

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

2024

Eino Tähkää

Polttomoottorikäyttöisten työkoneiden korvaaminen sähkökäyttöisillä työkoneilla

– päästöttömät green deal -sopimuksen työmaat

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

2024 | 41 sivua

Eino Tähkäpää

Polttomoottorikäyttöisten työkoneiden korvaaminen sähkökäyttöisillä työkoneilla

- päästöttömät green deal -sopimuksen työmaat

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli teettää tutkimus toimeksiantajalle rakennustyömaan polttomoottorikäyttöisten työkoneiden hiilidioksidipäästöistä sekä niiden vähentämisestä työkoneiden sähköistämisellä. Tällä pyritään selvittämään toimeksiantajan mahdollisuudet työmaidensa polttomoottorikäyttöisten koneiden korvaamiseen lähtökohtaisesti sähkökäyttöisillä laitteilla. Työn toimeksiantaja on Turun Kaupunki.

Tutkimus toteutettiin valitsemalla vertailukohteeksi pilottirakennushanke, jonka päästöjen kehitystä arvioitiin työmaan alusta loppuun saakka, pyrittiin tunnistamaan suurimmat päästökuormituksen aiheuttajat sekä etsimään vaihtoehtoiset ratkaisut näiden laitteiden tilalle.

Tutkimuksen edetessä havaittiin suurimmat päästöjen muodostajat ja että asiaan on jo useamman laitevalmistajan toimesta tuotu markkinoille tarkoituksenmukaista laitteistoa, joilla voidaan päästä erittäin lähelle haluttua lopputulosta.

Tutkimuksesta voidaan kuitenkin päätellä, että vaikka tavoite on kunnianhimoinen ovat asetetut tavoitteet suurilta osin tavoitettavissa ja realistisia. Kuitenkin urakoitsijoille tulee miettiä joitain kannustimia tällaisen täyssähköisen teknologian hankinnan ja käyttöönoton edistämiseksi.

Asiasanat:

päästötön työmaa, ympäristö, green deal, hiilidioksidipäästöt

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction and Municipal Engineering

2024 | 41 pages

Eino Tähkää

Replacing heavy machinery powered by internal combustion engines with electric substitutes

- zero emission construction sites -green deal

The purpose of this thesis was to conduct research on the carbon dioxide emissions of the heavy machinery usage on construction sites as well as their options for emission reduction through electrification. The client is City of Turku and this research is part of their endeavor to end their use of fossil fuels by replacing all of their machinery powered by internal combustion engines with primarily electric substitutes.

One of the construction projects of the client was chosen as a pilot for this research. The research was executed by monitoring and evaluating the emissions from the beginning to the end of the project. The aim was also to identify the primary causes of the emission load as well as finding appropriate alternatives for the client.

During the project the most significant emission impacts were identified. It was also concluded that several manufacturers have already launched electric equipment that is appropriate for the needs of the client.

Although the goal of the client and their schedule is ambitious, it can be concluded that it is attainable and realistic. However, there is a need for inducement to encourage the contractors to acquire and deploy fully electric technology.

Keywords:

zero emission construction site, environment, green deal, carbon dioxide
emission

Sisältö

Käytetyt lyhenteet	7
1 Johdanto	8
2 Euroopan vihreän kehityksen ohjelma	9
2.1 Green deal-sopimukset	10
2.2 Päästöttömät työmaat	11
2.3 Työkoneiden sähköistäminen	13
3 Pilottihanke: As Oy Harppuunan Kippari	15
3.1 BREEAM-sertifikaatti ja EU taksonomia	17
3.2 Pilottihankkeen päästöjen muodostuminen	18
3.2.1 Pohjarakennus	18
3.2.2 Perustukset	20
3.2.3 Runkorakenteet	20
3.2.4 Vesikattorakenteet, julkisivu- ja sisävalmistustyöt	21
3.2.5 Piha-alueen pintarakenteet	23
3.2.6 Työmaan jätehuolto	23
3.2.7 Päätelmät ja tulokset muodostuneista päästöistä	26
4 Ratkaisut päästöjen vähentämiseksi	28
4.1 Pohjarakennusvaihe	28
4.2 Perustusvaihe	29
4.3 Runkotyövaihe	30
4.4 Vesikattorakenteet, julkisivu- ja sisävalmistustyöt	32
4.5 Piha-alueen pintarakenteet	33
4.6 Jätehuolto	34
5 Lopputulokset ja päätelmät	37
Lähteet	39

Kuvat

Kuva 1. As Oy Harppuunan Kippari	15
Kuva 2. Ote asemapiirustuksesta.	16

Kaaviot

Kaavio 1. Hiilidioksidipäästöjen jakauma työvaiheittain.	26
--	----

Taulukot

Taulukko 1. Pohjarakennusvaiheen päästölaskelmat työkoneittain	19
Taulukko 2. Perustusvaiheen päästölaskelmat työkoneittain	20
Taulukko 3. Runkotöiden päästölaskelmat työkoneittain	21
Taulukko 4. Vesikattorakenteet, julkisivu- ja sisävalmistustöiden päästölaskelmat työkoneittain	22
Taulukko 5. Piha-alueen pintarakennetöiden päästölaskelma-arviot työkoneittain	23
Taulukko 6. Työmaan jätehuollon kuljetuksista kertyvät CO ² -päästöt	25
Taulukko 7. Pohjarakennusvaiheen vaihtoehtoiset työkoneet	29
Taulukko 8. Perustusvaiheen vaihtoehtoiset työkoneet	30
Taulukko 9. Runkotyövaiheen vaihtoehtoiset työkoneet	32
Taulukko 10. Vesikatto-, julkisivu- ja sisävalmistustöiden vaihtoehtoiset työkoneet	33
Taulukko 11. Piha-alueen pintarakenteiden rakentamisen vaihtoehtoiset laitteet	34
Taulukko 12. Jätehuollon vaihtoehtoiset laitteet	35

Käytetyt lyhenteet

A	ampeeri
As Oy	asunto-osakeyhtiö
BRE	rakennustieteen keskus, Building research establishment
BREEAM	rakentamisen ympäristöluokitusjärjestelmä, Building research establishment environmental assesment method
CO ₂	hiilidioksidi
EU	Euroopan unioni
Oy	osakeyhtiö
ry	rekisteröity yhdistys
V	volti
YM	ympäristöministeriö

1 Johdanto

Euroopan tavoitteena on olla ensimmäinen ilmastoneutraali maanosa. Yhtenä välitavoitteena on pienentää kasvihuonekaasujen nettopäästöjä vähintään 55 prosenttia vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoon. Tätä tavoitetta silmällä pitäen on luotu Euroopan vihreän kehityksen ohjelma, jossa yhtenä teemana on päästötön työmaa. Työn tilaaja on Turun kaupunki.

Turun kaupunki on yhdessä Senaattikiinteistöjen, Vantaan, Espoon ja Helsingin kaupunkien kanssa sitoutunut vähentämään työmaidensa kasvihuonepäästöjä ja asettanut tavoitteekseen, ettei vuoden 2025 jälkeen kaupungin työmailla käytettäisi lainkaan fossiilisia polttoaineita. Vuoteen 2030 mennessä 50 % työkoneista ja työmaakuljetuksista toimii joko sähköllä, vedyllä tai biokaasulla. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa tietoa ja kartoittaa Turun kaupungin mahdollisuudet täyttää tämä tavoite.

Päästöjen hallinta on erittäin ajankohtainen ja tärkeä aihe, 2022 voimaan astuneen ilmastolain ja siinä asetettujen tavoitteiden vuoksi sekä globaalisti jo vuosikymmeniä suurena puheenaiheena olleen ilmastomuutoksen ja sen hallinnan vuoksi. Opinnäytetyö sisältää kaksi osaa, tutkimus, jossa ensimmäisessä osassa tutkitaan Turun alueen kerrostalotyömaata, jota käytetään pilottihankkeena ja lähtökohtana työmaan päästöjen muodostumisesta polttomoottorikäyttöisten työkoneiden osalta. Työn toisessa osassa sovelletaan työmaalta kerättyä tietoa ja etsitään vaihtoehtoisia ratkaisuja, joiden voimanlähteenä on lähtökohtaisesti sähkö.

Opinnäytetyön tärkein lähde on pilottirakennushanke, jonka kanssa on pystyttävä tiiviiseen yhteistyöhön. Muita lähteitä ja materiaalia on saatavilla Turun kaupungilta, Euroopan unionin ja ympäristöministeriön julkaisuista sekä rakennuskoneiden valmistajien edustajilta ja vuokraajilta.

.

2 Euroopan vihreän kehityksen ohjelma

Ilmastonmuutos ja ympäristön pilaantuminen asettaa paljon haasteita Euroopalle ja koko maailmalle. Niitä voidaan pitää perustavanlaisena uhkana ja tähän pyritään vastaamaan Euroopan vihreän kehityksen ohjelmalla. Ohjelman tavoitteena on tehdä EU:sta resurssitehokas, kilpailukykyinen ja moderni talous. Toimenpiteet tähän tavoitteeseen pääsemiseksi ovat

- kasvihuonekaasujen nettopäästöjen poistaminen vuoteen 2050 mennessä
- talouskasvun erottaminen resurssien käytöstä
- että mitään aluetta tai ketään ihmistä ei jätetä jälkeen muista

Euroopan vihreän kehityksen ohjelman rahoitus koostuu EU:n seitsemänvuotisesta budjetista sekä NextGenerationEU-elpymissuunnitelman investoinneista, joista kustakin kolmasosa käytetään ohjelman toteutukseen. (Euroopan unioni 2024c)

Ilmastonmuutos tarjoaa mahdollisuuden uuden talousmallin rakentamiseen ja tätä perustavanlaatuista muutosta valmisteltiin vuonna 2019 julkistetulla Euroopan vihreän kehityksen ohjelmalla. Ohjelmassa kaikki 27 EU-maata ovat sitoutuneet tekemään EU:sta ensimmäisen ilmastoneutraalin maanosan vuoteen 2050 mennessä sekä vähentämään päästöjä 55 prosenttia vuoteen 2030 mennessä, vuoden 1990 tasoon nähden. (Euroopan unioni 2024c)

Euroopan unioni on sitoutunut Eurooppa-neuvoston päätöksellä vähentämään kasvihuonekaasujen nettopäästöjä vähintään 55 prosenttia vuoteen 2030 mennessä. Vertailulukuna käytetään vuoden 1990 tasoa. Vuoden 2030 tavoite on sisällytetty EU:n ilmastolakiin, kuten myös tavoite ilmastoneutraalista Euroopan unionista vuoteen 2050 mennessä. Euroopan unionin ilmastolaki tuli voimaan heinäkuussa 2021. (Ympäristöministeriö 2023a)

Suomen ilmastolaki on tullut voimaan heinäkuussa 2022 ja sen keskeisenä sisältönä ovat mm. hiilineutraaliustavoite ja päästövähennystavoitteet. Ilmastolaissa asetetaan kansallisia ilmastotavoitteita, mutta ei toimia päästöjen

vähentämiseksi tai ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi, vaan toimet määritetään lain nojalla laadittavissa suunnitelmissa. (Ympäristöministeriö 2022)

Turun kaupungin tavoitteena on olla hiilineutraali vuonna 2029 ja siitä eteenpäin ilmastopositiivinen alue. Päästöjen vähentämisessä Turku on tavoiteuralla kaupunkikonsernin hallinnassa oleviin merkittäviin päästölähteisiin kohdistuneiden toimenpiteiden ansiosta. (Sitoumus2050, 2023a) Opinnäytetyö on osa Turun kaupungin Scale up -hanketta, joka keskittyy kestävän liikenteen kehittämiseen kaikilla liikkumisen osa-alueilla, luoden käyttäjälähtöistä liikkumista. Turun osalta hankkeen tavoitteista yksi, on hiilineutraalin kaupunkilogistiikan ja työmaiden edistäminen.

Opinnäytetyön alkuvaiheessa pidettiin palaveri, jossa sovittiin, että vertailun vuoksi olisi oleellista kerätä tietoja, kuinka nykyaikaisen rakennustyömaan hiilidioksidipäästöt muodostuvat, mitkä ovat suurimmat päästöjen aiheuttajat ja mitkä ovat mahdollisuudet niiden vähentämiseen nyt ja tulevaisuudessa näitä asetettuja tavoitteita ajatellen.

2.1 Green deal-sopimukset

Euroopan vihreän kehityksen ohjelman pohjalta on luotu Green deal -sopimuksia. Sopimuksia voidaan pitää ohjauskeinoina ohjelmaan sitoutuneen valtion ja toimeenpanevan elimen, kuten elinkeinoelämän tai kuntasektorin välillä. Sopimusten tavoitteena on edistää kestävän kehityksen tavoitteita yhdessä. Green deal -sopimusten avulla etsitään ratkaisuja ilmasto- ja ympäristöhaasteisiin, luonnonvarojen ylikulutukseen, luonnon monimuotoisuuden vähentämiseen sekä kiertotalouden edistämiseen. Sopimukset ovat määräaikaista ja ne sidotaan valtion joko elinkeinoelämän tai julkisen sektorin, kuten kunnan tai viraston kanssa.

Sopimuksia on laadittu teemoittain (Sitoumus2050, 2023b)

- Muovikassien vähentäminen
- Autoala
- Öljyjätehuolto
- Työkoneala
- Kestävä purkaminen
- Päästötön työmaa
- Kestävät hankinnat varhaiskasvatuksessa
- Rakentamisen muovit
- Yhdyskuntajätteen puhdistaminen
- Muoviset annospakkaukset

Turun kaupunki on sitoutunut yhdessä Senaatti-kiinteistöjen, Espoon, Helsingin ja Vantaan kaupunkien kanssa vapaaehtoiseen Green deal -sopimukseen työmailla syntyvien päästöjen vähentämiseksi. Sopimuksen tavoitteena on, että kaupunkien ja Senaatti-kiinteistöjen työmailla ei käytetä fossiilisia polttoaineita vuoden 2025 jälkeen lainkaan ja työmailla käytettävistä työkoneista sekä työmaiden kuljetuksista 50 prosenttia toimii vaihtoehtoisesti sähköllä, biokaasulla tai vedyllä vuoteen 2030 mennessä. (Turun kaupunki 2020)

Sopimuksen tavoitteiden edistyminen raportoidaan osapuolten toimesta vuosittain Sitoumus2050-alustalla.

2.2 Päästöttömät työmaat

Suomessa rakentamisen osuus kasvihuonepäästöistä ja energiankulutuksesta on noin 5 prosenttia. Rakentamisessa päästöjä muodostuu työmaatoiminnoista, rakentamisaikaisesta lämmittämisestä, materiaalien kuljettamisesta ja valmistamisesta sekä rakentamisaikaisesta energiankulutuksesta. Näiden lisäksi rakentamiseen lasketaan rakennusten käytönaikainen energiankulutus ja siitä syntyvät päästöt sekä lopulta rakennuksen purkaminen. Näistä päästöistä

suurin osa, noin kolme neljäsosaa, muodostuu rakennuksen käytönaikaisesta energiankulutuksesta. Loput päästöt syntyvät varsinaisen rakentamisen aikana. Kulutus jakautuu kahteen lähes yhtä suureen osaan; noin puolet kulutuksesta syntyy materiaalien valmistamisesta ja loput työmaatoiminnoista sekä kuljetuksista. (Rakennusteollisuus ry 2020)

Päästöttömät työmaat -sopimuksen tavoitteina ovat vauhdittaa vähäpäästöisten teknologioiden käyttöönottoa sekä vähentää hankintayksiköiden työmailla syntyviä päästöjä pitkäjänteisesti julkisten hankintojen avulla. Hankintayksiköt ovat sopijaosapuolia, kuten kaupunkeja, kuntia, virastoja tai muita julkisen sektorin hankintaorganisaatioita. Vuoden 2025 loppuun mennessä on tavoitteena, että hankintayksiköiden uusilla, alkavilla työmailla käytettävistä kuljetuskalustoista ja työkoneista 100 prosenttia toimii fossiilivapailla polttoaineilla ja 20 prosenttia näistä toimii sähköllä. Vuoden 2030 loppuun mennessä sähkötoimisten koneiden ja kuljetuskaluston odotetaan kattavan 50 prosenttia käytettävästä kalustosta. Sopimuksen väliarvioinnin mukaan 93 prosenttia kyselyyn vastanneista arvioi tavoitteiden täyttyvän joko täysin tai osittain. (Ympäristöministeriö 2024)

Päästöttömät työmaat-sopimuksen tavoitteisiin pääseminen on aloitettu ottamalla päästötön työmaa -konsepti osaksi toimintaa sekä asettamalla työmaille vähimmäisvaatimustason työkoneiden sekä kuljetuskaluston pakokaasuluokituksille. Keskeisenä keinona tavoitteiden saavuttamisen kannalta voidaan pitää koneiden, kuljetuskaluston ja laitteiden sähköistämistä. (Ympäristöministeriö 2024)

Turun kaupunki on julkistanut syyskuussa 2020 allekirjoittaneensa green deal -sopimuksen työmailla syntyvien päästöjen vähentämiseksi. Päästöjen vähentämiseen voidaan vaikuttaa useilla eri tavoilla. Työnaikaiseksi lämmitysratkaisuksi voidaan suunnitella fossiilisia polttoaineita käyttävien rakennuslämmittimien tilalle joko kaukolämmöllä tai uusiutuvalla energialla tuotettua lämpöä, työkoneiden käyttövoimana käytettävä moottoripolttoöljy tai dieselöljy voidaan osittain tai kokonaan korvata sähköisillä tai vähäpäästöisemmällä voimanlähteillä. Julkisen sektorin tekemät hankinnat ja

toimet päästöttömien työmaiden edelläkävijänä ovat merkittävä tekijä vähäpäästöisten ratkaisujen markkinoiden ja laajemman käyttöönoton kehittämiseksi. (Sitoumus2050, Päästöttömät työmaat – kestävien hankintojen green deal -sopimus)

2.3 Työkoneiden sähköistäminen

Työkoneet ovat laitteita, jotka on suunniteltu erilaisiin työsovelluksiin tieliikenteen ulkopuolella. Ilmastovuosikertomuksen mukaan kaikkien työkoneiden yhteenlaskettu osuus Suomen hiilidioksidipäästöistä oli noin 5 prosenttia vuonna 2022. Tähän sisältyy myös rakennustyömaiden ulkopuolella käytettävät työkoneet. Kaivinkoneiden osuus näistä päästöistä on noin 19 prosenttia ja noin neljäsosa työkoneiden päästöistä koostuu pyöräkuormaajien, nostimien sekä vastapainotrukkien päästöistä. (Ympäristöministeriö, Ilmastovuosikertomus 2022, 2023)

Työkonealan green deal -sopimus on solmittu vuonna 2019 yhdessä YM:n sekä Teknisen Kaupan Liitto ry:n kanssa. Sopimus on muiden green deal-sopimusten mukaisesti vapaaehtoinen ja se kannustaa työkonealaa etsimään sekä kehittämään keinoja työkoneiden päästöjen vähentämiseksi. Sopimuksen voimassaolo päättyy vuoden 2025 loppuun asti ja se koskee koko työkonealaa. Työkonealan ja Päästöttömät työmaat -sopimukset täydentävät toisiaan kehittäen tarjontaa ja kysyntää vähäpäästöisille työkoneille. (Ympäristöministeriö, Työkonealan green deal-sopimuksen väliarviointi, kaudelta 10/2019–12/2022, 2023)

Työkoneiden green deal -sopimuksen tavoitteena on vähentää työkoneiden tuottamia hiilidioksidipäästöjä. Tavoitteiden saavuttaminen edellyttää lisäämään täyssähköisten ja vähäpäästöisten koneiden tarjontaa, tukemaan uusiin ratkaisuihin sekä kannustamaan vähäpäästöisten ratkaisujen hyödyntämiseen ja muihin hiilidioksidipäästöjä vähentäviin toimenpiteisiin, kuten osaamisen kehittämiseen asiakastoimialoilla. (Sitoumus2050, Työkonealan green deal)

Opinnäytetyössä käsittelyn pääpaino on rakennustyömaan hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä työkoneiden sähköistämisen avulla. Tällöin on syytä myös sivuta tätä osaa green deal -sopimuksesta, vaikka opinnäytetyön toimeksiantaja ei ole tässä sopimuksessa suoraan sopimussuhteessa.

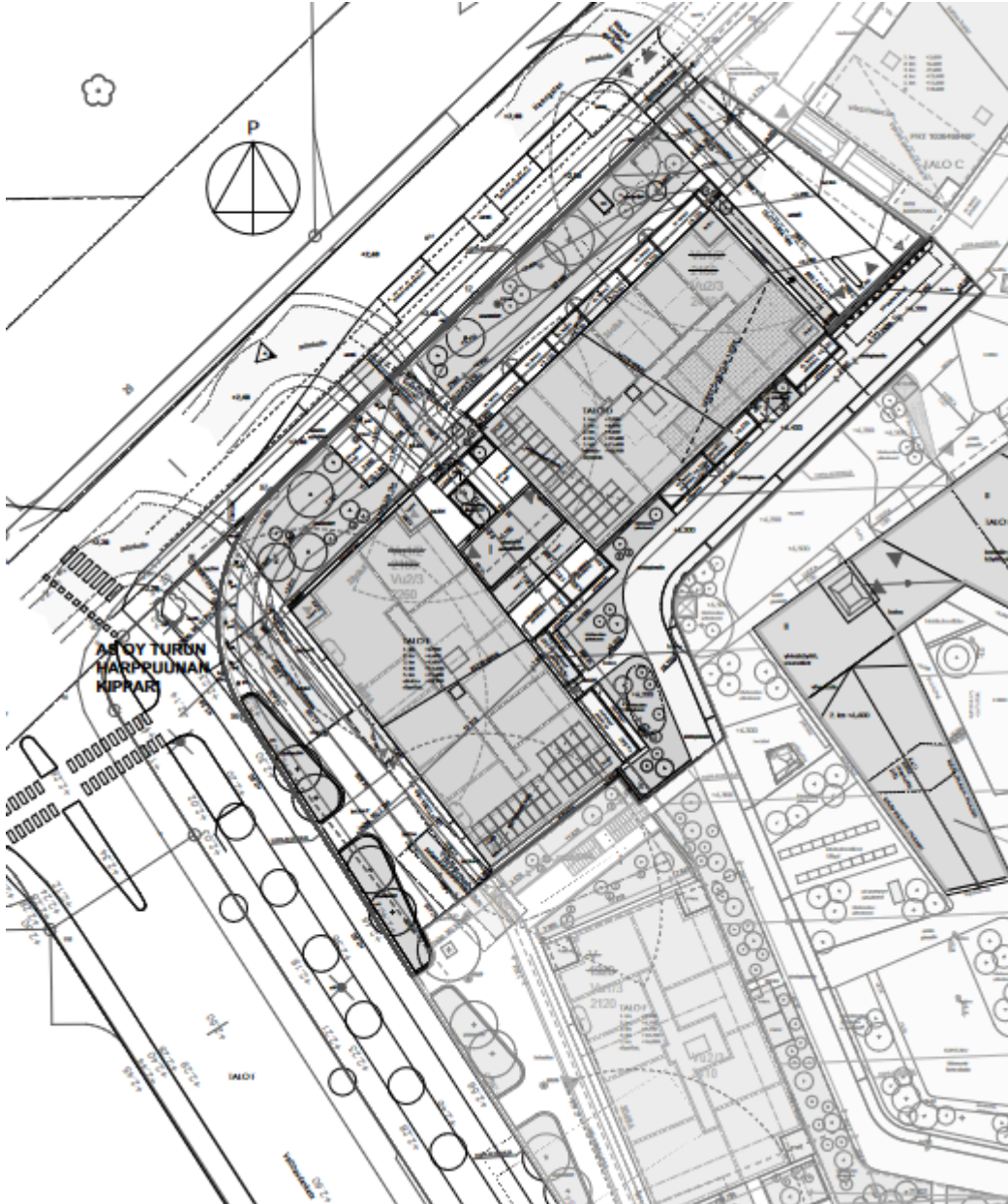
3 Pilottihanke: As Oy Harppuunan Kippari

Opinnäytetyössä pilottihankkeena toimii Asunto-osakeyhtiö Harppuunan Kippari. Työmaa sijaitsee osoitteessa Vallihaudankatu 1 D ja 1 E, 20100 Turku, Harppuunakorttelin alueella. Kohteen rakennuttajana toimii Premico Consulting Oy ja pääurakoitsijana Mangrove Oy. Kohteen rakentaminen ajoittuu maaliskuun 2023 ja kesäkuun 2024 välille.



Kuva 1. As Oy Harppuunan Kippari

Kohteessa rakennetaan kaksi kuusikerroksista kerrostaloa, pohja-alaltaan yhteensä 4 750 m² ja tilavuudeltaan 19 300 m³. Kuusikerroksisiin kiinteistöihin rakentuu yhteensä 95 asuntoa, kooltaan 27,5 m²– 78 m² sekä yksi liiketila. Rakennukset ovat teräsbetonirunkoisia rakennuksia, joiden pystyrakenteet ovat elementtirakenteisia ja laatastot paikallavalettuja rakenteita. Rakennuksen lämmönlähteenä toimii maalämpö.



Kuva 2. Ote asemapiirustuksesta.

Kohteella on energiatehokkuusluokka A, BREEAM-sertifikaatti ja se on Euroopan unionin taksonomian mukainen hanke. (Mangrove Oy:n edustaja, keskustelu 19.1.2024)

3.1 BREEAM-sertifikaatti ja EU taksonomia

BREEAM-luokitus on Euroopan johtava rakentamisen ympäristöluokitusjärjestelmä, joka pohjautuu yhteiseen eurooppalaiseen normistoon. BREEAM-järjestelmässä arvioitsija tarkistaa vaatimusten täyttymisen hankkeessa ja raportoi hankkeesta BRE:lle, joka raportin perusteella myöntää sertifiointin. Rakennusten sertifiointit luokitellaan täytettyjen kriteerien perusteella viiteen luokkaan: pass, good, very good, excellent ja outstanding. BREEAM-luokituksen mittareita voidaan soveltaa kansallisesti huomioimaan parhaat käytännöt, mikä tällöin helpottaa vaatimusten soveltamista hankkeessa. (Green Building Council Finland ry 2023)

EU taksonomia eli luokitusjärjestelmä on Euroopan unionin kestävää toimintaa koskeva luokitusjärjestelmä. Luokitusjärjestelmä on tärkeä osa EU:n kestävän rahoituksen sekä markkinoiden avoimuuden väline, jonka on tarkoitus helpottaa kestävää sijoittamista. Taksonomia muodostuu asetuksesta, joka tuli voimaan 12. heinäkuuta 2020. Luokitusjärjestelmä vahvistaa neljä yleistä edellytystä, jotka taloudellisen toiminnan on täytettävä, jotta se voidaan katsoa kestäväksi ympäristön kannalta. Luokitusjärjestelmässä asetetaan kuusi ilmasto- ja ympäristötavoitetta (Euroopan unioni 2024a)

- Ilmastonmuutoksen hillitseminen
- Ilmastonmuutokseen sopeutuminen
- Vesivarojen ja meren luonnonvarojen kestävä käyttö ja suojele
- Siirtyminen kiertotalouteen
- Pilaantumisen ehkäiseminen ja vähentäminen
- Biologisen monimuotoisuuden ja ekosysteemien suojele ja ennallistaminen

3.2 Pilottihankkeen päästöjen muodostuminen

Pilottihankkeen hakeman BREEAM-sertifikaatin myöntäminen edellyttää projektin kokonaisvaltaista ympäristövaikutusten huomioon ottamista. Tämän takia hankkeen toteutuksen aikaiset hiilidioksidipäästöt on kerätty kuukausittain, kohteen työmaainsinöörin toimesta työmaakokousten pöytäkirjoihin. Opinnäytetyön ajankohtana työmaalla on käynnissä sisävalmistustyöt ja osa päästöjen muodostumisista joudutaan arvioimaan. Polttomoottorin litrakohtaisena CO₂-päästö määränä pidetään 2 689 gramma/litra. (Suomen Ilmastopaneeli, Autokalkulaattori 2023) Opinnäytetyötä varten kohteen työmaainsinööriä on haastateltu hankkeen hiilidioksidipäästöjen syntymisestä sekä päästöjen synty rakenteesta työmaan eri vaiheissa. (Mangrove Oy:n edustaja, keskustelu 19.1.2024) Polttoaineen kulutus on laskelmoitu työmaalla tapahtuvien toimien mukaan. Laitteiden ja koneiden siirtoa ei ole huomioitu kohteessa syntyvinä päästöinä, kuten ei materiaali- tai polttoainetuotannosta aiheutuneita hiilidioksidipäästöjä. Kohteen suunnittelussa, hankinnoissa sekä toteutuksessa huomioidaan sertifikaatin edellytykset.

3.2.1 Pohjarakennus

Haastattelussa mainittiin kohteen maa-alueen olleen tasamaatontti ja töiden alkaessa maan pinnan taso oli ollut erittäin lähellä tulevaa perustamiskorkoa. Kiinteistöllä oli aikaisemmin suoritettu massanvaihto, pilaantuneiden maa-ainesten vuoksi toisen toimijan toimesta. Tämä osuus jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Rakennukset on perustettu paalujen varaan. Kohteessa on täten vaadittu maanrakennustyökoneiden lisäksi lyöntipaalutuskonetta sekä paalujen toimituksiin kuljetuskalustoa. Näiden sekä maanrakennuksessa käytettyjen koneiden ja laitteiden päästöt ilmenevät työmaan omasta päästökirjanpidosta. Kirjanpitoa on pidetty yllä työmaainsinöörin toimesta, joka on laitteiden kulutustiedot saanut töitä suorittaneilta urakoitsijoilta. Pohjarakennusvaiheeseen on luettu mukaan myös maalämpökaivojen. Pohjarakennuksessa syntyneet

päästöt on taulukoitu työkoneittain taulukkoon 1. Taulukossa esiintyvät arvot perustuvat työmaahenkilöstön tietoihin. Lähtötiedot on saatu kohteessa työskennellyiltä urakoitsijoilta sekä työmaahenkilöstön tekemistä havainnoista.

Taulukko 1. Pohjarakennusvaiheen päästölaskelmat työkoneittain

Pohjarakennus		Käytettävä CO ₂ -määrä/kulutettu polttoainelitra			2689 g	
Työ	Kone/Laite	Käytetty määrä	yks.	Polttoaineen kulutus/yks. (l)	Kulutus yht.	CO ₂ yht. (g)
Kaivuutyöt	Kaivinkone -16 t	40	h	15	600	1613400
Kiviainestoimitukset	Kasettijärjestelmä	24	erä	5	120	322680
Paalutus	Lyöntipaalukone	1	erä	500	500	1344500
Materiaali-toimitukset	K-A, 4-aks	13	erä	5	65	174785
Materiaalinostot	K-A & Nosturi	3	h	12	36	96804
Betonikuljetukset	Sekoitusäiliöauto	8	erä	6	48	129072
Betonointi	K-A & Betonipumppu	4	h	35	140	376460
Maalämpökaivojen poraus	Poravaunu & kompressori	3	erä	500	1500	4033500

Sarakkeet on jaoteltu työvaiheessa tehtyihin töihin, kussakin työssä käytetyn koneen, työmaalla todettujen työmäärien, urakoitsijalta tai laitevalmistajalta saadun polttoaineen kulutuksen sekä niiden perusteella laskettujen kokonaishiilidioksidipäästöjen mukaan.

Taulukosta voidaan todeta, että suurimmat yksittäiset päästöt muodostuvat maalämpökaivojen porauksista sekä kaivinkoneiden kaivu- ja täyttötöistä. Näiden työvaiheiden sähköistäminen on opinnäytetyön osalta ensisijaisia ratkaistavia tekijöitä päästöjen pienentämisen kannalta.

3.2.2 Perustukset

Rakennusten perustusten pääasiallinen materiaali on teräsbetoni. Kohteen laatastot, ala- sekä välipohjalaatastot, ovat paikalla valettuja ja perustukset ovat suhteellisen matalia. Perustusvaiheen CO₂ -päästölaskelmat on taulukoitu työkoneittain taulukkoon 2.

Taulukko 2. Perustusvaiheen päästölaskelmat työkoneittain

Perustukset		Käytettävä CO ₂ -määrä/kulutettu polttoainelitra			2689 g	
Työ	Kone/Laite	Käytetty määrä	yks.	Polttoaineen kulutus/yks. (l)	Kulutus yht.	CO ₂ yht. (g)
Kaivuu- ja täyttötöyt	Kaivinkone -16 t	61	h	15	915	2460435
Kiviainestoimitukset	Kasettijärjestelmä	24	erä	5	120	322680
Materiaalitoimitukset	K-A, 4-aks	13	erä	5	65	174785
Materiaalinostot	K-A & Nosturi	10,5	h	12	126	338814
Betonikuljetukset	Sekoitusäiliöauto	43	erä	6	258	693762
Betonointi	K-A & Betonipumppu	30,2	h	35	1057	2842273
Maantiivistys	Täryjyrä	60	h	1,6	96	258144

Taulukosta voidaan todeta, että perustustöissä suurimmat päästöt työkoneista, syntyvät perustusten betonoinnista sekä maanrakennuskoneista, rakennuksen pohjan ja ympäristön täyttötöissä. Näiden kohtien huomioiminen on ensisijaisen tärkeää, kun etsitään ratkaisua päästöjen vähentämiselle.

3.2.3 Runkorakenteet

Rakennusten rungot koostuvat elementtirakenteisista pystyosista sekä paikalla valetuista laatastoista. Elementti- ja materiaalitoimitusten määrä tässä rakentamisvaiheessa on täten suuri, kuten myös koneellisesti suoritettujen nostotöiden määrä. Kohteessa on käytetty sekä polttomoottorikäyttöistä mobiilinnostokonetta että sähkökäyttöistä torninostokonetta. Rakennusten runko on pystytetty kesäkuukausina, mutta kuivattamisen ja lämpötilan tasauksen

vuoksi kohteen rakennuksia on jouduttu lämmittämään rakennuslämmittimillä, joissa polttoaineena käytetään dieselöljyä. Runkotyövaiheen hiilidioksidipäästölaskelmat on taulukoitu työkoneittain taulukkoon 3.

Taulukko 3. Runkotöiden päästölaskelmat työkoneittain

Runkotyöt		Käytettävä CO ₂ -määrä/kulutettu polttoainelitra			2689 g	
Työ	Kone/Laite	Käytetty määrä	yks.	Polttoaineen kulutus/yks. (l)	Kulutus yht.	CO₂ yht. (g)
Betonointi	K-A & Betonipumppu	109,5	h	35	3832,5	10305592,5
Betonikuljetukset	Sekoitussäiliöauto	247	erä	6	1482	3985098
Materiaalitoimitukset	K-A, 4-aks	65	erä	6	390	1048710
Materiaalinostot	K-A & Nosturi	106	h	12	1272	3420408
Elementtitoimitukset	Puoliperävaunu	149	erä	6	894	2403966
Elementtinostot	Mobiilinostokone	54	h	9	486	1306854
Torninosturin pystytys	Mobiilinostokone	40	h	9	360	968040
Materiaalisiirrot	Pyöräkuormaaja	79	h	10	790	2124310
Henkilönostin	Puominostin	1	erä	592	592	1591888
Rakennusaikainen lämmitys	Rakennuslämmitin	340	h	17,75	6035	16228115

Laskelmien mukaan runkutyövaiheen päästöt muodostavat suurimman osan rakentamisaikaisista päästöistä. Rakennusaikainen lämmittäminen on suurin yksittäinen CO₂ -päästöjen tuottaja, yhdessä betonointitöiden kanssa. Näiden työvaiheiden päästöjen pienentäminen on oleellista opinnäytetyön osalta.

3.2.4 Vesikattorakenteet, julkisivu- ja sisävalmistustyöt

Rakennusten vesikatot ovat puurakenteisia. Kattoristikot ovat tehdasvalmisteisia puuristikoita ja katemateriaalina on teräspelti. Julkisivut ovat rapattuja julkisivuja ja ikkunat ovat puu-alumiini-ikkunoita. Kevyet väliseinät ovat teräsrankaisia kipsilevyseiniä, jotka on tasoitettu ja maalattu. Huoneistojen ja portaikkojen väliset ovet ovat paloluokiteltuja, äänieristettyjä ovia.

Vesikattorakenteissa, julkisivu- ja sisävalmistustöissä käytettävät materiaalit ja esivalmistetut elementit toimitetaan työmaalle joko täsmätoimituksina, jolloin ne nostetaan suoraan asennuspaikalle toimitusajoneuvosta tai materiaali varastoidaan työmaa-alueelle. Mikäli materiaalit varastoidaan työmaa-alueelle, tulee materiaalien siirtäminen koneellisesti työmaan tehtäväksi. Kohteen yleisaikataulun mukainen rakentamisajankohta näille töille on syys-talviaikana, joten myös koneellisesti työmaa-alueella tehdyt mahdolliset lumityöt on huomioitu hiilidioksidipäästölaskennassa. Työvaiheen hiilidioksidipäästölaskelmat on taulukoitu työkoneittain taulukkoon 4.

Taulukko 4. Vesikattorakenteet, julkisivu- ja sisävalmistustöiden päästölaskelmat työkoneittain

Vesikattorakenteet, julkisivu- ja sisävalmistustyöt						
Käytettävä CO ₂ -määrä/kulutettu polttoainelitra						2689 g
Työ	Kone/Laite	Käytetty määrä	yks.	Polttoaineen kulutus/yks. (l)	Kulutus yht.	CO₂ yht. (g)
Materiaalisiirrot	Kurottaja	114,5	h	12	1374	3694686
Materiaalisiirrot	Pyöräkuormaaja	10	h	10	100	268900
Henkilönostin	Puominostin	80	h	7,65	612	1645668
Henkilönostin	Saksilavanostin	480	h	7,65	3672	9874008
Materiaalitoimitukset	K-A, 4-aks	119	erä	6	714	1919946
Materiaalinostot	K-A & Nosturi	36	h	12	432	1161648

Taulukon 4 mukaan työvaiheen suurimmat päästöt syntyvät materiaalien toimituksista, koneellisista nostoista sekä materiaalien siirtämisestä työmaa-alueella. Voidaan todeta, että kuljetus- ja siirtokaluston sähköistämisellä on suuri merkitys koko hankkeen päästöjen muodostumisen kannalta.

3.2.5 Piha-alueen pintarakenteet

Piha-alueen pintamateriaalina on betonilaatta. Betonilaatan alle levitetään murskekerros, joka tiivistetään koneellisesti ja tasataan ennen laattojen asennustyötä. Murskekerros levitetään koneellisesti ja murske toimitetaan kuorma-autoilla työmaalle.

Opinnäytetyön tekohetkellä piha-alueen pintarakenteita ei ollut vielä aloitettu, joten materiaali- ja työmenekit on arvioitu työkoneittain taulukkoon 5.

Taulukko 5. Piha-alueen pintarakennetöiden päästölaskelma-arviot työkoneittain

Piha-alueen pintarakenteet						
Käytettävä CO ₂ -määrä/kulutettu polttoainelitra					2689 g	
Työ	Kone/Laite	Käytetty määrä	yks.	Polttoaineen kulutus/yks. (l)	Kulutus yht.	CO ₂ yht. (g)
Kaivuu- ja levitystyöt	Kaivinkone -8 t	80	h	5,2	416	1118624
Kiviainestoimitukset	Kasettijärjestelmä	10	erä	5	50	134450
Materiaalitoimitukset	K-A, 4-aks	2	erä	5	10	26890
Materiaalinostot	K-A & Nosturi	2	h	12	24	64536
Kivetystyöt, materiaalsiirrot	Pyöräkuormaaja	80	h	10	800	2151200

Piha-alueen viimeistelytöiden suurimmat päästöt muodostuvat maanrakennus- sekä siirtokaluston käytöstä (Taulukko 5). Näiden työkoneiden sähköistäminen on etusijalla, kun työvaiheen päästöjä pyritään laskemaan.

3.2.6 Työmaan jätehuolto

Rakennustyömaalta syntyy aina jätettä. Jäte koostuu erilaisista materiaalien pakkauksista sekä materiaalien hukkakappaleista ja ylijäämistä. Materiaalien työstöstä syntyy pölyjätteitä, joita kerätään työstön yhteydessä ja rakennussiivouksessa imureilla koko työmaan ajan. Rakennustyömaan jätehuolto suunnitellaan osana työmaan toteutusta ja kiertotalous otetaan

huomioon asettamalla omat kierrätysastiansa mahdollisuuksien mukaan kaikille suunnitelluille jätteille. Jätteiden vastaanottokeskukset ovat hinnoitelleet eri jätteiden vastaanottomaksut siten, että ammattimaisessa rakentamisessa on taloudellisesti järkevää eritellä jätteet jo työmaalla. (Mangrove Oy:n edustaja, keskustelu 19.1.2024)

Tyypillisesti rakennustyömaalta kertyy suurimpina jätemäärinä mineraalijätteitä, kuten ylimääräisiä tai käyttökelvottomia maa-aineksia, rakennus- ja polttokelpoista jätettä, pahvi- ja muovijätettä sekä loppujätteitä, kuten mineraalivillajätettä ja bitumijätettä. Myös kipsijäte kerätään omana jätteenään.

Pilottihankkeessa jätteet ovat eriteltyinä jätelavoihin tai -astioihin, jotka toimitetaan sekä tyhjennetään yhteistyökumppanin toimesta työmaan tilauksesta. Kuljetuskalustona toimivat kuorma-autot erilaisin vaihtolava- tai jätteenkeräysvarustein.

Hankkeen jätehuollon kuljetuksista syntyneet hiilidioksidipäästölaskelmat on taulukoitu oheiseen taulukkoon 6. Laskelmissa ei ole huomioitu kuljetusta, vaan pelkästään työmaalla tapahtuva lavan vaihtotyö.

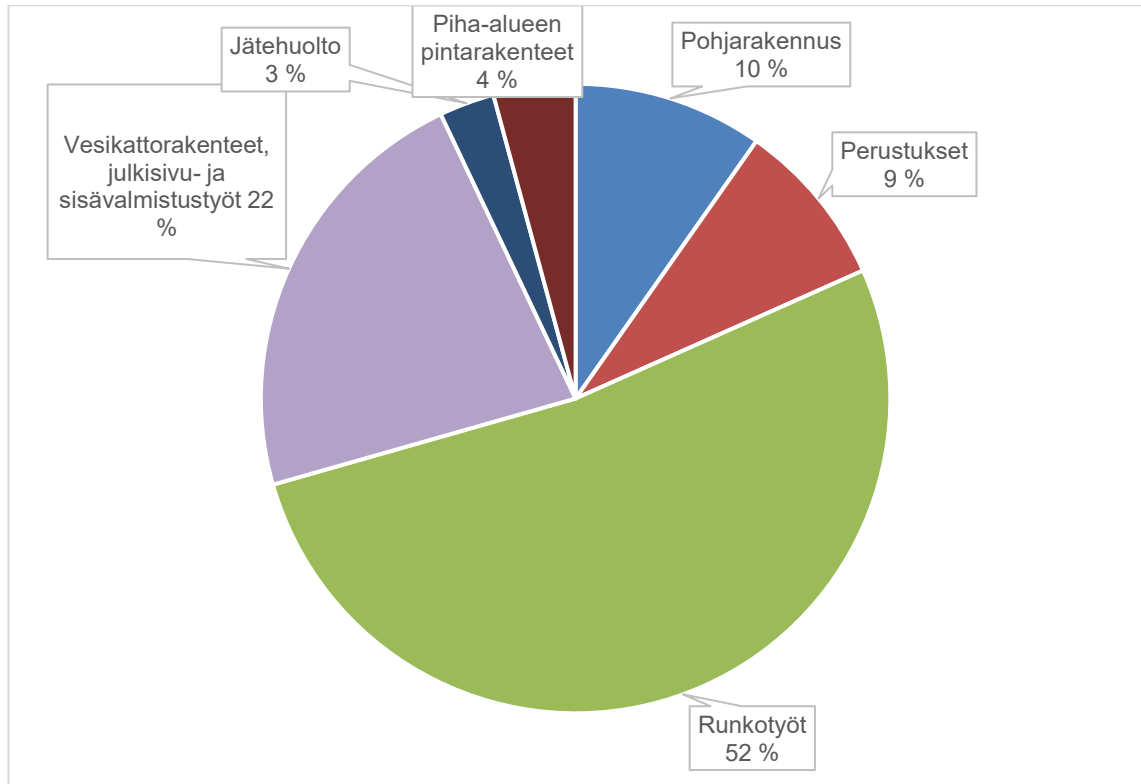
Taulukko 6. Työmaan jätehuollon kuljetuksista kertyvät CO² -päästöt

Käytettävä CO ₂ -määrä/kulutettu polttoainelitra						
2689 g						
Jätehuolto						
Työ	Kone/Laite	Käytetty määrä	yks.	Polttoaineen kulutus/yks. (l)	Kulutus yht.	CO ₂ yht. (g)
Kyllästetty puutavara	K-A & Vaihtolava	1	erä	6	6	16134
Rakennusjäte	K-A & Vaihtolava	34	erä	6	204	548556
Puujäte	K-A & Vaihtolava	45	erä	6	270	726030
Metallijäte	K-A & Vaihtolava	8	erä	6	48	129072
Muovijäte	K-A & Vaihtolava	10	erä	6	60	161340
Betonijäte	K-A & Vaihtolava	18	erä	6	108	290412
Tiilijäte	K-A & Vaihtolava	2	erä	6	12	32268
Polttokelpoinen jäte	K-A & Vaihtolava	5	erä	6	30	80670
Kipsijäte	K-A & Vaihtolava	9	erä	6	54	145206
Aerosoliastiat	K-A & Vaihtolava	1	erä	6	6	16134
Bitumijäte	K-A & Vaihtolava	1	erä	6	6	16134
Kaakelijäte	K-A & Vaihtolava	3	erä	6	18	48402
Pahvijäte	K-A & Vaihtolava	5	erä	6	30	80670
Mineraalivillajäte	K-A & Vaihtolava	4	erä	6	24	64536

Jätehuollon osalta päästölaskelmat on koottu 12/2023-ajankohtaan saakka ja opinnäytetyön ajankohdan jälkeiset jätemäärät arvioitu. Jätehuollon muodostamat päästöt syntyvät jätteiden kuljetuksista. Opinnäytetyössä ei huomioitu jätteiden käsittelyä.

3.2.7 Päätelmät ja tulokset muodostuneista päästöistä

Päästölaskelmat perustuvat työmaan henkilöstön tekemiin laskelmiin, joiden lähtötietoina ovat urakoitsijoilta saadut ennakkotiedot sekä omat laskelmat ja päätelmät. Laskelmien tulokset määräytyvät työmaalla käytetyn ajan sekä joko urakoitsijalta tai laitteen valmistajalta saadun kulutuksen mukaan.



Kaavio 1. Hiilidioksidipäästöjen jakauma työvaiheittain.

Kaaviosta 1 voidaan tulkita, että suurimmat päästöt muodostuvat runkotyövaiheesta. Runkotyövaiheessa suurimmat päästöt syntyivät rakennusaikaisesta lämmittämisestä sekä betonointityöistä ja suurimmat betonointityöt on tehty rakennusten laatastojen betonoinnissa. Tässä voitaisiin päästä pienemmällä työmaakohtaisilla päästöillä, jos laatastot toteutettaisiin elementtirakenteisina, kun elementtien valmistamista ja niiden kuljetusta tehtaalta kohteeseen ei huomioida laskelmissa.

Toiseksi suurimmat päästöt muodostuvat vesikatto-, julkisivu- ja sisävalmistustöistä. Päästöjä muodostuu eniten materiaalityöistä, niiden nosto- ja siirtotöistä ja tässä työvaiheessa syntyy myös eniten pakkausjätettä. Suurimpana tekijänä kuitenkin voidaan pitää kuljetus- ja siirtokaluston polttoaineiden kulutuksia.

Jo pelkästään nämä kaksi edellä mainittua työvaihetta muodostavat noin 74 % koko hankkeen laskennallisista päästöistä, ja kun huomioon otetaan työvaiheiden jätehuolto, täytyy jo yli kolme neljäsosaa hankkeen päästöistä. Tästä syystä on oleellista, että näiden työvaiheiden päästöjen pienentäminen on toimiesittäjän tavoitteiden osalta erittäin oleellista.

4 Ratkaisut päästöjen vähentämiseksi

Turun kaupungin välitavoitteesi on asetettu, ettei kaupungin työmailla käytettäisi fossiilisia polttoaineita vuoden 2025 jälkeen ja että työmaalle tehtävistä kuljetuksista sekä kohteessa käytettävistä työkoneista vähintään 50 prosenttia toimisi sähköllä, vedyllä tai biokaasulla vuoteen 2030 mennessä. (Turun kaupunki 2020)

Opinnäytetyön aiheen pääpaino on polttomoottorikäyttöisten koneiden ja laitteiden päästöjen vähentäminen vaihtamalla voimanlähde fossiilisesta polttoaineesta (benssiini, dieselöljy tai moottoripolttoöljy) sähköiseen vaihtoehtoon. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi oli siis löydettävä valmistajilta tietoa vaihtoehtoisista ratkaisuista eri työvaiheisiin. Vaihtoehtoisista ratkaisuista selvitettiin potentiaali kyseisessä työvaiheessa, normaalia käyttöä hankaloittavat seikat sekä niiden hankinnan kannalta tärkeät tiedot. Opinnäytetyötä varten haastateltiin eri valmistajien henkilöstöä ja selvitettiin edellä mainittuja kohtia sekä vaihtoehtoja päästöttömän työmaan toteuttamiseen.

4.1 Pohjarakennusvaihe

Opinnäytetyön mukaisten laskelmien mukaan pohjarakennusvaihe on 3. eniten CO₂ -päästöjä tuottava työvaihe. Suurimpana yksittäisenä päästöjen aiheuttajana on maalämpökaivojen poraus, joka muodostaa noin puolet pohjarakennusvaiheessa syntyvistä päästöistä. Muita suuripäästöisiä töitä ovat raskailla työkoneilla tehtävät paalutus- ja kaivuutyöt. Laskelmissa ei ole huomioitu murskeiden valmistuksessa syntyviä päästöjä eikä työmaan ulkopuolella suoritettujen kuljetusten aiheuttamia päästöjä.

Eri valmistajilla on vaihtoehtoisia ratkaisuja pohjarakennusvaiheen työkoneille. Paalutuskonevalmistaja Junttan, maanrakennuskoneita valmistava Volvo Construction Equipment sekä maansiirtoautoja ja kuljetuskalustoa valmistava Volvo ovat kehittäneet täyssähköisiä vaihtoehtoja, joiden suorituskyky vastaa pohjarakennusvaiheessa käytettyjen koneiden suorituskykyä. (Junttan Oy:n,

Volvo Construction Equipment:n, Sailmet Oy:n, Scania Suomi Oy:n sekä Volvo Finland Ab:n edustajat, keskustelu 1.3.2024)

Taulukkoon 7 on koottu pohjarakennusvaiheen korvaava laitteisto työvaiheittain.

Taulukko 7. Pohjarakennusvaiheen vaihtoehtoiset työkonemat

Pohjarakennus				
Työ	Kone/Laite	Käytetty määrä	yks.	Poltto-aine
Kaivuutyöt	Volvo EC230 Electric	40	h	Täyssähkö
Kiviainestoimitukset	Volvo FMX Electric	24	erä	Täyssähkö
Paalutus	Junttan PMx2e	1	erä	Täyssähkö
Materiaalitoimitukset	Volvo FMX Electric	13	erä	Täyssähkö
Materiaalinostot	Kurko Crane- sähkökoneikko	3	h	Työmaasähkö
Betonikuljetukset	Volvo FMX Electric	8	erä	Täyssähkö
Betonointi	IONtron -järjestelmä	4	h	Työmaasähkö
Maalämpökaivojen poraus	Qmatec-poravaunu + Powerpack & Atlas Copco Y35-sähkökompressori	3	erä	Täyssähkö

Taulukon 7 mukaisesti voidaan todeta, että suurin osa laitteista on tutkimushetkellä korvattavissa joko täyssähköisellä, akkuteknologiaa käyttävällä koneella ja osa laitteista saadaan toimimaan työmaalta saatavilla olevalla virtalähteellä. Työmaasähköön liitettävät laitteet kulkeutuvat kohteeseen polttomoottorin avulla, mutta varsinaiset työmaatoiminnot voidaan suorittaa sähköisellä voimanlähteellä.

4.2 Perustusvaihe

Perustusvaiheen suurimmat hiilidioksidipäästöt muodostuvat betoniperustusten betonoinnista sekä maanrakennuksen raskaalla kalustolla teetetystä kaivu- ja täyttötöistä. (Taulukko 2) Perustusvaiheessa käytetyn kiviainesten tuotannosta tai kuljetuksista syntyneitä päästöjä ei ole huomioitu laskelmissa. Kuten pohjarakennusvaiheessa, myös perustusvaiheessa käytettyjen työkonemat

valmistajilla on tarjolla joko täyssähköisiä tai työmaasähköllä käytettäviä laitteita, joiden suorituskyky vastaa vaadittua tasoa.

Taulukkoon 8 on koottu perustusvaiheessa käytettävien koneiden vaihtoehtoiset ratkaisut työvaiheittain.

Taulukko 8. Perustusvaiheen vaihtoehtoiset työkoneet

Perustukset				
Työ	Kone/Laite	Käytetty määrä	yks.	Polttoaine
Kaivuu- ja täyttötöyt	Volvo EC230 Electric	61	h	Täyssähkö
Kiviainestoimitukset	Volvo FMX Electric	24	erä	Täyssähkö
Materiaalitoimitukset	Volvo FMX Electric	13	erä	Täyssähkö
Materiaalinostot	Kurko Crane-sähkökoneikko	10,5	h	Työmaasähkö
Betonikuljetukset	Volvo FMX Electric	43	erä	Täyssähkö
Betonointi	IONtron -järjestelmä	30,2	h	Työmaasähkö
Maantiivistys	Wacker DPU6555HE	60	h	Diesel

Opinnäytetyön hetkellä voidaan todeta, että maantiivistystä ei voida valitulla laitteistolla teettää ilman CO₂ -päästöjä, mutta muut työvaiheet ovat teetettävissä joko täyssähköisellä tai työmaasähköön kytkettävällä laitteistoilla.

4.3 Runkotyövaihe

Runkotyövaiheen CO₂ -päästöt ovat työmaan suurimmat, mikä kattaa hieman yli puolet koko pilottihankkeen kokonaispäästöistä (kaavio 1). Suurin yksittäinen hiilidioksidikuorma syntyy runkovaiheessa rakennuksen lämmityksestä diesel -käyttöisillä rakennuslämmittimillä. (Taulukko 3) Lämmittimien aiheuttamat päästöt kattavat lähes 20 % koko hankkeen laskennallisista päästöistä, joten on oleellista, että tähän toimintatapaan kiinnitetään huomiota kehitystapoja valittaessa.

Rakennusaikainen lämpö on mahdollista tuottaa myös käyttämällä täyssähköisiä lämmönlähteitä tai tehdä sopimus paikallisen kaukolämpötoimittajan kanssa. Tämä edellyttää näin suuressa hankkeessa kuitenkin lämmönjakoa varten oman järjestelmänsä, esimerkiksi rakenteisiin asennettavan vesikiertoisin järjestelmän ja työaikaisen lämmönvaihtimen. Suurimmilla rakennuskonevuokraamoilla on tuotevalikoimissaan myös tällaisia työnaikaisia lämmönvaihdinpaketteja. Kuten pilottihankkeessakin on toimitettu, on rakennusten lopullinen lämmitysjärjestelmä, otettu myös työmaan käyttöön välittömästi sen ollessa mahdollista. (Mangrove Oy:n edustaja, keskustelu 19.1.2024)

Rakennusten pystyosat ovat elementtirakenteisia, joiden nostoa varten kohteessa on käytetty torninosturia. Torninosturi toimii sähköllä, mutta nosturin pystyttäminen ja purkaminen edellyttää tehokkaan mobiilinosturin käyttöä. Työkonevalmistajan edustajan mukaan tarvittavan kokoluokan mobiilinosturia ei ole opinnäytetyön hetkellä saatavilla. (Liebherr-Finland Oy Ab:n edustaja, keskustelu 5.2.2024)

Taulukkoon 9 on koottu runkotyövaiheessa käytettävien koneiden vaihtoehtoiset ratkaisut työvaiheittain.

Taulukko 9. Runkotyövaiheen vaihtoehtoiset työkoneet

Runkotyöt				
Työ	Kone/Laite	Käytetty määrä	yks.	Polttoaine
Betonointi	iOntron -järjestelmä	109,5	h	Työmaasähkö
Betonikuljetukset	Volvo FMX Electric	247	erä	Täyssähkö
Materiaalitoimitukset	Volvo FMX Electric	65	erä	Täyssähkö
Materiaalinostot	Kurko Crane-sähkökoneikko	106	h	Työmaasähkö
Elementtitoimitukset	Mercedes Benz eActros 600	149	erä	Täyssähkö
Elementtinostot	Mobiilinnostokone	54	h	Diesel
Torninosturin pystytys ja purku	Mobiilinnostokone	40	h	Diesel
Materiaalisiirrot	Volvo L25 Electric	79	h	Täyssähkö
Henkilönostin, puomi	Manitou 200 ATJe	1	erä	Täyssähkö
Rakennusaikainen lämmitys	Kaukolämpö tai sähkölämmitys + kiertovesi	340	h	Kaukolämpö/ Täyssähkö

Rakennusaikaisen lämmityksen lisäksi suuri osa runkovaiheen päästöistä syntyy betonointitoista, jotka voidaan teettää työmaasähköön liitettävällä iOntron-järjestelmällä, jolloin betonin pumppaus suoritetaan sähköisellä voimanlähteellä. (Swerock Oy:n edustaja, keskustelu 5.2.2024)

4.4 Vesikattorakenteet, julkisivu- ja sisävalmistustyöt

Vesikattorakenteiden rakentamisen sekä julkisivu- ja sisävalmistusvaiheiden CO₂ -kuormitus on työmaan toiseksi suurin (kaavio 1). Tämä johtuu pitkälti suuresta määrästä materiaalia, joka näiden vaiheiden aikana kulkeutuu rakennustyömaalle sekä materiaalien työmaan sisäisistä siirroista.

Pilottityömaan sisäisiin siirtoihin käytetään nostokoneita, kurottajia sekä pyöräkuormaajia. Julkisivu- ja parveketöissä käytetään diesel -käyttöisiä henkilönostimia. (Mangrove Oy:n edustaja, keskustelu 19.1.2024)

Taulukkoon 10 on koottu vesikatto-, julkisivu- sekä sisävalmistustyövaiheiden vaihtoehtoiset ratkaisut työvaiheittain.

Taulukko 10. Vesikatto-, julkisivu- ja sisävalmistustöiden vaihtoehtoiset työkoneet

Vesikattorakenteet, julkisivu- ja sisävalmistustyöt				
Työ	Kone/Laite	Käytetty määrä	yks.	Polttoaine
Materiaalisiirrot	Manitou MRT 2660e	114,5	h	Täyssähkö
Materiaalisiirrot	Volvo L25 Electric	10	h	Täyssähkö
Henkilönostin, puomi	Manitou 200 ATJe	80	h	Täyssähkö
Henkilönostin, saksilava	Genie GS-4655 E-Drive	480	h	Täyssähkö
Materiaalitoimitukset	Volvo FMX Electric	119	erä	Täyssähkö
Materiaalinostot	Kurko Crane-sähkökoneikko	36	h	Työmaasähkö

Taulukon 10 mukaan voidaan todeta, että suurin osa työvaiheista on opinnäytetyön hetkellä teetettävissä täyssähköisillä laitteilla. Nostotyöt voidaan teettää työmaan sähköverkkoon liitettävällä laitteella. (Turun Nostopalvelu Oy:n sekä Kurko-Crane Oy Ltd:n edustaja, keskustelu 1.3.2024)

4.5 Piha-alueen pintarakenteet

Piha-alueen pintarakenteet asennetaan kaivinkoneella sekä pyöräkuormaajalla. Kiviaines toimitetaan kuorma-autoilla ja betonilaatoituksen pohja tiivistetään koneellisesti. (Mangrove Oy:n edustaja, keskustelu 19.1.2024)

Työvaiheiden suurimmat päästöt muodostuvat käytettävien työkoneiden päästöistä. Hankkeen mahdollisesti käytettävissä laitteistoissa on ollut täyssähköisiä kaivinkoneita sekä pyöräkuormaajia, joita voidaan hyödyntää myös tässä työvaiheessa, kuitenkin sillä poikkeuksella, että pohja- ja perustusvaiheessa käytetty kaivinkone on työtehtävään ja jäljellä olevaan tilaan nähden liian suuri, joten se tulee korvata pienemmällä laitteella.

Taulukkoon 11 on koottu piha-alueen pintarakenteiden rakentamiseen käytettävien koneiden vaihtoehtoiset laitteet.

Taulukko 11. Piha-alueen pintarakenteiden rakentamisen vaihtoehtoiset laitteet

Piha-alueen pintarakenteet				
Työ	Kone/Laite	Käytetty määrä	yks.	Polttoaine
Kaivuu- ja levitystyöt	Volvo ECR25 Electric	120	h	Täyssähkö
Kiviainestoimitukset	Volvo FMX Electric	10	erä	Täyssähkö
Materiaalitoimitukset	Volvo FMX Electric	2	erä	Täyssähkö
Materiaalinostot	Kurko Crane-sähkökoneikko	2	h	Työmaasähkö
Kivetystyöt, materiaalisirrot	Volvo L25 Electric	80	h	Täyssähkö

4.6 Jätehuolto

Jätehuolto pitää järjestää koko työmaan ajan ja tämän takia on opinnäytetyön ajankohdan ja kohteen valmistumisen väliseltä ajalta syntyvien jätteiden määrä arvioitava. Tämä määrä on suoraan verrannollinen kuljetuskertojen määrään, jolloin myös kohteen päästöt kasvavat.

Kohteessa tehdyssä haastattelussa arvioitiin loppuvaiheen jätteiden kuljetuskerrat, jotka ovat listattuna taulukkoon 12. Vaihtoehtoiset ratkaisut ovat listattuina ko. taulukkoon.

Taulukko 12. Jätehuollon vaihtoehtoiset laitteet

Jätehuolto				
Työ	Kone/Laite	Käytetty määrä	yks.	Polttoaine
Kyllästetty puutavara	Volvo FMX Electric	1	erä	Täyssähkö
Rakennusjäte	Volvo FMX Electric	34	erä	Täyssähkö
Puujäte	Volvo FMX Electric	45	erä	Täyssähkö
Metallijäte	Volvo FMX Electric	8	erä	Täyssähkö
Muovijäte	Volvo FMX Electric	10	erä	Täyssähkö
Betonijäte	Volvo FMX Electric	18	erä	Täyssähkö
Tiilijäte	Volvo FMX Electric	2	erä	Täyssähkö
Polttokelpoinen jäte	Volvo FMX Electric	5	erä	Täyssähkö
Kipsijäte	Volvo FMX Electric	9	erä	Täyssähkö
Aerosoliastiat	Volvo FMX Electric	1	erä	Täyssähkö
Bitumijäte	Volvo FMX Electric	1	erä	Täyssähkö
Kaakelijäte	Volvo FMX Electric	3	erä	Täyssähkö
Pahvijäte	Volvo FMX Electric	5	erä	Täyssähkö
Mineraalivillajäte	Volvo FMX Electric	4	erä	Täyssähkö

Vaihtoehtoisten järjestelmien valinta pilottihankkeelle

Vaihtoehtoisten järjestelmien löytämiseksi, opinnäytetyössä haastateltiin yhtätoista eri tahoa, osa laitteistojen valmistajien edustajia, osa laitteistojen käyttäjiä: maanrakennuskoneita valmistava sekä toimittava Volvo Construction Equipment, kuljetuskalustoa toimittavat Volvo Finland Ab, Veho Oy Ab ja Scania Suomi Oy, paalutuskalustoa valmistava sekä toimittava Junttan Oy, keskiraskaita ja raskaita nosturiautoja valmistava Kurko Crane Oy Ltd, nostotyöpalveluja tuottava Turun Nostopalvelu Oy, valmisbetonitoimittaja Swerock Oy, geotermisiä kaivonporausvaunuja toimittava Sailmet Oy, kompressoritekniikkaa valmistava Oy Atlas Copco Kompressorit Ab, mobiilinostureita toimittava Liebherr-Finland Oy Ab.

Haastatteluja varten lähestyttiin eri toimijoita sähköpostitse sekä puhelimitse ja haastateltavat valittiin yhteistyöhalukkuuden sekä -mahdollisuuksien mukaan.

Keskustelut käytiin puhelimitse, mikä johtui eri toimijoiden sijainneista Suomessa.

5 Lopputulokset ja päätelmät

Toimeksiantajan välitavoite on, että vuoden 2025 loppuun mennessä työmaat ovat fossiilittomia ja tavoite vuoteen 2030 mennessä on, että työmailla käytettävistä työkoneista sekä työmaakuljetuksista 50 prosenttia toimii joko sähköllä, vedyllä tai biokaasulla. Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa mahdollisuudet työkoneiden täyssähköistämiseksi.

Tavoite on saavutettavissa, kuitenkin muutamia ongelmakohtia matkalle asettuu. Sähköteknologia työkoneiden sekä kuljetuskaluston voimanlähteenä on ollut käytössä jo jonkin aikaa. Ongelma näiden laitteiden käyttöönotossa on lähtökohtaisesti perustamiskustannuksissa sekä akkutoimisten laitteiden toimintasäteessä, -ajassa sekä -matkassa ja paikoin olemassa olevan sähköverkon riittävydessä. Kokonaan tai osittain sähkötoimisten koneiden ja laitteiden hankintakustannus on, koneesta riippuen, 1,2–2,5-kertainen polttomoottoritoimiseen laitteeseen nähden. Laittevalmistajien edustajia haastateltaessa kävi ilmi, että osaa laitteista ei valmisteta lainkaan myyntiin, mikä johtuu liian korkeaksi kohonneista hankintakustannuksista, mutta niitä valmistetaan erilaisilla vuokra- ja leasing-sopimuksilla käytettäväksi kunkin toimijan tarpeiden mukaan. Osaa koneista on suunniteltu, mutta suunnittelun edetessä on huomattu hankintakustannuksen kasvavan niin korkeaksi, että ei nähty kannattavaksi jatkaa edes koneen suunnittelua.

Koneiden työmaakäyttö edellyttää myös, että kohteessa on käytettävissä riittävästi sähköä näiden laitteiden lataamiseen, normaalin työmaatoiminnan lisäksi. Koneet edellyttävät vähintään 400V/32A:n ja osa 63A:n virtalähdettä, saavuttaakseen ihanteellisen latausajan sekä varaustason akustoissa työvuorojen välillä. Mikäli näitä koneita on samanaikaisesti useampia käytössä ja latauksessa, puhutaan yhtäaikaisesta useamman kymmenen kilowattitunnin sähkötehon tarpeesta.

Tutkimuksen perustella pilottihankkeessa voitaisiin suorittaa työtehtävät noin 97-prosenttisesti sähköisillä laitteistoilla. Mikäli toimittaisiin tavoilla, joilla hankkeessa on menetelty, polttomoottorikäyttöisiä laitteita käytettäisiin

kolmessa eri vaiheessa; maantiivistyksessä, raskaissa elementtinosastoissa ennen torninosturin pystytystä sekä torninosturin purkuvaiheessa. Menetelmiä muuttamalla pystyttäisiin maantiivistyksissä käytetty polttomoottorilaite korvaamaan täyssähköisellä, mutta se edellyttäisi enemmän aikaa työvaiheelle, johtuen hitaammasta menetelmästä. Mikäli hanke suoritettaisiin tutkimuksessa havaituilla ratkaisuilla, se edellyttäisi resurssien lisäämistä työmaan aikataulun suunnitteluun, työmaan työnaikaisen lämmitysjärjestelmän suunnitteluun, työmaan työnaikaisen sähköistyksen ja sähköjärjestelmän suunnitteluun sekä työmaan aluesuunnitteluun riittävän sähköistämisen järjestämiseksi.

Toistaiseksi on työvaiheita, joita ei voida täysin sähköisillä laitteilla teettää. Työkoneiden vaatimat tehomäärät ovat niin suuria, ettei vastaavanlaista sähkötoimista ole voitu kehittää tai sellaisen rakentaminen olisi kannattamatonta. Erään valmistajan mukaan on olemassa sähkökäyttöinen laite, jonka käyttö on erittäin rajoitettua, mikä johtuu niin suuresta sähkön tarpeesta. Tarve on niin suuri, että laitteen käyttöä ei voida suositella, ellei alueen sähköverkkoa hallinnoivaa tahoja ole asiasta konsultoitu. (Oy Atlas Copco Kompressorit Ad:n edustaja, keskustelu 1.3.2024)

Tutkimuksen valmistuttua voidaan todeta, että vuoden 2025 loppuun mennessä Turun kaupungin työmailla on mahdollista teettää työt sähkökäyttöisillä työkoneilla yli 90-prosenttisesti. Tämä riippuu kuitenkin työmaasta: työn laajuudesta, millaista työtä työmaalla tehdään ja millaisella aikataululla työt tehdään. Mikäli työt on tarkoitus teettää omalla kalustolla eikä sellaista vielä ole käytettävissä, on hankintaprosessin käynnistäminen aloitettava sellaisella aikataululla, että koneita tilataan vuoden 2024 loppuun mennessä. Haastatteluissa ilmeni, että valtaosalla sähkökäyttöisistä koneista toimitusaika noudattaa lähes samaa aikajanaa, kuin polttomoottorikäyttöisen koneen toimitusaikakin.

Ongelmien ratkaisu edellyttää urakoitsijoiden kannustamista tällaisen tekniikan hankintaan ja käyttöönottoon ja työmaiden toteutuksen suunnittelussa ja budjetoinnissa on otettava huomioon merkittävän suuri sähkön tarve laitteistojen käyttöä ajatellen.

Lähteet

Euroopan unioni 2024a. EU taxonomy for sustainable activities. Viitattu 28.2.2024. https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en?prefLang=fi#legislation

Euroopan unioni 2024b. Euroopan unionin vihreän kehityksen ohjelma. Viitattu 26.2.2024. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fi

Euroopan unioni 2024c. Euroopan vihreän kehityksen ohjelman toteuttaminen. Viitattu 26.2.2024 https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_fi

Green Building Council Finland ry 2023. Ympäristöluokitukset. Viitattu 26.2.2024. <https://figbc.fi/ymparistoluokitukset>

Junttan Oy:n edustaja 2024. Keskustelu. Junttan Oy:n edustajan kanssa keskusteli 1.3.2024 Eino Tähkääpää.

Kurko Crane Oy Ltd:n edustaja 2024. Keskustelu. Kurko Crane Oy Ltd:n edustajan kanssa keskusteli 1.3.2024 Eino Tähkääpää.

Liebherr-Finland Oy Ab:n edustaja 2024. Keskustelu. Liebherr-Finland Oy Ab:n edustajan kanssa keskusteli 5.2.2024 Eino Tähkääpää.

Mangrove Oy:n edustaja 2024. Keskustelu. Mangrove Oy:n edustajan kanssa keskusteli 19.1.2024 Eino Tähkääpää.

Oy Atlas Copco Kompressorit Ab:n edustaja 2024. Keskustelu. Oy Atlas Copco Kompressorit Ab:n edustajan kanssa keskusteli 1.3.2024 Eino Tähkääpää.

Rakennusteollisuus ry 2020. Leijonanosa rakennetun ympäristön päästöistä aiheutuu kiinteistöjen lämmityksestä. Viitattu 27.2.2024. <https://rt.fi/2020/03/leijonanosa-rakennetun-ympariston-paastoista-aiheutuu-kiinteistojen-lammityksesta/>

Sailmet Oy:n edustaja 2024. Sailmet Oy:n edustajan kanssa keskusteli 1.3.2024 Eino Tähkääpää.

Scania Suomi Oy:n edustaja 2024. Keskustelu. Scania Suomi Oy:n edustajan kanssa keskusteli 1.3.2024 Eino Tähkääpää.

Sitoumus2050. 2023b. Vapaaehtoiset green deal -sopimukset edistämässä ympäristötavoitteita. Viitattu 26.2.2024.

<https://www.sitoumus2050.fi/web/sitoumus2050/tietoa-green-dealista#/>

Sitoumus2050. 2023a. Turun kaupungin liittyminen Päästöttömät työmaat – kestävien hankintojen green deal -sopimukseen. Viitattu 26.2.2024.

<https://www.sitoumus2050.fi/web/sitoumus2050/toimenpidesitoumukset#//details/523952>

Suomen ilmastopaneeli. 2023. Autokalkulaattori. Viitattu 29.2.2024.

<https://www.ilmastopaneeli.fi/autokalkulaattori/>

Swerock Oy:n edustaja 2024. Keskustelu. Swerock Oy:n edustajan kanssa keskusteli 5.2.2024 Eino Tähkääpää.

Turun kaupunki. 2020. Turku pyrkii eroon työmaidensa fossiilisista polttoaineista vuoden 2025 loppuun mennessä. Viitattu 26.2.2024.

https://www.turku.fi/uutinen/2020-09-09_turku-pyrkii-eroon-tyomaidensa-fossiilisista-polttoaineista-vuoden-2025-loppuun

Veho Oy Ab:n edustaja 2024. Keskustelu. Veho Oy Ab:n edustajan kanssa keskusteli 1.3.2024 Eino Tähkääpää.

Volvo Construction Equipment:n edustaja 2024. Keskustelu. Volvo Construction Equipment:n edustajan kanssa keskusteli 1.3.2024 Eino Tähkääpää.

Volvo Finland Ab:n edustaja 2024. Keskustelu. Volvo Finland Ab:n edustajan kanssa keskusteli 1.3.2024 Eino Tähkääpää.

Ympäristöministeriö 2022. Ilmastolainsäädäntö. Viitattu 27.2.2024.

<https://ym.fi/ilmastolainsaadanto>

Ympäristöministeriö 2023a. Ilmastovuosikertomus 2022. Viitattu 27.2.2024.

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164392/YM_2022_24.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ympäristöministeriö 2024. Päästöttömät työmaat green deal -sopimus vauhdittaa fossiilisista polttoaineista irtautumista. Viitattu 26.2.2024.

<https://ym.fi/-/paastottomat-tyomaat-green-deal-sopimus-vauhdittaa-fossiilisista-polttoaineista-irtautumista>

Ympäristöministeriö 2023b. Työkonealan green deal – väliarviointi, kaudelta 10/2019 – 12/2022. Viitattu 27.2.2024.

<https://ym.fi/documents/1410903/42733297/Ty%C3%B6konealan+green+deal+-sopimuksen+arviointi+2023+-+tiivistelm%C3%A4.pdf/94ff25a0-76ee-2f55-d6dc-b5e2355528a2/Ty%C3%B6konealan+green+deal+-sopimuksen+arviointi+2023+-+tiivistelm%C3%A4.pdf/Ty%C3%B6konealan+green+deal+-sopimuksen+arviointi+2023+-+tiivistelm%C3%A4.pdf?t=1693540934592>