

Tuomas Cajanus

UUSIOMATERIAALIEN KÄYTÖN VAIKU- TUS TIEHANKKEEN KOKONAISTALOU- DELLISUUTEEN

Case: Vt 3 Hämeenkyrönväylä

Diplomityö
Johtamisen ja talouden tiedekunta
Tarkastajat: Ulla Saari &
Teemu Laine
Joulukuu 2023

TIIVISTELMÄ

Tuomas Cajanus: Uusiomateriaalien käytön vaikutus tiehankkeen kokonaistaloudellisuuteen
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Tuotantotalouden DI-ohjelma
Joulukuu 2023

Nykyinen sosioekonominen järjestelmä perustuu pääasiassa lineaaritalouteen, jossa materiaalit ja tuotteet on perinteisesti valmistettu neitseellisistä luonnonvaroista ja hävitetty käytön jälkeen. Siirtymää lineaaritaloudesta kiertotalouteen ajavat kuitenkin useat yritykset, hallinnolliset toimijat ja instituutiot kuten EU ja Ellen MacArthur säätiö, sillä lineaaritalouden mukaisen sosioekonomisen järjestelmän on todettu johtavan luonnonvarojen loppumiseen. Suomessa on asetettu tavoitteeksi hiilineutraalisuuden saavuttaminen vuonna 2035 ja kansallisella tasolla kiertotaloudesta kaavaillaan uuden talouden perustaa.

Suomen maaperä ja ilmasto-olosuhteet ovat sellaisia, jotka edellyttävät runsasta kiviainesten käyttöä infrarakentamisessa. Suomi on Euroopan suurimpia kiviaineiden käyttäjiä asukasmäärään suhteutettuna ja infrastruktuurin vaikutus Suomen hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamisessa on merkittävä. Infrastruktuurin uudistamisen ja kehittämisen merkittävimmäksi ajuriksi taas on tunnistettu julkiset hankinnat sekä niille asetettavat vaatimukset. Väylävirastolla on näin ollen Suomen väyläverkosta vastuullisena merkittävä rooli ja vastuu toimia kiertotalouden edistäjänä omalla toimialallaan.

Tämän diplomityön tarkoituksena oli selvittää tierakentamiseen soveltuvien uusiomateriaalien ja kiertotalousratkaisujen vaikutuksia Suomen tieverkolla toteutettavien investointihankkeiden kokonaistaloudellisuuteen. Lisäksi tavoitteena oli luoda kokonaiskuva tierakentamisen kannalta olennaisten uusiomateriaalien markkinasta. Tutkimuksen tulokset perustuvat kirjallisuuskatsauksena laadittuun teoriaosuuteen, case-hankkeesta laadittuihin päästö- ja kustannuslaskentoihin, markkina-analyysiin sekä työn yhteydessä toteutettuihin asiantuntijahaastatteluihin. Työn lähtökohtana toimi tutkitun tiedon puute tiehankkeissa käytettyjen uusiomateriaalien ja kiertotalousratkaisujen kokonaistaloudellisista vaikutuksista.

Diplomityön tulosten perusteella uusiomateriaalien ja kiertotalousratkaisujen käytöllä saavutetaan vaihtelevia hyötyjä tiehankkeesta ja sen ominaisuuksista riippuen. Uusiomateriaalit ja kiertotalousratkaisut vaikuttavat kestävältä vaihtoehdolta uusiutumattomien materiaalien ja perinteisen rakentamisen rinnalla hyödynnettäviksi niin ympäristöllisestä kuin taloudellisestakin näkökulmasta. Työssä tutkitun case-hankkeen kohdalla saavutetut hyödyt osoittautuvat hankkeen kokoluokan vuoksi suhteellisesti pieniksi, mutta etenkin päästövähennysten kannalta merkittäviksi kustannusten pysyessä käytännössä muuttumattomina. Uusiomateriaalien markkina todettiin työssä tierakentamisen näkökulmasta vasta kehittyväksi ja merkittävää alueellista vaihtelua sisältäväksi. Lisäksi työn yhteydessä tehtiin päätelmä, jonka mukaan tierakentamisessa on työssä todennettuja hyötyjä suurempaa potentiaalia päästövähennyksille, johtuen muun muassa tierakentamisen suuresta resurssien käytöstä sekä alhaisesta uusiomateriaalien osuudesta suhteessa käytettyihin materiaaleihin.

Kirjallisuudessa, asiantuntijahaastatteluissa sekä työn tuloksissa havaittiin selkeitä yhteyksiä aiemman tutkimustiedon linkittyessä haastateltavien ajatuksiin sekä työn tuloksiin. Työssä tunnistettiin tierakentamisen kiertotalouden edistämisen merkittävimmäksi ajuriksi tilaajalähtöisyys. Myös lupaprosessien sujuvoittaminen, ammattitaidon kehittäminen, alhaalta ylöspäin suuntautuvien innovaatioiden kannustaminen, eri hankevaiheissa tehtävien vaihtoehtoarviointien sekä erilaisten urakka- ja toteutusmuotojen hyödyntäminen voivat myötävaikuttaa kiertotalouden periaatteiden omaksumiseen toimialalla. Kokonaisuutena uusiomateriaalit tierakentamisessa ovat kehittyvä ja selkeässä nosteessa oleva teema, johon liittyy runsaasti ja osittain monimutkaistakin sääntelyä.

Avainsanat: tierakentaminen, kiertotalous, uusiomateriaalit, päästölaskenta, kustannuslaskenta

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Tuomas Cajanus: The impact of the use of recycled materials on the overall economy of the road project

Master of Science Thesis

Tampere University

Master's Degree Programme in Industrial Engineering and Management

December 2023

The current socio-economic system is mainly based on a linear economy, where materials and products are traditionally made from virgin natural resources and disposed of after use. The transition from a linear economy to a circular economy is driven by several companies, administrative actors and institutions such as the EU and Ellen MacArthur Foundation, because the socio-economic system according to the linear economy has been found to lead to the depletion of natural resources. In Finland, the goal has been set to achieve carbon neutrality in 2035. At the national level, a circular economy is being planned as the basis of a new economy.

Finland's soil and climatic conditions are such as to require the abundant use of aggregates in infrastructure construction. Finland is Europe's largest user of aggregates in proportion to the number of inhabitants, and the impact of infrastructure in achieving Finland's carbon neutrality goal is significant. Public procurement and the requirements set for it have been identified as the most significant drivers of infrastructure renewal and development. The Finnish Transport Agency has therefore a significant role and responsibility to act as a promoter of the circular economy in its own industry, as it is responsible for Finland's traffic network.

The purpose of this thesis was to find out the effects of recycled materials suitable for road construction and other sustainable solutions on the overall economics of investment projects implemented on Finland's road network. In addition, the goal was to create an overall picture of the market for recycled materials that are essential for road construction. The results of the research are based on the theoretical part prepared as a literature review, emission and cost calculations prepared from the case project, market analysis and expert interviews conducted in connection with the work. As a premise of the work was the lack of researched information about the overall economic effects of recycled materials and other sustainable solutions used in road projects.

Based on the results of the thesis, the use of recycled materials and other sustainable solutions achieves varying benefits depending on the road project and its characteristics. Recycled materials and circular economy solutions seem like a sustainable option to be used alongside non-renewable materials and traditional construction from both an environmental and economic points of view. For the case project studied in the work, the benefits achieved turn out to be relatively small due to the size of the project, but especially significant in terms of emission reductions, while the costs remain practically unchanged. The market for recycled materials was found to be just developing from the point of view of road construction and to contain significant regional variation. In addition, a conclusion was made that road construction has a greater potential for emission reductions than the benefits verified in the work. The conclusion is based on the high use of resources in road construction and the low proportion of recycled materials in relation to used materials.

In the literature, in expert interviews and in the results of the work, clear connections were observed when previous research information was linked to the thoughts of the interviewees and the results of the work. The work identified client orientation as the most significant driver for promoting the circular economy in road construction. Streamlining permit processes, developing professional skills, encouraging bottom-up innovations, making use of alternative evaluations in different project phases and different types of contracts and implementation can also contribute to the adoption of circular economy principles in the industry. So recycled materials in road construction are developing and a clearly lifting topic, which involves a lot of and partly complicated regulation.

Keywords: road construction, circular economy, recycled materials, emissions calculation, cost accounting

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

ALKUSANAT

Tämän diplomityön valmistumisen myötä noin kuuden ja puolen vuoden mittainen opiskelurupeamani ensin Tampereen ammattikorkeakoulussa ja sittemmin Tampereen yliopistossa on tulossa päätökseensä. Opiskelu on vaatinut istumalihaksia ja aikaa, mutta ollut myös vastaavasti varsin antoisaa ja palkitsevaa.

Haluan kiittää työn mahdollistanutta Väylävirastoa sekä Väylän puolesta työtä ohjannutta ohjausryhmää, joka matkan varrella tarjosi työtä oikeaan suuntaa ohjailevia vinkkejä. Lisäksi haluan kiittää myös kaikkia työn haastatteluihin osallistuneita, sekä työn tekemistä tiedoillaan tai vinkeillään muulla tavoin edistäneitä henkilöitä. Haastatteluilla ja muilla tietotaitoaan työlle antaneilla on ollut suuri vaikutus työn laadukkaan lopputuloksen kannalta. Kiitokset myös yliopiston puolesta ohjaajana toimineelle Ulla Saarelle, jolta sain arvokasta ohjausta erityisesti työn tutkimuksellisiin asioihin liittyen. Työn tekemisestä mielekästä teki mahdollisuus viedä työtä oman mielenkiinnon mukaisiin suuntiin, joka mahdollisti varsin vapaan ja tekijänsä näköisen toteutuksen. Kiitoksensa opiskelumyönteisistä ilmapiiristä ja panostuksesta opintoihini ansaitsee myös työnantajani WSP Finland Oy, joka on mahdollistanut joustavan opintojen ja työnteon yhteensovittamisen jo useamman vuoden ajan.

Olenaisena osana opiskelijaelämää on mainittava myös tätä aikakautta myötäelänyt ystäväpiirini, jonka kanssa vietetty vapaa-aika on tuonut loistavaa vastapainoa opiskeluille. Kiitokset myös perheelleni ja lähipiirilleni hyvistä lähtökohdista sekä kannustuksesta opiskeluun. Erityismainintana mainittakoon vielä kiitos isälleni hänen tarjoamastaan näköalasta diplomi-insinöörimäiseen arkeen.

Tampereella, 7.12.2023

Tuomas Cajanus

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuksen tausta, tavoitteet ja rajaukset.....	2
1.2 Tutkimuksen toteutus ja rakenne.....	4
2. KIERTOTALOUS TIERAKENTAMISESSA	6
2.1 Kiertotalouden määrittely	6
2.2 Ilmastotavoitteet tierakentamisen näkökulmasta	8
2.3 Infranhankkeiden elinkaari	10
2.4 Kiertotalouden ohjauskeinot tierakentamisessa.....	11
2.4.1 Tierakentamista ohjaava lainsäädäntö	13
2.4.2 Asetukset jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa.....	16
2.4.3 Suunnittelua ja rakentamista koskeva Väylän ohjeistus	18
2.4.4 Muut ohjauskeinot.....	32
3. TUTKIMUSMETODOLOGIA	36
3.1 Yleisesti	36
3.2 Asiantuntijahaastattelut	38
3.2.1 Haastattelukysymykset ja haastatteluiden toteutus	39
3.2.2 Tulosten analysointi	40
3.3 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi	43
4. CASE-HANKE.....	45
4.1 Case-tarkastelun tavoite ja menetelmät	46
4.2 Kiertotalous ja uusiomateriaalit hankkeella, casen analyysi.....	47
5. MARKKINA-ANALYYSI, TIERAKENTAMISEN UUSIOMATERIAALIT	49
5.1 Analyysin tarkoitus ja rajaus.....	49
5.2 Markkina-analyysin tulokset	49
6. TULOKSET	51
6.1 Päästölaskenta	51
6.2 Kustannuslaskenta.....	57
7. PÄÄTELMÄT	59
7.1 Yhteenveto kiertotalouden nykytilasta tierakentamisessa.....	59
7.2 Jatkotutkimustarpeet.....	64
LÄHTEET	65
LIITE A: HAASTATTELURUNKO	76
LIITE B: UUSIOMATERIAALIEN TOIMITTAJIA	78

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Kuvaus lineaaritalouden, uudelleenkäyttötalouden sekä kiertotalouden prosesseista, mukaillen (The Government of the Netherlands 2016; Okorie et al. 2018).....</i>	<i>7</i>
Kuva 2.	<i>Yhdyskuntateknisten hankkeiden elinkaaren vaiheet (SFS EN 15643:2021).....</i>	<i>10</i>
Kuva 3.	<i>Kustannusten ja päästöjen määräytyminen ja toteutuminen tierakentamisessa. Liikenteen aiheuttamia kustannuksia ja vaikutuksia ei ole esitetty (NordFou 2023).....</i>	<i>11</i>
Kuva 4.	<i>Infrahankkeen päästöohjaus ja muutuskustannukset (Liikennevirasto, 2018a).....</i>	<i>11</i>
Kuva 5.	<i>MARA-asetuksessa määritellyt materiaalit, niiden käyttökohteet sekä soveltamisen yleisimmät rajoitukset (VNa 843/2017; Mara-asetuksen soveltamisohje 2019).....</i>	<i>17</i>
Kuva 6.	<i>Vt 3 Hämeenkyrönväylä, karttakuva. (Väylävirasto 2022j).....</i>	<i>45</i>
Kuva 7.	<i>Maa-, pohja- ja kalliorakenteiden sekä päällys- ja pintarakenteiden prosentuaaliset hiilidioksidipäästöt elinkaaren vaiheissa A1-5.....</i>	<i>52</i>
Kuva 8.	<i>Hankkeella muodostuneiden hiilidioksidipäästöjen suhteellinen osuus rakennusosakohtaisesti nimikkeistön sata -tasolla.....</i>	<i>53</i>
Kuva 9.	<i>Päästöjen jakautuminen elinkaarelle sekä BAU-skenaariion ja toteutuneen tilanteen välinen suhteellinen päästövähennys.....</i>	<i>56</i>

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1.	<i>Koonti työssä käsitellystä Väyläviraston kiertotalouteen, uusiomateriaaleihin ja rakentamisen kestävyyteen liittyvästä materiaalista.</i>	<i>20</i>
Taulukko 2.	<i>Tiivistetyt vastaukset haastattelukysymyksiin.</i>	<i>40</i>
Taulukko 3.	<i>Päästölaskennan yhteydessä case-hankkeelle määritellyt luonnonvarojen kulutusta ja materiaalityhokkuutta kuvaavat indikaattorit.</i>	<i>54</i>
Taulukko 4.	<i>Hankkeella saavutetut päästövähennykset ja niiden muutos keskimääräisiin henkilöautolla kuljettuihin työmatkoihin.</i>	<i>56</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

BAU	Business as usual, totuttu liiketoimintamalli. Tässä työssä tarkoittaa infrarakentamista ilman uusiomateriaalien hyödyntämistä.
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CEEQUAL	Civil Engineering Environmental Quality Assessment and Award Scheme.
CO ₂ e	Hiilidioksidiekvivalentti. Kasvihuonekaasupäästöjen yhteismitta, jonka avulla voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasupäästöjen vaikutus kasvihuoneilmiön voimistumiseen.
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
EPD	Environmental Product Declaration. Ympäristöseloste.
EU	Euroopan unioni
HINKU-verkosto	Vuonna 2008 perustettu ilmastonmuutoksen edelläkävijöiden verkosto. Verkostoon kuuluu lähes 100 Hinku-kuntaa ja viisi Hinku-maakuntaa.
HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut
InfraRYL	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset
KIEPPI-hanke	Kestävien kaupunginosien kumppanuusmalli (KIEPPI) -hanke
Kiertotalousratkaisu	Tässä työssä kiertotalousratkaisulla tarkoitetaan hankkeeseen räätälöityä, sijainnista riippuvaista ja satunnaistaluonteista kiertotalouden ajatusten mukaista ratkaisua, joka voidaan toteuttaa tiehankkeen yhteydessä. Case-hankkeessa ylijäämämaiden ajo Haveriin.
Kokonaistaloudellisuus	Tässä työssä kokonaistaloudellisuudella tarkoitetaan sekä rakentamisen euromääräisiä kustannuksia että rakentamisesta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä.
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design.
MARA-asetus	Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (VNa 843/2017). Asetuksena tarkoituksena on helpottaa tiettyjen jätteiden hyödyntämistä maarakentamisessa ilman ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaista ympäristölupaa sekä edistää kiertotaloutta ja kestäväää luonnonvarojen käyttöä.
MASA-asetusluonnos	Valtioneuvoston valmisteilla oleva maa-ainesjätteiden hyödyntämistä maarakentamisessa koskeva asetus.

Pohjanvahvistusmenetelmät	Infrarakentamisessa käytetyt menetelmät, joilla luodaan edellytykset rakentaa heikkolaatuiselle maaperälle. Tavoitteena maaperän kantavuuden ja stabiiliteetin parantaminen sekä painumien pienentäminen.
RATKI-hanke	Tampereen yliopiston rakentamisen kiertotalouden TKI-verkoston kehittämishanke Pirkanmaalla. Rahoittajana EU:n aluekehitysrahasto.
Sivuvirta	Pääasiallisen tuotteen valmistusprosessissa syntyvä tuote. Esimerkiksi kivihiilen poltossa palamistuotteena syntyvä lentotuhka.
TKI	Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta
Uusiomateriaalit	Materiaali, joka on luokiteltu jätteeksi tai sivutuotteeksi. Ominaisuudet ja käyttömahdollisuudet maarakentamiseen on tutkittu ja selvitetty. Käytetään korvaamaan neitseellisiä maa-aineksia.
VNa	Valtioneuvoston asetus
YVA	Ympäristövaikutusten arviointimenettely

1. JOHDANTO

Nykyinen sosioekonominen järjestelmä perustuu lineaaritalouteen, jossa materiaalit ja tuotteet valmistetaan neitseellisistä luonnonvaroista ja käytön jälkeen ne päätyvät hävitykseen. Useat yritykset, hallinnolliset toimijat ja instituutiot, kuten EU (Euroopan unioni) ja Ellen MacArthur säätiö ajavat siirtymää lineaaritaloudesta kiertotalouteen (Michelini et al. 2017; Korhonen et al. 2018). Korhonen et al. (2018) ovat todenneet, että nykyinen lineaaritalouden mukainen sosioekonominen järjestelmä johtaa resurssitehottomuutensa vuoksi luonnonvarojen loppumiseen ja valtavaan määrään jätettä. Jo nykyisellään ihmiskunta kuluttaakin noin 1,6 kertaisesti resursseja maapallon vuotuisen uusiutumismuuttuun verrattuna ja kertoimen on arvioitu kasvavan kolmeen vuoteen 2050 mennessä (Piñones et al. 2023). Kansallisella tasolla kiertotaloudesta kaavaillaan uuden talouden perustaa, josta on laadittu Valtioneuvoston (2021) ehdotus kiertotalouden strategiseksi ohjelmaksi. Ohjelmassa esitetään tavoitteita ja keinoja ilmastonmuutoksen torjuntaan, luonnon monimuotoisuuden säilyttämiseen ja luonnonvarojen ylikulutukseen talouden vahvistaminen ja työllisyyden parantaminen huomioiden (Valtioneuvosto 2021). Suomi on linjannut olevansa hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2022).

Suomen maaperä ja ilmasto-olosuhteet ovat sellaisia, jotka edellyttävät runsasta kiviainesten käyttöä teiden, rautateiden ja rakennusten perustuksissa. Suomi onkin Euroopan suurimpia kiviainesten käyttäjiä asukasmäärään suhteutettuna (Työ- ja elinkeinoministeriö 2015; Ympäristöministeriö 2020). Infra 2035: Infrastrukturi hiilineutraalissa Suomessa -loppuraportissa todetaan infrastruktuurin merkittävä vaikutus Suomen hiilineutraalisuustavoitteen toteutumisessa. Raportin mukaan infrastrukturi joko mahdollistaa tai kaataa Suomen 2035 hiilineutraalisuustavoitteen (Demos Helsinki 2021). Rakentamisesta on tullut yleisesti merkittävä kestävä kehityksen aihe, johtuen sen suuresta resurssien käytöstä sekä siinä syntyvästä suuresta jätemäärästä (Coenen et al. 2023). Tutkimukset osoittavat, että kestävä kehityksen periaatteita sisällytetäänkin yhä useammin valtioiden ja kuntien infrarakentamishankkeita toteuttavien yritysten vastuulle esimerkiksi strategioiden, toimintaohjeiden tai suorituskykyindikaattoreiden kehittämisen muodossa (Aarseth et al. 2017). Tämä lienee seuraus siitä, että perinteisesti infrarakentamista on pidetty konservatiivisena ja riskejä välttävänä toimialana, jota ylläpitävät pienet liikevoittomarginaalit (Coenen et al. 2023).

Suomessa on jo tapahtunut kehitystä raaka-aineiden käytössä ja talouteen on omaksuttu kiertotalouden periaatteita. Suomessa kotimainen materiaalien kulutus, joka on yksi kestävän kehityksen indikaattoreista, on ollut laskutrendissä vuosina 2018–2021, laskien vuoden 2018 260 miljoonasta tonnista vuoden 2021 noin 245 miljoonaan tonniin (SVT 2023a). Myös rakentamisen toimialalla syntyvän jätteen määrä on ollut laskeva vuosina 2018–2020. Jättemäärän synty on laskenut vuoden 2018 15,7 miljoonasta tonnista vuoden 2020 noin 13,7 miljoonaan tonniin (SVT 2023b).

Infrarakentamisen uudistamisen ja kehittämisen toimintaympäristöä ja menettelytapoja on ohjannut ja muuttanut nämä edellä mainitut yhteiskunnalliset muutokset ja globaalit haasteet, joihin kuuluvat ilmastonmuutos, resurssien ylikulutus ja luonnon monimuotoisuuden kato (Junnonen et al. 2022). Merkittävimmäksi kestävän kehityksen ajuriksi voidaan infrastruktuurin uudistamisen ja kehittämisen kohdalla todeta Aarseth et al. (2017), Coenen et al. (2023) sekä Karlovsek et al. (2023) tutkimusten mukaisesti julkisten tilaajien hankinnat, sekä niille asetettavat vaatimukset. Coenen et al. (2020) ovat myös todenneet, että kiertotalouden käytäntöihin siirtymisessä potentiaalia jää paljon toteutumatta, mikäli alhaalta ylöspäin suuntautuviin innovaatioihin ei kannusteta riittävästi.

1.1 Tutkimuksen tausta, tavoitteet ja rajaukset

Väylävirastolla on valtiollisena toimijana ja Suomen valtion väyläverkosta vastuullisena merkittävä rooli ja vastuu toimia kiertotalouden edistäjänä omalla toimialallaan. Suomi on Euroopan suurimpia kiviainesten kuluttajia asukasmäärään suhteutettuna ja infrastruktuurilla on merkittävä vaikutus Suomen hiilineutraalisuustavoitteiden saavuttamisessa (Työ- ja elinkeinoministeriö 2015; Ympäristöministeriö 2020; Demos Helsinki 2021). Kiertotaloudesta ja uusiomateriaalien käytöstä väylähankkeissa on olemassa lukuisia ohjeita ja selvityksiä. Aiempaa tutkimus- ja vertailutietoa kiertotalousratkaisujen todellisista ympäristöllisistä ja taloudellisista vaikutuksista tierakentamisen kannalta olennainen uusiomateriaalien markkina huomioiden ei työn aihetta ideoitaessa löytynyt.

Diplomityön tarkoituksena on selvittää kirjallisuuden, yhden case-hankkeen ja markkina-analyysin avulla tierakentamisessa hyödynnettävissä olevien uusiomateriaalien ja kiertotalousratkaisuiden vaikutusta tiehankkeen kokonaistaloudellisuuteen. Diplomityön taustan mukaisesti täysin vastaavaa aiempaa tutkimus- ja vertailutietoa ei työn tekemisen yhteydessä löytynyt. Aiemmissa tutkimuksissa on kuitenkin jo todettu julkisten infrarakentamishankkeiden ja julkisten tilaajien asettamien vaatimusten merkittävyys kiertotalouden edistämisessä toimialalla (Aarseth et al. 2017; Coenen et al. 2023; Karlovsek et al. 2023), joten diplomityössä on loogista pyrkiä selvittämään konkreettisemmän tason

vaikutuksia case-hankkeen kohdalla numeerisella tasolla sekä infrarakentamisessa yleisemminkin. Lisäksi yksittäisten materiaalien soveltuvuutta ja niiden toimivuutta infrarakenteissa on tutkittu laajasti aiemmissa tutkimuksissa. Esimerkiksi käytettyjen auton renkaiden, kierrätetyn asfaltin ja betonimurskeen toimivuutta on tutkittu useissa tutkimusartikkeleissa (Mohajerani et al. 2020; Eskandarsefat et al. 2018; Dettenborn et al. 2017; Miliutenko et al. 2013). Väylävirastolla on myös omat ohjeensa liittyen uusiomateriaalien käyttöön väylähankkeissa sekä uusiomateriaalien teknisen soveltuvuuden arviointiin (Väylävirasto 2022a; Väylävirasto 2022b), jotka toimivat tässä työssä kansallisena raammina tierakenteisessa hyödynnettävissä oleville uusiomateriaaleille.

Työ on rajattu koskemaan väylärakentamista ja tarkemmin vain valtion tieverkolla tehtäviä tiehankkeita. Ratarakentaminen ja vesiväylät ovat rajattu kokonaisuudessaan tämän diplomityön ulkopuolelle, kuten myös kaupunkien ja kuntien hallinnoimat kadut, liikunta- paikat, aluerakentaminen ja ynnä muut vastaavat. Uusiomateriaalien osalta huomioidaan vain aiemmissa tutkimuksissa ja ohjeissa väylärakenteisiin soveltuviksi arvioidut materiaalit, eikä työssä näin ollen tarkastella tai arvioida mahdollisten muiden materiaalien teknistä soveltuvuutta väylärakenteisiin. Tässä työssä kiertotalousratkaisulla tarkoitetaan yksittäistä ja hankkeeseen räätälöityä teknisluonteista ratkaisua, jolle ominaista on muun muassa satunnaisuus sekä riippuvuus sijainnista. Kiertotalousratkaisulla pyritään edistämään kiertotalouden ajatusten mukaista toimintaa infrarakentamisessa. Työssä käsitellyn case-hankkeen ylijäämämaiden ajoa Haveriin käsitellään tässä työssä edellä mainitulla tavalla kiertotalousratkaisuna. Tie- ja katurakentamisessa sekä niiden rakennusosissa on yhtäläisyyksiä ja näin ollen osa diplomityöstä, kuten markkina-analyysi, saattaa olla sovellettavissa myös katurakentamiseen. Määrät, rakentamisen ja suunnittelun ohjeistus sekä muut vastaavat seikat poikkeavat kuitenkin toisistaan, eikä diplomityössä ole tarkoitus käsitellä katurakentamista kokonaisvaltaisesti luonnollisia yhtäläisyyksiä lukuun ottamatta.

Tierakentaminen on yksi väylärakentamisen osa-alueista. Tierakentamisen sisällä työ on rajattu vielä tarkemmin koskemaan investointihankkeita, eikä työssä ole erikseen huomioitu esimerkiksi tienparannushankkeita tai erityisesti niihin liittyviä menettelytapoja. Näin ollen myös kiertotaloutta tarkastellaan erityisesti tierakentamisen näkökulmasta, siihen liittyvää ohjeistusta ja erityisesti siihen sopiva ratkaisuja ja mahdollisuuksia silmällä pitäen. Teoriaosuudessa on pyritty huomioimaan Väylän oman materiaalin osalta mahdollisimman kattavasti erityisesti investointihankkeita koskevaa aineistoa. Ylemmän tason ohjauskeinot ovat laajempia kokonaisuuksia ja koskettavat infrarakentamista ja rakentamista ylipäätään vain yleisemmällä tasolla.

Diplomityön päätutkimuskysymykset ja niitä tukevat alakysymykset ovat:

1. Kuinka kestävä vaihtoehto tierakentamisen uusiomateriaalit ja kiertotalousratkaisut ovat kokonaistaloudellisesti uusiutumattomille materiaaleille?
 - a. Minkälaisia vaikutuksia näillä on tiehankkeen euomääräisiin kustannuksiin?
 - b. Minkälaisia vaikutuksia näillä on tiehankkeen päästöihin?
2. Miten kehittynyt uusiomateriaalien kansallinen markkina on tiehankkeiden näkökulmasta?
 - a. Miten käytettävissä olevien uusiomateriaalien hyödyntäminen vaikuttaa tiehankkeen kustannuksiin?
 - b. Miten käytettävissä olevien uusiomateriaalien hyödyntäminen vaikuttaa tiehankkeen päästöihin?

1.2 Tutkimuksen toteutus ja rakenne

Diplomityön teoriaosuus on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, joka sisältää katsauksen aiempaan tutkimustietoon aiheesta sekä merkittävimpien tierakentamisen kiertotalouden ohjauskeinojen esittelyn. Kirjallisuuskatsauksen tueksi on laadittu asiantuntijahaastatteluita sekä perehdytty yhteen case-hankkeeseen. Lisäksi diplomityön yhteydessä on laadittu markkina-analyysi tierakentamiseen soveltuvista uusiomateriaaleista.

Työn kirjallisuuskatsauksena toteutetussa teoriapohjassa on perehdytty kiertotalouteen erityisesti väylärakentamisen näkökulmasta, mutta myös yleisempi taso huomioiden. Kirjallisuuden perusteella on selvitetty olemassa olevaa väylärakentamisen kannalta olennaista ohjeistusta liittyen uusiomaarakentamiseen ja erilaisiin kiertotalouden mukaisiin ratkaisuihin. Lisäksi on perehdytty kansallisen ja kansainvälisen (EU) tason ohjauskeinoihin, jotka ovat taustalla vaikuttamassa ohjaten yleistä siirtymää lineaaritaloudesta kiertotalouteen. Kirjallisuuden perusteella luodun teoriapohjan tueksi on laadittu asiantuntijahaastatteluita diplomityön rajauksen mukainen infran toimijakenttä (tilaaja – suunnittelija – urakoitsija) huomioiden, jonka avulla on pyritty saamaan ajantasaista tietoa kiertotalouden nykytilasta niin, että eri tason toimijoiden näkemys tulee huomioitua.

Työssä on tutustuttu tarkemmin yhteen case-hankkeeseen (Vt 3 Hämeenkyrönväylä), jonka tarkoituksena on ollut perehtyä suureen väylähankkeeseen ja selvittää luodun teoriapohjan perusteella uusiomateriaalien ja kiertotalousratkaisun kokonaistaloudellisia vaikutuksia kyseisen kohteen osalta. Tarkastelussa on huomioitu case-hankkeella käytetyt ratkaisut ja selvitetty niiden hyödyntämisellä saavutetut vaikutukset totuttuun

liiketoiminta -skenaarioon (BAU, business-as-usual) verrattuna, jossa rakentamiseen olisi käytetty vain perinteisiä uusiutumattomia materiaaleja ja ratkaisuja. Case-hankkeelta saatujen tietojen perusteella ja niitä hyödyntäen on voitu laatia case-hanketta koskevia kustannus- ja päästölaskelmia.

Markkina-analyysi on laadittu selvittämällä sellaisten yritysten määrää, sijaintia, kokoa ja tarjoomaa, jotka myyvät tierakentamisen kannalta relevantteja kiertotalouden periaatteiden mukaisia uusiomateriaaleja. Markkina-analyysin tarkoituksena on ollut selvittää uusiomateriaalitoimittajia kontaktoimalla muun muassa heiltä saatavilla olevien materiaalien määriä, laatua, sijaintia ja muita ominaisuustietoja. Markkina-analyysin avulla on pyritty näin selvittämään tierakentamiseen soveltuvien kiertotalousratkaisujen ja uusiomateriaalien markkinan kypsyyttä. Tavoitteena markkina-analyysissä on ollut kokonaiskuvan luonti markkinasta niin, että saatavilla olevien materiaalien laatua, määrää, hintaa kuin sijaintiakin koskevat tiedot tulee huomioitua.

Tämä diplomityö sisältää 7 lukua. Työn ensimmäinen luku on johdanto ja se käsittää työn taustan, esittelyn, tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset sekä työn toteutustavan ja rakenteen. Toinen luku on kirjallisuuskatsauksena toteutettu työn teoriaosuus. Kolmannessa luvussa käsitellään työssä käytetyt metodologiset menetelmät sekä työn yhteydessä toteutetut asiantuntijahaastattelut. Neljännessä luvussa esitellään työn käytännön esimerkkinä käytetty case-hanke. Viides luku käsittää markkina-analyysin tierakentamiseen soveltuvien uusiomateriaalien markkinasta. Kuudennessa luvussa on esitetty tulokset case-hankkeen päästöistä ja kustannuksista tehdyistä laskelmista. Luku seitsemän sisältää yhteenvedon kiertotalouden nykytilasta tierakentamisessa sekä työssä tehdyt päätelmät ja jatkotutkimustarpeet.

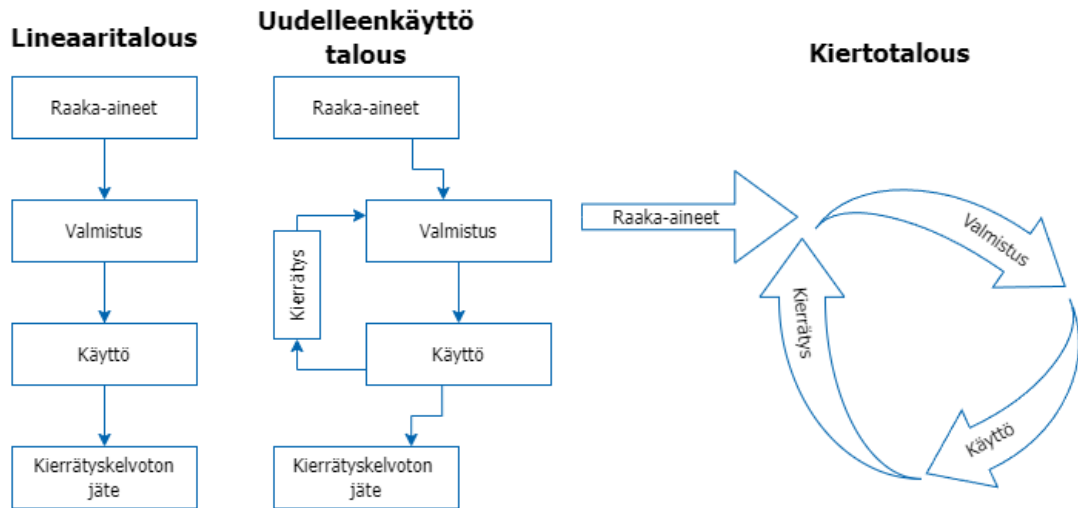
2. KIERTOTALOUS TIERAKENTAMISESSA

Tämä luku toimii työn kirjallisuuskatsauksena toteutettuna teoriaosuutena. Luvussa on kiertotalouden määrittelyn ja infran elinkaaren lisäksi esitelty tierakentamista koskevia kiertotalouden ohjauskeinoja. Ohjauskeinot on käsitelty ylhäältä alaspäin niin, että aluksi on perehdytty EU:n ja kansallisen tason ilmastotavoitteisiin, josta edelleen kansallisen tason kiertotalouden ohjaukseen, kuten lakeihin, asetuksiin, ohjeisiin ja muihin ohjauskeinoihin.

2.1 Kiertotalouden määrittely

Suomen ympäristökeskuksen mukaan kiertotaloudelle ei ole olemassa vakiintunutta määritelmää, mutta yleisesti se ymmärretään lineaarisen talousmallin vaihtoehtona niin, että tuotanto ja kulutus eivät ylitä maapallon kantokykyä (Suomen ympäristökeskus 2020). Kiertotalouden määrittelyyn on erilaisia tapoja ja rajoituksia myös tieteessä. Esimerkiksi kiertotaloutta käsittelevien tutkimusartikkelien määrä on kasvanut edellisen kymmenen vuoden aikana vuoteen 2022 mennessä noin sadasta artikkelista aina neljään tuhatteen artikkeliin. (Figge et al. 2023)

Kirchherr et al. (2017) laatima kiertotalouden määrittely on yksi laajimmin käytetyistä kiertotalouden määrittelyistä; kiertotalous kuvaa taloudellista järjestelmää, joka perustuu sellaisiin liiketoimintamalleihin, jotka korvaavat end-of-life konseptin materiaalien käyttöä vähentämällä sekä uudelleen käyttöä, kierrättämistä ja talteenottoa lisäämällä tuotanto-, jakelu- ja kulutusprosesseissa. Tämän tavoitteena on kestävä kehitys, joka edellyttää ympäristön laadun, taloudellisen kehityksen ja sosiaalisen tasa-arvon luomista yli sukupolvisesti. Lineaaritalouden kehittyminen uudelleenkäyttötalouden kautta kiertotalouteen on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Kuvaus lineaaritalouden, uudelleenkäyttötalouden sekä kiertotalouden prosesseista, mukaillen (The Government of the Netherlands 2016; Okorie et al. 2018).

Figge et al. (2023) toteaa kuitenkin, ettei kyseinen kiertotalouden määritelmä täytä yleisesti hyvän määritelmän kriteerejä. Hyvä määritelmä koostuu kahdesta osasta, jotka ovat määriteltävä termi ja määritellyn termin riittävän tarkasti rajattu tarkoitus. Lisäksi hyvän määritelmän piirteeksi katsotaan vastaesimerkkien puuttuminen. Hyvä määritelmä keskittyy vain olennaiseen samalla kun termi erotetaan muista siihen liittyvistä käsitteistä. Figge et al. (2023) ovatkin päätyneet artikkelissaan määritelmään; kiertotalous on monitasoinen resurssien käyttöjärjestelmä, jonka vaatimuksena on resurssienkiertojen täydellinen sulkeminen, mikä on kuitenkin varsin lähellä laajasti käytettyä Kirchherr et al. (2017) määritelmää. Kierrätys ja muut keinot ovat kiertotaloutta edistäviä ja tukevia käytäntöjä, jotka optimoivat resurssivirtojen mittakaavaa ja suuntaa. Käsitteellisesti kaikki resurssikierrat ovat täysin suljettuja, mutta realistisesti epätäydellisessä muodossaan neitseellisten resurssien käyttö on kuitenkin väistämätöntä.

Käsitetasolla kiertotaloudella tarkoitetaan siis sellaista toimintatapaa, jolla pyritään vastaamaan globaaleihin haasteisiin, kuten ylikulutukseen, väestönkasvuun sekä ilmastonmuutokseen mahdollistaen samanaikainen talouskasvu (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020). Kiertotalous on keino vähentää luonnonvarojen käyttöä, sillä kiertotaloudessa materiaaleja hyödynnetään tehokkaasti ja kestävällä tavalla niin, että ne pysyvät kierrossa pitkään ja turvallisesti (Valtioneuvosto 2021; Suomen ympäristökeskus 2020). Tutkimusartikkeleissa kiertotalouden ja ympäristön kestävyysindikaattoreita tarkastellaan muun muassa ajuri-painostus-tila-vaikutus-vastaus (engl. Driver-Pressure-State-Impact-Response, DPSIR) -mallin mukaisesti, joka huomioi maapallon kantokyvyn, elinkaarilaskennan sekä YK:n kestävä kehityksen tavoitteet (Dong & Hauschild 2017).

Huomioitavaa on, että kiertotalous on laaja ja lähes kaikkia toimialoja koskettava käsite, eikä se näin ollen ole itsessään yksittäinen toimiala (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020).

Kiertotalouteen siirtymistä hidastavia esteitä on tutkittu niin Euroopan ja maailman mit-takaavassa kuin paikallisestikin. Kirchherr et al. (2018) mukaan Euroopassa kiertotalou-teen siirtymistä rajoittavat niin kulttuuria, sääntelyä, markkinoita kuin teknologiaakin kos-kevat esteet. Ranta et al. (2018) sekä de Jesus & Mendonça (2018) ovat tehneet vas-taavanlaisia havaintoja kiertotaloutta rajoittavista tekijöistä myös muualta maailmasta. Coenen et al. (2023) ovat tutkineet asiaa Hollannissa ja tunnistaneet kolme paikallista kausaalisyykliä, jotka ovat esteenä kiertotalouteen siirtymiselle infrasektorilla. Syklit koos-tuvat vastaavista esteistä, kuin Euroopan tasolla ja muualla maailmalla tehdyissä tutki-muksissa on havaittu (Kirchherr et al. 2018; Ranta et al. 2018; Jesus & Mendonça 2018). Coenen et al. (2023) tunnistamat syklit on nimetty innovaationsykliksi, tiedon leviämisen sykliksi sekä kiertotalouden kiistaisuuden sykliksi. Näissä sykleissä vaikuttavat tekijät johtavat yhdessä kiertotalouden hitaaseen omaksumiseen organisaatioissa. On myös todettu, että vaikka kiertotalous on laajalti tunnettu teema eri toimialoilla, on siihen liitty-vien aloitteiden määrä ja vaikutukset edelleen melko vähäisiä. Lisäksi kiertotalouden pai-nopiste vaikuttaa olevan erilaisissa pilottikohteissa ja kokeiluissa, eikä niinkään proses-sien kehittämisessä ja organisaatioihin kohdistuvissa muutoksissa (Coenen et al. 2023).

2.2 Ilmastotavoitteet tierakentamisen näkökulmasta

Ilmastonmuutoksen torjumiseen ja kestäväen kehityksen edistämiseen on varauduttu niin kansainvälisellä-, EU- kuin kansallisellakin tasolla erilaisin sopimuksin, tavoittein sekä strategioin. Kansainvälisen tason sopimuksena jäljempänä esitellään Pariisin ilmastoso-pimus, EU tasoisina tavoitteina Euroopan komission 2030 ilmastotavoitesuunnitelma sekä kierrätysmateriaalien käytön tavoitteet ja kansalliselta tasolta Suomen kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. Selkeitä infra- ja tierakentamiseen kohdistuvia tavoitteita ei kuitenkaan ole edellä mainituissa materiaaleissa osoitettu, vaan linjaukset ovat yleis-maallisempia ja ottavat rakentamiseen kantaa vain toimialana esimerkiksi resurssien käytön kautta.

Pariisin ilmastosopimus on kansainvälinen ja oikeudellisesti sitova sopimus ilmaston-muutoksen torjumiseksi. 4.11.2016 voimaan astuneen sopimuksen tavoitteena on pitää maapallon keskilämpötilan nousu selvästi alle kahdessa asteessa verrattuna esiteolli-seen aikaan. Sopimuksella pyritään toimiin, jotka rajoittaisivat maapallon lämpenemisen alle 1,5 asteeseen. Aikataulullisesti sopimuksen tavoitteena on kääntää maailmanlaajui-set kasvihuonekaasupäästöt laskuun mahdollisimman pian. Sopimuksella tavoitellaan,

että ihmisen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ja päästöjä sitovat nielut olisivat tasapainossa kuluvan vuosisadan jälkipuoliskolla. Suorien päästövähennystavoitteiden lisäksi sopimukseen on kirjattu pitkän aikavälin tavoite sovittaa rahoitusvirrat kohti vähähiilistä ja ilmastokestävää kehitystä. Pariisin sopimuksen tavoitteet eivät ole määrällisiä, vaan sopimuksen osapuolet sitoutuvat omien kansallisten tavoitteidensa valmisteluun, tiedotukseen ja ylläpitoon. (Ympäristöministeriö 2023a)

Euroopan komissio on 2030 ilmastotavoitesuunnitelmassaan asettanut tavoitteeksi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 55 % vuoteen 2030 mennessä vuoteen 1990 verrattuna. Lisäksi EU:n tavoitteeksi on asetettu täyden hiilineutraaliuden saavuttaminen vuoteen 2050 mennessä. Nämä ovat merkittäviä nostoja edellisiin tavoitteisiin, jotka olivat 40 % päästövähennystavoite vuoteen 2030 mennessä ja 80 % päästövähennystavoite vuoteen 2050 mennessä, kun vertailuvuotena käytetään vuotta 1990. Nostetuilla päästötavoitteilla on tarkoituksena luoda varmuutta poliittisille päättäjille sekä sijoittajille. Päättöksiä pyritään nostetulla 2030 tavoitteella ohjaamaan niin, etteivät päätökset ole ristiriidassa vuoden 2050 hiilineutraaliustavoitteen kanssa. (Euroopan komissio 2020)

Konkreettisempänä ja suoremmin rakentamista koskevana tavoitteena EU:lla on kaksinkertaistaa kierrätysmateriaalien käyttö koko taloudessa käytetyn materiaalin kokonaismäärästä vuosina 2020–2030. Tavoitteen tarkoituksena on vähentää primääristen raaka-aineiden ottoa ja siihen liittyviä ilmastovaikutuksia. Vuonna 2021 kierrätysmateriaalien osuus materiaalikäytöstä oli 11,7 % ja vuoden 2030 tavoitteeksi on asetettu 23,4 %. Kierrätysmateriaalien käytön osuuden kehitys on ollut hidasta viimeisen vuosikymmenen aikana ja kasvua vuodesta 2010 vuoteen 2021 on ollut vain 0,9 %. Kasvua selittääkin lähinnä kotimaisen materiaalin kulutuksen vähentyminen, eikä kierrätysmateriaalin käytön kasvu. (European Environment Agency 2023)

Suomi on linjannut omat kansalliset ilmastotavoitteensa Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategiassaan. Siinä asetetut tavoitteet ovat huomattavasti EU:n tavoitteita kunnianhimoisempia. Tavoitteeksi on asetettu kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen 60 %:lla vuoteen 2030 mennessä. Hiilineutraalisuustavoite taas on asetettu kansallisesti vuoteen 2035 EU:n tavoitteen ollessa vuodessa 2050. Strategian tarkoituksena on ollut muodostaa kokonaisvaltainen toimintaohjelma, jonka avulla edetään kohti hiilineutraalia ja edelleen hiilinegatiivista yhteiskuntaa. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2022; Euroopan komissio 2020; Demos Helsinki 2021)

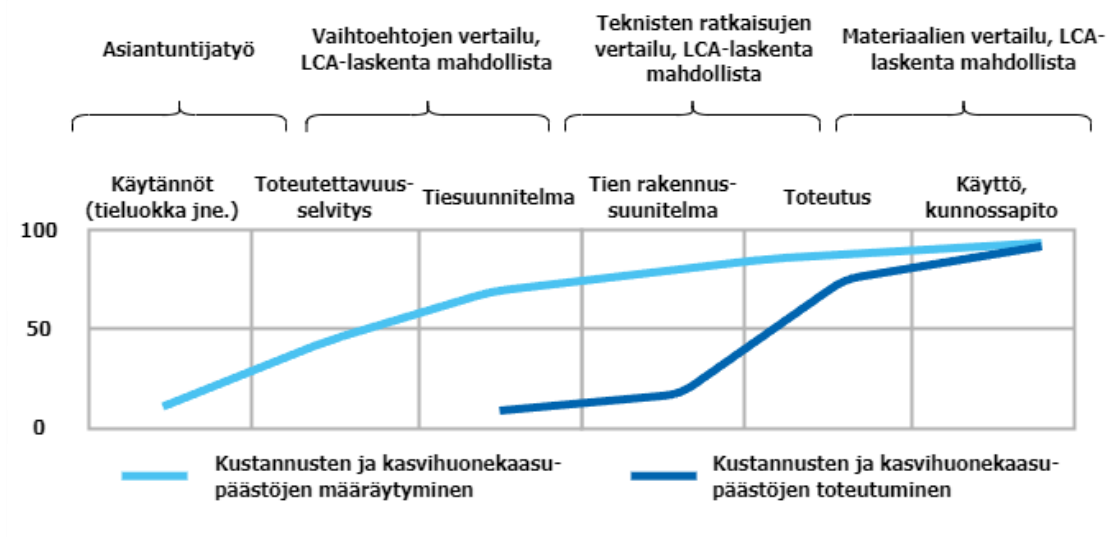
2.3 Infranhankkeiden elinkaari

Infranhankkeiden elinkaari koostuu viidestä vaiheesta. Yleisesti käytetyt infranhankkeiden elinkaaren vaiheet on määritelty rakennustöiden kestävyttä koskevassa standardissa SFS EN 15643-5. Vaiheet on jaettu viiteen elinkaarimoduuliin, jotka ovat A0 esivalmistelu, A1-3 tuotevaihe, A1-5 rakennusvaihe, B1-8 käyttövaihe, C1-4 elinkaaren loppu ja D täydentävä informaatio elinkaaren aikana (SFS EN 15643:2021). Elinkaarimoduulien tarkempi vaihekohtainen sisältö on esitetty alla kuvassa 2.

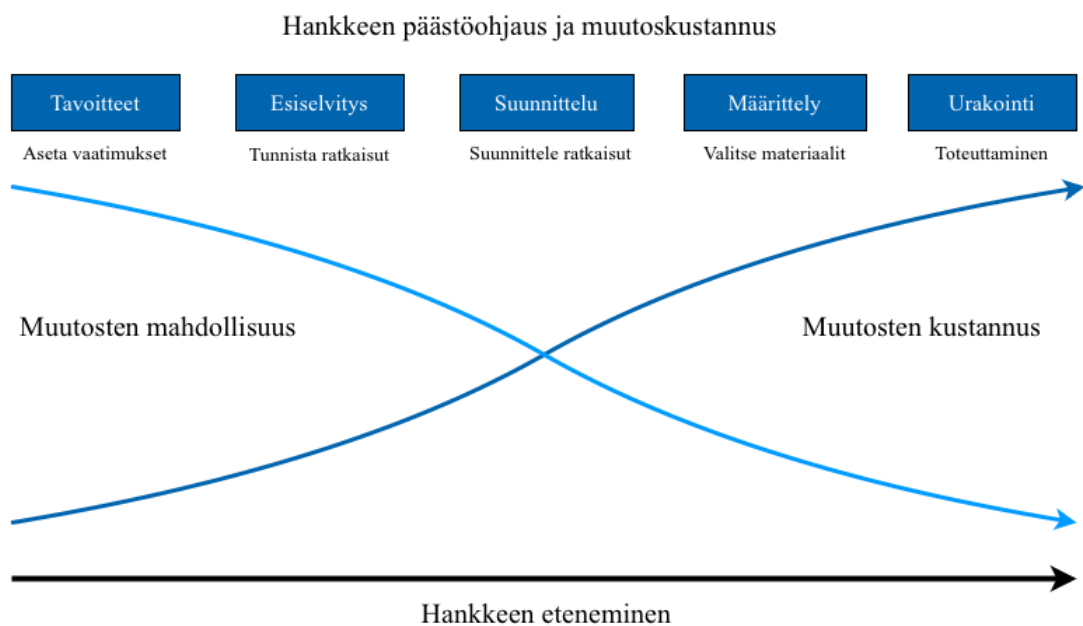
Yhdyskuntateknisten hankkeiden elinkaaren vaiheet																		
A0 Esivalmistelu	A1-3 Tuote			A4-5 Rakentaminen		B1-8 Käyttö					C1-4 Elinkaaren loppu							
A0	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4				
Tutkimukset kustannuslaskenta konsultaatiot	Raaka-aineiden hankinta	Kuljetus	Tuotanto	Kuljetus	Asentaminen	Käyttö	Kunnossapito	Korjaaminen	Korvaaminen	Kunnostus	Purkaminen	Kuljetus	Uudelleenkäyttö ja kierrätys	Loppusijoittaminen				
						B6 Energiankulutus												
						B7 Muut prosessit												
						B8 Käyttäjien toiminta												
D Täydentävä informaatio elinkaaren vaiheiden aikana																		
Tuotejärjestelmän hyödyt ja kuormitukset Potentiaali kierrätyksessä ja uudelleenkäytössä Vaihtoehtoisen käytön vältetyt vaikutukset																		

Kuva 2. Yhdyskuntateknisten hankkeiden elinkaaren vaiheet (SFS EN 15643:2021).

Työssä keskitytään infran elinkaarella vaiheisiin A1-5, eli tuote- ja rakennusvaiheeseen. Jäljempänä esitellyt väylärakentamisen kiertotaloutta ohjaavat tekijät vaikuttavat infran elinkaarella jo A0 esivalmistelu -vaiheessa, jossa määräytyykin suunnittelun eri vaiheissa noin 90 % infrarakentamisen päästöistä sekä valtaosa kustannuksista. Tämä lisäksi suunnittelussa vaikutetaan myös toteutuksen, kunnossapidon sekä käytöstä poistamisen ja uusiokäytön mahdollisuuksiin (FGBC 2021). Aiempien selvitysten perusteella tiedetään, että infrarakentamisen merkittävimmät ilmastovaikutukset syntyvät tyypillisesti rakentamisessa käytettyjen materiaalien tuotannosta (Väylävirasto 2023a). Kustannusten ja päästöjen määräytymistä sekä niiden aiheutumista on havainnollistettu kuvassa 3. Kuva ei sisällä käytön aikaisesta liikenteestä aiheutuvia päästöjä (Väylävirasto 2020a). Infranhankkeen päästöohjauksen ja muutostekniikoiden käyttäytyminen hankkeen edetessä on esitetty kuvassa 4.



Kuva 3. Kustannusten ja päästöjen määräytyminen ja toteutuminen tierakentamisessa. Liikenteen aiheuttamia kustannuksia ja vaikutuksia ei ole esitetty (Nord-Fou 2023).



Kuva 4. Infrahankkeen päästöohjaus ja muutostalustus (Liikennevirasto, 2018a).

2.4 Kiertotalouden ohjauskeinot tierakentamisessa

Infrarakentaminen on tunnistettu usealla tasolla merkittäväksi tekijäksi ilmastotavoitteiden saavuttamisen kannalta (Demos Helsinki 2021; Murray 2019), sillä infrastruktuuri aiheuttaa yli 60 % globaaleista kasvihuonekaasupäästöistä (Murray 2019). Murray (2019) toteaaakin yhteiskunnan kehityksen kannalta juuri infrastruktuurin olevan ratkaisevassa asemassa kaikkien kolmen yleisesti käytetyn kestävä kehityksen dimension kannalta, jotka ovat talous, ympäristö ja yhteiskunta (O' Connor 2006). O' Connor (2006) on

esittänyt näkökulman myös neljännessä kestävästä kehityksen dimensiosta, joka on ”politiikka”.

Infrastrukturi hiilineutraalissa Suomessa -loppuraportissa todetaan infrastruktuurin merkittävästä vaikutuksesta ilmastotavoitteiden toteutumisessa niin, että infrastrukturi joko mahdollistaa tai kaataa Suomen 2035 hiilineutraalisuustavoitteen (Demos Helsinki 2021). Infrarakentamisessa suurin osa päästöistä määräytyy suunnittelun aikana ja syntyy rakentamisen aikana johtuen materiaalien käytöstä. Päästöjen määräytymistä ja toteutumista on kuvattu luvun 2.3 kuvassa 3. Osa materiaaleista tuottaa paljon päästöjä valmistusvaiheessa ja osa puolestaan kuljetuksissa. Suomen kiertotalouden strategisessa edistämishjelmassa onkin tunnistettu vähähiilisten kiertotalousratkaisujen tarve infrastruktuurihankkeissa sekä kaupunki- että kuntatasolla (Paavilainen & Kassi 2021). Suomen ympäristön osalta kiertotalouden tärkeimmäksi tavoitteeksi on tunnistettu resurssitehokkuuden parantaminen ja materiaalikierron tehostaminen (Liikennevirasto 2018a). Infrastruktuurin suunnittelulla ja -rakentamisella voidaan siis todeta olevan merkittävä rooli ilmastotavoitteiden täyttymisessä, jonka vuoksi myös kiertotalouteen ohjaavia eri tasoisia ohjauskeinoja on paljon.

Väylärakentamisen kannalta toimintaa ohjataan kohti kiertotaloutta usealla eri päätöstopella ja usealla eri tavalla. Ylimmän tason ohjauksena toimivat globaalit ilmastotavoitteet ja EU-tason ohjeistukset sekä edelleen vastaavat kansalliset strategiat, tavoitteet ja lainsäädäntö. Alalla toimivien yritysten näkökulmasta kehitystä ohjaa yritysten omien tutkimus, kehitys ja innovaatio -panostusten (TKI) lisäksi julkiset hankinnat, joiden volyymi vuositasona on noin 30 miljardia euroa. Työ- ja elinkeinoministeriön raportissa (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020) todetaan, että valtion ja kuntien ostovoimaa voidaan julkisten hankintojen avulla suunnata tukemaan yritysten kiertotalousratkaisujen markkinoille pääsyä. Lisäksi julkisten hankintojen kautta pystytään motivoimaan yrityksiä myös yleiseen TKI-toimintaan (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020).

Tässä luvussa on esitelty tierakentamisen kannalta olennaisimpia kansallisia lakeja, valtioneuvoston eräiden jätteiden ja maa-ainesjätteiden hyödyntämistä maarakentamisessa koskevat asetukset, suunnittelua ja rakentamista ohjaava Väyläviraston materiaali sekä muita tierakentamisen kiertotalouteen liittyviä ohjauskeinoja. Edellisessä luvussa esitellyt ilmastotavoitteet ovat laajempia kokonaisuuksia ja ottavat rakentamiseen kantaa vain toimialatasolla.

2.4.1 Tierakentamista ohjaava lainsäädäntö

Kestävään kehitykseen, ilmaston suojeluun ja kiertotalouteen ohjataan useiden eri lakien ja asetusten toimesta. Nämä lait ohjaavat Väylävirastoa sekä muita toimialan eri rooleissa toimivia tahoja toteuttamaan tehtävänsä tai liiketoimintaansa ympäristö huomioon. Väyläviraston toimintaa kokonaisuutena määrittää laki väylävirastosta (862/2009). Lait ohjaavat tierakentamista useissa eri hankevaiheissa aina suunnittelusta rakentamiseen. Esimerkiksi tiesuunnitelman laatimista ohjaa laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä, kun taas rakentamisen aikana voidaan olla tekemissä esimerkiksi ympäristönsuojelulain (527/2014) ja jätelain (646/2011) nojalla säädetyn MARA-asetuksen kanssa, jolla voidaan hyödyntää eräitä jätteitä maarakentamisessa. Tierakentamiseen liittyvä lainsäädäntöä on siis paljon ja sen hallinta koko tiehankkeen elinkaaren ajalta on kompleksinen kokonaisuus.

Infrarakentamisen kannalta olennaisia lakeja ovat muun muassa:

- EU:n rakennustuoteasetus (EU 305/2011), laki - (954/2012) ja asetus (555/2013) eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä
- laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä (503/2005)
- maankäyttö- ja rakennuslaki (Alueidenkäyttölaki) (132/1999)
- ympäristönsuojelulaki (527/2014) ja -asetus (713/2014)
- laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (252/2017)
- jätelaki (646/2011) ja -asetus (978/2021)
- jäteverolaki (1126/2010)
- valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa, MARA-asetus (843/2017)
- kemikaalilaki (599/2013)
- vesilaki (587/2011)

Lisäksi erityisesti maa-ainesten ottoon liittyviä lakeja ovat maa-aineslaki (555/1981), valtioneuvoston asetus maa-ainesten ottamisesta (926/2005) ja luonnonsuojelulaki (9/2023). Väyläviraston teettämiä hankintoja taas ohjataan hankintalailla (1397/2016) ja hankinnassa käytettävään työvoimaan liittyen lailla tilaajan selvitysvelvollisuudesta ja vastuusta ulkopuolista työvoimaa käytettäessä (1233/2006).

Laki väylävirastosta määrittelee ensimmäisessä pykälässään viraston aseman ja toiminta-ajatuksen. Laissa määritellään, että viraston on toiminnallaan edistettävä väyläverkon toimivuutta, automatisaatiota, liikenteen turvallisuutta ja kestäväää kehitystä osana liikennejärjestelmän kokonaisuutta. Lisäksi Väyläviraston on edistettävä sekä tasapainoista kehitystä että toimintaedellytyksiä niin alueiden kuin elinkeinoelämänkin kannalta. (862/2009, §1)

EU:n rakennustuote asetuksessa on säädetty CE-merkinnän käytöstä rakennustuotteissa ja asetettu menettelyt, joiden mukaan toimijoiden on ilmoitettava rakennustuotteiden suoritusastot. Rakennustuotteen kelpoisuus osoitetaan CE-merkinnällä, mikäli se kuuluu harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan tai sillä on eurooppalainen tekninen arviointi (ETA) (EU 305/2011). CE-merkintä ei kuitenkaan yksin ole riittävä osoitus rakennustuotteen kelpoisuudesta jollekin tietylle rakennushankkeelle tai tietyssä rakennusosassa käytettäväksi, vaan lisäksi käytetään yksilöityjä vaatimusluokkia tai ominaisuuksien raja-arvoja sekä muita hankintasopimuksissa mahdollisesti asetettavia lisävaatimuksia (Väylävirasto 2022c). Jos rakennustuotteiden CE-merkintä ei ole mahdollista, se voidaan saattaa markkinoille vain sen täyttäessä laissa eräiden rakennustuotteiden hyväksynnästä (954/2012) ja asetuksessa eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä (555/2013) esitetyt vaatimukset (Väylävirasto 2022c).

Lain liikennejärjestelmästä ja maanteistä tarkoituksena on liikennejärjestelmäsuunnittelun järjestäminen siten, että valtakunnalliset ja alueelliset tavoitteet tulevat yhteensovituksi ja edellytykset toimivalle liikennejärjestelmälle ja sen kehittämiselle luoduksi. Lisäksi tarkoituksesta on määritetty, että lain tulee myös ylläpitää ja kehittää osana liikennejärjestelmää sellaisia toimivia, turvallisia ja kestäväää kehitystä edistäviä maantieteyksiä, joita liikkumis- ja kuljetustarpeet vaativat. (503/2005, §1)

Maankäyttö ja rakennuslain (alueidenkäyttölain) yleisenä tavoitteena taas on järjestää alueiden käyttö ja rakentaminen sellaisella tavalla, jolla luodaan edellytykset hyvälle elinympäristölle ja edistetään ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestäväää kehitystä (132/1999, §1). Lisäksi pykälässä 12 rakentamisen ohjauksen tavoitteeksi on mainittu edistää sellaista rakentamista, joka perustuu elinkaariominaisuuksiltaan kestäviin ratkaisuihin (132/1999, §12). Maankäytön osalta lain pykälissä 28 ja 39 otetaan kantaa maakunta- ja yleiskaavojen sisältövaatimuksiin, joiden laadinnassa on kiinnitettävä erityistä huomiota alueiden käytön ekologiseen kestävyyteen, ympäristön ja talouden kannalta kestäviin liikenteen ja teknisen huollon järjestelyihin ja toimivuuteen sekä vesi- ja maa-ainesvarojen kestäväään käyttöön (132/1999, §28, §39).

Ympäristönsuojelunlain ensimmäisen pykälän toisessa ja kolmannessa momentissa lain tarkoituksesta on säädetty; lain tarkoituksena on turvata terveellinen ja viihtyisä ympäristö, joka on sekä luonnontaloudellisesti kestävä että monimuotoinen. Lisäksi lain tarkoituksena on torjua ilmastonmuutosta, tukea kestäväää kehitystä, edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä ja vähentää jätteiden määrää sekä niiden haitallisuutta ja ehkäistä niistä aiheutuvia haitallisia vaikutuksia (527/2014, §1). Ympäristönsuojelulain nojalla on annettu myös valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta (713/2014). Siinä määrätään lupapäätösten tekemisistä niin, että mitkä päätökset ovat valtion ja mitkä kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen tehtäviä ja mitä ympäristönsuojelulain edellyttämässä lupahakemuksessa ja -ilmoituksessa tulee esittää. Asetuksessa on määrätty myös lupahakemusten ja -ilmoitusten käsittelystä, niiden päätöksistä sekä valvonnasta ja seurannasta. (713/2014)

Muita infrarakentamista koskevia lakeja ovat muun muassa laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (252/2017), jätelaki ja -asetus (646/2011; 978/2021), jäteverolaki (1126/2010), kemikaalilaki (599/2013), vesilaki (587/2011) sekä esimerkiksi erilaiset asetukset ympäristövahingoista, meluntorjunnasta ja ilmanlaadusta. Olennainen on myös valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa eli niin sanottu MARA-asetus (842/2017), joka on esitelty jäljempänä omassa alaluvussaan.

Laki ympäristövaikutusten arvioinnista velvoittaa ympäristövaikutusten arvioinnin tekemiseen hankkeissa, joissa hankkeella tai sen muutoksilla on todennäköisesti merkittäviä ympäristövaikutuksia (252/2017, §3). Jätelain tarkoituksena on muun muassa edistää kestäväää luonnonvarojen käyttöä ja kiertotaloutta sekä vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta (646/2011, §1). Lisäksi jätelaki velvoittaa etusijajärjestyksen noudattamiseen, joka tarkoittaa, että kaikessa toiminnassa on mahdollisuuksien mukaan ensisijaisesti vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Mikäli jätettä kuitenkin syntyy, on se ensisijaisesti valmisteltava uudelleen käyttöä varten tai toissijaisesti kierrätettävä. Mikäli kierrätys ei ole mahdollista on jäte hyödynnettävä muulla tavoin (esimerkiksi energiana) tai viimekädessä loppukäsiteltävä (646/2011, §8). Jätelakia on tarkennettu jätelain nojalla annetulla asetuksella, jossa on määritetty esimerkiksi mitkä toimet tulkitaan jätelain mukaiseksi jätteen hyödyntämiseksi (978/2021, §2). Jäteverolailla taas tuetaan osaltaan ympäristölainsäädännön jätteisiin kohdistuvia tavoitteita. Jäteverolaissa määrätään esimerkiksi maksettavan veron määrästä kaatopaikalle toimitettavaa jätetonnin kohden (1126/2010). Myös kemikaali- ja vesilain tarkoituksena on käytännössä ympäristön suojele omien erikoisalojensa mukaan (599/2013, §1; 587/2011, §1).

Erityisesti maa-ainesten ottoon liittyviä lakeja ovat maa-aineslaki (555/1981), valtioneuvoston asetus maa-ainesten ottamisesta (926/2005) ja luonnonsuojelulaki (9/2023).

Maa-aineslakia sovelletaan kiven, sora, hiekan, saven ja mullan ottamiseen niin pois kuljettamisen kuin paikalla varastoimisen ja jalostuksenkin kohdalla. Maa-aineslain tarkoituksena on, että maa-ainesten otto toteutetaan ympäristön kestävästä kehitystä tukevalla tavalla. Maa-aineksien ottamisesta on myös määrätty, että maa-aineseesiintymiä on hyödynnettävä säästeliäästi ja taloudellisesti (9/2023, §1–3). Maa-ainesten ottamisesta säädettyssä asetuksessa on tarkennettu muun muassa maa-aineslupahakemuksessa esitettäviä asioita, ottamissuunnitelman sisältöä ja muita hakemusprosessiin ja -päätökseen liittyviä asioita (926/2005). Luonnonsuojelulain tavoitteet ovat maa-ainesten ottamisen osalta maa-aineslakia vastaavia. Luonnonsuojelulain tavoitteena on muun muassa luonnonvarojen ja luonnonympäristön kestävästä käytön tukeminen ja ilmastonmuutokseen sopeutumisen edistäminen (9/2023, §1).

Hankintoja teettämiseen liittyvät hankintalaki (1397/2016) sekä laki tilaajan selvitysvastuusta ja vastuusta ulkopuolista työvoimaa käytettäessä (1233/2006). Hankintalaki koskee julkisia hankintoja ja sen tarkoituksena on varmistaa, että hankinnoissa käytettävät julkiset varat käytetään tehokkaalla, avoimella ja syrjimättömällä tavalla. Lain tavoitteena on myös edistää laadukkaiden, innovatiivisten ja kestävien hankintojen tekemistä. Hankintalaissa on myös määritelty menettelytavat, joita julkisen sektorin tulee noudattaa hankinnoissaan. Hankintalailla edistetään kilpailua, kestävästä kehitystä, julkisten hankintojen avoimuutta, jonka lisäksi se tarjoaa yrityksille tasapuoliset mahdollisuudet osallistua hankintamenettelyihin (1397/2016). Laki tilaajan selvitysvastuusta ja vastuusta ulkopuolista työvoimaa käytettäessä (1233/2006) liittyy hankinnoissa mahdollisesti käytettävään ulkopuoliseen työvoimaan ja koskee tilaajan vastuuta ja velvollisuuksia. Lain tarkoituksena on varmistaa tilaajan vastuu oikeudellisista ja taloudellisista velvoitteista, kun käytössä on ulkopuolista työvoimaa.

2.4.2 Asetukset jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (MARA-asetus) on ympäristönsuojelulain (527/2014) 10 §:n, 32 §:n 2 momentin ja 117 §:n sekä jätelain (646/2011) 14 ja 15 §:n nojalla laadittu menettelytapa, jonka tarkoituksena on helpottaa uusiomateriaalien käyttöä maarakentamisessa sekä edistää kiertotaloutta ja kestävästä luonnonvarojen käyttöä (VNa 843/2017). MARA-asetuksessa on määritelty edellytykset, joiden täytyessä siinä tarkoitettujen jätteiden käyttöön maarakentamisessa ei tarvita ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaista ympäristölupaa. MARA-asetuksella on uusiomateriaalien käyttöä edistävä vaikutus, sillä asetus kattaa osan maarakentamiseen soveltuvista uusiomateriaaleista sekä osan niiden käyttöön soveltuvista kohteista,

jolloin lupamenettely (ilmoitusmenettely) näissä tilanteissa on ympäristölupaa kevyempi. Jätteiden hyödyntäminen ei kuitenkaan ympäristönsuojelulain mukaan saa aiheuttaa vaaraa ympäristölle tai ihmiselle, joten MARA-asetusta ei sovelleta esimerkiksi vesistöjen tai asutuksen läheisyydessä. Kuvassa 5 on esitetty MARA-asetuksen mukaiset materiaalit, niiden käyttökohteet sekä MARA-asetuksen soveltamisohjeessa määritellyt yleisimmät esteet asetuksen soveltamiselle. (MARA-asetuksen soveltamisohje 2019, 4)

Materiaalit	Käyttökohteet	Ei sovelleta
- Betonimurske - Kevytbetoni- ja kevytsorajätteet - Tiilimurske - Asfalttimurske ja -rouhe - Tuhkat - Jätteen polton kuona (käsitelty) - Valimohiekat - Kalkit - Kokonaiset renkaat ja rengasleike - Rakenteesta poistettu jäte	- Väylärakenteet - Kenttärakenteet - Vallirakenteet - Teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteet	- I- ja II-luokan pohjavesialueilla - Asuinrakentamiseen tarkoitetuilla alueilla - Lapsille tarkoitetuilla leikkipaikoilla - Ravintokasvien viljelyalueilla - Sisämaan tulvavaara-alueilla

Kuva 5. MARA-asetuksessa määritellyt materiaalit, niiden käyttökohteet sekä soveltamisen yleisimmät rajoitukset (VNa 843/2017; Mara-asetuksen soveltamisohje 2019).

Valtioneuvoston valmisteilla oleva maa-ainesjätteiden hyödyntämistä maarakentamisessa koskeva asetus (MASA-asetus), on asetus, joka laaditaan MARA-asetuksen rinnalle. Keskeisin MASA-asetuksen tarkoitus on kannustaa ja edistää ylijäämämaiden turvallisen hyödyntämisen ratkaisuja (MASA muistioluonnos 2018). Alkuperäinen MASA-asetus sai 2018–2019 vuodenvaihteessa toteutetulla lausuntokierroksella yli 50 lausuntoa, jonka vuoksi asetuksen sisällön ja tarkan muotoilun työstämistä on jatkettu vuonna 2020 ja säädösvalmistelu on edelleen käynnissä (MASA taustamuistio 2020; Ympäristöministeriö 2018). MASA-asetuksen tarkoituksena on MARA-asetuksen tavoin edistää kestävästä kiertotalouden periaatteita ja jätteiden hyödyntämistä maarakentamisessa sekä sujuvoittaa toimintaan liittyviä hallinnollisia menettelyitä. Ylijäämämaiden turvallisen hyödyntämisen edistäminen ja niiden käyttöön kannustavat ratkaisut ovat MASA-asetuksen keskeisin tarkoitus (MASA muistioluonnos 2018). Käytännössä tulevan MASA 2.0-asetuksen keskeisimpiä asioita olisivat ilmoitusmenettely, joka koskisi mahdollista hait-

taa aiheuttavien maa-ainesten tutkimusvelvollisuutta, sekä näiden kaivamista, hyödyntämistä ja välivarastointia. Tämän myötä esimerkiksi maaperän stabilointi jäteperäisiä materiaaleja hyödyntämällä tulisi mahdolliseksi ilmoitusmenettelyllä. (MASA taustamuisio 2020)

2.4.3 Suunnittelua ja rakentamista koskeva Väylän ohjeistus

Väyläviraston tavoitteena on edistää uusiutuvien ja uusiutumattomien luonnonvarojen säästeliästä käyttöä ja vähentää jätteiden määrää. Keinoiksi on tunnistettu muun muassa lainsäädännön sekä lupa- ja ilmoitusmenettelyjen kehittäminen, uusiomateriaalien käytön edistäminen sekä hankintojen ja ohjeistuksen kehittäminen (Väylävirasto 2022c). Tässä alaluvussa on käyty läpi Väyläviraston ajantasainen suunnittelun ja rakentamisen ohjeistus liittyen kiertotalouteen ja tierakentamisessa käytettäviin uusiomateriaaliratkaisuihin.

Valtakunnallisella tieverkolla tehtävillä Väyläviraston ja ELY-keskusten tiehankkeilla uusiomateriaalien käyttö perustuu Väyläviraston (ja sen edeltäjän Liikenneviraston) ohjeisiin. Ohjeet löytyvät Väyläviraston ohjeluettelon internet sivustolta ja niitä päivitetään jatkuvasti. Tässä työssä tarkasteltavan materiaalin rajausta on tehty 1.6.2023 tallennettuun tienpidon tekniset ja turvallisuusohjeet -luetteloon, eikä myöhemmin vuoden 2023 aikana julkaistuja ohjeita ole käsitelty tässä työssä. Myös tutkimusten ja selvitysten sekä julkaisujen osalta haut tietokannoista on tehty vuoden 2023 touko-kesäkuun aikana. Taulukossa 1 on esitetty kootusti Väyläviraston kiertotalouteen, uusiomateriaaleihin ja rakentamisen kestävyysliittävät materiaalit, joita tässä työssä on tarkasteltu. Materiaalit sisältävät ohjeita, julkaisuja sekä tutkimuksia ja selvityksiä.

Tarkasteluun sisältyvät Väylän materiaalit ovat kukin lajityyppi kerrallaan eroteltavissa teemoihin. Julkaisut ovat eroteltavissa ekotehokkuuden parantamiseen, elinkaariarvioinnin kehittämiseen ja hankintojen ympäristökriteereihin sekä väylänpidon nykytilaa käsitteleviin selvityksiin. Tutkimukset ja selvitykset ovat eroteltavissa materiaalien hallintaa ja käyttöä, päästölaskennan kehitystä sekä uusiomateriaalien käyttöä ja toimivuutta koskeviin teemoihin. Ohjeet taas voidaan jakaa hanke- ja ympäristöarviointia, eri suunnitteluvaiheita sekä uusiomateriaalien käyttöä koskeviin ohjeisiin. Muut aiheeseen liittyvät materiaalit sisältävät ohjeita, oppaita ja liitteitä, jotka ovat myös esitelty oman väliotsikoidensa alla. Ensimmäisenä on esitetty yhteenveto tarkastellusta materiaalista, jonka jälkeen materiaali on esitelty tarkemmin lajityyppeihin ja teemoihin jaoteltuna edellä mainitulla tavalla.

YHTEENVETO TARKASTELLUSTA MATERIAALISTA

Väyläviraston julkaisemia tien suunnittelua ja rakentamista koskevia teknisiä ohjeita, määräyksiä, julkaisuja ja turvallisuusohjeita on huomattava määrä. Suoraan kiertotalousratkaisujen käyttöön liittyviä ohjeita ja vaatimuksia on kuitenkin vielä niukasti. Kiertotalouteen ja uusiomateriaalien käyttöön liittyvä materiaali on vielä luonteeltaan mahdollistavaa ja sallivaa, eikä niinkään tiettyjä ratkaisuja vaativaa, kuten esimerkiksi tien suuntauksen suunnittelun, tien poikkileikkauksen suunnittelun tai tierakenteen suunnittelun ohjeet ovat (Liikennevirasto 2013; Väylävirasto 2021e; Liikennevirasto 2018d). Näissä ohjeissa määrätään selkeästi esimerkiksi tien geometrisen suunnittelun yleiset mitoitusperiaatteet, tien poikkileikkauksen valinta ja tierakenteen mitoittamista määräävät tekijät.

Useissa ohjeissa on kuitenkin huomioitu kiertotalousratkaisujen käytön edistäminen jollakin tavalla, vaikka käyttöä ei vielä suoraan vaaditakaan. Ohjeissa määrätään esimerkiksi säännöllisestä uusiomateriaaliselvityksien laatimisesta tiesuunnitelmavaiheessa ja vaihtoehtoisten rakenteiden mahdollistamisesta rakennussuunnitelmavaiheessa (Väylävirasto 2022d; Väylävirasto 2022e). Suoraan uusiomateriaaleihin ja kiertotalouteen liittyvät ohjeet, kuten uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa (20/2022) ja betonijätteen käsittely ja käyttö väylähankkeissa (43/2022) eivät velvoita em. materiaalien käyttämiseen, mutta niissä esitetään menettelytavat tilanteisiin, joissa uusiomateriaalien käyttö on tarkoituksenmukaista.

Uusiomateriaalien käytön ohjeistus ja hankekäytännöt (18/2018) -tutkimuksessa ja selvityksessä on todettu tarve uusiomateriaalien hankekäytäntöjen yhtenäistämiseksi ja alustavan massatarpeen selvittyä uusiomateriaalien saatavuus ja käyttömahdollisuuksien selvittämiseen hankkeilla jo tie- tai ratasuunnitelmavaiheessa (Liikennevirasto 2018b). Nykyisissä tiesuunnitelmaohjeissa edellytetään kirjallisen uusiomateriaaliselvityksen laatimista (Väylävirasto 2022d; Väylävirasto 2022h), joten ohjeympäristön voidaan katsoa muuttuneen ainakin askeleen verran vuonna 2018 tunnistettujen tarpeiden suuntaan. Myös Väyläsuunnittelun uusiomateriaalit (6/2018) -tutkimuksen yhteydessä toteutettujen haastatteluiden mukaan oikea vaihe uusiomateriaaliselvitysten laatimiselle on tiesuunnitelmavaiheen aikana (Liikennevirasto 2018c). Lisäksi tunnistettuihin tarpeisiin oli listattu CE-merkintöihin liittyvien velvoitteiden selkeyttäminen ja materiaalihyväksyntöjen kehittäminen. Näihin tarpeisiin on laadittu oppaat rakennustuotteiden CE-merkinnästä ja uusiomateriaalien teknisen soveltuvuuden arvioinnista. (Väylävirasto 2021d; Väylävirasto 2022b).

Esitellyistä materiaalityypeistä ohjeita käytetään yleisesti suunnittelussa ja rakentamisessa yhtenäisten lopputulosten aikaansaamiseksi ja tasaisen laadun varmistamiseksi. Julkaisut, tutkimukset ja muu materiaali taas on luonteeltaan yleisempää Väylän omaa ja alaa kehittävää tutkimus- ja kehitystyötä. Näiden tulosten perusteella voidaan esimerkiksi laatia uusia suunnittelun ja rakentamisen ohjeita.

Taulukko 1. *Koonti työssä käsitellyistä Väyläviraston kiertotalouteen, uusiomateriaaleihin ja rakentamisen kestävyteen liittyvästä materiaalista.*

Julkaisut	Vuosi	Teema
Ekotehokkuus investointien ST-hankinnoissa	2007	Ekotehokkuus
Tienrakennuksen ekotehokkuuden parantaminen	2008	
Väylärakentamisen kaluston ympäristövaatimukset Tiekartta työ- kone- ja kuljetuskaluston vaatimuksiin vuosille 2022–2030	2021	
Tie- ja ratainfrastruktuurin elinkaariarvioinnin opas	2020	Elinkaariarvioinnin kehittäminen
Infrarakentamisen kansallinen päästötietokantahanke. Infrarakentamista palvelevan päästötiedon saatavuus, arviointimenetelmät ja tietokannan kokoamisen suunnitelma	2022	ja hankintojen ympäristökriteerit
Väyläviraston hankintojen ympäristökriteerit	2023	
Kiertotalous väylänpidossa Nykytilaselvitys	2022	Väylänpidon nykytilaselvitykset
Ilmastonmuutokseen sopeutuminen väylänpidossa		
Tutkimukset ja selvitykset	2023	
Materiaalien hallinnan raportointi väylänpidossa Esiselvitys kiertotalouden tarpeisiin	2017	Materiaalien hallintaa ja käyttöä
Uusiomateriaalien käytön ohjeistus ja hankekäytännöt Kehitystarpeet ja mahdollisuudet tierakentamisessa	2018	
Väyläsuunnittelun uusiomateriaaliselvitykset	2018	
Siltojen ja muiden taitorakenteiden purkubetonijätteen hyödyntäminen	2019	
Panospohjaisen CO ₂ -laskennan pilotointi väylähankkeessa	2014	Päästölaskennan kehittäminen
Infrahankkeiden rakentamisen ja materiaalien CO ₂ -päästöjen raportointi- ja ohjauskeinojen kartoitus	2018	
Kokemuksia uusiomateriaaleista tierakenteissa	2019	Uusiomateriaalien käyttö ja toimivuus
Vaihtoehtoisia maarakennusmateriaaleja sisältävien tie- ja katurakenteiden vaurioituminen	2016	
Ohjeet		
Ympäristövaikutusten arviointi rata- ja tiehankkeissa	2021	Hanke- ja ympäristöarviointi
Tiehankkeiden arviointiohje	2020	
Yleissuunnittelu toimintaohjeet	2010	Yleis-, tie- ja tien rakennussuunnittelu
Yleissuunnittelu Sisältö ja esitystapa	2007	
Tiesuunnitelma Toimintaohjeet	2022	
Tiesuunnitelmavaiheen asiakirjat – Sisältö ja esitystapa	2022	
Tien rakentamissuunnitelma – Toimintaohjeet	2022	

Tien rakentamissuunnitelma – Sisältö ja esitystapa	2022	
Betonijätteen käsittely ja käyttö väylähankkeissa	2022	Uusiomateriaa-
Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa	2022	lien käyttö

Muut

Väylähankkeen laadunosoitus - Laatuprosessin kuvaus	2020	Muut
Väylähankkeiden kustannushallinta	2021	
Rakennustuotteiden CE-merkintä	2021	
Maanteiden asfalttipäällysteissä käytettävät uusiomateriaalit ja li-säaineet	2019	
Uusiomateriaalien teknisen soveltuvuuden arviointi	2022	
Väylärakenteisiin soveltuvia uusiomateriaaleja	2022	

Ekotehokkuus

Vanhimmat työn tarkasteluun mukaan otetut julkaisut ovat tiehallinnon ekotehokkuus investointien ST-hankinnoissa (49/2007) ja tierakennuksen ekotehokkuuden parantaminen (39/2008). Ekotehokkuus investointien ST-hankinnoissa-julkaisussa on todettu tie-rakentamisen aiheuttavan 43 % Suomen uusiutumattomien luonnonvarojen käytöstä. Luonnonvarojen käytön suhteellinen osuus on muihin ympäristövaikutuksiin nähden to-della suuri, koska tierakentamisen on todettu esimerkiksi kuluttavan vain noin 1 %:n Suo-men uusiutumattomasta energiasta. Julkaisussa on todettu, että pyrkimys kustannuste-hokkuuteen johtaa useissa tapauksissa myös ekotehokkuuden parantumiseen, johtuen esimerkiksi yleisestä pyrkimyksestä kuljetusten ja massamäärien minimointiin. Lisäksi julkaisussa on tunnistettu ekotehokkuuden kannalta merkittävimpiä rakennusosia ja työ-vaiheita sekä arvioitu miltä osin ekotehokkuuden parantaminen vaatii erillisiä ohjaustoi-mia. (Tiehallinto 2007a)

Tienrakennuksen ekotehokkuuden parantaminen -julkaisussa on laadittu edelliseen pe-rustuen toimenpide-ehdotuksia ekotehokkuuden parantamiseksi. Julkaisussa on myös tunnistettu muun muassa rakentamisessa käytettävän kuljetus- ja konekaluston suuri merkitys tierakentamisen päästöihin. Rakentamisessa käytettävällä kalustolla on suuri merkitys yksittäisissä hankkeissa aiheutuviin päästöihin, vaikka tierakentamisesta aiheu-tuvat päästöt ja uusiutumattoman energian kulutus onkin kokonaisuutena pientä verrat-tuna koko Suomen tasoon (Tiehallinto 2008). Julkaisulla Väylärakentamisen kaluston ympäristövaatimukset Tiekartta työkalu- ja kuljetuskaluston vaatimuksiin vuosille 2022–2030 (63/2021) Väylävirasto on edennyt myös investointihankkeissa kohti vähäpäästöi-sempiä työmaita, siinä missä päästöluokitusvaatimuksia on aiemmin kohdistettu vain kunnossapitohankkeisiin. Julkaisu esittää mallin, jolla Väylävirasto osallistuu päästöttö-mien työmaiden Green deal -sopimuksen yhteistyöhön. Julkaisussa on esitetty vaiheit-tain kiristyvät päästöluokkavaatimukset käytettävälle kuljetuskalustolle sekä työkoneille

niin, että vaatimustasot huomioivat myös hankealueen (taajama-alue, maaseutu, jne.) vaikutukset päästöluokkiin. (Väylävirasto 2021a)

Elinkaariarvioinnin kehittäminen ja hankintojen ympäristökriteerit

Tie- ja ratainfrastruktuurin elinkaariarvioinnin oppaassa (64/2020) on yhteistyössä pohjoismaisten tie- ja liikennehallintojen kanssa (Norjan tiehallinto NPRA ja Ruotsin tiehallinto STA) pyritty kehittämään tie- ja ratainfrastruktuurin elinkaariarviointimenetelmiä. Tarve menetelmien kehittämiseksi on havaittu, koska arviointien tulokset saattavat vaihdella merkittävästi, joka heikentää saatujen tulosten vertailukelpoisuutta. Edellä mainittu kehitys ja erojen vähentäminen parantaa myös tulosten luotettavuutta. Oppaassa on keskitytty hiilidioksidipäästöihin ja määritetty menetelmät elinkaariarviointien käyttöön ja pyritty vähentämään standardien jättämiä tulkinnanvaraisuuksia. Elinkaariarviointeja laativien henkilöiden käytössä opas toimii arviointien laadinnan tukena sekä hanke- ja projektipäälliköiden kohdalla elinkaariarvioinnin kokonaisuuden ymmärtämisessä. (Väylävirasto 2020a)

Elinkaariarviointien kehittämiseen tiiviisti liittyen Väylävirasto on laatinut julkaisun Infrarakentamisen kansallinen päästötietokantahanke; Infrarakentamista palvelevan päästötiedon saatavuus, arviointimenetelmät ja tietokannan kokoamisen suunnitelma (11/2022). Hankkeen tavoitteena on ollut päästötietokannan luominen, jonka avulla voidaan tehdä tyypillisten infrahankkeiden elinkaari pohjaista laskentaa olennaisimpien päästötietojen pohjalta. Julkaisulla on taustoitettu päästötietokannan kehittämistä (Väylävirasto 2022f). Tietokanta on jo käytössä ja sen ylläpidosta vastaa Suomen ympäristökeskus (SYKE) Väyläviraston toimeksiannosta. Julkaisuvaiheessa tietokannassa oli tietoa noin tuhannesta kohteesta ja palvelua kehitetään edelleen. Tietokanta on tyypiltään avoin ja sen sisältö on vapaasti käytettävissä, joten myös kolmannen osapuolen toimijat voivat hyödyntää tietokannassa olevaa dataa esimerkiksi omissa päästölaskentaohjelmissaan (Hiilineutraalisuomi.fi 2023a). Väyläviraston ympäristöhankintojen kriteerit (12/2023) -julkaisussa on esitetty tulokset aiemmin laaditusta esiselvityksestä, jonka tavoitteena oli selkeyttää ympäristökriteerien käyttöä ja niihin vaikuttavia tekijöitä sekä tunnistettu ympäristökriteerien kehityskohteita. Merkittävimmiksi kehityskohteiksi on tunnistettu kiertotaloutta tukevat vaatimukset suunnittelulle, rakennustuote- tai urakkatasoinen päästölaskenta sekä kalustovaatimusten yhtenäistäminen päästöttömät työmaat green deal -sopimusta mukailevaksi. (Väylävirasto 2023a)

Väylänpidon nykytilaselvitykset

Kaksi julkaisuista käsittelee väylänpidon nykytilaa kiertotalouden ja ilmastonmuutokseen sopeutumisen näkökulmista. Kiertotalous väylänpidossa (28/2022) -julkaisussa on selvitetty kiertotalouden nykytilaa väylänpidossa analysoimalla Väyläviraston ohjeita, pitämällä haastatteluja sekä selvittämällä Norjan, Ruotsin ja Alankomaiden paikallisten väyläviranomaisten tavoitteita ja käytäntöjä. Työn lopputuloksena on laadittu alustavia toimenpide-ehdotuksia pyrkimyksenä edistää kiertotaloutta väylänpidossa. Toimenpide-ehdotuksissa on huomioitu prosessin eri tasot niin, että ne on jaettu toiminnan ohjausta, eri hankevaiheita sekä ohjeita koskeviksi ehdotuksiksi. Julkaisun merkittävimäksi huomioksi on todettu kiertotalouden uutuus terminä ja sen edistämisen vaatimat useat eri tasoiset toimenpiteet, käsittäen niin strategisen tason toimenpiteet kuin nykyisten käytettävissä olevien työkalujenkin kehittämisen (Väylävirasto 2022g). Ilmastonmuutokseen sopeutuminen väylänpidossa (27/2023) -julkaisu taas käsittelee väyläverkon ilmasto-resilienssin kehittämistä toimenpide-ehdotuksin, jotka on laadittu perustuen tutkimuskatsaukseen, aiempiin selvityksiin ja Väyläviraston asiantuntijoiden näkemyksiin. Työn lopputuloksena tunnistettiin 73 erilaista toimenpide-ehdotusta, jotka jaettiin kuuden eri teeman alle. Teemat olivat: strategiset toimenpiteet, omaisuudenhallinta, selvitykset, ohjeet ja ohjelmointi, yhteistyö, tiedonhallinta ja infran tekninen toimivuus. (Väylävirasto 2023b)

Materiaalien hallinta ja käyttö

Yksi materiaalien hallintaan ja käyttöön liittyvistä tutkimuksista ja selvityksistä on Materiaalien hallinnan raportointi väylänpidossa, esiselvitys kiertotalouden tarpeisiin (7/2017). Selvityksen tavoitteena on ollut selvittää väylähankkeissa käytettävien materiaalien hallinnan ja raportoinnin käytäntöjä sekä kehittää niitä kiertotalouden periaatteiden mukaiseksi. Nykytilaselvityksen perusteella tienpitoon liittyen tunnistettiin kehityskohteiksi muun muassa raportointipohjat, tavoitteista ja käytännöistä tiedottaminen, rakennuttajakonsulteille ja urakoitsijoille asetettujen vaatimusten täyttymisen varmistaminen, materiaali- ja jätevirtatietojen hyödyntäminen sekä tietojärjestelmien yhteensovittaminen ja sähköisen järjestelmän kehitys. Yllä lueteltujen kehityskohteiden mukaisesti selvityksessä tuli ilmi, että yleisesti ottaen raportoinnin haasteena ei ole materiaali- tai jätetietojen saatavuus, vaan kehittämistarpeet kohdistuvat raportointiprosessin vahvistamiseen ja raportointivastuiden parempaan määrittelyyn. (Liikennevirasto 2017)

Uusiomateriaalien käytön ohjeistus ja hankekäytännöt, kehitystarpeet ja mahdollisuudet tierakentamisessa (18/2018) -tutkimuksessa on selvitetty tierakentamisen ohjeistuksen ja hankekäytäntöjen kehitystarpeita. Tutkimus on laadittu ennen kuin Väylävirastolla oli erityisesti uusiomateriaaleja käsittelevä ohje. Tarkoituksena onkin ollut selvittää myös

silloisen olemassa olevan materiaalin sisältöä uusiomateriaaliohjeen luontia silmällä pitäen. Tutkimuksessa onkin todettu ohjeistuksen merkittävä rooli uusiomateriaalien käytön edistämisessä. Tarkemmin ohjeistukseen liittyvänä asiana on todettu kehitystarpeita erityisesti terminologian ja ohjeen kohderyhmän selkeässä määrittelyssä, CE-merkintöihin liittyvien velvoitteiden selkeyttämisessä, ohjeiden rakenteiden loogisuudessa, vastuiden ja riskienjaon huomioimisessa, materiaalien hyväksymismenettelyiden kehittämisessä sekä ohjeistamisessa, että kestävän käytön huomioimisessa. (Liikennevirasto 2018b)

Väyläsuunnittelun uusiomateriaaliselvitys (6/2018) -tutkimus on laadittu osana laajempaa Liikenneviraston kehityshanketta, jonka tavoitteena on ollut ajantasaisen ohjeistuksen laatiminen uusiomateriaalien käytölle sekä hanke- ja hankintaprosessien muokkaaminen niin, että uusiomateriaalit tulisivat paremmin huomioitua. Selvityksen yhteydessä pilotoitiin uusiomateriaaliselvitysten tekoa useissa suunnittelu- ja toteutusvaiheen tie- ja ratahankkeilla. Suunnittelun pilottihankkeena oli muun muassa Vt 12 Alasjärvi-Huutijärvi, Tampere-Kangasala, yleissuunnitelman yhteydessä tilattu uusiomateriaaliselvitys, sekä Vt 12 Lahden eteläinen kehätie toteutusvaiheessa tilattu uusiomateriaaliselvitys. Työn tuloksena on luotu sisältösuositukset uusiomateriaaliselvitysten laatimista varten niin yleis-, tie-/rata- kuin rakennussuunnitelmavaiheissakin. Työssä käytetyn taustaselvityksen mukaan, yleisesti oikeana vaiheena uusiomateriaaliselvitysten laadinnalle pidetään tie- tai ratasuunnitelmavaihetta. (Liikennevirasto 2018c)

Myös Väyläviraston tutkimus Siltojen ja muiden taitorakenteiden purkubetonijätteen hyödyntäminen (8/2019), kuuluu edellä mainittuun laajempaan kehityshankkeeseen, jonka tarkoituksena on muun muassa ajantasaisen ohjeistuksen laatiminen uusiomateriaalien käytölle. Sen tarkoituksena on ollut koota yhteen tieto Väyläviraston hallinnoimista silloista ja taitorakenteista sekä niiden sisältämistä betonimääristä. Selvityksessä on ollut tavoitteena myös kuvauksen laatiminen purkubetonijätteen käsittelystä ja jalostamisesta purkukohteissa sekä siihen liittyvien oleellisten asioiden huomiointi eri toimijatasoilla. Kootun tiedon avulla on pyritty arvioimaan betonitilavuuksiltaan erikokoisten purettavien betonisiltojen hyödyntämisen kannattavuutta hankkeilla verrattuna betonijätteen pois kuljetukseen. Selvityksessä todetaan, että on suositeltavaa käsitellä ja jalostaa silloista purettava betonijäte hankkeella mahdollisimman korkean jalostusasteen tuotteeksi. Selvityksessä laaditun teoreettisen laskentamallin perusteella voidaan osoittaa, että purettavien siltojen betonimurskeen hyödyntämisellä voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä hankkeilla. (Väylävirasto 2019a)

Päästölaskennan kehittäminen

Päästölaskentaa on kehitetty jo pitkään, johon liittyen Liikennevirasto on laatinut tutkimuksia ja selvityksiä. Panospohjaisen CO₂-laskennan pilotointi väylähankkeessa – Kehä I liittymän parantaminen Kivikontien kohdalla (18/2014) on raportti pilottiprojektina toimineesta kohteesta, jossa on kehitetty panospohjaista CO₂-laskentaa. Lisäksi Liikenneviraston on laatinut myöhemmin tutkimuksen Infrahankkeiden rakentamisen ja materiaalien CO₂-päästöjen raportointi- ja ohjauskeinojen kartoitus (64/2018), jolla on pyritty luomaan infrastruktuurille parempi kytkentä kansallisiin päästövähennystavoitteisiin.

Panospohjaisen CO₂-laskennan pilotointi väylähankkeessa -tutkimuksen tavoitteena on ollut panospohjaisen CO₂-laskennan pilotointi. Tutkimuksen johtopäätöksenä on todettu, että tutkittua menetelmää ja prosessia on mahdollista hyödyntää päätöksenteossa, mikäli tilaaja on tehnyt päätöksen sovellettavista menetelmistä. Tutkimuksen yhteydessä on myös selvitetty pilottikohteen merkittävimpiä rakennusosia päästöjen kannalta, joiksi tutkimuksessa osoittautui rakentamisen päämateriaalit: betoni, teräs ja asfaltti sekä kuorma-autokuljetukset ja työkoneet. Edellä mainitut päämateriaalit sekä työkonekalusto aiheuttivat laskennan mukaan pilottikohteessa noin 95 % rakentamisen kokonaispäästöistä. (Liikennevirasto 2014)

Infrahankkeiden rakentamisen ja materiaalien CO₂-päästöjen raportointi- ja ohjauskeinojen kartoitus -tutkimuksessa Liikenneviraston on pyrkinyt luomaan tilannekuvan niistä menetelmistä, joita infrasektorin toimijat ovat hyödyntäneet materiaalien aiheuttamien päästöjen vähentämiseksi ja kiertotalouden edistämiseksi. Tutkimus liittyy kansainväliseen yhteishankkeeseen, jonka pääraportti on julkaistu nimellä ”*The Embodied Carbon Review – Embodied Carbon Reduction in 100+ Regulations & Rating Systems Globally*”. Tutkimuksen tuloksena on todettu tehokkaimman vaikutuskeinon materiaalien päästöjen vaikuttamiseen olevan infrahankkeiden kohdalla vaihtoehtojen arvioiminen niin, että päästöt tulee huomioida vaihtoehtojen vertailussa läpi hankkeen eri vaiheiden. Kun eri vaihtoehtojen päästöt ovat näkyvillä, joudutaan niiden merkittävyyteen ja haluttavuuteen ottamaan kantaa hankkeen päätöksentekovaiheissa. Suunnitteluvaiheen jälkeen seuraavaksi tehokkaimmaksi keinoksi materiaalien päästöjen vaikuttamiseen on todettu päästöohjauksen siirtäminen urakkasopimukseen joko velvoitteiksi tai pisteytykseen. (Liikennevirasto 2018a)

Uusiomateriaalien käyttö ja toimivuus

Vaihtoehtoisia materiaalia sisältävien tierakenteiden pitkäaikaistoimivuudesta ja vaurioitumisesta sekä uusiomateriaalien käytön kokemuksista tierakenteissa on laadittu Väylä-

viraston tutkimuksia ja selvityksiä -julkaisusarjaan tutkimukset Kokemuksia uusiomateriaaleista tierakenteissa (7/2019) ja Vaihtoehtoisia maarakennusmateriaaleja sisältävien tie- ja katurakenteiden vaurioituminen (52/2016). Jälkimmäinen tutkimus on osa laajempaa tutkimuskokonaisuutta, jonka tavoitteena on ollut kehittää kuormituskestävyys mitoitusmenetelmä vaihtoehtoisia maarakennusmateriaaleja ja UUMA-materiaaleja sisältäville tie- ja katurakenteille. Kyseisen tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää maailmalla kokeiltujen vaihtoehtoisia maarakennusmateriaaleja sisältävien tie- ja katurakenteiden käytöstä saatuja kokemuksia, niiden vaurioitumista ja pitkäaikaikäkäyttäytymistä sekä uusiomateriaalien tyypillisiä käyttökohteita tie- ja katurakenteissa huomioiden materiaalien käyttäytyminen niin rakentamisen aikana, kuin sen jälkeenkin. Tutkimuksena tuloksena todetaan vaihtoehtoisten maarakennusmateriaalien olevan varsin heterogeeninen joukko, jotka eroavat ominaisuuksiltaan merkittävästi toisistaan ja kokemukset niiden käytöstä ja käyttösovelluksista vaihtelevat. Oikein toteutettuna vaihtoehtoisista maarakennusmateriaaleista voidaan kuitenkin rakentaa kestäviä väylärakenteita. Tutkimuksessa on tunnistettu tavanomaisille maarakennusmateriaaleille kehitettyjen mitoitus- ja tutkimusmenetelmien soveltumattomuus vaihtoehtoisille materiaaleille. Vaihtoehtoisia materiaaleja sisältävien rakenteiden vaurioitumistapojen on huomattu eroavan tavanomaisista rakenteista, jolloin niiden mitoittaminen luotettavasti perinteisin menetelmin ei ole mahdollista. Uusiomateriaalien tarkoituksenmukainen ja hallittu käyttö liikenteen kuormitusvaikutuksille altistuissa rakenteissa edellyttää siis niille soveltuvan kuormituskestävyys mitoitusmenettelyn kehittämistä. (Liikennevirasto 2016)

Kolme vuotta uudemmassa Väyläviraston tutkimuksessa Kokemuksia uusiomateriaaleista tierakenteissa (7/2019) on koottu yhteen toimivia rakenneratkaisuja kohteista, joista on saatavissa seurantatietoa. Laajempänä kokonaisuutena kiertotalouden ja kestävä kehityksen tavoitteiden saavuttamiseksi on tunnistettu tarve kehittää uusiomateriaalien hyödyntämistä koskevaa ohjeistusta, johon edellä mainittu julkaisu liittyy. Tutkimuksen perusteella on todettu koerakenteiden myötä useiden uusiomateriaalien sopivuus ja potentiaali päällys- ja pengerrakenteisiin. Uusiomateriaalit toimivat päällys- ja pengerrakenteissa suunnitellulla tavalla, kun rakenteiden suunnittelu, mitoitus ja rakentaminen on tehty oikein. Tuotteistettujen materiaalien kohdalla havaittiin ongelmia vain tilanteissa, joissa jotakin edellä mainittua vaihetta ei ollut tehty oikein. (Väylävirasto 2019b)

Hanke- ja ympäristöarviointi

Väylävirasto on laatinut merkittävien tiehankkeiden hankearviointia varten tiehankkeiden arviointiohjeen (37/2020) sekä ympäristövaikutusten arviointia (YVA) varten ohjeen Ympäristövaikutusten arviointi rata- ja tiehankkeissa (2/2021). Tiehankkeiden arviointiohje

on tiehankkeisiin liittyvä tarkentava ohje, joka perustuu Liikenneväylien hankearvioinnin yleisohjeessa (36/2020) määritettyihin hankearvioinnin yleisiin periaatteisiin, tarkentaen ohjetta erityisesti tiehankkeita koskien. Ympäristövaikutusten arviointi -ohjeessa on kuvattu YVA-lain mukainen ympäristövaikutusten arviointimenettely sekä suunnittelun eri vaiheisiin liittyvät arvioinnin perusteet. Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä (503/2005) edellyttää hankearviointien laatimista. Ympäristövaikutusten arviointi taas laaditaan lain ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (252/2017) ja asetuksen (713/2006) mukaisesti. Hankearviointi sekä ympäristövaikutusten arviointi ovat rinnakkaisia ja toisiaan täydentäviä arviointeja (Väylävirasto 2020b; Väylävirasto 2021b).

Tiehankkeiden arviointiohjeessa on edellä mainitusti esitetty tiehankkeita koskeva erillisohjeistus niin, että siinä on huomioitu tiehankkeiden erityispiirteet ja siinä käsitellään tiehankkeiden erityiskysymyksiä yleisohjetta yksityiskohtaisemmin. Hankearvioinnin tarkoituksen on selvittää tiehankkeen yhteiskuntataloudellista kannattavuutta, vaikuttavuutta ja toteutettavuutta. Hankearvioinnissa tuotettavaa tietoa käytetään suunnittelun aikaisiin valintoihin, hankkeen ohjelmointiin sekä lopulta myös rahoitusta käsittelevässä päätöksenteossa. Hankearviointi on siis osa suunnittelua ja sen tarkoituksena on toimia apuvälineenä tieinvestointien päätöksenteossa. Hankearvioinnissa tuotetaan olemassa olevien aineistojen perusteella tietoa tiehankkeiden vaikutuksista investointi- ja ohjelmointipäätösten tausta-aineistoksi sekä maankäytön suunnittelua tukemaan. Ohjeen tavoitteena on yhtenäistää hankearviointeja sekä parantaa niiden läpinäkyvyyttä ja toistettavuutta. Vertailukelpoinen tieto edistää edelleen yhteiskunnan edun mukaisten päätösten tekemistä. (Väylävirasto 2020b)

Ympäristövaikutusten arviointi rata- ja tiehankkeessa -ohjeessa on esitetty kokonaiskuva ympäristövaikutusten selvittämisestä ja arvioimista rata- ja tiehankkeilla. Ohjeessa on kuvattu ympäristövaikutusten selvittämisen ja arvioimisen perusteet eri suunnitteluvaiheet huomioiden, jonka lisäksi ohjeessa on kuvattu YVA-lain mukainen arviointimenettely. Ohje sisältää yksityiskohtaisen kuvauksen YVA-prosessista ja sen kytkeytymisestä suunnitteluun. Ohjeessa on käsitelty muun muassa ympäristövaikutusten selvittämistä ja arviointia eri suunnitteluvaiheissa, YVA-menettelyn vaiheita, menettelyn soveltamista sekä vaikutusten seuranta. Ohje sisältää myös oman lukunsa ympäristövaikutusten selvittämisestä ja arviointia ohjaavalle lainsäädännölle. (Väylävirasto 2021b)

Yleis-, tie- ja tien rakennussuunnittelu

Väylävirasto ja sen edeltäjät ohjeistavat tien suunnittelun eri suunnittelutasoja useilla eri ohjeilla. Yleissuunnittelua koskevat (Liikenneviraston) ohje Yleissuunnittelu – Toimintaohjeet (19/2010) ja (Tiehallinnon) Yleissuunnittelu – Sisältö ja esitystapa (TIEH 2100043-07), tiesuunnittelua ohjeet Tiesuunnitelma – Toimintaohjeet (7/2022) ja Tiesuunnitelma-vaiheen asiakirjat – Sisältö ja esitystapa (6/2022) sekä tien rakennussuunnittelua ohjeet Tien rakennussuunnitelma – Toimintaohjeet (12/2022) ja Tien rakennussuunnitelma – Sisältö ja esitystapa (38/2022). Tämän lisäksi esiselvitysten laatimisen tueksi on julkaistu Opas väylien esiselvitysten laatimiseen (1/2023), joka koskee kaikkia väylämuotoja ja on luonteeltaan yleispiirteinen ja suositteleva.

Yleissuunnittelua koskevissa ohjeissa kuvataan menettelytavat maantielain mukaisen yleissuunnitelman laatimiseen sekä sen yleissuunnitelma-aineiston yksityiskohtainen sisältö ja suunnitelmissa esitettävät asiat. Yleissuunnittelun ja siihen liittyvän vuorovaikutuksen tavoitteena on saada hankkeelle mahdollisimman laaja yleinen hyväksyttävyys ja yleissuunnitelman laadinnan lähtökohtana on antaa riittävät valmiudet ja perusteet hyväksymispäätöstä ja tiesuunnitelman laatimista varten. Yleissuunnitelman lähtökohtana toimii usein aiemmin laadittu esiselvitys. Sisällöltään maantielain mukainen yleissuunnitelma on periaatteessa tiesuunnitelmaa vastaava, mutta suunnitelmien tarkkuustaso tiesuunnitelmaan verrattuna yleispiirteisempi (Liikennevirasto 2010; Tiehallinto 2007b). Tien yleissuunnittelua koskevissa ohjeissa huomioidaan ympäristölliset asiat, mutta kyseisellä suunnitelmatasolla ei käytetä suoria mainintoja kiertotaloudesta tai uusiomateriaalien käytöstä. Voimassa olevat yleissuunnittelua koskevat ohjeet ovat myös yli kymmenen vuotta vanhoja, eikä esitystapamallit vastaa enää täysin nykyohjelmistoilla tehtäviä piirustuksia.

Tiesuunnitelman laatimista ohjeistetaan toimintaohjeella (7/2022) sekä sisältö ja esitystapaohjeella (6/2022). Toimintaohjeessa kuvataan menettelytavat tiesuunnitelman laatimiseksi, jota laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä edellyttää. Sisältö ja esitystapaohjeessa on kuvattu yksityiskohtaisesti tiesuunnitelma-aineiston sisältö, malliasiakirjat ja -piirustukset, sekä jaottelu tiesuunnitelmaan, tekniseen osaan ja vuorovaikutusaineistoon. Usein tiesuunnitelma on jatkumoa aikaisemmin laaditulle yleissuunnitelmalle, aluevaraussuunnitelmalle tai esi-/ tarveselvitykselle. Tilanteissa, joissa tiesuunnitelman toimenpiteet ovat vähäisiä ei kuitenkaan välttämättä ole laadittu edeltävää ja yleispiirteisempää suunnitelmaa. Hyväksytty tiesuunnitelma oikeuttaa suunnitelmassa osoitettujen

alueiden ja oikeuksien lunastamiseen sekä asettaa lähtökohdat tien rakennussuunnitelman laatimiselle ja edelleen rakentamiselle. Tiesuunnitelmavaiheen ohjeistuksessa on huomioitu yleispiirteisemmän ympäristöasioiden huomioinnin lisäksi ajatus kiertotaloudesta ja uusiomateriaalien käytöstä konkreettisemmalla tasolla. Osana tiesuunnitelman teknistä osaa tulee laatia kirjallinen uusiomateriaaliselvitys sekä massataloussuunnitelma. Näiden pyrkimyksenä on luonnon materiaalien käytön vähentäminen ja väylähankkeelta saatavien kierrätettävien materiaalien käyttömahdollisuuksien selvittäminen. Mikäli hankkeella tarvitaan hankkeen ulkopuolisia materiaaleja, selvitetään ainakin Väyläviraston yleisen teknisen soveltuvuuden arvioinnin mukaisten uusiomateriaalien soveltuvuus kyseiseen hankkeeseen (Väylävirasto 2022b; Väylävirasto 2022h). Tiesuunnitelman laatimista koskevassa ohjeistuksessa on siis huomioitu kiertotalous ja uusiomateriaalien käyttö huomattavasti tarkemmalla tasolla, kuin yleissuunnitelmatason ohjeistuksessa.

Tien rakennussuunnitelma tähtää hankkeen välittömään toteutukseen ja tehdään vasta hankkeen rahoituksen järjestyttyä (Väylävirasto 2023c). Tien rakennussuunnitelman laatimista ohjeistetaan tiesuunnitelmaa vastaavasti toimintaohjeella (12/2022) sekä sisältö- ja esitystapa ohjeella (38/2022). Tien rakennussuunnitelma ohjeissa ohjeistetaan luonnollisesti tiesuunnitelmavaihetta yksityiskohtaisempaan suunnitteluun, sillä tien tulee olla rakennettavissa kyseisten suunnitelmien perusteella. Myös kiertotalouteen ja uusiomateriaalien käyttöön liittyvät kirjaukset ohjeissa ovat tiesuunnitelmaa yksityiskohtaisempia ja tarkempia. Toimintaohjeessa esimerkiksi ohjeistetaan käytettäväksi ajateltujen uusiomateriaalien lupatarpeiden, hankkeen eri alueiden soveltumisen välivarastoinnille / jalostamiselle sekä materiaalien saatavuuden selvittämisestä. Suunnitelmapiirustuksiin liittyvänä konkreettisena vaatimuksena ohjeissa on osoitettu esitettäväksi vaihtoehtoisena rakenteena uusiomateriaalirakenne sekä päällysrakennetaulukon että rakenteellisen tyyppipoikkileikkauksen yhteydessä. Alueet joilla voidaan hyödyntää, välivarastoida tai käsitellä hankkeella käytettäviä uusiomateriaaleja esitetään suunnitelmakartoilla. (Väylävirasto 2022e; Väylävirasto 2022i)

Uusiomateriaalien käyttö

Varsinaisia uusiomateriaalien käyttöön liittyviä ohjeita on kaksi; Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa (20/2022) ja betonijätteen käsittely ja käyttö väylähankkeissa (43/2022). Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa (20/2022) -ohjeen tarkoituksena on edistää ja lisätä uusiomateriaalien käyttöä maarakentamisessa. Ohjeessa on esitetty selkeästi uusiomateriaalien käyttöön kohdistuvat tilaajan vaatimukset väylärakentamishankkeilla. Ohjetta noudatetaan, kun uusiomateriaaleja käytetään maanteiden

ja rautateiden rakentamisessa, parantamisessa tai kunnossapidossa. Ohje on suunnattu palvelemaan edellä mainittujen tilanteiden päätöksenteossa. Kaikissa tie- ja ratahankkeissa selvitetään alustavia uusiomateriaalien käyttömahdollisuuksia. Ohjeen rooli on kuitenkin suurempi niiden hankkeitten suunnittelun yhteydessä, joissa uusiomateriaalien käyttö olisi massatalous, kustannukset ja ympäristönäkökohdat huomioituna sekä perusteltua että teknisesti mahdollista. Ohjeessa on esitelty uusiomateriaalien käyttöön liittyvä keskeinen lainsäädäntö, uusiomateriaalien teknisen soveltuvuuden arviointi sekä muut uusiomateriaalien käyttöön liittyvät asiat, kuten periaatteet, suunnittelu ja käytön dokumentointi. Ohjeen liitteissä on ohjeistettu uusiomateriaaleja koskevasta teknisten ominaisuuksien selvittämisestä ja mitoitusparametrien määrittämisestä sekä esitetty useimmin käytettyjen uusiomateriaalien yleisinformaatio materiaalikorttien muodossa. (Väylävirasto 2022a)

Betonijätteen käsittely ja käyttö väylähankkeissa (43/2022) -ohje liittyy nimensä mukaisesti vain väylähankkeella syntyvien betonijätteen käsittelyyn ja käyttöön. Sitä noudatetaan suunniteltaessa ja päätettäessä betonijätteen hyödyntämisestä betonimurskeena väylärakentamisessa. Ohjeessa on esitelty menettelytavat ympäristölainsäädännön ja teknisen soveltuvuuden näkökulmasta hankkeilla muodostuvan betonijätteen käsittelylle sekä hyötykäyttömahdollisuudet betonimurskeelle väylärakentamisessa. Myös betonijätteen käsittelyn ja käytön riskit on käsitelty sekä suunnittelun että rakentamisen näkökulmista. Ohjeen tavoitteena on betonijätteen käsittelyn menettelytapojen yhtenäistäminen, betonimurskeen hyötykäyttömahdollisuuksien esittäminen väylähankkeissa, prosessin kuvaus hankkeella muodostuvan betonijätteen jalostamisesta väylärakentamisessa hyödynnettäväksi betonimurskeeksi sekä betonimurskerakenteiden suunnittelu- ja mitoitusperiaatteiden esittäminen. Lisäksi ohjeessa on esitetty yleiset periaatteet liittyen rakentamiseen ja laadunvalvontaan, kunnossapitoon sekä käytöstä poistoon betonimurskerakenteissa. (Väylävirasto 2022c)

Muu Väyläviraston materiaali

Muita työn aiheeseen liittyviä ohjeita ovat Väylähankkeen laadunosoitus – Laatuprosessin kuvaus (44/2020) ja Väylähankkeiden kustannushallinta (39/2021). Tämän lisäksi rakennustuotteiden CE-merkinnästä, maanteiden asfalttipäällysteissä käytettävistä uusiomateriaaleista ja lisäaineista, sekä uusiomateriaalien teknisen soveltuvuuden arvioinnista on laadittu erilliset Väyläviraston oppaat.

Väylähankkeen laadunosoitus (44/2020) -ohje ei suoraan liity rakentamisen kiertotalouteen tai uusiomateriaalien käyttöön. Ohjeessa on kuvattu yleiset vaatimukset koskien

toiminta- ja laatusuunnitelmien, tiedonhallintasuunnitelman, työvaihekohtaisten suunnitelmien ja poikkeamaraportointien keskeistä sisältöä (Väylävirasto 2020c). Ohjetta sovelletaan kaikissa väylähankkeissa ja se on näin ollen kuitenkin olennainen yhtenäisen ja määrämuotoisen laatuprosessin toteutumisessa. Laatuprosessin noudattamisen voitaneen ajatella olevan erityisen tärkeää uusiomateriaalirakenteiden kohdalla, koska rakenteet ovat vielä luonnonkiviainesrakenteita tuntemattomampia. Näin ollen niiden dokumentointi on syytä laatia huolellisesti yksityiskohtaisen ja tarkan luovutusaineiston aikaansaamiseksi.

Väylähankkeiden kustannushallinta (39/2021) -ohjeen on tarkoitus toimia tukena väylähankkeiden suunnittelun aikaisessa kustannushallinnassa sekä kustannusarvioiden laadinnassa. Ohjeen tarkoituksena on kustannushallinnassa käytettävän terminologian ja käytäntöjen yhtenäistäminen niin, että kustannusarvioiden luotettavuus ja laatu sekä jäljitettävyyys paranevat (Väylävirasto 2021c). Näin ollen ohje ei liity suoraan kiertotalouteen tai uusiomateriaalien käyttöön. Kiertotalous ja uusiomateriaalien käyttö kuitenkin liittyvät kustannushallintaan. Kustannukset voivat muuttua suuntaan tai toiseen luonnonkiviainesrakenteisiin verrattuna käytettäessä uusiomateriaaleja. Muutoksen suuruus ja suunta riippuvat muun muassa hankkeen ominaisuuksista, käytetyistä määristä, rakennetyypeistä ja materiaalien saatavuudesta.

Rakennustuotteiden CE-merkintä -oppaassa on luetteloitu rakennustuotteita, joita käytetään liikenneväylien rakentamisessa ja kunnossapidossa ja jotka on CE-merkittävä. Yleisesti valmistajien on CE-merkittävä rakennustuotteet markkinoille saattamisen yhteydessä ja kun harmonisoituun tuotestandardiin liittyvä siirtymäaika on päättynyt. Joissakin tilanteissa CE-merkintää ei kuitenkaan tarvita esimerkiksi tilanteessa, jossa urakoitsija itse valmistaa ja käyttää kiviaineista rakennuskohteella. Rakennustuotteita ovat rakennuskohteessa kiinteäksi osaksi tulevat tuotteet, kuten liikennemerkkit, tiekaiteet tai raidesepeli (Väylävirasto 2021d). Esimerkkeinä CE-merkityistä ja kierrätetystä rakennustuotteista voidaan mainita Rudus Oy:n Betoroc -tuotenimellä myytävä betonimurske, Uusioaines Oy:n Foamit -tuotenimellä myytävät vaahtolasimurskeet ja Destian myymät OKTO-rakennustuotteet (Rudus Oy 2023; Uusioaines Oy 2023, Destia Oy 2023).

Maanteiden asfalttipäällysteissä käytettävien uusiomateriaalien ja lisäaineiden opas kuvaa prosessin, jonka mukaisesti menetellään otettaessa uusia uusiomateriaaleja tai lisäaineita käyttöön. Uusien materiaalien kohdalla teknisen kelpoisuuden osoittamiseksi on toimitettava Väylävirastoon dokumentaatio teknisistä ominaisuuksista, tasalaatuisuu-

desta ja kelpoisuudesta kyseessä olevaan käyttötarkoitukseen sekä käyttö- ja ympäristöturvallisuudesta koskien materiaalin käsittelyä, päällysteen valmistusta ja käyttöikää kyseisessä kohteessa. Lisäksi on toimitettava dokumentoitua tietoa kyseessä olevan tuotteen onnistuneesta käytöstä eli tuotteen käyttöhistoriasta. (Väylävirasto 2019c).

Uusiomateriaalien teknisen soveltuvuuden arviointi (2/2022) -opas tarkentaa edellä esiteltyä Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa (20/2022) -ohjetta yleisen ja hankekohtaisen teknisen soveltuvuuden arvioinnin menettelytapojen osalta. Oppaassa on lisäksi kuvattu arviointimenettelyssä eri osapuolille kohdistuvia vastuita. Teknisen soveltuvuuden arvioinnin tarkoituksena on varmistua rakenteiden toimivuudesta sekä materiaalien turvallisesta käytöstä ja sitä käytetään väylähankkeen tilaajan asettamana vaatimuksena. Teknisen soveltuvuuden arviointia ei kuitenkaan tehdä suoraan hankkeella syntyvien ja siellä hyödynnettävien (jäte)materiaalien kohdalla. Niitä voivat olla esimerkiksi sillan purkubetonijätteestä jalostettu betonimurske tai rakenteesta poistettu ja uudelleen käytettävät uusiomateriaalit (Väylävirasto 2022b). Väylärakenteisiin soveltuvat uusiomateriaalit, joiden tekninen soveltuvuus on jo arvioitu (30.5.2023 mennessä) Väyläviraston toimesta on koottu päivittyvään listaan, joka löytyy Väyläviraston ohjeluelte-
lost. Listauksessa on koottu sekä yleisesti että hankekohtaisesti arvioidut materiaalit sekä Väyläviraston soveltuvaksi arvioimat muiden tahojen tekemät uusiomateriaalien suunnittelu- ja käyttöohjeet. Listaus sisältää linkit materiaali-kohtaisiin arviointikirjeisiin. (Väylävirasto 2023d)

2.4.4 Muut ohjauskeinot

Edellä esiteltyjen lakien, asetusten ja Väylän omien ohjeiden lisäksi on olemassa myös muita ohjauskeinoja, kuten ohjeita, sopimuksia, ympäristöjärjestelmiä, sertifiointeja ja paikallisen tason ohjausta, jotka toimivat osaltaan kiertotaloteen ohjaavina keinoina myös tierakentamisessa. Näiden käyttö ja yleisyys vaihtelee tapauskohtaisesti. Esimerkiksi rakentamisen yleisiin laatuvaatimuksiin (InfraRYL) viitataan todella usein ja pienisäkin työkohteissa, kun taas ympäristösertifiointeja haetaan yleensä harvemmin ja suuremmille rakennushankkeille. Ympäristöjärjestelmät taas ovat yrityksistä riippuvaisia ja paikallisemmat hiilineutraalisuustavoitteet kunnista riippuvaisia tekijöitä.

InfraRYL tarkoittaa infrarakentamisen rakennustöiden yleisiä laatuvaatimuksia. RYL (Rakentamisen yleiset laatuvaatimukset) on alan yhdessä sopima ja yleisesti hyväksytty kirjallinen kuvaus hyvästä rakennustavasta. Sillä tarjotaan yhteisen laatukäsityksen

avulla käytännön työkalu hyvän rakennustavan mukaiseen suunnitteluun ja rakentamiseen. InfraRYL:n materiaali päivittyy kaksi kertaa vuodessa, joiden yhteydessä julkaistaan toimikuntatyössä hyväksytyt uudistetut sisällöt. (Rakennustieto 2023)

Päällysteiden osalta toimintaedellytyksiä edistetään Päällystealan Neuvottelukunnan (PANK ry) toimesta julkaisemalla Asfalttinormeja. Siinä on esitetty asfalttipäällysteiden, asfalttimassojen sekä asfaltin raaka-aineiden laatuvaatimukset, joita Suomessa käytetään. Asfalttinormit sisältävät myös suunnittelun perusteet, sekä muut huomioon otettavat asiat suunnitteluun liittyen. Asfalttinormeissa esitetyt vaatimukset kiviaineksille, bitumille ja asfalttimassoille, sekä niiden testausmenetelmille perustuvat eurooppalaisiin standardeihin (Kuula 2017). Asfalttinormit sisältävät myös oman lukunsa asfalttimassassa käytettäville uusiomateriaaleille.

Erilaiset Green deal -sopimukset tehostavat ja täydentävät nykylainsäädännön toimeenpanoa ja infra-alan kehittymistä kohti hiilineutraalimpaa suuntaa. Ne ovat vapaaehtoisia ja määräaikaista sopimuksia, jotka solmitaan valtion ja elinkeinoelämän välille. Niiden avulla etsitään ratkaisuja muun muassa luonnonvarojen ylikulutukseen ja kiertotalouden edistämiseen Suomessa (Ympäristöministeriö 2023b). Eräänlaisena kiertotalouden ”katto” -green dealina voidaan pitää useiden tutkimuslaitosten sekä ympäristöministeriön ja työ- ja elinkeinoministeriön luotsaamaa kiertotalouden green deal- ja skenaariotyötä, johon osallistuu edellä mainittujen lisäksi yli 80 toimijaa kattaen maakuntia, kaupunkia, yrityksiä ja järjestöjä (Ympäristöministeriö 2023c). Myös Väylävirasto osallistuu työhön. Työ on fokusoitu kuuteen tunnistettuun ja merkittävimmäksi todettuun muutosalueeseen, joista infrarakentamisen kannalta olennaisia muutosalueita ovat muun muassa kiertävät maa- ja kiviainekset sekä resurssiviisas tuotanto ja materiaalien kierto (Ympäristöministeriö 2023c). Muita infrarakentamisen kannalta merkittäviä Green deal -sopimuksia ovat esimerkiksi Päästöttömät työmaat – Kestävien hankintojen Green deal -sopimus (2020) sekä Työkonealan Green deal -sopimus (2019).

Päästöttömät työmaat Green deal -sopimuksena tavoitteena on vähentää julkisten hankintojen avulla hankintayksikköjen työmailla syntyviä päästöjä pitkäjänteisesti. Sopimus sisältää sekä lyhyen että pidemmän aikavälin tavoitteita. Vuoden 2025 loppuun mennessä sopimuksen tavoitteena on, että työmaat ovat fossiilivapaita ja 20 % työkoneista toimii sähköllä, biokaasulla tai vedyllä. Vuoden 2030 loppuun mennessä sähkö-, biokaasu- ja vetykäyttöisten työkoneiden määrä on tarkoitus nostaa 50 %:iin. Väyläviraston on osallistunut sopimukseen omin personoiduin tavoittein (vastaavat luvut 2025 5 % ja 2023 20 %), johtuen väylähankkeiden maantieteellisistä sijainneista sekä käytettävän kaluston suuruusluokasta verrattuna kaupunkien rakennustyömaihin (Sitoumus 2050 2023a). Väylävirasto on julkaisussa Väylärakentamisen kaluston ympäristövaatimukset

- Tiekartta työkone- ja kuljetuskaluston vaatimuksiin vuosille 2022–2030 (63/2021) esittänyt tarkemmin mallin, jolla se osallistuu Green deal -sopimuksen yhteistyöhön (Väylävirasto 2021a). Toinen infrarakentamisen kannalta olennainen Green deal -sopimus on työkonealan Green deal -sopimus, jonka tavoitteena on työkoneiden aiheuttamien hiili-dioksidin päästöjen vähentäminen lisäämällä täyssähköisten ja muiden vähäpäästöisten työkoneiden tarjontaa ja kannustamalla niiden käyttöön entistä laajemmin (Sitoumus 2050 2023b).

Rakentamisen alalla on olemassa myös erilaisia ympäristöjärjestelmiä ja sertifiointeja, jotka ovat ulkopuolisten toimijoiden tarjoamia. Esimerkkejä ympäristöjärjestelmistä ovat muun muassa Ekokompassi ja EMAS (the Eco-Management and Audit Scheme) ja sertifiointeista LEED, BREEAM ja BREEAM Infra (aiemmin CEEQUAL). Ekokompassi on kotimainen ympäristöjärjestelmä ja EMAS taas EU:n asetukseen N:o 1221/2009 ja kansainväliseen ISO 14001 standardiin perustava järjestelmä (Ekokompassi Oy 2023; Ymparisto.fi 2023). LEED on pääosin amerikkalaisiin käytäntöihin perustuva sertifiointi ja lyhenne sanoista *Leadership in Energy and Environmental Design*. BREEAM on lyhenne sanoista *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* ja se perustuu eurooppalaiseen normistoon. LEED ja BREEAM ovat talonrakentamiseen keskittyneitä sertifiointeja ja BREEAM Infra infrarakentamiseen keskittynyt sertifiointi. LEED on maailman käytetyin globaalijärjestelmä ja BREEAM on puolestaan Euroopan johtava rakentamisen ympäristöluokitusjärjestelmä (FIGBC 2023a; FIGBC 2023b). BRE kuvailee itse BREEAM Infran hyötyjä niin, että se auttaa edistämään kestävyttä ja suorituskykyä kaiken tyyppisissä infraprojekteissa ja mahdollistaa samalla validoinnin kansainvälisesti tunnustettua vertailukohtaa vasten. BREEAM Infra sertifiointissa hyödynnetään kahdeksan eri kategorian sisältävää kriteeristöä, jolla arvioidaan hankkeessa toteutuvia kestävä kehityksen periaatteita (Bre 2023a). Kriteeristö kattaa ekologisen, taloudellisen ja sosiaalisen kestävyden ulottuvuudet (Bre 2023a). Suomen ensimmäinen BREEAM Infrastructure -ympäristöluokituksen saanut kohde on vuosina 2017–2023 toteutettu Vt12 Lahden eteläisen kehätien allianssiurakka (Bre 2023b; Väylävirasto 2023e). Nämä edellä esitellyt itsesääntelyyn liittyvät ympäristöjärjestelmät ja ulkoisten toimijoiden myöntävät sertifiointit ovat vapaaehtoisia, mutta ne ovat tärkeä osa ympäristövastuutoistojen yritysten itsesääntelyä. Niillä voidaan myös tukea ympäristöviestintää, yrityskuvan rakentamista sekä markkinointia (Kokko 2017).

Ohjausta tapahtuu myös paikallisemmilla tasoilla, kuten kunnissa ja maakunnissa sekä alueellisissa hankkeissa. Uudellamaalla on laadittu hiilineutraali Uusimaa 2030 -tiekartta, jolla edistetään maakunnan ilmastotyötä ja tuetaan siirtymää kohti hiilineutraalia yhteis-

kuntaa. Yksi tiekartan painopisteistä on ilmastoviisas maankäyttö ja rakentaminen (Uudenmaan liitto 2022). Vastaavasti Pirkanmaalla on laadittu Hiilineutraali Pirkanmaa 2030 -tiekartta, jossa on niin ikään yhtenä pääteemana yhdyskuntarakenne ja rakentaminen (Pirkanmaan liitto 2020). Pirkanmaalla on myös kehitetty rakentamisen kiertotalouden TKI-verkostoa RATKI-hankkeessa vuosina 2021–2023 (Tampereen yliopisto 2023). Yksittäisiä kuntia ja maakuntia kokoaa yhteen Hinku -verkosto, joka on vuonna 2008 perustettu ilmastonmuutoksen hillinnän edelläkävijöiden verkosto. Verkostoon kuuluu tällä hetkellä yli 80 kuntaa ja viisi maakuntaa (Hiilineutraalisuomi.fi 2023b).

3. TUTKIMUSMETODOLOGIA

Tässä luvussa on käyty läpi työssä tehdyt metodologiset valinnat, sekä niihin liittyvät perusteet ja tavoitteet. Työn teoriaosuus on laadittu kirjallisuuskatsauksena laadullisen aineiston perusteella. Työssä toteutettiin myös teoriaa tukevia haastatteluita, joiden tarkoituksena oli käytännön kokemusten selvittäminen. Lisäksi työssä tarkasteltiin yhtä tiehanketta (Vt 3 Hämeenkyrönväylä) case-hankkeen omaisesti sekä tehtiin markkina-analyysi. Case-hankkeeseen liittyvä materiaali on osin kvantitatiivista eli määrällistä aineistoa. Numeerisena tietona case-hankkeelta on saatu rakennusosien määrätietoa, joita on käytetty työssä toteutetuissa laskelmissa sellaisenaan.

3.1 Yleisesti

Laadullisen aineiston analyysin tarkoituksena on aineiston tiivistäminen ja jalostaminen teoreettiseen muotoon niin, että aineistosta saadaan luotua mielekäs kokonaisuus. Työssä tehdyn analyysin ja synteysin avulla pyritään luomaan edellytykset, jotta voidaan tehdä perusteltuja ja rikkaita tulkintoja tutkittavasta ilmiöstä (Käpylä & Korhonen, 2022a; Puusa et al. 2020). Laadullinen aineisto on tyypillisesti varsin rikas ja sen määrä on huomattavan suuri (Puusa et al. 2020). Yleispätevää kaavaa, mallia tai ohjetta laadullisen analyysin tekemiseksi ei olekaan, vaan olennaisimpana asiana pidetään sitä, että analyyseillä vastattaisiin kysymykseen mitä aineisto pitää sisällään ja mistä se kertoo (Günther et al. 2023). Työn teoriaosuus on luotu kirjallisuuskatsauksena laadullisen eli kvalitatiivisen aineiston perusteella, joka sisältää muun muassa tutkimusartikkeleita, kirjallisuutta, internetsivuja, raportteja, lakeja sekä Väyläviraston ohjeita, julkaisuja, tutkimuksia ja selvityksiä.

Kirjallisuuskatsauksen toteutuksessa mukailtiin Finkin (2020) mallia systemaattisen kirjallisuuskatsauksen toteuttamisesta. Työssä käytetyt tutkimusartikkelit on rajattu englanninkielisiin ja vertaisarvioituihin artikkeleihin, jotka on julkaistu pääsääntöisesti viimeisen kymmenen vuoden aikana. Hakuja tehtiin eri tietokannoista kuten Scopusesta, Web Of Sciencesta, Emerald Insightista ja MDPI:stä, jonka lisäksi hyödynnettiin Tampereen yliopiston hakupalvelu Andoria. Hakuja tehtiin erilaisilla hakulauseilla, kuten "circular economy" AND infrastructure", "definition AND circular OR economy" ja "(infrastructure) AND circular OR sustainabil* AND procurement". Haussa käytettyjen rajausten jälkeen ensimmäinen artikkeleiden karsinta tehtiin otsikoiden, tiivistelmien ja avainsanojen perusteella, jonka jälkeen jäljelle jääneet artikkelit selattiin tarkemmin läpi. Tämän jälkeen aineistoa täydennettiin vielä selattujen artikkeleiden lähdeluetteloita tutkimalla. Joitakin artikkeleita

jätettiin vielä tässä kohtaa pois niiden ollessa sellaisia, jotka eivät lopulta vaikuttaneet olevan tutkimustehtävän kannalta relevantteja.

Työssä on käytetty teorian kehittämisen eli päättelyn muotona induktiivista eli aineistolähtöistä lähestymistapaa, jossa teoria rakentuu aineiston perusteella (Käpylä & Korhonen 2022a). Käytössä olleen aineiston ja yllä kuvattujen menetelmien perusteella työlle on luotu teoreettinen tausta, joka ohjaa ja määrittää kiertotalouden sovellusten ja uusiomateriaalien käyttöä tierakentamisessa. Työn kirjallisuuskatsauksena toteutetun teoriaosuuden lisäksi aineistonkeruumenetelmänä käytettiin haastatteluja, jotka ovat yksi laajalti käytetyistä tiedonhankinnan perusmuodoista (Hirsjärvi & Hurme 2022). Haastatteluja käytetään usein, kun halutaan selvittää ihmisten ajatuksia, käsityksiä, kokemuksia, tunteita ja kun halutaan ymmärtää ihmisiä ja heidän toimintaansa. Haastattelut ovat myös hyvin monipuolinen tiedonkeruumuoto ja niissä voidaan kerätä erityyppistä tietoa, kuten esimerkiksi tosiasioita ja kokemuksia. Lisäksi haastattelut ovat hyvin ajassa liikkuvia; niissä on mahdollista käsitellä menneitä, nykyisyyttä ja tulevaa varsin sujuvalla tavalla (Käpylä & Korhonen 2022b). Tässä työssä haastatteluilla pyrittiin täydentämään teoriaosuutta selvittämällä kiertotalousratkaisujen nykytilaa tierakentamisessa huomioiden kolmitasoinen tilaaja – suunnittelija – urakoitsija -toimijakenttä. Haastattelut sopivat tähän tarkoitukseen hyvin kirjallisuutta tukevaksi aineistonkeruumuodoksi niiden monipuolisuuden ja ajallisen liikkuvuuden vuoksi. Kiertotalouden ja kestävyuden teemat ovatkin tällä hetkellä aktiivisen kehityksen kohteena rakentamisen toimialalla.

Työssä on taustakirjallisuuden avulla perehdytty myös yhteen case-hankkeeseen. Case-hanke voidaan mieltää tapaustutkimuksen omaiseksi osaksi työtä. Tapaustutkimukselle ominaista on, että sen kohteena oleva tapaus ymmärretään jollakin tavalla rajautuneeksi kokonaisuudeksi tai omaksi yksikökseen. Tutkimusstrategiana se on kuitenkin väljästi määrittyvä (Jyväskylän yliopisto 2015). Tapaustutkimuksessa analysoidaan kuitenkin aina intensiivisesti yhtä tai useampaa valittua tapausta (Jääskeläinen 2022). Puusa et al. ovat määritelleet tapaustutkimuksen näin; *”Tapaustutkimus on tutkimusstrategia, joka mahdollistaa ilmiön tarkastelun sen omassa luonnollisessa kontekstissa käyttäen useita tietolähteitä. Tapaustutkimuksen tavoitteena on tuoda teoria kosketuksiin empiirisen maailman kanssa”* (Puusa et al. 2020). Tapaustutkimukseen liittyviä analyysitekniikoita ovat muun muassa selitysten rakentaminen ja niin sanottu ”pattern matching”. Ensimmäisen pyrkimyksenä on syy-seuraussuhteiden rakentaminen ja jälkimmäisen tarkoituksena on verrata teorialähtöisiä olettamuksia case-dataan. Tutkimuksen validiteetti paraneekin teorialähtöisten olettamusten vastatessa case-dataa (Jääskeläinen 2022). Tässä työssä case-hanketta hyödyntämällä on pyritty edellä mainittuja menetelmiä käyttäen löytämään yhteyksiä teorian ja case-hankkeen käytännön toteutuksen välillä.

Markkina-analyysi on toteutettu hyödyntämällä internetistä saatavissa olevia tietoja sekä työssä toteutettuja haastatteluja. Haastatteluiden lisäksi analyysin teon yhteydessä haettiin internetistä tarkempaa tietoa Pirkanmaan alueella toimivista yrityksistä, jotka tarjoavat tierakentamiseen soveltuvia uusiomateriaaleja tai kierrätystuotteita. Joidenkin yritysten edustajia myös kontaktoitiin sähköpostitse esimerkiksi tarkempien saatavuustietojen saamiseksi. Lisäksi markkina-analyysin laadinnan lähtötietona käytettiin Ramboll Finland Oy:ssä laadittuja materiaaalkoordinointi sekä uusiomateriaaliselvitys -dokumentteja. Dokumentit liittyvät Pirkanmaalla sijaitseviin Vt 3 Hämeenkyrönväylä sekä Vt12 Alasjärvi-Huutijärvi hankkeisiin.

3.2 Asiantuntijahaastattelut

Työssä valittiin käytettäväksi aineistonkeruumenetelmänä myös haastatteluja, joiden tarkoituksena on tukea tierakentamisen näkökulmasta kuvattuja kiertotalousperiaatteita käytännön kokemuksilla. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa voidaan hyödyntää esimerkiksi aihealueeseen keskittyvää lomakehaastattelua, teemahaastattelua tai strukturoimatonta haastattelua (Hirsjärvi & Hurme 2022; Hyvärinen et al. 2017).

Lomakehaastattelulle ominaista on se, että haastattelu tapahtuu täysin lomakkeen mukaan ja siinä kysymysten ja väitteiden muoto sekä esittämisjärjestys on täysin määrätty, eikä lomakkeessa tapahdu minkäänlaisia muutoksia vastaajien välillä. Lomakehaastattelussa oletetaan, että kysymyksillä on sama merkitys kaikille vastaajille. Lomakehaastatteluiden kohdalla suurimmaksi haasteeksi onkin tunnistettu haastattelulomakkeen ja kysymysten muotoilu. Lomakehaastattelu on kuitenkin yleisesti käytetty haastattelulaji. (Hirsjärvi & Hurme 2022; Hyvärinen et al. 2017)

Teemahaastattelu eli puolistrukturoitu haastattelu on lomakehaastattelun ja strukturoimattoman haastattelun välimuoto. Puolistrukturoitu haastattelu antaa joitakin vapauksia lomakehaastatteluun verrattuna. Kysymysten muoto on edelleen kaikille haastateltaville sama, mutta haastattelija voi vaihdella kysymysten järjestystä. Vastauksia ei myöskään ole sidottu tiettyihin vastausvaihtoehtoihin, vaan haastateltavat vastaavat esitettyihin kysymyksiin omin sanoin. Puolistrukturoitujen haastatteluiden kohdalla ominaista siis on, että joku tai jotkin haastattelun näkökohdista on ennalta lyöty lukkoon, mutta ei kaikkia. (Hirsjärvi & Hurme 2022; Hyvärinen et al. 2017)

Strukturoimaton haastattelu on kaikkein väljin haastattelutyyppi ja jättää näin eniten liikkumavaraa niin haastattelijalle kuin haastateltavillekin. Strukturoimatonta haastattelua kutsutaan usein myös muun muassa avoimeksi haastatteluksi, syvähaastatteluksi tai klii-

niseksi haastatteluksi. Väljän toteutustapansa takia avoimet haastattelut ovat usein keskustelun omaisia niin, että edellisen kysymyksen vastaus luo usein seuraavan kysymyksen. Myös aiheen määrittely on väljää ja avoimessa haastattelussa voidaan siirtyä aiheesta toiseen haastateltavan ehdoilla. (Hirsjärvi & Hurme 2022)

Tässä työssä haastattelujen toteutustavaksi valittiin puolistrukturoitu haastattelu, joka soveltuu hyvin työhön niin haastatteluiden tarkoitus kuin haastateltavien määräkin huomioiden. Haastateltavien määrästä Eskola on yleisesti todennut Tuomi & Sarajärvi (2018) kirjassa, että kuudesta kahdeksaan haastateltavaa voidaan pitää hyvänä määränä, kun puhutaan opinnäytetyön yhteydessä tehtävistä haastatteluista. Tässä työssä haastateltavien määräksi valikoitui yhdeksän henkilöä kattaen niin tilaaja-, suunnittelija- kuin urakoitsija tasonkin.

Yksi haastattelutilaisuuksista toteutettiin kuitenkin edellä mainitusta toteutustavasta poiketen fokusryhmähaastatteluna, johon osallistui kolme henkilöä. Fokusryhmähaastattelu tarkoittaa tilaisuutta, jossa koottu ryhmä keskittyy käsittelemään yhdessä ennalta määriteltä aiheet. Ryhmäkeskusteluun verrattuna fokusryhmähaastattelu pitäytyy tiukemmin määrittelyssä aiheessa, mutta jättää tilaa kuitenkin myös ryhmän vuorovaikutukselle. Fokusryhmissä ensisijaisena tavoitteena ei ole vain saada kerättyä ryhmän jäsenten vastauksia, vaan pyrkiä myös keskusteluun kannustamalla ja analyysin avulla ymmärtämään ryhmän vastausten taustalla olevia merkityksiä ja normeja. (Hyvärinen et al. 2017; Kamberelis & Dimitriadis 2013)

3.2.1 Haastattelukysymykset ja haastatteluiden toteutus

Työtä varten laadittu haastattelu ja haastattelukysymykset on suunniteltu niin, että niistä saatavien vastauksien avulla tutkimuksen tekijä pystyisi muodostaa selkeämmän kuvan tutkimuksen aiheen käytännön kokemuksista eri toimijatasoilla. Puolistrukturoidulla rakenteella on pyritty rikastamaan haastatteluiden jälkeistä analyysivaihetta sekä monipuolistamaan keskustelua haastatteluiden aikana kyllä/ei -vastausten keräämisen sijaan.

Haastattelu sisälsi neljä osaa ja yhteensä kymmenen kysymystä. Osa 0 (aloitus) sisälsi yhden kysymyksen, joka oli yleinen haastateltavan taustaan ja kokemukseen liittyvä kysymys. Osa 1 (Kiertotalousratkaisujen vaikuttavuus hankkeiden kokonaistaloudellisuuteen) sisälsi kolme kysymystä, jotka liittyivät suoraan tutkimuksen ensimmäiseen tutkimuskysymykseen. Osa 2 (kiertotalousratkaisujen (uusiomateriaalien) markkinatilanne ja vaikuttavuus tierakentamisen kannalta) sisälsi kaksi kysymystä, jotka liittyivät toiseen

tutkimuskysymykseen. Osa 3 (Yleiset kysymykset) sisälsi kolme kysymystä, joiden tarkoituksena oli molempien päätutkimuskysymyksien ohella laajentaa vastauksia kattamaan vielä yleisesti koko tutkimukseen liittyvää aihepiiriä. Tutkimuskysymykset on esitelty aiemmin työn luvussa 1.2 ja haastattelurunko liitteessä A.

Haastattelut toteutettiin pääasiassa Teams-haastatteluin sujuvan toteutuksen ja paikkariippumattomuuden vuoksi. Yksi haastatteluista pidettiin Tampereella WSP Finland Oy:n tiloissa ja yksi haastatteluista toteutettiin fokusryhmähaastatteluna Teamsin kautta. Myös fokusryhmähaastattelussa käytettiin laadittua haastattelurunkoa keskustelun johdattelussa. Haastatteluiden yhteydessä kirjattiin muistiinpanot haastateltavien vastauksista, jonka lisäksi haastattelut nauhoitettiin Teamsin tallennustoiminnolla, jotta analyysivaiheessa oli mahdollista palata haastatteluihin myös muistiinpanoja laajemmin. Analyysissä ei haastateltavien anonymiteetin säilyttämiseksi oteta tunnistettavasti kantaa yksittäisiin vastauksiin.

Haastatteluihin osallistui yhteensä yhdeksän henkilöä seitsemässä eri tilaisuudessa niin, että fokusryhmähaastatteluun osallistui kolmen henkilön ryhmä. Haastateltavien taustat ja kokemus edustivat laajasti infran eri toimijatasoja niin tilaaja, suunnittelija kuin urakoitsijatasoltakin. Useamman haastateltavan työhistoria kattaa useamman kuin yhden toimijatason ja työkokemus alalta oli haastateltavien keskuudessa keskimäärin noin 20 vuotta. Haastateltavat työskentelivät pääasiassa projektipäällikön, yksikönpäällikön tai asiantuntijan roolissa sekä joissakin muissa näihin läheisesti verrattavissa olevissa tehtävissä.

3.2.2 Tulosten analysointi

Haastatteluiden analysointi on vaihe, joka usein aloitetaan jo haastattelutilanteiden yhteydessä, jotta kynnyksien siirtyä aineistonkeruuvaiheesta analyysiin ei kasvaisi turhan suureksi (Hirsjärvi & Hurme 2022; Ruusuvuori 2010). Usein tämä ilmenee avoimen keskustelun muodossa jo haastatteluja toteutettaessa. Tämä on helposti mahdollista tutkijan itse toimiessa haastattelijana, jolloin on mahdollista havainnoida ilmiöitä esimerkiksi niiden toistuvuuden ja jakautumisen sekä erityistapausten perusteella (Hirsjärvi & Hurme 2022). Tässä työssä puolistrukturoituna toteutetut haastattelut jättivät tilaa myös avoimelle keskustelulle, jolloin edellä mainittu analysointi oli luontevaa aloittaa heti haastattelujen edetessä.

Analyysin tekemisen aikana käytettiin sekä induktiivista että abduktiivista päättelyä. Induktiivisessa päättelyssä päätelmät muodostuvat aineistolähtöisesti ja abduktiivisessa

päätelyssä tutkijalla on mielessään joitakin teorianpohjalta luotuja johtoideoita, joita pyritään todentamaan aineiston perusteella (Hirsjärvi & Hurme 2022). Joillekin teorian kautta luoduille abduktiivisille päätelmille saatiin haastatteluiden yhteydessä todentavia vastauksia, jonka lisäksi haastattelujen jälkeisessä analyysivaiheessa pystyttiin tekemään induktiivisia päätelmiä haastatteluissa kootusta aineistosta. Haastatteluissa kootusta aineistosta luodut tiivistelmät haastattelukysymyksiin on esitetty alla taulukossa 2.

Taulukko 2. *Tiivistetyt vastaukset haastattelukysymyksiin.*

OSA 0	Aloituis
Kysymys	1. Kerro lyhyesti taustastasi sekä kokemuksestasi kiertotalouden käytännöistä inf-rarakentamisessa?
Tiivistelmä	Roolit pääasiassa; projektipäällikkö, yksikönpäällikkö, asiantuntija. Työkokemus keskimäärin 20 vuotta. Kiertotalouden kokemus useimmilla hieman lyhyempi. Joillakin työuran alusta saakka. Useilla työkokemus useammalta eri toimijatasolta.
OSA 1	Kiertotalousratkaisujen vaikuttavuus hankkeiden kokonaistaloudellisuuteen (TK1)
Kysymys	2. Mitkä ovat kiertotalousratkaisuiden ja uusiomateriaalien hyödyntämisen mahdolliset edut ja haasteet tiehankkeissa verrattuna uusiutumattomiin materiaaleihin ja "perinteiseen" rakentamiseen?
Tiivistelmä	Kiertotalousratkaisuiden ja uusiomateriaalien käyttö tiehankkeissa tarjoaa mahdollisesti taloudellisia- ja ympäristöllisiä etuja. Haasteita liittyy kuitenkin esimerkiksi saatavuuteen (oikea-aikaisuus, suuri määrä lyhyellä aikaa), luvitukseen, logistiikkaan, aikatauluun ja osaamisen puutteeseen.
Kysymys	3. Miten kiertotalousratkaisujen ja uusiomateriaalien käyttö vaikuttaa tiehankkeiden euromääräisiin kustannuksiin verrattuna uusiutumattomia materiaaleja käytäviin hankkeisiin?
Tiivistelmä	Vaikutukset kustannuksiin vaihtelevat suuresti hankkeesta ja materiaaleista riippuen. Lähtökohtaisesti kustannussäästö on vallitseva ajatus. Tarkkoja laskentoja mahdollisista säästöistä ei kuitenkaan useimmilla ole tiedossa. Tapauskohteisesti (pilottikoh-teissa) hyväksytty myös suurempia kustannuksia. Käytön ja kokemusten karttumisen myötä odotettavissa kustannushyötyjä.
Kysymys	4. Millaisia vaikutuksia tiedät kiertotalousratkaisulla olleen tiehankkeiden CO2-päästöihin?
Tiivistelmä	Vaikutukset CO2-päästöihin vaihtelevat merkittävästi hankkeiden ja materiaalien käytön mukaan. Vaikka laskelmia on tehty joissakin hankkeissa, tarkkaa tietoa ei ole yleisesti saatavilla. Käytettyjen uusiomateriaalien ja kiertotalousratkaisujen vaikutusten seuranta ja arviointi edellyttäisi jatkuvaa tietojen keruuta ja laskentaa hankkeiden eri vaiheissa, myös ratkaisujen elinkaaren pituus tulisi huomioida. Esimerkki-hankkeita, joissa päästöhyötyjä on varmasti saavutettu, mutta tarkkoja lukuja ei las-kettu.
OSA 2	Uusiomateriaalien markkinatilanne ja vaikuttavuus tierakentamisen kannalta (TK2)
Kysymys	5. Kuinka kehittyneeksi koet uusiomateriaalien markkinan (Pirkanmaalla) tieraken-tamisen näkökulmasta?

Tiivis- telmä	Uusiomateriaalien markkina vasta kehittyy tiehankkeiden näkökulmasta. Kunnat ja kaupungit ovat aktiivisia, tarjontaa sekä osaamista on. Markkinatilanne alueellisesti vaihteleva (suuret kaupunkiseudut ok, syrjemmässä kuljetusmatkojen venyminen). Saatavuusongelmat (määrä ja oikea-aikaisuus) sekä osaaminen ovat haasteita. Markkinatilanteen odotetaan kehittyvän ja kiertotalousratkaisujen potentiaali on tunnistettu. Materiaalien tuotteistaminen ja tutkimukset (koerakenteet). Riskin jakaminen. Yleisesti myönteinen ilmapiiri.
Kysymys	6.Mitkä ovat suurimmat haasteet ja mahdollisuudet uusiomateriaalien käytön edistämisessä tiehankkeilla?
Tiivis- telmä	Tierakentamisessa pitkä suunnitteluprosessi aiheuttaa haasteita; kaava--> YS-->TS-->RS, vie jopa vuosikymmeniä. Käyttöä voidaan edistää parantamalla markkinavuoropuhelua, seuranta, lainsäädäntöä, ohjeistusta ja materiaalien saatavuutta sekä tukemalla uusiomateriaalien käyttöä ylhäältäpäin. Markkina kehittyy kysyntää luomalla.
OSA 3	Yleiset kysymykset (TK1 & TK2)
Kysymys	7.Mitkä ovat tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat materiaalien valintaan tiehankkeilla ja miten taloudelliset ja ympäristönäkökohdat ovat mielestäsi tyypillisesti tasapainossa?
Tiivis- telmä	Taloudelliset näkökohdat ovat usein etusijalla materiaalien valinnassa tiehankkeilla, mutta ympäristönäkökohdat pyritään silti huomioimaan eri suunnitteluvaiheissa. Pilotihankkeet ja tarkka tutkimus voivat auttaa tasapainottamaan taloudellisia ja ympäristönäkökohtia materiaalien valinnassa. Valinnat ohjautuvat teknisten ominaisuuksien kautta, jotka voivat tuottaa myös taloudellisesti ja ympäristöllisesti parempia vaihtoehtoja (esim. kevennetty vaahtolasipenger pohjanvahvistuksen sijaan). Myös maantieteellinen sijainti sekä tilaaja vaikuttavat.
Kysymys	8.Millaiseksi koet erilaiset toimenpiteet (poliittiset toimet, kannustimet, säädökset, tmvs.), joilla ohjataan käyttämään kiertotalousratkaisuita ja uusiomateriaaleja tierakentamisessa?
Tiivis- telmä	Erilaisilla toimenpiteillä ja ohjauskeinoilla on potentiaalia edistää kiertotalousratkaisujen ja uusiomateriaalien käyttöä tierakentamisessa, mutta käytännön toteutus ja standardointi vaativat edelleen kehittämistä. Ei juurikaan näy haastateltavien toimintasoille. Poliittinen ohjaus ja erilaiset vaatimukset voivat tulevaisuudessa myös olla keskeisiä tekijöitä tavoiteltujen ratkaisujen saavuttamisessa.
Kysymys	9.Millaisena pidät uusiomateriaaleihin liittyvää ohjeympäristöä (Väylän ohjeet, InfraRYL, materiaalitoimittajien omat ohjeet, jne.)?
Tiivis- telmä	Ohjeympäristö uusiomateriaaleille tierakentamisessa on vielä osittain kehittymässä ja joillekin tuntematonta. Materiaalikohtaisia ohjeita löytyy useista yleisestä materiaaleista (tuhkat, masuunihiekka jne.). Samassakin materiaalissa ominaisuuksien kuitenkin vaihdellessa on tyhjentävän yhteisen ohjeen teko haastavaa. Selkeät ohjeet ja tavoitteet voivat kuitenkin auttaa edistämään uusiomateriaalien käyttöä ja lisätä niiden yleistymistä tierakentamisessa.
Kysymys	10.Millaisena pidät kiertotalouden tulevaisuuden näkymiä tierakentamisessa, markkinoiden kehitystä ja odotettavissa olevia toimenpiteitä?
Tiivis- telmä	Kehitystä on odotettavissa kautta linjan, vaikkakin sen odotetaan olevan suhteellisen hidasta. Rakentamisen pienet katteet; raha yleensä määräävä tekijä. Kiertotalouden tulevaisuus näyttää sinänsä lupaavalta tierakentamisessa, vaikka haasteita ja hidas- teita on olemassa. EU-tason ohjaus ja kasvava kiinnostus voivat edistää kiertotalouden omaksumista ja kehitystä. Hankintoihin uusia kriteereitä 2024. Jatkuva seuranta ja tiedonkeruu olennaista oppimisen ja käytäntöjen parantumisen kannalta.

3.3 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi

Tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttavat useat eri tekijät, jotka riippuvat esimerkiksi tutkimusmenetelmistä, tutkimuksen tekijästä sekä tutkimuksen pohjana käytetystä lähtöaineistosta. Kvalitatiivisen tutkimuksen pääasiallinen luotettavuuden kriteeri on tutkija itse, joten luotettavuuden arviointi koskettaa koko tutkimusprosessia (Eskola & Suoranta 1998). Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta pohtiessa voidaan kokonaisuus kiteyttää kolmen käsitteen alle, jotka ovat uskottavuus, luotettavuus ja eettisyys (Puusa et al. 2020). Laadullisen tutkimuksen arviointikriteereinä käytetään edelleen muun muassa aineiston merkittävyyttä ja riittävyttä sekä analyysin kattavuutta, arvioitavuutta ja toistettavuutta (Käpylä & Korhonen 2022c). Tuomi & Sarajärvi (2018) toteavat, ettei laadullisen tutkimuksen luotettavuuden arviointiin ole olemassa yksiselitteisiä ohjeita. Tutkimusta tulee kuitenkin arvioida kokonaisuutena, jolloin korostuu tutkimuksen sisäinen johdonmukaisuus (koherenssi). Luotettavuuden parantamisen liittyvistä tekijöistä perusvaatimuksena voidaan pitää sitä, että tutkijalla on riittävästi aikaa tutkimuksen tekemiseen (Tuomi & Sarajärvi 2018). Diplomityö on rajattu laajuudeltaan sekä ajankäytöltään, joten ajan riittävyys työn tekemiseen on jokseenkin tulkitsijasta riippuvainen asia.

Tämän tutkimuksen teoriaosuus on laadittu kirjallisuuskatsauksena laadullisen aineiston perusteella. Laadullinen aineisto on tyypillisesti varsin rikas ja sen määrä on huomattavan suuri (Puusa et al. 2020), joten tähän työhön muodostettu teoriakokonaisuus kuvastaa tutkijan näkemystä työn kannalta olennaisimmasta aineistosta. Tähän perustuen työhön sisältyy riski, että jonkun toisen asiaa tutkivan mielestä tämän työn teoriaosuuden lähtöaineistosta puuttuu jotakin oleellista. Työn lähtöaineistona käytetty materiaali on kuitenkin pääosin varsin yksiselitteistä ja kiistatonta, kuten Suomen lakeja ja Väyläviraston suunnitteluohjeita. Suurempi riski liittyy työn kannalta olennaisten aiempien tutkimusten ja tutkimusartikkelien jääntiin tämän työn ulkopuolelle aineiston kasaamisen yhteydessä.

Haastatteluiden luotettavuutta rajoittaa haastatteluihin osallistuneen ryhmän pieni koko (N=9). Eskola on kuitenkin todennut, että jo kuudesta kahdeksaan haastateltavaa on kelvollinen määrä, kun kyseessä on opinnäytetyö (Tuomi & Sarajärvi 2018). Haastattelut on toteutettu niin, että koko kolmitasoisien tilaaja - suunnittelija – urakoitsija -toimijaketän näkemykset on huomioitu. Näin ollen haastattelut luovat käsitystä tilanteesta eri toimijatasoilla, sekä alalla kokonaisuudessaan. Työhön on pyritty tällä tavoin luomaan syvyyttä ja yleistettävyyttä.

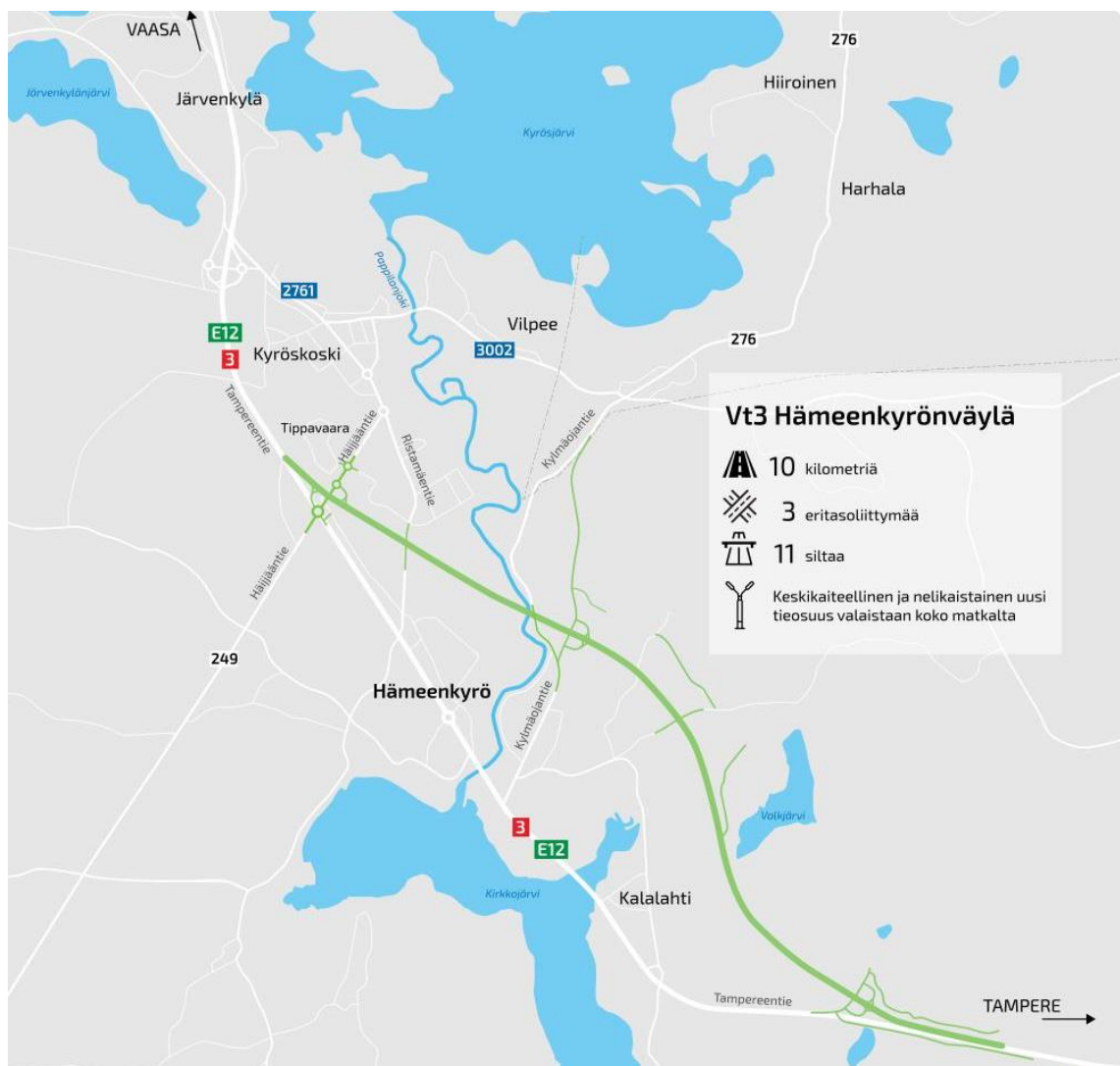
Markkina-analyysiin liittyy riski tiedon kattavuudesta sekä ajallisesta kestävyydestä. Markkina-analyysi kuvaakin laadinnan aikaista tilannetta, jolloin tieto voi osittain vanhentua nopeastikin markkinan kehittyessä. Tuotteiden saatavuus, hinta ja sijainti voivat vaihdella kysynnän ja tarjonnan mukaan. Myös tuotteita tarjoavien toimijoiden kentässä voi tapahtua muutoksia joko uusien yritysten ilmaantuessa markkinoille, tai vanhojen poistuessa markkinalta.

Case-hankkeen tarkastelun yhteydessä ja sen tietojen perusteella tehtyjen laskelmien kohdalla luotettavuus perustuu lähtötietojen ja laskentojen oikeellisuuteen. Mahdolliset virheet lähtötiedoissa voivat vääristää laskennan tuloksia merkittävästi. Päästölaskennan osalta myös käytetyissä laskentamenetelmissä on eroja, eikä tulokset näin ollen ole välttämättä suoraan vertailukelpoisia muilla laskentamenetelmillä saatuihin tuloksiin. Myös laskennassa tehdyt oletukset saattavat heikentää tulosten vertailukelpoisuutta, etenkin mikäli vertailukohteessa tehtyjä oletuksia ei ole seikkaperäisesti avattu.

Kustannuslaskennan osalta laskennat perustuvat Ihku laskentapalvelun hintatietoihin. Maarakennuskustannusindeksin (MAKU) pisteluku on asetettu 115,0 pisteeseen, joka vastaa nykytilannetta paremmin hankkeen keskimääräistä hintatasoa ennen lähiaikojen jyrkkää kustannusten nousua. Viimeisimmän maarakennuskustannusindeksin päivityksen yhteydessä pisteluku oli noussut syyskuussa 2023 jo 132,4 pisteeseen. Alemmaksi asetettu pisteluku huomioi hankkeen rakennusajan vuosina 2020–2023 ja edustaa keskimääräistä pistelukua tarkastellulla aikavälillä (SVT 2023c). Mahdollisessa vertailussa muihin laskelmiin tulee huomioida hintatasot ja tarvittaessa pyrkiä niiden tekemiseen vertailukelpoiseksi. Joillakin toimijoilla voi olla myös tiedossa esimerkiksi alueellisesti tarkempia hintatietoja ja olemassa olevia sopimuksia, jotka saattavat poiketa merkittävästikin työssä käytetyistä hintatiedoista.

4. CASE-HANKE

Työssä tarkasteltu case-hanke on Vt 3 Hämeenkyrönväylä. Hanke liittyy valtatie 3:n parantamiseen Hämeenkyrön kohdalla Kyröskosken ja Hanhijärven välillä, jonka tavoitteena oli muun muassa liikenteen ja kuljetusten sujuvuuden ja turvallisuuden parantaminen. Hanke on ajoittunut vuosille 2020–2023 ja uusi väylä otettiin liikenteen käyttöön 30.11.2022. Hankkeen pääurakoitsijana toimi Destia Oy ja tilaajana Väylävirasto. Hankkeen kokonaisarvo oli noin 65 miljoonaa euroa (Väylävirasto 2022j). Hankkeen kartta on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Vt 3 Hämeenkyrönväylä, karttakuva. (Väylävirasto 2022j).

Hanketta taustoitti valtatie 3:n kuuluminen Suomen tärkeimpään päätieverkkoon ja tielle asetetut muita pääteitä tiukemmat laatutavoitteet, jotka eivät kuitenkaan hanketta edeltäneessä tilanteessa täyttyneet Tampereen ja Vaasan välisellä tieosuudella. Hanketta

edeltäneessä tilanteessa tieosuuden liikennemäärä kasvoi ja liikenneturvallisuus heikkeni. Tieosuus kuului onnettomuusriskiltään Suomen vaarallisimpiin valtatiejaksoihin ja onnettomuuksia tapahtuikin keskimääräisesti enemmän, kuin muilla valtatiejaksoilla. (Väylävirasto 2022j)

Uuden väylän myötä liikenne sujuvoitui ja turvallisuus parani valtatie 3:lla. Myös matka-aika lyheni huomattavasti johtuen uuden osuuden kaksikaistaisuudesta ja korkeammasta nopeusrajoituksesta. Hämeenkyrön kunnalle myös avautui hankkeen yhteydessä mahdollisuus aiempaa monipuolisemmalle kaavoitukselle vanhan valtatie ympäristössä, kun liikenne siirtyi uudelle väylälle keskustan pohjoispuolelle. (Väylävirasto 2022j)

Vt 3 Hämeenkyrönväylä hanke käsitti noin 10 kilometriä uutta kapeaa keskikaiteellista nelikaistaista valtatieta, jonka lisäksi hankkeessa toteutettiin kolme eritasoliittymää uuden väylän liittämiseksi muuhun tieverkkoon. Hankkeen yhteydessä Kylmäojantietä rakennettiin uudelleen noin kahden kilometrin matkalla sekä parannettiin muita kevyenliikenteen yhteyksiä, yksityisteitä ja katujärjestelyjä. Melusteita hankkeella rakennettiin noin kuusi kilometriä, siltoja 11 kappaletta sekä valaistus uudelle tieosuudelle. Myös ympäristö on huomioitu hankkeessa varsin monipuolisesti. Hankkeessa on muun muassa rakennettu riista-aidat Pappilanjoen eteläpuoliselle alueelle ja riistasilta Valkjärven alueelle. Hämeenkyrön kunnan ja Väyläviraston tahtotilana on ollut myös uusiomateriaalien käyttö hankkeella. (Väylävirasto 2022j)

4.1 Case-tarkastelun tavoite ja menetelmät

Case tarkastelun tavoitteena oli tutkia todellista esimerkkikohdetta ja yhdistää luvun 2 teoriaosuutta käytäntöön. Kohteesta saatujen määrätietojen avulla oli tarkoituksena selvittää tierakentamisen kiertotalousratkaisujen ja uusiomateriaalien käytön vaikutusta tiehankkeen euromääräisiin kustannuksiin ja CO₂-päästöihin. Kohteesta saadun määrätiedon perusteella laadittiin laskentaan kaksi versiota. Laskenta tehtiin toteutuneesta tilanteesta sekä niin sanotusta BAU (business-as-usual) -tilanteesta, jossa oletuksena on, että rakentaminen olisi tehty perinteisin materiaalein uusiomateriaaleja hyödyntämättä. Case tarkastelun laskennat on toteutettu pääosin hankkeen suunnitteluvaiheen tietojen hyödyntämällä. Urakoitsijalta pyydettiin mahdollisesti työn aikana tarkentuneita tai muuttuneita määriä, joita saatiin muutamien rakennusosien kohdalla.

4.2 Kiertotalous ja uusiomateriaalit hankkeella, casen analyysi

Case-hankkeella on hyödynnetty niin uusiomateriaaleja kuin hankkeen sijainnista johtuvaa merkittävää kiertotalousmahdollisuutta. Hankkeessa on käytetty tierakenteissa jakavissa kerroksissa betonimursketta noin 4 500 tonnia, suodatinkerroksissa rakeistettua Fill-R lentotuhkaa noin 11 500 tonnia, kevennetyissä penkereissä vaahtolasia noin 6 400 tonnia sekä kevytsoraa noin 3 600 tonnia. Lisäksi hankkeeseen liittyvissä meluvallissa käytettiin kokonaisia renkaita noin 1 500 tonnia sekä rengasleikettä noin 2 000 tonnia. Näiden lisäksi hankkeelta pystyttiin ajamaan noin 400 000 m³ ylijäämä- ja leikkausmaita loppusijoitukseen noin 10 km päässä sijaitsevan Haverin kultakaivoksen rikastushiekkaluonnon peittomateriaaleiksi Ylöjärvelle. Tällä järjestelyllä pystyttiin välttämään kyseisten ylijäämä- ja leikkausmaiden läjittäminen lähellä työmaata oleville sijoitusalueille. Ratkaisun avulla estettiin myös haitallisia metalleja ja syanidia sisältävien rikastushiekkamaa-aineisten huuhtoutuminen sateiden mukana ympäristöön ja läheiseen Kirkkojärveen, kun alue peitettiin useiden metrien paksuisella silttikerroksella (Väylävirasto 2022I). Hankkeen alueelle suunniteltujen sijoitusalueiden hyödyntämiseen olisi myös liittynyt ongelmia johtuen muun muassa niiden sijainnista paikoitellen lähellä tärkeitä laskuojia. Mikäli sijoitusalueita olisi jouduttu hyödyntämään, se olisi aiheuttanut paljon selvitystyötä hankkeen aikana ja johtanut kuitenkin mahdollisesti lopulta läjitysmaiden vientiin suunniteltuja sijoitusalueita kauemmaksi. (Jokihaara 2023)

Haastattelukysymyksessä seitsemän saatiin vastauksia tärkeimpiin tekijöihin, jotka vaikuttavat materiaalien valintaan tiehankkeilla. Vastauksista kävi ilmi, että usein taloudelliset ja tekniset näkökohdat ajavat ympäristöllisten näkökulmien edelle, vaikka myös ympäristö huomioidaan aina. Teknisesti parhaat ratkaisut voivat tuottaa kuitenkin myös ympäristöllisesti ja taloudellisesti kestäviä ratkaisuja, esimerkiksi tapauksissa, joissa on voitu välttää kevennysrakenteilla pohjanvahvistuksien tarvetta. Myös case-hankkeella käytetyt ratkaisut voidaan nähdä niin ympäristöllisestä kuin teknisestä näkökulmasta tehdyiksi ja ne on käsitelty jäljempänä tässä luvussa. Päästö- ja kustannuslaskennan tulokset on esitetty myöhemmin luvussa 6.

Ympäristönäkökulmat

Selkeästi ympäristöasioita edistäviksi ratkaisuksi hankkeella käytetyistä materiaaleista voidaan katsoa betonimurskeen käyttö jakavissa kerroksissa sekä rakeistetun Fill-R lentotuhkan käyttö suodatinkerroksissa. Näillä uusiomateriaaleilla on voitu korvata suoraan rakennekerroksissa tyypillisesti käytettäviä luonnonkiviaineita, eli tässä tapauksessa

hiekkaa ja kalliomursketta. Näin ollen kyseisten materiaalien käytöstä aiheutuvan hyödyn voidaan ajatella olevan suoraan hankkeen päästökuormaa pienentävä ja ratkaisun yleisesti ympäristönäkökulmasta tehty.

Teknitaloudelliset näkökulmat

Osa ratkaisusta voidaan katsoa kuitenkin sellaisiksi, joissa valinta on mahdollisesti tehty ensisijaisesti rakenteen teknisen toimivuuden kannalta, mutta jotka kuitenkin tuottavat myös sekä ympäristöllisesti että taloudellisesti kestävänsä lopputuloksen. Case-hankkeella käytetyistä ratkaisusta tällaisia ovat kevennetyissä penkereissä käytetty vaahtolasi sekä meluvallissa käytetyt kokonaiset renkaat sekä rengasleike. Nämä materiaalit ovat huomattavasti luonnonkiviaineksia kevyempiä, eivätkä ne ole suoraan korvattavissa tilavuuspainoltaan merkittävästi suuremmilla kiviaineksilla. Niin kevennetyjen penkereiden kuin meluvallienkin tapauksessa voidaan edellä mainituilla kevennysrakenteilla mahdollisesti välttää erilaisten pohjanvahvistusmenetelmien käyttö, jolla voidaan saavuttaa sekä kustannussäästöjä että päästövähennyksiä. Näitä hyötyjä ei kuitenkaan voida tarkasti todentaa ilman kohdekohtaisesti tehtyä tarkkaa vaihtoehtosuunnittelua ja geoteknistä mitoitusta, joita ei tämän diplomityön yhteydessä ole laadittu.

Yleisesti ottaen voidaan kuitenkin todeta esimerkiksi 4 metriä korkean meluvallin rakentamisen olevan mahdollisesti hankalaa, mikäli rakenteeseen olisi odotettavissa suunnittelurajat ylittäviä painumia. Tilanteissa, joissa hankkeella olevien ylijäämä- / leikkausmaiden geotekniset ominaisuudet eivät salli meluvallin rakentamista leikkausmaista, voidaan erilaisten uusio- ja kevennysmateriaalien käytöstä saada apua painumien hallintaan (Väylävirasto 2022k). Kevennysratkaisujen käyttöä vaikuttavat ajavan siis usein teknitaloudelliset tekijät, eikä ratkaisujen tulisi ajatella olevan suoraan ympäristöllisestä näkökulmasta tehtyjä.

Haverin kiertotalousratkaisu

Haveriin ajettuja ylijäämä- ja leikkausmaita sekä ratkaisun ympäristöllisiä ja taloudellisia vaikutuksia käsitellään erillisenä hankkeen sijainnista riippuvaisena kiertotalousratkaisuna. Ratkaisua ei voida pitää tierakentamisen kannalta yleisenä mahdollisuutena, vaan vahvasti toteutusympäristöstä riippuvana tekijänä. Yleisemmin on lähinnä sattumaa, onko tiehankkeiden yhteydessä mahdollista toteuttaa vastaavia ja yhtä merkittäviä kiertotalousratkaisuja. Haverin kiertotalousratkaisu kattaa merkittävän osan hankkeella aikaansaaduista päästövähennyksistä. Suunniteltujen sijoitusalueiden hyödyntämiseen olisi liittynyt merkittävää epävarmuutta tilanteessa, jossa Haverin ratkaisua ei olisi voitu hyödyntää. Näin ollen kyseisen ratkaisun tuottamien hyötyjen arviointi on hankalaa ja epätarkkaa.

5. MARKKINA-ANALYYSI, TIERAKENTAMISEN UUSIOMATERIAALIT

Tämä luku kattaa markkina-analyysin, joka on laadittu tukemaan ja rikastuttamaan työn lopputulosta. Tierakentamiseen soveltuvien uusio- ja kierrätysmateriaalien markkinaa on pyritty analysoimaan julkisesti saatavilla olleiden tietojen sekä haastatteluissa saatujen tietojen perusteella. Markkina-analyysin lähtötietona ja pohjana Pirkanmaan alueen toimijoille on käytetty Ramboll Finland Oy:ssä laadittua uusiomateriaaliselvitystä sekä materiaalkoordinoitua, jotka liittyvät Vt12 Alasjärvi – Huutijärvi sekä Vt3 Hämeenkyrönväylä hankkeisiin. Lisäksi analyysin teon yhteydessä tehtiin tarkempien tietojen saamiseksi lukuisia Google-hakuja sekä kontaktoitiin Pirkanmaan alueen toimijoita. Tarkemat tiedot markkina-analyysin yhteydessä kerätyistä toimijoista, niiden tarjoamista uusiomateriaaleista sekä mahdolliset saatavuus- ja muut lisätiedot on esitetty liitteessä B.

5.1 Analyysin tarkoitus ja rajaus

Markkina-analyysin tarkoituksena oli muodostaa käsitys tierakentamiseen soveltuvien uusio- ja kierrätysmateriaalien markkinatilanteesta, markkinan kypsyystasosta sekä sen muista ominaispiirteistä. Toimijoiden suuren määrän vuoksi varsinaiset toimijoihin liittyvät tarkastelut keskittyvät Pirkanmaan alueen toimijoihin, mutta työssä toteutettujen haastatteluiden kautta saadut tiedot sekä suoraan toimijoiden kanssa käydyt keskustelut koskevat myös laajemmin koko Suomea. Useat Pirkanmaan alueelta huomioidut toimijat ovat sellaisia joilla on toimintaa, teollisuuslaitoksia tai esimerkiksi käsittelyalueita ympäri Suomea. Analyysin teon yhteydessä saaduista muuta Suomea koskevista lisätiedoista huolimatta markkina-analyysissä ei ole pyritty tyhjentävästi käsittelemään tierakentamiseen soveltuvien uusiomateriaalien markkinaa koko Suomessa.

5.2 Markkina-analyysin tulokset

Tierakentamiseen soveltuvia uusiomateriaaleja tuottavilta yrityksiltä saatujen kommenttien sekä haastattelujen perusteella markkinan voidaan yleisesti todeta olevan kehittyvä, mutta selkeästi alueellisesti vaihteleva. Toimittajilta saatujen tietojen mukaan esimerkiksi betoni- ja tiilimurskeen toimitettavissa oleva määrä vaihtelee merkittävästi purkutyömaiden mukaan eräällä toimittajalla, eikä MARA-kelpoisilla materiaaleilla ole juurikaan varastoja. Yksi toimija kertoi valtavista kaivannaisteollisuuden sivuvirroista, joiden hyödyntäminen ja sovelluskohteet olivat vasta selvityksessä, eikä sivuvirrat olleet ainakaan vielä

tuotteistettuja. Yksi toimija taas kertoi, että heidän tuhkamateriaalinsa on todettu tierakentamiseen heikosti soveltuvaksi. Tuhkamateriaalien kohdalla myös haastatteluissa tuli ilmi niiden ominaisuuksien vaihtelevuus tuotantoprosessista ja syntyperästä riippuen.

Haastattelukysymykset viisi ja kuusi koskettivat uusiomateriaalien markkinatilannetta. Niiden perusteella markkinatilanne uusiomateriaaleissa mielletään tierakentamisen näkökulmasta vasta kehittyväksi ja alueellisesti vaihtelevaksi. Suurten kaupunkiseutujen ympäristöissä markkinat ovat kypsemät, mutta etenkin syrjäisemmillä seuduilla kuljetusmatkat venyvät sekä saatavuusongelmat nähdään haasteina. Haastatteluissa nousi esille myös suunnitteluvaiheessa puuttuva tieto mahdollisesti saatavilla olevista uusiomateriaaleista ja rakennusajasta, jonka vuoksi suunnitelmissa osoitetaan usein käytettäväksi perinteisiä materiaaleja. Vaihtoehtoiset materiaalit saattavat tulla näin ollen hankkeisiin mukaan vasta urakoinnin aikana, joka aiheuttaa haasteita pitkien lupaprosessien vuoksi ja joiden reagointi ei vastaa rakentamisen aikataulua.

Yleisesti uusiomateriaalien markkinan haasteina ovat pitkät kuljetusmatkat, suuret volyymit ja varastojen vähyys. Tierakentamisessa materiaalien tarve on suurta ja aikaikuna kohtuullisen lyhyt. Näin ollen esimerkiksi yhden voimalaitoksen tuotannossa koko vuoden aikana syntyvät tuhkat voidaan tarvita tiehankkeelle kuukauden aikaikkunassa. Haasteita liittyy myös lupaprosesseihin sekä työvoiman tekniseen osaamiseen ja yleiseen kehitysmuotoisyyteen. Markkinan koetaan kehittyvän vain kysynnän kehittymisen myötä ja kysynnän kehittymisen katsotaan lähtevän tilaaja- ja suunnittelijatasoilta. Tierakentamisessa tarvittavien materiaalien suuret volyymit aiheuttavat haasteita, mutta toimivat myös toisaalta suurimpana mahdollisuutena. Uusiomateriaalien markkinatilanne vaihtelee tiehankkeen sijainnin mukaan suotuisasta varsin haastavaan. Kuljetusetäisyyksien kasvaessa uusiomateriaalit menettävät merkittävästi kilpailukykyään perinteisiin kiviaineksiin verrattuna niin kustannusten kuin päästöjenkin näkökulmasta.

Kaupunkiseutujen kehittyneemmistä tilanteista esimerkkinä toimii nimetyt massakoordinaattorit, jotka edistävät maa- ja kiviaineshallintaa omilla alueillaan. Massakoordinaattoreita löytyy esimerkiksi Tampereelta ja Turusta sekä pääkaupunkiseudulta. Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY) on kehittänyt SeutuMassa -työkalun, joka on alueen toimijoiden yhteisesti käytettävissä oleva paikkatietopohjainen työkalu pääkaupunkiseudun maamassojen hallintaan (HSY 2023). Lisäksi Helsingin kaupungilla on käytössään vastaava toiminnallisuus Helsingin karttapalvelussa (Suominen & Vahtera 2023). Massatyökalujen lisäksi on olemassa maanlaajuinen materiaalitori -verkkosivusto, joka on Motiva Oy:n ylläpitämä yritysten ja organisaatioiden jätteiden ja sivuvirtojen ammattimaiseen vaihdantaan tarkoitettu verkkosivu.

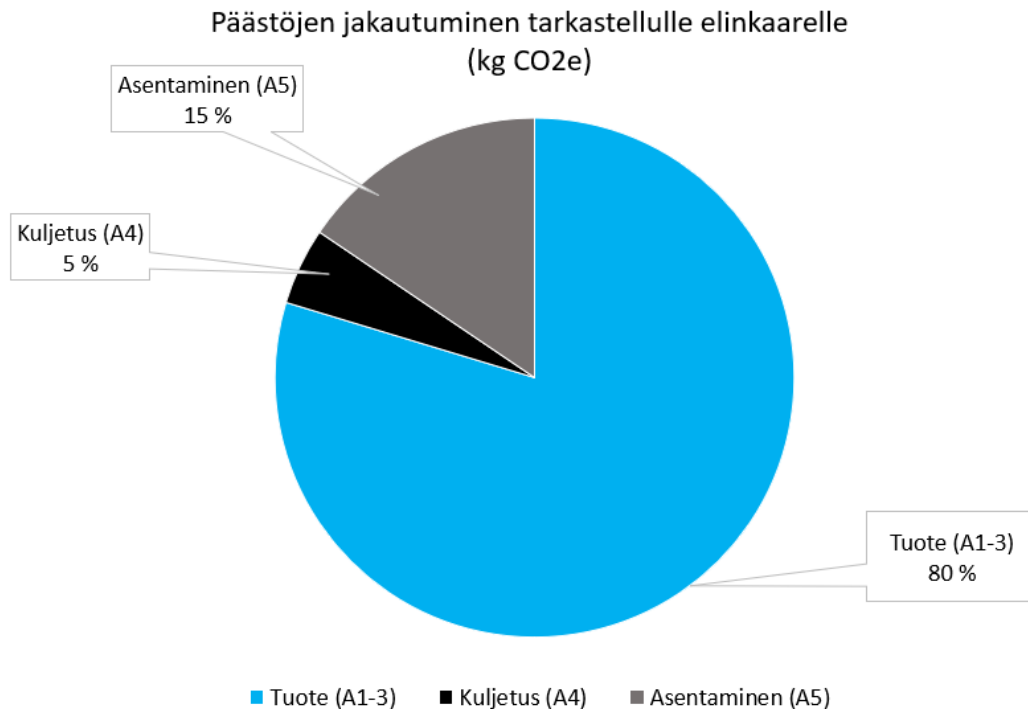
6. TULOKSET

Tässä luvussa on esitetty työssä käsitellystä case-hankkeesta tehdyt kustannus- ja päästölaskelmat, laskennoissa käytetyt rajaukset sekä laskentojen lopputulokset. Päästötietojen osalta laskennassa käytettiin infran päästötietokantaa (co2data.fi) ja laskenta tehtiin Excelissä. Tuotanto-osien, panosten ja työsuoritusten tietoina käytettiin Ihku-laskentapalvelusta saatuja tietoja. Päästölaskennan toteutuksessa on mukailtu infrarakentamisen vähähiilisyyden arviointimenetelmä -ohjeen 5.5.2023 päivättyä luonnosversiota ja indikaattorilaskennassa Työ- ja elinkeinoministeriön uusiomaarakentamisen vaikutukset ja indikaattorit -raporttia (Väylä 2023f; Työ- ja elinkeinoministeriö 2021). Kustannustietona käytettiin niin ikään Ihkun hintatietoja ja kustannuslaskenta suoritettiin Ihkussa. Laskennat suoritettiin elinkaaren näkökulmasta työn yleisen linjan mukaisesti tuote (A1-3) ja rakennus (A4-5) vaiheet huomioiden. Kaikki yhdyskuntateknisten hankkeiden elinkaaren vaiheet on esitetty aiemmin tämän työn kuvassa 2.

Työssä käytettyä case-hanketta rajattiin laskentaa varten, eikä hanketta huomioitu laskennassa koko laajuudessaan. Joitakin case-hankkeeseen kuuluvia rakennusosia jätettiin laskennan ulkopuolelle työmäärän kohtuullistamisen tai luotettavan päästötiedon puuttumisen vuoksi. Joidenkin yksittäisten ja määrältään pienien rakennusosien on myös arvioitu olevan merkitykseltään vähäisiä, jonka vuoksi yksittäisiä rakennusosia on voitu jättää laskennassa huomioimatta. Laskennassa huomioitua Infra 2015 rakennusosa- ja määrämittausohjeen mukaiset litterat selitteineen on esitetty työn liitteessä C.

6.1 Päästölaskenta

Case-hankkeen päästölaskennan tuloksena selvitettiin päästöjen jakautuminen tarkastellulle elinkaarelle sekä suhteellisesti että määrällisesti saavutetut päästövähennykset case-hankkeella. Lisäksi case-hankkeelle määritettiin neljä uusiomaarakentamisen indikaattoria, jotka kuvaavat luonnonvarojen kulutusta ja materiaalitehokkuutta. Tuloksista voidaan huomata, että kuljetuksista ja asentamisesta aiheutuvat päästöt ovat verrattain pieni osa kokonaisuudesta materiaalien käytön päästöihin verrattuna, joten tuotevaihe on elinkaaren vaiheista selkeästi päästöintensiivisin. Tarkasteltujen rakenteiden päästöt jakautuvat tarkastellun elinkaaren tuote (A1-3), kuljetus (A4) ja asennus (A5) vaiheisiin kuvassa 7 esitetyllä tavalla.

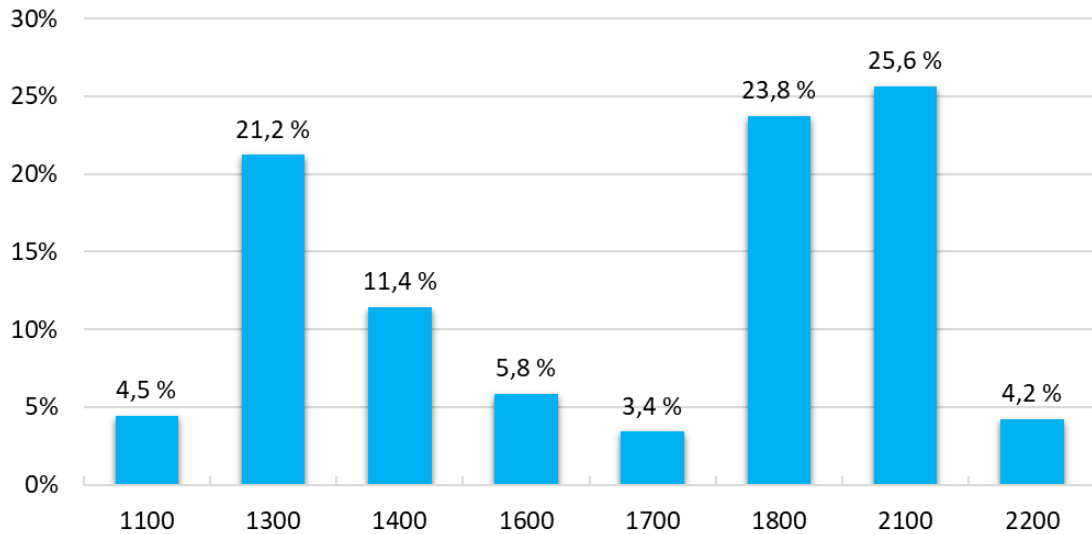


Kuva 7. Maa-, pohja- ja kalliorakenteiden sekä päällys- ja pintarakenteiden prosentuaaliset hiilidioksidipäästöt elinkaaren vaiheissa A1-5.

Tarkempi päästöjen muodostuminen on esitetty Infra 2015 rakennusosa- ja määrämittausohjeen nimikkeistön sata -tasojen mukaisesti kuvassa 8. Kuvassa on esitetty toteutuneen tilanteen päästöjen muodostuminen kaikki tarkastelun elinkaaren vaiheet (A1-5) huomioiden. BAU-skenaarion tulokset eivät eroa toteutuneeseen tilanteeseen verrattuna merkittävästi. Joidenkin prosenttiyksikön kymmenyksien verran eroa muodostuu penkereiden (1800) sekä päällysrakenteiden (2100) osalta. Näin ollen alla olevasta kuvasta voidaan huomata, että molemmissa skenaarioissa hankkeen päästöintensivisimmät rakennusosat nimikkeistön sata -tasolla ovat selkeästi päällysrakenteet (2100), penkereet (1800) sekä perustusrakenteet (1300). Nimikkeistön sata -tasojen selitteet ovat:

- 1100 Olevat rakenteet ja rakennusosat
- 1300 Perustusrakenteet
- 1400 Pohjarakenteet
- 1600 Maaleikkaukset ja -kaivannot
- 1700 Kallioleikkaukset, -kaivannot ja -tunnelit
- 1800 Penkereet, maapadot ja täytöt
- 2100 Päällysrakenteen osat ja radan alusrakenteet
- 2200 Reunatuot, kourut, askelmat ja eroosiosuojaukset

Hiilidioksidipäästöjen suhteellinen osuus rakennusosakohtaisesti



Kuva 8. Hankkeella muodostuneiden hiilidioksidipäästöjen suhteellinen osuus rakennusosakohtaisesti nimikkeistön sata -tasolla.

Päästölaskennan yhteydessä selvitettiin luvussa 4.2 käsitellyjen uusiomateriaalien käytöllä saavutetut päästöhyödyt. Suodatinkerroksissa käytetyn Fill-R lentotuhkan avulla on laskennan mukaan saavutettu noin 50 700 kg CO₂e pienemmät päästöt kuin BAU-skenaarion mukaisella suodatinhiekalla. Tämä tarkoittaa koko hankkeella 2110 suodatinrakenteet rakennusosissa 3,3 % pienempiä kokonaispäästöjä. Jakavissa kerroksissa käytetyn betonimurskeen avulla saavutetut vastaava luku on noin 36 700 kg CO₂e pienemmät päästöt kuin BAU-skenaarion kalliomurskeella, joka tarkoittaa koko hankkeen 2120 jakavat kerrokset, eristys- ja välikerrokset rakennusosissa 6,3 % pienempiä kokonaispäästöjä.

Kuten aiemmin todettua, hankkeella käytettyjen kevennysmateriaalien eli kevennetyissä penkereissä käytetyn vaahtolasin sekä meluvalleissa käytettyjen kokonaisten renkaiden sekä rengasleikkeen päästövähennyksiä on hankalaa laskea johtuen suoraviivaisen BAU-skenaarion vaihtoehdon puuttuessa. Näiden ratkaisujen todentaminen vaatisi laajoja geoteknisiä laskelmia ja vaihtoehtotarkasteluja, joita tämän diplomityön puitteissa ei ollut mahdollista toteuttaa. Todennäköistä myös on, että näille materiaaleille ei todellisuudessa ole teknistaloudellisesta näkökulmasta ajateltuna sellaista vaihtoehtoa, joka olisi käytännössä voitu toteuttaa. Näihin laskentaa liittyviin epävarmuuksiin perustuen edellä mainituille materiaaleille ei voitu laskennassa määrittää ratkaisulla saavutettuja numeerisia päästövähennys arvoja.

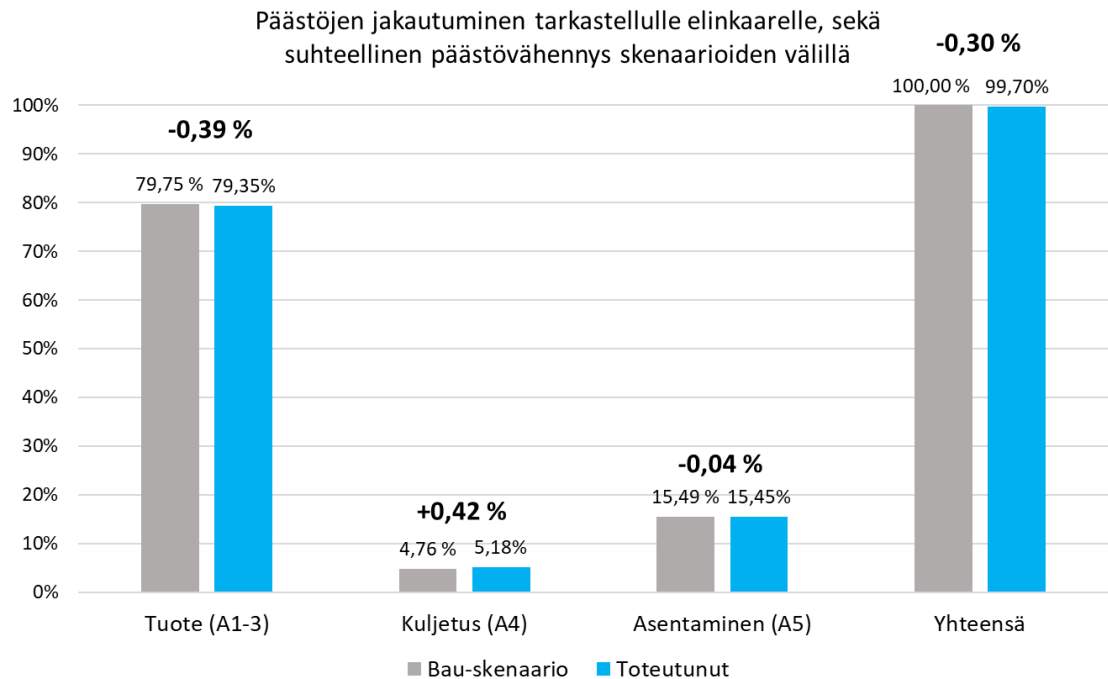
Haverin ratkaisun laskenta vaati useita oletuksia ja se sisältää paljon epävarmuutta lähtötietojen puutteellisuuden vuoksi. Mikäli kuitenkin oletetaan, että rikastushiekka-alueen peittämiseksi tarvittavat maat olisi täytynyt joka tapauksessa kaivaa jostakin muualta, voidaan päästövähennyksen katsoa kattavan 400 000 m³ edestä kaivuutyötä sekä kuljetusmatkojen lyhennyksen osuuden. Ihkun työnsuoritustietojen ja Infran päästötietokannan päästötietojen mukaan kaivuutyöstä aiheutuisi noin 227 500 kg CO₂e päästövähennys. Kuljetusmatkojen arviointiin liittyy epävarmuutta johtuen sijoitusalueiden käytettävyydestä. Yksi suunniteltu, mutta käyttämättömäksi jäänyt sijoitusalue sijaitsee aivan hankealueen itäpäässä, josta hankkeen keskivaiheille matkaa kertyy noin 5 km. Riip-puen massojen muodostumispaikasta hankkeen sisällä sekä suunniteltujen sijoitusalueiden hyödynnettävyydestä oletetaan, että keskimääräinen läjitysmatka hankkeella olisi ollut 4 km. Tämän oletuksena myötä osa massoista olisi voitu ajaa kauimmalle läjityspai-kalle ja osa jopa hankkeen ulkopuolelle, mutta pääosa massoista olisi voitu läjittää kui-tenkin lähempänä syntypaikkaa oleville läjitysalueille. Kuljetusmatka Haveriin hankkeelta on ollut keskimäärin 12 km. Arviona peittomaiden vaihtoehtoisesta kuljetusmatkasta muualta Haveriin on käytetty varovaista arviota 15 km keskimääräisestä kuljetusmat-kasta. Näin ollen kuljetuksissa säästetyksi matkaksi voidaan Haverin ratkaisun kohdalla katsoa edellä mainittujen oletusten perusteella $12 \text{ km} - 4 \text{ km} = 8 \text{ km}$. Massa-määrän ollessa 400 000 m³ tuottaa seitsemän kilometrin säästö kuljetuksessa noin 231 000 kg CO₂e päästövähennyksen. Näillä tiedoin Haverin ratkaisun tuottama päästö-vähennys olisi noin 458 000 kg CO₂e, joka tarkoittaa noin 1,5 %:n päästövähennystä koko hankkeen päästöihin.

Päästölaskennan yhteydessä hyödynnettiin myös uusiomaarakentamisen indikaattori-mallia ja määritettiin hankkeelle neljä luonnonvarojen kulutusta ja materiaalitehokkuutta kuvaavaa indikaattoria uusiomaarakentamisen vaikutukset ja indikaattorit raportin mu-kaisesti (Työ- ja elinkeinoministeriö 2021). Indikaattorien laskenta perustui samoihin läh-tötietoihin kuin päästölaskenta ja laskennassa käytettiin samoja rajoituksia. Määritetyt in-dikaattorit olivat neitseellisten luonnonvarojen käyttö (t), uusiomateriaalien käyttö (t), ma-teriaalien kokonaiskulutus (t) sekä uusiomateriaalien osuus kokonaiskulutuksesta (%). Indikaattoreille määritellyt tulokset kuvauksineen on esitetty alla taulukossa 3. Taulu-kossa ei ole huomioitu case-hankkeen massatasapainoa eli hankkeella syntyneitä ja siellä hyödynnettyjä maamassoja.

Taulukko 3. *Päästölaskennan yhteydessä case-hankkeelle määritellyt luonnonvarojen kulutusta ja materiaalihokkuutta kuvaavat indikaattorit.*

Indikaattori	Tulos	Yksikkö	Kuvaus
Neitseellisten luonnonvarojen käyttö yhteensä	771 716	t	
Louhe	438 245	t	Louhe
Jalostetut kiviainekset	349 400	t	KaM, sepeli
Jalostamattomat kiviainekset	295 490	t	Sora, hiekka
Betoni	34 881	t	Perustusrakenteiden betonit, päällysrakenteen betonit, betonikivet ja päällysteet, betoniputkirummut
Teräs	973	t	Teräsosat, raudoitukset, ponttiseinät, rumpu
Luonnonkivi	626	t	Kiveykset
Muovi	163	t	Suodatin- ja lujitekankaat, muoviputket, XPS
Asfaltti	90 183	t	Asfaltit
Uusiomateriaalien käyttö	32 329	t	
Betonimurske	10 969	t	Jakavat kerrokset
Vaahtolasimurske	6 360	t	Kevennetyt penkereet
Rakeistettu lentotuhka (Fill-R)	11 500	t	Suodatin kerrokset
Kokonaiset renkaat	1 500	t	Meluvallit
Rengasleike	2 000	t	Meluvallit
Materiaalien kokonaiskulutus	804 045	t	
Uusiomateriaalien osuus	4	%	

Yllä olevasta taulukosta voidaan huomata uusiomateriaalien osuuden olevan noin 4 % hankkeen materiaalien kokonaiskulutuksesta. Uusiomateriaalien käyttö ei kuitenkaan näy samassa suhteessa päästövähennyksinä BAU-skenaarioon verrattuna. Uusiomateriaalien käytöstä saatu merkittävin hyöty liittyy tuotevaiheeseen, siinä missä kuljetuksesta aiheutetut päästöt ovat hieman kasvaneet johtuen muun muassa uusiomateriaalien mahdollisesti pidemmistä kuljetusmatkoista luonnonkiviaineksiin verrattuna. Asentamisvaiheessa BAU-skenaarioon ja toteutuneen tilanteen välinen ero on todella pieni. Uusiomateriaalien käytöllä saavutettu vähennys hankkeen kokonaispäästöihin on laskennan perusteella 0,3 % ilman Haverin kiertotalousratkaisun vaikutusta. Uusiomateriaalien käytöllä saavutetut suhteelliset päästövähennykset elinkaaren eri vaiheissa on esitetty alla kuvassa 9.



Kuva 9. Päästöjen jakautuminen elinkaarelle sekä BAU-skenaarion ja toteutuneen tilanteen välinen suhteellinen päästövähennys.

Lukuarvoina erot päästöissä elinkaaren eri vaiheissa ovat: tuotevaihe -97 900 kg CO₂e, kuljetus +6 300 kg CO₂e ja asentaminen -2 000 kg CO₂e. Tarkastellun elinkaaren eri vaiheet yhteenlaskettuna tämä tuottaa koko hankkeelle noin 93 700 kg CO₂e päästövähennyksen toteutuneen tilanteen ja BAU-skenaarion välillä.

Haverin kiertotalousratkaisu huomioituna kasvaa hankkeella aikaansaatu päästövähennys merkittävästi. Haverin ratkaisun vaikutus hankkeen päästöihin on -458 000 kg CO₂e ja -1,5 %. Näin ollen uusiomateriaalien käytöllä sekä Haverin kiertotalousratkaisulla on saavutettu yhteensä noin 552 000 kg CO₂e ja -1,8 % päästövähennykset. Haverin ratkaisun osuus hankkeella saavutetuista päästövähennyksistä on yli 80 % ja loppu noin 20 % uusiomateriaalien käytöstä johtuvaa. Koko hankkeen päästöihin verrattuna ja suhteellisesti luvut ovat pieniä, mutta kun ne muutetaan esimerkiksi suomalaisten keskimääräisiksi henkilöautoilla tehdyiksi työmatkoiksi, kasvaa tulosten vaikuttavuus huomattavasti. Suomalaisten keskimääräinen työmatkan pituus on 16,4 km (Traficom 2021). Autolla tehtäviin työmatkoihin käytetään keskimäärin 13 vuotta vanhaa henkilöautoa, jonka CO₂-päästöt ovat noin 180 g/km (Autoalan Tiedotuskeskus 2023a; Autoalan Tiedotuskeskus 2023b). Saavutetut päästövähennykset sekä niiden muutos keskimääräisiin henkilöautolla kuljettuihin työmatkoihin on esitetty alla taulukossa 4.

Taulukko 4. *Hankkeella saavutetut päästövähennykset ja niiden muutos keskimääräisiin henkilöautolla kuljettuihin työmatkoihin.*

Päästövähennyksen lähde	Määrä (kg CO ₂ e)	Koko hankkeen päästöistä (%)	Työmatkoina (kpl)	Lisätiedot
Uusiomateriaalien käyttö	93 666	-0,3 %	31 751	Keskimääräinen työmatka: -pituus 16,4 km -auton ikä 13 vuotta -päästöt 180 g/km
Haverin kiertotalousratkaisu	458 113	-1,5 %	155 293	
Yhteensä	551 779	-1,8 %	187 044	

Yllä olevasta taulukosta voidaan huomata, että hankkeen kokonaispäästöihin verrattuna ja suhteellisesti pieneltä vaikuttavat päästövähennykset tarkoittavat kuitenkin suurella hankkeella merkittäviä lukuja. Keskimääräisiksi työmatkoiksi muutettuna hankkeella tehtyjen ratkaisujen vaikutus vastaa noin 187 000 matkaa. Haastattelukysymykseen neljä saatujen vastausten perusteella haastatteluihin osallistuneiden keskuudessa ei ollut tarkkaa käsitystä hankkeilla käytettyjen uusiomateriaalien ja kiertotalousratkaisujen vaikutuksista CO₂-päästöihin. Useimmat kuitenkin nimesivät esimerkkihankkeita, joissa uusiomateriaaleja ja kiertotalousratkaisuja oli käytetty ja joista oli vaihtelevasti tehty myös päästölaskelmia. Yleisesti käsitys oli, että päästövähennyksiä saavutetaan, mutta ne vaihtelevat merkittävästi hankkeiden ja materiaalien käytön mukaan.

6.2 Kustannuslaskenta

Case-hankkeen kustannuslaskennan tuloksena selvitettiin kohteessa käytettyjen ratkaisujen kustannusvaikutuksia. Ihkun hintatietojen mukaan erityisesti ympäristöllisestä näkökulmasta käytettyjen uusiomateriaalien yhteenlaskettu kustannussäästö on noin 100 000€, joka tarkoittaa noin 0,16 %:n kustannussäästöä, kun hankkeen kokonaiskustannukseksi on ilmoitettu 65,4 miljoonaa euroa (Väylä 2022j). Teknistaloudellisemmasta näkökulmasta käytettyjen materiaalien kustannusvaikutusta ei voitu luotettavasti selvittää BAU-skenaariion vaihtoehdon puuttuessa. Haverin kiertotalousratkaisun kustannus- ja hyötyjen arviointi luotettavasti on haastavaa. Kun kustannussäästön arviointiin käytetään päästölaskennan yhteydessä määritettyä 7 km lyhyempää kuljetusmatkaa, saadaan kuljetuksien tuottamaksi kustannussäästoksi Ihkun hintatiedoilla $400\,000\text{m}^3 \cdot 2,89\text{ €/m}^3\text{rtr} = 1,16\text{M€}$. Tämä potentiaalinen kustannussäästö kohdistuu kuitenkin Haverin rikastushiekka-alueen täyttöön, eikä suoraan Vt3 Hämeenkyrönväylä hankkeeseen. Haverin ratkaisulla voi olla myös ratkaisuun suoraan liittyvien kustannussäästöjen lisäksi kerrannaisvaikutuksia johtuen sijoitusalueiksi suunniteltujen alueiden vapautumisesta muun muassa ympäristön kehittämisen ja kaavoituksen käyttöön (Väylä 2022l).

Case-tarkastelun kautta saadut tulokset ovat vastaavia kuin haastattelukysymykseen kolme saadut vastaukset. Niiden perusteella uusiomateriaalien käytöstä mahdollisesti saatuja taloudellisia hyötyjä ei ole laskettu tarkkaan, tai ne eivät ole näkyneet tilaajan kustannuksissa. Materiaalihankintojen toteutuneet hintatiedot ovat myös urakoitsijan liiketoimintaan liittyviä arkaluontoisia tietoja, joita ei ole julkisesti saatavilla. Haastattelujen perusteella on yleisesti odotettavissa, että kustannushyötyjä saavutetaan laajemmin uusiomateriaalien kasvavan käytön ja kokemusten karttumisen myötä.

7. PÄÄTELMÄT

Tässä diplomityössä oli tarkoituksena selvittää uusiomateriaalien ja kiertotalousratkaisuiden kokonaistaloudellisia vaikutuksia tiehankkeissa sekä luoda käsitys kyseisten materiaalien ja ratkaisujen markkinasta kansallisella tasolla. Tämä luku kattaa yhteenvedon tierakentamisen kiertotalouden nykytilasta, jonka laatimisessa on mukailtu diplomityön päätutkimuskysymyksiä sekä lisäksi koottu muut kirjallisuudesta ja haastatteluista työn aikana luodut päätelmät. Lisäksi luvussa on esitetty työn aikana tunnistetut jatkotutkimustarpeet.

7.1 Yhteenvedo kiertotalouden nykytilasta tierakentamisessa

1. *Kuinka kestävä vaihtoehto tierakentamisen uusiomateriaalit ja kiertotalousratkaisut ovat kokonaistaloudellisesti uusiutumattomille materiaaleille?*

Kiertotalousratkaisujen sekä uusiomateriaalien käytöllä voidaan saavuttaa tierakentamisessa vaihtelevia hyötyjä hankkeesta ja sen ominaisuuksista riippuen. Uusiomateriaalit ja kiertotalousratkaisut vaikuttavat diplomityössä selvitetyn perusteella kestävältä vaihtoehdolta uusiutumattomien materiaalien rinnalla hyödynnettäväksi niin ympäristöllisestä kuin taloudellisestakin näkökulmasta. Case-hankkeessa on saavutettu suhteellisesti pieniä, mutta päästöarvallisesti kuitenkin huomattavia päästövähennyksiä ilman kustannusten nousua. Tarkastelu kuitenkin keskittyy vain yhteen hankkeeseen, eikä tulosta voida yleistää koskemaan kaikkia tiehankkeita. Esimerkiksi taulukossa 3 esitettyä uusiomateriaalien käytön osuutta nostamalla case-hankkeessa ratkaisut olisivat voineet muuttua kokonaistaloudellisesti kestävämmiksi muun muassa kuljetusmatkojen tai työmaan pidentymisen vuoksi. Tämä olisi voinut kuvan 8 mukaisesti kasvattaa päästöjä sekä mahdollisesti taloudellisia kustannuksia. Toisaalta haastatteluiden perusteella pilottikohteissa voidaan hyväksyä tapauskohtaisesti myös suurempia kustannuksia alan kehityksen merkeissä, eikä tällaisiakaan ratkaisuja tule tulkita kokonaistaloudellisesti kestävämmiksi näkökulman ollessa alalle yleishyödyllisessä kehitystyössä. Yleisesti haastatteluissa nousi esille myös odotus hitaasta kehitymisestä kautta linjan, jonka odotetaan kuitenkin pidemmällä aikavälillä mahdollisesti tuottavan enenevissä määrin taloudellisia hyötyjä. Hitaan kehityksen syyksi arveltiin haastatteluissa rakentamisen yleisesti pieniä katteita, joka tarkoittaa myös yleistä niukkuutta varsinaisen kehitystyöhön käytettävissä

olevista rahasta. Myös Coenen et al. (2023) ovat tunnistaneeet infrarakentamisen luonteen konservatiivisena ja riskejä välttävänä toimialana, jossa liikevoittomarginaalit ovat yleisesti pieniä ja kehitys hidasta. Sekä haastattelujen, että Aarseth et al. (2017) perusteella voidaan todeta kehityksen tapahtuvan pääasiassa tilaajalähtöisesti niin, että vaatimuksia sisällytetään urakoita toteuttavien (ja suunnittelevien) yritysten vastuulle.

2. Miten kehittynyt uusiomateriaalien kansallinen markkina on tiehankkeiden näkökulmasta?

Uusiomateriaalien markkina on tierakentamisen näkökulmasta kehittyvässä vaiheessa haastatteluiden sekä uusiomateriaalitoimittajien kommenttien perusteella. Markkinan kypsyyteen vaikuttaa merkittävästi alueellinen sijainti, sillä materiaali-intensiivisessä sekä materiaalivolyymien osalta suurissa tiehankkeissa kuljetusmatkojen merkitys korostuu. Paikoitellen ja erityisesti suurempien kaupunkiseutujen ympäristössä uusiomateriaalien saatavuus ja tarjonta on parhaimmillaan hyvä, mutta tiehankkeiden sijaitessa yleensä hieman syrjäisemmillä seuduilla on neitseellisiä kiviaineksia kuitenkin usein helpommin saatavilla. Sopivan teollisuuslaitoksen tai muun vastaavan läheinen sijainti voi kuitenkin vaikuttaa yksittäisen tiehankkeen kannalta olennaiseen uusiomateriaalien markkinaan merkittävästi. Tiehankkeiden näkökulmasta markkinoissa korostuu yleisesti saatavuusongelmat eli materiaalien määrä ja saatavuuden oikea-aikaisuus. Markkinoiden odotetaan kehittyvän lisääntyvän kysynnän myötä, jonka voidaan infrarakentamisessa todeta tapahtuvan pääasiassa edellä kuvatusti tilaajan toimien ajamana. On kuitenkin tärkeää huomata tilaajavetoisuuden eroavan ylhäältä alaspäin sanelevasta toimintatavasta. Coenen et al. (2020) ovat todenneet tutkimuksessaan, että menetetään paljon kehityspotentiaalia, mikäli alhaalta ylöspäin suuntautuviin (urakoitsijalähtöisiin) innovaatioihin ei kannusteta riittävästi. Ylhäältä alaspäin toimintatapaa on myös kritisoitu sen kyvyttömyydestä kattaa kaikkien toimijatasojen näkökulmat, joka voi johtaa uusien käytäntöjen hitaaseen omaksumiseen (Coenen et al. 2020). Haastattelujen kautta saadussa esimerkkitilanteessa on myös huomattu, että esimerkiksi bonuksilla palkitseminen uusiomateriaalien käytöstä voi johtaa siihen, että uusiomateriaaleja käytetään juuri maksimibonukseen oikeuttava määrä.

Yleisesti infrarakentamiseen soveltuvia uusiomateriaaleja on tutkittu laajasti ja uusien rakenteiden toimivuutta on testattu pilottikohteissa. Haastatteluissa kuitenkin nousi esille, että tiedossa olevia koerakenteita ei kuitenkaan ole aina seurattu, jolloin rakenteiden toimivuudesta saatavilla ollut tieto menetetään. Tieteellisiä uusiomateriaaleihin liitty-

viä tutkimuksia löytyy useita. Mohajerani et al. (2020) on tutkimuksessaan käsitellyt esimerkiksi erilaisia kumirouheen ja kokonaisten renkaiden käyttösovelluksia infra- ja georakentamisessa. Cardoso et al. (2016) taas ovat tutkineet ja verranneet rakennus- ja purkujätteestä peräisin olevien kiviaineisten käyttöä ja ominaisuuksia luonnon kiviaineksiin geoteknisissä sovelluksissa ja osoittanut, että kierrätettyjen kiviainesten ominaisuudet ovat usein verrattavissa luonnon kiviaineksiin ja materiaaleja voidaan käyttää sitomattomissa kerroksissa. Betonimursketta taas on käytetty menestyksekkäästi tierakentamisessa jo 1990-luvun alusta saakka, ja sen pitkäaikaistoimivuutta on tutkittu muun muassa Dettenborn et al. (2017) tutkimuksessa.

Vaikka materiaaleja onkin tutkittu huomattavasti edellä nostettuja esimerkkejä laajemminkin, on tierakentamisen kannalta haasteena kuitenkin materiaalien tuotteistus ja teknisen soveltuvuuden arviointi. Myös haastatteluissa nousi esille esimerkiksi tuhkamateriaalien ominaisuuksien vaihtelu prosessista ja syntyperästä riippuen. Esimerkiksi Väyläviraston väylärakenteisiin soveltuvia uusiomateriaaleja -lista (päivitetty 30.5.2023) kattaa vain kaksi yleisesti arvioitua materiaalia, kuusi hankekohtaisesti sopivaksi arvioitua materiaalia ja kaksi soveltuvaksi arvioitua suunnittelu- ja käyttöohjetta (Väylä 2023d), joka osoittaa vielä laajemmin käyttöön hyväksytyjen materiaalien vähyyden. Arviointeja on kuitenkin tehty vasta vuodesta 2020 alkaen, joten osittain tämä selittyy arviointiprosessin uutuudella. Työn kirjoitushetkellä käynnissä on 11 yleistä arviointia, joista viisi koskee jätteenpolton pohjakuonia (Ahlqvist 2023). Yleisesti hyväksytyjen materiaalien määrän voidaan siis odottaa vähitellen nousevan arviointiprosessissa olevien materiaalien vuoksi.

Muut päätelmät

Työssä syntyneen käsityksen mukaan tierakentamisessa on olemassa tässä työssä todennettuja hyötyjä suurempaa potentiaalia päästövähennyksille. Tämä johtuu muun muassa suuresta resurssien kokonaiskäytöstä sekä alhaiselta vaikuttavasta uusiomateriaalien osuudesta käytetyissä resursseissa. Aiemmissa selvityksissä on osoitettu, että infrarakentamisessa tyypillisesti merkittävimmät ilmastovaikutukset syntyvät juuri käytettyjen materiaalien tuotannosta (Väylä 2023a), jota myös kuvassa 7 esitetty case-hankkeelle laskettu päästöjen jakautuminen tarkastellulle elinkaarelle tukee. Näin ollen erityisesti elinkaaren tuotevaiheessa (A1-3) on suuri potentiaali päästövähennyksille. Materiaalien päästöjen suhteellisen osuuden odotetaan myös kasvavan infrarakentamisessa johtuen muun muassa liikenteen ominaispäästöjen laskusta sekä sähköisen liikenteen päästöjen (sähkön ominaispäästöjen) laskusta. Rakennusmateriaalien päästöt eivät kuitenkaan laske samalla nopeudella, sillä ne perustuvat pitkälti polttoaineita käyttäviin prosesseihin (Liikennevirasto 2018a). Myös työkoneiden ja kuljetusten päästöjen voidaan

odottaa laskevan kuljetus (A4) ja asennus (A5) vaiheissa johtuen muun muassa Päästöttömät työmaat – Kestävien hankintojen green deal -sopimuksesta, johon Väylävirastokin on osallistunut hieman räätälöidyin tavoittein. Sopimuksen tavoitteena on työmailla syntyvien päästöjen vähentäminen pitkäjänteisesti julkisen hankintojen avulla (Sitoumus2050, 2020a). Myös ympäristöministeriö (2017) sekä työ- ja elinkeinoministeriö (2022) ovat linjanneet työkoneita koskevista päästövähennystavoitteista. Työkonekannan hiljalleen sähköistyessä myös uusiutuvat polttoaineet voivat olla ratkaisu työkoneiden käytöstä syntyvien päästöjen vähentämiseen (Väylä 2023a). Työkoneiden aiheuttamien päästöjen vähentämistä on jo pilotoitu esimerkiksi Nesteen ja Destian yhteisessä kokeilussa Kalasatamasta Pasilaan -raitiotiehankeissa Helsingissä. Pilottikohteessa Neste MY Uusiutuvan Polttoöljyn avulla on voitu vähentää työkoneiden käytöstä aiheutuvia päästöjä keskimäärin 90 % fossiiliseen polttoaineeseen verrattuna (Neste Oyj 2023). Katurakentamisen parissa myös alueellisten massakoordinaattoreiden hyöty ja aikaisissa vaiheissa tehtävien urakoiden välisen massakoordinoinnin hyödyt on tunnistettu (Ethica 2023). Sovellettavuus tierakentamiseen voi kuitenkin olla suurten volyymien ja pitkien etäisyyksien vuoksi haastavaa.

Myös aiemmissa tutkimuksissa on tutkittu ja löydetty useita erilaisia keinoja päästöjen vähentämiseksi infrarakentamisessa. Tutkimukset koskettavat muun muassa maamassojen kuljetusta, kiertotalousperiaatteiden implementointia sopimuksiin sekä urakka- ja toteutusmuotoja. Jassim et al. (2020) ovat todenneet kehittämänsä mallin avulla päästövähennyksiä olevan edelleen saavutettavissa kaluston tehokkaammalla käytöllä. Myös ympäristötavoitteiden yhdistämisellä perinteisiin tavoitteisiin katsotaan olevan merkittävä rooli sidosryhmien rohkaisemisessa kohti kehitystä (Jassim et al. 2020). Karlovsek et al. (2023) ovat tunnistaneet, että kiertotalouden periaatteita hyödyntämällä voidaan saavuttaa taloudellisia hyötyjä ja tiettyjen projektien toimitusmenetelmien hyödyntäminen voi olla toimiva käytäntö kohti kestävämpiä toimitusketjuja. Tällaisia voivat olla esimerkiksi innovaatioihin kannustava hankinta, jossa on määritetty vain toiminnalliset vaatimukset, jolloin tarjoaja voi ehdottaa sopiviksi katsomiaan rakennusmenetelmiä ja jolla voidaan edistää urakoitsijoiden toimintavapautta ja innovaatiopotentiaalia (Karlovsek et al. 2023; Callens et al. 2022). Lenferink et al. (2013) ovat tutkineet eri vaiheet (suunnittelu, rakentaminen, rahoitus, ylläpito) yhdistävien integroitujen sopimusten vaikutuksia kestävämmän tieinfrastruktuurin kehittämiseen ja todenneet toimintatavan lisänneen muun muassa osallisuuden tunnetta niin yksityisten kuin julkisten toimijoiden kohdalla. Tutkimuksessa on päätelty integroitujen sopimusten tarjoavan elinkaarioptimointikannustimia ja johtavan näin kestävämmän infrastruktuurin kehittämiseen (Lenferink et al. 2013). Kes-

tävän projektinhallinnan näkökulmasta aihetta taas on tutkittu Kivilä et al. (2017) tutkimuksessa, jossa on todettu, että allianssisopimus aktivoi sopimuskumppaneita hyödyntämään innovaatiomahdollisuuksia ja edistämään näin kestävyyttä kaikilla osa-alueilla. Coenen et al. (2023) ovat tunnistaneeet laajemmaksi alaa koskevaksi ongelmaksi sen, että kiertotalouden painopiste vaikuttaa olevan pääosin erilaisissa pilottikohteissa ja kokeiluissa, eikä niinkään laajemmassa prosessien kehittämisessä ja organisaatioihin kohdistuvissa muutoksissa. Karlovsek et al. (2023) sekä Callens et al. (2022) tutkimuksia mukailevaa hankintamenettelyä on kokeiltu katurakentamisessa markkinavuoropuhelun alustamana KIEPPI-hankkeeseen kuuluneessa Tampereen kaupungin Yliopistonkadun urakassa, jossa urakoitsija pystyi toteuttamaan työn noin 70 %:sti kierrätysmateriaaleilla (Kestävyyssloikka 2022).

Liikennevirasto (2018a) on omassa tutkimuksessaan tunnistanut tehokkaimmaksi vaikutuskeinoksi infrahankkeiden materiaalipäästöille eri hankevaiheissa tapahtuvan päästöt huomioivan vaihtoehtojen arvioinnin. Suunnittelun jälkeen tehokkaimmaksi keinoksi on todettu päästöohjauksen siirtäminen urakkasopimuksiin velvoitteiden tai pisteytyksen muodossa (Liikennevirasto 2018a). Ruotsissa taas on asetettu Trafikverketin rakentamisen ympäristövaatimuksissa EPD-ympäristötuoteselosteita hyödyntäen joillekin rakennusmateriaaleille vaiheittain kiristyviä maksimipäästöarvoja vähähiilisten rakennusmateriaalien yleistymisen myötä (Trafikverket 2018).

Uusiomateriaalien ja kiertotalousratkaisujen käytön tierakentamisessa voidaan todeta sisältävän merkittävää potentiaalia. Työssä tutkitussa case-hankkeessa hyödyt painottuivat ympäristöllisiin hyötyihin päästövähennysten muodossa, eikä merkittäviä taloudellisia hyötyjä voitu luotettavasti määrittää. Kustannukset eivät kuitenkaan nousseet uusiomateriaalien ja kiertotalousratkaisujen käytön vuoksi. Alkuvaiheessa hyödyt vaikuttavat siis painottuvan ympäristöllisiin hyötyihin, mutta toimintatapojen ja uusiomateriaalien markkinoiden kehittyessä voidaan odottaa myös taloudellisten hyötyjen kasvavan. Kokonaisuutena uusiomateriaalien ja kiertotalousratkaisujen käyttö tierakentamisessa on kehittyvä teema, joka vaikuttaa olevan selkeässä nosteessa. Siihen liittyy kuitenkin useita erilaisia ja monimutkaisiakin ohjauskeinoja. Esimerkiksi sääntelyä lakien ja asetusten muodossa, suunnittelun ja rakentamisen ohjeistusta sekä hankinnoille asetettavia vaatimuksia.

7.2 Jatkotutkimustarpeet

Työn tekemisen yhteydessä tunnistettiin sellaisia jatkotutkimustarpeita, joihin tämän työn tulokset eivät vastaa. Esille nousi muun muassa katurakentamisessa pilotoitujen innovatiivisten hankintamenetelmien soveltuvuus tiehankkeisiin, hankinnan kriteerien kehittäminen ja asettaminen esimerkiksi Ruotsin mallia vastaavasti, sekä uusiomateriaalien käytön pilottihankkeista siirtyminen kokonaisvaltaisempaan prosessien kehittämiseen. Ihkun päästölaskennan kehittämiseen liittyen tulisi selvittää maamassojen kuljetusten ohella myös muiden rakennusosien kuljetusten vaikuttavuus päästölaskennan tuloksiin.

LÄHTEET

Aarseth, W. et al. (2017) Project sustainability strategies: A systematic literature review. *International Journal of Project Management*. [Online] 35 (6), 1071–1083.

Ahlqvist, E. (2023) Sähköpostikeskustelu, tiedonanto. 29.11.2023.

Autoalan Tiedotuskeskus. (2023a) Tilastot. Henkilöautokannan keski-ikä oli vuonna 2022 noin 12,9 vuotta. 17.1.2023. [Viitattu 5.10.2023]. Saatavissa: https://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/autokannan_ikatilastoja/henkiloautokannan_ikakehitys

Autoalan Tiedotuskeskus. (2023b) Tiedotteet. Uusien autojen päästöt ovat vähentyneet selvästi. 3.7.2023. [Viitattu 5.10.2023]. Saatavissa: https://www.aut.fi/ajankoh-taista/tiedotteet/uusien_autojen_paastot_ovat_vahentyneet_selvasti.3479.news

Bre. (2023a) Why BREEAM Infrastructure? [Viitattu 19.7.2023]. Saatavissa: <https://bregroup.com/products/ceequal/discover-ceequal/why-ceequal/>

Bre. (2023b) Lahti Southern Ring Road (Vt12), VALTARI alliance. [Viitattu 19.7.2023]. Saatavissa: <https://bregroup.com/case-studies/ceequal-case-studies/lahti-southern-ring-road-vt12-valtari-alliance/>

Callens, C. et al. (2022) Combined effects of procurement and collaboration on innovation in public-private-partnerships: a qualitative comparative analysis of 24 infrastructure projects. *Public Management Review*. [Online] 24 (6), 860–881.

Cardoso, R. et al. (2016) Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review. *Waste Management (Elmsford)*. [Online] 49131–145.

Coenen, T. B. J. et al. (2020) CEIMA: A framework for identifying critical interfaces between the Circular Economy and stakeholders in the lifecycle of infrastructure assets. *Resources, Conservation and Recycling*. [Online] 155104552–.

Coenen, T. B. J. et al. (2023) A systemic perspective on transition barriers to a circular infrastructure sector. *Construction Management and Economics*. [Online] 41 (1), 22–43.

De Jesus, A. & Mendonça, S. (2018) Lost in Transition? Drivers and Barriers in the Eco-innovation Road to the Circular Economy. *Ecological Economics*. [Online] 14575–89.

Demos Helsinki. (2021) Infra 2035: Infrastrukturi hiilineutraalissa Suomessa. Loppuraportin tiivistelmä. Helsinki. 19 s. Saatavissa: <https://demoshelsinki.fi/wp-content/uploads/2021/06/Infra-2035.pdf>

Destia Oy. (2023) OKTO®-rakennustuotteet – teollisuuden sivuvarasta valmistetut kiviainekset. [Viitattu 12.7.2023]. Saatavissa: <https://www.destia.fi/palvelut/kiviaines-jakiertotalous/okto-rakennustuotteet/>

Dettenborn, T. et al. (2017) Crushed concrete in road structures – two decades of experience. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Construction Materials. [Online] 170 (6), 273–280.

Dong, Y. & Hauschild, M. Z. (2017) Indicators for Environmental Sustainability. Procedia CIRP. [Online] 61697–702.

Ekokompassi Oy. (2023) Ympäristöjärjestelmä. [Viitattu 19.7.2023]. Saatavissa: <https://ekokompassi.fi/ymparistojarjestelma/>

Eskandarsefat, S. et al. (2018) Recycling asphalt pavement and tire rubber: A full laboratory and field scale study. Construction & Building Materials. [Online] 176283–294.

Eskola, J. & Suoranta, J. (1998) Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Tampere: Vastapaino.

Ethica Oy. (2023) Katu- ja maarakentamisen kiertotalouden ekosysteemikuvaus-Tampereen kaupungille. [Viitattu 12.10.2023]. Saatavissa: https://www.tampere.fi/sites/default/files/2022-09/kieppi-hanke_katu-ja-maarakentamisen_kiertotalouden_ekosysteemikuvaus.pdf

Euroopan Komissio. (2020) EU:n ilmastotavoite vuodelle 2023 entistä korkeammalle – Tiivistelmä vaikutustenarvioinnista. Bryssel. 4 s. [Viitattu 12.6.2023]. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020SC0177>

Euroopan parlamentti ja neuvosto (EU) Rakennustuoteasetus. N:o 305/2011. Annettu 9.3.2011. [Viitattu 9.6.2023]. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:fi:PDF>

European Environment Agency. (2023) Circular material use rate in Europe (8th EAP). [Viitattu 12.6.2023]. Saatavissa: <https://www.eea.europa.eu/ims/circular-material-use-rate-in-europe>

Figge, F. et al. (2023) Definitions of the circular economy: Circularity matters. Ecological Economics. [Online] 208107823–.

Fink, A. (2020) Conducting research literature reviews : from the Internet to paper. Fifth edition. Los Angeles: SAGE.

Government of the Netherlands. (2016) A Circular Economy in the Netherlands by 2050. Saatavissa: https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/17037circulaireeconomie_en.pdf

Green Building Council Finland (FIGBC). (2021) Kestävä infra – määritelmä. 19 s. Saatavissa: <https://figbc.fi/julkaisu/kestava-infra-maaritelma/>

Green Building Council Finland (FIGBC). (2023a) BREEAM. [Viitattu 19.7.2023]. Saatavissa: <https://figbc.fi/tyokalu/breeam/>

Green Building Council Finland (FIGBC). (2023b) LEED. [Viitattu 19.7.2023]. Saatavissa: <https://figbc.fi/tyokalu/leed/>

Günther, K, et al. (2023) Johdanto: Analyysi ja tulkinta. Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. [Viitattu 13.6.2023]. Saatavissa: <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus>

Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY). (2023) SeutuMassa-työkalu maamassojen hallintaan. [Viitattu 27.9.2023]. Saatavissa: <https://www.hsy.fi/ilmanlaatu-ja-il-masto/seutumassa/>

Hiilineutraalisuomi.fi. (2023a) Infrarakentamisen kansallinen päästötietokanta. [Viitattu 15.6.2023]. Saatavissa: https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Tyokalut/Infrarakentamisen_paastotietokanta

Hiilineutraalisuomi.fi. (2023b) Hinku-verkosto. [Viitattu 19.7.2023]. Saatavissa: <https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Hinku>

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2022) Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö. [2. painos]. Helsinki: Gaudeamus.

Hyvärinen, M. K. et al. (2017) Tutkimushaastattelun käsikirja. Tampere: Vastapaino.

Jassim, H. S. H. et al. (2020) A MODEL TO REDUCE EARTHMOVING IMPACTS. Journal of Civil Engineering and Management. [Online] 26 (6), 490–512.

Jokihaara, J. (2023) Sähköpostikeskustelu, tiedonanto. 18.7.2023.

Junnonen, J.-M. et al. (2022) Infrarakennuttaminen. Helsinki: RIL ry.

Jätelaki 646/2011. Annettu Helsingissä 17.6.2011, [Viitattu 13.6.2023]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>

Jäteverolaki 1126/2010. Annettu Helsingissä 17.12.2010. [Viitattu]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20101126>

Jyväskylän yliopisto. (2015) Tapaustutkimus. Avoimen yliopiston Koppa. Jyväskylä. [Viitattu 13.6.2023]. Saatavissa: <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/tapaustutkimus>

Jääskeläinen, A. (2022) TEKTAL. 300 Tutkimusmetodologia – Tapaus-, toiminta- ja konstrukttiivinen tutkimus, Luentomateriaali. Tampereen yliopisto. Johtamisen ja talouden tiedekunta.

Kamberelis, G. & Dimitriadis, G. (2013) Focus Groups: From structured interviews to collective conversations. 1st edition. [Online]. London: Routledge.

Karlovsek, J. et al. (2023) Implementing circular economy principles in infrastructure procurement to support circular supply chains. Engineering, Construction, and Architectural Management. [Online]

Kivilä, J. et al. (2017) Sustainable project management through project control in infrastructure projects. International Journal of Project Management. [Online] 35 (6), 1167–1183.

Kemikaalilaki 599/2013. Annettu Helsingissä 9.8.2013. [Viitattu 13.6.2023]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130599>

Kestävyyssloikka. (2022) Tampereella kehitettiin infrahankkeisiin Suomen ensimmäinen kiertotaloutta edistävä hankintamalli. Suomen ympäristökeskus 14.6.2022. [Viitattu 13.10.2023]. Saatavissa: <https://kestavyysloikka.ymparisto.fi/tampereella-kehitettiin-infrahankkeisiin-suomen-ensimmainen-kiertotaloutta-edistava-hankintamalli/>

Kirchherr, J. et al. (2017) Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation and Recycling. [Online] 127221–232.

Kirchherr, J. et al. (2018) Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU). Ecological Economics. [Online] 150264–272.

Kokko, K. T. (2017) Ympäristöoikeuden perusteet: yleiset opit, sääntely ja ratkaisun teoria. Helsinki: Edita.

Korhonen, J. et al. (2018) Circular Economy: The Concept and its Limitations. Ecological Economics. [Online] 14337–46.

Kuula, P. (2017) Asfalttinormit 2017. Helsinki: Päälystealan neuvottelukunta ry PANK ry.

Käpylä, J & Korhonen, T. (2022a) TEKTAL. 300 Tutkimusmetodologia - Laadullisen aineiston analyysi, Luentomateriaali. Tampereen yliopisto. Johtamisen ja talouden tiedekunta.

Käpylä, J & Korhonen, T. (2022b) TEKTAL. 300 Tutkimusmetodologia - Haastattelututkimus, Luentomateriaali. Tampereen yliopisto. Johtamisen ja talouden tiedekunta.

Käpylä, J & Korhonen, T. (2022c) TEKTAL. 300 Tutkimusmetodologia – Tutkimuksen arviointi ja tutkimusetiikka, Luentomateriaali. Tampereen yliopisto. Johtamisen ja talouden tiedekunta.

Laki eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä 954/2012. Annettu Helsingissä 21.12.2012. [Viitattu 9.6.2023]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2012/20120954>

Laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista 1397/2016. Annettu Helsingissä 29.12.2016. [Viitattu 14.6.2023]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161397>

Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä 503/2005. Annettu Helsingissä 23.6.2005. [Viitattu 13.6.2023]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050503>

Laki tilaajan selvitysvelvollisuudesta ja vastuusta ulkopuolista työvoimaa käytettäessä 1233/2006. Annettu Helsingissä 22.12.2006. [Viitattu 14.6.2023]. Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20061233>

Laki Väylävirastosta 862/2009. Annettu Helsingissä 13.11.2009. [Viitattu 9.6.2023]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20090862>

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017. Annettu Helsingissä 5.5.2017. [Viitattu 13.6.2023]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2017/20170252>

Lenferink, S. et al. (2013) Towards sustainable infrastructure development through integrated contracts: Experiences with inclusiveness in Dutch infrastructure projects. *International Journal of Project Management*. [Online] 31 (4), 615–627.

Liikennevirasto. (2010) Yleissuunnittelu. Toimintaohjeet. Tiensuunnittelun toimintajärjestelmä. Liikenneviraston ohjeita 19/2010. Helsinki. 33s.

Liikennevirasto. (2013) Tien suuntauksen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 30/2013. Helsinki. 59 s.

Liikennevirasto. (2014) Panospohjaisen CO₂-laskennan pilotointi väylähankkeessa – Kehä I liittymän parantaminen Kivikontien eritasoliittymän kohdalla. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 18/2014. Helsinki. 38 s.

Liikennevirasto. (2016) Vaihtoehtoisia maarakennusmateriaaleja sisältävien tie- ja katurakenteiden vaurioituminen. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 52/2016. Helsinki. 172 s.

Liikennevirasto. (2017) Materiaalien hallinnan raportointi väylänpidossa – Esiselvitys kiertotalouden tarpeisiin. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 7/2017. Helsinki. 24 s.

Liikennevirasto. (2018a) Infrahankkeiden rakentamisen ja materiaalien CO₂-päästöjen raportointi- ja ohjauskeinojen kartoitus. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 64/2018. Helsinki. 38 s.

Liikennevirasto. (2018b) Uusiomateriaalien käytön ohjeistus ja hankekäytännöt – Kehitystarpeet ja mahdollisuudet tierakentamisessa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 18/2018. Helsinki. 72 s.

Liikennevirasto. (2018c) Väyläsuunnittelun uusiomateriaaliselvitykset. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 6/2018. Helsinki. 37 s.

Liikennevirasto. (2018d) Tierakenteen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 38/2018. Helsinki. 127 s.

Luonnonsuojelulaki 9/2023. Annettu Helsingissä 5.1.2023. [Viitattu 14.6.2023]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230009>

Maa-aineslaki 555/1981. Annettu Helsingissä 24.7.1981. [Viitattu 14.6.2023]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1981/19810555>

Maankäyttö- ja rakennuslaki (Alueidenkäyttölaki) 132/1999. Annettu Helsingissä 5.2.1999. [Viitattu 13.6.2023]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

MARA-asetuksen soveltamisohje. (2019) Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa – Soveltamisohje. Versio 2.7.2019. 54 s. [Viitattu 15.6.2023]. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fi/luvat-ja-velvoitteet/ysln-kertaluonteiset-ilmoitusmenettelyt/jatteiden-hyodyntaminen-maarakentamisessa>

MASA muistioluonnos. (2018) Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi maa-ainesjätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa. 28.11.2018. Ympäristöministeriö. 22 s. Saatavissa: [Viitattu 15.6.2023]. Saatavissa: <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=1c6a5969-09d7-4c75-8c80-b405b7063b42>

MASA taustamuistio. (2020) Rakentamisen maa-ainesten hyödyntämistä koskevan sääntelyn kehittäminen. Muistio 8.9.2020. Ympäristöministeriö. 8 s. [Viitattu 15.6.2023]. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=YM033:00/2018>

Michelini, G. et al. (2017) From Linear to Circular Economy: PSS Conducting the Transition. *Procedia CIRP*. [Online] 642–6.

Miliutenko, S. et al. (2013) Opportunities for environmentally improved asphalt recycling: the example of Sweden. *Journal of Cleaner Production*. [Online] 43156–165.

Mohajerani, A. et al. (2020) Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: A review. *Resources, Conservation and Recycling*. [Online] 155104679–.

Murray, S. (2019) The critical role of infrastructure for the Sustainable Development Goals. The Economist Intelligence Unit. Essee. 25 s. Saatavissa: <https://im-pact.economist.com/projects/towards-the-sdgs/digital-essay-role-of-infrastructure/introduction>

Neste Oyj. (2023) Neste ja Destia pilotoivat päästöjä vähentävää ratkaisua Helsingin Kalasatamasta Pasilaan -raitiotiehankkeessa – datan avulla uusiutuvan polttoaineen käyttö tehdään läpinäkyväksi. [Viitattu 11.10.2023]. Saatavissa: <https://www.neste.fi/tiedotteet-ja-uutiset/uusiutuvat-ratkaisut/neste-ja-destia-pilotoivat-paastoja-vahentavaa-ratkaisua-helsingin-kalasatamasta-pasilaan-raitiotiehankkeessa-datan-avulla-uusiutuvan-polttoaineen-kaytto-tehdaan-lapinakyvaksi>

NordFoU. (2023) Planning Process. Planning Process for Road and Rail Infrastructure Projects. [Viitattu: 12.6.2023]. Saatavissa: <https://www.nordfou.org/site/planning-process>

O'Connor, M. (2006) The 'Four Spheres' framework for sustainability. *Ecological Complexity*. [Online] 3 (4), 285–292.

Okorie, O. et al. (2018) Digitisation and the Circular Economy: A Review of Current Research and Future Trends. *Energies (Basel)*. [Online] 11 (11), 3009–.

Paavilainen, A & Kassi, T. (2021) Katu- ja maarakentamisen kiertotalouden ekosysteemikuvaus Tampereen Kaupungille. Ethica Oy. Saatavissa: https://www.tampere.fi/sites/default/files/2022-09/kieppi-hanke_katu-ja-maarakentamisen_kiertotalouden_ekosysteemikuvaus.pdf

Palvalin, M. (2022) TEKTAL. 300 Tutkimusmetodologia - kyselytutkimus, Luentomateriaali. Tampereen yliopisto. Johtamisen ja talouden tiedekunta.

Piñones, P. et al. (2023) Circular Economy 4.0 Evaluation Model for Urban Road Infrastructure Projects, CIROAD. Sustainability (Basel, Switzerland). [Online] 15 (4), 3205–.

Pirkanmaan liitto. (2020) Hiilineutraali Pirkanmaa 2030 -tiekartta. Tampere. 102 s.

Puusa, A. et al. (2020) Laadullisen tutkimuksen näkökulmat ja menetelmät. Helsinki: Gaudeamus.

Rakennustieto. (2023) Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Ranta, V. et al. (2018) Exploring institutional drivers and barriers of the circular economy: A cross-regional comparison of China, the US, and Europe. *Resources, Conservation and Recycling*. [Online] 13570–82.

Rudus Oy. (2023) Verkkosivut. [Viitattu 10.7.2023]. Saatavissa: <https://www.rudus.fi/tuotteet/kierratys/betonimurske>

Ruusuvuori, J. et al. (2010) Haastattelun analyysi. Tampere: Vastapaino.

SFS-EN 15643:2021:en. Sustainability of construction works. Frameworks for assessment of buildings and civil engineering works. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 41 s.

Sitoumus 2050. (2023a) Päästöttömät työmaat – kestävien hankintojen green deal -sopimus. [Viitattu 18.7.2023]. Saatavissa: <https://sitoumus2050.fi/paastotontyomaa#/>

Sitoumus 2050. (2023b) Työkonealan green deal -sopimus. [Viitattu 18.7.2023]. Saatavissa: <https://sitoumus2050.fi/tyokone#/>

Suomen virallinen tilasto (SVT). (2023a) Materiaalitilinpito [verkkojulkaisu]. ISSN=2954–0801. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 8.6.2023]. Saatavissa: <https://www.stat.fi/tilasto/kanma>

Suomen virallinen tilasto (SVT). (2023b) Jätetilasto [verkkojulkaisu]. ISSN=1798–3339. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 8.6.2023]. Saatavissa: <https://stat.fi/tilasto/jate#reference>

Suomen virallinen tilasto (SVT). (2023c) Maarakennuskustannusindeksi [verkkojulkaisu]. ISSN=1799–4063. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 3.10.2023]. Saatavissa: <https://stat.fi/tilasto/maku#reference>

Suomen ympäristökeskus (SYKE). (2020) Kiertotalouden termipankki. Saatavilla: <https://www.syke.fi/kiertotaloudentermipankki>

Suominen, M. & Vahtera, E. (2023) Sähköpostikeskustelu, tiedonanto. 29.11.2023.

Tampereen yliopisto. (2023) RATKI-hanke. Rakentamisen kiertotalous Pirkanmaalla. [Viitattu 19.7.2023]. Saatavissa: <https://projects.tuni.fi/ratki/>

Tiehallinto. (2007) Ekotehokkuus investointien ST-hankinnoissa. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 49/2007. Helsinki. 37 s.

Tiehallinto. (2007b) Yleissuunnittelu. Sisältö ja esitystapa. TIEH 2100043-07. Helsinki. 120 s.

Tiehallinto. (2008) Tierakennuksen ekotehokkuuden parantaminen. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 39/2008. Helsinki. 40 s.

Traficom. Liikenne- ja viestintävirasto. (2021) Henkilöliikennetutkimus 2021. Työmatkat ja etätyö. Faktakortti. [Viitattu 5.10.2023]. Saatavissa: https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/HLT_Faktakortti_ty%C3%B6matkat_ja_et%C3%A4ty%C3%B6.pdf

Trafikverket. (2018) Generella miljökrav vid entreprenadupphandling. [Viitattu 12.10.2023]. Saatavissa: <https://trvdokument.trafikverket.se/>

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. (2018) Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Uudistettu laitos. Helsinki: Tammi.

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2015) Kiviaines- ja luonnonkiviteollisuuden kehitysnäkymät. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 54/2015. Helsinki. 75 s.

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2020) Kiertotalouden ekosysteemit. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2020:13. Helsinki. 143 s.

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2021) Uusiomaarakentamisen vaikutukset ja indikaattorit. Raportti. 74 s.

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2022) Hiilineutraali Suomi 2035 – Kansallinen ilmasto- ja energiastategia. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2022:53. Helsinki. 212 s.

Uudenmaan liitto. (2022) Hiilineutraali uusimaa 2030-tiekartta. Painopisteet ja toimintalinjaukset. Uudenmaan liiton julkaisuja B 61–2020, toinen uudistettu painos 2022. Helsinki. 75 s.

Uusioaines Oy. (2023) Verkkosivut. Foamit-tuotteet. [Viitattu 10.7.2023]. Saatavissa: <https://foamit.fi/tuotteet/>

Valtioneuvosto. (2021) Uusi suunta – Ehdotus kiertotalouden strategiseksi ohjelmaksi. Valtioneuvoston julkaisuja 2021:1. Helsinki. 113 s.

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017. Annettu Helsingissä 7.12.2017. [Viitattu 13.6.2023]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>

Valtioneuvoston asetus jätteistä 978/2021. Annettu Helsingissä 18.11.2021. [Viitattu 13.6.2023]. Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210978>

Valtioneuvoston asetus maa-ainesten ottamisesta 926/2005. Annettu Helsingissä 24.11.2005. [Viitattu 14.6.2023]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2005/20050926>

Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta 713/2014. Annettu Helsingissä 4.9.2014. [Viitattu 13.6.2023]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140713>

Väylävirasto. (2019a) Siltojen ja muiden taitorakenteiden purkubetonijätteen hyödyntäminen. Väyläviraston tutkimuksia 8/2019. Helsinki. 45 s.

Väylävirasto. (2019b) Kokemuksia uusiomateriaaleista tierakenteissa. Väyläviraston tutkimuksia 7/2019. Helsinki. 141 s.

Väylävirasto. (2019c) Maanteiden asfalttipäällysteissä käytettävät uusiomateriaalit ja lisäaineet. Opas. VÄYLÄ/6661/06.04.01/2019.

Väylävirasto. (2020a) Tie- ja ratainfrastruktuurin elinkaariarvioinnin opas. Väyläviraston julkaisuja 64/2020. Helsinki. 45 s.

Väylävirasto. (2020b) Tiehankkeiden arviointiohje. Päivitetty 1.4.2022. Väyläviraston ohjeita 37/2020. Helsinki. 114 s.

Väylävirasto. (2020c) Väylähankkeen laadunosoitus. Laatuprosessin kuvaus. Väyläviraston ohjeita 44/2020. Helsinki. 18 s.

Väylävirasto. (2021a) Väylärakentamisen kaluston ympäristövaatimukset – Tiekartta työkone- ja kuljetuskaluston vaatimuksiin vuosille 2022–2030. Väyläviraston julkaisuja 63/2021. Helsinki. 51 s.

Väylävirasto. (2021b) Ympäristövaikutusten arviointi rata- ja tiehankkeissa. Väyläviraston ohjeita 2/2021. Helsinki. 59 s.

Väylävirasto. (2021c) Väylähankkeiden kustannushallinta. Väyläviraston ohjeita 39/2021. Helsinki. 36 s.

Väylävirasto. (2021d) Rakennustuotteiden CE-merkintä. Opas. VÄYLÄ/8201/06.04.00/2019.

Väylävirasto. (2021e) Tien poikkileikkauksen suunnittelu. Väyläviraston ohjeita 16/2021. Helsinki. 80 s.

Väylävirasto. (2022a) Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. Väyläviraston ohjeita 20/2022. Helsinki. 44 s.

Väylävirasto. (2022b) Uusiomateriaalien teknisen soveltuvuuden arviointi. Väyläviraston oppaita 2/2022. Helsinki. 12 s.

Väylävirasto. (2022c) Betonijätteen käsittely ja käyttö väylähankkeissa. Väyläviraston ohjeita 43/2022. Helsinki. 35 s.

Väylävirasto. (2022d) Tiesuunnitelmavaiheen asiakirjat. Sisältö ja esitystapa. Väyläviraston ohjeita 6/2022. Helsinki. 61 s.

Väylävirasto. (2022e) Tien rakennussuunnitelma. Sisältö ja esitystapa. Väyläviraston ohjeita 38/2022. Helsinki. 90 s.

Väylävirasto. (2022f) Infrarakentamisen kansallinen päästötietokantahanke - Infrarakentamista palvelevan päästötiedon saatavuus, arviointimenetelmät ja tietokannan koostamisen suunnitelma. Väyläviraston julkaisuja 11/2022. Helsinki. 59 s.

Väylävirasto. (2022g) Kiertotalous väylänpidossa – Nykytilaselvitys. Väyläviraston julkaisuja 28/2022. Helsinki. 32 s.

Väylävirasto. (2022h) Tiesuunnitelma. Toimintaohjeet. Väyläviraston ohjeita 7/2022. Helsinki. 90 s.

Väylävirasto. (2022i) Tien rakentamissuunnitelma. Toimintaohjeet. Väyläviraston ohjeita 12/2022. Helsinki. 106 s.

Väylävirasto. (2022j) Vt 3 Hämeenkyrönväylä. Hankkeen nettisivut. [Viitattu 27.9.2023]. Saatavissa: <https://vayla.fi/vt3-hameenkyronvayla>

Väylävirasto. (2022k) Teiden ja ratojen melusteiden suunnittelu. Väyläviraston ohjeita 27/2022. Helsinki. 138 s.

Väylävirasto. (2022l) Hämeenkyrönväylältä tarpeettomia maa-aineksia Ylöjärven Haverin rikastushiekka-alueen peittomaiksi. [Viitattu 4.10.2023]. Saatavissa: <https://vayla.fi/vt3-hameenkyronvayla/maanajo-haveriin>

Väylävirasto. (2023a) Väyläviraston hankintojen ympäristökriteerit – Esiselvitys. Väyläviraston julkaisuja 12/2023. Helsinki. 51 s.

Väylävirasto. (2023b) Ilmastomuutokseen sopeutuminen väylänpidossa – Nykytilaselvitys. Väyläviraston julkaisuja 27/2023. Helsinki. 81 s.

Väylävirasto. (2023c) Hankkeiden suunnittelun vaiheet. [Viitattu 5.7.2023]. Saatavissa: <https://vayla.fi/suunnittelu-rakentaminen/hankkeiden-suunnittelu/hankkeiden-suunnittelun-vaiheet>

Väylävirasto. (2023d) Väylärakenteisiin soveltuvia uusiomateriaaleja. Päivitetty 30.5.2023. [Viitattu 11.7.2023]. Saatavissa: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vayla-virasto/uusiomateriaalit/lista.pdf>

Väylävirasto. (2023e) Suomen ensimmäinen BREEAM Infrastructure -ympäristöluokitus myönnetty Vt12 Lahden eteläisen kehätien allianssiurakkana toteutetulle hankeosalle. [Viitattu 19.7.2023]. Saatavissa: <https://vayla.fi/-/suomen-ensimmainen-breeam-infrastructure-ymparistoluokitus-myonnetty-vt12-lahden-etelaisen-kehätien-allianssiurakkana-toteutetulle-hankeosalle>

Väylävirasto. (2023f) Infrarakentamisen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Luonnos kommenttikierrokselle. 5.5.2023. Väyläviraston julkaisuja XX/XXXX. Helsinki. 34 s.

Vesilaki 587/2011. Annettu Helsingissä 27.5.2011. [Viitattu 14.6.2023]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110587>

Ymparisto.fi. (2023) EMAS-järjestelmä ja sen toteuttaminen. [Viitattu 19.7.2023]. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fi/kestava-kierto-ja-biotalous/kestava-tuotanto/ymparistojarjestelmat-ja-johtaminen/emas-jarjestelma-ja-sen-toteuttaminen>

Ympäristöministeriö. (2017) Valtioneuvoston selonteko keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmasta vuoteen 2030. Ympäristöministeriön raportteja 21:2017. Helsinki. 142 s.

Ympäristöministeriö YM033:00/2018. (2018) Säädosvalmistelu – Hallituksen esitys laiksi ympäristönsuojelulain muuttamisesta ja valtioneuvoston asetus rakentamisen maa-ainesten hyödyntämisestä. [Viitattu 9.6.2023]. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=YM033:00/2018>

Ympäristöministeriö. (2020) Maa-ainesten ottaminen – Opas kestävään käyttöön. Ympäristöministeriön julkaisuja 2020:24. Helsinki. 186 s.

Ympäristöministeriö. (2023a) Pariisin ilmastopöytäkirja. [Viitattu 12.6.2023]. Saatavissa: <https://ym.fi/pariisin-ilmastosopimus>

Ympäristöministeriö. (2023b) Green deal -sopimukset. [Viitattu 18.7.2023]. Saatavissa: <https://ym.fi/green-deal-sopimukset>

Ympäristöministeriö. (2023c) Kiertotalouden green deal. [Viitattu 30.11.2023]. Saatavissa: <https://ym.fi/kiertotalouden-green-deal>

Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä 555/2013. Annettu Helsingissä 11.7.2013. [Viitattu 9.6.2023]. Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130555>

Ympäristönsuojelulaki 527/2014. Annettu Helsingissä 27.6.2014. [Viitattu 13.6.2023]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>

LIITE A: HAASTATTELURUNKO

Tutkimuskysymykset - haastattelun tausta

1. Kuinka kestävä vaihtoehto tierakentamisen kiertotalousratkaisut ja uusiomateriaalit ovat kokonaistaloudellisesti uusiutumattomille materiaaleille?

- Minkälaisia vaikutuksia näillä on tiehankkeen euromääräisiin kustannuksiin?
- Minkälaisia vaikutuksia näillä on tiehankkeen päästöihin?

2. Miten kehittynyt uusiomateriaalien kansallinen markkina on tiehankkeiden näkökulmasta?

- Miten käytettävissä olevien uusiomateriaalien hyödyntäminen vaikuttaa tiehankkeen kustannuksiin?
- Miten käytettävissä olevien uusiomateriaalien hyödyntäminen vaikuttaa tiehankkeen päästöihin?

Haastattelurunko

Osa 0: Aloitus

1.Kerro lyhyesti taustastasi sekä kokemuksestasi kiertotalouden käytännöistä infrarakentamisessa?

Osa 1: Kiertotalousratkaisujen vaikuttavuus hankkeiden kokonaistaloudellisuuteen (TK1)

2.Mitkä ovat kiertotalousratkaisuiden / uusiomateriaalien hyödyntämisen mahdolliset edut ja haasteet tiehankkeissa verrattuna uusiutumattomiin materiaaleihin ja ”perinteiseen” rakentamiseen?

3.Miten kiertotalousratkaisujen / uusiomateriaalien käyttö vaikuttaa tiehankkeiden euromääräisiin kustannuksiin verrattuna uusiutumattomia materiaaleja käyttäviin hankkeisiin?

4.Millaisia vaikutuksia tiedät kiertotalousratkaisuilla olleen tiehankkeiden CO₂-päästöihin?

Osa 2: Kiertotalousratkaisuiden (uusiomateriaalien) markkinatilanne ja vaikuttavuus tierakentamisen kannalta (TK2)

5.Kuinka kehittyneeksi koet kiertotalousratkaisujen / uusiomateriaalien markkinan (Pirkanmaalla) tierakentamisen näkökulmasta?

6.Mitkä ovat suurimmat haasteet ja mahdollisuudet uusiomateriaalien käytön edistämisessä tiehankkeilla?

Osa 3: Yleiset kysymykset (TK1 & TK2)

7.Mitkä ovat tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat materiaalien valintaan tiehankkeilla ja miten taloudelliset ja ympäristönäkökohdat ovat mielestäsi tyypillisesti tasapainossa?

8.Millaiseksi koet erilaiset toimenpiteet (poliittiset toimet, kannustimet, tarjouskilpailuiden pisteytykset, säädökset, tmvs.), joilla ohjataan käyttämään kiertotalousratkaisuja / uusiomateriaaleja tierakentamisessa?

9.Millaisena pidät uusiomateriaaleihin liittyvää ohjeympäristöä (Väylän ohjeet, InfraRYL, materiaalitoimittajien omat ohjeet, jne.)?

10.Millaisena pidät kiertotalouden tulevaisuuden näkymiä tierakentamisessa, markkinoiden kehitystä ja odotettavissa olevia toimenpiteitä?

LIITE B: UUSIOMATERIAALIEN TOIMITTAJIA

Toimija	Materiaali	Sijainti	Määrä t/v	Lisätieto
Metsä Group, Metsä Tissue	Lentotuhka	Mänttä- Vilppula	10 000– 15 000	*
	Pohjatuhka	Mänttä- Vilppula	1 000	*
Mäntän Energia Oy	Lentotuhka	Mänttä- Vilppula	?	*
	Pohjatuhka	Mänttä- Vilppula		
UPM Kymmene Oyj, Jämsänkoski	Lentotuhka	Jämsän- koski	15 000	*
	Pohjatuhka	Jämsän- koski	800	*
Suomen Erityisjäte Oy	Jätteenpol- ton pohjakuona	Tampere (Tarasten- järvi)	20 000/ 5 000	Määrät ilmoitettu jakeille #0–32/ #0–2. Käytetty katu- ja kenttäraken- teissa jakavissa- ja suodatinker- roksissa, CE-merkinnät. Varastoin- timahdollisuus n. vuoden tuo- tanto. Ei pitkäaikaissopimuksia, saatavuus vaihtelee hieman, n. tuotantomäärän mukaan.
		Ilmajoki	20 000/ 5 000	
		Forssa	15 000/ 7 000	
UPM Kymmene Oyj, Valkeakoski (Terva- saari)	Lentotuhka	Valkea- koski	8 000	*
	Pohjatuhka	Valkea- koski	4 000	*
Tampereen Energia Oy, Hervanta	Lentotuhka	Tampere	-	Tampereen Energian voimalaitos- tuhkat soveltuvat heikosti tierä- kentämiseen. Testattu muutamia vuosia sitten. Sähköpostitie- donanto, Heinonen T (2023).
	Pohjatuhka	Tampere	-	
Tampereen Energia Oy, Naistenlahti	Lentotuhka	Tampere	-	
	Pohjatuhka	Tampere	-	
Vanajan voimalaitos, Hämeenlinna	Lentotuhka	Hämeen- linna	?	*
	Pohjatuhka			
Rudus Oy	Betoni- murske	Tampe- reen seutu	BeM 25 000	*
Kuusakoski Recycling Oy	Kokonaiset renkaat	Tampere	?	*
	Rengasrouhe	Tampere		
Nokianvirran Energia Oy	Lentotuhka	Nokia	7 500	*
	Pohjatuhka	Nokia	5 000	*
Hämeenkyrön voima Oy, Biovoimalaitos	Lentotuhka	Hämeen- kyrö	9 000	*

	Pohjatuhka	Hämeen- kyrö	2 000	*
Kiertokapula Oy	Betoni- murske Tiilimurske		?	*
Pohjolan voima	Lentotuhka	Hämeen- kyrö	7 300	*
	Pohjatuhka	Hämeen- kyrö	1 500	*
TevoLokomo	Valimokuona	Tampere	3 500	*
	Valimo- hiekkä	Turenki	12 000	*
Karpin Käsittely Oy (ECO3:Nokia)	KK uusiokivi	Nokia	?	*
Reon Oy (ECO3:Nokia)	?	Nokia	?	*
Parma Oy	Betoni- murske	Kangasala	?	*
Swerock oy	Betoni- murske	Tampere	?	*
Remeo Oy	Betoni- murske Tiilimurske	Tampere Tampere	15 000 vaihtelee	Saatavuus vaihtelee merkittävästi purkutyömaiden mukaan, hinta kohtalaisen vakaa. Mara kelpoi- sissa tuotteissa pienet varastot. Myös Etelä-Pohjanmaa ja Varsi- naissuomi. Teams-haastattelu, Sa- riola T (2023).
WasteWise	Rengasleike	Nokia	?	*
Yara Eco oy (ECO3:Nokia)	Rakeistettu lentotuhka (Infra TR) Sivukivi	Nokia Siilinjärvi	10 000 000	Käyttö vähentymässä johtuen kivi- hiilen polton lopettamisen seu- rauksena. Valtavasti sivuvirtoja Sii- linjärvellä, sovelluskohteet aktiivi- sesti hakusessa. Joitakin hankkeita meneillään. Sähköpostitie- donanto, Petäjästä A (2023).
	Rikastus- hiekkä	Siilinjärvi	10 000 000	
	Kipsi	Siilinjärvi	1 500 000	
Fortum Oy	Lentotuhka	-	?	*
	Pohjatuhka	-	?	*
	Fortum Gravo	-	?	*
Tre kaupunki	Purkubetoni	Tampere	?	*
Nokian kaupunki	Purkubetoni	Nokia	?	*

? / *Saatavuutta ei varmistettu,
yhteydenottoon ei vastattu

Lähteet

Mukaillen Vt12 Alasjärvi - Huutijärvi, yleissuunnitelmavaiheen
uusiomateriaaliselvitys & Vt 3 Hämeenkyrönväylä materiaali-
koordinointi. Yritysten nettisivut. Sähköposti-, puhelin- ja
Teams keskustelut.

LIITE C: LASKENNASSA KÄYTETYT RAKENNUSOSAT

1000 Maa-, pohja- ja kalliorakenteet

1100 Olevat rakenteet ja rakennusosat

•1110 Poistettava, siirrettävä ja suojattava kasvillisuus*

~~•1120 Poistettavat, siirrettävät ja suojattavat rakenteet~~

•1140 Poistettavat ja siirrettävät maa- ja pengerrakenteet*

•1150 Poistettavat päällysrakenteet

~~1200 Pilaantuneen maa-alueen puhdistustarve ja -tavoitteet**~~

•1210 Haitta-aineksia sisältävät kaivetut maa-ainekset**

~~•1220 Pilaantuneen maa-alueen puhdistustarve ja tavoitteet**~~

1300 Perustusrakenteet

•1320 Paaluperustukset

•1330 Arinarakenteet

1400 Pohjarakenteet

•1410 Vahvistetut maarakenteet

•1420 Suojaukset ja eristykset

•1430 Kuivatusrakenteet

~~1500 Kallion tiivistys- ja lujitusrakenteet**~~

~~•1510 Kallioinjektoinnit**~~

~~•1520 Mekaanisesti lujitetut kalliorakenteet**~~

~~•1530 Ruiskubetonointirakenteet**~~

1600 Maaleikkaukset ja -kaivannot

•1610 Maaleikkaukset

•1620 Maakaivannot

•1630 Kaivannon tukirakenteet

~~•1640 Vedenalaiset maaleikkaukset ja -kaivannot**~~

~~•1650 Rakenteiden alitukset**~~

1700 Kallioleikkaukset, -kaivannot ja -tunnelit

•1710 Kallioavoleikkaukset

~~•1720 Kalliokanaalit, kuopat ja syvennykset**~~

~~•1740 Vedenalaiset kallioleikkaukset ja -kaivannot**~~

~~•1750 Jälkikäsitellyt kalliopinnat**~~

~~•1760 Maanalaiset kalliotilat**~~

1800 Penkereet, maapadot ja täytöt

•1810 Penkereet

•1830 Kaivantojen täytöt

2000 Päällys- ja pintarakenteet

2100 Päällysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset

•2110 Suodatinrakenteet

•2120 Jakavat kerrokset, eristys- ja välikerrokset

•2130 Kantavat kerrokset

•2140 Päällysteet ja pintarakenteet

~~•2150 Siirtymärakenteet***~~

•2160 Erityisrakenteet

2200 Reunatuet, kourut, askelmat ja eroosiosuojaukset

•2210 Reunatuet, kourut, askelmat ja muurit

•2220 Luiskaverhoukset ja eroosiosuojaukset

~~2300 Kasvillisuusrakenteet****~~

~~•2310 Kasvualustat ja katteet****~~

~~•2320 Nurmikko- ja niittyverhoukset****~~

~~•2330 Istutukset****~~

~~2400 Ratojen päällysrakenteet**~~

~~•2410 Tukikerrokset ratarakenteissa**~~

~~•2420 Raiteet**~~

~~•2430 Raiteen pintarakenteet**~~

3000 Järjestelmät/******

~~•3100 Vesihuollon järjestelmät****~~

~~•3200 Turvallisuusrakenteet ja ohjausjärjestelmät****~~

~~•3300 Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät****~~

~~•3400 Lämmön- ja kaasunsiirotojärjestelmät**~~

~~•3500 Ilmanvaihtojärjestelmät**~~

4000 Rakennustekniset rakennusosat/******

~~•4100 Erittelemättömät rakennustekniset rakennusosat**~~

~~•4200 Sillat****~~

~~•4300 Laiturit**~~

~~•4400 Perustus- ja tukirakenteet**~~

~~•4500 Ympäristörakenteet****~~

~~•4600 Rakennelmat ja kalusteet**~~

~~•4700 Vesiliikenteen rakenteet ja padot**~~

~~•4800 Maanalaisten tilojen betonirakenteet**~~

~~•4900 Muut rakennusosat**~~

* yksittäisiä litteroitu on jätetty huomioimatta, johtuen pienestä määrästä, tai puuttuvista laskennan lähtötiedoista

** hanke ei sisällä luokkaan kuuluvia rakennusosia

*** siirtymäkiilat on sisällytetty tien rakennemassoihin

**** jätetty huomioimatta laskennan rajauksen vuoksi