

Perustamistapojen ja -olosuhteiden vaikutus rakentamisen hiilijalanjälkeen

Laskentatyökalun kehittäminen ja pilotointi

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK), Kestävä kaupunkiympäristö

Kevät 2021

Sanna Hodju

Tiivistelmä

Tekijä(t) Hodju, Sanna Kaisa	Julkaisun laji Opinnäytetyö, YAMK	Valmistumisaika kevät 2021
	Sivumäärä 55	Liitteet 5 (15 sivua)
Työn nimi Perustamistapojen ja -olosuhteiden vaikutus rakentamisen hiilijalanjälkeen Laskentatyökalun kehittäminen ja pilotointi		
Tutkinto Insinööri (YAMK)		
Ohjaavan opettajan nimi, titteli ja organisaatio Eeva Aarrevaara, yliopettaja LAB-ammattikorkeakoulu Paul Carroll, opettaja LAB-ammattikorkeakoulu		
Toimeksiantajan nimi Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä käsitellään perustamistapojen ja -olosuhteiden vaikutusta rakentamisen hiilijalanjälkeen. Kirjallisen osan lisäksi kehitettiin Excel-pohjainen laskentatyökalu, jonka avulla voidaan laskea kohteen perustamistapojen aiheuttama hiilijalanjälki.</p> <p>Työssä esitellään kolmen esimerkkikohteen hiilijalanjälkilaskennan tulokset ja vertailu. Hiilijalanjälkeen vaikuttavat tulosten perusteella erityisesti betoniset rakenteet, maaperän stabilointi ja esimerkiksi asfalttipinnoitteet.</p> <p>Kaupungistumisen ja rakentamisen tiivistymisen myötä joudutaan usein valitsemaan pohjaolosuhteiltaan heikkolaatuisia rakentamiskohteita. Tulevaisuudessa rakennushankkeille tulee pakollinen päästölaskentavelvollisuus, jotta hanke voi saada rakennusluvan. Helpoiten hiilijalanjälkeen voidaan vaikuttaa rakennuspaikan valinnalla ja esimerkiksi suosimalla uusiomateriaaleja rakennekerroksissa.</p>		
Asiasanat hiilijalanjälki, pohjarakennesuunnittelu, perustamisolosuhteet, laskentatyökalu		

Abstract

Author(s) Hodju, Sanna Kaisa	Type of Publication Thesis, UAS	Published Spring 2021
	Number of Pages 55	Appendices 5 (15 pages)
Title of Publication The impact of founding methods and conditions on the carbon footprint of construction Developing a calculation tool		
Name of Degree Engineer (UAS)		
Name, title and organization of the supervising teacher Eeva Aarrevaara, principal lecturer LAB University of Applied Sciences Paul Carroll, lecturer LAB University of Applied Sciences		
Name of the client organization Pohjatekniikka Ltd		
Abstract <p>The thesis deals with the effect of foundation methods and conditions on the carbon footprint of a construction project. In addition to the written part, an Excel-based calculation tool was developed to calculate the carbon footprint caused by the way the foundation of the site was constructed.</p> <p>The results and comparison of the carbon footprint of three example sites are presented in the work. Based on the results, the carbon footprint is shown to be particularly affected by concrete structures, soil stabilisation and, for example, asphalt coatings.</p> <p>As urbanisation progresses and the urban structure becomes more compact, it is often necessary to choose construction sites with poor ground conditions. In the future, construction projects will have a mandatory emission calculation before the project can obtain a building permit. The easiest way to influence the carbon footprint is through the choice of construction site.</p>		
Keywords carbon footprint, geotechnical design, founding conditions, calculation tool		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Työn lähtökohdat	3
2.1	Tutkimuskysymykset ja työn rajausta.....	3
2.2	Käytetyt tutkimusmenetelmät ja lähtötiedot.....	3
2.3	Työn sisältö	4
3	Pohjarakennesuunnittelu	6
4	Hiilijalanjälkilaskentatyökalut rakennushankkeissa.....	7
4.1	Ympäristöministeriön julkaisema työkalu	7
4.2	LCA-tökalu	7
5	Perustamisolosuhteiden vaikutus hiilijalanjälkeen	9
5.1	Pohjavesi.....	9
5.2	Maa- ja kallioperä	10
5.2.1	Kivennäismaalajit.....	11
5.2.2	Eloperäiset maalajit	12
5.2.3	Kallioperä	12
5.3	Pilaantuneisuus maaperässä.....	13
5.4	Kynnysarvomassat	14
5.5	Meren läheisyys.....	15
5.6	Tulvariski	15
5.7	Hulevedet	16
5.8	Potentiaaliset happamat sulfaattimaat	17
6	Tulevan rakennuksen ominaisuuksien vaikutus hiilijalanjälkeen.....	20
7	Rakennuspaikan ominaisuuksien muokkaaminen.....	21
7.1	Kevennys.....	21
7.2	Stabilointi.....	22
7.3	Massanvaihto	22
8	Rakennuksen ja pihan perustamistapavaihtoehdot ja niiden hiilijalanjälki	23
8.1	Paaluperustus.....	24
8.2	Maanvarainen perustaminen	26
8.3	Kallionvarainen perustaminen.....	26
9	Perustamiskaivantojen toteutus	27
9.1	Luiskattu kaivanto.....	27
9.2	Tuettu kaivanto	28
10	Rakennekerrokset ja niiden hiilijalanjälki	30

10.1	Uusiomateriaalien käyttö.....	30
10.2	Neitseelliset maa- tai kallioainekset	31
10.3	Muut materiaalit	32
11	Työkoneiden aiheuttamat päästöt	33
11.1	Kuorma-autot.....	33
11.2	Pontituskone.....	34
11.3	Paalutuskone.....	34
11.4	Kaivinkone	35
12	Työkalun kehittäminen.....	36
12.1	Tulosnäkyä	37
12.2	Laskentaa varten täytettävät välilehdet 1–4	37
13	Testivaiheen laskentatyökalun käyttökokemukset ja tulokset.....	43
13.1	Case 1 Espoo	43
13.2	Case 2 Helsinki.....	46
13.3	Case 3 Tuusula	48
13.4	Tulosten vertailu rakentamisen hiilijalanjälkeen	49
14	Pohdintaa ja jatkokehitys	51
	Lähteet	53

Liitteet

Liite 1. Case 1 laskentatyökalun laskelmat

Liite 2. Case 2 laskentatyökalun laskelmat

Liite 3. Case 3 laskentatyökalun laskelmat

Lyhenteet

CO₂ = hiilidioksidi

CO₂e = hiilidioksidiekvivalentti (kuvaa eri kasvihuonekaasupäästöjen yhteenlaskettua ilmastoa lämmittävää vaikutusta)

GTK = Geologian tutkimuskeskus

LCA = life cycle analysis, elinkaariarviointi

MARA-asetus = valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä, Vna 843/2017

PIMA = pilaantunut maa

TAPIR = Geologian tutkimuskeskuksen ylläpitämä taustapitoisuusrekisteri

VNa 214/2007 = Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista

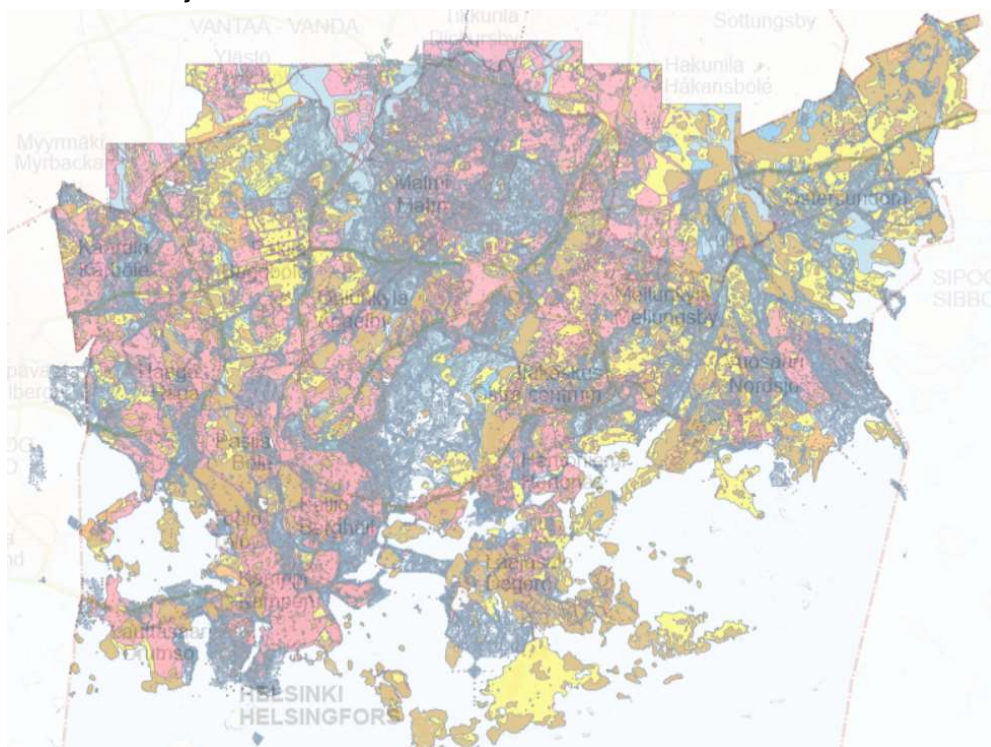
XA-luokka = betonin kemiallinen rasitusluokka

XS-luokka = betonin kloridien aiheuttama rasitusluokka

1 Johdanto

Rakentamisen kannalta parhaat paikat on usein rakennettu täyteen, joten rakennushankkeisiin ryhtyvät joutuvat hyödyntämään rakennettavuudeltaan heikompia tontteja kuin aiemmin. Erityisesti pääkaupunkiseudulla rakennetaan uudisrakennuksia vanhoille teollisuus- ja täyttöalueille. Jopa vanhojen kaatopaikkojen päälle on rakennettu taloja alueiden houkuttelevien sijainnin tai esimerkiksi hyvien liikenneyhteyksien takia. Yksi surullisen kuuluisa esimerkki tällaisesta kaatopaikan päälle rakentamisesta on Myllypuron nyt jo puretut Alakiven tien asuintalot (YLE 2017). Kaatopaikka rakentamisalustana aiheuttaa esimerkiksi rakennusten painumista ja mahdollisesti terveydelle haitallisia haitta-aineille altistumista (YLE 2020).

Helsingin rantaviiva on pikkuhiljaa aikojen saatossa hivuttautunut täyttötöiden ansiosta ulommaksi merelle päin. Helsingin ylijäämämassoilla tehdyt täyttötööt on aloitettu jo 1800-luvun alkupuolella. Täyttöjä on tehty ranta-alueiden lisäksi esimerkiksi pehmeiden alueiden rakennettavuuden parantamiseksi ja vanhojen sorakuoppien peittämiseksi. Aikoinaan käytetyn täyttömateriaalin laatu ei aina vastaa rakentamisen nykyvaatimuksia. Usein täyttöalueet ovat erilaisilla haitta-aineilla pilaantuneita tai ne voivat sisältää esimerkiksi heikkolaatuista savea tai painuvaa orgaanista ainesta. (Immonen 2001.) Kuviossa 1 on esitetty ote Helsingin karttapalvelun maaperäkartasta. Maaperäkartassa on täyttöalueet esitetty punertavalla värillä ja esimerkiksi savialueet sinertävällä värillä.



Kuvio 1. Helsingin maaperäkartta (Helsingin karttapalvelu 2021a)

Kaupungistumisen ja rakentamisen tiivistymisen myötä rakentaminen epäedullisille tonteille tulee yleistymään entisestään. Tämä johtaa välttämättä siihen, että joudutaan tekemään kompromisseja kustannusten ja rakennukseen haluttujen ominaisuuksien kesken. Myös perustamisolosuhteista ja tontin rakennettavuudesta täytyy tinkiä. Kompromissit ovat usein kalliita ratkaisuja ja lisäävät myös päästöjä. (RAKLI 2015.)

Tulevaisuudessa rakennusten suunnittelu tulisi tehdä tonttien perustamisolosuhteiden perusteella, jotta rakennushankkeen hiilijalanjälki pysyisi kohtuullisena. Usein vähähiilinen rakennustapa tuottaa myös kustannussäästöjä. Esimerkiksi mahdollisimman vähäiset maa-ainesten siirrot tarkoittavat pienempiä kustannuksia ja vähemmän ajettuja ajokilometrejä.

Rakentamisen hiilijalanjälki ja erilaiset CO₂ -päästölaskentatyökalut ovat olleet esillä viime aikoina. Näissä keskusteluissa ja työkaluissa kuitenkin unohdetaan melkein täysin yksi suuri vaikuttava tekijä rakentamisen hiilijalanjäljessä: rakennuskohteen ominaisuudet ja soveltuvuus rakentamiseen. Rakentamisen päästöihin ja kustannuksiin on helpointa vaikuttaa tontin valinnan kautta (Ahola & Liljeström 2018). Herkästi painuvalle tai pilaantuneelle tontille pohjavesialueella ei kannata lähteä rakentamaan suurta teollisuushallia kahdella kellarikerroksella, vaan sille kannattaa etsiä hyvää hyödynnettävää maa-ainesta sisältävä tontti, jonka rakennettavuus on hyvä. (RAKLI 2015.)

Perustamistapojen ja -olosuhteiden hiilijalanjälkivaikutuksien laskemiseen ja vertailuun ei ole aiemmin ollut käytettävissä työkaluja. Tässä opinnäytetyössä on pyritty kehittämään yksinkertainen Excel-pohjainen laskentatyökalu, jossa on otettu huomioon työn kirjallisessa osiossa läpikäytyjä suunnitteluvaihtoehtoja. Työkalun avulla on tarkoitus laskea suunnitteluvaiheessa olevien rakennushankkeiden hiilijalanjälkiä. Tällöin voidaan huomata suurimmat yksittäiset hiilijalanjälkeen vaikuttavat tekijät ja mahdollisesti etsiä vaihtoehtoisia vähäpäästöisempiä ratkaisuja ennen hankkeen toteuttamista.

2 Työn lähtökohdat

Opinnäytetyö koostuu kahdesta osasta: kirjallisesta osuudesta ja kehitettävästä Excel-työkalusta. Tavoitteena on, että laaditun työkalun avulla voidaan laskea eri perustamistapojen hiilijalanjäljet ja arvioida niiden eroja. Työkaluun syötettävissä kohteen perustamistapa- ja materiaalivaihtoehtoissa tulee huomioida tämän työn kirjallisessa osuudessa esitetyt hiilijalanjälkeen vaikuttavat seikat. Vaihtoehtojen suunnittelu on pohjarakennesuunnittelijan erikoisosaamista.

Työkalu on suunnattu hyvin erilaisten suunnittelijoiden käyttöön. Siksi työkalun käytön tulee olla yksinkertaista ja erilaisten koulutustaustojen omaavien henkilöiden ymmärrettävissä. Työkalun käyttö vaatii kuitenkin ymmärrystä sekä pohjarakentamisesta että hiilijalanjälkilaskennasta. Kirjallisen osuuden on tarkoitus luoda tietopohjaa laaditun työkalun käyttämiseen käytännössä.

2.1 Tutkimuskysymykset ja työn rajaus

Työtä ohjaa kolme tutkimuskysymystä. Kysymykset ovat:

1. Mitkä seikat vaikuttavat pohjarakentamisen hiilijalanjälkeen?

Kokemuksen ja kirjallisten lähteiden perusteella valikoidaan tässä työssä käsiteltävät laajemmat vaikuttavat seikat.

2. Mitä laadittavassa työkalussa kannattaa laskea?

Työkalun avulla laskettavat tiedot pyritään kokoamaan kokemuksen ja ensimmäisen tutkimuskysymyksen vastausten avulla. Vastaukset pilkotaan pienempiin konkreettisiin osiin.

3. Onko rakentamispaikan valinnalla merkitystä hiilijalanjäljen kannalta?

Tähän kysymykseen pyritään saamaan vastaus esimerkkikohteiden laskelmien tulosten ja tehtävien vertailujen perusteella.

Tutkimuskysymysten perusteella työ rajautuu perustamisolosuhteiden ja -tapojen käsitteilyyn. Kolmas kysymys edellyttää hiilijalanjälkeen vaikuttavien seikkojen yksityiskohtaisempaa tarkastelua. Työn tarkasteluun ja laskelmiin mukaan otettavia seikkoja rajataan tarvittaessa työn edetessä.

2.2 Käytetyt tutkimusmenetelmät ja lähtötiedot

Työn laadinnassa on käytetty lähinnä kvantitatiivista (määrällistä), mutta osittain myös kvalitatiivista (laadullista) tutkimusmenetelmää. Kvantitatiivista menetelmää edustavat

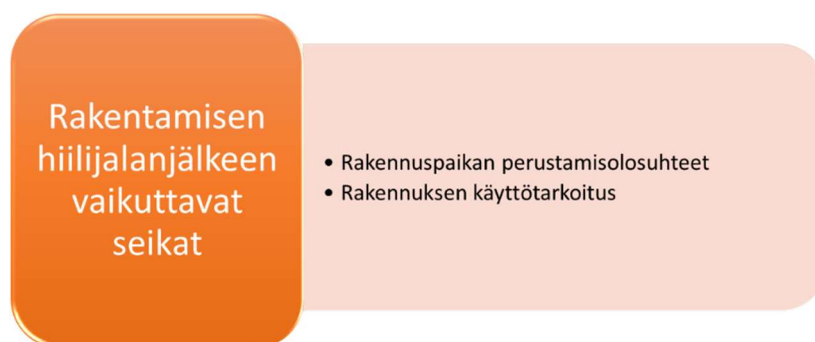
erityisesti laskentatyökalussa käytettyjen päästötietojen koonti päästötietokannoista ja erilaisista julkaisuista sekä paikkatietopalveluista kerätty tieto (Jyväskylän yliopisto 2015a). Kvalitatiivista menetelmää edustavat lähinnä työn taustahaastattelut (Jyväskylän yliopisto 2015b).

Kirjallisen osuuden tietojen keruussa on käytetty haastattelua, aihetta koskevaa kirjallisuutta sekä erilaisia raportteja ja julkaisuja. Esimerkkeinä kirjallisista lähteistä ovat Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen ”Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti” -raportti ja Suomen ympäristökeskuksen rakentamisen päästötietokanta. Työkaluun tarvittavien lukutietojen keräämiseen ja laskemiseen on myös aiempien hiilijalanjälkilaskentatyökalujen dataa. Tietoja on tarvittaessa pyydetty myös sähköpostitse urakoitsijalta ja pontituskoneiden maahantuojalta. Työkalun rakennetta pohdittaessa on muun muassa haastateltu ympäristöministeriön laskentatyökalun laatijaa.

Opinnäytetyön kirjallisessa osuudessa käsitellään muun muassa hiilijalanjälkilaskentatyökaluja, pohjarakennesuunnitteluprosessia, perustamisolosuhteiden- ja rakennuksen ominaisuuksien vaikutuksia hiilijalanjälkeen sekä materiaalien ja työkoneiden päästöjä. Lisäksi työn loppupuolella esitellään kolme esimerkkikohdetta, joiden hiilijalanjälki on laskettu laaditulla työkalulla. Myös itse työkalun laadinnasta on kirjoitettu luku.

2.3 Työn sisältö

Työtä varten kartoitettiin ensin kokemuserusteisesti ja kirjallisuuden avulla pohjarakentamiseen vaikuttavat päästöjä aiheuttavat vaiheet (kuvio 2). Kartoituksen perusteella tärkein vaikuttava tekijä on rakentamiskohteen perustamisolosuhteet. Lisäksi tulevan rakennuksen käyttötarkoitus vaikuttaa.



Kuvio 2. Pohjarakentamisen hiilijalanjälkeen vaikuttavat seikat

Ensimmäisen tutkimuskysymyksen (1. Mitkä seikat vaikuttavat pohjarakentamisen hiilijalanjälkeen?) vastaukset pilkottiin osiin (kuvio 3), jotta päästiin käsiksi konkreettisiin vaiheisiin pohjarakentamisen päästölähteisiin liittyen (kuvio 4). Osien analysoinnin kautta saatiin vastaus toiseen tutkimuskysymykseen (Mitä laadittavassa työkalussa kannattaa laskea?).



Kuvio 3. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen vastaukset ja niiden osiin pilkkominen



Kuvio 4. Pohjarakentamisen hiilijalanjälkeenvaikuttavat osat

Kolmanteen tutkimuskysymykseen saatiin konkreettisesti vastaus työn loppupuolella esitellyjen case-esimerkkien avulla. Case-esimerkkien pohjarakentamisen hiilijalanjälki laskettiin kehitetyn työkalun avulla. Itse työkalun kehittämisprosessia on käsitelty luvussa 12.

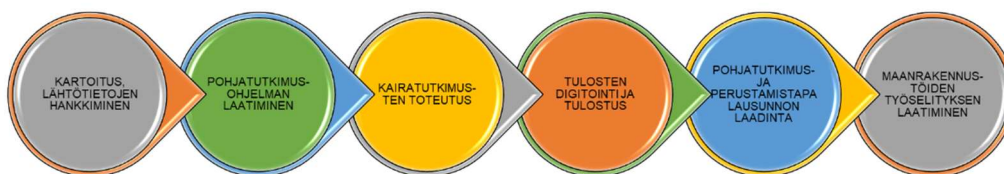
3 Pohjarakennesuunnittelu

Tässä luvussa on käyty yleisellä tasolla läpi nykyisen työpaikkani Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy:n pohjarakennesuunnitteluprosessia.

Suunnitteluprojektien alkuvaiheessa tehdään usein maaperätutkimuksia. Pohjatutkimusohjelmaa varten suunnittelija tarvitsee muun muassa tulevan rakennuksen sijainnin esimerkiksi asemakuvaan piirrettyinä sekä kohteen yleiset ja sisäiset johtotiedot. Myös maanalaisen rakenteiden sijainnit ja muut herkätkä tutkimuksiin vaikuttavat asiat täytyy selvittää. Ohjelmaan merkitään halutut tutkimuspisteet, niiden sijainnit sekä kairaustapa. Lisäksi merkitään halutut näytepisteet, pohja- ja/tai orsivesiputket sekä mahdolliset koekuopat. Koekuopilla saadaan tutkittua maaperän koostumusta tarkemmin. Kuopat voidaan toteuttaa esimerkiksi kaivinkoneella.

Usein ensimmäisenä kohde kartoitetaan, jotta nähdään esimerkiksi millaisia pintamateriaaleja, maanpinnan muotoja, puita, kaivoja tai pylviä hankealue sisältää. Kyseiset tiedot ovat hyviä lähtötietoja suunnittelijalle.

Kun ohjelma on laadittu ja tontin omistajalta on saatu tutkimuslupa, tehdään kohteeseen halutut tutkimukset. Tutkimustulokset digitoidaan ja niiden perusteella piirtäjä laatii kohteen pohjatutkimuskartan ja siihen liittyvät leikkauspiirustukset. Näiden avulla suunnittelija kirjoittaa kohteeseen pohjatutkimus- ja perustamistapalausannon. Perustamistapalausunnossa suunnittelija suosittelee perustamistapaa rakennukselle ja pihalle. Myöhemmin laaditaan maanrakennustöiden työselitys, jossa otetaan tarkemmin kantaa suositeltuihin rakennekerroksiin ja näissä käytettäviin materiaaleihin. Suunnitteluprosessin alkua on kuvattu kuviossa 5. Projektin edetessä suunnittelija laatii kohdekohtaisesti muun muassa kaivu-, louhinta-, kevennys-, stabilointi-, tuenta- ja pinnantasaussuunnitelmia. Tämän opinnäytetyön työkalun laskentatulosten on ajateltu soveltuvan perustamistapalausunnossa ja maanrakennustöiden työselityksessä suositeltavien ratkaisujen pohdintaan.



Kuvio 5. Suunnitteluprosessin alkuvaiheet

4 Hiilijalanjälkilaskentatyökalut rakennushankkeissa

Erilaiset elinkaarilaskentatyökalut ovat yleistyneet viime vuosina ja niitä kehitetään koko ajan lisää. Etenkään tontin perustamisolosuhteita ei kuitenkaan ole vielä otettu kattavasti mukaan osaksi laskentaa.

Ruotsissa rakennuksilta tullaan vaatimaan niin sanottua ilmastotodistusta vuoden 2022 alusta lähtien (Kling 2019). Suomi tulee päästöohjauksessa hieman Ruotsia jäljessä. Suomessa on tarkoitus ottaa rakennuksiin liittyvä päästöohjaus käyttöön vuoteen 2025 mennessä (YM 2021). Ruotsissa ilmastotodistusta varten tehtävä päästölaskentatapa on parhaillaan testausvaiheessa (Boverket 2021).

Ympäristöministeriön teettämän selvityksen perusteella vähähiilisen rakentamisen sääntelyllä voidaan vähentää Suomessa noin 500 000 tonnia CO₂e-päästöjä vuodessa (Bionova 2021a). Luvuissa 4.1 ja 4.2 käsitellään kahta rakennuksen hiilijalanjäljen laskemiseen tehtyä laskentatyökalua hieman tarkemmin.

4.1 Ympäristöministeriön julkaisema työkalu

Ympäristöministeriön laskentatyökalu on valittu käsiteltäväksi siksi, että tulevaisuudessa todennäköisesti jokaisen uudisrakennuksen ja mahdollisesti myös saneerauskohteen hiilijalanjälki tulee laskea vähintään kyseisen työkalun avulla, jotta hanke saa rakennusluvan.

Ympäristöministeriön hanke ”Vähähiilisen rakentamisen tiekartta” pyrkii tuomaan hiilijalanjälkilaskentaan ilmaisen työkalun, jota jokainen voi halutessaan käyttää rakennushankkeen päästöjen arviointiin. Luonnosversio työkalusta on julkaistu arviointia varten 9.12.2019. Työkalua on tarkoitus käyttää hankkeen suunnitteluvaiheessa. (YM 2021.)

Työkalun avulla voidaan suurpiirteisesti arvioida rakennushankkeen elinkaaren aikana aiheuttamia päästöjä. Pohjaolosuhteiden vaikutusta ei työkalussa erityisesti oteta huomioon, mutta esimerkiksi tontille tulevat rakenneerrokset huomioidaan yleisellä tasolla laskennassa. Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointityökalu on Excel-muodossa ja se on ladattavissa ympäristöministeriön internetsivulta. Itse työkalu on pyritty pitämään yksinkertaisena. (Tähtinen 2021.)

4.2 LCA-työkalu

Kaupallisia sovelluksia hiilijalanjäljen laskentaan on olemassa, mutta näissäkin yleisesti keskitytään itse rakennuksen rakentamiseen ja esimerkiksi sen käyttöajan energiatehokkuuteen. Yksi esimerkki arviointitarkoitukseen soveltuvasta kaupallisesta LCA-sovelluksesta on Bionovan One Click LCA-laskentatyökalu. (Bionova 2021b.) Kyseisen työkalun

käyttö on suhteellisen helppoa, mutta tässäkin laskentatyökalussa ei ole erityisesti otettu huomioon rakennettavan tontin olosuhteiden vaikutusta hiilijalanjälkeen.

Bionova Oy on ollut mukana kehittämässä ympäristöministeriön laskentatyökalua erilaisten lausuntojen kautta. Yrityksen omassa laskentatyökalussa huomioidaan samat asiat kuin ympäristöministeriön työkalussa, jotta One Click LCA -työkalua voidaan myös käyttää tulevaisuudessa pakollisessa päästölaskennassa. (Bionova 2021a.)

5 Perustamisolosuhteiden vaikutus hiilijalanjälkeen

Tässä luvussa käydään läpi rakentamispaidan perustamisolosuhteisiin vaikuttavia seikkoja. Yleisesti perustamisolosuhteisiin erityisesti vaikuttavat maaperässä mahdollisesti oleva pohja- tai orsivesikerros, maa- ja kallioperän ominaisuudet ja esimerkiksi sijainti tulvariski-alueella. (RAKLI 2015.) Perustamisolosuhteet puolestaan vaikuttavat rakennuksen pohja-rakentamisen hiilijalanjälkeen.

5.1 Pohjavesi

Pohjaveden pinnantaso vaikuttaa moniin asioihin rakentamisprojektissa. Pohjavesitaso voi vaihdella huomattavastikin lyhyen matkan sisällä. Joskus pohjavesi voi olla lähes maanpinnantasolla ja toisaalta joskus taso saattaa olla hyvinkin alhaalla, esimerkiksi 20 metrin syvyydellä maanpinnasta. Pohjavesipinnan ollessa korkealla eli lähellä maanpintaa voidaan joutua käyttämään vesitiiviitä rakenteita tai alentamaan tasoa pysyvästi ja/tai rakentamisaikaisesti.

Orsivesi on tiiviin kerroksen päällä olevaa pohjavettä. Orsivesikerros saattaa ajoittain kuivua, toisin kuin syvemmällä oleva vapaan pohjaveden kerros. (GTK 2021a.)

Rakennettaessa esimerkiksi kellaria pohjaveden pinnantasoon alapuolelle voidaan tätä varten tehtävä kaivanto joutua tukemaan esimerkiksi vesitiiviillä ponttiseinällä. Myös injektointia voidaan joutua tekemään vesitiiviiden saavuttamiseksi. Ponttiseinistä on kerrottu tarkemmin kohdassa 9.2. Kuvassa 1 on esitetty pohjaveden paikalliseksi alentamiseksi asennettua ponttiseinää.



Kuva 1. Työnaikaista pohjavedenpinnan alentamista varten asennettu ponttiseinä

Jos rakennusalue sijaitsee pohjavesialueella, voidaan joutua tekemään erilaisia ratkaisuja, jotta pohjaveden laatua tai määrää ei vaaranneta. Puupaaluperusteisten rakennusten vieressä tehtävissä rakennustöissä tulee ottaa aina huomioon se, että orsi- ja pohjavesitasoa ei saa laskea edes väliaikaisesti. Tällä turvataan puupaalujen pysyminen hapettomissa olosuhteissa vedenpinnan alapuolella, jotta paalut eivät pääse lahoamaan.

Jos pohjavesitasoa lasketaan pysyvästi, tulee ottaa huomioon mahdollisten sulfidisavien hapettumisriski. Potentiaalisista happamista sulfaattimaista on kerrottu tarkemmin kohdassa 5.8.

5.2 Maa- ja kallioperä

Rakentamisalueen maaperä vaikuttaa suuresti perustamistapojen valintaan ja maaperän muokkaustarpeeseen. Yleensä aina ennen rakennushankkeeseen ryhtymistä kohteeseen tehdään pohjatutkimuksia esimerkiksi kairaamalla. Kuvassa 2 on esitetty esimerkki kairauskalustosta. Pohjarakennesuunnittelija määrittää tehtävät tutkimukset ja tutkimustavat, eli laatii kairausohjelman suunnitellun käyttötarkoituksen vaatimusten mukaisesti. Mitä herkempi kohde on suunnitteilla, sitä kattavammat tutkimukset tehdään. Usein alustavien tutkimusten perusteella tehdään vielä lisätutkimuksia, jotta saadaan laadukkaammin selvitettyä perustamisolosuhteita. (Väylä 2015.)



Kuva 2. Esimerkki kairauskalustosta (Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy 2021)

Jos rakentamisalueelle tehtävien kaivantojen maa-aines on hyödynnettäväksi kelpaavaa ja geoteknisesti kohteen täyttöihin tai rakennekerrokseen soveltuvaa, voidaan ko. maa-

aineksen hyödyntämisellä alentaa hiilijalanjälkeä merkittävästi. Tällöin säästytään muun muassa massojen poisvienniltä ja uuden tilalle tulevan massan tuonnilta kohteeseen.

Rakennuskohteen maaperän sisältämät maalajit ja niiden ominaisuudet määrittävät esimerkiksi sen, tuleeko rakennus perustaa paaluille vai voidaanko hyödyntää maanvaraista perustamistapaa. Jos kohteessa on kalliopinta lähellä maanpintaa, voidaan joutua louhimaan esimerkiksi kellarin rakentamista varten, mutta toisaalta perustukset voidaan mahdollisesti tehdä kallionvaraisesti. (Väylä 2015.) Maaperän sisältäessä esimerkiksi vesipitoista savea, voidaan joutua tekemään massanvaihtoja ja/tai kevennyksiä kantavuuden parantamiseksi ja painumien estämiseksi.

5.2.1 Kivennäismaalajit

Geoteknisen maalajiluokituksen perusteella kivennäismaalajit jaetaan saveen, silttiin, hiekaan, soraan, kiviin ja lohkareisiin. Kivennäismaalajien tunnistamisessa voidaan käyttää apuna rakeisuustutkimusta. Rakeisuustutkimuksessa maanäytteestä tehdään tutkimus, jonka tulosten perusteella laaditaan kyseisen näytteen rakeisuuskäyrä. Rakeisuuskäyrän perusteella näyte voidaan luokitella oikeaan kivennäismaalajiryhmään. (Ronkainen 2012.) Maalaji on usein routivaa, jos se sisältää hienoaainesta. Hienoaineksessa vesi nousee kapillaarisesti ja veden jäätyessä aiheutuu routimista.

Kivennäismateriaalityypin käyttö esimerkiksi rakennekerroksissa riippuu täysin kohteen vaatimista ominaisuuksista. Rakennushankkeissa pohjarakennesuunnittelija laatii kohteeseen maanrakennustöiden työselityksen, jossa usein on esitetty eri rakennekerrokseen ja täyttöihin soveltuvat materiaalit. Seuraavissa kappaleissa on käsitelty eri kivennäismaalajien ominaisuuksia.

Saven (lyhenne Sa) ominaisuudet riippuvat suuresti sen vesipitoisuudesta. Mitä korkeampi vesipitoisuus on, sitä pehmeämpää savi on. Pehmeän saven kantavuusominaisuudet ovat heikot. Usein savisessa maaperässä on havaittavissa kuivakuorikerros, jonka alla on pehmeää savea. Savi on routivaa ja se soveltuu täyttömateriaalina lähinnä esimerkiksi syvempien kaivantojen alkutäyttöihin, jos kaivannon alueen tuleva käyttötapa sallii saven käytön esimerkiksi painumien suhteen. Soveltuvuus riippuu suuresti saven vesipitoisuudesta. Joissakin erikoistilanteissa savea voidaan käyttää esimerkiksi vesiesteenä patomaisessa muodossa.

Siltin (lyhenne Si) lujuusominaisuudet ovat saven ja hiekan välimaastossa. Täysin kuivana silttikerros voi olla kantavakin, mutta häiritynä ja märkänä se on erittäin upottavaa. Siltti on ominaisuuksiltaan routivaa.

Hiekan (lyhenne Hk) seassa on vain vähän tai ei ollenkaan hienoainesta. Hiekka soveltuu moniin rakennekerroksiin ja täyttöihin. Sitä voidaan usein käyttää esimerkiksi erilaisissa ta-sauskerroksissa. Hiekka on routimatonta.

Sora (lyhenne Sr) koostuu pääasiassa yli kahden millimetrin raekoon rakeista ja on näin ollen yleensä ominaisuuksiltaan kantavampaa kuin hienojakeisemmat maalajit. Sora saat-taa soveltua erilaisiin rakennekerroksiin. Sora on routimatonta.

Moreeni (lyhenne Mr) on puolestaan lajittumaton maalaji, jossa on usein seassa hienoai-nesta. Moreeni on usein tämän takia routivaa. Moreeni sisältää eri maalajeja siltistä soraan ja siinä on usein seassa myös kiviä tai lohkareita.

Usein maa-aineksen seassa on erikokoisia kiviä ja/tai lohkareita. Kivinen maaperä saattaa aiheuttaa haasteita esimerkiksi pontitukselle tai paaluttamiselle. (GTK 2005.)

5.2.2 Eloperäiset maalajit

Eloperäisiin maalajeihin kuuluvat turve ja lieju. Nimensä mukaisesti ne sisältävät eloperäistä ainesta. Turve (lyhenne Tv) ja lieju (lyhenne Lj) ovat molemmat ominaisuuksiltaan epäedul-lisia perustamisen ja täyttöihin soveltuvuuden kannalta. Turve saattaa soveltua esimerkiksi kasvualustaksi. Täytyöissä eloperäinen aines painuu kasaan ja voi aiheuttaa painumia. (GTK 2005.)

5.2.3 Kallioperä

Jos kalliopinta on lähellä maanpintaa tai kallio on avokalliota, voidaan tuleva rakennus mah-dollisesti perustaa kallionvaraisesti. Jos rakennukseen tulee kellarikerros tai -kerroksia, voi-daan kalliota joutua louhimaan. Kuvassa 3 on esitetty kohde, jossa on louhittu kalliota tule-vaa rakennusta varten.



Kuva 3. Rakennusta varten louhittu kallioseinä

Louhittua louhetta voidaan murskata pienemmäksi murskeeksi, jota voidaan hyödyntää useissa eri rakennekerroksissa tai täytöissä. Murskaamiseen vaaditaan esimerkiksi työmaalle tuotava liikuteltava murskain, mutta usein louhe viedään muualle murskattavaksi. Murske on hyvin tiivistyvää ja kantavaa.

Tyypillisimmät murskekoot ovat #0...16 mm ja #0...32 mm. Sepeliksi kutsutaan sellaista murskattua materiaalia, jonka joukosta on poistettu hienoaines. Sepelien tyypillisimmät raekoot ovat #16...32 mm ja hiekoitussepin #3...6 mm. Muitakin raekokoja on saatavilla molemmista materiaaleista. (Sippala 2012.)

5.3 Pilaantuneisuus maaperässä

Pilaantunut maaperä voidaan joutua kunnostamaan. Kunnostaminen tarkoittaa yleisesti ottaen kohteen maaperän saattamista sellaiseen tilaan, ettei havaituista haitta-aineista aiheudu terveydelle tai ympäristölle vaaraa. (YM 2014.) Laadittavassa laskentatyökalussa ei huomioida haitta-aineiden käsittelyn mahdollisesti aiheuttamaa lisää hiilijalanjälkeen. Laskennassa huomioitavaa on lähinnä massanvaihtokunnostusten usein vaatima ylisyväkaivu rakennuskohteissa. Tällöin rakentamisen vaatiman kaivutason alapuolelta kaivetaan kunnostuksen tavoitteet ylittävät pilaantuneet maa-ainekset pois. Ylisyvä kaivanto tarvitsee puhdasta täyttöä enemmän kuin normaali kaivanto. Lisäksi pilaantuneita massoja vastaanottavat ympäristöluvan omaavat vastaanottopaikat saattavat sijaita melko kaukanakin kunnostettavasta kohteesta.

Kohteen pilaantuneisuus tulee aina selvittää etukäteen joko käyttöhistoriaselvityksen avulla tai ympäristöteknisellä perusselvityksellä. Kuvassa 4 on esitetty pilaantunutta maaperää.



Kuva 4. Haitta-aineilla pilaantunutta maa-ainesta

Ympäristöteknisessä perusselvityksessä maaperä näytteistetään ja näytteet analysoidaan. Näytteistäminen tehdään usein kairaamalla maaperänäytteitä kohteen maaperästä. Saatujen analyysitulosten perusteella asiantuntija laatii raportin, jossa otetaan kantaa kohteen pilaantuneisuuteen ja kunnostustarpeeseen.

5.4 Kynnysarvomassat

Rakennushankkeissa tulee usein vastaan tilanne, jossa kohteeseen tehdyssä ympäristöteknisessä perusselvityksessä havaitaan kohonneita haitta-ainepitoisuuksia. Usein havaitut pitoisuudet ovat säädetyn (VNa 2007/214) kynnysarvotason tai -tasojen ylittäviä pitoisuuksia esimerkiksi metalleja. Kyseiset pitoisuudet maaperässä aiheuttavat monesti yllättäviä lisäkustannuksia, sillä niitä ei tulkita pilaantuneiksi maa-aineksiksi, mutta niillä on kuitenkin käyttörajoituksia.

Niin sanottuja kynnysarvomassoja saa usein hyödyntää sillä tontilla, jossa niitä on kaivettu. Kynnysarvotason ylittäviä pitoisuuksia haitta-aineita sisältäviä maa-aineksia ei taas saa hyödyntää tontin ulkopuolisessa kohteessa, jossa ei ole ympäristölupaa tai jossa ei ole erillistä taustapitoisuusselvityksen perusteella annettua lupaa hyödyntämiselle. Normaalit maanlajitusalueet eivät yleensä saa vastaanottaa kynnysarvomassoja. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka urakoitsijalla olisi kohteen naapuritontilla sopiva hyötykäyttökohde esimerkiksi

hyvälle hiekalle, ei sitä saa hyödyntää, jos siinä ylittyy kynnysarvotaso esimerkiksi arseenin osalta. Itse kohteessa, jossa kynnysarvomassat sijaitsevat, niitä saa hyödyntää. Hyödyntämisestä tulee olla yhteydessä ympäristöviranomaiseen ja hyödyntäminen tulee dokumentoida.

Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla saven ja tietyntyyppisen hiekan luontaiset arseenipitoisuudet ylittävät usein säädetyn kynnysarvotason. Täyttökerrosten kiviainesmateriaalienkin metallipitoisuudet saattavat ylittää kynnysarvotasot luontaisesti. Geologian tutkimuskeskus (GTK) on laatinut karttapalvelun (TAPIR), jonka avulla voi selvittää alueiden luontaisia taustapitoisuuksia. (GTK 2021b.) Päästöihin kynnysarvomassat saattavat vaikuttaa etenkin pitkien vastaanottoa varten tehtävien kuljetusmatkojen kautta, jos massoja ei voida hyödyntää itse kohteessa.

5.5 Meren läheisyys

Meren rannoilla voidaan kloridipitoisen pohjaveden ja/tai maaperän takia joutua käyttämään paksumpaa korroosiovaraa eli seinämäpaksuutta esimerkiksi teräspaaluissa kuin normaalisti vaaditaan. Kloridipitoisuus vaikuttaa myös betonin XS-luokkaan. XS-luokka on kloridirasituksen luokka betonille. Mahdollisella maaperän tai pohjaveden sulfaattipitoisuudella on myös vaikutusta käytettävän betonin XA-luokkaan. XA-luokka on kemiallinen rasitusluokka betonille.

5.6 Tulvariski

Uusimmissa asemakaavadokumenteissa on monesti määritelty alueen alin sallittu rakentamistaso. Kyseinen taso perustuu usein alueella todettuun tulvariskiiin, jonka takia on suositeltavaa rakentaa rakenteet, jotka eivät ole vesitiiviitä, tietyn tason yläpuolelle. Kuvassa 5 on esitetty Espoossa sijaitseva kevyenliikenteenväylä, joka tulvii vuosittain viereisen ojan tulvimisen takia.



Kuva 5. Kevyenliikenteenväylä Espoossa tulvariskialueella

Usein tulvariskialueella sijaitsevilla kohteilla esimerkiksi pihaa tulee korottaa, joka tarkoittaa alueen täyttämistä. Täytöt puolestaan voivat aiheuttaa lisäkuormitusta, joka saattaa aiheuttaa painumia. Kuvassa 6 on esitetty autohalli, joka on perustettu pehmeälle savikolle ilman pohjanvahvistus- tai kevennystoimenpiteitä. Autohallin asfaltoitu pohja on painunut, mutta paalutetut anturat ovat pysyneet paikoillaan.



Kuva 6. Autohalli, jossa asfaltoitu pohja on painunut anturoiden ulkopuolelta

5.7 Hulevedet

Hulevesien hallintaan on usein määräyksiä asemakaavassa. Jos hulevesiä tulee viivyttaa ja tontti on pieni, päädytään usein viivytysputkiratkaisuun. Kuvassa 7 on esitetty esimerkki

viivytysputkesta. Viivytysputki sijoitetaan maanpinnan alle, jolloin kaivu- tai louhintatarve li-
sääntyy. Muita viivytysratkaisuja ovat esimerkiksi erilaiset allasrakenteet ja kosteikot.



Kuva 7. Esimerkki viivytysputkesta (Uponor 2019)

5.8 Potentiaaliset happamat sulfaattimaat

Suomessa etenkin rannikoilla ja muinaisen Litorinameren alueella esiintyy sulfidisavea ja hapanta sulfaattimaata. Litorinameren rantaviiva on ulottunut nykyisen länsi- ja eteläranni-
kon ylitse (kuvio 6).



Kuvio 6. Litorinameren rajat (Peda 2021)

Geologian tutkimuskeskuksen ylläpitämään Happamat sulfaattimaat –paikkatietopalveluun on kerätty sulfaattimaatutkimusten tuloksia. Palvelussa tuloksia on jaettu erityisesti sulfidisaviin eli potentiaalisiin happamiin sulfaattimaihin ja todellisiin happamiin sulfaattimaihin eli sulfaattia sisältäviin pH -tasoltaan alhaisiin maa-aineksiin. (GTK 2021c.) Sulfidisaven tunnistaa usein mustasta väristä ja joskus mätää kananmunaa muistuttavasta hajusta. Haju syntyy maa-aineksen sisältämien rikkiyhdisteiden ja hapen reaktion seurauksena. Todellisten happamien sulfaattimaiden tunnistaminen aistinvaraisesti on hankalampaa, sillä usein maa-aines voi näyttää tavanomaiselta eikä poikkeavaa hajuakaan välttämättä havaita.

Todellinen hapen sulfaattimaa syntyy, kun pohjaveden pinta laskee esimerkiksi ojituksen, ruoppauksen tai maan kaivamisen seurauksena ja sulfidimaan sisältämät rikkipitoiset mineraalit joutuvat kosketuksiin ilmakehän hapen kanssa. Ajan saatossa sulfidit hapettuvat rikiksi ja rikki edelleen sulfaateiksi. Sulfaateista muodostuu edelleen rikkihappoa, joka muun muassa liottaa maaperästä sen sisältämiä metalleja. (Heikkinen 2009.)

Kuvassa 8 on esitetty laboratoriotutkimusten ja aistinvaraisten havaintojen perusteella potentiaalista hapanta sulfaattimaata.



Kuva 8. Potentiaalista hapanta sulfaattimaata

Sulfaattipitoisuus maaperässä ja pohjavedessä vaikuttaa betonin XA-luokitukseen, joka määrittää mm. sulfaatinkestävän betonin käyttötarpeen. Hapan eli pH-tasoltaan alhainen

maaperä saattaa aiheuttaa haasteita esimerkiksi pilaristabiloinnissa, sillä stabiloitumiseen tarvittava emäksinen kalkki kuluu maaperän happamuuden neutraloimiseen.

6 Tulevan rakennuksen ominaisuuksien vaikutus hiilijalanjälkeen

Tässä luvussa on tarkasteltu rakennuksen pohjarakentamiseen vaikuttavia ominaisuuksia. Ominaisuuksilla tarkoitetaan tässä lähinnä perustamiskaivannon syvyyteen vaikuttavia seikkoja ja esimerkiksi käyttötarkoituksen tuomia reunaehtoja. Reunaehtoja voivat olla esimerkiksi pihan kulutuskerroksen kestävyysvaatimukset tai perustuksille asetetut kuormituskestävyysvaatimukset.

Tulevan rakennuksen kellarikerrosten määrä vaikuttaa kaivannon syvyyteen ja näin ollen kaivettavien massojen ja mahdollisen louhinnan määrään. Usein kellarikerroksia on yksi ja se sijoittuu tulevan maanpinnan alapuolelle. Pysäköintitilan tarpeen takia asuinkerrostaloteilla pysäköintihallit sijoitetaan usein maanpinnan alapuolelle, jolloin halli saattaa kattaa koko tontin alan. Tällöin asuinkerrostalojen piha sijoittuu pysäköintihallin päälle.

Rakennuksen käyttötarkoitus vaikuttaa perustusten kuormitusvaatimuksiin. Kyseiset vaatimukset puolestaan vaikuttavat perustamistapojen valintaan ja esimerkiksi pihan painumatorranssiin ja pihan mahdolliseen päällystetarpeeseen. Esimerkiksi logistiikkahallien pihat tulee raskaan liikenteen takia asfaltoida paksummalla asfalttikerroksella kuin asuinkerrostalon pysäköintialue, jossa ajetaan henkilöautoilla.

7 Rakennuspaikan ominaisuuksien muokkaaminen

Usein heikkolaatuisten rakennuspaikkojen kantavuutta halutaan parantaa ja painumariskiä vähentää. Tähän soveltuvia keinoja ovat mm. kevennyskerrosten käyttö, stabiloinnit ja massanvaihto.

7.1 Kevennys

Maaperän painumisen estämiseksi kohteeseen voidaan suunnitella kevennyskerros tai -kerroksia. Kevennys toteutetaan huokoisella materiaalilla, jonka tilavuuspaino on pienempi kuin esimerkiksi ko. kerrokseen muuten tulevilla täyttömateriaalilla (esimerkiksi murske). Kevennysmateriaaleja ovat esimerkiksi kevytsora ja vaahtolasimurske. Kuvassa 9 on esitetty erään kohteen kevennyssoralla tehtyä vanhaa kevennyskerrosta roudassa olevan pintakerroksen alapuolella.



Kuva 9. Erään kohteen vanha kevennyskerros

Kevennyskerros voidaan suunnitella tehtäväksi olemassa olevan maaperän päälle tulevaan rakenteeseen, millä pienennetään aiheutettavaa lisäkuormaa. Kevennys voidaan suunnitella myös niin, että olemassa olevaa maaperää kaivetaan ensin pois tarvittava määrä, minkä jälkeen tilalle laitetaan kevennysmateriaalia saman kerrospaksuuden verran tai enemmän, jos pintaa nostetaan. Tämän jälkeen aiheutuva kuormitus voi olla sama, pienempi tai suurempi kuin lähtötilanteessa. Sallittu kuormitus määräytyy maaperän ominaisuuksien, sallitun painuman ja tulevan rakenteen mukaan.

7.2 Stabilointi

Usein stabilointia vaativa maakerros on löysää vesipitoista savea, jonka päälle halutaan perustaa esimerkiksi maanvaraisen pihan rakennekerrokset. Saven stabiloinnissa käytetään usein stabilointimassaa, joka sisältää sementtiä ja kalkkia. (SMA 2016.)

Stabilointimenetelmiä ovat esimerkiksi syvästabilointi ja massastabilointi. Kehitettävässä laskentatyökalussa keskitytään syvästabiloinnin pilaristabilointimenetelmään, koska se on käytetyin stabilointimenetelmä. (KFS 2021.)

Stabilointimassan koostumuksen määrittämisessä tulee ottaa huomioon maaperän mahdollisten happamien sulfaattimaiden ominaisuudet. Massan kalkki neutraloi happamuutta, mutta tällöin kalkkia kuluu enemmän tähän tarkoitukseen, eikä stabiloitumisreaktioon välttämättä riitä tarvittavaa määrää normaaliseoksessa.

Pilaristabilointi tapahtuu stabilointikoneella, jossa on kaira. Kaira porataan haluttuun syvyyteen pystysuunnassa ja stabilointimassan syöttö aloitetaan samalla kun pyörivää kairaa nostetaan ylöspäin. Tässä vaiheessa stabilointimassa sekoittuu maaperään ja muodostaa maaperän kosteuteen reagoidessaan stabiloituvia maaperää lujittavia pilareita. (KFS 2021.)

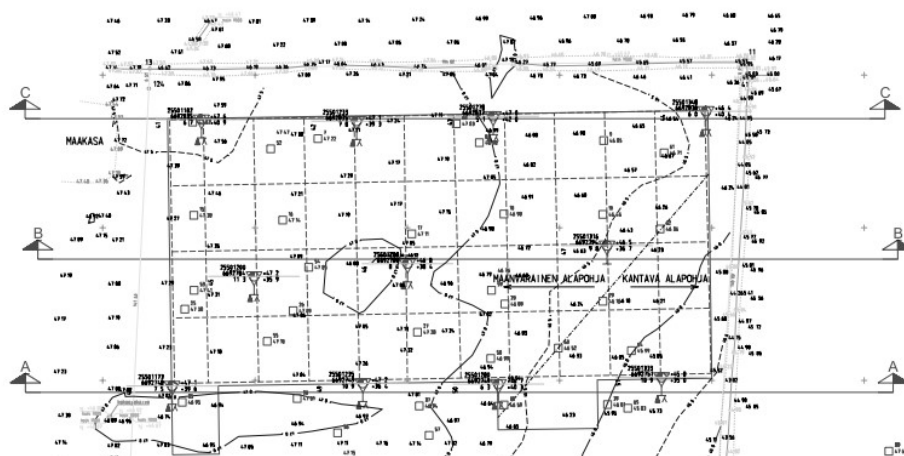
Massastabiloinnissa pyritään saamaan aikaan yhtenäinen stabiloitunut kerros maaperään. Stabilointi tehdään kaivinkoneeseen asennetulla sekoitinlaitteistolla, jonka avulla stabilointiainetta sekoitetaan maa-ainekseen. Massastabilointia käytetään yleensä silloin kun maaperän pilaristabiloitavuus on huono. (KFS 2021.)

7.3 Massanvaihto

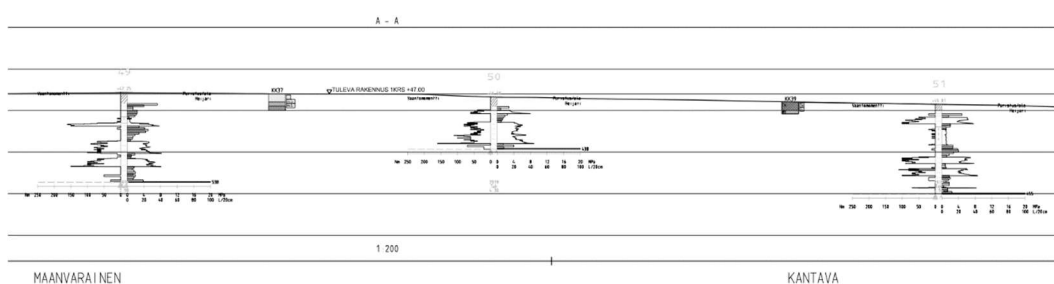
Massanvaihdossa kirjaimellisesti vaihdetaan haluttu maa-aines toiseen. Usein esimerkiksi läheltä maanpintaa maanvaraisesti perustettavan pohjalaatan alta vaihdetaan heikosti kantava savi kantavampaan täyttömateriaaliin. Tällöin voidaan välttyä esimerkiksi pohjalaatan paaluttamiselta tai maaperän stabiloinnilta. Massanvaihtomenetelmässä pilaantuneet maa-ainekset korvataan usein puhtaalla maa-aineksella ennen varsinaisia rakentamistoimenpiteitä.

8 Rakennuksen ja pihan perustamistapavaihtoehdot ja niiden hiilijalanjälki

Pohjarakennesuunnittelija laatii perustamistapalausunnon kohteen pohjatutkimusten tulosten perusteella. Lausuntoa varten suunnittelija tulkitsee tehtyjen pohjatutkimusten perusteella laadittuja pohjatutkimuspiirustuksia. Jokaisesta tehdystä tutkimuspisteestä laaditaan diagrammikuva, joka sijoitetaan kohteen leikkauskuviin. Mitä enemmän tutkimuspisteitä on, sitä vähemmän suunnittelija joutuu arvailemaan maaperän koostumusta ja mahdollisen kallioperän sijaintia eli sitä laadukkaampi lausuntokin on. Kuviossa 7 on esitetty esimerkkiote pohjatutkimuskartasta ja kuviossa 8 esimerkkiote kohteen A-A-leikkauspiirustuksesta ilman maalajikerroksia.



Kuvio 7. Esimerkkiote pohjatutkimuskartasta (Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy 2021)

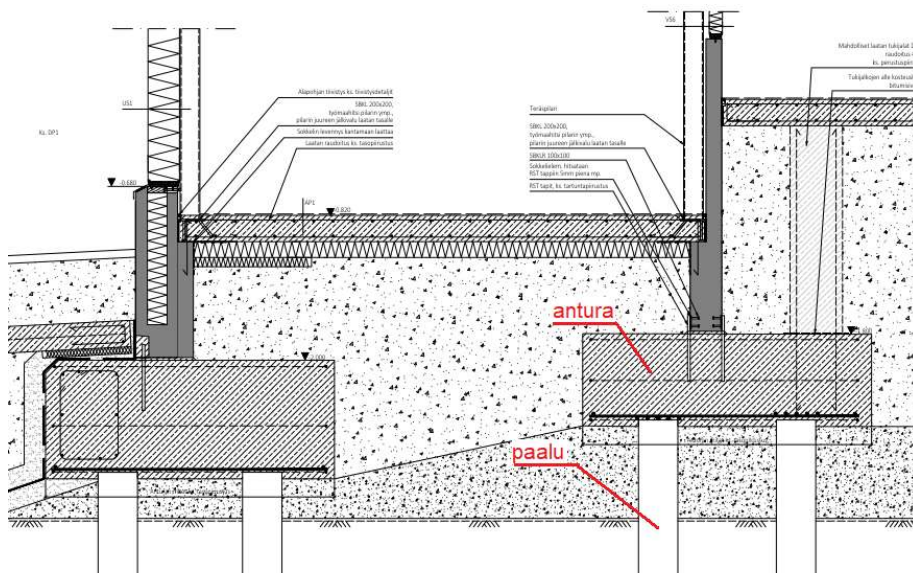


Kuvio 8. Ote A-A leikkauspiirustuksesta ilman määritettyjä maalajikerroksia (Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy 2021)

Suunnittelija on määrittänyt kuvion 4 pohjatutkimuskarttaan ja kuvion 5 leikkauspiirustukseen kantavan alapohjan ja maanvaraisen alapohjan rajan. Kantava alapohja paalutetaan tai sen alueella tehdään massanvaihto ja maanvaraisen alapohjan alueella alapohja

perustetaan maanvaraisesti. Tässä kyseisessä kohteessa kantavan alapohjan alue päädyttiin paaluttamaan teräsbetonipaaluilla, koska ko. kohdassa maaperässä oli heikosti kantava usean metrin paksuinen silttikerros.

Rakennus perustetaan usein anturoiden (kuvio 9) varaan.



Kuvio 9. Periaateleikkaus erään kohteen anturoista (NQE Teollisuus Oy 2020)

Anturat voivat olla perustettu esimerkiksi paaluilla tai maanvaraisesti. Rakennesuunnittelija määrittää anturoiden koot perustussuunnitelmassa, mutta pohjarakennesuunnittelijan tehtävänä on määrittää esimerkiksi sulfaatinkestävän betonin käyttö kohteessa.

8.1 Paaluperustus

Tässä luvussa käsitellään teräsbetoni- ja teräspaaluja. Taulukkoon 1 on koottu paalutyyp-
pien päästölukuja. Luvut perustuvat Suomen ympäristökeskuksen rakentamisen päästötie-
tokannan arvoihin. (SYKE 2021.) Kyseisiä päästölukuja on käytetty kehitettävässä työka-
lussa.

Paalu	kg CO ₂ e/kg	kg materiaalia/m	kg CO ₂ e /m
Betonipaalu RTB-250	0,18	115	20,7
Betonipaalu RTB-300	0,18	225	40,5
Betonipaalu RTB-350	0,18	306	55,1
Teräspaalu 75 (76,1/6,3)	0,95	87	82,7
Teräspaalu 125 (127/6,7)	0,95	233	221,4
Teräspaalu 220 (219/10)	0,95	685	650,8

Taulukko 1. Paalutyyp-
pien päästölukuja

Teräsbetonipaalut ovat raudoitettuja betonipaaluja (Aaltonen&Wikström 2005). Kuvassa 10 on teräsbetonipaaluja maahan lyötynä. Hiilijalanjäljen kannalta huomioitavat seikat ovat paalujen tyyppi, kokonaispituudet ja tarvittavat lisäaineet (esimerkiksi lisäaineet, joilla lisätään sulfaatinkestävyyttä).



Kuva 10. Teräsbetonipaaluja maahan lyötynä

Teräspaalut ovat teräksestä tehtyjä onttoja putkimallisia paaluja (FCG 2009). Hiilijalanjälkeä varten huomioitavat seikat ovat paalujen tyyppi, kokonaispituudet ja tarvittavat korroosiovarat. Kuvassa 11 on maaperään porattuja teräspaaluja. Kuvan paalujen päässä on paaluha-



Kuva 11. Neljä teräspaalua maahan porattuna

8.2 Maanvarainen perustaminen

Maanvaraisessa perustamisessa esimerkiksi rakennuksen perustusanturat ja pihan rakennekerrokset perustetaan maanvaraisesti. Mahdolliset olemassa olevat orgaaniset pinta-maakerrokset ja erilaiset pinnoitteet, esimerkiksi asfaltti poistetaan. Lisäksi maanvaraisestakin perustamisessa rakennuksen alapohjan ja anturoiden alle tehdään aina vähintään salaojittava sepelikerros.

Maanvaraista perustamista on esimerkiksi myös perustaminen massanvaihtoalueelle. Heikosti kantavat maakerrokset voidaan vaihtaa soveltuvampaan täyttömateriaaliin, jolloin maaperä soveltuu maanvaraiseen perustamiseen.

8.3 Kallionvarainen perustaminen

Kallionvaraisessa perustamisessa esimerkiksi rakennuksen anturat ja pihan rakennekerrokset perustetaan kallioon. Hiilijalanjälkeä ajatellen huomioitavat seikat ovat mm. tarvittava louhinnan määrä ja voidaanko louhetta murskata kohteessa ja hyödyntää paikan päällä. Kallionvaraan perustettujen anturoiden ja alapohjan alle tehdään aina vähintään salaojittava sepelikerros.

9 Perustamiskaivantojen toteutus

Rakennuksen perustamista varten tehdään yleensä kaivanto maaperään pohjarakennesuunnittelijan laatiman kaivusuunnitelman mukaisesti. Kaivannot voidaan tehdä luiskattuina tai tuettuina, riippuen kaivannon syvyydestä ja maaperän laadusta.

9.1 Luiskattu kaivanto

Usein noin alle kaksi metriä syvä kaivanto voidaan toteuttaa luiskattuna kaivantona. Luiskan kaltevuus riippuu maaperästä. Esimerkiksi hyvin kasassa pysyvä savi voidaan luiskata jyrkemmällä luiskalla kuin heikosti kasassa pysyvä häiriintynyt siltti. Kuvissa 12 ja 13 on esitetty lossaava eli romahtava kaivanto sekä jyrkkäseinäisenä pysyvä kaivanto. Luiskatun kaivannon seinämän yläpään lähetyvillä tulee noudattaa pohjarakennesuunnittelijan ohjeita esimerkiksi työkonoiden painorajoitusten suhteen.



Kuva 12. Kuopan seinämät lossaavat eli romahtavat heikosti kasassa pysyvän maa-aineksen takia (Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy 2020)



Kuva 13. Saveen kaivettu jyrkkäreunainen kuoppa

Mitä jyrkempänä kuopan seinämän luiska voidaan tehdä, sitä vähemmän maa-ainesta tarvitsee kaivaa pois.

9.2 Tuettu kaivanto

Hiilijalanjälkeen vaikuttaa merkittävästi tuennan käyttötarkoitus. Tuenta voi olla työnaikaista tai pysyvää. Kaivanto tuetaan usein kaivannon syvyyden tai tilanpuutteen takia. Yleensä suurimmat päästöt kaivantojen tukemisessa tulevat työkoneista. Usein tuentamateriaalit eivät jää pysyvästi maaperään, vaan ne poistetaan ja käytetään uudelleen. Kehitettävässä laskentatyökalussa on otettu tuentamenetelmistä mukaan vain ponttaus sen käytön yleisyyden takia

Metallilevyillä eli usein Larsen-ponteilla tuettu kaivanto on tuetuista kaivantotyypeistä yleisin. Kuvassa 14 on esitetty Larsen-ponteilla tehty ponttiseinä. Pontit asennetaan maahan yleensä joko työntämällä tai täryttämällä.



Kuva 14. Larsen-ponteilla tehty ponttiseinä

Ponttiseinän asentamiseen vaikuttaa oleellisesti maaperän kivisyys. Teräsponttiseinät eivät ole täysin vesitiiviitä, mutta niiden tiiveyttä voidaan parantaa esimerkiksi hitsaamalla tai tiivistyksillä. Teräspontteja voidaan hyödyntää uudelleen, mutta usein kivisessä maaperässä pontit vaurioituvat ja joissakin kohteissa pontit tulee jättää pysyviksi rakenteiksi maaperään.

Settiseinässä pystypalkit voidaan upottaa maaperään teräsponttien tavoin tai niitä voidaan tarvittaessa myös asentaa porattavan työputken avulla. Palkkien väliin asennetaan settilankut, jotka voivat olla kohteesta riippuen metallia tai puuta. Settiseinä ei ole vesitiivis ja sen asentaminen voi olla hidasta. Settiseinä voidaan uusiokäyttää.

Porapaaluseinässä teräsputkia porataan maaperään vierä viereen. Teräsputket liitetään toisiinsa lukkoliitoksella. Porapaaluseinä valitaan usein vaativimpiin kohteisiin silloin kuin pontti- tai settiseinän käyttö ei ole mahdollista. Porapaaluseinä voi olla työnaikainen tai pysyvä tuentaratkaisu.

10 Rakennekerrokset ja niiden hiilijalanjälki

Materiaalien päästöt muodostuvat pääasiassa kuljetuksista, joihin vaikuttaa materiaalin ominaispaino ja tilavuus. Lisäksi neitseellisten kiviainesten päästöissä huomioidaan itse materiaalin tuottaminen.

10.1 Uusiomateriaalien käyttö

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä (Vna 843/2017, ns. MARA-asetus) mahdollistaa erilaisten uusiomateriaalien hyödyntämisen tiettyjen ehtojen täytyttyä maanrakennuksessa rekisteröintimenettelyllä, joka on huomattavasti kevyempi menettely kuin esimerkiksi ympäristöluvan hakeminen. Taulukossa 2 on esitetty MARA-asetuksen mukaiset sallitut käyttökohteet tässä opinnäytetyössä mukana olevin uusiomateriaaleittain. Esimerkiksi tuhka jätettiin työstä pois, koska työn laatijalla ei ole vielä kokemusta sen käytöstä esimerkiksi eri rakennekerroksissa.

MARA-asetuksen mukaiset sallitut käyttökohteet uusiomateriaaleittain		Uusiomateriaali		
		Betonimurske	Asfalttimurske ja -rouhe	Rengasrouhe
Käyttökohteet	Väylä	kyllä	kyllä	kyllä
	Kenttä	kyllä	kyllä	kyllä
	Valli	ei	ei	kyllä
	Teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteet	kyllä	ei	kyllä

Taulukko 2. MARA-asetuksen mukaiset käyttökohteet uusiomateriaaleittain

Joitakin tuotteistettuja uusiomateriaaleja voidaan hyödyntää ilman rekisteröintimenettelyä normaalien puhtaiden maa-ainesten tavoin, kuten esimerkiksi CE-merkittyä vaahtolasia. Vaahtolasia voidaan käyttää esimerkiksi vierustäytöissä ja perustuksissa. (Uusioaines 2021.)

Alla esitetyissä kappaleissa on käsitelty MARA-rekisteröintimenettelyllä hyödynnettävissä olevista materiaaleista betonimurskeen, rengasrouheen ja asfalttirouheen teknisiä ominaisuuksia ja päästöjä. Neitseellisten maa-ainesten tavoin hyödynnettävissä olevan vaahtolasimurskeen teknisiä ominaisuuksia on käsitelty myös erillisessä kappaleessa.

Betonimurske

Betonimurskeen palakoko on enintään 90 mm, jos ko. materiaalia halutaan hyödyntää MARA-rekisteröintimenettelyllä. Betonimurske tehdään purkubetonista murskaamalla se haluttuun palakokoon. Koska betonimurske tehdään jo kertaalleen tehdystä materiaalista

ja se uusiokäytetään, katsotaan sen aiheuttamien päästöjen olevan 0 kg CO₂e/kg. Tässä opinnäytetyössä ei ole huomioitu murskausvaiheen aiheuttamia päästöjä. Myöskään betonimurskeen hiilidioksidin sidontakykyä ei ole huomioitu. Käytännössä betonimurskeen hiilijalanjälki olisi kaikki seikat huomioituna jopa negatiivinen. (Pieksamä 2014.) Betonimurskeen ominaispaino on 1940 kg/m³. Betonimurske soveltuu erityisen hyvin kenttärakenteisiin. (Motiva 2021.)

Rengasrouhe

Samoin kuin betonimurskeen päästömäärien kohdalla, myös rengasrouheen päästöjen katsotaan olevan 0 kg CO₂e/kg. Rengasrouheen ominaispaino on 450...600 kg/m³, joten se on huomattavasti kevyempää kuin neitseelliset maa-ainekset. Kehitettävässä työkalussa on käytetty ominaispainona arvoa 500 kg/m³.

Rengasrouhe soveltuu erityisen hyvin erityisesti valleihin ja kevennyksiin sekä kohteisiin, joissa rakennekerrokselta vaaditaan joustavuutta. Rengasrouhe on käytöstä poistetuista renkaista murskattua silppua. Rengasrouhe sisältää renkaan tukena olevat teräslangat ja runkovahvisteet. (Apila 2015.)

Asfalttirouhe

Myös asfalttirouheen päästömäärien katsotaan olevan 0 kg CO₂e/kg sen uusiomateriaalistatuksen takia. Asfalttirouhe valmistetaan käytöstä poistetusta asfaltista jyrsimällä. Asfalttirouheen ominaispaino on 1500...1600 kg/m³. Kehitettävässä työkalussa on käytetty lukujen keskiarvoa, 1550 kg/m³. Asfalttirouhe soveltuu esimerkiksi väylä- ja kenttärakenteisiin. (Tiehallinto 2005.)

Vaahtolasimurske

Tunnetuin merkki vaahtolasituotteista on Foamit-vaahtolasi. Vaahtolasi valmistetaan kierätyslasijauheesta, joka vaahdotetaan vaahdotusaineiden avulla huokoiseksi materiaaliksi. Sen hiilijalanjälki on 0,31 kg CO₂/kg ja ominaispaino 220...280 kg/m³. (Pekkala 2014.) Kehitettävässä työkalussa on käytetty arvoa 250 kg/m³. (SYKE 2021.)

10.2 Neitseelliset maa- tai kallioainekset

Kehitettävässä työkalussa on otettu huomioon raekooltaan 0...32 mm mursketyyppi. Kyseisen murskeen hiilijalanjälki on 0,007 kg CO₂e/kg ja sen ominaispaino 1500 kg/m³. (SYKE 2021.) Mursketta käytetään yleisesti kantavissa ja jakavissa rakennekerroksissa.

Hiekan hiilijalanjälki on 0,005 kg CO₂e/kg ja sen ominaispaino on 1500 kg/m³. (SYKE 2021.) Hiekkaa käytetään esimerkiksi tasauserroksissa ja putkien ympärystäytöissä.

Soran hiilijalanjälki on 0,005 kg CO₂e/kg ja sen ominaispaino on sama kuin hiekan eli 1500 kg/m³ (SYKE 2021). Soraa käytetään etenkin toissijaisten kulkuväylien pintamateriaalina tai esimerkiksi lumenläjitysalueiden pinnoissa.

Louheen hiilijalanjäljen on arvioitu olevan samaa luokkaa murskeen hiilijalanjäljen kanssa eli 0,007 kg CO₂e/kg (SYKE 2021). Louheen ominaispaino on 1800 kg/m³ (INFRA 2013).

10.3 Muut materiaalit

Multaa käytetään usein kasvukerroksissa viheralueilla ja istutusalueilla. Sen hiilijalanjäljen on arvioitu olevan 0,038 kg CO₂e/kg ja ominaispaino on 1300 kg/m³ (Biolan 2010; INFRA 2013). Usein uusissa asemakaavamääräyksissä määrätään tontista tietty pinta-ala viheraluekäyttöön.

Asfalttimassan hiilijalanjälki on 0,048 kg CO₂e/kg ja asfalttimassan ominaispaino on 2500 kg/m³ (SYKE 2021). Asfalttipintojen kerrospaksuudet vaihtelevat esimerkiksi sen mukaan millaiseen käyttöön pinnoitettu alue on tarkoitettu; teollisuuspihoilla ajetaan painavilla yhdistelmäajoneuvoilla eli rekoilla, joten kerrospaksuudet ovat paksummat kuin esimerkiksi asuinkerrostalon pihateillä.

Kivipinnat ovat kestäviä ja usein käytettyjä esimerkiksi asuinkerrostalojen pinnoitettujen piha-alueiden pintamateriaalina. Kiveysmateriaalin hiilijalanjälki on 0,06 kg CO₂e/kg ja sen ominaispaino on 2700 kg/m³. (SYKE 2021.)

Kevytsora valmistetaan savesta polttamalla. Tunnetuin esimerkki kevytsorasta on Leca-kevytsora. (LECA 2021.) Kevytsoran hiilijalanjälki on 0,007 kg CO₂e/kg ja sen ominaispaino on 1500 kg/m³. (SYKE 2021.) Kevytsoraa käytetään esimerkiksi kevennyskerroksissa ja kerroksissa, joilta halutaan lämmöneristysominaisuuksia.

11 Työkoneiden aiheuttamat päästöt

Perustamisvaiheen yleisimmät työkoneet työmaalla ovat kuorma-autot, pontitus- ja paalutuskoneet sekä kaivinkoneet.

11.1 Kuorma-autot

Tyypillisimmät maankuljetusautot työmailla ovat kasetti ja nuppi. Kasetti on yhdistelmäajoneuvo, joka koostuu etuosasta eli nupista ja takaosasta eli kärristä. Nuppia käytetään usein lyhyimmillä kuljetusmatkoilla ja koko yhdistelmää eli kasettia pidemmällä matkoilla. Kuvassa 15 on esimerkki nupista.



Kuva 15. Yhdistelmän nupin kuormaustilanne

Kasetti-nimitys tulee siitä, että kärrissä oleva lava otetaan nupin kyytiin, eli kasetoidaan. Tällöin saadaan myös kärrin sisältö kipattua haluttuun paikkaan. Kasetointi mahdollistaa myös sen, että koko yhdistelmää ei tarvitse yrittää saada mahtumaan ahtaille työmaalle kerralla.

Myös puoliperävaunuja eli puolikkaita käytetään maa-aineksen kuljetuksissa. Se on kooltaan nupin ja yhdistelmän välimaastosta. Kehitettävässä työkalussa on käytetty vain kasetti- ja nuppikuormia laskennassa.

Kehitettävässä työkalussa on käytetty kasetille maksimikuormamääränä 42 tonnia ja 35 m³. Nupille puolestaan on arvioitu maksimikuormaksi 18 tonnia ja 15 m³. Eri materiaaleja kuljettaessa työkalu valitsee kunkin materiaalin kohdalta joko painon tai tilavuuden rajoittavaksi tekijäksi kuormamäärien laskennassa.

Työkalussa on käytetty kasetille kulutuslukemana 40,65 l/100 km. Luku on laskettu keskiarvona maantie- ja moottoritieajon kulutuslukemista. (VTT 2004.) Päästöinä lukema on 1,09 kg CO₂e/km. (VTT 2021.)

Nupille työkalussa on puolestaan käytetty 18 t jakeluauton keskikulutuslukemaa 28,7 l/100 km. (VTT 2004.) Lukemaa on tarkasteltu kuorma-autojen maahantuojalta saadun vertailudatan avulla ja lukeman on todettu olevan tähän laskentaan riittävän tarkka. Päästöinä lukema on 0,77 kg CO₂e/km. (VTT 2021.)

11.2 Pontituskone

Pontituskone voi olla tavallinen kaivinkone, jossa on ponttaukseen soveltuva laite kauhan tilalla. Kyseessä oleva kone soveltuu ponttaukseen ahtaissa kohteissa ja kohteissa, joissa maaperä on suhteellisen helposti läpäistävää. Isommissa kohteissa, joissa on tilaa ja maaperä on vaikeammin pontitettavaa, käytetään suurempia pontituskoneita. Suuremmat pontituskoneet käyttävät työntövoimaa ponttien maahan työntämiseen, kun taas tavalliset ponttauskoneet varustetut kaivinkoneet täryttävät pontteja maahan.

Urakointipuolen työkonet kuluttavat polttoainetta 18...24 litraa tunnissa (Ruusunlehti 2021). Kehitettävässä työkalussa on käytetty ponttauskoneelle annetun haarukan yläpäässä olevaa arvoa 24 l/h, sillä ponttauksen katsotaan olevan hieman kuluttavampi työsuorite kuin esimerkiksi normaali maankaivu kaivinkoneella. Päästö määrä tunnissa (64,08 kg CO₂e/h) on laskettu polttoainelitrin keskimääräisen päästö määrän 2,67 kg CO₂e/l avulla. Laskutoimitus $24 \text{ l} \times 2,67 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 64,08 \text{ kg CO}_2\text{e/h}$.

Kehitettävään työkaluun syötetään pontattava piiri metreinä ja ponttaustyön arvioitu kesto työvuoroina. Yhden työvuoron pituus on kahdeksan tuntia.

11.3 Paalutuskone

Tässä opinnäytetyössä on paalutuskoneen kohdalla käsitelty lähinnä kuvassa 16 esitetyn koneen kaltaista paalutuskonetta. Ko. paalutuskoneen toiminta perustuu paalun päähän pudotettavaan painoon, joka upottaa hiljalleen paalun maaperään. Paalutusnopeus riippuu huomattavasti maaperän pehmeydestä ja kivisyydestä.



Kuva 16. Paalutuskone oikeassa laidassa (Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy 2021)

Paalutuskoneen kulutuslukemana työkalussa on käytetty 9,2 l/h (Junttan 2021). Päästö-määrä tunnissa ($24,56 \text{ kg CO}_2\text{e/h}$) on laskettu polttoainelitrin keskimääräisen päästö-määrän $2,64 \text{ kg CO}_2\text{e/l}$ avulla. Laskutoimitus $9,2 \text{ l} \times 2,67 \text{ kg CO}_2\text{e/kg} = 24,56 \text{ kg CO}_2\text{e/h}$.

11.4 Kaivinkone

Kaivinkoneet urakointipuolella kuluttavat polttoainetta noin 18...24 litraa tunnissa (Ruusun-lehti 2021). Kehitettävässä työkalussa on käytetty tavalliselle kaivinkoneelle annetun haa-rukan keskivaiheessa olevaa arvoa 20 l/h, sillä kaivutyön ei katsota olevan aivan niin kulut-tava työsuorite kuin esimerkiksi ponttaustyön. Päästö määrä tunnissa ($53,4 \text{ kg CO}_2\text{e/h}$) on laskettu polttoainelitrin keskimääräisen päästö määrän $2,64 \text{ kg CO}_2\text{e/l}$ avulla. Laskutoimitus $20 \text{ l} \times 2,67 \text{ kg CO}_2\text{e/kg} = 53,4 \text{ kg CO}_2\text{e/h}$.

12 Työkalun kehittäminen

Edellä käsiteltyjä perustamistapoja, materiaaleja ja työkoneita otettiin mukaan laskentatyökaluun. Ympäristöministeriön työkalun laatijan Lauri Tähtisen (Green Building Council Finland) kanssa käydyn keskustelun perusteella Excel-työkalusta haluttiin laatia mahdollisimman yksinkertainen ja yksiselitteinen. Työkalun käyttäjäkohderyhmä on pohjarakentamiseen perehtyneet suunnittelijat, joilla ei välttämättä ole juuri kokemusta hiilijalanjälkilaskennasta.

Jokaiseen välilehteen laadittiin erilaisia pudotusvalikoita, joihin koottiin ko. kohdan laskennan kannalta olennaiset tiedot. Esimerkiksi kuljetuskalusto -kohtaan valittiin vaihtoehtoiksi kuorma-auto (nuppi) ja yhdistelmäajoneuvo (kasetti).

Työkalun koonti aloitettiin päättämällä tulostulokseen halutut päästötiedot. Tämän jälkeen laskenta vaiheistettiin haluttuihin osioihin välilehtien avulla. Jokainen välilehti kattaa laskennan yhden osion ja näiden osioiden yhteenlasketut päästöt lasketaan automaattisesti tulostulokseen. Työkaluun on piilotetuille välilehdille koottu tarvittavat päästölukemat, materiaalien tiheydet, työkalujen kulutukset ja muut työkalun kaavojen tarvitsemat tiedot.

Työkalun laadinta eteni testaamalla laskennan toimivuutta välilehti kerrallaan. Usein kun huomattiin jokin epäkohta tai parannettava kaava, päädyttiin laatimaan osioita alusta lähtien uusiksi. Työkalusta on laadittu useampi versio ennen nykyistä testiversiota. Uusien versioiden laatimiseen päädyttiin lähes yksinomaan siksi, että oli helpompaa laatia kokonaan uusi kaava kuin lähteä muokkaamaan melko pitkiäkin kaavoja ja laskentapolkuja vanhaan versioon. Kuviossa 10 on kuvattu työkalun kehittämisprosessia.



Kuvio 10. Työkalun kehittämisprosessi

Excelin ominaisuuksista kaavoihin liittyen erityisesti VLOOKUP, IFERROR ja Datavalidation osoittautuivat erittäin hyödyllisiksi työkalun eri laskentavaiheiden kaavojen laadinnassa.

12.1 Tulosnäköymä

Työkaluun koottiin ensin haluttu tulosnäköymä (kuvio 11), joka määrittä tarvittavat lisävälilehdet. Esimerkkejä tulosnäköymästä on esitetty kohdissa 13.1–13.3 ja liitteissä 1–3.

Työnumero		
Tilaaja		
Osoite		
CO ₂ e päästölaskenta		
Päivämäärä		
Laatija		
Tontin ala	0	m ²
Rakennuksen ala	0	m ²
Pihan ala	0	m ²
Materiaalit	0,0	t CO ₂ e
Kuljetukset	0,0	t CO ₂ e
Kaivu- ja täyttötyö	0,0	t CO ₂ e
Pontitustyö	0,0	t CO ₂ e
Paalutustyö	0,0	t CO ₂ e
Stabilointityö	0,0	t CO ₂ e
Yhteensä	0,0	t CO ₂ e
Huomiot		

Kuvio 11. Työkalun tulosnäköymä

Näköymässä on koottuna mm. seuraavat tiedot laskettavasta kohteesta:

- Tontin pinta-ala
- Rakennuksen pinta-ala
- Pihan pinta-ala
- Päästö määrät eriteltynä kohdittain (materiaalit, kuljetukset, kaivu- ja täyttötyö, pontitus- ja paalutustyö sekä stabilointityö)

12.2 Laskentaa varten täytettävät välilehdet 1–4

Työkaluun muodostui tulosnäköymäsivun lisäksi neljä välilehteä. Välilehdet on nimetty työkaluun seuraavasti:

- 1. Tontin muokkaus, kaivu
- 2. Tulevat kerrokset, rakennus ja piha
- 3. Rakennus, perustaminen
- 4. Pihan kantavuuden vahvistus

Liitteissä 1–3 on esitetty esimerkkikohteiden laskennan välilehdet. Jokaisen välilehden yläkulmassa on tietojen täyttöohjeet.

Ensimmäisessä välilehdessä (kuvio 12) täytetään olemassa olevan maaperän tietoja ja poistettavien kerrosten laajuuksia. Laaditut täyttöohjeet:

- 1. Syötä tulevan rakennuksen ala ja nykyisten piha-alueiden (jaettu 1–3 osaan) alat sekä pintamateriaalit.*
- 2. Syötä tulevan rakennuksen alueen nykyiset maakerrokset kerrospaksuuksineen. Huomio tämä ala piha-alueiden poistettavissa määrissä!*
- 3. Määritä poistettavat kerrokset ("poistettava ala, m²")*
- 4. Määritä maakerroksittain kuljetusmatka vastaanottopaikkaan ja takaisin kohteeseen sekä kuljetuskalusto, jolla kuljetus toteutetaan.*
- 5. Määritä pontattava piiri metreinä ja ponttaustyön arvioitu kesto työvuoroina (8 h).*
- 6. Merkitse kaivumäärä m³/päivä tai käytä arviota 500 m³/päivä.*

[illegible]

Kuvio 12. Välilehti 1

Toisessa välilehdessä (kuvio 13) täytetään tulevien rakennekerroksien kerrospaksuuksia ja käytettäviä materiaaleja. Laaditut täyttöohjeet:

1. Syötä tulevan rakennuksen pohjapinta-ala ja tulevien piha-alueiden (jaettuna 1–3 osaan) alat sekä pintamateriaalit.
2. Syötä tulevan rakennuksen alueen tulevat rakennekerrokset kerrospaksuuksineen.

Kolmannella välilehdellä (kuvio 14) lasketaan rakennuksen perustamiseen liittyviä päästöjä, kuten esimerkiksi tarvittavien paalutuksien ja anturoiden aiheuttamat päästöt sekä näihin tarvittavien kuljetusten ja työkoneiden aiheuttamat päästöt. Laaditut täyttöohjeet:

1. Määritä tulevan rakennuksen ala m^2 .
2. Määritä tulevien anturoiden koot, määrä ja materiaali.
3. Määritä stabilointitiedot (valinnainen)
4. Määritä perustamistapa.
5. Merkitse stabilointikoneen työmäärä (m/tv).

TÄYTTÖOHJEET															
1. Määritä tulevan rakennuksen ala m ² .															
2. Määritä tulevien anturuiden koot, määrä ja materiaali.															
3. Määritä stabilointiedot (valinnainen)															
4. Määritä perustamistapa.															
5. Merkitse stabilointikoneen työmäärä (m ³ /v).															
Täytettävät solut on merkitty vaaleanpunaisella pohjaväriillä															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Rakennuksen perustaminen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rakennuksen ala, m²</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Rakennuksen perustaminen		Rakennuksen ala, m ²							
Rakennuksen perustaminen															
Rakennuksen ala, m ²															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Materiaalit, t CO₂e</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Kuljetus, t CO₂e</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td>Stabilointityö, t CO₂e</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Paalutustyö, t CO₂e</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Yhteensä t CO₂e</td> <td>0,20</td> </tr> </tbody> </table>						Materiaalit, t CO ₂ e		Kuljetus, t CO ₂ e	0,20	Stabilointityö, t CO ₂ e	0,00	Paalutustyö, t CO ₂ e	0,00	Yhteensä t CO₂e	0,20
Materiaalit, t CO ₂ e															
Kuljetus, t CO ₂ e	0,20														
Stabilointityö, t CO ₂ e	0,00														
Paalutustyö, t CO ₂ e	0,00														
Yhteensä t CO₂e	0,20														
Rakennuksen perustukset															
	Betonityyppi	Pituus, m	Leveys, m	Korkeus, m	Kpl määrä	Yhteensä kg CO ₂ e									
Anturatyypin 1						0									
Anturatyypin 2						0									
Anturatyypin 3						0									
						Yhteensä t CO ₂ e									
						0									
Stabilointi															
	Pilarin halkaisija, m	Pilarin pituus, m	Pilarien määrä, kpl												
Pilaristabilointi, Kalkki-sementtiseos KC30, 120 kg/m ³ , 34 kg/m				Yhteensä t CO ₂ e											
				0											
Perustaminen															
	Paalun pituus m (ka)	Paalujen määrä, kpl													
Betonipaalu RTB-300			t CO ₂ e yhteensä												
				0											
Kuljetukset															
	Tonnia	Kuormia													
Peruskaset	0	1	Päästöt kg CO ₂ e												
Stabilointimassa	0	1	65												
Paalut	0	1	65												
				65											
						Yhteensä t CO ₂ e									
						0,20									
Konetyöt															
	m paalua/pilaria	m paalua/pilaria/päivä	Työpäiviä (8h)	Työtunteja	päästöt kg CO ₂ e										
Paalutuskone	0	-	-	-	0										
Stabilointikone	0	0	0	0	0										
						Yhteensä t CO ₂ e									
						0,0									

Kuvio 14. Välilehti 3

Kolmannella välilehdellä työkalu laskee täydennyksien jälkeen automaattisesti materiaalien, kuljetusten ja työkoneiden päästömäärät.

Neljännellä välilehdellä (kuvio 15) lasketaan esimerkiksi mahdollisten pihan stabilointien aiheuttamat päästöt. Laaditut täyttöohjeet:

1. Kevennysratkaisut tulevat merkityksi jo ”välilehti 2”-tiedoissa.
2. Täytä korostetut kohdat, jos kohteeseen tulee pilaristabilointia.

TÄYTTÖOHJEET				
1. Kevennysratkaisut tulevat merkityksi jo "tulevat kerrokset, rakpiha" välilehden tiedoissa.		Materiaalit, t CO ₂ e	0	
2. Täytä alla olevat korostetut kohdat, jos kohteeseen tulee pilaristabilointia.		Stabilointityö, t CO ₂ e	0,0	
Täytettävät solut on merkitty vaaleanharmaalla pohjavärillä		Yhteensä tCO ₂ e		
		0,0		
Materiaali				
Stabilointiseos	Pilarin halkaisija, m	Pilarin pituus, m	Pilarien määrä, kpl	Yhteensä t CO ₂ e
Pilaristabilointi, Kalkki-sementtiseos KC30, 120 kg/m ³ , 34 kg/m				0
Stabilointityö				
	Yhteensä m pilaria	m pilaria/päivä	Työpäiviä (8 h)	Yhteensä t CO ₂ e
Stabilointikone	0		0	0,0

Kuvio 15. Välilehti 4

Välilehdellä neljä työkalu laskee täydennysten jälkeen materiaalien ja stabilointityön aiheuttamat päästömäärät automaattisesti.

13 Testivaiheen laskentatyökalun käyttökokemukset ja tulokset

Työkalua testattiin kolmen erilaisen jo toteutetun suunnittelukohteen tiedoilla. Kaikki kohteet sijaitsevat pääkaupunkiseudulla. Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy on toiminut niissä pohjatutkijana ja -rakennesuunnittelijana. Tarvittavat lähtötiedot koottiin kohteen saatavilla olevasta materiaalista, mm. pohjatutkimus- ja perustamistapalausunnosta ja pohjarakennesuunnitelmista. Lähtötietoja on pyöristetty ja yksinkertaistettu laskentaa varten. Esimerkiksi maakerrosten paksuudet ovat keskiarvoja. Aivan kaikkia lähtötietoja ei ollut saatavilla. Jos lähtötieto puuttui, arvioitiin sille soveltuva lukuarvo aiempien kohteiden parissa työskentelyn kertyneen kokemuksen perusteella. Kuviossa 16 on esitetty esimerkkikohteiden laskentaprosessi. Tuloksia tulkittaessa tulee ottaa huomioon se, että työkalu on vasta testi- ja kehitysvaiheessa.



Kuvio 16. Esimerkkikohteiden laskentaprosessi

13.1 Case 1 Espoo

Kohde sijaitsee Espoossa. Ennen rakentamista alueelle haettiin kaavamuutosta teollisuuskäytön muuttamiseksi asuinkäyttöön. Kohteeseen rakennettiin asuinkerrostalo ja pihan sekä autohallin pohjaksi kantava laatta. Käytännössä koko tontti on rakennettu täyteen. Kantavaan laattaratkaisuun päädyttiin maaperän heikon kantavuuden takia. Periaateleikkaus kohteesta on esitetty kuviossa 17 ja arkkitehdin asemapiirustusluonnoksesta on esitetty ote kuviossa 18.



Kuvio 17. Case 1 -kohteen arkkitehdin periaateleikkaus (Arkkitehtitoimisto Jukka Turtiainen Oy 2018)



Kuvio 18. Case 1 -kohteen arkkitehdin asemapiirustusluonnos. Kohde rajattu punaisella (Arkkitehtitoimisto Jukka Turtiainen Oy 2018)

Rakennettavan tontin pinta-ala on noin 4600 m² ja rakennetun rakennuksen ja pihalaatan ala kattavat koko tontin alan. Itse rakennuksen ala on noin puolet koko alasta, eli 2300 m².

Pihalaatan päälle tehtiin piha-alueet seuraavasti: 1/3 eli noin 770 m² viheraluetta, 1/3 eli noin 770 m² kiveystä ja 1/3 eli noin 770 m² asfalttialuetta.

Alueen maaperä ennen rakentamista koostui asfaltoidusta pinnasta, noin 1,5 m sora- sestä täyttökerroksesta, noin 6,0 m heikosti kantavasta savikerroksesta, noin 3,0 m siltti- kerroksesta ja kalliosta. Tontti ei sijaitse pohjavesialueella, mutta lähellä tonttia sijaitsee suojeltu puro.

Itse rakennus perustettiin teräsbetonipaaluille ja pihakansi teräsbetonipaaluille ja stabi- loidun maaperän varaan. Rakentamista varten alueelta poistettiin 0,1 m asfalttikerros ja ra- kennuksen alueelta noin yhden metrin kerros täyttöä. Pihakannen alueelta poistettiin asfalt- tikerros ja noin 0,5 metriä täyttöä.

Laskennassa otettiin betoninen pihalaatta mukaan työkalun välilehdellä ”3. Rakennus, pe- rustaminen”.

Kohteen laskennan tulokset on esitetty kuviossa 19.

Työnumero	CASE 1	
Tilaaaja	Esimerkki Oy	
Osoite	Esimerkkitie 2, Espoo	
CO ₂ e päästölaskenta		
Päivämäärä	8.5.2021	
Laatija	SH	
Tontin ala	4600	m2
Rakennuksen ala	2300	m2
Pihan ala	2300	m2
Materiaalit	370,1	t CO ₂ e
Kuljetukset	17,0	t CO ₂ e
Kaivu- ja täyttötyö	10,9	t CO ₂ e
Pontitustyö	7,2	t CO ₂ e
Paalutustyö	2,3	t CO ₂ e
Stabilointityö	0,0	t CO ₂ e
Yhteensä	405,1	t CO ₂ e

HUOM. Pihalaatta 150 mm huomioitu välilehdellä 3 anturatyypin 2 -kohdassa.

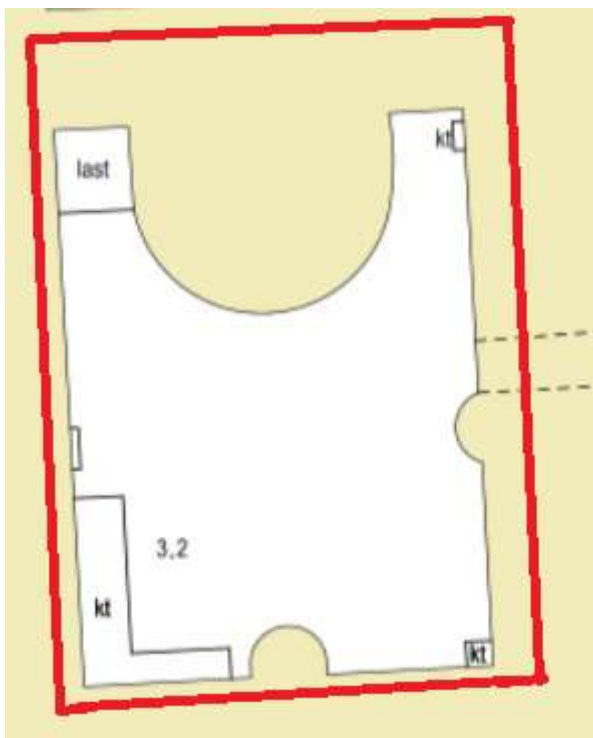
Kuvio 19. Case 1 -tulossivu

Kohteen pohjarakentamisen hiilijalanjälki on noin 0,090 t CO₂e tontin neliömetriä kohden. Suurin osa päästöistä tässä kohteessa muodostuu materiaaleista ja näistä suurin vaikutus on kohteen pihalaattaan, anturoihin ja paaluihin käytetyllä betonilla. Jos rakennus olisi rakennettu kantavalle maaperälle, ei pihalaattaa eikä myöskään paaluja olisi tarvittu. Heikosti kantavassa rakennuspaikassa päästöjä olisi voitu mahdollisesti pienentää esimerkiksi myös uusiomateriaaleilla toteutettavalla massanvaihdoilla ja tämän jälkeen maanvaraisella perustamisella.

Case 1 -laskentatulokset ja tarkemmat tiedot esimerkiksi rakennekerroksista on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 1.

13.2 Case 2 Helsinki

Kohde sijaitsee Helsingissä ja erityispiirteenä tässä kohteessa oli pilaantunut maaperä. Maaperä kunnostettiin massanvaihdoilla, ylisyyviä kaivuita ei tehty. Pilaantunut maaperä aiheutti pois vietävien massojen osalta pidemmät kuljetusmatkat. Lisäksi alueen pohja- ja orsivedenpintaa ei saanut laskea edes työnaikaisesti, joten rakennuksen alue jouduttiin ponnittamaan, jotta saatiin rakentamista varten vesitiivis kaivanto. Kuviossa 20 on esitetty kohde kantakarttapohjalla. Kohteen sisäpiha on esitetty valkealla värillä kuviossa.



Kuvio 20. Case 2 -kohde kantakarttapohjalla (Helsingin karttapalvelu 2021b)

Rakennetun rakennuksen ala on noin 1000 m² ja pihan ala on noin 1800 m². Kohde sijaitsee keskustassa, joten rakentaminen oli hidasta tilanpuutteen ja liikennejärjestelyiden takia.

Kohteen maaperä koostui ennen rakentamista 0,1 m asfalttipinnasta, noin 2,0 m täyttökerroksesta, noin 3,5 metrin savikerroksesta, noin 3,0 m kitkamaakerroksesta ja kalliosta. Rakennus perustettiin teräsbetonipaaluille ja piha perustettiin kevennetyn maaperän varaisesti. Kohteessa oli vanha kevennyskerros, joka hyödynnettiin uudessa kevennyskerroksessa, joten sitä ei huomioida laskelmissa.

Rakennuksen alueelta poistettiin asfalttikerros, kahden metrin täyttökerros ja noin 1,5 m kerros savea. Piha-alueelta poistettiin asfalttikerros ja noin yhden metrin täyttökerros (kevytsorakerros käytettiin uudelleen).

Kohteen laskennan tulokset on esitetty kuviossa 21.

Työnumero	CASE 2	
Tilaaja	Esimerkki Oy	
Osoite	Esimerkkitie 2, Helsinki	
CO ₂ e päästölaskenta		
Päivämäärä	8.5.2021	
Laatija	SH	
Tontin ala	2800	m2
Rakennuksen ala	1000	m2
Pihan ala	1800	m2
Materiaalit	77,1	t CO ₂ e
Kuljetukset	47,2	t CO ₂ e
Kaivu- ja täyttötöy	19,8	t CO ₂ e
Pontitustyö	7,2	t CO ₂ e
Paalutustyö	0,7	t CO ₂ e
Stabilointityö	0,0	t CO ₂ e
Yhteensä	151,2	t CO ₂ e
HUOM. Maaperä pilaantunutta		

Kuvio 21. Case 2 -tulossivu

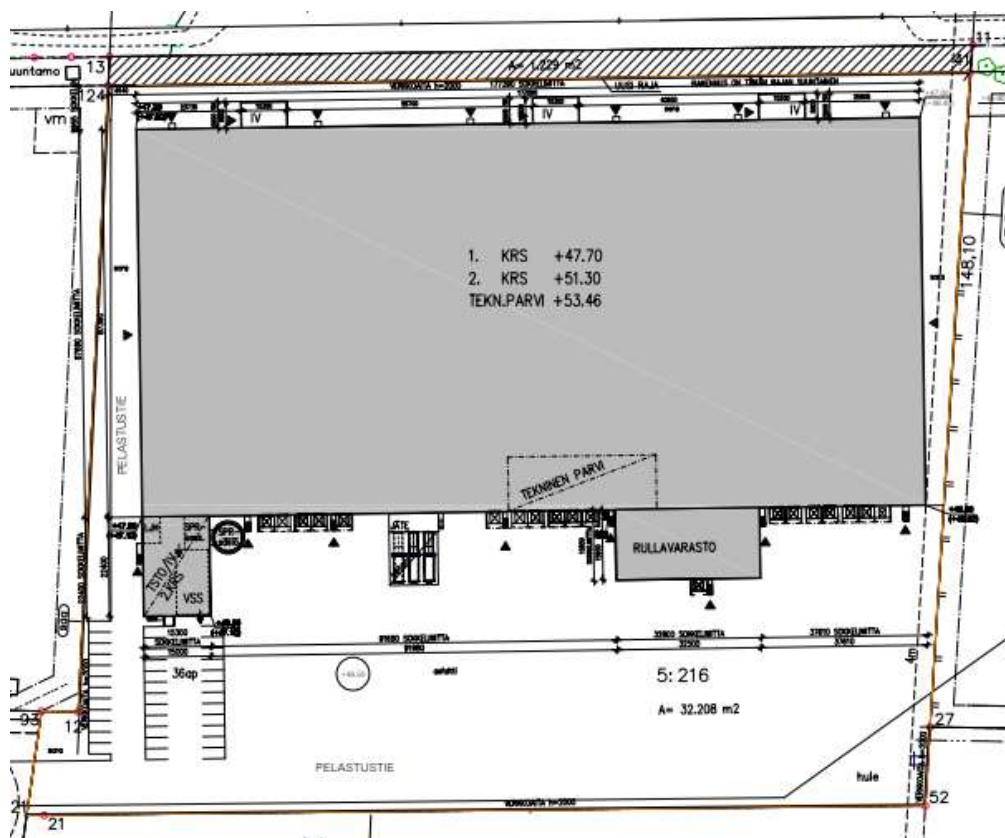
Kohteen pohjarakentamisen hiilijalanjälki on noin 0,054 t CO₂e tontin neliometriä kohden. Isoimmat päästöjä aiheuttavat seikat ovat tässä kohteessa materiaalit ja kuljetukset. Jos

kohteen maaperä olisi ollut puhdasta, olisivat massojen kuljetusmatkat olleet huomattavasti lyhyemmät. Tällöin kuljetusten aiheuttamat päästöt olisivat olleet huomattavasti toteutuneita pienemmät.

Case 2 -laskentatulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 2.

13.3 Case 3 Tuusula

Case 3 perustuu rakennettuun kohteeseen Tuusulassa. Kohteen lähtötietoja on muokattu kokonaan maanvaraiseen perustamiseen soveltuvaksi. Rakennetun teollisuusrakennuksen ala on noin 14 500 m² ja piha on alaltaan noin 17 500 m². Kohteen arkkitehdin luonnos asemapiirustuksesta on esitetty kuviossa 22.



Kuvio 22. Case 3 -kohteen arkkitehdin asemapiirustusluonnos (Arkkitehtiruutu Oy 2019)

Alueen maaperä koostui ennen rakentamista noin 1,5 m täyttösorakerroksesta, noin viiden metrin kantavasta hiekkakerroksesta ja kalliosta. Kohde ei sijaitse pohjavesialueella.

Rakennus ja piha perustettiin maanvaraisesti. Koko tontin alueelta poistettiin täyttökerros, eli noin 1,5 metrin kerros massoja. Kohteessa ei tarvittu ponttiseiniä eikä stabilointia.

Kohteen laskennan tulokset on esitetty kuviossa 23.

Työnumero	CASE 3	
Tilaaja	Esimerkki Oy	
Osoite	Esimerkkitie 2, Tuusula	
CO ₂ e päästölaskenta		
Päivämäärä	8.5.2021	
Laatija	SH	
Tontin ala	32000	m2
Rakennuksen ala	14500	m2
Pihan ala	17500	m2
Materiaalit	306,8	t CO ₂ e
Kuljetukset	80,1	t CO ₂ e
Kaivu- ja täyttötyö	51,9	t CO ₂ e
Pontitustyö	0,0	t CO ₂ e
Paalutustyö	0,0	t CO ₂ e
Stabilointityö	0,0	t CO ₂ e
Yhteensä	438,9	t CO ₂ e
Teollisuushalli, rekkaliikennettä		

Kuvio 23. Case 3 -tulossivu

Kohteen pohjarakentamisen hiilijalanjälki on noin 0,014 t CO₂e tontin neliometriä kohden. Suurin päästöjä aiheuttava tekijä on kohteen raskaan liikenteen liikennöimän piha-alueen asfaltointimateriaali. Itse asfaltointityötä ei oteta työkalun laskelmissa huomioon. Päästö-määrää olisi mahdollisesti voitu pienentää rakentamalla viheralueita ja minimoimalla asfal-toidut alueet.

Case 3 -laskentatulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 3.

13.4 Tulosten vertailu rakentamisen hiilijalanjälkeen

Tässä luvussa case-kohteiden pohjarakentamisen hiilijalanjälkilaskennan tuloksia on ver-tailtu rakennuksen rakentamisvaiheen hiilijalanjälkeen. Vertailun pohjana on käytetty Riina Aholan ja Kimmo Liljeströmin laatimaa Asumisen rahoitus- ja kehityskeskuksen raporttia ”Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti”. Kyseisessä raportissa on laskettu neljälle eri rakennushankkeelle hiilijalanjäljet. Kaikissa raportin

rakennushankkeissa on rakennettu asuinkerrostaloja. Rakennushankkeiden vaiheet on jaoteltu vaiheisiin. Tässä vertailussa on otettu huomioon vain raportin vaiheet A1-A4 eli tuotevaiheet ja kuljetusvaiheet työmaalle. Esimerkiksi rakennuksen purkuvaiheen päästöjä ei ole otettu huomioon, koska tämän ei katsottu olevan oleellista halutun vertailun kannalta.

Taulukossa 3 on raportin tietojen perusteella laskettu päästömäärät erikseen vaiheille A1-A3 eli tuotevaihe ja A4 eli kuljetusvaihe työmaalle. Tuotevaihe sisältää rakennustuotteiden koko valmistusketjun päästöt ja kuljetusvaihe työmaalle sisältää nimensä mukaisesti rakennustuotteiden ja koneiden kuljetusten aiheuttamat päästöt. Raportissa ilmoitettu tuotevaihe A1-A3 sisältää myös paalujen ja anturoiden materiaalien päästöt. Taulukossa 3 on raportin tietojen perusteella laskettu A1-A3 vaiheille päästölukema ilman edellä mainittujen materiaalien päästöjä. Lisäksi taulukossa on laskettuna päästölukema hankkeiden tonttien pintaalaan suhteutettuna $\text{kg CO}_2\text{e/ m}^2$ lukemana. (Ahola & Liljeström 2018.)

tontin ala, m^2	t CO_2e yhteensä	t CO_2e A1-A3	t CO_2e A4	kg $\text{CO}_2\text{e/ m}^2$ A1-A4
2726	11700	2421,9	117	931
2163	9010	1549,7	0	716
11575	16900	3244,8	169	295
8842	14100	2566,2	141	306

Taulukko 3. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti - raportin päästölukemien vertailua. Lukemat laskettu raportin lukemien perusteella

Case 1 Espoon päästölukema $0,090 \text{ t CO}_2\text{e/ m}^2$ on raportin neljän hankkeen laskettuihin $\text{kg CO}_2\text{e/ m}^2$ lukemiin verrattuna noin 10...31 % rakentamisen A1-A4 vaiheiden hiilijalanjäljestä. Case 2 Helsingin päästölukema $0,054 \text{ t CO}_2\text{e/ m}^2$ on raportin lukemiin verrattuna noin 6...18 % rakentamisen A1-A4 vaiheiden hiilijalanjäljestä. Case 3 Tuusulan päästölukema $0,014 \text{ t CO}_2\text{e/ m}^2$ on noin 2...5 % rakentamisen A1-A4 vaiheiden hiilijalanjäljestä.

Raportin esimerkkikohteiden perustusten (paalutus ja anturat) osuus A1-A3 vaiheiden päästöistä on raportin omien lukujen perusteella laskettuna 4...14 % luokkaa (Ahola & Liljeström 2018). Jos kaikki tämän opinnäytetyön laskentatyökalun sisältämät asiat huomioidaan, voi päästö määrä yli tuplaantua tarkentuneiden tietojen perusteella. Tästä voidaan päätellä, että tarvetta tarkemmalle laskennalle on. Nykyiset laskentatyökalut ja niiden antamat tulokset voivat antaa liian pienen lukeman pohjarakennusvaiheelle.

Vertailun perusteella perustamisolosuhteilla ja -tavoilla on huomattava vaikutus rakennuksen tuote- ja kuljetusvaiheiden kokonaispäästöihin. Case 3 Tuusula -kohteen maanvarainen perustaminen pienentää selkeästi eniten päästö määrää, kun taas Case 1 Espoo -kohteen paalutus ja stabilointi nostavat prosenttiosuutta.

14 Pohdintaa ja jatkokehitys

Keskellä hektistä työtilannetta ja koronapandemiasta huolimatta oli mielenkiintoista pohtia pohjarakentamista ja perustamisolosuhteita hieman syvällisemmin ympäristötekniikan insinöörin näkökulmasta. Toki olen käsitellyt näitä aiheita työssäni jo yli 10 vuoden ajan ympäristösuunnittelun ja -konsultoinnin ohella. Opinnäytetyön aihe on kypsynyt pikkuhiljaa erilaisten kohteiden parissa työskennellessäni ja nyt kun työ on valmis, huomaan monia uusia kehitysideoita tämän aiheen ympäriltä. Esimerkiksi massatasapaino- ja hiilijalanjälkilaskennan voisi yhdistää jollakin tavalla, jotta samoja asioita ei tarvitse laskea useaan otteeseen. Laadittua työkalua voi kehittää monellakin eri tavalla, esimerkiksi lisäämällä erilaisia laskennassa huomioitavia seikkoja työkalun välilehdille.

Kaupungistuminen tuo monia haasteita rakennusallalle eikä perustamisolosuhteiltaan hyvien ja edullisten tonttien löytäminen ole tässä poikkeus. Rakentaminen lähtee alueiden kaavoituksesta ja toivottavasti tulevaisuudessa jo tässä vaiheessa otetaan perustamisolosuhteet huomioon ja laaditaan vähähiilistä rakentamista tukevia kaavamääräyksiä. Kasvavien ja tiivistyvien kaupunkien tulee ottaa perustamisolosuhteet huomioon jo alueidenkäytön suunnittelun alkuvaiheessa, jos rakentamisen hiilijalanjälkeen halutaan vaikuttaa. Tässä työssä ei ole käsitelty luonnontilaiselle tontille rakentamisen haasteita hiilijalanjälkeen liittyen esimerkiksi hiilinieluina toimivien metsien hakkuiden osalta. Tämän huomioiminen laskennassa on työkalun kehityslistalla yhtenä kohtana.

Työkalun laskennan case-tulokset olivat mielenkiintoisia, sillä suurin osa aiheutuneista päästöistä liittyy betoniin rakenteisiin, asfalttiin ja stabilointimassaan. Jos rakennettava tontti on perustamisolosuhteiltaan edullinen ja rakennekerroksissa käytetään uusiomateriaaleja, voidaan pohjarakentamisen aiheuttamia päästöjä pienentää huomattavasti. Työkoneiden ja kuljetusten aiheuttamat päästöt eivät olleet niin suuressa osassa kuin mitä päästöihin liittyvän yleisen keskustelun perusteella voisi olettaa. Uusiomateriaalien käytöllä voidaan saada pohjarakentamisen hiilijalanjälkeä pienennettyä ja myös säästettyä neitseellisiä kiviaineksia. Mullan hiilijalanjäljen suuruus tuli itselleni yllätyksenä, mutta tarkemmin ajateltuna suuruusluokka on looginen. Usein mullassa on paljon erilaisia parannusaineita ja nämä aiheuttavat suhteellisen suuren hiilijalanjäljen ko. tuotteelle.

Esimerkkikohteiden laskentatulosten vertaaminen koko rakennuksen hiilijalanjälkeen oli silmiä avaavaa, sillä vertailujen perusteella perustamisolosuhteiltaan edullinen tontti todella vaikuttaa huomattavasti kokonaispäästömäärään. Päästö määräysten tiukentuessa kannattaa tontin valintaan kiinnittää erityistä huomiota rakennushankkeita suunniteltaessa.

Hiilijalanjätkilaskennan tuloksia on verrattu olemassa oleviin esimerkkipäästölukuihin pohjarakentamisen osalta. Vertailun pohjalta näyttää siltä, että suurusluokka työn laskelmissa on oikea. Työkalun jatkokehityksessä kaikki laskentataulukon kaavat ja lukuarvot tarkistetaan.

Tämän opinnäytetyön laadinta on vahvistanut käsitystäni siitä, että rakennuspaikan perustamisolosuhteet ja rakennuksen perustamistavat vaikuttavat suuresti rakentamisen hiilijalanjälkeen. Työkalun laskelmien oikeellisuuden tarkistamista jatketaan erilaisten kohdelaskelmien perusteella.

Lähteet

Aaltonen, Wikström 2005. Teräsbetonilyöntipaalu. Rakennustietopalvelun arkistomateriaali. [Viitattu 18.5.2021]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050401.pdf>

Ahola & Liljeström 2018. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen raportti 8/2018. [Viitattu 20.5.2021]. Saatavissa: https://joutsenmerkki.fi/wp-content/uploads/2018/12/Hiilijalanj%C3%A4ljen-pienent%C3%A4minen-kustannustehokkaasti_2018.pdf

Apila 2015. Rengasrouheen käyttö maarakennuskohteissa. Apila Group Oy Ab:n, Suomen Rengaskierrätys Oy:n ja Kuusakoski Oy:n julkaisema esite. [Viitattu 1.2.2021]. Saatavissa: https://www.rengaskierratys.com/files/74/Rengasrouhe_maarakentamisessa_6.2015.pdf

Boverket 2021. The assignment on climate declaration for new buildings, Swedish National Board of Housing, Building and Planning. [Viitattu 30.5.2021]. <https://www.boverket.se/en/start/building-in-sweden/developer/rfq-documentation/climate-declaration/assignment-on-climate-declaration/>

Biolan 2010. Mullan hiilijalanjälki. Biolan Oy. [Viitattu 8.3.2021]. Saatavissa: https://www.biolan.fi/media/ohjeet-ja-esitteet/hiilijalanjalki_multa_lannoitteet.pdf

Bionova 2021a. Vähähiilinen rakentaminen. Bionova Oy:n internetsivut. [Viitattu 18.5.2021]. Saatavissa: <https://www.oneclicklca.com/fi/ymparistoministerion-vahahiilisen-rakentamisen-pilotointi-avattu-ja-arviointimenetelma-julkaistu/>

Bionova 2021b. One Click LCA työkalun toiminta. Bionova Oy:n internetsivut. [Viitattu 4.4.2021]. Saatavissa: <https://www.oneclicklca.com/fi/>

FCG 2009. Teräspaalu. Luonnosteksti MaaRyl työryhmälle, FCG Planeko Oy. [Viitattu 18.5.2021]. Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/maaryl/maaryl_tyoryhmat/pohja_ja_esirakentaminen/Kokous_010210/2412_Teraspaalut.pdf

GTK 2005. Maalajien ominaisuuksia. Geologian tutkimuskeskuksen pdf-tilukko. [Viitattu 9.5.2021]. Saatavissa: <http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/kuvat/maalajiominaisuudet.pdf>

GTK 2021a. Tietoa pohja- ja orsivedestä. Geologian tutkimuskeskuksen internetsivut. [Viitattu 2.4.2021]. Saatavissa: http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/pohjav_esiintyminen.htm

GTK 2021b. Maaperän taustapitoisuudet. Geologian tutkimuskeskuksen aineistopalvelu. [Viitattu 3.4.2021]. Saatavissa: <https://gtkdata.gtk.fi/Tapir/>

GTK 2021c. Happamat sulfaattimaat. Geologian tutkimuskeskuksen aineistopalvelu. [Viitattu 18.5.2021]. Saatavissa: <https://gtkdata.gtk.fi/hasu/index.html>

Heikkinen, S. 2009. Happamien sulfaattimaiden haitat hallintaan. Geofoorumi-julkaisu 2/2009:14–15.[Viitattu 3.4.2021].

Immonen, K. 2001. Helsingin täyttömaa-alueet. Helsingin ympäristökeskuksen julkaisu 7/2001. [Viitattu 18.5.2021] Saatavissa: <https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-07-01.pdf>

INFRA Ry 2013. Työmaakansion viides luku ”Mittauksista, peruskäsitteistä, merkinnöistä, kustannuksista, indekseistä, työnsuunnittelusta”. Infra Ry:n julkaisu. [Viitattu 3.4.2021]. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/jasenpalvelu/sahkoiset-julkaisut/tyomaakansio/tyomaakansio-5.pdf>

Jyväskylän yliopisto 2015a. Kvantitatiivinen tutkimus. Jyväskylän yliopiston avoin tietokanta. [Viitattu 31.5.2021]. Saatavissa: <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/maarallinen-tutkimus>

Jyväskylän yliopisto 2015b. Kvalitatiivinen tutkimus. Jyväskylän yliopiston avoin tietokanta. [Viitattu 31.5.2021]. Saatavissa: <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/laadullinen-tutkimus>

KFS 2021. Syvästabilointi. KFS Finland Oy:n internetsivut. [Viitattu 2.3.2021]. Saatavissa: https://www.kfs.fi/kfs_palvelut/syvastabilointi/

Kling 2019. Climate declaration when constructing buildings. Ruotsin talousministeriön julkaisema lehdistötiedote. [Viitattu 31.5.2021]. Saatavissa: <https://www.government.se/press-releases/2019/09/climate-declaration-when-constructing-buildings/>

LECA 2021. Kevytsoran ominaisuuksia. Leca Finland Oy:n internetsivut. [Viitattu 7.4.2021]. Saatavissa: <https://leca.fi/tuotteet/leca-kevytsora/>

Motiva 2021. Materiaalit ja niiden jalostaminen. UUMA4-hankkeen käsikirjasto. [Viitattu 26.4.2021]. Saatavissa: <https://www.uusiomaarakentaminen.fi/materiaalit-ja-niiden-jalostaminen#Parametrien%20m%C3%A4%C3%A4ritt%C3%A4minen,%20periaatteita>

Pekkala 2014. Vaahtolasimurske rakentamisessa. Uusioaines Oy:n ohje. [Viitattu 2.4.2021]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK140402.pdf>

Pieksemä 2014. Betoni kiertää purkujätteestä rakennusmateriaaliksi. Sirkka Saarisen toimittama julkaisu, jossa haastateltu Jani Pieksemää. [Viitattu 7.5.2021]. Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/08/BET1404_48-51.pdf

- RAKLI 2015. Selvitys kaavamääräysten kustannusvaikutuksista. Julkaisu joulukuu/2015. [Viitattu 18.5.2021]. Saatavissa: https://www.rakli.fi/wp-content/uploads/2019/06/kaava-maaraysten_kustannusvaikutukset_raportti_nettires.pdf
- Ronkainen, N. 2012. Suomen maalajien ominaisuuksia. Suomen ympäristökeskuksen julkaisu. [Viitattu 25.4.2021]. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38773/SY2_2012_Suomen_maalajien_ominaisuuksia.pdf
- Sippala 2012. Rakentajan kiviainesopas. [Viitattu 31.5.2021]. Saatavissa: http://www.sippala.fi/kiviainesopas_2012.pdf
- SMA 2016. Kalkkia maan stabilointiin. Sma Minerals Oy:n julkaisu. [Viitattu 23.5.2021]. Saatavissa: https://smamineral.se/wp-content/uploads/2016/11/sma_maan_stabilointiin_fi.pdf
- SYKE 2021. Rakentamisen päästötietokanta. Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämä tietokanta. [Viitattu 9.5.2021]. Saatavissa: <https://co2data.fi/>
- Tiehallinto 2005. Asfaltin uusiokäyttö. Tiehallinnon ohjepdf (sivu 11). [Viitattu 5.3.2021]. Saatavissa: <https://julkaisut.vayla.fi/pdf/4000464-vasfaltinuusiokaytto.pdf>
- Uusioaines Oy 2021. Foamit vaahtolasiesite. Uusioaines Oy:n internetsivut. [Viitattu 9.5.2021]. Saatavissa: <https://foamit.fi/tuotteet/>
- VTT 2004. Polttoaineenkulutus, PRO3/P5166/05. Teknologian tutkimuskeskus Oy:n taulukko. [Viitattu 15.4.2021]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/1038/HD-energia_ominaiskulutus-liite2.pdf
- VTT 2021. Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. Teknologian tutkimuskeskus Oy:n ylläpitämä järjestelmä. [Viitattu 8.4.2021]. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/>
- Väylä 2015. Geotekniset tutkimukset ja mittaukset. Liikenneviraston ohjeita 10/2021. [Viitattu 18.5.2021]. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2015-10_geotekniset_tutkimukset_web.pdf
- YLE 2015. Myrkkymaa uhkasi tuhansien terveyttä Myllypurossa. YLE:n artikkeli. [Viitattu 19.5.2021]. Saatavissa: <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2014/11/28/myrkkymaa-uhkasi-tuhansien-terveytta-helsingin-myllypurossa>
- YLE 2021. Jätemaan päälle rakennettu rivitalo vajoaa. YLE:n artikkeli. [Viitattu 19.5.2021]. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-11245359>

YM 2021. Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. Ympäristöministeriön internetsivut. [Viitattu 4.3.2021]. Saatavissa <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>

YM 2014. Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta. Ympäristöministeriön ohjeita. [Viitattu 4.4.2021]. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136564/OH_6_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Haastattelut ja tietopyynnöt

Junttan 2021. Paalutuskoneiden kulutusdata, sähköposti/Excel-tilukko. Junttan Oy.

Ruusunlehti 2021. Työkoneiden kulutustietoja, sähköposti. A. Ruusunlehti Oy.

Tähtinen 2021. Lauri Tähtisen (Green Building Council Finland) haastattelu 26.2.2021.

Kuvat

Ilman lähdemerkintää olevat kuvat ovat opinnäytetyön laatijan ottamia valokuvia Insinööri-toimisto Pohjatekniikka Oy:n suunnittelukohteista.

Helsingin karttapalvelu 2021a. Ote karttapalvelun maaperäkartasta. [Viitattu 23.5.2021]. Saatavissa: <https://kartta.hel.fi/?setlanguage=fi#>

Helsingin karttapalvelu 2021b. Ote karttapalvelun kanta-kartasta. [Viitattu 20.5.2021]. Saatavissa: <https://kartta.hel.fi/?setlanguage=fi#>

Insinööri-toimisto Pohjatekniikka Oy 2020. Insinööri-toimisto Pohjatekniikan työmaalla Sami Saravon ottama kuva koekuopasta.

Insinööri-toimisto Pohjatekniikka Oy 2021. Valokuva arkistosta.

NQE Teollisuus Oy 2020. Ote rakennesuunnittelijan perustusleikkauksesta.

Peda 2021. Litorinameren vaiheet. Peda.net. -internetsivut. [Viitattu 4.3.2021]. Saatavissa: <https://peda.net/sastamala/peruskoulut/sylvaan-koulu/oppiaineet/maantieto/koppa-nen-sanni/suomi22/4mjj/it%C3%A4meren-vaiheet/nimet%C3%B6n-c299/i:file/download/6d155004d8b4fa1e6bb82f659dd0f23d5984c5ef/itameren-vaiheet-litorinameri.png>

Uponor 2019. Tehokkaat ratkaisut hulevesien hallintaan. Uponor Infra Oy:n internetsivut. [Viitattu 4.3.2021]. Saatavissa: www.uponor.fi

Liite 1. Case 1 laskentatyökalun laskelmat

Työnumero	CASE 1
Tilaaaja	Esimerkki Oy
Osoite	Esimerkkitie 2, Espoo

CO₂e päästölaskenta

Päivämäärä	8.5.2021
Laatija	SH

Tontin ala	4600	m2
Rakennuksen ala	2300	m2
Pihan ala	2300	m2

Materiaalit	370,1	t CO2e
Kuljetukset	17,0	t CO2e
Kaivu- ja täyttötyö	10,9	t CO2e
Pontitustyö	7,2	t CO2e
Paalutustyö	2,3	t CO2e
Stabilointityö	0,0	t CO2e

Yhteensä	405,1	t CO2e
-----------------	--------------	--------

HUOM. Pihalaatta 150 mm huomioitu välilehdellä 3 anturatyypin 2 -kohdassa.

Case 1 laskentataulukon tulossivu

TÄYTTÖOHJEET

1. Määritä tulevan rakennuksen ala m².
2. Määritä tulevan anturaiden koot, määrä ja materiaali.
3. Määritä stabilointibetoni (valinnainen).
4. Määritä perustamistapa.
5. Merkitse stabilointikoneen työmäärä (m/h).

Täytettävät solut on merkitty vaaleanpunaisella pohjalla.

Rakennuksen perustaminen
Rakennuksen ala, m²

2300

Materiaalit, t CO ₂ e	298,08
Kuljetus, t CO ₂ e	2,77
Stabilointityö, t CO ₂ e	0,00
Paalutus, t CO ₂ e	2,31

Yhteensä t CO₂e

303,16

Rakennuksen perustukset

Anturatyypit	Betonityyppi	Pituus, m	Leveys, m	Korkeus, m	Kpl määrä	Yhteensä kg CO ₂ e
Anturatyypit 1	Sulfaattiresistentävä betoni	2	1,5	1	60	86400
Anturatyypit 2	Betoni, paikalla valettu	100	23	0,15	1	124200
Anturatyypit 3						0
Yhteensä t CO ₂ e						210,6

Stabilointi

Pilaristabilointi, Kalkki-sementtiseos KC30, 120 kg/m ³ , 34 kg/m	Pilarin halkaisija, m	Pilarin pituus, m	Pilarien määrä, kpl	Yhteensä t CO ₂ e
				0

Perustaminen

Betonipaalu RTB-300	Paalun pituus m (ka)	Paalujen määrä, kpl	t CO ₂ e yhteensä
	9	240	87

Kuljetukset

	Tonnia	Kuormia	Päästöt kg CO ₂ e
Perustukset	1260	30	1954
Stabilointimassa	0	1	65
Paalut	486	12	754
Yhteensä t CO ₂ e			2,77

Koneet

	m paalus/pilaria	m paalus/pilaria/päivä	Työpäiviä (8h)	Työtunteja	päästöt kg CO ₂ e
Paalutuskone	2160	-	-	-	2306,88
Stabilointikone	0	0	0	0	0
Yhteensä t CO ₂ e					2,3

Case 1 laskentatyökalun välilehti 3.

TÄYTTÖOHJEET

1. Kevennysratkaisut tulevat merkityksi ja "tulevat keroset, rak-piha" välilehden tiedoissa.
2. Täytä alla olevat korostetut kohdat, jos kohteeseen tulee pilaristabilointia.

Täytettävät solut on merkitty vaaleanharmaalla pohjalla.

Materiaalit, t CO ₂ e	13
Stabilointityö, t CO ₂ e	7,1

Yhteensä tCO₂e

20,0

Materiaali

Stabilointiseos	Pilarin halkaisija, m	Pilarin pituus, m	Pilarien määrä, kpl	Yhteensä t CO ₂ e
Pilaristabilointi, Kalkki-sementtiseos KC30, 120 kg/m ³ , 34 kg/m	0,60	2,00	200	13

Stabilointityö

	Yhteensä m pilaria	m pilaria/päivä	Työpäiviä (8 h)	Yhteensä t CO ₂ e
Stabilointikone	400	30	13	7,1

Case 1 laskentatyökalun välilehti 4.

Liite 2. Case 2 laskentatyökalun laskelmat

Työnumero	CASE 2
Tilaaja	Esimerkki Oy
Osoite	Esimerkkitie 2, Helsinki

CO₂e päästölaskenta

Päivämäärä	8.5.2021
Laatija	SH

Tontin ala	2800	m2
Rakennuksen ala	1000	m2
Pihan ala	1800	m2

Materiaalit	77,1	t CO ₂ e
Kuljetukset	47,2	t CO ₂ e
Kaivu- ja täyttötyö	19,8	t CO ₂ e
Pontitustyö	7,2	t CO ₂ e
Paalutustyö	0,7	t CO ₂ e
Stabilointityö	0,0	t CO ₂ e

Yhteensä	151,2	t CO ₂ e
-----------------	--------------	---------------------

HUOM. Maaperä pilaantunutta

Case 2 laskentatyökalun tulossivu.

TÄYTTÖOHJEET

1. Suurin katon rakennuksen pituus on ja katon pinta-ala on (pinta-ala 0,2 kerroksen alla)
2. Suurin katon rakennuksen alusta katon rakennuksen katonrakennuksen
3. Mittoja täytettävien kerrosten ("täytettävä ala, m²")
4. Mittoja kerrosten katonrakennuksen ja katon rakennuksen katonrakennuksen
5. Mittoja kerrosten katonrakennuksen ja katon rakennuksen katonrakennuksen

Täytettävä ala on mittoja rakennuksen pinta-ala

Täytettävä rakennuksen ala, m ²	1000		
Pinta-ala 1 ala, m ²	1000	Pinta-ala 1 ala, m ²	Yhteensä
Pinta-ala 2 ala, m ²	800	Pinta-ala 2 ala, m ²	Kuivaus
Pinta-ala 3 ala, m ²		Pinta-ala 3 ala, m ²	

Kuivaus, t CO ₂ e	8,5
Täytettävä, t CO ₂ e	3,9
Materiaali, t CO ₂ e	45,8
Yhteensä, t CO₂e	58,2

Rakennuksen ala, tuotetut massat/työt									
Kerroskattaus, m	Materiaali	Täytettävä ala, m ²	Tuotava määrä, m ³	Kuivausmäärä (edestakainen), km	Kuivausmäärä	Kuivaus	Yhteensä km	kg CO ₂ e, kuivaus yhteensä	kg CO ₂ e, materiaali yhteensä
0,30	Murske, G. 32	1000	800	40	Kuivaus-auto (nappi)	25	1000	766,29	1150
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0

Yhteensä, t CO₂e Yhteensä, t CO₂e

0,37 3,11

Pinta-ala 1, tuotetut rakennekerrokset									
Kerroskattaus, m	Materiaali	Täytettävä ala, m ²	Tuotava määrä, m ³	Kuivausmäärä (edestakainen), km	Kuivausmäärä	Kuivaus	Yhteensä km	kg CO ₂ e, kuivaus yhteensä	kg CO ₂ e, materiaali yhteensä
0,50	Murske, G. 32	1000	800	40	Kuivaus-auto (nappi)	25	1000	766,29	1150
0,30	Murske, G. 32	1000	800	40	Kuivaus-auto (nappi)	25	1000	766,29	1150
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0

Yhteensä, t CO₂e Yhteensä, t CO₂e

3,87 27,3

Pinta-ala 2, tuotetut rakennekerrokset									
Kerroskattaus, m	Materiaali	Täytettävä ala, m ²	Tuotava määrä, m ³	Kuivausmäärä (edestakainen), km	Kuivausmäärä	Kuivaus	Yhteensä km	kg CO ₂ e, kuivaus yhteensä	kg CO ₂ e, materiaali yhteensä
0,10	Kuivaus	800	80	40	Kuivaus-auto (nappi)	12	480	367,82	1760
0,30	Murske, G. 32	800	160	40	Kuivaus-auto (nappi)	2	80	61,30	180
0,20	Murske, G. 32	800	160	40	Kuivaus-auto (nappi)	13	513	408,69	1680
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0

Yhteensä, t CO₂e Yhteensä, t CO₂e

9,84 14,8

Pinta-ala 3, tuotetut rakennekerrokset									
Kerroskattaus, m	Materiaali	Täytettävä ala, m ²	Tuotava määrä, m ³	Kuivausmäärä (edestakainen), km	Kuivausmäärä	Kuivaus	Yhteensä km	kg CO ₂ e, kuivaus yhteensä	kg CO ₂ e, materiaali yhteensä
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0
			0			0	0	0,00	0

Yhteensä, t CO₂e Yhteensä, t CO₂e

0,00 0,0

Käyttötyö									
-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tuotava määrä yhteensä 1364 m³

Käyttötyö	Täyttö m ³ /päivä (arvio)	t CO ₂ e yhteensä
	100	3,88

Käyttötyö (h)	Käyttötyö (h)
9	78

Case 2 laskentatyökalun välilehti 2.

TÄYTTÖOHJEET

1. Määritä tulevan rakennuksen ala m².
2. Määritä tulevan anturaiden koot, määrä ja materiaali.
3. Määritä stabilointiväline (valinnainen).
4. Määritä perustamistapa.
5. Merkitse stabilointikoneen työmäärä (m/h).

Täytettävät solut on merkitty vaaleanpunaisella pohjalla.

Rakennuksen perustaminen
Rakennuksen ala, m²

1000

Materiaalit, t CO ₂ e	31,32
Kuljetus, t CO ₂ e	0,35
Stabilointityö, t CO ₂ e	0,00
Paalutus, t CO ₂ e	0,68

Yhteensä t CO₂e

32,35

Rakennuksen perustukset

Anturatyypit	Betonityyppi	Pituus, m	Leveys, m	Korkeus, m	kpl määrä	Yhteensä kg CO ₂ e
Anturatyypit 1	Betoni, paikalla valettu	1	1,5	0,5	20	5800
Anturatyypit 2						0
Anturatyypit 3						0
Yhteensä t CO ₂ e						5,4

Stabilointi

Pilaristabilointi, kalkki-sementtiseos KC30, 120 kg/m ³ , 34 kg/m	Pilarin halkaisija, m	Pilarin pituus, m	Pilarien määrä, kpl	Yhteensä t CO ₂ e
				0

Perustaminen

Betonipaalat RTB-300	Paalun pituus m (ka)	Paalujen määrä, kpl	t CO ₂ e yhteensä
	8	80	26

Kuljetukset

	Tonnia	Kuormia	Päästöt kg CO ₂ e
Perustukset	36	1	65
Stabilointimassa	0	1	65
Paalut	144	3	223
Yhteensä t CO ₂ e			0,35

Koneet

	m paalus/pilaria	m paalus/pilaria/päivä	Työpäiviä (8h)	Työtunteja	päästöt kg CO ₂ e
Paalutuskone	640	-	-	-	683,52
Stabilointikone	0	0	0	0	0
Yhteensä t CO ₂ e					0,7

Case 2 laskentatyökalun välilehti 3.

TÄYTTÖOHJEET

1. Kevennysratkaisut tulevat merkityksi ja "tulevat kerrokset, rak+piha" välilehden tiedoissa.
2. Täytä alla olevat korostetut kohdat, jos kohteeseen tulee pilaristabilointia.

Täytettävät solut on merkitty vaaleanharmaalla pohjalla.

Materiaalit, t CO ₂ e	0
Stabilointityö, t CO ₂ e	0,0

Yhteensä tCO₂e

0,0

Materiaali

Stabilointiseos	Pilarin halkaisija, m	Pilarin pituus, m	Pilarien määrä, kpl	Yhteensä t CO ₂ e
Pilaristabilointi, kalkki-sementtiseos KC30, 120 kg/m ³ , 34 kg/m				0

Stabilointityö

Stabilointikone	Yhteensä m pilaria	m pilaria/päivä	Työpäiviä (8 h)	Yhteensä t CO ₂ e
	0	30	0	0,0

Case 2 laskentatyökalun välilehti 4.

Liite 3. Case 3 laskentatyökalun laskelmat

Työnumero	CASE 3
Tilaaaja	Esimerkki Oy
Osoite	Esimerkkitie 2, Tuusula

CO₂e päästölaskenta

Päivämäärä	8.5.2021
Laatija	SH

Tontin ala	32000	m2
Rakennuksen ala	14500	m2
Pihan ala	17500	m2

Materiaalit	306,8	t CO2e
Kuljetukset	80,1	t CO2e
Kaivu- ja täyttötyö	51,9	t CO2e
Pontitustyö	0,0	t CO2e
Paalutustyö	0,0	t CO2e
Stabilointityö	0,0	t CO2e

Yhteensä	438,9	t CO2e
-----------------	--------------	--------

Teollisuushalli, rekkaliikennettä

Case 3 laskentatyökalun tulossivu.

Case 3 laskentatyökalun välilehti 2.

TÄYTTÖOHJEET

1. Määritä tuleen rakennuksen ala m².
2. Määritä tuleen anturaiden koodi, määrä ja materiaali.
3. Määritä stabilointiväline (pilaristabilointi)
4. Määritä perustamistapa
5. Määritä stabilointikoneen työmäärä (m³/h)

Täytettävät solut on merkitty vaaleanpunaisella pohjajavalla

Rakennuksen perustaminen
Rakennuksen ala, m²

14500

Materiaalit, t CO ₂ e	14,40
Kuljetus, t CO ₂ e	0,28
Stabilointityö, t CO ₂ e	0,00
Paalutus, t CO ₂ e	0,00

Yhteensä t CO₂e

14,68

Rakennuksen perustukset

Anturatyyppi	Betonityyppi	Pituus, m	Leveys, m	Korkeus, m	Kpl määrä	Yhteensä kg CO ₂ e
Anturatyyppi 1	Betoni, paikalla valettu	2	1	0,5	40	14400
Anturatyyppi 2						0
Anturatyyppi 3						0
Yhteensä t CO ₂ e						14,4

Stabilointi

Pilaristabilointi, Kalkki-sementtiseos KC30, 120 kg/m ³ , 34 kg/m	Pilarin halkaisija, m	Pilarin pituus, m	Pilarien määrä, kpl	Yhteensä t CO ₂ e
				0

Perustaminen

Betonipaalu RTB-300	Paalun pituus m (ka)	Paalujen määrä, kpl	t CO ₂ e yhteensä
			0

Kuljetukset

	Tonnia	Kuormia	Päästöt kg CO ₂ e
Perustukset	96	2	149
Stabilointimassa	0	1	65
Paalut	0	1	65
Yhteensä t CO ₂ e			0,28

Koneet

	m paalus/pilaria	m paalus/pilaria/päivä	Työpäiviä (8h)	Työtunteja	päästöt kg CO ₂ e
Paalutuskone	0	-	-	-	0
Stabilointikone	0	0	0	0	0
Yhteensä t CO ₂ e					0,0

Case 3 laskentatyökalun välilehti 3.

TÄYTTÖOHJEET

1. Kevyen ratkaisut tulevat merkityksi jo "tulevat kerrokset, rak+piha" välilehden tiedoissa.
2. Täytä alla olevat korostetut kohdat, jos kohteeseen tulee pilaristabilointia.

Täytettävät solut on merkitty vaaleanharmaalla pohjajavalla

Materiaalit, t CO ₂ e	0
Stabilointityö, t CO ₂ e	0,0

Yhteensä tCO₂e

0,0

Materiaali

Stabilointiseos	Pilarin halkaisija, m	Pilarin pituus, m	Pilarien määrä, kpl	Yhteensä t CO ₂ e
Pilaristabilointi, Kalkki-sementtiseos KC30, 120 kg/m ³ , 34 kg/m				0

Stabilointityö

	Yhteensä m pilaria	m pilaria/päivä	Työpäiviä (8 h)	Yhteensä t CO ₂ e
Stabilointikone	0		0	0,0

Case 3 laskentatyökalun välilehti 4.