhjalikku intervjuud, et paremini mõista hüdrolatsioonide paigaldamisega seotud probleeme ja nende lahendamise võimalusi. Esimene intervjuu viidi läbi projektijuhiga Telora OÜ-st. See keskendus maa-aluste raudbetoonkonstruktsioonide hüdrolatsioonide küsimustele. Teine intervjuu toimus juhatuse liikmega Katuseseire OÜ-st, ning see keskendus lamekatuste hüdrolatsioonilahendustele.

Kolmas intervjuu, nagu juba varem mainiti, toimus Primostar OÜ esindajaga vabamas vormis.

Autor valis just need kolm ettevõtet, kuna Katuseseire on spetsialiseerunud katuste ehituskvaliteedi kontrollimisele ja ehituse lõppedes ilmnevate defektide tuvastamisele. Telora OÜ projektijuht omab ulatuslikku ehituskogemust ja peab ühes Eesti parimas tehnilise järelevalve firmas kõrget ametikohta. Firma Primostar tegeleb nii erinevat

tüüpi hüdroisolatsioonilahenduste müügiga monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukidele kui ka tegeleb tööde kvaliteedi kontrollimisega objektil.

Intervjuud salvestati diktofonile, seejärel transkribeeriti ja analüüsiti diplomitöö tarbeks. Kolmas, vabamas vormis intervjuu viidi läbi Primostar OÜ-ga, käsitledes Eesti ehituskvaliteeti, hüdroisolatsiooni paigaldamisel esinevaid vigu ja uusi lahendusi selles valdkonnas. Enne diplomitöösse lisamist kontrollivad intervjuu osalejad teksti, et tagada esitatud teabe täpsus.

Telora OÜ projektijuhile esitatavad küsimused on järgmised.

1. Kas praegu on projekteerijatel, inseneridel ja ehitajatel kasutada kvaliteetseid materjale ja lahendusi hüdroisolatsiooni paigaldamiseks? Kas turul on harva kasutatavaid alternatiivseid lahendusi, mille omadused ületavad tavapäraseid lahendusi?
2. Kes on süüdi ebaõigesti paigaldatud hüdroisolatsioonis - kas projekteerija, ehitaja või insener? Või on viga paigaldusjuhendis?
3. Kuidas saaks parandada hüdroisolatsioonide paigaldamise kvaliteeti? Millised on peamised vead, mida ehitajad, insenerid ja projekteerijad teevad?
4. Milliseid isolatsioonitüüpe kasutatakse Eestis enim ja kuidas mõjutab pinnasevee surve nende valikut?

Katuseseire OÜ juhatuse liikme küsitlus katab järgmised teemad.

1. Millised on kõige sagedasemad vead katuse hüdroisolatsiooni paigaldamisel, mida olete oma karjääri jooksul kohanud?
2. Kes on tavaliselt süüdi mittetoimivas hüdroisolatsioonilahenduses?
3. Kas on olemas kvaliteetseid materjale ja lahendusi, mis ületavad turul levinuid? Kui jah, siis miks neid harva kasutatakse?
4. Kas olete kokku puutunud materjalidega, mis ei sobi Eesti või Soome kliimasse? Kuidas leidsite lahenduse nendele probleemidele?
5. Kas on olemas meetodid, mis aitavad kiiresti tuvastada veelekked või muid katuse defekte?

2.1.5 Erinevate hüdroisolatsiooni lahenduste võrdlus

Viimases osas viib autor läbi võrdleva analüüsi erinevate hüdroisolatsioonitüüpide vahel, keskendudes lamekatuse hüdroisolatsioonile ja monoliitsete

raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonile. Võrdlus põhineb järgmistel kriteeriumidel.

1. CO₂ emissiooni eraldumine materjali tootmisel - Emissiooni arvutused põhinevad hoone süsiniku jalajälje kalkulaatoril või materjalide keskkonnamõju deklaratsioonidel, arvutused teostatakse 200 m² katuse pindala ja 200 jm monoliitkonstruktsioonide liitekohtade põhjal. Nende andmete alusel määratakse iga materjali keskkonnamõju.
2. Materjali keskkonnasõbralikkus – Keskkonnasõbralikkust hinnatakse vastavalt uuritud kirjandusele, sealhulgas materjalide tootmisel kasutatavate toksiliste lisandite mõju hindamisele. Toksilisuse hindamiseks kasutatakse 5-pallist süsteemi, kus 1 tähistab väga toksilist ja 5 vähem ohtlikku. Toksilisuse andmed pärinevad ECHA ja ECOTOX andmebaasidest.
3. Materjali ümbertöötlemise võimalused - Uurimuse põhjal tehakse järeldused selle kohta, milline materjal on kõige paremini taaskasutatav ja keskkonnale ohutum pärast kasutusaja lõppu. Hindamisel arvestatakse realselt kasutusel olevaid materjalide töötlemise meetodeid.
4. Materjali sobivus Eesti kliimaga ning materjali kasutusiga - Materjali käitumist Eesti kliimatingimustes hinnatakse vastavalt temperatuuri muutustele ja UV-kiirgusele. Väliskeskkonna mõju hindamisel tuginetakse teaduskirjandusele.
5. Kasutatud hüdroisolatsioonimaterjalide maksumus - Viimasena hinnatakse erinevate materjalide maksumus. Arvutus keskendatud puhtalt materjalide maksumusele, tööjõuga seotud kulud ei ole arvestatud. Arvutus oli teostatud Excel tarkvaras. Autor saab vajaliku materjali mahtude hinnapakkumised analüüsitava materjalide tarnijatelt. Katuseembraanide puhul, kui küsiti hinnapakkumist, palus autor mitte arvestada materjali ülejääki ülekatte jaoks, kuna mahtude arvutamisel autor ise määras ülekatete paigaldamiseks vajaliku materjali mahu. Parapeti ülespöörete tegemiseks vajalik katuseembraani maht ka võetud arvesse autori poolt mahtude arvutamisel. Monoliitkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsiooni puhul oli saatja hinnapakkumises juba arvestanud materjali ülejääki, mis on vajalik hüdroisolatsiooni paigaldamiseks, arvestades ülekatteid. Materjali hinna päringu korral lähtub autor järgmisest töömahust. Katuse hüdroisolatsiooniks võetakse ala 200 m² ja raudbetoonkonstruktsioonide vuukide hüdroisolatsiooniks võetakse maht 200 jm.

3. HÜDROISOLATISIOONILAHENDUSTE VÕRDLEMINE

Selle peatüki eesmärk on jagatud viieks põhiosaks.

1. Objektide külastamisel tuvastatud mittetoimivate hüdroisolatsioonilahenduste ülevaade.
2. Tuvastatud mittetoimivate lahenduste riskianalüüs.
3. Tuvastatud mittetoimivate hüdroisolatsioonilahenduste võimalikud parandusmeetodid.
4. Korraldatud intervjuude põhjalik analüüs sügavamaks sukeldumiseks teemasse ja vastuste leidmiseks küsimustele parema analüüsi eesmärgil.
5. Töös käsitletud hüdroisolatsioonimaterjalide analüüs järgmistes punktides: CO₂ heitkogused materjali tootmisetapis, materjali keskkonnasõbralikkus, materjali ümbertöötlemise võimalused, materjali sobivus Eesti kliimaga ja kasutusiga, materjali maksumus

Kõik mittetoimivad lahendused autor liigitas sellisteks, lähtudes iga materjali paigaldusjuhendi normidest ja reeglitest ning lähtudes standardist EVS 920-5:2023.

3.1 Mittetoimivate katusehüdroisolatsiooni lahenduste tuvastamine

Vaadatakse läbi vead katusele hüdroisolatsiooni paigaldamisel ja projekteerimisel kolme materjali – PVC, TPO ja SBS puhul. Teave objektide kohta, kus vead tehti, jääb konfidentsiaalseks ja ei kuulu avalikustamisele.

3.1.1 Tuvastatud defektid SBS katuseembraani puhul

Peamised probleemid, millega peale SBSi paigaldamist kvaliteedi kontrollimisel kokku puututakse, on.

1. Auru- ja veekotid
2. Sammal ja teised orgaanilised reoained SBSi pinnal
3. Mehaanilised vigastused
4. Puistekihi valgumine
5. Keevitamata jäänud SBS kate

6. Tihendamata või halvasti tihendatud läbiviigud
7. Ülespöörded jms.

Defektide analüüsimine teostatakse samas järjekorras, nagu need on loetletud ülalpool olevas nimekirjas.

Selline olukord tekkis SBS-i õmbluse lähedal, parapettide lähedal oleva ventilatsioonikorstna ülespöördesse. Aurukott laieneb järk-järgult õmbluse vahel aurumahu muutumise tõttu, mille tõttu tungib vesi hüdroisolatsioonikihi sisse. Vajalik on antud kohtade parandamine.

1. Ülemises vasakus nurgas näidatud pildil „Joonis 3.1 aurukottide kahjustused“ on aurukoti teke seotud SBS-i väikese ülekattega ja SBS-i ebaühtlase keevitamisega. Projekteerija ei ole selles süüdi, süüdi on ehitaja, kes SBS-i paigaldas.
2. Ülemises paremas nurgas näidatud pildil „Joonis 3.1 aurukottide kahjustused“ on aurukoti teke seotud sademeveelehtri mittehermeetilise paigaldusega. Pragude kaudu satub niiskus SBSi kihi alla ning tekib aurukott. Projekteerija ei ole selles süüdi, süüdi on ehitaja, kes SBS-i paigaldas.
3. Alumises vasakus nurgas näidatud pildil „Joonis 3.1 aurukottide kahjustused“ tekkis aurukott tänu parapetti tekkivale praole, mille kaudu pääses niiskus SBS-i nõrgemasse kohta. Ei saa täpselt väita, et süüdi on ehitaja, kuna pole täpselt teavet selle kohta, miks praod tekkisid. Pragu võis tekkida mehaanilise mõjutuse tõttu, samuti SBS-i paigutuse tõttu parapetile. Üldiselt ei ole SBS-i paigutamine vertikaalsele pinnale hea lahendus. Soojuse mõjul võib dreanažikiht libiseda ja muuta SBS-materjali mehaanilisele hävimisele vastuvõtlikumaks.
4. Alumises paremas nurgas näidatud pildil „Joonis 3.1 aurukottide kahjustused“ tekkis aurukott SBS-i piisavalt sulamata jätmise tõttu selle paigaldamisel ventilatsioonikorstna küljele, mis viis selle tihenduse rikkumiseni. Teiseks mittedelgeks põhjuseks on niiskus, mis võis tekkida teatud ilmastikutingimustes väljas ja ventilatsioonikorstna töö tõttu. Projekteerija ei ole selles süüdi, süüdi on osaliselt ehitaja, kes SBS-i paigaldas.



Joonis 3.1 Aurukottide kahjustused, praktiline osa

1. Igal alltoodud fotodel „Joonis 3.2 Sammal ja teised orgaanilised reained“ on SBS-katte peale moodustunud sammal. Sammal lühendab SBS-katete kasutusiga ja halvendab nende mehaanilisi omadusi, hävitades nende struktuuri mikrojuurtega. Sammal vajab eemaldamist. Selles veas ei ole süüdi ehitaja. Osaliselt on süüdi arhitektid ja projekteerijad, kes ei kasutanud antud projekti jaoks 5D modelleerimise võimalusi



Joonis 3.2 Sammal ja orgaanilised reained, praktiline osa

1. Kahel fotol „Joonis 3.3 Mehaanilised kahjustused“ on näidatud katkised tuulutid, mis tuleb viivitamatult välja vahetada, kuna vee sissepääs katusekonstruktsiooni on otseselt avastatud. Fotode põhjal ei ole selge, kuidas nende lõhkumine toimus. Tõenäoliselt oli lõhkumine põhjustatud füüsilisest mõjust, on vähe tõenäoline, et tuulutid murdusid termilise koormuse tõttu materjali mahu laienemise ja kahanemise tagajärjel. Ei ehitaja ega projekteerija ei ole süüdi.
2. Kolmel fotograafial „Joonis 3.3 Mehaanilised kahjustused“ on näidatud SBS-katte mehaanilised kahjustused. Üks mehaanilistest kahjustustest on läbiv ja nõuab viivitamatut asendamist, kuna niiskus pääseb otse konstruktsiooni sisse. Kaks mehaanilist kahjustust ei ole väga tõsised, kuid nende tõttu võib tekkida aurukotte ja niiskuse kogunemine konstruktsioonis, seega ei tohiks nende parandamisega viivitada. Projekteerija ei ole selles olukorras süüdi. Mehaanilised kahjustused võisid tekkida ehituse käigus või pärast selle lõpetamist katuse kontrollimisel, seega ehitaja on osaliselt süüdi.
3. Fotograafil vasakus ülanurgas „Joonis 3.3 Mehaanilised kahjustused“ on näidatud mehaanilise kahjustuse tekkimise näide SBS-kattel. OSB materjalist ei piisa rattaste põhjustatud mehaaniliste kahjustuste ärahoidmiseks. Kohtades, kus kasutati rattastel tellinguid, tuleks pärast tööde lõpetamist kontrollida SBS-katte kahjustuste olemasolu. Sel juhul on süüdi ehitajad.



Joonis 3.3 Mehaanilised kahjustused, praktiline osa

1. Kolmel neljast fotost „Joonis 3.4 Puistekihi valgumine“ on näidatud näide, kuidas ei tohiks SBS-i vertikaalpindadel kasutada. Näiteks kõrgete parapettide ehitamisel ei tohiks seda teha, kuna termilise koormuse all drenaažikiht voolab alla. Puitstekiht kaitseb SBS-katet UV-kiirguse eest. SBS-katusekatte sulamistemperatuur vertikaalpindadel on 110 kraadi. Väiksematele vertikaalpindadele koondub rohkem päikesekiirgust võrreldes katuse lameda pinnaga. Seetõttu tõuseb temperatuur katte pinnal kriitilise piirini. Parandustööd tuleks ette võtta võimalikult kiiresti enne suve saabumist, millal puistekiht hakkab intensiivsemalt eralduma SBS-i tugevdatud osast. Sellel juhtumil on süüdi projekterija kuna ta ei ole arvestanud SBSi omadustega erinevaid temperatuure taluda.
2. Neljandal fotol „Joonis 3.4 Puistekihi valgumine“ on näidatud, kuidas kaldus katuse puhul on pealmine SBS kattekiht kuumuse käes hakanud valguma, mis suurendab vee läbimise võimalust. Parandustööd tuleb teha enne madalate temperatuuride saabumist, samuti kõrgete temperatuuride korral, mis põhjustavad SBS-katte hävimist. Sel juhul on süüdi projekterija, kuna ei arvestanud materjali valikul ja selle võimet taluda kõrgeid temperatuure.



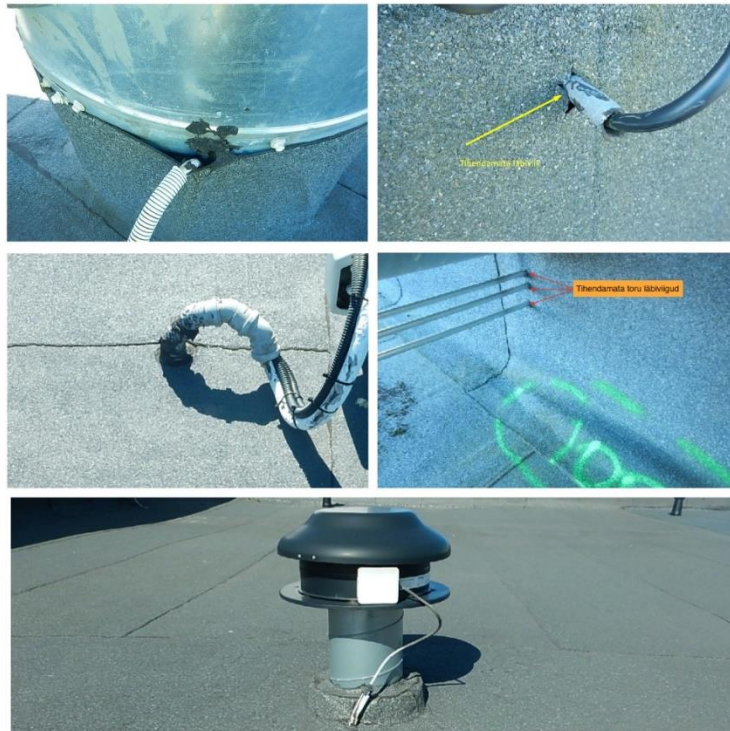
Joonis 3.4 Puistekihi valgumine, praktiline osa

1. Kõik allpool näidatud pildidel „Joonis 3.5 Keevitamata SBS“ olevad vead kuuluvad puhtalt ehitaja vastutusalasse. Iga keevitamata SBS-ühendus viib katuse lekkimiseni. Selles olukorras mängib suurt rolli avatud vuugi asukoht – kas see asub katuse madalaimas punktis või kõrgemas, omab tohutut tähtsust, kuna katusele satunud vee hulk erineb. Allpool on mitu pilti, kus on selgelt näidatud, kuidas avatud vuugi tõttu koguneb vesi SBS-kihtide vahele, mis tulevikus külmudes viib alumise SBS-kihi hävimiseni.
2. Samuti näitavad mitmed pildid ehitaja hooletust. Näiteks ühel joonisel on näha, et SBS-i paigaldamisel tuulutusaava ümber on SBS jäänud keevitamata ja perimeetrile oli määratud mastiks katte kinnitamiseks, kuid mastiksiga paigaldus ei ole parim viis. See ei ole hermeetiline lahendus ja aja jooksul hakkas kahe SBS-kihi vahele niiskus kogunema, mis on näha paremas ülanurgas olevas pildis.
3. Vasakus alumises nurgas on näidatud, kuidas SBS oli paigaldatud ventilatsiooniagregaadi kasti. Pildilt on näha, et paljud vuugid on omavahel keevitamata jäänud, samuti on nurkades SBS-kate peale kandmata ja näha on vineeri. See viga tuleb viivitamatult parandada, kuna sellises seisukorras tekivad katuse esimeste eksploatatsiooniaastate jooksul esimesed lekked ja probleemid hoones elavate või töötavate inimeste jaoks.

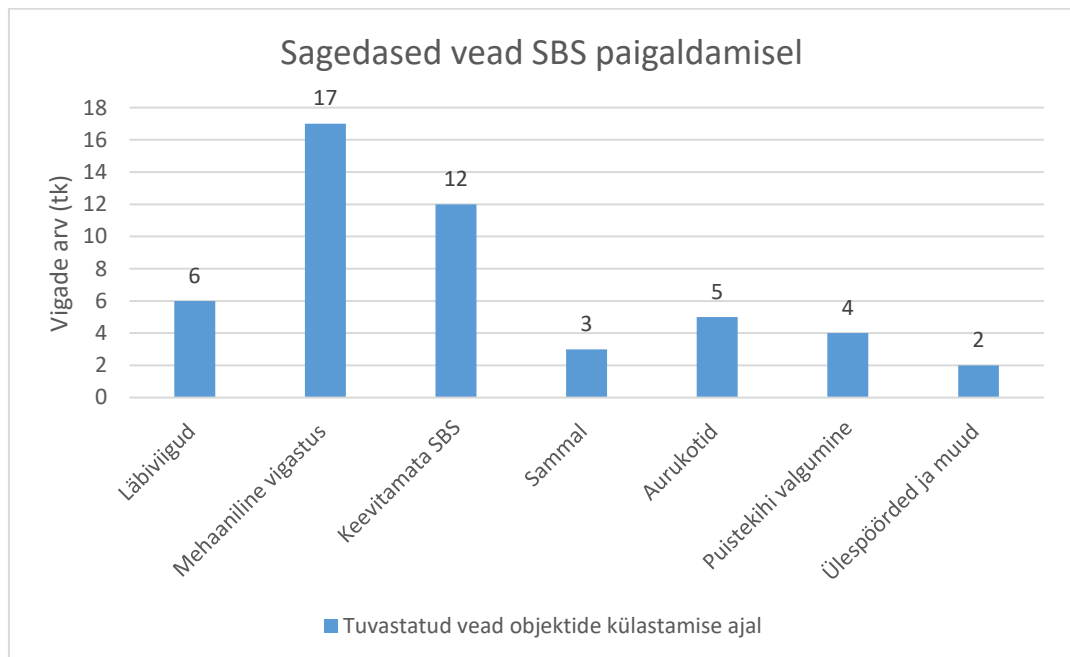


Joonis 3.5 Keevitamata SBS, praktiline osa

1. Allpool loetletud vead „Joonis 3.6 Tihendamata läbiviigud“ on oma olemuselt sarnased. Igal juhul on valesti tehtud kaabliläbiviik läbi SBS materjali. Halvasti tehtud läbiviik toob kaasa vee sattumise katusekonstruktsiooni, veekottide ja aurukottide tekkimise, lekete ning samuti hakkab kate seestpoolt kiiremini lagunema. Seda tüüpi vigu tuleb viivitamatult parandada.



Joonis 3.6 Tihendamata läbiviigid, praktiline osa



Joonis 3.7 Sagedased vead SBS paigaldamisel, praktiline osa

Analüüsi tulemuste põhjal „Joonis 3.7 Sagedad vead SBS paigaldamisel“ on näha, et SBSi paigaldamisel kõige sagedasemad veatüübid on mehaanilised kahjustused, samuti keevitamata jäänud SBS-kate. Teised veatüübid esinevad palju harvemini. Kuigi mehaanilisi kahjustusi katustel on võimatu täielikult vältida, on võimalik korraldada täiendavaid kontrollkäike, mille käigus tuvastatakse ja parandatakse mehaanilised

kahjustused. Selliseid kvaliteedikontrolli käike tuleks korraldada kohe pärast SBS-katusekatte paigaldamist ning pärast katustel tööde lõpetamist. Samuti tuleks selliseid käike korraldada SBS-katte õmbluste kontrollimisel, vähendades sel viisil katuse lekkimise riski ja vajadust täiendavate tööde järele tulevikus.

3.1.2 Tuvastatud defektid PVC ja TPO katuseembraanide puhul

Kuna PVC ja TPO membraanide paigaldustehnoloogiad ja levinud vead on sarnased, käsitleme kõige sagedamini esinevaid vigu nende paigaldamisel ühes alapunktis.

Peamised probleemid, millega kvaliteedi kontrollimisel peale PVC ja TPO materjalide paigaldamist kokku puututakse, on:

1. Mehaanilised vigastused (TPO ja PVC)
2. Valesti tihendatud läbiviigud (PVC)
3. Sise- ja välisnurgad tehtud ilma tugevduseta (TPO ja PVC)
4. Tüüblite asukohad ja samm vale (TPO ja PVC)
5. Paanid ääretsoonides vale laiussega (TPO ja PVC)
6. Madal ülespööre (TPO ja PVC)
7. Lohud katusel kus koguneb vesi (PVC)
8. Seadme vale keevitustemperatuur membraani paigaldamise ajal (TPO ja PVC)
9. Ebapiisav membraanide ülekate (TPO)

Defektide analüüs viiakse läbi samas järjekorras, nagu need on loetletud ülalolevas nimikirjas.

1. Mehhaanilised kahjustused PVC ja TPO-katte puhul on väga sagedane defekt. Peamine põhjus on suur hulk katusele paigaldatavaid tehnosüsteeme, samuti see, et katematerjal on õhuke. Erinevalt SBS-kattest on PVC materjali keskmine paksus 1,5 mm ja tugeva mehaanilise koormuse korral see rebeneb, mis põhjustab vee ja niiskuse tungimist isolatsioonikihtidesse ja sellele järgnevalt lekkeid. Antud tüüpi defekti eest vastutavad nii PVC materjali paigaldajad kui ka teised alltöövõtjad, kes paigaldavad tehnosüsteeme pärast katusetööde lõpetamist.
2. Katuse läbiviikude nagu kaablite või torude vale tihendamine on defekt, mida ei esine väga sageli katusetööde kvaliteedi kontrollimisel. Peamisteks põhjusteks on kas spetsiaalsete toodete, nagu TOPWET lahenduste mittekasutamine või PVC membraani ja näiteks kaablikaitsetoru ühenduskoha vale ja hooletu

tihendamine. Defekt põhjustab katuse lekkeid. Defekti eest vastutavad nii ehitaja kui ka projekteerija, kuna ei pakutud sobivat veekindlat lahendust läbiviikude kujundamiseks. TPO katuseembraani puhul esineb antud defekt väga harva ning seda ei ole antud töös käsitletud.

3. Kuigi defekt „sisemised ja välised nurgad ilma tugevduseta“ esineb harva, toob see kaasa suuri tagajärgi katuse üldisele vettpidavusele. On märgatud, et sageli jäävad sise- ja välisnurgad ilma teraslati või tugevdavate paikade paigaldamiseta, mis muudavad keevisõmblused vähem vastupidavamaks. Rääkides katusekonstruktsiooni sise- ja välisnurkadest, peetakse silmas järgnevaid ühendustüüpe: parapetid, katuseaknad, luugid. Selle defekti eest vastutavad täiel määral väljaõpetamata töötajad, kes paigaldasid katusetööde ajal PVC ja TPO hüdroisolatsiooni.



Joonis 3.8 Tugevduseta sisemised ja välisnurgad, praktiline osa

4. Defekt "Tüüblite asukohad ja vale samm" esineb harva, kuid kõige sagedamini on see seotud sellega, et materjali paigaldamisel ei arvestata maastiku tüüpi, topograafiat, dimensioonivormi, millest sõltub mehaaniliste kinnituste arvutus. Samuti on märgatud, et kõige rohkem vigu tehakse parapeti tsoonis, kus kasutatakse liiga suurt sammu ankrute vahel. Tuleb välja tuua, et ankrute liiga lähedane paigutus PVC ja TPO plaadi servale on sagedane viga. Ankur ei tohi kunagi olla katusekatte servale lähemal kui 30 mm ning ankrupesa ei tohi ületada plaadi serva. Defekti eest vastutavad nii ehitajad, kes paigaldavad membraani, kui ka ettevõtte, mis teostab ankrute sammude arvutust mehaanilisel kinnitamisel. Selliste defektide esinemisel on risk, et materjal

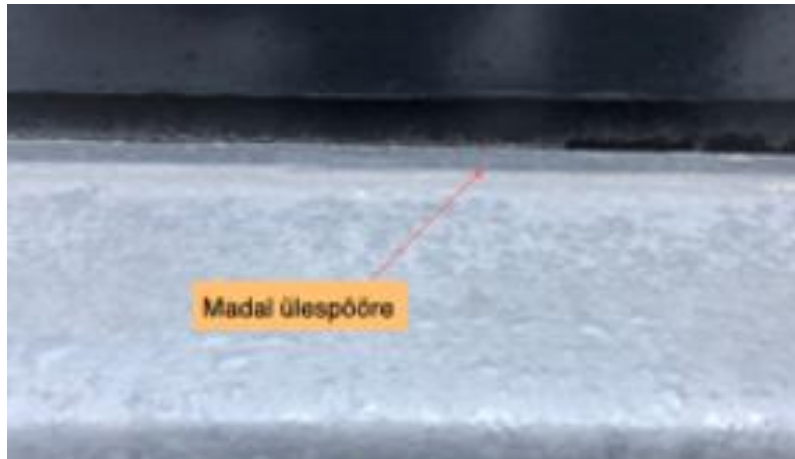
kaotab tugeva tuulekoormuse korral oma hermeetilisuse ja terviklikkuse, mille tulemusena hakkab vesi ja niiskus konstruktsiooni sisse tungima.

5. Kahe meetri laiuseid PVC ja TPO paneele ei tohiks kasutada tugeva tuulekoormusega aladel nagu parapetid. Kahe meetri laiuseid paneele paigaldatakse tavaliselt tuule eest kaitstud katuste kesktsoonis. Kasutades kahe meetri laiuseid paneele, tuleb arvestada, et materjali kokkutõmbumisel ja tuulejõududel on oluliselt suurem mõju kui meetristel paneelidel. Sellest lähtuvalt tekib risk TPO ja PVC hüdroisolatsioonikihi tihenduse kaotamiseks, mis toob kaasa õhukottide tekkimise, kuhu hakkab kogunema niiskus. Samuti võib see viia PVC ja TPO materjali õmbluste lahknemiseni. Veas on süüdi TPO ja PVC membraani paigaldaja, kuna materjalide paigaldusjuhendis on kirjeldatud õiget materjalide paigaldusprotsessi tugeva tuulekoormusega aladel.



Joonis 3.9 Vale laiusega paanid, praktiline osa

6. Defekt „Madal ülespööre” on oluline osa kvaliteetselt paigaldatud TPO ja PVC membraanist. Paigaldusjuhendi kohaselt peab ülestõstete kõrgus olema umbes 300mm või vähemalt 150 mm üle katusepinna kõrgeima punkti. Minimaalse ülestõstmise kõrguse eiramine toob kaasa vee sattumise katusekonstruktsiooni tugeva tuule ja vihma tõttu. Samuti on oluline, et suurte sademete korral võib nende kõrgus ulatuda ja isegi ületada ettenähtud tõstmise kõrgust, sel juhul on membraani serv pidevalt niiskes keskkonnas, mis aja jooksul viib selle tihenduse kaotuseni. Veas on süüdi ehitaja, kuna ta eiras ülestõstmise minimaalset kõrgust. On oluline märkida, et mõnel juhul kannab defekti eest vastutust ka projekteerija, kui tema poolt tehtud detailis ei arvestatud ei ülestõstmise minimaalset kõrgust ega täiendavaid kaitsemeetmeid PVC ja TPO membraani servale.



Joonis 3.10 Madal ülespööre, praktiline osa

- Defekt „Lohud katusel, kuhu koguneb vesi“, tekib materjali kokkutõmbumise tagajärjel selliste välistegurite koormuse, nagu temperatuur ja UV-kiirgus, tõttu. Kui materjal väheneb mahult, tõuseb osa materjalist neelukohtades, võimaldades vee kogunemise paneelide keskele lompidesse. Standardi kohaselt on katusel lubatud lombid, mille sügavus ei ületa 15mm. Vee kogunemine katusele suuremates kogustes lisakoormusena materjalile ning pidev vee üleminek tahkest olekust vedelasse, võib materjali kahjustada, mis lõppkokkuvõttes viib lekete tekkeni. Sellises defektis ei ole süüdi ei ehitaja ega projekteerija.



Joonis 3.11 Lohud katusemembraanil, praktiline osa

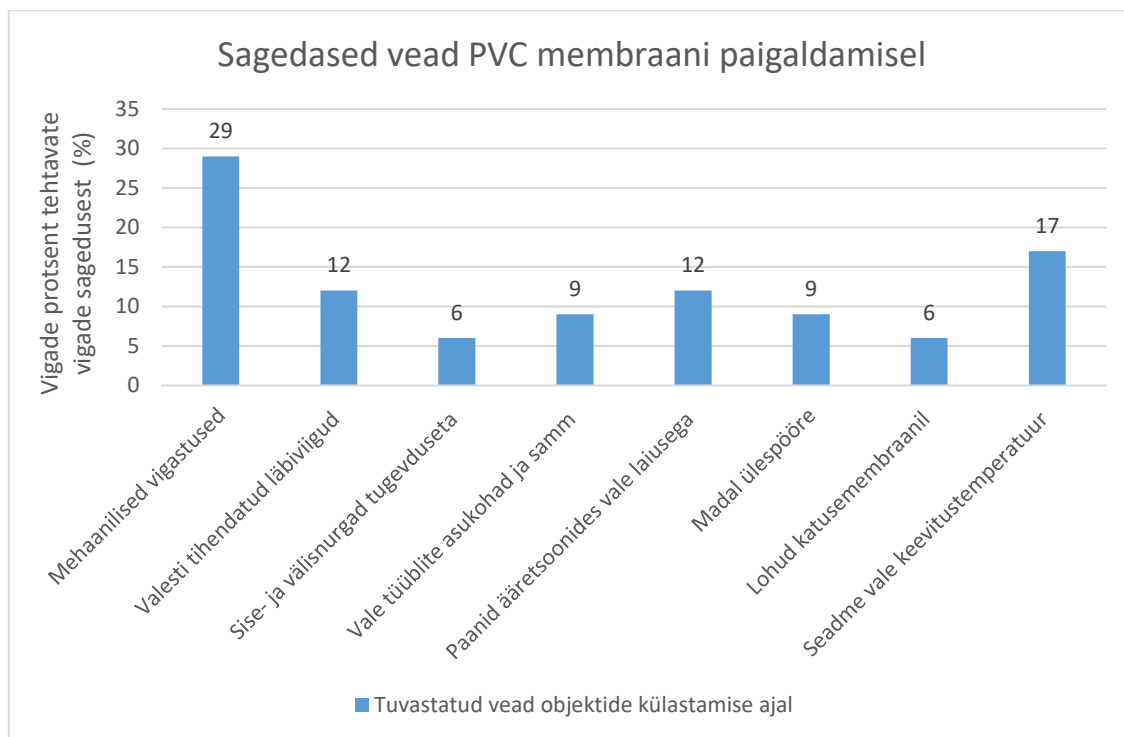
- Defekt „Seadme vale keevitustemperatuur“ esineb piisavalt sageli katuse kvaliteedi kontrollimisel. Defekt mõjutab oluliselt katuse vettpidavust, olles samaväärne mõjult mehaaniliste kahjustustega, mis mõjutavad katuse üldist võimet hoida hoone soojana ja mitte lasta vett isegi läbi hüdroisolatsioonikihi. Valesti valitud temperatuuri ja keevitusseadme kiiruse tulemusena jäävad

õmblused osaliselt avatuks, võimaldades veel tungida edasi soojustuskihti ja katuse kandekonstruktsiooni sisse. Kõige sagedasemad vead tekivad keevitamisel talvistes tingimustes, kuna õhutemperatuur kõigub pidevalt, luues seeläbi suure tõenäosuse defekti tekkimiseks. Kõnealuse defekti puhul on süüdi ehitaja, kes ei seadistanud keevitustemperatuuri ja kiirust õigesti, samuti ei teinud ta proovikeevitust õmbluste kvaliteedi kontrollimiseks.

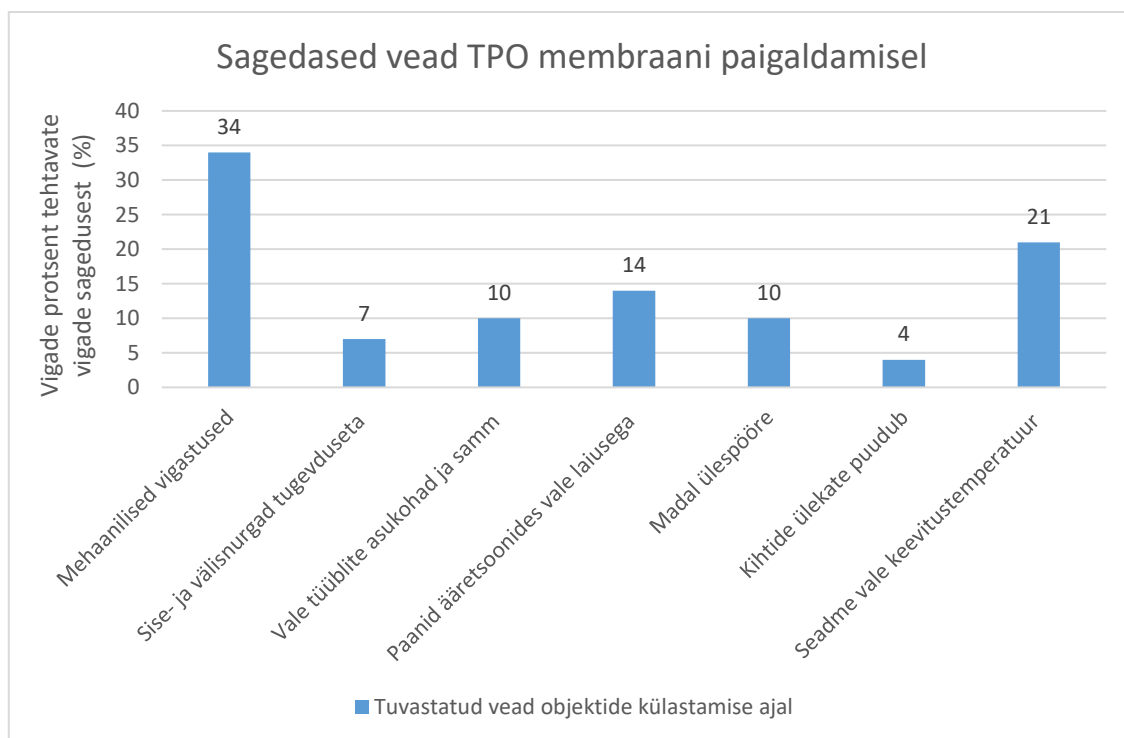


Joonis 3.12 Seadme vale keevitustemperatuur, praktiline osa

9. Viimane käsitletav defekt on otseselt seotud TPO materjaliga, kuna PVC materjali puhul defekti „Ebapiisav membraanide ülekate” peaaegu ei esine. Ebapiisava ülekatte korral väheneb katuse katvuse üldine tugevus ning suureneb niiskuse ja vee sattumise võimalus hüdroisolatsioonimembraani alla. Samuti on oluline märkida, et ebapiisava ülekatte korral ei ole võimalik korrektselt tüübleid paigaldada, mis vähendab samuti katuse katvuse tugevust. Nagu varem öeldud, ei tohi tüübel kunagi olla katusekatte servale lähemal kui 30 mm ja tavaliselt on membraani paani serval tüüblite asukohad katte servast 37 mm kaugusel. Selles defektis on süüdi ehitaja, kes eiras paigaldusjuhendis kirjeldatud nõuetekohase membraani paigaldamise informatsiooni.



Joonis 3.13 Sagedased vead PVC membraani paigaldamisel, praktiline osa



Joonis 3.14 Sagedased vead TPO membraani paigaldamisel, praktiline osa

Nagu varem öeldud, jaotati vigade sagedus kõigi analüüsitava defektide seas lähtudes baasväärtusest 10, mis võrdsustati 100%-ga. Analüüsi tulemuste põhjal on kõige sagedasemad defektid PVC materjali paigaldamisel kuulunud alarühma „Mehaanilised vigastused, Seadme vale keevitustemperatuur, Paneelid äärealadel

vale laiusega, Valesti tihendatud läbiviigud" ja TPO materjali puhul alarühma „Mehaanilised vigastused, Seadme vale keevitustemperatuur, Paneelid äärealadel vale laiusega". Teised defektid esinevad katusetööde kvaliteedi kontrollimisel harvemini, kuid nende mõju katuse üldisele terviklikkusele ei muutu sellest väiksemaks ja teiste defektide tähtsust ei tohiks alahinnata, kuna iga viga toob kaasa tagajärgi. Tuleb märkida, et osa defektidest, nt. „Mehaanilised vigastused, seadme vale keevitustemperatuur, valesti tihendatud läbiviigud" võimaldavad veel takistamatult pääseda hüdroisolatsioonikihi alla, tekitades seeläbi tarbijale rohkem probleeme. Teised vead suurendavad lekete võimalust, kuid seejuures aitavad kaasa ka niiskuse otsesele sisenemisele katusekonstruktsiooni. Kokkuvõttes võib järeldada, et enamik vigu on tekkinud nii objektil töötavate tööliste kui ka nende tööd kontrollivate inseneride hooletusest. Lahendusena tuleks nii töölistele kui ka inseneridele korraldada täiendkoolitusi, kus selgitatakse ja näidatakse materjali õiget paigaldusprotsessi ning rõhutatakse olulisi detaile, mis mõjutavad membraankatete üldist vettpidavust. Väiksemat osa defekte võib seostada projekteerija vigadega, kuid kõrgema ehituskvaliteedi saavutamiseks peaksid projekteerijad põhjalikumalt läbi mõtlema konstruktsioonide sõlmed, lähtudes materjali tüübist, selle omadustest ja paigaldusjuhenditest.

3.2 Mittetoimivate maa-aluste konstruktsioonide hüdroisolatsioonilahenduste tuvastamine

Siin peatükis vaadatakse läbi vead hüdroisolatsiooni paigaldamisel monoliitsetes konstruktsioonides – metallprofiilid ja paisuv bentoniitlint. Teave objektide kohta, kus vead tehti, jääb konfidentsiaalseks ja ei ole avalikustamiseks kättesaadav.

3.2.1 Tuvastatud defektid metall-profiilide puhul

Peamised probleemid, millega puututakse kokku peale profiilide paigaldamist kvaliteedi kontrollimisel, on.

1. Lühike või liiga pikk ülekate
2. Ülekatte fikseerimine on tegemata või tehtud valesti
3. Profiili alumine serv ei ole piisavalt betooni uputatud
4. Profiil katkestatud armatuuriga

Iga defekti sageduse hinnang anti lähtudes ettevõtte esindajate ja töö autori hinnangutest. Nagu varem mainitud, jaotati 10 punkti kõigi defektikategooriate vahel. Töötame iga defekti läbi samas järjekorras, nagu eespool kirjeldatud.

1. Allpool esitatud pildil on näidatud kaks juhtumit. Pildi ülaosas on näidatud kahe lindi liiga pikk ülekattumine, mis on mõttetu materjali raiskamine. Ülekattumine üle 10 cm on mõttetu. Lisaks ei ole ülekattumise kinnitused paigaldatud iga 10 cm järel ja kinnitustevahelises ruumis ei ole kasutatud liimi. Selle vea korral on olemas risk, et vesi pääseb pikast ülekattumisest hoone sisestruktuuri, mis tuleb parandada enne järgmise betoonikihi valamist. Alumisel fotol asuvas kollaažis on näha, et lintide ülekattumise pikkus on väiksem kui 10 cm. Suurenenud on risk vee sattumiseks hoone konstruktsiooni, mis nõuab parandamist enne järgmise betoonikihi valamist.



Joonis 3.15 Lühike või liiga pikk ülekate, praktiline osa

2. Järgnevalt vaatleme näiteid metallprofiilide ülekattumise ebaõigest kinnitamisest. Allpool olevas kollaažis on esitatud fotod, mis näitavad kas lintide kinnituste täielikku puudumist või sobimatut alternatiivi. Keskmisel fotol on näha, et liimi ja nõuetekohase kinnituse asemel on kasutatud vahtu, mis ei taga antud ülekattumisele stabiilsust. Alumisel paremal fotol on näidatud olukord, kus normaalsed ja kindlad kinnitused on asendatud kruvidega. Metall-lehe paigaldusjuhendi järgi peab ülekate olema vähemalt 10 cm. Ülekattumise keskele tuleb kanda liimi ning ülekattumise algusesse ja lõppu tuleb paigaldada kompleksis olev tõmblukk. Kõik esitatud juhud vajavad enne järgmise betoonikihi valamist parandamist, kuna need kujutavad endast suurt lekke tekkimise riski.



Joonis 3.16 Valed kinnitustarvikud, praktiline osa

3. Järgmiseks vaadeldavaks veaks on metallprofili kas liiga sügavale betooni paigaldamine või selle liiga kõrgele paigaldamine. Allpool oleval kollaažil on esitatud 80 mm laiune profiil. Paigaldusjuhendi järgi peab profiili alumine serv olema betoonis vähemalt 30 mm sügavusel või maksimaalselt pool sellest peab olema betooni sisse uputatud. Kollaažil allpool olevad kaks profiili on paigaldatud nii, et nende alumine serv ei asu üldse betoonis. Ühel fotodest on profiil liiga sügavale uputatud ja järelejäänud kõrgus uue betoonikihi kinnitumiseks ei ole piisav. Alumise vasaku nurga fotol on profiil uputatud ainult poolteist sentimeetrit, mis võimaldab samuti vee tungimist konstruktsiooni sisse. Kõik esitatud defektid tuleb viivitamatult enne järgmise betoonikihi valamist kõrvaldada.

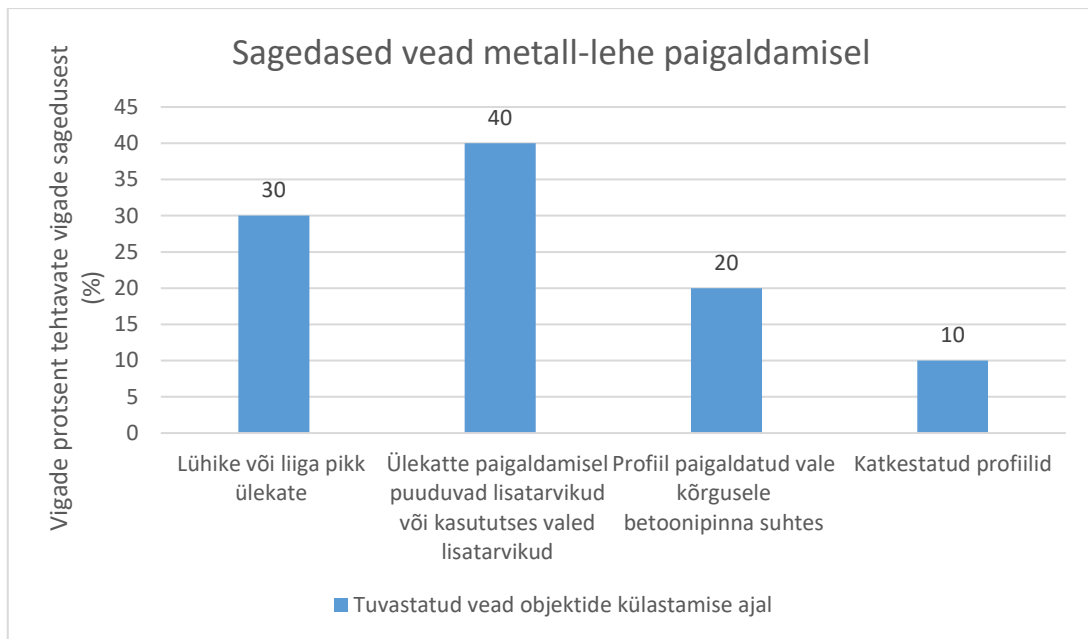


Joonis 3.17 Profiili vale paigalduskõrgus, praktiline osa

4. Viimasena käsitleme kõige harvemini esinevat defektitüüpi. Allpool oleval kollaažil on esitatud fotod, kus on näha katkenud metallprofiile. Profiilid olid osaliselt katkenud, kuna nende peale oli paigaldatud armatuur. Kuigi see defekt esineb kõige harvemini, on selle mõju konstruktsiooni veekindlusele kõige tõsisem. Selle defekti tulemusena tekivad konstruktsioonis kohad, mille kaudu vesi võib konstruktsiooni sisse tungida. Kui sellised defektid leitakse sügaval maapinnas, kus valitseb kõrge rõhk, on vee sissepääs paratamatu. Defekt tuleb parandada enne järgmise betoonikihi valamist. Lisaks juba loetletud defektile on paremal ülemisel fotol näha, kui lähedal on profiil armatuurile. Sel juhul ei suuda betooni täitematerjal tungida profiili ja armatuuri vahele, ja suure tõenäosusega hakkab vibratsiooni korral sarnastes kohtades kogunema vesi ja vähemal määral ka tsement, mis vähendab selles kohas konstruktsiooni tugevust.



Joonis 3.18 Osaliselt katkestatud profiil, praktiline osa



Joonis 3.19 Sagedased vead metall-lehe paigaldamisel, praktiline osa

Nagu varem öeldud, jaotati vigade sagedus kõigi analüüsitava defektide seas lähtudes baassuurusest 10, mis võrdsustati 100%-ga. Analüüsi tulemusena olid kõige sagedasemad vead seotud lisatarvikute vale kasutamisega profiilide ülekattumisel, samuti liiga pikkade ülekattumiste või liiga lühikeste ülekattumiste pikkustega. Kõik veatüübid, välja arvatud „katkenud profiilid“, tulenevad töödejuhatajate ja objektijuhtide poolsest ebapiisavast kontrollist. Katkenud profiilide puhul ei arvestatud projekteerimisel piisavalt sageli metallprofiilide kuju ja asukohta konstruktsioonis, mistõttu tuli neid paigaldamiseks osaliselt lõigata. Projektides defektide vähendamiseks tuleks rohkem tähelepanu pöörata profiilide õigele paigaldamisele betooni valamise ajal, samuti arvestada nende kuju raudbetoonkonstruktsioonide karkassi projekteerimisel.

3.2.2 Tuvastatud defektid paisuva bentoniitlindi puhul

Peamised defektid, millega peale paisuva bentoniitlindi paigaldamist kvaliteedi kontrollimisel kokku puututakse, on.

1. Ebapiisav ülekate või ülekate puudub
2. Betoonipind ei ole piisavalt tasane, et lint töotaks veetakistusena
3. Lisatarvikud on jäänud paigaldamata (nt. metallist paigaldusvõrk)

Sarnaselt metallprofiiliga anti iga defekti sageduse hinnang, lähtudes ettevõtte esindajate ja töö autori hinnangutest. Nagu varem mainitud, jaotati 10 punkti kõigi defektikategooriate vahel ja võrreldi seda 100%-ga lõpliku analüüsi koostamiseks.

Tegeleme iga defektiga samas järjekorras, nagu eespool kirjeldatud.

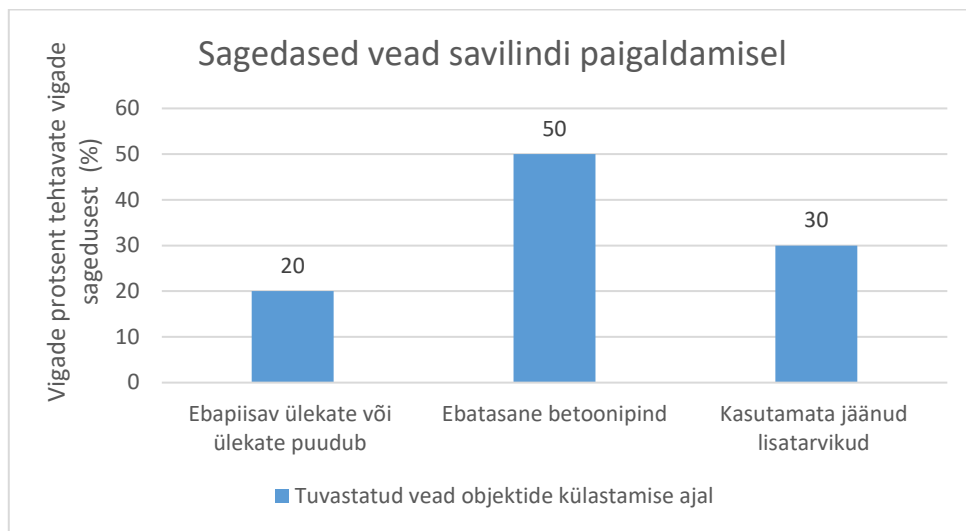
1. Allosas näidatud kollaažil on ülaosas näidatud kohe kaks defekti. Esiteks, nagu nurgast näha, jäi ühendus ilma ülekatteta. Vastavalt Y ettevõtte paigaldusjuhendile peaks ülekate olema vähemalt 5 cm, mida alltoodud pildil ei ole tehtud. Primostari esindajad on oma praktikas samuti märkinud, et enamik lekkeid on tekkinud just nendes kohtades, kus lint oli surutud ja seejärel ilma ülekatteta ühendatud. Seega võib järeldada, et usaldusväärsema lahenduse jaoks on ülekatted nii nurkades kui ka sirgetel lõikudel vajalikud. Lisaks nõuetekohasele ülekattamisele võib märkida, et betoonipind ei ole piisavalt sile ja lindi paisumisel ei pruugi kõik tühimikud täituda. Seda defekti tuleb väga tõsiselt võtta juhul, kui konstruktsioon ei ole pidevas kontaktis veega ja kuiva ilmaga langeb vee tase kriitilisele tasemele, mille juures lint hakkab mahtu vähendama. Iga mahu vähenemise ja suurenemisega paisub bentoniitlint üha vähem, andes võimaluse üha suuremale vee kogusele konstruktsiooni sisse tungida. Need defektid on kriitilised ja tuleb enne betooni valamist parandada. Alumises osas kollaažil on näidatud võrdluseks kvaliteetne lindi paigaldus.



Joonis 3.20 Savilindi ebapiisav ülekate või ülekate puudub, praktiline osa

2. Viimane defekt, nimelt „Paigaldamata lisatarvikud“, on seotud sellega, et ei ole paigaldatud metallist paigaldusvõrku üle paisuva bentoniitlindi. Kui bentoniitlindi paigaldatakse ilma paigaldusvõrguta, suureneb bentoniitlindi liikumise ja deformatsiooni võimalus konstruktsioonis lindi paisumise ja mahu vähenemise etappides, mis viib lindi ebaühtlase jaotumiseni betoonkonstruktsiooni sees. Samuti kaitseb metallist paigaldusvõrk bentoniitlindi mehaaniliste kahjustuste eest enne betooni valamist ja selle valamise ajal. Kolmanda vähemtuntud omadusena toimib metallist paigaldusvõrk nagu täiendav armatuur, tugevdades

konstruktsiooni ümber paisuva bentoniitlindi, võib öelda, et see toimib nagu lisatugevdus. Lisaks paigaldusvõrgule jääb kasutamata ka liim, mis kantakse bentoniitlindi alusele parema adhesiooni tagamiseks betooni ja lindi vahel. Kokkuvõttes nõrgestab lisatarvikute paigaldamata jätmine konstruktsiooni ja suurendab vee sissepääsu võimalust konstruktsiooni. Defekt tuleb enne betooni valamist parandada.



Joonis 3.21 Sagedased vead savilindi paigaldamisel, praktiline osa

Analüüsi tulemuste põhjal sai kõige sagedasemaks defektiks paisuva bentoniitlindi paigaldamisel „Ebatasane betoonipind“, mis suurendas defekti kategooriat „Kasutamata jäänud lisatarvikud“ 20% võrra. Uuritud defektide põhjal on võimalik järeldada, et töötajad, samuti nende juhendavad insenerid, ei olnud tutvunud Y ettevõtte paigaldusjuhendiga seda tüüpi hüdroisolatsiooni paigaldamiseks. Y ettevõtte insenerid on selgitanud paisuva bentoniitlindi paigaldamist, rõhutades paigaldusjuhendis, et betooni pind peab olema kogu lindi ulatuses puhas ja sile. Samuti mainitakse, et lindi paigaldamisel kasutatakse kahte lisatarvikut: liimi või paigaldusvõrku.

3.3 Hüdroisolatsioonimaterjalide mittetoimivate lahenduste riskianalüüs

Erinevad probleemid põhjustavad erinevaid probleeme ehitajale, tellijale ja tarbijale. Mõned neist on kergesti parandatavad ja ei nõua suuri rahalisi kulutusi, teised aga toovad kaasa mitte ainult hüdroisolatsioonikihi ümberpaigutamise, vaid ka katuse teiste komponentide muudatusi.

3.3.1 SBS katusekatte mittetoimivate lahenduste riskianalüüs

Eelmises etapis SBS materjali kasutamisel tehtud peamiste paigaldusvigade tüübid jaotati seitsmeks põhigrupiks. Kuna aurukotid ja veekotid on tihti seotud alarühmaga keevitamata SBS, siis uurimise täpsuse huvides ühendatakse alarühmad aurukotid ja keevitamata SBS kokku.

Edasi on esitatud riskianalüüs tarbijale iga defekti puhul. Arvesse võetakse juhtumit, kui PTV garantii on lõppenud ja kõik remondiga seotud kulud langevad maja elanike õlule.

Tabel 3.1 Riskianalüüs tarbijale erinevate SBS defektide juhul, praktiline osa

Hindamiskriteerium			
Defekti päritolu	1-suur risk	2 – keskmine risk	3 – madal risk
Tihendamata läbiviik	X		
Meh. Vigastus		X	
Keevitamata SBS		X	
Sammal ja teised org. reoained			X
Puistekihi valgumine		X	
Ülespöörded ja muud		X	

Edasi selgitan, miks just nii riskid analüüsis jaotati, seoses eespool loetletud defektidega.

1. Alarühma „Valesti tihendatud läbiviik“ puhul esinevad majaanike seisukohast suurimad riskid. Valesti tihendatud läbiviigu korral annab see parimal juhul võimaluse vee tungimiseks SBS-i pealmise kihi ja aluskihi vahele, mis toob kaasa läbiviigu korrektse tihendamise ja vajalikus mahus SBS-i asendamise vajaduse. Halvimal juhul võib vesi tungida isolatsioonikihti ning edasi läbi pragude ja lõhede aurutõkkekihti hoone sisemusse, mis toob kaasa veel suuremad kulutused ja ebamugavused. Järgnevad rahalised kulutused erinevad oluliselt. Näiteks pehme soojusisolatsiooni kasutamisel katuse konstruktsioonis suurenevad rahalised investeeringud, kuna kokkupuutel veega kaovad selle soojusisolatsiooni omadused ja see tuleb demonteerida. Juhul kui kasutatakse jäika soojusisolatsiooni, nagu näiteks EPS, siis tõenäoliselt ei pea seda demonteerima ega uut materjali tellima, välja arvatud juhtudel, kui vesi on väga pikka aega katusele tunginud ja vee ning külma ilma mõjul on EPSi struktuur

kahjustatud. Samuti mõjutab oluliselt see, kas vesi suutis leida tee hoone sisemusse, kahjustades sellega lae ja seinte värvikihte.

2. Alarühmad „Puistematerjali kiht, Mehaanilised kahjustused, Keevitamata SBS, Ülespöörded ja muud" on liigitatud keskmise riski tasemele. Mehaaniliste kahjustuste ja keevitamise SBSi alarühma puhul on tõesti vaieldav, kas need probleemid kuuluvad keskmise riski gruppi või kõrge riski gruppi. Sageli ei ole mehaanilised kahjustused SBS-kihis läbivad ja ei ulatu isegi SBS-i aluskihini, mis ei põhjusta vee lekkimist, kuid võimaldab aurukottide teket mehaanilise kahjustuse läheduses või vähendab SBS-i kasutusiga kahjustuskohas. Läbivad mehaanilised kahjustused on muidugi suur probleem ja toovad kaasa suured kaotused tarbija poolelt, kuid sellise juhtumi tõenäosus on väike. Samuti ei lase keevitamata SBS kohad tavaliselt vett SBS aluskihini tungida. Kuid kui arvestada varianti, et pikaajalise avatud vuugi korral leiab vesi tee või tekitab järgnevalt praod külma temperatuuri mõjul SBS aluskihis, siis rahalised kulutused ja probleemid elanikele oleksid võrreldavad kõige kõrgema riskitasemega. Alarühmad „SBS puistematerjali kihi väljavoolamine, ülespöörded ja muud" ei paku otseselt võimalust vee sisenemiseks katusekonstruktsiooni. Need vead vähendavad materjali kasutusiga ja viivad selle kiirema asendamiseni.
3. Alarühm „Sammal ja muud orgaanilised reostused" autor liigitas madalaima riski tasemele, kuna nagu ka keskmise riski puhul, ei osale need sageli otseselt vee tungimises katuse soojusisolatsiooni põhikihtidesse, vaid pigem hävitavad SBS pealiskihti juurte abil ja suurendavad õhuniiskust orgaaniliste ühendite tekkimise kohas, luues seeläbi aurukotte SBS pealiskihini ja aluskihi vahel. Peamine põhjus, miks alarühm „sammal ja muud org. reostused" liigitati madalaima riski tasemele, on orgaaniliste ühendite eemaldamise lihtsus SBS pinnalt.

Järgmiseks etapiks on SBS-i paigaldusdefektide mõju selgitamine hoone omadustele.

Tabel 3.2 Riskianalüüs hoone omadustele SBS erinevate defektide juhul, praktiline osa

Hindamiskriteerium			
Defekti päritolu	1-suur risk	2 – keskmine risk	3 – madal risk
Tihendamata läbiviik	X		
Meh. Vigastus		X	
Keevitamata SBS		X	
Sammal ja teised org. reoained			X
Puistekihi valgumine			X

Ülespöörded ja muud			X
---------------------	--	--	---

1. Alarühm „Tihendamata läbiviik“ kuulub tehtud analüüsis samuti kõige kõrgemasse riskigruppi. Kõik taandub sellele, et valesti tihendatud või tihendamata läbiviikude korral on vesi võimeline tungima nii katuse isolatsioonikihtidesse kui ka hoone siseosadesse. Tuleb arvestada, et vesi võib tungida mitte ainult hoone ülemistele korrustele, vaid ka madalamatele korrustele läbi ventilatsioonivahe seina paneelides. Lisaks on vee tungimine võimalik tehnilistesse šahtidesse, kus see kahjustab tehnosüsteemide soojusisolatsiooni. Vee tungimine erinevatesse hoone osadesse toob kaasa mitte ainult hoone konstruktiivse võimekuse hävimise külmumise ja sulamise etappides, vaid ka hallituse tekkimise erinevates hoone osades, mis on ohtlik. Kuigi enamik kasutatavaid materjale on hallitusele vastupidavad, leidub alati osa piiratud ainetest, mis kokkupuutel niiskusega hakkavad hallitama ja hävitavad materjalide vajalikud omadused hoone pikaajaliseks eksisteerimiseks tervikuna.
2. Teise riskigrupi hulka autor liigitas alarühmad „Mehaaniline vigastus ja Keevitamata SBS“ suurema tõenäosuse tõttu mitte ainult katuse hüdroisolatsioonikihi kahjustamiseks, vaid ka vee edasiseks tungimiseks hoone sügavusse. Sellise tulemuse võimalus on küll mitte kõrge, kuid see on olemas. Eriti suur on tõenäosus tõsisemate probleemide tekkeks, kui katust ei kontrollita pikema aja jooksul. Kuna SBS hüdroisolatsiooni aluskiht ei ole muutuvatele ilmastikutingimustele nii vastupidav, siis pikaajalise vee mõjul ja ilmastikutingimuste vaheldumise tsüklite tõttu muutuvad lekked tõenäoliseks. „Samuti tuleb lisada, et mõned mehaanilised kahjustused võivad olla läbivad ja seda arvesse võttes on neil täpselt sama mõjumuster defektile nagu tihendamata läbiviigul, kus vesi ei kohta takistusi sügavamale konstruktsiooni tungimiseks.“
3. Madalama riski tasemega autor liigitas „Sammal ja muud orgaanilised reostused, puistematerjali kihi väljavoolamine, ülespöörded ja muud“ põhjusel, et nende esinemisel on väikseim tõenäosus vee tungimiseks hoone sügavusse ja nii hoone konstruktiivse võimekuse kui ka kõrvalmõjude tekkimisele, mis mõjutavad hoone üldist terviklikkust.

Tehtud analüüside tulemustest saab selgeks, et suurimat mõju nii tarbijale kui ka hoone üldistele omadustele avaldavad need defektid, mis lubavad niiskusel ja veel kui ainetel otseselt tungida hoone sügavamatesse kohtadesse, nagu näiteks soojusisolatsioonikiht, seinapaneelid, vahelaepaneelid, tehnilised šahtid. Ei saa eirata nende defektide suhtelist

ohtu, mis ei lase veel edasi tungida hüdroisolatsioonikihi taha. Isegi kui vesi asub SBS pealiskihi ja aluskihi vahel, halvendab see niiskustasakaalu teistes katusekihtides. Kihtide vahel asuv niiskus ja vesi suurendab külmasildade hulka, halvendades katuse soojuslähivust, kuna SBS pealiskihi ja aluskihi hermeetilisus kaob. Iga analüüsitud alarühma tuleb tõsiselt võtta, kuigi defektide mõju erineb. Alarühmad näitavad, kui kiiresti on vaja defekte parandamise meetmeid rakendada, iga juhtumi puhul on ka oma nüansid. Näiteks SBS mehaaniline kahjustus võib olla ebaoluline, mis ei mõjuta üldiselt katusekonstruktsiooni terviklikkust, samas kui läbiva kahjustuse korral on katuse hermeetilisus rikutud ja vee sattumisel kahjustuskohta kannatab terve maja, mitte ainult hüdroisolatsioonikiht.

3.3.2 PVC ja TPO katusekatete mittetoimivate lahenduste riskianalüüs

Töö eelmises etapis sagedamate vigade analüüsimisel TPO ja PVC materjalide paigaldamisel jaotati defektid üheksasse põhigruppi.

Kuus defektiliiki olid samad nii PVC kui ka TPO materjalide puhul. PVC materjalil märgiti ära kaks täiendavat alarühma ja ka TPO materjalil üks. Analüüsi lihtsustamiseks ja samuti selleks, et informatsiooni mitte kaks korda ümber kirjutada, samuti materjalide sarnasuse tõttu, analüüsimise defektide riske ühes alapeatükis. Edasi on esitatud riskianalüüs tarbijale iga defekti puhul. Arvesse võetakse juhtumit, kui PTV garantii on lõppenud ja kõik remondiga seotud kulud langevad maja elanike õlule.

Tabel 3.3 Riskianalüüs tarbijale PVC ja TPO erinevate defektide juhul, praktiline osa

Defekti päritolu	Hindamiskriteerium				
	TPO	PVC	1-suur risk	2 – keskmine risk	3 – madal risk
Meh. vigastused	X	X	X		
Sise- ja välisnurgad tugevduseta	X	X		X	
Vale tüüblite asukohad ja samm	X	X		X	
Paanid ääretsoonides vale laiusega	X	X		X	
Madal ülespööre	X	X		X	

Seadme vale keevitamistemperatuur	X	X	X		
Lohud katuseembraanil		X			X
Valesti tihendatud läbiviigud		X	X		
Kihtide ülekate ebapiisav	X			X	

1. Kõige kõrgema riskitasemega defektide hulka autor liigitas järgmised tüübid: „Mehaanilised vigastused, Seadme vale keevitamistemperatuur, Valesti tihendatud läbiviigud, Kihtide ülekate ebapiisav“.

1.1 Defekt „Mehaanilised kahjustused“ on ühemõtteliselt liigitatud kõrgeima riski tasemele. PVC ja TPO materjalid on küll vastupidavad väliste keskkonnamõjudele, kuid võrreldes SBS materjalidega on nad suurema tõenäosusega altid mehaanilistele vigastustele. Sellised kahjustused esinevad tihti tehnosüsteemide paigaldamise ajal, eriti kui neid on arvukalt. Kui defekt esineb, on suur tõenäosus, et kahjustus on läbiv, mis võimaldab vee takistamatut sisenemist katusekonstruktsiooni sügavamatesse kihtidesse, kahjustades nii katusekonstruktsiooni enda kui ka teisi hoone osasid. Defekti eeliseks on selle suhteliselt lihtne avastatavus ja parandatavus, välja arvatud juhul, kui vesi on juba katusekonstruktsiooni sügavamad kihid niisutanud. Sellisel juhul seisavad hoone omanikud ja elanikud silmitsi arvukate lisatöödega, et parandada kahjustust, mis tõenäoliselt avastatakse alles siis, kui probleem on juba sügavale hoone struktuuri jõudnud.

1.2 Risk, mida kujutab endast „Vale keevitustemperatuur“, on väga kõrge isegi võrreldes teiste selle alarühma defektidega. Tavaliselt peaks keevitustemperatuur jääma vahemikku 400–500 kraadi. Lisaks peaks automaadi liikumiskiirus jääma vahemikku 1,5 kuni 2,5 m/min. Sellisel juhul on keevis ühtlane ja vastupidav. Sageli on vale keevituse risk tingitud kas proovikeevituse tegemise hooletussejätmisest, mille käigus valitakse sobiv temperatuur, või tööde läbiviimisest talvel. Talvisel ajal suureneb vea kriitilisus, kuna temperatuur varieerub kogu päeva jooksul pidevalt. See nõuab keevitusseadme temperatuuri korrigeerimist ja uute proovikeevituste tegemist. Jättes need sammud tähelepanuta, võivad kogu õmbluse ulatuses jääda läbi keevitamata kohad, mille kaudu

sademed hakkavad suurtes kogustes konstruktsiooni sügavustesse tungima. Defekti tõsidust suurendab ka tuulekoormus, mis nõrgestab juba valesti keevitatud õmblust, muutes avad laiemaks. Võib kindlalt öelda, et kuigi see defekt on kergesti parandatav, toob see kaasa suurimad kahjud hoone omanikele parandustööde käigus.

1.3 Defekt „Tihendamata läbiviik“ on klassifitseeritud kõrgeima riskiastmega. See konkreetne probleem esineb siis, kui läbiviigud katusekonstruktsioonis ei ole korralikult tihendatud, põhjustades vee otsesest sisenemist hoone sisemusse. Selline defekt on eriti ohtlik, kuna selle avastamine toimub tihti alles siis, kui esimesed lekked on juba kahju tekitanud. Defekti peamised omadused hõlmavad selle kergesti märgatavat olemust ja selget mõju katuse soojusisolatsiooni kihtidele. Parandamine, ehkki see on kulukas, on oluline, et vältida edasisi kahjustusi. Kulukus tuleneb peamiselt TPO ja PVC materjalide katmise tehnoloogiast, kus pealne kiht paigaldatakse tervikuna, mitte mitmes osas. Seetõttu võib kiire avastamine päästa olukorra, kuid sageli mõjutab see nii hüdroisolatsioonikihti kui ka soojusisolatsioonikihti, parendades nii paranduse keerukust kui ka kulusid.

2. Keskmise riskitasemega defektide hulka autor liigitas järgmised tüübid: „Sise- ja välisnurgad tugevduseta, Valed tüüblite asukohad ja samm, Paanid ääretsoonides vale laiussega, Madal ülespöore“.

2.1 Defekt „Sise- ja välisnurgad tugevduseta“ liigitati keskmise riski tasemele järgmistel põhjustel. Kuigi defekt ei lase vett otseselt konstruktsiooni, on konstruktsiooni nurgad tihti suurte koormuste all, nagu nt. tuul, sademed ja temperatuurimuutused, mis teevad neist katusekonstruktsiooni kriitilised kohad. Selle defekti korral kannatavad tõenäoliselt mitte ainult katuse teised kihid, vaid võimalik, et ka hoone tehnosüsteemide osad, mille nurgad on tugevduseta. Peamiseks põhjuseks, miks defekti ei saa liigitada kõrgeima riski tasemele, on selle võimalik parandamine enne kriitilise seisundi saavutamist nurgal, kus vesi võib konstruktsiooni siseneda ja tekitada kahjustusi, mida on vaja parandada täiendavate rahaliste kulutustega.

2.2 Defekt „Valed tüüblite asukohad ja samm“ liigitati keskmise riski tasemele järgmistel põhjustel. Kuigi see defekt ei võimalda vee sisenemist katusekonstruktsiooni otseselt, võib halvimal juhul, kui tüübel on valesti paigutatud ja sammuga, tuulekoormuse all kate kas lahti tulla, nõrgestades keevitusõmblusi ja vähendades katte eluiga, või isegi

täielikult keevituskohtadest ära rebeneda, põhjustades suure ala katmata katust, mis esimese vihmaga imab endasse palju vett ja niiskust ning levitab seda edasi kogu katuse pinnale, viies kalli remondini. Parimal juhul ei põhjusta defekt pikka aega katuse veekindluse halvenemist ja tõenäoliselt parandatakse see katusekatte kontrollimisel. Igatahes mängib defekti asukoht selle riskiastmes suurt rolli.

2.3 Riskiaste „Paanid ääretsoonides vale laiusega“ liigitati keskmiseks. Nagu ka teiste sellesse gruppi kuuluvate defektide puhul, ei võimalda see defekt otsest vee juurdepääsu katusekonstruktsioonile. Siiski, tuulekoormus, mis mõjutab 2-meetriseid paneele parapeti tsoonis, on märkimisväärselt suurem, võrreldes 1-meetrise paneelidega. Riskiastet mõjutavad ka sekundaarsed tegurid nagu tüüblisamm ja keevituse kvaliteet. Halvimal juhul, kombineerides kõiki sekundaarseid defekte, kus peamise defekti esimese tormi või tugeva tuule korral, võib paigaldatud PVC või TPO materjal parapeti tsoonis minema lennata, jättes suure osa konstruktsioonist sademete eest kaitsetuks, mis omakorda toob kaasa suured paranduskulud. Samas, kui keevitus on tehtud kvaliteetselt ja tüüblid on paigaldatud õige sammuga, väheneb lekke risk oluliselt ja defekt parandatakse tõenäoliselt katusekatte esimesel kontrollimisel.

2.4 Risk „Madal ülespööre“ liigitati keskmiseks mitmel põhjusel. Ühelt poolt, kui ülespööre kõrgus on minimaalne, näiteks 100 mm, kuid samal ajal on see kaitstud, näiteks kattepleki ja lisaks mastiksiga, mis vähendab vee otsese sattumise võimalust tuule mõjul ja muudab konstruktsiooni pidevas niiskes keskkonnas vastupidavamaks, nagu näiteks lume sulamisel, siis võib riski hinnata minimaalseks, kuna ülespööre kaitsmiseks on kasutatud vajalikke meetmeid. Teisalt, kui kõik on tehtud vastupidiselt ja ülespööre kõrgus ei vasta minimaalsele nõutavale kõrgusele, siis lekke risk suureneb mitmekordselt ja isegi ühe hooajalise aasta jooksul võivad ilmneda esimesed probleemid, mis võivad kaasa tuua elanikele finantsilist kahju. Defekti keskmisesse riskigrupi liigitamise hulka tuleb arvestada, et see ei võimalda samuti otseselt niiskuse konstruktsiooni sattumist, nagu ka teised keskmise riskigrupi defektid, samuti on defekt katuse ülevaatusel kergesti märgatav ja parandatav.

2.5 Defekt „Ebapiisav kihtide ülekate“ autor liigitas keskmise riski tasemele. Kuigi see võib potentsiaalselt põhjustada lekkeid, ei põhjusta see tavaliselt kriitilisi tagajärgi. Defekti peamine miinus on selle keeruline

avastamine, mis suurendab suhteliselt lekke riski. Ebapiisav kihtide ülekatmine vähendab katuse vastupidavust väliste tegurite mõjudele, nagu näiteks tuul ja sademed. Kõige suuremat mõju avaldab defekt piirkondades, kus tuulekoormus on kõrge, mis võib kattekonstruktsiooni õmblust kas täielikult avada või nõrgendada. Halvimal juhul võivad elanikud olla sunnitud tegelema suurte rahaliste kulutustega katuse remondiks, kus tuulekoormus rebib nõrga ülekattega õmbluse lahti. Siiski on tõenäolisem, et antud defekt põhjustab pigem membraani kiiremat vananemist kui potentsiaalseid lekkeid.

3. Kõige madalamasse riskigrupi autor liigitas defekt "Lohud katusemembraanil".

3.1 Defekt liigitati kõige madalama riskiastme hulka mitmel põhjusel. Esiteks, defekti võib pidada veaks ainult juhul, kui lohu sügavus on suurem kui 15 mm; teistes olukordades ei käsitle me lohku kui eraldiseisvat defekti. Teiseks, tuvastatakse suure tõenäosusega defekt katusel toimuva igaaastase kontrolli käigus ja see kõrvaldatakse. Kolmandaks, defekt ei võimalda otseselt veel konstruktsiooni sügavustesse tungida. Selle defekti mõju katuse seisundile on pikaajaline protsess, katte hävimine ei toimu aasta jooksul või ka pikema aja jooksul – see võib võtta märkimisväärselt palju aega. Siiski, risk on endiselt olemas, kui maja elanikud ei telli pika aja jooksul katuse kontrolli, tekib lõpuks leke. Rõhutan veelkord, et selleks on vaja pikka aega.

Järgmiseks etapiks on selgitamine PVC ja TPO paigaldusdefektide mõju hoone omadustele.

Tabel 3.4 Riskianalüüs hoone omadustele PVC ja TPO erinevate defektide juhul, praktiline osa

Hindamiskriteerium					
Defekti päritolu	TPO	PVC	1-suur risk	2 – keskmine risk	3 – madal risk
Meh. vigastused	X	X	X		
Sise- ja välisnurgad tugevduseta	X	X		X	
Vale tüüblite asukohad ja samm	X	X	X		
Paanid ääretsoonides vale laiusega	X	X	X		
Madal ülespööre	X	X		X	

Seadme vale keevitamistemperatuur	X	X	X		
Lohud katuseembraanil		X			X
Valesti tihendatud läbiviigud		X	X		
Kihtide ülekate ebapiisav	X		X		

- Järgmised puudused on klassifitseeritud kõrgeima riskiastmega: mehaanilised kõrvalekalded, seadme vale keevitustemperatuur, valesti tihendatud läbiviigud, vale tüüblite asukohad ja samm, paneelid äärealadel vale laiusega, kihtide ebapiisav ülekatmine. Ülalnimetatud puudused on kõrge riskiastmega järgmistel põhjustel: esimesed kolm puudust tekitavad hoonele suurimat kahju, kuna need ei takista vee sattumist konstruktsioonide sisse, kahjustades mitte ainult katusekihte, vaid tungides ka sügavamale hoone siseosadesse, näiteks tehnilistesse šahtidesse ja köetavatesse ruumidesse. Viimased kolm puudust võivad halvimal juhul, eriti tugeva tormituule korral, jätta katuse sisemised kihid ja muud hoone osad ilmastikutingimuste eest kaitsmata. Kujutlege olukorda, kus välismõjude tõttu rebenevad PVC ja TPO materjalist lehed üksteisest eemale, jättes osa katusest vihma, lume jms eest kaitsmata. Sellise seisundi pikaajaline mõju võib nõuda ulatuslikke ja aeganõudvaid katuse ning hoone sisemiste osade taastamistöid. Arvestades, et mitte iga hoone omanik ei telli katuse seisukorra iga-aastast kontrolli, on kõrge risk, et ülalnimetatud puuduste tõttu võib hoone terviklikkus saada tõsiselt kahjustada.
- Defektid „Sise- ja välisnurgad tugevduseta, Madal ülespööre“ on klassifitseeritud keskmise riskiastmega. Üks peamisi põhjuseid, miks nimetatud puudused on keskmise riskiga, on see, et isegi halvimal juhul ei ole sisse tuleva vee hulk ega selle kiirus võrreldav kõrge riskiastmega defektidega. Arvestades fakti, et majaomanikud ei pruugi igal aastal katusekatte kontrolli teostada, ei suurenda see oluliselt mainitud defektidega seotud riske, kuna on tõenäoline, et esimesed lekked ilmnevad alles kahe aasta pärast või hiljem, mistõttu defekt ei jõua kriitilisse seisundisse areneda. Siiski ei saa nimetatud defekte liigitada madalaima riskiastmega, kuna potentsiaalne oht on täiesti tõenäoline. Eriti, kui TPO ja PVC materjalide paigaldamisel tehti teisejärgulisi vigu, mis võivad põhivigade arengut kiirendada. Näiteks, kui PVC ja TPO materjalide paigaldamisel kasutati vale keevitustemperatuuri, siis lisaks peamistele

defektidele, mis nõrgendavad materjali tihedat haakumist, mängib keevitus olulist rolli katte tugevdamata jätmisel, mis võib viia konstruktsiooni enneaegse kahjustumiseni.

3. Defekt 'Lohud katuseembraanil' on liigitatud madalaima riskiastmega järgmistel põhjustel: selle mõju hoone konstruktsiooni üldseisundile on minimaalne, kuna katusekatte hävimine ja selle sügavamale konstruktsiooni tungimine võtab aastaid ning tõenäoliselt on defekt selleks ajaks parandatud. Siiski sõltub selle defekti mõju asukohast ja ulatusest. Kui lohud ühinevad sademete korral, siis see kindlasti kiirendab materjali vananemist ja suurendab koormust PVC ja TPO kattekihile, mis omakorda võib põhjustada materjali ja õmbluste kohtade vähest venimist. Samuti on oluline märkida, et materjali õmbluste juures olevate lohude või süvendite teke on kriitilisem kui PVC ja TPO paani keskel. Madala tõenäosusega võib külmutus- ja sulamistsüklite korral õmbluskohas kogunenud vesi osaliselt hävitada keevitatud õmbluse ja põhjustada lekkeid.

Põhjaliku analüüsi tulemusel tuvastati defektid, millel on suurim ja vähim riskiaste mõjude osas nii hoone konstruktsioonile kui ka eluruumidele. Analüüsi käigus märgiti, et mõnes olukorras ei pruugi defekt olla eriti ohtlik, kuid põhjalikumal uurimisel ja halvimaid võimalikke asjaolusid arvestades võib defekt muutuda kriitiliseks ja kaasa tuua tõsiseid tagajärgi. Samuti täheldati, et defekti riskiastet mõjutavad mitte ainult defekt ise ja selle tagajärjed, vaid ka sellega kaasnevad teisese tähtsusega vead, mis võivad põhjustada suuremaid probleeme, kui neid käsitleda tervikuna. Analüüsi käigus tuvastati tõesti suuremad vead, mis ohustavad nii hoone enda kui ka selle elanike ohutust. Siiski tuleb arvestada ka väiksema riskiga defekte, kuna suur hulk väikese riskiga defekte võib lõppkokkuvõttes põhjustada tehniliselt defektse katusekatte, mis ei toimi nõuetekohaselt. Defektide põhjalik analüüs on hädavajalik, et määrata kindlaks nende tõeline mõju hoonele. On oluline mitte alahinnata väiksemaid defekte, kuna nende kumulatiivne mõju võib lõppkokkuvõttes kaasa tuua suuremaid struktuurseid probleeme. See tõstab esile vajaduse regulaarse kontrolli ja hoolduse järele, et tagada hoone pikaajaline turvalisus ja funktsionaalsus.

3.3.3 Metall-profiilide mittetoimivate lahenduste riskianalüüs

Eelmises etapis metall-profiilide paigaldamisel tehtud peamiste paigaldusvigade tüübid jaotati neljaks põhigrupiks.

Edasi on esitatud riskianalüüs tarbijale iga defekti puhul. Arvesse võetakse juhtumit, kui PTV garantii on lõppenud ja kõik remondiga seotud kulud langevad maja elanike õlule. Rühm lühike või liiga pikk ülekate jaotatud veel kaheks alarühmaks, kuna tagajärjed erinevad pikema ja lühema ülekatte korral. Sama tehti rühmaga „Ülekatte paigaldamisel puuduvad lisatarvikud või kasutatakse valesid lisatarvikuid“. Kuna lisatarvikute puudumine või nende asendamine teise kinnituse variandiga mõjutab erinevalt analüüsitavaid riske.

Tabel 3.5 Riskianalüüs tarbijale metall-lehe erinevate defektide juhul, praktiline osa

Hindamiskriteerium			
Defekti päritolu	1-suur risk	2 – keskmine risk	3 – madal risk
Lühike ülekate	X		
Pikk ülekate			X
Lisatarvikud on jäänud paigaldamata	X		
Paigaldusjuhendi kohased lisatarvikud on asendatud teiste toodetega		X	
Profiil paigaldatud vale kõrgusele betoonpinna suhtes	X		
Profiil katkestatud, osaliselt lõigatud	X		

1. Koostatud analüüsis tuvastati kõige suuremad lekke tekkimise riskid alagruppides "Lühike ülekate, Lisatarvikud on jäänud paigaldamata, Profiil paigaldatud valele kõrgusele betoonpinna suhtes".

1.1 Kui tegemist on lühikese ülekattumisega või selle puudumisega, väheneb oluliselt vee teekond, mida ta peab läbima, et jõuda profiili tagaküljeni. Samuti tuleb lisada, et väikese ülekattumisega korral väheneb teipmaterjali talutav veesurve märkimisväärselt. Lühikese ülekattumisega tekitatakse süsteemis tühimikud, mida ei pruugi katta hüdroisolatsioonimaterjaliga, suurendades lekete ja konstruktsiooni kahjustuste tõenäosust.

1.2 Kui ei ole paigaldatud lisatarvikuid teipide tehniliselt õigeks liitumiseks, ei peeta neid liiteid veekindlateks, et vältida vee sisenemist konstruktsiooni

sisemusse. Lisatarvikute puudumisel suruvad teibid üksteise vastu ainult betooni kaalu ehk täpsemalt öeldes betooni külgkoormuse tõttu, mis mõjub teibile vasakult ja paremalt poolt, samal ajal kui ülevalt avaldub teibile teatud jõud, mis on suuremõõtmeliste monoliitkonstruktsioonide valamisel palju suurem kui külgkoormus, mis toob kaasa tsemendi ja vee sattumise profiilide vahele. Kõrge surve ja samuti väikese veekindluse korral tungib vesi kergesti teibi ja õhukese tsemendikihi vahele, luues konstruktsioonisest lekkeid.

1.3 Alagrupi „Profiil paigaldatud valele kõrgusele betoonpinna suhtes” riski ohtlikkust võib nimetada kõige lihtsamaks ja loogilisemaks selgituseks. Alustan sellest, et tavaliselt paigaldatakse profiil kahe betoonivalamise etapi vahel. Nii ühendab profiil töövuugis alaosa konstruktsiooniga ülemise osa, olgu selleks siis vundament või sein. Profiili efektiivsust mõjutab, kui sügavalt see on vundamendis või seinakonstruktsioonis. Mida väiksem on profiili vundamendis või seinas uppunud ala, seda vähem suudab see vastu seista veele, mis üritab tungida konstruktsiooni sisse vee surve mõjul. Seetõttu mõjutab selle efektiivsust oluliselt, kui suur protsent profiili pindalast on jaotatud kahe valamise etapi vahel. Sellistel juhtudel, kui vundamendi valamisel ei ole profiili alumine osa konstruktsiooni sisse uppunud, siis profiil lakkab töötamast veetõkkena, sest vesi hakkab tungima varem valatud vundamendi kihi ja hiljem valatud seinapaneeli kihi vahele.

1.4 Profiili lõikamisel mis tahes kohas suureneb lekke tõenäosus kriitiliselt. Profiili efektiivsus veetõkkena sõltub tema terviklikkusest; kui profiil katkestatakse selles või teises kohas ilma korrektse ülekatteta või muude abivahenditeta nagu injekeerimisvoolikud jne, on lekke risk 100 protsenti ja hoone omanikud kannavad tulevikus kindlasti kahjusid defekti parandamiseks.

2. Teise riskirühma kuuluvad „Paigaldusjuhendi kohased lisatarvikud on asendatud teiste toodetega” ja „Profiil katkestatud, osaliselt lõigatud”.

2.1 Asendades paigaldusjuhendi kohaseid lisatarvikuid komplektis olevate analoogidega, ei ole lekke risk suur, kui see on eelnevalt kokku lepitud toote loonud ettevõtte esindajatega; sel juhul võib riski hinnata isegi minimaalseks ja edasised paranduskulud võivad olla väga väikesed. Siiski on autor liigitanud selle alarühma keskmise riski tasemele just sellistel juhtudel, kui paigaldusjuhendis kohased tarvikud asendatakse kruvide, vahu, mastiksiga, mis omavad suurt kokkutõmbumisprotsenti ja ei pea hästi vastu veele, mis sisaldab korrodeerivaid lisandeid; sellisel juhul võib riski hinnata kõrgeks. Lisatarvikute puhul tuleb arvestada, et sellise tüüpi hüdroisolatsiooni eluiga on arvestatud vähemalt 50 aastat, samas kui enamik

mastikseid ja teisi tihendusviise on tunuvalt lühema kasutuseaga, seega on tulevikus hoonete omanikel suurem tõenäosus kokku puutuda täiendavate töödega defektide parandamiseks.

3. Kolmanda riskigrupi, mis on seotud lisakuludega hoone omanikele, hulka autor liigitas alagruppi „Pikk ülekate”. Sel juhul on risk siiski minimaalne, kui profiilide kinnitusvahendid on paigaldatud õige sammuga ja betoonivalamise käigus ei tungi tsement koos veega ülekate kohas kahe profiili vahele.

Järgmiseks etapiks on metallprofiilide paigaldusdefektide selgitamine mõju hoone omadustele.

Tabel 3.6 Riskianalüüs hoone omadustele metall-lehe erinevate defektide juhul, praktiline osa

Defekti päritolu	Hindamiskriteerium		
	1-suur risk	2 – keskmine risk	3 – madal risk
Lühike ülekate	X		
Pikk ülekate			X
Lisatarvikud on jäänud paigaldamata	X		
Paigaldusjuhendi kohased lisatarvikud on asendatud teiste toodetega	X		
Profiil paigaldatud vale kõrgusele betoonpinna suhtes	X		
Profiil katkestatud, osaliselt lõigatud	X		

1. Kõik alagrupid peale osa „Pikk ülekate” on liigitatud suure riskiga hoone omadustele defekti tekkimise tõenäosusega. Käesoleva hüdroisolatsiooni tüübi puhul on peamine ja üldine probleem vee sisenemine hoone sisemusse. Tõenäoliselt ei tohiks peale betoonkonstruktsiooni ise midagi kannatada, kuna tavaliselt keldriruumid ei allu lisaviimistlustele nagu seinte värvimine jms. Kuna peaaegu kõik alagrupid on liigitatud kõrgeima riskiastmega, mis omakorda tähendab vee tungimist konstruktsiooni sisse ilma takistusega, jaotame need suurimast riskiastmest väikseimani, lähtudes hindamiskriteeriumist 1 - suur risk.

- Profiil paigaldatud vale kõrgusele betoonpinna suhtes (juhul kui profiil ei ole põhjaplaadi betooniga kontaktis)
 - Profiil katkestatud, osaliselt lõigatud
 - Lühike ülekate
 - Lisatarvikud on jäänud paigaldamata
 - Paigaldusjuhendi kohased lisatarvikud on asendatud teiste toodetega
2. Pikk ülekate on madala riskitasemega, kuna tõenäoliselt ei too see kaasa vee sisenemise võimalust konstruktsiooni, eeldusel, et lisatarvikud olid eelnevalt õige sammuga paigaldatud. Metallprofiilide paigaldusjuhendites ei keelata teha pikemaid ülekatteid, kuid X ettevõtte esindajad väidavad, et see suurendab mingil määral vee tungimise ohtu konstruktsiooni.

Metallprofiilide puhul olid mõlemas analüüsis peaaegu kõik alagrupid liigitatud kõrge riski gruppi, kuna iga defekt toob kaasa vee tungimise konstruktsiooni sügavusse. Analüüsi tulemusena selgus, et riski taset tuleb hinnata mitte ainult vee sissetungimise seisukohast, vaid ka arvestada sissetungiva vee hulka, mis toob kaasa suuremad kulud defektide parandamiseks, samuti kahjustab see maa-aluste korruste isiklike asjade seisukorda. Seega osutus kõige problemaatilisemaks defektiks „Profiil paigaldatud valele kõrgusele betoonpinna suhtes“, kuna kui lint on pikal lõigul valesti paigaldatud, siis selle koha kaudu sissetungiva vee hulk on võrreldes teiste defektidega märkimisväärselt suurem.

3.3.4 Paisuva bentoniitlindi mittetoimivate lahenduste riskianalüüs

Eelmises etapis paisuva bentoniitlindi paigaldamisel tehtud peamiste paigaldusvigade tüübid jaotati 3 põhigrupiks. Alagrupp „Ebapiisav ülekate või ülekate puudub“ jaotati paremaks analüüsi täpsuseks veel kaheks grupiks „Ebapiisav ülekate“ ja „Ülekate puudub“.

Edasi on esitatud riskianalüüs tarbijale iga defekti puhul. Arvesse võetakse juhtumit, kui PTV garantii on lõppenud ja kõik remondiga seotud kulud langevad maja elanike õlgadele.

Tabel 3.7 Riskianalüüs tarbijale savilindi erinevate defektide juhul, praktiline osa

Hindamiskriteerium			
Defekti päritolu	1-suur risk	2 – keskmine risk	3 – madal risk
Ebapiisav ülekate			X
Ülekate puudub	X		

Ebatasane betoonipind		X	
Kasutamata jäänud lisatarvikud		X	

1. Suurimasse riskirühma autor liigitas paigaldusviga „Puuduv ülekate“. Iseseisvalt ei ole paisuv bentoniitlint väga tihe ega tugev materjal ja selle eripära seisneb selles, et kokkupuutel tsemendiveega võib see suurendada oma suurust algsest kuni 150%. Suuruse muutus võimaldab lindi täita konstruktsioonis võimalikult palju tühimikke. Kui ülekate puudub, võib vee surve lihtsalt ühenduskoha lõhkuda, eriti kui lint on suure soolsusega või mineraalidega vees. Samuti tuleb märkida, et kuival perioodil väheneb lint suuruses ja võimalik, et see toob kaasa uute tühimike tekkimise, mille kaudu vesi saab tungida konstruktsiooni sisse, kuni lint jälle paisub. Elumajades, kus see viga on tehtud, seisavad omanikud tõenäoliselt tulevikus silmitsi lisakuludega selle defekti parandamiseks, kui seda enne betooni valamist ei parandata.
2. Keskmise riskirühma hõlmas peatükke „Ebatasane betoonipind, Kasutamata jäänud lisatarvikud“ põhjusel, et teatud tõenäosusega ei too need defektid kaasa lisakulusid defekti parandamiseks tulevikus.
 - 2.1 Alamrühma „Ebatasane betoonipind“ puhul sõltub konstruktsiooni lekke tekkimise võimalus sellest, kui ebatasane on betoonipind. Arvestades profiili laiust ja paksust 20x25 mm, võib selle laienemisel suurus suurendada kuni 30x37,5 mm-ni, mis võimaldab katta väiksemaid betooni ebatasasusi, kuhu valamisel ei suutnud tungida tsement ja betooni täitematerjal. Siiski, suure ebatasasuse korral jätab paisuv bentoniitlint täitmata konstruktsiooni tühimikud, mille kaudu hakkab vesi konstruktsiooni sisenema. Jällegi tuleb mainida, et kuiva perioodi ajal, kui vesi võib laskuda alla paigaldatud lindi tasemele, väheneb see suuruselt ja vihmaperioodi ajal võib mõnda aega vesi konstruktsiooni tungida, kuni lint taastab oma laienenud mahu. Antud defekti korral, kui betoonipinna ebatasasus ei ole suur, siis tõenäoliselt ei seisne majaomanikud silmitsi lisakuludega defekti parandamiseks, kui see ei olnud enne betooni valamist parandatud, vastasel juhul on vajalikud lisakulud.
 - 2.2 Kasutamata jäänud lisatarvikud võivad põhjustada nii lekke tekkimise või seda ka mitte teha. Lisatarvikud nagu liim ja metallist paigaldusvõrk teenivad esmajärjekorras lindi kindlaksmääramise eesmärki, et see betooni valamisel paigast ei liiguks. Metallist paigaldusvõrk parandab lindi sidusust betooniga ja muudab nende ühenduse tugevamaks. Kui betooni valamise ajal lint mingil kombel varem paigaldatud kohast ei nihku, siis leket ei teki, kuid see faktor

ei sisenda kindlustunnet. Linti on võimalik paigaldada ka ainult kruvide abil, kinnitades lindi hoone konstruktsiooni külge, kuid sellisel juhul rebib selle igasugune mehaaniline mõju lindile ja see hakkab aeglaselt õhuniiskuse mõjul paisuma. Kindlama lahenduse jaoks on siiski vaja kasutada paigaldusjuhendi kohaseid lisatarvikuid, vastasel juhul seisavad majaomanikud suure tõenäosusega silmitsi lisakuludega defektide parandamiseks.

3. Alamrühm „Ebapiisav ülekatte“ autor liigitas madala riski tasemele. Linti paigaldades märgati, et kas ülekatet ei tehta üldse, või selle pikkus on rohkem kui 5 cm või vähem kui 5 cm. Juhul, kui ülekatte on 3-4 cm, tuleb lint veesurvega hästi toime, arvestades, et iga ots pikeneb veega kokkupuutel veel umbes 0,5 cm võrra. Antud defekti puhul on vee tungimine konstruktsiooni sügavusse ebatõenäoline ja suure tõenäosusega ei pea maja elanikud tulevikus silmitsi seisma lisakuludega defekti parandamiseks.

Järgmiseks etapiks on paisuva bentoniitlindi paigaldusdefektide mõju selgitamine hoone omadustele.

Tabel 3.8 Riskianalüüs hoone omadustele savilindi erinevate defektide juhul, praktiline osa

Hindamiskriteerium			
Defekti päritolu	1-suur risk	2 – keskmine risk	3 – madal risk
Ebapiisav ülekatte			X
Ülekatte puudub	X		
Ebatasane betoonipind	X		
Kasutamata jäänud lisatarvikud		X	

1. "Analüüsi tulemuste põhjal kuuluvad suurima riski alla alamrühmad „Ülekatte puudub“ ja „Ebatasane betoonipind“.
- 1.1 Ülekatte puudumisel, nagu juba varem öeldud, tekib suur tõenäodud lekke tekkeks. Eriti suurenevad lekke võimalused juhtudel, kui konstruktsioon asub kohas, kus veetase pidevalt muutub. Kuna lõpuks lakkab lint suurenemast vajalike mõõtmeteni, mis moodustaks hermeetilise tõkke. Seega tuleb arvestada, et ülekatte koht hakkab järk-järgult välja uhtuma, kui vees leidub mineraalseid lisandeid või kui vee soolasisaldus on kõrge.
- 1.2 Betooni ebatasasus võib võrreldes ülekatte tegemata jätmisega tuua kaasa suurema hulga vee imbumist konstruktsiooni. Eriti, kui valatud betoonipind on ebatasane kogu pikkuses. Sellisel juhul puutume kokku mitte ühe

lekkekohaga, vaid terve rühma leketega, mis toovad kaasa nii aeglase tsemendi väljauhtumise kui ka lisapragude tekkimise konstruktsioonis.

2. Analüüsi tulemuste põhjal kuuluvad keskmisse riski alla alamrühmad „Kasutamata jäänud lisatarvikud“. Selle defekti korral on võrreldes kõrge riskirühmaga lekete hulk ja nende tekkimise tõenäosus madalam. Betooni jäänud lint siiski toimib ja ei lase veel konstruktsiooni sisse tungida isegi siis, kui see on nihkunud oma kohalt mõne sentimeetri võrra. Erandiks on sellised raudbetoonkonstruktsioonid, mille laius on alla 200 mm, kus on väga oluline, kus täpselt lint kinnitati, et see saaks usaldusväärset töötada.
3. Madalaima riskiga liigitati alarühm „Ebapiisav ülekate“, kuna väikese kõrvalekalde korral normist ei kao lindi võime paisuda ja luua tihe tõke vee sissetungimise vastu. Erand on muidugi ülekatte puhul, kui see on 2 cm või vähem, kuid X ettevõtte inseneride sõnul on selline olukord pigem harv ja tavaliselt on ülekatte suurus kas üldse tegemata või vähe normist erinev, vastavalt paigaldusjuhendile.

Analüüsides tulemusena tuvastati, et kõige suurem risk elanikele ja hoone omanikele on „Puuduv ülekate“, kuna sel juhul tuleb peaaegu kindlasti võtta lisameetmeid defektide kõrvaldamiseks. Teised alarühmad ei põhjusta vee tungimist konstruktsiooni sama suure tõenäosusega. Kui analüüsida hoone kahjustuste ulatust, siis kolm neljast defektist põhjustavad aeglast betoonkarkassi hävimist ja karkassi korrosiooni. Teises analüüsis arvestati defekti potentsiaalset võimalust põhjustada hoonele maksimaalselt suurt kahju. Sel juhul on „Ebatasane betoonipind“ eriline, kuna see võib kaasa tuua praod ja lekked kohe mitmes kohas, erinevalt alarühmast „Puuduv ülekate“, mis põhjustab probleeme ühes kohas.

3.4 Mittetoimivate katusehüdroisolatsiooni lahenduste parandusmeetodid

Vigade parandamise meetodid vaatlen lähtudes varem toodud põhilisest alarühmast, mida uuriti objektide külastamisel. Defektide parandamist käsitletakse samas järjekorras, nagu need on esitatud allpool toodud loeteludes.

SBS peamised defektid paigaldamise ajal.

- Tihendamata või valesti tihendatud läbiviigud
- Mehaaniline vigastus

- Keevitamata SBS kate, sh. ülekate ja vuugid
- Sammal ja teised orgaanilised reoained
- Auru ja veekotid
- Puistekihi valgumine
- Ülespöörded ja muud

PVC peamised defektid paigaldamise ajal.

- Mehaanilised vigastused
- Sise- ja välisnurgad tugevduseta
- Vale tüüblite asukohad ja samm
- Paanid ääretsoonides vale laiusega
- Madal ülespööre
- Seadme vale keevitustemperatuur
- Lohud katuseembraanil
- Valesti tihendatud läbiviigud

TPO peamised defektid paigaldamise ajal.

- Mehaanilised vigastused
- Sise- ja välisnurgad tugevduseta
- Vale tüüblite asukohad ja samm
- Paanid ääretsoonides vale laiusega
- Madal ülespööre
- Seadme vale keevitustemperatuur
- Kihtide ülekate puudub

3.4.1 Mittetoimivate SBS katusekatte parandusmeetodid

1. Lähtudes juhtumi keerukusest tihendamata läbiviigu puhul, on probleemi lahendamiseks mitu etappi. Igatahes tuleks SBS-i ümbrus läbiviikudest eemaldada, isegi kui ei ole vihjeid sellele, et vesi võis konstruktsiooni sisse tungida. Sellisel viisil viiakse läbi veekahjustuse kontroll. Edasi, vastavalt vajadusele, keevitatakse uus SBS kate või halvemal juhul vahetatakse soojustuskiht kahjustatud alas.

1.1 Veekindla kaabli läbiviigu vormistamiseks on peamiselt kaks võimalust. Kasutada mastiksit, mis peab vastu ilmastikukoormustele nagu UV-kiirgus, temperatuurimuutused,

sademed. Samuti tuleb mastiksi valimisel arvestada, et selle kokkutõmbumine ja paisumine peab olema minimaalne, samas peab see olema piisavalt elastne, et konstruktsiooni liikumisel jääks see hermeetiliselt seotuks nii katuse põhiosaga kui ka kaabli kaitsetoruga.

- 1.2 Teine variant on vastupidavam. Spetsiaalsed tooted, mis ei vaja mastiksit ja paigaldatakse SBS hüdroisolatsioonikihtide vahele, takistades igasugust vee sattumist katusekonstruktsiooni, näiteks selliseid tooteid pakub tootja TOPWET.
2. Parandusmeetod mehaanilise kahjustuse kohas sõltub samuti kahjustuse tõsidusest. Olulist rolli mängib, kas kahjustus on läbiv või mitte. Mehaanilise kahjustuse tõsidusest sõltumata ei muutu põhitööetapid: kahjustatud kohta ja selle ümbrust tuleb hoolikalt puhastada mustusest ja tolmust. Väikese saastumise korral toimub puhastamine harja ja õhuga. Suurema saastumise korral tuleks kasutada erivahendeid, mis ei mõjuta SBS katte omadusi, näiteks seebivesi.
 - 2.1 Kui tegemist on mitteläbiva ja vähemärgatava kahjustusega, on võimalik kahjustatud koht parandada hermeetiku või mastiksigi. Oluline on tähele panna, et hermeetik peab sobima väliskeskkonna kasutamiseks, oles samas piisavalt elastne ja omama väga häid adhesiooniomadusi SBS puistekihiga.
 - 2.2 Läbiva mehaanilise kahjustuse korral tuleks eemaldada osa SBS-ist, et teostada katuse terviklikkuse kontroll. Seejärel kasutades uut SBS-i, paigaldada lapp. Pärast SBS-i keevitamist on soovitatav lapi servad hermeetiku või mastiksigi üle tõmmata suure vee ja õhukindluse saavutamiseks.
3. Keevitamata SBS-i korral ei ole palju erinevaid viise vea parandamiseks. Tavaliselt ei kasutata hermeetikuid kohtades, kus SBS on jäänud keevitamata.
 - 3.1 SBS koos avatud vuugiga eemaldatakse, pind puhastatakse, et tagada uue SBS-materjali parem haakumine. Uus SBS paigaldatakse eemaldatud kihi asemele, järgides materjalide vuukide ülekattumise norme. Piki vuugi puhul peaks ülekate olema keskmiselt vähemalt 10 cm, risti vuugi korral keskmiselt vähemalt 15 cm, olenevalt kihi paksusest ja materjali tootjast.

4. Sammalde ja teiste orgaaniliste saasteainete ilmnemisel SBS-katte pealiskihil tuleb arvestada mitte ainult orgaanika eemaldamisega, vaid ka SBS-pinnase kontrollimisega pärast selle eemaldamist.

4.1 Sammal ja muud osakesed tuleb eemaldada spetsiaalse mürkainega, mis ei kahjusta katusekatet, kuid hävitab sambla koos juurestikuga, seejärel tuleb kontrollida SBS-i seisukorda orgaanika eemaldamise kohas, aurukottide ja veekottide olemasolu ning katte mehaaniliste kahjustuste võimalikkuse osas.

5. Auru- ja veekottidega seotud defektide parandamisel ei piisa ainult vana SBS-kihi eemaldamisest. Defekti paremaks parandamiseks tuleks ümbruse ala defekti lähedal üle käia ja võimaluse korral leida selle põhjus. Sageli on selliste defektide põhjusteks väikesed mehaanilised kahjustused, SBS-rullmaterjali vaheliste vuukide avanemine, ülespöörete ebapiisav kõrgus ja muu.

5.1 Kohas, kus tekkis auru- või veekott, tuleks eemaldada vana SBS-kate, puhastada koht allpool eemaldatud SBS-katet, kuivatada see niiskuse või vee olemasolul ja viimase sammuna paigaldada uus SBS-kiht.

6. Puistekihi valgumisega seotud defektide parandamiseks on erinevaid meetodeid. Pakutud kahest meetodist kumbki on asjakohane ühes või teises olukorras.

6.1 Vertikaalse ja madala kõrgusega konstruktsioonidele, nagu parapett, on optimaalseks lahenduseks lisakattepleki paigaldamine, mis kaitseb SBS puistekihti kriitiliselt kõrgete temperatuuride eest. Temperatuur tõuseb kriitiliseks just madalate parapettide tõttu, kuna madalal kõrgusel koguneb soojus vertikaalpindadel kiiremini.

6.2 Kui defekt on tekkinud kõrgetel vertikaalpindadel või näiteks suurel kaldpinnal, tuleks defektne SBS eemaldada ja asendada see valge või heledat värvi puistematerjali kihiga, mis peegeldab soojust paremini. Parima tulemuse saavutamiseks tuleks uus materjal peale keevitamist kinnitada ka mehaaniliselt hüdroisolatsioonikihi vuukides.

7. Viimasesse kategooriasse kuuluvad defektid, mis on seotud SBS ülespöörete kõrguse rikkumisega, samuti niiskuse kogunemisega katuse kihtides. Probleemi lahendused on kirjeldatud punktides 7.1 ja 7.2.

7.1 Kõik defektid, mis on seotud ülespöörete ebapiisava kõrgusega, parandatakse nende pikkuse suurendamisega minimaalselt lubatud 300mm-ni. Juhtudel, kui see ei ole madalate ülespöörete asukohas võimalik, tuleks SBS katte peal kasutada katteplekki, mis suudab SBS katet kaitsta ilmastikutingimuste ja mehaanilise mõju eest.

7.2 Katusekihtide niiskusprotsendi vähendamiseks on kõige sagedasem lahendus paigaldada sundventilaatorid isolatsioonikihtide kuivatamiseks.

Kokkuvõtteks pakuti antud peatükis võimalikke ja optimaalseid lahendusi erinevate probleemide lahendamiseks. Probleemide korral on kõige lihtsam lahendus vana lammutamine ja uute materjalide paigaldamine, kuid see meetod võib olla materjalimahukas ja mitte alati kõige kiirem, samuti ei pruugi see meetod alati probleemi lahendada. Omades sügavamaid teadmisi materjalidest ja defektide parandamise meetoditest, on võimalik leida optimaalne lahendus, mis vähendab nii aega kui ka võimaldab konstruktsioonil eksisteerida võimalikult kaua ilma lisaraha investeeringuteta.

3.4.1 Mittetoimivate PVC ja TPO katusekatete parandusmeetodid

Kuna PVC ja TPO materjalid on sarnased nii vigade tüüpides kui ka nende parandamise meetodites, vaatleme võimalikke parandusmeetodeid ühes alalõigus. Esimesed kuus punkti kehtivad nii PVC kui ka TPO katte puhul. Seitsmes ja kaheksas meetod on välja toodud PVC materjali jaoks ning üheksas punkt TPO materjali jaoks.

1. Kuna PVC ja TPO membraanide mehaanilised kahjustused on sageli läbivad, tuleks esmajärjekorras eemaldada membraani osa katuse soojustuse kontrollimiseks. Kui soojustusmaterjalina on kasutatud pehmet mineraalvilla või klaasvilla ja see on märjaks saanud, tuleks soojustus asendada uuega. Järgmise sammuna tuleb TPO ja PVC membraanide pinnad puhastada mustusest ja parandada adhesiooni plaastri paigaldamisel. TPO materjali puhul toimub plaastri paigaldamine kuuma õhu meetodil, samas kui PVC puhul kasutatakse

- liimi, mis ühendab kaks PVC katet hermeetiliselt. On väga oluline, et ülekatte ulatus oleks vähemalt 120 mm, et tagada plaastri ja katuseembraani vaheline usaldusväärsem ja hermeetilisem ühendus. SBS materjali kasutamine mehaaniliste kahjustuste parandamisel on rangelt keelatud, kuna materjalide vahel toimub keemiline reaktsioon, mille tulemusena materjal laguneb ja tekib oht, et vesi pääseb katuse sisse.
2. Selleks, et parandada sise- ja välisnurkade vastupidavust keskkonnamõjudele, tuleks kasutada spetsiaalseid lappe. Lapp on jäigem vorm PVC ja TPO materjalist. Enne lapi paigaldamist tuleb pind puhastada pehme harjaga, kasutades kemikaale, mis ei sisalda agressiivseid aineid. Seejärel tuleb lapp nurka asetada nii, et see tihedalt nende pindade vastu haakuks, kus toimub keevitamine. Edasi tuleb lappi keevitada alusmaterjaliga kahe etapi vältel. Esialgu keevitatakse nurgad ja seejärel ülejäänud lapi pind.
 3. Liiga suure tüüblite sammu korral on defekti lihtne parandada nii TPO kui ka PVC materjali puhul. Tuleks vähendada sammu, paigaldades uued tüüblid olemasolevate vahele. On oluline pöörata tähelepanu sellele, et membraan jääks peale uute tüüblite paigaldamist pingule; vastasel juhul tuleks kattekiht eemaldada ja see uuesti paigaldada. Kui tüübel on paigaldatud valesse kohta, siis lihtsaim parandusviis on osaline membraani eemaldamine ja uue membraani paigaldamine selle kohale. Alternatiivina võib kaaluda kõigi tüüblite eemaldamist ja nende asemele paranduslappide paigaldamist, millele järgneb tüüblite uuesti paigaldamine; sellisel juhul tekib aga lisavuuk, mis tulevikus võib potentsiaalselt hakata lekkima.
 4. Defekti „Paanid ääretsoonides vale laiusega“ parandamiseks on üks meetod varem paigaldatud PVC või TPO membraani väljalõikamine. Tuleks lõigata osa, kus kasutati vale laiusega paneeli, seda tuleb teha sirgelt, et tagada koormuste ühtlasem jaotumine tuulekoormuse või sademete korral. Järgmisena tuleb materjal puhastada mustusest, kasutades sobivaid keemilisi vahendeid ja pehmet harja. Järgmise sammuna tuleks teostada materjalide vahel mehaaniline kinnitamine ja seejärel keevitamine. Teine meetod seisneb teise kihi PVC või TPO isolatsiooni pealekandmises, kasutades meetrilaiuseid paneele. Kogu pinnale, kuhu uus kattekiht peale kantakse, tuleks puhastada igasugusest mustusest, seejärel kanda uus PVC või TPO materjali kiht risti eelmise kihiga. Seejärel kinnitada see ilma mehaanilist meetodit kasutamata, täpsemalt öeldes kuuma õhu abil.

5. Defekti parandamine „Madal ülespöore“ sõltub konkreetsest juhtumist. Vaatleme kahte juhtumit. Esimesel juhul on võimalik ülespööret pikendada, teisel juhul ei ole võimalik ülespööret pikendada kõrgemale.
 - 5.1 Esimesel juhul, kui on võimalik ülespöörde kõrgust pikendada, tuleks esmalt hinnata praeguse ülespöörde tihedust. Kui lekkeid ei ole, tuleks ülespöörde pind puhastada mustusest ja pikendada ülespööret kasutades kuuma õhu meetodit kasutades PVC materjali, või TPO materjali, olenevalt praegusest katusekatte materjalist. Ülespöörde puhul on liite tihedus väga oluline, seetõttu on vaja pärast defekti kõrvaldamist kontrollida lisaks töö kvaliteeti.
 - 5.2 Juhul, kui ülespöörde pikendamine ei ole võimalik, on võimalik ülespöörde liidet tihendada silikooniga või tihendusteibiga. Tasub märkida, et tuleks vältida bituumenipõhiste toodete kasutamist, kuna aja jooksul hakkab liitekoht keemilise reaktsiooni tõttu PVC-TPO materjali ja bituumeni vahel lagunema. Silikooni tuleks kanda ülespöörde lõppu ühtlaselt, seejärel seda siluda, et tagada parem kontakt PVC või TPO materjaliga. Enne silikooni pealekandmist on oluline samm PVC või TPO materjali pinnalt tolmu ja muude saasteainete eemaldamine.
6. Kui TPO ja PVC membraanide keevitamisel on valitud vale temperatuur ja kiirus, võib osa õmblustest jääda ebapiisavalt kinnitatud. Defekti parandamise põhimeetod on õmbluse mehaaniline avamine, tolmu ja muu reostuse eemaldamine pehme lapi ja pesuvahendi abil. Seejärel peaks õmblust uuesti keevitama kuuma õhu abil ja viimase sammuna kandma defektsele kohale paranduslapatsi, jälgides, et lapatsi ja defekti vaheline minimaalne ülekate oleks tagatud. Ei tohi unustada isolatsioonikihtide kontrollimist. Kui õmblus on olnud piisavalt kaua avatud, siis tõenäoliselt on vesi suures koguses tunginud soojustuskihtidesse ja see tuleks kas täielikult uue vastu välja vahetada või lasta kuivada.
7. Kui katuse membraankatte peal tekivad loigud, mille sügavus on üle 15 mm, loetakse see defektiks, mida tuleb parandada. Defekti kõrvaldamiseks on vajalik membraani osaline väljalõikamine. Membraani väljalõikamisel tuleks lõigata sirgelt, kuna see lihtsustab hilisemat uuesti keevitamist ja võimaldab TPO ja PVC materjalide puhul saavutada vajaliku ülekate. Pärast membraani väljalõikamist loigu kohal tuleb paigaldada lisaisolatsioonikiht, et tekitada kõrgendik. Tuleb arvestada, et kõrgendiku tekitamine ühes kohas võib tekitada teistes katuse

osades uued süvendid, kuhu vesi koguneb, seega tuleb defekti parandamisel lähtuda katuse üldisest kaldenurgast. Järgmisena tuleb puhastada väljalõigatud osa materjali perimeeter ja paigaldada paranduslapp, tagades kihtide nõuetekohase ülekatte.

8. Defekti „Tihendamata läbiviik“ parandamiseks on kaks varianti. Kasutada saab spetsiaalseid tooteid, mis muudavad läbiviigu niiskus- ja veekindlaks, või kasutada mastiksit. Kuigi mõned mastiksitüübid tulevad hästi toime keskkonnakoormustega, on spetsiaalsete toodete kasutamine siiski vastupidavam lahendus ja vähendab suuremal määral tulevikus lekke tekkimise võimalust.

8.1 Mitmed ettevõtted pakuvad erilahendusi läbiviikude veekindlaks muutmiseks. Siinkohal vaatleme TOPWET lahendust. Enne tööde alustamist on vajalik membraani osaline lõikamine, et kontrollida soojusisolatsiooni kihtide üldseisukorda. Kui ulatuslikud lekked puuduvad, tuleks lasta soojusisolatsiooni kihtidel kuivada ja seejärel puhastada membraani pindala ümber, kuhu paigaldatakse TOPWET läbiviik. Järgnevalt tuleb paigaldada TOPWET läbiviik, läbistades see kaabliga. TOPWET koosneb torust, mille keskele on tihedalt kinnitatud PVC või TPO materjal. Katusekatte tihedaks ühendamiseks TOPWET konstruktsiooniga kasutatakse keevitust.

9. Kui avastatakse defekt, mis seisneb ebapiisavas ülekattes, tuleks esmalt hinnata katuse üldseisundit ja selgitada välja, kui hermeetiliselt materjali õmblused omavahel ühenduvad. Tavaliselt, kui ülekate on ebapiisav või puudub, hakkab materjal õmblusest lahknema, tekitades lekkekohti. Puuduvale ülekatele tuleb paigaldada paranduslapp samast materjalist, mis katusekate. Enne seda tuleks katusekate puhastada saasteainetest. Seejärel paigaldatakse paranduslapp kasutades kuuma õhu meetodit, et tagada kihtide vaheline ülekate vähemalt 80 mm.

Kokkuvõtteks võib öelda, et alapeatükis käsitleti enim esinevaid defektide parandamise meetodeid, mis on tuvastatud objektide külastuste tulemusel. Defektide parandamise meetodite analüüs näitab, et kuigi parandusmeetodite keerukus ei ole märkimisväärne ja lahenduste lihtsus võimaldab kiiresti kõrvaldada ilmnenud puudused, on nende olemasolu siiski oluline katuste üldise töövõime seisukohast. Erinevate parandusmeetodite analüüsimisel tuvastati kriitiline aspekt: PVC ja TPO defektide parandamisel ei tohiks mingil juhul kasutada bituumenipõhiseid materjale, kuna aja

jooksul hakkavad PVC ja TPO materjalid lagunema ning defektid tekivad uuesti. Katuseseire juhatuse liige märkis oma praktikas, et niisugune parandusmeetodi viga ei vii defekti parandamiseni, vaid pigem viib defekti taastumiseni aja möödudes. Omalt poolt lisab autor, et on oluline mõista, et katuste hooldus ja parandus nõuavad pidevat tähelepanu ja teadlikkust kasutatavatest materjalidest ning nende omavahelisest sobivusest. Korrektselt valitud ja rakendatud parandusmeetodid mitte ainult ei pikenda katuse eluiga, vaid aitavad vältida ka tulevasi probleeme, tagades hoonele parema kaitse ilmastikumõjude eest.

3.5 Maa-aluste konstruktsioonide mittetoimivate hüdroisolatsioonilahenduste parandusmeetodid

Vigade parandamise meetodeid vaatlleb autor lähtudes varem toodud põhilisest alarühmast, mida uuriti objektide külastamisel. Defektide parandamist käsitletakse samas järjekorras, nagu need on esitatud allpool toodud loeteludes.

Metall-profiilide peamised defektid paigaldamise ajal.

- Pikk ülekate
- Lühike ülekate
- Lisatarvikud on jäänud paigaldamata
- Paigaldusjuhendis kohased lisatarvikud on asendatud teiste toodetega
- Profiil paigaldatud vale kõrgusele betoonpinna suhtes
- Profiil katkestatud, osaliselt

Paisuva savilindi peamised defektid paigaldamise ajal.

- Ebapiisav ülekate
- Ülekate puudub
- Ebatasane betoonipind
- Kasutamata jäänud lisatarvikud

Räägime võimalikest meetoditest konstruktsioonide defektide parandamiseks kahes etapis, nimelt enne teise valujärgu betoneerimist ja pärast seda.

3.5.1 Enne teise valujärgu betoneerimist kasutatud mittetoimivate metall-profiilide parandusmeetodid

Punktid 1-6 kirjeldavad parandusmeetodeid, mis sobivad konkreetsete defektide jaoks, punkt 7 on universaalne meetod kõigi eelpoolnimetatud defektide jaoks.

1. Defektne pikk ülekatmine ei vaja parandamist, kuna see ei kujuta endast veekindluse riski. Tuleb ainult kontrollida kinnituste paigaldusvahet profiilide liitekohas ja kleebise olemasolu profiilide vahel.
2. Defekti lühikese ülekate parandamise meetod sõltub sellest, kas konstruktsiooni alumine osa on juba valatud või mitte. Valamise ajal on võimalik profiili pikendada ja tagada vajalik ülekate pikkus.
3. Defekti, et lisatarvikud on jäänud paigaldamata, on võimalik parandada ka valamise ajal, kui viga märkas töötaja või insener enne profiili betooni sisse paigaldamist.
4. Kui kinnitusvahendite ja liimi tüübid on oma tööpõhimõtte ja kasutusaja poolest sarnased originaaliga, siis täiendavat defekti parandamist ei nõuta. Vastasel juhul on võimalik defekt kõrvaldada juba alusplaadi valamise etapis, enne kui profiil on betooni paigaldatud.
5. Üks kõige lihtsamini parandatavatest defektidest betooni valamisel on „Profiil on paigaldatud valele kõrgusele betoonpinna suhtes“. Enne betooni täielikku kõvenemist tuleb profiili kas rohkem süvendada või vastupidi, tõsta seda kõrgemale võrreldes betoonpinnaga.
6. Juhtumil „Profiil katkenud või osaliselt lõigatud“ nõuab parandamine keerukamat protsessi, nimelt enne alusplaadi valamist tuleb profiil demonteerida ja karkassi ümber paigutada nii, et profiili katkestus puuduks, seejärel paigaldada uuesti profiil, kuid juba uus, mis on ilma mehaanilise kahjustuseta.
7. Juhtudel, kui valuetapp 1 on juba lõpetatud ja alusplaat valatud, on parandamiseks kaks peamist meetodit: injekeerimisvooliku paigaldamine ja teist tüüpi hüdroisolatsiooni paigaldamine metallprofiili peale.

7.1 Fotodel on toodud näited injekeerimisvoolikute paigutusest erinevates olukordades. Näiteks paremal alumisel fotol on paigutus tingitud betooni pinna ebaühtlusest, mis võib põhjustada lekkeid isegi korrektselt paigaldatud bentoniitlintide puhul. Parempoolsel fotol on näidatud, kuidas täpselt tuleks injekeerimisvoolikut paigaldada juhul, kui WPM profiil on valesti paigaldatud. Injekeerimisvoolik ei nõua suuri rahalisi investeeringuid, kuid injekeerimine ise maksab umbes 100 eurot meetri kohta.

7.2 Teine variant on paisuva bentoniitlintide lisamine metall profiilile. Bentoniitlint paigaldatakse väliskeskkonnast selles suunas, kust vesi võib konstruktsiooni tungida. Selle paigaldamisel on vajalik paisuv bentoniitlint asetada katkematu kontuurina ümber kogu perimeetri, vastasel juhul leiab vesi tee, mille kaudu hakkab hoonesse sisenema. Meetod sobib ja töötab pikaealiselt, kui pinnasevees on soola ja mineraalsete lisandite kontsentratsioon madal.



Joonis 3.22 Injekteerimisvooliku paigaldusprotsessi näide, praktiline osa

Metallprofiilide puhul ei kaasne defektide parandamisega enne esimest valuetappi mingeid raskusi ega suuri lisakulusid. Kuid pärast alusplaadi valamist muutub olukord koheselt ja peamised parandusmeetodid on seotud injekteerimisvoolikute paigaldamisega, samuti lisahüdroisolatsioonikihtide lisamisega konstruktsiooni hermeetilisuse saavutamiseks.

3.5.2 Enne teise valujärgu betoneerimist mittetoimiva paisuva bentoniitlindi lahenduse parandusmeetodid

Peamiseks eeliseks bentoniitlintide defektide parandamisel on nende paigaldamise lihtsus, kuna lint asetatakse juba valatud betoonikihi peale ja defekte on võimalik tuvastada juba seinte valamise ettevalmistamise faasis, korraldades täiendava ülevaatuses koos järelevalve või inseneriga.

1. Juhul, kui ülekatteid ei ole piisavalt, tuleks võtta uus lindi tükk ja asetada see kolmanda kihina, mis puutub kokku kahe ülejäänud lindiga, luues mõlemaga vähemalt 5 cm ülekatet.
2. Juhul, kui ülekatet ei ole tehtud, on vaja võtta uus lint ja asetada see teise kihina. Tuleb arvestada, et uus lint peab tihedalt kinnituma kahe ülejäänud lindi külge, et tagada liitekohtade parem tihendus.
3. Ebatasase betoonipinna parandamiseks võib kasutada Sika MonoTop-620 ettevõtte remontbetooni. Sarnased betoonitüübid omavad kõrget adhesiooni vanale betoonile, kõvenevad kiiresti ja pärast tahkumist moodustavad tugeva katte, millele on võimalik paigaldada paisuvat bentoniitlinti.
4. Kõige lihtsam viis defekti „Kasutamata jäänud lisatarvikud“ parandamiseks on lindi demonteerimine ja selle paigaldamine vastavalt paigaldusjuhenditele, kasutades kinnitamiseks kas liimi või metallist paigaldusvõrku ja kruvisid.

Ülevaate tulemuste kohaselt on bentoniitlintide puhul defektide parandamine kõige lihtsam, kuna lint paigaldatakse valatud alusplaadile ja on enne järgmise betoonikihi valamist kergesti demonteeritav, vähendades seeläbi defektide parandamise kulusid.

3.5.3 Peale teise valujärgu betoneerimist mittetoimivate paisuva bentoniitlindi ja metallprofiilide lahenduste parandusmeetodid

Kuna defektide parandamise meetodid, mis on seotud vee lekkimisega konstruktsiooni sees metallprofiilide ja paisuva bentoniitlintide puhul, on omavahel sarnased, siis käsitleme neid ühes peatükis.

1. Esimene meetod sobib, kui on oluline säilitada konstruktsiooni ilu. Meetod seisneb punktinjektsioonis kõrge rõhu all. Injektsiooni võib teostada otse konstruktsiooni pragudesse või puurida augu, mille kaudu otseselt injekteerida

epoksü- ja polüuretaanvaikusid nagu SikaDur, ElastoLite. Meetodi suureks miinuseks on see, et ei pruugi olla selge, kust vesi konstruktsiooni sisse pääseb, ja konstruktsiooni hermeetilisuse saavutamine võib võtta tohutult aega. Selle meetodi kasutamisel tuleb esmalt hinnata lekete raskust, seejärel puhastada praod tolmust ja muudest saasteainetest, et tagada vaigu parem adhesioon. Puhastamine võib hõlmata nii mehaanilist kui ka veega puhastamist. Pildid injekteeerimisprotsessist on näidatud allpool.



Joonis 3.23 Punktinjekteerimise näide, praktiline osa

2. Teine meetod sobib, kui tellija jaoks on oluline tagada konstruktsiooni hermeetilisus ja seinte viimistlus on teisejärguline. Olemas on spetsiaalsed koostised, mida saab kanda konstruktsiooni siseküljele. Need kattedehid moodustavad veekindla kihi, mis takistab vee läbitungimist. Sellisteks katematerjalideks on näiteks Drizoro Maxseal Flex, MasterSeal 581. Kattematerjalid on tavaliselt tsemendi- või polümeerbaasil. On väga oluline enne nende tüüpide hüdroisolatsiooni pealekandmist puhastada pind tolmust ja muudest saasteainetest. Järgmine oluline samm on pinna tasandamine remontbetooni abil, mis aitab kaasa ühtlase aluse loomisele hüdroisolatsioonikatte jaoks. Viimane samm enne uue katte pealekandmist on kruntimine, mis parandab hüdroisolatsioonikatte adhesiooni.



Joonis 3.24 Täiendava hüdroisolatsioonikihi peale kandmine konstruktsiooni veepidavuse saavutamiseks, praktiline osa

3.6 Intervjuude põhjalik analüüs

Läbiviidud intervjuude abil hindame, kui head lahendused praegu Eesti turul erinevat tüüpi hüdroisolatsiooni paigaldamiseks kasutusel on. Kes tavaliselt vastutab valesti paigaldatud hüdroisolatsiooni eest ja palju muud. Kõik intervjuu läbiviimise ajal esitatud küsimused on kirjeldatud alajaotises „2.1.4 Intervjuu läbiviimine probleemide üle süvendatult arutlemiseks“.

3.6.1 Telora OÜ projektjuhiga korraldatud intervjuu põhjal tehtud järeldused

1. Telora OÜ projektijuhi esimesele küsimusele antud vastust saab jagada kolmeks peamiseks osaks, millest autor koostab üldise järelduse esimesele küsimusele.
 - Olemasolevad lahendused ja materjalid turul võimaldavad saavutada vajalikke eesmärke põhjaliku planeerimise ja tööde teostamise kaudu, kuid arenguruumi veel on.

- Materjalide ja tehnoloogiate valik sõltub tihti nende hinnast, mis viib soodsamate lahenduste eelistamiseni, hoolimata tõhusamate, kuid kallimate alternatiivide olemasolust.
- Kallimate, kuid tõhusamate lahenduste hulka kuuluvad näiteks Grace Preprufe ja Bituthene süsteemid, mis sobivad eriti kõrge pinnasevee surve tingimustesse.

Praegune hüdroisolatsioonimaterjalide ja -lahenduste turg pakub valikut, mis rahuldab enamiku ehitusvajadustest. Siiski mängib majanduslik tegur materjalide valikul võtmerolli, mis sageli piirab keerukamate ja tõhusamate tehnoloogiate kasutamist. Vaja on leida tasakaal hinna ja efektiivsuse vahel, et tagada hüdroisolatsiooni pikaajalisus ja usaldusväärsus.

2. Telora OÜ projektijuhi teisele küsimusele antud vastust saab samuti jagada kolmeks peamiseks osaks, millest autor koostab üldise järelduse teisele küsimusele.

- Praegune materjalide ja lahenduste seis: Kaasaegsed hüdroisolatsioonimaterjalid ja -lahendused võimaldavad saavutada nõutavaid standardeid, eeldusel et töid planeeritakse hoolikalt ja teostatakse korrektselt. Siiski on selles valdkonnas arengupotentsiaali, kuna valikud piirduvad sageli hinnateguritega, mis viib odavamate, ent vähem efektiivsete lahenduste eelistamiseni.
- Vigade eest vastutamine: Eesti õigussüsteemis langeb hoonete ja konstruktsioonide toimimise eest vastutus eeskätt ehitajatele, isegi kui projektil esineb vigu. See ei vabasta insenere ega projekteerijaid vastutusest tagada projektilahenduste kvaliteet ning vajadusest hüdroisolatsioonitööde põhjalikuks kontrolliks kõigil etappidel.
- Plaani B vajalikkus: Tuleks välja töötada strateegia olukordadeks, kus hüdroisolatsioon ei ole korrektselt teostatud või ilmnevad ettenägematud probleemid. See hõlmab täiendavaid kaitsemeetmeid või lahendusi, mis võimaldavad lekkeid ja kahjustusi parandada ilma oluliste kulude ja viivitusteta.

Hüdroisolatsioonilahenduste usaldusväärsuse ja tõhususe tõstmiseks tuleb vaadelda protsessi terviklikult, alates materjalide planeerimisest ja valikust kuni kvaliteedikontrolli ja tööde vastuvõtmiseni. Samuti on vajalik luua mehhanisme kiireks ja tõhusaks reageerimiseks võimalikele puudustele, et minimeerida riske ja vältida vigade mõju hoonete kasutusel.

3. Telora OÜ projektijuhi kolmandale küsimusele antud vastust saab jagada neljaks peamiseks osaks, millest autor koostab üldise järelduse kolmandale küsimusele.

- Projekteerimisetapi tähtsus: Hüdrolatsioonitööde kvaliteedi parandamine peaks algama juba projekteerimise faasis, kus on oluline arvestada kõiki aspekte, et tagada süsteemi efektiivsus ja juurdepääsetavus kogu hoone eluea vältel.
- Süsteemsete lahenduste kasutamine: Soovitatav on kasutada ühe tootja terviklikke süsteemseid lahendusi, et tagada komponentide omavaheline sobivus ja kogu hüdrolatsioonisüsteemi usaldusvärsus.
- Kvaliteedikontroll ja spetsialiseeritud teenused: On oluline hüdrolatsioonipaigaldamine vastavalt tootja juhiste ja järgneva kvaliteedikontrolli. Töid peaksid teostama asjakohase väljaõppe ja kogemustega spetsialistid, mis aitab tagada hüdrolatsioonimaterjalide pikaajalist funktsionaalsust ja vastupidavust.
- Ettevõtete garantiid ja vastutus: Garantiid pakkuvate ettevõtete olemasolu, kes teostavad hüdrolatsioonitöid, stimuleerib kvaliteedi hoidmist kõrgel tasemel ja annab lisakindlustuse tellijatele.

Hüdrolatsioonikvaliteedi tõstmiseks on vajalik terviklik lähenemine, mis hõlmab kõike, alates disainifaasist kuni valmis tööde pideva kvaliteedikontrollini. Tööde teostajate professionaalsus ja spetsialiseerumine ning garantiid pakkuvate ettevõtete vastutus on võtmetegurid hüdrolatsioonisüsteemide usaldusvärsuse ja pikaajalise tagamisega.

4. Telora OÜ projektijuhi viimasele küsimusele antud vastust saab jagada neljaks peamiseks osaks, millest autor koostab üldise järelduse viimasele küsimusele.
 - Eelistatud hüdrolatsioonimaterjalid: Eestis kasutatakse töövuukide ja deformatsioonivuukide hüdrolatsiooniks enamasti savilinti ja betoonivalu ajal paigaldatavat hüdrolatsiooniplekki, mida võidakse kasutada eraldi või koos, sõltuvalt projekti spetsiifilistest nõuetest.
 - Injekteeritavad voolikud: Teatud juhtudel kasutatakse liidetes ka injekteeritavaid voolikuid, mis võimaldavad lekke ilmnemisel sisse viia tihendusmaterjali, pakkudes lisakaitset.
 - Pinnasevee surve mõju: Hüdrolatsioonimaterjali valik võib sõltuda pinnasevee surve suurusest. Kõrge pinnasevee survega aladel võib olla vajalik kasutada vastupidavamaid ja usaldusväärsemaid hüdrolatsioonimaterjale.
 - Üldise statistika puudumine: Eestis ei ole üldiselt kättesaadavat statistikat eri tüüpi hüdrolatsioonide kasutamise kohta, ja järeldused põhinevad peamiselt vastaja isiklikel kogemustel.

Töö- ja deformatsioonivuukide hüdroisolatsioonimaterjalide valik monoliitses raudbetoonkonstruktsioonis peaks arvestama mitmete teguritega, sealhulgas pinnasevee survega ja projekti erinõuetega. Kuigi laiapõhjaline statistika puudub, võimaldavad kombineeritud lähenemised ja tehnoloogiad, nagu injekteeritavad voolikud ja hüdroisolatsiooniplekid, tagada usaldusväärse hüdroisolatsiooni. Spetsialistide kogemused ja projektipõhine lähenemine on olulised ehitiste veekindluse efektiivseks tagamiseks.

Analüüsidest Telora OÜ projektijuhi intervjuus antud vastuseid neljale küsimusele, saame kokku võtta järgmise üldise järelduse:

Eduka hüdroisolatsiooni tagamiseks on oluline terviklik lähenemine, mis hõlmab nii projekteerimisfaasi, materjalide valikut, spetsialistide kaasamist kui ka kvaliteedikontrolli. Tänapäevased materjalid ja lahendused võimaldavad saavutada nõutavaid standardeid, kuid majanduslikud kaalutlused võivad mõjutada otsustusprotsessi, eelistades tihti odavamaid, kuid vähem tõhusaid variante. Ehitussektoris vastutab ehitaja peamiselt ehitise funktsionaalsuse eest, kuid projekteerijad ja insenerid ei ole vabastatud vastutusest vigade eest, mis viitab vajadusele tugevdada kvaliteedi järelevalvet kõigil etappidel. Eristub ka tähtsus tagada tööde õnnestumisel „plaan B“ olemasolu ja strateegia potentsiaalsete probleemide lahendamiseks. Lõppkokkuvõttes rõhutatakse spetsialistide rolli, kelle kogemus ja täpsus hüdroisolatsioonimaterjalide paigaldamisel on hädavajalik, et ennetada tulevikus esinevaid puudusi ja tagada süsteemi pikaajaline töökindlus.

3.6.2 Katuseseire OÜ juhatuse liikmega korraldatud intervjuu põhjal tehtud järeldused

1. Katuseseire OÜ juhatuse liikme esimesele küsimusele antud vastust saab jagada kolmeks peamiseks osaks, millest autor koostab üldise järelduse esimesele küsimusele
 - Sõlmalahendused – tihti on toruläbiviigud ja muud elemendid liiga lähedal, mis raskendab katusekatte korrektset ülespöörämist. Sellistes kohtades esineb sageli lekkeid, eriti kui torud asuvad katusel vee kogunemiskohtades.
 - Katusekatte ülespöörded – probleemid tekivad, kui katusekate on seinale üles pööratud krohviga kaetud EPSi plaadi peale. Neis piirkondades on täheldatud sagedasi lekkeid.

- Katuse äravoolutrapid – need ei ole tihti korrektselt kinnitatud katuse konstruktsiooniga, mistõttu võivad muhvühendused ajapikku lahti tulla. Samuti esineb probleeme SBS katte vuukides, kus võib leida lahtiseid kohti.

Kokkuvõttes on kõige levinumad katusekatte paigaldusvead seotud sõlmlahendustega, kus toruläbiviigid ja muud elemendid on paigutatud liiga lähedale, raskendades katusekatte nõuetekohast ülespöörämist ja põhjustades sageli lekkeid, eriti vee kogunemiskohtades. Lisaks tekivad probleemid, kui katusekatte ülespöörded on teostatud koos parandatud EPS plaadiga, mis viib samuti sageli lekteni. Veel üks murekoht on katuse äravoolutrapid, mis ei ole korrektselt kinnitatud või mille muhvühendused ja SBS katte vuugid võivad aja jooksul lahti tulla. Need probleemid toovad esile vajaduse hoolikama paigaldustöö järele, et tagada katuste pikaajaline toimivus ja lekkevabadus.

2. Katuseseire OÜ juhatuse liikme teisele küsimusele antud vastuse kokkuvõte on järgmine.

Antud kirjeldused toovad esile mitu olulist probleemi katuste ehituses ja projekteerimises. Esiteks, kui sõlmlahendused on keerukad või projekteeritud viisil, mis raskendab usaldusväärse hüdroisolatsiooni rakendamist, on vajalik, et projekteerijad oleksid paremini kursis katusematerjalide paigaldusjuhendite ja -võimalustega. Teiseks näitavad näited, kus ehitajad ei järgi projekteeritud lahendusi (nagu tuuldumata parapetid) või kasutavad ebakvaliteetseid materjale, et nii projekteerimise, ehituse kui ka järelvalve etappidest sõltub katuse lõplik kvaliteet ja funktsionaalsus. Lekkivad katusekatted ja puudulikud kalded, mis ei suuda vett korrektselt juhtida, on sageli tagajärjeks projekteerimisvigadele või hooletusele paigalduse ajal. Oluline on seega tagada, et kõik osapooled – projekteerijad, ehitajad ja järelvalve – täidaksid oma rolle hoolikalt, et vältida tulevikus probleeme ja tagada katuse pikaajalisus.

3. Katuseseire OÜ juhatuse liikme kolmandale küsimusele antud vastuse kokkuvõte on järgmine.

Kuigi turul on saadaval mitmeid kvaliteetseid ehitusmaterjale ja pidevalt lisandub uusi lahendusi, mängib hind sageli otsustavat rolli nende materjalide ja lahenduste kasutamisel. Tiheda konkurentsi ja kulude kokkuhoiu tõttu tehakse tihti kompromisse, valides odavamaid alternatiive. See võib mõjutada ehitiste lõplikku kvaliteeti ja kestvust, kuna odavamad materjalid ja lahendused ei pruugi pakkuda sama tulemuslikkust ega vastupidavust kui kallimad, kvaliteetsemad variandid.

4. Katuseseire OÜ juhatuse liikme neljandale küsimusele antud vastuse kokkuvõte on järgmine.

90ndatel aastatel paigaldati Soomes ja Eestis laialdaselt APP bituumenmaterjale, mis sisaldasid plastikut. Nende materjalide külmakindlus ei olnud piisav põhjamaiste kliimatingimuste jaoks, mistõttu lõpetati nende kasutamine Soomes 2000. aastate alguses ja Eestis mõned aastad hiljem, asendades need SBS materjalidega. Enamik sellistest katustest renoveeriti, kuid hiljem soovitati Soomes enne uue SBS katte paigaldamist APP materjalid eemaldada, kuna nende kahanemine võis tekitada voldid uues kattes, mis kahjustasid selle funktsionaalsust. Lisaks võib öelda, et katusekatte pikaajalisuse tagavad mitte ainult materjali tüüp, vaid ka selle kvaliteet ja valmistamisel kasutatud komponendid. Sageli võib Eesti ehitusmaterjalide turul kohata materjale, mille eeldatav kasutusiga on 15 aastat või vähem, mis omakorda toob katuse omanikule kaasa suuri kahjusid, kuna materjal muutub kiiresti kasutuskõlbmatuks. Seetõttu võime järeldada, et suurt rolli mängib mitte ainult materjali liik, vaid ka kvaliteetsed komponendid, mida on kasutatud selle tootmiseks.

5. Katuseseire OÜ juhatuse liikme viiendale küsimusele antud vastuse kokkuvõte on järgmine

Controlit GS on innovatiivne elektrit juhtiv nanokangas, mis on mõeldud katusekatete lekkekohtade ennetavaks tuvastamiseks juba hoone ehitusfaasis. See toode paigaldatakse otse soojustusisolatsioonile ja võimaldab peale katusekatte paigaldust teostada elektroonilist lekketestimist. Tänu sellele saab juba varakult avastada ja parandada võimalikke kahjustusi, mis tihti tekivad ehitusprotsessi käigus ning jäävad muidu märkamata. Controlit GS on tulekindel, patendiga kaitstud ja sobib nii uute kui renoveeritavate katuste, sealhulgas pööratud katuste jaoks. Katusekatte vettpidavust saab testida vajaduspõhiselt ka pikaajaliselt, mis tagab katuse usaldusväärse toimimise kogu selle eluea vältel.

Analüüsidest Katuseseire OÜ juhatuse liikme intervjuus antud vastuseid viiele küsimusele, saame kokku võtta järgmise üldise järelduse:

Ehitus- ja renoveerimistöode käigus on tuvastatud mitmeid probleeme, mis on seotud katuste paigalduse ja kasutatavate materjalidega. Esiteks, sõmlahendustes esineb sageli vigu, kuna toruläbiviigid ja muud elemendid on paigutatud liiga lähedale, mis raskendab katusekatte korrektset ülespööramist ja põhjustab lekkeid. Seejuures on eriti problemaatilised olukorrad, kus projekteerimisvead või ehitusjärgne kahjustus on vältimatud, nagu näiteks klaasfassaadide juures, kus katuse ülespöörded on piiratud. Teiseks, materjalide valikul mängib suur roll hind, mis sageli juhivad ehitajaid valima odavamaid, kuid vähem vastupidavaid lahendusi. See toob kaasa suuremad kulud pikemas perspektiivis, kuna odavad materjalid kipuvad kiiremini rikkema. 90-ndatel

Soomes ja Eestis levinud APP bituumenmaterjalide näide illustreerib, kuidas külmakindluse puudumine viis nende materjalide kasutuselt kõrvaldamiseni, asendamaks neid paremini sobivate SBS materjalidega. Lisaks on turule toodud innovaatilisi lahendusi nagu Controlit GS, mis aitab ennetavalt tuvastada ja parandada katusekatete kahjustusi juba ehitusfaasis. See elektrit juhtiv nanokangas paigaldatakse katuse isolatsioonile ja võimaldab läbi viia elektroonilist lekketestimist, vältides sellega tulevikus kõrgeid paranduskulusid.

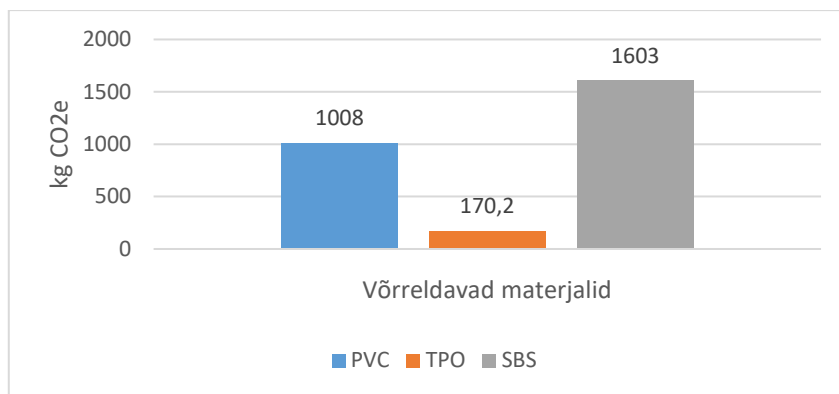
Kokkuvõttes on katuste ehituses ja hoolduses esmatähtis kvaliteetsete materjalide valik ja tähelepanelik projekteerimine ning paigaldus, et vältida pikemaajalisi probleeme ja tagada katuste pikaajaline kestvus.

3.7 Katuse hüdroisolatsioonilahenduste võrdlemine

Selles tööetapis võrreldakse kolme tüüpi katuste hüdroisolatsiooni, nimelt SBS katusekatet, TPO katusekatet ja PVC katusekatet. Selle etapi käigus võrreldakse tootmisprotsessis eraldatud CO₂ heidet kasutades „Hoone süsiniku jalajälje kalkulaatorit“, materjalide ümbertöötlemise võimalusi uuritud kirjanduse alusel, materjali kasutusiga uuritud kirjanduse põhjal, materjali keskkonnasõbralikkust uuritud kirjanduse põhjal, materjali sobivust Eesti kliimaga ning kasutatud hüdroisolatsioonilahenduse maksumust.

3.7.1 Hüdroisolatsioonimaterjalide tootmisprotsessis eraldatud CO₂ heidete võrdlemine

SBS- ja PVC-materjali CO₂-heidete arvutamiseks tootmise ajal kasutati „Hoone süsiniku jalajälje kalkulaatorit“, ning TPO-materjali heidete arvutamiseks kasutati „keskkonnadeklaratsiooni“, kuna kalkulaatoris puudus võimalus TPO-materjali heidete arvutamiseks. Arvutused teostati 200m² katusepindala kohta.



Joonis 3.25 CO₂ gaaside eraldamise hulk materjali tootmisetapis, praktiline osa Tulemuste põhjal, kasutades „Hoone süsiniku jalajälje kalkulaatorit“, oli SBS materjali kasvuhoonegaaside mõju globaalsele soojenemisele 1603 kgCO₂e, mis on suurim heitkoguste hulk kolmest testitud materjalist. PVC materjali puhul oli kasvuhoonegaaside hulk kolmandiku võrra väiksem võrreldes SBS materjaliga ja see oli 1008 kgCO₂e. Nagu oodatud, näitas TPO materjal end parimana läbi viidud katsetes, kuna selle struktuur on palju keskkonnasõbralikum võrreldes SBS ja PVC materjalidega, selle jäljeks jäi vaid 170,2 kgCO₂e. SBS materjali tootmine nõuab energiamahukamaid etappe ja suuremat hulka toorainet, mis suures osas on fossiilse päritoluga, mistõttu on CO₂ heide nii kõrge. PVC materjaliga, kuigi see on sünteetiline polümeer ja ei vaja tootmiseks tohutul hulgal energiat, kaasneb siiski suure hulga toksiliste gaaside eraldumine, mille katalüüsamiseks kulub palju energiat. TPO omakorda ei sisalda oma koostises ohtlikke toksilisi lisandeid, nagu näiteks kloori, mis vähendab energiakulu nende katalüüsimisel, samal ajal TPO materjali tootmisprotsess ei vaja energiamahukaid protsesse.

3.7.2 Katuseembraanide keskkonnasõbralikkuse võrdlemine

Materjalide võrdlemiseks peatükis „keskkonnasõbralikus“ ei piisa ainult nende tootmise mõjust kasvuhoonegaaside tekkimisele. Arvestama peab ka tootmisel kasutatavate toksiliste lisanditega, mis mõjutavad inimest ühel või teisel määral. Materjali toksilisuse hindamiseks kasutatakse 5-pallist süsteemi.

Tabel 3.9 Katuseembraanide tootmises kasutuses olevad peamised lisandid ja nende mõju väliskeskkonnale, praktiline osa

Informatsioon materjalist	Hindamiskriteerium	

Uuritud materjal	Toksilise lisandi nimi	1 – väga toksiline	2 – kõrge toksilisus	3 – keskmine toksilisus	4 – madal toksilisus	5 – ei kujuta suur ohtu	Hindamiskriteeriumi punktide summa
SBS	Pb	X					7
SBS	Ni			X			
SBS	Hg	X					
SBS	Cr		X				
PVC	Pb	X					5
PVC	Cd	X					
PVC	TBT – stabilisaator		X				
PVC	Cr	X					
TPO	C ₇₃ H ₁₀₈ O ₁₂			X			10
TPO	C ₁₄ H ₁₂ N ₃			X			
TPO	C ₁₂ H ₂ Br ₁₀ O		X				
TPO	C ₂₁ H ₄₂ O ₄				X		

Analüüside tulemuste põhjal on keskkonnasõbraliku materjali TPO saanud kokku 10 punkti. See omakorda kinnitab selle suuremat keskkonnasõbralikkust võrreldes SBS materjaliga, mis sai 7 punkti, ja PVC materjaliga, mis sai 5 punkti, muutes viimase kõige toksilisemaks materjaliks lisandite kasutamise seisukohast. Tuleb lisada, et suurema hulga keemiliste ühendite valimil võivad SBS ja PVC oma kohad toksilisuse osas vahetada. Antud analüüs viidi läbi olemasoleva kirjanduse põhjal, kus tootmisprotsessis kasutatavate lisandite näidetena toodi just nimetatud keemilised ühendid. Arvestades suurt hulka mittetoksilisi lisandeid kõigi kolme materjali, eriti aga PVC ja TPO tootmises, annavad üksikasjalikuma analüüsi tulemused võimaluse teha kõige põhjalikumaid järeldusi.

3.7.3 Katuseembraanide ümbertöötlemise võimalused

Tuginedes uuritud teabele, töödeldakse SBS materjali kõigi nelja kõige sagedamini kasutatava töötlemismeetodiga, PVC aga oma toksilisuse tõttu ei allu termilisele töötlemisele. TPO, tänu tootmise keskkonnasõbralikkusele ja väga toksiliste aineteta koostisele, allub samuti termilisele töötlemisele.

Tabel 3.10 Katuseembraanide ümbertöötlemise meetodid, praktiline osa

Materjali nimetus	Materjali ümbertöötlemise meetodid			
	Mehaaniline	Keemiline	Termiline	Füüsikaline
SBS	X	X	X	X
PVC	X	X		
TPO	X	x	X	

Kuigi SBS materjal allub kõikidele tuntud töötlemismeetoditele, ei tähenda see automaatselt selle eelist keskkonna- ja ümbertöötlemise aspektis. Selleks, et kindlaks teha kõige kergemini töödeldav kandidaat uuritavate materjalide seas, vaatleme nende tugevaid ja nõrku külgi selles küsimuses.

Tabel 3.11 Katuseembraanide mehaaniline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa

Materjali nimetus	Mehaanilise meetodi miinused			
	Suur energia kulu	Väike homogeensus	Materjali ettevalmistustööd ümbertöötlemiseks	Madala kvaliteediga materjal
SBS	X	X	X	X
PVC	X	X	X	X
TPO	X	X	X	X
Materjali nimetus	Mehaanilise meetodi eelised			
	Meetodi lihtsus	Väike maksumus	Uute komposiitide loomine	Kemikaalide puudumine meetodis
SBS	X	X	X	X
PVC	X	X	X	X
TPO	X	X	X	X

Kuigi materjal võib pärast selle meetodiga töötlemist olla madala homogeensussega ja tihti ei sobi kõrgema klassi toodete valmistamiseks, kasutatakse seda siiski madalama klassi toodete tootmiseks. Erandiks on PVC ja TPO tüübid, mida töödeldakse kohe tehase tingimustes, kus materjal töödeldakse. SBS materjali puhul raskendavad selle elastsemad omadused mehaanilist töötlemisprotsessi ja töödeldud SBS katuseembraani ning teisi selle rühma alamliike kasutatakse tõenäolisemalt teiste polümeeride tootmiseks ja väga harvadel juhtudel taaskasutuseks kui SBS katuseembraani. Ilmseks plussiks TPO ja PVC puhul on võimalike töötlemistsüklite arv võrreldes SBS materjalidega, mille arv SBSi puhul on 3-4 ja TPO ning PVC puhul mingil juhtudel 10.

Tabel 3.12 Katuseembraanide keemiline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa

Keemilise meetodi miinused	

Materjali nimetus	Suur rahakulu	Suur energiakulu	Kemikaalide kasutamine	Ei ole uuritud lõpuni
SBS	X	X	X	
PVC	X	X	X	
TPO	X	X	X	X
Keemilise meetodi eelised				
Materjali nimetus	Kõrge kvaliteet	Materjali pole vaja sorteerida	Puhaste monomeeride moodustamine	Uute komposiitide loomine
SBS	X	X	X	X
PVC	X	X	X	X
TPO	X	X	X	X

Rääkides keemilisest töötlemisviisist, on praegusel hetkel SBS materjal selle meetodi jaoks kõige sobivam. PVC puhul seisame silmitsi tohutu miinusega, nimelt kloori eraldumisega keemilise reaktsiooni tagajärjel. Kloori eraldumisega kannatab mitte ainult ümbritsev keskkond, vaid ka materjali töötlemiseks kasutatav tehnika kloorigaaside põhjustatud korrosiooni tõttu. SBS-i töötlemisel on keskkonna saastamise risk väiksem, kuna selle struktuur on lihtsam ja lisandite hulk väiksem, kuna materjal koosneb iseenesest ainult kahest monomeerist - stüreenist ja butadieenist. TPO materjali keerulise struktuuri tõttu, mis hõlmab endas seitset erinevat polümeeri, ei ole keemiline meetod täielikult uuritud ega ole viidud konveier-tootmisse, nagu seda on tehtud PVC ja SBS materjalidega.

Tabel 3.13 Katuseembraanide termiline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa

Materjali nimetus	Termilise meetodi miinused		
	Suur rahakulu	Materjali kadu	gaaside heitmine atmosfääri
SBS	X	X	X
PVC	-	-	-
TPO	X	X	X
Termilise meetodi eelised			
Materjali nimetus	Energia taastamine	Materjali pole vaja sorteerida	
SBS	X	X	
PVC	-	-	
TPO	X	X	

Tabelis toodud plusside taustal võib meetod tunduda sobivana kasutamiseks 21. sajandil. Siiski, kahjuks on ainus tegelik eelis võrreldes kasutatava meetodi miinustega energia saamine materjali põlemisel. PVC materjali sellisel viisil töötlemist ei kaasata suure hulga toksiliste gaaside atmosfääri paiskamise ja kalli seadmete vajaduse tõttu. Üldiselt peetakse seda meetodit 21. sajandil mitteaktuaalseks heitgaaside puhastamise raskuste ja väärtusliku materjali kaotuse tõttu. Kui siiski kasutada meetodit ja valida, millise materjali jaoks see oleks aktuaalsem, siis oleks see SBS tema kõrgema energiasisalduse tõttu. Ökoloogilisest vaatepunktist paistab TPO materjal töötlemisel stabiilsem, kuid arvestades praeguseid tehnoloogiaid, on võimalik parandada SBS-i ökoloogilist töötlemist ka selles meetodis.

Tabel 3.14 Katuseembraanide füüsikaline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa

Materjali nimetus	Füüsikalise meetodi miinused			
	Suur energia kulu	Suur rahakuku	Spetsifitseeritud töötajad	Ei ole lõpuni uuritud
SBS	X	X	X	X
PVC	-	-	-	-
TPO	-	-	-	-
Materjali nimetus	Füüsikalise meetodi eelised			
	Suurem osa materjalist taaskatutakse	Materjali hea voolavus	Uute komposiitide loomine	Kemikaalide puudumine meetodis
SBS	X	X	X	X
PVC	-	-	-	-
TPO	-	-	-	-

See meetod on unikaalne ja kasutusel ainult SBS puhul. Protsessi, mille käigus saadakse algseid toor-monomere, nimetatakse devulkaniseerimiseks, mis toimub mikrolaine- ja ultrahelitöötlemise abil. Devulkaniseerimisprotsessi ajal ei eraldu toksilisi aineid, seega võib meetodit pidada osaliselt keskkonnasõbralikuks. Kahjuks on see meetod praegu intensiivselt uurimisel, kuid seda ei ole veel pidevasse tootmisse viidud. Seda meetodit võib tõepoolest pidada kõige keskkonnasõbralikumaks võrreldes varasemalt loetletud nelja meetodiga.

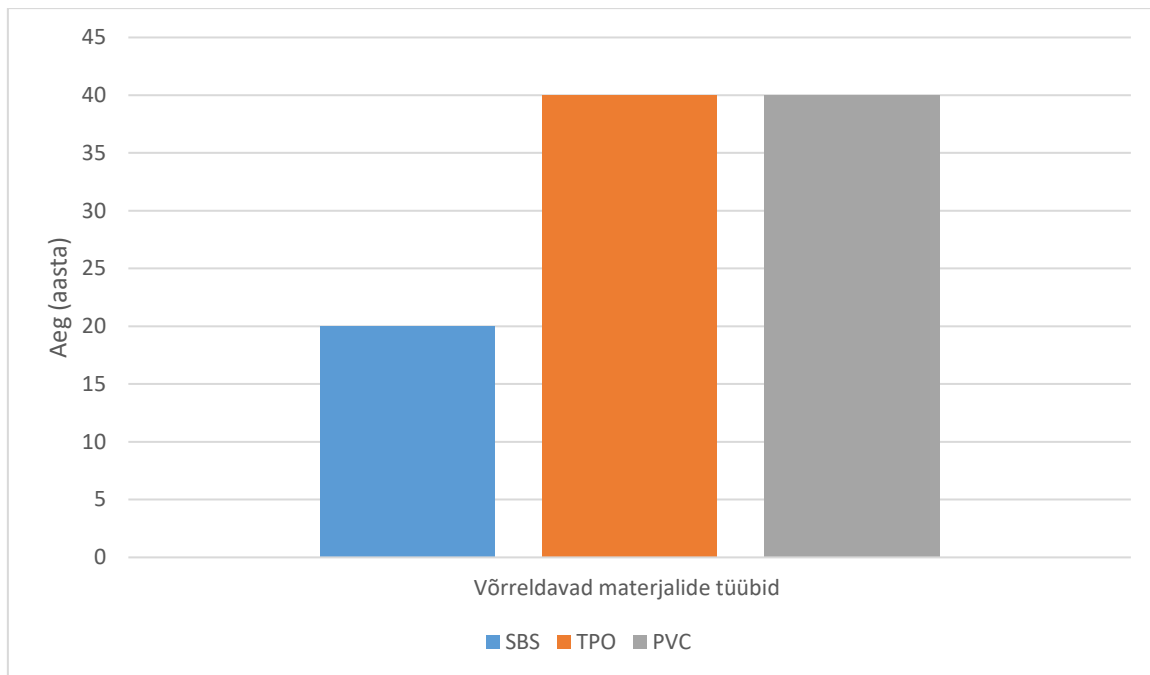
Kokkuvõttes tehtud analüüsist tuleb märkida, et praegusel hetkel on SBS materjal, mis allub kõige kergemini ümbertöötlemisele. Suurimat huvi pakub füüsikaline SBS-i ümbertöötlemine, kuna selle käigus ei eraldu atmosfääri toksilisi jäätmeid. Mehaanilisel meetodil samuti ei eraldu erilist hulka toksilisi jäätmeid, kuid selle kasutamisel ei ole võimalik saavutada vajalikku struktuuri homogeensust. Keemiline meetod kaasneb

suurte toksiliste gaaside heidetega atmosfääri ja kujutab inimestele eriti suurt ohtu PVC töötlemisel. TPO materjal on läbiviidud analüüsis hästi esinenud, kuigi on suhteliselt uus materjal võrreldes SBS ja PVC-ga, seega paigutub see kategoorias teisele kohale ja PVC vastavalt kolmandale. PVC puhul tuleks tähelepanu pöörata tootmisel kasutatavate toksiliste lisandite hulgale ja asendada need vähem toksilistega, kuna materjal ise ei ole tootmisel ohtlik, vaid pigem keskkonnasõbralik. Samuti tuleb märkida, et TPO materjalil on suur potentsiaal keskkonnasõbralikumaks ümbertöötlemiseks, kuna see ise ei koosne toksilistest ainetest ja ainult väike osa lisanditest on toksilised. Selle põhjal võib järeldada, et kui inimkond suudab lahendada TPO keeruka polümeerse struktuuri ümbertöötlemise optimaalse lahenduse, muutub see keskkonnasõbralikkuse osas SBS-st paremaks.

3.7.4 Katuseembraanide sobivus Eesti kliimaga ning kasutusiga

Rääkides jätkusuutlikkuse teemast, ei tohiks keskenduda ainult materjalide omadustele, vaid tuleks käsitleda ka nii olulist aspekti nagu näiteks materjali kasutus- või eluiga, mille jooksul see saab täita oma eesmärgi. Arutledes materjali hüdroisolatsiooniomaduste säilitamise üle, tuleb alati arvestada, et mõned materjali iseloomulikud omadused kaotavad oma tootlikkuse veidi kiiremini kui teised. Katuseinspeksioonide ettevõtte Katuseseire OÜ juhatuse liikmega Aivar Kaldaga peetud intervjuus märgiti, et kuigi valitud katuse hüdroisolatsioonikatte taga on tuntud tootja, ei vasta materjali kvaliteet alati normidele ja juba 10-15 aasta pärast on vajalik asendamine, mis toob kaasa nii rahalised probleemid kui ka lisakoormuse keskkonnale. Sageli eiravad tellijad ise nõudeid ja tellivad madalama kvaliteediga materjali, mida ei oleks tohtinud kasutada. Samuti tõsteti intervjuus esile, et võrreldes Soomega kohtab Eestis eramuehituses üsna sageli probleeme just materjali kvaliteediga. Näiteks Soomes ei ole seadusega lubatud müüa ehitusmaterjale, mille eluiga oleks alla 30 aasta. Soomes on bituumenkattete tehnilise eluea pikkus RT-juhendamaterjali järgi keskmiselt määratletud 35 aastaks, erinevalt Eesti riigist, kus sellist nõuet ei ole.

Sellega seoses tõstame esile materjalide kasutusea selles peatükis ja võrdleme PVC, SBS, TPO kasutusiga, lähtudes katuste jaoks mõeldud membraanide tarnijatelt saadud teabest.



Joonis 3.26 Katusemembraanide kasutusiga, praktiline osa

Deklareeritud PVC ja TPO materjalide eluiga on 40 aastat ning SBS 20 aastat. Teadusallikates LCA meetodi abil mõõdeti SBS materjali kuni 35 aastat ilma lisakuludeta tekkimist katuse remondi teostamiseks. Ühes teadusallikas mainiti isegi, et SBS materjali eluiga võib korraliku hoolduse korral ulatuda 90 aastani, mis hõlmab SBS membraani igaaastast kontrolli, samuti kahjustatud hüdroisolatsiooniosade eemaldamist ja nende asendamist. Eelkõige rääkides katuse hüdroisolatsioonimembraani jätkusuutlikkusest, tuleb arvesse võtta paljusid aspekte, mis mõjutavad selle pikaajalisust ilma lisainvesteeringuteta. Pikaajalisust mõjutavad nii tooraine kvaliteet kui ka selle paigaldamise kvaliteet, sealhulgas konstruktsioonis kasutatavate sõlmede läbimõeldus. Siiski on katuse pikaajalisusele kõige suurem mõju ümbritseva keskkonna teguritel: temperatuurikõikumised, sademete hulk ja nende olemus, õhuniiskus erinevatel temperatuuridel, mehaaniline mõju ja UV-kiirgus.

Eriti UV-kiirgus koos temperatuuri ja niiskuse muutustega hävitab SBS materjali elastse struktuuri, muutes selle hapramaks. Eesti kliimas on SBS materjal sobiv hüdroisolatsioonitüüp võttes arvesse tema suurepäraseid mehaanilised omadused, kuna meie piirkonnas ei esine nii intensiivset UV-kiirgust nagu meie planeedi lõunaosas, mis võiks põhjustada materjali omaduste kiiret kulumist. See kinnitab kogemust, kus SBS materjali testiti erinevates USA osariikides, soojemates ja kuivemates osariikides näitas SBS materjal kahe aasta kasutamise järel omaduste olulisemat halvenemist, muutudes jäigemaks ja suurendades veemavust.

Võrreldes SBS materjalidega on TPO ja PVC materjalide struktuur oma olemuselt unikaalne ja varases staadiumis põhjustab UV-kiirguse mõju nende elastsuse suurenemise, muutes materjali vastupidavamaks väliste keskkonnakoormuste suhtes, välja arvatud mehaaniline koormus. Pikaajalise UV-kiirguse koormuse tõttu väheneb nii PVC kui ka TPO mass, mis muudab need vähem vastupidavaks mehaanilistele koormustele, kuid struktuur jääb endiselt usaldusväärseks ja terviklikuks. Üldiselt peetakse PVC membraane palju vastupidavamaks UV-kiirgusele ja TPO membraane on eriti välja töötatud intensiivse UV-kiirguse vastu pidamiseks. Mõned kõige vastupidavamad TPO ja PVC materjalid omavad ka heledat kattevärv, et paremini peegeldada hoone katuselt soojust ja säästa hoonete jahutamisel.

Täielikuks võrdluseks PVC ja TPO materjalide omaduste ning SBS materjaliga tuleks käsitleda nende mehaaniliste omaduste, täpsemalt plastilisuse ja TPO materjali puhul ka külmakindluse muutumist erinevates temperatuuritsüklites.

Pidevate temperatuurimuutuste korral väheneb TPO materjali läbitorkamiskindlus. See on tõestatud katses, kus pärast 40 külmutus- ja sulatustsüklit vähenes läbitorkamiskindlus 15% võrra võrreldes algse väärtusega, mis võimaldab järeldada TPO membraanide hapruse kohta järsu temperatuurikõikumiste korral; see mõjutab ka membraani elastsust. PVC materjalid taluvad temperatuurikõikumisi paremini ja ei ole külmutus- ja sulatustsüklite tingimustes järsult muutuvate mehaaniliste omadustega.

3.7.5 Katusemembraanide maksumuse võrdlus

Katuse maksumuse arvutamiseks saadi PVC, TPO ja SBS hinnapakumised ettevõttelt Alfalend 200 ruutmeetri katusekatte paigaldamise mahule. Tabelist „Tabel 3.15 Erinevate katusemembraanide lahenduste maksumuse võrdlus, praktiline osa ” selgus, et soodsaim hüdroisolatsioonilahendus oli PVC materjalil, mille materjali maksumus 200 m² katuse jaoks oli 3249 eurot, teisel kohal oli SBS materjal kogumaksumusega 3300 eurot ja viimasel kohal TPO lahendus maksumusega 4691 eurot. TPO materjali kõrgem hind on tingitud selle omadustest peegeldada UV-kiirgust. Lisaks on TPO materjali tootmine keerukam ja keskkonnasõbralikum. Seetõttu TPO materjalil on suurim materjali maksumus.

Tabel 3.15 Erinevate katusemembraanide lahenduste maksumuse võrdlus, praktiline osa

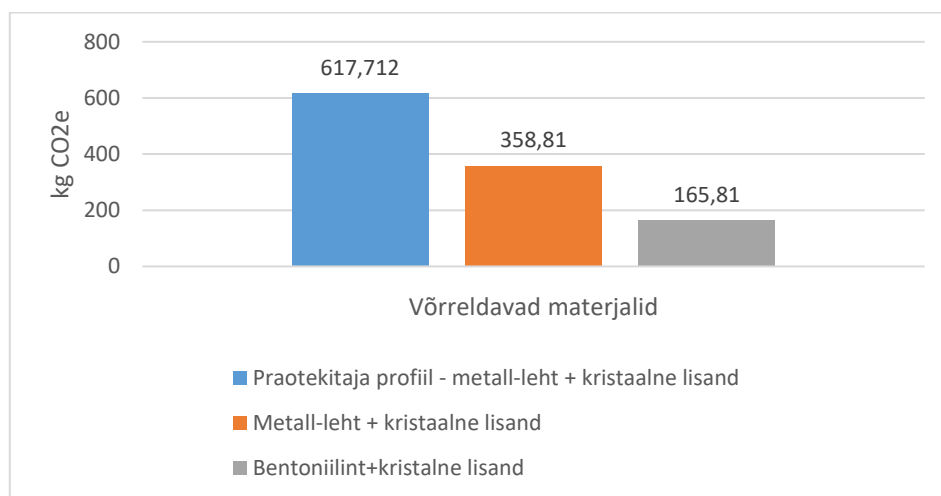
Jrk. nr.	Material nimetus	Materjali maksumus m2 kohta (EUR)	Katuse pindala (m2)	Vuukide Ulekatte koef. (%)	Materjali maksumus katuse kohta (EUR)
1	SBS - pealiskih	8	200	1,1	1760
1	SBS - aluskiht	7	200	1,1	1540
2	TPO	22,34	200	1,05	4691
3	PVC	15,47	200	1,05	3249

3.8 Monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalide võrdlemine

Selles tööetapis võrreldakse nelja tüüpi maa-aluse monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsiooni, nimelt bentoniitlint + kristalne lisand, metallleht + kristalne lisand, vuugiplekk-praotekitaja + kristalne lisand. Selle etapi käigus võrreldakse tootmisprotsessis eraldatud CO₂ heidet kasutades „Hoone süsiniku jalajälje kalkulaatorit“ ja keskkonnamõju deklaratsioone, materjalide ümbertöötlemise võimalusi uuritud kirjanduse alusel, materjali jätkusuutlikkust uuritud kirjanduse põhjal, materjali keskkonnasõbralikkust uuritud kirjanduse põhjal, materjali sobivust Eesti kliimaga ning kasutatud hüdroisolatsioonilahenduse maksumust.

3.8.1 Monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalide tootmisprotsessis eraldatud CO₂ heidete võrdlemine

Bentoniitlindi, metall profiilide + kristalse lisandi heidete arvutamiseks kasutati „keskkonnadeklaratsiooni“, kuna hoone süsiniku jalajälje kalkulaatoris puudus võimalus antud toodete puhule heidete arvutamiseks. Arvutused teostati 300 jm vuugi kohta. Kristalse lisandi lahenduse puhul mõõdeti betooni mahtu, et hinnata kristallilise lisandi mõju keskkonnale, mõõtes pikkust siseküljest konstruktsiooni keskpunkti suunas 500 millimeetrit ja kõrgust plaadist üles sisenurga kohalt 500 millimeetrit. Monoliitse seina paksus võeti 200 mm ja plaadi laius 300 mm.



Joonis 3.26 CO₂ gaaside eraldamise hulk materjali tootmisetapis, praktiline osa

Uuringute käigus, mis põhinevad keskkonnadeklaratsioonil uuritud hüdroisolatsioonitüüpide kohta, oli kõige väiksem CO₂-heidete hulk tootmisel saavilindi puhul. Teisel ja kolmandal kohal olid metallprofiilid. Paisuv-bentoniitlindi tootmist peetakse mitmel põhjusel keskkonnasõbralikuks. Selle tootmiseks ei ole vaja kõrgeid temperatuure, mis toob kaasa väiksema CO₂-heidete hulga. Bentoniit ise on looduslik materjal, mis samuti aitab vähendada CO₂-heidet. Suurim CO₂-heide kaasneb eriliste lisandite kasutamisega, mis tugevdavad struktuuri, samuti butüülkummi kasutamisega, mis annab materjalile suurema plastilisuse ja hoiab bentoniidi enneaegse lagunemise eest. Kuigi metallprofiilide kasutamine kaasneb suurema CO₂-heitega, on need pikema eluea ja vastupidavusega agressiivsetele keskkondadele, nagu pinnases olevad lisandid ja suurenenud soolasus. Suurenenud CO₂-heide on põhjustatud kõrgetest temperatuuridest profiilide tootmisel ja metalli tsinkimisest, mis loob vastupidavama struktuuri.

3.8.2 Monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalide keskkonnasõbralikkuse võrdlemine

Tabel 3.16 Maa-aluste hüdroisolatsioonilahenduste tootmises kasutuses olevad peamised lisandid ja nende mõju väliskeskkonnale, praktiline osa

Informatsioon materjalist		Hindamiskriteerium					Hindamiskriteeriumi punktide summa
Uuritud materjal	Toksilise lisandi nimi	1 – väga toksiline	2 – kõrge toksilisus	3 – keskmine toksilisus	4 – madal toksilisus	5 – ei kujuta suur ohtu	
Metall-leht	Zn					X	5
Praotekitaja	Zn					X	5
Bentoniitlint	TiO ₂				X		12
Bentoniitlint	SiO ₂				X		
Bentoniitlint	C ₂₄ H ₃₈ O ₂		X				
Bentoniitlint	Aroomilised protsessõli		X				

Analüüsi tulemuste põhjal kogus savilint lahendus 12 punkti. Üldiselt peetakse metallprofiile väga puhtasteks toodeteks, arvestades kasutatud toksilisi lisandeid. Metall ise ei ole toksiline, kasutatav tsink on ohutu ja isegi inimesele vajalik mikroelement. Materjali paremaks adhesiooniks kasutatav mineraalne kate ei sisalda toksilisi lisandeid

ja vastavalt ettevõtte, mis toodab seda profiili, väidetele ei kujuta see endast mingit ohtu.

3.8.3 Monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalide ümbertöötlemise võimalused

Kui arvestada materjale, mida kasutatakse hüdroisolatsiooniks betooni sees või muus poorses materjalis, on ümbertöötlemise küsimus väga mitmetahuline. Juba paigaldatud materjali ei ole võimalik ümber töödelda, kuna see tähendaks betoonkonstruktsiooni hävitamist ja materjali edasist ekstraheerimist. Kristallilisel lisandil näiteks tervikuna puudub võimalus ümbertöötlemiseks pärast selle segamist betooniga, ja hetkel ei ole toormaterjali enda ümbertöötlemise võimalusi veel uuritud. Sel põhjusel ei käsitleta kristallilise lisandi ümbertöötlemist selles jaotises.

Tabel 3.17 Maa-aluste hüdroisolatsioonilahenduste ümbertöötlemise meetodid, praktiline osa

Materjali nimetus	Materjali ümbertöötlemise meetodid			
	Mehaaniline	Keemiline	Termiline	Füüsikaline
Metall profiilid		X		
Bentoniitlint	X	X	X	X

Siiski tuleb märkida, et enne paigaldamist peaks materjalil olema võimalus ümber töötada. Näiteks materjali on pikka aega laos hoitud ja see ei ole enam kasutuskõlblik säilivusaja lõppemise tõttu. Vaatleme just seda juhtumit, kui materjal ei ole veel paigaldatud hüdroisolatsioonina ja hindame meetodeid, millega materjali on võimalik ümber töödelda.

Tabel 3.18 Maa-aluste hüdroisolatsioonilahenduste mehaaniline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa

Materjali nimetus	Mehaanilise meetodi miinused			
	Suur energia kulu	Väike homogeensus	Materjali ettevalmistustööd ümbertöötlemiseks	Madala kvaliteediga materjal
Metall profiilid	-	-	-	-
Bentoniitlint	X	X	X	X
Materjali nimetus	Mehaanilise meetodi eelised			
	Meetodi lihtsus	Väike maksumus	Uute komposiitide loomine	Kemikaalide puudumine meetodis

Metall profiilid	-	-	-	-
Bentoniitlint	X	X	X	X

Ainult paisuvat bentoniidi linti saab mehaaniliselt ümber töödelda. Selleks, et butüülkummi täielikult ringlusse võtta, tuleb see füüsilise töötlemise meetodil bentoniidi lindist eraldada. Mehaaniline meetod sobib ainult saastumata piiratud materjalidele, mis näitab, et toote puhtus on selle meetodi kasutamiseks vajalik. Üldiselt kasutatakse mehaanilist meetodit ainult materjali algsete füüsikaliste omaduste taastamiseks.

Tabel 3.19 Maa-aluste hüdroisolatsioonilahenduste keemiline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa

Materjali nimetus	Keemilise meetodi miinused			
	Suur rahakulu	Suur energiakulu	Kemikaalide kasutamine	
Metall profiilid	X	X	X	
Bentoniitlint	X	X	X	
Materjali nimetus	Keemilise meetodi eelised			
	Kõrge kvaliteet	Materjali pole vaja sorteerida	Puhaste materjalide moodustamine	Uute komposiitide loomine
Metall profiilid	X	X	X	X
Bentoniitlint	X	X	X	X

Kemikaalse meetodi puhul on kõik materjalid selle meetodiga töötlemiseks kättesaadavad. Bentoniidi puhul meetod tegelikult ei töötle toorainet ümber, vaid parandab selle omadusi lisandite abil, seetõttu näitab paisuv bentoniitlint selles meetodis kõige halvemaid tulemusi. Lisaks sellele tuleb paisuva bentoniitlinti teise komponendina töödelda füüsilise meetodiga, et see bentoniidi struktuurist eraldada.

Metall profiilide töötlemine on pooleldi seotud termilise töötlemisega selles mõttes, et kemikaalide lisamisel kasutatakse metallile soojuskoormust konvektori või elektrilise põletusahju abil. Konvektori puhul toimub metalli keemiline lagundamine hapniku puudumisel. Teises meetodis on võimalik töödelda erinevaid metallisegusid, sealhulgas värvilisi metalle, tänu keemilistele lisanditele. Enne metalli enda töötlemist eemaldatakse tsink HCl lahusega ja mineraalne kate NaOH lahusega. Viimases variandis töödeldakse tsingitud metalli eraldi, kuid sel juhul ei nõuta tsingitud ja mineraalse kihi eelnevat eemaldamist metalli pinnalt.

Tabel 3.20 Maa-aluste hüdroisolatsioonilahenduste termiline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa

Materjali nimetus	Termilise meetodi miinused		
	Suur rahakulu	Materjali kadu	gaaside heitmine atmosfääri
Metall profiilid	-	-	-
Bentoniitlint	X	X	X
Materjali nimetus	Termilise meetodi eelised		
	Energia taastamine	Materjali pole vaja sorteerida	
Metall profiilid	-	-	
Bentoniitlint	X	X	

Termilist meetodit kasutatakse praegu ainult bentoniidimaterjalide jaoks. Metallit töödeldakse osaliselt termiliselt, kuid siiski on vaja vajalike keemiliste lisandite lisamist, seega selles peatükis metalli ei käsitleta. Paisuvate bentoniidilintide puhul kasutatakse kuumutusmeetodit väga saastunud materjalide ja piiratud toodetega, tuleb märkida, et meetod on siiski võimalik pärast butüülkummi eemaldamist füüsikalise meetodi abil.

Tabel 3.21 Maa-aluste hüdroisolatsioonilahenduste füüsikaline ümbertöötlemise meetod, praktiline osa

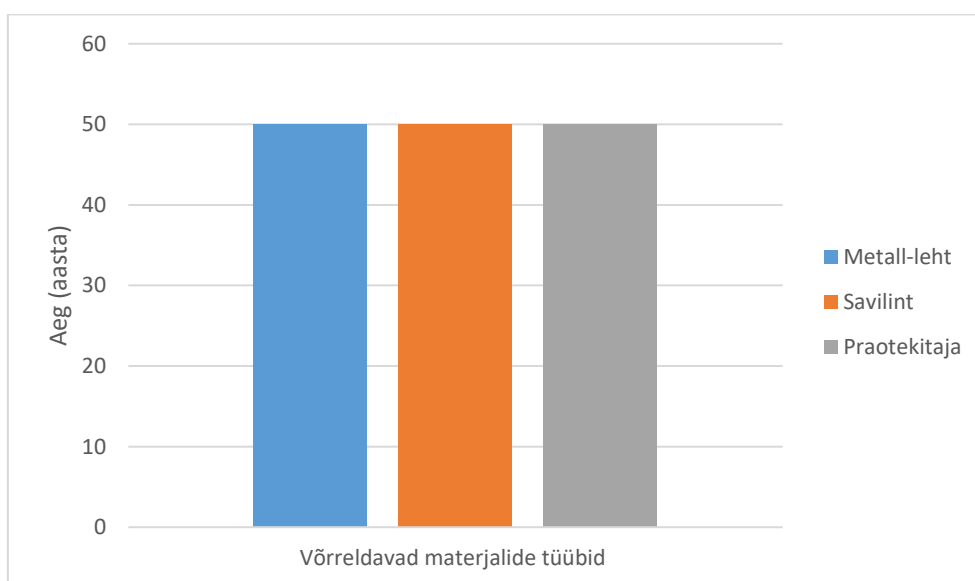
Materjali nimetus	Füüsikalise meetodi miinused		
	Suur energia kulu	Suur rahakulu	Spetsifitseeritud töötajad
Metall profiilid	-	-	-
Bentoniitlint	X	X	X
Materjali nimetus	Füüsikalise meetodi eelised		
	Kemikaalide puudumine meetodis	Uute komposiitide loomine	Kõrge materjali taaskasutuse protsent
Metall profiilid	-	-	-
Bentoniitlint	X	X	X

Praegu on üks vähestest meetoditest, mis võimaldab töödelda butüülkummi materjali ja lubab suurema osa materjalist uuesti kasutada. Meetod põhineb kiiritusefektil, mille

abil hävitatakse materjali struktuuris olevad sidemed, võimaldades seeläbi saada algset materjali uute materjalide loomiseks või uue butüülkummi valmistamiseks.

Analüüsidest meetodi kasutamist, võime järeldada, et suurema koguse materjali töötlemisel osutus parimaks valikuks HDPE materjal, kuna selle struktuur ja meetod on kohaldatavad igasugusele saastunud ja puhtale HDPE materjalile. Metalli töötlemisel tekivad sageli probleemid kvaliteetse materjali saamisega pärast selle töötlemist ning sageli ei saa töödeldud materjali kasutada põhisisendi jaoks, vaid pigem sellele kõrvalise komponendina. Paisuvate bentoniitlintide töötlemine on keeruline, kuna selles sisalduv butüülkumm muudab selle omadused ebaselgeks ning hetkel pole usaldusväärset teavet selle kohta, kuidas füüsiline butüülkummi töötlemise meetod mõjutab NA-bentoniidi omadusi.

3.8.4 Monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdrosolatsioonimaterjalide sobivus Eesti kliimaga ning kasutusiga



Joonis 3.27 Maa-aluste hüdrosolatsioonilahenduste kasutusiga, praktiline osa
Selle kategooria hüdrosolatsiooni puhul deklareeritud minimaalne kasutusiga on 50 aastat. See on määratud hoone konstruktiivse osa minimaalse eluea järgi. Tegelikult on kõigi esitatud materjalide kasutusiga pikem kui 50 aastat. Metalllehed teenivad kauem kui 50 aastat, välja arvatud juhul, kui pinnases mere soola kontsentratsioon ei ole kõrge. Savilint on väikseima kestusega ja võrdub umbes 60 aastaga. Sellele mõjutab materjali orgaaniline struktuur. Samuti, kui lint on paigaldatud konstruktsiooni, kus toimuvad

pidevad pinnase veetaseme kõikumised, mõjutab see negatiivselt selle eluiga, kuna lint paisub pidevalt kokkupuutel veega ja seejärel väheneb suurusel põuaperioodil.

Kõik hüdroisolatsiooni tüübid sobivad kasutamiseks Eesti kliimas. Siiski peetakse Meall profile keemiliselt vastupidavamaks. Savilinti ei soovitata kasutada mineraalsete ja taimsete õlide ning aromaatsete süsivesikute keskkonnas, kuna see põhjustab materjali kiiret vananemist. Samuti ei tohiks materjal olla paigutatud kohtadesse, kus temperatuur ületab 50 kraadi või on alla nulli, kuna orgaaniline struktuur ei talu seda ja materjal lakkab veega kokkupuutel paisumast.

Metall profiilid ei saa hästi hakkama kõrge soolakontsentratsiooniga mullas, kuna see agressiivne keskkond leostab materjali mineraalse katte, temperatuuripiirangud on laiemad ja linti saab kasutada alates -35 kraadist kuni 75 kraadini.

3.8.5 Monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonimaterjalide maksumuse võrdlus

Monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonitüüpide maksumuse arvutamiseks autor sai metall-profiilide ja paisuva bentoniitlindi hinnapakkumised (sh. kristalne lisand) ettevõttelt Primostar ja Bornit Baltic OÜ. Arvestatud mahuga 200 jm töövuukide hüdroisoleerimiseks.

Tabel 3.22 Maa-aluste hüdroisolatsioonilahenduste maksumuse võrdlus, praktiline osa

Jrk. nr.	Materjali nimetus	Materjali maksumus jm kohta (EUR)	Vuugi pikkus (jm)	Materjali maksumus 200 jm kohta (EUR)
1	Savilint + lisand	9,16	200	1832
2	Metall-leht + lisand	10,69	200	2138
3	Praotekitaja + lisand	16,09	200	3218

Savilint on kõige soodsam variant võrreldavate materjalide hulgas. Sellele on järgneb metallleht, praotekitaja-profiiliga. Praotekitaja hinda määravad selle unikaalsed omadused ja tehnoloogia, mis loob vajalikes kohtades mahtude kahanemise tõttu pragusid. Metalllehe kasutamisega on pikaajalisem ning ta on vastupidavam agressiivsele väliskeskkonnale sellest tuleneb kõrgem hind.

JÄRELDUSED

1. Analüüsi käigus täheldati, et kõikide analüüsitavate hüdroisolatsioonitüüpide puhul olid enamik defekte seotud hüdroisolatsiooni paigaldamise reeglite eiramisega. Väiksem osa vigadest oli seotud ebatäpsete projekteerimislahendustega, näiteks defekte leiti parapettidel või kohtades, kus piisava kõrgusega ülespöörded ei olnud teostatavad. Samuti täheldati juhtumeid, kus metallprofiili läbi oli paigaldatud armeerimine, mis nõrgendas konstruktsiooni veepidavust ja viitas sellele, et projekteerija ei olnud arvestanud, kuidas hüdroisolatsioonitõke armeerimise korral paigaldatakse. Diplomitöö käigus selgus, et kõige sagedasemad puudused SBS-, TPO- ja PVC-katuste tüüpi hüdroisolatsioonis ning monoliitsetes raudbetoonist töövuukides olid järgmised.
 - 1.1 SBS-, TPO- ja PVC-materjalide puhul esines kõige sagedamini mehaanilisi kahjustusi membraanides. Lisaks täheldati, et TPO- ja PVC-membraanide puhul valiti vuukide keevitamiseks vale temperatuur ja SBS-membraanide puhul ei olnud vuukide keevitamisel materjale piisavalt soojendatud, mis põhjustas SBS kattekihtides tühimike tekkimist. Analüüsi tulemuste põhjal klassifitseeriti SBS-membraanide defektid keskmise riskitasemega, kuna suur osa defektidest ei kaasnenud otsese veesissetungiga konstruktsioonide sügavamatesse kihtidesse, mis on tingitud kahekordsest SBS-põhisest katusekihist. TPO ja PVC membraanide defektid aga määratleti kõrgeima riskitasemega, kuna võrreldes SBS-ga on PVC ja TPO membraanid õhemad ja paigaldatakse ühes kihis, mis toob kaasa vee otsese sissetungi sügavamale konstruktsiooni ja võib kahjustada ka muid hoone osasid.
 - 1.2 Monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsiooni tüüpide analüüsimisel selgus, et savilindi puhul oli kõige sagedasemaks defektiks ebaühtlane betoonpind. Nimetatud defekt liigitati omaniku mõjutuse analüüsimisel keskmise riskiastmega ja hoone omaduste mõjutuse analüüsimisel kõrge riskiastmega. Keskmise riskiaste oli tingitud asjaolust, et lekke tekkimiseks peab betooni ebatasasus olema kuni kaks sentimeetrit. Primostari küsitlustulemuste kohaselt on betooni ebatasasus tavaliselt kuni üks sentimeeter, mitte enam, seega ei ole lekke oht kõrge. Teises olukorras hinnati riskiastme kõige kõrgemaks, kuna isegi väikese lekke korral kaotab hoone konstruktsioon ajapikku võime olla õhukindel väliskeskkonna suhtes ja vesi hakkab betooni struktuuri lõhustama ning põhjustab metallkarkassi roostetamist.

Metallprofiilide puhul töövuukide hüdroisolatsioonis oli kõige sagedasemaks defektiks vigased lisatarvikud profiilide ülekatte kohas või nende puudumine. Antud defekt liigitati nii keskmise kui ka kõrge riskiastmega. Kõrge riskiaste ilmnes juhtudel, kui lisatarvikud olid paigaldamata või nende asendus ei olnud sobiv, mis põhjustas lekkeid. Keskmise riskiastmega olukorrad olid need, kus lisatarvikud olid asendatud, kuid asendus oli analoogne ja suure tõenäosusega oli võimalik lekkeid ära hoida.

2. Diplomitöö tulemuste põhjal esitati ja analüüsiti defektide kõrvaldamise meetodeid igale väljatoodud juhtumile. Kuigi iga tuvastatud defekt on parandatav, kaasnevad parandustega sageli kõrged kulud. Näiteks katuste defektide puhul, mis põhjustasid vee tungimist hoone konstruktsioonide sügavamatesse kihtidesse, on vajalik mitte ainult kahjustatud soojusisolatsiooni kihi asendamine ja uue hüdroisolatsioonikanga paigaldamine, vaid ka hoone sisemiste ruumide kontrollimine võimalike kahjustuste suhtes, et veenduda tehniliste šahtide terviklikkuses. Samuti tuleb märkida, et mõned defektid, mis ei põhjusta vee otseseid sissetunge konstruktsiooni sügavamatesse kihtidesse, on kergesti parandatavad ja ei kaasne suurte rahaliste kaotustega tarbija jaoks, kuid see ei vähenda nende tähtsust kvaliteetse paranduse puhul. Iga defekti parandamiseks tuleb valida meetod, mis ei halvenda konstruktsiooni seisundit ja tagab selle pikaajalise kestvuse.
3. Töö käigus analüüsiti kolme tüüpi katuse hüdroisolatsiooni ja kolme tüüpi töövuukide hüdroisolatsiooni monoliitsetes raudbetoonkonstruktsioonides. Materjalide uurimisel ilmnes, et erinevates analüüsides esinesid materjalid, mis osutusid kas vähem või rohkem efektiivseteks. Näiteks CO₂ heitkoguste arvutamisel tootmisprotsessis osutusid TPO materjal ja savilint parimateks, näidates väikseimaid CO₂ heitkoguseid. Toksiliste lisaainete kasutamise analüüsis tootmisprotsessis näitasid TPO ja metallprofiil parimaid tulemusi. Materjalide võimalike ringlussevõtu meetodite analüüsis andsid SBS ja metallprofiilid parimad tulemused, tänu mitmekesistele ringlussevõtu variantidele ja nende aktuaalsele kasutamisele tänapäeval. Kasutusiga uurides näitasid parimaid tulemusi PVC ja TPO membraanid ning metallprofiilid. Viimases analüüsis, kui võrreldi materjalide hindu, osutusid kõige soodsamateks PVC ja savilint. Lisaks tehtud analüüsidele võeti arvesse ka mõningaid tegureid, mida insenerid intervjuude käigus mainisid. Kuigi Eestis kasutatakse kvaliteetseid lahendusi, täidab turuosa endiselt madala kvaliteediga alternatiive, kus tootmisel kasutatakse madala kvaliteediga toorainet, mis omakorda vähendab

hüdrolatsioonimembraani kasutusiga. Samuti mainiti hüdrolatsioonitüüpe, mida Eesti turul kasutatakse ainult üksikjuhtudel, kuigi nende struktuur ei sobi Eesti kliimasse, nimelt APP membraane. Kõiki tegureid arvesse võttes on võimatu välja tuua parimat materjali kõigist ülalnimetatutest. Võib vaid oletada, et praegusel hetkel on katuste jaoks kõige atraktiivsem materjal TPO membraanid, nende keskkonnasõbralikkuse ja pikema eluea tõttu, kuid selliste membraanide ringlussevõtu meetodid ei ole veel täielikult välja töötatud ja hind on äärmiselt kõrge. Kui rääkida savilindist ja metallprofiilidest kui hüdrolatsiooni tüüpidest, siis mõlemad variandid on head ja peaksid olema kasutusel neile sobivates tingimustes. Näiteks, kui barjäär paigaldatakse konstruktsiooni, kus pinnasevesi ei ole kõrge happesusega ja soolade kontsentratsioon on madal ning veetase ei lange allapoole töövuugi asukohta, siis savilint on hea lahendus. Kui aga tegemist on eriti agressiivse veega ja vuugi eluiga peaks ületama rohkem kui 50 aastat, siis tuleks kasutada metallprofiili.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö raames uuriti katuse hüdroisolatsioonimembraanide ning monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisolatsioonitüüpe, et mõista nende sobivust Eesti kliimatingimustele. Töö käigus tehtud analüüs levinud paigaldusvigadest ja nende mõjust hoone vastupidavusele tõi esile mitmeid olulisi aspekte.

Leiti, et Eestis sageli kasutatavad hüdroisolatsioonimaterjalid, mis ei ole piisavalt kvaliteetsed või sobivad Eesti kliimale, võivad põhjustada konstruktsioonide enneaegset degradeerumist. Selliste materjalide kasutamine viib tihti ebaefektiivsete lahenduste ja sagedaste parandustööde vajaduseni, suurendades hoolduskulusid ja vähendades ehitiste eluiga. Uuring tõi välja, et probleemid ei tulene üksnes materjalide kvaliteedist, vaid ka nende sobimatusest kohalike ilmastikutingimustega, eriti arvestades Eesti külma ja niisket kliimat.

Analüüs samuti näitas, et valesti paigaldatud või sobimatute materjalide kasutamine võib märkimisväärselt mõjutada konstruktsioonide vastupidavust ja ohutust. Seetõttu esitati töös soovitusel paigaldusmeetodite parandamiseks. Need soovitusel hõlmavad rangemaid kvaliteedikontrolli protseduure materjalide valikul, paremini struktureeritud paigaldusprotsesse ning paigaldajate koolituse suurendamist, et tagada materjalide õige kasutamine ja paigaldus.

Lõputöö järeldustes rõhutatakse vajadust edendada jätkusuutlike ja keskkonnasõbralike hüdroisolatsioonilahenduste arendamist, mis on spetsiaalselt kohandatud vastama Eesti kliimatingimustele. Samuti on oluline jätkata teadus- ja arendustegevust selles valdkonnas, et leida uusi materjale ja tehnoloogiaid, mis aitaksid vähendada keskkonnamõju ja parandada ehitiste eluiga.

Magistritöö käigus käsitletud teemad ja tulemused on andnud olulise panuse katuse hüdroisolatsioonimaterjalide ja monoliitsete raudbetoonkonstruktsioonide vuukide probleemide mõistmisse, kuid töö ei suutnud kõiki esile kerkinud küsimusi täielikult lahendada. On mitmeid aspekte ja probleeme, mis vajavad edasist uurimist ja tähelepanu.

Esiteks, kuigi töö keskendus peamiselt materjalide kvaliteedile ja kliimatingimuste sobivusele, jäi töösse mahutamata põhjalik analüüs uute ja innovaatiliste materjalide mõju kohta pikema aja jooksul. Tulevikus oleks vajalik teostada pikemaajalised välitööd, et testida erinevate hüdroisolatsioonimaterjalide vastupidavust ja funktsionaalsust reaalsetes ilmastikutingimustes Eestis.

Teiseks ei käsitletud töö põhjalikult hüdroisolatsioonimaterjalide ringlussevõtu ja jäätmemajanduse teemasid. Arvestades keskkonnasäästlikkuse tähtsust, on oluline edaspidi uurida, kuidas kasutatud hüdroisolatsioonimaterjale efektiivsemalt taaskasutada või ümber töödelda, et vähendada ehitusjäätmete hulka ja parandada materjalide jätkusuutlikkust.

Kokkuvõttes pakub käesolev magistr töö olulisi teadmisi ja lahendusi, mis aitavad kaasa ehitussektori parendamisele. Töö pakub ülevaadet ja praktilisi soovitusi reaalsete probleemide lahendamiseks, mis mõjutavad ehitiste vastupidavust ja funktsionaalsust Eestis. See on väärtuslik panus, mis toetab ehitusvaldkonna jätkuvat arengut ja soodustab vastupidavamate ning keskkonnasõbralikumate lahenduste rakendamist.

SUMMARY

In this master's thesis, the internal constructive protection types of roofing waterproofing membranes and monolithic reinforced concrete structure joints were studied to understand their suitability for Estonian climatic conditions. The analysis presented in the work on common installation errors and their impact on building durability has highlighted several important aspects.

It was found that commonly used waterproofing materials, which are not of sufficient quality or suitable for the Estonian climate, can cause premature degradation of structures. The use of such materials often leads to inefficient solutions and the need for frequent repairs, increasing maintenance costs and reducing the lifespan of buildings. The study revealed that the problems are not only in the quality of materials but also in their unsuitability for the local weather conditions, especially considering the cold and humid climate of Estonia.

The analysis also showed that the use of incorrectly installed or unsuitable materials can significantly affect the durability and safety of structures. Therefore, the work presents recommendations for improving installation methods. These recommendations include stricter quality control procedures for material selection, better structured installation processes, and increasing the training of installers to ensure the correct use of materials and installation.

The conclusions of the thesis emphasize the need to promote the development of sustainable and environmentally friendly waterproofing solutions, which are specifically tailored to meet Estonian climatic conditions. It is also important to continue research and development in this field to find new materials and technologies that would help reduce environmental impact and improve the lifespan of buildings.

The topics and results discussed in this master's thesis have made a significant contribution to the understanding of the problems with roofing waterproofing materials and monolithic reinforced concrete structure joints, but the work could not fully resolve all the issues that arose. There are several aspects and problems that require further investigation and attention.

Firstly, although the work mainly focused on material quality and climate suitability, a comprehensive analysis of the impact of new and innovative materials over a longer period was not included in the work. In the future, it would be necessary to conduct long-term fieldwork to test the durability and functionality of various waterproofing materials under real weather conditions in Estonia.

Secondly, the work did not deeply address the topics of recycling and waste management of waterproofing materials. Considering the importance of environmental sustainability, it is important to investigate how used waterproofing materials can be more effectively recycled or reprocessed to reduce the amount of construction waste and improve the sustainability of materials.

In summary, this master's thesis provides valuable knowledge and solutions that contribute to the improvement of the construction sector, offering insights and practical recommendations for solving real problems that affect the durability and functionality of buildings in Estonia. This is a valuable contribution that supports the ongoing development of the construction sector and the implementation of more durable and environmentally friendly solutions

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] R. W. J. S. S. M. R. A. P. William F. Carroll Jr., "Poly(Vinyl Chloride)," in *Applied Plastics Engineering Handbook*, 2011, pp. 61-76.
- [2] K. S. K. Lewandowski, "A Brief Review of Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Recycling," 7 June 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/15/3035>. [Accessed 27 July 2022].
- [3] G. G. T. Yoshioka, "Recycling of Waste Plastics," in *Topical Themes in Energy and Resources*, Sendai, SpringerLink, 2015, pp. 195-214.
- [4] L. H. E.K. Petrović, "Improving the Healthiness of Sustainable Construction: Example of Polyvinyl Chloride (PVC)," 23 December 2017. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/2/28>. [Accessed 7 February 2018].
- [5] A. R. S. H.R.Beer, "Durability of PVC Roofing Membranes - Proof by Testing After Long Term Field Exposure," in *10DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Components*, Lyon, 2005.
- [6] V. R. V. Y. M.A. Zagorodnikova, "Strength and durability of roofing PVC membranes in the conditions of climate impacts," *Advanced Materials & Technologies*, vol. II, no. 3, pp. 41-47, 2019.
- [7] P. Holdings, Writer, *PVC katusekatte omadused*. [Performance]. Proton Holdings, 2024.
- [8] P. Holdings, "Protan Documentation - PVC," 2024. [Online]. Available: <https://www.protan.com/knowledge-center/documentation/>.
- [9] K. L. R. S. R.M. Paroli, Writer, *Thermoplastic Polyolefin*. [Performance]. National Research Council of Canada, 1999.
- [10] M. Tolinski, *Additives for Polyolefins II*, Oxford: Elsevier, 2015.
- [11] S. K. E. F. M. Kazemi, "State of the art in recycling waste thermoplastics and thermosets and their applications in construction," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 174, 2021.
- [12] M. Elena, "MDPI," 21 October 2017. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2313-4321/2/4/24>. [Accessed 28 November 2017].
- [13] D. G. A. A. S. C. V. Sharma, "Identifying Sustainability Claims by Roof Type Utilizing Standards and Certifications from Manufacturers," in *59th Annual Associated Schools of Construction International Conference*, South Carolina, 2023.
- [14] A. H. A. M. S. Rajendran, "Review of life cycle assessment on polyolefins and related materials," *SageJournals*, vol. 41, no. 5, pp. 159-168, 2012.
- [15] N. Gisica, "Examining Regional Weather Effects on Single Ply Roofing Membranes," YOUNGSTOWN STATE UNIVERSITY, YOUNGSTOWN, 2018.
- [16] P. Holdings, Writer, *TPO katusekatte omadused*. [Performance]. Proton Holdings, 2024.

- [17] P. Holdings, "Protan Documentation - TPO," 2024. [Online]. Available: <https://www.protan.com/knowledge-center/documentation/>.
- [18] B. F. K. Oba, "Dynamic mechanical properties of single-ply roof coverings for low-slope roofs and the influence of water," *Polymer Testing*, vol. 12, no. 1, pp. 35-36, 1993.
- [19] V. Nadezda, "Производство строительных материалов в России," *Российский химический журнал*, 2003.
- [20] L. Y. R. S. L. Z.-W. H. Chitella, "Rubber waste management: A review on methods, mechanism, and prospects," *Polymer Degradation and Stability*, vol. 194, 2021.
- [21] Z. Y. L. Y. L. X. G. X. C. Tao, "Life cycle assessment of SBS modified bitumen waterproofing membrane," in *Chinese Materials Conference*, Shenzhen, 2023.
- [22] D. B. A. D. A. H. D. D. N. R. P. C.G. Cash, "Predictive Service Life Tests for Roofing Membranes," in *10DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Components*, Lyon, 2005.
- [23] M. G. OÜ, Writer, *SBS katusekatte omadused*. [Performance]. MT Grupp OÜ, 2024.
- [24] RoofStar, "SBS Membrane Installation Guidelines," 2024. [Online]. Available: https://rpm.rcabc.org/index.php/Siplast_SBS_Membrane_Installation_Guidelines. [Accessed 2024].
- [25] C. O. E. W. DC, "Engineering and Design. Waterstops and Other Preformed Joint Materials for Civil Works Structures," Defense Technical Information Center, Fort Belvoir, 1995.
- [26] I. Uusalu, Interviewee, *Informatsioon WPM metall-toodetest, Primostar*. [Interview]. 27 February 2024.
- [27] R. P. A. B. D. D. F. F. K. P. G.T. Halvorsen, "Joints in Concrete Construction," American Concrete Institute ACI 224, Indianapolis, 2001.
- [28] A. I. M.N.C Ijomah, "hemical recycling of galvanized steel scrap," *Indian Journal of Chemical Techbology*, p. 159.165, 2003.
- [29] L. Harvey, "Iron and steel recycling: Review, conceptual model, irreducible mining requirements, and energy implications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 138, 2021.
- [30] A. J. C. Y. T. M. R. Tongpool, "Analysis of steel production in Thailand: Environmental impacts and solutions," *Energy*, vol. 35, no. 10, pp. 4192-4200, 2010.
- [31] R. V. A. C. F. C. T. P. R. Vera, "Performance of Carbon Steel and Galvanized Steel in Reinforced Concrete Structures," *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 7, no. 11, pp. 10722-10734, 2012.
- [32] P. company, "WPM Metal Sheet Waterstop," Primostar OÜ, 2024. [Online]. Available: <https://www.primostar.eu/shop/wpm-r-metal-sheet-waterstop-sealing-element-125r-225m-979?search=WPM&order=name+asc#attr=121>.
- [33] A. A. C. Soriano, "Corrosion behavior of galvanized steel due to typical soil organics," *Construction and Building Materials*, vol. 102, pp. 904-912, 2016.
- [34] P. OÜ, Writer, *Metall-lehe omadused*. [Performance]. Primostar OÜ, 2024.

- [35] P. OÜ, "Metall-lehe paigaldusjuhend," 2024. [Online]. Available: <https://www.primostar.eu/shop/wpm-r-metal-sheet-waterstop-sealing-element-125r-225m-979#attr=121>. [Accessed 2024].
- [36] P. OÜ, Writer, *Metall-lehe pingete leevindamiseks omadused*. [Performance]. Primostar OÜ, 2024.
- [37] R. G. A. Biprava, "Smart Waterproofing System," in *International Conference on Future Concrete*, Shah Alam, 2010.
- [38] Z. Q. A. A. H. B. Z. Wei, "Self-healing cement concrete composites for resilient infrastructures," *Composites Part B: Engineering*, vol. 189, 2020.
- [39] K. S. A. N. P. M. E. B. S. T. K. Aspiotis, "Durability assessment of self-healing in ordinary Portland cement concrete containing chemical additives," *Construction and Building Materials*, vol. 305, 2021.
- [40] C. company, Writer, *Betoonlisandi omadused*. [Performance]. Crystalline company, 2024.
- [41] G. D. E. M. A. M. M. R. A. Norris, "Modified bentonites for soil-bentonite cutoff wall applications with hard mix water," *Applied Clay Science*, vol. 158, pp. 226-235, 2018.
- [42] C. C. S. J. R. S. T. Zaharescu, "Assessment on radiochemical recycling of butyl rubber," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, vol. 185, no. 1-4, pp. 360-364, 2001.
- [43] D. Y. K. M. D. Abbas, "Thermal Recycling of Bentonite Waste as a Novel and a Low-Cost Adsorbent for Heavy Metals Removal," *Journal of Ecological Engineering*, 2023.
- [44] K. R. R. C. D. S. C. P. S.C. Jagadale, "ENVIRONMENTAL CONCERN OF POLLUTION IN RUBBER," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, pp. 187-191, 2015.
- [45] R. Brown, "Bentonite and Its Impact on Modern Life," ResearchGate, Berlin, 2009.
- [46] A. W. G. H. A. A. K. S. Alam, "A comparative study between strength and durability of bentonite and natural gum stabilised sand," *Geomechanics and Geoengineering*, vol. 17, no. 6, pp. 1772-1734, 2021.
- [47] T. N. P. N.-T. E. Triki, "Butyl Rubber-Based Composite: Thermal Degradation and Prediction of Service Lifetime," MDPI, Basel, 2019.
- [48] W.-C. GmbH, Writer, *Savilindi omadused*. [Performance]. WEBAC-Chemie GmbH, 2024.
- [49] B. B. OÜ, "Savilindi paigaldusjuhend," 2024. [Online]. Available: <https://bornitbaltic.ee/tooted/vuugitihendustooted/tihenduslindid/webac-paisuv-bentoniitlint/>. [Accessed 2024].