

SITOWISE

Asuinkerrostalojen rakenteiden rakennusfysikaalinen ja energiatehokas toimivuus

Loppuraportti, julkaisu

Päiväys 15.12.2023

Projektinumero R23248



Euroopan unionin rahoittama –
NextGenerationEU

Sisällys

1	Tiivistelmä.....	1
2	Hankkeen tausta ja tavoitteet.....	2
3	Hankkeen osapuolet ja menetelmät	3
4	Hankkeen tulokset.....	4
5	Hankkeen vaikuttavuus/vaikutukset	7
6	Viestinnän toteutuminen ja tulokset.....	8
7	Tulosten kestävyys ja hyödyntäminen	9
8	Talousraportti.....	10
9	Suositukset tulevia hankkeita ja ohjelmia varten.....	10
10	Yhteenveto hankkeen päätuloksista.....	10
11	Lähteet.....	11



1 Tiivistelmä

Ympäristöministeriön Vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelmaan toteutetun Asuinkerrostalojen rakenteiden rakennusfysikaalinen ja energiatehokas toimivuus tulevaisuuden ilmastossa -hankkeen tuloksena ovat rakennetyyppikirjasto sekä hiilijalanjälkilaskentapohja. Hankkeen tavoitteena on luoda aineistoa ja työkaluja rakentamiseen ilmastonmuutokseen sopeutumiseen ja päästöjen vähentämiseen. Ilmastonmuutokseen sopeutumisella tarkoitetaan rakenteiden toimivuutta lämpö- ja kosteusteknisesti tulevaisuuden ympäristössä, kun olosuhteet rakenteille muuttuvat epäedullisemmiksi.

Hanke on saanut tukea ympäristöministeriöltä Vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelmasta, jonka rahoitus tulee EU:n kertaluonteisesta elpymisvälineestä (RRF).

Hankkeessa laadittiin kosteus- ja lämpötekniisesti toimivien liittymädetaljien ja rakennetyyppien kirjasto asuinkerrostalon ulkovaipan rakenteille. Tämän kirjaston rakennetyypit sisällytettiin hankkeessa toteutettuun hiilijalanjälkilaskentapohjaan, jolloin myös kyseisten rakennetyyppien hiilijalanjälki tunnetaan. Tämän lisäksi laskentapohjan avulla arvioimme rakennuksen hiilijalanjälkeä syötetyillä tiedoilla.

Hankkeen aikainen viestintä on mahdollistanut työkalujen käyttämisestä saadun palautekeskustelun ja yleisesti laajentanut rakenneratkaisujen hiilijalanjälkien suuruuksien ymmärtämistä hankkeen sidosryhmissä. Hankkeen aikana on käyty keskusteluja ja ohjattu rakennesuunnittelua myös Sitowisen sisällä entistä vastuullisempaan ja vähähiilisempään suuntaan.

The result of the project "Building engineering physical and energy-efficient functionality of apartment building structures in the future climate" in the Low-Carbon Built Environment Program of the Ministry of the Environment was the creation of a library of structure types and a carbon footprint calculation template. The goal of the project was to provide resources and tools for the construction industry to adapt to climate change and reduce construction emissions. Climate adaptation refers to the functionality of structures in terms of thermal and moisture performance in a future climate when conditions for the structures become less favorable.

As a final output of the project, a library of connection details and structure types that function well in terms of moisture and thermal performance was developed. The structure types from this library were included in the carbon footprint calculation template that was created in the project, enabling the determination of the carbon footprint for these structure types. Additionally, using the calculation template, we can assess the carbon footprint of a building based on the input data. Communication has enabled the wide adoption of the implemented tools at Sitowise. As a result of the project, Sitowise has further promoted responsible and low-carbon construction.



2 Hankkeen tausta ja tavoitteet

Viimeaikaisten tutkimusten mukaan rakennusalalla on merkittävät ympäristövaikutukset, ja siten myös maailmanlaajuisesti suurin potentiaali pienentää kasvihuonekaasupäästöjä ja hillitä näin ilmastomuutosta (Säynäjoki et al. 2012). Suomessa yli kolmannes kasvihuonekaasupäästöistä syntyy rakennuksista ja rakentamisesta (Kuittinen & le Roux 2017). Rakentamisen päästöt jaetaan tyypillisesti rakennuksen elinkaaren eri vaiheiden mukaan tuotesidonnaisiin, käyttösidonnaisiin sekä käytön jälkeisiin päästöihin (Ibn-Mohammed et al. 2013). Käyttö- ja tuotesidonnaiset päästöt käsittävät pääosan rakennuksen kokonaispäästöistä ja näistä jälkimmäisen osuuden on ennustettu kasvavan tulevaisuudessa entisestään (Röck et al. 2020). Viime vuosien aikana rakennusten käyttösidonnaisia päästöjä on onnistuttu vähentämään parantamalla rakennusten energiatehokkuutta. Jotta Suomessa asetetut vähähiilisyteen liittyvät tavoitteet voidaan saavuttaa, on rakentamisesta aiheutuvia tuotesidonnaisia päästöjä myös pyrittävä vähentämään. Tuotesidonnaisilla päästöillä tarkoitetaan rakennusosien ja -tuotteiden valmistuksesta aiheutuvia päästöjä. Näiden päästöjen vähentämisen keinoja ovat mm. materiaali-valmistajien vähähiiliset tuotekehitykset, sekä rakennesuunnittelijoiden vähähiilisyden näkökulmasta optimoidut rakenneratkaisut, etenkin rakennuksen rungon osalta.

Vuonna 2025 Suomessa astuu voimaan uusi rakentamislaki, joka esimerkiksi kytkee hiilijalanjäljen raja-arvot osaksi Suomen rakentamismääräyskokoelmaa (Ympäristöministeriö 2023). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että rakennustyypeille määritetään hiilijalanjäljen maksimi-arvo, jonka alapuolelle rakennuksen hiilijalanjäljen tulee jäädä. Tulevaisuudessa uusi laki siis velvoittaa arvioimaan rakennuksen hiilijalanjäljen. Uusi rakentamislaki ohjaa vähähiilisempien rakennusmateriaalien käyttöön. Vähähiilisempien rakennusmateriaalien avulla rakennuksen tuotesidonnaisia päästöjä on mahdollista keventää. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkilaskenta, joka on yksi keinoista ohjata rakennettua ympäristöä kohti kestävä kehitystä, tulee vakioitumaan rakennusalan käytännöksi.

Ilmastomuutos on jo käynnissä, eikä sitä voida enää täysin pysäyttää. Tästä syystä ilmastomuutoksen hillitsemisen lisäksi on tärkeää varmistaa rakennusten sopeutuminen tulevaisuuden uusiin olosuhteisiin. Ilmastomuutoksen myötä rakenteiden rakennusfysikaaliselta toiminnalta vaaditaan tulevaisuudessa enemmän. Ilmatieteenlaitoksen REFI-tutkimuksessa (Ruosteenoja ym. 2013) on ennustettu sademäärien, tuulen, lämpötilan, pilvisyyden sekä ilman suhteellisen kosteuden kasvavan. Olosuhteiden muuttuessa rakenteille epäedullisemmiksi rakenteen kosteusteknisen toiminnan kannalta, rakenteiden rakennusfysikaalisesta tarkastelusta tulee haastavampaa. Rakenteet, sekä niiden liitokset, tulisi suunnitella sadan vuoden käyttöiällä. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon, että olosuhteet rakenteiden ympärillä muuttuvat vaikeammin hallittaviksi. Samalla rakentamista ohjataan entistä energiatehokkaampaan suuntaan ja uudet rakennusmateriaalit, sekä eristemäärien kasvu haastavat rakenteiden rakennusfysikaalista toimivuutta.

Hanke vastaa edellä esitettyihin ongelmiin. Yhtenä hankkeen tavoitteena on edistää vähähiilistä rakentamista ja pienentää näin rakentamisesta syntyviä päästöjä. Tavoitteena on myös tuottaa aineistoa rakennesuunnittelun alalle ilmastomuutokseen sopeutumiseen. Vähähiilistä rakentamista edistetään mahdollistamalla rakennuksen hiilijalanjäljen arviointi jo rakennushankkeen varhaisessa vaiheessa. Tähän keskeisenä keinona hankkeessa toteutetaan laskentapohja, jonka avulla voidaan rakennuksen kokonaishiilijalanjäljen arvioinnin lisäksi arvioida myös rakennetyyppeihin liittyvien valintojen



vaikutuksia päästöihin. Näitä erilaisia vaikutuksia tutkitaan hankkeessa toteutettua laskentapohjaa hyödyntäen ja tavoitteena on tunnistaa vähähiilisyiden kannalta optimaaliset ratkaisut.

Hankkeessa ilmastonmuutokseen sopeutumisella tarkoitetaan rakennusten ja rakenteiden toimivuutta tulevaisuuden ympäristössä, kun olosuhteet rakenteille muuttuvat epäedullisiksi. Hankkeessa pyritään varmistamaan rakenteiden sopeutuminen ilmastonmuutokseen tutkimalla rakenteiden toimintaa nyky- sekä tulevaisuuden ilmastossa rakennuksen sisäilman kannalta. Lisäksi tutkitaan rakenteiden liitosaluiden energiatehokkuutta ja selvitetään mahdollisia parannuksia, jotta ilmastonmuutokseen sopeutuminen on mahdollista. Tutkimustyö toteutetaan käytössä olevilla rakennusfysiikkaohjelmistoilla ja hankkeen kaikissa tutkimuksissa käsitellään asuinkerrostalojen yleisesti käytettyjä rakennetyyppejä.

3 Hankkeen osapuolet ja menetelmät

Asuinkerrostalojen rakenteiden rakennusfysikaalinen ja energiatehokas toimivuus- hanke on Sitowisen sisäinen hanke, jonka työryhmä koostuu Sitowisen henkilöstöstä. Hanke on saanut tukea ympäristöministeriöltä Vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelmasta, jonka rahoitus tulee EU:n kertaluonteisesta elpymisvälineestä (RRF). Hankkeessa ei ole muita osapuolia.

Hankkeen tutkimustyöstä vastaavina tutkijoina toimivat Antti Kärkäs ja Rasmus Törrönen. Tutkijat ovat rakennustekniikan diplomivaiheen opiskelijoita, ja he työskentelevät Sitowisella rakennesuunnittelijoina. Työryhmään kuuluu myös Sitowisen ja ohjaavien oppilaitosten rakennusfysikaaliseen suunnitteluun, sekä vähähiiliseen rakentamiseen erikoistuneita ammattilaisia. Sitowiselta työryhmään kuuluvat Juha-Pekka Kumpulainen (YAMK), Jorma Jääskeläinen (DI), Urpo Karesniemi (DI) ja Lauri Aantaa (RI). Työryhmään kuuluu myös muita Sitowisen rakenne- ja korjaussuunnittelun sekä projektinhallinnan henkilöstöä.

Hankkeen alustavina toimenpiteinä tehtiin kysely liittymädetaljiiratkaisuista toteutuneissa kohteissa. Kysely kohdistettiin Sitowisen rakennetekniikan palvelualueelle Suomen laajuisesti. Hankkeen työryhmä kävi kyselyn vastaukset läpi ja valitsi kuusi yleisimmin käytettyä rakenneratkaisua tutkittaviksi. Rakennusfysikaalisessa tutkimuksessa näistä rakenneratkaisuista käsiteltiin alapohjan ja ulkoseinän, välipohjan ja ulkoseinän sekä yläpohjan ja ulkoseinän liittymäkohdat.

Hanke muodostuu kahdesta tutkimustyöstä, joissa molemmissa tutkitaan kyselyn pohjalta valittuja rakenteita. Tutkimuksessa, jossa selvitettiin rakenteiden rakennusfysikaalista toimivuutta nyky- ja tulevaisuuden ilmastossa, hyödynnettiin COMSOL Multiphysics, sekä Wufi2D rakennusfysiikkaohjelmia. Rakennusfysikaalinen tutkimustyö eteni siten, että aluksi COMSOL Multiphysics ohjelmalla tarkasteltiin rakenteita vakio-olosuhteissa, ja määritettiin monitorointipisteet ajan suhteen simulaatiota varten. Stationääritilan tarkastelun avulla pystytään paikallistamaan rakenteessa lämpö- ja kosteusteknisesti kriittisimmät kohdat monitorointipisteiden määrittämiselle. Stationääritilan tarkastelun tuloksille on useampi eri analyysimenetelmä, joilla arvioidaan, suhteellisen kosteuden pitoisuuksien kriittisyyttä homeen kasvun kannalta. Monitorointipisteet ovat mittauspisteitä, joissa määritetään laskennallisesti ajan suhteen simuloituna suhteellinen kosteus ja lämpötila. Kun monitorointipisteet olivat määritetty, simuloitiin tulevaisuuden olosuhteita ajan suhteen Wufi2D ohjelmalla. Simuloinnissa hyödynnettiin Tampereen yliopiston ja ilmatieteenlaitoksen yhteistyössä kehittämiä rakennusfysikaalisia



mitoitusvuosia. Monitorointipisteiden tulokset analysoitiin vielä homeindeksilaskentapohjalla (TTY 2017). Homeindeksi on VTT:n ja TTY:n yhteistyössä kehittämä laskentamenetelmä homeenkehittämisen arviointia varten. Tulosten pohjalta analysoitiin ilmastomuutoksen vaikutuksia tutkittuihin rakenteisiin sekä pohdittiin sopeutumisen mahdollistavia ratkaisuja. Lisäksi pohdittiin mahdollisia parannuksia rakenteiden energiatehokkuuteen.

Vähähiiliseen rakentamiseen keskittyvässä tutkimuksessa toteutettiin aluksi laskentapohja rakennuksen hiilijalanjäljen arviointiin. Laskentapohja toteutettiin siten, että arviointiin tarvittavat tiedot ovat saatavissa rakennuksen määräluettelosta, tietomallista, piirustuksista ja energiaselvityksestä. Laskentapohjan arviointimenetelmä on ympäristöministeriön arviointimenetelmän mukainen, ja pohjassa käytetyt laskenta-arvot ovat kyseisen menetelmän mukaiset. Laskentapohjaan on sisällytetty Sitowisen yleisimpiä käytössä olevia rakennetyyppejä mukaan lukien kyselystä valikoidut rakenteet. Jotta rakennusosien päästöt voidaan laskea, on laskentapohjan taustalle määritetty One Click LCA ohjelman laskenta-arvoja ja kansallista päästötietokantaa hyödyntäen näiden yleisimpien rakennetyyppien päästöt yksikössä $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$. Sen lisäksi, että rakennetyyppi voidaan laskentapohjassa vaihtaa kokonaan toiseen, ja vertailla näin eri rakennetyyppien vaikutuksia rakennusosien kokonaispäästöihin, voidaan betonisen rakennetyypin betoni vaihtaa vähähiilisempään betoniin. Vastaavasti rakennetyypin sisältäessä ontelolaatan, voidaan ontelolaatta vaihtaa vähähiiliseen versioon. Erilaisten rakenneratkaisujen vaikutusta rakennuksen päästöihin analysoitiin laskennallisen tutkimuksen avulla, jossa case-kohteelle toteutettiin useita eri laskentavariaatioita. Rakennuksen moduulin A1-A3 päästöjen, eli tuotesidonnaisen päästöjen, osuus määritettiin kussakin laskentavariaatiossa laskentapohjan lisäksi myös One Click LCA elinkaariarviointiohjelmiston avulla. Tällä tavoin voitiin varmistua toteutetun laskentapohjan luotettavuudesta. Vertaamalla laskentavariaatioiden tuloksia peruslaskennan tuloksiin ja keskenään, pystyttiin eri ratkaisujen vaikutuksia analysoimaan, ja tekemään johtopäätöksiä vähähiilisyyden ja kustannusten kannalta optimaalisista rakenneratkaisuista.

Hankkeen työryhmä kokoontui noin kerran kuussa, jolloin hankkeen etenemistä käytiin yhdessä läpi. Palaverit olivat myös tilaisuuksia, joissa hankkeen tutkijat esittivät mahdollisia eteen tulleita ongelmia ja kysymyksiä. Koko työryhmän näkemyksellä näihin ongelmiin pyrittiin löytämään ratkaisu. Lisäksi palavereissa verrattiin hankkeen etenemistä suhteessa hankkeeseen resursoituihin työtunteihin.

4 Hankkeen tulokset

Hankkeen lopputuotoksena ja varsinaisena päätuloksena valmistui laskentapohja rakennuksen hiilijalanjäljen arviointiin ja rakennetyyppien päästöjen vertailuun, sekä rakennusfysikaalisesti tulevaisuuden ilmastossa toimiviksi todettujen rakennetyyppien kirjasto. Lisäksi kirjaston rakennetyyppien hiilijalanjäljet ovat hankkeen myötä määritetty. Hankkeen myötä valmistui työkalu rakentamisen päästöjen vähentämiseen ja tätä kautta ilmastomuutoksen hillitsemiseen. Toisena työkaluna saatiin koottua myös kirjasto rakennetyypeistä, joiden toiminnassa on huomioitu tulevaisuuden ilmaston muuttuneet olosuhteet.

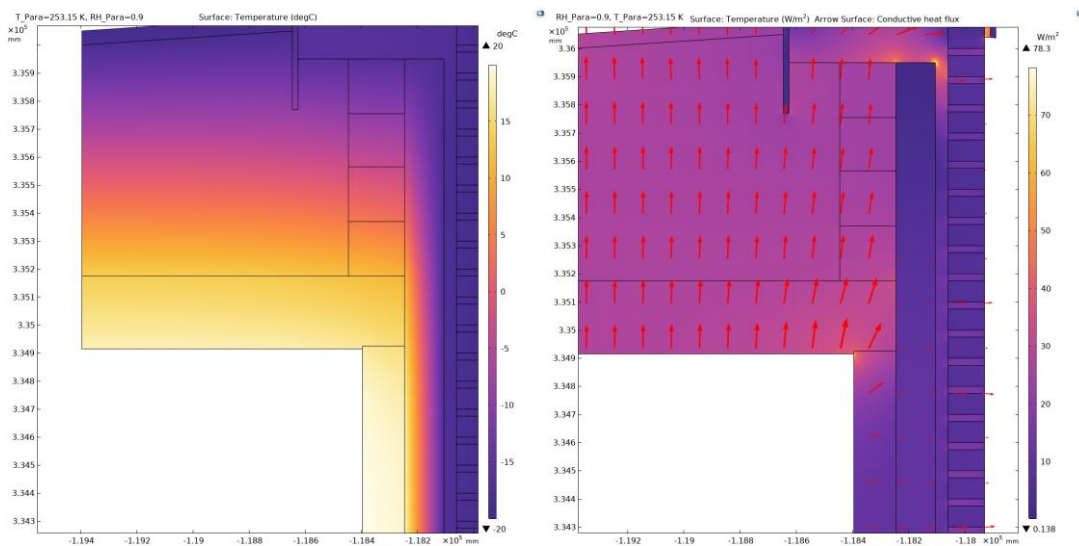
Rakennusfysikaalisen tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa laskennallista lisätietoa sandwich- ja muurattujen vaipparakenteiden lämpö- ja kosteusteknisestä toimivuudesta tulevaisuuden ilmaston



kerrostaloissa. Ilmastonmuutos haastaa sekä nykyisen rakennuskannan sekä tulevaisuuden rakenneratkaisut lämpö- ja kosteusteknisesti. Oleellisena kysymyksenä mihin suuntaan rakennejärjestelmiä tulisi kehittää, jotta rakennuskanta pysyisi tulevaisuudessakin eheänä.

Laskennallinen tarkastelu, jossa rakenteet oletetaan toimivan ideaalitapauksissa ei anna täysin objektiivista kuvaa niiden toimivuudesta. Todellisuudessa rakenteen lämpö- ja kosteustekninen toimivuus on monen asian summa. Toimivuuteen vaikuttaa: rakenteiden pinnoitus, tiiveys, rakentamisen laatu, tuotantotekniikat, rakentamisen olosuhteet, julkisivun värit, rakennekerroksien asettelu ja yhteensovitus, kosteuden hallinta, rakennuksen sijainti ja mikroympäristö. Elementtirakentamisessa sääsuojauksella sekä esivalmistettujen komponenttien kuivaketjulla voidaan hallita rakentamisen aikaisia olosuhteita. Tulevaisuudessa rakenteiden tiiveyden oletetaan korostuvan, sekä painemittausten kysynnän kasvavan. Rakennekerrosten sisäilmayhteys halutaan minimoida kiinnittämällä huomiota tiiveyteen.

Tuloksena havaittiin, että julkisivurakenteiden tuulettuvuutta tulisi lisätä kirjallisuudesta sekä mitausta suosituksista. Ryömintätalallisissa hyvin tuulettuvissa alapohjissa havaittiin, että tuulettuvuuden rajoittaminen esimerkiksi koneellisesti poistamalla arvoon 0,5–1 (1/h) koko alapohjan tilavuudelta luo



hyvät edellytykset lämpö- ja kosteustekniselle toimivuudelle tulevaisuudessakin. Nykyisillä lämmöneristävyysmääräyksillä voidaan laskennallisesti katsoa kerran tunnissa tuuletuksen riittävän alapohjassa. Maanvaraisen perustuksen voidaan katsoa toimivan myös hyvin. Homeindeksi paikoin kohtaa paikoissa, joissa ei ole sisäilmayhteysttä rakennukseen.

Lisäksi kuvan yläpohjarakenteissa havaittiin, että valitsemalla lämmöneristekerrokset lämpövirtauksien kannalta mahdollisimman laminaarisiksi, on sillä laskennallisesti vaikutusta materiaalien kuivumiseen ja rakenteen tuulettuvuuteen.

Samalla rakenneratkaisua voidaan pitää kuivumiskykyisempänä kuin useammalla eristekerroksella eristettyä kattolaattarakennetta. EPS-eristeellä eristetty yläpohjarakenne ei osoita rakennusfysiikassa tarkastelussa merkkejä kuivumisesta, vaan pikemminkin se sitoo kosteutta itseensä. Mikäli EPS-



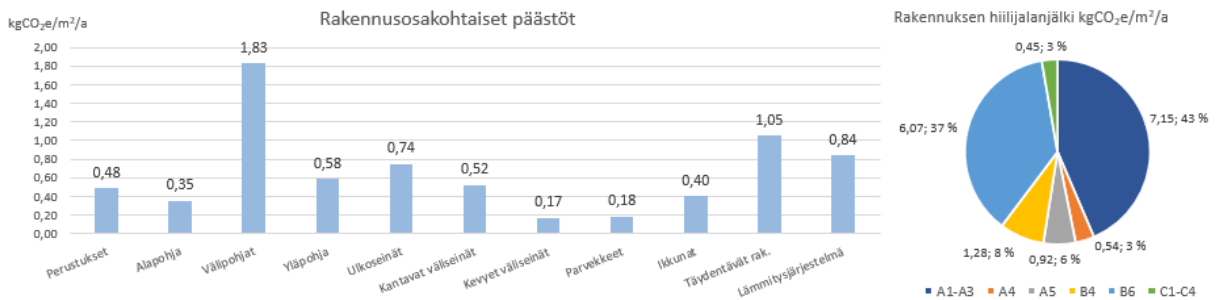
eristettyyn yläpohjarakenteen pintalaattaan tiivistyisi kosteutta ajan kuluessa, voisi pintalaatta altistua pakkasrapautumiselle lämpöliikkeiden lisäksi.

Sandwich rakenne kuivaa hitaammin kuin tiiliverhoilturakenne. Tähän vaikuttaa vesihöyrynvastussuhde rakenteessa. Lämmöneristekerroksen homogeenisuus edesauttaa matalien kosteuspitoisuuksien hallitsemista rakenteessa. Isompi merkitys on kuitenkin vesihöyrynvastussuhteella ja tuulettuvuudella.

Vähähiilisen rakennuksen kannalta on olennaista, että rakennuksen hiilijalanjälki arvioidaan jo rakennushankkeen suunnitteluvaiheessa. Merkittävin osuus rakennuksen elinkaaren kokonaispäästöistä muodostuu tuotesidonnaisista ja käyttösidonnaisista päästöistä. Rakennuksen tuotesidonnaisista päästöistä, eli rakennusmateriaalien ja rakennusosien valmistuksesta syntyvistä päästöistä, on muodostumassa merkittävin osuus rakennuksen elinkaarenaikaisista päästöistä. Rakennuksen tuotesidonnaisia päästöjä on mahdollista pienentää esimerkiksi vähähiilisten rakennusmateriaalien tai -ratkaisujen avulla.

Vähähiiliseen rakentamiseen keskittyvässä tutkimuksessa selvitettiin vähähiilisten rakenneratkaisujen kustannustehokkuuksia. Tutkimuksessa keskityttiin etenkin vähähiilisen betonin käytön vaikutuksiin rakennuksen kokonaispäästöihin ja materiaalikustannuksiin. Mitä suurempi oli ratkaisun tuoma päästövähennys suhteessa syntyviin lisäkustannuksiin, sitä kustannustehokkaampi ratkaisu oli kyseessä.

Tutkimus toteutettiin tapaustutkimuksena, jossa laskennan kohteelle toteutettiin useita laskentavariaatioita, ja selvitettiin erilaisten rakenneratkaisujen vaikutuksia rakennuksen kokonaihiilijalanjälkeen sekä materiaalien kokonaiskustannuksiin. Laskennallisessa osuudessa hyödynnettiin tutkimuksen ohella toteutettua laskentapohjaa sekä One Click LCA elinkaariarviointiohjelmistoa. Seuraavassa kuvassa on esitetty esimerkkejä toteutetun laskentapohjan koostamista kuvaajista.



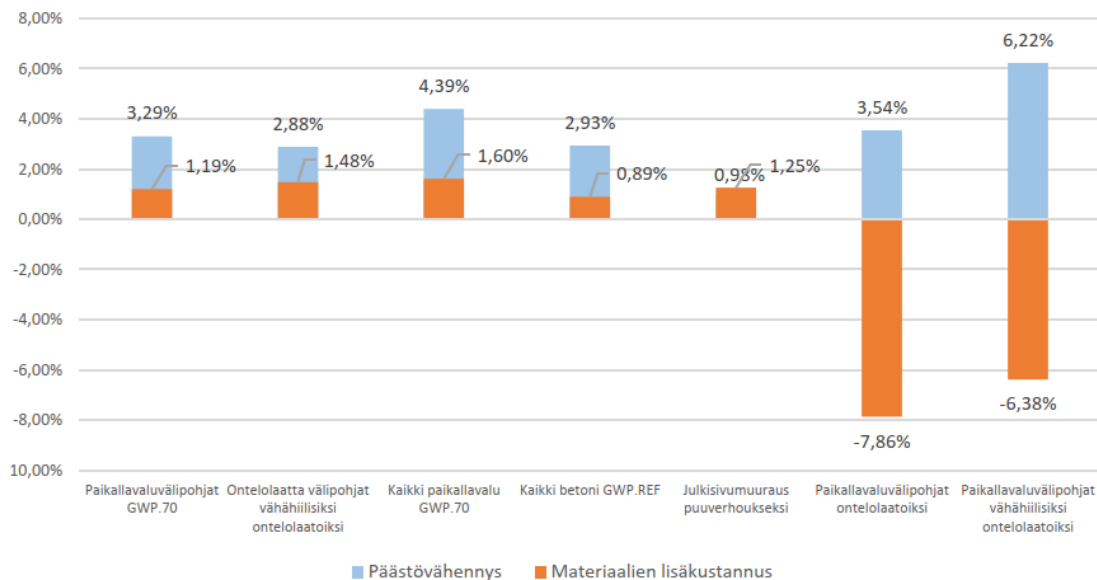
Kustannustehokkuuden näkökulmasta vähähiilistä betonia on kannattavinta käyttää rakenteissa ja rakennusosissa, jotka sisältävät paljon betonia. Laskennan kohteen osalta tällaisia rakennusosia olivat paikallavaluvälipohjat, niiden koostuessa lähes pelkästään betonista. Tutkimuksessa kävi ilmi, että betonin vähähiilisyyden pienentyessä, sen kustannustehokkuus laskee. Tämä tarkoittaa sitä, että saman päästövähennyksen saavuttamiseksi on kustannustehokkaampaa hyödyntää esimerkiksi GWP.85 luokan betonia laajemmalla alueella kuin GWP.70 luokan betonia kohdistetusti pienemmällä alueella.

Prosentuaalisesti verrattuna useimpien tutkimuksessa käsiteltyjen päästövähennyskeinojen avulla saavutetut päästövähennykset olivat suurempia kuin niistä aiheutuneet lisäkustannukset. Kustannustehokkuuden näkökulmasta vähähiilisen betonin käyttöä voidaan pitää varsin potentiaalisena päästöjen



vähennyskeinona. Lisäksi tutkimuksessa kävi ilmi, että tietyillä valinnoilla oli mahdollista saavuttaa suurempi päästövähennys pienemmillä lisäkustannuksilla. Joissain tapauksissa päästöjen pienentyessä myös materiaalikustannukset pienenevät. Tästä syystä rakenneratkaisuja valittaessa on tärkeää vertailla vähähiilisyttä ja kustannuksia yhtäaikaaisesti. Tällä tavoin on mahdollista optimoida sekä rakennuksen päästöt, että materiaalikustannukset.

Seuraavassa kuvassa on esitetty muutamien eri päästövähennyskeinojen vaikutuksia erään kohteen kokonaispäästöihin ja materiaalien kokonaiskustannuksiin. Mitä suurempi on ratkaisun tuoma päästövähennys suhteessa syntyviin lisäkustannuksiin, sitä kustannustehokkaampi ratkaisu on kyseessä. Kuvaa voidaan tulkita siten, että ratkaisu on sitä kustannustehokkaampi, mitä suurempi on sinisen värin osuus ratkaisua edustavassa pylväässä. Poikkeuksena tapaukset, joissa kustannukset vähenivät, jolloin oranssilla esitetyt kustannukset ovat negatiivisia.



Hankkeen molemmat tutkimukset sekä tutkimustulokset ovat julkisia ja ne on esitetty hankkeen tutkijoiden, Antti Kärkkään ja Rasmus Törrösen, diplomitoissa. Tutkimustuloksia voidaan yleisesti hyödyntää, ja tutkimuksiin voidaan viitata tulevissa hankkeissa/tutkimuksissa. Näin ollen hankkeen tutkimusten myötä rakennuslalle on tuotettu uutta aineistoa vähähiiliseen rakentamiseen ja ilmastomuutokseen sopeutumiseen.

5 Hankkeen vaikuttavuus/vaikutukset

Hankkeen myötä on saatu käyttöön uusia työkaluja vähähiilisen rakentamisen edistämiseen ja ilmastomuutokseen sopeutumiseen, ja positiiviset vaikutukset ilmenevät näitä työkaluja käyttämällä. Hankkeen vaikuttavuuden kannalta on olennaista saattaa työkalujen olemassaolo



rakennesuunnittelijoiden ja tilaajien tietoisuuteen mahdollisimman laajasti. Tähän keskeistä keinoa, hankkeen viestintää, on avattu tarkemmin luvussa 6.

Asuinrakentamisen merkitys on Suomessa suuri. Rakentamisesta ja rakennuksista aiheutuvat päästöt ovat Suomessa noin kolmasosa kaikista päästöistä. Hankkeen tuloksia ja työkaluja hyödyntämällä näitä päästöjä on mahdollista vähentää. Mitä laajemmin työkalut tulevat käyttöön osaksi rakennesuunnittelua, sitä laajemmat ovat positiiviset vaikutukset vähähiiliseen rakentamiseen ja ilmastomuutokseen sopeutumiseen. Hankkeella ei ollut eikä tule olemaan negatiivista vaikutusta rakennetun ympäristön vähähiilisyyteen, ilmastomuutoksen hillintään tai siihen sopeutumiseen.

Jos tarkastellaan pienemmän mittakaavan tilannetta, jossa tilaaja on päättänyt hyödyntää tässä hankkeessa toteutettuja työkaluja omassa rakennushankkeessaan, voivat vaikutukset olla jo kyseisen yksittäisen rakennushankkeen tasolla hyvinkin merkittäviä. Tällaisessa tapauksessa rakennushankkeen rakennetyypit on valittu hankkeessa toteutetusta rakennetyyppikirjastosta, jolloin niiden toimivuus ja pitkä käyttöikä ovat varmistettuja. Yksi rakennuksen päästöjen pienentämisen keinoista on rakennuksen ja rakennusosien elinkaaren pidentäminen, jolloin tätä kautta on jo edistetty vähähiilistä rakentamista rakennushankkeen osalta.

Tämän lisäksi hiilijalanjälkilaskentapohjaa hyödyntämällä voidaan ensinnäkin arvioida tulevan rakennuksen kokonaishiilijalanjälki, mutta myös vertailla erilaisia vähähiilisiä rakenneratkaisuja keskenään. Laskentapohjalla on esimerkiksi mahdollista selvittää millaisia vaikutuksia rakennuksen hiilijalanjälkeen ja kustannuksiin olisi välipohjien sisältämän betonin muuttamisella vähähiiliseen betoniin. Laskentapohjalla voidaan toisin sanoen iteroida vähähiilisyyden kannalta optimaaliset rakenneratkaisut. Tulevaisuudessa laskentapohjaa voidaan hyödyntää iteroitaessa eri vaihtoehtoja, joilla rakennus voidaan toteuttaa siten, ettei rakentamislaisissa määriteltä rakennustyyppikohtaista hiilijalanjäljen raja-arvoa ylitetä.

6 Viestinnän toteutuminen ja tulokset

Hankkeen viestintää on toteutettu sekä Sitowisen sisäisesti, että ulkoisesti. Viestinnän pääasiallisena sisältönä on hankkeen myötä valmistuneet laskentapohja rakennuksen hiilijalanjäljen arviointiin ja rakennusfysikaalisesti tulevaisuuden ilmastossa toimivien rakennetyyppien kirjasto. Viestinnän ensisijaisena tarkoituksena on saada nämä työkalut Sitowisen sisällä mahdollisimman laajasti rakennetekniikan alan tietoisuuteen ja käyttöön.

Hankkeesta ja sen myötä valmistuneista työkaluista on viestitty ulkoisesti mm. KIRAilmasto-hankkeiden esittelytilaisuudessa. Hankkeen toinen tutkija, Rasmus Törrönen, esitteli hankkeen kyseisessä tilaisuudessa. Hankkeen lopputuloksia on mahdollista esitellä tutkija Antti Kärkkään toimesta hankkeen päätyttyä esimerkiksi KIRAilmasto-ohjelman tulostenesittelytilaisuudessa.

Hanke tullaan esittelemään Sitowisen vuoden 2023 pörssi-yhtiön vuosikertomuksessa. Vuosikertomus tulee olemaan luettavissa Sitowisen verkkosivuilla sekä laajasti muualla Sitowisen ulkoisessa ja sisäisessä viestinnässä. Tavoitteena on mahdollisimman laaja kohdeyleisö. Vuosikertomuksessa kerrotaan hankkeen tarkoituksesta ja sen tuotoksista tiivistetysti. Tutkijat pitävät omiin tutkimusnäkökulmiinsa



liittyvät tietoiskutyypiset esitelmät Sitowisen rakennetekniikan henkilöstölle. Tarkoituksena on esitellä työkalujen käyttöä sekä tutkimuksessa esille nousseita relevanteja tuloksia. Samalla henkilöstöä perehdytetään vähähiilisen rakentamisen ja ilmaston muutokseen sopeutumisen aihealueisiin, sekä työkalujen hyödyntämiseen.

Hankkeen molemmat tutkimukset sekä tutkimustulokset ovat julkisia ja ne on esitetty hankkeen tutkijoiden, Antti Kärkkään ja Rasmus Törrösen, diplomitoissa. Laskentapohjaa on esitelty ulkoisesti muutamalle Sitowisen tilaajalle, joilta on tiedusteltu näkemyksiä pohjan soveltuvuudesta käytettäväksi rakennushankkeessa. Ulkoista viestintää tullaan tekemään jatkossakin. Jatkossa tullaan myös tiedustelemaan käyttökokemuksia hankkeen työkaluista, joiden pohjalta voidaan tehdä parannuksia työkaluihin.

Hankkeen viestintä on toteutunut suunnitelmien mukaan. Sisäisen viestinnän tuloksena on saatu hankkeen työkalut Sitowisen rakennetekniikka osaston henkilöstön tietoisuuteen. Ulkoisen viestinnän avulla on saatu viestittyä työkalujen olemassaolosta myös tilaajien suuntaan. Viestinnän myötä on mahdollistettu toteutettujen työkalujen käyttöönotto ja saatu konkreettista näyttöä vastuullisuudesta Sitowisellä.

7 Tulosten kestävyys ja hyödyntäminen

Tutkimusta rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisestä toimivuudesta tulevaisuuden ilmastossa aiotaan Sitowisessä jalkauttaa uudisrakentamisen rakennesuunnitteluun. Tavoitteena on, että tuloksia hyödynnetään kaikessa Suomen rakentamisessa. Tutkimuksen perusteella yksittäinen suunnittelija voi tarvittaessa suostua esimerkiksi rakennekerroksien muutoksiin työmaan toiveesta, kun rakenteiden toimivuutta on tutkittu. Tulevaisuudessa toimivista rakenteista koottiin rakennetyyppikirjasto. Homeen kasvun kannalta merkitystä on myös lämpötilalla. Suunnittelijoiden tehtävänä on valita rakennusmateriaalit niin, että vaurioille suotuisat olosuhteet pyritään minimoimaan.

Rakenteiden toimivuuteen liittyvä laskennallinen tutkimus homeen kasvun näkökulmasta luo pohjan suunnittelijoille rakenneratkaisujen kehittämiseen. Tutkimuksen pohjalta saadaan käsitys siitä, miten ja mihin suuntaan rakenneratkaisuja tulisi kehittää, jotta ne toimisivat myös tulevaisuuden ilmastossa. Lisäksi tutkimus antaa suunnittelijoille viitekehykset siihen, millaisia materiaalivalintoja tulisi tehdä tämän päivän rakenneratkaisuissa, jotta rakenteet toimisivat suunnitellusti tulevaisuudessa. Rakennusfysikaalisessa tutkimuksessa keskityttiin kehittämään rakenneratkaisuja homeen kasvun minimoimiseksi, kun kuormitustekijät tulevaisuudessa rakenteille kasvavat.

Vähähiilistä rakentamista käsittelevän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää uudisrakentamisen rakennesuunnittelussa. Tutkimuksessa on käsitelty vähähiilisen betonin hyödyntämistä rakennushankkeessa ja analysoitu sen vaikutuksia rakennuksen kokonaishiilijalanjälkeen ja materiaalikustannuksiin. Tutkimustulosten nojalla voidaan saada käsitys kustannusten ja vähähiilisyyden näkökulmasta optimoiduista vähähiilistä betonia sisältävistä rakenneratkaisuista. Hankkeessa toteutettu laskentapohja mahdollistaa rakennuksen hiilijalanjäljen arvioinnin rakennesuunnittelussa rakennushankkeen aikaisessa vaiheessa. Näin ollen laskentapohjaa on mahdollista hyödyntää taloudellisessa mielessä, kun tilaajalle tarjotaan rakennesuunnittelun yhteydessä myös hiilijalanjäljen arviointia. Lähitulevaisuuden



lakimuutosten perusteella hiilijalanjälkilaskenta on vakiintumassa osaksi rakennushanketta ja -suunnittelua, joten tällaiselle mahdollisuudelle on odotettavissa kysyntää.

Elinkaariarvioinnin lainsäädäntö, asetukset ja ohjeistus ovat muuttuneet ja täsmentyneet viime vuosina useasti. Muutoksia on odotettavissa myös jatkossa, mikä edellyttää laskentapohjan toiminnan päivittämistä aina voimassa olevien ohjeistusten mukaiseksi. Tästä syystä laskentapohja on toteutettu siten, että laskennassa käytettävät arvot ovat helposti päivitettävissä.

8 Talousraportti

Hanke on edennyt alkuperäisessä rahoitussuunnitelmassa, eikä rahoitussuunnitelmassa tapahtuneet muutokset olleet merkittäviä. Alkuperäiseen rahoitussuunnitelmaan tehdyt muutokset kohdistettiin hankkeen tutkijoiden työtunteihin siten, että ohjausryhmälle resursoituja tunteja siirrettiin tutkijoiden käyttöön. Muutokset tapahtuivat rahoituksen sisällä, eikä niillä siten ollut vaikutusta rahoituksen kokonaissummaan. Muutokset hyväksyttiin ympäristöministeriöllä.

Talousraportti toimitetaan myöhemmin.

9 Suositukset tulevia hankkeita ja ohjelmia varten

Tämän hankkeen tutkimustyö loi pohjan mahdollisille jatkotutkimuksille. Hankkeen tutkimustyössä keskityttiin tutkimaan muutamia kerrostalon runkoratkaisuja. Tulevissa hankkeissa voitaisiin käsitellä muitakin kerrostalojen runkorakenteita, kuten ohuteristerapattavia rakenteita, komikerrosrappauksia, julkisivulevyrakenteita tai muita elementtiratkaisuja. Jatkotutkimusten myötä saataisiin laajennettua rakennetyypikirjastoa, ja hiilijalanjälkilaskentapohjan toiminta-alueetta. Hankkeen tutkimustyö keskityi asuinrakentamisen rakenneratkaisuihin ja jatkossa tutkimusta voitaisiin laajentaa käsittämään myös muita rakennustyyppisiä.

10 Yhteenveto hankkeen päätuloksista

Hankkeen lopputuotoksena valmistui tavoitteiden mukaisesti laskentapohja rakennuksen hiilijalanjäljen arviointiin ja rakennetyyppien päästöjen vertailuun, sekä rakennusfysikaalisesti tulevaisuuden ilmastossa toimiviksi todettujen rakennetyyppien kirjasto. Lisäksi kirjaston rakennetyyppien hiilijalanjäljet ovat hankkeen myötä määritetty. Hankkeen tuloksena saatiin siis työkalu rakentamisen päästöjen vähentämiseen ja tätä kautta ilmastonmuutoksen hillitsemiseen. Hankkeen tutkimustulosten pohjalta saimme koottua myös perusteellisesti tutkitut rakennetyypit, joiden toiminnassa on huomioitu tulevaisuuden ilmaston muuttuneet olosuhteet.

Myös tutkijoiden diplomityöt valmistuivat hankkeen ohella. Hankkeen tutkimusten tulokset on esitelty tarkemmin tutkijoiden diplomitoissa. Lisäksi tutkimustuloksia on koottu tiivistetysti loppuraportin lukuun 4.



As the final output of the project, a calculation template for assessing the carbon footprint of buildings, as well as comparing emissions from different structure types, and a library of structure types that have been found to work in the future climate conditions, was developed according to the objectives. In addition, the carbon footprints of the library's structure types were determined as part of the project. Thus, as the result of the project, we got a tool for reducing construction emissions and, in turn, mitigating climate change. Based on the results of the project's research, thoroughly researched structure types that consider the changing climate conditions of the future have been compiled.

Also, researchers' theses were completed during the project. The research results of the project are presented in more detail in the researchers' theses. Furthermore, a summary of the research results is included in chapter 4 of this final report.

11 Lähteet

Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L., & Acquaye, A. (2013). Operational vs. embodied emissions in buildings—A review of current trends. *Energy and Buildings*, 66, p. 232–245. Saatavissa (viitattu 30.10.2023): <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.026>

Kuittinen, M. & le Roux, S. (2017). Vähähiilisen rakentamisen hankintakriteerit. Ympäristöministeriö. 50 s. Saatavissa (viitattu 30.10.2023): <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4746-3>

Ruosteenoja, K., Jylhä, K., Mäkelä, H., Hyvönen, R., Pirinen, P. & Lehtonen, I. 2013. Rakennusfysiikan testivuosisien sääaineistot havaitussa ja arvioidussa tulevaisuuden ilmastossa: REFI-B-hankkeen tuloksia. Helsinki: Ilmatieteen laitos.

Röck, M., Saade, M. R. M., Balouktsi, M., Rasmussen, F. N., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., Habert, G., Lützkendorf, T., & Passer, A. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, 258, 114107–. Saata-vissa (viitattu 30.10.2023): <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>

Säynäjoki, A., Heinonen, J., & Junnila, S. (2012). A scenario analysis of the life cycle green-house gas emissions of a new residential area. *Environmental Research Letters*, 7(3), 1–10. Saatavissa (viitattu 30.10.2023): <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/034037>

Ympäristöministeriö (2023). Eduskunta hyväksyi rakentamisen päästöjä pienentävät ja digitalisaatiota edistävät lait. Ympäristöministeriön tiedote. Saatavissa (viitattu 30.10.2023): <https://ym.fi/-/eduskunta-hyvaksyi-rakentamisen-paastoja-pienentavat-ja-digitalisaatiota-edistavat-lait>

