

Georakentamisen maisterinohjelma

Helsingin katu- ja puistohankkeiden muo- vivirtaselvitys

Bo Telén

Copyright ©2023 Bo Telén

Työ on tehty osana EU:n LIFE-ohjelman osarahoittamaa PlastLIFE -hanketta.

Tekijä Bo Telén

Työn nimi Helsingin katu- ja puistohankkeiden muovivirtaselvitys

Koulutusohjelma Georakentamisen maisteriohjelma

Pääaine Georakentaminen

Vastuupettaja/valvoja Prof. Leena Korkiala-Tanttu

Työn ohjaaja(t) Leona Silberstein, FM ja Sanna Anttila, YAMK

Yhteistyötaho Helsingin kaupunki

Päivämäärä 05.06.2023 **Sivumäärä** 66+5

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Tämä työ on osa PlastLIFE -hanketta, jossa pyritään löytämään keinoja vähentää muovin käyttöä ja edistää sen kierrätystä. Selvityksessä kysyttiin haastattelujen muodossa Helsingin kaupungin ja Yhteinen kunnallistekninen työmaa-sopimuksen osapuolten asiantuntijoilta muovien käytöstä heidän infrarakenteissaan. Lisäksi työssä käytiin läpi infrarakentamisen suunnitteluohjeita ja Ramboll Finland Oy:n toimittamaa aineistoa. Eri rakenteista selvitettiin, minkälaista muovia niissä on käytetty ja kuinka paljon muovia on käytetty.

Saadusta aineistosta otettiin tarkempaan tarkasteluun valittujen kohteiden osalta muovit ja niiden määrät. Muovien määrät koostettiin kohteittain diagrammeihin, jotta vaikuttavimmat muovien käyttökohteet löytyisivät. Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämässä päästötietokannassa julkaistuja päästöarvoja käytettiin teoreettisissa laskelmissa, joissa vertailtiin muovisten ja muovittomien rakenteiden materiaalien päästöjä keskenään.

Työssä selvisi, että vaikuttavimmat muovien lähteet infrarakentamisessa ovat suodatinkankaat ja suojaputket. Selvityksen tekemisen aikana ilmeni, että suodatinkangasta käytetään turhan paljon. Kangasta suunnitellaan käytettäväksi rakenteissa, joissa sitä ei tarvita. Selvityksessä tehtyjen laskelmien mukaan nykyinen toimintapa suodatinkangasta käytettäessä johtaa tilanteeseen, jossa suodatinrakenteen CO₂-päästöt ovat suuremmat kuin aiemmin käytetyllä suodatinhiekkakerrosrakenteella.

Avainsanat PlastLIFE, YKT, muovi, infrarakentaminen, CO₂-päästöt, Green deal, SYKE, Suomen ympäristökeskus, Helsingin kaupunki

Author Bo Telén

Title of thesis Review of city of Helsinki's plastic flow in street and park projects

Programme Geoengineering

Major Geoengineering

Thesis supervisor Prof. Leena Korkiala-Tanttu

Thesis advisor(s) Leona Silberstein, FM and Sanna Anttila, YAMK

Collaborative partner City of Helsinki

Date 05.06.2023

Number of pages 66+5

Language Finnish

Abstract

This review was made for city of Helsinki as part of PlastLIFE project. PlastLIFE project has been started to figure out ways to lower plastic use and improve its recycling. Specialists for city of Helsinki and their YKT-partners were interviewed to figure out what kind of infrastructures they construct using plastics. Additionally, data provided by Ramboll Finland Oy was used along with infrastructure design manuals. The type of plastic used in different structures were found out and the most used plastics were to be found.

The provided data was used to choose few infrastructure projects for a more detailed examination. In the detailed examination the provided data was combed through to find the plastics used in the examined projects. This was done to find out the most impactful sources of plastic in infrastructural construction. Finnish Environment Institutes CO₂-values were used in theoretical calculations to compare emissions from structures with plastic and structures without plastic.

In this review the most impactful plastic sources were found out to be filter fabrics and protective pipes for cables. Also, it was found out that there is overuse of filter fabrics in infrastructural construction in Helsinki as it is used in places where it might not be needed. According to the theoretical calculations the current way of doing the filter structures with filter fabrics causes more CO₂-emissions than the older way of doing filter sand layers.

Keywords PlastLIFE, YKT, plastic, infrastructural construction, CO₂-emissions, Green deal, Finnish Environment Institute, city of Helsinki

Sisällys

Esipuhe	7
Symbolit ja lyhenteet	8
Lyhenteet.....	8
1 Johdanto	9
2 Selvityksen tausta ja muovinkäytön ohjeistuksen nykytila	10
3 Muovien käyttö katu-, puisto- ja pohjarakentamisessa.....	15
3.1 Helsingin kaupungin suunnitteluohjeet	15
3.2 Suomen ympäristökeskuksen päästötietokanta	17
3.3 Infrarakentamisen muoveja koskeva tutkimus	18
3.4 Geolujitteet	19
3.5 Kevennerakenteet.....	20
3.6 Suodatinkankaat	21
3.7 Suoja-putket	22
3.8 Vesihuollon rakenteet	23
3.9 Routaeristeet	25
3.10 Puistojen rakenteet	28
4 YKT-osapuolet ja heidän muoviset rakenteensa	29
4.1 HSY	29
4.2 Helen Oy – kaukolämpö- ja kaukojäähdytysrakenteet	31
4.3 Helen Sähköverkko Oy.....	32
4.4 Auris Kaasunjakelu	33
4.5 Teleoperaattorit.....	34
5 Helsingin infrarakentamisen muovivirrat	35
5.1 Katuhankkeet	38
5.2 Puistohankkeet.....	43
6 Ympäristövaikutukset ja vaihtoehtojen arviointi	48
6.1 Muovien ympäristövaikutukset	48
6.2 Vaihtoehtoiset materiaalit	50
7 Johtopäätökset	58
Lähteet	61
Liitteet	67

Liite 1	68
Liite 2	69
Liite 3	70
Liite 4	71

Esipuhe

Haluan kiittää professori Leena Korkiala-Tanttua ja ohjaajiani Leona Silbersteinia ja Sanna Anttilaa neuvoista ja ohjauksesta. Haluan myös kiittää työni ohjausryhmän jäseniä heidän antamastaan ohjauksesta ja kommenteista työni tekemisen aikana. Kiitän myös työn rahoittajaa Helsingin kaupunkia osoittamastaan tuesta.

Tämän työn ohjausryhmään kuuluivat Aalto yliopistosta Leena Korkiala-Tanttu Helsingin kaupungilta Mirva Koskinen, Kalle Rantala, Sanna Anttila, Asko Aalto, Leona Silberstein, Virpi Nikulainen ja Mikko Suominen ja Ramboll Finland Oy:stä Juha Forsman ja Justus Uusi-Viitala sekä Staralta Vesa Isokauppila. Tämä työ tehtiin Helsingin kaupungille osana EU:n LIFE-ohjelman osarahoittamaa PlastLIFE-hanketta.



Helsingissä 05.06.2023
Bo Telen

Symbolit ja lyhenteet

Lyhenteet

EPD	Environmental Product Declaration
EPS-eriste	Paisutettu polystyreenieriste
GHG- protokolla	Greenhouse Gas Protocol
HDPE	Korkeatiheksinen polyeteeni
HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä
IHKU	Infrahankkeiden kustannuslaskentajärjestelmä ja -palveluallianssi
PE	Polyeteeni
PLA	Polylaktidi
PP	Polypropeeni
PVA	Polyvinyylialkoholi
PVC	Polyvinyylikloridi
XPS-eriste	Suulakepuristettu polystyreenieriste
SKTY	Suomen kuntatekniikan yhdistys
Stara	Helsingin kaupungin rakentamispalveluliikelaitos
SYKE	Suomen ympäristökeskus
YKT	Yhteinen kunnallistekninen työmaa

1 Johdanto

Tämä työ pohjautuu Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) koordinoimaan PlastLIFE-hankkeeseen, jonka tavoitteena on edistää Suomen muovitiekartan toimeenpanoa ja päämääriä liittyen muovien haittojen minimointiin, kulutuksen vähentämiseen, kierrätyksen tehostamiseen ja vaihtoehtoisten ratkaisujen löytämiseen. Tässä työssä selvitetään Helsingin kaupungin muovien käyttöä infrarakentamishankkeissa. Tarkastelussa keskitytään katu-, puisto- sekä pohjarakentamishankkeisiin. Tässä työssä katuhankkeella tarkoitetaan olemassa olevan kadun rakenteiden parantamista tai kokonaan uuden kadun rakentamista. Puistohankkeella tarkoitetaan hanketta, jossa uusi puisto rakennetaan tai vanha puisto kunnostetaan. Pohjarakentamisella tarkoitetaan hanketta, jossa uuden asuinalueen tai kadun pohjamaan ominaisuuksia parannetaan rakennettavuuden mahdollistamiseksi. Uuden asuinalueen rakentaminen edellyttää myös kiinteistöjä palvelevan yhdyskuntatekniikan ja katujen rakentamista.

Tarkoituksena on kerätä tietoa ja selvittää, mihin ja minkälaisia muoveja erilaisissa hankkeissa käytetään. Muoveista selvitetään niiden päästöjä ja vertaillaan niiden käyttöä. Lisäksi vertaillaan, onko muovisia rakenteita mahdollista korvata jollakin muulla materiaalilla tai kannattaako niitä korvata aiheutuvien päästöjen takia, vaikka mahdollinen korvaava rakenne löytyisikin. Selvitetyt tiedot pohjalta on tarkoitus löytää eniten käytetyt ja vaikuttavimmat muovien lähteet. Selvitettiin myös missä kohdin hankesuunnitteluprosessia voidaan vaikuttaa materiaalivalintoihin.

Työssä käytettiin päästötietojen vertailussa Helsingin kaupungin teettämää määrä- ja kustannusanalyysiä ja Ramboll Finland Oy:n toimittamaa tietoa sekä co2data.fi -päästötietokantaa. Co2data.fi on Suomen ympäristökeskuksen rakentamisen ja infrarakentamisen päästötietokanta. Työssä ilmoitetaan päästöt hiilidioksidiekvivalentteina. Hiilidioksidiekvivalentti on kasvihuonekaasupäästöjen yhteismitta, jonka avulla voidaan, eri kasvihuonekaasujen päästöt yhteen laskettuna, arvioida vaikutus kasvihuoneilmiön voimistumiseen. Lisäksi työn aikana tutustuttiin aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen kuten opinnäytetöihin ja suunnitteluohjeisiin, sekä muihin ohjeistuksiin. Lisätietoa kerättiin haastattelemalla katu-, puisto- ja pohjarakentamisen asiantuntijoita. Tämän työn ohjausryhmässä käytiin keskustelua ja tehtiin rajauksia siitä mitä olisi hyvä selvittää. Tällaisia rajauksia ovat esimerkiksi infrarakentamisessa käytettyjen tuotteiden nimelliskäyttöikien selvittäminen. Työstä rajattiin ulos liikunta-aluerakentaminen. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymän kanssa keskusteltiin heidän muovien käytöstään infrarakentamisessa ja selvitettiin vastaavasti muiden YKT-osapuolten muovien käyttöä.

2 Selvityksen tausta ja muovinkäytön ohjeistuksen nykytila

Tässä osiossa käydään läpi muovien käytön ohjeistuksia ja tämän selvityksen taustaa. Selvityksen taustalla on tarve vähentää päästöjä ja muovin käyttöä. Helsinki on sitoutunut vähentämään päästöjensä ja saavuttamaan hiilineutraaliuden vuoteen 2030 mennessä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Euroopan unioni on asettanut jäsenilleen tavoitteita esimerkiksi kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen osalta (Euroopan komissio, 2020). EU on asettanut jäsenilleen tavoitteita esimerkiksi muovin kierrätyksen kasvattamiseksi (Euroopan komissio, 2015). Tämän hetkinen tavoite muovien kierrätyksen osalta on saada 55 % kaikesta pakkausmuovista kierrätettyä vuoteen 2030 mennessä. Euroopan unioni myös rahoittaa hankkeita, joissa pyritään kehittämään ratkaisuja päästöjen määrän hillitsemiseksi.

Suomelle on myös tehty muovitiekartta. Muovitiekartta.fi sivustolla kerrotaan, miten muovien käyttöä voidaan vähentää ja käytettyjä muoveja kierrättää paremmin. Muovitiemääräyksen tarkoitus on saada aikaan läpimurto muovien kiertotaloudessa vuoteen 2030 mennessä. Muovitiemääräyksen mukaan Green deal -sopimuksilla on tärkeä rooli muovien kiertotalouden parantamisessa. (Ympäristöministeriö, 2022.) Helsingin pormestari on myös allekirjoittanut eurocities – ympäristöfoorumin koordinoiman Plastic Declaration -julkilausuman, jossa Helsinki on sitoutunut kehittämään toimenpideohjelmiä ja strategioita muoviroskan vähentämiseksi. Julkilausumassa Helsinki sitoutuu myös asettamaan aikataulutavoitteita muoviroskan vähentämiselle. (Helsingin kaupunki, 2019.)

Infra-alalle on luotu ohjeistusta erilaisten rakenteiden soveltuvuudesta eri käyttötarkoituksiin. Infrarakentamisen tuotteiden soveltuvuus todetaan erilaisten sertifikaattien avulla. Tällaisia ohjeistuksia ovat esimerkiksi InfraRYL, Helsingin kaupungin sisäiset ohjeistukset ja väyläviraston ohjeistukset sekä eri yhdistysten ohjeistukset. Myös lainsäädännössä, kuten esimerkiksi maakaasuasetuksessa, ohjataan rakenteiden materiaalivalintoja. Eri teollisuuden aloilla on edunvalvojia ja kattojärjestöjä, jotka ovat antaneet suosituksia oman alansa materiaalien käytöstä. Väyläviraston geolujitettujen maarakenteiden ohjeistuksessa on ohjeistusta geolujitemateriaalien valintaan. Ohjeistuksen mukaan valintaan vaikuttaa lämpötila, jossa lujitetta käytetään, maan happamuus tai emäksisyys, rakenteen sallitun muodonmuutoksen suuruus ja lujitteen lujuus. Myös lujitteen ominaisuuksien pysyvyys käyttöolosuhteissa on kriteerinä. (Väylävirasto, 2012.)

Lisäksi vapaaehtoiset sopimukset ohjaavat muovien käyttöä. Tällaisia ovat esimerkiksi ympäristöministeriön alakohtaiset Green deal -sopimukset,

joissa osapuolet sopivat esimerkiksi muovien kierrätyksestä ja käytöstä. Green deal -sopimukset ovat määräaikaista. Rakentamisen muovit Green deal -sopimus tähtää kiertotalouden tehostamiseen muovien osalta ja parempaan muovien erilliskeräykseen. Sopimus pyrkii myös optimoimaan ja vähentämään ympäristön kannalta kestävästi muovien käyttöä. (Ympäristöministeriö, 2022) Ympäristöministeriö on myös rahoittanut koulutusta aiheeseen liittyen. Koulutuksen on tuottanut Motiva. Helsingin kaupungin rakentamispalveluliikelaituksen Staran kaupunkiteknisestä rakentamisesta kerrottiin Green deal -sopimukseen liittyen, että heillä toimintaa työmailla ohjataan työmaan sosiaalituloihin jaettavilla julisteilla, joissa eri muovilaadut on kuvattu. Näin pyritään helpottamaan muovien lajittelua työmailla. (Stara, 2023.) Työmaille toimitettavat julisteet ovat kuvattuna kuvissa 1 ja 2.

Kalvomuovit



- Kalvomuovien merkintä on pääsääntöisesti 04 - PE-LD/LDPE/PE-LLD
- Puhtausvaatimus on selvitettävä jätehuoltokumpanilta.
Puhtausvaatimus työmaalla on _____
- Työmaalla muovit kerätään _____
- Työmaalla erilliskerätään myös seuraavia muoveja _____
- Yhteystieto, josta voi kysyä neuvoa lajitteluun _____



Eri rakennusvaiheissa syntyviä kalvomuoveja



Kirkas pakkausmuovi
04 - PE-LD
Polyeteeni low-density



Värilliset suojamuovit
04 - PE-LD
Polyeteeni low-density



Kirkas suojamuovi
04 - PE-LD
Polyeteeni low-density



Kirkas lavahuppu
04 - PE-LD
Polyeteeni low-density

Sahatavaran ympärillä olevat suojamuovit



Kirkas kiristemuovi
04 - PE-LD
Polyeteeni low-density



Värillinen suojamuovi
04 - PE-LD
Polyeteeni low-density



Kirkas ja värillinen suojahuppu
04 - PE-LD
Polyeteeni low-density

Valmistuotteiden ympärillä olevia kalvomuoveja



Värillinen lavahuppu
04 - PE-LD
Polyeteeni low-density



Kirkas kiristemuovi
04 - PE-LD
Polyeteeni low-density



Kirkas kiristemuovi
04 - PE-LD
Polyeteeni low-density



Kuplamuovi
04 - PE-LD
Polyeteeni low-density

Kuva 1. Juliste kalvomuoveista jaettavaksi työmaiden sosiaalituloihin. (Rakennusteollisuus, 2023)

Muut muovit



- Kalvomuovien lisäksi työmaalla kierrätetään seuraavia muoveja [REDACTED]
- Puhtausvaatimus on selvitettävä jätehuoltokumppanilta. Puhtausvaatimus työmaalla on [REDACTED]
- Työmaalla muovit kerätään [REDACTED]
- Yhteystieto, josta voi kysyä neuvoa lajitteluun [REDACTED]

Infrarakentamisessa syntyvät muut muovit Määritellään jätehuoltosuunnitelmassa erilliskerätäänkö



Muoviset vannenaugat
01 - PET
Polyeteenitereflaatti



Muoviset kanisterit,
tynnyrit ja ämpärit
Esim.
02 - PE-HD
Polyeteeni high-density



Muoviset putket ja putkien
osat
Esim.
04 -PE-LD
Polyeteeni low-density
02 - PE-HD
Polyeteeni high-density



Suursäkit
05 - PP
Polypropeeni



Stryrox, polystyreeni,
EPS-eristelevy
Esim.
06 - PS
Polystyreeni



Solu- tai vaahtomuovit,
eristeet
Esim.
03 - PVC,
Polyvinyylikloridi
PA (Polyamidi)
PS/EPS (Polystyreeni)
PUR/PU (Polyuretaani)



Suojapressut,
kestopeitteet, muovimatot
Esim.
03 - PVC
Polyvinyylikloridi

Kuva 2. Juliste muista muoveista jaettavaksi työmaiden sosiaaliloihin. (Rakennusteollisuus, 2023)

Rakennusteollisuus on omilla sivuillaan julkaissut Green deal-sopimukseen liittyvän oppaan kalvomuovien kierrätyksestä. Ympäristöministeriön vuonna 2021 teettämä opas sisältää ohjeita kierrätyksen suunnitteluun, lähiympäristön roskaamisen ehkäisyyn sekä itse kalvomuovien lajitteluun. Lisäksi oppaassa on tietoa kalvomuovien keräys- ja varastointivälineistä sekä tietoa miten kyseisiä muoveja käsitellään käsittelylaitoksissa. (Rakennusteollisuus ry, 2021)

Muovien käyttöä ohjaa myös taloudellinen näkökulma. Muovituotteilla tehdyt rakenteet ovat useissa tilanteissa halvempia, nopeampia ja helpompia toteuttaa, kun niitä verrataan muovittomiin rakenteisiin. Muovisilla tuotteilla saattaa olla myös pidempi elinkaari verrattuna muovittomiin tuotteisiin. Lisäksi, jos materiaali on tilaajan toimittamaa, saattaa se olla kilpailutettu mahdollisimman kustannustehokkaaksi. Hinnalla kilpailutettu tuote luo tilanteen, jossa hinta ohjaa materiaalin valintaa ympäristöseikkoja suuremmalla painolla.

Suomen ympäristökeskus (SYKE) on yhdessä Väyläviraston kanssa julkaissut co2data.fi sivuston, jonka tavoitteena on mahdollistaa ilmastovaikutusten vertailu yhdenmukaisin tiedoin. Infra- ja talonrakennustuotteille on omat tietokantansa. Infrarakentamisen tietokannasta löytyy tuotteiden, materiaalien, kuljetusten ja työmaatoimintojen päästötietoja. Sivustolle on myös koostettuna eri rakennustuotteiden EPD-raportit. EPD-raporteissa on kerrottuna tuotteen CO₂ ekv. arvo. Kaikille tuotteille ei tosin ole omaa arvoa. Näiden tuotteiden osalta arvo määräytyy yleisen materiaalille määrätyn EPD-arvon pohjalta, riippuen rakennustuotteen koosta ja painosta. (Suomen ympäristökeskus, 2023.)

3 Muovien käyttö katu-, puisto- ja pohjarakentamisessa

Tässä osiossa käydään läpi muovien käyttöä infrarakentamisessa yleisellä tasolla. Helsingin kaupunki on teettänyt määrä- ja kustannus selvityksen, jossa laskettiin puisto- ja katuhankkeiden rakennusosien vuosittaiset määrät ja kustannukset. Määrät ja kustannukset on laskettu selvitykseen valittujen kohteiden kustannusarvioiden pohjalta. Selvityksessä on myös mukana muovituotteet, jotka on jaoteltu eri kategorioihin. Kategorioissa on eroteltu tarkemmin, minkälaisia muovituotteita niihin kuuluu. Jokaiselle tuotteelle on laskettu CO₂-päästöarvo. Päästöarvo on ilmoitettu CO₂ ekv. -arvona. Päästöarvossa on huomioitu tuotteen valmistamisesta syntyneet muut kasvihuonekaasut ja se kuvaa kaikkien valmistuksessa muodostuneiden kasvihuonekaasupäästöjen ilmastoa lämmittävää vaikutusta. (Ramboll Finland Oy, 2022.)

Muoveja käytetään infrarakentamisen hankkeissa eri tavoin. Puistohankkeissa muovien käyttö keskittyy enemmän kasvillisuuden suojaamiseen ja puiston pohjamaan parantamiseen suodatinkankaalla. Puistoihin asennetaan joissakin tilanteissa muovisia putkistoja ja kaivoja. Katuhankkeissa muoveja käytetään eniten suodatinkankaissa ja erityyppisissä putkistoissa sekä kaapeleissa. Pohjarakentamisen muovit koostuvat pääosin tuotteista, joilla pyritään parantamaan rakenteiden alle jäävän pohjamaan ominaisuuksia tai vaihtoehtoisesti niillä pyritään vähentämään heikompilaatuisen pohjamaan vaikutuksia rakenteeseen. Näitä muoveja ovat geolujitteet ja suodatinkankaat. Joissakin tilanteissa pohjamaassa olevaa vettä joudutaan vähentämään pohjamaan ominaisuuksien parantamiseksi. Tämä voidaan tehdä rakentamalla pystyjoja maahan. Pystyjojat ovat putkia, joita pitkin maassa oleva vesi pääsee kulkeutumaan pois maaperästä kuivattaen sitä samalla. Yhdessä painopenkereen kanssa kuivatus nopeuttaa pohjamaan painumista niin, että suurin osa painumisesta ehtisi tapahtua ennen kuin rakentaminen aloitetaan.

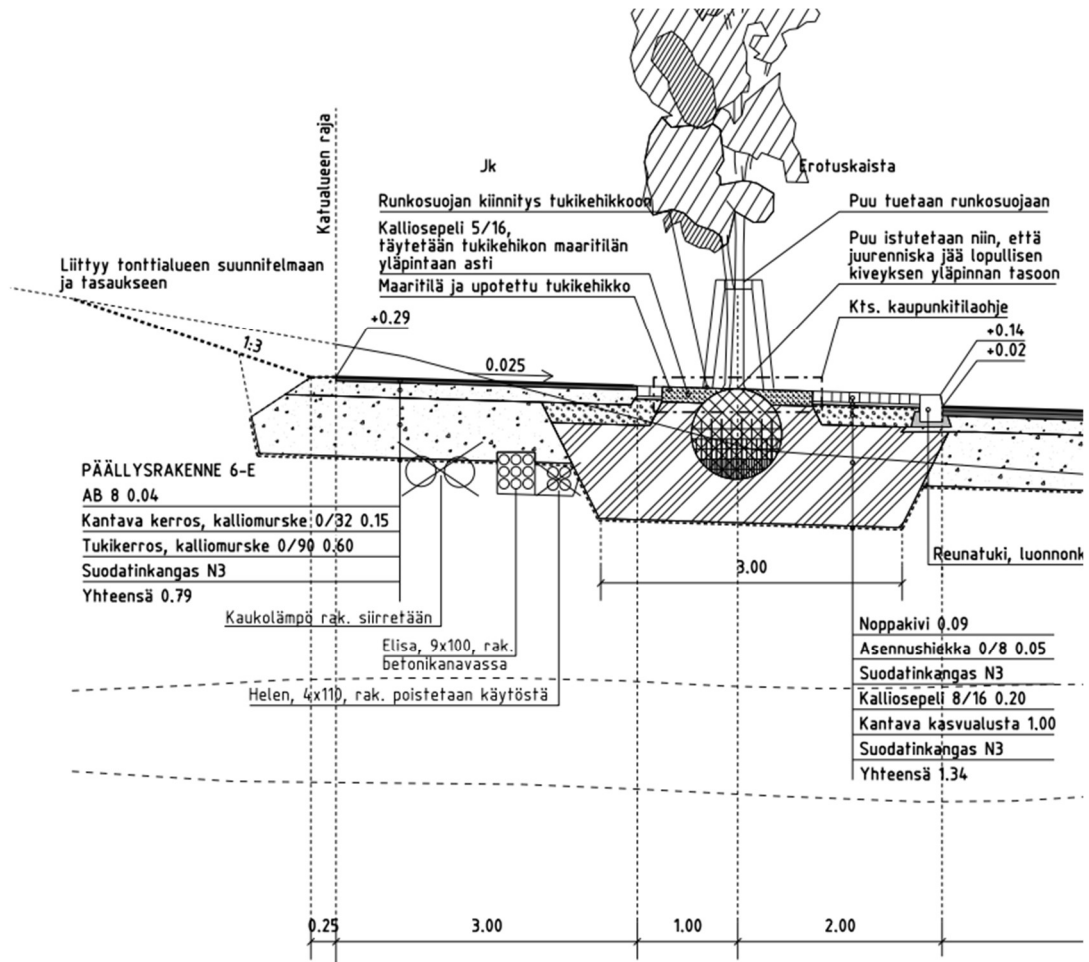
3.1 Helsingin kaupungin suunnitteluohjeet

Helsingin kaupungilla on katujen suunnittelua varten suunnitteluohjeet. (Helsingin kaupunki, 2023) Ohjeissa on kerrottu eri rakennekerroksille tarkennuksia, mikäli ne poikkeavat InfraRYL:n asettamista vaatimuksista. Ohjeessa viitataan myös InfraRYL:n taulukoihin. Kuvassa 3 on ote suodatinkankaista koskevasta ohjeesta (Helsingin suunnitteluperiaatteet 30.1.2023). Kuvassa 4 on mallisuunnitelma puun kasvualustasta ja sen ympäristöstä. Kuvassa 5 on mallisuunnitelma kadun rakenteista.

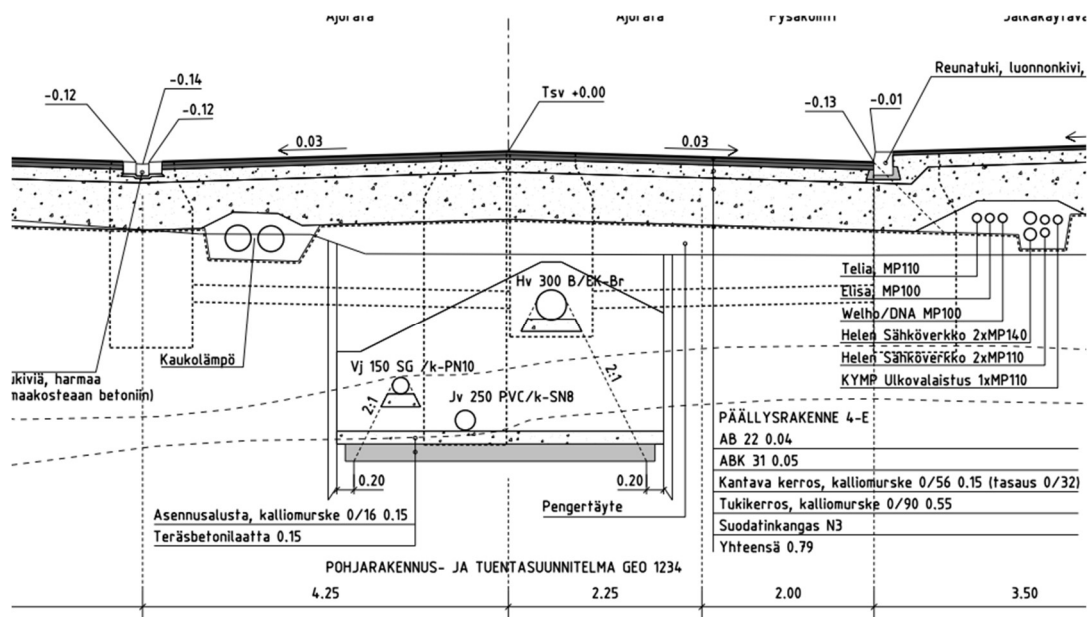
1.7.1 Suodatinkankaat

- InfraRYL 21120
- Korvaa yleensä erillisen suodatinkerroksen. Tukikerroksen kokonaispaksuuden tulee kuitenkin olla yhtä suuri kuin suodatinkerrosta käytettäessä.
- Levitysrakenteen kerrospaksuus InfraRYLlin tai vanhan rakenteen mukainen, paksumpi rakenne valitaan.
- Suodatinkankaan käyttöluokka valitaan pohjamaan, rakentamisolosuhteiden ja täyttömateriaalin maksimiraekoon perusteella, InfraRYL taulukko 21120:T1
- Käytetään mm.:
 - tukikerroksen alla kantavuusluokissa E-G
 - vesihuollon arinarakenteissa
 - vesihuollon kalliokanaaleissa ja louheen päälle tehtävän asennusalustan alla
- Maata vasten käytetään yleensä N3 käyttöluokan suodatinkangasta
- Louherakenteissa käytetään yleensä N4 käyttöluokan suodatinkangasta

Kuva 3. Helsingin kaupungin suunnitteluohje, suodatinkankaan suunnitteluun. (Helsingin kaupunki, 2023)



Kuva 4. Mallisuunnitelma puunkasvialustasta. (Helsingin kaupunki, 2023)



Kuva 5. Mallisuunnitelma kadunrakenteista. (Helsingin kaupunki, 2023)

3.2 Suomen ympäristökeskuksen päästötietokanta

SYKE:n muovituotteiden taustaraportissa (Suomen ympäristökeskus, 2022) on lueteltu eri tuotteiden yleisimpiä käyttökohteita. Muoviputkille on ilmoitettu päästöarvot kokoluokittain. Taulukkoon 1 on kerätty SYKE:n taustaraportista muutamia yleisiä putkikokoja eri materiaaleista päästöarvoineen. Taulukon 1 lyhenteet PVC, PP ja PE tarkoittavat polyvinyylikloridia, polypropylenia ja polyeteeniä.

Taulukko 1. Muutaman putkikoon päästöarvot materiaaleittain SYKE:n taustaraportista.

Koko	Materiaali	Päästöarvo (kg CO ₂ ekv. /m)
250	PVC	17,9
250	PP	11,9
200	PE	27,6
225	Betoni (raudoittamaton)	15,4
300	Betoni (raudoitettu)	27,8
315	PVC	28,4
315	PP	19,7
315	PE	42,6
600	Betoni (raudoitettu)	68,4

Muovimateriaaleille on laskettu omat päästöarvot per kilogramma materiaalia. Valitut halkaisijat perustuvat IHKU-järjestelmässä määritettyihin

putkikokoihin. Taustaraportissa on määritelty eri muoveille omat päästöarvot perustuen eurooppalaisen muovijärjestö APME:n tietoihin (APME, 2023). Eri muovituotteille on määritelty raportissa hukkeroin työmaalla. Esimerkiksi muoviputkilla hukkeroin on 1,03 eli 3 % putkimateriaalia menee rakentamisen aikana hukkaan. Betoniputkilla hukkeroin on 1,05, jolloin 5 % putkimateriaalia menee hukkaan rakentamisen aikana. Toisilla tuotteilla, kuten muovikaivoilla, hukkeroin on 1,00, joten materiaalia ei mene hukkaan rakentamisen aikana. Taustaraportissa kerrotaan myös tuotteeseen käytetyn kierrätysmateriaalin osuus.

3.3 Infrarakentamisen muoveja koskeva tutkimus

Infrarakentamisen muovituotteiden kierrättämistä tai korvaamista koskevaa tutkimusta löytyi niukasti. Helsingin kaupunkiympäristön toimialalle on tehty Pro gradu (Suvi Jaakola, 2020) infrastruktuurirakentamisessa käytettävien muovilaatujen korvaamisesta kierrätettävyydeltään ja hiilijalanjäljeltään paremmilla valinnoilla. Työssä on keskitytty kaapelisuojuputkien materiaaleihin ja siinä esitetään keinoja, joilla voitaisiin parantaa muovien kierrätystä infratyömailla. Suvi Jaakola esittää Pro gradu työssään ympäristöministeriön kanssa laadittavaa yhteistä ohjeistusta muovien lajittelusta. Ohjeistuksen tavoitteena olisi Jaakolan mukaan muovien kierrätyksen ja uusiokäytön parantaminen. Työssä (Jaakola, 2020) käsiteltiin pääosin polyvinyylikloridista (PVC) ja polyeteenistä (PE) tehtyjä putkia. Helsingin kaupungin teettämässä määrä- ja kustannusselvityksessä on tietoa hankkeissa käytetyistä materiaaleista ja niiden määristä yleisellä tasolla. Yhtenä jatkokehitystoimenpiteenä selvityksessä on tunnistettu muovin määrän vähentämismahdollisuuksien tutkiminen.

Maailmalla on myös tehty kokeita eri materiaaleista tehdyistä putkista. Esimerkiksi (Chen et al., 2021) on tutkinut bambukomposiittiputkien käyttämisestä vesijohtoina. Bambukomposiittiputken sanotaan voivan korvata suurimman osan muovisista ja betonisista putkista. Tutkimuksessa mainitaan myös, että komposiittiputkien ennustetaan kestävän 50 hydrostaattista painetta. Toukokuussa 2023 julkaistiin tutkimus (Brown et al., 2023.), jonka mukaan muovien kierrättämisestä syntyisi suuria määriä mikromuoveja. Tutkimuksessa mainitaan, että vaikka kierrätyslaitoksen käyttämä pesuvesi suodatettaisiin, olisi siinä silti suuria määriä mikromuoveja. Tutkimuksen mukaan muovien kierrättämisestä ei tiedetä vielä riittävästi ja sitä pitäisi tutkia lisää.

LAB-ammattikorkeakoulussa on ollut käynnissä HIUKKA 2.0 projekti, jossa on tutkittu hiusten käyttöä muovinkorvaajana suodatinkankaassa. Hius on hitaasti maatuva kuitu ja niistä saa huovuttamalla aikaiseksi suodatinkankaan tyyppistä materiaalia. Korvaava suodatinkangas on tarkoitettu

viherrakentamiseen, samassa projektissa on myös etsitty muovia korvaavia materiaaleja öljyn torjuntaan ja veden puhdistamiseen. (LAB-ammattikorkeakoulu, 2020.)

Projektissa on pohdittu, että hiusmateriaalilla voisi korvata suodatinkankaan lisäksi myös muovipohjaisia katteita. Lisäksi hiuskuidun kerrotaan vähentävän kastelun tarvetta, koska se sitoo itseensä vettä. (LAB-ammattikorkeakoulu, 2020.) Kuvassa 6 on HIUKKA 2.0 projektissa huovutettuja hiuskuituja.



Kuva 6. Huovutettuja hiuskuituja (Hyökki 2021) (LAB-ammattikorkeakoulu)

3.4 Geolujitteet

Geolujitteita käytetään parantamaan maanperän ominaisuuksia. Useat geolujitteet sisältävät muovia. Jälleenmyyjien verkkosivuillaan antamien tietojen mukaan yleisimmät muovit kankaissa ja geolujitteissa ovat polypropeeni ja polyesteri. Lisäksi osa myyjistä tarjoaa myös PVA:ta sisältäviä tuotteita. PVA on lyhenne polyvinyylialkoholista. Geolujitteille luvataan eri pituisia käyttöikäjä. Esimerkiksi Oy ViaCon Ab ilmoittaa omien geolujitteidensa käyttöikäksi 100 vuotta (Oy ViaCon Ab, 2023). Liikenneviraston ohjeen (Väylävirasto, 2012) mukaan synteettisiä geolujitteita lajitellaan niiden lujuusominaisuuksien mukaan. Lujuusominaisuuksia ovat vetolujuus ja muodonmuutosmoduuli, syklisen kuormituksen kestävyys ja viruminen. Nämä ominaisuudet vaihtelevat riippuen siitä, miten lujite on valmistettu. Vetolujuus ja muodonmuutosmoduuli testataan vetokoneella. Kokeen tuloksista piirretään kuormitus-venymäkäyrä EN ISO 10319:2008- standardin mukaisesti. Virumakoe tehdään EN ISO 13431 – standardin mukaisesti. Kokeessa kuormitetaan lujitetta vakiodulla kuormalla ja mitataan lujitteen venymää ajan funktiona.

Geosynt Oy:ltä löytyy myös lujiteverkkoja ja lujitekankaita. Geosyntin tuotteet ovat tehty polypropeenista tai polyesteristä riippuen lujitekankaan tai -verkon ominaisuuksista. Saatavilla on myös PVA:ta sisältävä tuote. (Geosynt Oy, 2023) PVA-pohjainen lujite on tarkoitettu Geosyntin mukaan haastavampiin olosuhteisiin, joissa vaaditaan lujitteelta kemiallista kestävyyttä. PVA-pohjaisia lujitteita suositellaan myös olosuhteisiin, joissa lujite on jatkuvassa jännityksessä (Geosynt Oy, 2023). Kuvassa 7 on geolujiteverkkoa asennettu vesijohtorakenteen alle putkilinjan painumien tasaamiseksi savisella pellolla Fallkullan kotieläintilan lähistöllä Helsingissä.



Kuva 7. Geolujiteverkkoa Fallkullan kotieläintilan lähistöllä vuonna 2019. Kuvan on ottanut Bo Telén.

3.5 Kevennerakenteet

Paisutetusta polystyreenistä (EPS-eriste) voidaan tehdä myös kevennerakenteita. Kevennerakenteissa tarkoituksena on korvata osa normaalista kiviaineksesta EPS-eristeellä, jotta heikompi pohjamaa kantaisi esimerkiksi katu- tai tierakenteen. Kevennesteisiin käytetyt EPS-blokit ovat suurempia kuin tavanomaiset EPS-eristelevyt. EPS-blokkeja käyttämällä lopullisesta rakenteesta tulee kevyempi, eikä perinteisempiä pohjanvahvistusmenetelmiä

välttämättä tarvita painumien välttämiseksi. Lisäksi lopullinen rakenne voidaan rakentaa nopeammin. (Rakennuseristeteollisuus, 2022.) Kevennerakenteita voidaan rakentaa myös uusiomateriaalista kuten vaahtolasista tai Leca-sorasta.

3.6 Suodatinkankaat

Suodatinkankaita käytetään yleensä varmistamaan, etteivät rakennekerrosten ainekset sekoitu keskenään. Esimerkiksi suodatinkangas laitetaan irtilouhitun kallion ja sen päälle tulevan murskekerroksen väliin, jotta murske ei pikkuhiljaa valuisi louheen sekaan. Joissakin tilanteissa irtilouhitun kallion ja jakavan kerroksen väliin on tehty kiilauskerros, jolloin suodatinkangasta ei tarvita. Toinen esimerkki on savikkoinen alue, jossa käytetään suodatinkangasta erottamaan savi ja murske toisistaan. Ilman suodatinkangasta murske uppoaisi ajan kuluessa liikennekuormien vaikutuksesta pehmeään saveen aiheuttaen painumia. Suodatinkankaita käytetään myös täyttömaa alueilla, joissa täyttömaa on sekalaista. Näissä tilanteissa suodatinkankaalla pyritään estämään murskeen sekoittuminen täyttömaahan. Lisäksi suodatinkangas valmistajien mukaan vahvistaa rakennetta ja vähentää routimista. (Meltex plastics Oy, 2017.)

Suodatinkangasluokkia on N1:stä N5:een. N1-luokka on suodatinkankaista heikoin, ja N5-luokka on vahvin (Meltex plastics Oy, 2012). Rambollin toimittamassa aineistossa suodatinkangasluokkana on käytetty N3-luokkaa. (Ramboll Finland Oy, 2022.) Suodatinkankaiden käyttöiän tulee olla Väyläviraston geosynteettien laadunvalvontaoppaan (Väylävirasto, 2021) mukaan vähintään 25 vuotta, mutta on olemassa valmistajia (BontexGeo, 2022), jotka lupaavat jopa 100 vuotta kankaan käyttöä.

Suodatinkankaat valmistetaan tyypillisesti muovista. Niissä on käytetty usein polypropeeni- tai polyesterikuituja. Esimerkiksi K-rauta myy N3-suodatinkangasta, joka on tehty polypropeenikuidusta. (K-rauta, 2023) Suodatinkankaita on saatavilla myös muovittomina, mutta ne soveltuvat paremmin viherrakentamiseen niiden heikompien ominaisuuksien vuoksi. Muovittomat suodatinkankaat on valmistettu polylaktidista (PLA). Kuvassa 8 on kadun putkilinjojen alle rakennettu teräsbetoni-laatta. Laatan näkyvä osa on merkitty kuvaan punaisella. Pertunkujan alue on pilaristabiloitu.



Kuva 8. Suodatinkangas erottamassa uuden kadun teräsbetonilaattaa ja murskekerroksia savisesta pohjamaasta. Pertunkuja vuonna 2017. Kuvan ottanut Bo Telén.

3.7 Suojaputket

Suojaputkilla tarkoitetaan kaapelien suojaputkia. Niitä on tyypillisesti tehty kahdesta eri muovimateriaalista. Suojaputkia valmistetaan polyeteenistä (PE) ja polyvinyylidikloridista (PVC). Tällä hetkellä työmailla suojaputket ovat kaikkien YKT-osapuolten eli Helen sähköverkko Oy:n, Elisan, Telian, ja DNA:n putket mukaan lukien, PE- tai PVC- putkia.

Helsingin kaupungin omia suojaputkia ovat ulkovalojen ja liikennevalojen kaapelien suojaputket. Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön toimialan kaupunkitekniikan yksiköstä kysyttiin sähköpostilla heidän rakenteistansa ja niiden sisältämästä muovista. Suojaputkien lisäksi Helsingin kaupunkitekniikalla on muitakin maahan asennettavia muovisia rakennusosia. Näitä rakenteita ovat mm. muoviset suojakourut, kaapelien suojakuoret ja mikrokanavaputket. (Helsingin kaupunki, 2023.) Ulkovalojen ja liikennevalojen suojaputkimateriaali on polyeteeni. Lisäksi pylväiden jalkoihin on usein

asennettu sisään muovinen putki, jonka läpi kaapeli ujutetaan pylvääseen. Muovisille kaapelinsuojaputkille luvataan ainakin 50 vuoden käyttöikää. (Ahlsell, 2023.)

Kuvassa 9 näkyy kaapelinsuojaputkia ja niiden vaihtoehtoinen ratkaisu, jossa kaapeli on suojattu betonisilla kouruilla. Betonikourut ovat kaivannon vasemmalla laidassa. Kuvassa olevista putkista punaiset ja mustat, on tehty PVC-muovista. Keltaiset putket ja oranssi putki on tehty PE-muovista.



Kuva 9. Kaapelinsuojaputkia ja vanhempi betonikouru suojaus Jäkälätien varressa vuonna 2020. Kuvan ottanut Bo Telén.

3.8 Vesihuollon rakenteet

Vesihuollon rakenteet ovat pääosin HSY:n omistamia, Helsingin kaupungin omistamia rakenteita on vähemmän. Helsingin kaupunki omistaa osan hulevesijärjestelmästä. Osa hulevesipumppaamoista on siirtynyt HSY:n hallinnasta kaupungille. Helsingin kaupungin osuuden hulevesijärjestelmästä muodostavat hulevesikaivot ja niistä lähtevät putket. Lisäksi rumpuputkia kuuluu joissakin tilanteissa katurakenteisiin. Rumpuputkia käytetään silloin, kun esimerkiksi jokin oja tai muu vesistö täytyy saada kulkemaan katu-, rata- tai tierakenteen alta. Isompien vesistöjen, kuten esimerkiksi Longinojan, osalta rumpuputket ovat suurempia betonisia tai teräksisiä putkia, mutta

pienemmissä ojissa voidaan käyttää muovisia rumpuputkia. Muoviset rumpuputket on valmistettu PP- tai PE-muovista. Lisäksi rumpuputkia voidaan käyttää hulevesilinjojen päässä, jos linja purkaa veden ojaan.

Hulevesijärjestelmissä hulevesikaivojen putket ovat PE-putkia. Myös paineelliset hulevesiputket pumppaamoilta ovat PE-putkia. Puistoissa kaivot ovat useasti muovisia niihin kohdistuvan pienemmän kuormituksen takia. Muovisissa kaivoissa materiaali on usein polypropeenä (PP) tai polyeteeniä (PE). Puistoihin rakennetaan joskus myös kesävesi esimerkiksi päiväkodin käyttöön tai kastelua varten. Kesävesiputket ovat pienempiä käyttövesijohdot, jotka ovat käytössä nimensä mukaisesti vain kesäisin. Nämä vesijohdot ovat yleensä muovisia. Muovimateriaali on tyypillisesti polyeteeniä. Polyeteeni putkistoissa, jos ne rakennetaan paineellisina, käytetään yleensä sähköhitsausmuhveja liittämään putket toisiinsa, jotta linjasta saadaan paineenkestävä ja vesitiivis. Sähköhitsausmuhvit valmistetaan polyeteenistä.

Suurimmat vesihuollon muovituotteita valmistavat yritykset ovat Pipelife Finland Oy ja Uponor Oyj sekä Meltex Oy Plastics, joilla on tarjonnassaan PVC-, PP- ja PE-putkia. Putkille luvataan ainakin 50 vuoden käyttöikä. Uponor markkinoi PP-putkea ympäristöystävällisempänä vaihtoehtona PVC-putkelle. Uponorin PP-putken esittelylehtisessä kerrotaan, että PP-putket voidaan kierrättää tai käyttää energijätteenä. (Uponor, 2023.) Uponor kertoi sähköpostilla kysyttäessä, että he kierrättävät oman tehtaan sisällä syntyvää muovijätettä. Kierrätettyä jätettä voidaan Uponorin mukaan käyttää moneen eri käyttötarkoitukseen, mutta sen palauttaminen uudelleen muoviputkien valmistukseen vaatii tiettyjen laadullisten reunaehtojen täyttymistä. Työmailta tulevaa muovijätettä Uponor ei käsittele. (Uponor, 2023.) HSY ei myöskään käsittele työmailta tulevia muovijätteitä omilla jätteenkäsittelylaitoksillaan. HSY ei kerää työmailta tulevaa muovijätettä muuta kuin pieniä määriä Sortti-asemien kautta. (HSY, 2023.) Staran kaupunkiteknisestä rakentamisesta kysyttäessä kerrottiin, että heidän työmailtansa tuleva muovijäte viedään siirtolavoilla Kiertokapula Oy -nimiseen jätteitä käsittelevään yritykseen. Stara on mukana Rakentamisen muovit Green deal -sopimuksessa ja pyrkii lajittelemaan sekä kierrättämään kalvomuhveja muiden muovisten tuotteiden kanssa. (Stara, 2023.) Kiertokapulasta kysyttiin sähköpostilla tietoa siitä, miten he käsittelevät työmailta tulevaa muovijätettä. Kiertokapulan mukaan työmailta tuleva sekalainen muovijäte päättyy energijakeeseen. Puhtaille erilliskerättäville muovijakeille he järjestävät materiaalikierrätystä. Käytöstä poistetut jäteastiat mainittiin esimerkkinä puhtaista erilliskerättävistä muovijakeista. Kiertokapula ei kertonut minne kierrätetyistä jäteastioista saatu materiaali päättyy. (Kiertokapula Oy, 2023.) Muoviteollisuus ry:ltä (Kärhä, Muoviteollisuus ry, 2023) kysyttiin yhteydenottolomakkeella, kuinka paljon infrarakentamisen muovijätettä kierrätetään ja mihin kierrätettyä muovia käytetään. Muoviteollisuus ry:n mukaan ei ole

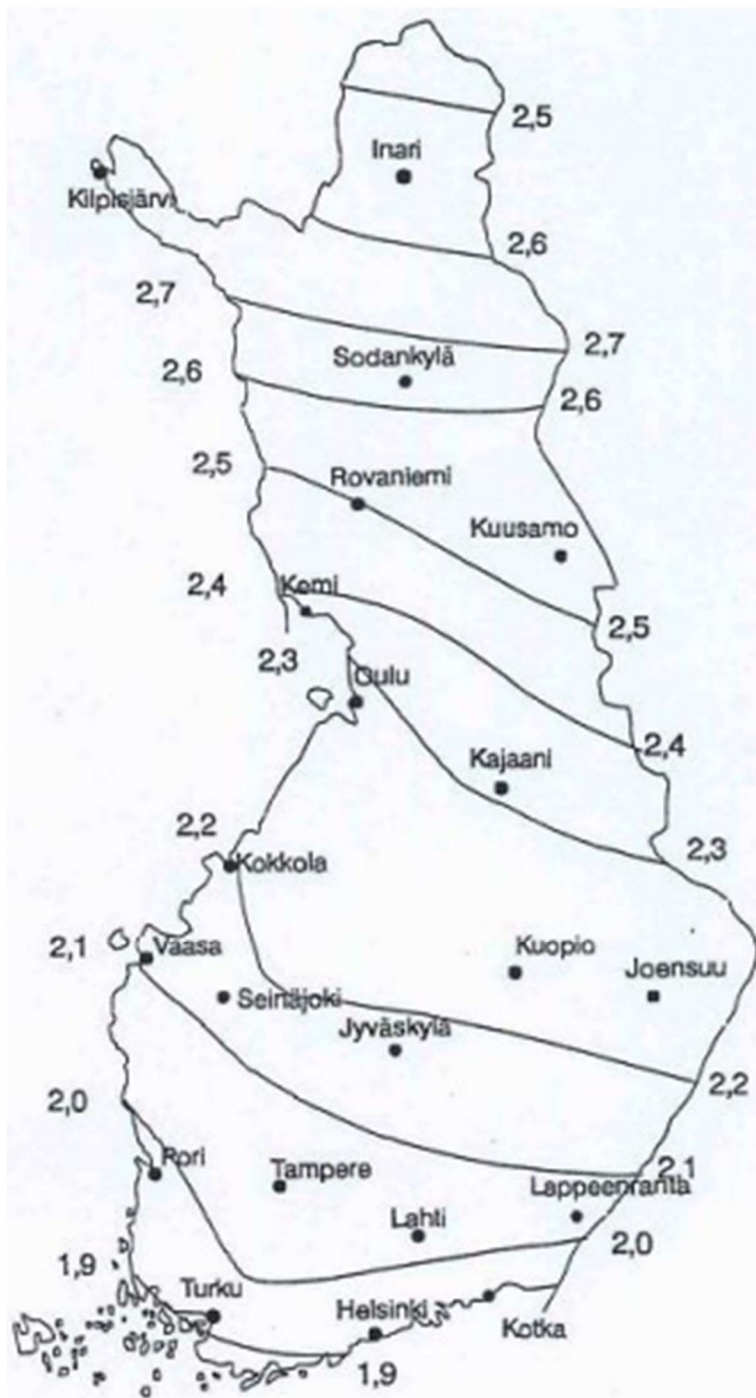
tarkkaa tilastoa kuinka paljon infrarakentamisen muoveja kierrätetään tai kuinka paljon kierrätettyä muovia käytetään infrarakentamisessa vuosittain. Yhdistyksen arvion mukaan Suomessa käytettäisiin vuosittain infrarakentamisen tuotteisiin 20 000 tonnia neitseellistä muovia. Infrarakentamisen muovijätettä kierrätetään vuosittain 1 000 tonnia. Tästä kierrätetystä muovista pääosa on pakkauksia, mutta mukana on jonkin verran putkia ja eristeitä. Joinakin vuosina saattaa tulla suurempia erii muovia kerralla kierrätykseen. Esimerkiksi Nordstream 1 ja 2 putkien kaikki tulpat kierrätettiin Suomessa. Tulppien muovin määrä oli 1 500 tonnia korkeatähteyksistä polyeeteeniä.

SYKE:n taustaraportin (Suomen ympäristökeskus, 2022) mukaan putkien raaka-aineesta alle 1 % on kierrätettyä. Voi tietenkin olla, että SYKE:n taustaraporttiin on valikoitunut IHKU:sta vain neitseellistä muovia sisältäviä tuotteita, joita tällä hetkellä käytetään saatujen vastausten mukaan ylivoimaisesti eniten.

3.9 Routaeristeet

Routaeristeinä käytetään EPS-eristeitä ja XPS-eristeitä. EPS-eriste on paisutettua polystyreeniä ja sen solurakenne on avonainen. XPS-eriste on suula-kepuristettua polystyreeniä, jonka solurakenne on suljettu. Suljettu rakenne tekee siitä kestävämmän ratkaisun haasteellisiin olosuhteisiin sen paremman lujuuden ja pienemmän veden imemiskyvyn vuoksi. (Minna Anttalainen, 2019.)

Routaeristeitä käytetään suojaamaan putkilinjaa tai jotakin muuta rakennetta, jotta se ei pääsisi jäätymään talvella, jos asennussyvyys on pienempi kuin roudan syvyys. Lisäksi routaeristeitä käytetään, jotta rakenteen alla oleva pohjamaa ei routisi. Etelä-Suomessa roudan syvyys on noin kaksi metriä ilman suojaavaa lumikerrosta. Noin kahden metrin syvyys vastaa kerran 50 vuodessa tulevaa pakkasmäärää. Kuvassa 10 on jaoteltu Suomen routasyvyudet. Routasyvyys vaihtelee vyöhykkeittäin. Etelässä roudan syvyys on 1,89 metriä ja Pohjoisimmassa kärjessä roudan syvyys on 2,5 metriä. Routaeristeet asennetaan tyypillisesti putkilinjan päälle niin, että eristeet peittävät putkilinjaa suuremman alueen. Tämä on erityisen tärkeää kylmille rakenteille, mutta myös lämpimät rakenteet tarvitsevat routaeristystä. Kuvassa 11 on XPS-eristeellä suojattua paineellista hulevesilinjaa.



Kuva 10. Roudansyvyys suomessa (Aalto yliopisto, Geotechnics kurssimateriaali, 2021)



Kuva 11. Hulevesi pumppaamon linjojen routaeristys XPS-eristeellä Suurmetsäntien laidassa vuonna 2020. Kuvan on ottanut Bo Telén.

3.10 Puistojen rakenteet

Kasvillisuudelle asennetaan usein suojarakenteita, joiden tarkoitus on parantaa istutettujen kasvien kasvuun lähdön edellytyksiä. Esimerkiksi istutuksen yhteydessä puiden juurelle asennetaan kastelukassi. Kastelukassin materiaali on PVC-muovia. Lisäksi puun rungon ympärille saatetaan asentaa suoja, joka pyrkii estämään jyrsijöitä syömästä puun kuorta talvikausien aikana. Taipuisa rungonsuoja on valmistettu PVC-muovista. Puille asennetaan usein myös ilmastusputkia, joilla maa puun ympärillä saa happea. Ilmastusputket ovat yleensä pätkä salaojaputkea, joka on upotettu puun kasvualustaan. Putken materiaali voi olla joko PVC:tä tai PE:tä. Kyseistä putkea voidaan käyttää myös kasteluun salaojaputken reikäisyyden vuoksi. Nurmikoiden ja perennaistutusten alle saatetaan asentaa kastelujärjestelmä, jossa järjestelmän putkistot ovat muovia. Esimerkiksi Dallapén puistossa on muovinen nurmen alainen kastelujärjestelmä.

Puistojen allasrakenteissa käytetään yleisesti UV-suojattua PVC-allasmuovia. Käytössä saattaa olla myös HDPE-tiivistyskalvoa tiivistämässä rakennetta. Kalvon avulla altaasta saadaan mahdollisimman vesitiivis. HDPE-kalvoa käytetään myös pohjavedensuojauksessa sekä kaatopaikoilla suojarakenteessa. Puistoissa ja viherrakentamisessa käytetään joissakin tilanteissa suodatinkankaan lisäksi myös erilaisia rikkakasvien kasvua estäviä kankaita istutusalueilla. Myös erityyppiset maisemointikankaat ovat käytössä viherrakentamisessa. Rikkakasvien kasvua voidaan estää myös biopohjaisilla tuotteilla, kuten erilaisilla kuorikatteilla tai biohajoavilla kankailla.

4 YKT-osapuolet ja heidän muoviset rakenteensa

Katujen ja puistojen infrasta osa on muun kuin Helsingin kaupungin omistuksessa, mutta niitä rakennetaan samalla kuin esimerkiksi katua perusrannetaan. Tätä toimintaa kutsutaan yhteisrakentamiseksi ja sitä ohjaa tilaajien välinen yhteistoimintasopimus, Yhteinen kunnallistekninen työmaa -sopimus (YKT). Yhteisrakentamishankkeissa on tyypillisesti useampi tilaaja samaan aikaan. Näitä eri tilaajia kutsutaan YKT-osapuoliksi. (Helsingin kaupunki, 2016) Tässä osiossa on kerrottu minkälaisia rakenteita eri YKT-osapuolet hankkeissa toteuttavat muovista ja käsitellään sitä, miten YKT-osapuolet ovat valinneet materiaalit rakenteisiinsa. Lisäksi eri osapuolilta kysyttiin, ovatko he pohtineet materiaalivalinnoissaan materiaaleista aiheutuvia päästöjä tai uusiomateriaalista valmistettujen tuotteiden käyttöä.

4.1 HSY

HSY:n käyttövesijohdot on pääosin tehty valurautaisista putkista. HSY käyttää muovisia putkia pääosin jätevesi- ja hulevesiviemäriin. Viettoviemärit, jotka kuljettavat jätevettä ovat yleensä PVC-putkia ja hulevesi viemärit, jos niissä käytetään muovia, ovat useasti PE- tai PP-putkia. Paineviemärit ovat yleensä PE-putkia. Lisäksi HSY:n eri rakenteiden suojaksi saattaa tulla muovisia osia. Esimerkiksi sulkujen ympärille usein asennetaan muovinen suoja-putki varmistamaan sulun karan toimintaa.

HSY:n edustajan kanssa pidettiin Teams-kokous 21.2.2023. Kokouksen yhteydessä HSY:n edustaja kertoi, että pääosin HSY:n putket on tehty polyeteenistä, polypropeenista tai polyvinyylidikloridista. Kokouksessa kerrottiin myös, että HSY on valinnut putkimateriaalit niiden rakenteelliset ominaisuudet edellä ja suosii neitseellisen materiaalin käyttöä. (HSY, 2023)

HSY:n materiaalivalinnat perustuvat heidän suunnittelukäytäntöihinsä. Valintaan vaikuttavat rakennettavan paikan vallitsevat olosuhteet ja putkiin kohdistuva rasitus. Esimerkiksi pilaantuneessa maassa voidaan käyttää difuusiosuojattua PE-putkea tai muuta, vallitsevat olosuhteet kestävä putkea. Tällainen voi olla esimerkiksi teräsputki, jossa on PE-muovipinnoite. Lisäksi HSY:n suunnitteluohjeistuksessa mainitaan, että HSY käyttää vain XPS-eristettä routaeristerakenteissa. (HSY, 2022)

HSY on kertomansa mukaan aiemmin tehnyt kokeita, joissa oli käytetty vesijohdossa kierrätysmateriaalia sisältävää putkea. HSY oli havainnut, että putken laatu heikkenee kierrätysmateriaalia käytettäessä niin paljon, että sitä ei kannata käyttää. Etenkin hygienia, mikä on vesijohdolle tärkeä ominaisuus, kärsii. HSY ei ole tehnyt kokeita kierrätysmateriaalia sisältävien

viemäriputkien käytöstä. Käytöstä poistettaessa HSY:n rakenteet lähtökoh-
taisesti jätetään maahan ja täytetään hiekalla. HSY on kertonut 27.2.2023,
että HSY:n on tarkoitus pilotoida kierrätysmateriaalien käyttöä Espoon Itä-
rannassa vuonna 2024. Pilottihankkeessa on tarkoitus kokeilla Uponorin
kierrätysmateriaalista valmistettuja putkia jätevesi- ja hulevesiviemäreinä.
HSY on tehnyt tutkielman eri putkimateriaalien ominaisuuksista sekä niiden
hyvistä ja huonoista puolista. (HSY, 2023.) Kuvassa 12 näkyy muoviputkesta
tehdyn viemärin satulakaivo. Kuvassa näkyy myös musta pystyssä oleva
putki, joka on vesijohdon sulun muovinen suoja-putki.



Kuva 12. Muovisen jätevesi viemärin satulakaivon rakentaminen Jäkälätien
ja Jäkäläpolun risteyksessä vuonna 2020. Kuvan ottanut Bo Telén.

4.2 Helen Oy – kaukolämpö- ja kaukojäähdytysrakenteet

Helen Oy:ltä kysyttiin heidän toteuttamiensa infrarakenteiden muovien käytöstä. Nykyään kaukolämpö- ja kaukojäähdytysputkissa on muovinen kuori, jonka alla on vaahtomuovista eristekerros ja putken keskellä on metallinen putki, jossa kuuma vesi kulkee. Kuori on Helenin mukaan tehty polyeteenistä. Kaukolämpöjärjestelmän kaivorakenteet ovat pääosin betonisia. Lisäksi kaukolämpö on käyttänyt joitakin polyeteenistä valmistettuja muovikaivoja. Helenin mukaan Energiateollisuus ry on energia-alan kattojärjestö ja edunvalvoja. Yhdistys ylläpitää suosituksia, joita käytännössä kaikki Suomen energiayhtiöt, Helen mukaan lukien, noudattavat. (Helen Oy, 2023.) Energiateollisuus ry kattojärjestönä toimiessaan koordinoi alan tutkimusta (Energiateollisuus ry, 2023). Kaukolämpöputket ovat käyttöikänsä pitkiä. Käyttöikä on Tampereen energian energiapäällikön mukaan 100 vuotta, jos niihin ei synny vaurioita ulkopuolisesta vaikutuksesta kuten rakentamisesta (Aamulehti, 2016). Kuten kuvassa 13 näkyy, on uudemmissa putkissa musta muovinen kuori, jonka alla eristekerros. Vanhemmissa putkissa ei ole kuorta ollenkaan ja eriste on lasi- tai mineraalivillaa. Vanhemmat putket vaativat betonisen arkun ympärilleen suojaksi.



Kuva 13. Kuvassa uudempiä ja vanhoja kaukolämpöputkia. Kuva otettu Sammaltorin LP-alueelta vuonna 2020. Kuvan on ottanut Bo Telén.

4.3 Helen Sähköverkko Oy

Helen Sähköverkko Oy:ltä tiedusteltiin heidän käyttämiään muovisia rakenteita. Sähköverkon kaapelisuoja-putket ovat pääosin PE-muovista valmistettuja keltaisia putkia. Lisäksi joskus, jos putkien peittösyvyys ei ole riittävä, täytyy putkien päälle laittaa niitä suojaamaan suojalevy. Suojalevyjä on teräksisiä tai HDPE-muovista valmistettuja. HDPE-muovi on korkeatiheyksistä polyeteeniä. Lisäksi kaapeleiden eristeissä on käytetty muovia. Vaatimukset muovisten putkien käyttöön tulevat Sähköverkon mukaan kaupungilta. (Helen sähköverkko Oy, 2023.) Kuvassa 14 on kaukolämpölinjan alitavia kaapelisuoja-putkia.



Kuva 14. HSV:n putkia Jäkälätien ja Jäkäläpolun kulmassa vuonna 2020. Kuvan ottanut Bo Telén.

Sähköverkolta kerrottiin, että heillä on käynnissä diplomityö Helen Sähköverkko Oy:n päästö-laskennasta. Päästö-laskennassa lasketaan konsernin hiilijalanjälkeä GHG-protokollan mukaisesti. GHG-protokolla on lyhenne

Greenhouse Gas Protocol käsitteestä. GHG-protokolla muodostaa maailmanlaajuisesti vakiintuneen mallin eri sektorien toiminnasta aiheutuvien kasvihuonekaasujen mittaamiseen ja hallitsemiseen. Lisäksi protokolla sisältää laskuvälineitä, joilla eri toimijat voivat laskea kasvihuonekaasupäästöjen määrää ja mitata päästöjenhallintaprojektien vaikutuksia. (Arttu Laiti, 2021.) Sähköverkko kerää laskennan yhteydessä tietoja materiaalien käytöstä ja laskennan valmistuttua heille selviää, miten paljon ja mitä materiaaleja on käytetty rakenteissa. Helenin on tarkoitus kehittää tiekartta ja ohjelma, jonka avulla voidaan vaikuttaa päästöihin. Sähköverkon mukaan päästöihin vaikuttaminen ja niiden vähentäminen on yhteispeliä kaupungin kanssa. Esimerkiksi yhteisrakentamisen tai uusiomateriaalien käytön osalta tehdään yhteisiä päätöksiä hankkeissa. Lähtökohtaisesti Sähköverkko suhtautuu positiivisesti uusiomateriaalien käyttöön. (Helen sähköverkko Oy, 2023.)

4.4 Auris Kaasunjakelu

Helsingissä on maahan asennettuja kaasulinjoja katujen ja puistojen alla. Aiemmin kaasuputkistot ovat olleet metallisia, mutta nykyään myös kaasulinjojen materiaali on vaihtunut pääosin muoviksi. Myynnissä olevat kaasunjakeluputket ovat materiaaliltaan PE-putkia. Kaasuputkissa käytetty polyeteeni on korkeatiheyksistä polyeteeniä, PEH:iä.

Auris Kaasunjakelu Oy:ltä kysyttiin sähköpostitse, minkälaisia rakenteita Auris Kaasunjakelu rakentaa muovista. Auris Kaasunjakelulta vastattiin, että he rakentavat lähes kaikki jakeluverkkonsa PEH-materiaalista tehdyistä putkista. Myös muut osat kuten muhvit, kulmat ja sulut on valmistettu samasta materiaalista. (Auris Kaasunjakelu, 2023.) PE-kaasuputkien käyttöiäksi odotetaan 100 vuotta Muoviteollisuus ry:n mukaan. (Muoviteollisuus ry, 2021).

Auris Kaasunjakelun mukaan materiaalien valintaan vaikuttaa maakaasuasetus. Maakaasuasetuksessa (1058/1993) viitataan putkistojen osalta Kauppa- ja teollisuusministeriön päätökseen maakaasuasetuksen soveltamisesta (1059/1993). (Suomen laki, 1993) Päätöksen (1059/1993) 30 §:ssä säädetään, että muovisissa maakaasuputkissa tulee käyttää saumattomia keskikovia tai kovia polyeteenistä valmistettuja putkia ja niiden osia. Putkien ja niiden osien tulee olla maakaasukäyttöön hyväksytyjä. (Suomen laki, 1993.)

Auris Kaasunjakelu ei ole varsinaisesti miettinyt käytettyjen materiaalien ympäristövaikutuksia tai niiden kierrätystä, mutta toimittaa kuitenkin yli jääneet putkimateriaalit Uponorille uusiokäyttöön. Auris Kaasunjakelu kertoi harkitsevansa kierrätysmateriaalista tehtyjen tuotteiden käyttöä, mikäli niitä markkinoille tulee ja ne soveltuvat kaasulle. (Auris Kaasunjakelu, 2023)

4.5 Teleoperaattorit

Suomessa suurimmat operaattorit ovat Elisa Oyj, Telia Oyj ja DNA Oyj. Operaattorien yhteystietoja kysyttiin Ficomilta, joka on alan kattojärjestö. Operaattoreilta kysyttiin muovien käytöstä heidän infrarakentamisessaan sekä ovatko he pohtineet ympäristöasioita materiaalivalintojen osalta tai uusiomateriaalien käyttöä rakenteissaan.

DNA kertoo vastauksessaan, että heidän rakenteistaan putket ja kaapelien suojakuoret sekä muut pienet liittimet sisältävät muovia. DNA käyttää PVC-putkia kaapelien suojaputkina. Käytetyt putket ovat halkaisijaltaan 50 mm ja 100 mm. Kevyenliikenteen alueelle käytetään halkaisijaltaan 50 mm ja 100 mm B-luokan putkia. Raskaamman liikenteen alueella käytetään 100 mm A-luokan putkia. B-luokan ja A-luokan putkien ero on niiden rengasjäykkyys. A-luokan suojaputkella rengasjäykkyys on 16 kN/m² ja se merkitään SN16, kun taas B-luokan putken rengasjäykkyys on 8kN/m² ja SN8. DNA:lta toimitettiin myös DNA:n oman henkilökunnan sekä DNA:n asennus-, sopimus- ja logistiikkakumppaneiden käyttöön tarkoitettu kierrätysopas. Oppaassa on kerrottu, miten erityyppiset jätteet tulee kierrättää. Oppaassa ei ohjeistettu muovin kierrätystä erikseen. Ohjeistuksen puuttuessa muovi päätynee sekajätteeseen, ellei sen kierrätystä ohjeisteta erikseen. (DNA Oyj, 2023) Elisa ja Telia eivät ehtineet vastata heille esitettyihin kysymyksiin tämän työn tekemisen aikana. Kuva 15 on DNA:n toimittama kuva tietoliikennekaapelien suojaputkista Hartwall-areenan työmaalla.



Kuva 15. Kuvassa DNA:n kaapelinsuojaputkia Hartwall-areenan työmaalta. Kuvan on ottanut Kari Värtinen.

5 Helsingin infrarakentamisen muovivirrat

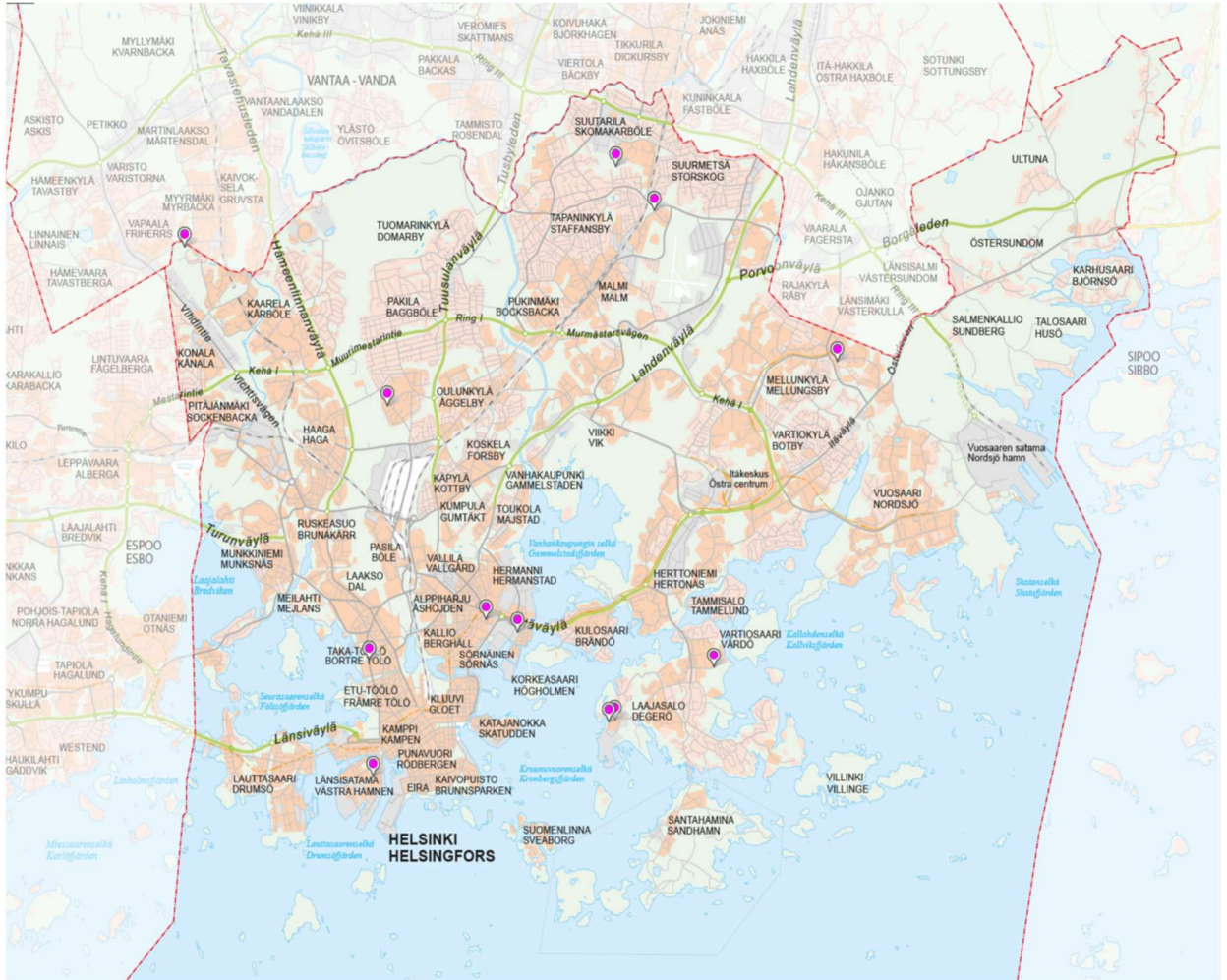
Helsingin kaupunki käyttää infrarakentamisessaan useita erityyppisiä muovisia tuotteita. Kaupungin teettämässä määrä- ja kustannusanalyysissä muoviset tuotteet on jaettu eri kategorioihin niiden käyttötarkoituksen mukaan. Tässä työssä käytettiin hyödyksi samoja kustannusarviota, joita oli käytetty määrä- ja kustannusanalyysissä. Kokonaisia hankkeita ja osaprojekteja oli 153 kappaletta. Niistä valittiin 12 kappaletta kokonaisia hankkeita tähän työhön tarkempaa analysointia varten. Valituista kohteista kuusi oli katuhankkeita ja kuusi oli puistohankkeita. Hankkeet valittiin satunnaisesti eri puolilta Helsinkiä. Taulukossa 2 on lueteltu tarkempaan tarkasteluun valitut hankkeet. Tarkastelussa tehtiin Rambollin toimittaman aineiston pohjalta kaavioita, joita käytettiin muovien käytön määrän selvittämiseen. Tässä osiossa esitetty kustannustieto on Rambollin toimittamaa.

Taulukko 2. Tarkasteluun valitut puisto- ja katuhankkeet.

Katuhankkeet	Puistohankkeet
Reposalmentie	Sorsapuisto
Naulakalliontie	Hyväntoivonpuisto
Honkasuontie	Joutsenpuisto
Mechelininkatu	Kalasadamanpuisto vaihe 5
Saaristolaivastonkatu	Saaristofregatinpuisto
Vilhonvuorenkatu	Tapulin liikuntapuisto

Tarkasteluun valituista katuhankkeista Mechelininkatu, Vilhonvuorenkatu, Naulakalliontie sekä Reposalmentie ovat olleet perusrakennushankkeita. Honkasuontie ja Saaristolaivastonkatu ovat uudisrakennushankkeita ja ne on toteutettu uusille Honkasuon ja Kruunuvuorenrannan asuinalueille.

Tarkasteluun valituista puistohankkeista Kalasadamanpuisto, Hyväntoivonpuisto, Joutsenpuisto ja Saaristofregatinpuisto ovat uudisrakennushankkeita. Tapulikaupungin liikuntapuisto ja Sorsapuisto ovat olleet perusrakennushankkeita. Osaa tarkasteluun valituista hankkeista ei olla Helsingin karttapalvelun mukaan vielä saatu valmiiksi. Esimerkiksi Joutsenpuisto on merkitty vielä rakenteilla olevaksi (Helsingin karttapalvelu, 2023). Kuvassa 16 on merkittynä pisteillä tarkempaan tarkasteluun valitut hankkeet.

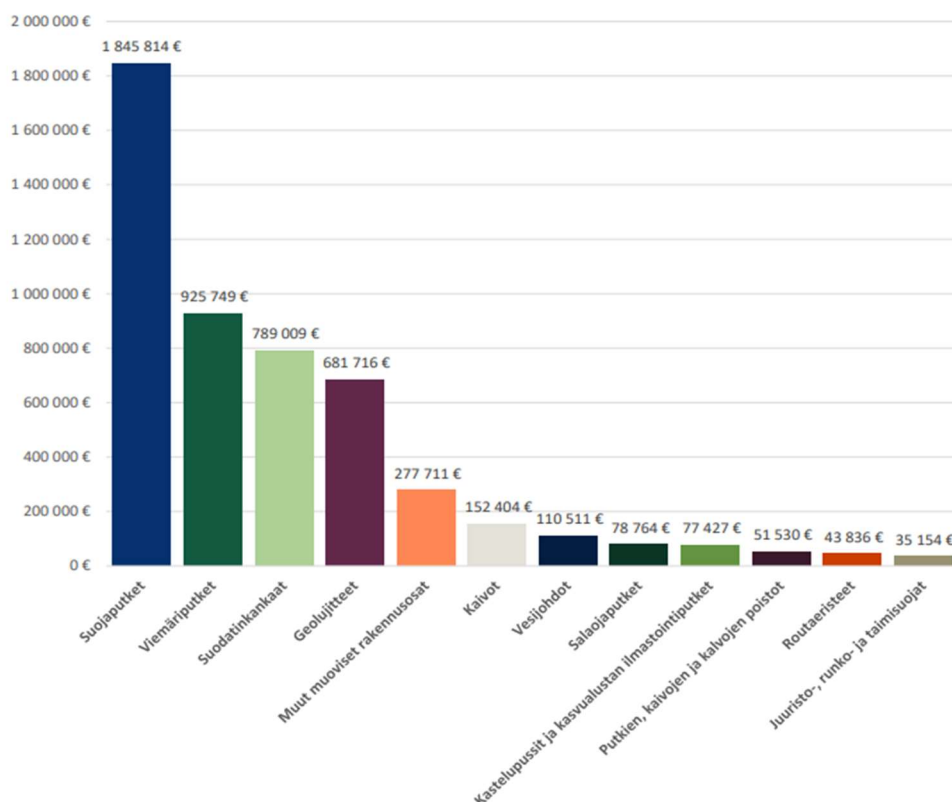


Kuva 16. Tarkasteluun valitut hankkeet kartalla (Helsingin karttapalvelu, 2023).

Helsingin kaupungin teettämän määrä- ja kustannusanalyysin mukaan muovituotteet ovat kahdeksanneksi suurin kustannuserä katu- ja puistohankkeissa. Muovi on kahdeksanneksi suurin kustannuserä myös, jos kustannukset erotellaan katu- ja puistohankkeiden välillä. Katuhankkeiden muoveihin on analyysin mukaan mennyt hieman yli kaksi kertaa enemmän rahaa, kun sitä verrataan puistohankkeiden muovien kustannuksiin. (Ramboll Finland Oy, 2022) Tämä voi johtua siitä, että katuhankkeissa on monimutkaisempia rakenteita, jotka ovat kalliimpia toteuttaa. Voi myös olla, että katuhankkeissa on enemmän muovia sisältäviä rakenteita tai käytetyt määrät ovat puistohankkeisiin verrattuna suurempia.

Määrä- ja kustannusanalyysin mukaan katu- ja puistohankkeiden suurin euronääräinen seliteluokka on suoja-putket. Suoja-putkia oli aineistossa noin 266 000 m. Seuraavaksi suurin seliteluokka on viemäriputket, joita oli aineistossa noin 19 000 m. Suodatinkankaat olivat määrä- ja

kustannusanalyysin mukaan kolmanneksi suurin seliteluokka. Niitä oli aineistossa noin 485 000 m². Lisäksi geolujitteita oli noin 100 000 m². Raportissa seliteluokat on merkitty kaavioihin niiden kustannusten mukaan, kustannukset kuitenkin antavat kuvaa siitä, kuinka paljon mitäkin rakennetyyppeä on laskettu hankkeissa olevan. (Ramboll Finland Oy, 2022.) Kuvassa 17 on kaikkien määrä- ja kustannusanalyysissä tarkasteltujen hankkeiden kustannusten jakautuminen muovien osalta.

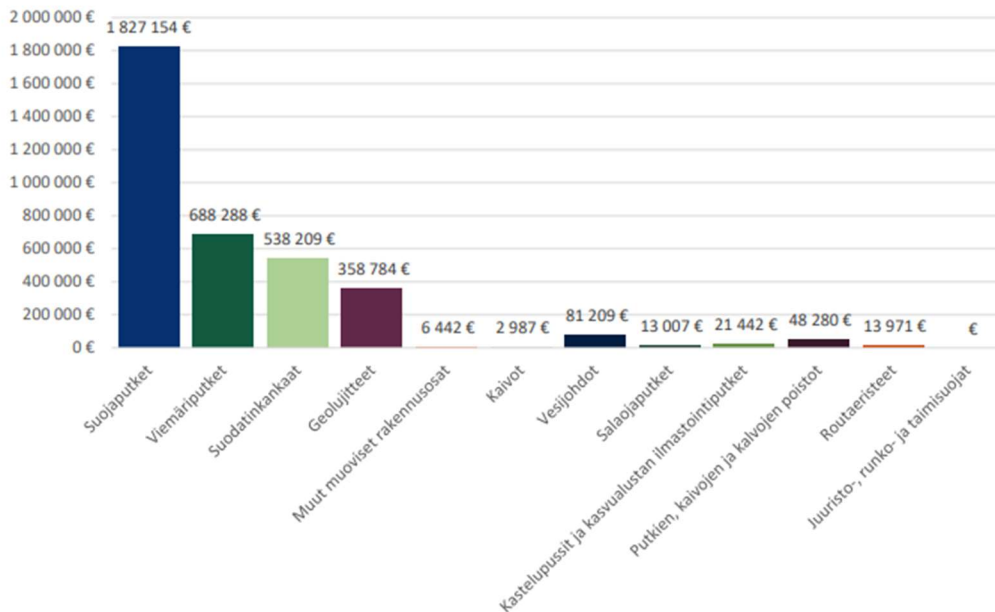


Kuva 17. Kaikkien hankkeiden kustannusten jakautuminen muovien osalta Rambollin toimittaman aineiston mukaan (Ramboll Finland Oy, 2022).

Aineistossa mitataan seliteluokkien määriä eri yksiköissä. Näiden määrien muuttaminen kustannuksiksi on helpottanut seliteluokkien välistä vertailua, koska osa luokista on neliömetreissä ja osa metreissä. Aineiston mukaan 98,9 % suojaputkista ja 74,3 % viemäriputkista on käytetty katuhankkeissa. Suodatinkankaista 68,2 % ja geolujitteista 52,6 % on käytetty katuhankkeissa. (Ramboll Finland Oy, 2022.) Suurin osa putkista on käytetty katuhankkeissa, kun taas suodatinkankaan ja geolujitteiden käyttö on tasaisempaa puisto- ja katuhankkeiden välillä. Näyttäisi siis siltä, että kaikkien hankkeiden osalta suurimmat muovia sisältävät rakenneluokat olisivat suojaputket, viemäriputket, suodatinkankaat ja geolujitteet. Aineiston mukaan puistoissa käytetään enemmän muovikaivoja.

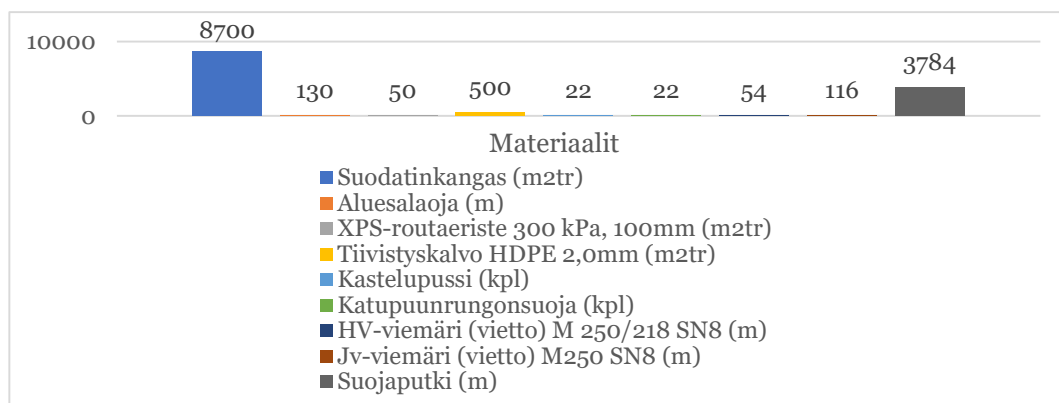
5.1 Katuhankkeet

Kadut ovat vakiintuneet yhdyskuntaa palvelevan infrastruktuurin sijaintipaikaksi. Katujen alle sijoitetaan valtaosa infrastruktuurista mukaan lukien kaapelisuoja-putket. Lisäksi kaivutyötä vähentävänä toimenpiteenä suoja-putkia saatetaan asentaa ns. varauksiksi. Kun tulevaisuudessa tarvitaan lisää sähkönsiirto- tai datakapasiteettia, on putki jo valmiiksi asennettuna maassa ja tarvitsee vetää vain kaapeli paikoillaan olevaan putkeen, eikä uuden putken asentamiseksi tarvitse käynnistää katuavaavaa työmaata. Katuihin asennetaan myös puistoihin verrattuna enemmän viemäriputkia ja vesijohtoja. Lisäksi katujen kuivatusta varten rakennetaan sadevesiviemäreitä. Suodatinkangasta kuluu katuihin myös paljon. Kadut eivät ole laajoja alueita, mutta niitä on kuitenkin enemmän kuin puistoja, minkä vuoksi niihin kuluu enemmän suodatinkangasta. Suodatinkangasta suunnitellaan ja asennetaan katuhankeissa usein vanhasta tottumuksesta, varmuuden vuoksi, myös alueilla, joissa ei sitä tarvittaisi. Tämä lisää sen kulutusta. Helsingin kaupungin geotekninen asiantuntija mainitsi tämän työn ohjausryhmän kokouksessa 27.3.2023, että vastaan oli tullut rakennushanke, jossa oli tietoisesti päätetty vähentää suodatinkankaan käyttöä jättämällä sitä pois suunnitelmista. Urakoitsija oli kuitenkin asentanut kankaan ajatellen, että sen puuttuminen oli virhe suunnitelmassa. Katuhankkeisiin geolujitteita kuluu suunnilleen saman verran kuin puistohankkeissakin. Tämä voi johtua siitä, että katuhankeissa pohjarakentamisratkaisut heikon pohjamaan alueella saattavat olla järeämpiä: esimerkiksi stabilointi tai paalulaatta. Stabilointia tai paalulaattaa käytetään katualueilla varmistamaan, että katurakenne kantaa katuun kohdistuvat liikennekuormat. Stabilointia tai paalulaattaa käyttämällä varmistetaan myös se, että katuun asetettujen putkilinjojen painumakriteerit täyttyvät ja kadun stabiiliteetin katsotaan olevan riittävä. Helsingissä ei käytetä geolujitteita katuhankeissa usein, sillä niiden on huomattu rajoittavan myöhemmin tehtäviä kaivutöitä. Kuvassa 18 on kustannusten jakautuminen katuhankeissa muovien osalta.



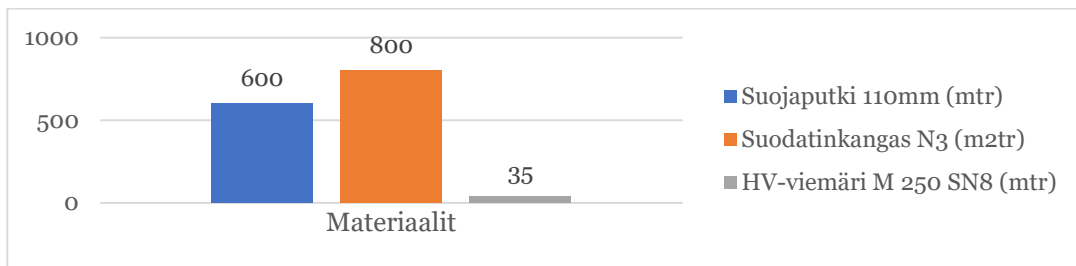
Kuva 18. Katuhankkeiden kustannustenjakautuminen muovien osalta Rambollin toimittaman aineiston mukaan. (Ramboll Finland Oy, 2022)

Honkasuontien hankkeen tarkemmassa tarkastelussa suurimmat seliteluokat olivat suodatinkangas N3 ja suojaputket. Suodatinkangasta oli laskettu 8700 m²tr ja suojaputkea oli laskettu 3784 m. Suojaputkien määrää ei ollut merkitty erikseen Rambollilta saatuun Excel- tiedostoon, vaan määrä on laskettu tiedostosta löytyneistä suojaputkien maatöiden metrimäärästä. Kolmanneksi suurin luokka oli HDPE- tiivistyskalvo, jota oli laskettu menevän 500 m²tr. (Ramboll Finland Oy, 2022.) Honkasuontie on Helsingin karttapalvelun mukaan noin 260 metriä pitkä katu, jonka varrella on vain kaksi tonttia. Viemäriinjosten pieni määrä saattaa johtua siitä. Honkasuontien maaperästä ei ole Helsingin karttapalvelussa tietoa, mutta sen ympärillä on kalliota, savea ja hiekkaista maata. Voi siis olettaa, että näitä kaikkia jää kadun alueelle jossakin määrin.



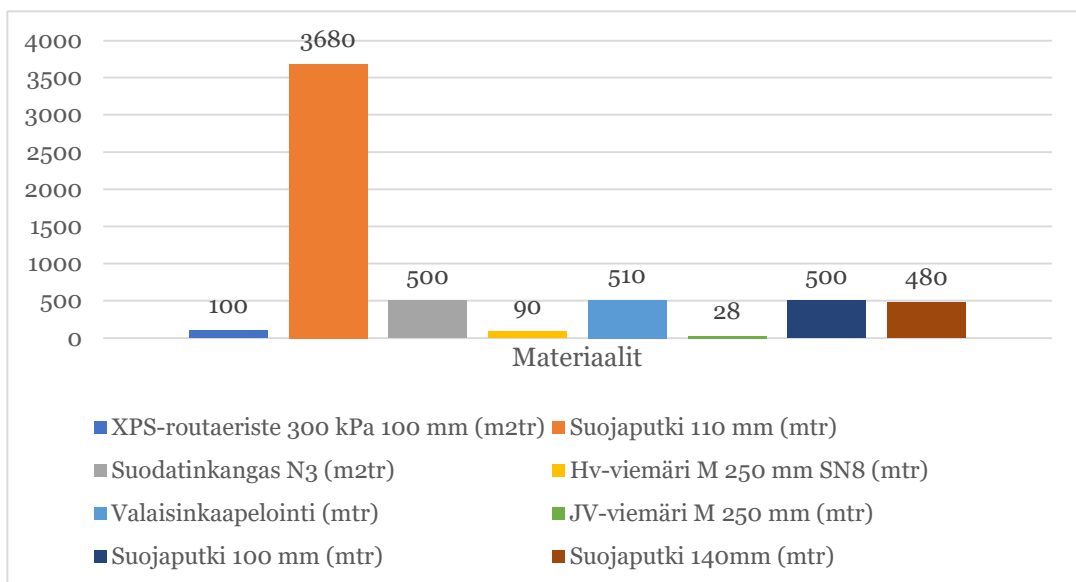
Kuva 19. Honkasuontien muovien määrät luokittain.

Saaristolaivastonkujalla suurin seliteluokka oli suodatinkangas, jota oli arvoitu kuluvan 800 m²tr. Toiseksi suurin luokka oli kaapelien suoja-putket, joita oli arvoitu olevan 600 mtr. Saaristolaivastonkuja on noin 90 m pitkä kahden korttelin välinen kevyenliikenteen ja huoltoajon käytössä oleva katu Kruunuvuorenrannassa. Käytettyjen materiaalien vähäinen määrä saattaa johtua kadun vähäisestä pituudesta, sekä varsinaisen yhdyskuntaa palvelevan infrastruktuurin sijoittumisesta kortteleita ympäröiville kaduille. Saaris-
tolaivastonkuja on rakennettu kallion päälle (Helsingin karttapalvelu, 2023).



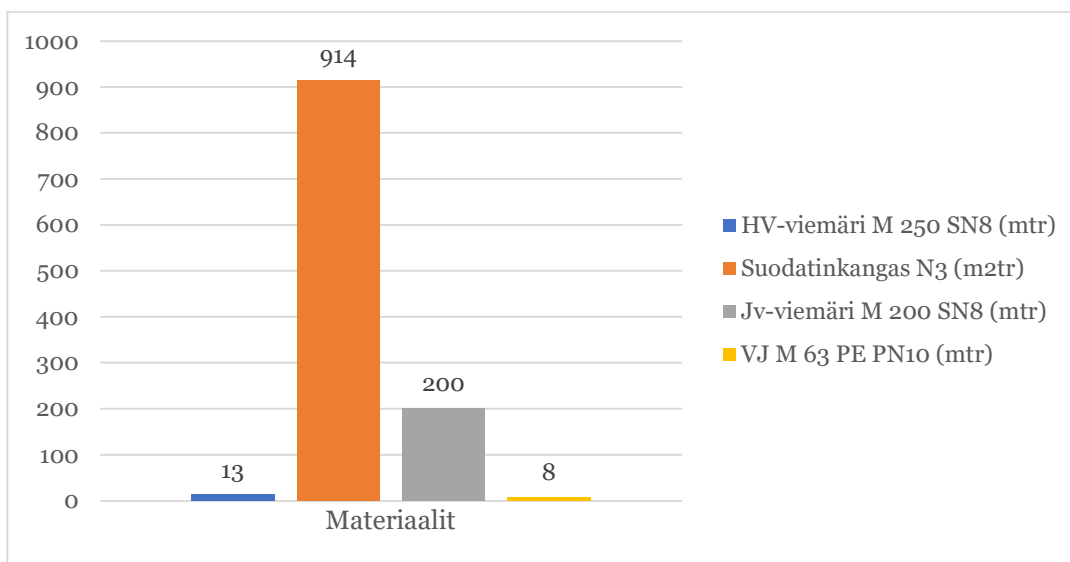
Kuva 20. Saaristolaivastonkujan muovien määrät luokittain.

Naulakalliontiellä suurimmat luokat olivat kaapelien suoja-putket, joita oli yhteensä 4660 mtr. Seuraavaksi suurimmat seliteluokat olivat suodatinkangas ja valaistuskapelointi. Suodatinkangasta oli arvioitu hankkeen kustannusarviossa menevän noin 500 m²tr. Naulakalliontie on Mellunmäessä sijaitseva tonttikatu. Naulakalliontie on rakennettu hiekkaisen pohjamaan päälle (Helsingin karttapalvelu, 2023).



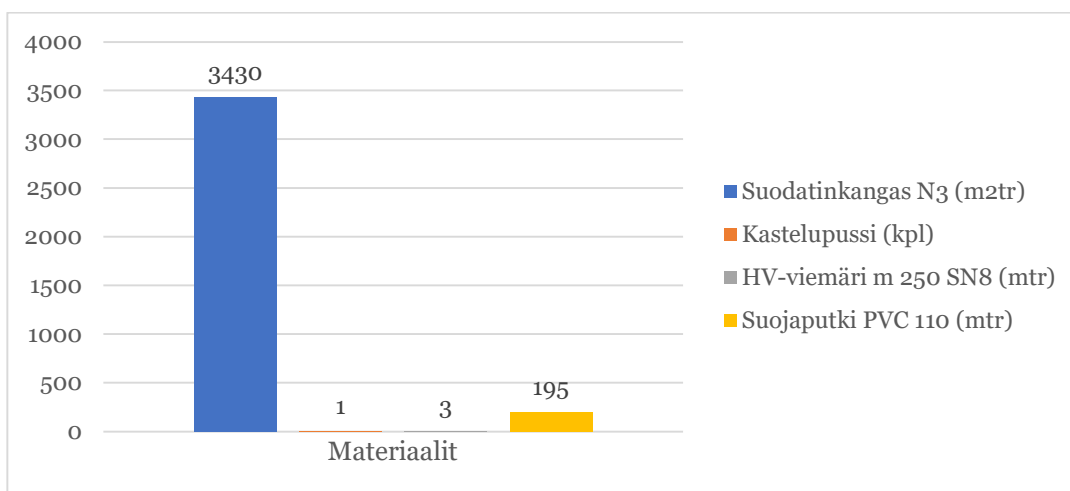
Kuva 21. Naulakalliontie muovien määrät luokittain.

Vilhonvuorenkadun hankkeessa suodatinkangas oli suurin seliteluokka. Hankkeen painopiste näytti olevan kustannusarvion mukaan viemärilinjojen saneeraamisessa, sillä niitä oli kustannusarviossa toiseksi eniten. Vilhonvuorenkadun hanke on noin 100 m pitkä tonttikadun osuus Sörnäisissä. Vilhonvuorenkatu on rakennettu kallioisen maan päälle (Helsingin karttapalvelu, 2023).



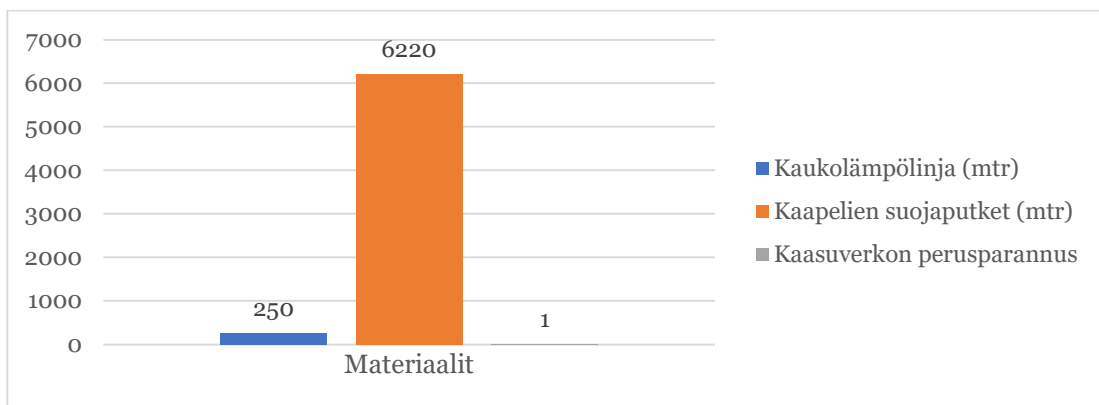
Kuva 22. Vilhonvuorenkadun muovien määrät luokittain.

Reposalmentiellä suurin luokka oli suodatinkangas, jota oli arvioitu hankkeeseen 3430 m²tr. Toiseksi suurin luokka oli suojaputket, joita oli arvioitu hankkeeseen 195 mtr. Reposalmentien hankkeessa on jatkettu kokoojakatua parantamalla ajoyhteyttä Yliskylän venesatamaan. Reposalmentie on rakennettu osittain täyttömaan ja osittain hiekkaisen maaperän päälle (Helsingin karttapalvelu, 2023).



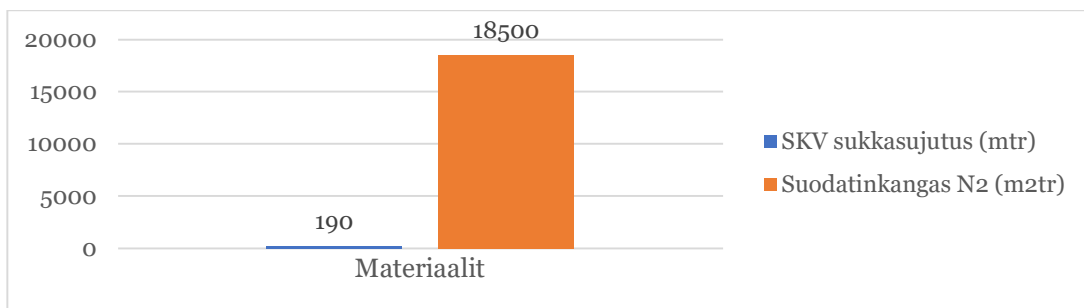
Kuva 23. Reposalmentien muovien määrät luokittain

Mechelininkadun hanke oli noin kaksi kilometriä pitkä keskustan ohittavan pääkadun perusparannus. Hankkeen muovit oli jaettu eri YKT-toimijoille. Esimerkiksi HSY:n ja teleoperaattorien rakenteet oli eroteltu. Lisäksi Auris Kaasunjakelun rakenteita ei ollut eroteltu, vaan ne oli ilmoitettu yhtenä 104 200 € summana, joka oli nimetty kaasuverkon perusparannukseksi. Operaattorien kaapelien siirrot ja uusiminen oli suurin luokka, niitä oli arvioitu hankkeeseen 6220 mtr. Helenin kaukolämpölinjan uusiminen oli toiseksi suurin luokka. Kaukolämpölinjaa oli arvioitu uusittavan 250 mtr. Kaasuverkon perusparannuksesta ei ollut tarkempaa tietoa. Mechelininkatu on karttapalvelun maaperäkartan mukaan rakennettu pääosin kallioisen pohjamaan päälle, mutta sen varrella on kohtia, joissa pohjaa on täytettyä tai hiekaista.



Kuva 24. Mechelininkadun muovit luokittain Gasumin, Helenin ja teleoperaattorien osalta.

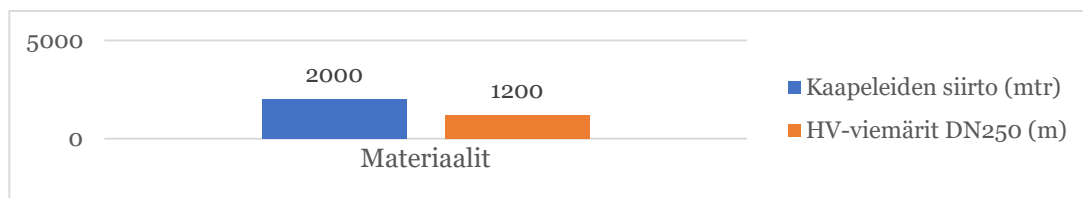
Suodatinkangas oli HSY:n osuudessa suurin luokka ja sitä oli arvioitu hankkeeseen 18 500 m²tr. Lisäksi toinen luokka HSY:n osuudessa oli sukkasujutus, jota oli arvioitu hankkeeseen 190 mtr.



Kuva 25. Mechelininkadun muovit luokittain HSY:n osalta.

Kaupunkiympäristön toimialan osuudessa suurin luokka oli kaapeleiden siirto, jota oli arvioitu hankkeeseen 2000 mtr. Lisäksi hankkeeseen oli arvioitu 1200 m hulevesiviemärien 250 mm putkia. Kokonaisuudessaan

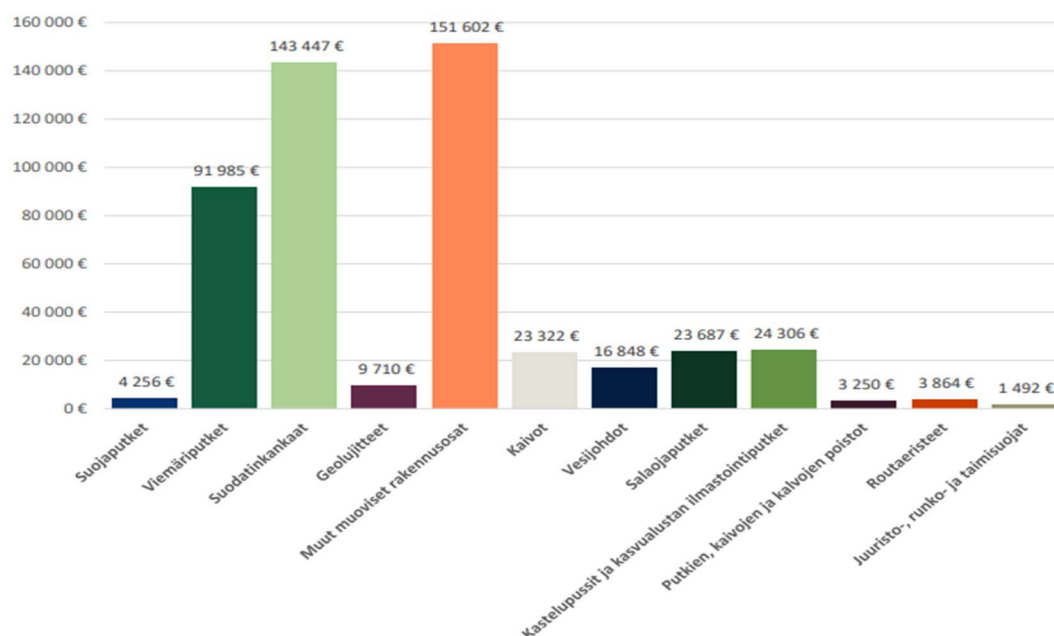
suurimmat luokat Mechelininkadun hankkeessa olivat kaapelien suojaputket ja suodatinkangas. Kokonaisuudessaan kaapelien suojaputkia oli hankkeeseen arvioitu 8220 mtr ja suodatinkangasta 18 500 m²tr.



Kuva 26. Mechelininkadun muovit luokittain Helsingin kaupunkiympäristön osalta.

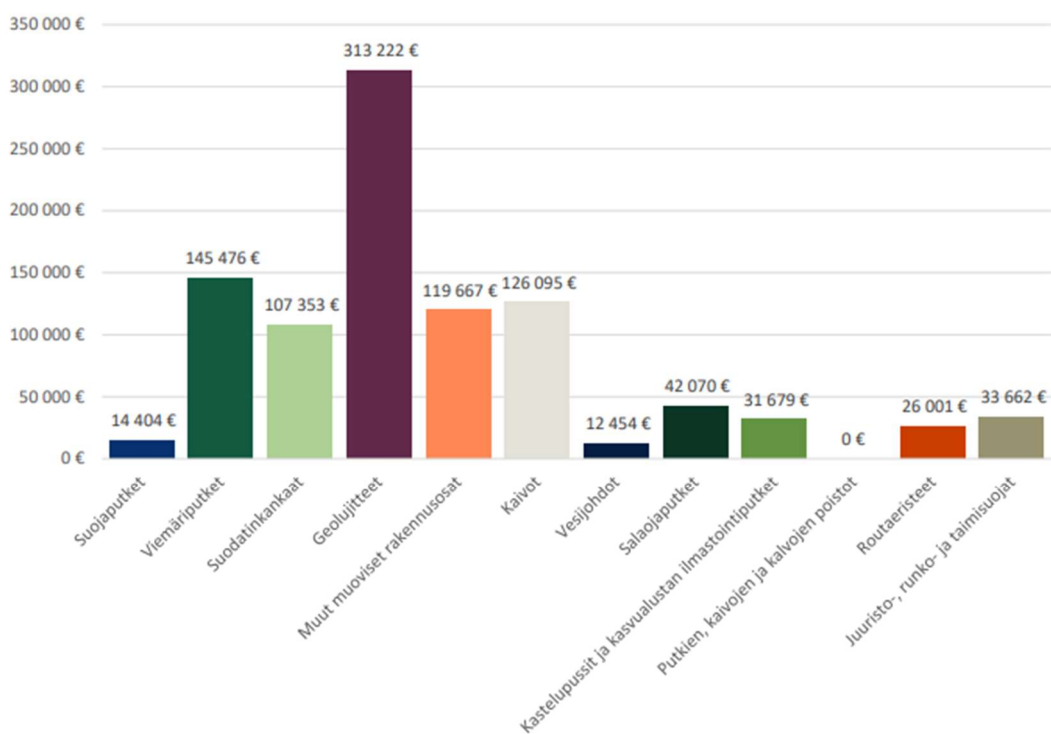
5.2 Puistohankkeet

Puistohankkeissa muovin käyttökohteissa on eroja riippuen siitä, onko hanke perusparannus- vai uudisrakennushanke. Perusparannushankkeissa muovia on mennyt eniten suodatinkankaisiin sekä viemäriputkiin. Muut muoviset rakennusosat ovat myös suuri kululuokka. Tästä kululuokasta valtaosan muodostaa raportin mukaan yksittäinen siltarakente. Kyseisen siltarakenteen päällysrakenteessa on polymeeripinnoite, mikä on laskettu raportissa muoviksi. Raportin mukaan polymeeripinnoitteen hinta oli 150 000 €. Kuvassa 27 on perusparannettujen puistojen kustannuksien jakautuminen.



Kuva 27. Puistojen perusparannushankkeiden kustannustenjakautuminen muovien osalta Rambollin toimittaman aineiston mukaan (Ramboll Finland Oy, 2022).

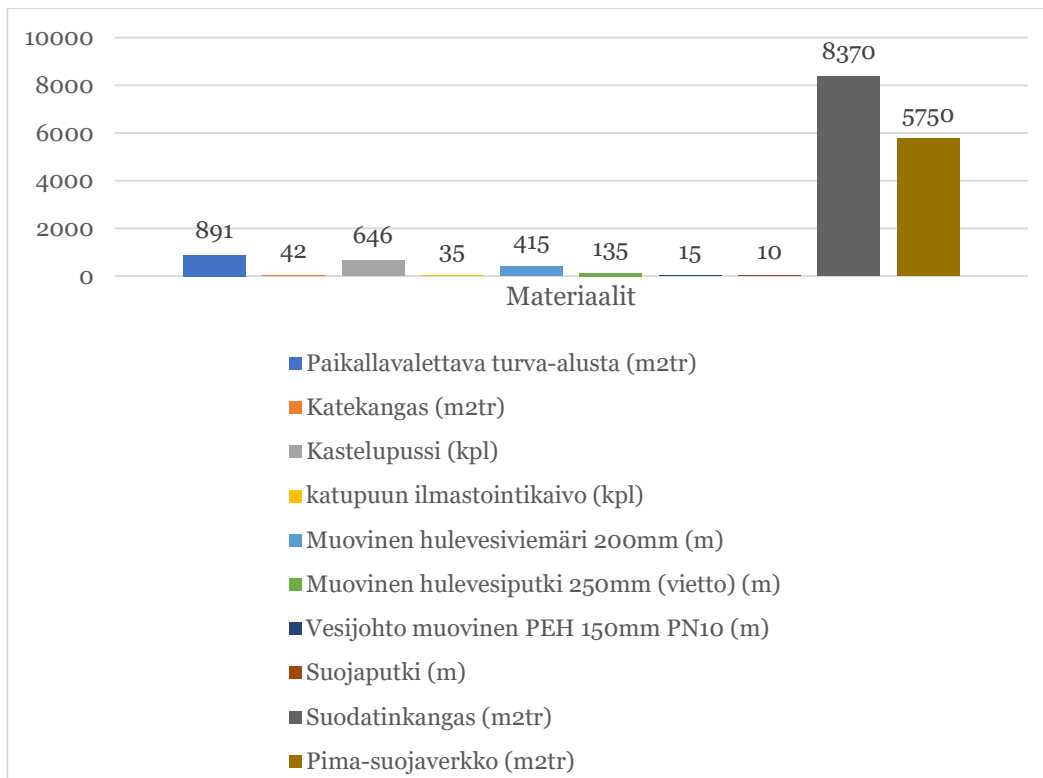
Uudisrakennushankkeissa eniten muovia on mennyt geolujitteisiin. Viemäriputket, suodatinkangas, muut muoviset rakennusosat ja kaivot ovat kaikki keskenään saman suuruisia seliteluokkia. Kuvassa 28 on uudisrakennettujen puistojen kustannusten jakautuminen.



Kuva 28. Puistojen uudisrakennushankkeiden kustannusten jakautuminen muovien osalta Rambollin toimittaman aineiston mukaan (Ramboll Finland Oy, 2022).

HSY ohjeistaa kaivojen rakentamista. Puistojen suurempi muovisten kaivojen määrä selittyy sillä, että niiden ei tarvitse kestää samanlaisia liikennekuormia kuin katualueiden kaivojen.

Hyväntoivonpuisto-urakka 4 -hankkeessa suurin muoveja sisältävä luokka oli suodatinkankaat, joita oli arvioitu menevän yhteensä 8370 m²tr ja toiseksi suurin oli pima-suojaverkko, jota oli arvioitu menevän 5750 m²tr. Hyväntoivonpuisto on rakennettu Jätkäsaaren alueelle, jossa on ollut pilaantunutta maata aiemman satamatoiminnan takia. Lisäksi Hyväntoivonpuistoon vietiin muuta lievästi pilaantunutta maata täyttömaiksi, jotka kapselointiin puiston alle. (Oona Niiranen, 2016.) Kolmanneksi suurin luokka oli paikalla valettava turva-alusta, jota oli arvioitu menevän 891 m²tr. Turva-alustaa rakennetaan lasten kiipeilytelineiden ja keinujen alle, pehmentämään mahdollisia putoamisia. Asennettavan turva-alustan tulee täyttää asetuksen EN 1177:2008 turvallisuusvaatimukset. Maaperäkartan mukaan Hyväntoivonpuiston alue on täyttömaata.



Kuva 29. Hyväntoivonpuiston muovien määrät luokittain.

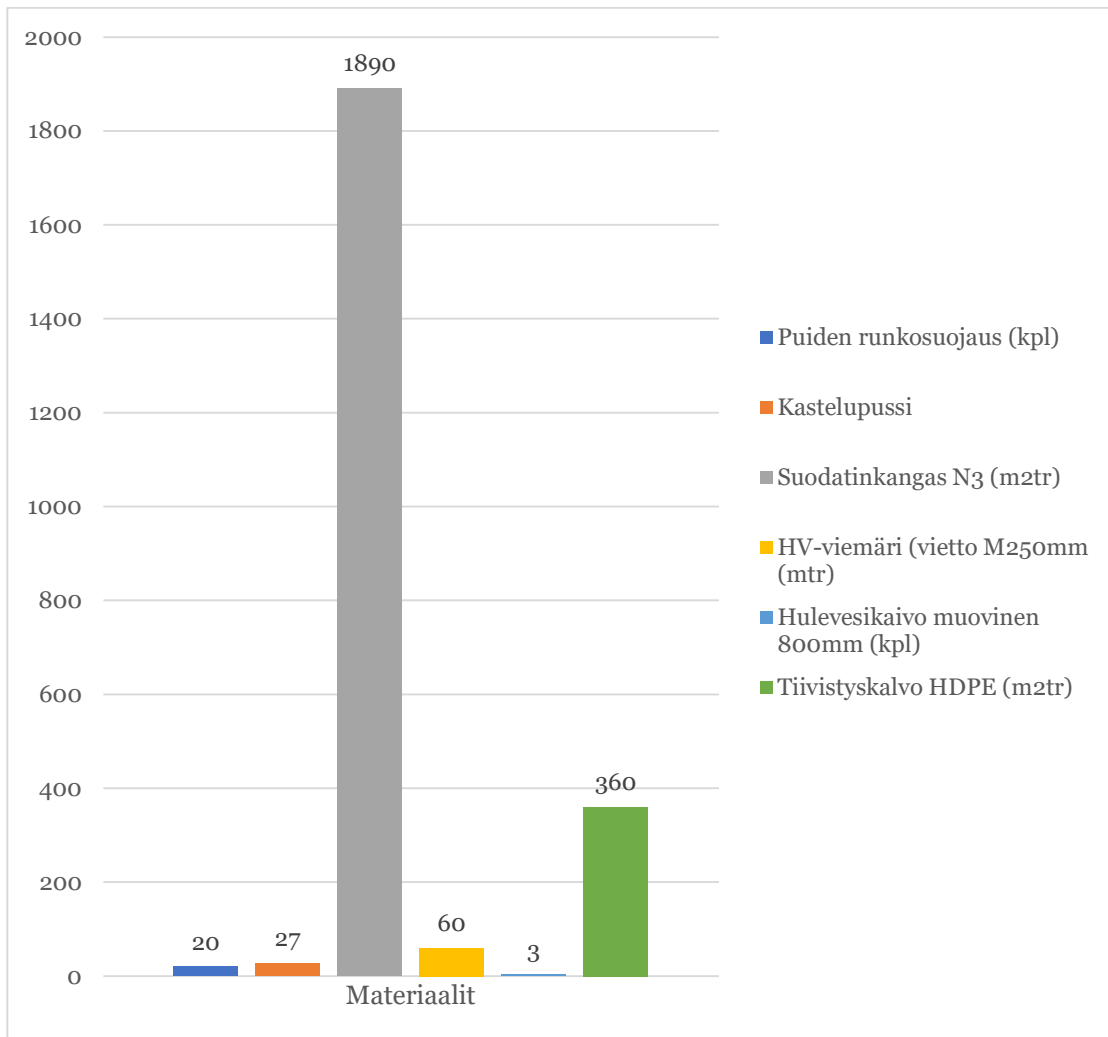
Joutsenpuiston-hankkeeseen ei ole merkitty erikseen muovituotteita ollenkaan, mutta kyseiseen hankkeeseen on merkitty tuotteistettuja kasvualustoja eri kasvityypeille ja ne on ilmoitettu m³tr yksikössä. Näihin kasvualustoihin mahdollisesti kuuluu esimerkiksi suodatinkangas kasvualustan ja pohjamaan väliin. Maaperäkartan mukaan Joutsenpuiston alue on stabiloitua sa-vea.

Kalatatamanpuiston viidennessä urakkavaiheessa ei ollut aineiston mukaan paljoa muovia. Silti suurin seliteluokka oli suodatinkangas, jota oli arvioitu meneväksi 155 m²tr. Aineistossa esiintyi myös samaa tuotteistettua kasvualustaa kuin Joutsenpuistossakin. Lisäksi Kalatatamanpuistoon oli arvioitu 6 kpl kastelupusseja ja 6 kpl kanisuoja. Viides urakkavaihe näyttäisi olevan arvioitujen materiaalien pohjalta enemmän viimeistelytyötä. Kalatatamanpuisto on rakennettu pääosin täyttömaalle. (Helsingin karttapalvelu, 2023)



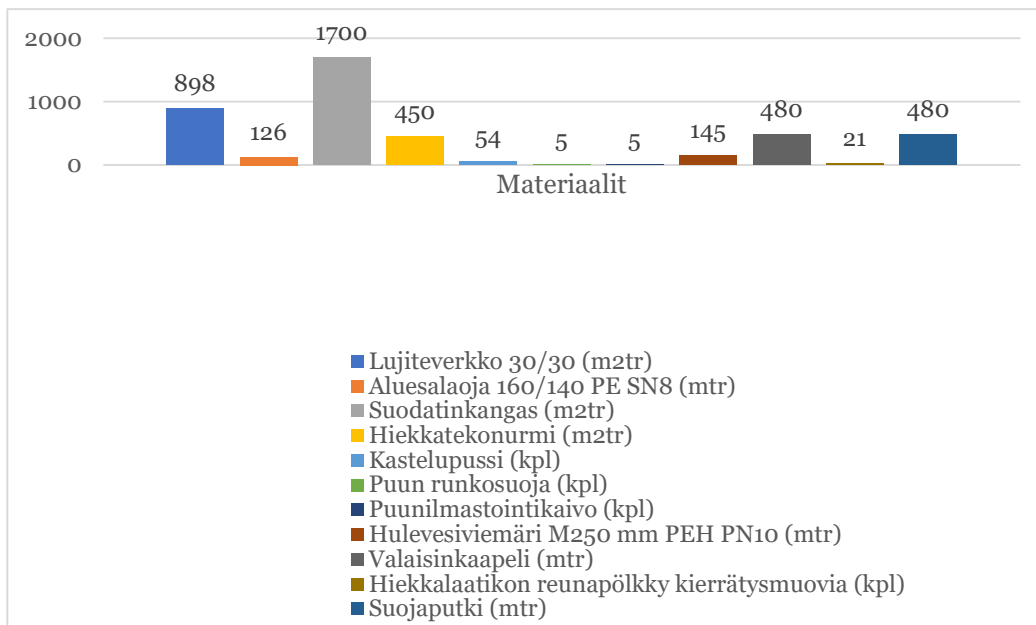
Kuva 30. Kalatatamanpuiston urakkavaiheen 5 muovien määrät luokittain.

Sorsapuistossa suurin luokka oli suodatinkangas, jota on arvioitu kuluvan noin 1890 m²tr. Toiseksi suurin luokka oli tiivistyskalvo, jota oli arvioitu kuluvan 360 m²tr. Hanke sisälsi myös muutaman muovisen kaivon ja 60 mtr muovista hulevesilinjaa. Sorsapuisto on rakennettu moreenisen maaperän päälle (Helsingin karttapalvelu, 2023).



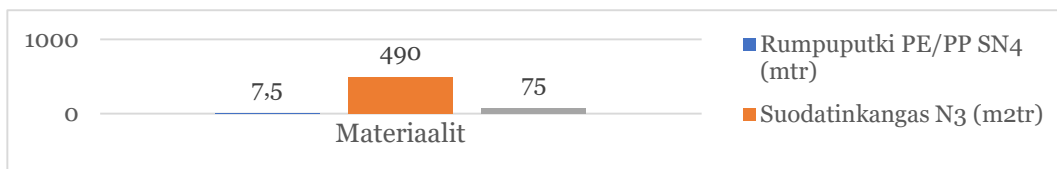
Kuva 31. Sorsapuiston muovien määrät luokittain.

Tapulikaupungin liikuntapuiston hankkeessa suurin luokka oli suodatinkangas ja toiseksi suurin oli 30/30 lujiteverkko. Hanke näyttää olevan geoteknisesti heikolla pohjamaalla, koska hankkeeseen oli laskettu mukaan myös vaahtolasikevennyksiä. Valaisinkaapelointi ja kaapelien suojaputket olivat myös suuri seliteluokka hankkeessa. Liikuntapuiston tekonurmi oli vasta neljänneksi suurin seliteluokka. Hankkeessa oli myös jonkin verran salaojittusta ja hulevesilinjojen rakentamista. Tapulikaupungin liikuntapuisto on rakennettu savisen pohjamaan päälle (Helsingin karttapalvelu, 2023).



Kuva 32. Tapulikaupungin liikuntapuiston urakkavaiheiden 1&2 muovien määrät luokittain.

Saaristofregatinpuiston suurin seliteluokka oli suodatinkangas, jota oli arvioitu kuluvan 490 m²tr ja toiseksi suurin luokka oli XPS-eriste, jota oli arvioitu kuluvan 75 m²tr. Saaristofregatinpuisto on rakennettu kallioisen maaperän päälle (Helsingin karttapalvelu, 2023).



Kuva 33. Saaristofregatinpuiston urakkavaihedden 1&2 muovien määrät luokittain.

Kaikkia kohteita tarkastellessa näyttäisi siltä, että suurimmat muovia sisältävät luokat katuhankkeissa ovat suodatinkankaat ja kaapeleiden suojaputket. Katuhankkeissa nousivat myös esiin hulevesi- ja jätevesiviemärien putket. Puistohankkeissa suurimmat muovia sisältävät luokat olivat suodatinkankaat ja geolujitteet. Lisäksi joissakin kohteissa oli olosuhteisiin liittyviä suurempia luokkia kuten esimerkiksi Hyväntoivonpuistossa, jossa oli käytetty pima-verkkoa pilaantuneiden maiden kapselointiin. HDPE-tiivistyskalvo oli myös, joissakin puistokohteissa suhteellisen suuri luokka.

6 Ympäristövaikutukset ja vaihtoehtojen arviointi

Tässä osiossa pohditaan muovisten materiaalien ympäristövaikutuksia. Lisäksi pohditaan, onko muovi korvattavissa vaihtoehtoisella materiaalilla. Vaihtoehtoja verrataan muovisiin rakenteisiin ja pohditaan, onko niitä mahdollista tai kannattavaa käyttää muovisten sijasta.

6.1 Muovien ympäristövaikutukset

Muoveja verrattaessa polypropeeni materiaalina tuottaa vähiten hiilidioksidipäästöjä per kilogramma polypropeenia. Polyeteenillä on toiseksi korkein päästöarvo ja polyvinyylidikloridi eli PVC tuottaa eniten päästöjä valmistettaessa. Polypropeeni tuottaa valmistettaessa 1,63 kg/kg päästöjä. Polyeteenin vastaava arvo on 1,8 kg/kg ja polyvinyylidikloridin 1,99 kg/kg. (Suomen ympäristökeskus, 2022.) Verrattaessa PVC-, PE-, ja PP-putkia, jotka ovat saman mittaisia ja joilla on sama halkaisija keskenään, on PP-putkella pienin päästöarvo.

Taulukossa 3 on merkittynä eri muovien päästöarvot per metri 315 mm halkaisijan putkelle. Taulukkoon on lisätty myös betoninen 300 mm Dr-putki vertailun vuoksi. Päästöarvoina on käytetty SYKE:n taustaraportissa olevia arvoja. 315 mm koko valikoitui vertailuun siksi, että siitä kokoluokasta löytyi saman kaltaiset putket jokaisesta muovista. Vertailussa PP-putkella oli pienin päästöarvo ja PVC-putkella toiseksi pienin. PP- ja PVC-putkilla oli sama rengasjäykkyys eli SN8, kun taas PE-putkelle oli ilmoitettu arvo PN10. PN-arvo liittyy siihen, että PE-putkia voidaan käyttää paineellisina. Koska PE-putkea voidaan käyttää paineellisena, on sen seinämäpaksuuden oltava suurempi kuin paineettomien ja siksi polyeteenistä valmistetun putken päästöarvo on reilusti suurempi kuin PVC-, tai PP-putken.

Taulukko 3. 315 mm putken vertailu eri muovimateriaalien ja betonin välillä. (Suomen ympäristökeskus, 2022)

Materiaali	Halkaisija (mm)	Pituus (m)	Päästöarvo/metri (kg CO ₂ ekv./m)	Putken päästöarvo/ 6 m putkea (kg CO ₂ ekv.)
PVC	315	6	28,4	170,4
PP	315	6	19,71	118,3
PE	315	6	42,6	255,6
Betoni	300	2,25	27,8	166,8

Hiilidioksidipäästöjen lisäksi muovisista tuotteista päätyy luontoon mikro-muoveja, jotka kulkeutuvat maasta ja vesistöistä kasveihin ja kasvien kautta eläimiin sekä ihmisiin (Tea Karjalainen, 2021). Häkkinen et al. (2019) tutkimuksessa mainitaan myös, että muoveja päätyy ympäristöön mikro- ja makromuodossa, mikä aiheuttaa terveyshaittoja eliöille. Luontoon päätyneet muoviroso voi myös sulautua osaksi ympäristöään, kuten oli käynyt Reutersin mukaan Brasiliassa (Reuters, 2023).

Päästöihin liittyen tulisi päättää, onko painopiste muovin käytön vähentämisessä, CO₂-päästöjen pienentämisessä vai onko tarkoituksen mukaisinta vahvistaa muovin kierrätystä. Muovin turhan käytön lopettaminen on helpoin tapa pienentää käytetyn muovin määrää. Tällöin myös ympäristöön päätyvän mikromuovin määrä vähenee, kuin myös valmistuksesta ja jätehuollosta aiheutuvat CO₂-päästöt. Jos taas halutaan vähentää pelkästään hiilidioksidipäästöjä, täytyisi muoveja tai uusiomateriaaleja käyttää enemmän niiden pienemmän CO₂ ekv. arvon vuoksi.

Muovia voidaan korvata mineraalipohjaisilla materiaaleilla. Mineraalipohjaiset materiaalit ovat usein muovisia painavampia, jolloin niiden kuljetamisesta muodostuu enemmän päästöjä. Mineraalipohjaisten materiaalien tuottaminen ja prosessointi tuottaa myös päästöjä. Mitä enemmän mineraalipohjaisia materiaaleja joudutaan prosessoimaan, sitä suurempi siitä aiheutuva hiilijalanjälki on. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös uusiomuovista valmistettuja tuotteita. Uusiomuovituotteilta puuttuu kuitenkin niiden laatua ja käytettävyyttä määrittelevät sertifikaatit. Lainsäädännössä tai kaupungin omissa käytännöissä vaaditaan sertifikaattia rakentamisessa käytettävältä tuotteelta.

Puhtaasti materiaalien aiheuttamien päästöjen perusteella esimerkiksi kaapeliensuojaputkiksi olisi parempi käyttää polyeteenistä valmistettuja putkia kuin PVC-putkia. Hulevesiputkiksi voisi tämän tiedon perusteella asentaa polyeteeniputkien sijasta polypropeeniputkia ja näin saada aikaan pienemmän hiilijalanjäljen rakenteelle. Usein rakenteille ja niiden kestävyydelle on vaatimuksia, mitkä vaikuttavat rakenteen materiaalien valintaan hiilijalanjälkeä enemmän. Materiaalivalintaa tehdessä pohditaan lisäksi rakenteen elinikää, sillä rakenteen korjaaminen voi olla haasteellista ja kallista. Korjaamisesta syntyy hiilidioksidipäästöjä. Näin ollen kestäväällä ratkaisulla voidaan vähentää elinkaaren aikana syntyviä hiilidioksidipäästöjä. Esimerkiksi, jos tarvitaan putkirakenne, joka ei reagoi kemiallisiin aineisiin, saatetaan valita materiaaliksi polyeteenistä tehty tuote polypropeenin sijaan. Kaivattaessa iskuja kestävää putkirakennetta, saatetaan valita materiaaliksi PVC muiden muovien sijasta.

Antti Torkki on tehnyt vuonna 2020 diplomityön purkuprosessin roolista rakennus- ja purkujätteen kierrätyksen parantamisessa. Diplomityössä mainitaan, että suurin osa muovijätteestä menee energiajätteeksi kierrätyksen sijaan. Tämä johtuu siitä, että riittävän laajan kierrätyksen järjestäminen on haasteellista rajallisen tilan ja muovijakeiden suuren määrän vuoksi. (Antti Torkki, 2020.)

Häkkinen et al. (2019) tutkimuksessa mainitaan, että muovit vapauttavat itsestään kasvihuonekaasuja, kun se altistetaan uv-säteilylle. Vapautuvat kasvihuonekaasut ovat tutkimuksen mukaan metaania ja etyleeniä. Häkkinen et al. mukaan, jos tuote sisältää kierrätettyä materiaalia on tuote tehty sandwich-menettelyllä. Sandwich-menettelyllä tehdyssä tuotteessa keskellä on kierrätetty materiaali ja molemmin puolin on neitseellistä materiaalia, joilla on paremmat ominaisuudet kuin kierrätetyllä materiaalilla.

Suomessa muovien kierrätys on matalalla tasolla (Muoviteollisuus ry, 2023). Rakennuslehdessä on julkaistu 3.5.2023 (Rakennuslehti, 2023) artikkeli, jossa Muoviteollisuus ry:n toimitusjohtaja ja Motiva Oy:n osaamisen kehittämisen asiantuntija vaativat uusiomuovien käytön lisäämistä. Samaan aikaan toukokuussa 2023 Brown et al. julkaisivat tutkimuksen (Brown et al. 2023), jonka mukaan muovin kierrättämisen prosessi ei ole niin selkeä kuin on luultu. Tutkimuksen mukaan muovin kierrätyslaitokset ovat mahdollisia mikromuovien lähteitä ja itse kierrätysprosessi tuottaa mikromuoveja. Prosessissa tehtävän muovien pesun sanotaan mahdollisesti luovan lisää mikromuoveja ja laitosten tuottama purkuvesi sisältää mikromuoveja vielä suodattamisen jälkeenkin. Muoveja ei siis kierrätetä paljoa tällä hetkellä, eikä tämänhetkisestä kierrätysprosessista syntyviä päästöjä vielä täysin ymmärretä. Brown et al. mainitsevat, että lisätutkimuksia tarvitaan muovin kierrätyslaitosten päästöpotentiaalin selvittämiseksi.

6.2 Vaihtoehtoiset materiaalit

Viemäriputkien osalta vaihtoehtoinen materiaali voisi olla betoni, mutta betonilla on suurempi hiilijalanjälki kuin nykyisin Helsingissä käytetyllä PVC putkella. Yksittäisten PVC- ja betoniputkien hiilijalanjälki on liki sama SYKE:n taustaraportin mukaan, mutta betoniputki on 2,25 metriä pitkä. PVC-putki on tyypillisesti 6 metriä pitkä. Yhden 300 mm raudoitetun (Dr), betoniputken päästöt ovat 27,8 kg CO₂ekv. /m ja yhden 315 mm SN8 PVC putken päästöt ovat 28,4 kg CO₂ekv. /m. (Suomen ympäristökeskus, 2022) Betoniputkella on kuuden metrin matkalla noin 10 % suurempi hiilijalanjälki verrattuna muoviseen putkeen. Tämä johtuu siitä, että betoniputkia yleensä asennetaan kokonaisina. Jotta saataisiin kuusi metriä betonista putkilinjaa, joudutaan asentamaan 6,75 m putkea. Näin vältetään putkien katkominen. Katkaistulle putkelle täytyy porata kaivoon uusi reikä, sillä tehtaalla tehty

liitos on ehjän putken päässä olevaa muhvia varten. Uuden reiän porauksen lisäksi täytyy kaivon ja lyhennetyn putken ympärille valaa betonivalu, jotta liitos olisi vesitiivis. Lisäksi jätevesiviemäri käytössä betoniputkilla on tapana syöpyä jätevedestä nousevien rikkikaasujen vuoksi. (Aalto yliopisto, 2019.) Putkien valmistajat lupaavat molemmille materiaaleille yli 100 vuoden käyttöikä (Uponor, 2023; RuskonBetoni, 2023). Todellinen käyttöikä riippuu kuitenkin ympäristön olosuhteiden vaikutuksesta. Lisäksi betoniputket ovat painavampia ja suurempia, jolloin ne tarvitsevat mahdollisesti suuremman kaivannon ja enemmän tilaa varastointia varten, minkä lisäksi niiden kuljetamisesta syntyy enemmän päästöjä. Betonin paino saattaa joissakin tilanteissa vaatia paksumpia rakennekerroksia, jotta se pysyy paikoillaan. Paksummista kerroksista muodostuu enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuljetuksen ja neitseellisten mineraalimateriaalien suuremman käyttötarpeen vuoksi.

Vaihtoehtoinen materiaali kaapeliensuojaputkille ovat betoniset kaapelisuojakourut, joita on käytetty aiemmin. Niiden haittapuolena on se, että niistä ei voi tehdä varauksia, joihin myöhemmin asennettaisiin kaapeli. Kaapeli täytyy asentaa samalla kuin kourutkin ja aina, kun tarvitaan kapasiteetin lisäystä tai korjausta, täytyy katu tai puisto avata kaapelin koko reitiltä uudelleen pienten vetokaivantojen sijasta, mistä syntyy enemmän hiilidioksidipäästöjä.

Markkinoilla on muovisia tuotteita, joissa on valmistajien mukaan käytetty kierrätettyjä raaka-aineita. Kuitenkin Uponorin mukaan, jos tuotteella on kolmannen osapuolen sertifikaatti, se ei sisällä kierrätettyjä raaka-aineita muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta (Uponor infra Oy, 2023). Kaupunkiympäristön kaupunkitekniset rakenteet sisälsivät vastausten mukaan kierrätettyjä raaka-aineita. Kaupunkiympäristön kaupunkitekniikasta ei kuitenkaan osattu kertoa, kuinka paljon heidän muoviset rakenteet sisälsivät kierrätettyä muovia. Lisäksi kaupunkiympäristön kaupunkitekniikasta kerrottiin, että heidän käyttämien tuotteiden kierrätetyn muovin käyttöastetta on tarkoitus lisätä tulevaisuudessa. (Helsingin kaupunki, 2023.)

Suodatinkankaiden osalta markkinoilla on myös kankaita, joiden on mainostettu olevan maatuovia. Yksi tällainen tuote on Hortexin kompostoituva suodatinkangas. Kompostoituva suodatinkangas on tehty kasvipohjaisesta PLA:sta. PLA on lyhenne polylaktidista (Muoviyhdistys, 2020). Markkinoilla on useampia jälleenmyyjiä, jotka myyvät PLA:sta valmistettuja suodatinkankaita. Hortexillä on myös muita kompostoituvia tuotteita, jotka soveltuvat viherrakentamiseen. Näitä tuotteita ovat esimerkiksi kompostoituva puutarhakalvo ja biokangas. Hortex kertoo biokankaan kestävän käytössä 3–5 vuotta ennen hajoamistaan (Hortex Oy, 2023). Katurakenteissa tarvitaan suodatinrakenteelle pidempiaikaista kestävyyttä, jotta katuun ei syntyisi

painumia sen eliniän aikana. Hortexilta tiedusteltiin sähköpostilla, miten biohajoava kangas vertautuu perinteiseen muovista valmistettuun kankaaseen. Hortexilta ei saatu vastausta esitettyihin kysymyksiin. Myös Savenmaalla on myynnissä biohajoavaa suodatinkangasta, joka on tehty PLA:sta. Biohajoavat suodatinkankaat ovat tuotteiden tuotesivujen mukaan suunnattu viherrakentamiseen. Verrattuna Savenmaan myymään muovia sisältävään N1-luokan suodatinkankaaseen on PLA:sta tehty noin 10 g kevyempää per m². N1-luokan suodatinkangas painaa 100 g/m², kun taas biohajoava suodatinkangas painaa 90 g/m².

Geosyntiltä saatiin erään geotekstiilien valmistajan tekemä tietolehtinen, jossa verrattiin kierrätetystä muovista tehtyjä geotekstiilejä neitseellisestä muovista valmistettuihin geotekstiileihin. Tietolehtisen on tehnyt unkarilainen geotekstiilien valmistaja BontexGeo vuonna 2022. Vertailussa oli BontexGeon oma tuote ja kaksi kierrätetystä materiaalista tehtyä geotekstiiliä, joita ei ole erikseen nimetty. Toinen kierrätettyä materiaalia sisältävistä geotekstiileistä on tehty käyttäen polypropeenä ja toinen käyttäen polyeteeniä. BontexGeon oma tuote on tehty neitseellisestä polypropeenista. Tietolehtisen mukaan neitseellisestä materiaalista tehty geotekstiili on vetolujuudeltaan noin seitsemän kertaa kestävämpää kuin kierrätetystä materiaalista tehdyt geotekstiilit. Myös California Bearing Ratio (CBR)-testissä neitseellisestä materiaalista tehty geotekstiili on kestävämpi. Neitseellisestä materiaalista tehty geotekstiili on noin viisi kertaa kestävämpi CBR-testissä kuin verrokkit. Lisäksi BontexGeo lupaa tuotteellensa 100 vuoden käyttöiän, kun taas kierrätetystä materiaalista tehdyille geotekstiileille on merkitty käyttöiäksi vain viisi vuotta. Näiden tietojen pohjalta tietolehtisessä kerrotaan neitseellisestä materiaalista tehdyn geotekstiilin olevan ympäristöystävällisempi ja kestävämpi ratkaisu kuin kierrätetystä materiaalista tehdyt geotekstiilit. Tietolehtisessä mainitaan myös, että materiaalia tarvittaisiin jopa kolme kertaa enemmän verrattuna neitseellisestä materiaalista tehtyyn geotekstiiliin. (BontexGeo, 2022.) Tämä oli yhden valmistajan näkemys kierrätetystä materiaalista tehtyihin geotekstiileihin. Valmistaja ei ilmoita perustuuko näkemyks luotettavaan tutkimukseen.

Suodatinkankaalle on myös vaihtoehtona suodatinkerros, jota on käytetty ennen suodatinkankaita. Suodatinkerros on tehty yleensä hienorakeisesta hiekasta, mutta se voidaan tehdä myös uusiomateriaalista. Uusiomateriaalin rakeisuustiedot on kerrottu InfraRYL-taulukossa 21110:K1 (Suomen kuntatekniikan yhdistys, 2020). LUT-yliopiston ympäristötekniikan opiskelijat olivat tehneet vuonna 2019 projektia, jossa he olivat selvittäneet erilaisten uusiomateriaalien soveltuvuutta tierakenteisiin, myös suodatinkerrokseen. Suodatinkerrokseen oli katsottu sopivan betonimurske, tiilimurske, kivihiili ja turvetuhkat sekä kaivosteollisuuden sivukivet. (LUT-yliopisto, 2020) Uusiomateriaalien käytöllä on omat rajoitteensa esimerkiksi pohjavesi alueilla

ei voi käyttää betonimursketa siitä mahdollisesti liukenevien aineiden vuoksi. Betonimursketa ei voida käyttää tilanteissa, joissa rakenteen läpi suodattuu suuria määriä vettä tai rakennuskohteen lähistöllä on vesistöjä. Uusiomateriaaleilla voi olla myös negatiivinen vaikutus maahan asennettaviin muihin rakenteisiin esimerkiksi erilaisen pH-arvon takia. Betonimurskeen kanssa ei esimerkiksi suositella (INFRA ry, 2021) käytettävän suojaamattomia alumiinista valmistettuja tuotteita tai polyesteristä valmistettuja geotekstiilejä. Uusiomateriaaleja käytettäessä, täytyy tehdä Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle (ELY-keskus) ilmoitus jätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa (MARA-ilmoitus), mikä on ainakin tällä hetkellä urakoitsijan tehtävä. MARA-ilmoituksen tekeminen on työlästä ja se täytyy tehdä joka kohteesta erikseen. Tämä voi olla syy siihen, miksi uusiomateriaaleja ei käytetä niin paljon. Rudus (Rudus, 2021) lupaa Betoroc:lle negatiivisen $-18,6 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv/m}^3$ -arvon. Betoroc:in $\text{CO}_2 \text{ ekv.}$ arvon oli laskenut LCA Consulting Oy ja Teknologian tutkimuskeskus Oy (VTT) on verifioinut laskelmat. Negatiivisen $\text{CO}_2 \text{ ekv.}$ -arvon kerrotaan johtuvan betonimurskeen normaalia betonia voimakkaammasta karbonisaatiosta.

Seuraavassa teoreettisessa laskelmassa verrataan suodatinrakenteen materiaalien hiilijalanjälkeä. Taulukkoon 4 on koottu teoreettisessa laskelmassa käytetyn kadun mitat, materiaalien $\text{CO}_2 \text{ ekv.}$ arvot ja teoreettiseen rakenteeseen tarvittava materiaalin määrä.

Taulukko 4. Teoreettisessa laskelmassa käytetyn kadun mitat, materiaalien päästöarvot ja tarvittavat materiaalien määrät.

Katu	Pituus (m)	Leveys (m)	Suodatin-kerroksen paksuus (mm)	
	100	8	300	
Päästöarvot	Suodatinhiekkä ($\text{kg CO}_2 \text{ ekv/kg}$)	Suodatinkangas N3-luokka ($\text{kg CO}_2 \text{ ekv/m}^2$)	0/90 kalliomurske ($\text{kg CO}_2 \text{ ekv/kg}$)	0/90 Betoroc ($\text{kg CO}_2 \text{ ekv/m}^3$)
	0,004	0,398	0,006	-18,6
Suodatinrakenteeseen tarvittava materiaali	Suodatinhiekkä (t)	Suodatinkangas N3-luokka (m^2) + 0/90 kalliomurske (t)	Suodatinkangas N3-luokka (m^2) + 0/90 Betoroc (m^3)	
	374 t	800 m^2 + 384 t	800 m^2 + 240 m^3	

Taulukossa 4 olevilla arvoilla laskettaessa, tulisi kadun suodatinhiekkakerroksen CO₂ ekv. arvoksi 1497,6 kg CO₂ ekv. Suodatinkangasta käytettäessä tulee, Suomen kuntatekniikan yhdistyksen (SKTY) vuonna 2020 julkaiseman katujen suunnitteluohjeen mukaan, tierakenteen tukikerroksen olla silti yhtä paksu kuin suodatinkerroksen kanssa. Täyttö voidaan tehdä jakavan kerroksen karkeammalla murskeella. (Suomen kuntatekniikan yhdistys, 2020)

Helsingin omissa hankkeissa on tyypillisesti käytetty jakavan kerroksen materiaalina 0/90 mm raekoon kalliomursketta. (Helsingin kaupunki, 2023). Tapauksissa, joissa suodatinkerroksen paksuus tulee korvata jakavan kerroksen materiaalilla, kasvaa suodatinkankaan sisältämän rakenteen hiilijalanjälki suuremmaksi kuin suodatinhiekkakerroksen sisältävän rakenteen. Teoreettisen laskelman kadussa on 300 mm suodatinhiekkakerros. Mikäli suodatinhiekkakerros korvataan suodatinkankaalla, joudutaan jakavaa kerrosta jatkamaan 0/90 mm murskeella suodatinkerroksen paksuuden verran. Tällöin rakenteen hiilijalanjäljeksi tulee 2304 kg CO₂ ekv. Se on enemmän kuin alkuperäinen 300 mm suodatinhiekkakerros. Suodatinkankaan sekä jakavan kerroksen jatkettuna osuuden hiilijalanjälki on yhteensä 2622,4 kg CO₂ ekv. Laskelma tehtiin myös käyttäen betonimursketta kalliomurskeen tilalla. Betonimurske rakenne ei poista suodatinkankaan käyttötarvetta.

Taulukossa 5 oleviin laskelmiin ei ole huomioitu kuljetuksista ja työkoneiden toiminnasta aiheutuvia päästöjä. Suodatinhiekkakerros on rakentamisen näkökulmasta resursseja vievä, tehden siitä kalliimman toteuttaa. Suodatinhiekkakerroksen materiaalien kuljetus ja kaivantoon levittäminen vievät enemmän aikaa kuin suodatinkangasrullan tuominen työmaalle ja kankaan levittäminen kaivannonpohjalle. Vähäisen tilan takia suodatinhiekkaa ei välttämättä ole mahdollista varastoida työmaalla, vaan se joudutaan hakemaan kauempaa. Kuljetukseen käytettävästä kalustosta ja suodatinhiekan levittämiseen käytettävästä kaivinkoneesta syntyy CO₂-päästöjä pidemmän työprosessin aikana. Kuljetuksesta ja kaivinkoneista syntyvät CO₂-päästöt vähenevät tulevaisuudessa, jos alan koneet ja laitteet alkavat sähköistyä. Helsinki on mukana päästöttömien työmaiden Green deal-sopimuksessa, jonka myötä kuljetuksesta ja koneista muodostuvat päästöt vähenevät ajan kuluessa.

Taulukko 5. Suodatinkerroksen ja suodatinkankaan sekä Betoroc vaihtoehdon CO₂-päästöt SYKE:n ja Ruduksen arvojen mukaan.

Rakenne	CO₂-päästöt (kg CO₂ ekv.)
Suodatinhiekkakerros	1496
Suodatinkangas + jatkettu jakava kerros	2622,4
Rudus Betoroc 0/90 + suodatinkangas N3-luokka	-4145,6

Taulukkoon 6 on koottu teoreettisen rakenteen kaksi eri suodatinerakenteen ratkaisua, joihin on laskettu mukaan materiaalien kuljetuksesta ja levittämisestä syntyvät päästöt. Levittämiseen on laskettu yksi tunti per työpäivä kahden viikon ajalta 17 t telakaivinkoneella. Kahden viikon ajalta työkoneen päästöiksi muodostui 276,1 kg CO₂ ekv. Kivimateriaalit on laskettu niin, että suodatinkerrokseen tuleva 0–16 mm hiekka on Seepsulan Senkkerin toimipisteestä Tuusulasta ja 0–90 mm murske tulee Ruduksen Viikin toimipisteestä. Ruduksen Viikin toimipistettä käytettiin myös Betoroc:in toimituspisteinä. Välivarasto sijaitsee tässä esimerkissä Helsingin Suutarilassa ja työmaa sijaitsee Helsingin Tapanilassa.

Taulukko 6. Suodatinkerroksen ja suodatinkangas rakenteen CO₂-päästöt sekä Betoroc vaihtoehdon SYKE:n ja Ruduksen arvojen mukaan sisältäen kuljetuksen ja konetyön.

Rakenne	CO₂-päästöt (kg CO₂ ekv.)
Suodatinhiekkakerros, materiaali työmaalle	1962,5
Suodatinhiekkakerros, materiaali välivaraston kautta	1987,7
Suodatinkangas + jatkettu jakava kerros, materiaali työmaalle	3007,3
Suodatinkangas + jatkettu jakava kerros, materiaali välivaraston kautta	3188,4
Suodatinkangas + Rudus Betoroc kerros, materiaali työmaalle	-3772,8
Suodatinkangas + Rudus Betoroc kerros, materiaali, välivaraston kautta	-3614,5

Hiekan kuljettaminen vaatii Ruduksen verkkosivuilta löytyvän massalaskurin (Rudus Oy, 2023) mukaan 9 edestakaista matkaa 45 t kerrallaan kuljetavalta täysperävaunu yhdistelmältä. SYKE:n arvojen mukaan tämä tuottaa 190,4 kg CO₂ ekv. päästöjä. Välivarastoon vieminen tuottaa 155,1 kg CO₂ ekv. päästöjä, mutta luku nousee suuremmaksi, koska materiaali haetaan välivarastosta työkohteeseen pienemmillä 15 t kuorma-autoilla. Lopullinen luku välivaraston kautta kulkevalle hiekalle on 216,6 kg CO₂ ekv. 0–90 mm murskeen tuominen Viikistä 45 t yhdistelmällä tuottaa 108,8 kg CO₂ ekv. päästöjä ja välivaraston kautta luku on 289,9 kg CO₂ ekv. Betonimurskeen kuljetuksesta muodostuvat päästöt ovat pienemmät sillä se on noin 10 % kevyempää kuin luonnonkiviaines (Ytekki Oy, 2021). Materiaalien toimittaminen välivarastoon Viikistä nostaa päästöjen määrää sillä, se on kokonaan kaupunkiajoa. Kaupunkiajo tuottaa enemmän päästöjä kuin maantieajo suuren pysähtymisten ja liikkeellelhtöjen määrän vuoksi. Taulukkoon 7 on kerätty materiaalien kuljetuksesta muodostuvat CO₂-päästö määrät.

Taulukko 7. Laskelmissa käytettyjen kivimateriaalien kuljetuksista muodostuvat CO₂-päästöt.

Materiaali	Kuljetus suoraan kohteeseen (kg CO₂ ekv.)	Kuljetus välivaraston kautta (kg CO₂ ekv.)
Suodatinhiekkä	190,4	216,6
0–90 mm kalliomurske	108,8	289,9
Betoroc 0–90 mm	96,7	255,0

Näiden lukujen perusteella näyttää siltä, että on parempi viedä kivimateriaalit suoraan työmaalle. Tiiviissä kaupunkiympäristössä kiviainesten varastointi työkohteessa ei ole useinkaan mahdollista, vaan kiviainekset joudutaan sijoittamaan välivarastoihin. Välivarastot sijaitsevat usein kaupungin väljemmin rakennetuilla reuna-alueilla. Lisäksi työn vaihtelevan nopeuden vuoksi, materiaalityömitusten käsittely työmaalla voi olla haasteellista. Kuljetuksen saapuessa kohteeseen, kuljetettavaa materiaalia ei välttämättä saada purettua suoraan kaivantoon. Kuljetus voi joutua odottamaan tai lasti täytyy purkaa jonnekin työkohteessa, mikä taas saattaa olla vaikeaa käytettävissä olevan rajallisen tilan vuoksi. Kustannusten kannalta suodatinhiekkä on kalliimpi ratkaisu verrattuna suodatinkankaaseen ja jatkettuun jakavaan kerrokseen.

Taulukossa 8 on verrattuna suodatinhiekkarakenteeseen tarvittavat materiaalit kustannuksineen ja suodatinkankaan sekä jatkettuun jakavaan kerrokseen tarvittavat materiaalit kustannuksineen. Taulukon kiviainesten hinnat on otettu Seepsula Oy:n hinta laskurista (Seepsula Oy, 2023) ja suodatinkankaan hinta on otettu K-raudan sivuilta (K-rauta, 2023). Betonimurskeen hintaa ei ollut suoraan saatavilla. Ari-Pekka Savolainen kertoo opinnäytetyössään, että betonimurskeen hinta olisi noin 1/3 halvempi kuin vastaavien luonnonkivisten murskelaatujen (Ari-Pekka Savolainen, 2023). Laskelmissa Betoroc:lle käytettiin hintaa, joka oli 2/3 kalliomurskeen hinnasta. Taulukossa 9 on verrattuna suodatinhiekkä ja suodatinkangas rakenteet kustannusten pohjalta.

Taulukko 8. Suodatinrakenteisiin tarvittavat materiaalit ja niiden hinnat.

Materiaali	Määrä	Hinta alv 24 % (€)
Suodatinhiekkä 0–16 mm	374 t	8966
Materiaali	Määrä	Hinta alv 24 % (€)
Kalliomurske 0–90 mm	384 t	6493
Suodatinkangas N3	2 rullaa	995 €/rulla
Materiaali	Määrä	Hinta alv 24 % (€)
Betoroc 0–90 mm	324 t	4285
Suodatinkangas N3	2 rullaa	995 €/rulla

Taulukko 9. Suodatinrakenteiden hinnat.

Rakenne	Hinta alv 24 % (€)
Suodatinhiekkä	8966
Suodatinkangas N3 + 0–90 mm murske	8483
Suodatinkangas N3 + 0–90 mm Betoroc	6275

Suodatinhiekkä materiaalina on kalliimpi kuin murske ja suodatinkangas. 300 mm suodatinrakenne 100 metriä pitkässä kadussa, joka on kahdeksan metriä leveä, on 483 € kalliimpi. Suodatinhiekkä on vaihtoehtona kalliimpi, mutta SYKE:n taustaraportin mukaan aiheuttaa vähemmän päästöjä eikä siitä myöskään jää mikromuoveja luontoon. Betoroc oli halvin vaihtoehto suodatinrakenteelle ja siitä muodostui vähiten CO₂-päästöjä. Sen kanssa käytettiin kuitenkin suodatinkangasta, josta jää mikromuoveja luontoon ja betonimurskeella on rajoitteita siinä missä sitä voidaan käyttää.

SYKE:n taustaraportissa (Suomen ympäristökeskus, 2022) suodatinhiekan päästöarvo on laskettu luonnonhiekkalle, jonka käyttö on tulevaisuuden kannalta haasteellista. Luonnossa esiintyvää hiekkaa on rajallinen määrä ja se voi loppua. (Yle, 2019) Luonnon hiekalle on etsitty korvaavia vaihtoehtoja esimerkiksi murskatusta hiekasta. Kiviaineksen murskaaminen kasvattaisi materiaalin CO₂ ekv. arvoa lisääntyneen prosessoinnin takia. Tämä taas muuttaa sitä, miten paljon päästöjä suodatinhiekkarakenteesta syntyy. Yksi mahdollinen korvaaja suodatinkankaalle tulevaisuudessa voisi olla LAB-ammattikorkeakoulun hiushuovan tyyppinen tuote, jos sen ominaisuudet muuten soveltuvat vaikkapa viherrakentamisen käyttöön.

7 Johtopäätökset

Tässä työssä tutkittiin, minkälaisia muoveja infrarakentamisessa käytetään ja mihin niitä käytetään. Lisäksi etsittiin vaikuttavimpia muovin lähteitä, joista muovin käyttöä voitaisiin alkaa vähentää. Vaikuttavimpia muovin lähteitä etsittiin käymällä läpi Rambollin toimittamaa aineistoa. Aineistosta luotiin kuvaajia, joista nähtiin minkälaisiin rakenteisiin, käytettiin eniten muovia. Lisäksi tehtiin SYKE:n päästöarvojen avulla teoreettisia laskelmia, joissa verrattiin eri materiaaleja keskenään niiden kasvihuonekaasupäästöjen osalta.

Infrarakentamisen materiaalien käyttö on nopeassa muutoksessa, sillä markkinoille tulee uusia uusiomateriaaleja ja vanhoja materiaaleja kierrätetään. Myös rakentamisessa käytettävät laitteet ja koneet ovat nopeassa muutoksessa. Niistä kehitetään vähempi päästöisiä ja niiden sähköistyminen edistyy. Tässä työssä esitetyt arvot ja päätelmät on tehty tämän hetkisen tilanteen mukaan, mikä voi muuttua nopeastikin. Tulosten pohjalta näyttää siltä, että suodatinkangas ja kaapelien suojaputket ovat suurimmat muoviasisältävät rakenneluokat. Niitä käytetään niiden kestävyys, helppouden ja halvan hinnan vuoksi. Muovien käyttö kuitenkin tuo haasteita sillä muovista maaperään päätyy mikromuoveja ja muuta muovijätettä.

Muovien käyttöä voidaan tietyn keinoin vähentää, mutta tämä saattaisi kasvattaa CO₂-päästöjä riippuen siitä mistä muoveja lähdetään vähentämään. Turhan suodatinkankaan käytön lopettaminen vähentäisi muovin käyttöä lisäämättä CO₂-päästöjä. Viherrakentamisessa voisi käyttää biopohjaisia suodatinkankaita, jos kankaan tarkoitus on vain haitata pohjamaasta nousevien kasvien kasvua. Muovisten suojaputkien vaihto betonikouruihin todennäköisesti lisäisi CO₂-päästöjä pitkällä aikavälillä lisääntyneen työmäärän takia. Lisäksi se olisi vastoin verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä annettua lakia 276/2016 (Suomenlaki, 2016), jonka tavoitteena on lisätä passiivisen infran hyötykäyttöä lisäämällä varausputkien määrää. Sopivissa kohteissa uusiomateriaalien käyttö vähentäisi muovien käyttöä ja CO₂-päästöjä. CO₂-päästöjen väheneminen uusiomateriaaleja käytettäessä olisi suurta tässä työssä tehtyjen teoreettisten laskelmien mukaan.

Tulevaisuudessa käytetyn muovin määrä erilaisissa geolujitteissa ja suodatinkankaissa tulee mahdollisesti kasvamaan, kun lisää aiemmin taloudellisesti kannattamattomia alueita tullaan ottamaan rakennuskäyttöön. Käyttöön otettavat alueet saattavat olla haastavia geoteknisesti tai niissä saattaa olla pilaantuneita maita ja niiden on aiemmin katsottu olevan taloudellisesti kannattamattomia rakentaa.

Lisäksi, jos geotekstiilien turhaa käyttöä halutaan vähentää, tulisi asiaan kiinnittää enemmän huomiota suunnitteluvaiheessa. Helsingin kaupungin kaupunkitoimialan liikenne- ja katusuunnittelusta (Helsingin kaupunki, 2023) kysyttiin sähköpostilla tämän työn havaintojen pohjalta, miten paljon suunnitteluttamisvaiheessa suodatinkankaan käyttöön vaikutetaan. Vastauksessa kerrottiin, että suodatinkankaita poistetaan suunnitelmista, jos kankaan katsotaan olevan tarpeeton. Tarpeettomuuden huomaaminen riippuu suunnittelun tilaajasta ja tilaajan koulutustaustasta. Helsingin kaupungin olisi hyvä kiinnittää huomiota suunnitteluttamisprosessiin, jotta erilaisia taustoja omaavat tilaajat pystyisivät toimimaan samalla tavalla. Kaupunki voisi luoda ohjeistuksen tai tarkistuslistan selkeistä tilanteista, joissa suodatinkankaan voisi jättää pois suunnitelmista. Hankalammissa tilanteissa voisi pyytää konsultaatiota geoteknisiltä erikoisosaajilta. Lisäksi suodatinkankaiden käyttö on varsin juurtunut alan rakentajien käytännöksi. Olisi hyvä varmistaa rakentajien kanssa suunnitelmakohdat, joihin ei suodatinkangasta ole tarkoitus asentaa. Vaihtoehtoisesti suunnitelmiin voisi merkitä huomioksi kohdat, joihin ei haluta suodatinkangasta asennettavaksi. Suunnitelmiin ei ole tapana merkitä erikseen asioita, joita ei tule rakentaa. Jotkin tilaajat saattavat huomiona kuitenkin kertoa urakoitsijalle, jos jotakin tyypillisesti rakennettavaksi tulevaa ei tulekaan rakentaa. Joten olisi myös tärkeää painottaa tilaajien ja urakoitsijoiden kommunikaatiota rakennushankkeen alussa ja sen aikana.

Jatkossa voisi pohtia ajatusta, voisiko Helsingin kaupunki sopia putkivalmistajien kanssa työmaalta ylijääneiden putkikappaleiden vastaanotosta, jolloin putkimateriaalia saataisiin uusiokäyttöön enemmän. Haasteena saattaa kuitenkin olla valmistajien rajalliset varastointi- ja vastaanottomahdollisuudet. Lisäksi voisi pohtia keinoja, joilla voisi muuten parantaa muovisten rakennusjätteiden kierrätystä. Uusiomuoveissa haasteena on se, että uusiomuovi tuotteet eivät ole sertifioituja. Sertifikaatti on infrarakentamisessa katsottu olevan tae laadusta ja siitä, että tuote täyttää asetetut vaatimukset. Joten, jos uusiomuoveja haluttaisiin käyttää, täytyisi valmistajien niitä ensin sertifioida. Tosin ilman kysyntää valmistajilla ei ole halua käyttää resursseja uusiomuovien sertifiointiin. Jos uusiomuoveja haluttaisiin käyttää, voisi niiden kanssa tehdä pilottihankkeen ja edetä pilotista saatujen kokemusten mukaan. Toisaalta uusiomuoviin liittyy mahdollisesti sen valmistusprosessin tuottama ylimääräinen mikromuovi. Uusiomuovin käytöstä on vaikea tehdä päätöstä tässä vaiheessa, sillä tilanne muuttuu nopeasti ja aiheesta tehdyistä tutkimuksista on toistaiseksi ristiriitaisia tuloksia.

Jatkotutkimuksissa voisi pohtia ovatko mineraalisista materiaaleista tehdyt rakenteet sellaisia mitä halutaan ryhtyä käyttämään. Niistä ei synny mikromuovipäästöjä ja joissakin tilanteissa, kuten suodatinrakenteissa, niiden hiilidioksidipäästöt ovat pienemmät kuin muovisten tuotteiden. Haittapuolena

on se, että joissakin mineraalipohjaisissa rakenteissa käytettävät kiviainekset ovat rajallisia luonnon materiaaleja, eikä niiden käyttö ole sen vuoksi kestävä. Täytyisi siis pohtia, olisiko jostakin kiertotalouden tuotteesta muovin korvaajaksi esimerkiksi suodatinrakenteissa. Vai onko muovin käyttö pakollinen paha, kunnes markkinoille tulee parempia vaihtoehtoja.

Lähteet

Julkaisut ja asiakirjat sekä muut verkkolähteet

- Aalto yliopisto, Geotechnics kurssimateriaali, 2021
Antti Torkki, Diplomityö, Aalto yliopisto, The Role of Demolition Process in Increasing the Recovery of Construction and Demolition Waste, 2020
https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/45986/master_Torkki_Antti_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y haettu 6.2.2023
- Väylävirasto - Geolujitetut maarakenteet, tiegeotekniikan käsikirja 2/2012
https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lop_2012-02_geolujitetut_maarakenteet_web.pdf haettu 15.2.2023
- Helsingin kaupungin määrä- ja kustannusanalyysiaineisto saatu 6.2.2023
Suomen ympäristökeskus, Infrarakentamisen päästötietokanta (co2data.fi)
www.co2data.fi/infra haettu 15.2.2023
- Suomen ympäristökeskus, infrarakentamisen muovituotteiden päästöjen tausta raportti, 2022
[INFRA muovituotteet R01.02.pdf \(co2data.fi\)](https://www.co2data.fi/infra/INFRA_muovituotteet_R01.02.pdf) haettu 15.2.2023
- Ympäristöministeriö, Green deal sopimukset
<https://ym.fi/green-deal-sopimukset> haettu 16.2.2023
- Ympäristöministeriö, muovitiekartta, 2022
<https://muovitiekartta.fi/> haettu 16.2.2023
- Suvi Jaakola, Helsingin yliopisto, Pro gradu, Infrastruktuurirakentamisessa käytettävien muovilaatujen korvaaminen kierrätettävyydeltään ja hiilijalanjäljeltään paremmilla valinnoilla.
<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/315899> saatu 17.2.2023
- HIUKKA 2.0 projekti, LAB-Ammattikorkeakoulu, 2023
<https://lab.fi/fi/projekti/hiukka2> haettu 21.2.2023
<https://blogit.lab.fi/labfocus/hiuskuidut-matkaavat-kampaa-mon-lattialta-muovin-korvaajaksi/> haettu 22.2.2023
- Rakennusteollisuus, kalvomuvinkierätysopas, 2021
<https://www.rt.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/muovitiekartta/kalvomuvinkieratysopas-23-11-2021-access.pdf> haettu 22.2.2023
- Savonia, tietopankki eri muoveista
<https://3dtulostus.savonia.fi/fi/tietopankki/materiaalit/muovit> haettu 23.2.2023
- Geosynt Oy, Stabilenka lujitekankaan tuotesivu, 2023
<https://www.geosynt.fi/tuote-osasto/lujitteet/stabilenka-lujitekangas/> haettu 23.2.2023
- K-rauta, N3-luokan suodatinkankaan tuotesivu, 2023

- <https://www.k-rauta.fi/tuote/suodatinkangas-n3-6x130m-780m/6438056189112> haettu 23.2.2023
- Uponor Oy, maaviemäriputkien tuotesivu, 2023
<https://www.uponor.com/fi-fi/infra/tuotejarjestelmat/maaviemarit/ultra-classic> haettu 23.2.2023
- Suomen laki, Maakaasusetus, 1993
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1993/19931058#Pidm45053758095264> haettu 23.2.2023
- Suomenlaki, Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös maakaasusetuksen soveltamisesta, 1993
<https://finlex.fi/fi/laki/alkup/1993/19931059#Pidm45053757719568> haettu 23.2.2023
- Pipelife, Muovi raaka-aineena infisivu, 2023
<https://www.pipelife.fi/tietoa-meista/vastuullisuus/raaka-aine.html> haettu 27.2.2023
- Tea Karjalainen, Viherrakentamisen synteettiset materiaalit mahdollisina mikromuovin lähteinä 2021. haettu 27.2.2023
- Aalto yliopisto, koulutusaineisto, viemärointi ja vedenkäsittely,
https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/1072409/mod_folder/content/o/1%20-%20Viemarointi%20ja%20ja%CC%88te-veden%20kasittely.pdf?forcedownload=1 haettu 27.2.2023
- Helsingin kaupunki, Yhteistoimintasopimus, 2017
[ykt_yts_web.pdf\(hel.fi\)](ykt_yts_web.pdf(hel.fi)) haettu 27.2.2023
- Arttu Laiti, Hiilijalanjäljen laskenta GHG-protokollan mukaisesti, VAMK,2021
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/509057/opinna%CC%88ytetyo%CC%88.pdf?sequence=2> haettu 6.3.2023
- Circwaste, PlastLIFE-hankkeen infisivu
https://www.materiaalikiertoon.fi/fi-fi/Tavoitteet_ja_keinot/Muovi_LIFE_IPn_valmistelu haettu 6.3.2023
- Meltex, tietolehtinen suodatinkankaan valitaan, 2012
<https://www.netrauta.fi/attachments/products/meltex/MELXA245050/ohje.pdf> haettu 8.3.2023
- Hortex Oy, Muovittomien puutarhatuotteiden esittelysivu, 2023
<https://hortex.fi/tuote-osasto/muoviton-puutarha/> haettu 13.3.2023
- HSY, Vesihuoltoverkoston suunnittelukäytännöt vol. 5 saatu 13.3.2023
- Finnfoam tuotteiden tuotesivu, 2023
<https://finnfoam.fi/tuotteet/finnfoam-eristelevyt/> haettu 21.3.2023
- Rakennuseristeteollisuus, EPS-kevennerakenteiden esittely, 2023
<https://www.epseriste.fi/kevenne/> haettu 21.3.2023

- Minna Anttalainen, Opinnäytetyö, Luonnonmukaisten lämmöneristeiden käyttö uudis- ja korjausrakentamisessa, Metropolia
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/159897/Valmis%20opinn%C3%A4ytety%C3%B6%20Minna%20Anttalainen.pdf?sequence=1&isAllowed=y> haettu 21.3.2023
- Helsingin kaupunki, karttapalvelu, 2023
<https://kartta.hel.fi/>
- Häkkinen et al. Plastics in buildings. A study of Finnish blocks of flats and daycare centres, 2019
- Reuters, Utinen muovituotteiden sekoittumisesta luontoon, 2023
<https://www.reuters.com/lifestyle/science/brazilian-researchers-find-terrifying-plastic-rocks-remote-island-2023-03-15/> haettu 21.03.2023
- Uponor Infra Oy, Maaviemärijärjestelmien esittely sivu, 2023
<https://www.uponor.com/fi-fi/infra/tuotejarjestelmat/maaviemarit#:~:text=Hyv%C3%A4%20maaviem%C3%A4rij%C3%A4rjestelm%C3%A4%20on%20turvallinen%2C%20kest%C3%A4v%C3%A4,erilaisia%20putkia%2C%20osia%20ja%20kaivoja>. haettu 27.3.2023
- Ruskonbetoni Oy, Tuote- ja palveluhinnasto, 2019
https://www.rbinfra.fi/wp-content/uploads/2019/05/rb_esite_2019_netti.pdf haettu 27.3.2023
- Meltex Oy, Suodatinkankaat esite, 2017
<https://www.meltex.fi/fi/lataa/8173&dl#:~:text=Suodatinkangas%20pit%C3%A4%C3%A4%20maa%20Dainekset%20erill%C3%A4nC3%A4n,jaetaan%20eri%20ok%C3%A4ytt%C3%B6luokkiin%20vahvuuden%20mukaan>. haettu 18.4.2023
- Savenmaa, Kompostoituva suodatinkangas tuotesivu, 2023
<https://www.savenmaa.fi/kompostoituva-suodatinkangas-2x5-m/p/6430068430695/> haettu 18.4.2023
- BontexGeo, Tech note, 2022.
- Oona Niiranen, Diplomityö, Aalto yliopisto, Pilaantuneiden maa-ainesten paikallinen hyödyntäminen kestävän kaupunkiympäristön tavoittelussa, 2016
https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/23974/master_Niiranen_Oona_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y haettu 24.4.2023
- Suomen kuntatekniikan yhdistys, kadun rakennekerrokset ja materiaalit, 2020
<https://katu2020.info/2020/2020/09/30/kadun-rakennekerrokset-ja-materiaalit/> haettu 25.4.2023

- LUT-yliopisto, LUT ympäristötekniikka: Opiskelijoiden projektit 2019, Kiertotaloustuotteet, 2019
<https://projektityoskentely19.home.blog/2020/01/27/kiertotaloustuotteet-kirjallinen-tyo-ja-ensimmainen-valinaytto/comment-page-1/> haettu 25.4.2023
- Chen et al., Sustainability and innovation of bamboo winding composite pipe products, 2021.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032121002689> haettu 27.4.2023
- Rudus Oy, Murske kiviainesten tuotesivu, 2023
<https://www.rudus.fi/tuotteet/kiviainekset/murskeet/3177/090-kalliomurske> haettu 27.4.2023
- Ahlsell Oy, KaapelisuojaPUTKI tuotesivu, 2023
<https://www.ahlsell.fi/34/sahko/sahkonjakelu-50-5866/52-kaapelin-suojaus--ja-liitostarvikkeet/kaapelin-suojaPUTKET/kaapelin-suojaPUTKET/5252209/> haettu 2.5.2023
- Väylävirasto, Geosynteettien laadunvalvonta väylähankkeissa, 2021
https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/opas_2021-02_geosynteettien_laadunvalvonta_web.pdf
haettu 2.5.2023
- Oy ViaCon Ab, Lujitekankaiden esittelysivu, 2023
<https://viacon.fi/geotechnical-solutions/lujitekankaat/> haettu 2.5.2023
- Aamulehti, Uutinen kaukolämpöputkien iän riskeistä
<https://www.aamulehti.fi/kotimaa/art-2000007337581.html>
haettu 2.5.2023
- Muoviteollisuus ry, PE-paineputkien vertailu taulukko, 2021
https://www.plastics.fi/document.php/1/414/vertailutaulukko_pe_paineputkien_ominaisuuksista_11062021.pdf/69a2615d4848d771331df34daa5e7510 haettu 2.5.2023
- Muoviyhdistys, Biopohjaiset ja biohajoavat muovit, 2020
[https://www.muoviyhdistys.fi/2020/03/03/biopohjaiset-ja-biohajoavat-muovit/#:~:text=Polylaktidi%20\(PLA\)%20on%20yksi%20kenties,kaltainen%20j%C3%A4ykk%C3%A4%20ohauras%20ja%20ol%C3%A4pin%C3%A4kyv%C3%A4](https://www.muoviyhdistys.fi/2020/03/03/biopohjaiset-ja-biohajoavat-muovit/#:~:text=Polylaktidi%20(PLA)%20on%20yksi%20kenties,kaltainen%20j%C3%A4ykk%C3%A4%20ohauras%20ja%20ol%C3%A4pin%C3%A4kyv%C3%A4) haettu 8.5.2023
- Yle, Uutinen luonnon hiekan korvaajan etsimisestä, 2019
<https://yle.fi/a/3-10865010> haettu 9.5.2023
- Seepsula Oy, Kiviainesten tuotesivu, 2023
<https://seepsula.fi/tuotteet/> haettu 9.5.2023

- Helsingin kaupunki, Helsingin katurakenteiden suunnitteluperiaatteet, 2023
- Brown et. al., The Potential for a plastic recycling facility to release microplastic pollution and possible filtration remediation effectiveness, 2023.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772416623000803> haettu 17.5.2023
- Rakennuslehti, uutinen uusiomuovin käytön kasvattamisesta, 2023
<https://www.rakennuslehti.fi/blogit/uusiomuovituotteet-otettava-aktiivisesti-kayttoon/> haettu 17.5.2023
- Energiateollisuus ry, Kaukolämpötutkimuksen koonti sivut
[Kaukolämpötutkimus - Energiateollisuus](#) haettu 20.5.2023
- Euroopan komissio, 2023 Climate target plan, 2023
https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en#:~:text=With%20the%202030%20Climate%20Target,40%25EN%E2%80%A2%E2%80%A2%E2%80%A2. haettu 22.5.2023
- Euroopan komissio, Packaging waste, 2023
https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste_en haettu 22.5.2023
- Helsingin kaupunki, Muovit kiertotaloudessa, 2020
<https://helsinginilmastoteot.fi/en/kaupungin-ilmastotyö/muovit-kiertotaloudessa/> haettu 22.5.2023
- INFRA ry, Betonimurskeiden tekninen soveltuvuus ja käyttö tierakenteissa, 2021
https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/Betonimurske%20teknisen%20soveltuvuuden%20arviointi_web.pdf haettu 24.5.2023
- Rudus Oy, Betoroc-murske hiilinegatiivinen: Espoonväylän rakentamisessa valtava päästösäästö, 2021
<https://www.rudus.fi/ajankohtaista/2021/11/29/betoroc-murske-hiilinegatiivinen-espoonvaylan-rakentamisessa-valtava-paastosaasto> haettu 24.5.2023
- Suomen laki, Laki verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä, 2016
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20160276> haettu 28.5.2023
- Rakennusteollisuus, Kalvomuovien kierrättämiseen ohjaavat julisteet, 2021
https://www.rt.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/muovitiekartta/kalvomuovit_ja_muut_juliste-a3-1-12-2021.pdf haettu 5.6.2023
- APME eurooppalainen muovijärjestö, Eco-profiles set, 2023

https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/45986/master_Torkki_Antti_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y haettu 7.6.2023

Ari-Pekka Savolainen, Opinnäytetyö, Purettavien betonirakenteiden kierrätysmahdollisuudet – Betoroc, HAMK, 2023

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/801187/Savolainen_Ari-Pekka.pdf?sequence=2&isAllowed=y haettu 8.6.2023

Purkubetonista betonikiviainesta pienbetonituotteiden valmistukseen, Ytekki Oy, 2021

https://www.lahti.fi/uploads/2022/04/e7ac71fo-selvitys_purkubetoni-betonikiviaineksena_ytekki.pdf haettu 8.6.2023

Haastatellut henkilöt

Jukka Tarkkala, Helsingin kaupunki, katu- ja liikennesuunnittelu, Projekti-päällikkö

Vesa Kärhä, Muoviteollisuus ry, toimitusjohtaja

Kari Värtinen, DNA Oy

Matti Niittymäki, vastaanotto- ja käsittelypäällikkö, kiertokapula Oy

Kirsi Karhu, HSY

Ville Kinnunen, HSEQ-päällikkö, Geosynt Oy

Olli-Pekka Vatanen, Rakennuspäällikkö, Helsingin kaupunki, Stara.

Tero Smolander, Product manager, Uponor Infra Oy

Mikko Huupponen, Tiimipäällikkö, Helsingin kaupunki, kaupunkiympäristö, kaupunkitekniikka.

Oskari Patjas, Helen Sähköverkko Oy

Mark Kämpe, Helen Oy

Vesa-Matti Luoma, Auris Kaasunjakelu Oy

Ira Kaipainen, Projektipäällikkö, HSY

Liitteet

- Liite 1 Materiaalien ja konetyön CO₂ ekv. arvo laskut
- Liite 2 Suodatinhiekan kuljetuksesta muodostuvien CO₂-päästöjen laskelmat
- Liite 3 Kalliomurskeen kuljetuksesta muodostuvien CO₂-päästöjen laskelmat
- Liite 4 Betoroc:in kuljetuksesta muodostuvien CO₂-päästöjen laskemat

Liite 1

Suodatinhiekkä 0-16 m

$$\begin{array}{l} 240 \text{ m}^3 \quad 0,004 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./kg} \\ 374 + \rightarrow 374\,000 \text{ kg} \end{array}$$

$$0,004 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./kg} \cdot 374\,000 \text{ kg} \\ = 1496 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}$$

Suodatin kangas N3-luokka

$$800 \text{ m}^2 \quad 0,398 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./m}^2$$

$$800 \text{ m}^2 \cdot 0,398 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./m}^2 = 318,4 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}$$

Kalliomurske KaM 0/30 mm

$$\begin{array}{l} 240 \text{ m}^3 \quad 0,006 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./kg} \\ 384 + \rightarrow 384\,000 \text{ kg} \end{array}$$

$$0,006 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./kg} \cdot 384\,000 \text{ kg} \\ = 2304 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}$$

Kalliomurske + Suodatin kangas

$$2304 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.} + 318,4 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.} \\ = 2622,4 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}$$

Kone työ 17+ telakaväri
1h per d 2 vko ajan \rightarrow 10 h

$$27,61 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./h}$$

$$27,61 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./h} \cdot 10 \text{ h} \\ = 276,1 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}$$

Betoroc

$$-18,6 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./m}^3$$

$$100 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m} = 240 \text{ m}^3$$

$$240 \text{ m}^3 \cdot -18,6 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./m}^3 \\ = -4464 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}$$

Liite 2

Kuljetukset

Hiekka
Seepsula

9 Edestakaista
matkaa

matka välivarastoon: 16,8 km → 151,2 km

matka välivarastosta
Työmaalle: 4,1 km → 103 km 25 ⇄ matkaa

Ka (60t) 100% kuormalla 0,039 kg CO₂ ekv./tkm
151 km/1000 = 0,151 tkm

Välivarastoon vienti → 0,039 kg CO₂ ekv./tkm · 0,151 tkm
= 0,006 kg CO₂ ekv.

Ka (60t) 0% kuormalla 1,027 kg CO₂ ekv./tkm
matkat hakemaan cotta kuormaa
1,027 kg CO₂ ekv./tkm · 151 tkm = 155,077 kg CO₂ ekv.
Yht. 0,006 kg CO₂ ekv. + 155,077 kg CO₂ ekv.
= 155,083 kg CO₂ ekv.

Ka (15t) 100% kuormalla 0,097 kg CO₂ ekv./tkm

Välivarastosta työmaalle → 0,097 kg CO₂ ekv./tkm ·
0,103 tkm
= 0,01 kg CO₂ ekv.

Ka (15t) 0% kuormalla 0,597 kg CO₂ ekv./tkm

matkat hakemaan cotta kuormaa.
0,597 kg CO₂ ekv./tkm · 103 tkm = 61,491 kg CO₂ ekv.
Yht. 0,01 kg CO₂ ekv. + 61,491 kg CO₂ ekv. = 61,5 kg CO₂ ekv.

155,083 kg CO₂ ekv. + 61,5 kg CO₂ ekv. = 216,6 kg CO₂ ekv.

Vienti Scaraan kohteeseen

matka 185,4 km

0,039 kg CO₂ ekv./tkm · 0,185 tkm = 0,007 kg CO₂ ekv.

1,027 kg CO₂ ekv./tkm · 185,4 km = 190,4 kg CO₂ ekv.

Yht. 190,4 kg CO₂ ekv. + 0,007 kg CO₂ ekv. = 190,407 kg CO₂ ekv.

Liite 3

Kuljetukset

Ruoco's Viikki kalliomurske
 matkat välivarastolle: 15,8 km \rightarrow 142,2
 matkat hakemaan uutta kuormaa \rightarrow 142,2
 matkat työmaalta välivarastolle 4,1 km \rightarrow 106,6 km
 matkat välivarastolta työmaalle \rightarrow 106,6 km
 matkat Suoraan työmaalle 7,6 \rightarrow 68,4 km

Välivarastoon vienti ka (60t) 100% kuormalla

0,071 kg CO₂ ekv./tkm

0,071 kg CO₂ ekv./tkm \cdot 0,142 tkm = 0,01 kg CO₂ ekv.

Uuden kuorman haku ka(60t) 0% kuormalla

1,591 kg CO₂ ekv./tkm

1,591 kg CO₂ ekv./tkm \cdot 142,2 tkm = 226,24 kg CO₂ ekv.

Yht. 0,01 kg CO₂ ekv. + 226,24 kg CO₂ ekv. = 226,25 kg CO₂ ekv.

ka (15t) 100% kuormalla 0,097 kg CO₂ ekv./tkm

0,097 kg CO₂ ekv./tkm \cdot 0,106 tkm

= 0,01 kg CO₂ ekv.

ka (15t) 0% kuormalla 0,597 kg CO₂ ekv./tkm

0,597 kg CO₂ ekv./tkm \cdot 106,6 tkm

= 63,64 kg CO₂ ekv.

Yht. 63,64 kg CO₂ ekv. + 0,01 kg CO₂ ekv. = 63,65 kg CO₂ ekv.

226,25 kg CO₂ ekv. + 63,65 kg CO₂ ekv. = 289,9 kg CO₂ ekv.

Suoraan työmaalle vienti

0,071 kg CO₂ ekv./tkm \cdot 0,068 tkm

= 0,005 kg CO₂ ekv.

1,591 kg CO₂ ekv./tkm \cdot 68,4 tkm

= 108,82 kg CO₂ ekv.

Yht. 108,82 kg CO₂ ekv. + 0,005 kg CO₂ ekv.
 = 108,83 kg CO₂ ekv.

Liite 4

Kuljetukset
 Rudus Viikki Betonac Tiheys 1350 kg/m³

$$1350 \text{ kg/m}^3 \cdot 240 \text{ m}^3 = 324\,000 \text{ kg} \approx 324 \text{ t}$$

8 edestakaisamatkaa

Matkat välivarastolle 15,8 km → 126,4 km
 matkat hakemaan luttakuormaa 15,8 km → 126,4 km
 matkat työmaalta välivarastolle 4,1 km → 90,2 km
 matkat välivarastolta työmaalle 4,1 km → 90,2 km
 matkat Scoraan työmaalle 7,6 km → 60,8 km

Välivarastoon vienti (ka 60t) 100% kuormalla

$$0,071 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./tkm} \cdot 0,126 \text{ tkm}$$

$$= 0,01 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}$$

uuden kuorman haku (ka 60t) 0% kuormalla

$$1,591 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./tkm} \cdot 126,4 \text{ tkm}$$

$$= 201,10$$

Välivarastosta työmaalle (ka 15t) 100% kuormalla

$$0,097 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./tkm} \cdot 0,090 \text{ tkm}$$

$$= 0,008 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}$$

Työmaalta välivarastolle (ka 15t) 0% kuormalla

$$0,597 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./tkm} \cdot 90,2 \text{ tkm}$$

$$= 53,85 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}$$

$$\text{Yht.} = 0,01 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.} + 201,10 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.} + 0,08 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}$$

$$+ 53,85 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}$$

$$= \underline{254,97 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}}$$

Scoraan työmaalle vienti

$$0,071 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./tkm} \cdot 0,060 \text{ tkm}$$

$$= 0,004 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}$$

$$1,591 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./tkm} \cdot 60,8 \text{ tkm}$$

$$= 96,7 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}$$

$$\text{Yht.} = 0,004 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.} + 96,7 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}$$

$$= \underline{96,704 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv.}}$$