

RESURSSIVIISAUS JA HIILINEUTRAALIUS INFRARA-
KENTAMISHANKKEISSA

Suhonen Tinjamari

Opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2023

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Tinjamari Suhonen	Vuosi	2023
Ohjaaja(t)	Janne Poikajärvi		
Toimeksiantaja	Kuopion kaupunki, kaupunkitekniikan palvelut		
Työn nimi	Resurssiviisaus ja hiilineutraalius infrarakentamishankkeissa		
Sivumäärä	30		

Opinnäytetyö on tehty Kuopion kaupungin kaupunkitekniikan palveluiden toimeksiannosta, ja sen tavoitteena oli aikaansaada toimeksiantajalle selkeät toimintamallit rakennuttamishankkeiden resurssiviisaaseen toteutukseen. Kuopion kaupungilla on strategia hiilineutraalista Kuopiosta 2030, eikä hiilineutraali kokonaisuus voi toteutua ilman, että jokainen toimiala kehittää toimintaansa kohti tavoitetta.

Opinnäytetyössä etsittiin jokaisen rakennuttamishankkeen vaiheeseen resurssi- viisaita tapoja toteuttaa hanke. Työ perustui Kuopion kaupungilla käynnissä olleeseen katusaneeraushankkeeseen sekä Fore-kustannuslaskentaohjelmistolla tehtyihin kustannus- ja päästövertailuihin. Telkkistentien hankkeen toteutuksessa oli huomioitu resurssiviisaus, ja se toimi esimerkkikohteena opinnäytetyössä. Työn tulokset syntyivät päästö- ja kustannuslaskujen pohjalta tehdyistä johtopäätöksistä.

Infrarakentamisen merkittävimmät päästölähteet ovat materiaalit sekä työkoneet. Merkittävimmät päästövähennykset saadaan aikaan kiinnittämällä huomio sinne, mistä päästöjä eniten syntyy. Suunnitteluvaiheessa tehdään hankkeen materiaa- livalinnat, ja päästötehokkuuteen pyrkiessä uusiomateriaalit tai hyötykäyttömas- sat ovat usein resurssiviisain ratkaisu. Ne ovat monesti myös hieman edullisem- pia vaihtoehtoja, mutta ilman hankkeen tarkkoja yksityiskohtia näin ei voida au- kottomasti todeta.

Kuljetusmatkojen optimointi on toinen tärkeä tekijä resurssiviisauteen pyrkiessä. Massatasapaino liittyy vahvasti kuljetusmatkojen lyhentämiseen. Massatasapai- nolla edistetään niin kiertotaloutta, kun materiaali uudelleen käytetään toisessa kohteessa, kuin säästetään kuljetuskustannuksissa ja -päästöissäkin, kun mas- sat kuljetetaan lähialueelle. Kuljetuskustannuksia voi myös pienentää käyttämällä uusimmat päästöluokitukset täyttäviä työkoneita ja ajokalustoa.

Tulokset ovat Kuopion kaupungille konkreettinen näyttö resurssiviisaiden toimien vaikutuksesta. Hyödyntämällä tulevilla rakennuttamishankkeissa esiteltyjä kei- noja, päästään merkittäviin päästövähennyksiin ja rakennetaan kestäväää tulevai- suutta.

Degree Programme in Civil
Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Tinjamari Suhonen	Year	2023
Supervisor(s)	Janne Poikajärvi		
Commissioned by	City of Kuopio		
Title	Resource wisdom and carbon neutrality in infrastructure construction projects		
Number of pages	30		

The thesis was made for the commission of the city of Kuopio, and the goal was to provide the client with clear operating models for the resource-wise implementation of development projects. The city of Kuopio has a strategy for a carbon-neutral Kuopio 2030, and a carbon-neutral whole cannot be realized without every industry developing its operations towards the goal.

The thesis looked for resource-wise ways to implement the project for each phase of the construction project. The work was based on the ongoing street renovation project in the city of Kuopio and cost and emission comparisons made with the Fore cost calculation software. Resource wisdom was considered in the implementation of the Telkkistentie project, and it served as an example in the thesis. The results of the work arose from conclusions made based on emission and cost calculations.

The most significant emission sources in infrastructure construction are materials and work machines. In the planning phase, the project's material choices are made, and when aiming for emission efficiency, recycled materials are often the resource-wisest solution. They are also often slightly more affordable options, but without the exact details of the project, this cannot be clearly stated.

Optimizing transport distances is another important factor in the pursuit of resource wisdom. Mass balance is strongly related to shortening transport distances. With zero mass balance, the circular economy is promoted when the material is reused in another destination, and it also saves on transport costs and emissions when the mass is transported to a nearby area. Transport costs can also be reduced by using work machines and rolling stock that meet the latest emission classifications.

The results are concrete evidence for the city of Kuopio of the impact of resource-wise actions. By utilizing the methods presented in future development projects, significant emission reductions will be achieved, and a sustainable future will be built.

Keywords resource wisdom, carbon-neutrality, infrastructure construction

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 RESURSSIVIISAUS	8
3 RESURSSIVIISAUSTOIMET INFRAHANKKEISSA	10
3.1 Suunnitteluvaihe	10
3.1.1 Materiaalit.....	11
3.1.2 Kuljetukset.....	12
3.1.3 Maankäyttö.....	14
3.2 Kilpailutusvaihe	15
3.2.1 Ajoneuvojen päästöluokat	15
3.2.2 Ympäristöjärjestelmät.....	18
3.2.3 Tarjoajan osaaminen.....	18
3.3 Toteutusvaihe	18
4 ESIMERKKIKOHDE: TELKKISTENTIE	20
4.1 Rakentamiskohde	20
4.2 Hankkeen suunnitteluvaihe	20
4.2.1 Materiaalit.....	20
4.2.2 Kuljetukset.....	23
4.3 Hankkeen kilpailutus.....	23
4.3.1 Tarjoajan laatupisteet	23
4.4 Hankkeen toteutusvaihe	24
5 POHDINTA	25
LÄHTEET.....	28

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AB 11	asfalttibetoni, kiviaineksen maksimiraekoko 11 mm
ABK 22	kantavan kerroksen asfaltti, kiviaineksen maksimiraekoko 22 mm
BeM II	betonimurske, laatuluokka II
CO ₂ e	hiilidioksidiekvivalentti, kasvihuonekaasupäästöjen yhteenlaskettu ilmasto lämmittävä vaikutus (OpenCO2net 2023)
Hk	hiekkä
KaM 0–32	kalliomurske, raekoko 0–32 mm
LT II (stab.)	stabiloitu lentotuhka, laatuluokka II
m3ktr	teoreettinen kiintotilavuus, leikattavan maan tilavuus piirustuksista mitattuna
m3rtr	teoreettinen rakennetilavuus, tiivistetyn maan tilavuus piirustuksista mitattuna
SMA 16	kivimastikiasfaltti, kiviaineksen maksimiraekoko 16 mm

1 JOHDANTO

Ilmaston hyvinvointi on viimeisten vuosikymmenien aikana kasvanut jokapäiväiseksi huoleksi ja puheenaiheeksi keskusteluissa. Ilmasto lämpenee lämpenemistään ja sen vaikutukset näkyvät ympäri maailman. Erilaiset luonnonkatastrofit, kuten tulvat, hurrikaanit ja äärimmäinen kuivuus, ovat jo seurausta ilmaston lämpenemisestä. Ilmaston lämpeneminen aiheutuu yksinomaan ihmisen toiminnasta ja kasvihuonekaasupäästöistä, jotka estävät auringon lämpösäteilyn pääsyn takaisin avaruuteen (Euroopan komissio 2023). Jotta maapallo voidaan pitää asuttavana, ilmaston lämpeneminen on saatava kuriin. Fossiilisten polttoaineiden tilalle on kehitettävä muita energianlähteitä, ja neitseellisten raaka-aineiden ehtyessä on löydettävä muita käyttökelpoisia raaka-aineita. Ilmastokriisin taltuttaminen vaatii kansainvälistä yhteistyötä, jatkuvia toimia ja uusien toimintamallien kehittämistä, jotta yhteisesti sovitut ympäristötavoitteet voidaan saavuttaa. Jotta konkreettisia, asiaa eteenpäin vieviä toimia voidaan tehokkaasti toteuttaa, olisi siihen hyvä olla selkeä strategia.

Tämä opinnäytetyö on tehty Kuopion kaupungin toimeksiannosta. Kuopion kaupungin kaupunkitekniikan palveluilla rakennutetaan kunnallistekniikkaa sekä viherrakentamiskohteita. Rakennuttamishankkeeseen kuuluvat hankkeen suunnittelu, urakkakilpailutus sekä rakentamisvaihe, joiden jälkeen on takuu-aika (Enäsuo 2023). Opinnäytetyön tarkoituksena on löytää jokaiseen vaiheeseen resurssiviisaita ratkaisuja, ja aikaansaada Kuopion kaupungin rakennuttamishankkeisiin selkeä toimintamalli resurssiviisaasta rakentamisesta, jotta se tulee osaksi jokapäiväistä toimintaa. Kuopio on omassa strategiassaan sitoutunut olemaan hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä (Kuopion kaupunki 2023), ja jotta tämä tavoite voidaan saavuttaa, täytyy jokaisen toimialan toimintaa kehittää.

Opinnäytetyö perustuu Fore-kustannuslaskentaohjelmistolla tehtyihin kustannus- ja päästölaskelmiin. Fore on lisenssillä toimiva suunnittelijoille tarkoitettu ohjelmisto, jonka rakennusosalaskelmalla pystytään tekemään luotettavia kustannusarvioita ja vaihtoehtotarkasteluja. Ohjelma sisältää myös päästölaskelmat. (EG Finland 2023.) Fore on käytössä Kuopion kaupungin hankkeissa, ja esimerkiksi urakoiden kustannusarviot lasketaan Forella. Ohjelma on yksinkertainen käyttää ja sisältää valmiiksi kaikki kyseisen työvaiheen kustannukset ja päästöt.

Esimerkiksi ”maaleikkaus, massojen kuljetus penkereisiin ja täyttöihin” -laskelma sisältää kaivun, kuormauksen, yhden kilometrin kuljetuksen, vastaanoton ja tiivistyksen. Jos kuljetusmatka on pidempi kuin yhden kilometrin, valitaan lisäksi kuljetuksen lisäkustannus vastaamaan todellista matkaa.

Opinnäytetyö sisältää useita eri kustannus- ja päästölaskelmia, joista valtaosa on tehty Fore-laskentaohjelmistolla, mutta esimerkiksi uusiomateriaaleista vain betonimurske löytyy Foresta. Tällaisissa tilanteissa tarvittavat päästökertoimet on etsitty CO2data-palvelusta. CO2data-palvelu on vuonna 2021 lanseerattu Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämä ilmainen sivusto, joka sisältää niin infra- kuin talonrakentamisenkin päästötietoja. Palvelusta löytyy dataa niin materiaaleista, kuin joistakin rakennusprosesseista ja kuljetuksista. Tiedot on koostettu sivustolle julkisista lähteistä, ja jokaiselle päästöluvulle on nähtävissä taustaraportti. (Hiilineutraalisuomi.fi 2021.)

Opinnäytetyössä hyödynnetään Kuopion kaupungilla parhaillaan meneillään olevaa hanketta esimerkkikohteena, jossa on huomioitu resurssiviisaus jokaisessa rakentamisen vaiheessa. Laskettaessa päästöt ja kustannukset todelliselle kohteelle nähdään konkreettisesti, mitä resurssiviisailla ratkaisulla voidaan saavuttaa.

Opinnäytetyön tulokset syntyvät tehtyihin laskelmiin pohjautuviin päätelmiin ja pohdintoihin. Työn tavoitteena on tehdä faktoihin perustuva koonti rakennusurakoissa hyödynnettävistä resurssiviisaista ja hiilineutraaliutta edistävistä toimista toimeksiantajan hyödynnettäväksi.

2 RESURSSIVIISAUS

Ympäristön hyvinvointi on puhututtanut jo vuosikausia, ja ensimmäiset ympäristötyöryhmät ovatkin peräisin jo 1960–1970-luvuilta (Renewa-fi.com 2023). Ensimmäinen merkittävä kansainvälisiä ympäristöpoliittisia asioita koskeva konferenssi perustettiin vuonna 1972 Yhdistyneiden kansakuntien toimesta (Euroopan parlamentti 2018). Vuonna 1992 päätettiin Yhdistyneiden Kansakuntien ilmasto-uitesopimuksesta, joka astui voimaan vuonna 1994. Ilmastopimus on kansainvälinen, 197 sopimusvaltiota koskeva. Sen pääasiallinen tavoite on kasvihuonekaasupäästöjen vakauttaminen vaarattomalle tasolle. (Ilmasto-opas.fi 2022.)

YK:n ilmastopimusta täydentävästä Kioton pöytäkirjasta päätettiin vuonna 1997, ja se astui voimaan kahdeksan vuotta myöhemmin vuonna 2005. Kioton pöytäkirja velvoitti vuoteen 2020 asti, jonka jälkeen se korvaantui Pariisin ilmastopimuksella. Vuonna 2016 voimaan astuneen Pariisin ilmastopimuksen on allekirjoittanut 193 valtiota, ja sen mukaan vuoteen 2050 mennessä ilmaston lämpenemisen nousu on rajoituttava 1,5 asteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna. (Ilmasto-opas.fi 2022.) Vuonna 2021 Euroopan Unionin parlamentti hyväksyi EU:n ilmastolain, joka velvoittaa laillisesti Eurooppaa olemaan hiilineutraali vuonna 2050 (Euroopan parlamentti 2021). Myös Suomessa on vuonna 2022 voimaan tullut ilmastolaki, jonka mukaan Suomen on oltava hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä (Ympäristöministeriö 2023).

Ympäristö- ja hiilineutraaliustoimet ovat siis olleet niin kansallisessa kuin kansainvälisessä valokeilassa jo vuosikymmenien ajan tahdin vain kiihtyessä. Hiilineutraaliudella käytännössä tarkoitetaan sitä, kun maapallon hiilidioksidipäästöt ovat yhtä suuret, kuin hiilidioksidia pystytään sitomaan hiilinieluihin, eli toisin sanoen ylimääräistä hiilidioksidia ei jää ilmakehään (Euroopan parlamentti 2019).

Hiilineutraalius-termi koskettaa ainoastaan hiilidioksidipäästöjä ja niiden rajoittamista, mutta kokonaisvaltaisempaan ympäristön hyvinvointiin tähtää resurssivii-saus. Se tarkoittaa kaikkien eri resurssien, kuten luonnonvarojen, energian, raaka-aineiden, tuotteiden, palveluiden, tilan ja ajan, viisasta ja luontoa säästävää sekä kestävästä kehitystä edistävää käyttöä (Känkänen 2023). Resurssivii-saus koskettaa jokaista osa-aluetta, ja esimerkiksi ruokahävikin vähentäminen,

veden ja sähkön säästäminen, yksityisautoilun vähentäminen ja tilankäytön tehostaminen ovat kaikki resurssiviisaita tekoja. Kiertotalous, energia- ja materiaali tehokkuus sekä uusiutuvat energiamuodot ja -materiaalit ovat esimerkkejä keinoista, joilla voidaan toteuttaa resurssiviisautta. (Sitra 2023.) Päästöjen vähentäminen on kuitenkin olennainen osa myös resurssiviisautta (Känkänen 2023). Resurssiviisautta on tulevaisuus, jota toteuttamalla ilmastotavoitteet ja kestävä tulevaisuus pystytään saavuttamaan.

3 RESURSSIVIISAUSTOIMET INFRAHANKKEISSA

Suomessa rakennettu ympäristö aiheuttaa 38 prosenttia maan kasvihuonekaasupäästöistä, ja maailmanlaajuisesti koko rakennusala kolmanneksen (Känkänen 2023). Pelkän infrarakentamisen tarkoista päästömäärästä on Suomessa tehty vain yksi kattavuudeltaan puutteellinen tutkimus, Gaia Consultingin toteuttama Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 -tiekartta, sekä Tommi Lehtovirran tekemä diplomityö (Lehtovirta 2023, 9).

Infra- ja talonrakennuksesta syntyvät päästöt jakautuvat hieman eri tavalla. Talonrakentamisessa rakennuksen elinkaaren aikaiset suurimmat päästöt syntyvät rakennuksen käytönaikaisesta energiankulutuksesta, erityisesti lämmittämisestä. Infrastruktuurin energiankäyttö koostuu rakenteiden kunnossapidosta ja merkittävin osa päästöistä pääasiassa materiaaleista. Infrarakentamisessa tulee pääosin paljon työmaa-ajoa, jolloin myös ajoneuvojen sekä työkoneiden osuus päästöissä nousee huomattavaksi. (Laine ym. 2020, 4, 56–57.)

Tehokkaimman muutoksen aikaansaamiseksi päästövähennykset tulisi kohdistaa siihen osa-alueeseen, josta päästöjä syntyy eniten, eli infrarakentamisessa raaka-aineisiin, valmistukseen ja kuljetuksiin. Sen takia on tärkeää kehittää rakennusalan toimintamalleja resurssiviisaampaa huomista kohti. On olemassa useita erilaisia keinoja toteuttaa infrarakentamista vähähiilisemmin ja resurssitehokkaammin, mutta toimintamallit ovat paikoin vielä heikosti käytössä (Känkänen 2023). Kaikkia toimia ei voida tietenkään toteuttaa kaikissa kohteissa, mutta jokaisen hankkeen suunnittelussa tulisi pyrkiä kustannustehokkuuden lisäksi myös päästötehokkuuteen, ja vähintäänkin kartoittaa kaikki vaihtoehdot.

3.1 Suunnitteluvaihe

Rakentamishankkeen rakennusvaiheen käynnistymistä edeltää paljon suunnittelutyötä. Kaavasunnittelussa määritetään alueiden käyttöä ja ohjataan rakentamista, joiden perusteella voidaan tehdä myöhemmässä vaiheessa rakentamisen hankesuunnittelua. Siinä vaiheessa, kun urakka menee kilpailutukseen, suunnitelmat on jo tehty ja se on niin sanotusti toteutusta vaille valmis.

Kuten lähes kaikissa hankkeissa ja projekteissa, myös rakennusurakoissa isoin ja vaikuttavin työ tehdään suunnitteluvaiheessa. Lähes kaikki resurssiviisautta edistävät toimet täytyy päättää jo suunnittelupöydällä, jotta ne pystytään ottamaan käytäntöön projektin myöhemmissä vaiheissa. Keinoja toteuttaa resurssiviisautta on monia erilaisia, ja mahdollisuudet niiden toteuttamiseen tulisi kartoittaa jokaisen hankkeen kohdalla.

3.1.1 Materiaalit

Materiaalin kustannuksiin vaikuttavat pääasiassa kuljetuskustannukset sekä jalostamisaste (Routa-Lindroos & Nenonen 2014, 40). Jos matkaa ei oteta huomioon, uusiomateriaalien kuljetus on useasti edullisempaa ja myös päästätehokkaampaa, kuin kiviainesten. Erot muodostuvat siitä, että uusiomateriaalit ovat kevyempiä ja niitä tarvitaan määrällisesti vähemmän saavuttaakseen riittävän kantavuuden ja kerrospaksuuden. (Betoni 2023.) Tästä syystä pelkästään yksikköhintoja ja -päästöjä vertailemalla ei voida tehdä kokonaisvaltaisia päätelmiä.

Eri uusio- ja perinteisillä materiaaleilla on oma jalostamisasteensa, joka vaikuttaa tuotteen hintaan. Monet kiviainekset vaativat uusiomateriaaleja vähemmän prosessointia, jolloin ne ovat yksikköhinnaltaan edullisempia, mutta käytettävät määrät tekevät uusiomateriaaleista kokonaishinnaltaan kannattavampia. On olemassa myös uusiomateriaaleja, jotka eivät vaadi jalostamista ennen kuin niitä voidaan hyödyntää rakentamisessa, kuten esimerkiksi pohjatuhka (Kiviniemi ym. 2012, 46).

Materiaalin hinnasta kuitenkin jopa puolet koostuu kuljetuskustannuksista (Routa-Lindroos & Nenonen 2014, 40). Sen vuoksi on olennaista, mistä materiaalit tuodaan työmaalle. Vaikka itse uusiomateriaalin kuljettaminen on usein edullisempaa, voi työmaan sijainti ja materiaalien saatavuus tehdä niiden kuljettamisen työmaalle kustannuksiltaan kalliimmaksi. Materiaalien hankinnassa tulisi ensisijaisesti kartoittaa saman tai lähialueiden työmaiden massojen hyötykäytön mahdollisuutta, sillä se on kaikista päästö- ja kustannustehokkain, sekä resurssivisain ratkaisu.

Päästövähennysten kannalta uusiomateriaalit ovat lähes aina parempi valinta kiviaineksiin verrattuna. Ne uusiomateriaalit, jotka syntyvät jonkin toisen

materiaalin palamisjätteenä tai sivutuotteena, ajatellaan olevan käytännössä kokonaan päästöttömiä. Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi tuhkat (Teittinen 2019, 55). Jotkin uusiomateriaalit, kuten betonimurske, vaativat jalostusta ennen kuin niitä voidaan hyödyntää maarakentamisessa, mutta elinkaaren, kiertotalouden ja neitseellisten kiviainesten säästämisen kannalta uusiomateriaalit ovat parempi materiaalivaihtoehto.

Yhtenä esimerkkinä materiaalien hyötykäytöstä ovat reunakivet. Suomessa käytetään rakentamisessa paljon kiinalaista reunakiveä sen edullisemman hinnan vuoksi (Krogerus & Kähkönen 2020). Kiinalainen kivi on kuitenkin heikkolaatuisempaa, jonka lisäksi sen käyttö aiheuttaa valtavat päästöt. Oheisessa taulukossa 1 on vertailtu suomalaisen ja kiinalaisen reunakiven päästöjä. LR170, eli 170 mm leveä luiskattu reunakivi ja V170, 170 mm leveä viistereunakivi ovat yleiset Suomessa käytettävät graniittireunakivet. Lukuja vertailemalla voidaan todeta, että suomalainen reunakivi tuottaa 57 prosenttia pienemmät päästöt, kuin Kiinasta tuotu vastaava kivi. Vaikka suomalaisen kiven käyttö on kustannusten valossa isompi investointi, maksaa se kestävyydellään ja sen myötä pitkällä käyttöiällä itsensä ajan saatossa takaisin. Kaikista kustannus- ja päästötehokkain vaihtoehto on kuitenkin materiaalin kierrätys ja elinkaaren loppuun asti käyttäminen, eli tässä tapauksessa vanhojen reunakivien uudelleen asennus, ja siihen tulisikin katusaneerauksissa ensisijaisesti pyrkiä.

Taulukko 1. Suomalaisen ja kiinalaisen reunakivien päästölaskelmat

	Maa	Määrä	Yksikkö	Yksikköpäästö	Päästölaskelma
LR170	Suomi	250	mtr	8,2 kg CO ₂ e/m	2050 kg CO ₂ e
LR170	Kiina	250	mtr	19,04 kg CO ₂ e/m	4760 kg CO ₂ e
V170	Suomi	250	mtr	11,4 kg CO ₂ e/m	2850 kg CO ₂ e
V170	Kiina	250	mtr	26,5 kg CO ₂ e/m	6625 kg CO ₂ e

3.1.2 Kuljetukset

Infrarakentaminen sisältää paljon kuljetuksia ja työmaa-ajoa, joten kiinnittämällä huomiota kuljetusmatkoihin saadaan aikaiseksi merkittävät päästövähennykset. Infrahankkeessa kuljetuksia syntyy materiaalien kuljetuksesta työmaalle, ylijäämämassojen kuljetuksista työmaalta pois, sekä työmaan sisäisestä työkoneiden liikenteestä. Kuljetusmatkoja voidaan optimoida kiinnittämällä huomiota mistä materiaalit tulevat työmaalle ja minne ylijäämämassat kuljetetaan. Kaikista

optimaalisin ratkaisu on lähialueiden työmaiden hyödyntäminen, eli niin kutsuttu massatasapaino.

Vaikka useimmiten uusiomateriaaleja käyttämällä sekä kustannukset, että päästöt jäävät alhaisimmiksi, joissain tapauksissa tilanne voi olla myös toisin päin. Jos työmaan lähietäisyydeltä löytyy kohde, jonka ylijäämämassoja voidaan käyttää toisella työmaalla, on se edullisempaa, kuin uusiomateriaalien kuljettaminen kauempaa. Lisäksi on kiertotaloutta edistävää käyttää materiaali elinkaaren loppuun saakka sen sijaan, että toisen työmaan ylijäämämassat kuljetetaan maankaato paikalle, ja viereiselle työmaalle kuljetetaan uusiomateriaalit kauempaa, kun molemmat työmaat olisivat voineet hyötyä toisistaan, eikä hukkaa olisi syntynyt samoissa määrin. Taulukossa 2 on vertailtu maaleikkauksen kustannuksia ja päästöjä, kun leikattavat maat kuljetetaan toisen työmaan täyttöihin, kerrosrakenteisiin tai läjitykseen eri kuljetusmatkoilla. Määränä laskelmissa on käytetty 3645 m³ ktr, jotta kokonaisuus olisi yksikkölukuja helpompi hahmottaa.

Taulukko 2. Maaleikkauksen kustannukset ja päästöt

KUSTANNUKSET	Täyttöihin	Läjitykseen	K.rakenteisiin
Maaleikkaus 1 km	23 151 €	26 628 €	28 895 €
Maaleikkaus 2-3 km	28 037 €	32 187 €	33 781 €
Maaleikkaus 3-5 km	32 516 €	37 284 €	38 260 €
Maaleikkaus 5-10 km	37 566 €	43 057 €	43 310 €
Maaleikkaus 10-15 km	43 575 €	49 969 €	49 319 €
Maaleikkaus 15-20 km	49 178 €	56 337 €	54 922 €

PÄÄSTÖT	yksikkö	Täyttöihin	Läjitykseen	K.rakenteisiin
Maaleikkaus 1 km	kgCO ₂ e	10024	11919	12174
Maaleikkaus 2-3 km	kgCO ₂ e	12138	14325	14288
Maaleikkaus 3-5 km	kgCO ₂ e	14106	16548	16257
Maaleikkaus 5-10 km	kgCO ₂ e	16293	19063	18444
Maaleikkaus 10-15 km	kgCO ₂ e	18918	22089	21068
Maaleikkaus 15-20 km	kgCO ₂ e	21360	24859	23510

Taulukosta voidaan päätellä, että esimerkiksi tilanteessa, jossa kahden työmaan etäisyys toisistaan on 5–10 kilometriä ja maankaato paikka sijaitsee 1–5 kilometrin päässä, on sekä edullisempaa, että päästöt tehokkaampaa kuljettaa massat läjitykseen. Kun sekä läjitys- että hyötykäyttöpaikka sijaitsevat samalla

etäisyydellä työmaasta, tulee silloin massojen hyötykäyttö kannattavammaksi. Esimerkiksi 5-10 kilometrin kuljetusmatkalla materiaalin hyötykäyttö toisen työmaan täyttöihin tulee 13 prosenttia edullisemmaksi ja aiheuttaa 14,5 prosenttia pienemmät päästöt, kuin materiaalin kuljetus samalla etäisyydellä sijaitsevalle läjityspaikalle. Taulukkoa tarkastelemalla voidaan tulla johtopäätökseen, että yksittäiselle työmaalle optimaalisin ratkaisu selviää, kun kaikki mahdolliset massojen otto- ja jatkokäyttöpaikat ovat selvillä, ja vertaillaan niiden etäisyyksiä keskenään.

Oheisessa taulukossa 3 on vertailtu kustannuksia ja päästöjä uutena hankittavien ja varamaapaikasta hankitun materiaalin välillä eri kuljetusmatkoilla. Taulukkoon on koottu hiekka sekä 0–32 mm ja 0–90 mm raekoon kalliomurske, määränä on käytetty 3500 m³tr. Lukuja tarkastelemalla voidaan todeta, että varamaapaikasta hankittu materiaali on sekä kustannusten että päästöjen kannalta moninkertaisesti edullisempaa materiaalista riippumatta.

Taulukko 3. Uuden materiaalin ja varamaapaikasta hankitun materiaalin päästö- ja kustannusvertailut

SUODATINKERROS HIEKKA	1km	2-3 km	3-5 km	5-10 km	10-15 km	15-20 km
Uusi materiaali (€)	35 531 €	40 682 €	45 404 €	50 795 €	57 087 €	62 948 €
Materiaali varamaapaikasta (€)	10 688 €	15 839 €	20 561 €	25 953 €	32 245 €	38 105 €
Päästöt, uusi materiaali (kgCO ₂ e)	10710	12950	15015	17360	20090	22645
Päästöt, materiaali varamaapaikasta (kgCO ₂ e)	5110	7350	9415	11760	14490	17045

JAKAVA KAM 0-90	1km	2-3 km	3-5 km	5-10 km	10-15 km	15-20 km
Uusi materiaali (€)	62 541 €	67 692 €	72 414 €	77 805 €	84 098 €	62 541 €
Materiaali varamaapaikasta (€)	13 151 €	18 302 €	23 024 €	28 415 €	34 707 €	13 151 €
Päästöt, uusi materiaali (kgCO ₂ e)	16485	18725	20790	23135	25865	16485
Päästöt, materiaali varamaapaikasta (kgCO ₂ e)	2555	4795	6860	9205	11935	2555

KANTAVA KAM 0-32	1km	2-3 km	3-5 km	5-10 km	10-15 km	15-20 km
Uusi materiaali (€)	77 176 €	82 327 €	87 049 €	92 440 €	98 733 €	77 176 €
Materiaali varamaapaikasta (€)	19 208 €	24 360 €	29 082 €	34 473 €	40 765 €	19 208 €
Päästöt, uusi materiaali (kgCO ₂ e)	19145	21385	23450	25795	28525	19145
Päästöt, materiaali varamaapaikasta (kgCO ₂ e)	8995	11235	13300	15645	18375	8995

3.1.3 Maankäyttö

Kestävä rakennushanke ei synny pelkästään materiaalivalinnoista, vaan kokonaisuudesta, jossa on huomioitu kaikki osa-alueet. Resurssiviisuus jo itsessään

tarkoittaa kaikkien eri resurssien harkittua käyttöä, ja sen toteutumiseksi täytyy huomioida kokonaisuus. Maankäytön suunnittelulla pystytään toteuttamaan osaltaan rakennetun ympäristön resurssiviisautta. Alueiden erilaisella suunnittelulla voidaan painottaa esimerkiksi joukkoliikennettä, jalankulkua ja pyöräilyä. Viheralueet ovat olennainen osa hiilineutraaliutta ja hiilinielujen kannalta tärkeitä. Resurssiviisauteen kuuluu huomioida koko elinkaari, ja se tulisi huomioida jo ympäristön suunnittelussa. Kestävää tulevaisuutta on rakentaa ympäristöä ja rakenteita, jotka palvelevat ihmisiä vuosikymmeniksi eteenpäin.

3.2 Kilpailutusvaihe

Vaikka suunnittelemalla on jo puolet tehty, myös urakkakilpailutuksessa voidaan vielä vaikuttaa useilla tavoilla hankkeen hiilineutraaliin toteutukseen. Yleensä tilaaja hankkii rakennusprojektille urakoitsijan urakkakilpailulla, jossa tarjoajat jättävät tiettyyn aikamääreeseen mennessä tarjouksensa urakan toteuttamisesta.

Urakoitsijan valinnassa voidaan käyttää valintaperusteena muitakin tekijöitä kuin pelkkää urakkahintaa. Eri tekijöitä voidaan painottaa eri suhteessa, ja voidaan päätyä tilanteeseen, jossa urakoitsijaksi valikoituu kalliimmalla urakkahinnalla, kun kilpailutuksessa on painotettu osaltaan myös resurssiviisaustavoitteita. Urakkahinta ja muut tilaajan määrittämät tekijät muodostavat kokonaispisteet, joista parhaimmat pisteet saanut tarjoaja valitaan urakoitsijaksi. Mahdollisia tekijöitä, joita kilpailutuksessa voidaan huomioida, ovat esimerkiksi ajoneuvojen päästöluokat, ympäristöjärjestelmä sekä aikaisemmat referenssikohteet (Enäsuo 2023).

3.2.1 Ajoneuvojen päästöluokat

Työkoneet aiheuttavat jopa 24 prosenttia infrarakentamisen kokonaispäästöistä Suomessa (INFRA ry 2023). Rakennushankkeen tilaaja voi osaltaan vaikuttaa työkoneiden ja kuljetuskaluston kokonaispäästöihin vaatimalla urakoitsijalta päästöluokitusten täyttämistä. Kilpailutusvaiheessa urakan tilaaja voi vaatia tai pisteyttää paremmin ne tarjoajat, keiden ajoneuvot ja kalusto täyttävät tietyt päästöluokitukset. Maanrakennuksessa käytettävä kalusto noudattaa Stage- ja Euro-päästöluokituksia.

Stage-päästöluokitus koskee työkalustoa. Ensimmäinen Stage-päästöluokka on astunut voimaan vuonna 1997, josta lähtien päästörajoja on kiristetty asteittain. Uusin päästöluokka Stage V on astunut voimaan kaksivaiheisesti vuosina 2019–2020. Luokituksia ohjaa EU-asetus 2016/1628. Päästörajat on määritelty moottorin nettotehon mukaisesti. (Koneluokitus 2023.) Oheisesta taulukossa 4 on esitetty työkalustoa koskeva Stage-päästöluokitus, sekä jokaiselle luokalle asetetut päästörajat. Taulukkoon on koottu ainoastaan nettotehon $75 < P < 130$ päästörajat, sillä suurin osa tavanomaisissa maanrakennustöissä käytettävästä kalustosta on noin 16–26 tonnia painavia ja kuuluvat tähän päästöluokkaan.

Taulukko 4. Työkoneiden päästörajat Stage-luokituksen mukaisesti

Päästöluokka	Nettoteho P, kW	Hiilimonoksidi CO, g/kWh	Hiilivedyt HC, g/kWh	Hiilivedyt + typen		Partikkelit PM, g/kWh
				oksidit HC+NOx, g/kWh	Typen oksidit NOx, g/kWh	
Stage I	75<P<130	5,0	1,30		9,2	0,7
Stage II	75<P<130	5,0	1,00		6,0	0,3
Stage III A	75<P<130	5,0		4,0		0,3
Stage III B	75<P<130	5,0	0,19		3,3	0,025
Stage IV	56<P<130	5,0	0,19		0,4	0,025
Stage V	56<P<130	5,0	0,19		0,4	0,015

Taulukosta voidaan päätellä, että päästöluokka vaikuttaa huomattavasti ajoneuvojen aiheuttamiin päästöihin. Hiilimonoksidin päästöraja on pysynyt vuosien kuluessa samassa lukemassa, mutta erityisesti typen oksidien raja-arvot ovat kiristyneet huomattavasti. Jo Stage II:sta Stage III B:hen siirtyessä typen oksidien raja-arvo kiristyi 45 prosenttia. Vastaavasti ero typen oksideissa vuonna 2003 asetetun Stage II:n ja toiseksi uusimman, Stage IV:n, välillä on jopa 93 prosenttia.

Hiilivetyjä vapautuu ilmakehään 81 prosenttia vähemmän päästöluokissa Stage III B - Stage V, kuin vanhemmassa Stage II -luokassa. Partikkeleiden määrää kWh kohden voidaan pienentää 92 prosenttia vaatimalla tarjoajalta vähintään luokitusta Stage III B, verrattuna Stage II- ja Stage III A -luokkaan.

Päästöluokitukset koskevat uutta markkinoille tuotavaa työkalustoa. Esimerkiksi 2019–2020 voimaan tulleen Stage V:n jälkeen kaikkien uusien työkoneiden on täytettävä luokituksen osoittamat uusimmat raja-arvot. Vanhaa, jo käytössä olevaa kalustoa luokitukset eivät koske, ja on mahdollista, että urakoitsijat käyttävät sellaista kalustoa, joka ei täytä päästövaatimuksia. (Koneluokitus 2023.) Sen takia tilaaja voi asettaa ehdoksi tai urakkakilpailutuksessa pisteyttää paremmin

sellaiset tarjoajat, jotka täyttävät päästöluokitukset. Kokonaispäästöt, jota työ-
kone vapauttaa ilmakehään luokituksessa Stage II on 12,3 g/kWh ja Stage IV:ssä
5,62 g/kWh. Tiukemmilla päästörajoilla voidaan pienentää kokonaispäästöjä jopa
54 prosenttia.

Euro-päästöluokitus koskee ajoneuvoja. Henkilöautoille, eri painoluokkien paket-
tiautoille, kuorma-autoille ja linja-autoille, sekä jokaisesta niin diesel- kuin bensii-
nimootoreille on oma päästörajataulukonsa. Ensimmäinen kuorma-autoja kos-
keva Euro-päästöluokka, Euro 1, astui voimaan 7.1992. Uusin päästöluokka,
Euro 6, on puolestaan tullut voimaan vuonna 2014. Luokitusten päästörajat ovat
kiristyneet asteittain. Oheiseen taulukkoon 5 on koottu Euro-päästöluokkien raja-
arvot.

Taulukko 5. Euro-päästöluokituksen mukaiset päästörajat kuljetuskalustolle

Päästöluokka	Hiilimonoksidi CO, g/kWh	Hiilivedyt HC, g/kWh	Typen oksidit NOx, g/kWh	Partikkelit PM, g/kWh
Euro I	4,5	1,10	8,0	0,36
Euro II	4,0	1,10	7,0	0,15
Euro III	2,1	0,66	5,0	0,10
Euro IV	1,5	0,46	3,5	0,02
Euro V	1,5	0,46	2,0	0,02
Euro VI	1,5	0,13	0,4	0,01

Jo ero Euro 5 ja Euro 6 välillä hiilivetyjen ja typen oksidien kohdalla on huomatta-
tava. Hiilivetyjen päästöraja on kiristynyt 71 prosenttia ja typen oksidien raja-arvo
80 prosenttia vuodesta 2008 vuoteen 2013. Euro 4 -luokituksessa kokonaispääs-
töt ovat 5,48 g/kWh, Euro 5 -luokituksessa 3,98 g/kWh ja Euro 6 -luokituksen
kokonaispäästöt ovat maksimissaan 2,04 g/kWh. Kuljetuskalustolla, joka täyttää
uusimman päästöluokituksen raja-arvot, voidaan pienentää päästöjä 48 prosent-
tia Euro 5 -luokituksen täyttäviin ajoneuvoihin verrattuna, ja 62 prosenttia Euro 4
-luokkaan verrattuna. Myöskään Euro-luokitukset eivät koske vanhaa kalustoa,
jonka takia päästöluokitusten täyttämisen vaatiminen on hiilineutraaliuden kan-
nalta tärkeää.

3.2.2 Ympäristöjärjestelmät

Ympäristöjärjestelmä on johtamisen työkalu, jolla hallitaan yrityksen ympäristöasioita. Ympäristöjärjestelmiä on olemassa laajoja ja kevennettyjä. Laajan ympäristöjärjestelmän voi saada sertifioitua, jolloin se on kansainvälisesti tunnustettu ja tasavertainen muihin yrityksiin nähden, ja lisäksi kertoo siitä, että yritys toteuttaa ympäristötoimia tiettyjen säädösten mukaisesti. Tällaisia laajoja ympäristöjärjestelmiä ovat ISO 14001 -standardi sekä EMAS-järjestelmä. (Suomi.fi 2022).

Myös ympäristöjärjestelmiä voi hyödyntää urakkakilpailutuksessa. Tilaajalle urakoitsijan ympäristöjärjestelmä kertoo siitä, että yrityksellä on objektiivisesti ympäristöasiat osana jokapäiväistä toimintaa, ja se huomioi ympäristön toiminnassaan. Hankkeessa, jonka yksi tavoitteista on resurssiviisas toteutus, on kokonaisuuden kannalta tärkeää, että myös urakoitsija omalta osaltaan pyrkii mahdollisimman ympäristöystävälliseen ja kestävään toteutukseen. Kilpailutuksessa ympäristöjärjestelmän omaava urakoitsija voidaan pisteyttää paremmin muihin tarjoajiin nähden (Enäsuo 2023).

3.2.3 Tarjoajan osaaminen

Urakkakilpailutuksessa voidaan vaatia tai pisteyttää paremmin tarjoajat, keillä on referenssikohteita uusiomateriaalein tehdyistä hankkeista (Enäsuo 2023). Referenssit osoittavat, että urakoitsijalta löytyy tarvittava osaaminen toteuttaa haluttu hanke. Uusiomateriaalien käyttö vaatii hieman erilaista osaamista ja eri asioita, kuin perinteisin kiviaineksien toteutettu rakentaminen. Jos tarjoajalla ei ole riittävää osaamista suorittaa työ laatustandardien mukaisesti, maksaa se aikaa ja rahaa, jonka lisäksi työn korjaaminen aiheuttaa myös lisää päästöjä. Kun laatu on odotetun mukainen, pysytään tarkemmin työlle lasketuissa kustannuksissa ja päästöissä.

3.3 Toteutusvaihe

Urakkasopimuksen allekirjoituksen jälkeen voidaan aloittaa itse rakentaminen. Rakentamisvaiheen ollessa käynnissä ei juurikaan enää voida vaikuttaa hankkeen resurssiviisauteen, tai ainakaan tehdä kovin radikaaleja uusia ratkaisuja.

Silloin pääsääntöisesti enää vain huolehditaan, että aiemmin sovitusta asioista pidetään kiinni, esimerkiksi että ylijäämämassat kuljetetaan sovitulle hyötykäyttökohteelle maankaatopaikan sijaan. Urakan aikana voidaan kuitenkin etsiä lisää mahdollisia hyötykäyttökohteita työmaan massoille ja materiaaleille tai etsiä muilta samaan aikaan käynnissä olevilta työmailta hyödynnettäviä materiaaleja yhteistyössä muiden rakennuttajien kanssa. (Enäsuo 2023). Esimerkiksi jostain kohteesta purettavia reunakiviä tai muita materiaaleja, joita ei enää siinä työmaalla uudelleen käytetä, voidaan hyödyntää jossakin toisessa kohteessa.

4 ESIMERKKIKOHDE: TELKKISTENTIE

4.1 Rakentamiskohde

Telkkistentie on Kuopion Kelloniemen ja Itkonniemen kaupunginosissa Kuopion kaupungin kaupunkitekniikan palveluiden rakennuttama hanke, jonka rakentamisvaihe on käynnistynyt toukokuussa 2023. Urakassa uusitaan tien rakennekerrokset, päällysteet sekä parannetaan kadun kuivatusta. Telkkistentien rakentamishankkeessa on huomioitu ympäristötavoitteet jokaisessa urakan vaiheessa, ja se toimii hyvänä malliesimerkkinä opinnäytetyössä.

4.2 Hankkeen suunnitteluvaihe

4.2.1 Materiaalit

Telkkistentien katurakenne on suunnitteluvaiheessa esitetty toteutettavaksi osin uusiomateriaalein. Suunnitelmat on tehty sekä uusiomateriaali- että vaihtoehtoisille rakenteille. Katurakenne toteutettiin uusiomateriaalirakenteisen suunnitelman mukaisesti.

Uusiomateriaalirakenne kadun osalta on:

- päällyste SMA 16 50 mm
- päällyste ABK 22 60 mm
- kantava kerros BeM II 300 mm
- jakava kerros LT II (stab.) 500 mm
- suodatinkerros Hk 300 mm

Jalankulku- ja pyöräilyväylän rakennekerrokset:

- päällyste AB 11 40 mm
- kantava kerros BeM II 300 mm
- jakava kerros LT II (stab.) 500 mm

- suodatinkerros arinatuhka 300 mm

Kadun vaihtoehtoiset rakennekerrokset:

- päällyste SMA 16 50 mm
- päällyste ABK 22 60 mm
- kantava kerros KaM 0–32 100 mm
- jakava kerros KaM 0–90 750 mm
- suodatinkerros Hk 650 mm

Jalankulku- ja pyöräilyväylän vaihtoehtoiset rakennekerrokset:

- päällyste AB 11 40 mm
- profilointikerros KaM 0–32 100 mm
- kantava+jakava KaM 0–90 750 mm
yhdistetty
- suodatinkerros Hk 650 mm

Oheisessa taulukossa 6 on esitetty sekä uusiomateriaali- että tavallisen rakenteen päästöt ja kustannukset Telkkistentielle suunnitelluilla rakennekerroksilla. Arina- ja lentotuhkan yksikkö on kgCO₂e/kg, joten m³tr on pitänyt muuttaa kiloihin, eikä laskenta mene näin täysin samalla kaavalla muiden materiaalien kanssa, mutta lopputulos saadaan silti samaan yksikköön kgCO₂e.

Taulukko 6. Uusio- ja perinteisin materiaalein toteutettavan rakenteen kustannukset ja päästöt Telkkistentiellä

UUSIOMATERIAALIRAKENNE:

	määrä	yksikkö	yksikköpäästö (kgCO ₂ e)	päästölaskelma (kgCO ₂ e)	kustannus
Suodatinkerros arinatuhesta	620	m3tr	0,0000235	14,57	6 082,20 €
Lentotuhka II stabiloitu	2700	m3tr	0,000198	534,60	81 000,00 €
Suodatinkerros hiekasta (alle 2500 m3tr)	1000	m3tr	3,63	3630,00	11 374,40 €
Suodatinkangas N3	40	m2tr	0,34	13,60	66,96 €
Sitomaton kantava kerros BeM II 0-50	1380	m3tr	5,38	7424,40	25 457,69 €
ABK 22 / 150 (60 mm)	2436	m2tr	5,00	12180,00	24 335,64 €
AB 11 / 100 (40 mm)	1350	m2tr	4,14	5589,00	15 658,79 €
SMA 16 / 120 (50 mm)	2436	m2tr	5,57	13568,52	39 304,62 €
yht.				42954,69	203 280,30 €

TAVALLINEN RAKENNE:

	määrä	yksikkö	yksikköpäästö (kgCO ₂ e)	päästölaskelma (kgCO ₂ e)	kustannus
Suodatinkerros hiekasta (2500-5000 m3tr)	3500	m3tr	3,06	10710,00	35 538,65 €
Suodatinkangas N3	40	m2tr	0,34	13,60	66,98 €
Jakava kerros KaM 0-90 (1500-5000 m3tr)	4300	m3tr	4,71	20253,00	77 747,12 €
Sitomaton kantava kerros KaM 0-32 (1500-5000 m3tr)	550	m3tr	5,47	3008,50	12 130,42 €
ABK 22 / 150 (60 mm)	2436	m2tr	5,00	12180,00	24 335,64 €
AB 11 / 100 (40 mm)	1350	m2tr	4,14	5589,00	15 662,43 €
SMA 16 / 120 (50 mm)	2436	m2tr	5,57	13568,52	39 313,63 €
yht.				65322,62	204 794,87 €

Taulukosta voidaan päätellä, että hintaero tavallisella ja uusiomateriaalirakenteella ei ole kovin huomattava, vain noin 1500 euroa, joista uusiomateriaalit ovat hieman halvempia. Hintaero syntyy arinatuhesta osittaisesta käytöstä suodatinkerroksessa hiekan sijaan. Uusiomateriaalirakenteisessa suunnitelmassa jalankulku- ja pyöräilyväylän suodatinkerros on esitetty toteutettavaksi arinatuhesta ja katurakenteen suodatinkerros hiekalla. Tavallisessa rakenteessa koko tielinjan suodatinkerros on suunniteltu hiekalla toteutettavaksi. Näiden suunnitelmien mukaan uusiomateriaalivaihtoehdossa suodatinkerroksen hinnaksi muodostuu 17 456,60 € ja tavallisen rakenteen 35 538,65 €. Käyttämällä arinatuhesta suodatinkerroksessa saadaan kustannuksia lähes tarkalleen puolet pienemmiksi.

Suurimmat erot syntyvät päästöissä. Uusiomateriaalirakenteen kokonaispäästöt ovat 34 prosenttia pienemmät kuin tavallisen rakenteen päästöt. Tarkastellessa suodatinkerroksien päästöeroja, ovat uusiomateriaalirakenteen suodatinkerroksen päästöt 3644,57 kgCO₂e, kun taas tavallisen rakenteen jopa 10 710 kgCO₂e.

Yksittäisiä materiaaleja tarkastellessa voidaan huomata, että uusiomateriaalit ovat monen materiaalin kohdalla hinnaltaan kalliimpia neitseellisiin kiviaineksiin verrattuna. Kuitenkin lopputuloksena uusiomateriaalikonaisuudesta

muodostuu hieman edullisempi. Tämä selittyy sillä, että toiset materiaalit, tässä tapauksessa arinatuhka, ovat huomattavasti vaihtoehtoja edullisempia ja määrät vähäisempiä. Tälle hankkeelle resurssiviisaampi vaihtoehto on uusiomateriaalein toteutettava.

4.2.2 Kuljetukset

Telkkistentien hankkeessa on huomioitu massatasapaino. Työmaan kaivumassat hyödynnetään tien toisella puolella sijaitsevan lumenkaatopaikan laajennuksen täyttöihin, sekä 2 kilometrin etäisyydellä sijaitsevan Itkonniemen vesistötyttöön. Ylijäämämassat menevät näin hyötykäyttöön, ja materiaalin kiertotalous toteutuu.

Kun työmaan massat kuljetetaan kahden kilometrin päähän 20 kilometrin päässä sijaitsevan Heinjoen maankaatopaikan sijasta, säästetään sekä kustannuksissa että päästöissä 55 prosenttia.

4.3 Hankkeen kilpailutus

4.3.1 Tarjoajan laatupisteet

Telkkistentien urakan kilpailutuksessa on urakkahinnan lisäksi käytetty valintaperusteena laatupisteitä. Urakkahintaa on kilpailutuksessa painotettu 80 prosenttia ja laatupisteitä 20 prosenttia. Laatupisteet ovat muodostuneet ympäristötekijöistä, ja niissä on arvioitu tarjoajan resurssiviisaus-, sekä hiilineutraaliustavoitteiden noudattamisesta. Tarjoaja on tarjouksen yhteyteen liittänyt arviointityökalun, jonka avulla laatupisteet ovat muodostuneet.

Arviointityökalun ensimmäisessä osiossa käsitellään neitseellisten luonnonvarojen säästämistä, ja kohtaan 1 merkitään, kuinka monta prosenttia tarjoaja käyttää hankkeen ulkopuolelta tulevia uusiomateriaaleja kantavassa kerroksessa, kohtaan 2 jakavassa kerroksessa ja kohtaan 3 suodatinkerroksessa. Jos tarjoaja pystyy käyttämään kantavassa ja jakavassa kerroksessa vain 0–10 prosenttia uusiomateriaaleja, kohdasta ei saa yhtään pistettä. 70,1–100 prosentin uusiomateriaalien käytöllä saa maksimipisteet, eli 3. Suodatinkerroksen kohdalla 0

pistettä saa, jos uusiomateriaaleja käytetään 0–5 prosenttia, ja 3 pistettä 35,1–100 prosentin uusiomateriaalien käytöllä.

Työkalun toisessa osiossa, kohdissa 4 ja 5, arvioidaan muiden ympäristöhaittojen pienentämistä. Kohtaan 4 merkitään, onko tarjoajalla sertifioitua ympäristöjärjestelmää. Ympäristöjärjestelmästä saa yhden laatu pisteen, ilman järjestelmää ei saa pisteitä kyseisestä kohdasta.

Kohtaan 5 merkitään, mitkä päästöluokat kaikki tarjoajan käytettävissä oleva kalusto ja ajoneuvot täyttävät. Jos ajoneuvot täyttävät vähintään Euro 5 -luokituksen ja kalusto Stage 3A -luokituksen, kohdasta saa yhden pisteen. Kaksi pistettä saa, kun ajoneuvot täyttävät Euro 5 -luokituksen ja kalusto Stage 3B ja maksimipisteet, eli 3 pistettä, kun ajoneuvot kuuluvat Euro 6 -luokitukseen ja kalusto Stage 4 -luokitukseen.

Toisen osion kohdassa 6 ja samalla arviointityökalun viimeisessä kohdassa arvioidaan tarjoajan osaamista. Jos tarjoaja on toteuttanut vähintään yhden aikaisemman kohteen käyttäen uusiomateriaaleja, saa kohdasta yhden pisteen, ilman referenssikohteita jää myös ilman pisteitä.

4.4 Hankkeen toteutusvaihe

Telkkistentiellä resurssiviisaustoimet on toteutettu suunnittelu- ja kilpailutusvaiheessa. Rakentamisen käynnistymisen jälkeen ei ole tehty enää uusia ratkaisuja. Kuitenkin koko urakan ajan kartoitetaan mahdollisia materiaalien hyötykäyttökohteita yhteistyössä muiden rakennuttajien ja työmaiden kanssa.

5 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää rakennushankkeen jokaiseen vaiheeseen resurssiviisaita ratkaisuja toteuttamaan hiilineutraalimpaa rakentamista.

Kaavasuunnittelussa tehdään maankäyttöä koskevat päätökset. Maankäytön suunnittelulla voidaan esimerkiksi vaikuttaa hiilinieluihin ja järkevällä tieverkoston suunnittelulla polttoainepäästöihin. Hankesuunnitteluvaiheessa päätetään hankkeessa käytettävät materiaalit. Materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa niin kustannuksiin kuin päästöihin. Esimerkiksi käyttämällä suodatinkerroksessa arinatuhkaa hiekan sijasta, voidaan parhaimmillaan päästöjä vähentää 66 prosenttia ja kustannuksia 51 prosenttia. Yksiselitteisesti ei kuitenkaan voida todeta, että uusiomateriaalien käyttö olisi aina päästö- ja kustannustehokkain vaihtoehto. Kaikista kiertotaloutta edistävin vaihtoehto on materiaalien käyttäminen elinkaaren loppuun, eli toisen työmaan ylijäämämassojen hyötykäyttö toisella lähityömaalla. Kuljettamalla massat toisen työmaan täyttöihin 5–10 kilometrin etäisyydellä saman matkan päässä sijaitsevan läjityspaikan sijaan, voidaan kustannuksissa säästää 13 prosenttia ja pienentää päästöjä 14,5 prosenttia.

Urakkakilpailutuksessa tilaaja voi vaikuttaa hankkeen resurssiviisauteen ja hiilidioksidipäästöihin urakoitsijalle asettamallaan ehdoilla. Tilaaja voi urakoitsijan valinnassa painottaa urakkahinnan lisäksi myös ympäristötekijöitä. Kilpailutuksessa voidaan ottaa huomioon esimerkiksi kaluston päästoluokat, ympäristöjärjestelmä ja referenssikohteet. Eri tekijöitä voidaan pisteyttää paremmin tai asettaa ehdoksi. Kaluston päästoluokilla voidaan rajoittaa ilmakehään vapautuvien päästöjen määrää jopa puoleen. Ympäristöjärjestelmä ja referenssikohteet kertovat siitä, että urakoitsija on perillä ympäristöasioista ja sillä on edellytykset toteuttaa tilattava hanke. Tällöin kustannukset ja päästöt pysyvät todennäköisemmin suunnitelluissa määrissä, sillä uusiomateriaalirakentaminen vaatii hieman eri asioita, kuin kiviaineksin toteutettavat kohteet.

Rakennusvaiheessa tilaaja pitää huolen siitä, että aiemmin päätetyistä asioista pidetään kiinni. Esimerkiksi siitä, että massat ajetaan sovitulle hyötykäyttökohteelle. Rakennusvaiheessa voidaan vielä etsiä uusia rakennusmateriaalien ja massojen jatkokäyttökohteita muilta samaan aikaan käynnissä olevilta työmailta.

Taulukoiden tuloksia vertailemalla tultiin loppupäätelmään, että samalla kuljetusmatkalla uusiomateriaalit ja hyötykäyttömassat ovat sekä kustannusten että päästöjen kannalta kannattavimmat ratkaisut. Oikeissa rakennushankkeissa materiaalien hankinta ei kuitenkaan ole niin yksinkertaista. Työmaan ja materiaalien hankintapaikkojen sijainnit ovat lähes joka hankkeessa eri etäisyyksien päässä, ja kuljetuskustannuksien määrätessä puolet materiaalin hinnasta, ne vaikuttavat suuresti eri vaihtoehtojen lopullisiin kustannuksiin ja päästöihin. Ei voida siis yksiselitteisesti todeta, että tietty tapa on aina resurssiviisain. On hankkeen tilaajan päätettävissä, mikä painoarvo sillä on hankkeen ympäristötekijöihin. Vaikka uusiomateriaalit olisivatkin hieman uutta materiaalia kalliimpia, voisiko silti valita ympäristön kannalta kestävämmän ratkaisun.

Opinnäytetyö perustui suurelta osin Fore-kustannuslaskentaohjelmistolla tehtyihin laskelmiin, joka on yleisesti suunnittelijoiden käytössä kustannusarvioiden ja päästölaskelmien tekemiseen. Ohjelma on tehty ammattilaiskäyttöä varten, joten sillä saadut tulokset ovat verrattain luotettavia. Kuitenkaan Fore ei ota huomioon esimerkiksi kuljetuksissa eri päästöluokituksia, jotka muuttavat kokonaispäästöjä huomattavastikin. Myös materiaalien hinnat vaihtelevat jonkin verran materiaali-toimittajittain. Tästä syystä lukuihin ei voi suhtautua absoluuttisena totuutena, vaan ennemminkin suuntaa antavina. Tarkat päästöt ja kustannukset voidaan laskea, kun hankkeen yksityiskohdat ovat tiedossa.

Tällä hetkellä on olemassa suhteellisen hyvin resurssiviisaita keinoja käytettäväksi, jotta rakennushanke pystytään toteuttamaan vähähiilisesti. Ongelmana vain on se, että keinoja hyödynnetään paikoin heikosti. Tässä työssä pureuduttiin ainoastaan rakenteiden elinkaaren rakennusvaiheeseen, kun tosiasiasa päästöjä syntyy kaikista elinkaaren vaiheista, vaikka rakentamisvaihe onkin merkittävin. Jotta kokonaisuudesta saa resurssiviisaan ja elinkaaresta hiilineutraalin, täytyy tarkastella myös käyttö- ja purkuvaihetta, ja kehittää myös niihin toimivat resurssiviisaat mallit. Infrarakentamisessa valtaosa energiankäytöstä kuluu kunnossapitoon, joten erityisesti sen osa-alueen tarkastelu olisi kokonaisuuden kannalta tärkeää. Tämän aiheen parissa riittää siis vielä kehitettävää ja jatkotutkimusaiheita.

Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Kuopion kaupungille, ja työn tuloksia voidaan hyödyntää kaupungin resurssiviisausstrategiassa. Kun kaikki hankkeet toteutetaan resurssiviisaasti, tai ainakin kartoitetaan kyseiseen hankkeeseen kannattavimmat ja kestävimmat ratkaisut, on se aina askeleen lähempänä hiilineutraalia Suomea 2035.

LÄHTEET

BCS Öko-Garantie GmbH - Ecobility Experts 2017. Environmental Product Declaration. Viitattu 3.8.2023

https://www.baumineral.de/downloads/file/504/EPD-Baumineral-030-Kesselsand_Grobalith_Scholven_ENG.pdf.

Betoni 2023. Kotimaista ja paikallista raaka-ainetta. Viitattu 18.10.2023

<https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/kiviaines>.

EG Finland 2023. EG Fore. Viitattu 19.7.2023 <https://eg.fi/it/eg-fore>.

Enäsuo, M. 2023. Kuopion kaupunki, Kaupunkitekniiikan palvelut. Rakennuttaja. Työpaikan sisäiset materiaalit. Viitattu 29.6.2023.

Euroopan komissio 2023. Ilmastomuutoksen syyt. Viitattu 20.9.2023

https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_fi.

Euroopan parlamentti 2021. EU:n ilmastolaki: parlamentti hyväksyi

ilmastoneutraaliuden vuoteen 2050 mennessä. Viitattu 13.9.2023

<https://www.europarl.europa.eu/news/fi/press-room/20210621IPR06627/ilmastolaki-eu-parlamentti-hyvaksyi-ilmastoneutraaliuden-vuoteen-2050-mennessa>.

– 2022. Mitä hiilineutraalius tarkoittaa ja miten se saavutetaan 2050 mennessä? Viitattu 13.9.2023

<https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20190926STO62270/mita-hiilineutraalius-tarkoittaa-ja-miten-se-saavutetaan-2050-mennessa#:~:text=Joulukuussa%202019%20Euroopan%20komissio%20esitteli%20Euroopan%20vihre%C3%A4n%20kehityksen,my%C3%B6t%C3%A4%20ilmastoneutraaliudesta%20vuoteen%202050%20menness%C3%A4%20tuli%20sitovaa%20EU-lains%C3%A4%C3%A4d%C3%A4nt%C3%B6%C3%A4>.

– 2023. Interaktiivinen aikajana: opas ilmastoneuvotteluihin. Viitattu 20.9.2023

https://www.europarl.europa.eu/infographic/climate-negotiations-timeline/index_fi.html#event-1972.

Hiilineutraalisuomi.fi 2023. Rakentamisen päästötietokanta. Viitattu 20.7.2023

https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Tyokalut/Rakentamisen_paastotietokanta.

Ilmasto-opas.fi 2022. Sopimukset ohjaavat kansainvälistä ilmastopolitiikkaa.

Viitattu 20.9.2023 <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/sopimukset-ohjaavat-kansainvalista-ilmastopolitiikkaa>.

INFRA ry 2023. Arvio infrarakentamisen päästöistä päivittyi. Rakennusteollisuus

20.6.2023. Viitattu 1.8.2023 <https://www.rt.fi/INFRA/Ajankohtaista/tiedotteet2-kansio/2023/arvio-infrarakentamisen-paastoista-paivittyi>.

Kiviniemi, O., Sikiö, J., Jyrävä, H., Ollila, S., Autiola, M., Ronkainen, M., Lindroos, N., Lahtinen, P. & Forsman, J. 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja. Ramboll 13.1.2012. Viitattu 18.10.2023 https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/10/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf.

Koneluokitus 2023. Stage-päästöluokitus. Viitattu 8.8.2023 <https://www.koneluokitus.fi/stage-paastoluokitus>.

Krogerus, M. & Kähkönen, S. 2020. Suomen katuja rakennetaan kiinalaisesta kivistä, vaikka kotimaisen kiven hiilijalanjälki on 80 prosenttia pienempi. Yle 17.8.2020. Viitattu 16.11.2023 <https://yle.fi/a/3-11497923>.

Kuopion kaupunki 2023. Ilmastopoliittinen ohjelma. Viitattu 30.6.2023 <https://www.kuopio.fi/asuminen-ja-ymparisto/viksu-kuopio/ilmastopoliittinen-ohjelma/>.

Känkänen, R. 2023. Resurssiviisaus infrarakentamisessa – uusia alkuja. Rakennustekniikka 2023. Viitattu 7.7.2023 <https://www.ril.fi/fi/rakennustekniikka/resurssiviisaus-infrarakentamisessa-uusia-alkuja.html>.

Laine, A., Raivio, T., Jonsson, H., Heino, A., Klimscheffskij & Lehtomäki, J. 2020. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 Osa 1. Rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytila. Rakennusteollisuus 28.5.2020. Viitattu 2.8.2023 <https://rt.fi/wp-content/uploads/2023/11/rt-1-rakennetun-ympariston-hiilielinkaaren-nykytila.pdf>.

Lehtovirta, T. 2023. Infrarakentamisen hiilidioksidiekvivalenttipäästöt Suomessa. Diplomityö, Aalto-yliopisto. Viitattu 20.9.2023 https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/120978/master_Lehtovirta_Tommi_2023.pdf.

OpenCO2net 2023. CO2-termit tutuiksi. Viitattu 25.10.2023 <https://www.openco2.net/fi/co2-tietoa>.

Rakennusteollisuus 2023. Vähähiilisyyden tiekartta. Viitattu 20.9.2023 <https://www.rt.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/vahahiilisyyden-tiekartta>.

Renewa-fi.com 2023. Hiilineutraalius. Viitattu 13.9.2023 <http://renewa-fi.com/hiilineutraalius>.

Routa-Lindroos, S. & Nenonen, N. 2014. Luonnonkiviainesten ja niitä korvaavien uusiomateriaalien käyttö Pirkanmaalla. Viitattu 20.9.2023 https://maakuntakaava2040.pirkanmaa.fi/sites/default/files/Luonnonkiviainesten%20ja%20uusiomateriaalien%20k%C3%A4ytt%C3%B6_valmis_140915.pdf.

Sitra 2023. Resurssiviisaalla alueella asukkaat, talous ja ympäristö voivat hyvin. Viitattu 20.7.2023 <https://www.sitra.fi/aiheet/resurssiviisaus>.

Suomen Ympäristökeskus 2023. Infrarakentamisen päästötietokanta. Viitattu 19.7.2023 <https://co2data.fi/infra>.

Suomi.fi 2022. Ympäristöjärjestelmät. Viitattu 16.11.2023
<https://www.suomi.fi/yritykselle/vastuut-ja-velvollisuudet/ymparistovastuut-ja-velvoitteet/opas/yrityksen-ymparistoasioiden-hallinta/ymparistojarjestelmat>.

Teittinen, T. 2019. Uusiomaarakentamisen ympäristövaikutusindikaattorit ja päästölaskenta tie- ja katurakentamisessa. Diplomityö, Aalto-yliopisto. Viitattu 18.10.2023
https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/37164/master_Teittinen_Tuuli_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Wikipedia 2023. Euro-päästöluokitukset. Viitattu 8.8.2023
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Euro-p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6luokitukset>.

Ympäristöministeriö 2023. Ilmastolainsäädäntö. Viitattu 13.9.2023
<https://ym.fi/ilmastolainsaadanto>.