

Juuli Haapakoski

VESIHUOLLON VERKOSTOSANEERAUSTEN HIILIJALANJÄLJEN PIENENTÄMINEN

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Yliopistonlehtori Hannele Auvinen
Professori Jukka Rintala
Toukokuu 2022

TIIVISTELMÄ

Juuli Haapakoski: Vesihuollon verkostosaneerausten hiilijalanjäljen pienentäminen
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Ympäristö- ja energiatekniikka
Toukokuu 2022

Suomen hiilineutraaliustavoite on asetettu vuoteen 2035. Tavoitteen täyttämiseksi vaaditaan kaupunkien ja eri toimialojen osallistumista, joten myös vesihuoltoalan tulee vähentää päästöjä. Vesijohto- ja jätevesiverkoston saneeraukset ovat välttämättömiä, mutta aiheuttavat päästöjä.

Työn tavoitteena oli laskea vesijohdon ja jätevesiviemärin verkostosaneerausten hiilijalanjälki tapaustarkastelun avulla ja löytää työmaiden merkittävimmät päästölähteet. Tapaustarkastelussa tutkitut putkikoot olivat vesijohdolle DN150 ja DN400 sekä jätevesiviemärille DN300 ja DN1000.

Laskenta sisälsi kuljetukset, vesijohto- ja jätevesiviemäriputken, kolmen sulkuventtiilin ja kaivojen valmistuksen, työkoneiden käytön, maamassojen valmistuksen ja odottavan liikenteen hidastumisen. Työn lähtöarvoja kerättiin kirjallisuudesta ja kuudesta asiantuntijahaastattelusta. Haastateltavat valittiin tutkimukseen osallistuneiden vesilaitosten, Tampereen Veden ja Turun Vesihuolto Oy:n käyttämistä putkitoimittajista ja urakoitsijoista.

Pienillä putkiko'oilla suurin osa päästöistä aiheutui työkoneiden käytöstä ja suurilla putkiko'oilla putken valmistuksesta. Verkostojen hiilijalanjälkeä voidaan pienentää putkimateriaalivalinnalla, valitsemalla sopiva määrä sulkuventtiileitä ja kaivoja, lyhentämällä maamassojen kuljetusväilyjä, suosimalla yhteisprojekteja esimerkiksi verkosto- ja katusaneerauksissa, valitsemalla sopiva saneerausmenetelmä ja käyttämällä työkoneissa vähäpäästöisempiä tai fossiilivapaita polttoaineita.

Asiasanat: hiilijalanjälki, vesijohto, jätevesiviemäri, putki, saneeraus, aukikaivu, pitkäsuutus, sukka-suutus, kaivamattomat menetelmät

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

ABSTRACT

Juuli Haapakoski: Carbon footprint reduction in water and wastewater distribution networks' relining
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Program in Environmental and Energy Engineering
May 2022

The goal of carbon neutral Finland is set to the year 2030. The goal requires participation from cities and different sectors. Therefore, the water sector should also reduce its emissions. Water and wastewater relining is inevitable although it causes emissions.

Aim of this study was to calculate the carbon footprint of relining by using two case studies and find the processes with the most impact. The studied water pipes were DN150 and DN400 and wastewater pipes were DN300 and DN1000.

The carbon footprint calculation included all transportations, production of water and wastewater pipes, production of three closing valves and manholes, production of landmass, use of machinery and the effect on traffic. Values were collected from literature and six expert interviews. The participating water utilities, Tampereen Vesi and Turun Vesihuolto Oy, listed pipe delivery and contractor companies, from which the interviewees were selected.

Biggest emissions in small pipe diameters came from the use of machinery and in large pipe diameters from the manufacturing of the pipe. The carbon footprint of relining can be reduced with the selection of pipe material, selecting suitable number of closing valves and manholes, reducing the distance of intermediate landing, increasing co-operation with for example relining and road rehabilitation projects, selecting suitable renovation method and using low-emission or non-fossil fuels.

Keywords: carbon footprint, water, wastewater, pipeline, relining open-cut, slip lining, cured-in-place pipe, trenchless technology

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on toteutettu FCG Finnish Consulting Group Oy:ssä vuoden 2022 keväällä. Diplomityöaiheen kokoamisesta ja yhteistyötahojen keräämisestä haluan kiittää FCG:n ohjaajiani Ella Havulinnaa ja Henri Haimia. Kiitos myös lukuisista kommentteista ja keskusteluista aiheen parissa. Kiitos Tampereen yliopiston ohjaajille Hannele Auviselle ja Jukka Rintalalle kommentteista ja sujuvasta ohjausprosessista.

Työ on tehty ohjausryhmään osallistuneiden Vesihuoltolaitosten kehittämisrahaston, Tampereen veden, Turun Vesihuolto Oy:n ja Suomen kaivamattoman tekniikan yhdistys ry:n (FiSTT) tuella. Kiitos osallistumisesta ja erityisesti kokouksissa saaduista kokemuksen perustuvista tiedoista, jotka auttoivat erityisesti menetelmäosion kirjoittamisessa ja lähtöoletuksien päättämisessä. Kiitos myös haastatteluihin osallistuneille putkitoimittajille ja urakoitsijoille vastauksista, joiden avulla sain työn laskentaan sisällytettyä Suomen olosuhteisiin sopivia lähtöarvoja.

Kiitos opiskeluiden alussa saadulle ystäväporukalle, jonka avulla selvisin niin ensimmäisen vuoden laskuharjoituksista kuin viimeisistä etävuosista. Viimeisenä haluan kiittää puolisoani koko opiskeluajan kestäneestä tuesta ja kannustamisesta.

Tampereella 9.5.2022

Juuli Haapakoski

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TEOREETTINEN TAUSTA	3
2.1 Verkostosaneerausten lähtökohdat	3
2.1.1 Vesihuoltoalan muutostrendit	3
2.1.2 Vesihuoltoverkostojen saneeraustarve	4
2.1.3 Vesihuoltoverkostojen saneeraustahti	5
2.2 Teknisesti toimiva verkostosaneeraus	6
2.2.1 Vesihuoltoverkostojen tekniset vaatimukset	6
2.2.2 Saneeraus aukikaivulla	8
2.2.3 Saneeraus kaivamattomilla menetelmillä	11
2.3 Verkostosaneerausten päästölaskenta	13
2.3.1 Elinkaariarviointi hiilijalanjäljen laskennalla	13
2.3.2 Vesihuollon hiilineutraaliustavoitteiden lähtökohdat	15
2.3.3 Vesihuollon hiilijalanjälki Suomessa	16
2.3.4 Vesihuoltoverkostojen hiilijalanjälki	19
2.3.5 Verkoston hiilijalanjäljen merkittävimmät tekijät	22
2.3.6 Putkimateriaalin valinnan vaikutus päästöihin	23
3. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT	25
3.1 Hiilijalanjäljen laskenta	25
3.1.1 Järjestelmän raja	25
3.1.2 Ajallinen raja ja toiminnallinen yksikkö	27
3.1.3 Tarkasteltavat tapaukset	28
3.2 Inventaarioanalyysi	28
3.2.1 Haastattelu	28
3.2.2 Putkien, laitteiden ja maamassojen valmistus	29
3.2.3 Kuljetukset	32
3.2.4 Maamassojen määrät ja käytetyt katuluokat	33
3.2.5 Maamassojen kierrätys ja käytetyt tilavuuskertoimet	35
3.2.6 Työkoneiden käyttö	35
3.2.7 Odottava liikenne ja henkilöstön työmatkat	37
3.2.8 Herkkyystarkastelu	38
4. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	39
4.1 Vaikutusarviointi	39
4.1.1 Elinkaaren vaiheiden vaikutus pienillä putkilla	39
4.1.2 Elinkaaren vaiheiden vaikutus suurilla putkilla	41
4.2 Herkkyystarkastelu	42
4.2.1 EURO-luokka ja maamassojen kuljetusmatkat	43
4.2.2 Työkoneiden käyttöaste	44
4.3 Tulkinta	45
4.3.1 Merkittävimmät elinkaaren vaiheet	45
4.3.2 Verkostojen päästöjen osuus saneerauksen kokonaispäästöistä	46
4.3.3 Saneerausmenetelmän vaikutus kokonaispäästöihin	47
5. JOHTOPÄÄTÖKSET	49
LÄHTEET	50
LIITE A: KYSELYTUTKIMUS	54

KUVALUETTELO

Kuva 1.	Kaivannon mitat, kun pystysuora etäisyys on alle 1000 mm (InfraRYL 2021).	9
Kuva 2.	Maanrakennuksen tilavuuskertoimet (Mukaiillen Hartikainen 2000).	10
Kuva 3.	Suomessa käytössä olevien kaivamattomien saneerausmenetelmien luokittelu (Mukaiillen Infra 2013).	11
Kuva 4.	Sukkasujutuksen periaate (Infra 2013).	12
Kuva 5.	Pitkäsujutuksen periaate (Infra 2013).	12
Kuva 6.	Elinkaariarvioinnin vaiheet (Mukaiillen Suomen ympäristökeskus 2017b).	14
Kuva 7.	Vuosittaiset kasvihuonekaasupäästöt Suomen kunnissa vuosina 2005-2020, pikaennakkotieto 2020 (Syke 2021).	17
Kuva 8.	Rakennusteollisuuden vuosittaiset kokonaispäästöt [ktCO ₂] (Rakennusteollisuus 2020).	18
Kuva 9.	Laskentaan sisällytetyt ja ulkopuolelle jätetyt elinkaaren vaiheet.	26
Kuva 10.	Putkien massat eri ko'issa.	29
Kuva 11.	Päästötasojen osuus liikenteestä vuonna 2016 (LIPASTO 2022).	32
Kuva 12.	Kuvitteelliset kaivannot tapaustarkasteluihin aukikaivulla.	34
Kuva 13.	Pienten putkien putkimateriaalien päästövertailu.	39
Kuva 14.	Pienten putkien saneerausmenetelmien hiilijalanjälkien vertailu.	40
Kuva 15.	Suurten putkien putkimateriaalien päästövertailu.	41
Kuva 16.	Suurten putkien saneerausmenetelmien hiilijalanjälkien vertailu.	42
Kuva 17.	Maankaatopaikan ja välivarastoinnin etäisyyden vaikutus maamassojen kuljetusten aiheuttamiin päästöihin.	43
Kuva 18.	Työkoneiden käyttöasteen vaikutus työkoneiden käytön ja kuljetuksen aiheuttamiin päästöihin.	44

LYHENTEET JA MERKINNÄT

A	aukikaivu
ADP	engl. Abiotic depletion potential, fossiilisten luonnonvarojen abioottinen ehtyminen
AP	engl. Acidification potential, happamoituminen
B	betoni
CED	engl. Cumulative energy demand, kumulatiivinen energiantarve
CO ₂ e	hiilidioksidiekvivalenttia
EPD	engl. Environmental Product Declaration, ympäristöseloste
EP	engl. Eutrophication potential, rehevöityminen
ETP	engl. Ecotoxicity potential, ekotoksisuus
EU	euroopan unioni
GWP	engl. Global warming potential, ilmastonlämpeneminen
HTP	engl. Human toxicity potential, myrkyllisyys ihmisille
JV	jätevesiputki
kt	kilotonnia
ODP	engl. Ozone layer depletion potential, otsonikato
P	pitkäsujutus
PCOP	engl. Photochemical ozone creation potential, valokemiallinen otsoninmuodostuskyky
PEH (eli HDPE)	korkeatiheyksinen polyeteeni
PP	polypropeeni
PVC	polyvinyylikloridi
S	sukkasujutus
T	teräs
TEU	konttiyksikkö
VJ	vesijohto

1. JOHDANTO

Laadukkaiden ja turvallisten vesihuoltopalveluiden tuottamisen lisäksi vastuullisen vesihuoltoalan tulee pyrkiä hiilineutraaliksi kiertotalouden edelläkävijäksi (Maa- ja metsätalousministeriö 2021). Hiilineutraalissa yhteiskunnassa hiilidioksidipäästöjä syntyy sama määrä, kuin niitä sidotaan hiilinieluihin (Euroopan parlamentti 2019).

Suomen kunnista kaksi kolmasosaa (206 kpl) on asettanut ilmastotavoitteita, jotka monesti ovat kunnianhimoisempia kuin Suomen hallituksen asettamat kansalliset ilmastotavoitteet (Sitra 2018a; Sitra 2021). Ilmastotavoitteita ovat hiilineutraalius, päästövähennys, energiatehokkuus ja uusiutuvan energian lisääminen (Sitra 2021). Koska vesihuolto on kunnallinen palvelu, vesihuoltoalan ja kuntien hiilineutraaliustavoitteet tukevat toisiinsa.

Norjassa tehdyn tutkimuksen mukaan vesihuoltoalan hiilijalanjälki on yli 10 % kaikkien kunnallisten palveluiden hiilijalanjäljestä (Norsk Vann 2019). Hiilijalanjälki kuvaa ihmisen aiheuttamia päästöjä, joihin sisältyvät hiilidioksidin lisäksi muut merkittävät kasvihuonekaasupäästöt (Sitra 2018b). Ainakaan toistaiseksi hiilidioksidia ei ole onnistuttu sitomaan ihmisten luomilla järjestelmillä, joten hiilineutraaliustavoitteeseen pääsemisen kannalta on erittäin tärkeää vähentää päästöjä (Euroopan parlamentti 2019). Vesihuoltoalan tavoite hiilineutraaliuden edelläkävijänä on tärkeä, sillä ilmastonmuutoksella on vaikutuksia vesihuoltoon. Verkostojen kannalta ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi vaaditaan vuotojen vähentämistä esimerkiksi sekaviemäreitä eriyttämällä ja tonttijohtoja saneeraamalla (Vesilaitosyhdistys 2020).

Laadukkaiden ja turvallisten vesihuoltopalveluiden turvaamiseksi vaaditaan entistä tiheämpää verkostojen saneeraustahtia kattamaan tekemättä jääneet saneeraukset (Vesilaitosyhdistys 2020). Tekemättä jääneiden saneerausten lisäksi 1960-70-luvulla lisääntyneen verkostorakentamisen takia suuri määrä putkia on tulossa saneerausikään (Suomen ympäristökeskus 2012; Kuntalehti 2018; Vesilaitosyhdistys 2020). Saneerausten tärkeydestä huolimatta työmaat aiheuttavat myös ympäristövaikutuksia esimerkiksi resurssien käytössä ja kuljetuksissa (Pillot et al. 2016; Hajibabaei 2020).

Suomessa on selvitetty vesihuoltoalan aiheuttamia kasvihuonepäästöjä koko vesihuoltolaitoksen energiankulutuksen kautta (Tukiainen 2009) sekä jätevedenpuhdistamoiden hiilijalanjäljen laskennalla (Mölsä 2020; Awaitey 2021). Lisäksi on selvitetty vedenjakelun energiatehokkuuden parantamista (Sunela 2010; Saviranta 2015). Verkostorakentamisen osalta tutkimuksiin perustuvaa tietoa hiilijalanjäljestä ja siihen vaikuttavista tekijöistä Suomen olosuhteissa on toistaiseksi vain vähän saatavilla. Vesihuoltolaitoksen ilmastopäästöjen arviointihankkeissa on havaittu, että verkostorakentamisen hiilijalanjäljen laskentaan soveltuvat kaupalliset laskentaohjelmat eivät ole helposti erilaisiin kohteisiin sovellettavissa eikä ole tietoa, miten niissä käytetyt päästökertoimet soveltuvat paikallisiin olosuhteisiin (Haimi 2021). Näin ollen verkostorakentamisen päästölaskentaan tarvitaan lisää tutkimustietoa suomalaisten vesihuoltolaitosten tehokkaasti suunnatun ja oikeasuhtaisen ilmastotyön tukemiseksi.

Työn tavoitteena on löytää keinoja verkostosaneerausten hiilijalanjäljen pienentämiseen. Työssä arvioidaan vesijohdon ja jätevesiviemärin saneerauksen hiilijalanjälkeä ja etsitään merkittävimmät päästölähteet. Tapaustarkastelun kautta lasketaan hiilijalanjälki erikokoisten putkien saneeraukselle aukikaivulla, pitkäsujutuksella tai sukkasujutuksella.

Työn tutkimuskysymykset ovat:

Mistä vesihuollon verkostosaneerausten hiilijalanjälki koostuu?

Miten hiilijalanjälkeä voidaan pienentää?

Toisessa luvussa on avattu työhön liittyvää teoreettista taustaa saneerausten lähtökohdista, teknisistä vaatimuksista ja hiilineutraaliudesta. Kolmannessa luvussa kuvataan hiilijalanjäljen laskennan rajaukset ja tapaustarkastelut sekä työssä tehty haastattelu, käytetyt lukuarvot ja päästökertoimet. Neljännessä luvussa käydään läpi laskennan tuloksia, tehdään herkkyystarkastelua valittujen lähtöarvojen vaikutuksista tuloksiin ja tulkitaan tuloksia. Viimeisenä lukuna on johtopäätökset, jossa esitetään vastaukset tutkimuskysymyksiin ja nostetaan esiin tärkeimmät tulokset.

2. TEOREETTINEN TAUSTA

2.1 Verkostosaneerausten lähtökohdat

Tässä luvussa kerrotaan vesihuoltoalan muutostrendeistä ja vesijohtoverkoston ja jätevesiviemärin saneeraustarpeesta sekä vaadittavasta saneeraustahdistista. Vesihuolto koostuu vedenotosta, vedenkäsittelystä, veden johtamisesta kuluttajille sekä jäteveden johtamisesta ja puhdistuksesta (Maa- ja metsätalousministeriö 2021). Muutostrendeissä painotetaan verkostoihin vaikuttavia tekijöitä.

2.1.1 Vesihuoltoalan muutostrendit

Vesihuoltoalaan vaikuttavat muutostrendit jaetaan ulkoisiin ja sisäisiin. Koko vesihuoltoon vaikuttavia ulkoisia muutostrendejä ovat aluerakenteen ja väestömäärän kehitys, sää- ja vesiolojen ääri-ilmiöiden lisääntyminen, lainsäädännön muutokset ja vaatimusten kiristyminen, asiakkaiden rooli ja tarpeet sekä onnettomuudet ja riskienhallinta (Silfverberg 2017).

Ilmastonmuutoksen aiheuttamat sään ääri-ilmiöt kuten kuivuus vaikuttavat niin talousveden laatuun ja saatavuuteen kuin jätevesihuoltoonkin (Suomen Ilmastopaneeli 2019). Kuivuuden yleistyminen aiheuttaa painetta vesijohtoverkoston laajentumiselle (Suomen kuntaliitto 2007, Suomen Vesilaitosyhdistys 2020 mukaan). Samalla alueiden tiivistyminen vähentää asemakaava-alueiden laajenemisen tarvetta ja vesihuoltoverkostojen uudisinvestointien määrää (Suomen Vesilaitosyhdistys 2020).

Väestön tiivistyminen lisää kaupunkialueiden vedenkulutusta ja verkostojen saneeraustarvetta (Suomen Vesilaitosyhdistys 2020). Kun väestö vähenee haja-asutusalueella, investoinnit eivät välttämättä ole kannattavia ja suuremmalle väestömäärälle mitoitettu putki heikentää veden laatua (Suomen ympäristökeskus 2012; Silfverberg 2017).

Sisäisiä muutostrendejä ovat muutokset veden käytössä, omistajaohjaus ja operointi, henkilöstön saatavuus ja osaaminen, infrastruktuuri ja teknologia sekä talous (Silfverberg 2017). Veden ominaiskäyttö on vakiintunut 1970-luvun 308 litrasta noin 220-230 litraan esimerkiksi vettä säästävien vesikalusteiden ansiosta (Suomen ympäristökeskus 2012; Silfverberg 2017). Ominaiskäytön muutoksia voi syntyä edelleen esimerkiksi vuotojen vähentämisestä, huuhteluiden lisäämisestä ja asuntokohtaisen kulutusmittauksen lisääntymisestä (Silfverberg 2017). Ominaiskäyttö vaikuttaa saneerattavan putken tilalle asetettavan putken kokoon ja ominaiskäytön pienentyessä vanhan putken sisälle voidaan asentaa pienempi putki (Infra 2013).

2.1.2 Vesihuoltoverkostojen saneeraustarve

Saneeraustarve syntyy yleensä putkirikon, -tukoksen tai muun kadun aukaisemista tarvitsevan tilanteen vuoksi. Tarve voi syntyä myös viemäritukosten ja -huuhteluiden määrästä, kunnossapitokustannusten noususta, liian suuresta tai pienestä kapasiteetista tai toimintaedellytysten turvaamisesta. (Suomen ympäristökeskus 2017a) Ajantasaista tietoa verkoston kunnosta ei välttämättä ole, sillä vesihuoltoalan tiedonkeruu on puutteellista. Tarkka tilastointi putkimateriaaleista ja verkoston iästä sekä saneeraustarpeeseen johtaneista syistä mahdollistaisi verkoston pitoajan tarkemman arvioinnin ja investointien sopivan ajoittamisen (Vesilaitosyhdistys 2020).

Vesilaitokset voidaan jakaa koon mukaan suuriin, keskisuuriin ja pieniin. Suuret laitokset (n. 80 kpl) tuottavat vettä yli 1 miljoonaa m³/vuosi, keskisuuret (n. 280 kpl) 0,1-1 miljoonaa m³/vuosi ja pienet laitokset (n. 1460 kpl) alle 100 000 m³/vuosi. (Maa- ja metsätalousministeriö 2021) Suomessa 20 suurinta laitosta hoitaa 80 % vesihuollosta asiakasmäärien, toimitetun veden ja käsiteltävän jäteveden näkökulmasta, mutta verkostoista suurin osa on pienemmillä laitoksilla. Suurimmat 23 laitosta omistavat yhteensä koko Suomen vesijohtoverkostosta 20 %:a ja viemäreistä 30 %:a. Saneeraus on kalliimpaa tiiviimmillä alueilla, mikä hieman tasaa saneerausinvestointeja suhteessa laitoksen kokoon (Berninger ym. 2018). Esimerkiksi suurten kaupunkien keskustoissa sijaitsevien sekaviemäreiden eriyttäminen on kallista (Suomen Vesilaitosyhdistys 2020). Kunnossapidossa on vaikeuksia erityisesti pienillä ja keskisuurilla alijäämäisillä laitoksilla (Silfverberg 2017).

Jätevesiverkostot rakennetaan joko painovoimaisena tai paineellisina pumppaamoiden kanssa. Osa jätevesiverkostoista on sekaviemäriä, jossa jäteveden lisäksi verkostoon johdetaan myös hulevesiä. Sekaviemäroityjä alueita on eriytetty, mutta erityisesti kaupunkien keskustoista löytyy edelleen sekaviemäreitä. Putkirikot lisäävät vesikatkojen lisäksi riskiä veden saastumiselle etenkin, jos lisäksi jätevesiputki on rikki. (Suomen ympäristökeskus 2012) Riskiä pienennetään asentamalla vesijohto jätevesiviemärin yläpuolelle, mutta haitta-aineita voi päätyä verkostoon myös maaperästä (RIL 237-2 2010; Suomen ympäristökeskus 2012).

Vesihuoltoverkostoiden rakentaminen on kiihtynyt 1970-luvulla, jolloin menetelmät eivät vielä olleet yhtä kehittyneitä kuin nykypäivänä. (Suomen ympäristökeskus 2012; Vesilaitosyhdistys 2020). Tuolloin vesijohdon materiaalina käytettiin valurautaa tai terästä ja jätevesiverkoston materiaalina betonia. Nykyään sekä vesijohtoverkoston että jätevesiviemärin rakentamiseen käytetään pääosin muoviputkia. (Suomen ympäristökeskus 2012) Verkostojen pitoaikaan vaikuttaa materiaalin teknisen kestoian lisäksi esimerkiksi asennustyön laatu, eikä muoviputkien pitoaikoihin ole saatavilla tieteellistä näkökulmaa (Suomen Vesilaitosyhdistys 2020)

2.1.3 Vesihuoltoverkostojen saneeraustahti

Vesihuollon omaisuudesta 80 % on sitoutunut vesihuoltoverkostoihin (Vesilaitosyhdistys 2020). Viimeisimmän arvion mukaan verkostojen vuotuinen saneeraustarve vesijohdon osalta on 2-3 % kokonaispituudesta tai rahallisesta arvosta ja mikäli vesihuoltolaitos ei pysy tässä tahdissa, syntyy saneerausvelkaa (RIL 2017 & RIL 2019, Vesilaitosyhdistys 2020 mukaan). Arvio saattaa olla laajassa mittakaavassa yliarvioitu, mutta tarpeellinen esimerkiksi tilanteissa, joissa saneerausvelkaa on päässyt jo kertymään (Laakso ym. 2018, Vesilaitosyhdistys 2020 mukaan). Vesilaitosyhdistys (2013) on luonut saneeraustahtidista kolme skenaariota, joista ensimmäinen vastaa nykyistä saneeraustahtia 0,5-1 %/a, toinen on lähes suositusten mukainen 1-2 %/a ja kolmas on suositusten mukainen tai sen ylittävä 2-4 %/a (Taulukko 1).

Taulukko 1. *Verkostosaneerausten kolme skenaariota (Vesilaitosyhdistys 2013, Vesilaitosyhdistys 2020 mukaan, muokattu lähteestä Vesilaitosyhdistys 2020)*

Skenaario	Saneerausinvestoinnit [milj. euroa/vuosi]	Saneerausvaje 2008 [milj. euroa/vuosi]	Tulos
1: 0,5-1 %/vuosi	120	200-240	Saneerausvaje kasvaa yli 240 milj. euroon/vuosi vuonna 2035-2055
2: 1-2 %/vuosi	240	200-240	Saneerausvaje umpeutuu vuonna 2045-2055
3: 2-4 %/vuosi	480	200-240	Saneerausvaje umpeutuu vuonna 2035-2045

Ensimmäinen skenaario on investointina 120 m€/a koko Suomessa, toinen skenaario on investointina kaksinkertainen ensimmäiseen verrattuna ja kolmas kaksinkertainen toiseen verrattuna. Jos noudatetaan ensimmäistä skenaariota, vuoteen 2050 mennessä saneerauksissa on syntynyt merkittävä vaje suhteessa toiseen skenaarioon, jossa vaje supistuu. Verkostosaneeraukset pienentävät ympäristövaikutuksia, mutta liiallisen saneeraamisen ympäristövaikutukset voivat olla suurempia kuin saavutetut hyödyt (Pillot et al. 2016).

2.2 Teknisesti toimiva verkostosaneeraus

Tässä luvussa kerrotaan vaatimukset teknisesti toimivalle saneeraukselle, sillä laadukkaasta tehdyt verkostosaneeraukset takaavat verkostojen pitkän eliniän. Aukikaivun esittelevässä luvussa kerrotaan vesihuoltokaivantojen vaatimuksista ja kaivamattomien menetelmien luvussa sukka- ja pitkäsujutuksen vaatimuksista.

2.2.1 Vesihuoltoverkostojen tekniset vaatimukset

Tavoitellessa verkoston päästövähennyksiä materiaalivalinta ei voi perustua ainoastaan vähäpäästöisyyteen, vaan materiaalivalinnassa tulee ottaa huomioon muitakin esimerkiksi teknisiä tekijöitä. Vesijohto- ja jätevesiputkien, putkiyhteiden, laitteiden ja tarvikkeiden tulee olla uusia, laadukkaita ja jatkuvan laadunvalvonnan alaisuudessa olevilta val-

mistajilta (InfraRYL 2021). Päästövähennyksiä ei siis voida tavoitella kierrätysmateriaaleja käyttämällä. Materiaalien tulee sopia maaperä- ja ympäristöolosuhteisiin, jotta saadaan mahdollisimman pitkän eliniän omaava rakenne.

Talousveden laadun tulee säilyä putkissa hygieenisyyden ja muut viranomaisvaatimuksen täyttävänä. Putkimateriaalin valinnassa otetaan huomioon esimerkiksi putken todellinen käyttöikä, paineen, kuormien ja jäätymisvaurioiden kestävyys, materiaalin ja liitosten tiiviyys sekä hankinta-, asennus- ja käyttökustannukset. (InfraRYL 2021) Vesijohto- ja jätevesiviemäriverkostolla on materiaalivaatimusten lisäksi muita varusteisiin liittyviä vaatimuksia, kuten sulkuventtiilien ja kaivojen sijoitustiheys (Taulukko 2).

Taulukko 2. *Vesijohto- ja jätevesiverkoston tekniset vaatimukset (InfraRYL 2021).*

	Materiaalit	Paineluokka	Lujuusluokka	Rengasjäykkyys	Laitteet	Lisätiedot
Vesijohto	PE, PVC, SG-valurauta, T	PN10	-	-	Esim. sulkuventtiilit, yksisuuntaventtiilit ja huuhteluhaarat	Sulkuventtiilejä sijoitetaan runsaasti, jotta putki-osuuksia saadaan eristettyä työmaiden ajaksi. Kulmatuet yli DN225 putkiin
Jätevesiviemäri (vietto)	B, PVC-U, PE, PP, SG-valurauta, T	-	Br	SN8	Esim. tarkastuskaivot ja ilmanvaihtoputket	Tarkastuskaivoja viettoviemäriin haaroihin, vaakaja pystytaitekohtiin, tonttijohtojen liitoskohtiin ja vähintään 100 metrin välein

Vesijohtoverkostossa uusien putkien yleisimpiä materiaaleja ovat polyeteeni (PE), polyvinylikloridi (PVC), SG-valurauta ja teräs (T). (RIL 237-2 2010) Vesijohtoputkien materiaalina käytetään esimerkiksi sisältä keskipakovaletulla sementtivuorauksella ja ulkoa sinkillä, sinkkialumiinilla tai muilla erityispinnoitteella varustettuja pallografiittivalurautaputkia (SG-valurauta) ja sisältä keskipakovaletulla sementtivuorauksella (tai vähintään polyeteenipinnoituksella) varustettuja teräksisiä vesijohtoputkia. (InfraRYL 2021)

Viettoviemäreissä voidaan käyttää betoni-, polyvinylikloridi- (PVC-U), polyeteeni (PE) ja polypropeeniputkia (PP). Lisäksi käytetään sinkillä, sinkkialumiinilla tai muulla erityispinnoitteella käsiteltyä pallografiittivalurautaputkia (SG-valurauta) ja sisäpuolen keskipakolingotulla betonipinnoitteella ja ulkopuolen vähintään polyeteenipinnoituksella käsitellyjä teräsputkia. (RIL 237-2 2010; InfraRYL 2021)

Vesijohtoverkostolle käytetään vähintään nimellispaineelle PN10 tarkoitettuja tarvikkeita, jos suunnitelma-asiakirjoissa ei ole muuta mainittu (InfraRYL 2021). Paineluokka (PN) kertoo sisäisen ylipaineen kestävydestä ja rengasjäykkyys (SN) alipaineen ja ulkoisen paineen kestävydestä (RIL 237-2 2010). Mikäli suunnitteluasiakirjoissa ei ilmoiteta lu-

juus- tai jäykkyydsuokkaa, viettoviemärissä betoniputkella käytetään lujuusluokan Br mukaisia putkia ja muoviputkelle jäykkyydsuokan SN8 mukaisia putkia. Jätevesiviemärin asennuksen jälkeen kelpoisuus todetaan silmämääräisesti ja tiivistyskokeella. (InfraRYL 2021)

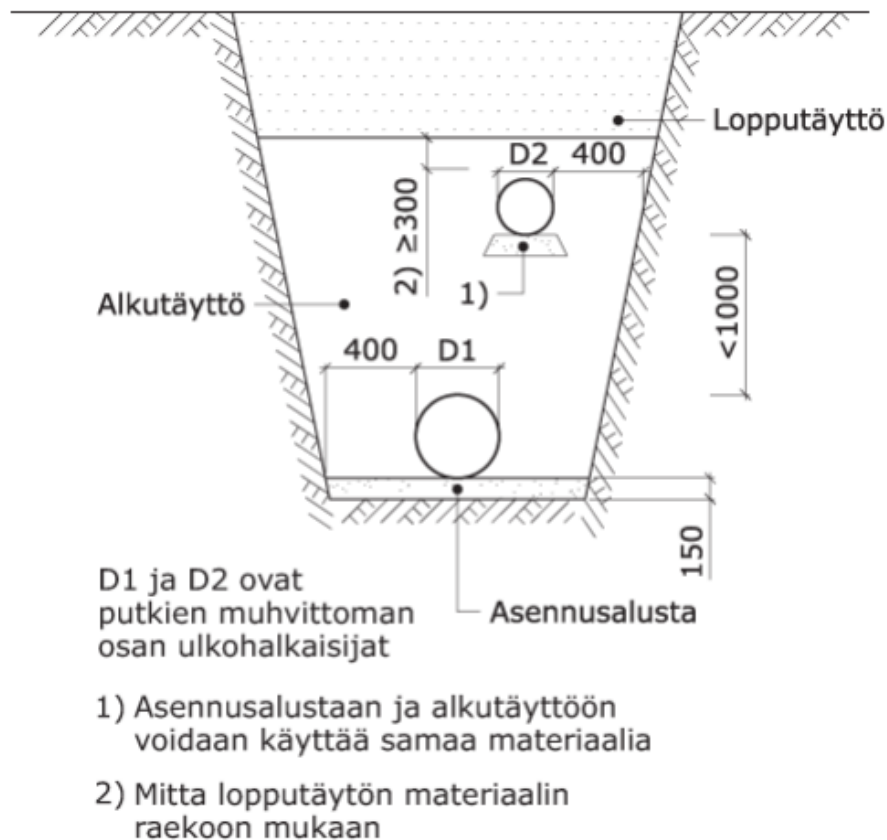
Vesijohtoverkostoon kuuluu putkien lisäksi erilaisia venttiilejä ja varusteita, joilla hallitaan painetasoja ja virtaamia. Tällaisia ovat esimerkiksi sulkuventtiilit, yksisuuntaventtiilit ja huuhteluhaarat. Laitteet sijoitetaan yleensä laitekaivoihin, joiden tulee olla standardien mukaisia ja paineenkestävyydeltään vastata vesijohtoputkea, johon ne liitetään. Sulkuventtiileillä erotetaan putkiosuuksia verkostosta esimerkiksi putkivaurioiden tai liitostöiden ajaksi, joten niitä sijoitetaan verkostoon runsaasti. (RIL 237-2-2010)

Jätevesiviemäriverkostoon kuuluvia laitteita ovat esimerkiksi tarkastuskaivot ja ilmanvaihtoputket (RIL 237-2 2010). Tarkastuskaivojen- ja putkien ja kansistojen tulee olla standardien mukaisia (InfraRYL 2021). Tarkastuskaivoja rakennetaan viettoviemäreiden haaroihin, vaaka- ja pystytason taitekohtiin, tonttijohtojen liitoskohtiin ja vähintään 100 metrin välein. Jätevesiviemäri tulee tuulettaa tehokkaasti, jotta voidaan estää korroosio- ja hajuhaitat. Pitkiin viemäriin voidaan asentaa ilmanvaihtoputki, mikäli talojohtojen ja kaivonkansien kautta tapahtuvaa tuuletusta ei ole riittävästi. (RIL 237-2 210)

2.2.2 Saneeraus aukikaivulla

Aukikaivulla saadaan aikaiseksi uutta vastaava rakenne ja menetelmä sopii erityisesti tilanteisiin, missä aukikaivun yhteydessä saneerataan myös muita johtoja ja kaapeleita tai katu saneerataan samalla. Aukikaivuta käytetään myös tilanteissa, joissa sekaviemäri eriytetään, sortumisvaarassa oleva huonokuntoinen putki vaihdetaan, vanhoja asennusvirheitä korjataan tai putkeen tulee runsaasti liitoksia, jolloin maanpintaa avattaisiin paljon joka tapauksessa. (Suomen ympäristökeskus 2017a)

Vesihuollon kaivannon mitat riippuvat johtojen lukumäärästä, koosta ja keskinäisestä asemasta, kaivannon syvyydestä, maaperästä ja putkien tuentatavasta. Vesijohtoputket voidaan usein asentaa kaivannon pohjalle koskemattoman maan varaan. Viemäriputket voidaan sora-, hiekka-, tai kovan savimaa olosuhteissa perustaa suoraa perusmaan varaan, kun huolehditaan ettei putken ympäriltä virtaava vesi huuhtele maata mukanaan (RIL 124-2 2004). Vesihuoltokaivannot sisältävät vesihuollon järjestelmien lisäksi suodattinkankaan tarvittaessa, kiviainesarinan, asennusalustan, alkutäytön, lopputäytön, penkereet, maapadot ja täytöt (InfraRYL 2021). Kun putkien pystysuora etäisyys on enintään 1000 mm, asennusalustaan ja alkutäyttöön voidaan ylemmän putken osalta käyttää samaa materiaalia (Kuva 1).



Kuva 1. Kaivannon mitat, kun pystysuora etäisyys on alle 1000 mm (InfraRYL 2021).

Asennusalusta tehdään maapohjan tai arinarakenteen päälle, jos kaivannon pohja ei täytä asennusalustalle esitettyjä vaatimuksia. Katualueen ulkopuolella voidaan asennusalusta jättää tekemättä, mutta kaivantoon tulee tehdä tarpeelliset syvennykset muhveille ja laipoille. Mikäli arinarakennetta ei tarvita, kaivannon pohja tiivistetään vastaamaan ympäröivää rakennetta tai pohjamaata. Murskeen päälle tehtävän asennusalustan variseminen estetään louhekerroksen riittävällä tiivistämisellä, kiilauksella ja vähintään käyttöluokan N3 suodatinkankaalla. (InfraRYL 2021)

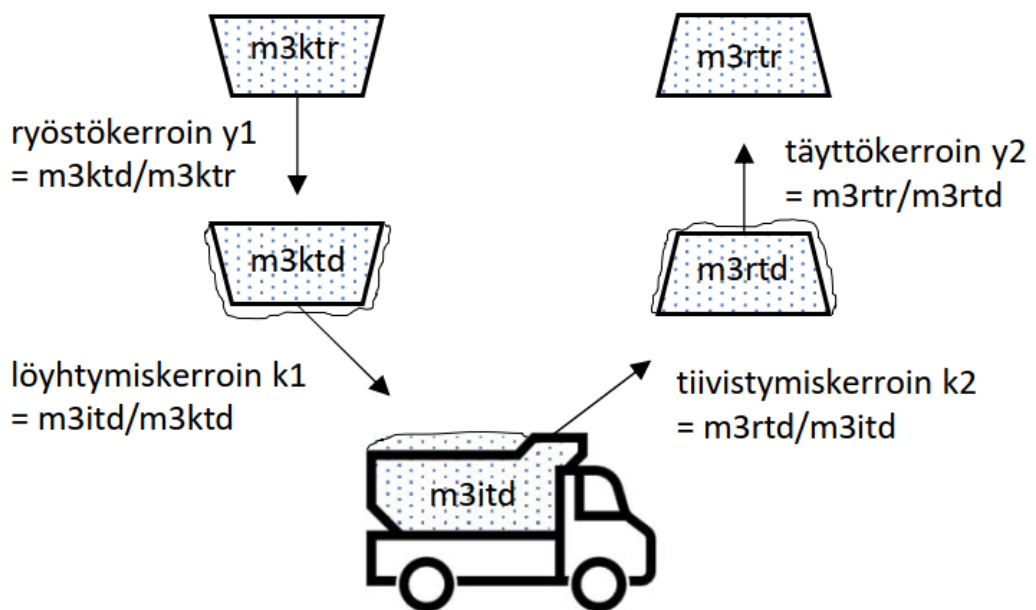
Alkutäyttö tehdään liikennöitävillä alueilla helposti tiivistettävästä routimattomasta hiekasta, sorasta tai murskeesta. Alkutäytön materiaalin enimmäisraekoko riippuu putkimateriaalista ja koosta. Mikäli kaivannossa on useita putkia, alkutäyttömateriaalin tulee täyttää kaikkien vaatimukset. (InfraRYL 2021)

Lopputäyttöön käytetään liikennöitävillä alueilla kerroksen sijainnin mukaan pengertäyttemateriaalin, siirtymäkiilatäytteen tai ympärillä olevan rakennekerroksen vaatimukset täyttävää materiaalia. Liikennöitävän alueen ulkopuolella lopputäyttöön käytetään

yleensä kaivumaita, mutta myös muualta tuotu tiivistämiskelpoinen routimisominaisuuksiltaan kaivumaata vastaava täyttömateriaali käy. (InfraRYL 2021)

Tuetun kaivannon tilantarve ja syntyvien kaivumassojen määrä on pienempi kuin luiskatassa kaivannossa. Tuentatapa ja tukiseinän tyyppi valitaan kohdekohtaisesti mitoituksen ja toiminnallisen käyttötarpeen mukaan. Tukiseinätyypeistä käytetyin on teräsponttiseinä, sillä sen kustannukset ovat yleensä edullisimmat ja sen rakentaminen ja purkaminen on nopeaa. Teräsponttiseinät säilyvät käyttökelpoisina useita käyttökertoja, mikäli pohjaolosuhteet ovat kivettömät. Asentaminen aiheuttaa tärinää, joten teräspontit eivät sovellu ponttustärinästä häiriintyville alueille. (RIL 263 2014)

Maa- ja kalliomassojen tilavuus muuttuu eri käsittelyvaiheissa (Hartikainen 2000). Maa- ja kalliomateriaaleille käytetään tilavuuskäsitteitä teoreettinen kiintotilavuus (m^3_{ktr}), todellinen kiintotilavuus (m^3_{ktd}), todellinen irtotilavuus (m^3_{itd}), todellinen rakennetilavuus (m^3_{rtd}) ja teoreettinen rakennetilavuus (m^3_{rtr}) (Kuva 2).

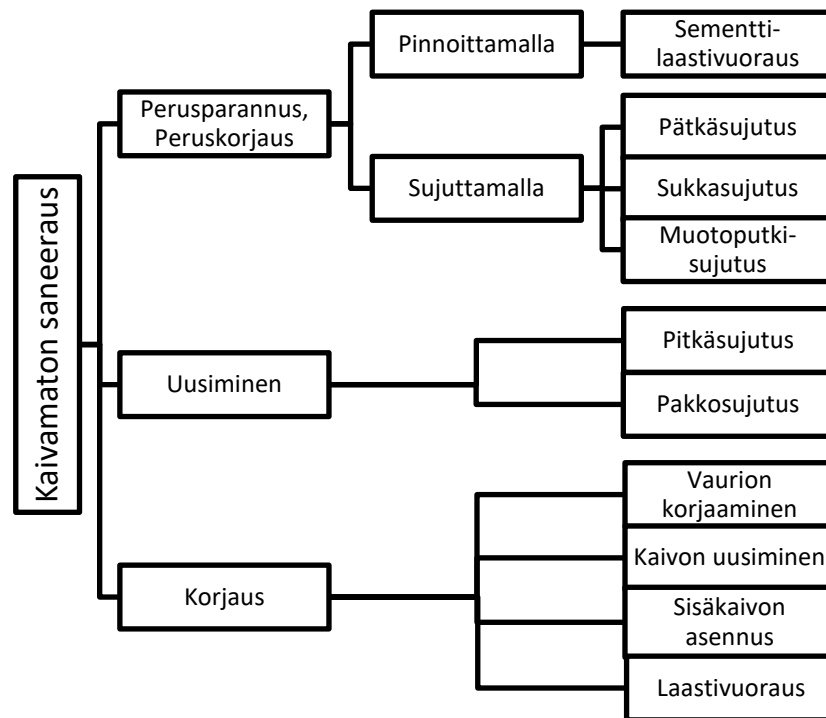


Kuva 2. Maanrakennuksen tilavuuskertoimet (Mukaillen Hartikainen 2000).

Tilavuuskäsitteet muutetaan toisikseen ryöstökertoimella y_1 , löyhtymiskertoimella k_1 , täyttökertoimella y_2 ja tiivistymiskertoimella k_2 . Kaivettaessa suunnitelmien mukaista kaivantoa, tulee kaivannosta yleensä hieman suurempi. Kun tehdään suunnitelmien mukaista pengertä, tulee siitä yleensä hieman suurempi. Maan tilavuus on suurimmillaan kaivettuna. (Hartikainen 2000)

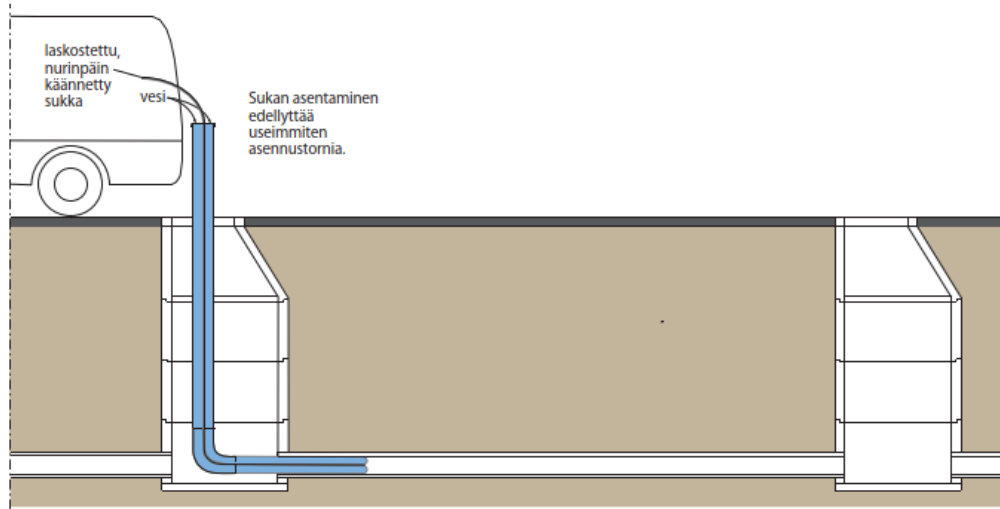
2.2.3 Saneeraus kaivamattomilla menetelmillä

Kaivamattomia menetelmiä käytetään erityisesti tilanteissa, joissa esimerkiksi tiiviin yhdyskuntarakenteen takia aukikaivu ei onnistu (Suomen ympäristökeskus 2017a). Kaivamattomat saneerausmenetelmät voidaan luokitella kolmeen osaan: perusparannukseen ja -korjaukseen, uusimiseen ja korjaukseen (Kuva 3).



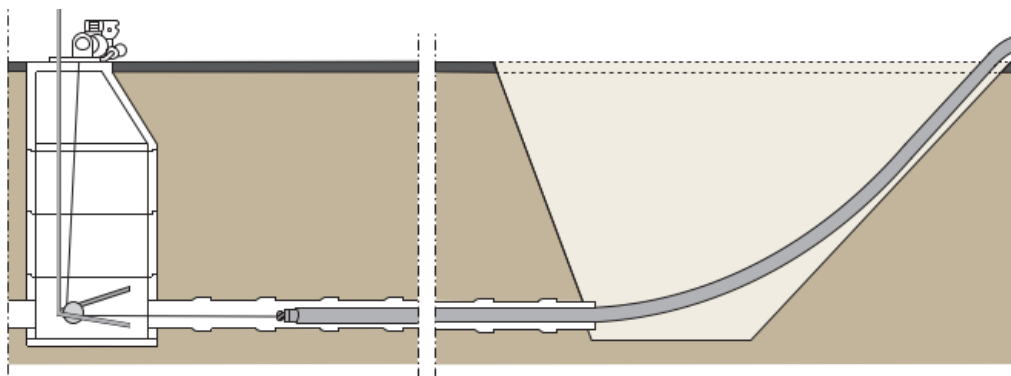
Kuva 3. Suomessa käytössä olevien kaivamattomien saneerausmenetelmien luokittelu (Mukaiillen Infra 2013).

Pinnoitettua johtoa lukuun ottamatta, peruskorjatun tai uusitun johdon tulee vastata lujuudeltaan vähintään uudisrakennettua. Vesijohdon paineluokka tulee olla PN10 ja viemärissä rengasjäykkyys SN8. Perusparannuksessa hyödynnetään alkuperäistä putkirakennetta ja toimintakuntoa verkostojen toimintakyvyn parantamiseksi. Perusparannukseen kuuluvassa sukkasujutuksessa saneerattavan putken sisään asetetaan hartsilla kyllästetty saumaton polyesterihuopa tai lasikuitusukka. Nykyinen putki huuhdellaan ja sujutusta mahdollisesti haittaavat esteet poistetaan ennen sujutusta. (Infra 2013) Sukka asennetaan joko vetämällä tai kääntömenetelmällä ja kovetetaan joko lämmöllä tai valolla (Kuva 4).



Kuva 4. Sukkasujutuksen periaate (Infra 2013).

Uusimismenetelmissä uusi putki, kaivo tai laite korvaa kokonaan vanhan rakenteen samalla paikalla. Uusimismenetelmiin kuuluvassa pitkäsujutuksessa saneerattavan putken sisään vedetään uusi muoviputki. Myös esimerkiksi teräs ja valurauta käyvät pitkäsujutuksen materiaaliksi, mutta vaativat erilaisia työmaajärjestelyjä ja putken tulee kestää asentamisen aiheuttama veto- tai työntövoima. Nykyinen putki huuhdellaan ja sujutusta mahdollisesti haittaavat esteet poistetaan ennen sujutusta. Putki hitsataan yleensä valmiiksi ennen asennusta ja saumat tasoitetaan ulko- ja sisäpuolelta. Putkeen asennetaan vetopää ja nykyiseen putkeen työnnetään vaijeri, jotta putki voidaan vetää paikalleen vinssillä tai työkoneella. (Infra 2013) Alkuperäistä putkea merkittävästi pienemmällä putkella ja lyhyellä sujutusmatkalla voidaan uusi putki myös työntää paikalleen (Kuva 5).



Kuva 5. Pitkäsujutuksen periaate (Infra 2013).

Sukka- ja pitkäsujutus sopivat erityisesti tilanteisiin, jossa saneerattava linja on pitkä ja suora eikä putkessa ole paljoa liittymiä sekä sukkasujutuksessa kaivoja mahdollisimman (Suomen ympäristökeskus 2017a). Sukkasujutus sopii lähes kaikkiin putkisaneerauksiin, mutta materiaali on erityyppinen vesijohdolle ja viemärille. Pitkäsujutus sopii kaiken kokoisille viemäreille ja vesijohdoille ja sopii parhaiten kohteisiin, joissa putki on nykyisellään liian suuri. Sukkasujutuksella voidaan saneerata viettoviemäreitä kokoluokissa 50-3000 mm sekä runkovesijohtoja ja paineviemäreitä koosta 400 mm ylöspäin. Sukka- ja pitkäsujutukseen tulee järjestää joko ohipumppaus tai väliaikainen vedenjakelu riippuen saneerattavasta putkesta. (Infra 2013)

Korjaukseen kuuluvassa kaivon uusimisessa vanha kaivo korvataan kokonaan uudella tai uusitaan vain yläosa siten että pohjarengas ja virtauskouru jäävät ennalleen. Korjauskaivon rakentamisessa vähintään 400 mm kokoinen valmiskaivo asennetaan vanhan sisään. Kaivon sementtilaastivuorauksessa kaivon sisäpinnalle ruiskutetaan kerroksittain sementtilaastia ja viimeisen ruiskutuksen jälkeen pinta tasoitetaan. (Infra 2013)

2.3 Verkostosaneerausten päästölaskenta

Tässä luvussa kerrotaan hiilijalanjäljen laskennasta, hiilineutraaliustavoitteista, vesihuollon hiilijalanjäljestä Suomessa sekä tarkemmin verkostotyömaiden hiilijalanjäljestä, hiilijalanjäljen kannalta työmaan merkittävimmistä toiminnoista ja putkimateriaalin valinnan vaikutuksista.

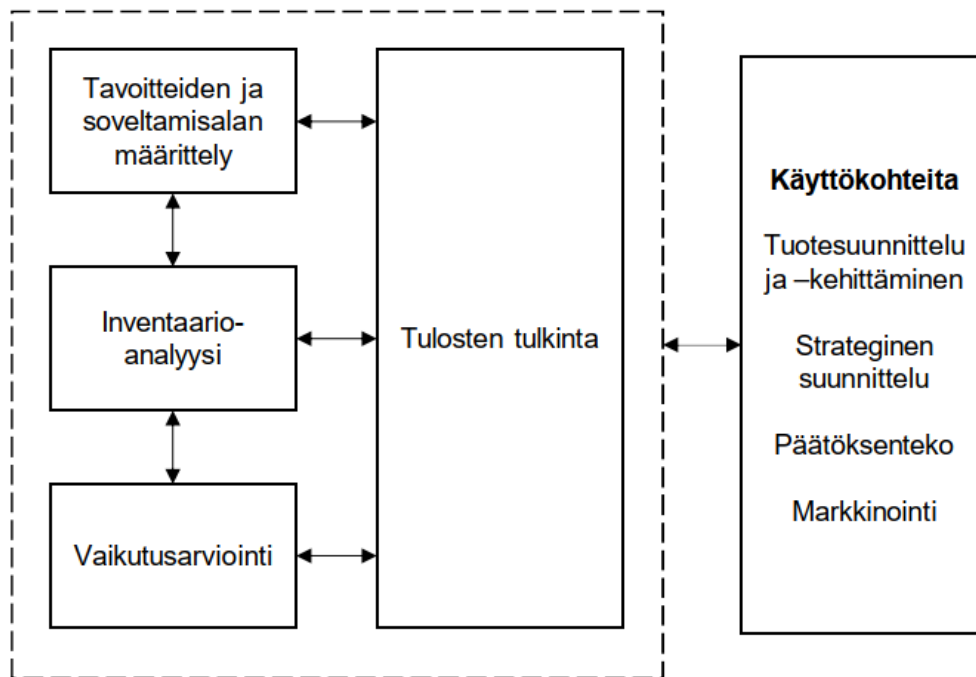
2.3.1 Elinkaariarviointi hiilijalanjäljen laskennalla

Elinkaariarvioinnilla (Life Cycle Assessment, LCA) analysoidaan ja arvioidaan tuotteen tai palvelun vaatimia resursseja ja ympäristövaikutuksia. Elinkaariarvioinnissa voidaan ottaa huomioon koko elinkaari, johon sisältyy raaka-aineiden ja materiaalien hankinta, niiden prosessointi ja kuljetus, tuotteen valmistus, jakelu, käyttö, uudelleenkäyttö, huolto, kierrätys ja loppusijoitus. Arvioinnissa otetaan kuitenkin usein huomioon vain osa elinkaaresta, jotta säästetään työtä ja aikaa. (Suomen ympäristökeskus 2010).

Elinkaariarvioinnin vaikutusarvioinnissa vaikutusluokkia ovat ilmastonmuutos, otsonikato, myrkyllisyys ihmisille, hengitysvaikutukset, ionisoiva säteily, melu, onnettomuudet, fotokemiallinen otsonin muodostuminen, happamoituminen, rehevöityminen, eko-toksisuus, maankäyttö, luonnonvarojen ehtyminen sekä kuivuminen ja suolaantuminen (Suomen ympäristökeskus 2010).

Hiilijalanjäljenlaskenta on elinkaariarviointia, jossa huomioidaan vaikutusluokkana ainoastaan ilmastolämpeneminen (Global Warming Potential, GWP). Kaikki kasvihuonekaasupäästöt ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttina (CO₂e), joka ilmaisee kasvihuonekaasun aiheuttamaa pintalämpötilan muutosta suhteessa hiilidioksidin aiheuttamaan muutokseen. (SFS-EN ISO 14067:2018). Esimerkiksi typpioksiduulin (N₂O) eli ilokaasun GWP on 273-kertainen hiilidioksiidiin nähden (IPCC 2021).

Laskennassa hyödynnetään usein valmiita ohjelmistoja ja tietokantoja. (Suomen ympäristökeskus 2017b) Arviointi perustuu standardeihin SFS-EN ISO 14040:2006 (Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet) ja 14044:2006 (Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja) (SFS-EN ISO 14067:2018). Elinkaariarvioinnille on määritetty neljä vaihetta: tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta (Kuva 6).



Kuva 6. Elinkaariarvioinnin vaiheet (Mukaiillen Suomen ympäristökeskus 2017b).

Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyssä kuvataan, miten yksityiskohtainen tutkimus on ja mihin ajanjaksoon se kohdistuu. Inventaarioanalyysissä kootaan kaikki tarvittavat tiedot koko tuotejärjestelmästä eli sarjasta yksikköprosesseista, jotka kokonaisuutena kuvaavat tuotteen elinkaarta. Kaikki lasketut päästöt normalisoidaan toiminnallisen yksikön suhteen. Vaikutusarvioinnissa arvioidaan ympäristövaikutusten merkittävyyttä tulosten pohjalta. Tulosten tulkinnassa tehdään johtopäätöksiä tulosten pohjalta ja arvioidaan tuloksiin vaikuttavat tekijät, tulosten täydellisyys ja johdonmukaisuus. (Suomen ympäristökeskus 2010)

Päästöt jaetaan suoriin, epäsuoriin ja välillisiin päästöihin (scope 1-3). Suorat päästöt (scope 1) aiheutuvat omista tai omassa hallinnassa olevista lähteistä. Epäsuorat päästöt (scope 2) päästöt aiheutuvat energiankulutuksesta joko ostetun sähkön, höyryn, lämmön tai jäähdytyksen kautta. (EPA 2022a) Kaikki loput päästöt kuuluvat välillisiin päästöihin (scope 3) ja aiheutuvat lähteistä, jotka eivät ole omassa omistuksessa tai hallinnassa, mutta kuuluvat omaan arvoketjuun. Välilliset päästöt ovat usein yritysten suurin päästöjen lähde ja päästöjä voidaan vähentää esimerkiksi tavarantoimittajan ja urakoitsijan valinnalla. (EPA 2022b)

2.3.2 Vesihuollon hiilineutraaliustavoitteiden lähtökohdat

Euroopan Unionin (EU) päästötavoitteet pohjautuvat Yhdistyneiden kansakuntien (YK) ilmastopöytäkirjaan ja Pariisin ilmastopöytäkirjaan ja Pariisin ilmastopöytäkirjaan (Ympäristöministeriö 2021a). Vesilaitosten hiilineutraaliuden tavoitteet lähtevät EU:n tasolta asti. Suomen valtion hiilineutraaliustavoite on asetettu vuoteen 2035 (Ympäristöministeriö 2021b), mutta vieläkin kunnianhimoisempia tavoitteita löytyy Suomen kaupungeilta ja Vesilaitosyhdistykseltä (Taulukko 3).

Taulukko 3. *EU:n, Suomen, Tampereen ja Turun kaupungin sekä Vesilaitosyhdistyksen päästötavoitteet.*

Taho	Päästötavoite
EU	Päästövähennys vähintään 55% vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasosta, hiilineutraali maanosa vuoteen 2050 mennessä (Ympäristöministeriö 2021a)
Suomi	Päästövähennys 50% vuoteen 2030 mennessä vuoden 2005 tasosta (Ympäristöministeriö 2021a), hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä (Ympäristöministeriö 2021b)
Tampereen kaupunki	Hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä, päästövähennys 80% vuoden 2007 tasosta (Tampereen kaupunkiseutu 2021)
Turun kaupunki	Hiilineutraali vuoteen 2029 mennessä, päästövähennys 80% vuoden 1990 tasosta (Turku 2021)
Vesilaitosyhdistys	Suomen vesihuolto on hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä (Vesilaitosyhdistys 2021)

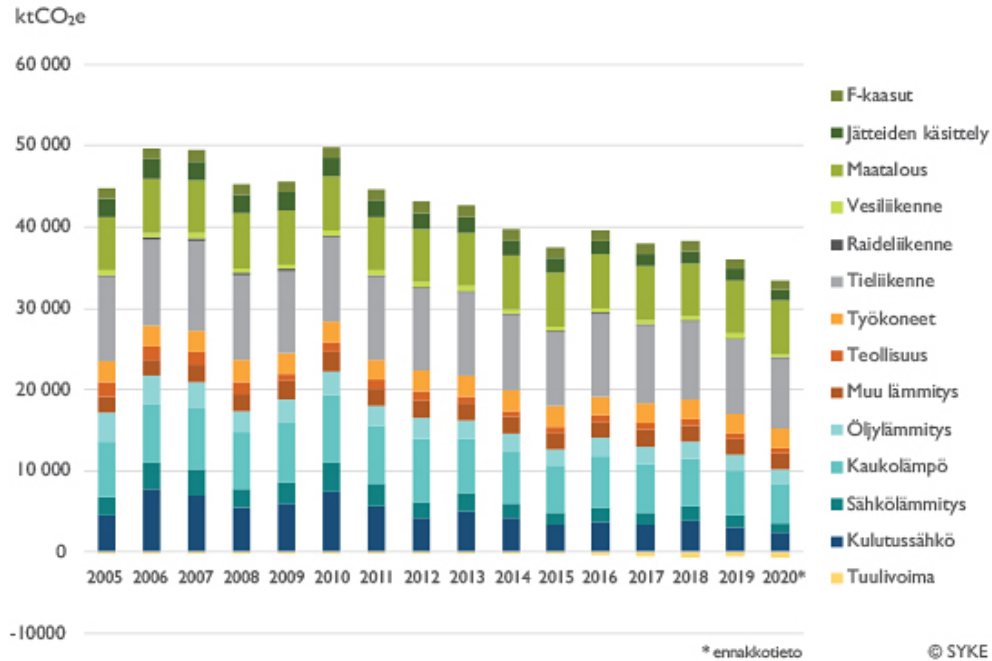
EU:n maista Suomen lisäksi ainoastaan Ruotsi on asettanut EU:ta tiukemman hiilineutraaliustavoitteen vuoteen 2045 (European Commission 2022). Hiilineutraaliustavoitteen pääsemiseksi Suomen hallitus on laatinut tiekarttoja tarvittavista toimenpiteistä yhteistyössä eri toimialojen kanssa (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020). Myös kaupungit ovat luoneet omia hiilineutraaliuden ja kiertotalouden tiekarttoja (Tampere 2020; Turun kaupunginhallitus 2021).

Tampere aikoo vähentää infrarakentamisen päästöjä hyödyntämällä maamassoja syntypaikalla, ottamalla käyttöön infrarakentamisen päästölaskentatyökalun, edistämällä maa-ainesten jakamiseen tarkoitetun tietotalustan käyttöä sekä uudelleenkäyttämällä työmaiden ylijäävät materiaalit ja tarvikkeet (Tampere 2020). Turun kiertotalouden tiekartassa vesi on yksi viidestä painopistealueesta (Turun kaupunginhallitus 2021). Turun Vesihuolto Oy on laatinut oman tiekartan päästöjen vähentämiseen. Tärkeimmiksi toimenpiteiksi verkostojen kannalta todettiin vuodonetsintä, tonttijohtosaneeraukset, PEH-putkien suosiminen valuraudan sijaan, vaatimus toimitusten hiilijalanjäljen raportoinnista sekä sekaviemäroinnin vähentäminen. (Nissinen & Rostedt 2021)

2.3.3 Vesihuollon hiilijalanjälki Suomessa

Suomessa vesihuollon kasvihuonekaasupäästöjä ei tällä hetkellä raportoida kokonaisuudessaan vaan päästöt sisältyvät kuntien ja eri sektoreiden kuten rakennusalan päästölaskentoihin. Suomessa Vesilaitosyhdistyksen strategisena tavoitteena on, että Suomessa on maailman toimivin vesihuolto vuoteen 2030 mennessä. Tavoite koostuu seuraavista osatavoitteista: toimintaedellytykset on turvattu, toiminnan merkityksellisyys on tunnustettu yhteiskunnassa, ala on vetovoimainen, ala on bio- ja kiertotalouden sekä kestävä kehityksen edelläkävijä, asiakaskokemus ohjaa toiminnan kehittämistä ja ala uudistuu toimijoiden laajalla yhteistyöllä. (Vesilaitosyhdistys 2021) Hiilineutraaliustavoite sisältyy tavoitteeseen: ”Ala on bio- ja kiertotalouden sekä kestävä kehityksen edelläkävijä”.

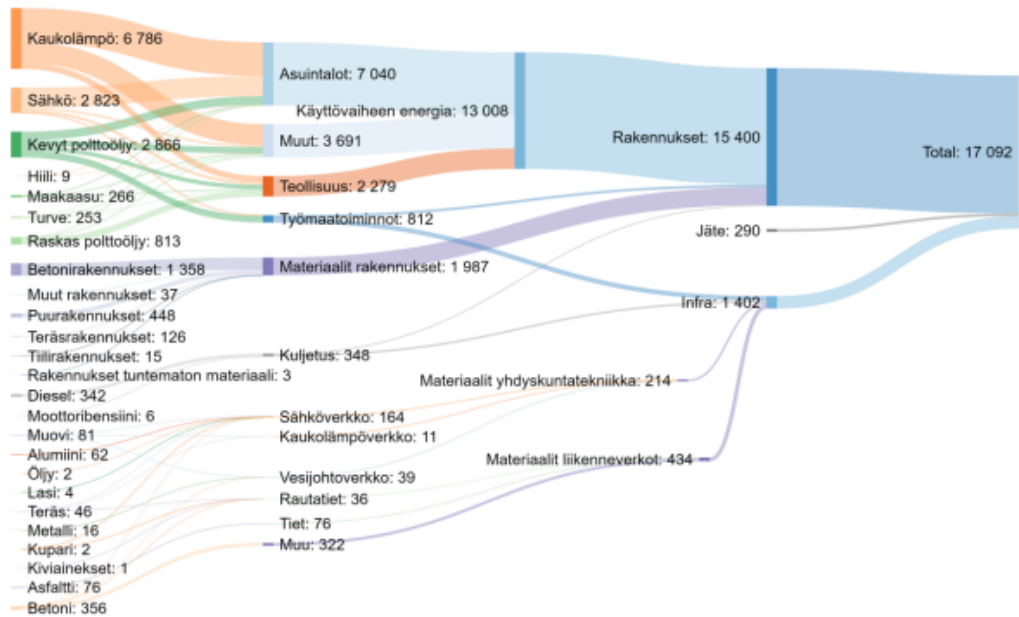
Vesihuollon päästöjä raportoidaan jätevedenpuhdistuksen osalta kuntien kasvihuonekaasupäästöjen yhteydessä (Tilastokeskus 2021). Suomen kuntien hiilijalanjälki lasketaan Hinku-laskentasääntöjen mukaan, joissa on pyritty ottamaan huomioon vain päästöt, joihin kunta voi vaikuttaa. Kuntien päästölaskentaa on yhdenmukaistettu, jotta päästökemityksen vertailu on mahdollista (Hiilineutraalisuomi 2020). Esimerkiksi suuri osa teollisuuden päästöistä tai läpiajoliikenteen päästöt eivät kuulu laskentaan. (Syke 2021) Suomen kuntien hiilijalanjälki on laskussa (Kuva 7).



Kuva 7. Vuosittaiset kasvihuonekaasupäästöt Suomen kunnissa vuosina 2005-2020, pikaennakkotieto 2020 (Syke 2021).

Ennakkotiedon mukaan Suomen kuntien vuoden 2020 päästöt olivat noin 33 000 ktCO₂e, mikä on 7,4 % vähemmän kuin edellisellä vuonna, mutta vuosien välillä on esimerkiksi lämpötiloista johtuvaa satunnaisuutta. Jätevedenpuhdistuksen päästöt sisältyvät valtakunnallisissa laskennoissa jätteiden käsittelyn päästöihin, jotka ovat 4 % koko Suomen päästöistä (Tilastokeskus 2021).

Vesihuoltoverkoston päästöjä on arvioitu koko rakennusteollisuuden yhteydessä (Rakennusteollisuus 2020; Liikennevirasto 2014). Ympäristövaikutusten arviointiin rakennusteollisuudessa on olemassa yli 600 erilaista arviointityökalua (Berardi 2015, Matar et al. 2019 mukaan). Rakennusteollisuus kattaa sekä talonrakentamisen että infrarakentamisen (Matar et al. 2019). Väylärakentamiseen liittyvää kansallista päästötietokantaa kehitetään vuosina 2021 ja 2022 (Demos Helsinki & RAKLI 2021). Rakennusteollisuus (2020) -tiekartassa vesijohtoverkon muovin, metallin ja betonin käytön vuosittaisiksi päästöiksi saatiin 39 kt CO₂e (Kuva 8).



Kuva 8. Rakennusteollisuuden vuosittaiset kokonaispäästöt [ktCO₂] (Rakennusteollisuus 2020).

Lisäksi työmaatoimintojen päästöt koko rakennusteollisuuden osalta on 812 ktCO₂. Työmaan toiminnot sisältävät kulutetun kevyen polttoöljyn ja sähkön. Kuvassa ei ole numeerisesti eritelty miten työmaatoimintojen päästöt jakautuvat talon- ja infrarakentamisen kesken, mutta suurempi osuus aiheutuu infrarakentamisessa, johon myös vesihuollon verkostotyömaat sisältyvät.

Koko Suomen tasolla työkoneiden osuus päästökaupan ulkopuolelle jäävien sektoreiden hiilidioksidipäästöistä on noin 8 %. Päästöjen vähentämiseksi tarvitaan vähäpäästöisempiä ratkaisuja ja tehokkaampia työtapoja. Työkoneiden päästövähennyksiä on haastava toteuttaa, sillä koneet ovat pitkäikäisiä ja uusia puhtaamman käyttövoiman koneita ei välttämättä ole saatavilla. Julkinen sektori voi omien hankintojen kautta toimia edelläkävijänä päästöttömien työmaiden saavuttamisessa. (Sitoumus2050 2022) EU:n direktiiveissä määritellyt EURO- ja Stage-luokitukset kuorma-autoille ja työkoneille sisältävät enimmäismäärät säännellyille päästöille, kuten typen oksideille ja pienhiukkasille. Suurempi EURO- tai Stage-luokka tarkoittaa vähäpäästöisempiä koneita. (Motiva 2022)

Ympäristöministeriö, Senaatti-kiinteistöt sekä Espoon, Helsingin, Turun ja Vantaan kaupungit ovat mukana päästöttömien työmaiden green deal -sopimuksessa (Sitoumus2050 2022). Green dealissa on tavoitteena, että 2021 vuoden loppuun mennessä käytetyt kuorma-autot ovat päästöiltään vähintään tasoa EURO V ja työkoneet Stage IIIB (Green deal 2020). Lopullisena tavoitteena on, että vuoden 2030 loppuun mennessä työmailla ja kuljetuksissa käytettävistä työkoneista 100 % toimii fossiilivapailla polttoaineilla, joista 50 % sähköllä, biokaasulla tai vedyllä. Lisäksi kuljetuksiin käytettävät kuorma-autot ovat vähintään Euro VI luokkaa. (Sitoumus2050 2022)

Väylävirasto on tutkinut vesihuoltoverkoston päästöjä osana omia hankkeitaan. Helsingin Kivikontien eritasoliittymän päästölaskennassa vesihuollon järjestelmät sisälsivät alueen kaivot ja viemäroinnin. Laskennassa käytettiin Fore-kustannuslaskentajärjestelmää ja Rapal Oy:n ja VTT:n vuonna 2009-2010 määrittämiä päästökertoimia. Vesihuollon järjestelmät aiheuttivat 5 % koko hankkeen päästöistä. Kun huomioitiin ainoastaan hankkeen rakennusmateriaalien hiilijalanjälki, vesihuollon järjestelmät muodostivat 17 % koko hankkeen päästöjakaumasta. (Liikennevirasto 2014)

Eritasoliittymän rakentamisen päätavoitteena on ollut väylärakentaminen eikä päästöjä voida siis suoraan verrata kaikkiin vesihuollon verkostotyömaihin, sillä verkostosaneerauksissa joudutaan välillä kaivamaan auki rakenteita pelkästään verkostosaneerauksen vuoksi. Väylävirasto huolehtii valta- ja kantateistä sekä seutu- ja yhdysteistä (Väylävirasto 2022), eivätkä siten verkostosaneeraukset ole myöskään aina Väyläviraston omistamilla teillä. Vesihuollon verkostotyömaat sijoittuvat yleensä väylähankkeita pienempien teiden yhteyteen.

2.3.4 Vesihuoltoverkoston hiilijalanjälki

Vesihuoltoverkoston koko elinkaari sisältää raaka-aineiden oton, valmistuksen, kuljetukset, asennuksen, käytön, ylläpidon ja käytöstä poiston. Vesijohto- ja jätevesiverkoston päästöjä on laskettu putken valmistuksesta käyttöön asti (Piratla et al. 2012; Du et al. 2013; Vahidi et al. 2016), mutta moni erityisesti saneerauksen päästöihin keskittyvä tutkimus ei ole huomioinut verkoston käytön aikaisia päästöjä (Petit-Boix et al. 2014; Sanjuan-Delmás et al. 2014; Hajibabaei et al. 2018; Loss et al. 2018; Lu et al. 2020). Tutkimuksissa määritelty tavoite ja sitä vastaava systeeminraja vaikuttaa tutkimuksen johtopäätöksiin (Taulukko 4).

Taulukko 4. *Aiempien tutkimusten tavoite, systeemin raja ja tutkimuksen sijainti.*

Tavoite	Systeemin raja	Sijainti	Lähde
LCA vesijohdon materiaalien ja kokojen vertailu ja kaivamattomien menetelmien käyttö	Putken valmistus, kuljetus ja asennus	Tehran, Iran	Hajibabaei et al. (2018)
LCA vesijohdon materiaalien ja kokojen vertailu ja kaivamattomien menetelmien käyttö	Putken valmistus, täyttömateriaalien otto, kuljetus, asennus ja hävitys	Koillis-Italia	Loss et al. (2018)
LCA vesijohdon materiaalien ja kokojen vertailu	Putken valmistus, kuljetus ja asennus	Betanzos, Espanja	Sanjuan-Delmás et al. (2014)
LCA jätevesiviemärin materiaalien ja kokojen vertailu	Raaka-aineiden otto, valmistus, kuljetus ja asennus	Betanzos, Espanja	Petit-Boix et al. (2014)
LCA jätevesiviemärin materiaalien ja kokojen vertailu	Raaka-aineiden otto, valmistus, kuljetus, asennus, käyttö ja ylläpito	USA	Vahidi et al. (2016)
Vesijohdon eri materiaalien vertailu hiilijalanjäljen laskennalla	Sitoutunut energia, asennus, käyttö ja kuljetukset	USA	Piratla et al. (2012)
Vesijohdon ja jätevesiviemärin materiaalien ja kokojen vertailu hiilijalanjäljen laskennalla	Putken valmistus, kuljetus, asennus ja käyttö	Arizona, USA	Du et al. (2013)
Kaivamattomien ja kaivettujen vertailu hiilijalanjäljen laskennalla	Putken valmistus, kuljetus ja asennus	-	Lu et al. (2020)

Maanalaisten putkien rakentaminen aiheuttaa erilaisia ympäristövaikutuksia riippuen käytetystä saneeraustekniikasta (Matar et al. 2019). Aiemmat tutkimukset ovat vertailleet eri kaivamattomia menetelmiä keskenään (Hajibabaei et al. 2018; Loss et al. 2018; Lu et al. 2020). Osassa on kaivamattomien menetelmien lisäksi verrattu myös vesijohdon materiaaleja ja kokoja (Loss et al. 2018; Lu et al. 2020).

Muut tutkimukset keskittyvät putkimateriaalien vertailuun. Tutkimukset keskittyvät usein vain joko vesijohtoon (Piratla et al. 2012; Sanjuan-Delmás et al. 2014) tai jätevesiviemäriin (Petit-Boix et al. 2014; Vahidi et al. 2016). Myös molempien verkostojen putkimateriaaleja on tutkittu yhdessä (Du et al. 2013). Tutkimusten laskennassa on käytetty eri putkikokoja ja toiminnallisia yksikköjä, mikä vaikuttaa systeemin rajojen ohella hiilidioksidipäästöjen suuruusluokkaan ja hankaloittavat hiilijalanjälkien suoraa vertailua (Taulukko 5).

Taulukko 5. *Aiempien tutkimusten toiminnallinen yksikkö, CO₂e-päästöt, putkikoot ja vaikutusluokat.*

Toiminnallinen yksikkö	CO ₂ e	Putkikoko	Vaikutusluokat	Lähde
1 m putkea (maksimipaine 10 bar)	PEH 38 kg SG-valurauta 140 kg PVC 34 kg	200 mm	GWP, ODP, PCOP, AP, EP, CED	Hajibabaei et al. (2018)
1 m lineaarista vesijohtoa (maksimipaine 90 mm 6 bar, 200 mm 10 bar)	PEH 90 mm 25 kg PEH 200 mm 37 kg	90 mm 200 mm	GWP, ADP, AP, EP, ODP, PCOP, CED	Sanjuan-Delmás et al. (2014)
1 m lineaarista viemäriä	PEH 23 kg B 10 kg PVC 8 kg	300 mm	GWP, ADP, AP, EP, OPD, HTP, PCOP, CED	Petit-Boix et al. (2014)
150 m lineaarista vesijohtoa	Aukikaivu: 200 mm 13 t 500 mm 27 t Pakkosujutus: 200 mm 6 t 500 mm 9 t	200 mm 500 mm	GWP, ODP, HTP, PCOP etc.	Loss et al. (2018)
152 m vesijohtoa (1,22 m syvyydessä)	PEH 1 521 t PVC-O 1 463 t PVC 1 491 t SG-valurauta 1 525 t	200 mm	GWP	Piratla et al. (2012)
1 km jätevesiviemäriä (25 000 ihmiselle, 50 vuotta)	Teräsbetoni 280 t SG-valurauta 682 t PVC 309 t PEH 321 t	508 mm	GWP, ODP, AP, EP, ETP, etc.	Vahidi et al. (2016)
1 km putkea	PEH 218 t SG-valurauta 472 t B 68 t teräsbetoni 152 t valurauta 353 t	305 mm	GWP	Du et al. (2013)
Saneeraus	Aukikaivu: 300 mm 15 t 1000 mm 23 t Pitkäsujutus: 1000 mm 4 t Sukkasujutus: 300 mm 1 t 1000 mm 1 t	50-4000 mm	GWP	Lu et al. (2020)

ADP = fossiilisten luonnonvarojen abiottinen ehtyminen, AP = happamoituminen, CED = kumulatiivinen energiantarve, EP = rehevöityminen, ETP = ekotoksisuus, GWP = ilmaston lämpeneminen, HTP = myrkyllisyys ihmisille, ODP = otsonikato, PCOP = valokemiallinen otsoninmuodostuskyky

Kun toiminnallinen yksikkö oli 1 metri, PEH-putken päästöt olivat 38 kg CO₂e (200 mm), 25 kg CO₂e (90 mm), 37 kg CO₂e (200 mm) ja 23 kg CO₂e (300 mm). Järjestelmän rajat sisälsivät kaikissa putken valmistuksen ja asennuksen, mutta Petit-Boix et al. (2014) sisälsi myös raaka-aineiden oton. Petit-Boix et al. (2014) on siis tutkinut suurempaa putkikokoa laajemmalla järjestelmän rajalla ja saanut tuloksena pienemmät päästöt, mutta tutkimus on eronnut kahdesta muusta siten, että se tutki jätevesiviemäriä eikä vesijohtoa.

Kun toiminnallinen yksikkö oli noin 150 metriä, asbestisementtiputken vaihtaminen koon 200 mm PEH-putkeen aiheutti päästöjä aukikaivulla 13 t CO₂e ja pakkosujutuksella 6 t CO₂e (Loss et al. 2018). Toisessa tutkimuksessa päästöt 200 mm PEH-putkelle olivat 1521 t (Piratla et al. 2012). Kumpikin tutkimus keskittyi vesijohtoverkoston. Suuri ero tutkimusten välillä johtuu siitä, että toinen sisälsi myös käyttövaiheen, joka aiheutti suurimman osan hiilijalanjäljestä.

Kun toiminnallinen yksikkö oli 1 kilometri, päästöt 508 mm PEH-putkelle olivat 321 t CO₂e ja toisessa tutkimuksessa päästöt 305 mm PEH-putkelle olivat 218 t CO₂e. Ensimmäisen systeemin raja sisältää raaka-aineiden oton, valmistuksen, kuljetuksen, asennuksen, käytön ja ylläpidon. Toisen systeemin raja sisältää vain valmistuksen, asennuksen ja käytön. Ensimmäisen tutkimuksen suuremmat päästöt johtuvat erilaisen systeemin rajan lisäksi suuremmasta putkikoosta.

2.3.5 Verkoston hiilijalanjäljen merkittävimmät tekijät

Merkittävin elinkaaren vaihe ja tutkimuksen johtopäätökset vaihtelevat erilaisista tutkimusten rajauksista johtuen. Jätevesiviemäri- ja vesijohtoverkoston valmistuksen päästöt olivat elinkaaren merkittävimmät, kun tutkimuksessa ei huomioitu jätevesiviemäriverkoston staattista nostokorkeutta tai vesijohtoverkoston syöttöpainetta, vaan käyttövaihe sisälsi ainoastaan energian, joka vaaditaan kattamaan painehäviöt (Du et al. 2013). Putken valmistusvaihe todettiin viettoviemäreille merkittävimmäksi elinkaaren vaiheeksi, mutta paineputkelle käyttövaiheen aiheuttamat päästöt olivat vähintään yhtä suuret kuin putken valmistuksen päästöt (Vahidi et al. 2016). Piratla et al. (2012) mukaan vesijohtoverkoston käyttövaihe aiheutti noin 98 % koko elinkaaren hiilidioksidipäästöistä, kun käytettiin Yhdysvaltojen energiasekoitusta, josta 45 % valmistetaan fossiilisilla polttoaineilla.

Merkittävin elinkaaren vaihe muuttuu myös, jos mukaan otetaan kaivannon materiaalien ja putkikoon vaikutus. Jätevesiviemärin kaivannon materiaalien vaikutus oli keskimäärin 80 % koko elinkaaren vaikutuksesta, kun ei huomioitu käytön aikaisia päästöjä (Petit-Boix et al. 2014). Erityisesti dieselin kulutuksesta ja maamassojen kuljetuksista koostuva vesijohdon asennusvaiheen hiilijalanjälki on suhteessa merkittävämpi pienillä kuin isoilla putkilla. Tapaustarkastelussa asennuksen vaikutus oli 90 mm PEH putkelle 40-68 % ja 200 mm 24-57 %. Mahdollinen päästövähennys asennusvaiheessa oli 6-16 %. Pienten putkien osalta tulisi kiinnittää huomiota asennusratkaisuihin, kun taas suurilla putkilla putken valmistuksen päästöihin. (Sanjuan-Delmás et al. 2014)

Kaivamattomia menetelmiä käyttämällä voidaan vähentää päästöjä jopa 90 % (Norsk Vann 2019). Aiemmissa tutkimuksissa on vertailtu useita kaivamattomia menetelmiä aukikaivuseen vesijohto- ja jätevesiverkoston osalta (Lu et al. 2020) sekä pakkosujutusta aukikaivuseen vesijohdon osalta (Loss et al. 2018). Sukkasujutuksella todettiin olevan pienin hiilijalanjälki, mutta saneerauspituuden ollessa lyhyt ja putken ollessa pinnalla aukikaivun hiilijalanjälki saattaa jäädä pienemmäksi (Lu et al. 2020). Pakkosujutus suoritui aukikaivuta paremmin kaikissa elinkaariarvioinnin vaikutusluokissa. Eroja syntyi erityisesti maajätteen syntymisen ja polttoaineen kulutuksen vuoksi. (Loss et al. 2018)

2.3.6 Putkimateriaalin valinnan vaikutus päästöihin

Monessa verkostojen päästölaskentatutkimuksessa vertailtiin eri putkimateriaaleja keskenään (Taulukko 6). Tulosten vertailussa tulee huomioida, ettei kaikissa tutkimuksissa huomioitu kaikkia putkimateriaaleja.

Taulukko 6. *Aiempien tutkimusten verkostotyypit ja putkimateriaalit*

Vesi-johto	Jätevesiviemäri	PVC	PVC-O	SG	PEH	B	muut	lähde
x	x							Lu et al. (2020)
x	x	x		x	x	x		Du et al. (2013)
x					x		x	Loss et al. (2018)
x		x		x	x		x	Hajibabei et al. (2018)
x		x		x	x		x	Sanjuan-Delmás et al. (2014)
x		x	x	x	x			Piratla et al. (2012)
	x	x		x	x		x	Vahidi et al. (2016)
	x	x			x	x	x	Petit-Boix et al. (2014)

PVC = polyvinyylikloridi, PVC-O = molecularly oriented PVC, SG = pallografiittivalurauta, PEH = suurtiheyspolyeteeni, B = betoni

Putkimateriaaleista eniten CO₂e-päästöjä aiheuttaa keskipakoisvalurautainen pallografiittiputki (SG-valurauta) (Piratla et al. 2012; Du et al. 2013; Sanjuan-Delmás et al. 2014; Hajibabaei et al. 2018). SG-valurautaputken CO₂e-päästöt ovat suurimmat putkikoissa ≤ 609 mm, mutta putkikoille ≥ 762 mm PVC:n vaikutus on suurempi (Du et al. 2013). SG-valurautaputkella on kuusinkertaiset CO₂e-päästöt PVC-putkeen verrattuna (Hajibabaei et al. 2018). Kun vertailtiin jätevesiviemäriin PVC-, PEH- ja betoniputkea, eniten vaikutuksia aiheutti PEH-putki (Petit-Boix et al. 2014).

Putkimateriaaleista pienimmät CO₂e-päästöt aiheutti betoniputki (Du et al. 2013; Petit-Boix et al. 2014; Vahidi et al. 2016). Betoniputkea käytetään jätevesiviemäriin. Betoniputken vaikutus on pienin ko'issa 102-1219 mm (Du et al. 2013). Jätevesiviemäriin betoniputken lisäksi vähiten vaikutuksia aiheutti PVC-putki (Petit-Boix et al. 2014). Vesijohtolleen vähiten vaikutuksia aiheuttivat PEH-, PVC- ja PVC-O-putket (Piratla et al. 2012; Sanjuan-Delmás et al. 2013).

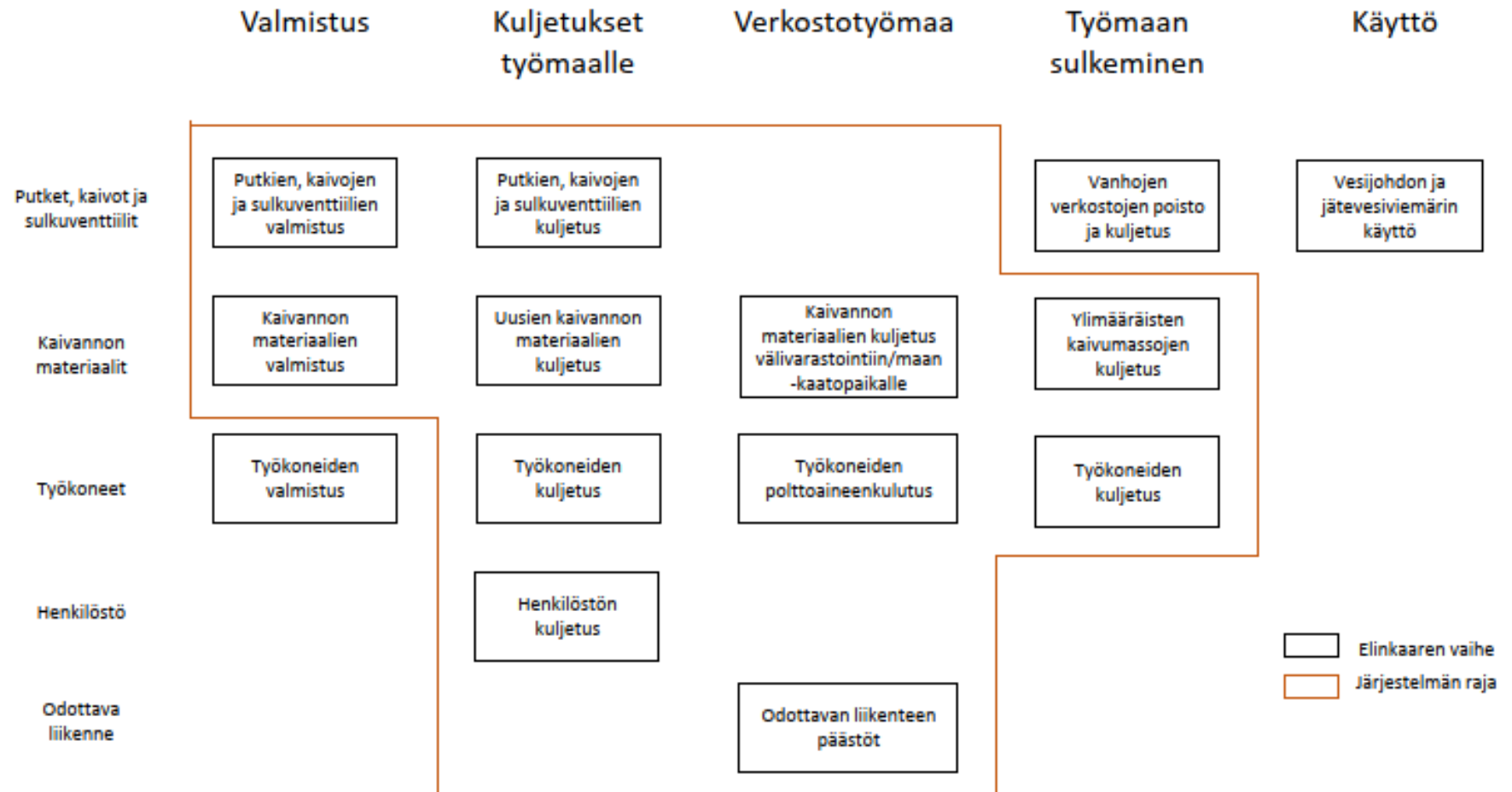
3. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT

3.1 Hiilijalanjäljen laskenta

Tässä luvussa kuvataan hiilijalanjäljenlaskentaan liittyvät järjestelmän raja, ajallinen raja ja toiminnallinen yksikkö sekä tarkasteltavat tapaukset. Tämän työn tavoitteena on löytää keinoja verkostosaneerausten hiilijalanjäljen pienentämiseen. Työssä pyritään tunnistamaan kasvihuonekaasupäästöjen kannalta oleelliset toiminnot vesihuollon verkostotyömaalla ja löytämään keinoja päästöjen vähentämiseen. Laskenta tehdään Excelissä, jotta voidaan käyttää paikallisiin olosuhteisiin sopivia päästökertoimia.

3.1.1 Järjestelmän raja

Työn lähtökohtana on, että saneeraukset tehdään teknisesti oikein ja laskentaan sisällytetään tekijät, joita hiilijalanjäljen laskennalla voidaan ohjata. Esimerkiksi pohjanvahvistuksia ei lasketa, sillä rakenteen vaatiessa pohjanvahvistuksia, tulisi johdot saneerata aukikaivulla, eikä eri menetelmiä olisi tarkoituksenmukaista vertailla. Työssä tarkastellaan vesijohdon ja jätevesiviemärin saneerausta verraten Suomessa käytettyjä saneerausmenetelmiä aukikaivuta, pitkäsujutusta ja sukkasujutusta keskenään. Työ sisältää erilaisia elinkaaren vaiheita, joista kokonaishiilijalanjälki koostuu (Kuva 9).



Kuva 9. Laskentaan sisällytetyt ja ulkopuolelle jätetyt elinkaaren vaiheet.

Rajaukseen sisältyy putkien, kaivojen, sulkuventtiilien ja kaivannon materiaalien valmistus, kuljetukset työmaalle, verkostotyömaan toiminnot ja työmaan sulkemiseen liittyvät poiskuljettamiset ylimääräisten kaivumassojen ja työkoneiden osalta. Laskennan ulkopuolelle jäävät työkoneiden valmistuksen päästöt, vanhojen verkostojen poistoon, kuljetuksiin ja kierrätykseen liittyvät päästöt sekä verkostojen käyttövaihe.

Työkoneiden valmistus on rajattu ulkopuolelle, sillä työkoneita käytetään lukuisissa muisakin saneerauksissa ja valmistuspäästöt tulisi jakaa koko työkoneen elinkaaren ajalle. Vanhan putken käytöstä poistoon liittyvät toimet on rajattu ulkopuolelle, sillä verkostotyömailla jätetään usein vanhat verkostot maan alle (Ohjausryhmä 2022). Käytön aikaiset päästöt on rajattu ulkopuolelle, sillä niiden oletetaan olevan yhtä suuret riippumatta siitä, mitä saneerausmenetelmää tai putkimateriaali käytetään. Käyttövaihe on rajattu aiemmissakin tutkimuksissa usein ulkopuolelle (Petit-Boix et al. 2014; Sanjuan-Delmás et al. 2014; Hajibabaei et al. 2018; Loss et al. 2018; Lu et al. 2020).

Verkostotyömaalla eri saneerausmenetelmien päästöt on otettu huomioon erilaisista työkoneiden polttoaineenkulutuksista. Kaikissa menetelmissä lasketaan mukaan ohipumpauksen päästöt. Väliaikaisen vedenjakelun päästöjä ei huomioida, sillä vesijohtoverkoston oletetaan tekevän saneerauskohteessa silmukan, jolloin käyttövesi saadaan toimitettua kiinteistöille olemassa olevan verkoston kautta.

3.1.2 Ajallinen rajausta ja toiminnallinen yksikkö

Työn ajallinen rajausta on 100 vuotta putkivalmistajien ilmoittaman putkien eliniän perusteella (Haastattelut 2022). Rajausta ottaa myös huomioon saneerausmenetelmien erilaiset valmiin rakenteen ajalliset kestävyyydet. Aukikaivun ja pitkäsujutuksen eliniäksi on päätetty 100 vuotta ja sukkasujutuksen eliniäksi 50 vuotta (Ohjausryhmä 2022).

Koska 100 vuoden sisällä sukkasujutettu putki pitää saneerata uudestaan, menetelmän hiilijalanjälkeen lasketaan lisäksi puolet aukikaivun päästöistä, olettaen että sukkasujutusta ei voi tehdä useasti peräkkäin. Kaikkien menetelmien tulee täyttää sama lopputulos, jotta tuloksia voidaan vertailla keskenään. Tämän takia sukkasujutuksen päästöihin on lisäksi laskettu vesijohtoon saneeraus lasikuitusukalla, vaikka ainakaan Suomessa vesijohtoon ei käytetä sukkasujutusta (Haastattelut 2022).

Tutkimuksen toiminnallinen yksikkö on 100 metriä lineaarista asennettua vesijohto- ja jätevesiviemäriverkostoa. Toiminnallinen yksikkö on valittu aiemmissa tutkimuksissa käytettyjen toiminnallisten yksiköiden perusteella. Sulkuventtiileitä ja kaivoja oletetaan

olevan 50 metrin välein, joten mukaan lasketaan kolme sulkuventtiiliä ja kolme kaivoa (Ohjausryhmä 2022).

3.1.3 Tarkasteltavat tapaukset

Työssä on suoritettu hiilijalanjäljen laskenta vesijohtolle ja jätevesiviemäriille kahdella hypoteettisella työmaalla. Putkikoot on sovittu yhteistyössä tutkimukseen osallistuneiden tahojen kanssa, siten että voidaan tutkia mahdollisimman montaa saneerausmenetelmää eri tilanteissa (Ohjausryhmä 2022). Ensimmäisessä tapauksessa (*pienet putket*) on tarkasteltu vesijohtoa DN150 ja jätevesiviemäriä DN300. Tässä tapauksessa vesijohton saneeraukseen voidaan käyttää vain aukikaivuta ja pitkäsujutusta ja jätevesiviemäriin saneeraukseen kaikkia tarkasteltavia saneerausmenetelmillä aukikaivuta, pitkäsujutusta ja sukkasujutusta (kts. 2.2.3).

Toisessa tapauksessa (*suuret putket*) on valittu suuret putkikoot vesijohto DN400 ja jätevesiviemäri DN1000. Tässä tapauksessa sekä vesijohto että jätevesiviemäri voidaan saneerata kaikilla tarkasteltavilla saneerausmenetelmillä aukikaivulla, pitkäsujutuksella ja sukkasujutuksella (kts. 2.2.3). Vesijohton sukkasujutusta ei käytetä Suomessa (Haastattelut 2022).

3.2 Inventaarioanalyysi

Tässä luvussa kuvataan inventaarioanalyysiin sisällytetty haastattelu sekä käytetyt oletukset ja päästökertoimet. Eri luvut liittyvät materiaalien valmistukseen, työkalujen käyttöön ja kuljetuksiin, maamassoihin ja niiden kuljetuksiin sekä odottavaan liikenteeseen ja henkilöstön työmatkoihin työmaalle.

3.2.1 Haastattelu

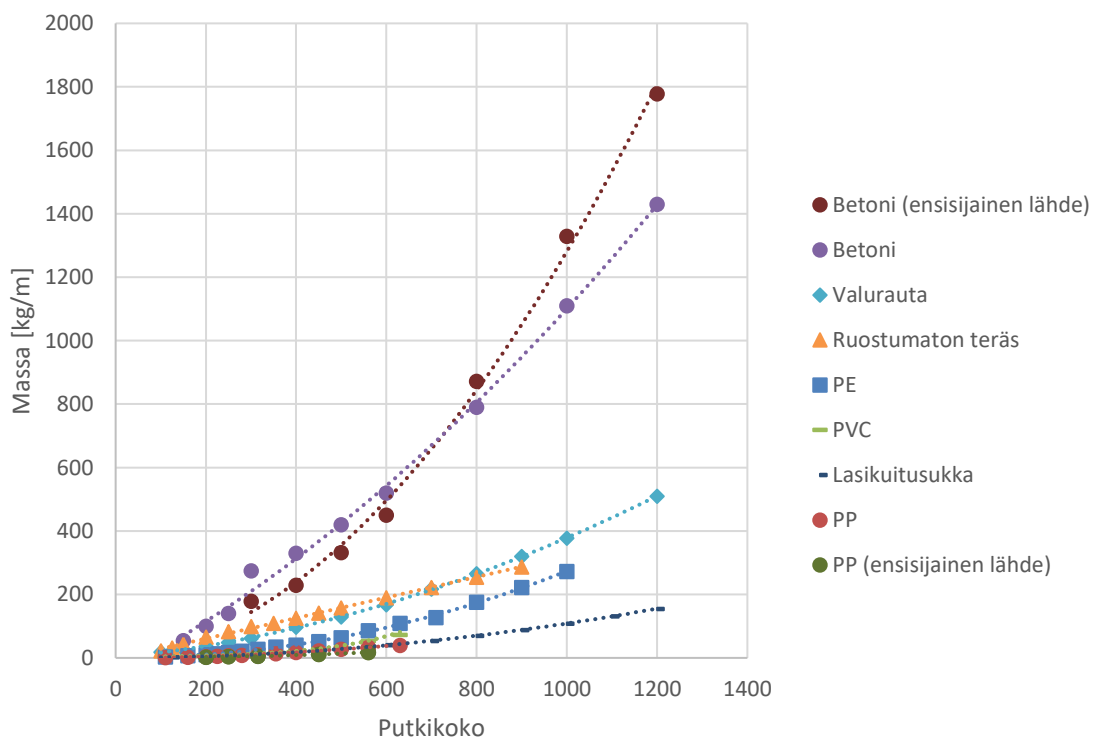
Työssä suoritettiin asiantuntijahaastatteluita, joiden tavoitteena oli selvittää päästökerroimia ja työmaiden työmenetelmiä. Haastatteluun valitut putkitoimittajat ja urakoitsijat valittiin tutkimuksessa mukana olevien vesilaitosten kanssa yhteistyössä (Ohjausryhmä 2022). Haastattelulomakkeet on lähetetty kahdelle putkitoimittajalle, kahdelle aukikaivun asiantuntijalle sekä kolmelle kaivamattomien menetelmien asiantuntijalle. Kuudelta seitsemästä saatiin vastauksia. Haastattelun tarkoituksena oli löytää lähtötietoja laskentaan, ei vertailla eri yritysten suoritteita.

Työssä käytetyt putkimateriaalien päästökertoimet perustuvat osaltaan haastatteluissa saatuihin ympäristöselosteisiin eli EPD-raportteihin (Environmental Product Declaration). Kaikista putkimateriaaleista ei ole vielä luotu ympäristöselosteita. Työkoneiden polttoaineenkulutukset perustuvat aukikaivu-, pitkäsujutus- ja sukkasujutusasiantuntijoiden arvioihin.

Liitteestä 1 löytyvät asiantuntijoiden kyselyyn käytetyt lomakkeet, joiden lisäksi täydentävää tietoa on saatu haastatteluista. Eri toimijoille on tehty eri lomakkeet vastaamisen helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi.

3.2.2 Putkien, laitteiden ja maamassojen valmistus

Putkien ja laitteiden päästökertoimet on valittu ensisijaisesti haastatteluissa saaduista ympäristöselosteista ja haastatteluista itsessään. Toissijaisesti on käytetty norjalaista Norsk Vannin (2019) kehittämän Excel-työkalun käyttämiä Ecolnvent-tietokannan päästökertoimia. Myös putkien massat on ensisijaisesti otettu ympäristöselosteista ja toissijaisesti Norsk Vannin työkalusta (Kuva 10).



Kuva 10. Putkien massat eri ko'oissa.

Betoniputken osalta ympäristöselosteen massat (ensisijainen lähde) eroavat hieman Norsk Vannin työkalusta käyrän jyrkkyyden osalta, sillä alle DN800 putkien massa on hieman pienempi ja yli DN800 putkien massa on hieman suurempi Norsk Vanniin verrattuna. PP-putkien massat ovat samanlaiset ympäristöselosteessa ja Norsk Vannin työkalussa.

Työssä on oletettu, että riippumatta putkimateriaalista kaivot ovat aina betonisia. Betonikaivojen päästökertoimet on otettu ympäristöselosteesta. Sulkuventtiilien päästöt on laskettu valurautaputken päästökertoimella (Norsk Vann 2019). Sulkuventtiileiksi on oletettu kumiluistiventtiilit ja massat on haettu valmistajan verkkosivuilta (Lining 2022). Yksi kumiluistiventtiili DN150 vesijohdolle painaa 40,5 kg ja DN400 johdolle 261 kg. Maamasojen päästökertoimet on haettu CO2data.fi verkkosivustolta, joka on Suomen ympäristökeskuksen kehittämä ja ylläpitämä Ympäristöministeriön tilaama rakentamisen päästötietokanta.

Päästökertoimia on eri lähteissä esitetty joko kiloa tai metriä kohden. Päästökertoimet on yhdenmukaistettu muuttamalla kaikki kiloa kohden jakamalla yksikössä kg CO₂e/m olevat päästökertoimet putkimateriaalikohtaisella massalla kg/m (Taulukko 7).

Taulukko 7. Valmistuksen päästökertoimet

Putket	Putkikoko	kg CO ₂ e/kg putkea	Käytetty	Lähde
PEH		2,37	x	EcoInvent*
		2,49		Hajibabaei et al. 2018
PP		2,03	x	Ympäristöseloste
		2,30		EcoInvent*
PVC		2,33	x	EcoInvent*
		2,81		Hajibabaei et al. 2018
B		0,09		EcoInvent*
	DN400	0,15	x	Ympäristöseloste
	DN400	0,09		Liikennevirasto 2014
	DN1200	0,17		Ympäristöseloste
Valurauta		1,59	x	EcoInvent*
SG-valurauta		3,46		Hajibabaei et al. 2018
Ruostumaton teräs		5,06	x	EcoInvent*
Teräs		1,60		Hajibabaei et al. 2018
	DN560	0,58		Liikennevirasto 2014
	DN300	3,12	x	Haastattelu
Lasikuitusukka	DN1000	1,76	x	Haastattelu
		6,31		EcoInvent*
<hr/>				
Kaivot ja venttiilit	Koko	kg CO ₂ e/kpl		Lähde
Betonikaivo	600	348		Liikennevirasto 2014
	800	161	x	Ympäristöseloste
	800	674		Liikennevirasto 2014
	1200	946		Liikennevirasto 2014
	2000	1541	x	Ympäristöseloste
Sulkuventtiili		1,59**	x	EcoInvent*
<hr/>				
Maa-ainekset		kg CO ₂ e/kg		Lähde
Hiekka ja sora		0,004	x	Co2data.fi
		0,001		Liikennevirasto 2014
Murske		0,006	x	Co2data.fi
Kalliomurske 0-63		0,002		Liikennevirasto 2014
Kivi/Murske		0,001		Liikennevirasto 2014
Murske paikalle tuotuna		0,002		Liikennevirasto 2014
Asfalttibetoni		0,040	x	Co2data.fi
		0,036		Liikennevirasto 2014

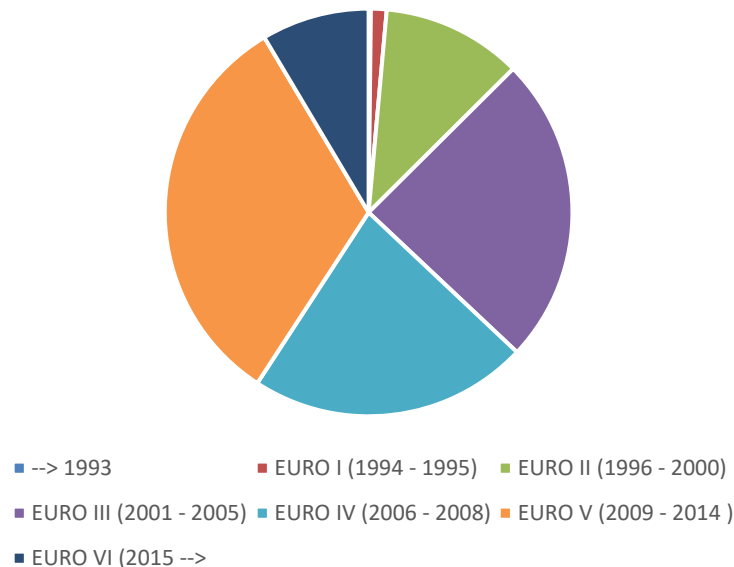
* Norsk Vann 2019 mukaan

** valurautaputken päästökerroin, yksikkö kg CO₂e/kg

Putkimateriaalien osalta suurin ero kahden eri lähteen välillä löytyy lasikuitusukalla. Haastattelussa saatu päästökerroin DN1000 sukalle on 1,76 kg CO₂e/kg putkea ja Norsk Vannin mukainen arvo on 6,31 kg CO₂e/kg putkea. Haastattelussa saatua arvoa ei ole alun perin esitetty tässä muodossa, mikä saattaa selittää eron. Taulukon arvo on saatu jakamalla saatu arvo (CO₂e/100 m) sadalla metrillä ja Norsk Vannin lasikuitusukan massalla pituutta kohden kg/m.

3.2.3 Kuljetukset

Putkimateriaalit, sulkuventtiilit ja kaivot, maamassat ja työkonet kuljetetaan työmaalle ja pois kuorma-autoilla, joiden täysi kuorma on 19 t ja päästötaso on EURO 5. EURO 5 on ollut yleisin päästötaso liikenteessä olevista kuorma-autoista vuonna 2016 (Kuva 11).



Kuva 11. Päästötasojen osuus liikenteestä vuonna 2016 (LIPASTO 2022).

Täyden ja tyhjän kuorma-auton päästökertoimet on esitetty sekä katuajolle että maantieajolle (Taulukko 8). Päästöt sisältävät uusiutuvan dieselin osuuden, joka vuonna 2016 oli 11,5 % (LIPASTO 2022).

Taulukko 8. *Kuorma-autojen päästökertoimet (LIPASTO 2022).*

		EURO V	EURO VI	muu yksikkö
Kuorma-auto	Täysi (katuajo)	1 384	1 382	g CO ₂ e/km
	Tyhjä (katuajo)	829	832	g CO ₂ e/km
	Täysi (maantieajo)	755	750	g CO ₂ e/km
	Tyhjä (maantieajo)	558	555	g CO ₂ e/km
Konttialus			195	g CO ₂ e/ TEU km

Kuljetusetäisyydet on arvioitu haastatteluissa selvitettyjen valmistuksen sijaintien perusteella (Haastattelut 2022). Oletetaan, että työmaalle on putkien valmistuksesta 200 km, josta 10 % on katuajoa. Putkimateriaalien osalta lasikuitusukan kuljetuksen päästöihin lasketaan lisäksi kuljetus konttialuksella Suomeen 1000 km matka.

3.2.4 Maamassojen määrät ja käytetyt katuluokat

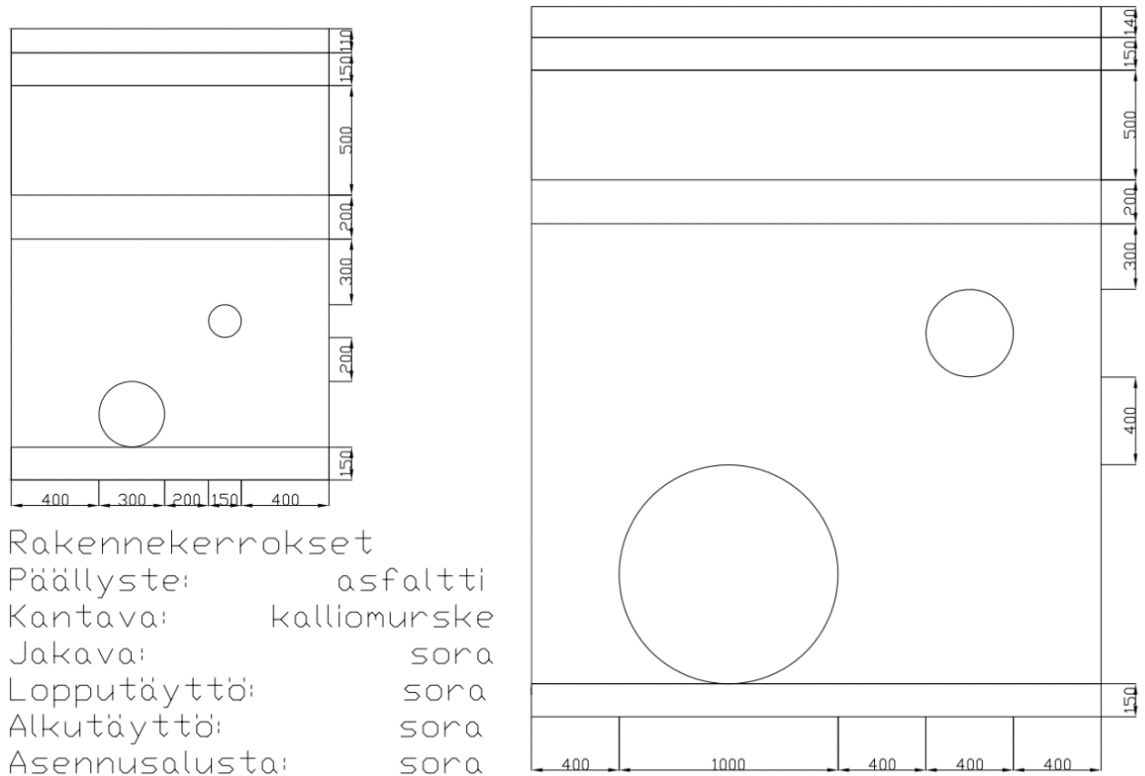
Kaivannosta syntyvien maamassojen määrä on suurempi *suurilla putkilla*, koska kaivannon leveys kasvaa, kun putkikoko kasvaa, sillä putkien ulkoreunasta kaivannon ulkoreunaan tulee jäädä vähintään 400 mm (kts. 2.2.2). Maamassojen määrä lasketaan kuvitteellisen poikkileikkauksen perusteella ja todellisuudessa rakennekerroksissa voi olla erilaisia toteutusvaihtoehtoja.

Laskentaan otetaan vesihuoltokaivannon rakennekerrosten lisäksi kuvitteelliset kadun rakennekerrokset, jotka perustuvat Helsingin kaupungin ohjeeseen (Helsinki 2020). Laskennassa käytetyt kadun rakennekerrokset ja liikennemäärät perustuvat katuluokkaan. Tässä työssä *pienille putkille* käytetään katuluokkaa 4 ja *suurille putkille* katuluokkaa 3, sillä oletetaan pienempien putkien sijaitsevan pienemmällä tiellä (Taulukko 9).

Taulukko 9. *Käytetyt katuluokat, niitä vastaavat liikennemäärät sekä kadun rakennekerrosten kerrospaksuudet.*

	<i>Pienet putket</i>	<i>Suuret putket</i>	Lähde
Katuluokka	4	3	InfraRYL 2021
Liikennemäärä	500-2 500	2 500-10 000	
Kerrospaksuus [mm]			
Asfaltti	110	140	Helsinki 2020
Kalliomurske	150	150	
Sora tai sorainen hiekka	500	500	

Katuluokka 4 vastaa pientaloalueen asuntokatua, huoltoliikenteen väyliä ja henkilöautojen pysäköintialueita ja katuluokka 3 pääkatua, kokoojakatua tai vilkasliikenteistä kerrostaloalueen asuntokatua (InfraRYL 2021). Laskennassa on käytetty liikennemäärinä maksimiarvoja eli *pienille putkille* 2 500 ajoneuvoa ja *suurille putkille* 10 000 ajoneuvoa. Kaivannon koko ja kaivumassojen määrä riippuvat putkikoosta, joten pienille ja suurille putkiko'oilte on tehty erilliset laskelmat (Kuva 12).



Kuva 12. Kuvitteelliset kaivannot tapaustarkasteluihin aukikaivulla.

Tapaustarkasteluun *pienet putket* on oletettu pitkä- ja sukkasujituksen osalta, että kaikkien kolmen kaivon (800 mm) kohdalta tehdään 2,5 m x 5 m x 2,5 m kaivannot, jotka täytetään soralla ja päällystetään asfaltilla (Haastattelut 2022). Tapaustarkasteluun *suuret putket* on oletettu pitkä- ja sukkasujituksen osalta, että kaikkien kolmen kaivon kohdalta tehdään 5 m x 5 m x 2,5 m kaivannot, jotka täytetään soralla ja päällystetään asfaltilla. *Suurten putkien* osalta kaivantojen koot on arvioitu käytettävän kaivokoon (2000 mm) perusteella suhteessa *pienien putkien* kaivantoon.

Aukikaivussa on erikseen vesihuoltokaivanto- ja asfalttiurakka, jota suorittavat eri toimijat. Asfaltin päästöihin on huomioitu ainoastaan materiaalin valmistuksen päästöt, sillä työssä ei kerätty tietoa asfalttiurakoitsijoiden polttoaineenkulutuksista tai työmaatoiminoista.

3.2.5 Maamassojen kierrätys ja käytetyt tilavuuskertoimet

Kaivumassoista oletetaan soveltuvan kierrätettäväksi 50 % ja kierrätetyt massat voidaan sijoittaa joko lopputäyttöön tai jakavaan kerrokseen (Ohjausryhmä 2022). Laskennassa käytetään yhdistelmäkerroimia $y_1 \times k_1$ ja $k_2 \times y_2$ laskemaan kaivettujen massojen tilavuuksia. Yhdistelmäkerrointa $k_1 \times k_2 \times y_2$ käytetään laskemaan varamaanotto paikasta otettavan materiaalin määrää. Ryöstökerroimella on laskettu kaivannon täyttöön tarvittavien massojen määrä. (Taulukko 9)

Taulukko 10. *Laskennassa käytetyt tilavuuskertoimet (Hartikainen 2000).*

Kerroin	arvo
Tien leikkauksesta kuljetusvälineeseen ($y_1 \times k_1$)	1,3
Kuljetusvälineen lavalta rakenteeseen ($k_2 \times y_2$)	0,65
Sora varamaanotto paikasta ($k_1 \times k_2 \times y_2$)	0,75
Ryöstökerroin	1,15

Laskennassa oletetaan asfaltin ja kalliomurskeen olevan irtotilavuuspainoltaan sama kuin sora eli $1,7 \text{ t/m}^3$. Etäisyys työmaalta maankaatopaikalle on 20 km ja kierrätettävien massojen välivarastointiin 20 km, joista kummastakin katuajoa on 50 %.

3.2.6 Työkoneiden käyttö

Työkoneiden polttoaineenkulutuksen laskennassa on oletettu työpäivän kestoksi 10 h. Työkoneiden käyttöasteeksi eli kuinka kauan työkone käy työmaan kokonaistyöajasta aukikaivun ja pitkäsujutuksen osalta oletetaan 50 % ja sukkasujutuksen osalta 100 %. Menetelmien välillä käytetään eri käyttöasteita, sillä sukkasujutuksessa on vain kaksi työkoneita ja työmaan kesto on lyhyt suhteessa muihin menetelmiin, joten työkoneiden oletetaan olevan käytössä koko työpäivän.

Aukikaivun on oletettu kestävän kummassakin tapaustarkastelussa 15 työpäivää ja pitkäsujutuksen 7 työpäivää. Sukkasujutuksen oletetaan kestävän *pienten putkien* osalta yhden työpäivän ja *suurten putkien* osalta 3 työpäivää. (Haastattelut 2022) Kaikki työkoneet paitsi aggregaatti eli dieselgeneraattori, jota käytetään ohipumppaukseen, käyvät vain työpäivinä. Aggregaatin polttoaineenkulutus on keskiarvo haastatteluissa kerätyistä arvioista.

Aukikaivuseen käytetään kuorma-autoa, kahta kaivinkonetta, tärylevyä ja aggregaattia. Kuorma-auto ja pyörälustainen kaivinkone voidaan ajaa työmaalle. Kaikki työkoneiden päästökertoimet on haettu VTT:n LIPASTO-tietokannasta. (Taulukko 11).

Taulukko 11. *Aukikaivun työkoneet, niiden kuljetus työmaalle, päästökertoimet ja kokonaispolttoaineenkulutukset.*

	Kaivinkone pyöräalus- tainen	Kaivin- kone tela- alusteinen	Tärylevy	Aggre- gaatti	Lähde
Kuljetus työmaalle	-	Lavetilla	Kuorma- autolla	Kuorma- autolla	Haastattelut 2022
Työkoneen päästökertoimen [g CO ₂ e/l]	2672	2672	2672	2672	LIPASTO
Kokonaispolttoaineenkulu- tus työmaalla [l/100 m]	1500	1500	100	4300	Haastattelut 2022

Pitkäsujutukseen käytetään kuorma-autoa, kaivinkonetta, pyörökuormaajaa, vinssiä, aggregaattia ja tärylevyä. Kaikki työkoneet kuljetetaan työmaalle kuorma-autolla (Taulukko 12).

Taulukko 12. *Pitkäsujutuksen työkoneet, niiden kuljetus työmaalle, päästökertoimet ja kokonaispolttoaineenkulutukset.*

	Kaivin- kone	Pyörö- kuor- maaja	Vinssi	Aggre- gaatti	Tärylevy	Lähde
Kuljetus työmaalle	Lavetti	Lavetti	Kuorma- auto	Kuorma- auto	Kuorma- auto	Haastattelut 2022
Polttoaineenkulutus [l/h]	22	20	20	4	10	Haastattelut 2022
Työkoneen päästö- kerroin [g CO ₂ e/l]	2672	2673	2672	2672	2672	LIPASTO
Kokonaispolttoai- neenkulutus työ- maalla [l/100 m]	770	700	700	864	350	

Sukkasujutukseen käytetään kuorma-autoa, asennusyksikköä, joka sisältää generaattorin ja höyrykeittimen sekä aggregaatin. Työkoneet kuljetetaan työmaalle kuorma-autolla (Taulukko 13).

Taulukko 13. Sukkasujutuksen työkoneet, niiden kuljetus työmaalle, päästökertoimet ja kokonaispolttoaineenkulutukset.

	Asennusyksikkö: generaattori ja höyrykeitin		Lähde
	Kuorma-auto	Aggregaatti	
Kuljetus työmaalle	Kuorma-auto	Kuorma-auto	Haastattelut 2022
Polttoaineenkulutus [l/h]	10		Haastattelut 2022
Työkoneen päästökero roin [g CO ₂ e/l]	2672	2672	LIPASTO 2022
Kokonaispolttoaineenku lutus työmaalla <i>pienet</i> <i>putket</i> [l/100 m]	100	209	
Kokonaispolttoaineenku lutus työmaalla <i>suuret</i> <i>putket</i> [l/100 m]	300	627	

Kuorma-autolla tai lavetilla kuljettavien työkoneiden oletetaan mahtuvan yhden kuorma-auton (19 t kuorma) kyytiin ja kuljetukset työmaalle on laskettu kuorma-auton täyden kuorman päästökertoimella ja toiseen suuntaan tyhjän kuorman päästökertoimella. Kuorma-autojen päästökertoimet on esitetty aiemmin kappaleessa 3.2.3.

3.2.7 Odottava liikenne ja henkilöstön työmatkat

Odottavan liikenteen päästöjen laskennassa käytetään keskimääräisen ajon päästökeroita ja taajama-ajon päästökeroita. Henkilöstön matkat työmaalle tapahtuvat dieselkäyttöisellä pakettiautolla, jonka kokonaismassa on täynnä 2,7 t, josta kuorman osuus on 1,2 t. Auton oletetaan olevan täysi. (Taulukko 14)

Taulukko 14. Odottavan liikenteen ja henkilöstön työmatkojen päästökertoimet (LIPASTO 2022).

		EURO 5	EURO 6	muu	yksikkö
Odottava liikenne	Keskimääräinen ajo			126	g CO ₂ e/km
	Taajama-ajo			170	g CO ₂ e/km
Pakettiauto	Täysi	275	255		g CO ₂ e/km

Odottavan liikenteen päästöjen on oletettu nousevan kaivannon pituudelta (100 m) keskimääräisestä ajosta taajama-ajoon. Liikennemäärät perustuvat katuluokkiin, jotka on esitetty aiemmin (kappaleessa 3.2.4) ja ovat erilaiset tapaustarkasteluiden välillä. Ajoneuvomääräksi on valittu *pienille putkille* 2 500 ja *suurille putkille* 10 000 ajoneuvoa/d. Häiriön ajatellaan olevan ympärivuorokautinen ja myös viikonloppuina tapahtuva. Henkilöstön edestakaisten päivittäisten kuljetusten on oletettu olevan 20 km (Haastattelut 2022).

3.2.8 Herkkyystarkastelu

Laskentaosiossa tehdään herkkyystarkastelua valittuja lähtöarvoja vaihtamalla. Herkkyystarkastelu tehdään EURO-luokan, maamassojen kuljetusetäisyyksien ja käyttöasteiden osalta. EURO-luokan vaikutusta tarkastellaan, koska EURO VI-luokan tavoittelu on yksi päästöttömien työmaiden tavoitteista (kts. 2.3.3). Laskennassa vaihdetaan kaikki kuorma-autokuljetusten päästökertoimet EURO V-luokasta EURO VI-luokkaan (kts. Taulukko 8).

Maamassojen kuljetusetäisyyksiä tarkastellaan, koska ne eroavat työmaiden välillä ja kuljetusetäisyyden pienentäminen on tunnistettu infrarakentamisen päästövähennysmahdollisuudeksi ainakin Tampereen kaupungin tiekartassa (kts. 2.3.2). Laskennassa pienennetään sekä maamassojen välivarastoinnin että loppusijoituksen etäisyyttä ja arvioidaan miten pienempi tai suurempi etäisyys vaikuttaa kokonaishiilijalanjälkeen.

Työkoneiden käyttöastetta tarkastellaan, sillä työkoneiden polttoaineenkulutuksen aiheuttamat päästöt ovat merkittäviä koko Suomen tasolla (kts. 2.3.3) ja koska käyttöasteen valintaan liittyy epävarmuutta. Laskennassa muutetaan aukikaivun ja pitkäsujutuksen käyttöaikaa kaikkien muiden paitsi aggregaatin osalta. Sukkasujutuksen käyttöaikaa ei oteta tarkasteluun, koska menetelmässä käytetään pientä määrää työkoneita ja saaneerauskesto, joten työkoneita käytetään todennäköisesti koko työpäivän ajan.

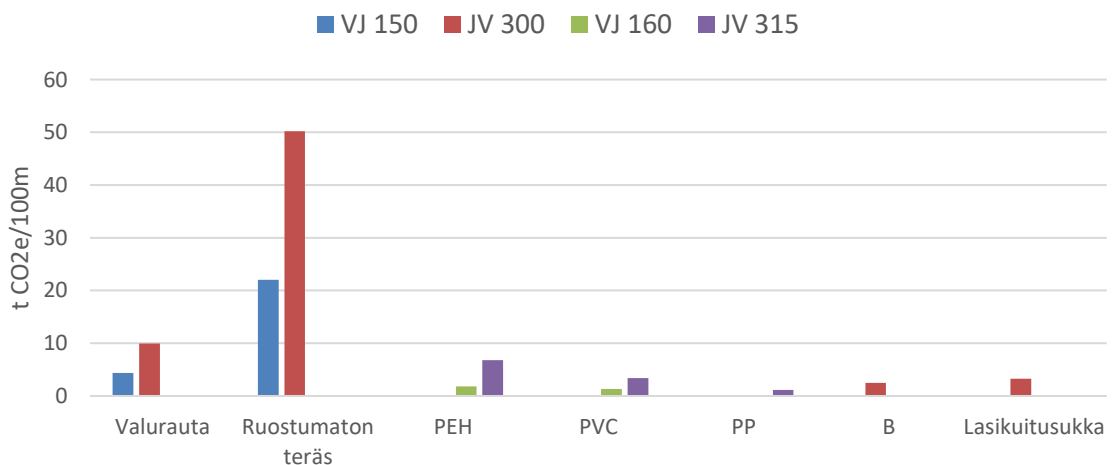
4. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

4.1 Vaikutusarviointi

Tässä luvussa tehdään vaikutusarviointi eli arvioidaan ympäristövaikutusten merkittävyyttä tulosten pohjalta. *Pienten putkien* ja *suurten putkien* putkimateriaaleja ja saneerausmenetelmiä vertaillaan keskenään. Saneerausmenetelmien päästöt koostuvat tässä tutkimuksessa putkista, työkoneiden käytöstä ja kuljetuksista, maamassojen valmistuksesta ja kuljetuksista, ohikulkevasta liikenteestä sekä henkilöstön työmatkoista työmaalle.

4.1.1 Elinkaaren vaiheiden vaikutus pienillä putkilla

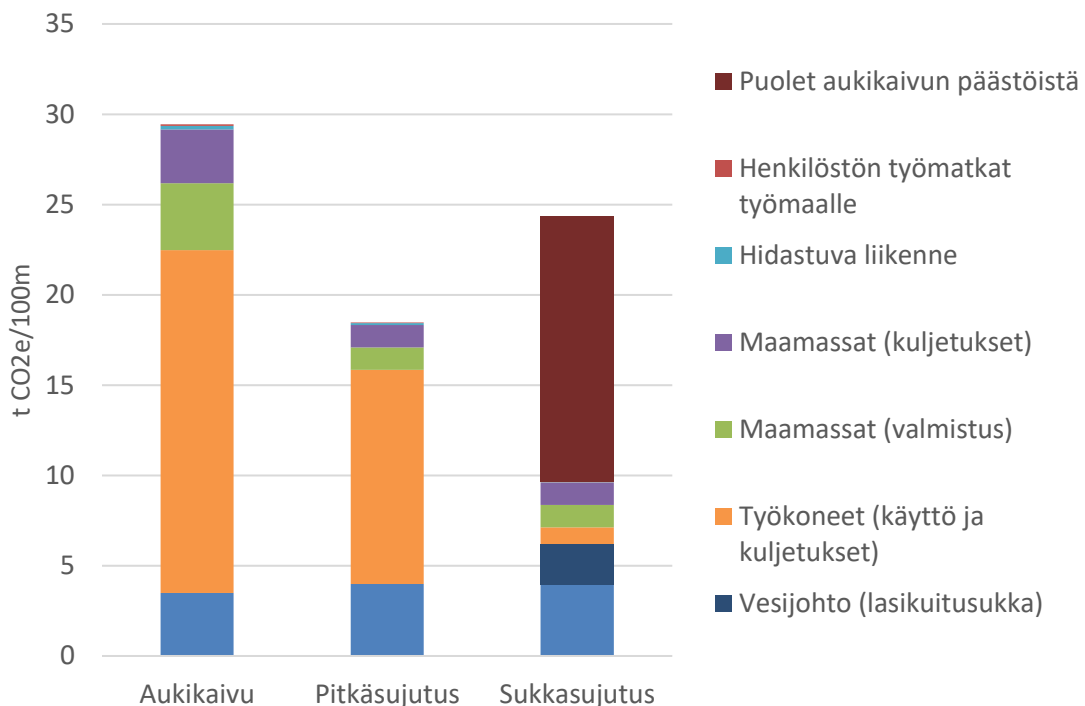
Pienille putkille tarkasteltiin vesijohtoputkena DN150 ja jätevesiviemärinä DN300. Putkia ei saa muovimateriaaleissa näiden kokoisina, joten PEH-, PVC- ja PP-putkille tarkasteltiin lisäksi DN160 ja DN315. Vesijohtoina ei käytetä PP-, betoni- tai lasikuitusukkaputkia (Kuva 13).



Kuva 13. *Pienten putkien putkimateriaalien päästövertailu.*

Valurauta ja ruostumaton teräs aiheuttavat niin vesijohdon kuin jätevesiviemärinkin osalta suuremmat päästöt kuin muovi- betoni- tai lasikuitusukkaputket. Sulkuventtiilien päästöt DN150 putkelle on 194 kg CO₂e ja kaivojen DN300 putkelle on 483 kg CO₂e. Kolmen venttiilin päästöjen osuus yhteenlasketusta vesijohtoverkoston materiaalien päästöistä PVC-putkelle on 14 % ja kolmen kaivon päästöt yhteenlasketusta jätevesiverkoston materiaalien päästöistä PP-putkelle on 30 %.

Putkimateriaalien päästövertailun perusteella aukikaivulla voidaan vesijohdoksi valita PVC-putki ja jätevesiviemäriksi PP-putki. Pitkäsujutus tulee tehdä joko PEH- tai PP-putkella, joten valitaan vesijohdoksi PEH-putki ja jätevesiviemäriksi PP-putki. Sukkasujutuksella jätevesiviemärin materiaaliksi valitaan lasikuitusukka, jonka lisäksi päästölaskentaan otetaan mukaan lasikuitusukka DN150 vastaamaan vesijohdon päästöjä, jotta eri menetelmät ovat keskenään vertailtavissa. Sukkasujutuksen päästöihin lasketaan myös puolet aukikaivun päästöistä, sillä menetelmän käyttöäksi on oletettu 50 vuotta kun muut menetelmät kestävät 100 vuotta (kts. 3.1.2) (Kuva 14).

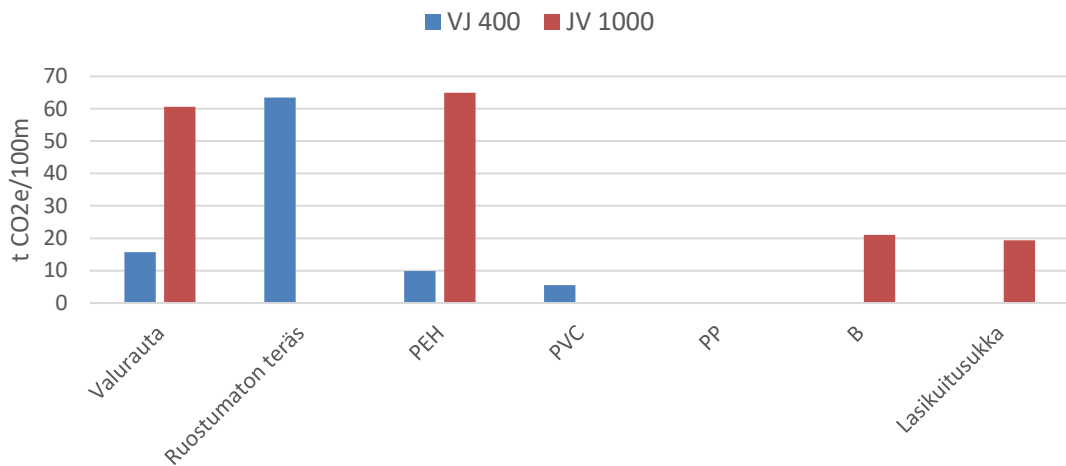


Kuva 14. Pienten putkien saneerausmenetelmien hiilijalanjälkien vertailu.

Pienille putkille suurin hiilijalanjälki syntyy aukikaivulla (29,4 t CO₂e/100 m), toiseksi suurin sukkasujutuksella (24,3 t CO₂e/100 m) ja pienin pitkäsujutuksella (18,5 t CO₂e/100 m). Aukikaivulle ja pitkäsujutukselle saneerauksen suurin vaikutus syntyy työkoneiden käytöstä (65 % ja 64 %). Sukkasujutuksessa merkittävin vaikutus syntyy mukaan laske-
tusta puolikkaasta aukikaivun päästöjä (60 %) ja toiseksi suurin jätevesiviemärin lasikui-
tusukan päästöistä (16 %). Kaikilla menetelmillä henkilöstön työmatkat työmaalle (0,01-
0,08 t CO₂e/100 m) ja liikenne (0,01-0,21 t CO₂e/100 m) aiheuttavat kaikista pienimmät
vaikutukset, jotka ovat maksimissaan prosentin kokonaispäästöistä.

4.1.2 Elinkaaren vaiheiden vaikutus suurilla putkilla

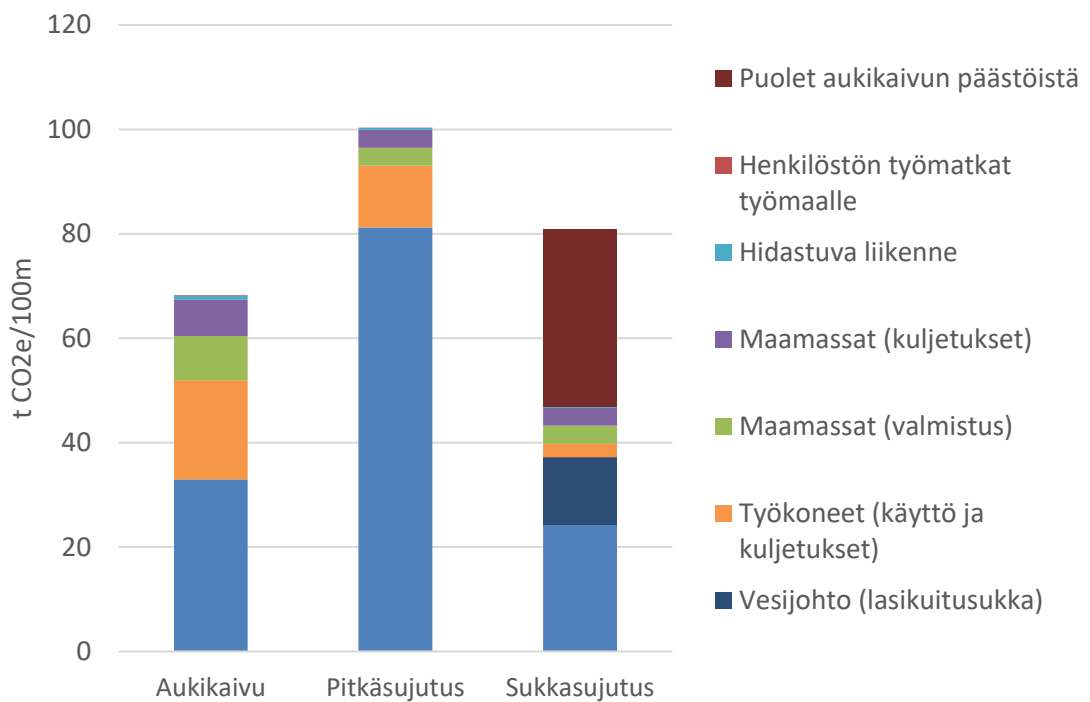
Vesijohto- ja jätevesiviemäriputkelle on otettu tarkasteluun DN400 ja DN1000. PP-, betoni- ja lasikuitusukkaa ei käytetä vesijohdoille eikä jätevesiviemäriille löydy DN1000 kokoista ruostumatonta teräs- tai PP-putkea (Kuva 15).



Kuva 15. Suurten putkien putkimateriaalien päästövertailu.

Jätevesiviemärin osalta valurauta- ja PEH-putket aiheuttivat suurimman vaikutuksen ja vesijohtojen osalta ruostumaton teräs. Kolmen venttiilin päästöt yhteenlasketusta vesijohtoverkoston materiaalien päästöistä PVC-putkelle on 19 % ja kolmen kaivon päästöt yhteenlasketusta jätevesiverkoston materiaalien päästöistä lasikuitusukalle on 20 %.

Materiaalien päästövertailun perusteella aukikaivulla voidaan vesijohdoksi valita PVC ja jätevesiviemäriksi betoni. Pitkäsujutukselle valitaan sekä vesijohdoksi että jätevesiviemäriksi PEH-putki. Sukkasujutuksella jätevesiviemärin materiaaliksi valitaan lasikuitusukka, jonka lisäksi päästölaskentaan otetaan mukaan lasikuitusukka DN400 vastamaan vesijohdon päästöjä, jotta eri menetelmät ovat keskenään vertailtavissa. Sukkasujutuksen päästöihin lasketaan myös puolet aukikaivun päästöistä, sillä rakenteen käyttöikä on ainoastaan 50 vuotta kun muut kestävät 100 vuotta (kts. 3.1.2) (Kuva 16).



Kuva 16. Suurten putkien saneerausmenetelmien hiilijalanjälkien vertailu.

Suurille putkille suurin vaikutus syntyy pitkäsujutuksella (100,4 t CO₂e/100 m), toiseksi suurin sukkasujutuksella (80,9 t CO₂e/100 m) ja pienin vaikutus aukikaivulla (68,3 t CO₂e/100 m). Aukikaivulla suurin vaikutus syntyy putkista ja työkoneiden käytöstä (42 % ja 38 %). Pitkäsujutuksessa suurin vaikutus syntyy putkista (81 %), sillä pitkäsujutukselle voidaan käyttää ainoastaan PEH- tai PP-putkia ja PEH-putki aiheuttaa DN1000 kokoisena merkittävästi päästöjä (kts. kuva 15). Sukkasujutuksessa merkittävin vaikutus syntyy mukaan lasketusta puolikkaasta aukikaivun päästöjä (42 %) ja toiseksi suurin putkista (30 %). Kaikilla menetelmillä henkilöstön työmatkat työmaalle (0,02-0,08 t CO₂e/100 m) ja liikenne (0,13-0,82 t CO₂e/100 m) aiheuttavat kaikista pienimmät vaikutukset, jotka ovat maksimissaan prosentin kokonaispäästöistä.

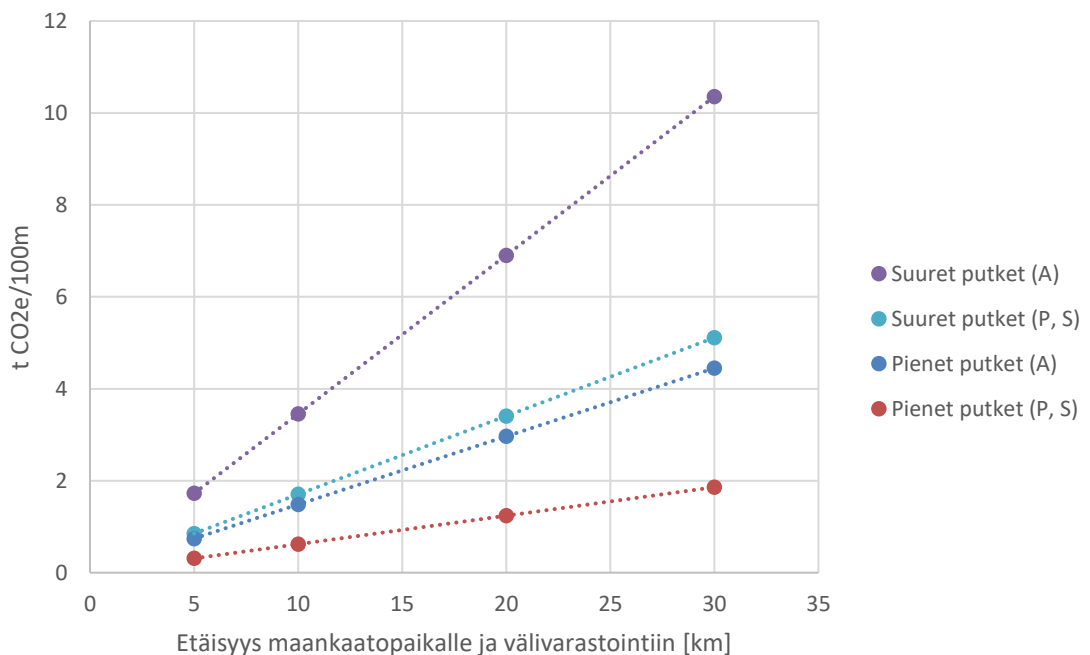
4.2 Herkkyystarkastelu

Tässä luvussa tehdään herkkyystarkastelu vaihtamalla kuorma-autojen EURO-luokkaa sekä maankaatopaikan ja välivarastoinnin etäisyyksiä sekä kokeilemalla miten erilaiset työkoneiden käyttöasteet vaikuttavat yksikköprosessien päästöihin.

4.2.1 EURO-luokka ja maamassojen kuljetusmatkat

EURO 6 luokan kuorma-autojen vaihtaminen vähentää menetelmien kokonaispäästöjä korkeintaan 0,02 % (aukikaivu *pienille putkille*). Pieni määrä johtuu työmaiden melko vähäisistä kuljetuksista ja suurin vähennys tapahtuu aukikaivulla, sillä kuljetuksia on maamassojen takia enemmän kuin muissa menetelmissä.

Maamassojen maankaatopaikan ja välivarastointiin etäisyydeksi työmaasta on oletettu 20 km. Jos etäisyys on vain 10 km, päästöt putoavat *pienillä putkilla* aukikaivulla 5 % ja kaivamattomilla menetelmillä 3 %. *Suurilla putkilla* päästöt laskevat aukikaivulla 5 % ja 2 % (Kuva 17).

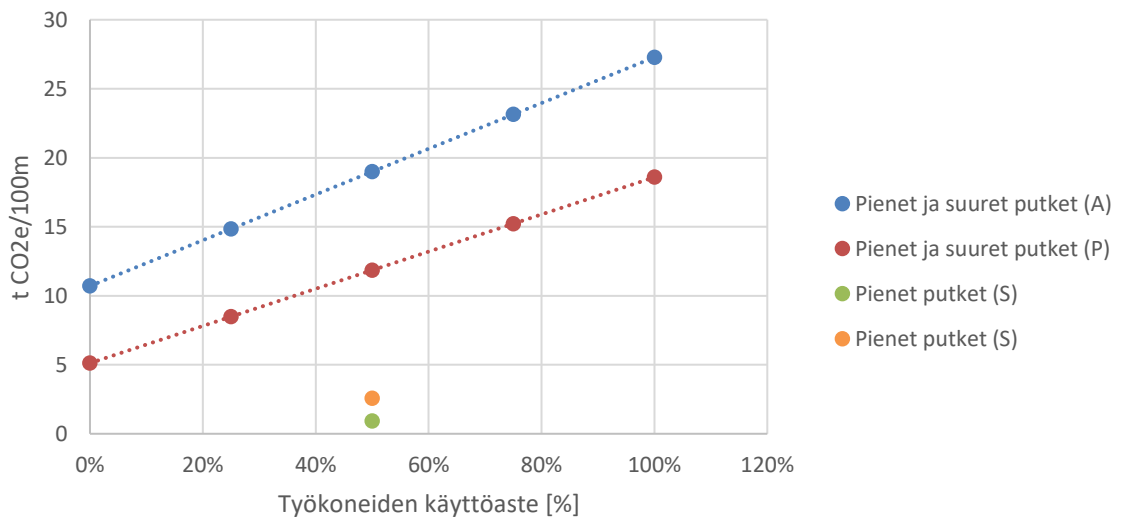


Kuva 17. Maankaatopaikan ja välivarastointiin etäisyyden vaikutus maamassojen kuljetusten aiheuttamiin päästöihin.

Pitkäsujutuksen ja sukkasujutuksen maamassojen kuljetusten päästöt ovat yhtä suuret, sillä laskennassa on käytetty kaivojen kohdalta samankokoisia kaivantoja. *Suurten putkien* maamassojen kuljetusten päästöt pitkäsujutukselle ja sukkasujutukselle ovat suuremmat kuin *pienen putkien* päästöt aukikaivulle.

4.2.2 Työkoneiden käyttöaste

Työkoneiden käyttöasteeksi on laskennassa valittu 50 % muille työkoneille paitsi aggregaatille ja sukkasujutuksen työkoneille, joille käyttöaste on 100 %. Arvio on epävarma, sillä se perustuu haastatteluihin. Käyttöasteella on merkittävä vaikutus tuloksiin, sillä vaihdettaessa käyttöaste 50 %:sta 25 %:iin päästöt laskevat aukikaivulla 14 % ja pitkäsujutuksella 18 %. (Kuva 18).



Kuva 18. Työkoneiden käyttöasteen vaikutus työkoneiden käytön ja kuljetuksen aiheuttamiin päästöihin

Tarkastelussa ei muutettu sukkasujutuksen käyttöastetta kummassakaan tapaustarkastelussa, sillä sukkasujutuksella työkoneiden käytöstä aiheutuvat päästöt ovat merkittävästi pienemmät kuin aukikaivussa tai pitkäsujutuksessa. Myöskään aggregaatin käyttöastetta ei muutettu, sillä ohipumppauksen täytyy toimia koko työmaan ajan. Aukikaivulle ja pitkäsujutukselle molempien tapaustarkasteluiden päästöt ovat samat, sillä työmaan keston on oletettu olevan sama riippumatta putkikoosta.

Aukikaivun ja pitkäsujutuksen käyrät lähtevät pisteestä, joka vastaa aggregaatin polttoaineenkulutuksen päästövaikutusta. Aggregaatin vaikutus on merkittävä, sillä 50 % käyttöasteella päästöt ovat aukikaivulle 56 % ja pitkäsujutukselle 43 % työkoneiden kokonaispolttoaineenkulutuksesta. *Pienille putkille* 50 % käyttöasteella työkoneiden osuus aukikaivun päästöistä on 65 % ja pitkäsujutuksen päästöistä 64 %. *Suurille putkille* vastaavat luvut olisivat 28 % ja 12 %. Jos käyttöaste olisi 25 %, työkoneiden osuus *pienille putkille* aukikaivun päästöistä olisi 59 % ja pitkäsujutukselle 56 %. *Suurille putkille* vastaavat luvut olisivat 23 % ja 9 %.

4.3 Tulkinta

Tässä luvussa tehdään tulosten tulkinta eli tehdään johtopäätöksiä tulosten pohjalta ja arvioidaan tuloksiin vaikuttavat tekijät, tulosten täydellisyys ja johdonmukaisuus. Tulkinnaassa keskitytään erityisesti verkoston ja saneerausmenetelmien vaikutukseen.

4.3.1 Merkittävimmät elinkaaren vaiheet

Pienillä putkilla aukikaivulle ja pitkäsujutukselle saneerauksen suurin vaikutus syntyy työkoneiden käytöstä (65 % ja 64 %) ja sukkasujutuksessa merkittävin vaikutus syntyy mukaan lasketusta puolikkaasta aukikaivun päästöjä (60 %). Kaivannon materiaalien vaikutus on myös aiemmin todettu suureksi (Petit-Boix et al. 2014). Asennusvaiheen päästöt on todettu aiemminkin aiheutuvan polttoaineenkulutuksesta ja maamassojen syntymisestä ja kuljetuksista (Sanjuan-Delmás et al. 2014; Loss et al. 2018)

Suurilla putkilla aukikaivulle suurin vaikutus syntyy putkien valmistuksesta ja työkoneiden käytöstä (42 % ja 38 %). Pitkäsujutuksessa suurin vaikutus syntyy putkista (81 %) ja sukkasujutuksessa mukaan lasketusta puolikkaasta aukikaivun päästöjä (42 %) ja toiseksi suurin putkista (30 %). Aiemmissä tutkimuksissa elinkaaren merkittävimmät vaikutukset syntyivät myös vesijohdon ja jätevesiviemäriin valmistuksen päästöistä (Du et al. 2013; Vahidi et al. 2016)

Pienillä putkilla tulee siis kiinnittää huomiota asennukseen ja suurilla putkilla putkimateriaaliin, kuten myös Sanjuan-Delmás et al. (2014) totesi. Henkilöstön kuljetukset työmaalle (*pienet putket* aukikaivu 0,3 %) ja ohikulkevan liikenteen hidastumisen päästöt (*suuret putket* aukikaivu 1,2 %) ovat pienet suhteessa kokonaispäästöihin. Aukikaivu aiheutti kaivamattomia menetelmiä enemmän päästöjä työmaan pidemmän keston takia.

4.3.2 Verkostojen päästöjen osuus saneerauksen kokonaispäästöistä

Verkoston päästöt sisältävät putket, laitteet ja niiden kuljetuksen työmaalle. Verkoston osuus kokonaispäästöistä korostuu erityisesti *suurilla putkilla*. Saneerausmenetelmien materiaalirajoitukset vaikuttavat mahdollisiin valittaviin putkimateriaaleihin. Pitkäsujutuksessa, suurelta osin jätevesiviemärissä käytettävän PEH-putken takia, verkoston osuus on jopa 81 %. Tässä tapauksessa menetelmävalinnan takia aiheutuisi enemmän päästöjä.

Verkostomateriaaleille on muitakin valintakriteereitä, kuin kasvihuonekaasupäästöt eikä materiaalivalinta saa johtaa putken eliniän laskemiseen, sillä se muuttaisi eri putkimateriaalien keskinäisiä suhteita. Jos materiaali olisi ennalta määrätty, kaikkia menetelmiä ei välttämättä voitaisi käyttää ja vertailtavien menetelmien kokonaispäästöjen keskinäiset suhteet muuttuisivat. Materiaalin vaikutus on kuitenkin suuri myös paremmin soveltuvien menetelmien osalta. Aukikaivulle verkoston vaikutus ovat 48 % ja sukkasujutukselle 30 %. Myös *pienille putkille* verkoston osuus on merkittävä 12-16 %.

Suurimmat verkostomateriaalien päästöt *pienille putkille* aiheuttavat ruostumaton teräs ja valurauta. *Suurille putkille* suurimmat päästöt vesijohtolle aiheuttavat ruostumaton teräs sekä jätevesiviemärille valurauta ja PEH. Valurauta todettiin eniten päästöjä aiheuttavaksi myös aiemmissa tutkimuksissa (Piratla et al. 2012; Sanjuan-Delmás et al. 2014; Hajibabaei et al. 2018) Ruostumatonta terästä ei tutkittu teoriaosuudessa tarkastelluissa tutkimuksissa.

Vähäpäästöisimpiä materiaaleja *pienille putkille* ovat muovimateriaalit, betoni ja lasikuitusukka. Tarkastellut muoviputket ovat muihin putkiin verrattuna halkaisijaltaan suurempia, mutta vähäpäästöisempiä. *Suurille putkille* vähäpäästöisin vesijohtomateriaali on PVC ja jätevesiviemärimateriaali betoni ja lasikuitusukka. Myös aiemmissa tutkimuksissa betoniputket (Du et al. 2013; Petit-Boix et al. 2014; Vahidi et al. 2016) ja muovimateriaaleista PEH ja PVC todettiin vähäpäästöisimmiksi (Sanjuan-Delmás et al. 2013; Petit-Boix et al. 2014; Piratla et. 2014).

Sulkuventtiilien ja kaivojen osuus koko verkoston päästöistä on merkittävä. *Pienille putkille* sulkuventtiilien (3 kpl) osuus oli 14 % ja kaivojen (3 kpl) osuus oli 30 %. *Suurille putkille* osuudet olivat 19 % ja 20 %. Laitteiden päästöjen osuus on laskettu suhteessa vähiten päästöjä aiheuttaneeseen putkimateriaaliin. Sulkuventtiileitä ja kaivoja tulee sijoittaa taajama-alueella suhteessa enemmän kuin harvemmallalla alueella, sillä liitoksia on

enemmän, joten päästöt ovat korkeammat. Koska sulkuventtiilien päästöt on laskettu valurautaputken päästökertoimella, tulos on epävarma.

Kaivojen päästöt on laskettu suoraan valmistajalta saadulta päästökertoimen arvolla, joten tulosta voidaan pitää luotettavana. Saatavilla on kuitenkin vain kahden kaivon päästökertoimet (800 ja 2000), joten kaivokoon soveltumattomuus putkikoon kanssa vääristäisi verkoston päästöjen osuutta.

Kaikille putkimateriaaleille ei ole vielä ympäristöselosteita, joten tulevaisuudessa voidaan saada tarkempia arvioita Suomessa valmistettujen putkien päästökertoimiin. Tässä tutkimuksessa PP- ja betoniputkelle sekä lasikuitusukalle päästökertoimet ovat tarkkoja suoraan valmistajilta saatuja.

4.3.3 Saneerausmenetelmän vaikutus kokonaispäästöihin

Saneerausmenetelmien päästöjen erot johtuvat eri putkimateriaalien käytön lisäksi erilaisista kaivannon ko'oista ja siitä johtuvista maamassojen kuljetuksista sekä erilaisista työmaiden polttoaineenkulutuksista. Tapaustarkastelun perusteella *pienille putkille* vähäpäästöisin menetelmä on pitkäsujutus ja *suurille putkille* aukikaivu.

Kaivannon koot on arvioitu ja aukikaivun osalta mitat perustuvat InfraRYL:iin, joten ne vastaavat toteuttamiskelpoista kaivantoa. Pitkäsujutuksen ja sukkasujutuksen osalta kaivantojen koot on arvioitu siten, että verkoston kaivot pystytään uusimaan.

Kaivantojen koko on siis epävarma ja vaikuttaa maamassojen kuljetusten määrään, joka on merkittävä päästölähde. Maamassojen kuljetukset ovat aukikaivulle 10 % *pienten putkien* ja *suurten putkien* kokonaispäästöistä, pitkäsujutukselle 7 % *pienten putkien* ja 3 % *suurten putkien* kokonaispäästöistä ja sukkasujutukselle 5 % *pienten putkien* ja 4 % *suurten putkien* kokonaispäästöistä.

Yhteenlasketut maamassojen kuljetusten ja valmistuksen merkittävät päästöt (A 23 %, P 13 % ja 7 %, S 10 % ja 8 %) vahvistavat eri tahojen välisten yhteisten saneerausprojektien tarpeellisuutta. Projekteihin voi kuulua esimerkiksi vesihuoltolaitos, sähkölaitos ja katusaneeraus. Kaupungin tulisi yhteensovittaa samalle katuosuudelle kohdistuvat projektit, jotta katua ei turhaan avattaisi useita kertoja lyhyen aikavälin sisällä.

Hyvällä työmaasuunnittelulla voidaan vähentää päästöjä. Maankaatopaikan ja välivarastoinnin etäisyys vaikuttaa päästöihin erityisesti aukikaivulla, jolla 10 km muutos etäisyydessä vastaa 5 % päästöjä. Pitkä- ja sukkasujutuksellakin päästöt vähenevät 2-3 %.

Massojen hyödyntämisellä syntypaikalla, edistämällä maa-aineksen jakamiseen tarkoitettua tietoaustaa ja uudelleenkäyttämällä työmaiden ylijäämämassat ja tarvikkeet on mahdollista vähentää päästöjä.

Menetelmäkohtaiset työkoneiden polttoaineen kulutukset on saatu haastatteluista, joten lähtöarvoissa on paljon epävarmuuksia. Arviot saattavat olla optimistisia eikä haastatteluissa ole minkään menetelmän kohdalla eritelty, mitä putkikokoa polttoaineenkulutukset vastaavat. Työmaan kestot on oletettu aukikaivulla ja pitkäsujutuksella samaksi riippumatta saneerattavan putkeen koosta. Käyttöasteen valinta vaikuttaa työkoneiden käytöstä aiheutuviin päästöihin ja tuo epävarmuutta tuloksiin. Käyttöasteen pudottaminen 50 %:sta 25 %:iin laskee *pienillä putkilla* aukikaivun päästöjä 6 % ja pitkäsujutuksen 8 % sekä *suurilla putkilla* 5 % ja 3 %.

Kuorma-autojen ja työkoneiden päästökertoimet on otettu LIPASTO-tietokannasta. Tietokanta on yleisesti käytössä, mutta sivustolla on huomautus, että tietokanta poistuu käytöstä elokuussa 2022, sillä tiedot ovat vanhentuneita. Tietokanta sisältää 2016 vuoden arvot, joissa on varmasti kuuden vuoden aikana tapahtunut muutoksia. Esimerkiksi biopolttoaineiden osuus on luultavasti kasvanut 11,5 %:sta.

Suomessa työkoneista 90 % käyttää polttoaineenaan dieseliä ja loput 10 % bensiiniä. Työkoneiden polttoaineen kulutus on 19 % Suomen tieliikenteen ja työkoneiden yhteensasketusta polttoaineenkulutuksesta. Työkoneiden hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää parantamalla moottorien energiatehokkuutta, itse koneiden energiatehokkuutta sekä tehostamalla ja optimoimalla koneiden käyttöä. Työkonemoottorien hiilidioksidipäästöille ei ole vielä määritelty rajoituksia lukuun ottamatta ilmoitusvaatimusta moottorin osalta. (VTT 2016) Työkoneiden päästöjä voidaan laskea siirtymällä uusiutuviin energianlähteisiin.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä tutkittiin vesihuollon verkostosaneerausten hiilijalanjälkeä. Vesihuollon verkostosaneerausten hiilijalanjälki koostuu pääosin putkien valmistuksesta, työkoneiden käytöstä sekä maamassojen valmistuksesta ja kuljetuksista. *Pienillä putkilla* (vesijohto DN150, jätevesiviemäri DN300) päästöjä aiheutuu erityisesti työkoneiden käytöstä. *Suurilla putkilla* (vesijohto DN 400, jätevesiviemäri DN1000) päästöjä aiheutuu erityisesti putkien valmistuksesta. Hidastuvan ohikulkevan liikenteen ja henkilöstön työmatkojen työmaalle todettiin aiheuttavan vähän päästöjä suhteessa koko työmaan päästöihin.

Vähäpäästöisimpiä putkimateriaaleja *pienille putkille* ovat vesijohdoille muovimateriaalit ja jätevesiviemäriille betoni ja lasikuitusukka. *Suurille putkille* vähäpäästöisimpiä materiaaleja ovat vesijohdolle PVC ja jätevesiviemäriille betoni ja lasikuitusukka. Suuripäästöisimpiä putkimateriaaleja *pienille putkille* ovat ruostumaton teräs ja valurauta. *Suurille putkille* suuripäästöisimpiä olivat vesijohdoille ruostumaton teräs ja jätevesiviemäriille valurauta ja PEH. Sulkuventtiilien ja kaivojen osuus verkoston päästöistä on merkittävä ja korostuu taajama-alueella, jossa liitoksia on enemmän kuin harvaan asutuilla alueilla.

Pienille putkille vähäpäästöisin saneerausmenetelmä oli pitkäsujuutus ja *suurille putkille* aukikaivu. Sukkasujutuksen päästöt jäivät kummassakin tapaustarkastelussa keskimäisiksi, sillä ajallisen rajauksen ollessa 100 vuotta ja menetelmien vertailtavuuden takia kokonaispäästöihin laskettiin myös puolikas aukikaivun päästöistä ja vesijohdon saneeraus lasikuitusukalla.

Vesihuollon verkostosaneerausten hiilijalanjälkeä voidaan pienentää valitsemalla vähäpäästöisin putkimateriaali ja valitsemalla sopiva määrä sulkuventtiileitä ja kaivoja kattamaan tekniset vaatimukset. Maamassojen kuljetusten päästöjä voidaan pienentää lyhentämällä kuljetusetäisyyksiä ja suosimalla yhteisprojekteja sekä valitsemalla sopiva saneerausmenetelmä. Työkoneiden aiheuttamia päästöjä voidaan pienentää siirtymällä vähäpäästöisempiin tai fossiilivapaisiin polttoaineisiin.

LÄHTEET

- Awaitey, A. (2021). Carbon footprint of Finnish wastewater treatment plants, Diplomityö, Aalto-yliopisto.
- Berninger, K., Laakso, T., Paatela, H., Virta, S., Rautiainen, J., Virtanen, R., Tynkkynen, O., Piila, N., Dubovik, M. & Vahala, R. (2018). Tulevaisuuden kestävä vesihuolto – ennakointi, ohjaus ja järjestäminen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 56/2018, 139 s.
- Demos Helsinki & RAKLI (2021). Infra 2035: Infrastruktuuri hiilineutraalissa Suomessa, Loppuraportin tiivistelmä, 19 s.
- Du, F., Woods, G., Kang, D., Lansey, K. & Arnold, R. (2013). Life Cycle Analysis for Water and Wastewater Pipe Materials. Journal of Environmental Engineering, 139 (5), 703-711.
- EPA (2022a). Scope 1 and Scope 2 Inventory Guidance. Saatavilla (Viitattu 6.4.2022): <https://www.epa.gov/climateleadership/scope-1-and-scope-2-inventory-guidance>
- EPA (2022b). Scope 3 Inventory Guidance. Saatavilla (Viitattu 6.4.2022): <https://www.epa.gov/climateleadership/scope-3-inventory-guidance>
- European Commission (2022). National energy and climate plans. Saatavilla (Viitattu 23.2.2022): https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/implementation-eu-countries/energy-and-climate-governance-and-reporting/national-energy-and-climate-plans_en
- Euroopan parlamentti (2019). Mitä hiilineutraalius tarkoittaa ja miten se saavutetaan 2050 mennessä? Saatavilla (Viitattu 2.2.2022): <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20190926STO62270/mita-hiilineutraalius-tarkoittaa-ja-miten-se-saavutetaan-2050-mennessa>
- Green deal (2020). Päästöttömät työmaat – Kestävien hankintojen green deal -sopimus, 23 s. Saatavilla (Viitattu 7.4.2022): <https://sitoumus2050.fi/paastotontyomaa#/>
- Haastattelut (2022). Maanrakennus-, pitkäsuojutus- ja sukkasuojutusasiantuntijat sekä putkitoimitajat. Maalis- ja huhtikuu 2022.
- Haimi, H (2021). Hiilijalanjäljen laskenta työkaluna ilmastoviisaan vesihuoltolaitoksen tavoittelussa, Vesihuolto 2021, Turku.
- Hajibabaei, M., Nazif, S. & Tavanaei Sereshgi, F. (2018). Life cycle assessment of pipes and piping process in drinking water distribution networks to reduce environmental impact. Sustainable Cities and Society, 43, 538–549.
- Hajibabaei, M. et al. (2020). Environmental assessment of construction and renovation of water distribution networks considering uncertainty analysis. Urban Water Journal, 17 (8), 728-734.
- Hartikainen, O.-P. (2000). Maanrakennustekniikka, 196 s.
- Helsinki (2020). Asfalttipäällysteet. Saatavilla (Viitattu 23.3.2022): <https://kaupunkitila-ohje.hel.fi/kortti/asfalttipinnoitteet-yleista/>
- Hiilineutraalisuomi (2020). Yhdenmukainen kasvihuonekaasupäästöjen laskenta kaikille Suomen kunnille kehitteillä. Saatavilla (Viitattu 6.4.2022): [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Hiilineutraaliblogi/Yhdenmukainen_kasvihuonekaasupaastojen_\(53805\)](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Hiilineutraaliblogi/Yhdenmukainen_kasvihuonekaasupaastojen_(53805))
- Infra (2013). Infra 31-710119, Vesihuoltoverkkojen saneeraus, 15 s.
- InfraRYL (2021). 31000 Vesihuollon järjestelmät, 18300 Kaivantojen täytöt, 13300 Arinarakenteet, Liite T2.
- IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A., Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Bergen, N. Caid Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, P. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.

Kuntalehti (2018). Vesihuoltoverkostot ovat jo niin huonossa kunnossa, että kuntalaisten terveys on uhattuna. Saatavilla (Viitattu 13.9.2021): <https://kuntalehti.fi/uutiset/vesihuoltoverkostot-ovat-jo-niin-huonossa-kunnossa-etta-uhkaavat-kansanterveytta/>

Liikennevirasto (2014). Panospohjaisen CO₂ -laskennan pilotointi väylähankkeessa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 18/2013, 37 s.

Lining (2022). Kumiluistiventtiili 4000E2, Laipoin. Saatavilla (Viitattu 26.4.2022): <https://www.lining.fi/tuotteet/venttiilit-ja-liittimet/venttiilit/linjaventtiilit/laipalliset-venttiilit/348/kumiluistiventtiili-4000e2-laipoin>

LIPASTO (2022). Lipasto – Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen las-
kentäjärjestelmä. Saatavilla (Viitattu 23.3.2022): <http://lipasto.vtt.fi/index.htm>

Loss, A., Toniolo, S., Mazzi, A., Manzanro, A. & Scipioni, A. (2018). LCA comparison of traditional open cut and pipe bursting systems for relining water pipelines. Resources, Conservation and Recycling, 128, 458-469.

Lu, H., Matthews, J., & Iseley, T. (2020). How does trenchless technology make pipeline construction greener? A comprehensive carbon footprint and energy consumption analysis. Journal of Cleaner Production, 261, 121215.

Maa- ja metsätalousministeriö (2021). Kansallisen vesihuoltouudistuksen ohjelma, 33 s.

Matar, M., Osman, H., Georgy, M., Abou-Zeid, A. & Elsaid, M. (2019). Evaluating the environmental performance of pipeline construction using system modelling. Construction Management and Economics, 28, 689-714.

Motiva (2022). Työkoneet. Saatavilla (Viitattu 28.4.2022): <https://www.motiva.fi/julkisen-sektori/kestavat-julkiset-hankinnat/tietopankki/tyokoneet>

Mölsä, K. (2020). Life cycle assessment of a wastewater treatment and a sludge handling process - Current state and future scenarios, Diplomityö, Aalto-yliopisto.

Nissinen, P. & Rostedt, E.-L. (2021). Ilmastonmuutoksen torjunta jätevesisektorilla -seminaari, 11.11.2021. Vähähiilisempää vettä – Turun Vesihuollon tiekartta päästöjen vähentämiseen. Suomen Vesiyhdistys ry, jätevesijaos.

Norsk Vann (2019). Klimagassutslipp veiledning for vannbransjen, Norsk Vann Rapport, 39 s.

Ohjausryhmä (2022). Finnish Consulting Group Oy (FCG), Suomen kaivamattoman tekniikan yhdistys ry (FiSTT), Tampereen Vesi, Turun Vesihuolto Oy, Vesilaitosyhdistys (VVY). Neljä kokousta 29.11.2021, 19.1.2022, 8.2.2022 ja 5.5.2022.

Petit-Boix, A., Sanjuan-Delmás, D., Gasol, C. M., Villalba, G., Suárez-Ojeda, M. E., Gabarrell, X., Josa, A. & Rieradevall, J. (2014). Environmental Assessment of Sewer Construction in Small to Medium Sized Cities Using Life Cycle Assessment. Water Resource Management, 28, 979-997.

Pillot, J., Catel, L., Renaud, E., Augeard, B., & Roux, P. (2016). Up to what point is loss reduction environmentally friendly?: The LCA of loss reduction scenarios in drinking water networks. Water Research, 104, 231–241.

Piratla, K., Ariaratnam, S & Cohen, A. (2012). Estimation of CO₂ Emissions from the Life Cycle of a Potable Water Pipeline Project. Journal of Management in Engineering, 28 (1), 22-30.

Rakennusteollisuus (2020). Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035, Osa 1. Rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytila, Gaia Consulting Oy, 71 s.

RIL 237-2 (2010). Vesihuoltoverkkojen suunnittelu, mitoitus ja suunnittelu, s. 65.

RIL 124-2 (2004). Vesihuolto II, 667 s.

Sanjuan-Delmás, D., Petit-Boix, A., Gasol, C., Suárez-Ojeda, M. E., Gabarrell, X., Josa, A. & Rieradevall, J. (2014). Environmental assessment of different pipelines for drinking water transport and distribution network in small to medium cities: a case from Betanzos, Spain. *Journal of cleaner production*, 66, 588-598.

Saviranta, S. (2015). Vedenjakelujärjestelmän energiataseanalyysi, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto.

Sitoumus2050 (2022). Päästöttömät työmaat – kestävien hankintojen green deal -sopimus. Saatavilla (Viitattu 7.4.2022): https://sitoumus2050.fi/fi_FI/paastotontyomaa#/

Silfverberg, P. (2017). Vesihuollon suuntaviivat 2020-luvulle, Vesihuoltoyhdistyksen monistesarja nro 44.

Sitra (2021). Taustaraportti: Kuntien ilmasto- ja luontotyö, 193 s.

Sitra (2018a). Finnish municipalities' climate targets and measures, 42 s.

Sitra (2018b). Mitä nämä käsitteet tarkoittavat? Artikkelit. Saatavilla (Viitattu 28.4.2022): <https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarkoittavat/>

Sunela, M. (2010). Vedenjakeluverkoston automaation mallintaminen, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto.

Suomen ympäristökeskus (2017a). Parhaat ympäristökäytännöt (BEP) viemäriverkostojen suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa, 39 s.

Suomen ympäristökeskus (2017b). Tietoa elinkaariarvioinnista (LCA) ja elinkaariklinikka- toimintamallista pk-yrityksille. ToimintaMALLI yritysten elinkaaristen Ympäristövaikutusten kehittämiseksi (MALLI-Y) -hanke, 4 s.

Suomen ympäristökeskus (2012). Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja sopeutumistarpeet vesihuollossa, 84 s.

Suomen ympäristökeskus (2010). Elinkaarimetodiikan nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet, 83 s.

Suomen Ilmastopaneeli (2019). Ilmastonmuutos ja vesihuolto – varautuminen ja terveysvaikutukset, 35 s.

Syke (2021). Kuntien ilmastopäästöt vähenivät 7,4 prosenttia vuonna 2020. Saatavilla (Viitattu 3.2.2022): [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Kuntien_ilmastopaastot_vahenivat_74_pros\(61285\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Kuntien_ilmastopaastot_vahenivat_74_pros(61285))

Tampere (2020). Hiilineutraali Tampere 2030, 121 s.

Tampereen kaupunkiseutu (2021). Hiilineutraali kaupunkiseutu 2030. Saatavilla (Viitattu 13.9.2021): <https://tampereenseutu.fi/tulevaisuus/hiilineutraali-kaupunkiseutu/>

Työ- ja elinkeinoministeriö (2020). Yhteenveto toimialojen vähähiilietkartoista, Helsinki, 132 s.

Tilastokeskus (2021). Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2020. Helsinki, 110 s.

Turku (2021). Hiilineutraalius ja resurssiviisaus. Saatavilla (Viitattu 13.9.2021): <https://www.turku.fi/smart-and-wise/hiilineutraalius-ja-resurssiviisaus>

Turun kaupunginhallitus (2021). Turun kiertotalouden tiekartta, kohti resurssiviisasta yhteiskuntaa 2029, 27 s.

Vahidi, E., Jin, E., Das, M., Singh, M. & Zhao, F. (2016). Environmental life cycle analysis of pipe materials for sewer systems, *Sustainable Cities and Society*, 27, 167-174.

Vesilaitosyhdistys (2021). Vesilaitosyhdistyksen strategia: Visio 2030 ja tiekartta 2021-2030. Saatavilla (Viitattu 13.12.2021): <https://www.vvy.fi/ajankohtaista/uutiset/vesilaitosyhdistyksen-strategia-visio-2030-ja-tiekartta-2021-2030/>

Vesilaitosyhdistys (2020). Vesihuollon investointitarpeet vuoteen 2040, Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 63, 81 s.

VTT (2016). Työkoneiden CO₂ päästöt ja niihin vaikuttaminen, 18 s.

Väylävirasto (2022). Tieverkko. Saatavilla (Viitattu 18.02.2022): <https://vayla.fi/vaylista/tieverkko>

Ympäristöministeriö (2021a). Euroopan unionin ilmastopolitiikka. Saatavilla (Viitattu 13.12.2021): <https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka>

Ympäristöministeriö (2021b). Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035. Saatavilla (Viitattu 13.12.2021): <https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035>

LIITE A: KYSELYTUTKIMUS

Vastausten viimeinen palautuspäivä on 11.3.2022. Tarvittaessa voidaan järjestää myös esim. Teams-palaveri vesilaitosten kanssa.

- Jos kaikkiin kohtiin ei löydy tietoa, voi myös täyttää vain osan tiedoista. Tietoa voi täyttää myös eri yksikössä kuin taulukossa esitetty, mutta kirjoita yksikkö tai selite lisätietoihin.
- Mikäli tiedot ovat työmaakohtaisia, vastauksena riittää myös arvio keskimääräisestä tai jonkun toteutuneen työmaan arvot.
- Jos tietoa ei löydy suoraan teiltä niin ilmoittakaa mistä tietoa voisi kysyä.

Tuloksia käsitellään luottamuksellisesti, eikä julkaistavassa materiaalissa tule ilmi tiedonantaja yritysten nimiä.

Lisätietoa antaa 9.-11.3. diplomityöntekijä Juuli Haapakoski

Yrityksen nimi (Putkitoimittajat):

Täytä taulukkoon materiaalien osalta, jota teillä on myynnissä:

- Mitkä ovat eri materiaalien päästökertoimet? Mikäli päästökerroin on eri yksikössä kuin taulukossa ehdotettu, täytä yksikkö ehdotetun alle.
- Missä putket, sulkuventtiilit ja kaivot on valmistettu ja mikä on kuljetusmatka ja -välineet valmistuksesta esim. Suomen varastolle? Kuljetusväline 1 voi olla esim. lautta ja kuljetusväline 2 kuorma-auto.

	Päästö-kerroin (valmistus)	yksikkö	Valmistuksen sijainti	Varaston sijainti	Kuljetusväline 1	Matka 1	Kuljetusväline 2	Matka 2	Lisätiedot
PE		kg CO2e/kg putkea							
PP		kg CO2e/kg putkea							
PVC		kg CO2e/kg putkea							
betoni		kg CO2e/kg putkea							
valurauta		kg CO2e/kg putkea							
ruostumaton teräs		kg CO2e/kg putkea							
lasikuitusukka		kg CO2e/kg putkea							
Kaivo		kg CO2e/kaivo							
Sulkuventtiili		kg CO2e/sulkuventtiili							
Vaahobetoni		kg CO2e/m ³							

Yrityksen nimi (Aukikaivu):

Täytä taulukkoon:

- Mitä työkoneita käytetään vesihuollon verkostotyömaissa ja mistä koneet tuodaan työmaalle? Kirjoita nimi ensimmäiseen kenttään työkone-tekstin alapuolelle.
- Kuinka kauan työkoneita käytetään esim. per 1 m valmista kaivantoa? Tai voi ilmoittaa myös toteutetun työmaan valmiin verkostopituuden ja työkoneiden käyttöajat koko projektille.

	Työkoneen tyyppi	Varastoinnin sijainti	Kuljetusväline työmaalle	Käyttöaika/metri putkea (h/m)	Polttoaineenkulutus (esim. l/h)	Lisätiedot
Työkone 1						
Työkone 2						
Työkone 3						
Työkone 4						
Työkone 5						
Työkone 6						
Työkone 7						
Työkone 8						
Työkone 9						
Työkone 10						

Täytä taulukkoon:

- Missä kaivannon materiaalit on valmistettu ja mikä on kuljetusmatka ja -välineet valmistuksesta varastointiin ennen työmaata ja missä varasto sijaitsee?

	Valmistuksen sijainti	Varastoinnin sijainti	Kuljetusväline	Matka	Lisätiedot
Hiekka ja sora					
Murske					
Asfalttibetoni					
Tuennat					

Muut kysymykset:

- Kuinka pitkiä ovat työntekijöiden työmatkat/päivä?
-
- Mitä tarvitaan ohipumppaukseen ja mikä on laitteiden energiankulutus/h?
-

Yrityksen nimi (Pitkäsujutus):

Täytä taulukkoon:

- Mitä työkoneita käytetään vesihuollon verkostotyömaissa? Kirjoita nimi ensimmäiseen kenttään työkone-tekstin alapuolelle. (esim. kaivuri, kuorma-auto, hitsauslaite, vetokone, pora)
- Kuinka kauan työkoneita käytetään esim. per 1 m valmista kaivantoa? Tai voi ilmoittaa myös toteutetun työmaan valmiin verkostopituuden ja työkoneiden käyttöajat koko projektille.

	Työkoneen tyyppi	Varastoinnin sijainti	Kuljetusväline työmaalle	Käyttöaika/metri putkea (h/m)	Polttoaineenkulutus (esim. l/h)	Lisätiedot
Työkone 1						
Työkone 2						
Työkone 3						
Työkone 4						
Työkone 5						
Työkone 6						
Työkone 7						
Työkone 8						
Työkone 9						
Työkone 10						

Täytä taulukkoon:

- Missä kaivannon materiaalit (esim. alku- ja loppukaivannon täyttö) on valmistettu ja mikä on kuljetusmatka ja -välineet valmistuksesta varastointiin ennen työmaata ja missä varasto sijaitsee?

	Valmistuksen sijainti	Varastoinnin sijainti	Kuljetusväline	Matka	Lisätiedot
Hiekka ja sora					
Murske					
Asfalttibetoni					
Tuennat					

Muut kysymykset:

- Kuinka monta vuotta rakenne kestää?
-
- Kuka toimittaa vaahtobetonია?
-
- Kuinka pitkiä ovat työntekijöiden työmatkat/päivä?
-
- Mitä tarvitaan ohipumppaukseen ja mikä on laitteiden energiankulutus?
-
- Kuinka paljon kaivojen ympäriltä kaivetaan maata (m³/kaivo)?
-
- Mitä putkia yleisimmin käytetään pitkäsujutuksessa
-

Yrityksen nimi (Sukkasujutus):

Täytä taulukkoon:

- Missä sukka on valmistettu ja mikä on kuljetusmatka- ja välineet valmistuksesta esim. Suomen varastolle? Kuljetusväline 1 voi olla esim. lautta ja kuljetusväline 2 kuorma-auto.
- Mikä on sukan valmistuksen päästökerroin? Esim. kg CO₂/kg putkea. Jos taulukkoon ei ole suoraan tietoa, niin voi esittää myös sukan valmistajan nimen:

Sukan materiaali	Sukan massa	Päästö-kerroin	yksikkö kg CO ₂ e/kg putkea	Valmistuksen sijainti	Varaston sijainti	Kuljetusväline 1	Matka 1	Kuljetusväline 2	Matka 2	Lisätiedot

Täytä taulukkoon:

- Mitä työkoneita käytetään vesihuollon verkostotyömaissa? Kirjoita nimi ensimmäiseen kenttään työkone-tekstin alapuolelle. (esim. kaivuri, kuorma-auto, hitsauslaite, vetokone, pora)
- Kuinka kauan työkoneita käytetään esim. per 1 m valmista kaivantoa? Tai voi ilmoittaa myös toteutetun työmaan valmiin verkostopituuden ja työkoneiden käyttöajat koko projektille.

	Työkoneen tyyppi	Varastoinnin sijainti	Kuljetusväline työmaalle	Käyttöaika/metri putkea (h/m)	Polttoainekulutus (esim. l/h)	Lisätiedot
Työkone 1						
Työkone 2						
Työkone 3						
Työkone 4						
Työkone 5						
Työkone 6						
Työkone 7						
Työkone 8						
Työkone 9						
Työkone 10						

Täytä taulukkoon:

- Missä kaivannon materiaalit (esim. kaivojen täyttö) on valmistettu ja mikä on kuljetusmatka ja -välineet valmistuksesta varastointiin ennen työmaata ja missä varasto sijaitsee?

	Valmistuksen sijainti	Varastoinnin sijainti	Kuljetusväline	Matka	Lisätiedot
Hiekka ja sora					
Murske					
Asfalttibetoni					
Tuennat					

Muut kysymykset:

- Kuinka monta vuotta rakenne kestää?
-
- Kuka toimittaa vaahtobetonია?
-
- Kuinka pitkiä ovat työntekijöiden työmatkat/päivä?
-
- Mitä kaikkea tarvitaan ohipumppaukseen?
-
- Kuinka paljon kaivojen ympäriltä kaivetaan maata (m³/kaivo)?
-