

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT

LUT School of Energy systems

Sustainability Science and Solutions

Diplomityö

Marko Paasiranta

**HULEVESIEN HALLINNASSA KÄYTETTÄVIEN
BETONITUOTTEIDEN LOGISTIIKASSA AIHEUTUVIEN
KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN**

Tarkastajat: Professori Risto Soukka
Tutkijatohtori Heli Kasurinen

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Marko Paasiranta

Työn nimi: Hulevesien hallinnassa käytettävien betonituotteiden logistiikassa aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen

Vuosi: 2019

Paikka: Lahti

Diplomityö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT, LUT School of Energy Systems, Sustainability Science and Solutions.

76 sivua, 20 kuvaa ja 21 taulukkoa

Tarkastajat: Professori Risto Soukka

Tutkijatohtori Heli Kasurinen

Hakusanat: betoniteollisuus, hulevesien hallinta, hulevesien viivyttäminen, hiilijalanjälki, kasvihuonekaasu, hiilidioksidipäästöt, logistiikka

Varautuminen sää- ja vesiolosuhteiden muutoksiin sekä ääri-ilmiöihin on yhteiskunnassa yhä tärkeämpää, sillä tulvat muodostavat merkittävän taloudellisen riskin yhteiskunnalle. Sementin valmistuksen kehittyessä valmistukseen kuluva energiamäärä on pudonnut lähes puoleen vuodesta 1960 ja nykyisin valmistuksen hiilidioksidipäästöt ovat alle 1 % Suomen koko hiilidioksidipäästöistä. Tehokkain keino vähentää ympäristöpäästöjä infrarakentamisessa on kuljetusten huolellinen suunnittelu. Tällä tutkimuksella kohdeyritys haluaa selvittää valmistamistaan hulevesien viivytysohjelmista vähiten ympäristöä kuormittavan sekä taloudellisesti edullisimman tuotteen logistisesti. Jotta vertailu olisi mahdollista, selvitetään ensin kohde-esimerkkien avulla eri toteutusvaihtoehdot viivytysohjelmille kohdeyrityksen tuotteilla. Logistiikan hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä ja kuljetuksen kustannuksia arvioidaan laskennallisesti. Tämän työn perusteella voidaan todeta, että oikeanlaisilla tuotevalinnoilla on mahdollista saavuttaa merkittävää taloudellista tai ekologista hyötyä. Parhaat tuotteet pienen mittakaavan viivytysohjelmien ovat kaivo- tai putkituotteet. Suuren mittakaavan kohteissa kuljetuksesta aiheutuvia hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä on mahdollista vähentää lähes 55 % mikäli viivytysohjelma toteutetaan 2,5 x 4 m laatikkoelementillä ja taloudellisesti edullisin ratkaisu on toteuttaa viivytysohjelma 2 x 4,5 m laatikkoelementillä.

ABSTRACT

Author: Marko Paasiranta

Subject: Reduction of greenhouse gas emissions from logistics of concrete products used in stormwater management

Year: 2019

Place: Lahti

Master's Thesis. Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT, School of Energy Systems, Sustainability Science and Solutions.

76 pages, 20 figures and 21 tables

Supervisor: Professor Risto Soukka

Post-doctoral researcher Heli Kasurinen

Keywords: concrete industry, stormwater management, stormwater detention, carbon footprint, carbon dioxide emissions, greenhouse gas, logistics

Preparing for changes in extreme weather and water conditions is necessary in modern society as floods create a significant economic risk. Emissions from cement industry have decreased in half over time and nowadays are less than 1 % of total carbon dioxide emissions generated by Finland. Most efficient way to decrease emissions in building infrastructure is careful planning of transports. With this research the case company wants to find out the product that logistically has least environmental impacts and is economically least expensive. Applicable products are compared with case-examples. Carbon dioxide equivalent emissions and costs from logistics are compare by calculations. Based on this research significant reduction in emissions and expenses in transports can be achieved with careful product selection. Pipe and manhole products are most suitable for small scale stormwater detention systems. In large scale systems it is possible to achieve almost 55 % reduction in carbon dioxide equivalent emissions from transports if the detention system is built with 2,5 x 4 meter box culverts and the most cost efficient product to transport is 2 x 4,5 meter box culvert.

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	8
1.1	Tutkimuksen tausta	8
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset	10
1.3	Tutkimusmenetelmät ja materiaalit	10
1.4	Tutkimuksen rakenne.....	11
2	HULEVEDET RAKENNETUSSA YMPÄRISTÖSSÄ	14
2.1	Rakennettujen alueiden sade- ja kuivatusjärjestelmät	15
2.1.1	<i>Rankkasateet</i>	15
2.1.2	<i>Hulevesiviemäritulvat</i>	16
2.1.3	<i>Taajamatulvat</i>	17
2.2	Hulevesiin liittyvä lainsäädäntö.....	18
3	HULEVESIEN HALLINTAMENETELMÄT.....	19
3.1	Hulevesien johtaminen	19
3.2	Hulevesien vähentäminen	21
3.2.1	<i>Imeyttäminen</i>	21
3.2.2	<i>Viherkatot</i>	22
3.2.3	<i>Läpäisevät rakenteet</i>	23
3.3	Hulevesien viivyttäminen	23
3.3.1	<i>Viivytyksaltaat, -kaivannot ja -painanteet</i>	23
3.3.2	<i>Kosteikot ja lammikot</i>	24
3.3.3	<i>Viivytyssäiliöt</i>	24
3.4	Talviolosuhteiden vaikutus hulevesien hallintaan	25
4	HULEVESIEN MUODOSTUMISEN MITOITUSPERUSTEET	26
4.1	Mitoitusvirtaama ja -tilavuus	27
4.2	Mitoitussade.....	28
4.3	Valumakerroin	32
5	LOGISTIikka JA KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT	34
5.1	Logistiikka	34

5.2	Kasvihuonekaasupäästöt	35
6	HULEVESIEN VIIVYTYSVAIHTOEHTOJEN VERTAILU	39
6.1	Hulevesien muodostumisen määrälaskenta kohde-esimerkeissä.....	39
6.1.1	<i>Pientalotontti</i>	39
6.1.2	<i>Kerrostalotontti</i>	40
6.1.3	<i>Logistiikkakeskus</i>	41
6.2	Hulevesien viivyttämisessä käytetyt kohdeyrityksen tuotteet	41
6.2.1	<i>Kaivotuotteilla rakennetut viivytyssäiliöt</i>	41
6.2.2	<i>Putkituotteilla rakennetut viivytyssäiliöt</i>	43
6.2.3	<i>Laatikkoelementillä rakennetut viivytyssäiliöt</i>	45
6.3	Hulevesien viivytys kohde-esimerkeissä kohdeyrityksen tuotteilla	48
6.3.1	<i>Pientalotontti</i>	49
6.3.2	<i>Kerrostalotontti</i>	50
6.3.3	<i>Logistiikkakeskus</i>	52
7	VIIVYTYSSÄILÖIDEN LOGISTIIKAN KUSTANNUSTEN JA KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VERTAILU	54
7.1	Kohdeyrityksen tuotteiden logistiikka	54
7.1.1	<i>Kohdeyrityksen tuotteiden logistiikan kustannusten muodostuminen</i>	55
7.1.2	<i>Kohdeyrityksen tuotteiden logistiikan kasvihuonekaasupäästöjen muodostuminen</i>	56
7.2	Logistiikan kustannukset ja kasvihuonekaasupäästöt kohde-esimerkeissä	57
7.2.1	<i>Pientalotontti</i>	57
7.2.2	<i>Kerrostalotontti</i>	58
7.2.3	<i>Logistiikkakeskus</i>	59
8	TULOKSET JA ANALYYSI.....	60
8.1	Logistiikan kasvihuonekaasupäästöjen vertailun tulokset.....	60
8.2	Logistiikan taloudellisen vertailun tulokset.....	63
8.3	Tulosten analysointi	66
9	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	71

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Symbolit

∅	halkaisija	[mm]
Q	mitoitusvirtaama	[l/s]
C	valumakerroin	[-]
I	mitoitussateen keskimääräinen intensiteetti	[l/s*ha]
A	valuma-alueen pinta-ala	[ha]
V	hulevesien tilavuus	[m ³]
t	mitoitussateen kesto aika	[s]
P	sademäärä	[mm]
%	prosentti	[-]
t	tonni	[-]

Alaindeksit

e ekvivalentti

Lyhenteet

MRL	Maankäyttö- ja rakennuslaki
IPCC	Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli
RATU	Rakennusteollisuus RT ry:n johtama ja rahoittama rakennusalan turvallisen, tuottavan ja laadukkaan rakentamisen edistämiseen tähtäävä hanke
ELY	Elinkeino-, liikenne-, ja ympäristökeskus
GWP	Eri kasvihuonekaasupäästöjen yhteismitallistamisessa käytetyt kertoimet
CH ₄	metaani
N ₂ O	dityppioksidi
LIPASTO	Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiakulutuksen laskentajärjestelmä
GJ	gigajoule
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
CO ₂ ekv	hiilidioksidiekvivalentti
Br	betoniputken raudoitusluokka
Dr	betoniputken raudoitusluokka

EK	esiasennettu kiintotiiviste
EPDM	etyleenipropylenidieenikumi
ha	hehtaari
m ²	neliömetri
m ³	kuutiometri
°C	lämpötila
CO ₂	hiilidioksidi

1 JOHDANTO

Vuonna 2011 Suomen kokonaispinta-alasta kaksi prosenttia oli taajaan asuttua. Suomessa väestö keskittyy pienelle alueelle, sillä 80 prosenttia väestöstä asuu taajamissa. Taajamien määrä on kuitenkin kokonaismäärällisesti vähentynyt suomalaisten muuttaessa kaupunkeihin. Tulevaisuudessa yhä suurempi osa suomalaisista asuu asukastihentymissä, jotka ovat tiiviisti asuttuja ja rakennettuja. Asukastihentymien muodostumista edistävät kuntien kasvavat kustannukset sekä ilmastonmuutoksen hillintä. (Saarinen, 2011)

Asutuksen keskittyminen ja kaupunkimainen rakentaminen on vähentänyt luontaisen maapinnan määrää ja johtanut vettä läpäisemättömien pintojen määrän kasvuun. Päälyllytettyjen pintojen määrän kasvaessa myös hulevesien määrä kasvaa. Hulevesien määrän kasvu johtaa tulvariskin kasvamiseen. Tulvaongelmia esiintyy nykyisellään monissa taajamissa ja tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen myötä rankkasateet lisäävät hulevesien määrää (Aaltonen et al. 2008, s. 106).

Tässä työssä perehdytään hulevesien hallinnan eri menetelmiin, hulevesivirtaamien ja betonisten viivytysjärjestelmien mitoitukseen. Lisäksi työssä arvioidaan betonituotteita valmistavan kohdeyrityksen nykyisten ja uusien tuotteiden soveltuvuutta hulevesien hallintaan sekä selvitetään yritykselle tuotteiden kuljettamisesta työmaalle kustannustehokkain sekä vähiten kasvihuonekaasupäästöjä tuottava viivytyssäiliömalli hulevesien viivyttämiseen.

1.1 Tutkimuksen tausta

Kasvihuoneilmiön vaikutuksen seurauksena ilmaston lämmetessä sademäärien ennustetaan kasvavan ja rankkasateiden voimistuvan. Sademääräennusteet pohjautuvat pääasiassa erilaisiin maailmanlaajuisiin ilmastomalleihin. Vuonna 2050 vuotuisen sademäärän ennustetaan olevan 6-11 prosenttia suurempi kuin ajanjaksolla 1981-2010. Vuoden 2050 jälkeen sademäärät ovat riippuvaisia kasvihuonekaasupäästöjen suuruudesta. Eri mallinnusskenaarioiden tuloksena sademäärien ennustetaan kasvavan 6-20 prosenttia skenaariosta riippuen. Kesällä rankkasateet voimistuvat vähemmän suhteessa talvisateisiin, mutta rankimmat sateet esiintyvät edelleen pääasiassa kesällä ja alkusyksystä ja

rankkasateiden ennustetaan voimistuvan 10-25 prosenttia (Ilmatieteenlaitos, 2017). Kestoltaan kuuden tunnin mittaisten rankkasateiden on ennustettu kasvavan 15-40 prosenttia vuoteen 2100 mennessä (Aaltonen et al. 2008, s. 105.). Hule- ja tulvavesien hallintajärjestelmien mitoitusikä on yleensä vähintään vuosikymmeniä. Suunnittelussa ja järjestelmien mitoituksessa tulisikin ottaa huomioon ilmastonmuutoksen vaikutukset. (Ilmatieteenlaitos, 2017)

Betonin tuotanto on energiaa kuluttavaa. Suurin osa betonituotteiden valmistukseen kuluva energiasta käytetään sementin poltossa, jossa jauhattua kalkkikiveä poltetaan kiertouunissa yli 1400 °C:n lämpötilassa. Valmistustekniikan kehittymisen myötä polttamiseen kuluva energianmäärä on vuodesta 1960 pudonnut lähes puoleen ja vertailuvuoteen 1990 nähden 24 prosenttia. (Forsman et al. 2017 s. 115) Sementin valmistusprosessin maailmanlaajuiset hiilidioksidipäästöt vuonna 2016 vastasivat neljä prosenttia maailman fossiilisten polttoaineiden päästöistä. (Robbie, M. 2017) Suomessa sementin valmistuksessa syntyvät hiilidioksidipäästöt ovat yhden prosentin luokkaa Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Nykyisin seossementtien käyttö on lisääntynyt ja niissä seosaineiden käyttö pienentää lopputuotteen ympäristövaikutuksia. (Forsman, 2017)

Tämän tutkimuksen teettäjä on jo pitkään betoniteollisuudessa toiminut suomalainen betonituotteiden ja valmisbetonin valmistaja. Liiketoiminnan kulmakivenä on ympäristöystävällinen toiminta minimoimalla ympäristövaikutukset ekologisia prosesseja käyttäen. Kohdeyrityksellä on käytössään laskentatyökalu, jolla voidaan laskennallisesti selvittää betonituotteen valmistuksen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt. Tehtaalta työmaalle tapahtuvasta logistiikasta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt ovat pitkälti riippuvaisia käytössä olevasta kuljetuskalustosta sekä kuljetettavien tuotteiden kuljettamiseen vaikuttavista ominaisuuksista. Logistiikan osuus betonituotteen elinkaarenaikaisista hiilidioksidipäästöistä on noin 15 % ja huolellisella kuljetussuunnittelulla voidaan vähentää logistiikan kasvihuonekaasupäästöjä (Forsman et al. 2017. s. 116). Yritys haluaa tämän tutkimuksen avulla selvittää valmistamiensa hulevesien viivyttämiseen tarkoitettujen tuotteiden tehtaalla työmaalle tapahtuvan logistiikan aiheuttamia kustannuksia sekä selvittää yksityiskohtaisemmin, millä tuotevaihtoehdolla toteutettu hulevesien viivytyssäiliöratkaisu aiheuttaa logistisesti vähiten

kasvihuonekaasupäästöjä. Betonituotteiden tehtaalla työmaalle tapahtuvan logistiikan aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen tarkastelemiseksi on yrityksessä selvitettävä vuonna 2018 tuotantoon otetun uuden tuotteen, laatikkoelementin, kuljettamiseen liittyvät erikoisvaatimukset tuotteen suuren fyysisen koon takia.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen päätavoitteena on selvittää hulevesien viivytysjärjestelmien tehtaalla työmaalle tapahtuvan logistiikan aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt eri viivytysjärjestelmävaihtoehdoille. Toinen tutkimuksen päätavoite on selvittää logistiikasta aiheutuvat kustannukset yritykselle viivytysjärjestelmävaihtokohtaisesti. Lisäksi tarkastellaan uuden valmistettavan tuotteen hyödyntämismvaihtoehdot hulevesien viivytyksessä. Tutkimuksessa keskitytään tarkastelemaan betonisista tuotteista valmistettuja hulevesisäiliöratkaisuja, sillä ne soveltuvat erinomaisesti tiiviisti rakennetuille alueille niiden liikenteenkestävyyden takia ja ovat lisäksi ympäristöystävällisiä. Tutkimuksen päätavoitteen saavuttamiseksi tulee kohdeyrityksessä selvittää uuden tuotteen erityisvaatimukset logistiikan osalta tuotteen suuren fyysisen koon takia.

Tutkimus on rajattu koskemaan sisähalkaisijaltaan yli 1000 mm tuotteita niiden ollessa pääasiallisia myyntituotteita hulevesien viivytykseen. Koska tuotteiden valmistuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt ovat selvillä, tutkimus on rajattu koskemaan tehtaan portilta työmaalle tapahtuvat logistiikan aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä sekä kustannuksia. Tutkimuksessa ei ole huomioitu tuotteen valmistuksessa tai työmaalla tapahtuvan asentamisen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä tai kustannuksia.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja materiaalit

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää betonisten viivytysjärjestelmien logistiikasta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt ja logistiikasta aiheutuvat kustannukset. Tutkimus on toteutettu hyödyntämällä kvantitatiivisia sekä kvalitatiivisia tutkimustietoja ja on rajattu koskemaan kohdeyrityksen tuotteiden kuljettamisesta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä sekä kustannuksia.

Tutkimus aloitetaan kirjallisuuskatsauksella eri hulevesien hallintamenetelmistä Suomessa sekä hulevesien viivytyjärjestelmien mitoituksesta. Lisäksi läpikäydään hulevesien puutteellisesta hallinnasta aiheutuvia vahinkoja, vaikka ne eivät ole tutkimustyön kohteena.

Tutkimuksen päätavoitteen saavuttamiseksi perehdytään hulevesien muodostumiseen sekä viivytyjärjestelmien mitoitukseen pääasiassa hulevesien hallintaan liittyvän, suunnittelua käsittelevän, kirjallisuuden avulla. Kirjallisuuden lisäksi teoriaosuudessa on hyödynnetty tieteellisiä artikkeleita.

Tämän jälkeen selvitetään hulevesien viivytysoikeusvaihtoehdot kohdeyrityksen tuotteilla, mikä perustuu pääasiassa kerättyyn empiiriseen materiaaliin. Nykytilanteessa valmistettavat hulevesiin liittyvät tuotteet ja tuotteiden soveltamismahdollisuudet, samoin kuin uuden tuotteen soveltamisvaihtoehdot, selvitettiin keräämällä kvalitatiivista tietoa keskustelemalla kohdeyrityksen henkilöstön kanssa. Keskustelut käytiin pääasiassa epämuodollisesti etukäteen kysymyksiä määrittämättä. Kohdeyrityksen tietokannoista kerättiin kvantitatiivista dataa tutkimusaineiston tueksi.

Ratkaisuvaihtoehtojen määrittämisessä käytettiin tyypillisiä kohde-esimerkkejä, koska viivytyjärjestelmiä ei voida vakioida, vaan järjestelmät on aina tapauskohtaisesti mitoitettava. Kun viivytykseen soveltuvat ratkaisut on määritetty, selvitetään kirjallisuuden ja haastatteluiden avulla logistiikasta aiheutuvat hiilidioksidiekvivalenttimäärät sekä logistiikasta aiheutuvat kustannukset kohde-esimerkeissä numeerista dataa hyödyntäen. Yrityksen uuden tuotteen osalta on tehty suunnittelutyötä tuotteen hyödyntämiseksi hulevesien viivytyksessä.

1.4 Tutkimuksen rakenne

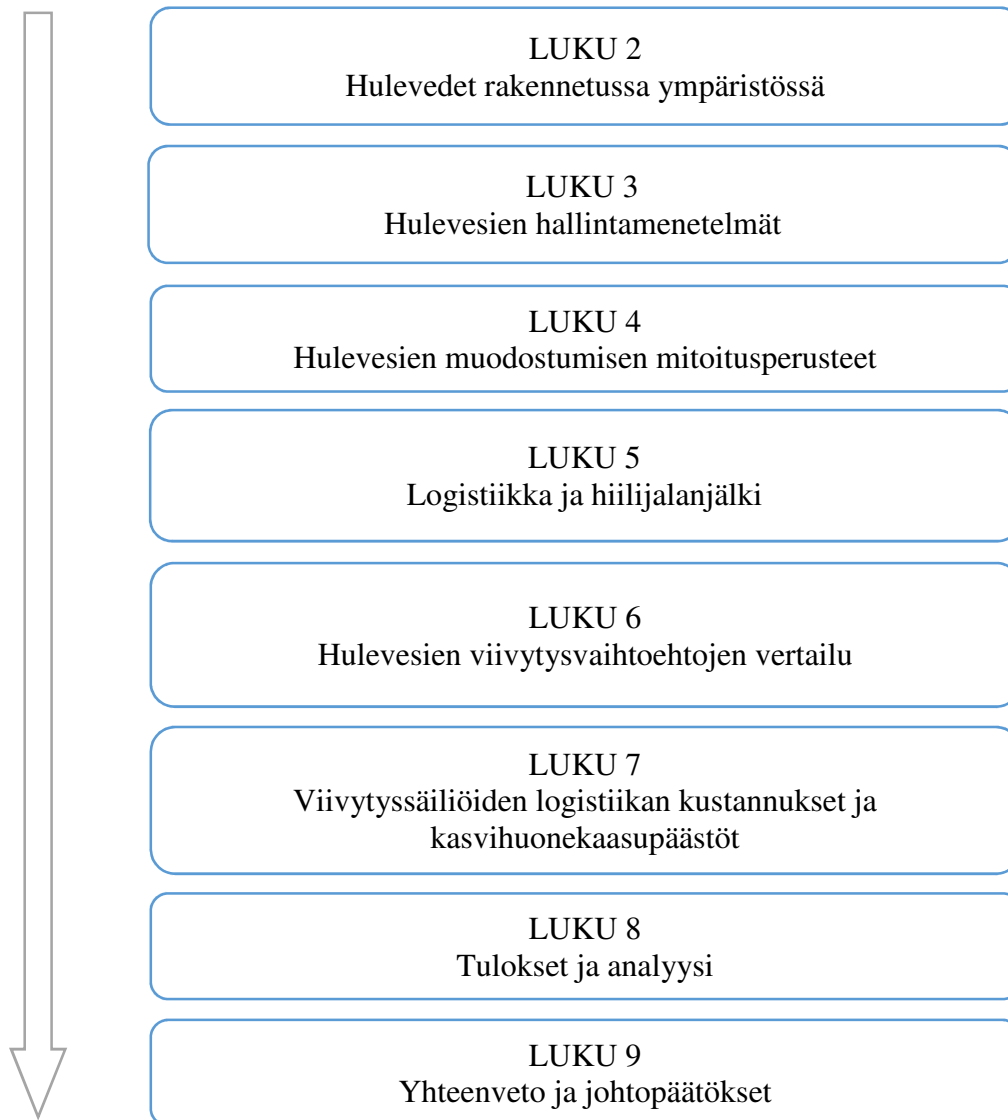
Tässä diplomityössä on johdantoluvun lisäksi 8 päälukua. Tutkimuksen ensimmäisessä luvussa, johdantoluvussa, käsitellään tutkimuksen taustaa, tavoitteita ja rajauksia, tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä sekä rakennetta.

Luvut 2-5 ovat teorialukuja, jotka perustuvat kirjallisuuteen, artikkeleihin sekä muihin julkaisuihin. Luvussa 2 käsitellään hulevesien hallintaa rakennetussa ympäristössä sekä puutteellisesta hallinnasta aiheutuvia haittoja sekä lainsäädäntöä. Kolmannessa luvussa keskitytään hulevesien erilaisiin hallintamenetelmiin. Lisäksi luvussa 3 läpikäydään talviolosuhteiden vaikutusta hulevesien hallintamenetelmin toimivuuteen. Luvussa 4 perehdytään hulevesien muodostumisen mitoitusperusteisiin, joilla määritetään reunaehdot hulevesien hallintaan soveltuvien järjestelmien mitoitukselle. Luvussa 5 käsitellään tuotteisiin liittyvää logistiikkaa ja logistiikan kasvihuonekaasupäästöjä.

Luvut 6-7 ovat empiirisen tutkimuksen lukuja. Luvussa 6 käsitellään hulevesien mitoitusvesimäärän muodostumista kohde-esimerkeissä ja esitellään kohdeyrityksen tuotteet, jotka soveltuvat hulevesien viivytysjärjestelmien rakentamiseen. Kohde-esimerkkien avulla määritetään viivytysjärjestelmäkokonaisuudet, jotta seuraavassa luvussa käsiteltävä kustannus- ja kasvihuonekaasupäästöoptimointi on mahdollista. Luvussa 7 käydään läpi kohde-esimerkkien viivytysjärjestelmien tehtaalta työmaalle tapahtuvasta logistiikasta kohdeyritykselle koituvat kustannukset sekä logistiikan kasvihuonekaasupäästöt. Lisäksi luvussa tarkastellaan logistiikan reunaehdot tuotteiden kuljettamiselle.

Luvussa 8 esitetään tutkimuksen tulokset ja analyysi. Yhteenveto- ja johtopäätösluvussa 9 läpikäydään tutkimuksen lähtökohdat, tavoiteasetanta, tutkimusmenetelmät sekä esitetään vastaukset tiivistetysti tutkimuskysymyksiin sekä arvioidaan tutkimuksen luotettavuutta.

Diplomityön rakenne ja sisältö on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Diplomityön rakenne ja sisältö pääluvuittain

2 HULEVEDET RAKENNETUSSA YMPÄRISTÖSSÄ

Hulevedet ovat maankäyttö- ja rakennuslain mukaisesti rakennetulla alueella maan pinnalle, rakennuksen katolle tai muulle pinnalle kertyviä sade- tai sulamisvesiä (MRL 1999). Hulevesien hallinnalla tarkoitetaan hulevesien kertymiseen vaikuttavaa ja niiden johtamiseen ja käsittelyyn liittyviä toimenpiteitä (Kuntaliitto, 2012. s. 10). Hulevesien hallinnan yleinen tavoite on rakennettujen taajama-alueiden kuivattaminen sekä tulvien torjunta rakennetussa ympäristössä. Rakennettujen alueiden luontainen hydrologia muuttuu rakentamisen myötä ja alueella voi esiintyä lisääntyneitä ali- tai ylivirtaamia. Hulevesien hallinnan tarkoituksena on taajamavesien virtaamien tasoittaminen ja valunnan laadun parantaminen lähemmäs luonnollista hydrologista kiertoa. (Kuntaliitto, 2012. s. 18-20) Sadanta, valunta, evaporaatio ja infiltraatio ovat neljä osaa veden luontaisesta kiertokulusta. Kiertokulussa suurin osa vedestä muodostuu pohjavedeksi infiltraation kautta ja virtaa hitaasti vesistöihin. Osa sadannasta päätyy pintavaluntana vesistöihin, mistä osa evaporaation kautta siirtyy ilmakehään. (Kuntaliitto, 2012. s. 18)

Rakennetussa ympäristössä hydrologinen kierto on muuttunut sadannan ollessa jopa 5-10 % runsaampaa haihdunnan ollessa vähäisempää verrattuna rakentamattomaan ympäristöön. Suurin kiertokulkuun vaikuttava tekijä on päällystetyt pinnat, jotka eivät läpäise vettä. Vettä läpäisemättömien pintojen pinta-ala on usein yli 50 % taajama-alueiden kokonaispinta-alasta, josta kaksi kolmasosaa koostuu väylistä, kaduista sekä pysäköintialueista. Pääosa muista läpäisemättömistä pinnoista koostuu rakennusten katoista. (Kuntaliitto, 2012. s. 18)

Varautuminen sää- ja vesiolosuhteiden muutoksiin sekä ääri-ilmiöihin on yhteiskunnassa yhä tärkeämpää. Varautumistarpeeseen vaikuttavat ilmastonmuutoksen lisäksi myös lisääntynyt rakentaminen, teknistyvä yhteiskunta sekä monipaikkainen asuminen ja työskentely. Vesistötulvien lisäksi kuntien on syytä varautua myös rankkasateista ja sulamisvesistä johtuviin hulevesitulviin. (MMM, 2018)

2.1 Rakennettujen alueiden sade- ja kuivatusjärjestelmät

Jo rakennetuilla alueilla on melko vähän keinoja tulvien aiheuttamien vahinkojen välttämiseksi, koska hulevesiviemäreiden vaihtaminen suuremmaksi ei ole aina mahdollista (Aaltonen et al. 2008, s. 8).

Sekaviemärit ja erillisviemärit muodostavat kaksi pääryhmää Suomessa käytössä olevista viemäröintijärjestelmistä. Sekaviemäröinnillä tarkoitetaan jäte-, hule-, ja kuivatusvesien johtamista toisiinsa sekoittuneina samassa putkiviemäriissä. Sekaviemäröinti on yleisesti käytetty menetelmä vesien johtamiseen tiheästi rakennetuilla keskusta-alueilla. Sekaviemäreissä käytetään usein tulvakynnysrakenteita, joiden kautta osa johdettavasta vedestä johdetaan tulvatilanteessa vesistöön, jolloin viemärit voidaan mitoittaa johtamiskyvyltään huippuvirtaaman vaatimaa kokoa pienemmiksi. Sekaviemäröinti on aiemmin ollut pääasiallisin käytetty viemäröintimenetelmä, mutta nykyisin niitä ei enää rakenneta. Erillisviemäröinnillä tarkoitetaan menetelmää, jossa jätevesi johdetaan omassa putkijärjestelmässä ja hulevedet erillisessä putkijärjestelmässä tai avoviemäriissä. Perustusten kuivatusvedet johdetaan lähtökohtaisesti hulevesiviemäriin, mutta sen puuttuessa tai sen ollessa liian matalalla johdetaan vedet jätevesiviemäriin. (Aaltonen et al. 2008, s. 10)

Lukuisissa maissa hulevesien hallinta perustuu erilaisiin lähtökohtiin kuin Suomessa. Niissä hulevesien laadun huomioimisen lisäksi pyritään tasoittamaan huippuvirtaamia viivyttämällä. Hulevesien viivyttämällä ei kuormiteta koko hulevesijärjestelmää yhtä aikaisesti vaikka järjestelmä tulvisikin. (Aaltonen et al. 2008, s. 106)

2.1.1 Rankkasateet

RATU-hankkeessa pyrittiin selvittämään rankkasadejakaumia Suomessa yli 5,4 miljardilla sadehavainnolla. Laadunvarmennuksen jälkeen kuitenkin todettiin, että rankimpien sateiden tutkimukset ovat liian epävarmoja, jotta niitä voitaisiin hyödyntää tilastolliseen käyttöön. (Aaltonen et al. 2008, s. 102) RATU-hankkeessa tutkittiin myös sademittariaineistojen perusteella kesäsateita vertailu- ja tausta-aineiston luomiseksi säätutkahavainnoille. Saatujen tulosten perusteella lyhytkestoisten sateiden rankkuus olisi 2-10 vuodessa toistuvilla sateilla

pienempi, mutta sateiden rankkuus olisi suurempi kuin aiemmissa tutkimuksissa todettu kerran 100 vuodessa toistuvilla sateilla. (Aaltonen et al. 2008, s. 103)

Laajaan malliaineistoon pohjautuvan arvion mukaan sademäärät kasvavat Suomessa keskimäärin 10-15 % vuoden 2100 loppuun mennessä sademäärien kasvaessa pohjoisessa enemmän kuin etelässä. Ilmaston muuttumista leimaa rankkasateiden voimistuminen. Arvioiden mukaan kesäkauden keskimääräiset rankkimmat sateet kasvavat 10-30 % ja kuuden tunnin kestoiset rankkimmat sateet 15-40 %. Sadeilmastonmuutokseen vaikuttaa kuitenkin voimakkaasti kasvihuonekaasupäästöjen määrä, ilmaston luontainen vaihtelu sekä ilmastomallintamiseen liittyvät tekijät, joten luotettavaa arviota esimerkiksi 15 minuutin kestoisten rankkasateiden voimistumisesta ei voida tehdä. Tulevaisuudessa rankkasateiden vuodenaikaisvaihtelu tasoittuu sateiden runsastuessa talvella enemmän suhteessa kesään. (Aaltonen et al. 2008, s. 105)

2.1.2 Hulevesiviemäritulvat

Viemäriverkostojen tulvatilanteet ovat toistuva tavanomainen ilmiö Suomessa viemäriverkoston mitoituksen ylittävän sademäärän esiintyessä. Tosin rankkasateista johtuneet vahingot ovat usein syntyneet usean tekijän vaikutuksesta. Viemärivereden purkautuessa viemärintipisteiden kautta kiinteistöön, pihalle tai kadulle padotuskynnyksen ylittyessä kutsutaan tapahtumaa viemäritulvaksi. (Vesihuollon erityistilannetyöryhmän raportti 2005, s. 75)

Rankkasateisiin liittyvät tulvat olivat usein otsikoissa vuonna 2004. Vuonna 2004 rankkasade aiheutti Kouvolassa syyskuussa vahinkoja lähes sadalla kiinteistöllä. Hulevesiviemäreiden tukkiutuessa vesi tulvi kiinteistöjen kellaritiloihin. Myös viemärit olivat ylikuormittuneet sadevedestä, minkä seurauksena jätevetä oli virrannut kymmeniinkin kiinteistöihin aiheuttaen taloudellisia sekä terveyteen kohdistuvia vahinkoja. (Siukkola, 2007. s. 78)

Vuosina 2003-2005 tapahtui yhteensä yli 70 tulvavahinkoa, jotka eivät kuuluneet luokkaan normaalit kevättulvat ja vedennousut (Paavilainen, 2008). Rankkasateen aiheuttamia

tulvavahinkoja on korvattu vakuutusyhtiöiden toimesta 3,3 miljoonan euron edestä vuosien 2010-2015 välillä. (Banafa, 2018)

2.1.3 Taajamatulvat

Rakennettujen alueiden kuivatusjärjestelmien toimiessa puutteellisesti ja viemärirakenteiden mitoituksen ylittyessä tai hulevesien maanpäällisen hallinnan toimiessa heikosti, syntyy taajamatulva. Hulevesien kertyminen kaduille, piha-alueille ja muille päällystetyille pinnoille aikaansaa hulevesien hallitsematonta purkautumista, mikä aiheuttaa vahinkoja. (Vesihuollon erityistilannetyöryhmän raportti 2005, s. 75) Hulevesirakenteiden mitoittamisen tavanomainen mitoitusperuste on kerran kahdessa vuodessa esiintyvä 10 minuutin kestoinen sade, jonka ollessa varsin tavanomainen ilmiö, on myös hulevesirakenteiden kapasiteetin ylittyminen varsin yleistä. Lisäksi hulevesirakenteiden mitoittamisessa ei ole yhtenäistä linjaa oppaiden, ohjeiden ja eri kuntien käytäntöjen välillä. Käytännössä hulevesirakenteiden ylikapasiteetin välttämiseksi rakenteiden mitoitus on tulvatilanteesta aiheutuvien haittojen ja vahinkojen sekä rakentamiskustannusten kompromissi. (Aaltonen et al. 2008, s. 8.)

Taajamatulviin varautuminen on hankalaa, sillä rankkasadealue voi osua mihin alueelle tahansa ja tulvat voivat esiintyä mihin aikaan vuodesta tahansa. Tyypillisimmin pahimmat tulvat esiintyvät heinä-elokuussa ja ne voivat kehittyä hyvin nopeasti, joten varautuminen on ongelmallista. Vuonna 2000 valmistuneen Suurtulvaselvityksen (Ollila et al.) mukaan kerran 250 vuodessa esiintyvä rankkasade voisi aiheuttaa Suomessa koko maan alueella noin 50 miljoonan euron vahingot. Porin kaupunki ei ollut mukana tarkastelussa. Vuonna 2007 Porissa satoi elokuussa poikkeuksellisen paljon, noin 100 millimetriä kolmen tunnin aikana. Yli tuhat kiinteistöä kärsi sateen aiheuttamista vahingoista, minkä lisäksi katualueita oli veden vallassa. Porin kaupunki arvioi vahinkojen kokonaismääräksi 20 miljoona euroa. (Aaltonen et al. 2008, s. 8)

2.2 Hulevesiin liittyvä lainsäädäntö

”Hulevesien hallinnasta säädetään pääosin maankäyttö- ja rakennuslaissa (MRL, 132/1999), johon lisättiin vuonna 2014 uusi luku 13a hulevesiä koskevista erityisistä säännöksistä (103 a-o §:t). Samalla uudistettiin vesihuoltolakia, johon lisättiin luku 3a huleveden viemäroinnin järjestämisestä ja hoitamisesta.” (Ulvila, 2016)

”Hulevesien hallinnan järjestämisestä asemakaava-alueilla vastaa kunta. Kunnan tulee huolehtia siitä, että ryhdytään tarvittaessa toimenpiteisiin kunnan hulevesijärjestelmän ja vesihuoltolaitoksen hulevesiviemäriverkoston toteuttamiseksi tai hulevesien hallitsemiseksi muulla tavoin (MRL 103 i §). Vesihuoltolain 17 a §:n mukaan kunta voi päättää, että vesihuoltolaitos huolehtii huleveden viemäroinnin järjestämisestä.” (Ulvila, 2016)

”Hulevesien hallintaan vaikuttavat myös EU:n tulvadirektiiviin (2007/60/EY) perustuvat laki (620/2010) ja asetus tulvariskien hallinnasta (659/2010). Lainsäädännön tarkoituksena on vähentää tulvariskejä, ehkäistä ja lieventää tulvista aiheutuvia vahinkoja sekä edistää tulviin varautumista. Laki koskee kaikkia tulvatyyppisiä lukuun ottamatta viemäritulvia. Hulevesitulvariskien hallinnan suunnittelu kuuluu lain mukaan kuntien vastuulle. Merkittäville riskialueille kunnan on laadittava hulevesitulvariskien hallintasuunnitelmat.” (Ulvila, 2016)

3 HULEVESIEN HALLINTAMENETELMÄT

Taajamien kuivatus ja taajamatulvien torjunta sekä vesien suojeleminen ovat hulevesihallinnan yleisiä tavoitteita. Yleiset vakiintuneet periaatteet hulevesien hallinnassa ja hallinnan suunnittelussa Kuntaliiton hulevesioppaan (2012) mukaan ovat olleet:

- hulevesien muodostumisen estäminen
- hulevesien määrän vähentäminen käsittelemällä tai hyödyntämällä ne syntypaikalla
- johtaminen suodattavalla ja hidastavalla järjestelmällä
- johtaminen yleisillä alueilla oleville hidastus- ja viivytysalueille
- johtaminen purkuvesiin tai pois alueelta

Uudet hulevesien hallinnan ”Smart & Clean -ratkaisut” -hankkeen loppuseminaarin yhteydessä Kuntaliitto esitti hulevesien hallinnan tavoitteiksi:

- kehittää suunnitelmallista hallintaa
- imeyttää ja viivyyttää
- ehkäistä haittoja ja vahinkoja (ilmastonmuutos)
- ei jätevesiviemäriin

Tämän hetkinen tavoitteiden fokus on hulevesien määrän hallinnassa. Laadunhallinnassa on vielä paljon kehitettävää (Innala, 2019).

3.1 Hulevesien johtaminen

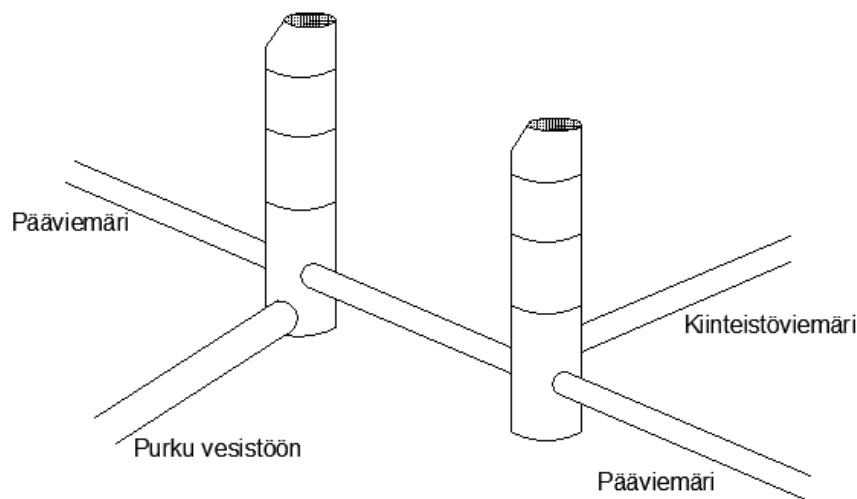
Hulevesien johtaminen pois alueelta voidaan järjestää kahdella eri menetelmällä: johtamalla vedet avoimissa pintajärjestelmissä tai putkijärjestelmissä. Avoimia pintajohtamismenetelmiä ovat erilaiset avouomavirtaukseen perustuvat menetelmät, kuten ojat, purot, painanteet, kourut ja kanavat.

Avouomaratkaisujen tarkoituksena on virtaamaa hidastamalla mahdollistaa veden imeytyminen maaperään ja vedessä olevan kiintoaineen laskeuttaminen. Johtamisreitit kasvillisuudella, pituudella ja pituuskaltevuudella voidaan tehostaa virtaaman hidastumista

ja täten veden imeytymistä maaperään ja kiintoaineen laskeutumista. Maan pinnalla tapahtuva vesien johtaminen soveltuu etenkin väljän maankäytön alueille, joissa rakentaminen on suhteellisen vähäistä. Pienillä valuma-alueilla vesiä voidaan johtaa pintajärjestelmillä myös tiiviisti rakennetuilla alueilla. (Aaltonen et al. 2008, s. 21)

Putkijärjestelmillä tapahtuva hulevesien johtaminen pyritään järjestämään painovoimaisesti mukaillen luonnollisia valumareittejä. Hulevesien johtaminen hulevesiverkostossa ei vastaa veden luonnonmukaista hydrologista kiertoa sillä hulevesien imeytyminen maahan ei ole mahdollista ja hulevedet johtuvat käsittelemättöminä liian nopeasti purkuvesistöihin. Tästä aiheutuu suurien virtaamavaihteluiden lisäksi rantavyöhykkeen eroosiota ja vesien tilan heikentymistä. (Aaltonen et al. 2008, s. 21)

Kuvassa 2 on esitetty hulevesiviemäriverkoston tyypillinen rakenne. Hulevesi johdetaan hulevesiverkostoon sakkapesällisten betoni- tai muovikaivojen kautta. (Liikennevirasto, 2013)



Kuva 2. Hulevesiviemäriverkoston rakenne (Kuntaliitto, 2012. s. 191)

3.2 Hulevesien vähentäminen

Hulevesien vähentäminen tarkoittaa toimenpiteitä hulevesien muodostumisen minimoimisessa sekä jo muodostuneen veden määrällisessä pienentämisessä. Toimenpiteet voivat olla rakenteellisia tai ei-rakenteellisia. Rakenteellisia toimenpiteitä voivat olla esimerkiksi pinnan muuttaminen vettä läpäisemättömästä vettä läpäiseväksi tai pidättäväksi, tai muodostuneen vesimäärän vähentäminen kasvillisuutta ja imeytymistä hyödyntämällä. Ei-rakenteellisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi huleveden muodostumisen ehkäiseminen suunnittelu- ja rakennustyöllä. Rajoittamalla hulevesien muodostumista, imeyttämällä jo muodostuneita hulevesiä tai haihduttamalla kasvillisuutta avuksi käyttäen, voidaan kokonaismäärää vähentää ja siirtää hulevettä pintavalunnasta osaksi veden luontaista hydrologista kiertoa. Hulevesien määrän vähentäminen on hulevesien hallinnan ensisijainen tavoite. (Kuntaliitto, 2012. s. 142)

Kasvillisuus on avainasemassa hulevesien vähentämisessä etenkin interseption ja transpiraation muodossa. Tehokkaan haihdunnan lisäksi kasvillisuus muokkaa maaperää ja tehostaa imeytymistä muokkaamalla maaperää huokoisemmaksi. Maaperän mikrobiologinen toiminta poistaa tai muuttaa vaarattomampaan muotoon ravinteita ja muita epäpuhtauksia hulevesistä. (Kuntaliitto, 2012. s. 142-143)

3.2.1 Imeyttäminen

Hulevesien syntymisen ehkäisemisen jälkeen ensisijainen hulevesien hallintamenetelmä on imeyttää hulevedet maaperään, koska se tehokkaasti vähentää muodostuneen huleveden kokonaismäärää muuttaen pintavalunnan maaperässä tapahtuvaksi pintakerros- ja pohjavalunnaksi noudattaen luonnollista hydrologista kiertoa. Maaperässä tapahtuvan suotautumisen seurauksena hulevedet myös puhdistuvat maaperän biologisten, kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien takia. Imeytysjärjestelmät eivät suoraan sovellu tulvahuippujen hallintaan, mutta niiden toimivuutta siinä voidaan parantaa lisäämällä niiden yhteyteen viivytystilavuutta. Imeytysmenetelmät soveltuvat erityisesti alueille, joilla pohjaveden pinnantasossa ei vesilain pohjaveden muuttamiskiellon mukaan saa tapahtua muutoksia. Imeytysjärjestelmät voivat vaatia hulevesien esikäsittelyä vedessä olevan kiintoaineen tai liukoisten epäpuhtauksien vuoksi. Imeytysmenetelmät voidaan jakaa

kahteen pääluokkaan: imeytyskaivannot ja imeytyspainanteet. (Kuntaliitto, 2012. s. 146-147)

Imeytyskaivannot ovat yleensä pinnaltaan avoimia, mutta ne voivat olla myös maanalaisia. Imeytyskaivannon toimintaperiaatteena on huleveden imeyttäminen maaperään ohjaamalla hulevesi karkealla kiviaineksella täytettyyn kaivantoon, jossa vesi varastoituu huokostilavuuteen ja imeytyy hiljalleen maaperään. Avoimet imeytyskaivannot ja etenkin maanalaiset imeytyskaivannot tulee varustaa esikäsittelyllä kiintoaineen poistamiseksi hulevedestä kaivannon tukkeutumisen ehkäisemiseksi. Esikäsittelynä voi toimia esimerkiksi viherpainanne, viivytysallas tai hiekan- ja öljynerotin. Kiviaineksen sijasta voidaan etenkin maanalaisissa kaivannoissa käyttää muovista valmistettuja hulevesikasetteja. Muovikasetteja käytetään yleensä imeytysjärjestelmissä, jotka ovat osa hulevesiverkoston. Imeytyskaivannot tulee varustaa suodatinkankaalla, jotta kaivannon ympärillä olevat maalajit eivät sekoitu kaivannon täytemateriaaliin. Suodatinkankaat voivat tukkeutua ajan kuluessa, mikä tulee ottaa huomioon järjestelmän kunnossapidossa. Suurikokoiset järjestelmät ovat yleensä osa hulevesiviemärintiä ja ovat varustettuja sakkapesällisillä hulevesikaivoilla sekä hiekan- ja öljynerottimilla. (Kuntaliitto, 2012. s. 148-149)

Imeytyspainanteella tarkoitetaan muuta ympäristöä alempana olevaa kasvillisuuden peittämää hulevesien lammikoitumisaluetta, josta vesi voi suotautua maaperään. Imeytyspainanteella on lammikoitumisen takia hyvä hulevesiä viivyttävä vaikutus ja vesisyvyyttä voidaan säädellä esimerkiksi hulevesiverkoston asennettavalla padotuskaivolla. Painanteen ei ole tarkoitus toimia altaana, vaan painanteen tulisi tyhjentyä vuorokauden kuluttua täyttymisestä. Hulevedet johdetaan yleensä pintavaluntana painanteeseen, josta vesi imeytyy kasvu- ja suodatuskerroksen läpi rakeisuudeltaan karkeampiin kerroksiin. (Kuntaliitto, 2012. s. 151)

3.2.2 Viherkatot

Viherkatoilla voidaan imeyttää sadevesiä tai viivästyttää niitä. Katoilta tulevan valunnan on todettu vähentyvän 25-100 % eri olosuhteissa ja suurissakin sadannoissa valunta on voinut vähentyä 50 %. Esteettisyyden lisäksi viherkatot vähentävät virtaushuippuja

hulevesijärjestelmään, eristävät lämpöä, vaimentavat melua ja parantavat pienilmaston laatua. (Kuntaliitto, 2012. s. 280-281)

Viherkatto voidaan toteuttaa ohutrakenteisena, laaja-alaisemmin kattopinnoitteena tai tasakatoille soveltuvana kattopuutarhana ja voidaan jakaa kolmeen eri rakennekerrokseen, jotka muodostuvat alaosan vesieristeestä, salaojakerroksesta sekä kasvualustasta. Hulevesien vähentämisen ja viivytyksen kannalta tasakattojen muuttaminen viherkatoiksi on suositeltavaa, mikäli se kattorakenteiden kantavuuden osalta on mahdollista. (Kuntaliitto, 2012, s. 280-283)

3.2.3 Lämpäisevät rakenteet

Lämpäisevät päällysteet ehkäisevät hulevesien muodostumista vähentäen huleveden kokonaismäärää ja virtaamaa lisäten pohjaveden muodostumista. Huleveden suotauduttua lämpäisevän pintakerroksen läpi se varastoituu hetkeksi karkean kiviaineksen kerrokseen, josta se suotautuu hiljalleen maaperään. Lämpäisevät päällysteet soveltuvat parhaiten pienten liikennemäärien alueille, sillä suurten liikennemäärien alueilla kulumisen ja hulevesien epäpuhtaudet aiheuttavat huokosrakenteiden tukkeutumista. Lämpäisevä päällyste voidaan valmistaa kiveyksestä, betonista, asfaltista tai muovisista nurmetetuista ja kiviaineksella täytetyistä kennorakenteista. Yhtenäistä kaikille rakenteille on huokosrakenteen käyttö. (Kuntaliitto, 2012. s. 145-146)

3.3 Hulevesien viivyttäminen

Huleveden viivyttämisellä tarkoitetaan veden hetkellistä varastoimista ja sen johtamista eteenpäin tulovirtaaman loputtua. Hulevesien hallinta viivyttämällä voidaan jakaa seuraaviin luokkiin: kosteikot, lammikot, painanteet sekä rakennetut altaat ja kaivannot. Kosteikoissa, lammikoissa ja altaissa on yleensä pysyvä vesipinta. (Kuntaliitto, 2012. s. 173)

3.3.1 Viivytyksaltaat, -kaivannot ja -painanteet

Rakennetut keinotekoiset viivytyksaltaat voivat olla rakennettu esimerkiksi kivistä tai betonista. Altaisiin pyritään saamaan pysyvä vesipinta vesitiiviillä pohjarakenteilla esimerkiksi bentoniittimatolla.

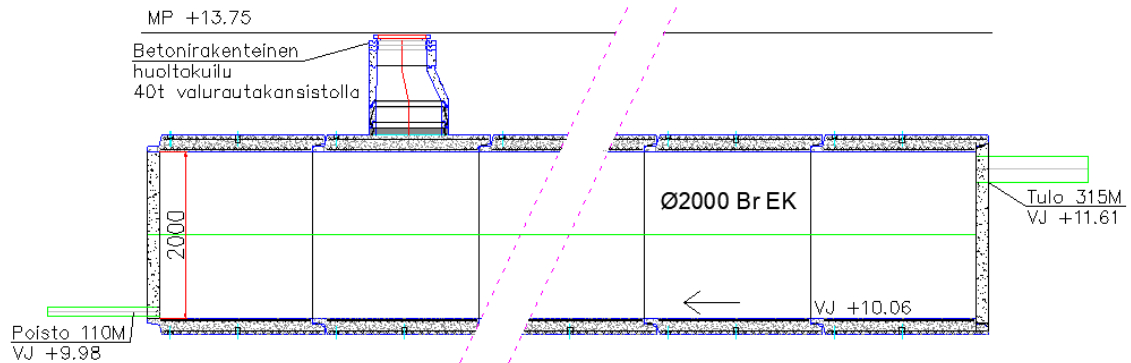
Viivytykskaivannot ovat maanalaisia viivytyksrakenteita ja ne soveltuvat etenkin alueille, joilla maanpäällinen rakentaminen ei ole mahdollista. Viivytykskaivantojen yhtenä tyyppinä voidaan pitää maanalaisia viivytykssäiliöitä, joita käsitellään tarkemmin luvussa 3.3.3. Viivytykspainanteet eroavat imeytykspainanteista lähinnä siinä, että viivytykspainanteen pohjarakenteissa ei ole imeytyks- ja varastointikerrosta. (Kuntaliitto, 2012. s. 177)

3.3.2 Kosteikot ja lammikot

Hulevesikosteikot ja lammikot ovat hulevesien viivytyksstä varten rakennettuja altaita. Niiden tarkoituksena on tasata ja alentaa huleveden virtausnopeutta ja vähentää epäpuhtauksia vedestä. Altainen tilavuutta ja veden purkautumismäärää säädellään pato- ja juoksutusrakenteilla. Kosteikon ja lammikon yleensä erottaa toisistaan altaan vesisyvyys kosteikon ollessa matalampi. Kosteikkojen ja lammikoiden alkupäähän on suositeltavaa sijoittaa tilavuudeltaan 10-15 % altaan kokonaistilavuudesta oleva tasausallas, joka toimii myös esikäsitteilynä kiintoaineen laskeuttamiselle. Etenkin kosteikoilla on saatu hyviä tuloksia myös huleveden laadullisessa käsittelyssä ravinteiden poistossa. (Kuntaliitto, 2012. s. 172-176)

3.3.3 Viivytykssäiliöt

Viivytykssäiliöllä tarkoitetaan rakennetta, jolla hulevettä varastoidaan hetkellisesti säiliöön, josta se hallitusti päästetään eteenpäin. Viivytykssäiliöt ovat yleensä betoni-, muovi-, tai metallirakenteisia. Viivytykssäiliöt soveltuvat etenkin tiiviisti rakennetuille alueille, joille maanpäällisten rakenteiden rakentaminen ei ole mahdollista. Oikeanlaisella materiaalivalinnalla ja huolellisella suunnittelulla viivytykssäiliö voidaan sijoittaa esimerkiksi kauppakeskuksen pysäköintialueen alle, jolloin pysäköintialuetta voidaan käyttää normaalisti ja tällöin tontin pinta-alaa voidaan hyödyntää tehokkaasti. Alla olevassa kuvassa 3 on esitetty esimerkki hulevesisäiliöstä.



Kuva 3. Hulevesisäiliön tyyppiirustus

3.4 Talviolosuhteiden vaikutus hulevesien hallintaan

Hulevesien imeyttämiskäytöksi rajoittavat talvisin maanpinnan jäätyminen sekä maaperän routaantuminen. Lumi ja jää voivat estää imeytymistä peittämällä pintakerrosrakenteita, mutta tutkimuksissa on kuitenkin todettu, että imeytys- ja suodatusmenetelmät voivat toimia hyvin myös talvisaikaan, kunhan olosuhteet on otettu suunnittelussa huomioon. (Kuntaliitto, 2012. s. 156)

Talviolosuhteilla ei ole todettu olevan merkittävää vaikutusta kourujen ja kivettyjen painanteiden toimintaan. Kourut ja kanavat eivät pidätä vettä, kun niiden pituuskaltevuus on yli 1 %. Lumi ja sohjo saattaa aiheuttaa tukkeutumia ja sen takia painanteita tai niiden välittömässä läheisyydessä olevia alueita ei tulisi käyttää lumen läjitysalueina. (Kuntaliitto, 2012. s. 171)

Viivytysmenetelmät toimivat myös talvella, mutta kapasiteettia rajoittaa lumen ja jään viemä tila. Puunlehdet ja roskat voivat aiheuttaa jäätyminen myötä tukoksia, jolloin syntyneessä tilanteessa hulevesi ohittaa järjestelmän. (Kuntaliitto, 2012. s. 183)

4 HULEVESIEN MUODOSTUMISEN MITOITUSPERUSTEET

Ennusteet ilmastonmuutoksen vaikutuksesta Suomen ilmastoon ovat epävarmoja, mutta hyvin suurella todennäköisyydellä ilmastonmuutos tulee aiheuttamaan muutoksen vahinkoriskiä ainakin sateiden intensiteetin kasvuna. Tulevaisuudessa ongelmat keskittyvät rakennettujen viemäriverkkojen kapasiteetin riittämättömyyteen hulevesien hallinnassa. (Aaltonen et al. 2008. s. 93)

Hulevesijärjestelmän mitoituksen määrittää valuma-alueella tapahtuva sade- tai sulamistapahtuma. Rakennetuilla alueilla mitoitus tehdään yleensä vesisateen mukaisesti. Muodostuvan hulevesimäärän tai -virtaaman määrään vaikuttaa tapahtuman valittu todennäköisyys. Mitoitusperuste hulevesien johtamisjärjestelmille on hetkellinen virtaama, johon vaikuttaa sateen rankkuus. Hulevesien varastoinnin tai käsittelyn mitoittava peruste on hulevesien määrä, joka riippuu sateen määrästä. Hulevesijärjestelmien mitoitus on käytännössä rakentamisen kustannusten ja tulvatilanteessa järjestelmien mitoituksen ylittymisestä johtuvien riskien ja vahinkojen optimointia. Kaupunkien hulevesiviemärit yleensä mitoitetaan 2-3 vuoden välein toistuvalla rankkasateella, kun taas Tiehallinto edellyttää pääteihin liittyvien kuivatusjärjestelmien mitoituksessa käytettävän 10 vuoden toistumisaikaa. Tulvareittien mitoituksessa käytettävä rankkasateiden toistumisaika voi olla 100-200 vuotta. (Kuntaliitto, 2012. s. 101-103)

Suomessa ei toistaiseksi ole selkeää ohjetta hulevesijärjestelmien mitoituksessa käytettävästä sateen todennäköisyydestä ja mitoituskäytännöt vaihtelevat. (Kuntaliitto, 2012. s. 107) Hulevesijärjestelmien mitoitusohjeita on esitetty Kuntaliiton hulevesioppaassa (2012), Liikenneviraston ohjeessa (2013) Teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu sekä Betoniset viemäri- ja hulevesijärjestelmät (2017) -julkaisussa.

4.1 Mitoitusvirtaama ja -tilavuus

Mitoitusvirtaaman laskentatapa määräytyy Liikenneviraston ohjeen (2013) mukaan valuma-alueen pinta-alan ja maankäytön mukaan. Alle 10 ha:n alueilla mitoitus määräytyy rankkasateen perusteella kuin myös pinta-alaltaan suuremmilla rakennetuilla ja viemäröidyillä alueilla. Rajatapauksissa laskenta suoritetaan kummallakin tavalla ja mitoitusarvona käytetään suurempaa mitoitusvirtaamaa. Mitoitusvirtaaman laskentatavan määräytyminen on esitetty taulukossa 1. (Liikennevirasto, 2013. s. 26)

Taulukko 1. Mitoitusvirtaaman laskentatavan valinta valuma-alueen koon perusteella (Liikennevirasto, 2013)

Valuma-alueen pinta-ala (ha)	Mitoitusvirtaaman laskentatavan määräytyminen
<10	rankkasade
10...100	rankkasade tai lumen sulaminen
	rakennetuilla alueilla usein rankkasade
>100	lumen sulaminen
	rakennetuilla ja viemäröidyillä alueilla usein rankkasade

Kuntaliiton hulevesioppaan (2012) sekä Liikenneviraston ohjeen (2013) mukaan mitoitusvirtaama määritetään valuma-aluekertoimen, sateen intensiteetin ja valuma-alueen pinta-alan mukaan kaavalla 1.

$$Q = C * i * A \quad (1)$$

jossa Q on mitoitusvirtaama, C on valumakerroin [-], i on mitoitussateen keskimääräinen intensiteetti [l/s*ha] ja A valuma-alueen pinta-ala [ha].

Huleveden määrä voidaan määrittellä vastaavasti ottaen lisäksi huomioon mitoitussateen kestoajan kaavalla 2.

$$Q = (C * i * A * t) / 1000 \quad (2)$$

jossa V on hulevesien tilavuus [m^3], t on mitoitusasteen kesto aika [s] muiden tekijöiden ollessa samoja kuin kaavassa 1.

Huleveden määrä voidaan laskea myös sademäärän avulla kaavalla 3.

$$V = (C * P * A) * 100 \quad (3)$$

jossa P on sademäärä [mm] muiden tekijöiden ollessa samoja kuin kaavassa 1.

Huleveden määrän laskemisessa voidaan käyttää myös Kuntaliiton Hulevesioppaassa esitettyä laskentatapaa, jonka mukaisesti hulevettä tulee viivyttaa 1 m^3 jokaista päällystettyä 100 m^2 :n pinta-alaa kohden. Päällystetyllä alueella tarkoitetaan kattopinta-alaa sekä piha-alueita, joka on pinnoitettu vettä läpäisemättömällä materiaalilla. (Kuntaliitto, 2012. s. 55)

4.2 Mitoitussade

Mitoitussateella määritetään suurin virtaama tai vesimäärä, jonka hulevesijärjestelmän on pystyttävä hallitsemaan. Mitoitussateella on neljä määräävää ominaisuutta: sateen kesto, sateen intensiteetti eli rankkuus, sademäärä ja toistuvuus eli tapahtuman todennäköisyys. Sateen toistuvuuden sijaan oikea käytettävä termi olisi todennäköisyys muuttuvassa ilmastossa. Todennäköisyys, intensiteetti ja kesto korreloivat toistensa kanssa siten, että sateen keston kasvaessa intensiteetti pienenee ja vastaavasti suurenee mitä pienempi on todennäköisyys. (Kuntaliitto, 2012. s. 102)

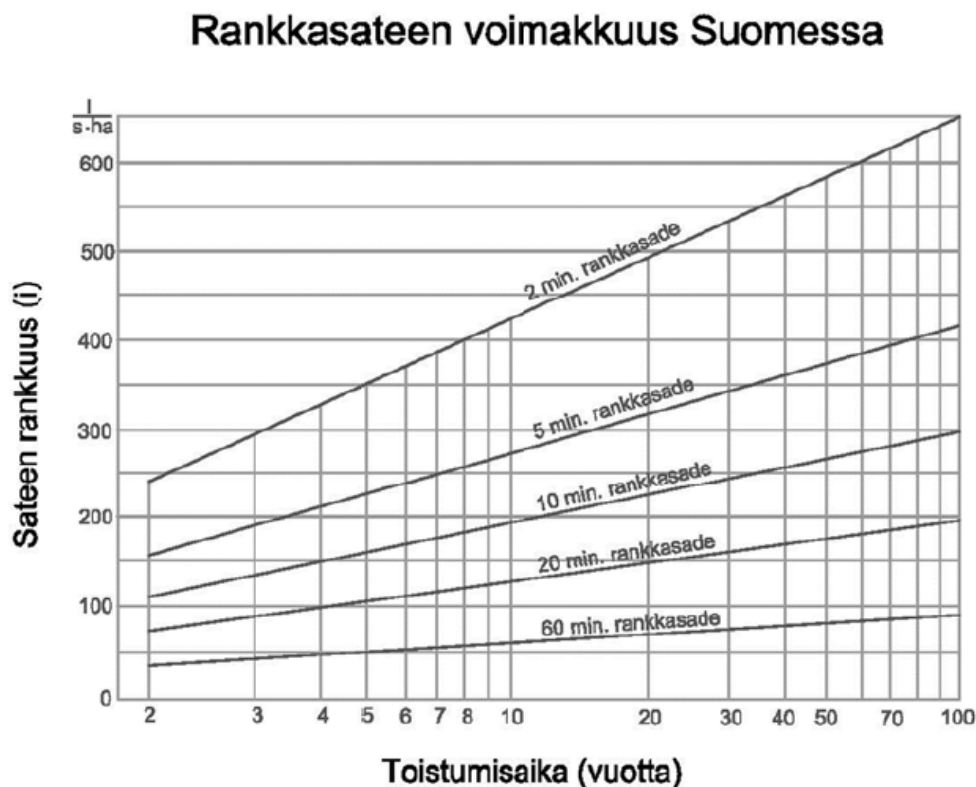
Kestoajalla tarkoitetaan ajanjaksoa, jolla valuma-alueen laiduille satanut vesi ehtii virrata purkupisteelle asti sateen aikana. Mikäli mitoitusperusteena on hetkellinen huippuvirtaama mitoitusasteen intensiteetin tulisi olla suuri ja kestoajan lyhyt. Mikäli mitoitusperusteena on muodostuneiden hulevesien määrä kesto aika voi olla pidempi, jolloin kokonaissademäärä kasvaa kestoajan pidentyessä, vaikka keskimääräinen intensiteetti olisi pienempi. Poikkeustapauksissa on mahdollista, että muodostuu tilanne, jossa lähellä valuma-alueen purkupistettä virtausnopeudet ovat suurempia kuin muualla valuma-alueella ja tällöin valuma-alueen alaosa kertyy lyhyemmällä ja rankemmalla sateella suurempi

huippuvirtaama kuin koko valuma-alueen kertymisajan mukaisella sateella. Tämän kaltaisia tilanteita voi syntyä etenkin, kun mitoituksessa on tehty osavaluma-alue tarkastelu, jossa on huomioitu sateen muoto. (Kuntaliitto, 2012. s. 102) Taulukossa 2 on esitetty Liikenneviraston ohjeen mukaiset mitoitusasteen kestot valuma-alueen pinta-alueen mukaisesti.

Taulukko 2. Mitoitusasteen ohjeellinen kesto valuma-alueen pinta-alan perusteella (Liikennevirasto, 2013)

Valuma-alueen pinta-ala (ha)	Mitoitusasteen kesto (min)
<2	5
2...5	10
5...20	20
20...100	60

Sateen intensiteettiin vaikuttavat sateen kestoaike sekä toistumisaika (Liikennevirasto, 2013. s. 30). Sateen intensiteetti valitaan nomogrammista, joka on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Rankkasateen voimakkuus Suomessa (Liikennevirasto, 2013)

Ilmastonmuutoksen on arvioitu vaikuttavan rankkasateisiin +20 %. (Aaltonen et al. 2008) Hulevesioppaassa on esitetty taulukot mitoitussateelle nykytilanteessa sekä ilmastonmuutoksen vaikutus mitoitussateeseen. Taulukot perustuvat rankkasateet ja taajamatulvat -hankkeessa laadittuihin säätutkahavaintoihin Etelä-Suomessa. (Kuntaliitto, 2012. s. 103-104). Taulukossa 3 on esitetty sateen keskimääräinen intensiteetti (l/s*ha) nykytilanteessa.

Taulukko 3. Säätutkamittauksiin perustuvat intensiteetit [l/s*ha] keskimäärin noin 1 km²:n aluesadannalla Etelä-Suomessa (Kuntaliitto, 2012)

Toistuvuus	5 min	10 min	15 min	30 min	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1/1 a	117	80	78	50	33	18	11	6,9	4,2
1/2 a	167	120	100	61	42	21	13	8,3	5
1/3 a	183	130	111	72	47	23	14	8,8	5,2
1/5 a	217	150	122	73	53	25	16	9,7	5,8
1/10 a	233	180	156	100	64	30	19	10,9	6,9

Taulukossa 4 on esitetty sateen keskimääräinen intensiteetti (l/s*ha) kasvihuoneilmiö huomioon ottaen.

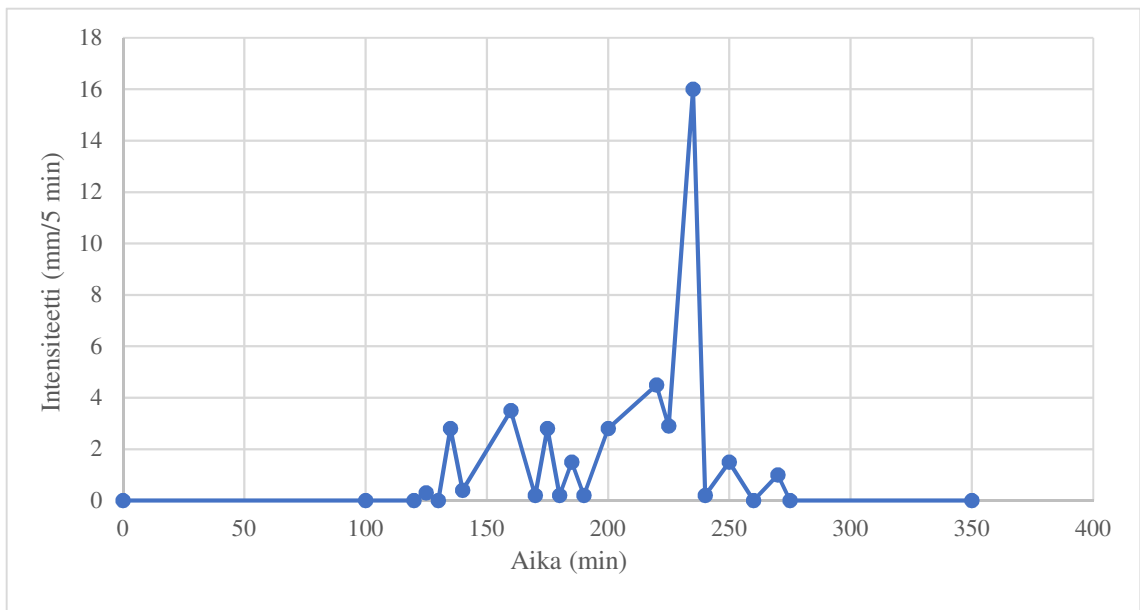
Taulukko 4. Sateen intensiteetit [l/s*ha] keskimäärin noin 1 km²:n aluesadannalle ottaen huomioon ilmastonmuutoksen ennakoitu vaikutus. (Kuntaliitto, 2012)

Toistuvuus	5 min	10 min	15 min	30 min	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1/1 a	140	96	94	60	40	22	13	8,3	5,0
1/2 a	200	144	120	73	50	25	16	10,0	6,0
1/3 a	220	156	133	86	56,4	28	17	10,6	6,2
1/5 a	260	180	146	100	64	30	19	11,6	7,0
1/10 a	280	216	187	120	77	36	23	13,1	8,3

Ilmastonmuutoksen vaikutus sadantaan tulee ottaa huomioon suunnittelussa ja mitoituksessa. Hulevesijärjestelmien tekninen käyttöikä voi olla 50-100 vuotta, mutta realistinen tarkastelujakso on 20-40 vuotta, sillä virtaamien suuruus riippuu suuresti valuma-alueen maankäytöstä ja sen muutoksista. (Kuntaliitto, 2012. s. 209)

Todennäköisyys tai toistuvuus mitoitussateelle valitaan ympäristöolosuhteet huomioiden ja mitoituksen kohteena olevan järjestelmän tai rakenteen käyttötarkoituksen mukaan. Mitä pienempi todennäköisyys on sitä voimakkaampaan sateeseen ja suurempaan sademäärään on mitoituksessa varauduttava. Todennäköisyyden valinta on rakenteen kustannusten ja järjestelmän mitoituksen ylittyessä syntyvien vahinkojen ja riskien hyväksymistä. Kaupunkien hulevesijärjestelmät mitoitetaan yleensä kerran 2-3 vuodessa toistuvalla rankkasateelle, kun taas Tiehallinto edellyttää pääteitä koskevien kuivatusjärjestelmien mitoituksessa käytettävän 10 vuoden toistumisaikaa. Sääntökahavaintoihin perustuvasta aineistosta lasketut todennäköisyydet 15-60 minuuttia ovat samansuuruisia kuin aiemmin tehdyt laskennalliset toistuvuudet sateille ja voidaankin olettaa, että nykyisen ilmaston vallitessa perinteisten mitoitussateiden käyttö mitoituksessa ei aiheuta riskejä. Hulevesijärjestelmien mitoituksessa on kuitenkin huomioitava myös ilmastonmuutos hulevesijärjestelmien käyttöään ollessa kymmeniä vuosia. (Kuntaliitto, 2012. s. 103)

Mitointilanteessa sateen muoto oletetaan yleensä vakioksi eli sateen rankkuus ei muutu sadetapahtuman aikana. Sateen hetkellinen rankkuus voi kuitenkin todellisuudessa olla intensiteetiltään keskimääräistä suurempi. Keskimääräistä intensiteettiä käytettäessä osa sadetapahtumasta sivuutetaan mitoituksessa ja hulevesien hallintajärjestelmässä voi muodostua ylivirtaamaa. Intensiteetillä ei ole vaikutusta kokonaissademäärään, eikä se tällöin vaikuta tilavuuden perusteella mitoitettavan järjestelmän kokoon, vaikka niissäkin tulisi huomioida virtaamapiikkien aiheuttamat vaikutukset. (Kuntaliitto, 2012. s. 104-106) Kuvassa 5 on esitetty yksittäisen tutkasateen intensiteetti vuonna 2007 Porissa. Kuvassa on esitetty punaisella ilmastonmuutoksen arvioitu + 20 % vaikutus sadetapahtumaan.



Kuva 5. Ilmastonmuutoksen arvioitu + 20 % vaikutus yksittäisen sateen intensiteettiin (Aaltonen et al. 2008)

4.3 Valumakerroin

Valuma-alueen ominaisuudet vaikuttavat huomattavasti muodostuvien hulevesien määrään. Valumakerroin on suhdeluku, joka kuvaa miten suuri osa alueelle osuvasta sadannasta purkautuu pintavaluntana välittömästi eteenpäin huomioiden erilaiset häviöt kuten haihtuminen, pidättäytyminen, imeytyminen ja pintavarastoituminen. (Forsman et al. 2017. s. 54)

Sateen keston ja rankkuuden myötä muodostuvien hulevesien määrä kasvaa ja tästä syystä valumakerroin ei ole vakio. Valumakerroin määräytyy sateen keston ja rankkuuden lisäksi myös valuma-alueen pinnanläpäisevyyden ja maaperän kaltevuuden mukaan. Käsin tapahtuvassa laskennassa ei tulisi käyttää kirjallisuudessa esitettyjä alimpia valumakertoimien arvoja. (Kuntaliitto, 2012. s. 208) Taulukossa 5 on esitetty valumakertoimen arvoja erilaisilla pinnoilla.

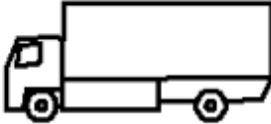
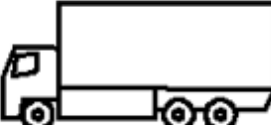
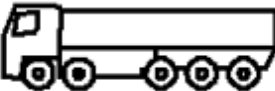
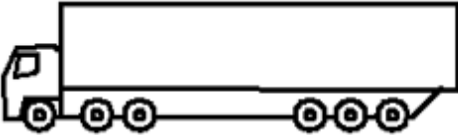

Taulukko 5. Valumakertoimien arvoja erilaisilla pinnoilla (Kuntaliitto 2012, Forsman et al. 2017)

Pinnan tyyppi	Valumakerroin
Katto	0,80...1,00
Asfalttipäällyste	0,70...0,90
Avoimet kerrostalokorttelit	0,50...0,60
Umpinaiset kerrostalokorttelit (asfalttipäällyste)	0,90
Umpinaiset kerrostalokorttelit (sorapäällyste)	0,70
Soratie	0,20...0,50
Omakotialueet, pienet tontit	0,25...0,30
Nurmipintainen piha, puisto	0,10...0,40
Urheilu- ja leikkikentät	0,20
Tasainen sorakenttä	0,00...0,05

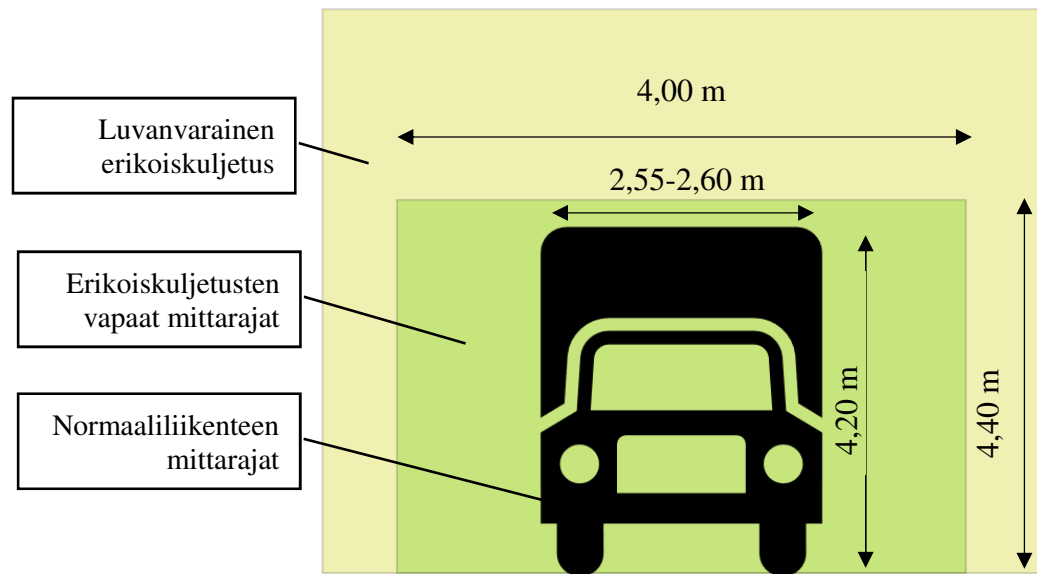
5 LOGISTIIKKA JA KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT

5.1 Logistiikka

Raskaiden tavarankuljetusajoneuvojen ja ajoneuvoyhdistelmien suurimmat sallitut mitat ja massat on kuvattu valtioneuvoston asetuksessa 407/2013. Asetuksessa on määritelty enimmäismassat, jotka vaihtelevat mm. akselimäärän, akselien keskinäisten etäisyyksien, jousituksen ja yhdistelmän koostumuksen perusteella (Logistiikan maailma, 2019). Kuvassa 6 on esitetty tyypillisimpiä tavaraliikenteessä käytettyjä ajoneuvoja.

		Suurin sallittu kokonaismassa
Kuorma-auto (2-akselinen)		18 t
Kuorma-auto (3-akselinen)		25 t
Kuorma-auto (5-akselinen)		38 t
Kuorma-auto ja puoliperävaunu		48 t
Kuorma-auto ja varsinainen perävaunu		60 t

Kuva 6. Tyypillisimpiä tavaraliikenteessä käytettyjä ajoneuvoja sallittuine kokonaismassoineen (ELY, 2016. s. 7)



Kuva 7. Erikoiskuljetusten vapaat mittarajat (ELY, 2016. s. 5)

Erikoiskuljetukset ovat poikkeuksellisen suuria tai painavia kuljetuksia ja ylittävät normaaliliikenteen mitta- ja tai massarajat. Suuri kuorma, joka on jakamaton kuorma, voidaan kuljettaa erikoiskuljetuksena. Vapaan mittarajan sisällä oleva kuljetus ei vaadi erikoiskuljetuslupaa. Kuljetusten mittarajat on esitetty kuvassa 7. Kuljetuksen pituuden ollessa enemmän kuin 25,25 metriä ja vähemmän tai yhtä paljon kuin 30 metriä, tulee kuljetuksen edessä olla varoitusauto. (ELY-keskus, 2016. s. 4)

5.2 Kasvihuonekaasupäästöt

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan jonkin tuotteen, toiminnan tai palvelun seurauksena syntynyttä vaikutusta ilmastonmuutokseen. Yksikkönä käytetään kilogrammaa tai tonnia hiilidioksidiekvivalenttia. Hiilijalanjälki saadaan selville yhteen laskemalla kaikki tuotteen, palvelun tai toiminnan kasvihuonekaasupäästöt, jotka on muutettu hiilidioksidiekvivalenteiksi. Hiilidioksidiekvivalentti muodostetaan kertomalla kasvihuonekaasupäästö sitä vastaavalla GWP -muutoskerroinilla. (Nissinen et. al. 2008. s. 14) Ilmastonlämmityspotentiaaleille on esitetty erilaisia arvoja ja ne päivittyvät tutkimustiedon lisääntyessä. IPCC:n neljännen raportin mukaisesti GWP-kerroin metaanille on ollut 25 ja typpioksiduulille 298. (Tilastokeskus, 2015)

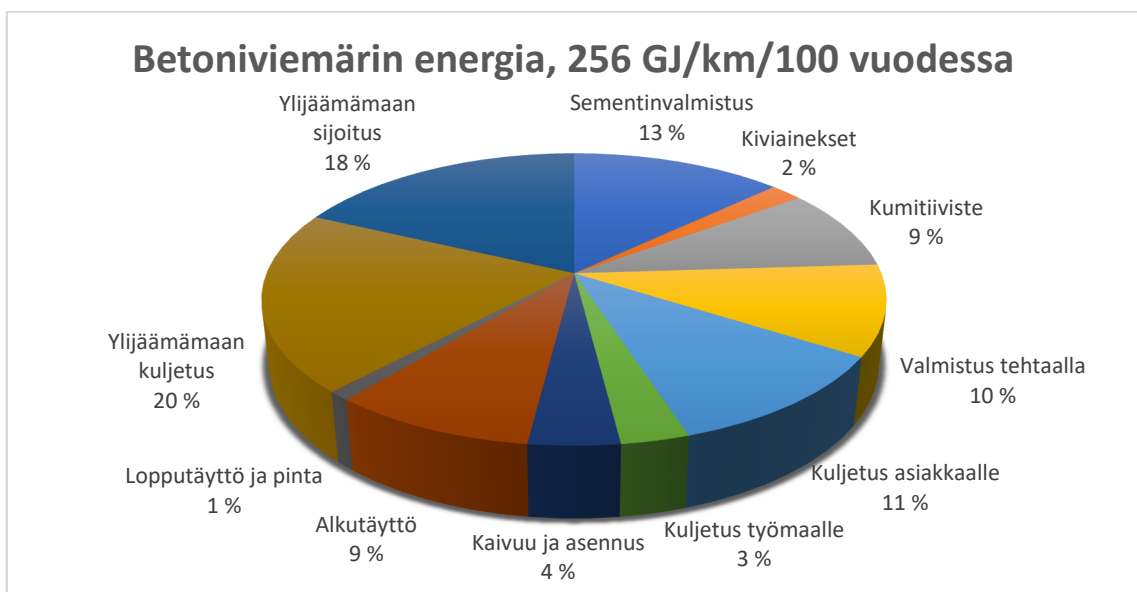
Hiilijalanjälki tulisi määrittää laskennallisesti ja sen tulisi perustua tuotteen tai palvelun elinkaareen. Elinkaariarvioinnit perustuvat SFS-EN ISO 14040 ja SFS-EN ISO 104044 -standardeihin, joissa määritetään vaatimukset ja ohjeet elinkaariarvioinnille. (Kontiokorpi, L. 2011. s.34) Kansainvälisten tuotteiden hiilijalanjäljen laskentaan yleisin käytetty menetelmä on standardi ISO 14067:2018. Tässä työssä keskitytään tuotteen kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan vain osalta tuotteen elinkaarta ja näin ollen laskenta on tehty standardista poiketen. Tässä tutkimuksessa saatuja tuloksia voitaisiin käyttää osana tuotteen hiilijalanjäljen laskentaa. Tarkastelu on rajattu koskemaan tehtaan portilta työmaalle tapahtuvaa logistiikkaa.

Laskentatavasta riippuen hiilijalanjälki voi sisältää eri kasvihuonekaasupäästöjä. Yleisimmin huomioon on otettu hiilidioksidi CO₂, metaani CH₄ sekä dityppioksidi N₂O. Myös muita kasvihuonekaasuja voidaan ottaa huomioon ja niiden GWP -kertoimet voivat olla huomattavan paljon suurempia verrattuna metaanin arvoihin, mutta niiden määrälliset päästöt ovat vähäisempiä. Kasvihuonekaasupäästöt on perinteisesti jaoteltu suoriin ja epäsuoriin ja vältettyihin päästöihin. Suorat päästöt aiheutuvat yrityksen omista tai hallinnoimista lähteistä, esimerkiksi jätehuollosta. Epäsuorat päästöt aiheutuvat välillisesti yrityksen toiminnasta, esimerkiksi tuotteiden toimituksen logistiikasta. Vältettyjä päästöjä ovat esimerkiksi ympäristöystävällisempien valmistusmateriaalien käyttö. (Kontiokorpi, L. 2011. s. 34)

Raaka-aineiden käyttö, valmistuksen energia sekä kuljetusprosessit muodostavat yhdessä betonin käytöstä aiheutuvat ympäristövaikutukset. Betonituotteiden hiilidioksidipäästöt muodostuvat tuotteiden valmistuksesta, kuljetuksesta sekä työmaalla tapahtuvasta asennuksesta. Betonituotteiden asennuksessa tehtyjen kaivantojen täyttömateriaalina voidaan yleensä käyttää kaivuumassoja, mikä osaltaan vähentää betonituotteiden ympäristövaikutuksia. (Forsman et. al. 2018. s. 115)

Energiaa betoniputken valmistukseen kuluu suhteellisen vähän. Putkien valmistuksessa 80 massaprosenttia käytettävästä betonista on kiviainesta ja loppuosa sementtiä ja vettä. Ilmakehään sementin valmistuksessa vapautunut hiilidioksidi palautuu betoniin hitaasti karbonatisoitumalla. Betoniputkista rakennetun viemäriinjan ylläpitoon 100 vuoden

ajanjaksolla 60-70 % käytetystä energiasta kuluu asennuksen aikaisiin maamassojen siirtoihin sekä kaivantojen täyttötöihin. Putkien ja kaivojen kuljetuksen osuus putkilinjan rakentamisen energiankulutuksesta on noin 15 %, kun täyttömassojen ja ylijäämämassojen kuljetuksen osuus on noin 50 %. Ympäristövaikutuksia voidaan pienentää huolellisella kuljetussuunnittelulla. Kuvassa 8 on esitetty kilometrin pituisen betoniviemäriin rakentamisesta aiheutunut energiankulutus 100 vuoden ajanjaksolla. (Forsman et. al. 2018. s. 116)



Kuva 8. Betoniviemäriin rakentamisen energiankäytön jakaantuminen (Forsman et al. 2018. s. 116)

Kotimaan liikenne aiheuttaa Suomen kasvihuonekaasujen kokonaispäästöistä noin 20 % ja tieliikenne tuottaa noin 94 % liikenteen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä. (Väylä, 8.1.2019) Taulukossa 6 on esitetty VTT:n tuottaman Lipasto -liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmän mukaiset päästömäärät eri ajoneuvoyhdistelmille. Hiilidioksidiekvivalenttiarvo sisältää CO₂, CH₄ ja N₂O -päästöt.

Taulukko 6. Tavaraliikenteen päästömäärät (Lipasto)

Ajoneuvon kokonaismassa/kantavuus /t	Ajoneuvon päästöt täydellä kuormalla CO₂ekv. [g/km]	Ajoneuvon päästöt tyhjällä kuormalla CO₂ekv. [g/km]
60t/40t täysiperävaunu	1205	796
40t/25t puoliperävaunu	962	630
15t/9t jakelukuorma-auto	445	373
2,7t/1,2t pakettiauto	208	185

6 HULEVESIEN VIIVYTYSVAIHTOEHTOJEN VERTAILU

6.1 Hulevesien muodostumisen määrälaskenta kohde-esimerkeissä

Päämitoituseruste taajamien hulevesijärjestelmille on Suomessa rankkasade. Suomessa ei toistaiseksi ole yleisohjetta hulevesijärjestelmien mitoituksessa käytettävästä sateen toistuvuudesta ja mitoituskäytännöt ovat vaihtelevia. Hulevesijärjestelmän mitoitus on kompromissi aiheutuvien vahinkojen ja rakentamiskustannusten välillä järjestelmän mitoituksen ylittyessä. (Kuntaliitto, 2012. s. 107-110)

Hulevesien muodostuminen voidaan määrittää käsin laskemalla tai tietokonemallinnuksella. Käsin laskenta soveltuu hyvin pienikokoisille ja ominaisuuksiltaan homogeenisille kohteille. Mallintamista voidaan hyödyntää suurten ja monimutkaisten valuma-alueiden virtaamien määrittämisessä. (Forsman et al, 2018. s.52)

Hulevesien määrän muodostumista tarkasteltiin esimerkkikohteiden avulla. Esimerkkikohteiksi valittiin pientalotontti, kerrostalotontti sekä logistiikkakeskus. Kohteisiin mitoitettujen vaadittujen viivytystilavuuksien perusteella työssä myöhemmin määritetään viivytykseen soveltuvat kohdeyrityksen tuotteet ja niiden lukumäärä.

6.1.1 Pientalotontti

Hulevesien määrälaskentaesimerkiksi valittiin pientalokohteiden osalta kolme eri kokoista tonttia pinta-aloiltaan 1 000 m², 2 600 m² ja 6 000 m². Kirjallisuusarvojen perusteella valumakertoimeksi valittiin 0,30, joka tarkoittaa 30 % tontin pinta-alasta olevan päällystettyä kattopinta-alaa tai päällystettyä piha-aluetta. Loppuosa tontin pinta-alasta oletetaan nurmipintaiseksi, jota ei tarvitse huomioida hulevesien viivytysjärjestelmän vaadittua tilavuutta mitoitettaessa. Valumakertoimien arvoja on esitetty myös taulukossa 5.

Viivytysvaatimuksena laskennassa on käytetty Kuntaliiton Hulevesioppaassa esitettyä laskentatapaa, jonka mukaisesti hulevettä tulee viivyttää 1 m³ jokaista päällystettyä 100 m²:n pinta-alaa kohden. (Kuntaliitto, 2012. s. 55) Kolmelle eri tontille määritetyt viivytystilavuusvaatimukset on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Pientalotonttien viivytyjärjestelmän tilavuusvaatimus

Tontin pinta-ala (m ²)	Valumakerroin	Päällystetty pinta-ala (m ²)	Viivytystilavuus (m ³)
1000	0,3	300	3
2600	0,3	780	7,8
6000	0,3	1800	18

6.1.2 Kerrostalotontti

Hulevesien määrälaskentaesimerkiksi kerrostalotonttien osalta valittiin kolme eri kokoista kerrostalotonttia pinta-aloiltaan 8 000 m², 13 000 m² ja 18 000 m². Kirjallisuusarvojen perusteella valumakerroimeksi kerrostalotonteille valittiin 0,70, joka tarkoittaa 70 % tontin pinta-alasta olevan päällystettyä kattopinta-alaa tai piha-aluetta. Loppuosan tontin pinta-alasta oletetaan olevan nurmialuetta, jota ei huomioida viivytyjärjestelmää mitoitettaessa. Valukertoimia on esitetty taulukossa 5.

Kerrostalotonttien viivytyjärjestelmän tilavuusmitoituksessa käytettiin kaavaa 2. Kirjallisuusarvojen perusteella valittiin sateen toistuvuudeksi 1/3 vuotta ja sateen kestoajaksi 10 minuuttia. Sateen intensiteetissä 156 l/s/ha on huomioitu ennakoitu ilmastonmuutoksen vaikutus. Mitoituksessa käytetyt arvot on esitetty taulukossa 4. Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Kerrostalotonttien viivytyjärjestelmän tilavuusvaatimus

Tontin pinta-ala (m ²)	Valumakerroin	Sateen intensiteetti (l/s/ha)	Sateen kesto (min)	Viivytystilavuus (m ³)
8 000	0,7	156	10	52
13 000	0,7	156	10	85
18 000	0,7	156	10	118

6.1.3 Logistiikkakeskus

Logistiikkakeskuksen osalta hulevesien määrälaskentaesimerkeiksi valittiin pinta-aloiltaan 10 ha, 15 ha sekä 20 ha tontit. Kirjallisuusarvojen perusteella valumakertoimeksi valittiin 0,90 olettaen tontin pinta-alasta 90 % olevan päällystetty kattopinta-alaa ja asfaltoitua liikennöintialuetta. Lopun 10 % oletettiin olevan viheralueita, joita ei tarvitse huomioida viivytysjärjestelmän mitoituksessa. Valumakertoimia on esitetty taulukossa 5.

Logistiikkakeskustonttien viivytysjärjestelmän tilavuusmitoituksessa käytettiin kaavaa 2. Kirjallisuusarvojen perusteella valittiin sateen toistuvuudeksi 1/3 vuotta ja sateen kestoajaksi 15 minuuttia. Sateen intensiteetissä 133 l/s/ha on huomioitu ennakoitu ilmastomuutoksen vaikutus. Mitoituksessa käytetyt arvot on esitetty taulukossa 4. Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Logistiikkakeskustonttien viivytysjärjestelmän tilavuusvaatimus

Tontin pinta-ala (ha)	Valumakerroin	Sateen intensiteetti (l/s/ha)	Sateen kesto (min)	Viivytystilavuus (m ³)
10	0,9	133	15	1080
15	0,9	133	15	1620
20	0,9	133	15	2160

6.2 Hulevesien viivyttämässä käytetyt kohdeyrityksen tuotteet

Kohdeyrityksessä valmistettavat hulevesien viivyttämisyjärjestelmät valmistetaan tuotannossa olevista vakiokokoisista ja -muotoisista kaivo-, putki-, tai laatikkoelementtituotteista. Myös säiliöissä olevat erikoisosat valmistetaan muokkaamalla ja jalostamalla vakiomuotoista tuotetta edelleen, kuten esimerkiksi valmistamalla vakio putkituotteesta säiliön huoltamisessa käytettävä satulakaivo.

6.2.1 Kaivotuotteilla rakennetut viivytyssäiliöt

EK-kaivojen tyypillisiä käyttökohteita ovat sadevesi-, hulevesi-, ja jätevesiviemäriinlinjat. Valmistettavat EK-kaivot ovat raudoitettuja, lujuusluokka CR. CR-luokan kaivot voidaan asentaa maksimissaan 10 metrin syvyyteen. EK-kaivot ovat kiintotiivisteellisiä ja ovat

liikennekuorman kestäviä. Taulukossa 10 on esitetty halkaisijaltaan suuremmat tuotannossa olevat kaivojen halkaisijakoot sekä niiden massat. Kaivoja valmistetaan sisähalkaisijaltaan 600 mm:stä alkaen, mutta sisähalkaisijaltaan alle 1500 mm:n kaivojen arvioitiin olevan hyötytilavuudeltaan liian pieniä, jotta niitä tarkasteltaisiin työssä.

Taulukko 10. EK-kaivorenkoot

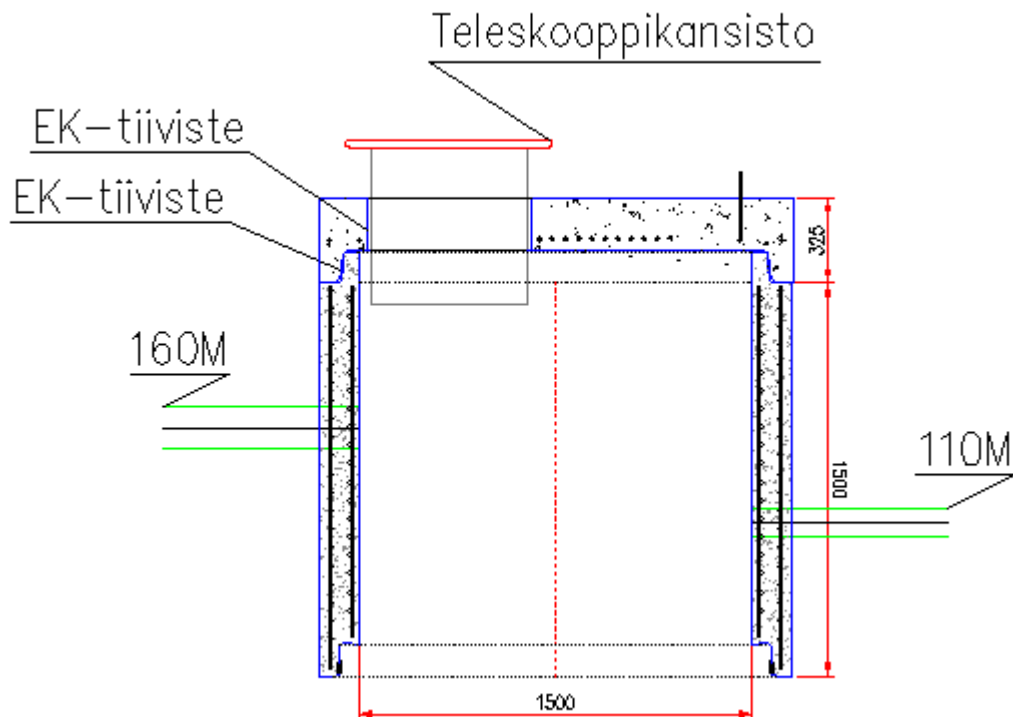
Kaivorenkoon sisähalkaisija (mm)	Kaivorenkoon korkeus (mm)	Massa (kg)
1500	1500	2845
1500	1750	3318
1500	2000	3791
2000	1250	4197
2000	1500	5036
2000	1750	5874
2000	2000	6712

Taulukossa 11 on esitetty kaivorenkaisiin soveltuvan betonikansiston massat. Betonikansiston massa ei sisällä teleskooppiputken ja valurautakansiston massaa.

Taulukko 11. EK-betonikannet teleskooppiputkelle

Betonikansiston halkaisija (mm)	Betonikansiston massa (kg)
1500	1120
2000	2400

Kuvassa 9 on esitetty tyypillisen EK-kaivon rakenne ja esimerkkiratkaisu, miten kaivoa voi hyödyntää hulevesien viivyttämisessä sekä maaperään imeyttämisessä.



Kuva 9. EK-kaivo, tyyppi- ja mitat

6.2.2 Putkituotteilla rakennetut viivytysäiliöt

EK-putkituotteiden käyttökohteita ovat tyypillisesti sadevesi-, hulevesi-, ja jätevesiviemäriin. EK-putkia valmistetaan putken sisähalkaisijasta riippuen eri rauditusluokissa. Rauditusluokat ovat raudittamaton (B), rauditettu (Br) tai vahvemmin rauditettu (Dr). Rauditusluokka määrittelee minkälaisia rasituskuormia tuote kestää rikkoutumatta. Hulevesien viivytysjärjestelmiä suunniteltaessa ja käytettävien putkien rauditusluokkaa valitessa on otettava huomioon putkien asennussyvyys maaperässä sekä putkiin kohdistuvat kuormat esim. liikennekuorma. EK-putkituotteet ovat kiintotiivistettäisiä ja yleisimmin käytettävä tiivistekumimateriaali on EPDM, mutta myös muita tiivistemateriaaleja on saatavilla, kuten NBR tai SBR. Taulukossa 12 on esitetty kohdeyrityksen myymät EK-putkituotteet, niiden nimellispituudet, rauditusluokat sekä massat. Kohdeyrityksessä pienin myytävä putkikoko on sisähalkaisijaltaan 225 mm, mutta työssä arvioitiin sisähalkaisijaltaan alle 1000 mm putkien hyötytilavuuden olevan vähäinen

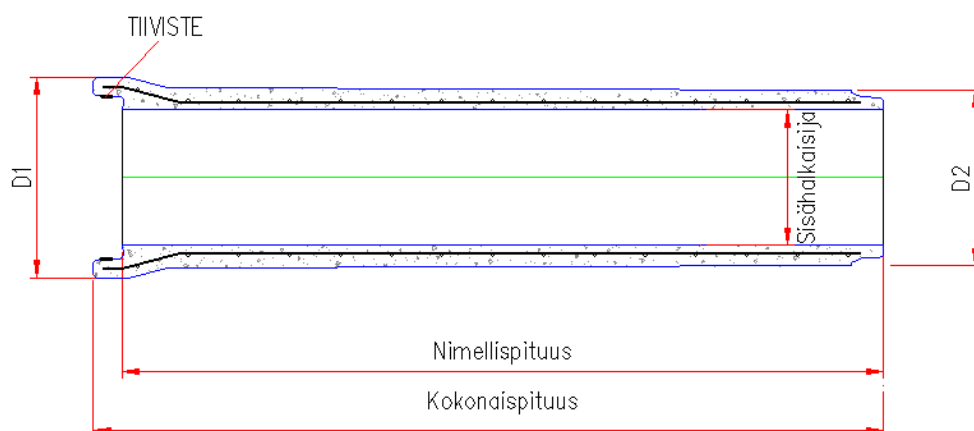
suhteessa putken vaatimaan asennuspinta-alaan, minkä seurauksena työssä tarkastellaan halkaisijaltaan 1000 mm:n ja sitä suurempia putkia.

Betoniputket valmistetaan siten, että ne täyttävät standardissa SFS-EN 1916+AC Betoniset putket ja osat, raudoittamattomat ja teräskuidulla vahvistetut sekä siihen liittyvässä kansallisessa soveltamisohjeessa SFS 7033 Betoniputkille eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetut vaatimustasot (Forsman et al., 2018).

Taulukko 12. Kohdeyrityksen EK-putket, pyöreät

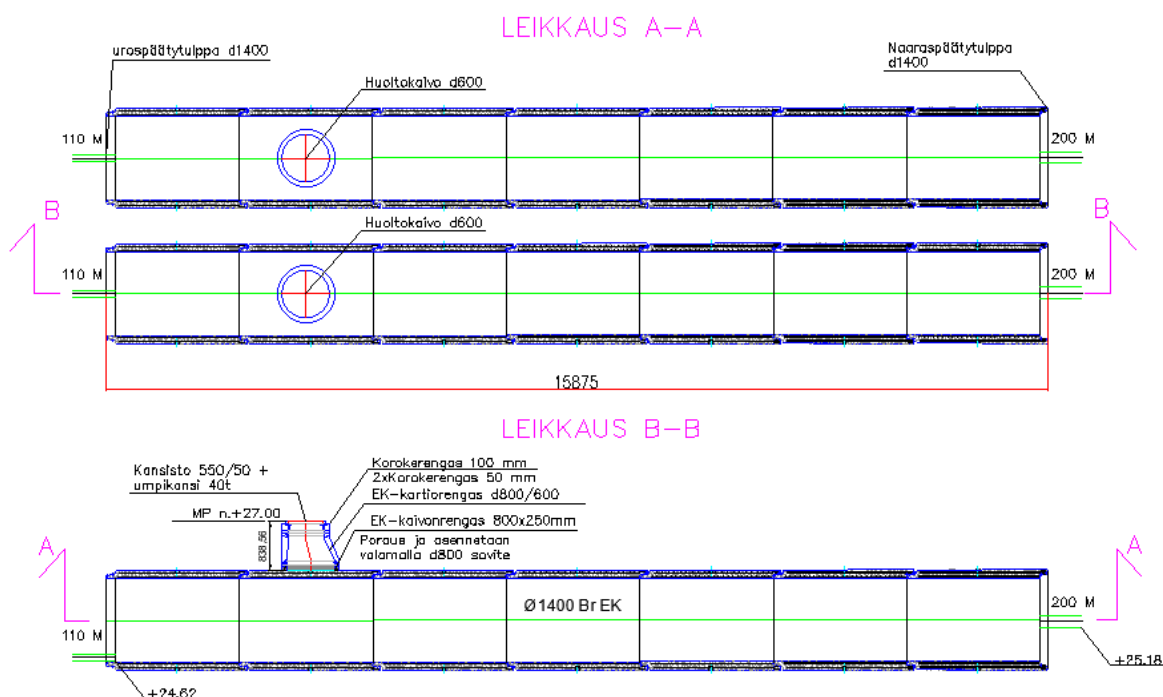
Sisähalkaisija (mm)	Nimellispituus (mm)	Lujuusluokka	Massa (kg)
1000	2250	Br	2985
1000	2250	Dr	2990
1200	2250	Br	4000
1200	2250	Dr	4000
1400	2250	Br	3822
1400	2250	Dr	3877
1600	2250	Br	4963
1600	2250	Dr	5033
2000	2000	Br	6815
2000	2000	Dr	6886

Kuvassa 10 on esitetty EK-betoniputken tyyppi- ja kokonaispiirros. Betoniputki asennetaan viemäriin niin sanottu uroshuullos (D2) alavirran suuntaan.



Kuva 10. EK-putki, tyyppi- ja kokonaispiirros

Kuvassa 11 on esitetty viivytyssäiliön tyyppi- ja rakennuspiirustus. Kuvan esimerkissä säiliö koostuu kahdesta rinnakkaisesta sisähalkaisijaltaan 1400 mm putkilinjasta ja yhteensä 14 putkesta. Säiliön päädyissä oleviin putkiin on tehtaalla valettu betoninen päätytulppa, jolloin peräkkäin asennetuista putkituotteista päätytulppien kanssa muodostuu säiliö. Säiliön päätytulppissa olevat putkiliitokset tehdään tehtaalla valmiiksi poraamalla säiliön päätyyn reikä ja asentamalla siihen kuminen läpivientitiiviste. Säiliöihin valmistetaan huoltokuiluksi niin sanottu satulakaivo, mikä mahdollistaa säiliön huoltamisen. Huoltokuilun aukon halkaisija on 600 mm tai 800 mm. Huoltokuilu varustetaan liikenteenkestävällä valurautakansistolla. Huoltokuiluja sijoitetaan säiliöihin yleensä 1-2 kpl säiliötä kohden. Säiliö kasataan työmaalla yhdistämällä asennuslaitteita apuna käyttäen betoniputket toisiinsa.



Kuva 11. Viivytyssäiliö, tyyppi- ja rakennuspiirustus

6.2.3 Laatikkoelementillä rakennetut viivytyssäiliöt

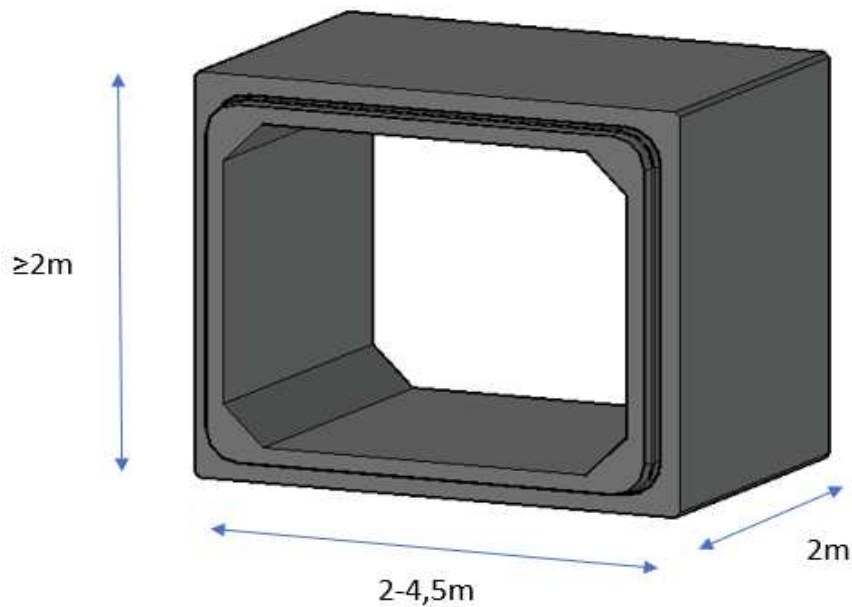
Laatikkoelementit valmistetaan tuotestandardin SFS EN 14844 mukaisesti ja tuotteet on mitoitettu Eurokoodin mukaan. Tuotteelle on suunniteltu vakioraudoitus, jolla elementti on liikennekuorman kestävä, mutta raudoitus voidaan suunnitella myös tapauskohtaisesti, mikäli olosuhteet niin vaativat. Elementti varustetaan irtotiivisteellä, joka on materiaaliltaan

EPDM: a. Elementtiä valmistetaan 12 eri kokoa, hyötypituuden ollessa vakioitu kaksi metriä ja seinämävahvuuden 250 mm. Taulukossa 13 on esitetty valmistettavien elementtien koot ja massat.

Taulukko 13. Laatikkoelementit

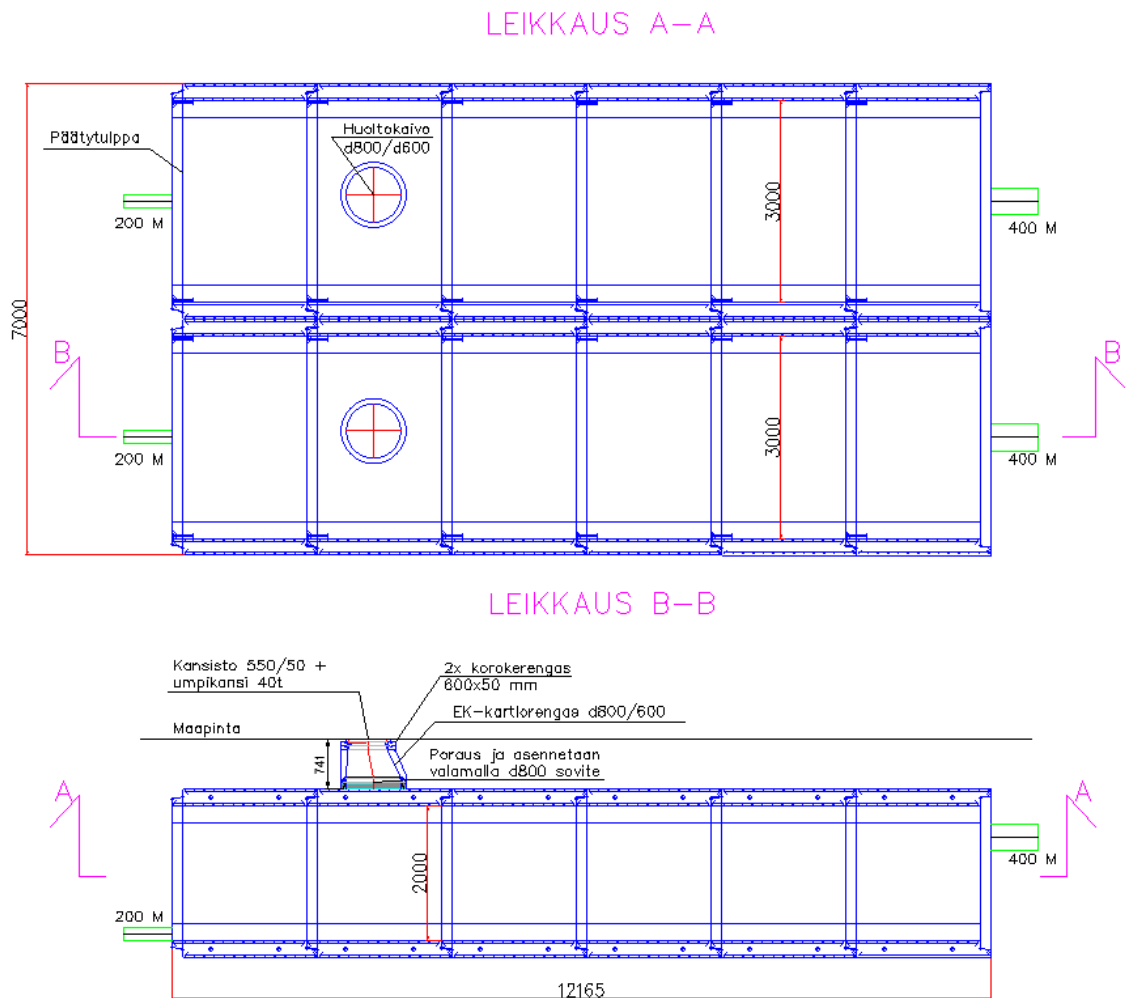
Elementin mitat (mm)	Elementin hyötypituus (mm)	Elementin massa (kg)
2000x2000	2000	11340
2000x2500	2000	12520
2000x3000	2000	13700
2000x3500	2000	14880
2000x4000	2000	16060
2000x4500	2000	17240
2500x2500	2000	13700
2500x3000	2000	14880
2500x3500	2000	16060
2500x4000	2000	17240
3000x3000	2000	16060
3000x3500	2000	17240

Kuvassa 12 on esitetty tyyppiirustus laatikkoelementistä. Tuote asennetaan asennuslaitteita apuna käyttäen niin sanottu uroshuullos alavirtaan päin. Elementti voidaan asentaa maaperään mikä tahansa seinämä maaperää vasten.



Kuva 12. Laatikkoelementti, tyypikuva

Kuvassa 13 on esitetty periaatepiirustus laatikkoelementeillä valmistettavasta hulevesien viivytyssäiliöstä. Kuvan esimerkissä säiliö koostuu 12 rinnakkain asennetusta elementistä. Pyöreistä säiliöistä poiketen elementit voidaan asentaa toisiinsa kiinni, jolloin saadaan pinta-alayksikköä kohden tehokkaampi tilavuushyötysuhde. Päätyelementteihin valetaan tehtaalla betoninen tulppa, jolloin peräkkäin linjaan asennetut elementit muodostavat säiliön. Putkiliitoksia varten tehdään tehtaalla elementteihin läpivientireiät ja niihin asennetaan kuminen läpivientitiiviste. Säiliön yläosaan valmistetaan kohteeseen sopiva huoltokaivo esimerkiksi vakiokokoisilla EK-kaivo-osilla. Huoltokaivoja on yleensä 1-2 kpl säiliötä kohden. Säiliö kasataan työmaalla yhdistämällä elementit toisiinsa asennuslaitetta apuna käyttäen.



Kuva 13. Viivytyssäiliö, laatikkoelementillä, tyyppiirustus

6.3 Hulevesien viivytys kohde-esimerkeissä kohdeyrityksen tuotteilla

Kappaleessa 6.1 on esitetty esimerkkikohteisiin mitoitettut viivytysjärjestelmien tilavuudet. Tässä kappaleessa on esitetty kohde-esimerkkeihin soveltuvat viivytysjärjestelmäratkaisuvaihtoehdot käyttäen kohdeyrityksen tuotteita. Viivytysjärjestelmien tilavuudet on laskettu hyötykorkeuksia ja hyötypituuksien mukaan, eikä mitoituksessa ole huomioitu säiliöratkaisuiden päätytulppien hyötytilavuutta pienentävää vaikutusta. Lisäksi on oletettu kohteiden korkomaailman olevan sellaisia, että hulevesien purkupiste sijaitsee aina suhteessa kohteen korkomaailmaan alempana, jolloin eri säiliöhalkaisijat sopivat kohteeseen. Käytännössä tämä ei ole aina mahdollista ja jokainen hulevesijärjestelmä täytyy suunnitella tapauskohtaisesti.

Tässä osiossa esitetyt ratkaisuvaihtoehdot on mahdollista korvata esitettyjä halkaisijakokoja pienemmillä vaihtoehdoilla ja suuremmilla kappalemäärillä, lukuun ottamatta laatikkoelementtiä, mutta ne on jätetty tarkastelusta pois, koska niiden tilavuus- ja pinta-ala-hyötysuhde on arvioitu vähäiseksi verrattuna halkaisijaltaan suurempiin tuotteisiin.

6.3.1 Pientalotontti

Alla olevassa taulukossa 14 on esitetty tonttien pinta-alan mukaisesti lasketut viivytyksvaatimukset tonteille sekä ratkaisuesimerkit toteutettuna kohdeyrityksen tuotteilla. Laskennassa on otettu huomioon halkaisijaltaan yli 1000 mm tuotteet ja arvioitu parhaiten kohteeseen soveltuvat tuotteet huomioiden tuotteiden vaatima maapinta-ala kohteessa. Esimerkit voidaan toteuttaa halkaisijaltaan pienemmillä kaivoilla tai putkilla, mutta tällöin ratkaisut vaativat enemmän asennuspinta-alaa tai kaivusyvyyttä. Betonikaivoilla esitetyissä ratkaisuesimerkeissä on rajattu kaivon maksimisyvyydeksi kaksi metriä.

Taulukko 14. Pientalotonttien viivytyksjärjestelmävaihtoehdot pyöreillä putkilla, kaivoilla tai laatikkoelementeillä

Tontin pinta-ala (m ²)	Vaadittu viivytystilavuus (m ³)	Viivytykseen soveltuvat tuotevaihtoehdot
1000	3	betonikaivo ø1500, h=1,75m betonikaivo ø2000, h=1m
2600	7,8	3x betonikaivo ø1500, h=1,5m 2x betonikaivo ø2000, h=1,25m 2x betoniputki ø1600, l=2,25m 1x laatikkoelementti 2x2m, l=2m
6000	18	3x betonikaivo ø2000, h=2m 5x betoniputki ø1400, l=2,25m 4x betoniputki ø1600, l=2,25m 3x betoniputki ø2000, l=2,0m 2x laatikkoelementti 2x2,5m, l=2m 1x laatikkoelementti 2x4,5m, l=2m 1x laatikkoelementti 2,5x4m, l=2m 1x laatikkoelementti 3x3m, l=2m

6.3.2 Kerrostalotontti

Alla olevissa taulukoissa 15 ja 16 on esitetty tonttien pinta-alan mukaisesti lasketut viivytysvaatimukset tonteille sekä ratkaisuesimerkit toteutettuna kohdeyrityksen tuotteilla. Vaihtoehtoina alla oleville viivytystilavuuksille on huomioitu suuremmat putkihalkaisijat sekä laatikkoelementit. Kaivojen hyötytilavuuden on arvioitu olevan kohteeseen riittämätön suhteessa vaadittujen kaivojen määrään. Vaadittujen tuotteiden kappalemäärässä ei ole huomioitu päätyvalujen viemää osuutta tuotteen hyötytilavuudesta eikä laatikkoelementtien sisäpuolisten viisteiden viemää osuutta elementtien hyötytilavuudesta.

Taulukko 15. Kerrostalotonttien viivytysjärjestelmävaihtoehdot pyöreillä putkilla

Tontin pinta-ala (m²)	Viivytystilavuus (m³)	Viivytykseen soveltuvat tuotevaihtoehdot
8 000	52	15x betoniputki ø1400mm, l=2,25m 12x betoniputki ø1600mm, l=2,25m 9x betoniputki ø2000mm, l=2,0m
13 000	85	25x betoniputki ø1400mm, l=2,25m 19x betoniputki ø1600mm, l=2,25m 14x betoniputki ø2000mm, l=2,0m
18 000	118	34x betoniputki ø1400mm, l=2,25m 26x betoniputki ø1600mm, l=2,25m 19x betoniputki ø2000mm, l=2,0m

Taulukko 16. Kerrostalotonttien viivytysjärjestelmävaihtoehdot laatikkoelementeillä

Tontin pinta-ala (m²)	Viivytystilavuus (m³)	Viivytykseen soveltuvat tuotevaihtoehdot
8 000	52	7x laatikkoelementti 2x2m, l=2m 6x laatikkoelementti 2x2,5m, l=2m 5x laatikkoelementti 2x3m, l=2m 4x laatikkoelementti 2x3,5m, l=2m 4x laatikkoelementti 2x4,0m, l=2m 3x laatikkoelementti 2x4,5m, l=2m 5x laatikkoelementti 2,5x2,5m, l=2m 4x laatikkoelementti 2,5x3m, l=2m 3x laatikkoelementti 2,5x3,5m, l=2m 3x laatikkoelementti 2,5x4m, l=2m 3x laatikkoelementti 3x3m, l=2m 3x laatikkoelementti 3x3,5m, l=2m
13 000	85	11x laatikkoelementti 2x2m, l=2m 9x laatikkoelementti 2x2,5m, l=2m 8x laatikkoelementti 2x3m, l=2m 7x laatikkoelementti 2x3,5m, l=2m 6x laatikkoelementti 2x4,0m, l=2m 5x laatikkoelementti 2x4,5m, l=2m 7x laatikkoelementti 2,5x2,5m, l=2m 6x laatikkoelementti 2,5x3m, l=2m 5x laatikkoelementti 2,5x3,5m, l=2m 5x laatikkoelementti 2,5x4m, l=2m 5x laatikkoelementti 3x3m, l=2m 4x laatikkoelementti 3x3,5m, l=2m
18 000	118	15x laatikkoelementti 2x2m, l=2m 12x laatikkoelementti 2x2,5m, l=2m 10x laatikkoelementti 2x3m, l=2m 9x laatikkoelementti 2x3,5m, l=2m 8x laatikkoelementti 2x4,0m, l=2m 7x laatikkoelementti 2x4,5m, l=2m 10x laatikkoelementti 2,5x2,5m, l=2m 8x laatikkoelementti 2,5x3m, l=2m 7x laatikkoelementti 2,5x3,5m, l=2m 6x laatikkoelementti 2,5x4m, l=2m 7x laatikkoelementti 3x3m, l=2m 6x laatikkoelementti 3x3,5m, l=2m

6.3.3 Logistiikkakeskus

Alla olevissa taulukoissa 17 ja 18 on esitetty tonttien pinta-alan mukaisesti lasketut viivytysvaatimukset tonteille sekä ratkaisuesimerkit toteutettuna kohdeyrityksen tuotteilla. Vaihtoehtoina alla oleville viivytystilavuuksille on huomioitu suuremmat putkihalkaisijat sekä laatikkoelementit. Kaivojen hyötytilavuuden on arvioitu olevan kohteeseen riittämätön suhteessa vaadittujen kaivojen määrään. Vaadittujen tuotteiden kappalemäärässä ei ole huomioitu päätyvalujen viemää osuutta tuotteen hyötytilavuudesta eikä laatikkoelementtien sisäpuolisten viisteiden viemää osuutta elementtien hyötytilavuudesta.

Taulukko 17. Logistiikkakeskustonttien viivytysjärjestelmävaihtoehdot pyöreillä putkilla

Tontin pinta-ala (ha)	Viivytystilavuus (m³)	Viivytykseen soveltuvat tuotevaihtoehdot
10	1080	312x betoniputki ø1400mm, l=2,25m 239x betoniputki ø1600mm, l=2,25m 172x betoniputki ø2000mm, l=2,0m
15	1620	468x betoniputki ø1400mm, l=2,25m 358x betoniputki ø1600mm, l=2,25m 258x betoniputki ø2000mm, l=2,0m
20	2160	623x betoniputki ø1400mm, l=2,25m 478x betoniputki ø1600mm, l=2,25m 344x betoniputki ø2000mm, l=2,0m

Taulukko 18. Logistiikkakeskustonttien viivytysjärjestelmävaihtoehdot laatikkoelementeillä

Tontin pinta-ala (ha)	Viivytystilavuus (m³)	Viivytykseen soveltuvat tuotevaihtoehdot
10	1080	135x laatikkoelementti 2x2m, l=2m 108x laatikkoelementti 2x2,5m, l=2m 90x laatikkoelementti 2x3m, l=2m 78x laatikkoelementti 2x3,5m, l=2m 68x laatikkoelementti 2x4,0m, l=2m 60x laatikkoelementti 2x4,5m, l=2m 87x laatikkoelementti 2,5x2,5m, l=2m 72x laatikkoelementti 2,5x3m, l=2m 62x laatikkoelementti 2,5x3,5m, l=2m 54x laatikkoelementti 2,5x4m, l=2m 60x laatikkoelementti 3x3m, l=2m 52x laatikkoelementti 3x3,5m, l=2m
15	1620	203x laatikkoelementti 2x2m, l=2m 162x laatikkoelementti 2x2,5m, l=2m 135x laatikkoelementti 2x3m, l=2m 116x laatikkoelementti 2x3,5m, l=2m 102x laatikkoelementti 2x4,0m, l=2m 90x laatikkoelementti 2x4,5m, l=2m 130x laatikkoelementti 2,5x2,5m, l=2m 108x laatikkoelementti 2,5x3m, l=2m 93x laatikkoelementti 2,5x3,5m, l=2m 81x laatikkoelementti 2,5x4m, l=2m 90x laatikkoelementti 3x3m, l=2m 78x laatikkoelementti 3x3,5m, l=2m
20	2160	270x laatikkoelementti 2x2m, l=2m 216x laatikkoelementti 2x2,5m, l=2m 180x laatikkoelementti 2x3m, l=2m 155x laatikkoelementti 2x3,5m, l=2m 135x laatikkoelementti 2x4,0m, l=2m 120x laatikkoelementti 2x4,5m, l=2m 173x laatikkoelementti 2,5x2,5m, l=2m 144x laatikkoelementti 2,5x3m, l=2m 124x laatikkoelementti 2,5x3,5m, l=2m 108x laatikkoelementti 2,5x4m, l=2m 120x laatikkoelementti 3x3m, l=2m 103x laatikkoelementti 3x3,5m, l=2m

7 VIIVYTYSSÄILIÖIDEN LOGISTIIKAN KUSTANNUSTEN JA KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VERTAILU

7.1 Kohdeyrityksen tuotteiden logistiikka

Kohdeyritys hoitaa tuotteiden logistiikan alihankintana ja kohdeyrityksellä ei ole käytössä omaa kuljetuskalustoa. Tällöin lakien ja säädösten lisäksi suurimpaan toimitettavaan kuormakokoon vaikuttaa kuljetusyrityksen käytössä oleva ajoneuvokalusto. Kohdeyrityksen käyttämän logistiikkayrityksen kuljetuskalusto mahdollistaa joko 15 tonnin, 30 tonnin tai ajoneuvosta riippuen noin 40 tonnin maksimikuormat. Putkien kuljetuksessa käytetään pääsääntöisesti kuormankantokyvyltään 15 tonnin ja 40 tonnin ajoneuvoja ja laatikkoelementtien kuljetuksessa 30 tonnin ja 40 tonnin ajoneuvoja. Huomioitavaa on myös, että kuljetusyhdistelmän kapasiteettia rajoittaa massan lisäksi myös tuotteen fyysinen koko sekä tuotteiden kuormaustapa ajoneuvoon. Tällaisessa tilanteessa ajoneuvoyhdistelmästä loppuu lavatila kesken, vaikka massan suhteen kuormaa voitaisiin ottaa lisää. Halkaisijaltaan yli 1000 mm:n betoniputket kuormataan ajoneuvon lavalle yhteen kerrokseen. Taulukossa 19 on esitetty kuljetusten putkimäärät esimerkkikohteissa käytettävien putkikokojen osalta. Laskennassa on käytetty Dr-luokan betoniputkea.

Taulukko 19. Putkimäärät kuljetuksessa (Logistiikkainsinööri, 2019)

Putki-halkaisija (mm)	Putkien lukumäärä/ täysikuorma 40 t	Putkien lukumäärä/ nuppikuorma 15 t	Täysikuorma kokonaisuudessa (tn)	Nuppikuorma kokonaisuudessa (tn)
1400	10	3	38,770	11,631
1600	8	2	40,264	10,066
2000	6	2	41,316	13,772

Tässä työssä oletetaan laatikkoelementtejä kuljetettavan vaaka-asennossa siten, että elementin pidempi sivu on ajoneuvon lavan suuntaisesti. Tällöin valmistettavien elementtien suurin kuljetuksen muotoon vaikuttava sivu on ulkomitoiltaan 3,5 metriä. Kuljetuksen suurimman leveyden ollessa 3,5 metriä ja yhdistelmäpituuden ollessa 25,25-30 metriä vaaditaan kuljetukselle varoitusauto kuljetusajoneuvon eteen. (ELY-keskus, 2016. s. 12)

Kuormankantokyvyltään 30 tonnin tai 40 tonnin ajoneuvossa voidaan kuljettaa enintään kaksi kappaletta elementtejä ja kahden elementin yhteismassa määrittää käytettävän ajoneuvon siten, ettei ajoneuvon maksimi kuormankantokyky ylitä.

7.1.1 Kohdeyrityksen tuotteiden logistiikan kustannusten muodostuminen

Betonituotteiden logistiikan kustannukset muodostuvat kuljetusmatkan pituudesta, kuljetettavien tuotteiden kokonaismassasta tai kappalemäärästä. Lisäksi kustannuksiin voi vaikuttaa tuotteen fyysinen suuri koko, jolloin kuljetusmuotona on erikoiskuljetus.

Kohdeyrityksellä on sopimushinnasto tuotteiden kuljetuksen hoitavan logistiikkayrityksen kanssa. Kustannuslaskennassa kuljetusetäisyytenä tehtaalta työmaalle on käytetty 100 km:n etäisyyttä. Täyden putkikuorman (40 t) hintana 100 km:n etäisyydelle on käytetty laskennassa 562 € (alv. 0 %). Kaivo- ja putkitoimituksissa nuppikuorman (15 t) hintana 100 km:n etäisyydelle on käytetty laskennassa 221 € (alv. 0 %). (Logistiikkainsinööri, 2019)

Laatikkoelementtien kuljetus on hinnoiteltu tuotteen leveyden ja massan mukaisesti. Tuotteen leveyden ollessa alle 2,6 metriä kuljetuksen hinta on 12,6 €/t 100 km:n etäisyydelle. Tuotteen leveyden ollessa yli 2,6 metriä mutta alle 3,5 metriä hinta on 17,4 €/t 100 km:n etäisyydelle. Hinnat 100 km:n toimitusetäisyydelle sisältävät yhdensuuntaisen matkan ja minimilaskutus on 30 t:n mukaisesti. Kuljetuksen hinnassa ei ole huomioitu kuorman purkua eikä mahdollista odotusaikaa työmaalla. Mikäli laatikkoelementtitoimitus vaatii varoitusajoneuvon kuljetuksen eteen, on varoitusajoneuvon kustannuksena käytetty 100,8 € (alv. 0 %) 100 km:n etäisyydelle yhdensuuntaiselle matkalle. Mikäli kuljetusajoneuvoja on yksi, riittää kuljetukselle yksi varoitusajoneuvo. Mikäli liikkeellä on samanaikaisesti enemmän kuin yksi kuljetusajoneuvo, tulee kuljetuksen etu- ja takapuolella olla varoitusajoneuvo (Ahonen, 2019). Tässä työssä on oletettu suurempien toimitusten kohdalla liikkeellä olevan kolme kuljetusajoneuvoa ja kaksi varoitusajoneuvoa. Missään kuljetuksessa ei laskuteta takaisinajomatkaa. Taulukossa 20 on esitetty hinnat täysille kuormille eri laatikkoelementeille 100 km:n etäisyydelle toimitettuna ilman varoitusajoneuvon kustannuksia.

Taulukko 20. Laatikkoelementtien rahtihinnoittelu

Elementin mitat (mm)	Elementtien määrä kuljetuksessa	Kuljetuksen kuormamassa (t)	Elementtikeruorman kuljetushinta 100 km:n etäisyydelle (€, alv. 0 %)
2000x2000	2	22,68	378,0
2000x2500	2	25,04	378,0
2000x3000	2	27,40	378,0
2000x3500	2	29,76	378,0
2000x4000	2	32,12	404,7
2000x4500	2	34,48	434,4
2500x2500	2	27,40	522,0
2500x3000	2	29,76	522,0
2500x3500	2	32,12	560,5
2500x4000	2	34,48	601,7
3000x3000	2	32,12	560,5
3000x3500	2	34,48	601,7

7.1.2 Kohdeyrityksen tuotteiden logistiikan kasvihuonekaasupäästöjen muodostuminen

Kohdeyrityksen käyttämässä logistiikkayrityksessä on käytössä ajoneuvoja, joiden kuljetuskapasiteetti on 40 tonnia, 30 tonnia ja 15 tonnia. Lipasto -palvelussa on ilmoitettu päästöt vain osalle autotyypeistä. Lipasto -palvelun mukaan tavara-autojen päästöt ovat riittävällä tarkkuudella riippuvaisia auton massasta, voidaan muut kuin taulukoissa ilmoitetut päästöt laskea lineaarisella suhteella käyttäen kaavaa 4:

$$Ex = Ea + ((Eb - Ea):(Mb - Ma)) * (Mx - Ma) \quad (4)$$

jossa: Ex on päästö ajoneuvokilometriä kohden autolla, jonka kokonaismassa on x [g/km], Eb on päästö autolla, jonka kokonaismassa on b [g/km], Ea on päästö autolla, jonka kokonaismassa on a [g/km], Mx on auton x kokonaismassa (t), Mb on auton b kokonaismassa (t) ja Ma on auton a kokonaismassa (t) (Lipasto). Kaavalla 4 lasketut taulukon 6 lähtötiedoilla saadut tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa 21.

Taulukko 21. Tavaraliikenteen päästöt logistiikkayrityksen ajoneuvoilla

Ajoneuvon kokonaismassa/kantavuus (t)	Ajoneuvon päästöt täydellä kuormalla CO ₂ ekv. [g/km]	Ajoneuvon kuormapäästö/ tn CO ₂ ekv. [g/km]	Ajoneuvon päästöt tyhjällä kuormalla CO ₂ ekv. [g/km]
60 t/40 t täysiperävaunu	1205	10,225	796
48 t/30 t puoliperävaunu	1060	12	700
25 t/15 t jakelukuorma-auto	651	11,733	475
2,7 t/1,2 t pakettiauto	208	19,1	185

Taulukossa 21 on esitetty eri ajoneuvoyhdistelmien tuottaman päästöt tyhjällä sekä täydellä kuormalla maantieajossa. Varoitusajoneuvona on oletettu käytettävän diesel -pakettiautoa, jonka kokonaismassa on 2,7 tonnia ja kantavuus 1,2 tonnia. Maantieajossa pakettiauto tuottaa päästöjä keskimäärin 185 g/CO₂ekv. [g/km]. tyhjällä kuormalla (Lipasto). CO₂-ekvivalentti sisältää ajoneuvon tuottamat CH₄, N₂O, ja CO₂ -päästöt. Tässä työssä on oletettu täyden ja tyhjän kuorman välisen päästöeron olevan suoraan verrannollinen kuorman määrään ja tarkkuuden oletetaan riittävän laskennassa.

7.2 Logistiikan kustannukset ja kasvihuonekaasupäästöt kohde-esimerkeissä

7.2.1 Pientalotontti

Pientalotonteille määritettiin vaadittu hulevesien viivytystilavuus ja -tuotteet, joilla vaadittu viivytystilavuus voidaan toteuttaa. Tämän jälkeen on laskettu kuinka monta kuormaa 15 tonnin tai 40 tonnin ajoneuvoyhdistelmällä putki- tai kaivotoimitukset vaativat. Laatikkoelementtien toimitus suoritetaan kuormankantokyvyltään 30 tonnin tai 40 tonnin ajoneuvolla. Kuormat pyritään toimittamaan täysinä kuormina ja täydestä kuormasta ylijäävä osuus toimitetaan kuormankantokyvyltään pienimmällä ajoneuvolla, mikä on mahdollista ilman, että kuormankantokyky ylittyy. Päästöjen laskennassa on huomioitu kuljetuskapasiteetin suhteen vajaat kuormat. Vajaiden kuormien toimitusten päästöt on laskettu lisäämällä tyhjän ajoneuvon päästömäärään toimitettavan kuorman massan mukainen päästömäärä. Laskennassa käytettyjen tuotteiden massat eivät sisällä säiliöratkaisun kantta tai pohjaa, koska ratkaisuja voidaan käyttää myös maaperäimeytykseen, mikäli paikalliset olosuhteet niin sallivat. Putkista rakennettavissa viivytys säiliöissä ei ole huomioitu päätytulppien valujen massoja, koska paikalliset

olosuhteet määrittävät kuinka moneen riviin säiliö voidaan rakentaa kohteessa ja tämän takia päätytulppavalujen massaa ei ole huomioitu laskennassa.

Pientalojen toimitukset ovat pienimuotoisia ja kaikki toimitukset on mahdollista toimittaa yhdellä kuormalla. Laskennan tuloksista on havaittavissa, että pienimmissä kohteissa päästöjen ja kustannusten välillä ei ole juurikaan eroja. Viivytystilavuusvaatimuksen ollessa 18 m^3 , kuljetuksista aiheutuvien CO_2 -ekvivalenttipäästöjen vaihteluväli on 90,7-107,8 kg kuljetuskustannusten vaihteluvälin ollessa 378-622,8 € (alv. 0 %). Pientalotontin toimitusten päästöt ja kustannukset on esitetty liitteessä 1.

7.2.2 Kerrostalotontti

Kerrostalotonttien kohdalla noudatettiin samaa laskentatapaa kuin pientalotonttien kohdalla, mutta vaihtoehtoisena ratkaisuna kaivotuotteista rakennettavat viivytyssäiliöt jätettiin pois niiden pienen tilavuuskapasiteetin vuoksi. Kerrostalotonttien viivytyssäiliöt toteutetaan halkaisijaltaan 1400 mm tai suuremmista putkituotteista tai laatikkoelementeistä. Mikäli laatikkoelementin lyhyempi sivu on sisämitaltaan kolme metriä, vaatii kuljetus varoitusauton. Laskennassa on huomioitu varoitusajoneuvon kustannukset sekä päästöt. Päästölaskennassa ei ole huomioitu viivytyssäiliöiden kansistoratkaisuja, eikä päätytulppavalujen lisämassaa.

Kerrostalotonttien tuloksista on havaittavissa, että päästöt skaalautuvat suhteessa vaaditun viivytyssäiliövaatimuksen kanssa. Kun säiliö toteutetaan putkituotteilla viivytysvaatimuksen ollessa 118 m^3 , päästöjen vaihteluväli on 421,1-457,1 kg CO_2 -ekv. kustannusten vaihteluvälin ollessa 1907-2248 € (alv. 0 %). Vastaavan kokoisen säiliön kuljetusten päästöjen vaihteluväli laatikkoelementeillä toteutettuna on 344,6-764,1 kg CO_2 -ekv. kustannusten vaihteluvälin ollessa 1619-3024 € (alv. 0 %). Laskennan tulokset on esitetty liitteessä 2.

7.2.3 Logistiikkakeskus

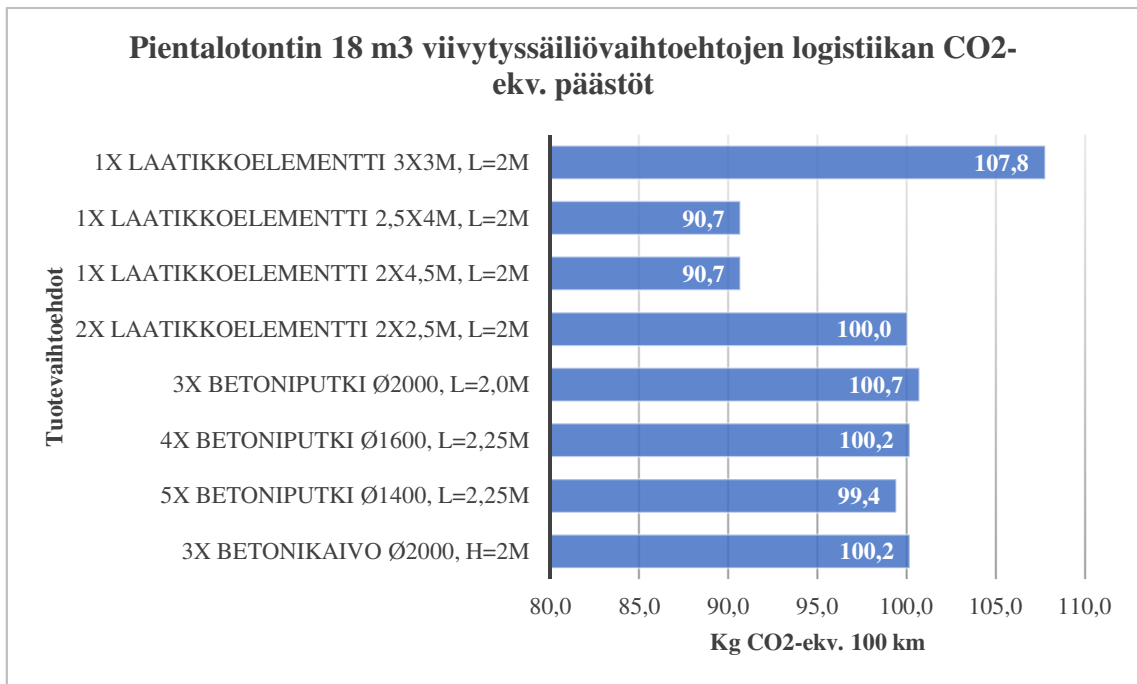
Logistiikkakeskuksen kohdalla laskennassa noudatettiin samaa laskentamenetelmää kuin kerrostalotonttien kohdalla. Kun säiliö toteutetaan putkituotteilla viivytyksvaatimuksen ollessa 2160 m³, päästöjen vaihteluväli on 7,0-7,5 t CO₂-ekv. kustannusten vaihteluvälin ollessa 32 255-35 065 € (alv. 0 %). Vastaavan kokoisen säiliön kuljetusten päästöjen vaihteluväli laatikkoelementeillä toteutettuna on 6,2-13,1 t CO₂-ekv. kustannusten vaihteluvälin ollessa 26 067-51 030 € (alv. 0 %). Laskennan tulokset on esitetty liitteessä 3.

8 TULOKSET JA ANALYYSI

8.1 Logistiikan kasvihuonekaasupäästöjen vertailun tulokset

Eri kokoisten tonttien viivytysjärjestelmävaihtoehtojen logistiikan kasvihuonekaasupäästöjä vertailtiin laskemalla säiliöiden tehtaalta työmaalle tapahtuvan logistiikan hiilidioksidiekvivalenttipäästöt. Laskennan pohjana käytettiin kohdeyrityksen käyttämän logistiikkayrityksen betonituotteiden kuljetuksessa käyttämää ajoneuvokantaa sekä VTT:n Lipasto-palvelun keskiarvohiilidioksidiekvivalenttipäästöjä eri ajoneuvoille. Laskennassa käytettiin kolmea esimerkkikohdetta, joihin oli määritetty kolme eri tonttikokoa. Laskennan tulokset on esitetty liitteissä 1-3.

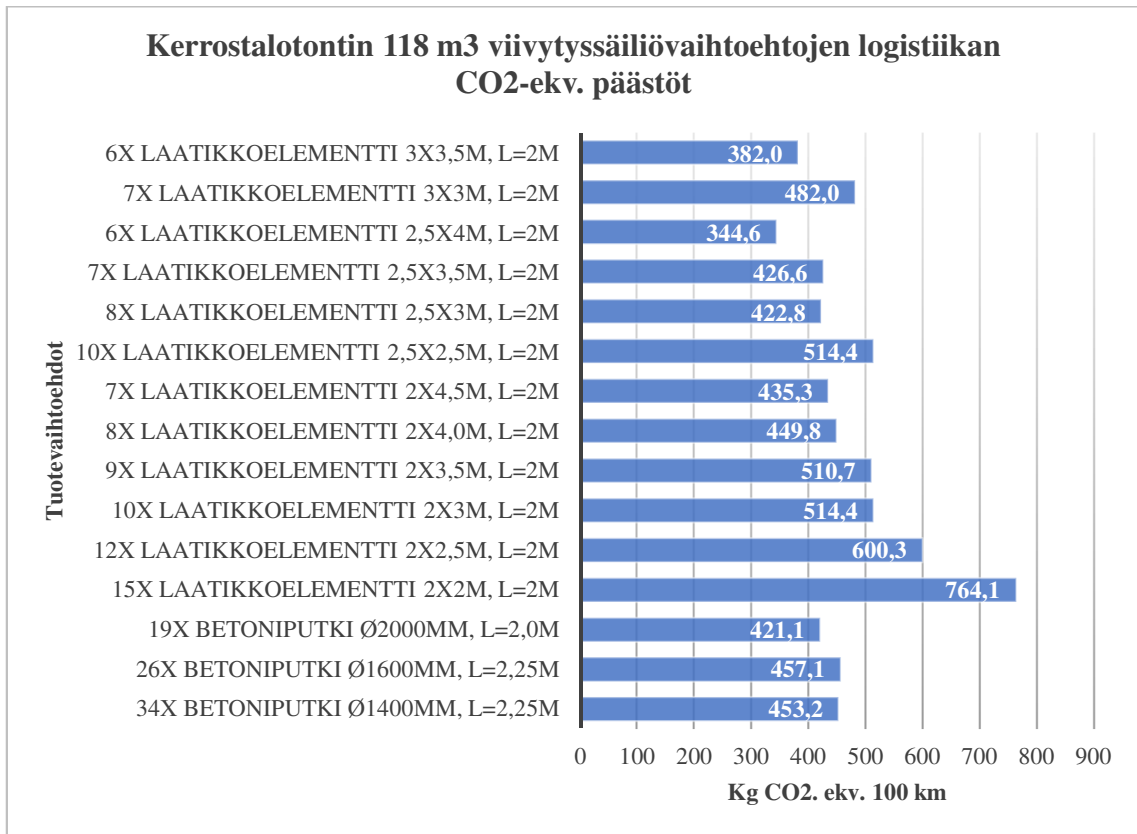
Pientalotonttikohteen osalta betonikaivojen ja betoniputkien kuljetuksen päästöjen välillä havaittavat erot ovat hyvin vähäisiä. Tuloksissa saatiin havaittavia eroja, kun tonttiesimerkille laskennallisesti vaadittu säiliön viivytystilavuus oli $7,8 \text{ m}^3$, jolloin vaihtoehtoiseksi viivytyssäiliöratkaisuksi tuli laatikkoelementti, jolloin kasvihuonekaasupäästöjen vaihteluväli betoniputkien, kaivojen ja laatikkoelementin välillä oli $57,3\text{-}83,6 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}$. laatikkoelementin kuljetuksen päästöjen ollessa suurin. Laatikkoelementin kuljetuksesta aiheutuu eniten päästöjä, koska elementti kuljetetaan kantavuudeltaan 30 tonnin puoliperävaunulla muiden kuljetusten ollessa mahdollisia kantavuudeltaan 15 tonnin jakelukuorma-autolla. Vaaditun viivytystilavuuden ollessa 18 m^3 eri säiliöratkaisuiden kuljetusten päästöerot tasoittuvat päästöjen vaihteluvälin ollessa $90,7\text{-}107,8 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}$. Vähiten logistisia päästöjä tuottaa kooltaan $2,5 \times 4 \text{ m:n}$ laatikkoelementti. Laskennassa havaittiin, että vähiten kuljetuksen päästöjä tuottaisi vähimmäisleveydeltään 3 metriä leveä laatikkoelementti päästöjen ollessa $89,27 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}$., mutta lainsäädäntö vaatii $3,5 \text{ m}$ leveän kuljetuksen vuoksi varoitusajoneuvon, joka lisää päästöjen määrää $18,5 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}$. 100 km:n ajoetäisyydelle, jolloin toteutusvaihtoehtona $2,5 \times 4 \text{ m}$ -kokoisen elementin kuljetus tuottaa päästöjä $90,7 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}$. Kuvassa 14 on esitetty $18 \text{ m}^3\text{:n}$ viivytyssäiliön logistiikan $\text{CO}_2\text{-ekvivalenttipäästöt}$ eri tuotevaihtoehdoilla toteutettuna kuljetettuna 100 km:n etäisyydelle.



Kuva 14. Pientalotontin 18 m³:n viivytysväliovaihtoehtojen logistiikan CO₂-ekvivalenttipäästöt

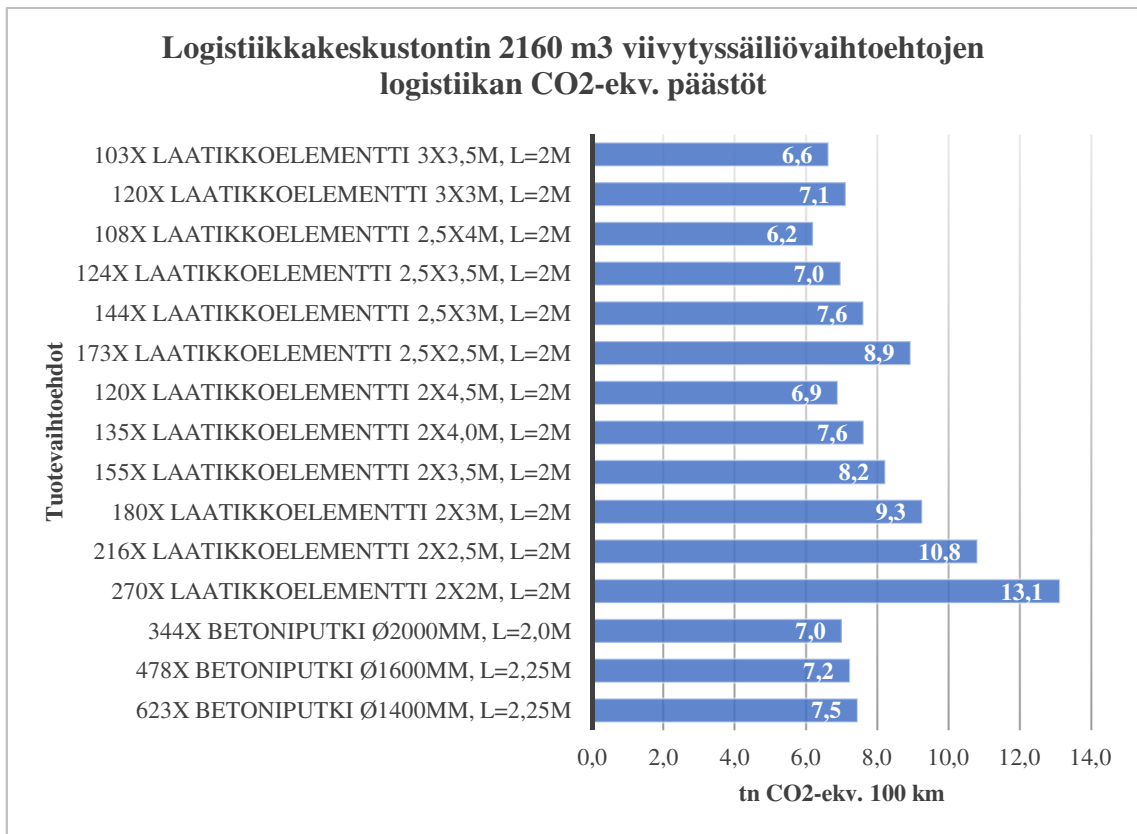
Kerrostalotonttien viivytysjärjestelmävaihtoehtojen kohdalla toteutusvaihtoehtona kaivot jätettiin vertailusta pois, koska niiden oletettiin olevan teholliselta tilavuudeltaan riittämättömiä. Laskennassa havaittiin, että tulokset skaaloutuivat eri kohde-esimerkkien välillä suorassa suhteessa vaadittuun viivytystilavuuteen. Kuljetuksesta muodostuvien päästöjen minimoimiseksi tulee pyrkiä kuljettamaan maksimikuormia. Kuljetusmuotoina putkikuormille olivat 15 tonnin jakeluauto sekä 40 tonnin täysiperävaunuajoneuvo, laatikkoelementtien osalta 30 tonnin puoliperävaunu sekä 40 tonnin täysiperävaunuajoneuvo. Mikäli täydestä ajoneuvokuormasta jäi kuljetettavia tuotteita toiseen kuormaan, oletettiin toisen kuljetuksen tapahtuvan kuormankantokyvyltään pienimmällä mahdollisella ajoneuvolla maksimi kuormankantokyvyn ylittymättä. Viivytysjärjestelmän tilavuusvaatimuksen ollessa 118 m³ logistiikan kasvihuonekaasupäästöjen vaihteluväli oli 344,6-764,1 kg CO₂-ekv. Betoniputkista vähiten päästöjä tuotti halkaisijaltaan 2000 mm:n betoniputki. Kooltaan 2,5x4 m laatikkoelementti tuottaa vähiten päästöjä logistisesti, mutta muut laatikkoelementit kuin 2,5x4 m ja 3x3,5 m, tuottavat enemmän päästöjä kuin halkaisijaltaan 2000 mm:n putki. Mikäli kohteessa on mahdollista käyttää vähiten logistisesti päästöjä tuottavaa tuotevaihtoehtoa, laatikkoelementtiä kooltaan 2,5x4 m, on

mahdollista vähentää CO₂-ekvivalenttipäästöjä 54,9 %. Tulokset on esitetty kaikkien tonttikoesimerkkien osalta liitteessä 2 ja 118 m³ säiliön osalta kuvassa 15.



Kuva 15. Kerrostalotontin 118 m³ viivytyssäiliövaihtoehtojen logistiikan CO₂-ekvivalenttipäästöt

Logistiikkakeskuksen viivytyssäiliövaihtoehtojen tulokset skaalautuivat johdonmukaisesti toteutettavan järjestelmän tilavuuden mukaisesti. Myös tässä kohde-esimerkissä kaivot oli jätetty ratkaisuvaihtoehtona pois. Viivytyssäiliövaihtoehtojen logistiikan CO₂-ekvivalenttipäästöjen vaihteluväli oli 6,2-13,1 tn CO₂-ekv. Vähiten päästöjä tuotti kooltaan 2,5x4 m laatikkoelementeillä toteutettu säiliö. Eniten päästöjä aiheutui 2x2 m laatikkoelementeillä toteutetusta säiliöstä. Putkituotteista rakennettu säiliö aiheuttaa vähemmän päästöjä kuin osa laatikkoelementeillä toteutetuista vaihtoehdoista. Vähiten päästöjä putkilla rakennetuista säiliöistä tuottaa halkaisijaltaan 2000 mm:n putkista rakennettu säiliö. Kaikkien logistiikkakeskuksen tonttivaihtoehtojen laskennan tulokset on esitetty liitteessä 3. Kuvassa 16 on esitetty 2160 m³ viivytyssäiliövaihtoehtojen logistiikan CO₂-ekvivalenttipäästöt.



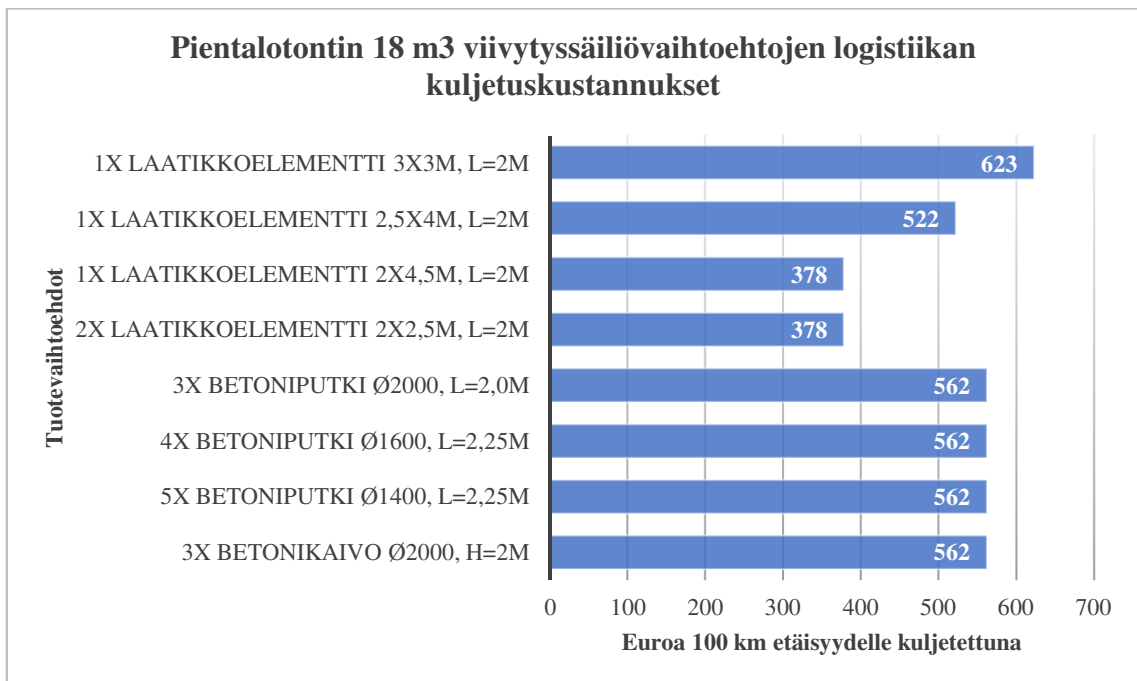
Kuva 16. Logistiikkakeskustontin 2160 m³ viivytysväilyvaihtoehtojen logistiikan CO₂-ekvivalenttipäästöt

8.2 Logistiikan taloudellisen vertailun tulokset

Eri kokoisten tonttien viivytysjärjestelmävaihtoehtojen logistiikan kuljetuskustannuksia vertailtiin laskemalla säiliöiden tehtaalta työmaalle tapahtuvan logistiikan kustannukset. Laskennan pohjana käytettiin kohdeyrityksen käyttämän logistiikkayrityksen betonituotteiden kuljetuksessa käyttämää ajoneuvokantaa sekä kuljetushinnastoja eri ajoneuvoille ja eri tuotteille. Laskennassa käytettiin kolmea esimerkkikohdetta, joihin oli määritetty kolme eri tonttikokoa. Putki ja kaivokuormien laskennassa käytettiin kuljetuksen hintana täyden kuorman hintaa 15 tonnin ja 40 tonnin ajoneuvoilla, vaikka kuorma olisi vajaa. Laatikkoelementtien kohdalla kuljetuksen hinnoitteluun vaikuttaa kuljetettavan elementin leveys sekä massa, minimilaskutuksen ollessa 30 tonnin kuorman mukaisesti ja kuljetuksessa käytettävien ajoneuvojen ollessa kuormankantokyvyltään 30 tonnin tai 40 tonnin ajoneuvoja. Mikäli kuljetuksen leveys on 3,5 metriä, vaatii kuljetus varoitusauton, joka on sisällytetty kuljetuksen hintaan. Mikäli kokonaistoimituserä on suuri, on oletettu etu-

ja takapuolella kulkevien varoitusajoneuvojen välissä olevan kolme kuljetusajoneuvoa. Laskennan tulokset on esitetty liitteissä 1-3.

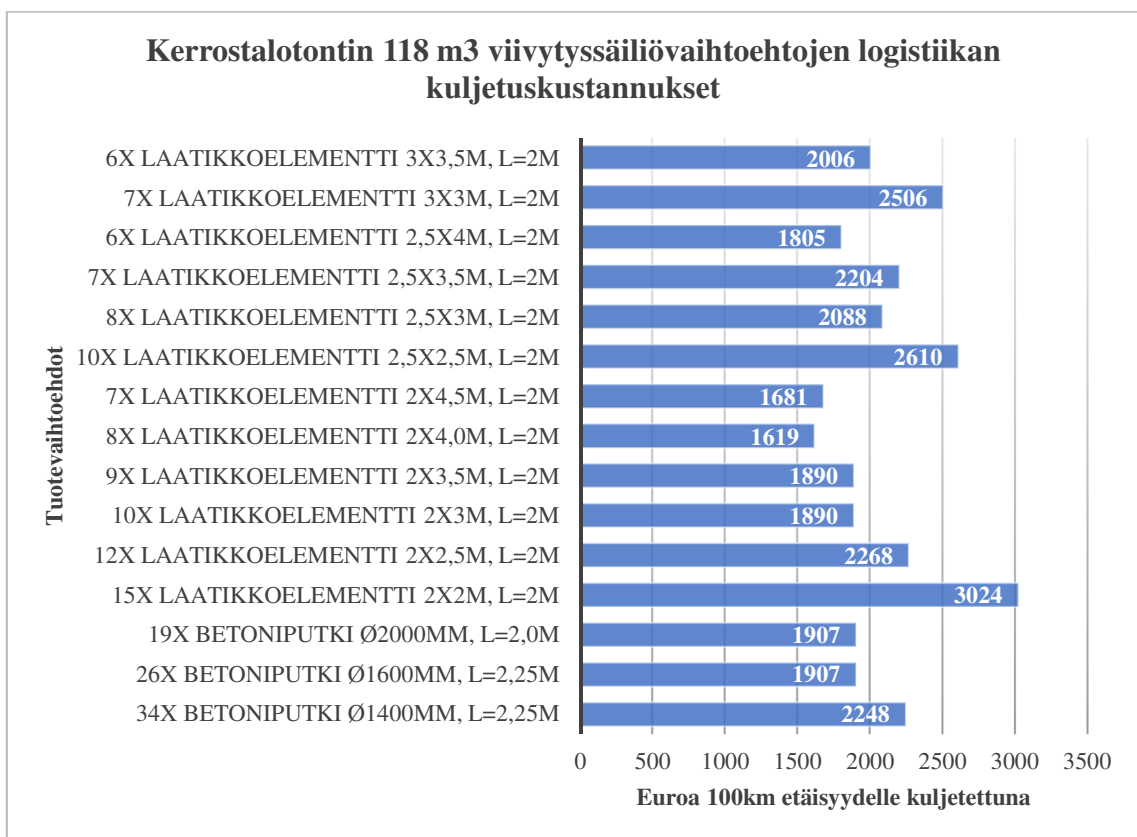
Pientalotontin 7,8 m³:n tai pienemmän säiliön kuljetuskustannuksissa ei ollut havaittavia eroja, kun säiliö toteutetaan kaivoilla tai putkilla, sillä vaihtoehdot voidaan kuljettaa 15 tonnin jakelukuorma-autolla. Laatikkoelementillä toteutettaessa hinta on korkeampi, sillä sen kuljetuksessa käytetään 30 tonnin ajoneuvoa. Säiliökoon ollessa 18 m³ laatikkoelementti on edullisempi toteutusvaihtoehto logistisesti kuin putki- tai kaivotuotteet säiliön toteutusvaihtoehtoina. Edullisin ratkaisu on lyhyemmältä sivultaan ulkomitoiltaan alle 3,0 metriä leveä laatikkoelementti, sillä niiden kuljetus voidaan suorittaa 30 tonnin ajoneuvolla ilman varoitusajoneuvoa kuljetushinnan ollessa myös edullisempi elementin ulkopinnan leveyden ollessa alle 3 metriä. Laskennan tulokset 18 m³ säiliöstä on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Pientalotontin 18 m³ viivytys säiliövaihtoehtojen logistiikan kuljetuskustannukset

Kerrostalotonttien kohdalla kaivotuotteet jätettiin vertailusta pois, sillä niiden oletettiin olevan tilavuudeltaan riittämättömiä kohteen toteuttamiseksi. Laskennassa havaittiin tulosten skaalautuvan säiliökoon kasvaessa. Laskennan tulokset on esitetty liitteessä 2. Tarkasteltaessa 118 m³ viivytys säiliövaihtoehtojen kuljetuskustannuksia kustannusten

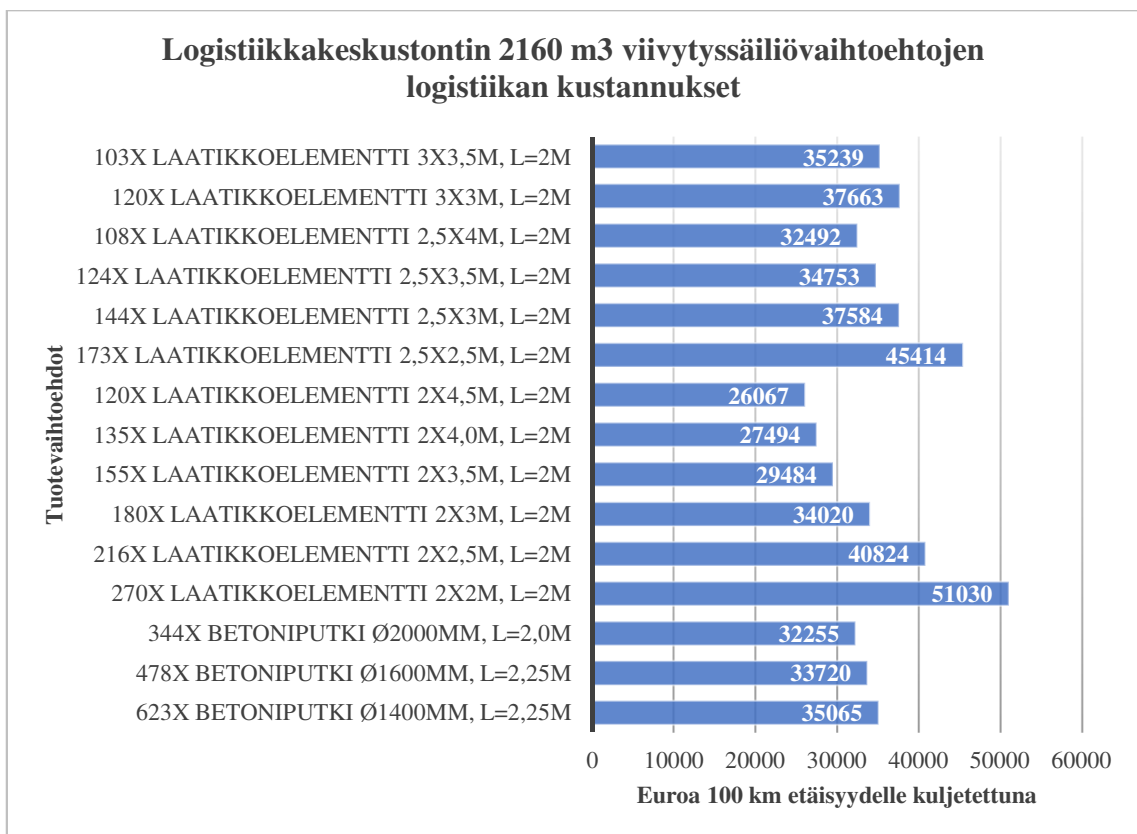
vaihteluväli on 1619-3024 euroa. Kuljetuskustannuksiltaan edullisimpien ratkaisuiden voidaan todeta olevan 2x4 m sekä 2x4,5 m elementit kustannusten ollessa alle 1700 euroa. Putkituotteista eniten kustannuksia syntyy toteutettaessa säiliö halkaisijaltaan 1400 mm putkilla. Putkituotteista halkaisijaltaan 1600 mm ja 2000 mm putkista muodostuu vähemmän kustannuksia kuin osasta laatikkoelementtejä. Vähiten kuljetuskustannuksia syntyy elementin lyhyemmän sivun ollessa 2 metriä ja pidemmän sivun 4 metriä tai enemmän. Logistiikan kustannukset 118 m³ säiliön osalta on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Kerrostalotontin 118 m³ viivytys säiliövaihtoehtojen logistiikan kuljetuskustannukset

Logistiikkakeskustontin viivytys säiliövaihtoehtojen kustannukset ovat verrannollisia säiliön kokoon. Laskennan tulokset on esitetty liitteessä 3. Tarkasteltaessa 2160 m³ säiliön toteutusvaihtoehtojen logistisia kustannuksia voidaan kustannusten vaihteluvälin todeta olevan 26 067-51 030 euroa toteutusvaihtoehdosta riippuen. Edullisin toteutusvaihtoehto logistisesti on 2x4,5 m elementti, jota käyttämällä toteutuksessa voidaan saada aikaan lähes 49 % säästöjä kuljetuskustannuksissa verrattuna kalleimpaan toteutusvaihtoehtoon.

Hyötytilavuudeltaan suuremmasta 3x3,5 m elementistä muodostuu enemmän kuljetuskustannuksia johtuen elementtien vaatimasta suuremmasta kuljetusajoneuvosta sekä varoitusajoneuvojen käytöstä. Putkituotteista halkaisijaltaan 2000 mm putkista muodostuu vähiten kustannuksia, mutta enemmän kuin 2x3,5 m, 2x4 m tai 2x4,5 m elementtien kuljettamisesta. Logistiikkakeskustontin 2160 m³ viivytyssäiliövaihtoehtojen logistiikan aiheuttamat kustannukset on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Logistiikkakeskustontin 2160 m³ viivytyssäiliövaihtoehtojen logistiikan kuljetuskustannukset

8.3 Tulosten analysointi

Diplomityön tärkeimpänä tavoitteena oli selvittää eri tuotevaihtoehdoilla toteutettavissa olevien viivytyssäiliöratkaisujen logistiikasta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt sekä selvittää logistiikasta aiheutuvien kustannusten kannalta edullisin toteutusvaihtoehto. Kohde-esimerkkeihin laskettiin vaadittavan viivytyssäiliön tilavuusvaatimus ja viivytyssäiliön toteuttamiseen valittiin soveltuvat tuotteet kohdeyrityksen tuotevalikoimasta.

Kohdeyrityksen käyttämän logistiikkayrityksen betonituotteiden kuljettamiseen soveltuvan kuljetuskaluston päästöt selvitettiin laskennallisesti hyödyntäen olemassa olevaa VTT:n ylläpitämää Lipasto -tietokantaa. Hiilidioksidiekvivalenttipäästöt ja kuljetuskustannukset laskettiin esimerkkikohteisiin ajoneuvokuormittain.

Vähiten kasvihuonekaasupäästöjä syntyy toteuttamalla viivytyssäiliö kooltaan 2,5x4 m laatikkoelementillä. Kuvasta 16 on todettavissa, että elementin tilavuuden kasvaessa kuljetuksesta syntyvien päästöjen määrä vähenee, mutta lainsäädännöstä johtuen esimerkiksi 3x3,5 m elementtien kuljettaminen vaatii varoitusajoneuvon käyttöä, minkä takia kuljetuksen päästöt nousevat kokonaisuudessaan 2,5x4 m elementtiä suuremmaksi. Putkituotteilla toteutetun viivytyssäiliön kuljetuksen kasvihuonekaasupäästöt ovat pienimmillään käytettäessä mahdollisimman suurta putkikokoa, joka kohdeyrityksellä on halkaisijaltaan 2000 mm. Eniten päästöjä syntyy toteutettaessa viivytyssäiliö 2x2 m laatikkoelementillä, mikä johtuu siitä, että teholliselta tilavuudeltaan pienemmän elementin kuljetus tapahtuu 30 tonnin ajoneuvolla ja kuljetukseen mahtuu enimmillään kaksi kappaletta elementtejä, jolloin kuljetuseriä muodostuu enemmän verrattaessa suurempaan laatikkoelementtiin tai putkituotteeseen.

Tilavuusvaatimukseltaan pienimmissä kohteissa toteutettaessa säiliöratkaisu kaivotuotteilla ei kuljetuksen muodostamisessa päästöissä ollut merkittävää eroa, mutta säiliökoon kasvaessa ja toimitettavan tuotemäärän lisääntyessä eroja alkaa syntyä ja tällöin merkittävä ero päästöissä syntyy eri tuotteiden kuljetukseen käytettävien eri kuljetusajoneuvojen päästöistä. Tuloksista on havaittavissa, että kuljetus tulee suorittaa pienimmällä mahdollisella kuljetusajoneuvolla ilman, että ajoneuvon sallittu maksimikuormamäärä ei ylity. Tällöin erot kuljetusten päästö määrissä ovat riippuvaisia kuljetusyrityksen ajoneuvokalustosta.

Logistiikasta aiheutuvia kustannuksia muodostuu vähiten toteuttamalla viivytyssäiliövaihtoehto 2x4,5 m laatikkoelementillä. Putkituotteista vähiten kuljetuskustannuksia muodostuu toteuttamalla säiliö halkaisijaltaan 2000 mm betoniputkella. Suurimmat kuljetuskustannukset syntyvät, kun säiliö toteutetaan 2x2 m laatikkoelementillä. Kuljetuskustannuserot laatikkoelementtien välillä ovat riippuvaisia elementin kuljetuksen hinnoittelusta elementin leveyden mukaan. Elementin lyhyemmän

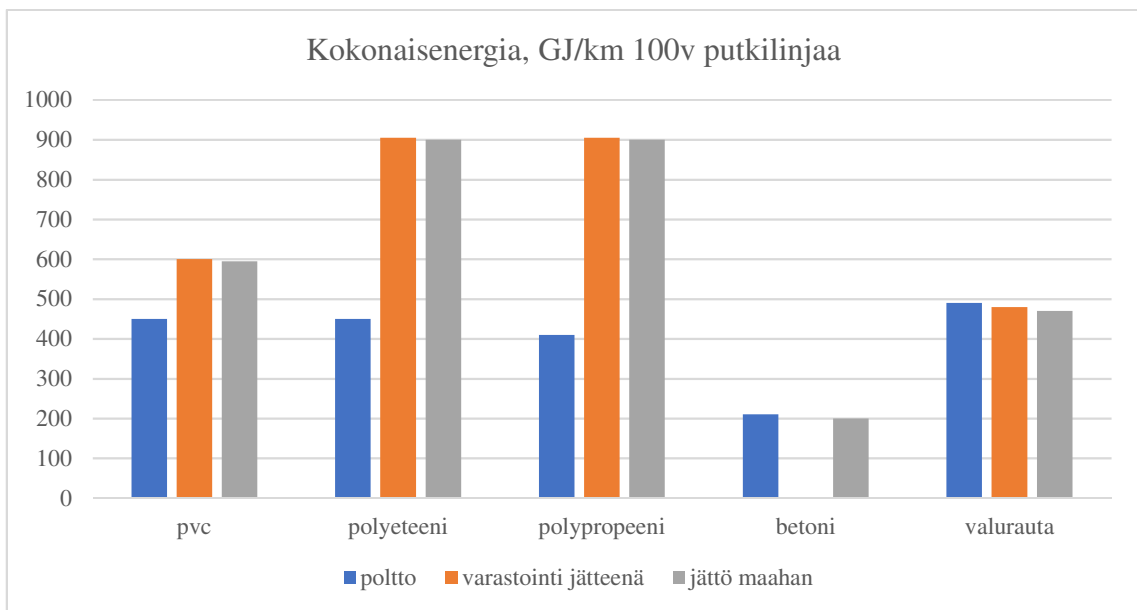
sivun leveyden ollessa enemmän kuin 2,5 metriä ovat elementin kuljetuskustannukset vähäisemmät. Elementin leveyden ollessa 3 metriä vaatii kuljetus varoitusajoneuvon, mikä aiheuttaa lisäkuluja. Pienimmissä kohteissa ei ollut merkittävää eroa kuljetuskustannuksissa kaivo- tai putkituotteiden välillä laatikkoelementin kuljetuksen ollessa kustannuksiltaan kallein, mutta säiliökoon kasvaessa säiliön toteuttaminen laatikkoelementeillä muodostuu edullisemmaksi, johtuen kuljetukseen käytettävistä ajoneuvoista ja kuljetusten hinnoittelusta.

Tätä diplomityötä tehtäessä on tehty lukuisia oletuksia, joilla voi olla vaikutusta laskennallisiin tuloksiin. Tuloksiin vaikuttava tekijä on logistiikkayrityksen käyttämä ajoneuvokalusto. Työssä on käytetty laskennassa putki- ja kaivokuljetuksiin kuormankantokyvyltään 15 tonnin ja 40 tonnin ajoneuvoja ja laatikkoelementtien kuljetuksiin 30 tonnin ja 40 tonnin ajoneuvoja. Mitä enemmän ajoneuvo pystyy kerralla kuljettamaan kuormaa sitä vähemmän päästöjä se tuottaa suhteessa kuorman massaan. Mikäli kuormasta ylijääviä tuotteita joudutaan kuljettamaan massaansa nähden kuormankantokyvyltään liian suurella ajoneuvolla vajaalla kuormalla, se aiheuttaa suhteessa enemmän päästöjä kuin kuljetettaessa pienemmällä ajoneuvolla, jossa toimitettavien tuotteiden massa on suhteessa kuormankantokykyyn suurempi. Laatikkoelementtien kuljetuksen on oletettu tapahtuvan vaaka-asennossa, mutta se ei välttämättä ole mahdollista, mikäli elementtiä ei ole mahdollista kääntää työmaalla pystyasentoon rakennettaessa vaaka-asenteista viivytys säiliötä. Putkikuormien laskennassa täyden kuorman putkimäärät ylittävät halkaisijaltaan 1600 mm ja 2000 mm putkilla sallitun suurimman kuormamassan. Suurin kuormamäärä riippuu käytännössä kuljettajasta sekä käytettävästä ajoneuvosta. Mikäli maksimikuormamääränä laskennassa olisi käytetty 40 tonnia, olisi se lisännyt putkikuormien logistiikasta muodostuvien päästöjen määrää.

Viivytys säiliöiden kuljetuksen kokonaismassassa ei ole huomioitu säiliöiden päätyvaluja, huoltokuiluja eikä kaivojen kohdalla kansistoja eikä pohjavaluja, joilla kaikilla on kokonaismassaa ja mahdollisesti kuljetuseriä lisäävä vaikutus. Tällöin pienemmissä kohteissa voi syntyä eroa kuljetusten kustannusten ja päästömäärien välillä. Pienemmissä kohteissa eroa syntyy myös, että viivytys säiliövaihtoehdot laskettiin standardikokoisilla tuotteilla, jolloin pientä säiliötä tilavuuksiltaan suurilla elementeillä toteutettaessa voi syntyä

tilanne, jolloin säiliössä on enemmän viivytystilavuutta kuin olisi tarpeen, että vaadittu minimi-tilavuus toteutuu. Kerrostalotonttien ja logistiikkakeskuksen tuloksia voidaan kuitenkin pitää riittävän luotettavina, koska suuremmissa toimituserissä lisäkustannuksia ja lämpöpäästöjä aiheuttavilla vajailloilla kuormilla on vähäisempi vaikutus. Kohde-esimerkkien ollessa fiktiivisiä, on oletettu viivytyssäiliöratkaisun olevan toteutettavissa kaikilla tuotteilla. Pientalotonttikohteita lukuun ottamatta kaivot jätettiin vertailusta pois, koska niiden tehollinen tilavuus suhteessa kaivon vaatimaan pinta-alaan koettiin olevan riittämätön. Paikalliset olosuhteet, kuten esimerkiksi liityntäviemäriin korkoasema suhteessa ympäröivän alueen maanpintaan sekä käytettävissä oleva maapinta-ala, rajaavat osan tuotteista toteutusvaihtoehtona pois. Yleensä hulevesiviemärit asennetaan maaperään matalalla peittosyvyydellä ja tällöin viivytyssäiliön halkaisija ei voi olla kovin paljoa runkoviemäriä suurempi, mikäli säiliön halutaan tyhjentävän kokonaan. Viivytyssäiliön rakentamiseen soveltuvat tuotevaihtoehdot on tarkasteltava tapauskohtaisesti suunnittelun yhteydessä, jolloin määräävät paikalliset olosuhteet ovat tiedossa.

Rakennetuilla alueilla on suuri vaikutus ympäristönsä vesitaseeseen. Hulevesien hallinnan tavoitteena on vähentää syntyvien hulevesien määrää, mikä on mahdollista toteuttaa vettä läpäisevillä materiaaleilla sekä viherrakenteilla. Viherkattojen arvioidaan mahdollisesti pienentävän kattovesien määrää jopa 50 %. Vettä läpäisevän asfaltin ilmoitetaan sitovan jopa 30 % sadevedestä, joka suotautuu hitaasti maaperään asfaltista. Myös vettä läpäisevästä betonista voidaan rakentaa esimerkiksi pihakivetyksiä. Viivytyjärjestelmät eivät poissulje muita hulevesien hallintamenetelmiä. Tehokkaita yhdistelmiä hulevesien hallintaan voisi löytyä yhdistämällä samalle tontille viherkattorakenteita, vettä läpäisevää asfalttia sekä viivytyssäiliöitä rankkasateiden tasaamiseen. Tällöin voitaisiin pienentää viivytyssäiliöiltä vaadittuja tilavuuksia huippuvirtaamien tasaamiseksi, mikä taas vähentää viivytyssäiliöiden logistiikasta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Betoni on varteenotettava materiaalivaihtoehto pitkän käyttöikänsä ja vähäisten ympäristövaikutusten vuoksi. Kuvassa 20 on esitetty eri viemärintimateriaalien valmistukseen kulunut energiamäärä, kun viemäriä on rakennettu kilometrin pituinen matka ja käyttöikänsä ollessa 100 vuotta.



Kuva 20. Viemärimateriaalin valmistukseen käytetty energiamäärä (Forsman et al. 2018. s. 115)

Vuonna 2013 tehdyn vesi- ja viemäriputkimateriaalien elinkaarianalyysin mukaan halkaisijaltaan alle 61 cm putkissa pallografiittivalurauta aiheutti eniten päästöjä ja halkaisijaltaan yli 76 cm putkissa PVC. Analyysissä olivat mukana PVC, pallografiittivalurauta, valurauta, HDPE, betoni ja vahvistettu betoniputki. Betoniputken elinkaaren GWP-päästöt olivat alhaisimmat. (Du, 2013)

9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulevaisuudessa yhä useampi suomalainen asuu asukastihentymässä, jossa veden luontainen kiertokulku on muuttunut vettä läpäisemättömien pintojen vaikutuksesta. Kasvihuoneilmiön vaikutuksen seurauksena ilmaston lämmitessä sademäärien ennustetaan kasvavan ja rankkasateiden voimistuvan 10-25 %, mikä lisää tulvariskiä. Varautuminen sää- ja vesiolosuhteiden muutoksiin sekä ääri-ilmiöihin on yhteiskunnassa yhä tärkeämpää, sillä tulvat muodostavat merkittävän taloudellisen riskin yhteiskunnalle.

Sementin valmistusprosessin maailmanlaajuiset hiilidioksidipäästöt vuonna 2016 vastasivat 4 prosenttia maailman fossiilisten polttoaineiden päästöistä. Sementin valmistuksen kehittyessä valmistukseen kuluva energiamäärä on pudonnut lähes puoleen verrattuna vuoteen 1960 ja nykyisin valmistuksen hiilidioksidipäästöt Suomessa ovat alle 1 % Suomen koko hiilidioksidipäästöistä. Tehokkain keino vähentää ympäristöpäästöjä infrarakentamisessa on kuljetusten huolellinen suunnittelu.

Tämän diplomityön tarkoituksena oli selvittää kohdeyrityksen valmistamien hulevesien viivytyssäiliöiden tehtaalta työmaalle tapahtuvan logistiikan kasvihuonekaasupäästöt sekä logistiikasta aiheutuvat kustannukset. Tulosten avulla kohdeyritys voi tunnistaa valmistamiensa tuotteiden kuljettamisen kasvihuonekaasupäästöjen merkittävyyden liiketoimintansa kehittämisen näkökulmasta, tunnistaa vähiten logistisesti kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavan viivytyssäiliöiden valmistamisessa käytettävän tuoteratkaisun sekä ohjata tuotteilla tapahtuvaa infrasuunnittelua ympäristöystävällisempään suuntaan.

Diplomityöhön on kerätty tietoa erilaisista hulevesien hallintamenetelmistä, hulevesien hallinnassa käytettävistä tuotteista, hulevesien mitoituksesta sekä logistiikan päästöistä. Diplomityön tarkoituksena on osoittaa vähiten logistisesti päästöjä ja kustannuksia aiheuttavat kohdeyrityksen tuotevaihtoehdot hulevesien viivyttämisessä käytettävistä tuotteista. Yritys voi etsiä keinoja päästöjen vähentämiseksi tämän diplomityön pohjalta tai käyttää sitä osana selvittäessään betonituotteiden elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia.

Kohdeyrityksessä valmistetaan hulevesien viivytyjärjestelmiä betonisista kaivoista, putkista tai laatikkoelementeistä. Työssä valittiin kolme kohde-esimerkkiä, joina toimivat pientalotontti, kerrostalotontti ja logistiikkakeskus. Jokaiseen kohteeseen mitoitettiin viivytyjärjestelmät sekä valittiin niiden toteuttamiseen soveltuvat tuotevaihtoehdot. Tuotevaihtoehtojen logistiikan hiilidioksidiekvivalenttipäästöt ja kustannukset laskettiin ja vertailtiin. Pientalotonttien kohdalla ei havaittu suuria eroja tuloksissa eri tuotteiden välillä. Suuremman mittakaavan kohteissa eli kerrostalotontin ja logistiikkakeskuksen kohdalla tuloksissa havaittiin selviä eroja eri tuotteilla toteutettujen viivytyssäiliöiden välillä. Vähiten päästöjä syntyy, mikäli viivytyjärjestelmä on rakennuskohteen reunaehtoien puitteissa mahdollista toteuttaa sisämitoiltaan 2,5 x 4 m laatikkoelementillä. Eniten päästöjä aiheutuu, mikäli kohde toteutetaan 2 x 2 m laatikkoelementillä. Kuljetuksesta aiheutuvia hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä on mahdollista pienentää lähes 55 % mikäli viivytyjärjestelmä rakennetaan 2,5 x 4 m laatikkoelementillä verrattuna 2 x 2 m laatikkoelementtiin. Putkituotteista vähiten päästöjä syntyy toteuttamalla viivytyssäiliö halkaisijaltaan 2000 mm betoniputkista. Kuljetuskustannuksiltaan vähiten kustannuksia aiheuttaa 2 x 4,5 m laatikkoelementti ja betoniputkista halkaisijaltaan 2000 mm betoniputki. Eniten kustannuksia aiheuttaa 2 x 2 m laatikkoelementti.

Tämän työn perusteella voidaan todeta, että oikeanlaisilla tuotevalinnoilla on mahdollista saavuttaa merkittävää ekologista tai taloudellista hyötyä. Näiden hyötyjen saavuttaminen on aina kuitenkin riippuvaista paikallisista olosuhteista, joihin viivytyssäiliöitä ollaan rakentamassa. Jokaisen rakennuskohteen osalta on erikseen selvítettävä kohteeseen parhaiten soveltuva viivytyssäiliöratkaisu. Tuotteiden kuljettamiseen käytettävän ajoneuvokaluston ominaisuuksien lisäksi myös kuljetettavan tuotteen ominaisuudet on huomioitava hyötyjen saavuttamiseksi.

LÄHTEET

Aaltonen, J., Hohti, H., Jylhä, K., Karvonen, T., Kilpeläinen, T., Koistinen J., Kotro, J., Kuitunen T., Ollila M., Parvio, A., Pulkkinen, S., Silander, J., Tiihonen, T., Tuomenvirta, H. & Vajda, A. (2008) Rankkasateet ja taajamatulvat. Suomen Ympäristö 31/2008. 123 s.

Saarinen, U. 2011. Suomessa väki keskittyy taajamiin. Tilastokeskuksen internetsivut. [Viitattu 16.11.2018] Saatavissa: http://www.stat.fi/tup/vl2010/art_2011-12-16_001.html

Ilmatieteenlaitos, 2017. Sademäärät kasvavat ja rankkasateet voimistuvat. Ilmatieteenlaitoksen internetsivut. [Viitattu 16.11.2018]. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/27922915-7ee5-4122-ae60-51f58e6aef9a/sademaarat-kasvavat.html>

Forsman, J., Heikkinen, M., Petrow, S., Pirinen, M. 2017. Betoniset viemäri ja hulevesijärjestelmät. Suunnittelu ja toteutus. Betoniteollisuus ry. 150 s.

Robbie, M. 2017. Global CO2 emissions from cement production. [Viitattu 16.11.2018] Saatavissa: <https://www.earth-syst-sci-data.net/10/195/2018/essd-10-195-2018.pdf>

MRL 5.2.1999/132. Maankäyttö- ja rakennuslaki.

Kuntaliitto. (2012). Hulevesiopas. Suomen kuntaliitto. 150 s.

Banafa consulting, 2018. Tulvavahinkotilastot 1995-2015. Ympäristöhallinnon internetsivut. [Viitattu 23.11.2018]. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Tulvariskien_hallinta/Tulvavahinkojen_korvaaminen

Paavilainen, A. 2008. Turvallisen asumisen arvo. Turvallisen asumisen seminaari 2008, 5.9.2008. Lähivakuutus. [Viitattu 23.11.2018]. Saatavissa: http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Turva/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ ja_aktivointi/Seminaarit/Seminaarit_2008/Turvallisen_ asumisen_ seminaari_2008/Turvallisen_ asumisen_ arvox_ Paavilainen.pdf

Vesihuollon erityistilannetyöryhmän loppuraportti. 2005. Ehdotukset toimenpiteiksi vesihuollon varautumisen kehittämiseksi. Työryhmämuistio MMM 2005:7. 99 s. [Viitattu 23.11.2018]. Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160428/trm%202005_7_Vesihuollon%20erityistilannety%C3%B6ryhm%C3%A4n%20loppuraportti.pdf

Siukkola, M. Jätevesiviemäristön tulvimiseen liittyvät vastuut ja vahinkojen esto ja minimointi. Diplomityö. Kouvola 2007. Tampereen teknillinen yliopisto, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. 142 s. + 14 liit.

Ulvila, T. 2016. Hulevesiä koskeva lainsäädäntö. Suomen ympäristökeskuksen internetsivut. [Viitattu 23.11.2018]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B12D4C74F-BF3B-4608-B03E-44FECE09EE28%7D/116211>

Nissinen, A., Seppälä, J., 2008. Tuotteiden ilmastovaikutuksista kertovat merkit. Helsinki: Valtioneuvoston kanslia. 50 s. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 11/2008. Diaarinumero 639/23/2008. ISBN 978-952-5631-74-6.

Liikennevirasto. 2013. Teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 5/2013. Helsinki. 114 s.

Logistiikan maailma, 2019. Kaluston mitat ja painot maantiekuljetuksissa. [Viitattu 15.2.2019] Saatavissa: <http://www.logistiikanmaailma.fi/kuljetus/maantiekuljetus/mitat-ja-painot/>

Elinkeino-, liikenne – ja ympäristökeskus (ELY-keskus), 2016. Erikoiskuljetukset. [Viitattu 15.2.2019] Saatavissa:

http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/139801/erikoiskuljetukset_esite_2010_erikoiskuljetusluvan_tarve_hakeminen_ja_kaytannon_toimenpiteet.pdf/cbcf0229-5b1f-4e7e-8d9b-9bad0a271b51

Tilastokeskus, 2015. Kasvihuonekaasut. [Viitattu 1.2.2019] Saatavissa: https://www.stat.fi/til/khki/2015/khki_2015_2016-12-07_fi.pdf

Kontiokorpi, L. Energia- ja ilmastotoimenpiteiden käynnistyminen pk-yrityksissä. Diplomityö. 2011. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, ympäristötekniikan koulutusohjelma. 114 s. + 7 liit.

Väylävirasto (Väylä), 2019. Ilmastonmuutos. [Viitattu 15.2.2019] Saatavissa: <https://vayla.fi/ymparisto/ilmastonmuutos#.XGaiJ2x7mUk>

Lipasto. Tieliikenne: tavaraliikenne. [Viitattu 15.2.2019] Saatavissa: http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/tavara_tie.htm

Lipasto. Käyttäjän opas. [Viitattu 15.2.2019]. Saatavissa: http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/guide_tie.htm

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM), 2018. MMM nimesi merkittävät tulvariskialueet 2018-2024. [Viitattu 22.3.2019] Saatavissa: https://mmm.fi/artikkeli/-/asset_publisher/mmm-nimesi-merkittavat-tulvariskialueet-vuosiksi-2018-2024

Innala, T. 2019. Hulevedet kuntien kokonaisvastuulle asemakaava-alueilla 2014. Uudet hulevesien hallinnan Smart & Clean ratkaisut (Hule S&C) -loppuseminaari, 6.3.2019, Helsinki, Suomi.

Ahonen, K. 2019. Suullinen tiedonanto. 13.3.2019, Helsinki, Suomi.

Du, F. 2013. Life Cycle Analysis for Water and Wastewater Pipe Materials. Journal Of Environmental Engineering-Asce, 139(5), pp. 703-711.

Logistiikkainsinööri. 2019. Kohdeyritys. Suullinen tiedonanto. 14.2.2019.

LIITTEET

LIITE 1

Pientalotontti						
Vaadittu viivytys-tilavuus (m ³)	Soveltuvat tuotteet	Kuormien lukumäärä/ kuormakapasiteetti			CO ₂ _{ekv} kg/100 km	Kuljetus-kustannus €
		15 t	30 t	40 t		
3	betonikaivo ø1500, h=1,75m	1			51,4	221
	betonikaivo ø2000, h=1m	1			51,4	221
7,8	3x betonikaivo ø1500, h=1,5m	1			57,5	221
	2x betonikaivo ø2000, h=1,25m	1			57,3	221
	2x betoniputki ø1600, l=2,25m	1			59,3	221
	1x laatikkoelementti 2x2m, l=2m		1		83,6	378
18	3x betonikaivo ø2000, h=2m			1	100,2	562
	5x betoniputki ø1400, l=2,25m			1	99,4	562
	4x betoniputki ø1600, l=2,25m			1	100,2	562
	3x betoniputki ø2000, l=2,0m			1	100,7	562
	2x laatikkoelementti 2x2,5m, l=2m		1		100,0	378
	1x laatikkoelementti 2x4,5m, l=2m		1		90,7	378
	1x laatikkoelementti 2,5x4m, l=2m		1		90,7	522
	1x laatikkoelementti 3x3m, l=2m		1		107,8	623

LIITE 2

Kerrostalotontti, putkikuormat						
Vaadittu viivytys-tilavuus (m ³)	Soveltuvat tuotteet	Kuormien lukumäärä/ kuormakapasiteetti			CO ₂ _{ekv} kg/100 km	Kuljetus- kustannus €
		15 t	30 t	40 t		
52	15x betoniputki ø1400mm, l=2,25m			2	218,7	1124
	12x betoniputki ø1600mm, l=2,25m			2	221,0	1124
	9x betoniputki ø2000mm, l=2,0m			2	222,6	1124
85	25x betoniputki ø1400mm, l=2,25m			3	337,9	1686
	19x betoniputki ø1600mm, l=2,25m			3	336,6	1686
	14x betoniputki ø2000mm, l=2,0m	1		2	307,3	1345
118	34x betoniputki ø1400mm, l=2,25m			4	453,2	2248
	26x betoniputki ø1600mm, l=2,25m	1		3	457,1	1907
	19x betoniputki ø2000mm, l=2,0m	1		3	421,1	1907

Kerrostalotontti, laatikkoelementit						
Vaadittu viivytystilavuus (m ³)	Soveltuvat tuotteet	Kuormien lukumäärä/kuormakapasiteetti			CO ₂ _{ekv} kg/100 km	Kuljetuskustannus €
		15 t	30 t	40 t		
52	7x laatikkoelementti 2x2m, l=2m		4		375,3	1512
	6x laatikkoelementti 2x2,5m, l=2m		3		300,1	1134
	5x laatikkoelementti 2x3m, l=2m		3		292,2	1134
	4x laatikkoelementti 2x3,5m, l=2m		2		211,4	756
	4x laatikkoelementti 2x4,0m, l=2m			2	224,9	809
	3x laatikkoelementti 2x4,5m, l=2m		1	1	205,5	812
	5x laatikkoelementti 2,5x2,5m, l=2m		3		292,2	1566
	4x laatikkoelementti 2,5x3m, l=2m		2		224,9	1044
	3x laatikkoelementti 2,5x3,5m, l=2m		1	1	201,7	1083
	3x laatikkoelementti 2,5x4m, l=2m		1	1	205,5	1124
	3x laatikkoelementti 3x3m, l=2m		1	1	238,7	1282
	3x laatikkoelementti 3x3,5m, l=2m		1	1	242,5	1282

Kerrostalotontti, laatikkoelementit						
Vaadittu viivytystilavuus (m ³)	Soveltuvat tuotteet	Kuormien lukumäärä/kuormakapasiteetti			CO ₂ _{ekv} kg/100 km	Kuljetuskustannus €
		15 t	30 t	40 t		
85	11x laatikkoelementti 2x2m, l=2m		6		569,7	2268
	9x laatikkoelementti 2x2,5m, l=2m		5		485,2	1890
	8x laatikkoelementti 2x3m, l=2m		4		411,5	1512
	7x laatikkoelementti 2x3,5m, l=2m		4		405,0	1512
	6x laatikkoelementti 2x4,0m, l=2m			3	337,3	1214
	5x laatikkoelementti 2x4,5m, l=2m		1	2	320,4	1247
	7x laatikkoelementti 2,5x2,5m, l=2m		4		395,1	2088
	6x laatikkoelementti 2,5x3m, l=2m			3	317,1	2094
	5x laatikkoelementti 2,5x3,5m, l=2m		1	2	314,2	1643
	5x laatikkoelementti 2,5x4m, l=2m		1	2	320,4	1725
	5x laatikkoelementti 3x3m, l=2m		1	2	351,2	1845
	4x laatikkoelementti 3x3,5m, l=2m			2	266,7	1405

Kerrostalotontti, laatikkoelementit						
Vaadittu viivytystilavuus (m ³)	Soveltuvat tuotteet	Kuormien lukumäärä/kuormakapasiteetti			CO ₂ _{ekv} kg/100 km	Kuljetuskustannus €
		15 t	30 t	40 t		
118	15x laatikkoelementti 2x2m, l=2m		8		764,1	3024
	12x laatikkoelementti 2x2,5m, l=2m		6		600,3	2268
	10x laatikkoelementti 2x3m, l=2m		5		514,4	1890
	9x laatikkoelementti 2x3,5m, l=2m		5		510,7	1890
	8x laatikkoelementti 2x4,0m, l=2m			4	449,8	1619
	7x laatikkoelementti 2x4,5m, l=2m		1	3	435,3	1681
	10x laatikkoelementti 2,5x2,5m, l=2m		5		514,4	2610
	8x laatikkoelementti 2,5x3m, l=2m		4		422,8	2088
	7x laatikkoelementti 2,5x3,5m, l=2m		1	3	426,6	2204
	6x laatikkoelementti 2,5x4m, l=2m			3	344,6	1805
	7x laatikkoelementti 3x3m, l=2m		1	3	481,5	2506
	6x laatikkoelementti 3x3,5m, l=2m			3	381,6	2006

LIITE 3

Logistiikkakeskus, putkikuormat						
Vaadittu viivytys-tilavuus	Soveltuvat tuotteet	Kuormien lukumäärä/kuormakapasiteetti			CO ₂ ekv	Kuljetuskustannus
(m ³)		15 t	30 t	40 t	t/100 km	€
1080	312x betoniputki ø1400mm, l=2,25m	1		31	3,8	17643
	239x betoniputki ø1600mm, l=2,25m			30	3,6	16860
	172x betoniputki ø2000mm, l=2,0m			29	3,5	16298
1620	468x betoniputki ø1400mm, l=2,25m			47	5,6	26414
	358x betoniputki ø1600mm, l=2,25m			45	5,4	25290
	258x betoniputki ø2000mm, l=2,0m			43	5,2	24166
2160	623x betoniputki ø1400mm, l=2,25m	1		62	7,5	35065
	478x betoniputki ø1600mm, l=2,25m			60	7,2	33720
	344x betoniputki ø2000mm, l=2,0m	1		57	7,0	32255

Logistiikkakeskus, laatikkoelementit						
Vaadittu viivytystilavuus (m ³)	Soveltuvat tuotteet	Kuormien lukumäärä/kuormakapasiteetti			CO ₂ ekv t/100 km	Kuljetuskustannus €
		15 t	30 t	40 t		
1080	135x laatikkoelementti 2x2m, l=2m		68		6,6	25704
	108x laatikkoelementti 2x2,5m, l=2m		54		5,4	20412
	90x laatikkoelementti 2x3m, l=2m		45		4,6	17010
	78x laatikkoelementti 2x3,5m, l=2m		39		4,1	14742
	68x laatikkoelementti 2x4,0m, l=2m			34	3,8	13760
	60x laatikkoelementti 2x4,5m, l=2m			30	3,4	13033
	87x laatikkoelementti 2,5x2,5m, l=2m		44		4,5	22968
	72x laatikkoelementti 2,5x3m, l=2m		36		3,8	18792
	62x laatikkoelementti 2,5x3,5m, l=2m			31	3,5	17376
	54x laatikkoelementti 2,5x4m, l=2m			27	3,1	16246
	60x laatikkoelementti 3x3m, l=2m			30	3,7	18831
	52x laatikkoelementti 3x3,5m, l=2m			26	3,3	17458

Logistiikkakeskus, laatikkoelementit						
Vaadittu viivytystilavuus (m ³)	Soveltuvat tuotteet	Kuormien lukumäärä/kuormakapasiteetti			CO ₂ ekv t/100 km	Kuljetuskustannus €
		15 t	30 t	40 t		
1620	203x laatikkoelementti 2x2m, l=2m		102		9,9	38556
	162x laatikkoelementti 2x2,5m, l=2m		81		8,1	30618
	135x laatikkoelementti 2x3m, l=2m		68		7,0	25704
	116x laatikkoelementti 2x3,5m, l=2m		58		6,1	21924
	102x laatikkoelementti 2x4,0m, l=2m			51	5,7	20640
	90x laatikkoelementti 2x4,5m, l=2m			45	5,2	19550
	130x laatikkoelementti 2,5x2,5m, l=2m		65		6,7	33930
	108x laatikkoelementti 2,5x3m, l=2m		54		5,7	28188
	93x laatikkoelementti 2,5x3,5m, l=2m		1	46	5,3	26306
	81x laatikkoelementti 2,5x4m, l=2m		1	40	4,7	24590
	90x laatikkoelementti 3x3m, l=2m			45	5,6	28247
	78x laatikkoelementti 3x3,5m, l=2m			39	5,0	26086

Logistiikkakeskus, laatikkoelementit						
Vaadittu viivytystilavuus (m ³)	Soveltuvat tuotteet	Kuormien lukumäärä/kuormakapasiteetti			CO ₂ _{ekv} t/100 km	Kuljetuskustannus €
		15 t	30 t	40 t		
2160	270x laatikkoelementti 2x2m, l=2m		135		13,1	51030
	216x laatikkoelementti 2x2,5m, l=2m		108		10,8	40824
	180x laatikkoelementti 2x3m, l=2m		90		9,3	34020
	155x laatikkoelementti 2x3,5m, l=2m		78		8,2	29484
	135x laatikkoelementti 2x4,0m, l=2m		1	67	7,6	27494
	120x laatikkoelementti 2x4,5m, l=2m			60	6,9	26067
	173x laatikkoelementti 2,5x2,5m, l=2m		87		8,9	45414
	144x laatikkoelementti 2,5x3m, l=2m		72		7,6	37584
	124x laatikkoelementti 2,5x3,5m, l=2m			62	7,0	34753
	108x laatikkoelementti 2,5x4m, l=2m			54	6,2	32492
	120x laatikkoelementti 3x3m, l=2m			60	7,1	37663
	103x laatikkoelementti 3x3,5m, l=2m		1	51	6,6	35239