

Sini Varis

VÄHÄHIILINEN RAKENTAMINEN

VÄHÄHIILINEN RAKENTAMINEN

Sini Varis
Opinnäytetyö
Syksy 2019
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Sini Varis
Opinnäytetyön nimi suomeksi: Vähähiilinen rakentaminen
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Low-carbon building
Työn ohjaaja(t): Martti Hekkanen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2019
Sivumäärä: 57 + 2 liitettä

Vähähiilisessä rakentamisessa pyritään minimoimaan rakennuksesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä ja ympäristövaikutuksia. Hiilineutraalin rakennuksen hiilijalan- ja hiilikädenjälki ovat tasapainossa. Rakennuksen vähähiilisyyteen voidaan vaikuttaa merkittävästi jo suunnitteluvaiheessa valitsemalla ekologisesti kestäviä rakennusmateriaaleja sekä uusiutuvia energianlähteitä hyödyntäviä energia- ja lämmitysjärjestelmiä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli koota yleistietoa rakentamisen hiilijalanjäljestä ja sen osatekijöistä sekä laskemisesta. Osana opinnäytetyötä suunniteltiin pientalo, jonka tarkoitus oli toimia tyyppimallina hiilijalanjäljen laskennassa.

Opinnäytetyössä toteutettiin tutkimus tyyppi- ja pientalon päärakennusmateriaalien hiilijalan- ja -kädenjäljestä ympäristöministeriön julkaiseman Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän avulla. Tutkimuksessa testattiin ja analysoitiin testikäyttöön tarkoitettujen työkalujen toimivuutta ja siitä saatuja tuloksia. Tyyppi- ja pientalon vähähiilisyyden arviointia varten tutkimuksessa toteutettiin rakennuksen päämateriaalien määrälaskenta.

Tutkimuksessa selvisi, että tyyppi- ja pientalon betonirakenteiset alapohja ja perustukset kasvattavat pientalon hiilijalanjälkeä merkittävästi. Lasketun hiilijalanjäljen havaittiin olevan noin neljäkymmentä prosenttia hiilikädenjälkeä suurempi.

Ympäristöministeriön arviointimenetelmän luonnosversio todettiin toimivaksi työkaluksi suuntaa-antavaan rakennuksen vähähiilisyyden arviointiin. Tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, että jotkin arviointimenetelmän osiot olivat vaikeakäyttöisiä ja -selkoisia joko riittämättömän tiedon tai luonnosvaiheen kesken-eräisyyden takia. Arviointimenetelmän testauskäyttö koettiin tulevaisuuden kannalta hyödyllisenä ja tärkeänä oppimiskokemuksena, sillä rakennuksen vähähiilisyyden arvioinnin on määrä tulla pakolliseksi osaksi rakennusmääräyksiä ja täten tulevien rakennushankkeiden suunnittelua.

Asiasanat: vähähiilinen rakentaminen, hiilijalanjälki, hiilikädenjälki, kestävä rakentaminen, hiilineutraalius, pientalosuunnittelu

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Construction Architecture

Author(s): Sini Varis
Title of thesis: Low-carbon building
Supervisor(s): Martti Hekkanen
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2019
Pages: 57 + 2 appendices

Climate change and global warming have been drawing attention to carbon dioxide emissions originated from construction industry and building material manufacturing. Low-carbon building aims to ease this issue by decreasing construction originated carbon footprint and increasing one's carbon handprint. The volume of the building's carbon footprint can be largely affected already on the drawing table.

The aim of this thesis was to gather general knowledge about low-carbon building, calculating of the carbon footprint and the factors influencing it. Part of this thesis was to design a type model of a single detached house and calculate one's carbon dioxide emissions.

In this research the tool used to calculate type model house's carbon footprint was a prototype of a low-carbon building's evaluation method published by Ministry of the Environment of Finland. Before testing the prototype, quantity measurements of the type model house were required.

Results of the research showed that the calculated carbon footprint of the type model house was about 40 percent bigger than one's carbon handprint. The Low-carbon evaluation method of the Ministry of the Environment of Finland was found to be suitable tool for directive evaluation of the building's carbon dioxide emissions. The knowledge gained from the research was seen to have a very important value in the future development towards increasing amount of low-carbon building on the construction industry.

Keywords: low-carbon building, carbon footprint, carbon handprint, carbon neutrality, sustainable building,

ALKULAUSE

Olen aina ollut hyvin kiinnostunut ympäristöstä ja luonnonsuojelusta. Uskon, että jokaisella on mahdollisuus vaikuttaa osaltaan tulevaisuuden suuntaan ilmastonlämpenemisen suhteen. Teollisuuden- ja rakennusalalla opiskelevilla ja työskentelevillä on suuri vastuu vaikuttaa isojen mittasuhteiden kasvihuonekaasupäästöihin. Tämän opinnäytetyön aihepiirin valinta oli minulle hyvin selkeä päätös jo opiskeluiden alkupuolella.

Haluan kiittää kaikkia läheisiäni ja ystäviäni, jotka ovat tukeneet, kannustaneet ja antaneet iloa elämäni opistojeni varrella. Haluan myös osoittaa suuret kiitokset opinnäytetyöni ohjaajalle, Martti Hekkaselle, kaikista kannustavista sanoista sekä kiittää kaikkia opiskeluideni aikana minua opettaneita lehtoreita laadukkaasta opetuksesta.

Sini Varis, Oulussa 11.11.2019

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
2 KESTÄVÄ KEHITYS	10
2.1 Kestävä kehitys	10
2.2 Ekologinen kestävyys	10
3 HIILIJALANJÄLKI	12
3.1 Hiilijalanjälki	12
3.2 Hiilikädenjälki	13
3.3 Asumisen ja rakentamisen hiilijalanjälki	13
4 HIILIJALANJÄLJEN PIENENTÄMINEN	16
4.1 Hiilinielut	17
4.2 Materiaalivalintojen vaikutus	18
4.2.1 Puu	20
4.2.2 Betoni	22
4.2.3 Teräs	23
4.3 Eristemateriaalit	24
4.4 Energia- ja lämmitysjärjestelmät	25
4.5 Kiertotalous	28
4.6 Korjausrakentaminen	29
4.7 Sijainti	29
4.8 Kaavoitus	30
4.9 Poliittiset sopimukset ja säännöstely	31
5 RAKENNUSTEN HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINTITYÖKALU	33
5.1 Vähähiilisuuden arvioinnin vaiheet	34
5.2 Tyyppi- ja pientalon vähähiilisuuden arviointi	35
6 TYYPPIMALLI PIENTALO	36
6.1 Rakenteet	36
6.1.1 Perustukset	38

6.1.2 Alapohja	39
6.1.3 Ulkoseinät	40
6.1.4 Yläpohja	41
6.1.5 Väliseinät	42
6.1.6 Välipohjat	43
6.2 Tulokset	45
6.3 Johtopäätökset	48
7 POHDINTA	52
LÄHTEET	54
LIITTEET	58
Liite 1 Tyyppimallipientalon piirustukset	
Liite 2 Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointityökalun täytetty materiaaliluettelo	

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos luokitellaan yhdeksi suurimmista ihmiskunnan tulevaisuuden uhkakuvista. Sen estäminen ja hidastaminen vaativat suuria ja nopeita muutoksia ihmisten ja yhteiskuntien toimintaan. Eurooppa-komissio hyväksyi vuonna 2010 Eurooppa 2020 -strategian, jonka yksi viidestä päätavoitteesta on ehkäistä ilmastomuutosta. Sen ehkäisemiseksi on asetettu tavoitteet, joiden mukaan vuoteen 2020 mennessä EU:n kasvihuonekaasupäästöt vähenevät 20 % vuoteen 1990 nähden, energiatehokkuus kasvaa 20 % ja uusiutuvien energianlähteiden osuus energiantuotannosta kasvaa 20 %. Noihin tavoitteisiin on jo päästy.

YK:n 21. osapuolikokouksessa solmittiin oikeudellisesti sitova niin kutsuttu Pariisin ilmastosopimus, jonka tavoitteena on pitää maapallon keskilämpötilan nousu selvästi alle 2 °C:n ja pyrkiä alle 1,5 °C:n, kun sitä verrataan esiteolliseen aikaan. Kasvihuonepäästöjen määrän vähentäminen mahdollisimman pian sekä tasapainon saavuttaminen päästöjen ja hiilinielujen välille kuluvan vuosisadan jälkipuoliskon aikana ovat edellytys noiden tavoitteiden saavuttamiseksi.

Pariisin sopimus koskee vuoden 2020 jälkeistä aikaa, johon mennessä osapuolten odotetaan valmistautuvan päästöleikkausten vaatimiin edellytyksiin ja päivittävän tavoitteensa. Suomi tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2035 mennessä. (Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. 2019.)

Rakennetun ympäristön negatiivisten ympäristövaikutusten minimointi on olennainen osa ilmastonmuutoksen ehkäisemistä. Jo yksistään asuminen koostaa kolmanneksen keskivertosuomalaisen vuosittaisesta hiilijalanjäljestä. On siis tärkeää kiinnittää huomiota siihen, kuinka suuria rasitteita asuminen ja rakentaminen aiheuttavat ympäristölle sekä paikallisesti että kansainvälisessä mittakaavassa.

Opinnäytetyön tavoitteena on koota ja tutkia yleistietoa rakentamisen hiilijalanjäljestä. Opinnäytetyössä perehdytään siihen, miten hiilijalanjälki muodostuu, miten se lasketaan ja miten sitä voidaan pienentää.

Opinnäytetyöhön kuuluvassa tutkimuksessa pyritään suunnittelemaan tyyppimalpilientalo, jonka avulla voidaan havainnollistaa hiilijalanjäljen muodostumista rakentamisessa. Tyyppiientalon päärakennusmateriaaleille lasketaan hiilijalanjälki sekä hiilikädenjälki sekä arvioidaan niiden muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä.

Tutkimuksessa annetaan myös arvio testikäyttöön tulleelle rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmälle ja siihen liittyvälle Excel-työkalulle. Arviointimenetelmän on julkaissut ympäristöministeriö Helsingissä elokuussa 2019.

2 KESTÄVÄ KEHITYS

2.1 Kestävä kehitys

Kestävällä kehityksellä tarkoitetaan kehitystä, joka turvaa ihmisten ja yhteiskunnan perustarpeet niin, että vielä tulevillakin sukupolvilla on mahdollisuudet ja edellytykset samoihin perustarpeisiin. Tällöin kehittyminen ei siis tapahdu tulevien sukupolvien kustannuksella, mikä takaa tasapainon ekonominen ja sosiaalisen kasvun sekä ympäristön kantokyvyn ja luonnonvarojen riittävyyden välillä. Kestävä kehitys jaetaan perinteisesti kolmeen osa-alueeseen: ekologinen, sosiaalinen ja taloudellinen kestävyys. (Hänninen 2016; Sustainable Development.)

Ensimmäisen kerran kestävä kehitys esiintyi terminä Brundtlandin komission raportissa ”Yhteinen tulevaisuutemme” vuonna 1987. Käsite esiteltiin ratkaisuna ekosysteemin köyhtymiseen ja ihmisten eriarvoisuuteen, jonka nopea väestönkasvu sekä teollistuminen olivat saaneet aikaan. Kestävän kehityksen käsitettä on kritisoitu sen inhimillistä kärsimyksen korostavasta luonteesta sekä sen konkreettisesta käytettävyydestä. (Gro Harlem Brundtland. 2018; Sustainable development.)

2.2 Ekologinen kestävyys

Ekologinen kestävyys tarkoittaa ihmisen toiminnan asettumista luonnon kantokyvyn rajoihin niin, ettei se vaaranna luonnon monimuotoisuutta tai ekosysteemin toimivuutta. Tutkimusten mukaan ihmiskunta kuluttaa nykyisellä toiminnallaan luonnonvaroja kolmanneksen enemmän kuin niitä ehtii vuoden aikana maapallolla syntymään. (Hänninen 2016.)

Ekologista kestävyyttä kuvataan usein ekologisella jalanjäljellä, joka kertoo, kuinka paljon maa-alaa tarvittaisiin tuottamaan yksilön kuluttamat luonnonvarat takaisin. Maapallon väestön keskiarvoinen ekologinen jalanjälki on 2,7 hehtaaria samaan aikaan kuin maapallon kantokyvyn raja on 2,2 hehtaaria yksilöä kohden. Keskivertosuomalaisen kohdalla kyseinen luku on 5,5. (Hänninen 2016.)

Ekologisen kestävyden huomioiminen rakentamisessa on tärkeää, sillä rakentaminen on yksi suurimmista ekologista kestävyttä koettelevista ihmisen toimintamuodoista, eikä sen merkitystä ilmastonmuutokseen tule vähätellä. Ekologisesti kestävästä rakentamisesta kutsutaan myös kestäväksi rakentamiseksi. Ekologisesti kestävästä rakentamisesta toteutumiseen vaikuttavat niin yksilön omat valinnat, markkinoilla tarjolla olevat osaavat tekijät, menetelmät ja materiaalit kuin viranomaistenkin asettamat vaatimukset ja rajoitteet. (Hänninen 2016; Pitko 2019.)

Sosiaalisen kestävyden vaikutusta ekologiseen kestävyteen voidaan pitää merkittävänä. Yhteisön sisälle syntynyt sisäinen paine ja valvonnan kulttuuri saattavat luoda suotuisat olosuhteet ympäristön säilyvyydelle ja ekologisten tekojen kannustavuudelle. Ekologinen kestävyys syntyy sitä helpommin lähes itsestään, mitä paremmin ihminen ja yhteisö viihtyvät, sitoutuvat ja kokevat kuuluvansa osaksi ympäristöään. Oman viihtyvyytensä säilyttämiseksi ihmiset ja yhteisöt ovat yleisesti ottaen halukkaita pitämään huolta kodistaan ja ympäristöstään. (Pitko 2019)

Yhteisöllisyyden merkitys korostuu myös siinä, millaiset tuotteet ovat markkinoilla kannattavia. Kuluttajalle ei välttämättä tarjota uusia parempia ja ekologisempia tuotteita, mikäli niitä ei kuluttaja itse osaa pyytää ja pysty taloudellisista syistä saavuttamaan. On tärkeää huomioida, miten uudet innovaatiot ja uusi tärkeä tieto jaetaan eteenpäin, sillä uudet innovaatiot eivät automaattisesti tiedä uusia markkinoita, mikäli uutta tietoa ei osata oikealla tavalla ohjata kuluttajien ja yhteiskunnan saataville. (Pitko 2019.)

3 HIILIJALANJÄLKI

3.1 Hiilijalanjälki

Ympäristö- ja ilmastovaikutusten arviointiin on olemassa useita indikaattoreita ja mittareita, joiden lähtökohtaisena tavoitteena on pienentää negatiivisia ympäristövaikutuksia ja hidastaa ilmastonmuutosta. Yksi tunnetuimmista ympäristövaikutusten indikaattoreista on hiilijalanjälki. (Väyrynen 2012.)

Kasvihuonekaasulla tarkoitetaan ilmakehässä olevia kaasumaisia yhdisteitä, jotka absorboivat maan pinnasta säteilevää lämpöenergiaa itseensä ja hidastavat sen poistumista ilmakehästä ja maapallolta, eli aiheuttavat kasvihuoneilmion. Merkittävimmiksi kasvihuonekaasuiksi luokitellaan vesihöyry (H_2O), hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4), typpioksiduuli (N_2O) ja troposfäärinen otsoni (O_3). (Taus-
taa. 2018; Väyrynen 2012.)

Kasvihuonekaasujen määrä ilmakehässä on suoraan verrannollinen kasvihuoneilmion voimistumiseen ja ilmaston lämpenemiseen. Tällä hetkellä meneillään oleva ilmastonmuutos on tämän hetkisen tietämyksen mukaan maapallon historian nopeimmin tapahtuva ilmaston lämpeneminen, jonka arvioidaan olevan suurimmalta osin seurausta ihmisen toiminnasta. (Väyrynen 2012.)

Hiilijalanjälki kuvaa esimerkiksi tuotteen, toiminnan tai palvelun tuotannosta ja käytöstä syntyvää ilmastokuormaa eli kasvihuonepäästöjen aiheuttamaa ilmastoa lämmittävää vaikutusta. Hiilijalanjälki voidaan ilmaista kahdella tapaa. Yleensä se ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttina (CO_2 -ekv. tai CO_2e), jonka laskennassa on otettu huomioon kaikkien kyseisiin päästöihin sisältyvien kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävät tekijät. Toisinaan hiilijalanjälki kuvaa vain toiminnasta syntyvän hiilidioksidin määrää. (Hiilidioksidiekvivalentti. 2015; Taustaa. 2018.)

Kokonaisuuden ja tulosten todenmukaisuuden kannalta on tärkeää ottaa huomioon muutkin päästöt hiilidioksidin rinnalla, sillä eri kasvihuonekaasut lämmittävät ilmastoa eri verran. Esimerkiksi metaanipäästöt voimistavat kasvihuoneilmiota 21 kertaisesti ja typpioksiduulipäästöt 310 kertaisesti hiilidioksidiin verrattaessa.

Riippumatta kuitenkin siitä, kuvaako hiilijalanjälki vain hiilidioksidipäästöjä vai kaikkien kasvihuonekaasujen lämmittävää vaikutusta, hiilijalanjälki ilmoitetaan massana ja käyttötavasta ja kohteesta riippuen yksikkönä käytetään tonnia, kilogrammaa tai grammaa. (Hiilidioksidiekvivalentti. 2015; Taustaa. 2018.)

Tapauskohtaisesti hiilijalanjälki kuvaa päästöjä aiheuttavan kokonaisuuden koko elinkaaren aikaisia välillisiä tai välittömiä kasvihuonekaasupäästöjä, mutta joissain tapauksissa hiilijalanjälki on myös mahdollista ja kannattavampaa ilmoittaa rajattua aikayksikköä kohden. (Taustaa. 2018.)

3.2 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjälki on ympäristövaikutusten mittari, joka kuvaa tuotteen, sen valmistuksen tai palvelun positiivisia ympäristövaikutuksia ja ilmastohyötyjä eli päästövähennyspotentiaalia. Hiilikädenjäljellä voidaan kompensoida ja pienentää yrityksen tai yksilön hiilijalanjälkeä. (Pelkonen 2016.)

Ympäristötietoisuuden lisääntyessä ja teollisuuden ja tuotannon vastatessa ekologisempien tuotteiden kysyntään joidenkin tuotteiden vaikutus ympäristöön ja ekosysteemiin voidaan laskea jo enemmän positiivisena vaikutuksena, kuten hiilidioksidin sitojana, kuin negatiivisena vaikuttajana ja kuluttavana tuotteena. Positiivisten ympäristövaikutusten lisääntyessä on nähty tarpeellisenä ottaa käyttöön myös positiivisia ympäristövaikutuksia kuvaava indikaattori, hiilikädenjälki. (Hiilikädenjälki: Uusi ympäristömittari tuotteiden positiivisten ilmastovaikutusten arviointiin. 2018.)

3.3 Asumisen ja rakentamisen hiilijalanjälki

Asumisella on suuri vaikutus yksittäisen henkilön kulutukseen ja hiilijalanjälkeen. Keskivertosuomalaisen hiilijalanjäljestä jopa 33 % koostuu asumisesta, joka vastaa 3 400 kg hiilidioksidia (kuva 1). (Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki. 2018.)

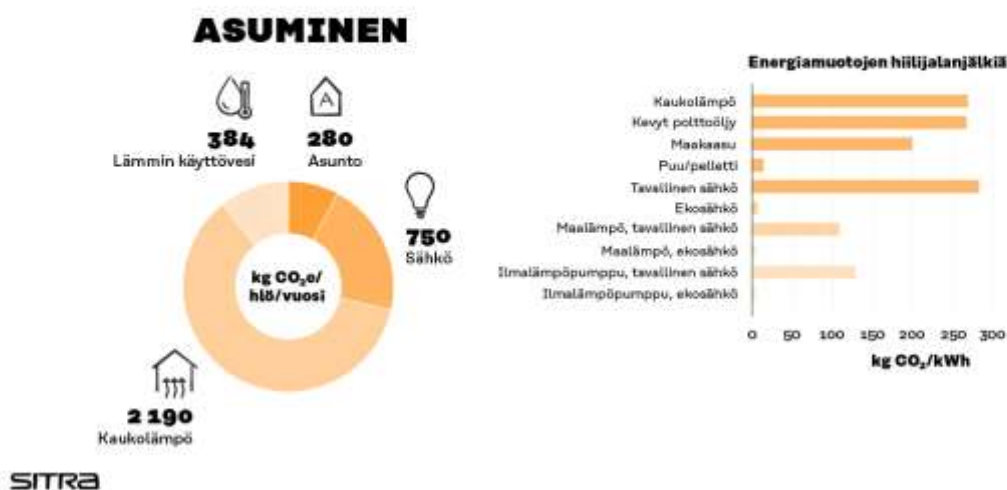
KESKIVERTOSUOMALAISEN HIILIJALANJÄLKI



KUVA 1. Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki (Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki. 2018)

Asumisen hiilijalanjälki jakaantuu vedenkäyttöön, asuntoon, sähkөөn ja lämmitysmuotoon. Suurin osa suomalaisista lämmittää asuntonsa kaukolämmöllä (kuva 2). (Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki. 2018.)

KESKIVERTOSUOMALAISEN HIILIJALANJÄLKI



KUVA 2. Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki asumisen näkökulmasta (Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki. 2018)

Sen lisäksi, että yksittäisen ihmisen hiilijalanjäljestä kolmannes koostuu asumisesta, myös koko Suomen mittakaavassa rakennettu ympäristö tuottaa kolmannuksen maan kasvihuonepäästöistä. Rakennuksen elinkaaren ja rakentamisen hiilijalanjälki koostuu rakennustuotteiden valmistuksesta, niiden kuljetuksesta rakennuspaikalle, rakentamisesta, kunnossapidosta, korjauksesta ja rakennusosien vaihdosta, veden ja energian kulutuksesta sekä mahdollisesta purkamisesta ja kierrättämisestä. (Hiilijalanjälkitutkimus. 2018, 48.)

ARA eli Suunnittelutoimisto Optiplanin Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus on tutkinut rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentämistä kustannustehokkaasti vuokratalokohteissa. Tutkimuksessa tarkastelun kohteena on neljä NCC:n ja VAV Asuntojen toteuttamaa vuokratalokohdetta ja siinä verrataan niiden elinkaarien hiilijalanjälkiä. (Hiilijalanjälkitutkimus. 2018, 48.)

Energiantehokkuutta lisääviä ja kasvihuonekaasupäästöjä vähentäviä ratkaisuja ovat esimerkiksi huoneistokohtainen hajautettu ilmanvaihto ja vähäpäästöisten lämmitysmuotojen valitseminen. ARAn tutkimus osoittaa, että yksittäisillä ratkaisuilla ei välttämättä ole isoa vaikutusta kokonaispäästöihin, mutta suunnittelun varhaisessa vaiheessa valittujen useiden vähäpäästöisyyteen pyrkivien ratkaisuiden valitsemisella voi saada isoja tuloksia aikaan. (Hiilijalanjälkitutkimus. 2018, 48.)

ARAn tutkimus osoittaa, että suurin vaikutus rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen on rakennuksen energiaratkaisulla, joka kattaa jopa noin 65 % rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä, kun asiaa tarkastellaan 60 vuoden jaksolla. Samaan aikaan rakennuksen materiaalivalinnat ja niiden määrä ja laatu voivat määrittää noin 30 % rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä. (Hiilijalanjälkitutkimus. 2018, 48.)

Tutkimuksessa pyrittiin löytämään mahdollisimman kustannustehokkaita ratkaisuja ja tarkastelemaan eri valintoja kustannuksien näkökulmasta. Tutkimus osoittaa, että vähäpäästöisemmät vaihtoehdot eivät aina ole kalliimpia ja joskus jopa edullisempia. (Hiilijalanjälkitutkimus. 2018, 48.)

4 HIILIJALANJÄLJEN PIENENTÄMINEN

Vuonna 2015 YK:n järjestämässä ilmastoneuvotteluissa saatiin aikaan Pariisin ilmastosopimus, jolla pyritään pitämään maapallon keskilämpötilan nousu merkittävästi alle 2 °C:n, pyrkien 1,5 °C:een verrattuna esiteolliseen aikaan. Tavoitteeseen pääsemiseksi on tehtävä suuria leikkauksia globaaleihin kasvihuonekaasupäästöihin ja pyrkiä saavuttamaan tasapaino ihmisten tuottamien päästöjen ja niitä ilmakehästä poistavien hiilinielujen välille vuoteen 2050 mennessä. Sopimus astuu voimaan vuonna 2020. EU on asettanut tavoitteekseen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 90 % vuoteen 2050 mennessä. (Koljonen – Soimakallio – Lehtilä – Similä – Honkatukia – Hildén – Rehunen – Saikku – Salo – Savolahti – Tuominen – Vainio 2019, 21.)

Pariisin ilmastosopimuksen tulkinta on aiheuttanut kuitenkin ongelmia. Maapallon keskilämpötilan nousun tavoitteen ehdottomaksi enimmäismääräksi määritelty 2 °C aiheuttaa jo huomattavia ympäristömuutoksia ja yhteiskunnallisia kriisejä. IBCC-raportin mukaan lämpötilan nousun rajoittaminen 2 °C:een ei riitä, vaan on ehdottomasti tavoiteltava rajoittamaan lämpeneminen 1,5 °C:een. Mikäli pysytäisiin tämän hetkisten päätöksien sallimissa päästömäärissä, maapallon keskilämpötila nousisi jopa 3 °C. (Pitko 2019.)

Tärkeä teema Pariisin sopimuksessa ja ilmastonmuutoksen torjumisessa on hiilineutraalius. Hiilineutraalisuus tarkoittaa sitä, että hiilidioksidia sitoutuu ilmakehästä yhtä paljon kuin sitä ihmistoiminnan lähteistä vapautuu. Ilmastosopimuksessa osapuolia kiinnitetään ja velvoitetaan huolehtimaan muistakin kasvihuonekaasupäästöistä hiilidioksidin lisäksi, jolloin termi kasvihuonekaasuneutraalius kuvaisi ilmiötä paremmin. (Koljonen ym. 2019, 21.)

Vaikka suurin tekijä kasvihuonekaasuneutraaliuden saavuttamisessa on nykyisten kasvihuonepäästöjen mittava vähentäminen, tavoitteiden saavuttamiseksi hiilinielujen suojeleminen ja vahvistaminen on erittäin olennaista. Hiilinieluja ovat muun muassa metsät ja meret. (Koljonen ym. 2019, 21.)

Yksi suurimmista uhista ja kasvihuonekaasujen päästölähteistä on metsien häviäminen ja hävittäminen esimerkiksi maatalouden ja rakentamisen tieltä. Metsät

vähenevät myös alati yleistyvien ja pahenevien metsäpalojen takia, jotka aiheutuvat kuivuudesta ja ilmaston lämpenemisestä. (Metsien hiilinielut. 2018.)

4.1 Hiilinielut

Maailman sademetsiä kutsutaan maapallon keuhkoiksi niiden suuren biomassan ja nopean kasvun ansiosta. Sademetsät eivät ole kuitenkaan ainoa massiivinen hiilinielu maapallolla. Metsien lisäksi hiilinieluinä toimivat meret sekä kaikki yhteyttämiseen kykenevät organismit. (Väyrynen 2012.)

Pohjoisen pallonpuoliskon havumetsävyöhykkeen merkitys maapallon ilmastolle on suuri. Suomen havumetsät ovat osa tuota suurta pohjoista havumetsävyöhykettä. (Väyrynen 2012.)

Joidenkin tutkimuksien mukaan havumetsävyöhyke on jopa parempi hiilinielu kuin trooppiset sademetsät, sillä viileän ilmaston ansiosta puuaines lahoaa huomattavasti hitaammin kuin kosteassa ja kuumassa ilmastossa. (Ilmastomuutos: Kestääkö pohjoinen havumetsävyöhyke ilman kunnan talvea? 2018.)

Suomi pyrkii hiilineutraaliuteen vuoteen 2035 mennessä. Päästövähennyksien ohella tavoitteen saavuttamiseksi on myös tärkeää lisätä Suomen hiilinieluja. Yksi keino hiilinielujen lisäämiseen on ojitettujen soiden palauttaminen ja vanhojen peltopalstojen metsittäminen. Vuonna 2017 Suomen metsien nettohiilinielu oli 27 miljoonaa tonnia CO₂ ekv vuodessa, joka vastaa 48 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. (Metsien hiilinielut. 2018; Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. 2019.)

Metsien nettohiilinielu vaihtelee kuitenkin vuosittain, metsien hakkuun takia. Suomen nettohiilinielut ovat vaihdelleet 18-47 miljoonan tonnin välillä vuodesta 1990 alkaen. Suomi on sitoutunut Kioton pöytäkirjan toisella velvoitekaudella ylläpitämään vähintään 19 miljoonan tonnin nettohiilinieluja vuoteen 2020 asti. (Metsien hiilinielut. 2018.)

Hiilinieluilla käydään myös kauppaa, ja monet tahot ovat pohtineet hiilipörssin luomisen mahdollisuutta. Hiilinieluilla käytävästä kaupanteosta puhuttaessa käy-

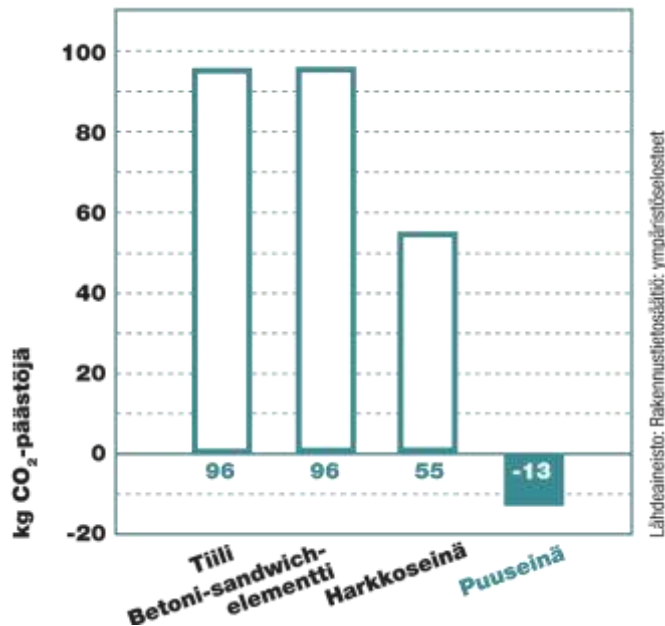
tetään usein termiä päästöhyvitys, joita yritys tai yksilö voi ostaa esimerkiksi erialisten välittäjien kautta kompensoidakseen hiilijalanjälkeään. Päästöhyvityksen ostolla tuetaan esimerkiksi hankkeita, jotka ovat kestäväen kehityksen mukaisia. Tuettava hanke voi muun muassa auttaa hakkuiden rajoittamisessa ja uudelleen metsittämisessä tai auttaa korvaamaan fossiilisia polttoaineita käyttäviä energialaitoksia uusiutuvaa energiaa käyttäviin laitoksiin. Metsien osuus hiilinieluhyvityksistä on noin 80 %. (Nurmi – Ollikainen 2019.)

Hiilipörssin ja päästöhyvityskaupan luotettavuus ja pysyvyys on kuitenkin herättänyt paljon kritisointia. Helsingin yliopiston tekemän selvityksen mukaan hiilipörssin kautta ostettu hiilinielu ei automaattisesti ole pysyvä, sillä esimerkiksi hiilinieluna ostettu metsä, voidaan kuitenkin hakata myöhemmin. Hiilipörssillä ostettua hiilinieluhanketta ei voida myöskään aina jäljittää suoraan hiilipörssin ansiosta tapahtuvaksi, sillä esimerkiksi jonkin metsitettävän alueen taimet on ollut määrä istuttaa joka tapauksessa riippumatta hiilipörssissä tehdystä kaupasta. Hiilipörssi voi aiheuttaa myös niin kutsuttuja hiilivuotoja, kun päästöhyvityksen velvoittama hakkuiden rajoittaminen tietyllä alueella todennäköisesti vain siirtää tarvittun hakkuun eri tontille. (Nurmi – Ollikainen 2019.)

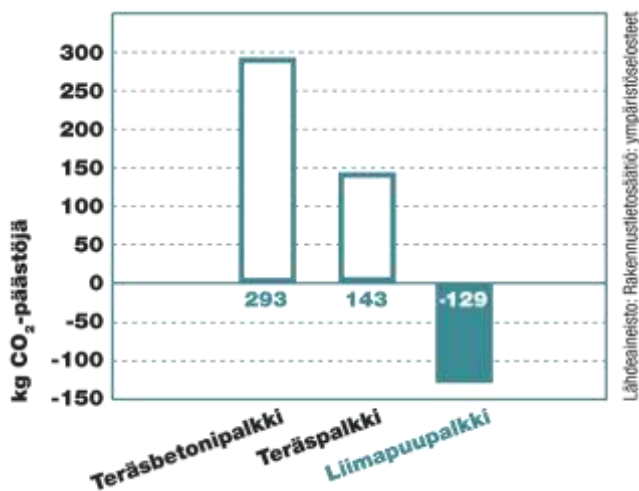
4.2 Materiaalivalintojen vaikutus

Rakennuksen materiaalivalinnoilla on suurin vaikutus rakennuksen hiilijalanjälkeen etenkin sen elinkaaren alku- ja loppuvaiheissa. Puu on ainoa rakennusmateriaali, joka uusiutuu luontaisesti ja jonka hiilikädenjälki ylittää tuotannosta aiheutuvan hiilijalanjäljen. Muut rakennusmateriaalit pääsääntöisesti vain tuottavat kasvihuonekaasupäästöjä. (Hyvä tietää puun käytön ympäristövaikutuksista.)

Kun vertaillaan yleisimpien seinärakenteiden päärakennusmateriaalien hiilidioksidipäästöjä neliometriä kohti, kuten kuvassa 3, osoittautuvat tiiliseinä ja betonisandwichelementti ylivoimaisesti suurimmiksi päästöjen aiheuttajiksi. Merkittävä eroavaisuus voidaan myös havaita, kun vertaillaan kantavaa 6-metristä liimapuupalkkia vastaavanlaisen teräsbetoni ja teräspalkin kanssa (kuva 4). (Hyvä tietää puun käytön ympäristövaikutuksista.)



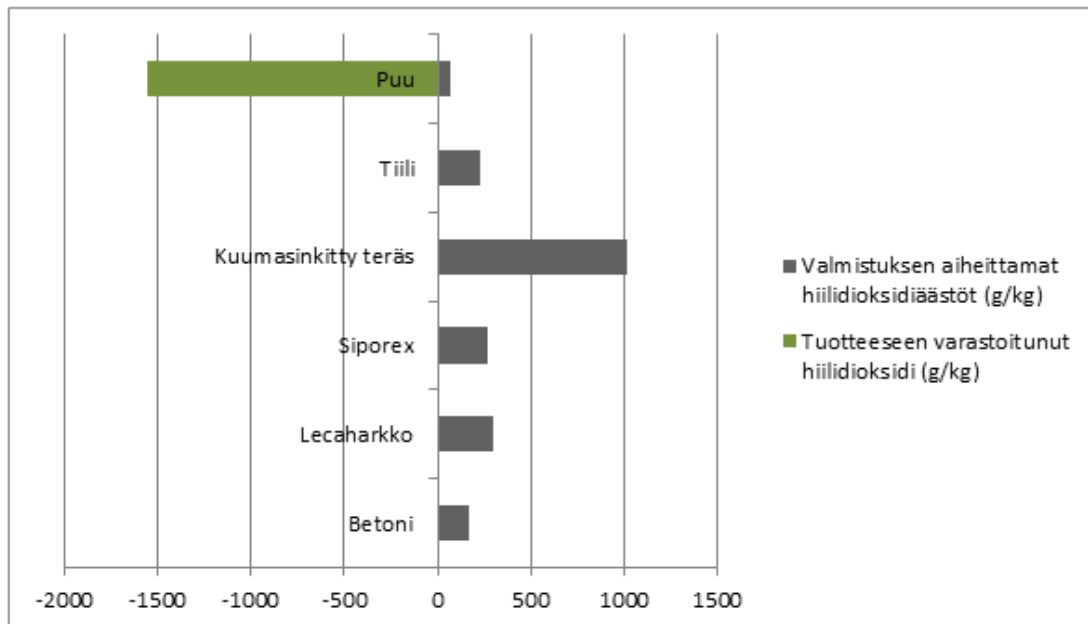
KUVA 3. Ulkoseinärakenteen tuottamat hiilidioksidipäästöt rakenneliömetriä kohti (Hyvä tietää puun käytön ympäristövaikutuksista)



KUVA 4. Kantavan 6-metrinen (3kN/m, R30) teräs- ja puupalkkien tuottamat hiilidioksidipäästöt (Hyvä tietää puun käytön ympäristövaikutuksista)

Päärakennusmateriaalien aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä voidaan vertailla myös niiden painon suhteen (kuva 5). Siinä tapauksessa on kuitenkin tärkeää huomioida rakennusmateriaalien tiheys ja niiden menekki vastaavan rakennusosan valmistamiseksi. Esimerkiksi puu ja leca-harkko ovat suhteellisen kevyitä materiaaleja teräkseen ja betoniin verrattuna. Lisäksi puu ja teräsrakenteet

perustuvat yleensä rankarunko-menetelmään, jolloin tarvittun materiaalin tilavuusmenekki on paljon pienempi. (Ympäristö- ja resurssitehokkuus.)



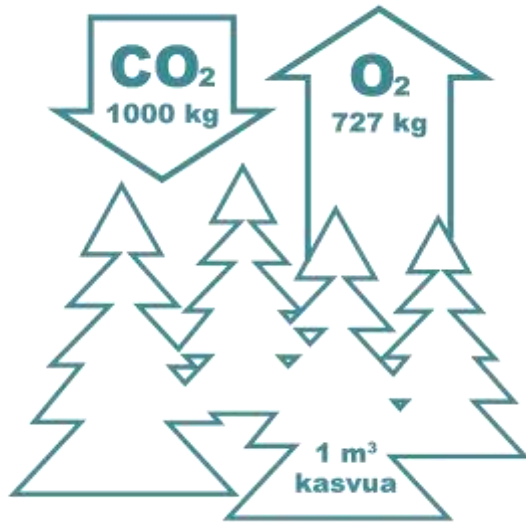
KUVA 5. Rakennusmateriaalien valmistuksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt (Ympäristö- ja resurssitehokkuus)

4.2.1 Puu

Puu rakennusmateriaalina sitoo hiiltä rakennukseen pitkäksi aikaa, jolloin se pysyy poissa ilmakehästä. Mitä suurempi osuus rakenteesta on puuta, sitä enemmän rakennukseen on sitoutunut hiiltä. (Ympäristö- ja resurssitehokkuus.)

Puun käsittely rakentamiseen sopivaksi vie huomattavasti vähemmän resursseja kuin esimerkiksi betonin valmistus. Puun jalostus voidaan toteuttaa hiilineutraalisti, sillä puunjalostus tuottaa enemmän energiaa kuin mitä se kuluttaa. Tuotannon tarvitsema energia saadaan polttamalla tuotannossa syntyvästä puujätteestä. (Ympäristö- ja resurssitehokkuus.)

Metsät toimivat hiilinieluna, sillä ne sitovat hiilidioksidia ilmakehästä yhteyttämällä. Puuaineksesta noin puolet on hiiltä. Puun hiilinielukapasiteettia arvioiessa perussääntönä on, että yksi kuutiometri puuta sitoo ilmakehästä yhden tonnin hiilidioksidia (kuva 6). (Ympäristö- ja resurssitehokkuus.)



KUVA 6. Yksi kuutiometri puun kasvua sitoo ilmasto noin tonnin hiilidioksidia (Hyvä tietää puun käytön ympäristövaikutuksista)

Metsät ovat erittäin tärkeä osatekijä ilmastonmuutoksen torjumisessa. Samaan aikaan, kun toiveissa on puun käytön lisääntyminen rakennusmateriaalina, on erittäin tärkeää kiinnittää huomiota metsien hyvinvointiin ja siihen, miten puustoa hakataan. (Metsien hiilinielut. 2018.)

Ekologisesti kestävä kehitys kannalta on siis tärkeää, että suuria avohakkuuita vältetään sekä hakkuualueet metsitetään mahdollisimman pian uudestaan. Avohakkuut aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä, sillä metsämaa lämpenee aiempaa enemmän, mikä saa lahottajat aktiiviseksi. (Ilmastonmuutos: Kestäkö pohjoinen havumetsävyöhyke ilman kunnan talvea? 2018.)

Puusta rakennettaessa käytettävä puulaji vaikuttaa paljon lopulliseen hiilijalanjälkeen. Trooppiset puulajit, kuten eukalyptus, kasvavat paljon pohjoisia puulajeja nopeammin, jolloin puutavaran tuotanto on tehokkaampaa. Puulajin valinnassa on kuitenkin huomioitava, kuinka kaukaa puutavara tuodaan ja onko metsänhoito toteutettu kestävä kehityksen mukaisesti. (Ympäristö- ja resurssitehokkuus.)

Mitä kauempaa puuta kuljetetaan, sitä suurempi osa puun hiilijalanjäljestä syntyy kuljetuksesta. Kotimaisen puun kuljetuksen osuus puuntuotannon energiankulutuksesta on vain 2-3 %. (Ympäristö- ja resurssitehokkuus.)

4.2.2 Betoni

Betonin valmistus aiheuttaa mittavat kasvihuonepäästöt maailmanlaajuisesti. Betonin tärkeimmän raaka-aineen, sementin, valmistuksen arvioidaan aiheuttavan jopa 16 % kaikista ihmisen päästöistä maailmassa ja olevan maailman suurin hiilidioksidipäästöjen aiheuttaja. Betoniin valmistuksessa tarvittava sementti valmistetaan yleisimmin kalkkikivestä, jonka kalsiumkarbonaatti (CaCO_3) kalsinoidaan kuumentamalla kalsiumoksidiksi (CaO), jolloin prosessissa vapautuu hiilidioksidia. (Illikainen 2019; Oikarinen 2016.)

CO₂concreteSolution -hankkeen mukaan betoni toimii kuitenkin myös hiilinieluna. Hanke on EU:n Life ohjelmaan kuuluvan Kohti hiilineutraaleja kuntia ja maakuntia (CANEMURE) -hankkeen osaprojekti. Sen tavoitteena on tutkia hiilidioksidin sitoutumista betoniin. (Kekkonen 2019, 96.)

Ilman kanssa kosketuksissa oleva emäksinen betoni reagoi happaman hiilidioksidikaasun kanssa ja sitoutuu pysyvästi betoniin eli betoni karbonatisoituu. Kun betoni murskataan kierrätyksen yhteydessä käyttöikänsä lopussa, ilman kanssa kosketuksissa oleva pinta-ala moninkertaistuu, mikä vauhdittaa karbonatisoitumista. Murskattua betonia voidaan uusiokäyttää muun muassa tierakentamisessa ja meluaidoissa teiden varsilla. (Kekkonen 2019, 96.)

Pohjoismaalaisen tutkimuksen mukaan rakennuksessa olevasta betonista 20-40 % karbonatisoituu 70-vuotisen käyttöikänsä aikana, ja murskattuna jopa 60-80 %. Näin ollen suuri osa betonin valmistumisesta vapautuneesta hiilidioksidista sitoutuu takaisin betoniin. Betonin ominaisuus toimia hiilinieluna voi siis olla merkittävä ilmastonmuutoksen hidastamisen kannalta. (Kekkonen 2019, 96.)

On kuitenkin huomioitavaa, että sementin valmistuksen lisäksi betonin valmistusprosessissa ja käytössä on usein myös muita työvaiheita, jotka aiheuttavat merkittäviä kasvihuonepäästöjä. Pohjoisen ilmaston talvet asettavat haasteita betonirakentamiselle. Kun lämpötila laskee alle 10 pakkasasteen, talvivalun onnistumiseen tarvitaan ylimääräisiä kemiallisia kiihdyttämiä, lisälämmitysjärjestelmiä ja

lämmitettyjä teltoja. Tällaiset lisäkalustot ja materiaalit lisäävät huomattavasti betonin valmistukseen tarvittavaa energiaa ja hiilijalanjälkeä. (Ohenoja – Illikainen 2019, 92.)

Yhtenä Oulun yliopiston Kuitu- ja partikkelitekniikan yksikön ARCTIC-ecocrete -hankkeen tavoitteena on kehittää betonityön ekologisuutta arktisilla alueilla. Oulun yliopistolla tehtyjen tutkimusten mukaan betonin tuotannon aiheuttamia kasvihuonepäästöjä voidaan kuitenkin vähentää esimerkiksi laadukkaalla, tarkalla suunnittelulla ja betonin tehokkaalla käytöllä. Lisäksi betonissa voitaisiin käyttää vaihtoehtoisia runko- ja sidemateriaaleja. (Ohenoja – Illikainen 2019, 92; Illikainen 2019.)

Teollisuudessa syntyy valtavia määriä sivutuotteena mineraalijätettä, jota on mahdollista käyttää kiertotalouden avulla betonin uusina sideaineina. Tällaisia sideaineita ovat esimerkiksi rakentamisesta syntyvä mineraalivillajäte, joka on yksi isoimpia yksittäisiä jätemuotoja rakentamisessa, sekä terästeollisuuden masuunikuona eli natriumsilikaatti. Ekokuivabetoniksi kutsuttu geopolymeeribetoni ja muiden vaihtoehtosementtien hiilidioksidipäästöt ovat jopa 80 % perinteistä sementtiä pienemmät. (Illikainen 2019.)

Oulun yliopistossa on kehitetty maailman lujin betoni, jossa ei ole käytetty sementtiä ollenkaan. Tavallisen korkealujuusbetonin kestäessä 55 MPa puristuslujuuden. Geopolymeeribetoni, jossa sideaineena on käytetty masuunikuonaa, kestää jopa 107 MPa puristuslujuuden. (Illikainen 2019.)

Ekobetonin ei kuitenkaan uskota voivan syrjäyttää koko sementintuotantoa, sillä esimerkiksi mineraalivillajätettä ja masuunikuonaa ei synny kovin suuria määriä. Sen käyttökohteina voisivatkin olla suurien rakenteiden sijasta esimerkiksi lattija seinälaatat sekä pihakivetykset. Vaikka tuotetta ei ole saatu vielä Suomessa kaupallistettua, on se ollut markkinoilla jo muun muassa Australiassa. (Illikainen 2019.)

4.2.3 Teräs

Teräs on lähes välttämätön raaka- ja rakennusmateriaali yhteiskunnalle, ja sen tarve kasvaa jatkuvasti. Teräksen kasvihuonepäästöt ovat kuitenkin huomattavan

suuret, sillä teräksen valmistus aiheuttaa 7-9 % maailman hiilidioksidipäästöistä. Suomessa SSAB:n omistama Raahen terästehdas aiheuttaa 7,5 % koko Suomen hiilidioksidipäästöistä. Nykyisellä valmistustekniikalla terästeollisuuden kasvihuonekaasupäästöt tulevat kasvamaan neljänneksen vuoteen 2050 mennessä. (Sipola 2019.)

Teräksen valmistus tuottaa enemmän hiilidioksidia kuin mitä vastaavalla energiamäärällä saadaan valmista terästä. Yhden terästonnin valmistusta kohden syntyy 1,6 tonnia hiilidioksidia. Perinteisessä teräksen valmistuksessa käytetään maasuuniteknikkaa ja fossiilista polttoainetta. Hiilidioksidia syntyy jokaisessa perinteisen valmistusmenetelmän vaiheessa. (Sipola 2019.)

SSAB on kuitenkin asettanut tavoitteekseen saada teräksen valmistusprosessista täysin hiilineutraali vuoteen 2045 mennessä. Uudessa testivaiheessa olevassa valmistustekniikassa käytetään täysin fossiilivapaata sähköä, joka tarpeen tullen voidaan varastoida vetylaitokseen. Vedystä saatavalla energialla malmipellesteistä saadaan pelkistettyä rautaa, josta valmistetaan romuraudan kanssa terästä. Uuden teknologian käyttöönotto vaatii suuria infrastruktuurin muutoksia, energiantuotannon määrän kasvatusta ja paljon rahaa. (Sipola 2019.)

Uusi hiilineutraali vetyteknologia teräksenvalmistuksessa vaatii huomattavan paljon sähköä. Raahen terästehtaan tuotantomäärän ylläpitämiseksi vaadittaisiin noin kymmenenkertaisesti enemmän sähköä nykyiseen verrattuna. Se tarkoittaa 10-12 terawattituntia vuodessa, joka on noin kuudesosa koko Suomen tämänhetkisestä sähköntuotannosta. Sähköä tarvittaisiin yhden ydinvoimalan verran. (Sipola 2019.)

4.3 Eristemateriaalit

Runkomateriaalien ohella toinen tärkeimmistä rakennuksen hiilijalanjälkeen vaikuttavista tekijöistä on rakennuksen vaipan eristemateriaali. Useat eristemateriaalit valmistetaan uusiutumattomista raaka-aineista, joista mineraalivillat ja muovieristeet ovat yleisimpiä. Mineraalivillalla tarkoitetaan kivi- ja lasivillaa. (Hänninen 2016.)

Jotkin runkomateriaalit voivat myös toimia jo itsessään eristeenä, kuten esimerkiksi hirsi, savitiili, massiivi- ja kevytsavi sekä kevytbetoni. Kyseiset runkomateriaalit eivät yleensä kuitenkaan pääse itsekseen aivan samoihin energiatehokkuuksiin kuin varsinaiset eristeet. (Hänninen 2016.)

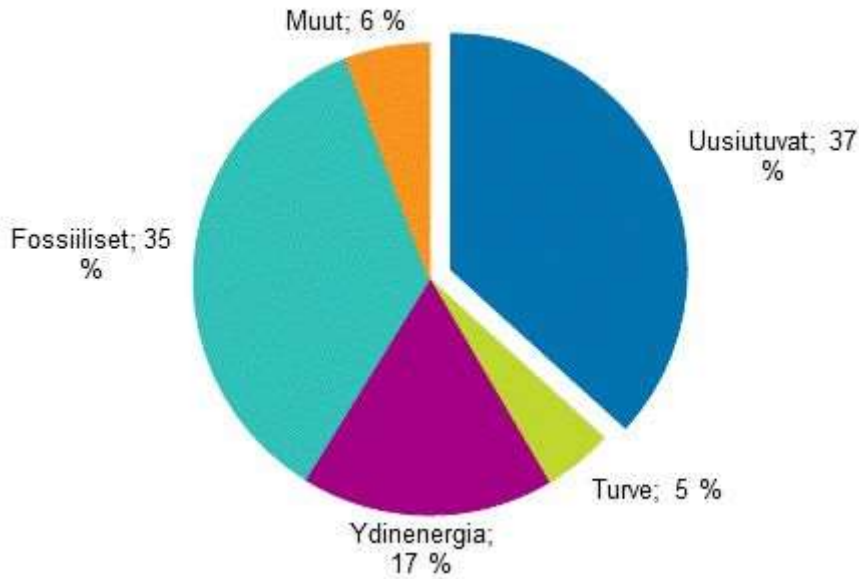
Varis Bokalders on luokitellut eristemateriaaleja niiden ympäristöystävällisyyden perusteella. Ympäristöystävällisimpiä eristemateriaaleja ovat puukuitueristeet, pellavaeristeet, kuitusementtilevyt, puukuitulevyt, korkki, kookoskuitu, kutterilastu, turve ja olki. Toiseksi parhaimpia eristeitä ympäristön kannalta ovat kierrätysmateriaaleista valmistetut eristeet, kuten selluvilla, kevytsora, kevytbetoni, reikätiili ja jätepaperi. Bokalders on myös luokitellut mineraalieristeet ja muovipohjaiset eristeet, kuten polyeteenin ja polystyreenin, vältettäviksi ja ympäristölle haitallisimmiksi eristemateriaaleiksi. Kyseisten materiaalien valmistus kuluttaa muihin eristemateriaaleihin verrattuna paljon enemmän energiaa sekä ne käyttävät ja tuottavat uusiutumattomia raaka-aineita. (Hänninen 2016.)

Eristemateriaalin valinnassa on ympäristöystävällisyyden lisäksi suotavaa tarkastella myös eristeen lämmöneristyskykyä ja suosia sellaista, jolla on pieni u-arvo eli lämmönläpäisykerroin. Eristeen lämmöneristyskyky on vaikuttaa suoraan rakennuksen energiatehokkuuteen, joka puolestaan vaikuttaa rakennuksen kokonaishiilijalanjälkeen eniten sen käytön aikana. (Hänninen 2016.)

4.4 Energia- ja lämmitysjärjestelmät

Suurin osa rakennuksen käytönaikaisesta hiilijalanjäljestä syntyy energiankäytöstä ja lämmitysjärjestelmästä. Arvioiden mukaan jopa 65 % rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä määräytyy sen energiaratkaisun perusteella. (Hiilijalanjälkitutkimus. 2018, 48.)

Energiamuodon hiilijalanjäljen pienentämiseksi paras vaihtoehto on suosia fossiilivapaita, uusiutuvia energianlähteitä, kuten tuuli-, aurinko- ja vesivoimaa. Vuonna 2018 uusiutuvan energian osuus Suomen kokonaisenergiankulutuksesta oli 37 % (kuva 7). (Aarni 2019; Ylikunnari 2017.)



KUVA 7. Uusiutuvan energian osuus Suomen energiankulutuksesta vuonna 2018 (Energian hankinta ja kulutus. 2018)

Uusiutuvien energialähteiden lisääminen ei ole kuitenkaan yksiselitteistä, sillä esimerkiksi aurinkopaneelien valmistamisesta aiheutuvia päästöjä kritisoidaan suuriksi. Aurinkopaneelien valmistuksen päästöt maksavat itsensä kuitenkin takaisin noin 2-3 vuodessa, mikä vastaa alle kymmenystä sen koko elinkaaresta. Aurinkopaneelien asentamisen kannattavuus myös vaihtelee suuresti alueittain. (Ylikunnari 2017.)

Tuulivoiman lisääminen on aiheuttanut samankaltaista kritiikkiä kuin aurinkopaneelit. Tuulivoiman asentaminen on kannattavinta tuulisille paikoille, mutta harva haluaa tuulivoimaloita omalle tontilleen tai lähelle asuinalueitaan. Tuulivoimaloita on haukuttu ympäristöä rumentaviksi, ja niiden aiheuttama ääni voi häiritä monia. (Ylikunnari 2017.)

Vesivoimaloiden kannattava rakentaminen vaatii riittävän suuren vesistön ja suuren potentiaalienergian, joten ne eivät sovellu jokaiseen vesistöön. Suomen joista suurin osa on kuitenkin jo padotettu ja valjastettu vesivoiman tuotantoon. Vesivoimaloiden rakentaminen haittaa kuitenkin monien kalojen, etenkin lohien lisääntymistä, sillä ne eivät patojen takia välttämättä pääse kutupaikoilleen. Useiden vesivoimaloiden yhteyteen onkin rakennettu niin kutsuttuja kalaportaita tai -hissejä, joiden kautta ne pääsevät lisääntymään kutupaikoilleen. (Ylikunnari 2017.)

Ydinvoima aiheuttaa paljon keskustelua puolesta ja vastaan. Ydinvoima on hiili-neutraali energianlähde, sillä sen tuottamisessa ei synny hiilidioksidia. Sitä kuitenkin kritisoidaan ja pelätään sen radioaktiivisen energianlähteen, uraanin käytön, fissioreaktion lopputuotteena syntyneen voimakkaasti radioaktiivisen ydinjätteen käsittelyn ja mahdollisen ydinonnettomuuden takia. (Ylikunnari 2017.)

Ydinjätteen loppukäsittely ei ole nykyisellään kannattava menetelmä. Ydinjätettä varastoidaan toistaiseksi suurissa jäädyttävissä vesialtaissa. Espoon Olkiluodon ydinvoimalan yhteyteen syvälle kallio maanperään on rakennettu ydinjätteen loppusijoituspaikkaa, Onkaloa, vuodesta 2004 asti. Onkaloon on määrää loppusijoittaa yli 6,5 miljoona tonnia ydinjätettä vähintään 100 000 vuoden ajaksi, kunnes sen uskotaan olevan vaaratonta elolliselle luonnolle. (Ylikunnari 2017.)

Rakennus voidaan lämmittää uusiutuvalla energialla tuotetulla sähköllä hiilivapaasti. Rakennuksen hiilijalanjälkeä voidaan myös pienentää asentamalla maalämpöpumppu. Myös omavarainen energiantuotanto esimerkiksi aurinkoenergiakeräimillä pienentää hiilijalanjälkeä ja voi muuttua hiilikädenjäljeksi, mikäli energiaa riittää myytäväksi asti. (Kuittinen 2019; Ylikunnari 2017.)

Mikäli rakennus sijaitsee kunnallistekniikan piirissä, yksi tehokkaimmista lämmitysmenetelmistä on kaukolämpö. Kaukolämpöä tuotetaan usein sähkön tuotannon yhteydessä siirtämällä ylimääräinen lämpöenergia kaukolämpöverkoston. Vaikka suurilta osin kaukolämpöä tuotetaan vielä fossiilisella polttoaineella, on uusiutuvien polttoaineiden osuus kasvamassa huomattavasti jo lähitulevaisuudessa. (Ylikunnari 2017.)

Rakennuksen energiankulutukseen vaikuttaa huomattavissa määrin rakennuksen energiatehokkuus. Energiatehokkaan rakennuksen ulkovaipan koko on pieni sisäpinta-alaan verrattuna, sillä on hyvä lämmöneristyskyky ja rakennuksen lämmitys- ja energiantuotantomuodot käyttävät fossiilivapaita energiamuotoja. Energiatehokkaan rakennuksen on sanottu maksavan itsensä takaisin, sillä se vähentää huomattavasti rakennuksen lämmityskuluja ja hiilidioksidipäästöjä. (Hänninen 2016.)

Hyvä energiatodistus ei aina tarkoita suoranaisesti hyvää energiatehokkuutta, sekä toisin päin. Energiatodistusta on arvosteltu puolueelliseksi, sillä rakennuksen energiatodistus huononee heti, kun rakennuksen lämmitysratkaisuksi valitaan sähkölämmitys. On tärkeää arvioida, onko sähkölämmitys aina pahasta vai voisiko siihen vaikuttaa enemmän myös se, miten sähkö tuotetaan ja mitä kautta se ostetaan. Energiatehokkuuteen pyrkimisellä on paljon hyviä puolia ja kritisoineista huolimatta energiatodistus on hyvä mittari siihen. (Pitko 2019.)

4.5 Kiertotalous

Kiertotalouden ideana on säilyttää jo valmistettuja resursseja ja materiaaleja talouden kiertokulussa, vaikka ne olisivat saavuttaneet käyttöikänsä lopun jossain tietyssä käyttötarkoituksessa. Kiertotalouden periaatteen mukaan tuotteet olisi valmistettava niin, että ne kestävät mahdollisimman pitkään ja olisivat tarpeen tullen helposti kierrätettäviä tai hyödyksi käytettäviä muilla keinoin. Kiertotaloutta on esimerkiksi jätteiden kierrätys ja viallisten tuotteiden korjaus. (Kiertotalous. 2018.)

Rakennusmateriaalin, -tarvikkeen tai -osan aiheuttamaan hiilijalanjälkeen vaikuttaa paljon se, mitä tuotteelle tehdään sen elinkaaren loppuvaiheessa. Rakennusmateriaalin hiilijalanjälki pienenee, mikäli purku- tai korjausvaiheessa poistettu materiaali voidaan kierrättää ja uusiokäyttää tai käyttää hyödyksi esimerkiksi energiantuotantoon. Etenkin ikkunoiden, ovien, tulisijojen ja kiintokalusteiden kierrätys ja uusiokäyttö on mahdollista, mutta myös esimerkiksi tiiliä, peltikattoja ja hirsyä kierrätetään jonkin verran. (Hänninen 2016.)

Kierrätettyjen materiaalien ja tavaroiden kanssa on syytä olla kuitenkin varovainen ja ne on syytä tarkistaa ja puhdistaa läpikotaisin, mikäli ei ole varma niiden alkuperästä ja koostumuksesta. Kierrätysmateriaalit saattavat huonossa tapauksessa pitää sisällään tuholaisia tai itiöitä tai ne on saatettu käsitellä vaarallisilla aineilla kuten asbestilla. Noissa tapauksissa kierrätysmateriaali on syytä jättää käyttämättä. Myös purettaessa rakennusta esimerkiksi korjauksen yhteydessä on syytä huolehtia vaurioituneen tai vaarallisen materiaalin oikeanlaisesta käsittelystä ja hävittämisestä. (Hänninen 2016.)

4.6 Korjausrakentaminen

Rakennuksen huolellinen ja säännöllinen huoltaminen ja korjaaminen pidentävät rakennuksen käyttöikää merkittävästi. Samalla se pienentää rakennuksen kokonaishiilijalanjälkeä, sillä korjaustyöt eivät pääse kasaantumaan. (Hekkanen 2018.)

Korjausrakentamiseen voidaan myös soveltaa kiertotalouden periaatetta, sillä kelvoinen rakennus pyritään pitämään käyttökuntoisena mahdollisimman pitkään. Rakennuksen käyttöiän pidentyessä säästetään materiaaliressursseja, kun vanhaa ei tarvitse korvata kokonaan uudella. Hyvällä kunnossapidolla ja korjaustyöllä puurakenteinen talo voi parhaimmassa tapauksessa sitoa hiiltä rakenteisiinsa jopa satoja vuosia. (Hekkanen 2018; Ympäristö- ja resurssitehokkuus.)

4.7 Sijainti

Sijainti voi näkyä energiankulutuksessa ja rakennuksen hiilijalanjäljessä monella tapaa. Energiaa kuluu sitä enemmän, mitä kylmemmässä ilmastossa rakennus sijaitsee, sillä sitä enemmän se tarvitsee lämmitystä. Samoin käy myös, mikäli rakennus sijaitsee kuumassa ilmastossa, jolloin energiaa kuluu yksinomaan jäädytykseen. (Hänninen 2016.)

Yleisen ilmastotyypin lisäksi rakennuksen energiankulutukseen vaikuttaa myös rakennuspaikan pienilmasto. Aurinkoisella paikalla sijaitseva rakennus saattaa ylikuumentua helposti vaikkapa suurien ja huonosti lämpöä eristävien ikkunapintojen takia, mutta toisaalta voi olla oiva paikka aurinkoenergiakeräinten asentamiselle. (Hänninen 2016.)

Tuulisella rakennuspaikalla puusto, etenkin rakennuksen pohjoispuolella voi auttaa alentamaan rakennuksen lämmitystarvetta, sillä tuuli viilentää rakennusta merkittävästi. Alavilla pelloilla ja laaksojen pohjilla lämpötilat laskevat noin usein muuta ympäristöä alemmas, minkä vuoksi mäkien rinteet on perinteisesti havaittu Suomessa otollisiksi rakennuspaikoiksi. Myös paikan kosteus lisää kylmyyden tunnetta. (Hänninen 2016.)

Rakennuksen etäisyys kaupungin yhdyskuntarakenteista voi vaikuttaa rakennuksen hiilijalanjälkeen ja ympäristökuormaan. Yhdyskuntarakenteisiin, kuten vesi- ja viemäriverkostoihin, sähkö- ja kaukolämpöverkkoon, liittyminen vähentää ympäristön pistekuormitusta. Toisaalta maaseudulla sijaitseva rakennus, jossa energian tuotanto ja jäteveden puhdistus on omavaraista, on myös erittäin ekologinen vaihtoehto. (Hänninen 2016.)

Tiivis kaupunkirakentaminen säästää ympäröivää luontoa ja energiaa, kun kaikki palvelut ja kunnallistekniikka sijaitsevat lähellä. Toisaalta vehreä ja viihtyisä puutarhakaupunki, jossa rakennetaan matalia pien- ja rivitaloja, voi olla energia teho- ja tehokas. Se saattaa kuluttaa yhteensä yhtä paljon resursseja kuin tiiviimmin rakennettu kaupunkiympäristö, mutta kuormitus tasoittuu isommalle alueelle vähentäen pistekuormitusta ja lisäten viihtyisyyttä. (Hänninen 2016.)

Jokainen yksilö tarvitsee elämänsä aikana julkisia ja yksityisiä palveluita, joita ei voi itse omavaraisesti tuottaa. Tuollaisia palveluita ovat esimerkiksi koulut, sairaalat ja kaupat. Rakennuksen sijainnilla on merkitystä palveluiden saatavuuteen ja saavutettavuuteen. Mitä kauempana pientalo sijaitsee palveluista, sitä todennäköisemmin suurempi osa palveluiden luo matkustamisesta hoidetaan yksityisautolla. Pitkät matkat on vaikea suorittaa tehokkaasti lihasvoimalla, eikä julkisen liikenteen toiminta-alue välttämättä yltä riittävälle etäisyydelle. (Hänninen 2016.)

Kaupunkiympäristössä tai lähellä kaupunkia asuttaessa palveluiden äärelle päästään huomattavasti helpommin kävellen sekä pyöräillen. Pyörä on kaupungissa liikuttaessa keskimäärin nopeampi liikkumistapa autoon verrattuna alle seitsemän kilometrin matkoilla. (Hänninen 2016.)

Kaupunkialueella julkisen liikenteen saatavuus on yleensä helpompaa ja luotettavampaa kuin kauempana keskuksista. Linja-autolla matkustaminen tuottaa 2-3 kertaa ja sähköjuna 5-10 kertaa vähemmän päästöjä kuin henkilöautolla matkustaminen keskimäärin. (Hänninen 2016.)

4.8 Kaavoitus

Kaavoituksella on suuri merkitys uusien kaupunkialueiden tulevaan hiilijalanjälkeen. Kaavoitus antaa suunnan suunnittelijoille ja sillä voidaan rajata käytettäviä

rakennusmateriaaleja. Kaavoitusvaiheessa alue voidaan esimerkiksi profiloida vähähiiliseksi esimerkiksi puurakentamisella tai hiilivapaalla lämmönjakelulla. (Rakennusmateriaalien hiilijalanjälki. 2014.)

Vähähiilisen rakentamisen lisäämiseksi ja vapaaehtoiseksi tavoittelemiseksi voidaan asettaa taloudellisia kannustimia, kuten lupa rakennusoikeuden ylitykseen tai kunnallistekniikan liittymismaksujen alennus. Asemakaavassa voitaisiin myös velvoittaa rakennuksen hiilijalanjäljen arviointia ja suosia pieneen hiilijalanjälkeen tähtääviä rakentajia. (Rakennusmateriaalien hiilijalanjälki. 2014.)

4.9 Poliittiset sopimukset ja säännöstely

Kaavoituksen tapaan poliittisilla sopimuksilla, verotuksella ja säännöstelyllä voidaan tehokkaasti ohjata kuluttajan valintoja, teknologian kehitystä ja markkinoilla tarjolla olevia tuotteita ja palveluita. Esimerkiksi viimeaikainen energiatehokkuutta koskevien rakennusmääräysten tiukentaminen paransi rakennusten energiatehokkuutta. Määräyksiä tiukentamalla nostetaan päästöjenhallinnan minimivaatimustasoa, mikä johtaa päästöjen vähentämiseen ja rakennuksen parempaan energiatehokkuuteen. (Pitko 2019.)

Politiikka ja säännöstely ohjaa suunnittelijoita, kuluttajia ja yrityksiä tekemään parempia ilmastotekoja, sillä se asettaa ehdottoman minimirajan esimerkiksi päästöille. Vaikka yritykset ajaisivat pääasiassa omaa etuaan ja parempia tuottoja toiminnalleen, parhaat tuotot eivät välttämättä toteudu menemällä aina minimirajaa hipoen, vaan yritys saattaa jopa omaa mainetta parantaakseen ja markkinaetua saadakseen valita ekologisesti kestävämpiä ratkaisuja ja näin vaikuttaa osaltaan merkittävästi aiheuttamiinsa päästöihin ja ilmastovaikutuksiin. (Pitko 2019.)

Kansainvälisillä poliittisilla ja oikeudellisesti sitovilla sopimuksilla asetetaan kansallisia ja kansainvälisiä tavoitteita, jotka auttavat ja painostavat valtioita huomiota päästöjen vähennykseen. Merkittävin viime vuosien päästöpoliittinen sopimus on ollut YK:n Pariisin sopimus, jonka tarkoituksena on hillitä ilmastonmuutosta ja pitää maapallon keskilämpötilan nousun enintään alle 2 °C:n ja pyrkiä alle 1,5 °C:een. (Koljonen ym. 2019.)

Hyvä esimerkki politiikan merkittävästä vaikutuksesta ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi ja hiilijalanjäljen pienentämiseksi on valtion tukirahojen ohjaaminen uusiutuvaan energiaan ja verojen kasvatus fossiilisille polttoaineille. Hallitus on myös esittänyt, että kivihiilen käyttö kielletään Suomessa vuonna 2029. Kivihiili on eniten hiilidioksidipäästöjä tuottavista energianlähteistä. (Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. 2019.)

Lisäksi on kaavailtu, että uusien dieselautojen myynti kielletään tulevaisuudessa. Autoilun hillitsemiseksi ja ympäristön suojeluksi polttoaineiden kasvanut verotus on nostanut polttoaineiden hintaa viime vuosina paljon. Vaikka hintojen nousu ja verotuksen kohdistaminen ympäristölle haitallisiin tuotteisiin ja palveluihin saa usein ärtyneen vastaanoton kansalaisilta, äänestävät ihmiset silti aina lompakoillaan. (Pitko 2019.)

5 RAKENNUSTEN HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINTITYÖKALU

Rakennuksen hiilijalanjäljen laskemisessa on otettava huomioon se, että yleisesti monet materiaalivalinnat tarkentuvat vasta suunnittelun loppuvaiheessa kilpailutuksen jälkeen. Hiilijalanjäljen laskemiseen ja arviointiin on tarjolla useita erilaisia laskureita, joiden tarkkuus, laajuus ja sovellettavuus riippuvat palveluntarjoajan ja käyttökohteen muodosta ja tarkoituksesta. Työ aloitettiin tutustumalla erilaisiin tarjolla oleviin hiilijalanjälkilaskureihin ja arvioimalla niiden käyttökelpoisuutta tähän kyseiseen tutkimukseen. (Kuittinen 2019.)

Ympäristöministeriö julkaisi syyskuussa 2019 Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän testiversiön, jonka tarkoituksena on auttaa arvioimaan suunnitteluvaiheessa uudisrakentamisen tai laajamittaisen korjausrakentamisen hiilijalanjälkeä ja hiilikädenjälkeä. Menetelmä pohjautuu Euroopan komission Level(s) menetelmään ja EN-standardeihin. (Kuittinen 2019.)

Ympäristöministeriön mukaan rakennuksen vähähiilisyyden arviointi on tulossa osaksi Suomen rakennusmääräyskokoelmaa 2020-luvun aikana. Heidän tavoitteenaan on luoda kansallisessa mittakaavassa yhdenmukainen arviointimenetelmä, jotta tiedot olisivat tulevaisuudessa vertailukelpoisia. Elokuussa julkaistu Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointityökalu on ensimmäinen versio kohti tätä tavoitetta. (Kuittinen 2019.)

Julkaisu sisältää rakennuksen hiilijalanjäljen arviointityökalun sekä ohjeistuksen sen käyttöön. Hiilijalanjäljen arviointityökalu on vielä luonnosvaiheessa ja testikäytössä. Arviointi tehdään työkaluun valmiiksi syötetyillä taulukkoarvoilla, jotka perustuvat VTT kokoamiin ja arvioimiin päästöarvoihin, jotka voidaan halutesaan korvata tarkemmilla hankekohtaisilla päästöarvoilla. Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointi on suunniteltu tehtäväksi yhdessä energiatehokkuuden laskennan kanssa, jolloin rakennuksen käytönaikaista hiilijalanjälkeä voidaan arvioida paremmin. (Kuittinen 2019.)

Arvioinnin tekemisen edellytyksenä on rakennuskohteen materiaalilistan hankkiminen. Arviointityökalu vaatii materiaalimäärät pääasiallisesti massayksiköinä eli

kilogrammoina, pois lukien ovet ja ikkunat, jotka ilmoitetaan pinta-alayksikkönä. (Kuittinen 2019.)

Laskennassa voidaan käyttää tietomallista saatavia määrälaskennan arvoja tai vaihtoehtoisesti muilla laskentamenetelmillä saatavia määrälaskennan arvoja. Ensimmäinen vaihtoehto vaatii oikeellista ja huolellisesti tehtyä tietomallia, kun taas jälkimmäinen vaihtoehto vaatii ennakkotietoja käytetyistä materiaaleista ja asiantuntevaa määrälaskentaa, mutta toimii hyvin hiilijalanjäljen arviointiin luonnosvaiheessa. (Kuittinen 2019.)

Kun vähähiilisuuden arviointimenetelmällä lasketaan rakennuksen tuottamaa hiilijalanjälkeä, sillä arvioidaan samaan aikaan myös tiettyjen hiiltä sitovien materiaalien hiilikädenjälkeä. Hiilikädenjälki näkyy negatiivisena kertoimena materiaalin tuottaman hiilijalanjäljen rinnalla. Hiilikädenjälkeä ei kuitenkaan vähennetä hiilijalanjäljestä, sillä ne kuvaavat erilaisia ja eri aikaan tapahtuvia arvoja. (Kuittinen 2019.)

Rakennuksen hiilikädenjäljeksi lasketaan vain sellainen positiivinen ilmastohyöty, jota ei syntyisi ilman kyseistä rakennushankkeen elinkaarta. Ideaalitulanteessa rakennus sitoo hiiltä vähintään yhtä paljon kuin sitä valmistettaessa ja käytettäessä vapautuu. (Kuittinen 2019.)

5.1 Vähähiilisuuden arvioinnin vaiheet

Rakennuksen vähähiilisuuden arviointi jakaantuu neljään pääkategoriaan: materiaalien, kuljetusten, työmaan ja energian hiilijalanjäljen laskentaan. Ympäristöministeriön vähähiilisuuden arviointimenetelmässä nämä on jaoteltu moduuleihin seuraavasti: tuotevaihe (A1-3), rakentaminen (A4-5), käyttövaihe (B) ja elinkaarren loppu (C+D). (Kuittinen 2019.)

Elinkaariarviointiin kuuluvat vaiheet ovat arvioinnin rajaus sekä tietojen kerääminen, laskeminen, tarkistaminen ja raportointi. Arvioinnin rajauksella määritetään, mitä halutaan tietää ja mikä on merkittävää rakennuskohteen kannalta. Tarvittaessa jokin laskuvaihe tai osio voidaan jättää pois. (Kuittinen 2019.)

Tietojen keräämisvaiheessa hankitaan rakennuskohteen määräluettelo, jonka perusteella laaditaan luettelo materiaaleista. Jokainen rakennusmateriaali eritellään ja niistä selvitetään tarvittavat laajuustiedot massan tai pinta-alan yksikkönä. Materiaalien osalta arvioidaan myös rakennuksen elinkaaren aikana vaihtoa tai korjausta vaativien materiaalien määrä ja vaihtoväli sekä se, mitkä materiaalit päätyvät uudelleenkäyttöön, kierrätykseen tai loppusijoitukseen rakennuksen elinkaaren lopussa. Saadut tiedot kirjataan arviointityökaluun. (Kuittinen 2019.)

Tietojen keräämisen vaiheeseen kuuluvat myös rakennuksen elinkaaren aikaisien materiaalien ja korjauksiin liittyvien kuljetuksien määrän ja pituuksien arviointi ja niiden hiilijalanjäljen laskeminen. Lisäksi arvioidaan työmaan aikainen energiankulutus sekä rakennuksen käytön aikainen arvio energiakulutuksesta ja energiatehokkuudesta. Energian hiilijalanjälkeä laskiessa käytetään hyödyksi energiatehokkuuslaskelmia ja hiilijalanjälkeä arvioidaan kertomalla laskennallisen osatoenergian kulutusta eri energiamuotojen päästökertoimilla. (Kuittinen 2019.)

5.2 Tyypipientalon vähähiilisuuden arviointi

Tässä kyseisessä tutkimuksessa tyypipientalon hiilijalanjäljestä laskettiin vain sen päärakennusmateriaalien osuus. Tutkimus tehtiin Rakennuksen vähähiilisuuden arviointityökalun materiaaliluettelon avulla. Arviointityökalun muita moduuliosiota eli valmistus, kuljetus, työmaa (A), käyttö (B) ja elinkaaren loppu (C+D) ei tässä kyseisessä tutkimuksessa testattu ja arvioitu.

Tyypipientalon suunnittelun jälkeen selvitettiin rakenteiden laajuustiedot ja listattiin rakenteissa käytetyt materiaalit. Rakenteista selvitettiin tarvittavat taustatiedot, kuten materiaalien tiheydet, ja luotiin luvussa 6.2 Rakenteet nähtävät taulukot. Laskentataulukoiden tarkistuksen jälkeen materiaalit listattiin arviointityökalun materiaaliluetteloon sopiviin alaluokkiin. Materiaalien päästötietoina ja vaihtoväleinä käytettiin arviointityökaluun valmiiksi syötettyjä arvoja. Luetteloinnin jälkeen arviointityökalun laskentataulukosta saadut tiedot analysoitiin ja muokattiin helposti esitettävään muotoon raportointia varten.

6 TYYPPIMALLI PIENTALO

Tyyppientalon hiilijalanjäljen tutkiminen aloitettiin suunnittelemalla nykymääräysten mukainen pientalo (liite 1), johon sovellettiin hiilijalanjäljen arviointimenetelmiä konkreettisten esimerkkien saamiseksi.

Pientalossa on kolme makuuhuonetta, tulisijallinen avoin tupakeittiö, josta on yhteys avoimelle parvelle. Lisäksi pientalossa on WC, kodinhoitohuone, pesuhuone sekä sauna ja tekninen tila. Pientalossa on kaksi WC-tilaa, joista toinen sijaitsee pesutilojen yhteydessä. Suurimman makuuhuoneen yhteydessä sijaitsee vaatehuone.

Pientalon kokonaisala on 266,0 m², nettoala 192,8 m² ja huoneala 134,0 m². Se suunniteltiin sijoitettavaksi asemakaavoitetulle alueelle, jotta se olisi yhteydessä kunnallisiin järjestelmiin. Pientalon yhteyteen suunniteltiin myös mahdollisuuksien mukaan lisättävä autokatos (18,7 m²) ja pieni lämmittämätön varastotila (7,8 m²). Varasto ja katos jätettiin kuitenkin pois hiilijalanjäljen laskennasta, sillä se ei ole välttämätön tyyppientalon toimivuuden kannalta ja kevyenä ja lämmittämättömänä rakennuksena sen mahdollinen vaikutus lopulliseen tulokseen voidaan olettaa olevan pieni.

6.1 Rakenteet

Pientalo suunniteltiin alapohjaa ja perustuksia lukuun ottamatta puurakenteiseksi. Suunnittelun alussa todettiin, että puurakenteet kuvaisivat hyvin vähähiilistä rakentamista ja niiden hiilikädenjälkeä lopullisissa tuloksissa. Laskennassa ja projektissa keskityttiin yksinomaan päärakenteiden kasvihuonekaasukuorman arviointiin.

Rakenteina käytettiin RT-kortistoista löytyviä rakenteita. Rakenteiden eristeiksi valittiin sellaiset materiaalit, jotka vastasivat ympäristöministeriön julkaiseman rakennuksen hiilijalanjäljen arviointityökalun oletusvalikoimaa. Näin helpotettiin laskentaprosessia niin, että laskenta ei vaatinut ympäristövaikutusten arvojen etsintää, laskentaa ja tulosten perustelua erikseen.

Hiilijalanjäljen laskentaa yksinkertaistettiin jättämällä rakenteista pois portaat, hormi sekä takka. Lisäksi arviointimenetelmän ohjeen mukaisesti laskennasta jätettiin pois pintamateriaalit ja pintakäsittelyt, kuten seinä- ja lattialaatoitukset sekä sisäverhoilut ja tasoitteet. Pintamateriaalien osuus rakennuksen kokonaishiilijalanjälkeen on suhteellisen pieni, joten niitä ei otettu huomioon laskennassa.

Tuotteesta riippuen pintamateriaalivalikoimassa on huomattavia eroja päästöjen suuruudessa. Pintamateriaalien huomioiminen monimutkaistaisi laskentaa, joka on tarkoitettu vain suuntaa-antavaksi malliksi.

Hiilijalanjäljen arviointiin tarvitaan tiedot rakennusmateriaalien määrästä massayksikkönä. Materiaalikohtaisessa määrälaskennassa materiaalin lopulliseen massaan on lisätty ohjeellinen prosenttiosuus työmaalla tapahtuvaa materiaalihukkaa. (Vares 2004.)

Laskentatyökaluun syötettävä massan arvo ilmoitetaan tasalukuna, sillä havaittiin, että hiilijalanjäljen arviointityökalu pyöristää luvun automaattisesti. Ennen rakennusmateriaalien rakennekohtaisen massan laskemista selvitettiin tyyppiennaltalon rakenneosien pinta-alat ja määrät, jotka esitetään taulukossa 1.

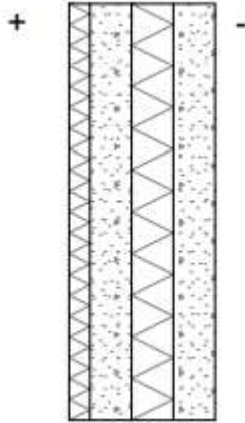
TAULUKKO 1. Rakenteiden määräluettelo

Rakenne	Tyyppi	m ²
Sokkeli	Sok1	46,47*
Alapohja	AP1	121,45
Ulkoseinä	US1	152,53
Yläpohja	YP1	137,10
Kantava väliseinä	VS1	73,00
Kevyt väliseinä	VS2	46,80
Välipohja	VP1	50,00
Alakatto	VP2	23,75
Ulko-ovet	UO	8,40
Sisäovet	SO	15,75
Ikkunat	I	27,10

*sokkelin pituus jm

6.1.1 Perustukset

Kuvassa 8 esitetään tyyppipientalon perusmuurin rakenne Sok1. Tyyppipientalon perustustavaksi valittiin teräsbetoninen perusmuuri ja antura. Lämmöneristeenä ja routaeristeenä käytettiin EPS-eristettä.



KUVA 8. Tyyppipientalon sokkelin rakenne – teräsbetoninen perusmuuri

Rakenteen muodostamisessa sovellettiin RT-kortiston ohjekortissa RT 81-10854 listattua pientalon perustuksen ja alapohjan liittymää 6, jossa esitetään betoniperusmuurin ja maanvaraisen betonilaatta-alapohjan liittymä kantavalla maapohjalla ja anturaperustuksella. Näin ollen oletetaan, että tyyppipientalo sijaitsee kantavalla maapohjalla. Taulukossa 2 esitetään sokkeli- ja anturarakenteen materiaalmäärät hiilijalanjäljen arviointia varten.

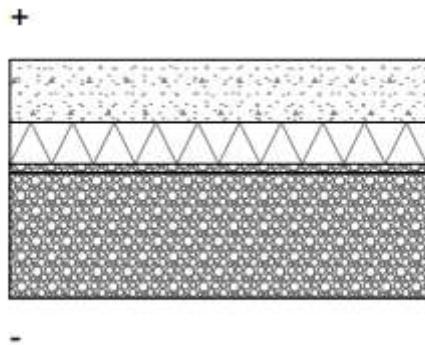
TAULUKKO 2. Sokkelirakenteen materiaalmäärät

Materiaalit	Paksuus m	Korkeus m	Tilavuus m ³	Tiheys kg/m ³	Massa kg	Hukka %	Massa + hukka kg
Sok1 Perusmuuri ja antura							
Teräsbetoni	0,200	1,00	9,18	2 500	22 945,00	10	25 240
Betoniteräokset				2*	91,78	18	108
Lämmöneriste EPS	0,050	0,75	1,72	15	25,81	5	27
Routaeriste EPS	0,100	1,00	4,59	20	91,78	5	96
Teräsbetoni antura	0,450	0,20	4,13	2 500	10 325,25	10	11 358
Antura teräokset				2*	110,14	18	130
Bitumihiuopakaista		0,20	9,18**	13,3	610,34		

*tiheys kg/jm (Vares 2001.), **määrä m²

6.1.2 Alapohja

Kuvassa 9 esitetään tyypipientalon alapohjarakenne AP1. Alapohjarakenteeksi valittiin maanvarainen betonilaatta alapuolisella EPS-lämmöneristeellä. Rakenteena käytettiin RT-kortiston ohjekortissa RT 83-11009 listattua rakennetta RT AP 415.



KUVA 9. Tyypipientalon alapohjarakenne – maanvarainen betonilaatta

Taulukossa 3 esitetään alapohjarakenteen materiaalmäärät hiilijalanjäljen arviointia varten.

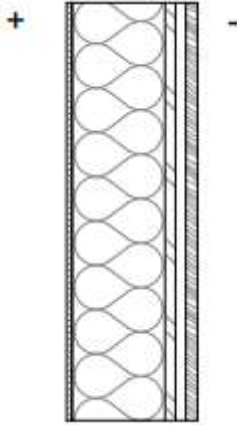
TAULUKKO 3. Alapohjarakenteen materiaalmäärät

Materiaalit	Paksuus m	Tilavuus kg/m ³	Tiheys kg/m ³	Massa kg	Hukka %	Massa + hukka kg
AP1 Maanvarainen betonilaatta EPS-eristeellä						
Tasoite	0,01	1,19	1 600	1 900,00	4	1 976
Teräsbetonilaatta	0,15	17,81	2 500	44 531,25	3	45 867
Rauditus			2,1*	249,38	3	257
Eriste EPS	0,1	11,88	15	178,13	2	182
Tasaushiekka	0,02	2,38	1 500	3 562,50	10	3 919
Suodatinkangas	0,0005	0,06	180	10,69	10	12
Salaojitussora	0,3	35,63	1 450	51 656,25	10	56 822

*tiheys kg/m² (Vares 2001.)

6.1.3 Ulkoseinät

Kuvassa 10 esitetään tyyppipiientalon ulkoseinärakenne US1, jossa on kantava puurunko ja puu-ulkoverhous. Ulkoseinät on eristetty puhallusvillalla. Rakenteena käytettiin RT-kortiston ohjekortissa RT 82-11006 listattua rakennetta RT US 701.



KUVA 10. Tyyppipiientalon kantava puurunkoinen ulkoseinärakenne

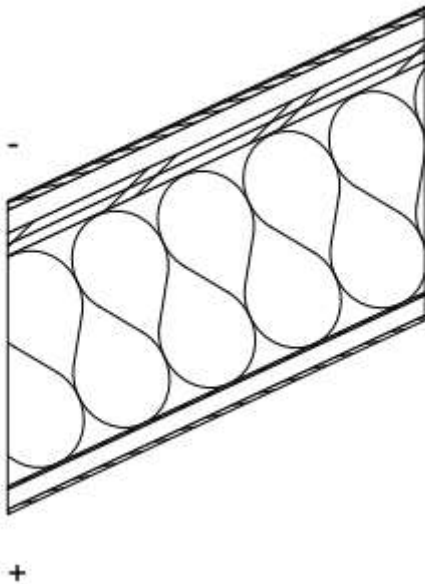
Taulukossa 4 esitetään alapohjarakenteen materiaalmäärät hiilijalanjalan arviointia varten.

TAULUKKO 4. Ulkoseinärakenteen materiaalmäärät

Materiaali	Paksuus m	Tilavuus m ³	Tiheys kg/m ³	Massa kg	Hukka %	Massa + hukka kg
Ulkoseinä, puurunko, puu-ulkoverhous						
Ulkoverhous, puu	0,028	4,27	460	1 964,59	5	2 063
Koolaus ja tuuletusväli	0,025	0,64	460	292,23	5	307
Tuulensuoja mineraalivilla	0,025	3,81	65	247,86	5	260
Lämmöneriste puhallusvilla	0,223	30,61	15	459,19	5	482
Kantava puurunko k600	0,223	3,40	460	1 564,65	5	1 643
Höyrynsulku kalvo	0,0002	0,03	915	27,91	10	31
Kipsilevy	0,013	1,98	700	1 388,02	5	1 457

6.1.4 Yläpohja

Kuvassa 11 esitetään tyyppipientalossa käytetty vino puupalkistoinen yläpohjarakenne YP1. Vesikattomateriaalina yläpohjassa on käytetty konesaumattua peltikattea, jonka alle asennetaan 5 mm:n vaimennuskaista. Yläpohja lämpöeristetään puhallusvillalla. Kattokannattajien alapuolelle tulevalla koolauksella mahdollistetaan automaattisen sprinklausjärjestelmän asennus yläpohjaan. Rakenteena käytettiin RT-kortiston ohjekortissa RT 83-11010 listattua rakennetta RT YP 706.



KUVA 11. Tyyppipientalon vino yläpohjarakenne – puupalkisto ja konesaumattu peltikate

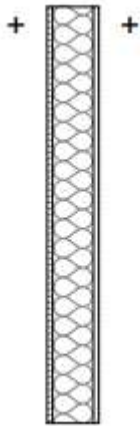
Taulukossa 5 esitetään yläpohjarakenteen materiaalmäärät hiilijalanjäljen arviointia varten. Hiilijalanjäljen arvioinnissa ei oteta huomioon sprinklerijärjestelmän kasvihuonekaasupäästöjä muiden talotekniikkajärjestelmien tapaan.

TAULUKKO 5. Yläpohjarakenteen materiaalmäärät

Materiaalit	Paksuus m	Tilavuus m ³	Tiheys kg/m ³	Massa kg	Hukka %	Massa + Hukka kg
YP1, vino puupalkkisto, konesaumattu peltikate, puhallusvilla						
Pelti	0,0006	0,11	7 850	830,84	4	864
Havuvaneri	0,015	2,65	460	1 217,16	5	1 278
Tuulensuoja puukuitu	0,05	6,44	65	418,84	4	436
Kattokannattajat k900	0,55	4,52	460	2 081,18		2 081
Lämmöneriste puhallusvilla	0,5	64,44	15	966,56	5	1 015
Höyrynsulku kalvo	0,0002	0,03	915	25,09	10	28
Rakennuslevy	0,006	0,82	260	213,88	5	225
Koolaus	0,044	1,51	460	693,73	5	728
Sisäverhouk						

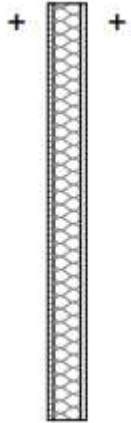
6.1.5 Väliseinät

Kuvassa 12 esitetään tyypipiientalon suunnittelussa käytetty kantava puurunkoinen väliseinä rakenne VS1. Rakenteena käytettiin RT-kortiston ohjekortissa RT 82-10903 listattua rakennetta RT VS 703.



KUVA 12. Tyypipiientalon kantava väliseinärakenne VS1 – kantava puurunko

Kuvassa 13 esitetään tyypipiientalon suunnittelussa käytetty kevyt puurunkoinen väliseinä rakenne VS2. Rakenteena käytettiin RT-kortiston ohjekortissa RT 82-10903 listattua rakennetta RT VS 701.



KUVA 13. Tyypipiientalon kevyt väliseinärakenne VS2 - puurunko

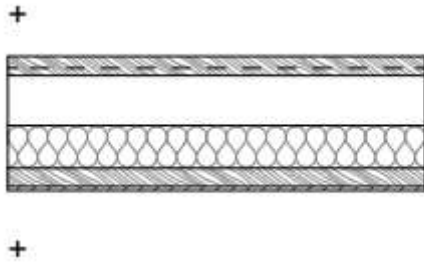
Taulukossa 6 esitetään väliseinärakenteiden materiaalmäärät hiilijalanjäljen arviointia varten. Väliseinärakenteet eristetään puhallusvillalla.

TAULUKKO 6. Väliseinärakenteiden materiaalmäärät

Materiaalit	Paksuus m	Tilavuus kg/m ³	Tiheys kg/m ³	Massa kg	Hukka %	Massa + hukka kg
VS1 Kantava puurunkoseinä						
Kipsilevy	0,013	0,95	700	664,30	5	698
Puhallusvilla	0,098	6,44	15	96,58	5	101
Puurunko	0,098	0,72	460	329,08	5	346
Kipsilevy	0,013	0,95	700	664,30	5	698
VS2 Kevyt puurunkoseinä						
Kipsilevy	0,013	0,61	700	425,88	5	447
Puhallusvilla	0,066	2,78	15	41,70	5	44
Puurunko	0,066	0,31	460	142,08	5	149
Kipsilevy	0,013	0,61	700	425,88	5	447

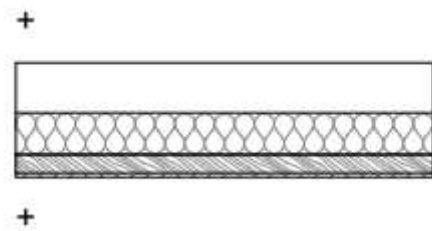
6.1.6 Välipohjat

Kuvassa 14 esitetään tyypipiientalon suunnittelussa käytetty puupalkistorakenteinen välipohjarakenne VP1. Välipohjan äänieristeenä käytettiin puhallusvillaa. Rakenteena käytettiin RT-kortiston ohjekortissa RT 82-10903 listattua rakennetta RT VP 701.



KUVA 14. Tyypipientalon välipohjarakenne VP1 – kantava puupalkisto

Kuvassa 15 esitetään tyypipientalon välipohjarakenne VP2, joka toimii alakattona tyypipientalon sauna ja pesutiloissa sekä eteisessä ja kodinhoitohuoneessa. Alakatto mahdollistaa ilmanvaihtokanavien viennin pesutiloihin ja keittiöön ja lisälämmöneristyksen saunassa. Välipohjarakenne VP1:n tavoin rakenteen VP2 muodostamisessa sovellettiin RT-kortiston ohjekortissa RT 82-10903 listattua rakennetta RT VP 701.



KUVA 15. Tyypipientalon välipohjarakenne VP2 – puupalkisto

Taulukossa 7 esitetään välipohjarakenteiden materiaalmäärät hiilijalanjäljen arviointia varten.

TAULUKKO 7. Välipohjarakenteiden materiaalmäärät

Materiaalit	Paksuus m	Tilavuus kg/m ³	Tiheys kg/m ³	Massa kg	Hukka %	Massa + hukka kg
-------------	--------------	-------------------------------	-----------------------------	-------------	------------	------------------------

VP1, puupalkistoinen välipohja

Vaneri	0,018	0,90	460	413,01	6	438
Lattiakannattimet, palkisto	0,22	1,10	460	504,79		505
Puhallusvilla	0,1	4,49	15	67,34	5	71
Ilmansulkupaperi	0,0003	0,01	537	8,03	8	9
Ristiinlaudoitus k400	0,044	0,55	460	252,39	5	265

VP2, alakatto

Lattiakannattimet, palkisto	0,22	0,52	460	240,35		240
Puhallusvilla	0,1	2,14	15	32,06	5	34
Höyrynsulku kalvo	0,0002	0,005	915	4,35	10	5
Ristiinlaudoitus k400	0,044	0,26	460	120,18	5	126

6.2 Tulokset

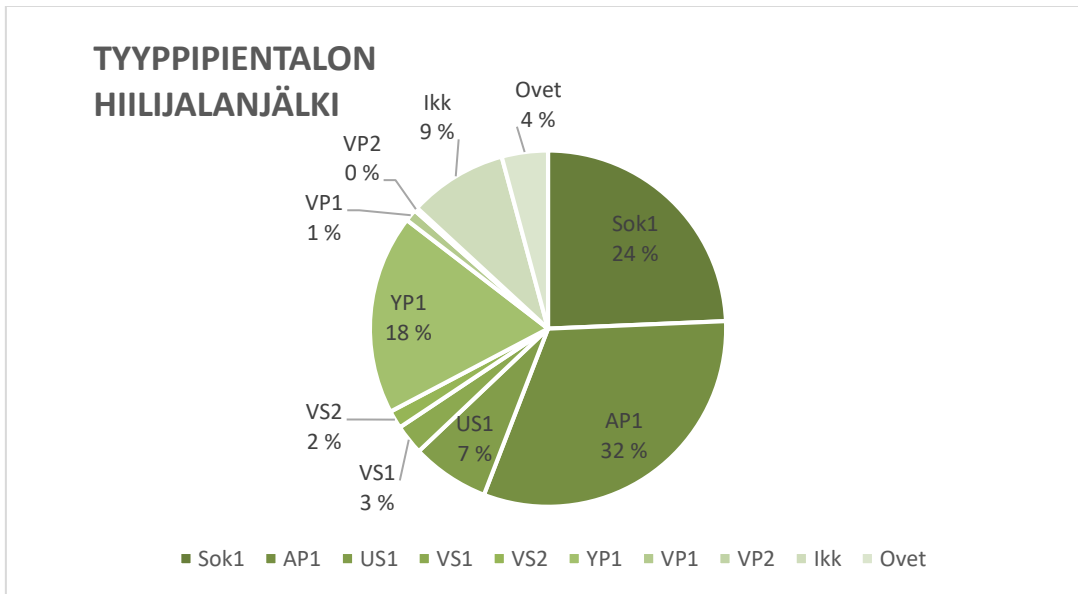
Rakennekohtaisten materiaalmäärien laskemisen jälkeen määrälaskennassa saadut arvot syötettiin Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän Excel-työkalun materiaaliluetteloon (liite 2).

Materiaaliluettelo on jaoteltu tonttiin, kantaviin rakenteisiin, vaippaan, kevyihin rakenteisiin ja talotekniikkaan. Materiaalitaulukon talotekniikan osio jätettiin täyttämättä riittävien tietojen ja osaamisen puuttuessa.

Työkalusta saadut tulokset perustuvat valmiiksi taulukoituihin VTT:n eri lähteistä kokoamiin materiaalien päästötietoihin. Päästötietoihin on listattu materiaalien hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki, joiden yksikkönä on kgCO_{2e}/kg sekä materiaalin vaihtoväli vuosina rakennuksen elinkaaren aikana.

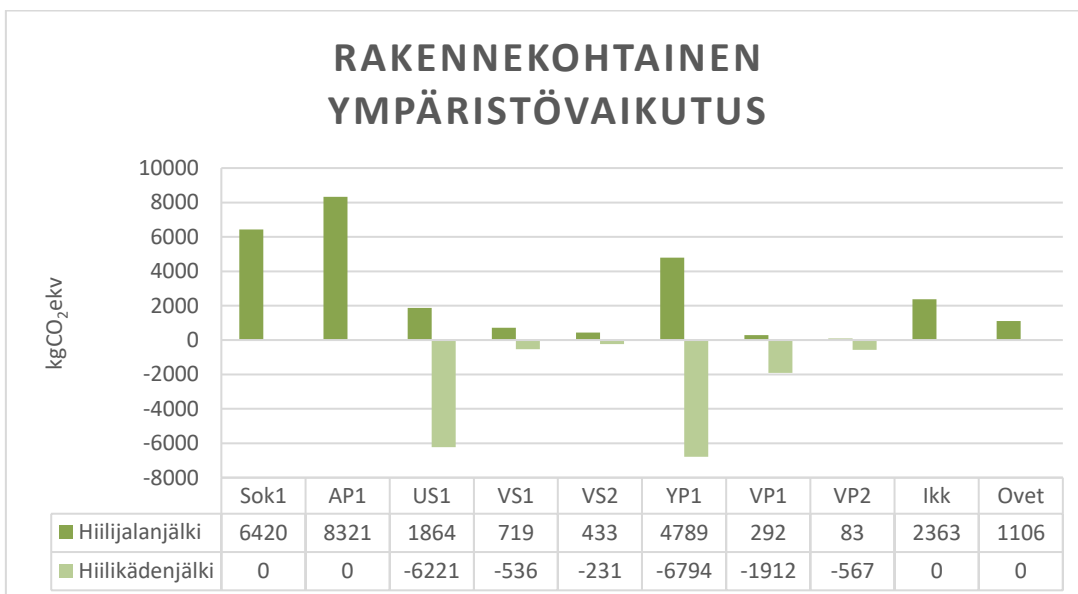
Tuloksista havaittiin, että suurimman osan tyyppi- ja materiaalien hiilijalanjäljestä muodostavat betonirakenteiset alapohja ja perustus (taulukko 8 ja 9). Kolmanneksi suurimmaksi hiilidioksidipäästöjen lähteeksi havaittiin yläpohja. Välipohjarakenteiden havaittiin tuottavan listatuista rakenteista kaikkein vähiten hiilidioksidipäästöjä.

TAULUKKO 8. Tyypipientalon hiilijalanjäljen jakaantuminen rakenneosittain



Tutkimuksen tuloksista havaittiin, että suurimmat hiilikädenjäljet muodostuvat ulkoseinistä ja yläpohjasta. Havaittiin myös, että betonirakenteiset alapohja ja perustus sekä ikkunat ja ovet eivät tuota lainkaan hiilikädenjälkeä (taulukko 9).

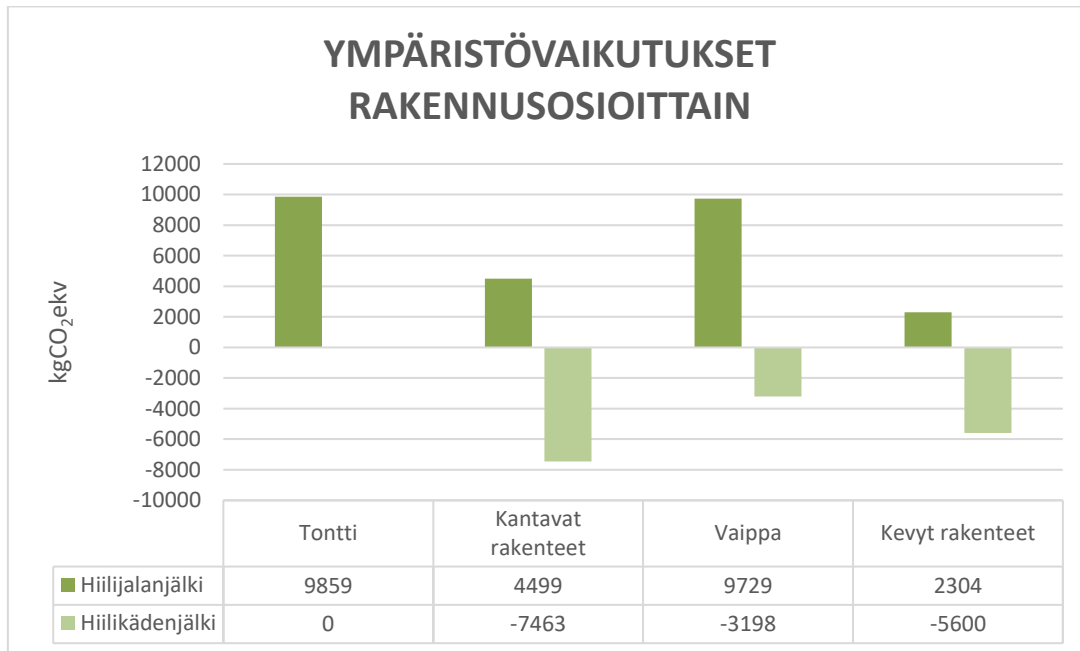
TAULUKKO 9. Rakennekohtainen hiilijalanjälki ja -kädenjälki



Tutkimuksen tuloksista myös havaittiin, että tyypipientalon tontin sekä vaipan rakennusmateriaalit tuottavat suurimman hiilijalanjäljen (taulukko 10). Suurimmat

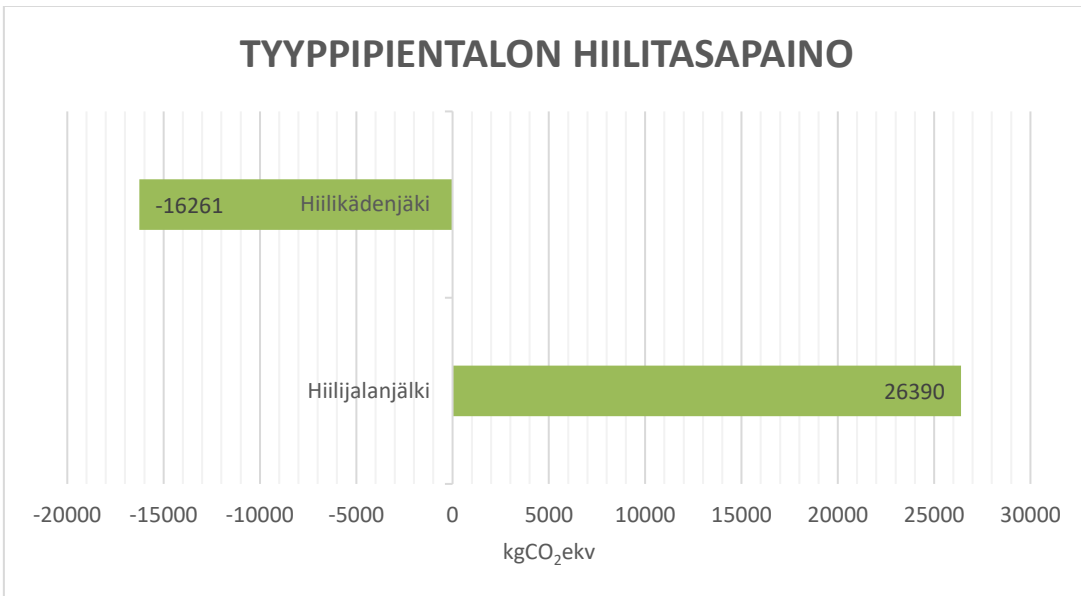
hiilikädenjäljet olivat pääosin runkorakenteita sisältäneillä kantavilla ja kevyillä rakenteilla.

TAULUKKO 10. Ympäristövaikutukset rakennusosioittain



Tutkimus osoitti, että pääasiassa puurakenteisen tyyppi-pientalon rakenteiden hiilijalanjälki ei ole aivan tasapainossa hiilikädenjälkensä kanssa (taulukko 11). Pientaloa ei voida luokitella hiilineutraaliksi taloksi, sillä hiilitasapaino jää ympäristöä kuorittavaksi. Hiilikädenjälki havaittiin lähes 40 % hiilijalanjälkeä pienemmäksi, joka vastaa noin 10 tonnia kgCO₂ekv:n erotusta.

TAULUKKO 11. Tyyppiipientalon kokonaishiilitasapaino



6.3 Johtopäätökset

Tutkimuksen tulokset osoittautuivat pääosin odotetunlaisiksi. Betonirakenteiden, eristeiden ja konesaumatus peltivesikaton havaittiin tuottavan suurimmat osuudet kokonaishiilijalanjäljestä. Kyseisten materiaalien osattiin olettaa nousevan suuren hiilidioksidiekvivalenttinsa ja tiheydensä takia merkittävimpiin hiilidioksidipäästöjen lähteiksi. Pienimmän hiilijalanjäljen ja suurimman hiilikäden muodostivat oletettavasti runkorakenteet, jotka koostuvat pääasiassa puusta.

Yllättävinä tuloksina pidettiin ikkunoiden ja ovien verrattain suurta hiilijalanjälkeä, joista ikkunoiden hiilijalanjälki oli huomattavasti muun muassa ulkoseinien hiilijalanjälkeä suurempi. Ikkunoiden ja ovien suuren hiilijalanjälkeen voidaan olettaa vaikuttaneen suuret lasipinnat, metalliosat ja mekaniikan asennus. Ikkunoiden ja ovien valmistuksen uskotaan myös vaativan huomattavasti muita rakennusosia monimutkaisemman valmistusprosessin.

Saatujen tuloksien koettiin olevan riittävän tarkat suuntaa-antavassa arvioinnissa ja tutkimus koettiin onnistuneeksi. Positiivisena yllätyksenä nähtiin myös se, miten suuri hiilikädenjälki valituilla puurakenteilla oli. Voidaan olettaa, että esimerkiksi vaihtamalla tyyppiipientalon alapohjarakenne maanvaraisesta betonilaatasta

puurakenteiseksi tuulettuvaksi alapohjaksi päästäisiin paljon nykyistä lähemmäs hiilineutraalia rakennusta.

Ennen tutkimuksen aloittamista hiilijalanjäljen laskennan oletettiin olevan paljon yksinkertaisempi, suoraviivaisempi ja helpompi prosessi. Tutkimusta tehtäessä kuitenkin havaittiin, että hiilijalanjäljen arviointiin tarvittava määrälaskenta olisi vaatinut huomattavasti paremmat ja laajemmat ennakkotiedot laskennan sujuvoittamiseksi.

Tyyppiientalon rakennusmateriaalien määrälaskennan koettiin olevan vaikeaa, sillä lopullisten arvojen saaminen todellisuutta vastaaviksi vaati monta yrityskerrataa. Vaikeuttavaksi tekijäksi todettiin aiemman kokemuksen puuttuminen määrälaskennassa ja hiilijalanjäljen arvioinnissa.

Ensimmäisellä yrityskerralla määrälaskentaa koetettiin suorittaa tyyppiientalon ArchiCad-projektiin tehdyn määrälaskentakaavion avulla. Kaavio havaittiin kuitenkin niin sekavaksi ja monimutkaiseksi esittää raportissa, että arvion raportoinnin johdonmukaisuuden, luotettavuuden ja uudelleen sovellettavuuden kannalta materiaalimäärät laskettiin aiemmin selvitettyjen rakenteiden laajuuslaskelmien avulla.

Hiilijalanjäljen arvioinnissa kohdattiin monia haasteita ja ongelmia. Arvioinnin tekemisessä vaikeimmaksi koettiin kantavien rakenteiden puurunkojen tilavuuden arviointi sekä oikeanlaisten rakennusmateriaalien tiheyksien löytäminen, jotka selvitettiin vertailemalla jälleenmyyjien ja valmistajien markkinoimia tuotteita. Osa materiaalien tiheyksistä saatiin Sirje Variksen tekemästä ”Kerrostalon ympäristövaikutukset – LVIS-2001-tyyppikerrostalo” julkaisusta (Vares 2001). Havaittiin, että määrälaskentaan tarvitaan paljon ennako- ja taustatietoa sekä läpikotaista ymmärrystä rakenteista ja rakennusmateriaaleista.

Arviointityökalussa materiaalit oli luokiteltava tehtävänsä mukaan tiettyihin osioihin ja valmiiksi syötetty materiaaliluettelo oli rajallinen. Excel-työkalun tutkimiseen ja mekanismien ja valintojen testaamiseen käytettiin paljon aikaa.

Työkalun kokonaisuus koettiin haastavaksi hahmottaa sekä laskettavia materiaalimäärien taulukointi hieman sekavaksi käyttäen työtä aloitettaessa ja laskelmia

tehtäessä. Ajoittain materiaalien valintapainikkeet ja arvot tuntuivat jumiutuvan, tai ne eivät toimineet välttämättä lainkaan. Työkalu todettiin kuitenkin riittävässä määrin toimivaksi ja tämän tutkimuksen kannalta riittävän laajaksi.

Kun tutkimuksen laskelmat saatiin valmiiksi ja materiaalmäärät syötettyä Excel-työkaluun, taulukon hahmottaminen oli selkeämpää. Vaikka tulokset ovat taulukossa selkeästi esillä allekkain taulukon oikeassa reunassa, laskelmien valmistuessa toivottaisiin paremmin havainnollistavaa ja automaattisesti tuloksista syntyvää grafiikkaa ja tulospainotteita.

Vaikka luonnosversioinen Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä ja siihen liittyvä Excel-työkalu koettiin pääosin ja riittävässä määrin toimivaksi, on siinä myös paljon kehitettävää. Yksi kehityksen kohteista voisi olla yksityiskohtaisempi ja kokonaisvaltaisempi lisäohjeistus esimerkiksi rakennuksen määrälaskentaan sekä luettelo ohjeellisista rakennusmateriaalien tiheyksistä ja muista vastaavista arvoista. Ohjeistukseen voisi myös liittää malliesimerkin hiilijalanjäljen arviointityökalun käytöstä ja siihen vaadittavista taustatiedoista.

Tarkempi ohjeistus varmistaisi paremmin, että eri tekijöiden tekemät hiilijalanjäljen arvioinnit olisivat vertailukelpoisia keskenään. Hyvällä ohjeistuksella oletetaan olevan iso vaikutus myös siihen, miten arviointityökalu otetaan vastaan ja kuinka suosittu siitä tulee. Helppokäyttöinen työkalu voisi kannustaa yrityksiä ja rakentajia ottamaan sen käyttöön osaksi suunnittelua jo hyvissä ajoin ennen hiilijalanjäljen arvioinnin muuttumista pakolliseksi.

Kun hiilijalanjäljen arviointi otetaan mukaan suunnitteluprosessiin, saadaan osviittaa siitä, millaisilla muutoksilla rakennuksen hiilijalanjälkeä saadaan pienennettyä. Suunnittelija voi vaikuttaa rakennuksen hiilijalanjälkeen suunnittelemalla mahdollisimman kestäviä, tehokkaita ja monikäyttöisiä tiloja, jolla vältetään käyttämästä ylimääräisiä materiaali- ja energiaresursseja ja luomasta turhia lämmitettäviä rakennuskuutioita. Suunnittelija voi myös vaikuttaa rakennuksen materiaalivalintoihin ehdottamalla mahdollisimman pienihiilijalanjälkisiä rakennusmateriaaleja ja suosia puuta rakenteissa. Lisäksi suunnittelija voi ehdottaa kierrätettyjen materiaalien käyttöä esimerkiksi pintamateriaaleissa ja kiintokalusteissa.

Hiilijalanjäljen arviointiin käytettiin aikaa yhteensä noin 90 tuntia. Arvion tekemisen suhteen on huomioitava, että aikaisempaa kokemusta hiilijalanjäljen laske-
misesta ei ollut. Tyypimallipientalon tekemiseen käytettiin aikaa yhteensä noin
80 tuntia.

7 POHDINTA

Päädyin tähän kyseiseen opinnäytetyön aiheeseen, sillä halusin kasvattaa sekä omaa että muiden tietoisuutta hiilineutraalista rakentamisesta sekä hiilijalanjäljen huomioinnista suunnittelussa. Lisäksi halusin osoittaa, millä keinoin jokainen suunnittelija voi vaikuttaa ilmaston lämpenemisen hidastamiseen ja mitkä ovat olennaisimpia osa-alueita siihen nähden.

Tutkimuksessa suunnittelin tyypipiientalo, jonka avulla testasin hiilijalanjäljen laskemista ja selvitin miten mitkäkin rakenteet kyseisen pientalon hiilijalanjälkeen vaikuttavat.

Rajasin tutkimuksen pääosin rakennuksen päärakenteiden materiaalien hiilijalanjäljen arviointiin ja ympäristöministeriön julkaiseman Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän testaukseen ja arviointiin niiltä osin. Rajauksen ulkopuolelle jäivät pintamateriaalit, suunnitellun pientalon energiatehokkuuden laskenta, tontin, työnmaan, talotekniikan ja purkamisen hiilijalanjäljen arviointi. Rajaus päätettiin opinnäytetyön laajuuden perusteella.

Tyypipiientalon energiatehokkuuden laskenta ja poisjätettyjen hiilijalanjäljen laskentaosoiden arviointi olisi vaatinut huomattavasti pidemmälle vietyä suunnittelua ja tarkempia tietoja materiaaleista sekä taloteknisistä mahdollisuuksista ja menetelmistä. Poisjätettyjen osioiden hiilijalanjäljen tutkiminen voisivat toimia hyvinä jatkotutkimusaiheina.

Pintamateriaalien arviointi ei sisälly ympäristöministeriön julkaisemaan arviointimenetelmään. Testikäyttöön tarkoitettulla hiilijalanjäljen arviointityökalulla ei myöskään ollut kovin laajoja ja yksityiskohtaisia valintamahdollisuuksia päärakennusmateriaalienkaan suhteen.

Mahdollinen pintamateriaalien sisällyttäminen hiilijalanjäljen laskentaan olisi vaikuttanut tutkimuksen laajuuteen huomattavasti vaihtoehtojen ollessa lähes loputtomat. Yleisesti pintamateriaalien valintaan vaikuttavat hyvin subjektiiviset miel-

tymykset. Sisustussuunnittelukokonaisuus ja pintamateriaalien hiilijalanjäljen arviointi voisi olla jo itsestään oma tutkimusaiheensa, minkä vuoksi niiden tutkiminen päätettiin jättää pois tästä opinnäytetyöstä.

Opinnäytetyön tutkimus osoittautui haastavaksi, vaikka lähdemateriaalia on nykyään runsaasti tarjolla. Suurimpia vaikeuksia aiheuttavaksi tekijäksi koettiin osaamisen ja tiettyihin tutkimuksen teemoihin liittyneen opetuksen puute rakennusarkkitehdin koulutusohjelmassa. Erityisesti haasteita tutkimuksessa tuotti materiaalien määrälaskenta.

Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointi tulee olemaan pakollinen osa suunnittelua tulevaisuudessa. Tulevien rakennusarkkitehtiopiskelijoiden ammattitaidon ja laajan osaamisen kehittämiseksi hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen arvioinnin sekä siihen liittyvän määrälaskennan ottaminen osaksi rakennusarkkitehdin koulutusohjelmaa olisi erittäin arvokas ja tulevaisuuteen tähtäävä päätös.

Rakentamisesta ja sitä sivuavasta toiminnasta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen merkitys ilmaston lämpenemisen hillitsemisessä tulee olemaan valtava. Jotta rakennusalan aiheuttamia päästöjä saataisiin hillittyä, on jokaisen rakennusalalla toimivan yrityksen pyrittävä samaan tavoitteeseen ja asetettava minimivaatimukset toiminnalle.

Ympäristöystävällisen rakentamisen, tuotteiden ja palveluiden kysynnän uskotaan kasvavan jatkuvasti kiihtyvällä tahdilla ympäristötietoisuuden ja ilmastonmuutosvalistuksen levitessä entisestään. Ympäristönsuojeluun kohdistuvan mielenkiinnon on havaittu kasvavan jokaisella alalla. Halutessaan suunnittelijat ja yritykset voisivat viedä osaamisensa ja yritystoimintansa sellaiselle tasolle, joka houkuttelee ekologisuudesta kiinnostuneita asiakkaita ja käyttää tätä myyntivaltinaan.

Uskon myös, että kuluttajien ja yritysten kasvava ympäristötietoisuus tulee vaikuttamaan puurakentamisen lisääntymiseen. Materiaalivalintojen pääpainon vaihtuessa ilmastonmuutoksesta kumpuavien syiden ja kannustimien voidaan olettaa muuttavan rakennusala, arkkitehtuuria ja sen tyyliä ekologisempaan ja paremmin äärimmäisiä sääolosuhteita kestäväan suuntaan.

LÄHTEET

Aarni, Milja 2019. Uusiutuva energia Suomessa. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa. Hakupäivä 8.11.2019.

Gro Harlem Brundtland. 2018. Wikipedia. Saatavissa: https://fi.wikipedia.org/wiki/Gro_Harlem_Brundtland. Hakupäivä 8.1.2019.

Energian hankinta ja kulutus. 2018. Suomen virallinen tilasto. Liitekuvio 13. Uusiutuvan energian osuus kokonaisenergiasta 2018. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehk/2018/04/ehk_2018_04_2019-03-28_kuv_013_fi.html. Hakupäivä 8.11.2019.

Hekkanen, Martti 2018. T518903 Korjausrakentamishankkeet 3 op. Opintojakson luennot syksyllä 2018. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Hiilidioksidiekvivalentti. 2015. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Hiilidioksidiekvivalentti>. Hakupäivä 15.10.2019.

Hiilijalanjälkitutkimus. 2018. NCC. RIA ry:n jäsenlehti vol. 51, nro 4. S. 48-49.

Hiilikädenjälki: Uusi ympäristömittari tuotteiden positiivisten ilmastovaikutusten arviointiin. 2018. VTT 11.12.2018. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/medialle/uutiset/hiilikadenjalki-uusi-ymparistomittari-tuotteiden-positiivisten-ilmastovaikutusten-arviointiin>. Hakupäivä 16.12.2018.

Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. 2019. Valtionneuvosto. Hallitusohjelma. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/rinteen-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>. Hakupäivä 26.10.2019.

Hyvä tietää puun käytön ympäristövaikutuksista. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/tee-se-itse/hyva-tietaa-puun-kayton-ymparistovaikutuksista>. Hakupäivä 27.10.2019.

Hänninen, Pekka 2016. Ekorakentajan opas. Rakentajan ekolaskuri. Rakennus-
tarkastusyhdistys RTY ry. Saatavissa: <http://www.rakentajanekolaskuri.fi/tausta-tietoa.php#top>. Hakupäivä: 16.12.2018.

Illikainen, Mirja 2019. Professori, Oulun yliopiston Kuitu- ja partikkelitekniiikan yksikkö. Rakentaminen ja ilmastonmuutos -seminaari 20.3.2019. Oulu: Voimala 1889.

Ilmastonmuutos: Kestääkö pohjoinen havumetsävyöhyke ilman kunnan talvea? 2018. Tiedeykkönen Extra. Yle Areena 5.10.2018. Podcast. Saatavissa: <https://areena.yle.fi/1-4551641>. Hakupäivä 22.10.2019.

Kekkonen, Tommi 2019.CO₂ncrete Solution -hanke tutkii hiilidioksidin sitoutumista betoniin. Betoni vol. 89, nro 3. S. 96-99.

Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki. 2018. Sitra. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/>. Hakupäivä 16.12.2018.

Kiertotalous. 2018. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Kiertotalous>. Hakupäivä 8.11.2019.

Koljonen, Tiina – Soimakallio, Sampo – Lehtilä Antti – Similä, Lassi – Honkatukia, Juha – Hildén, Mikael – Rehunen, Antti – Saikku, Laura – Salo, Marja – Savolahti, Mikko – Tuominen, Pekka – Vainio, Terttu. Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 24/2019. Valtioneuvoston kanslia, 28.2.2019. Saatavissa: <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161409/24-2019-Pitkanaikavälinkokonaispaastokehitys.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Hakupäivä 5.3.2019.

Kuittinen, Matti 2019. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Rakennuksen_vahahiilisyyden_arviointimenetelma. Hakupäivä 24.9.2019.

Metsien hiilinielut. 2018. Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa: <https://mmm.fi/metsat/metsatalous/metsat-ja-ilmastonmuutos/metsien-hiilinielut>. Hakupäivä 14.10.2019.

Nurmi, Väinö – Ollikainen, Markku 2019. Kohti hiilipörssiä? Suomessa esitetyt hiilipörssiin liittyvät aloitteet tutkimuskirjallisuuden ja kansainvälisten kokemusten valossa. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:17. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161719/YM_2019_17_Kohti_hiiliporssia.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Hakupäivä 8.11.2019.

Ohenoja, Katja – Illikainen, Mirja 2019. Ekologisten betoniteknologiainnovaatioiden kehittäminen arktisella alueella. Betoni vol. 89, nro 3. S. 92-95.

Oikarinen, Ari 2016. T518105 Rakennusmateriaalit ja materiaaliomaisuudet 5 op. Opintojakson luennot keväällä 2016. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Pelkonen, Jaana 2016. Hiilikädenjäljestä uuden kasvun kimmoke. Sitra. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/uutiset/hiilikadenjaljesta-uuden-kasvun-kimmoke/>. Hakupäivä 15.10.2019.

Pitko, Jenni 2019. Arkkitehti, kansanedustaja. Rakentaminen ja ilmastonmuutos -seminaari 20.3.2019. Oulu: Voimala 1889.

Rakennusmateriaalien hiilijalanjälki. 2014. Opas kaavoitukseen, rakennusvalvontaa ja kiinteistönhallintaan. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Rakennusmateriaalien%20hiilijalanjälki%20WEB.pdf>. Hakupäivä 27.10.2019.

Sipola, Timo 2019. Ruotsissa testataan ratkaisua, joka mullistaisi yhteiskunnan ja romauttaisi päästöt – ja idea voi tulla käyttöön ensimmäisenä suomessa. Yle Uutiset 8.9.2019. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10942131>. Hakupäivä 8.9.2019.

Sustainable development. Acciona. Saatavissa: <https://www.acciona.com/sustainable-development/>. Hakupäivä 8.1.2019.

Taustaa. 2018. OpenCO2.net. Saatavissa: <https://www.openco2.net/fi/taustaa>. Hakupäivä 15.10.2019.

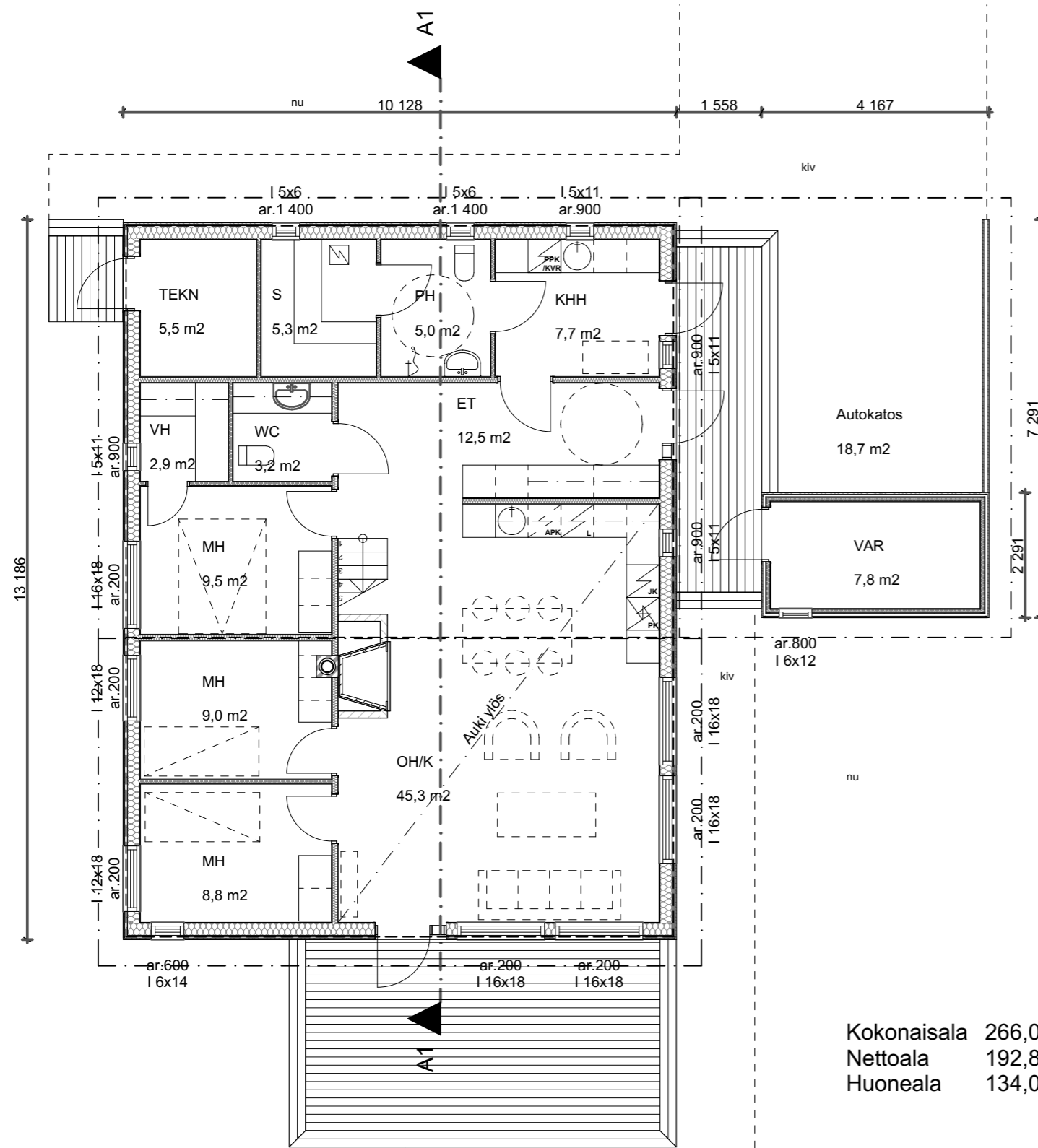
Vares, Sirje 2001. Kerrostalon ympäristövaikutukset – LVIS-2001-tyyppikerrostalo. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2108.pdf>. Hakupäivä 16.12.2018.

Vares, Sirje 2004. Ohjeellisia materiaalihukkaa elinkaarilaskentaa varten rakenteittain. Microsoft Word -asiakirja. VTT.

Väyrynen, Tuula 2012. Biologian ja maantiedon pakolliset ja syventävät luokiokurssien luennot vuosina 2012 – 2015. Viitasaari: Viitasaaren lukio.

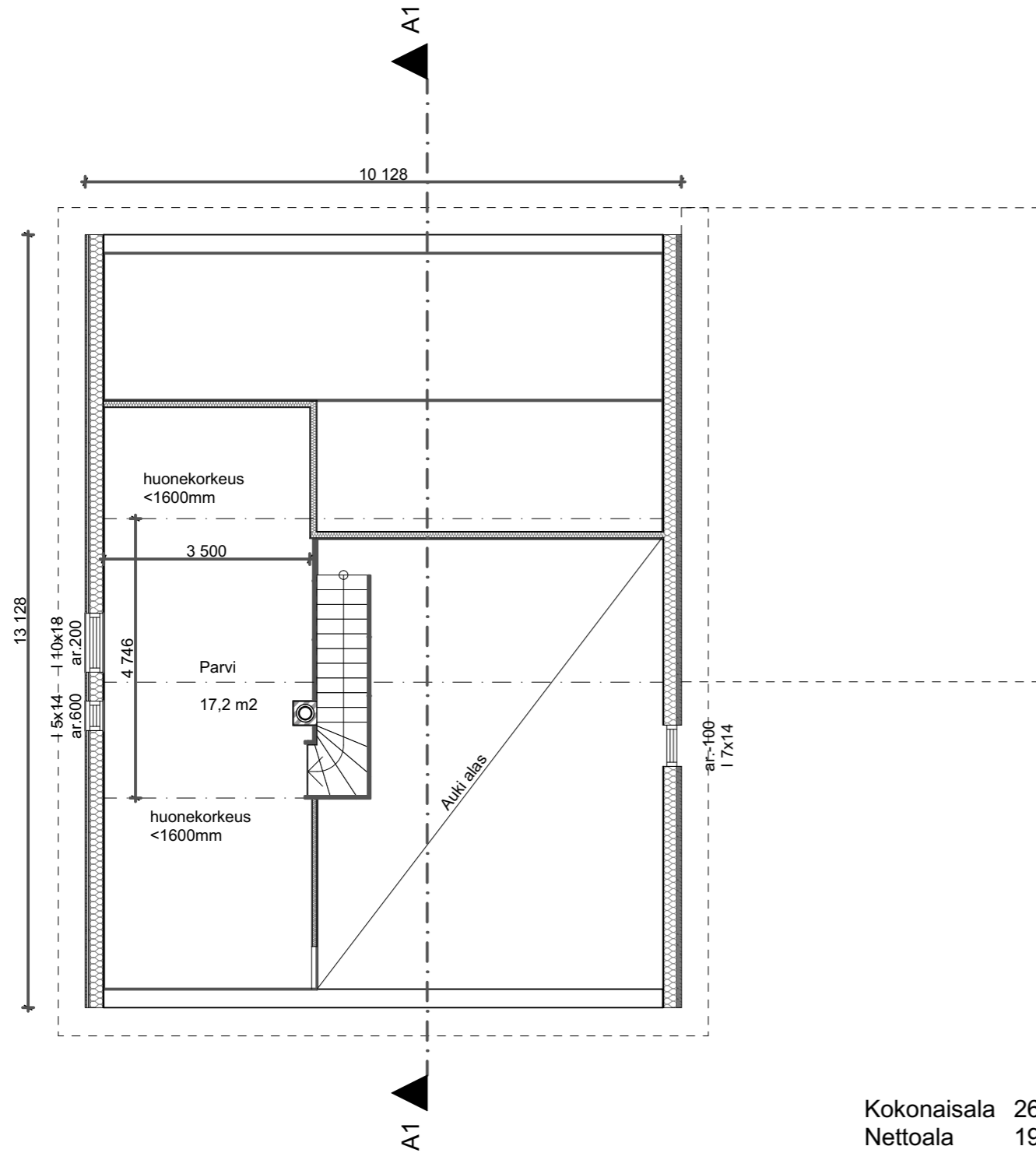
Ylikunnari, Jukka 2017. 5F00BB03 Energiatekniikka 3 op. Opintojakson luennot keväällä 2017. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Ympäristö- ja resurssitehokkuus. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puu-info.fi/puutieto/ymparistotehokkuus>. Hakupäivä 27.10.2019.



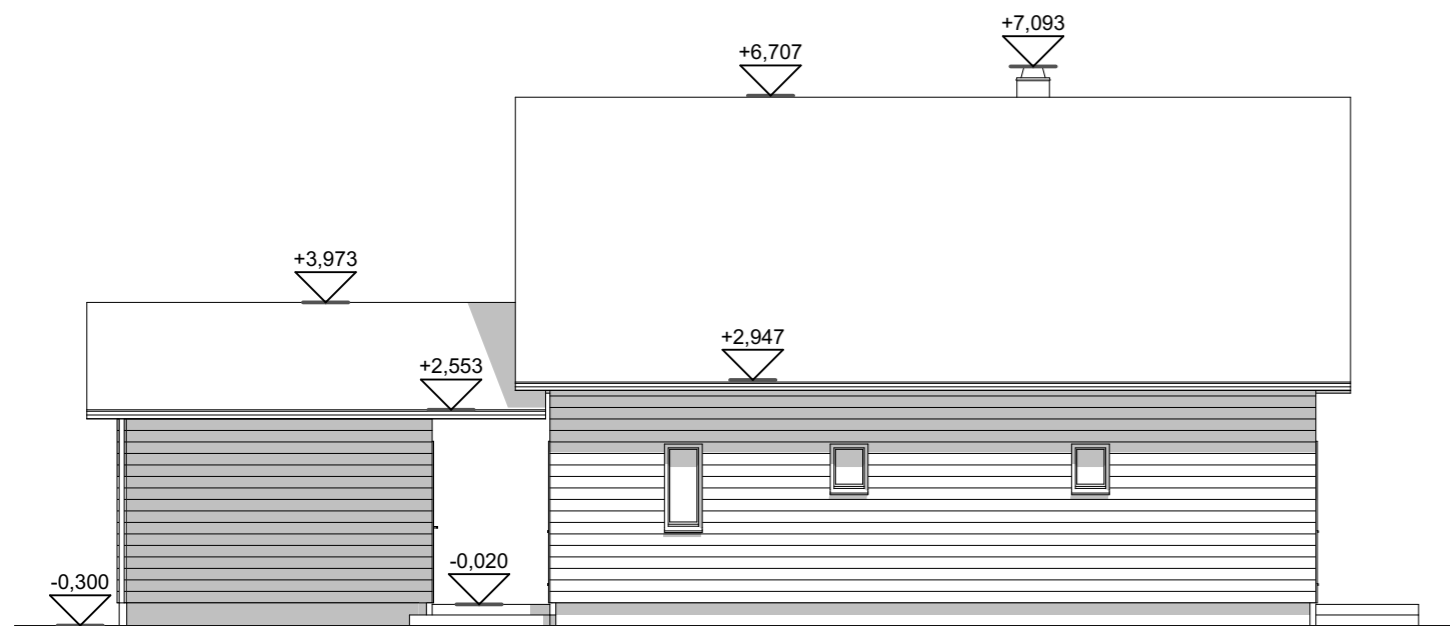
Kokonaisala 266,0 m²
 Nettoala 192,8 m²
 Huoneala 134,0 m²

Rakennustoimenpide UUDISRAKENTAMINEN	Piirustuslaji Pohjapiirustukset
Rakennuskohde Tyypimalli pientalo Rakentamisen hiilijalanjälki - opinnäytetyö	Piirustuksen sisältö 1. Kerros
Suunnittelijan yhteystiedot: Sini Varis rakennusarkkitehtiopiskelija	Mittakaava 1:100
Päiväys 25.11.2019	Piirustuksen tunnus A.01.2
	Muutos
	Suunnitteluala ARK
	Tiedosto Tyypimalli pientalo.pln

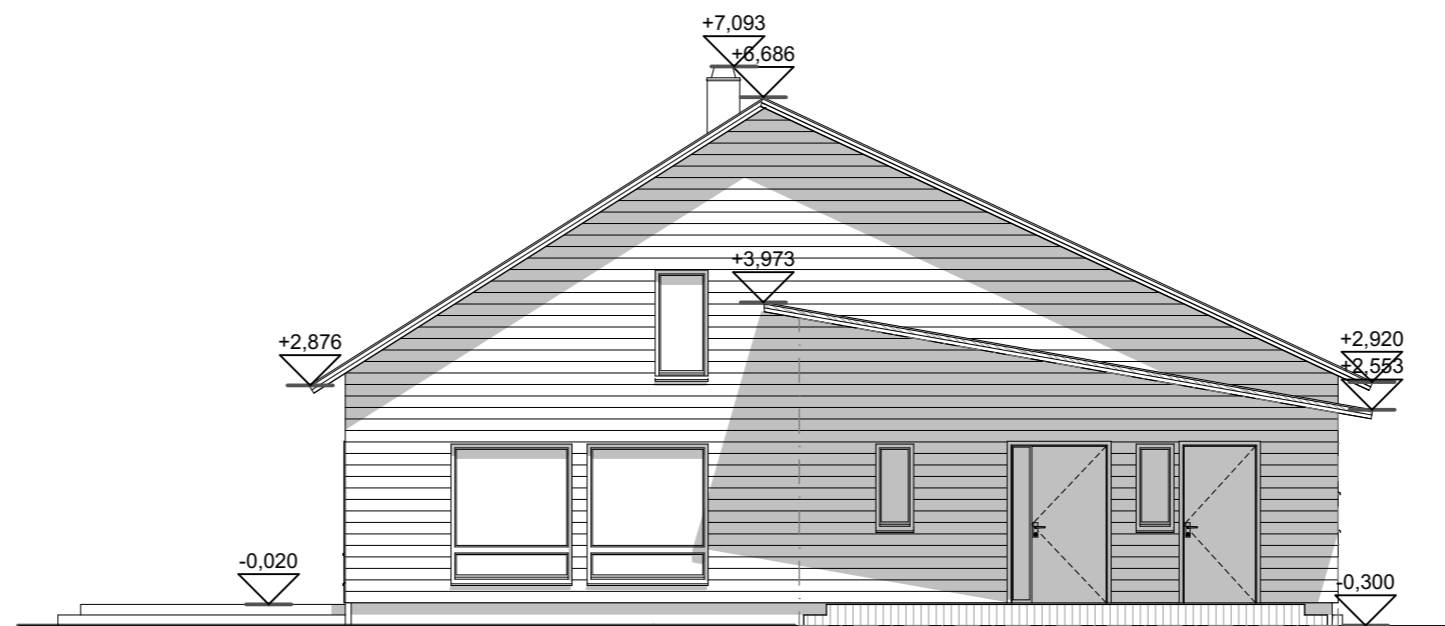


Kokonaisala 266,0 m²
 Nettoala 192,8 m²
 Huoneala 134,0 m²

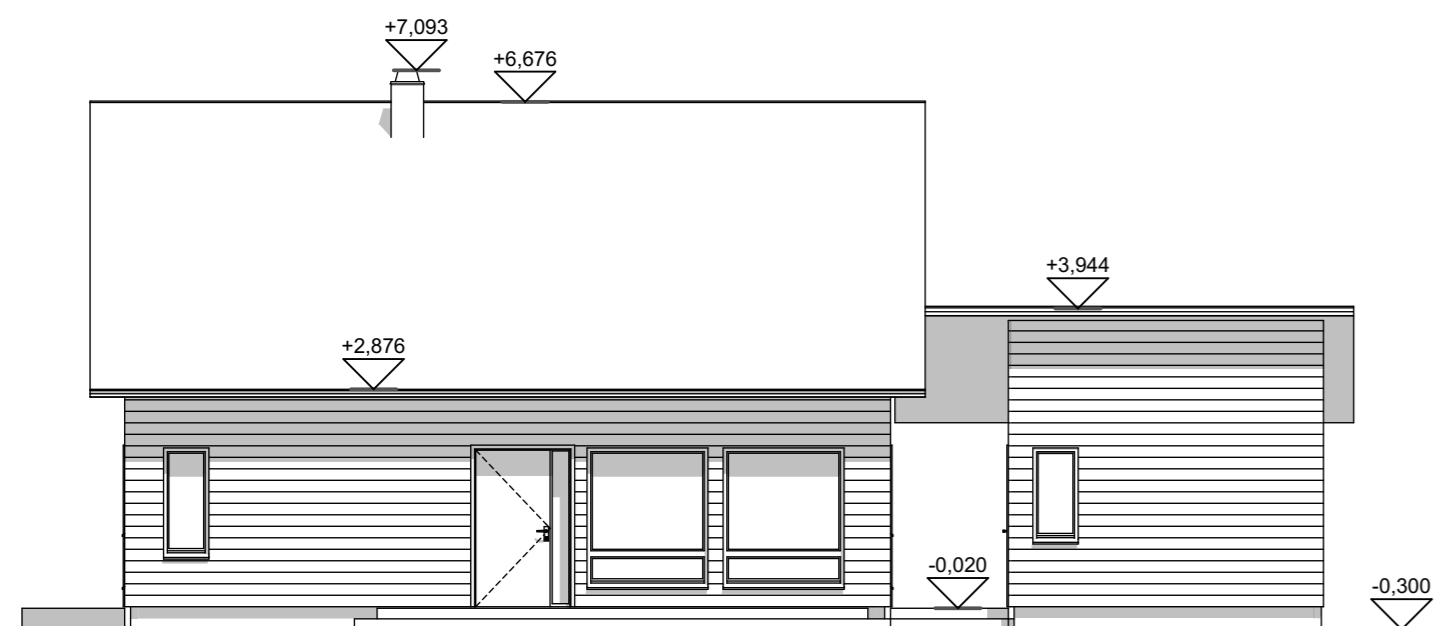
Rakennustoimenpide UUDISRAKENTAMINEN	Piirustuslaji Pohjapiirustukset
Rakennuskohde Tyypimalli pientalo Rakentamisen hiilijalanjälki - opinnäytetyö	Piirustuksen sisältö 2. Kerros
Suunnittelijan yhteystiedot: Sini Varis rakennusarkkitehtiopiskelija	Mittakaava 1:100
Päiväys 25.11.2019	Piirustuksen tunnus A.01.3
	Muutos
	Suunnitteluala ARK
	Tiedosto Tyypimalli pientalo.pln



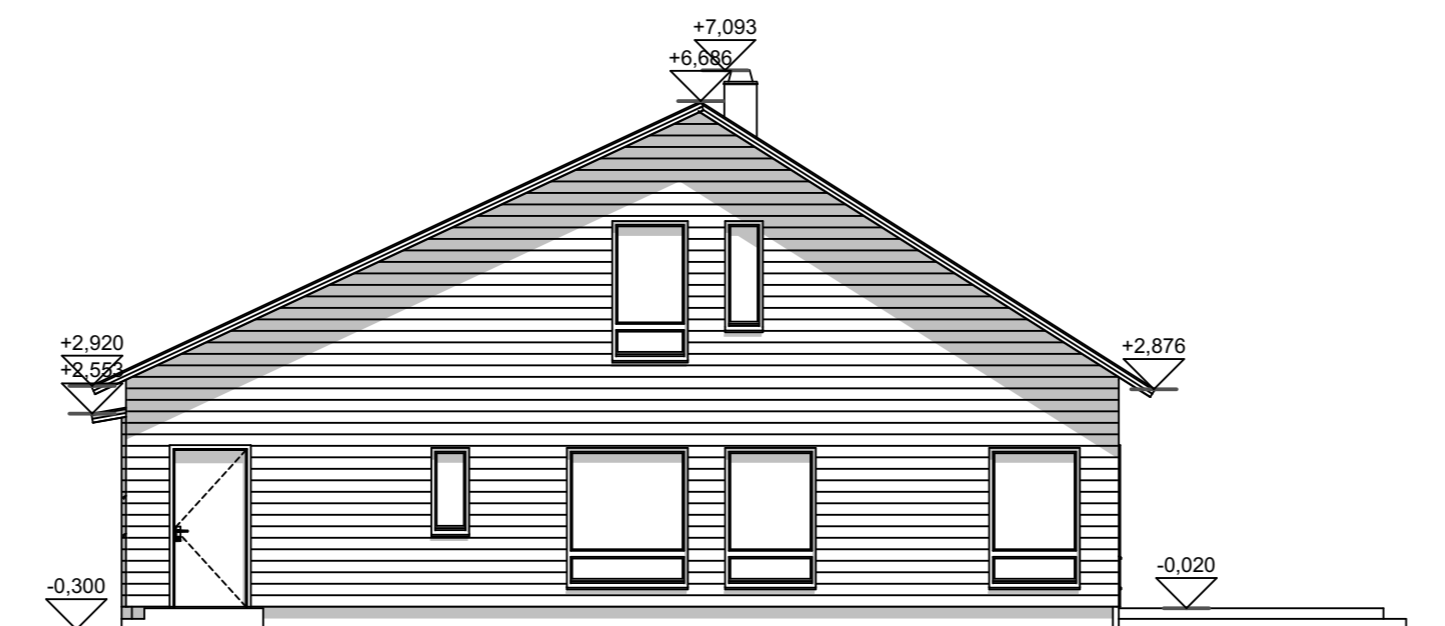
MV Julkisivu pohjoiseen 1:100



MV Julkisivu itään 1:100

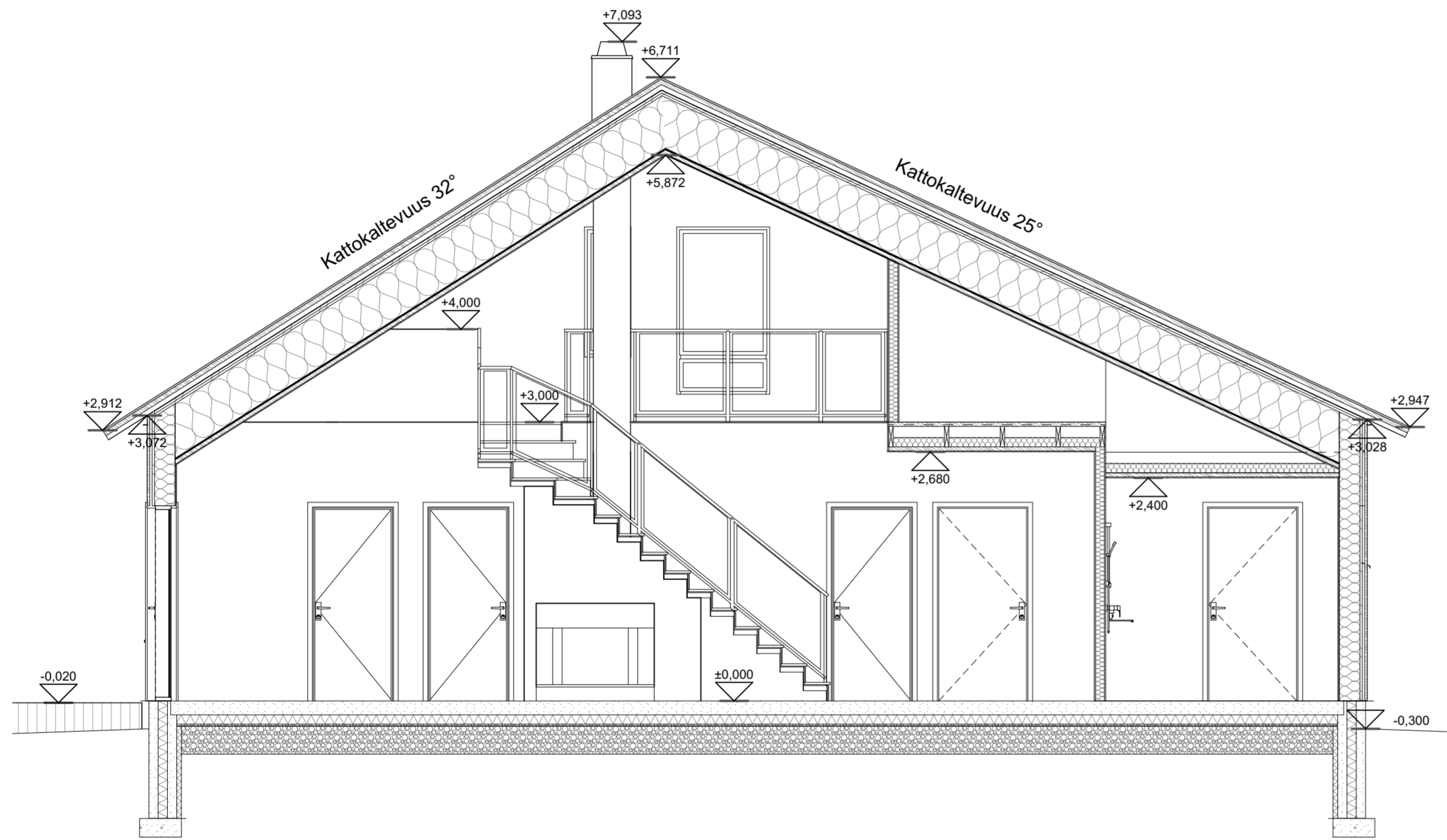


MV Julkisivu etelään 1:100



MV Julkisivu länteen 1:100

Rakennustoimenpide UUDISRAKENTAMINEN	Piirustuslaji Julkisivut
Rakennuskohde Tyypimalli pientalo Rakentamisen hiilijalanjälki - opinnäytetyö	Piirustuksen sisältö Julkisivut
Suunnittelijan yhteystiedot: Sini Varis rakennusarkkitehtiopiskelija	Mittakaava 1:100
Päiväys 25.11.2019	Piirustuksen tunnus A.02.5
	Muutos
	Suunnitteluala ARK
	Tiedosto Tyypimalli pientalo.pln



A1

Leikkaus

1:50

Rakennustoimenpide UUDISRAKENTAMINEN	Piirustuslaji Leikkaukset
Rakennuskohde Tyypimalli pientalo Rakentamisen hiilijalanjälki - opinnäytetyö	Piirustuksen sisältö Leikkaus A1
Suunnittelijan yhteystiedot: Sini Varis rakennusarkkitehtiopiskelija	Mittakaava 1:50
Päiväys 25.11.2019	Piirustuksen tunnus A.03.1
	Muutos
	Suunnitteluala Tiedosto Tyypimalli pientalo.pln
	ARK

Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu

Luonnos hiilijalanjäljen arvioinnin testausta varten 2.9.2019



Materiaaliluettelo

Syötä rakennuksen materiaalitiedot alla olevaan listaan esim. Määräluetteloon perustuen. Hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen päästöt muodostuvat automaattisesti, kun määrät on syötetty. Lisää tarvittaessa rivejä kunkin otsakkeen alle 'Lisää rivi' -napilla. Jos tarkempi päästötieto jollekin tuotteelle tai materiaalille on olemassa, voit syöttää sen painamalla 'Korvaa taulukkoarvoja tarkemmilla tiedoille' -nappia.

Littera	Rakennusosa	Materiaalin tyyppi	Materiaali	Määrä	yks	kgCO ₂ e	kgCO ₂ e	a	kpl	kgCO ₂ e
						Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki	Vaihtoväli	Vaihdot	Hiilijalanjälki
Tontti (1.1. Alueosat)										
Sok1	Routaeriste EPS	PIHA JA POHJARAKENTEET	Routaeriste, EPS	96	kg	320		50		
Sok1	Antura	LAATAT	Betoniantura ja -perustus (sis.raudoitteet)	11 488	kg	1 838		Ei vaihdeta		
AP1	Maanvarainen laatta	LAATAT	(massiivilaatta), betoni + teräkset	46 124	kg	7 380		Ei vaihdeta		
AP1	Tasaushiekka ja sora	PIHA JA POHJARAKENTEET	Sora ja hiekka	60 741	kg	294		Ei vaihdeta		
AP1	Suodatinkangas	PIHA JA POHJARAKENTEET	Kuitukangas	12	kg	27		Ei vaihdeta		
Total						9 859				
Kantavat rakenteet (1.2.1-1.2.3 Talo-osat)										
Sok1	Teräsbetoni perusmuuri	SEINÄT JA SOKKELIT	Betoniosakkele	25 348	kg	4 056		Ei vaihdeta		
US1	Puurunko 223mm	SEINÄT JA SOKKELIT	Puuranka, sahatavara	1 643	kg	151	-2 547	Ei vaihdeta		
VS1	Puurunko 98mm	SEINÄT JA SOKKELIT	Puuranka, sahatavara	346	kg	32	-536	Ei vaihdeta		
VP1	Lattiakannattimet	SEINÄT JA SOKKELIT	Puuranka, sahatavara	505	kg	46	-783	Ei vaihdeta		
VP2	Lattiakannattimet	SEINÄT JA SOKKELIT	Puuranka, sahatavara	240	kg	22	-372	Ei vaihdeta		
YP1	Kattokannattimet	SEINÄT JA SOKKELIT	Puuranka, sahatavara	2 081	kg	191	-3 226	Ei vaihdeta		
Total						4 499	-7 463			
Vaippa (1.2.4-1.2.6 Talo-osat)										
US1	Puuverhous	ULKOVERHOILU	puu	2 063	kg	181	-3 198	50		
US1	Tuulensuoja	LÄMMÖNERISTEET	vuorivilla, tuulensuoja, 65 kg/m3	307	kg	315		Ei vaihdeta		
US1	Lämmöneristeet	LÄMMÖNERISTEET	vuorivilla, puhallusvilla, 15 kg/m3	482	kg	485		Ei vaihdeta		
US1	Höyrynsulku	KOSTEUSERISTE	Kosteussulku	31	kg	93		Ei vaihdeta		
Ikk	Ikkunat	IKKUNAT ja OVET ja LASISEINÄT	Ikkunat, Puuikkuna, sisältää myös lasit	27	m2	2 363		50		
UO	Ulko-ovet	IKKUNAT ja OVET ja LASISEINÄT	Ovi, ulko, puu	9	m2	549		40	1	549
SO	Sisäovet	IKKUNAT ja OVET ja LASISEINÄT	Ovi, sisä	16	m2	557		50		
VS1	Eriste	LÄMMÖNERISTEET	vuorivilla, puhallusvilla, 15 kg/m3	101	kg	102		Ei vaihdeta		
VS2	Eriste	LÄMMÖNERISTEET	vuorivilla, puhallusvilla, 15 kg/m3	44	kg	44		Ei vaihdeta		
AP1	EPS	LÄMMÖNERISTEET	EPS	182	kg	620		Ei vaihdeta		
VP1	Lämmöneristeet	LÄMMÖNERISTEET	vuorivilla, puhallusvilla, 15 kg/m3	71	kg	71		Ei vaihdeta		
VP1	Ilmansulkupaperi	KOSTEUSERISTE	Kosteussulku	9	kg	27		Ei vaihdeta		
VP2	Lämmöneristeet	LÄMMÖNERISTEET	vuorivilla, puhallusvilla, 15 kg/m3	34	kg	34		Ei vaihdeta		

VP2	Höyrynsulku	KOSTEUSERISTE	Kosteussulku	5 kg	15		Ei vaihdeta	
YP1	Peltikate	KATTEET	teräs, sinkitty ja maali	864 kg	2 514		50	
YP1	Tuulensuoja	LÄMMÖNERISTEET	vuorivilla, tuulensuoja, 65 kg/m3	436 kg	447		Ei vaihdeta	
YP1	Lämmöneristeet	LÄMMÖNERISTEET	vuorivilla, puhallusvilla, 15 kg/m3	1 015 kg	1 021		Ei vaihdeta	
YP1	Höyrynsulku	KOSTEUSERISTE	Kosteussulku	28 kg	84		Ei vaihdeta	
Sok1	Sokkelin lämmöneriste	LÄMMÖNERISTEET	EPS	27 kg	92		Ei vaihdeta	
Sok1	Sokkelin bitumihuopakaista	KATTEET	bitumikermi, pinta + 2 alus, 13,3 kg/m2	9 m2	114		35	1 114
Total					9 729	-3 198		663

Kevyet rakenteet (1.3 Tila-osat)

US1	Pystykoolaus	SEINÄT JA SOKKELIT	Puuranka, sahatavara	307 kg	28	-476	Ei vaihdeta	
US1	Kipsilevy	LEVYT	kipsilevy	1 457 kg	611		50	
VS1	Kipsilevy	LEVYT	kipsilevy	1 396 kg	585		50	
VS2	Puurunko 66mm	SEINÄT JA SOKKELIT	Puuranka, sahatavara	149 kg	14	-231	Ei vaihdeta	
VS2	Kipsilevy	LEVYT	kipsilevy	894 kg	375		50	
VP1	Havuvaneri	LEVYT	vaneri	438 kg	124	-718	50	
VP1	Ristiinlaudoitus 44mm	SEINÄT JA SOKKELIT	Puuranka, sahatavara	265 kg	24	-411	Ei vaihdeta	
VP2	Ristiinlaudoitus 44mm	SEINÄT JA SOKKELIT	Puuranka, sahatavara	126 kg	12	-195	Ei vaihdeta	
YP1	Havuvaneri	LEVYT	vaneri	1 278 kg	362	-2 096	50	
YP1	Havuvaneri	LEVYT	kuitutuulensuoja	225 kg	103	-344	50	
YP1	Koolaus 44mm	SEINÄT JA SOKKELIT	Puuranka, sahatavara	728 kg	67	-1 128	Ei vaihdeta	
Total					2 304	-5 600		

Talotekniikka (2.1-2.4 Tekniikkaosat)

Total								

Kaikki materiaalit yhteensä

26 391	-16 261	663
Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki	Vaihtojen hiilijalanjälki