



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA TOIMITILA- JA TEOLLISUUS- KIINTEISTÖILLE

Navitas Kehitys Oy

TEKIJÄ/T:

Minna Nousiainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Minna Nousiainen	
Työn nimi Hiilijalanjäljen laskenta toimitila- ja teollisuuskiinteistöille	
Päiväys 17.12.2021	Sivumäärä/Liitteet 60/4
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Navitas Kehitys Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoite oli laskea suuntaa antava hiilijalanjälki tilaajan kahdelle erityyppiselle kiinteistölle, toimitila- ja teollisuusrakennukselle. Työn tilaajana toimi Navitas Kehitys Oy. Työ oli osana Navitas Yrityspalveluiden yritys vastuun kehittämistä. Työ tehtiin suunnittelemalla tilaajalle erillinen rakennusten hiilijalanjäljen laskentatyökalu Microsoft Excel -ohjelmistoon. Hiilijalanjäljen laskenta painottui rakennusten materiaaleihin. Näistä saatiin tarvittavat tiedot tilaajalta.</p> <p>Laskennan ohella työssä perehdyttiin mm. laskennan ohjeisiin sekä hiilijalanjäljen käsitteisiin, kuten hiilijalanjäljen standardeihin ja CO₂-ekivalenttiin. Yrityksen hiilijalanjälkeä voidaan laskea esim. käyttäen laskennalle suuntaviivat antavaa ISO 16047 standardia, joka sisältää hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet sekä ISO 16064 kasvihuonekaasustandardia. Näiden lisäksi Greenhouse gas protokolla antaa tarkemmat laskentaohjeet.</p> <p>Yrityksen kiinteistöjen päästöistä merkittävin osa tuli betonimateriaalista. Toimitilakiinteistölle laskettiin suurempi betonin määrä bruttopinta-alaa kohden, mikä osaltaan vaikutti toimitilakiinteistön suurempaan, keskimääräiseen hiilijalanjälkeen. Kuitenkin myös teollisuuskiinteistön osalta betonilla oli olennainen osuus sen hiilijalanjäljessä. Tehty laskuri sopii parhaiten tilaajayrityksen rakennusten hiilijalanjäljen laskentaan. Laskuria voi hyödyntää tulevaisuudessa tarvittaessa laskea tarkempaa hiilijalanjäljen arvoa jo tässä työssä oleville kiinteistöille tai kokonaan uusille rakennuksille.</p>	
Avainsanat hiilijalanjälki, laskentamenetelmät, valmistusvaihe, betonimateriaali	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology	
Author(s) Minna Nousiainen	
Title of Thesis Carbon Footprint Calculation for Industrial and Commercial Real Estates	
Date 17.12.2021	Pages/Appendices 60/4
Client Organisation /Partners Navitas Kehitys Oy	
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to calculate an indicative carbon footprint for the client's two different types of real estates, commercial and industrial. The thesis was commissioned by Navitas Kehitys Oy, which is part of Navitas Business Services and operates in Varkaus. This research was executed as part of the development of the corporate responsibility of Navitas Business services. Navitas Business Services provides a company or entrepreneur with all the necessary services at different stages of its life cycle from one place. The research was carried out by designing a tool for calculating building's carbon footprint by using Microsoft Excel. The calculation of the carbon footprint focused specifically on building materials. Calculation is provided with instructions to ensure user friendliness of the tool. The necessary information on the material was obtained from the client.</p> <p>In addition to the calculation, the thesis focuses on explaining relevant concepts, such as carbon footprint standards and CO2 equivalent, while providing an overview of the theoretical framework around the topic. The company's carbon footprint for buildings can be calculated, for example, using the ISO 14047 standard which provides guidelines for calculating the carbon footprint, and the ISO 16064 greenhouse gas standard. In addition to these guidelines, the Greenhouse gas protocol provides more detailed calculation instructions.</p> <p>The designed calculator is best suited for calculating the carbon footprint of the customer's buildings. The calculator can also be used in the future if it becomes necessary to calculate a more accurate value of the carbon footprint for the target real estates or completely new ones. The results indicate that the most significant part of the company's real estate emissions came from concrete material. A larger amount of concrete per gross area was calculated for the commercial real estate Toimisto A2, located in Varkaus. This also contributed to the larger carbon footprint of the commercial real estate. For industrial real estate Teollisuus A1, which located also in Varkaus, concrete was similarly accounted for the largest share of the carbon footprint. Overall, this thesis and the designed calculator will help the company to achieve their goal of reducing its carbon footprint.</p>	
<p>Keywords carbon footprint, calculation methods, manufacturing stage, concrete material</p>	

ESIPUHE

Haluan kiittää työn tilaajaa Navitas Kehitys Oy:tä mielenkiintoisesta työn aiheesta sekä tilaajan edustajaa Laura Leppästä saamastani ohjauksesta. Työn parissa pääsin soveltamaan oppimaani sekä kehittämään ammatillista osaamistani. Erityiskiitos ohjaavalle opettajalle Merja Tolvaselle sekä isälleni Tero Nousiaiselle saamastani avusta ja tuesta tämän opinnäytetyön toteuttamisessa. Haluan kiittää myös koko muuta perhettäni opinnäytetyöprosessin aikana saamastani tuesta. Lisäksi kiitos kuuluu ystävälleni Liina Kiviölle ArchiCAD-suunnitteluohjelmistoon tutustuttamisesta.

Espoossa 17.12.2021

Minna Nousiainen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	VÄHÄHIILISEN RAKENNUTTAMISEN TAVOITTEET	8
2.1	Ilmastonmuutos	8
2.2	Vähähiilisen rakentamisen tavoitteet	9
2.3	Rakentamisen vaiheiden hiilijalanjälki ja sen vähentämiskeinot	10
2.3.1	Rakennuksen käyttöaikainen energian kulutus	10
2.3.2	Rakennuksen materiaalien päästövaikutukset	11
3	HIILIJALANJÄLKI	13
3.1	CO ₂ -ekvivalentti	13
3.2	Päästökerroin	13
3.3	Hiilineutraalius	14
3.4	Hiilijalanjälkistandardit	14
3.5	GHG-protokolla	15
3.5.1	Scope 1	16
3.5.2	Scope 2	16
3.5.3	Scope 3	16
3.6	Hiilikädenjälki	18
4	KOHTEENA OLEVIEN KIINTEISTÖJEN KUVAUS	19
4.1	Teollisuus A1	19
4.2	Toimisto A2	21
5	KOHDEKIINTEISTÖJEN RAKENNE	25
5.1	Teollisuus A1 kiinteistön rakenne	25
5.1.1	Seinäarakenteet	26
5.1.2	Ala- ja yläpohjarakenteet	26
5.1.3	Kantava runko ja puurunkoinen elementti	27
5.2	Toimisto A2 kiinteistön rakenne	28
5.2.1	Seinäarakenteet	28
5.2.2	Ylä-, väli- ja alapohjarakenteet	31
6	LASKENTAMENETELMÄN VALINTA JA LASKENNAN RAJAUS	33
6.1	Laskentamenetelmän valinta	33
6.1.1	Ympäristöministeriön hiilijalanjälkilaskuri	33

6.1.2	One Click LCA	34
6.1.3	Rakentamisen päästötietokanta.....	34
6.2	Laskennan rajaus.....	34
6.3	Arviointiin sisällytetyt ja rajatut rakenneosat.....	36
7	LASKURI.....	39
7.1	Ohje ja esittely	39
7.2	Päätaulukko.....	40
7.3	Materiaalit	41
7.4	Teollisuus A1 huoneet	42
7.5	Toimisto A2 Seinät.....	43
7.6	Raportit & ympyräkaaviot	43
8	KOHDEKIINTEISTÖJEN HIILIJALANJÄLJET	44
8.1	Teollisuus A1 hiilijalanjälki	44
8.2	Toimisto A2 hiilijalanjälki	45
8.3	Tulosten vertailu aikaisemmin laskettuihin rakennuksiin	46
8.4	Betoni rakennusmateriaalina ja sen energiatehokkuus.....	47
9	YHTEENVETO JA POHDINTAA.....	50
	LÄHTEET	53
	LIITE 1: TAULUKKO YMPÄRISTÖMINISTERIÖN ARVIOITAVISTA RAKENNEOSISTA JA NIIDEN TUNNUKSET.....	56
	LIITE 2: TEOLLISUUS A1 KIINTEISTÖN RAKENNEOSIEN HIILIJALANJÄLJET.....	58
	LIITE 3: TOIMISTO A2 KIINTEISTÖN RAKENNEOSIEN HIILIJALANJÄLJET	59
	LIITE 4: HIILIJALANJÄLKILASKURI (VAIN TILAAJAN KÄYTÖSSÄ).....	60

1 JOHDANTO

Hiilijalanjäljen laskennan tarve yritysten kiinteistöille tulee hyvin todennäköisesti kasvamaan lähivuosina yritysten tavoitellessa hiilineutraalimpaa statusta. Ilmastonmuutoksen tietoisuuden kasvaessa asiakkaat sekä sijoittajat tulevat vaatimaan yhä useammin tietoja yrityksestä ja valitsemaan vastuullisemman toimialan. Tämän myötä yrityksille on tärkeää minimoida toimintansa vaikutukset ympäristöön. Hiilijalanjälki antaa hyvän katsauksen yrityksen tuottamaan hiilidioksidin määrään. (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon.)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on laskea Navitas Kehitys Oy:lle suuntaa antava hiilijalanjälki Navitas Yrityspalvelut toimitila- ja teollisuuskiinteistöstä. Hiilijalanjälki lasketaan kahdelle kiinteistölle. Laskettavien kiinteistöjen määrään vaikuttavat ajalliset resurssit sekä kohdekiinteistöistä löydettävä tiedon määrä. Navitaksen teolliset rakennukset on rakennettu jo kymmeniä vuosia sitten, josta johdun niiden rakennusmateriaalien tiedot ovat rajalliset. Toimitilakiinteistöt on rakennettu puolestaan 2000-luvun puolella, jolloin rakennuksiin liittyvää tietoa on alettu tallentamaan jo paremmin. Saaduista tuloksista pohditaan lisäksi toimintoja, joiden avulla hiilijalanjälkeä olisi mahdollista pienentää. Tulokset auttavat yrityksen oman ympäristön tarkkailussa ja on osa ympäristövastuullisuutta. Tulokset näyttävät suuntaa antavaa tietoa mistä kiinteistön ympäristövaikutukset aiheutuvat ja näin ollen saadaan kattava pohja tuleviin ympäristömittauksiin. Tuloksia käytetään osana Navitas Yrityspalveluiden ympäristövastuullista työtä. Navitas Yrityspalvelut (julkaisuaika tuntematon) havahtui ympäristövastuullisuustyön aloittamiseen KESTO (Kestävän energiankäytön, materiaalitehokkuuden ja ilmaston seudullinen toimintasuunnitelma) -hankkeen kuntakohtaisen ilmastotyön kautta.

KESTO-hankkeen (julkaisuaika tuntematon) tarkoituksena on laatia Keski-Savon, johon Varkaus kuuluu, ja Ylä-Savon seudulle sekä Siilinjärvelle seudulliset ja kuntakohtaiset ilmaston toimintasuunnitelmat, jossa asetetaan tavoitteet alueen ilmastotyölle. Hankkeen tavoitteena on seurata kuntien energia- ja materiaalitehokkuutta sekä niiden toimien taloudellisuutta ja vaikuttavuutta, jotka tähtäävät ilmanpäästöjen vähentämiseen. Ilmaston toimintasuunnitelmassa laaditaan konkreettiset toimenpiteet ilmastotavoitteille ja mittarit niiden seuraamista varten. Hankkeen kärkiteemoihin kuuluvat: 1) energiansäästö, uusiutuvien energiamuotojen lisääminen kunnissa sekä 2) liikkumisen uudet ratkaisut alueella, sekä kierrätyksen ja materiaalitehokkuuden parantaminen alueella sekä erilaiset pilotoinnit uusien kierrätyspalveluiden saamiseksi ja kierrätyksen tehostamiseksi alueella.

Työ toteutetaan aloittaen hiilijalanjäljen tarkastelulla ja valitaan työhön sopivin laskuri. Työssä pyritään käyttämään hyödyksi julkisia tietokantoja, jotka ovat kaikkien saatavilla. Tarkastelun jälkeen perehdytään kokonaisvaltaisemmin laskentamenetelmiin. Hiilijalanjäljen laskentaan tarvittava tietopohja saadaan tilaajalta. Tähän on sisältynyt kolme yrityksessä tehtävää vierailua, joiden aikana on tutkittu yhteistyössä tarvittavia tietoja arkistoista.

Laskettavien kiinteistöjen nimet on muutettu raportin julkaistavaa versiota varten. Teollisuuskiinteistöä kutsutaan nimellä Teollisuus A1 ja toimitilakiinteistöä nimellä Toimisto A2.

2 VÄHÄHIILISEN RAKENNUTTAMISEN TAVOITTEET

Ilmasto lämpenee ihmisten toiminnan takia. Lämpenemisen seuraukset tulevat olemaan vakavia. Se on jo nyt selvästi nähtävillä, kun ilmankatastrofit ovat yleistyneet. Vuoden 2021 puolella näitä on ollut Euroopassa vallinneet tulvat sekä Kreikkaa riepottaneet laajat tuhoiset tulipalot, jotka saivat mediassa osakseen paljon näkyvyyttä. IPCC:n (2021, 1) raportin mukaan tarvitaan suuria päästövähennyksiä mahdollisimman pian, jotta maapallon lämpenemisessä päästäisiin 1,5 °C:een tavoitteeseen. Ilmaston lämpenemisen rajoittamisella 1,5 °C:een vältyttäisiin tutkimusten mukaan pahimmilta ilmastokatastrofeilta. Tulevaan muutokseen on sopeuduttava päästöjen hillitsemisestä huolimatta. Ilmasto tulee jatkamaan lämpenemistään jo nykyisten ilmassa olevien hiilidioksidipitoisuuksien vuoksi.

2.1 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksesta puhuessa tarkoitetaan pitkäaikaista lämpötilan ja sään vaihtelua. Tämänkaltaiset siirtymät voivat olla luonnollisia. Ne voivat johtua esimerkiksi auringon syklisestä aiheutuvista vaihtelusta. 1800-luvulta lähtien pääasiallisen ilmastonmuutoksen aiheuttajana on ollut ihmisen toiminta, joka johtuu suurimmaksi osaksi fossiilisten polttoaineiden, kuten hiilen öljyn ja kaasun polttamisesta. Fossiilisten polttoaineiden polttaminen synnyttää kasvihuonekaasupäästöjä, jotka kääriytyvät peiton tavoin maan ympärille. Ne ottavat lämmön talteen ja aiheuttavat lämpötilan nousemista. Hiilidioksidi ja metaani ovat tunnetuimpia kasvihuonekaasuja. Suurimpiin päästöjen aiheuttajiin kuuluvat energian tuotanto, teollisuus, liikenne, rakennukset, maatalous ja maankäyttö. (United Nations julkaisuaika tuntematon.)

Viime elokuussa (2021) tehdyssä IPCC raportissa on esitetty uusia arvioita mahdollisuuksista pitää ilmaston lämpenemisen taso 1,5°C:n alla tulevien vuosikymmenten aikana. Jos kasvihuonekaasupäästöjä saataisiin vähennettyä välittömästi, nopeasti ja laajamittaisesti voitaisiin lämpeneminen rajoittaa vielä 1,5 °C:een paikkeille. Tämän suuruinen lämpötilan nousu toisi kuitenkin tullessaan lisääntyvästi helleaaltoja, piteneviä lämpimiä ja lyheneviä kymmiä vuodenaikoja. IPCC raportin mukaan nykyisillä vuotuisilla hiilidioksidipäästöillä maapallon lämpötilalla on uhkana nousta jopa 4,4°C tämän vuosisadan loppuun mennessä. Vahvat ja kestävät rajoitukset hiilidioksidin suhteen voisivat rajoittaa ilmaston muutoksen vaikutuksia. Voimakkaiden toimenpiteiden vaikutukset voitaisiin nähdä suhteellisen nopeasti ilmanlaadun paranemisessa. Tämä on käynyt selville koronapandemian pahimpana aikana, jolloin matkustamista rajoitettiin maailmanlaajuisesti. Globaalin lämpötilan suhteen joudutaan olemaan kärsivällisempiä. On arvioitu, että lämpötilan vakaantuminen tulee kestämään noin 20–30 vuotta merkittävien hiilidioksidi- ja metaanipäästöjen vähentämisen jälkeen. (IPCC 2021, 1.)

Lämpötilan nousu tuo tullessaan muutoksia kosteuteen ja kuivuuteen, lumeen ja jäähän, tuuliin, rannikko- sekä merialueille. Nämä muutokset tulevat olemaan konkreettisesti seuraavia: lämpeneminen voimistaa ikiroudan sulamista ja kausiluonteisen lumipeitteen häviämistä, jäätiköiden sulamista sekä kesäisen arktisen merijään vähitellen häviämistä. Ilmastonmuutos on kiihdyttävänä tekijänä veden kiertokulussa. Tämä puolestaan aiheuttaa voimakkaampia sateita ja niihin liittyviä tulvia sekä vastakohtaisesti voimakkaampaa kuivuutta monilla alueilla. Ilmastonmuutos vaikuttaa sademääriin myös niin, että suurilla leveysasteilla sademäärät todennäköisesti lisääntyvät, kun taas monin

paikoin subtrooppisilla alueilla sateen ennustetaan vähenevän. Lisäksi monsuunisateisiin odotetaan tulevan muutoksia. (IPCC 2021, 2.)

2.2 Vähähiilisen rakentamisen tavoitteet

Nykyisen hallitusohjelman (2019) tavoite on tehdä Suomesta ensimmäisten joukossa fossiilivapaa hyvinvointiyhteiskunta. Pyrkimyksenä on saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä. Asetettu tavoite vaatii hiilinielujen vahvistamista sekä nopeutettuja päästövähennyksiä kaikilla sektoreilla. Ilmastomuutoksen hidastaminen pyritään aikaansaamaan seuraavilla toimenpiteillä (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon)

- uusilla ilmastopoliittisilla päätöksillä
- lähes päästöttömällä sähkön- ja lämmöntuotannolla 2030-luvun loppuun mennessä
- ilmastoystävällisellä ruokapolitiikalla
- kiertotalouden edistämällä
- hiilijalanjäljen pienentämällä rakentamisen sektorilla.

Rakennukset ja rakennuttaminen aiheuttavat noin kolmannesosan Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Suomessa julkisiin rakennushankkeisiin menee vuosittain noin 30 % rahaa kaikista julkisista hankinnoista. Tämä tarkoittaa noin 7 miljardia euroa. Näin ollen myös rakennussektorin on vähennettävä päästöjä, jotta Suomen olisi mahdollista saavuttaa kansalliset ja kansainväliset ilmastotavoitteensa. Rakennuksien hiilijalanjälkeä tulisi seurata niiden koko elinkaaren ajan. Suomessa rakentamisen ympäristöohjaus on tähän asti keskittynyt rakennuskannan energiatehokkuuden parantamiseen ja käytönaikaisten päästöjen vähentämiseen. Vuoden 2018 puolella uudisrakentamisessa siirryttiin lähes nollaenergiarakentamiseen uusien energiamääräysten voimaan tultua. (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon.)

Parhaillaan valmisteilla olevassa rakentamisen ohjauksessa tarkasteluun on otettu rakennusmateriaalien valmistus, rakentaminen, rakennusjätteen synnyn ehkäisy ja kierrätys. Suomen koko rakennuskannan arvioidaan korjautuvan energiatehokkaaksi tämän vuosisadan puoliväliin mennessä. Tätä ennen tavoitteena on, että 2025 vuoteen mennessä rakennusten elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä tullaan ohjaamaan lainsäädännöllä. Julkisissa hankkeissa tullaan ottamaan ensimmäisinä käyttöön ympäristöministeriön laatimat kriteerit vähähiiliselle rakentamiselle. (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon.)

Vuonna 2014 uusittiin EU:n hankintadirektiiviä, jota seurasi myös Suomen hankintalain uudistus. Nämä ovat antaneet yhä paremman aseman ympäristöhaittojen vähentämiseen ja kestäväen kehityksen periaatteiden huomioimisen julkisissa hankinnoissa. Ympäristöministeriö on laatinut vapaaehtoiset suositukset Suomen julkisille rakennushankkeille. Nämä ovat yhteyksissä Euroopan komission vuonna 2016 laatimiin suosituksiin vihreiden julkisten toimintahankkeiden kriteereihin. (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon.)

Rakentamisen ympäristövaikutusten hankintakriteerien tulokulmaksi on valittu vähähiilisyyys. Tämän avulla toteutetaan kansallista ja kansainvälistä ilmastopoliittikkaa ja ennakoitaan 2020-luvulla voimaan tulevaa rakennusten hiilijalanjäljen säädösohjausta. Luvussa 3 pureudutaan syvemmin

hiilijalanjälkeen sekä siihen liittyviin asiayhteyksiin, kuten GHG-protokollaan ja sen jaettuun kolmeen osa-alueeseen Scope 1, Scope 2 ja Scope 3:een. (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon.)

2.3 Rakentamisen vaiheiden hiilijalanjälki ja sen vähentämiskeinot

Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki koostuu

- rakennusmateriaalien valmistuksesta
- kuljetuksesta
- työmaatoiminnoista
- kunnossapidosta sekä korjauksesta
- materiaalien vaihdosta
- energian ja veden käytöstä
- rakennuksen purkamisesta
- materiaalien loppukäsittelystä.

Näistä suurin hiilijalanjälkeen vaikuttava tekijä on fossiilisten polttoaineiden käyttö rakennusten energiahuollossa. Seuraavaksi suurin tekijä on fossiilisten polttoaineiden käyttö rakennusmateriaalien valmistuksessa. Tilannetta kuitenkin vähitellen muuttaa energiatehokkuuden paraneminen, energiajärjestelmien kehitys vähäpäästöisemmiksi sekä uusiutuvan energian käytön kasvu. Jotta energiatehokkuutta saadaan parannettua, tarvitaan enemmän materiaaleja ja parempaa talotekniikkaa. Tämä osaltansa johtaa materiaalien valmistuksesta ja rakennuksen elinkaaren aikaisesta ylläpidosta aiheutuvien päästöjen kasvamiseen (Bionova 2017, 2, 11.)

Rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutuksiin vaikutetaan eniten hanke- ja suunnitteluvaiheissa. Hankkeisiin vaikuttavat kaavoitus, julkisohjaus sekä tuote ja menetelmäkehitys, joihin kuuluvat mm. esirakentaminen ja rakennustuotevalmistuksen ratkaisut. (Bionova 2017, 14.)

Ympäristöministeriön (2019, 12) teettämää vähähiilisuuden arviointia voidaan tehdä kaikille rakennuksille sekä soveltaa uudis- ja korjausrakentamisen hankkeisiin. Arviointi tulisi tehdä rinnan rakennuksen energiatehokkuuden arvioinnin kanssa.

2.3.1 Rakennuksen käyttöaikainen energian kulutus

Rakennuksen käyttöaikaiseen energian kulutukseen kuuluvat rakennuksen lämmitys, jäähdytys, ilmanvaihto, lämmin käyttövesi, valaistus ja automaatio (Bionova 2017, 11). Suurin osa rakennuksen energian kulutuksesta tapahtuu rakennuksen käytön aikana. Nykyään on kuitenkin tarjolla runsaasti erilaisia säästömahdollisuuksia. Ympäristöystävällisessä rakentamisessa käyttövaiheen huomioiminen onkin erityisen tärkeää. Vaiheesta aiheutuva ympäristökuormitus on kannattavaa saada minimoitua, mutta ei kuitenkaan muiden ominaisuuksien kustannuksella. Esimerkiksi lyhytikäiset rakennukset eivät ole kannattava vaihtoehto, vaikka niiden käytönaikainen ympäristökuormitus olisi vähäinen. (Punkki 2020, 511.)

Rakennuksen käytönaikainen energian kulutus jakautuu lämmitysenergian ja sähkön kulutukseen sekä huolto- ja korjaustoimenpiteistä aiheutuneeseen energian kulutukseen. Näistä lämmitysenergia on yleensä suurin. Toimistorakennuksissa sähkönkulutus voi olla lämmitysenergian kulutusta

suurempaa johtuen rakennuksen jäähydytyksestä ja suuresta sisäisestä lämpökuormasta, jota aiheuttavat esim. tietokoneet. Lämmitysenergian kulutukseen verrattuna jäähydytyksen energian kulutus voi ylittää moninkertaiseksi. Ympäristön näkökulman kannalta jäähydytyksessä käytettävä sähköenergia on lisäksi kaukolämpöä huonompi energiamuoto. (Punkki 2020, 511.)

Rakennuksen vaipan lisäeristäminen vähentää huomattavasti elinkaaren aikaisia ympäristökuormituksia. Tämä ei ole kuitenkaan taloudelliselta näkökannalta paras tapa energiahukan pienentämiseen. Suurimmat hyödyt voidaan kuitenkin saada parantamalla ikkunoiden lämmöneristävyyttä. (Punkki 2020, 512.)

2.3.2 Rakennuksen materiaalien päästövaikutukset

Tähän mennessä rakennusten ilmastovaikutusten ohjauksessa on keskitytty pääasiassa rakennusten käytön aikaiseen energiankulutukseen. Vuonna 2017 asetettiin enimmäisarvot uusien rakennusten energiatehokkuuteen koskien. Energiatehokkuuden parantamiseen keskittyminen voi vuorostaan johtaa rakennusmateriaalien ja -tuotteiden hiilijalanjäljen kasvuun. Rakennusmateriaaleista ja -tuotteista aiheutuvien päästöjen huomioon ottaminen asetuksissa onkin kannattava lisäys ajatellen rakentamisen ja rakennusten päästöjen laajempaa ohjausta. Tehtävän asetuksen tulee siis tavoitella myös rakennusmateriaalien päästöjen leikkausta ollakseen tarpeellinen. Lisäksi ilmastopaneelin mukaan rakennusten hiilijalanlaskentaan tulisi sisällyttää rakennusten maanalaiset kerrokset ja perustukset, jotta saataisiin mahdollisimman todenmukainen hiilijalanjälki. (Kurnitski 2021, 1, 2.) Tässä opinnäytetyössä on pyritty keskittymään kokonaisvaltaisesti rakennusten materiaaleista aiheutuvaan hiilijalanjälkeen.

Rakennetusta ympäristöstä aiheutuvien suurien päästöjen vuoksi tutkijat ovat esittäneet, että uusien rakennuksien tulisi olla hiilineutraaleita jo 2030 alkaen, jotta päästäisiin Pariisin ilmastopimuksen tavoitteisiin. Etenkin rakennusmateriaalien valmistamisesta syntyviä päästöjä tulisi vähentää merkittävästi. (Ympäristöministeriö 2021, 6.)

Suomessa uusia rakennuksia rakennetaan arviolta 8 000 000 kerrostaloneliötä vuodessa. Karkeasti arvioituna tämä aiheuttaa suuruusluokaltaan noin 3 miljoonan tonnin khk-päästöt. Rakennusmateriaaleista aiheutuvat khk-päästöt ovat välillä 100–1000 kg/m². Arvioinnissa on pyritty ottamaan huomioon kaikki tekijät, kuten vaihtelut rakennustyypeissä, suunnitteluratkaisuissa sekä tuotteiden valmistuksessa ja alkuperässä. (Häkkinen ja Vares 2018, 52.)

Korjausrakentamisessa kuluu uusia materiaaleja sekä syntyy korjausjätettä. Nykyisen rakennuskannan korjausrakentamisesta aiheutuu noin 1,1 miljoonaa tonnia jätettä vuosittain. Vuoden 2008 korjausrakentamisen jätemäärästä (1 029 t kg) noin neljäsosa aiheutui liike- ja julkisten rakennusten korjausrakentamisesta. Teollisuus- ja varastorakennusten korjausrakentaminen aiheutti 10 % jätemäärän (taulukko 2). Jättemäärään on laskettu mukaan puupohjaisia, betoni- ja muita mineraalipohjaisia purkumateriaaleja, muoveja, metalleja sekä laseja. Vuotuinen jätemäärä on mitä luultavimmin lisääntymässä korjaus- ja purkamistarpeen kasvaessa rakennuskannan kunnossapidon myötä. Eri rakennusmateriaalien valmistuksesta syntyvät khk-päästöt ovat arviolta välillä 100–4000 g/kg tuotetta. Korjausrakentamisen materiaaleista voi aiheutua yhteensä noin 0,5–1,2 miljoonan tonnin khk-päästöt, jos oletetaan, että korjausmateriaaleissa on suhteellisen paljon suuren ominaispäästön

omaavia materiaaleja (kuten betoni ja sahatavara) ja vastaavasti vähän pienen ominaispäästön omaavia materiaaleja (kuten lattiamateriaalit, maali, talotekniset laitteet ja tarvikkeet). Rakennusten khk-päästöjen ohjauksen vaikutusten arvioinnissa ei ole laskettu mukaan päästöjä, jotka syntyvät rakentamisen vaatimista maa- ja pohjarakentamisesta ja perustamiseen liittyvistä töistä, kuten massanvaihdoista, stabiloinnista ja paalutuksesta. Vertauksena VTT:n tekemän arvion mukaan tyypillisen 6-kerroksisen asuinkerrostalon korjaukseen käytettyjen materiaalien (50 vuoden elinkaarella) khk-päästöt olivat yhteensä 105 kg/m². (Häkkinen & Vares 2018, 17, 52.)

TAULUKKO 1. Vuotuinen korjausjätteiden määrä jaoteltuna rakennustyypeittäin (Häkkinen & Vares 2018, 8)

	2008, 1000 tonnia	osuudet	2020, (jos kasvuoletus 7 %) 1000 tonnia
Pientalot	322	31 %	
Rivi- ja kerrostalot	274	27 %	
Liike- ja julkiset rakennukset	266	26 %	
Teollisuus ja varastorakennukset	108	10 %	
Muut rakennukset	59	6 %	
Yhteensä	1 029	100 %	1 100

Materiaalien khk-päästöt ovat pääasiassa peräisin fossiilisten polttoaineiden, sähkön ja kaukolämmön käytöstä (sekä osin prosessipäästöistä). Näitä eri energian lähteitä tarvitaan raaka-aineiden hankinnassa, valmistuksessa, kuljetuksissa ja työmaalla. Tuotteen khk-päästöjen suuruus on lisäksi riippuvainen sen päästölähteestä, kuten missä maassa ja miten tuote on valmistettu. (Häkkinen & Vares 2018, 52.) Tästä hyvänä esimerkkinä on sementin valmistus, josta löytyy tarkemmin tietoa luvussa 8.

3 HIILIJALANJÄLKI

Hiilijalanjäljellä on useita erilaisia määritelmiä ja rajauksia. Tarkastelun voi rajata esimerkiksi seuraavien näkökulmien mukaan: prosessi, tuote, ihminen, yritys, alue vai valtio. Lisäksi se vaikuttaa mitkä kasvihuonekaasut huomioidaan sekä mitkä elinkaarivaiheet sisällytetään. Hiilijalanjälki ilmaistaan usein hiilidioksidiekvivalenttina. Tämä kertoo yhdellä luvulla tarkasteltavien huonekaasujen vaikutukset ilmastonmuutokseen. (OpenCO2.net julkaisuaika tuntematon.)

Hiilidioksidipäästöt ovat ilmastonmuutoksen suurin tekijä. Laajalti on huomattu, että hiilidioksidipäästöjä tulee vähentää maailmanlaajuisesti merkittävästi, jotta välttyttäisiin ilmastonmuutoksen pahimmilta vaikutuksilta. GHG-protocol eli Kasvihuonekaasuprotokolla on kehitetty kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin, ympäristövaikutusten laskemiseen. Tämän avulla yhteisöillä ja yrityksillä on mahdollista laskea oma kasvihuonekaasuinventaarinsa. ISO 14064 – kasvihuonekaasuinventaaristandardi antaa suuntaviivat tälle laskennalle, mutta se ei ole kuitenkaan laskentastandardi eikä näin ollen anna tarkkoja laskentaohjeita, kuten GHG protokolla. ISO 14064 ja GHG protokollaa voi käyttää yhtäaikaaisesti avuksi kasvihuonekaasupäästölaskennassa, ISO 14064 antaen suuntaviivat ja GHG protokolla laskentaohjeet. ISO 16047 standardi sisältää myös hiilijalanjäljen laskemista koskevat ohjeet ja vaatimukset. (Salovaara 2014, 19.)

3.1 CO₂-ekvivalentti

CO₂eq eli hiilidioksidiekvivalentti kertoo eri kasvihuonekaasupäästöjen yhteenlaskettua ilmastoa lämmittävää vaikutusta. Kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävä vaikutus (GWP, Global Warming Potential) vaihtelee yksilöittäin. Kasvihuonekaasujen GWP-indeksit julkaistaan hallitusvälisen ilmasto-paneelin (IPCC) arviointiraporteissa. Hiilidioksidin ilmastoa lämmittäväksi vaikutusarvoksi on asetettu 1. Tähän arvoon suhteutetaan kaikkien muiden kasvihuonekaasujen GWP. GWP-indeksi ilmoitetaan tietylle ajanjaksolle. Hiilijalanjäljen laskentaan käytetään 100 vuoden tarkastelujaksoa. Esimerkiksi Typpioksidin ilmastoa lämmittävä vaikutus on 298 ja metaanin 28 suhteessa hiilidioksiidiin 100 vuoden tarkastelujaksolla. (OpenCO2.net julkaisuaika tuntematon.)

Hiilidioksidiekvivalentin arvo saadaan kertomalla kasvihuonekaasun massa vastaavalla ilmaston lämmityspotentialilla tai lämpötilan muutospotentialilla (Suomen Standardiliitto 2018, 13).

3.2 Päästökerroin

Päästökerroin kertoo syntyvän päästön määrän suhteessa tuotetun tuotteen tai palvelun määrään. Päästökertoimia käytetään hiilijalanjäljen määrittämiseen. Näitä kertoimia voi olla monen tyyppisiä riippuen niitä määrittäessä tehdyistä rajauksista. Päästökertoimet voivat kuvata käytönaikaisia tai elinkaaren aikaisia päästöjä. Ne voivat sisältää ainoastaan hiilidioksidipäästöt tai kaikki kasvihuonekaasupäästöt hiilidioksidiekvivalentteina. Lisäksi nämä voivat olla keskimääräisiä arvoja tai edustaa tiettyä ajanjaksoa. Esimerkiksi rakennuksen sähkönkulutuksen päästökerroin ilmoitetaan yleensä muodossa g CO₂eq/kWh ja materiaalien päästökerroin muodossa kg CO₂eq/kg. (OpenCO2.net julkaisuaika tuntematon.)

Hiilijalanjälkeä laskettaessa tarvitaan rakennuksen materiaalien lisäksi kohdekiinteistöön tulevan sähkön ja lämmön määrä. Energiakatselmuksissa keskimääräinen sähköntuotannon CO₂-päästökerroin on 131 kg CO₂eq/MWh ja kaukolämmön 148 kg CO₂eq/MWh. (Motiva 2021.)

3.3 Hiilineutraalius

Hiilineutraali yritys, tuote tai palvelu ei kuormita ilmastoa omalla toiminnallaan tai olemassaolollaan. Tämä käytännössä tarkoittaa sitä, että tietylle kokonaisuudelle on ensin määritetty hiilijalanjälki ja sitä on pienennetty tarvittavilla keinoilla. Päästöt, joita ei pystytä vähentämään omin toimin, kompensoidaan osallistumalla muualla päästöjä vähentäviin projekteihin tai ostamalla markkinoilta päästövähennemäyksiköitä. (OpenCO₂.net julkaisuaika tuntematon.)

3.4 Hiilijalanjälkistandardit

ISO eli International Organization for Standardization on maailmanlaajuinen kansallisten standardisoimisjärjestöjen liitto. ISON teknisissä komiteoissa laaditaan useimmiten kansainväliset ISO-standardit. (SFS-EN ISO 14067, 2018, 4.)

”Standardisarja ISO 14060 tarjoaa selkeyttä ja johdonmukaisuutta kasvihuonekaasupäästöjen tai -poistumien laskentaan, seurantaan, raportointiin ja todentamiseen (kuva 1). Tämä mahdollistaa kestävä kehityksen tukemisen vähähiilisen talouden kautta. Siitä on hyötyä myös organisaatioille, projektien vetäjille ja sidosryhmille ympäri maailmaa, sillä se tarjoaa selkeyttä ja johdonmukaisuutta kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien laskentaan, seurantaan, raportointiin ja todentamiseen.” (SFS-EN ISO 14067, 2018, 5.)

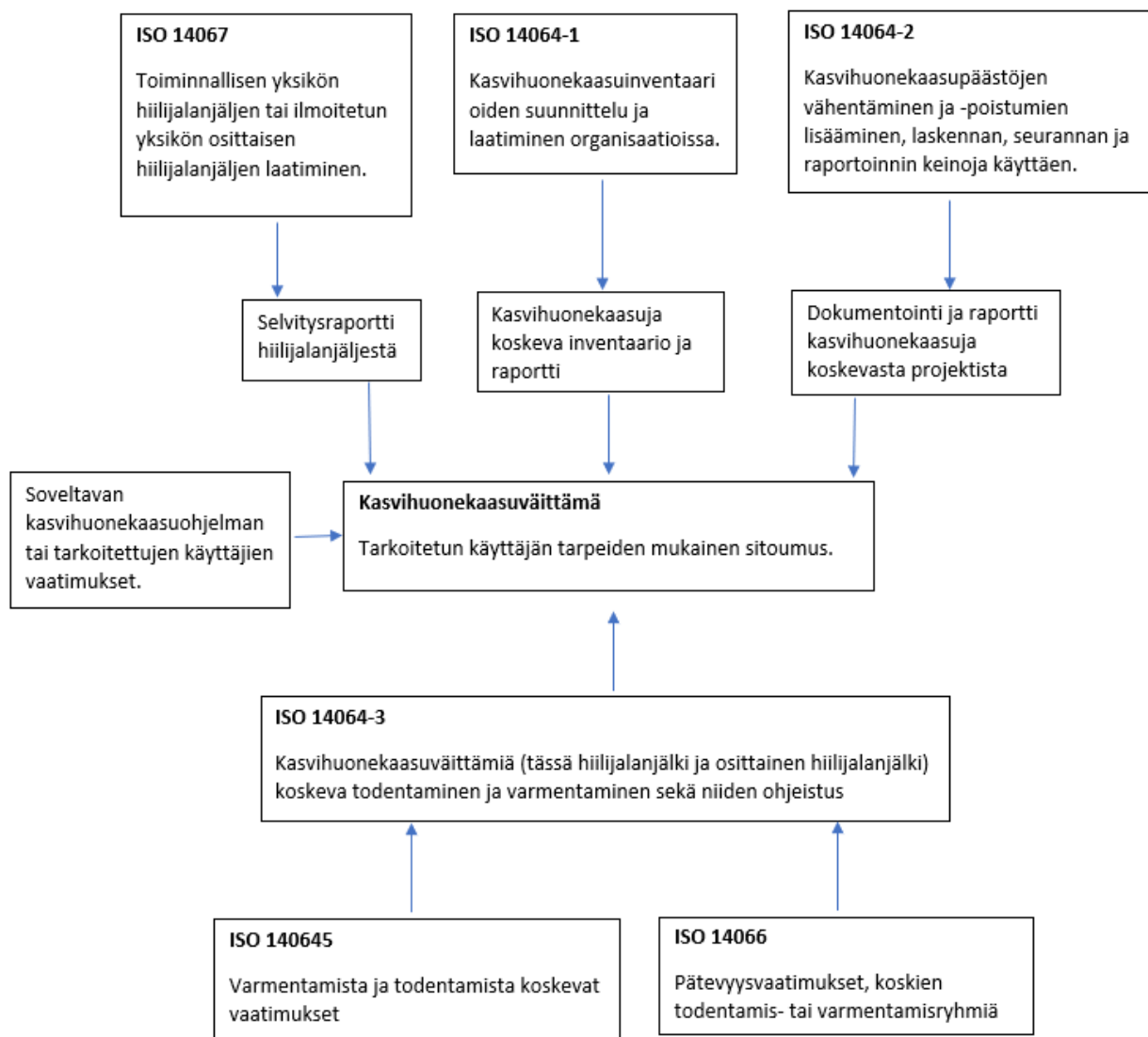
ISO 14067 standardissa on selkeytetty ja johdonmukaistettu hiilijalanjäljen laskentaa hyödyttäen mm. teollisuudenaloja ja palveluntarjoajia. ISO 14067 standardin asiakirjaa voi soveltaa mm. teknologioiden parantamisessa, tuotteiden tutkimuksesta ja kehittämisestä koskevien tietojen hankkimisessa sekä hiilijalanjäljen tason seurannassa. Lisäksi asiakirja mahdollistaa standardin ISO 14026 mukaisen hiilijalanjäljen viestinnän. (SFS-EN ISO 14067, 2018, 8, 20.)

Standardi ISO 14064 on jaettu kolmeen osaan, jotka ovat ISO 14064-1, ISO 14064-2 ja ISO 14064-3. Standardi ISO 14064-1 käsittelee organisaatiotason kasvihuonekaasuinventaarioiden suunnittelua, laatimista, hallintaa sekä raportointia koskevia periaatteita ja vaatimuksia. Vaatimukset koskevat niiden yrityskohtaisten toimenpiteiden tai toimien tunnistamista, jotka pyrkivät

- kasvihuonekaasujen hallinnan parantamiseen
- kasvihuonepäästöjen ja -poistumien rajojen määrittämiseen
- organisaation kasvihuonepäästöjen ja -poistumien laskentaan.

Standardissa ISO 14064-2 keskittyy kasvihuonekaasuja koskeviin projekteihin tai projektinomaisiin toimintoihin, jotka on suunniteltu kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen tai kasvihuonekaasupoistumien lisäämiseen. Standardissa ISO 14064-3 on vaatimukset kasvihuonekaasuinventaarioihin, -projekteihin ja tuotteiden hiilijalanjälkiin liittyvien kasvihuonekaasuväittämien todentamista. (SFS-EN ISO 14067, 2018, 8, 20.)

ISO 14060 standardista odotetaan olevan hyötyä muun muassa teollisuudenaloille ja organisaatioille selkeämmän ja johdonmukaisemman hiilijalanjäljen laskemisen ansiosta. Se on sovellettavissa monipuolisesti erilaisiin hiilijalanjälkiselvityksiin. Standardissa käsitellään vain yhtä vaikutusluokkaa, ilmastomuutosta. (SFS-EN ISO 14067, 2018, 20.)



KUVA 1. Standardisarjan ISO 14060 kasvihuonekaasuja koskevien standardien keskinäiset suhteet (Muokattu lähteestä: SFS-EN ISO 14067, 2018, 7)

3.5 GHG-protokolla

Kasvihuonekaasupäästöihin puuttamalla yritykset voivat tunnistaa mahdollisuuksia vahvistaa tulostaan, vähentää riskejä sekä löytää kilpailuetuja. Tehokas yritysten ilmastomuutosstrategia edellyttää yksityiskohtaisen käsityksen yrityksen kasvihuonekaasuvaikutuksista. (Greenhouse Gas Protocol 2011, 3.)

GHG-protocol corporate standard tarjoaa standardeja ja ohjausta yrityksille ja muille organisaatioille kasvihuonekaasupäästöjen kartoituksen laatimiseen. Kasvihuonekaasuprotokollassa päästöt jaetaan kolmeen soveltamisalaan: scope 1, scope 2 ja scope 3 (kuva 2 ja 3). Yhdessä nämä kolme 'scopea' eli soveltamisalaa tarjoavat kattavan kirjanpidollisen rakenteen suorien ja epäsuorien päästöjen

hallitsemiseen sekä vähentämiseen. GHG-protokollan yritysstandardin päätehtävänä on tarjota tarkka kokonaiskuva yrityksen kasvihuonepäästöistä, jotka ovat peräisin heidän suorasta toiminnastaan sekä arvoketjusta. (Greenhouse Gas Protocol 2015, 5.)

Yritysten laskiessa päästöjään, tulisi välttää soveltamisalojen (scope 1, scope 2 ja scope 3) päästöjen päällekkäin laskentaa. Lisäksi tulisi välttää, ettei useissa yrityksissä laskettaisi samoja päästöjä päällekkäin samalla soveltamisalalla. (Greenhouse Gas Protocol 2011, 3; Greenhouse Gas Protocol 2015, 34.)

GHG-protokollan yritysstandardi kattaa kuuden kasvihuonekaasun kirjanpidon ja laskennan, joita ovat hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄), typpioksidi (N₂O), fluorihilivety (HFCs), perfluorihilivety (PFCs) and rikkiheksafluoridi (SF₆). (Greenhouse Gas Protocol 2011, 6).

3.5.1 Scope 1

Tähän kuuluvat tuotannon suorat päästöt. Suorat päästöt ovat siis peräisin lähteistä, jotka ovat raportoivan yrityksen omistuksessa ja määräysvallassa. Näihin yritys voi vaikuttaa suoraan ja niitä on helpompi kontrolloida. Päästöt syntyvät paikan päällä yrityksen oman toiminnan seurauksena. Scope 1 kuuluvia päästölähteitä ovat esimerkiksi omistamista kattiloista tai ajoneuvoista aiheutuvat päästöt. Suorat CO₂ päästöt biomassan polttamisesta ei sisälletä Scope 1:een vaan raportoidaan erikseen. (Greenhouse Gas Protocol 2004, 25; Greenhouse Gas Protocol 2015, 33.)

3.5.2 Scope 2

Scope 2 päästöt kuuluvat epäsuoriin päästöihin. Nämä päästöt syntyvät yrityksen käyttämän ostetun energian tuotannosta. Ainakin neljää seuraavaa ostettua energiatyyppiä seurataan: sähkö, höyry, lämmitys ja viilennys. Esimerkiksi scope 2:een luokiteltavaa energiamuotoa sähköä käytetään melkein kaikissa yrityksissä. Sähköä käytetään koneiden toimintoihin, valaistukseen, sähköisten ajoneuvojen lataukseen sekä tietyn tyyppisissä lämmitys- ja viilennysjärjestelmissä. (Greenhouse Gas Protocol 2015, 6, 34.)

Scope 2 on maailmanlaajuisesti yksi suurimmista kasvihuonekaasupäästöistä. Lämmön ja sähkön tuotannon osuus on nykyään ainakin kolmannes kaikista kasvihuonekaasupäästöistä. Sähkön kuluttajilla on merkittävät mahdollisuudet vähentää näitä sähkön tuottamisesta aiheutuvia päästöjä alentamalla sähkön kysyntää. Sähkön kuluttajat ovat myös tärkeässä roolissa energian tuotannon kääntämisessä vähähiilisiin energianlähteisiin. (Greenhouse Gas Protocol 2015, 6, 34, 35.)

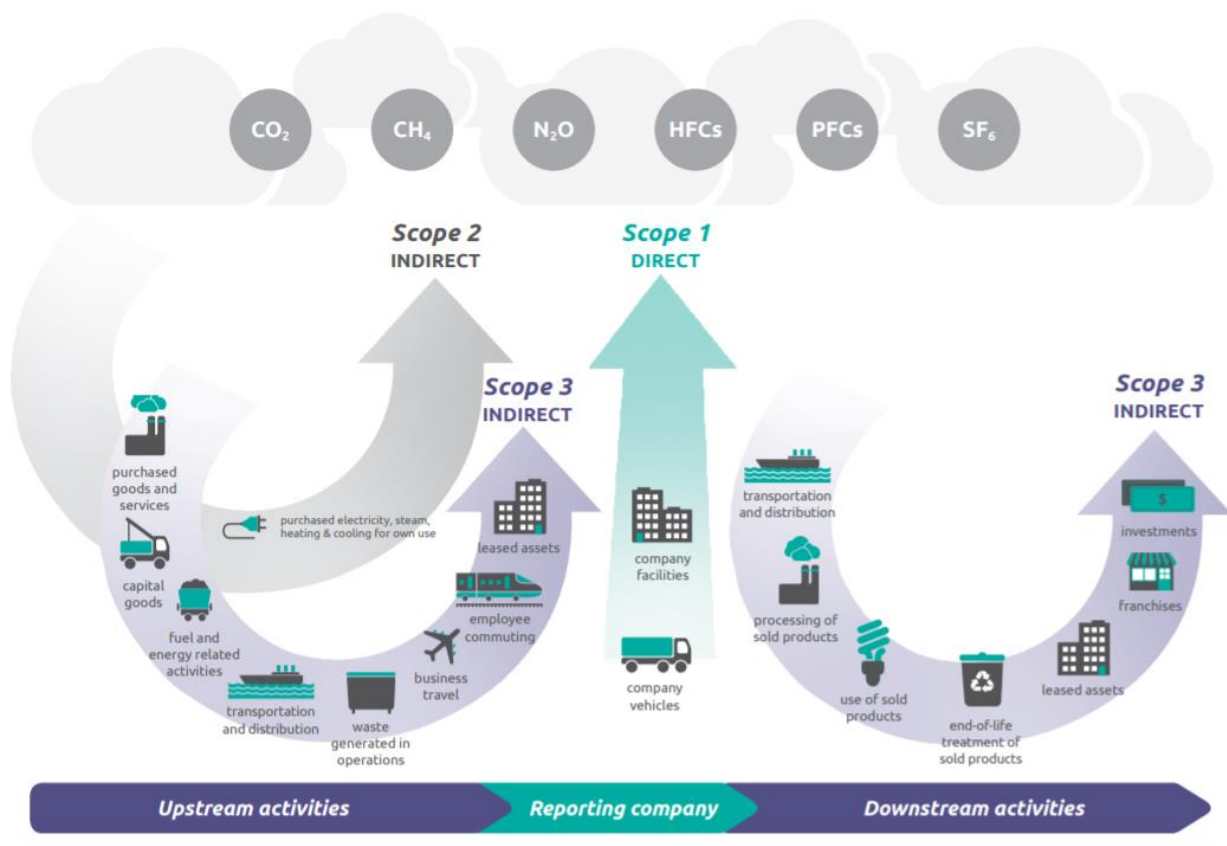
3.5.3 Scope 3

Scope 3 on vapaaehtoinen raportointikategoria, joka mahdollistaa kaikkien muiden epäsuorien päästöjen käsittelyn. Scope 3 tarjoaa mahdollisuuden olla innovatiivinen kasvihuonekaasujen hallinnan saralla. Nämä päästöt ovat peräisin yrityksen toiminnasta, mutta ne ovat peräisin lähteistä, jotka eivät ole yrityksen omistuksessa tai määräysvallassa. Scope 3:n päästöt ovat yleensä merkittävin yrityksen päästölähde, joka on lisäksi työläin selvittää. (Greenhouse Gas Protocol 2011, 6, 5.)

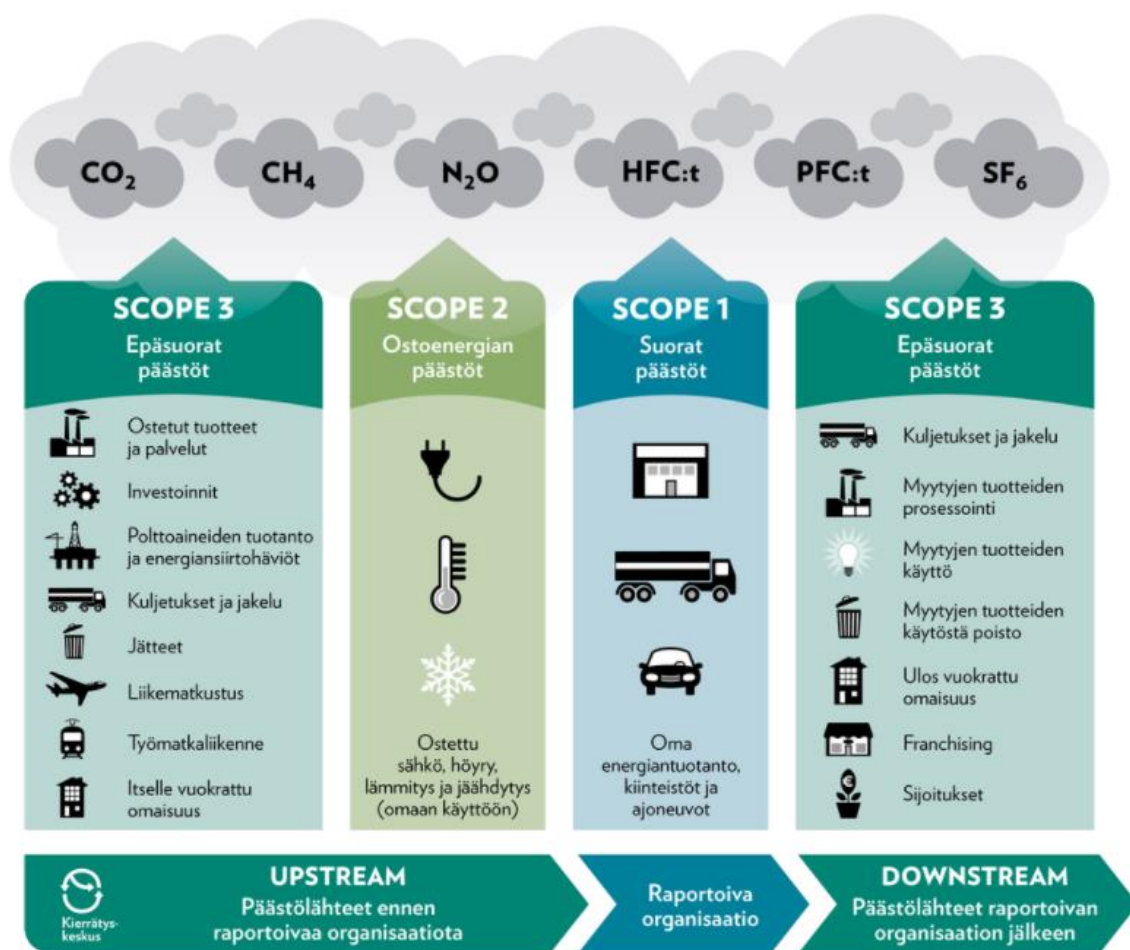
Scope 3:n kategoriaan kuuluu

- ostetun materiaalin louhinta ja tuotanto,
- liikenteeseen liittyvät toimet, (kuten ostettujen materiaalien, tavaroiden ja öljyn kuljetus, sekä työntekijöiden kulkeminen töihin ja töistä pois sekä työmatkat)
- sähköön liittyvät toiminnot, jotka eivät kuulu Scope 2:een:
 - vuokratut varat
 - franchising
 - myytyjen tuotteiden ja palveluiden käyttö
 - jätehuolto.

Scope 3:sen kirjanpidon ei tarvitse sisältää kuitenkaan kaikkien tuotteiden ja toimintojen kasvihuonekaasujen elinkaarianalyysia. Yleensä on tärkeintä keskittyä yhteen tai kahteen suurimpaan kasvihuonekaasuja tuottavaan toimeen. (Greenhouse Gas Protocol 2011, 25, 29.)



KUVA 2. Yleiskatsaus Scope 1, 2 ja 3:esta sekä päästöjen arvoketjusta (The Greenhouse Gas Protocol 2011, 5)



KUVA 3. GHG Protocol Corporate Value Chain Accounting and Reporting -standardin mukaiset hiilijalanjäljenlaskennan Scope -luokat ja kategoriat (Ekokompassi julkaisu-aika tuntematon)

3.6 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjälki termi toimii vastakohtana hiilijalanjäljelle. Sillä viitataan tuotteen positiivisten ilmastohyötyjen vaikutukseen sen elinkaaren aikana. Hiilikädenjäljellä ei ole niin sanotusti positiivisten vaikutusten ylärajaa. (Pajula ym. 2018, 12.) Termillä tarkoitetaan ilmastohyötyjä, joita rakennuksen elinkaaren aikana voidaan saavuttaa. Hiilikädenjäljen hyötyihin lukeutuu esimerkiksi rakennusosien uudelleenkäyttö tai materiaalien kierrätyksen avulla vältetyt kasvihuonekaasut, ylimääräisen uusiutuvan energian tuotto rakennuksessa tai tontilla sekä eloperäinen hiili, joka on varastoituneena rakennusmateriaaleihin sekä elinkaaren aikana niihin mahdollisesti sitoutuva ilmahan hiilidioksidi. Lisäksi on tärkeä huomioida, ettei hiilikädenjälkeä vähennetä hiilijalanjäljestä. Vähähiilisellä rakennuksella on suuri hiilikädenjälki ja pieni hiilijalanjälki. (Ympäristöministeriö 2019, 30.)

4 KOHTEENA OLEVIEN KIINTEISTÖJEN KUVAUS

Tässä opinnäytetyössä lasketaan suuntaa antava hiilijalanjälki Navitas Yrityspalveluiden toimi- ja teollisuustiloille. Navitas Yrityspalvelut (julkaisuaika tuntematon) tarjoaa yritykselle ja yrittäjälle kaikki tarvittavat palvelut elinkaaren eri vaiheissa yhdestä ja samasta paikasta. Palvelut on tarkoitettu sekä Varkauden seudulla toimiville että alueelle sijoittumista harkitsevalle yritykselle.

Navitas Yrityspalvelut muodostuu Navitas Kehitys Oy:stä, Keski-Savon Teollisuuskylä Oy:stä ja Varkauden Taitotalo Oy:stä. Yhtiöt ovat 100 % Varkauden kaupungin omistamia. Wäläky Keski-Savon Uusyrittäjäkeskus ry toimii yhdistyspohjaisena ja sen jäsenistö muodostuu yritysten, elinkeinoelämän ja oppilaitosten edustajista sekä alueen kuntatoimijoista. Navitas Yrityspalveluiden omistaja on Varkauden kaupunki. Yrityspalvelu tarjoaa palveluita yrityksen perustamiseen, kasvuun ja kansainvälistymiseen. Tukea saa myös toimitilaratkaisuihin sekä alueelle sijoittumiseen. Palveluista osan Navitas Yrityspalvelut tuottaa itse ja osassa käyttää apuna laajaa yhteistyöverkostoa. (Navitas Yrityspalvelut julkaisuaika tuntematon.)

Nimi Navitas on latinaa ja tarkoittaa energiaa, 'nouse ylös ja toimi'. Kyseisellä nimellä halutaan tuoda esille aktiivinen toiminta, jonka pyrkimyksenä on Varkauden seudun kehittäminen. (Navitas Yrityspalvelut julkaisuaika tuntematon.)

Navitas Yrityspalveluiden painopisteet vuonna 2021 ovat olleet: sijoittumiset, tilaratkaisut ja tontit, yritysten kasvun ja kansainvälistymisen tukeminen, yrityksen kilpailukyvyn turvaaminen, konserniyhteistyön saumattomuus, matkailun kehittäminen, vetovoimaisuudesta huolehtiminen ja seudullinen yhteistyö. Navitas Yrityspalveluiden missio on 'vahvistaa Varkauden seudun vetovoimaisuutta, kiinnostavuutta ja elinkeinoelämän kehittymistä sekä edistää työpaikkojen syntymistä ja säilymistä.' (Navitas Yrityspalvelut julkaisuaika tuntematon.)

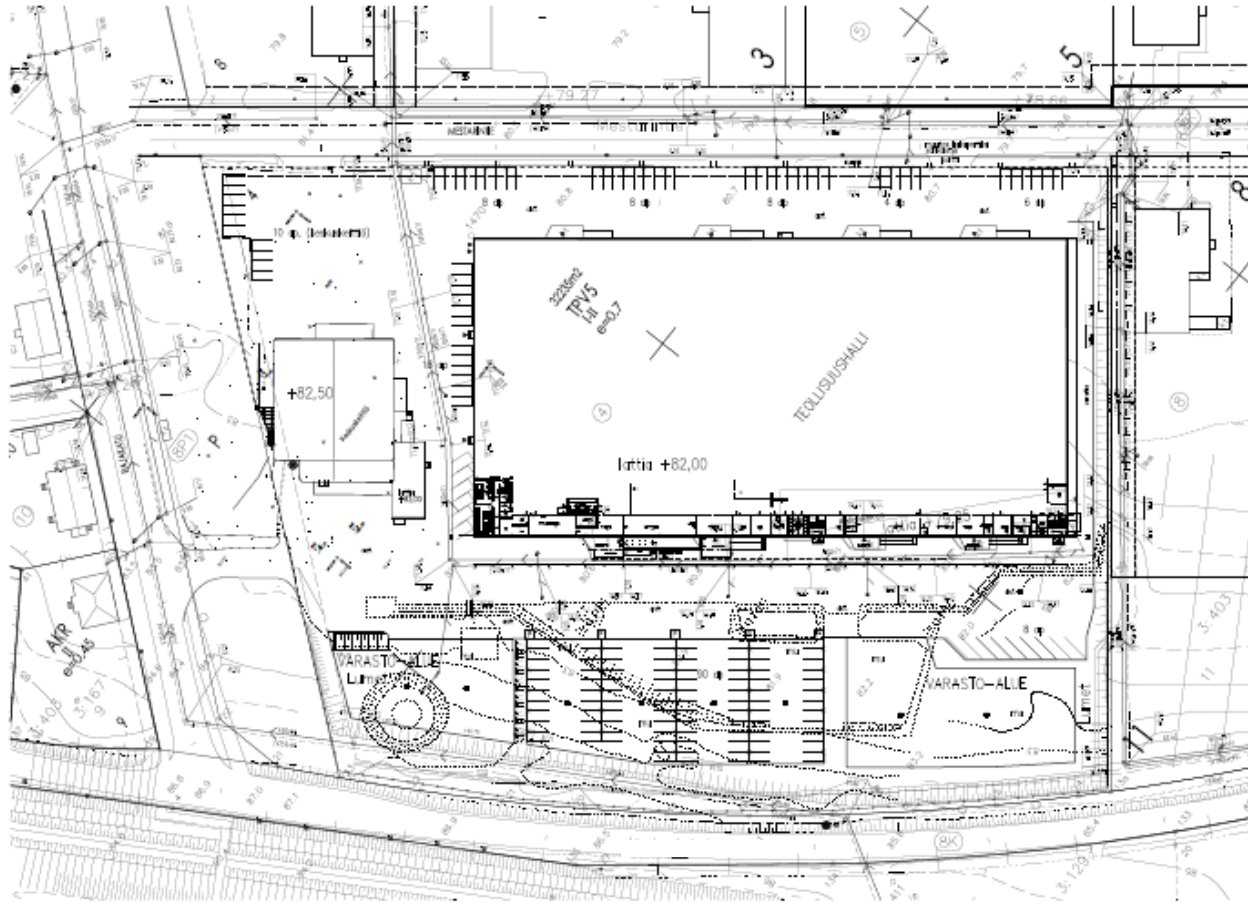
Kiinteistöjen hiilijalanjäljen laskentaan sisällytettiin tontilla sijaitseva päärakennus sekä asfaltoitu tonttialue.

4.1 Teollisuus A1

Teollisuuskiinteistön (Varkaus) tontilla sijaitsee Teollisuus A1 kiinteistön lisäksi lämpökeskus ja jätekatos. Teollisuuskiinteistön päärakennus on rakennettu monessa eri osassa. Ensimmäinen vaihe A-lohko valmistui vuonna 1971, B-lohko vuonna 1972 ja viimeisin laajennus C- ja D-lohkot vuoden 1974 puolella. Päärakennus on tasakattoinen, huopakatteinen betonielementtirakenteinen teollisuuskiinteistö (kuva 4), jossa kaikki tilat ovat lämpimiä. Kiinteistö on liitetty Varkauden aluelämpöön 30.9.2012. Rakennuksen ikä huomioiden sisätilat ovat hyvässä sekä julkisivut tyydyttävässä kunnossa.

Tontin pinta-ala on 32 235 m². Tontti on vuokrattu Varkauden kaupungilta vuokrasopimuksella. Asemakaavassa tontti sijaitsee yhdistettyjen pienteollisuus- ja varastorakennusten korttelialueella (kuva 5). Tontilla on rakennusoikeutta 22 565 kerrosala-m², josta 2011 vuonna tehdyn kiinteistön arvonmäärityksen mukaan oli käytetty 10 000 kerrosala-m². Lohkot ovat samankokoisia, noin 2 500 m² ja C-lohkolla on lisäksi 500 m² väestönsuojatilat. Tontin tehollisuus on e'=7. Liikennöitäviltä osin tontti on kestopäällystetty ja osa pysäköintialueesta on sorapinnoitteista. Tontti on aidattu panssariverkolla.

Asemapiirros 1:500

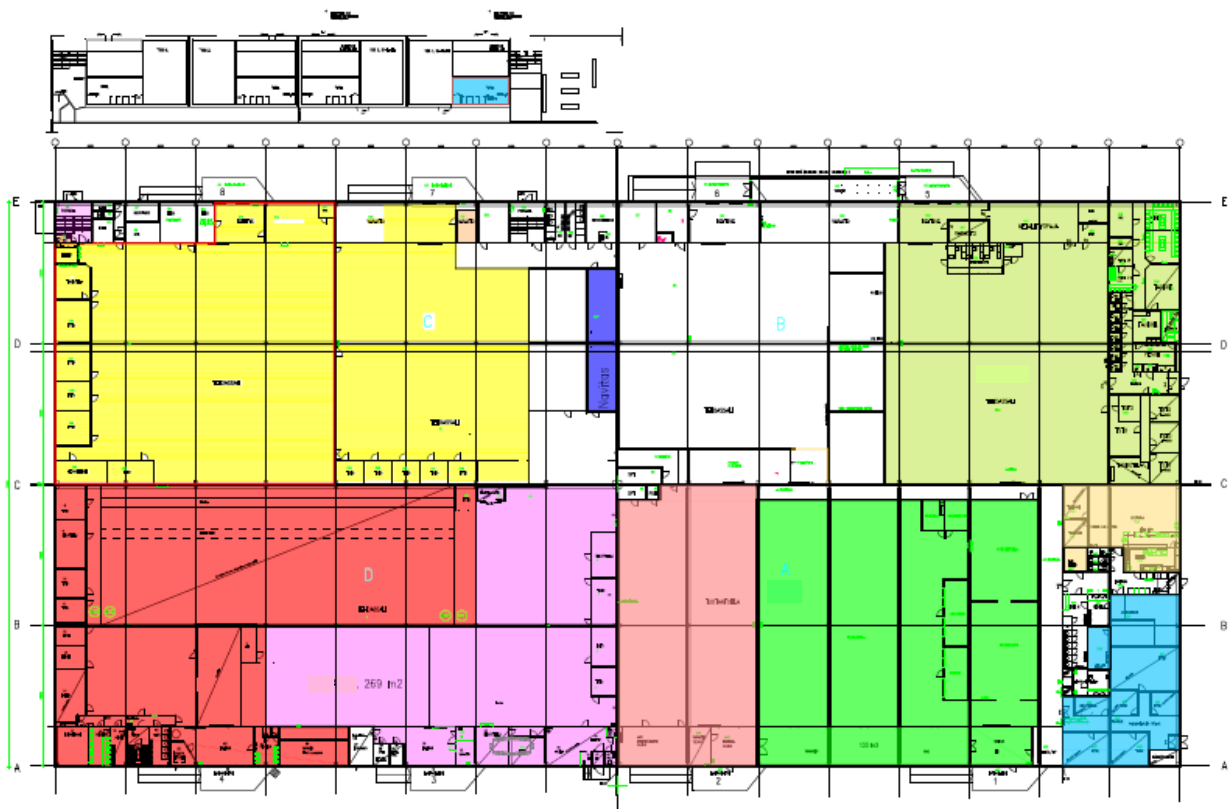


KUVA 4. Teollisuus A1 kiinteistön asemakuva. (Navitas Kehitys Oy 2021)

Alun perin teollisuuskiinteistö rakennettiin Eiserin sukkahousutehtaaksi, jonka toiminnan päätyttyä kiinteistössä on harjoitettu ompelutoimintaa sekä muuta teollista toimintaa. (Kaulamo 2011) Vuonna 2021 päivitetyn pohjapiirustuksen mukaan kiinteistössä toimii 11 yritystä (kuva 6).



KUVA 5. Teollisuus A1 kiinteistön julkisivu (Google Maps 2009)



KUVA 6. Teollisuus A1 kiinteistön pohjapiirustus (Malvi/mjm 2021)

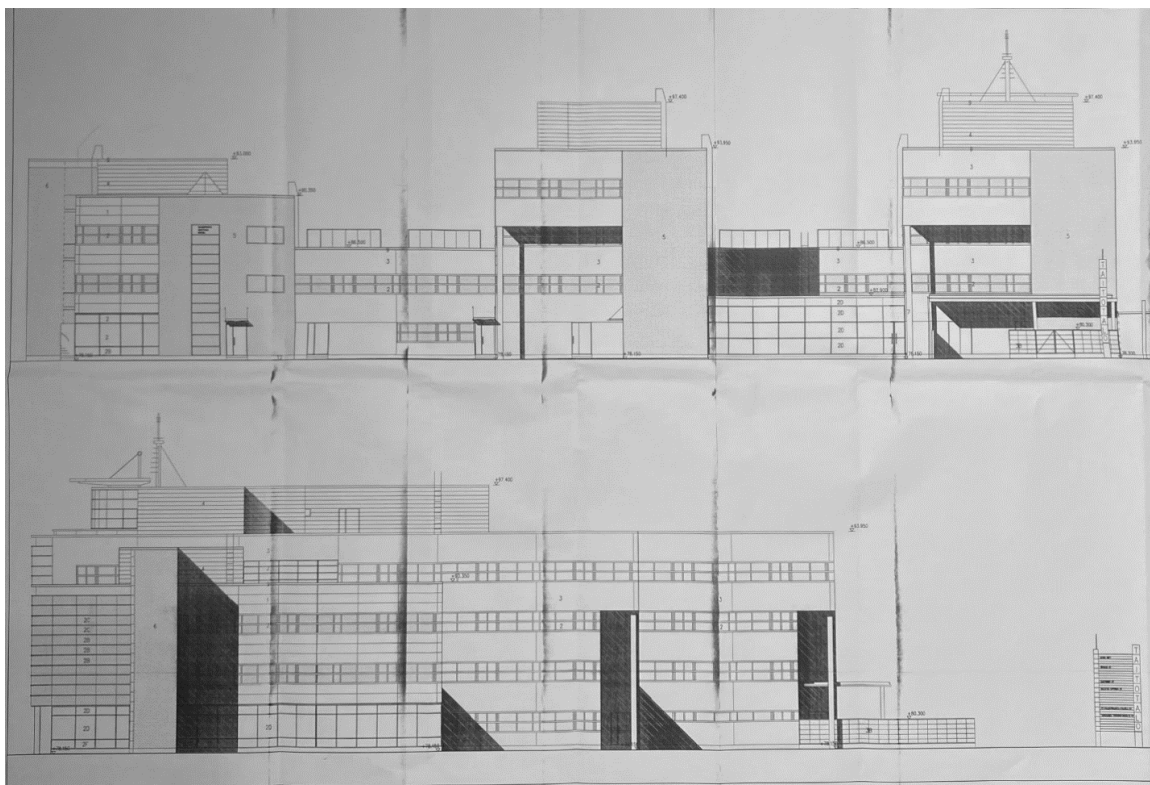
4.2 Toimisto A2

Toimisto A2 toimitilakiinteistö sijaitsee hyvien kulkuyhteyksien päässä Saimaan rannalla, Varkaudessa. Toimisto A2 rakennus valmistui vuonna 2002. (Navitas Yrityspalvelut julkaisu aika tuntematon.) Rakennus koostuu Teollisuus A1 rakennuksen tapaan eri osista: A, B ja C. Nämä ovat kuitenkin Teollisuus A1 poiketen tehty samanaikaisesti. Toimisto A2 rakennus koostuu lisäksi viidestä kerroksesta. Toimiston rakenteen ja sijainnin voi havainnoida Toimisto A2:n asemapiirustuksesta (kuva 7),

sekä rakennuksen kerrokset koillisesta kakkoon suuntaavasta julkisivupiirustuksesta (kuva 8). Rakennuskohteen laajuus bruttoalana on noin 9 090 m². Bruttoala jakaantuu eri kerroksiin seuraavasti: 1. krs 2 611 m² (kuva 9), 2. krs 2 405,5 m², 3. krs 1 984,5 m², 4. krs 1 704,5 m² ja 5. krs 372 m².



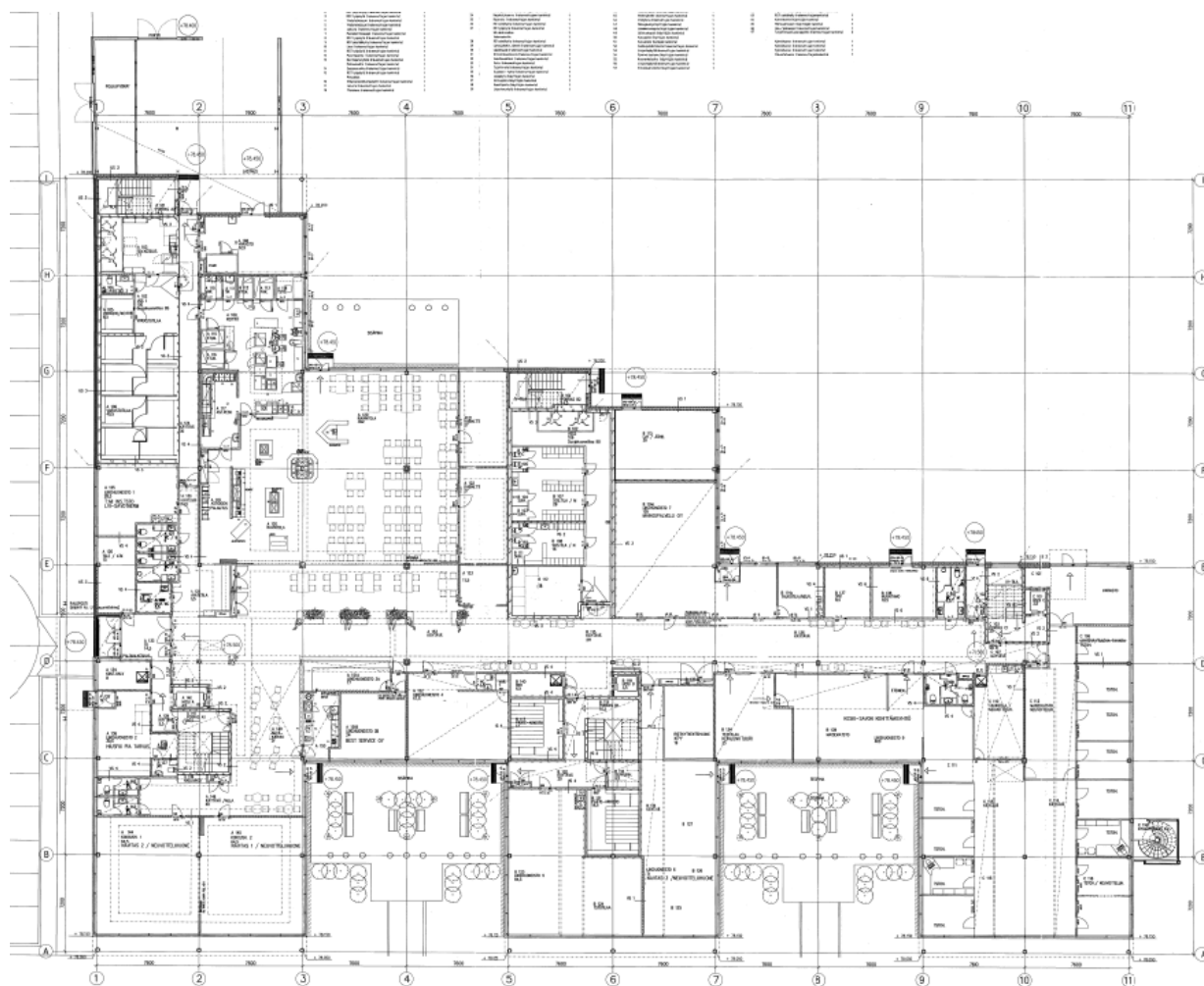
KUVA 7. Toimisto A2 kiinteistön asemapiirustus (Arkkitehtitoimisto Pekka Paavola Oy 2001)



KUVA 8. Toimisto A2 kiinteistön julkisivukuva koilliseen ja kaakkoon (Arkkitehtitoimisto Pekka Paavola Oy 2000)

Kiinteistöyhtiö hallinnoi Toimisto A2 ja Toimisto B kiinteistöjä. Toimisto A2 ja B kiinteistöissä on tarjolla laadukkaat toimisto- ja kokoustilat (kuva 11) yritysten käyttöön. Toimisto A2 ja B vuokralaisilleen tarjoamiin monipuolisiin palveluihin sisältyy aulapalvelu, kulunvalvonta, vartiointi, talousalueen laajin valikoima kokoustiloja, kopiointi-, tulostus-, ja tulkkaukspalveluita sekä henkilöstövuokraus, sähköauton latauspiste sekä sähköpyörien latausasema ePyöräkatos. (Navitas Yrityspalvelut julkaisuaika tuntematon)

Toimisto A2 ja B kiinteistöissä toimii laaja kirjo eri toimialojen yrityksiä, jotka edustavat mm. auto-maatio-, energia-, tietotekniikka-, taloushallinto-, metalli-, metsä- ja ympäristötekniikan aloja. Tähän sisältyy sekä suuria kansainvälisiä yrityksiä, pk-yrityksiä sekä yhden henkilön toimijoita. Yritysten erilaisiin tarpeisiin vastaten kiinteistöt sisältävät kaiken kaikkiaan 11 hyvin varusteltua ja valoisa kokoustilaa sekä monipuolisesti toimistohuoneita. Kokoustilat soveltuvat 4–90 henkilön tapahtumien järjestämiseen. Tarvittaessa voi käyttää myös ravintolasali Kruunaria (kuva 10), jonne mahtuu jopa 300 henkilöä. (Navitas Yrityspalvelut julkaisuaika tuntematon). Kuvista 10 ja 11 voi nähdä minkä tyyppistä lattiaa, seinää ja kattoa rakennuksen sisätilat sisältävät. Kuvissa olevat huonekalut eivät ole mukana laskennassa.



KUVA 9. Toimisto A2 kiinteistön pohjapiirustus, krs.1 (Arkkitehtitoimisto Pekka Paavola Oy 2000)



KUVA 10. Toimisto A2, aula ja ruokailutila (Nousiainen 2021, CC BY-SA)



KUVA 11. Toimisto A2, tyypillinen kokoushuone (Nousiainen 2021, CC BY-SA)

5 KOHDEKIINTEISTÖJEN RAKENNE

Teollisuuskiinteistön ja toimitilakiinteistön rakenne eroavat merkittävästi toisistaan. Rakenteiden eroavaisuuksiin vaikuttavat niiden käyttötarkoitukset sekä niiden rakennusaika. Rakennuksia kuitenkin yhdistää niiden betoninen rakenne. Teollisuus A1 on pääasiassa teollisuuskäyttöön tarkoitettu betonirakennus, joka sisältää vain harvakseltaan ikkunoita. Toimisto A2 on vastaavasti siistiin toimistotyöhön tarkoitettu rakennus suurine valoa tuovineen ikkunoineen. Rakennuksissa käytetyissä elementtiratkaisuissa on eroa mm. yläpohjan suhteen. Teollisuus A1 rakennuksen yläpohjassa on käytetty TT-laatta elementtejä. Vastaavasti Toimisto A2 rakennuksessa on päädytty käyttämään ontelolaattaelementtejä.

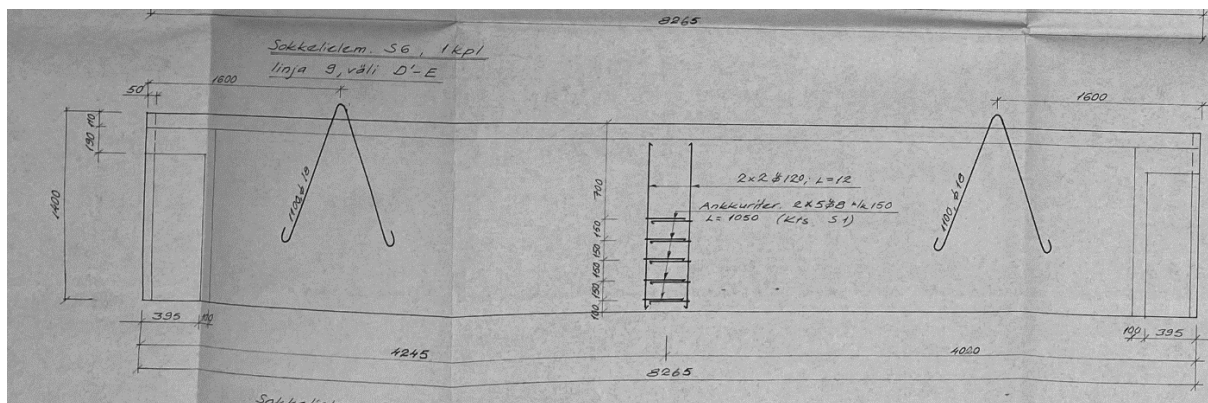
5.1 Teollisuus A1 kiinteistön rakenne

Teollisuuskiinteistön hallin rakennusmateriaalien määrät on laskettu pääasiassa Teollisuus A1 kiinteistön eri osien rakennusselityksiä hyödyntäen sekä erityisesti mittapiirustusten avulla. Mittapiirustuksien avulla saatiin selville elementtien määrä ja mitat millimetreinä (leveys, pituus, mahd. paksaus). Tarvittavat tarkemmat, yksityiskohtaisemmat tiedot saatiin rakennusselostuksesta.

Teollisuuskiinteistön mittapiirustuksista kerättiin tietoja seuraavista materiaaleista: Betonipalkki (lämpökeskus), elementtipilari, elementtipilari (lämpökeskus), jännebetonipalkki, jännebetonipalkki (vesikatto), maanvarainen betonilaatta, metalliovi, savunpoistoluukku (vesikatto), sokkielelementti, teräslevy (8kpl/teräsbetonipalkki), TT-laatta, TT-laatta lämpökeskus, TT-laatta vesikatto ja Ulkoseinäelementti. (Tyynysniemi 1973.)

Teollisuus A1 on rakennettu neljään eri osaan. Osat rakennettiin peräkkäisinä vuosina A 1971, B 1972 sekä viimeisenä C ja D vuonna 1973. Tämän pienen aikavälin johdosta osat eivät eroa rakenteellisesti paljoakaan. Tämän kolmen vuoden aikavälillä ei tullut suurempia rakentamiseen liittyviä muutoksia. Osat ovat näin melko saman kaltaisia. Tämän johdosta seuraavassa kuvataan vain yhtä osaa C. Havainnoivia elementtikuvia on myös muistakin osista.

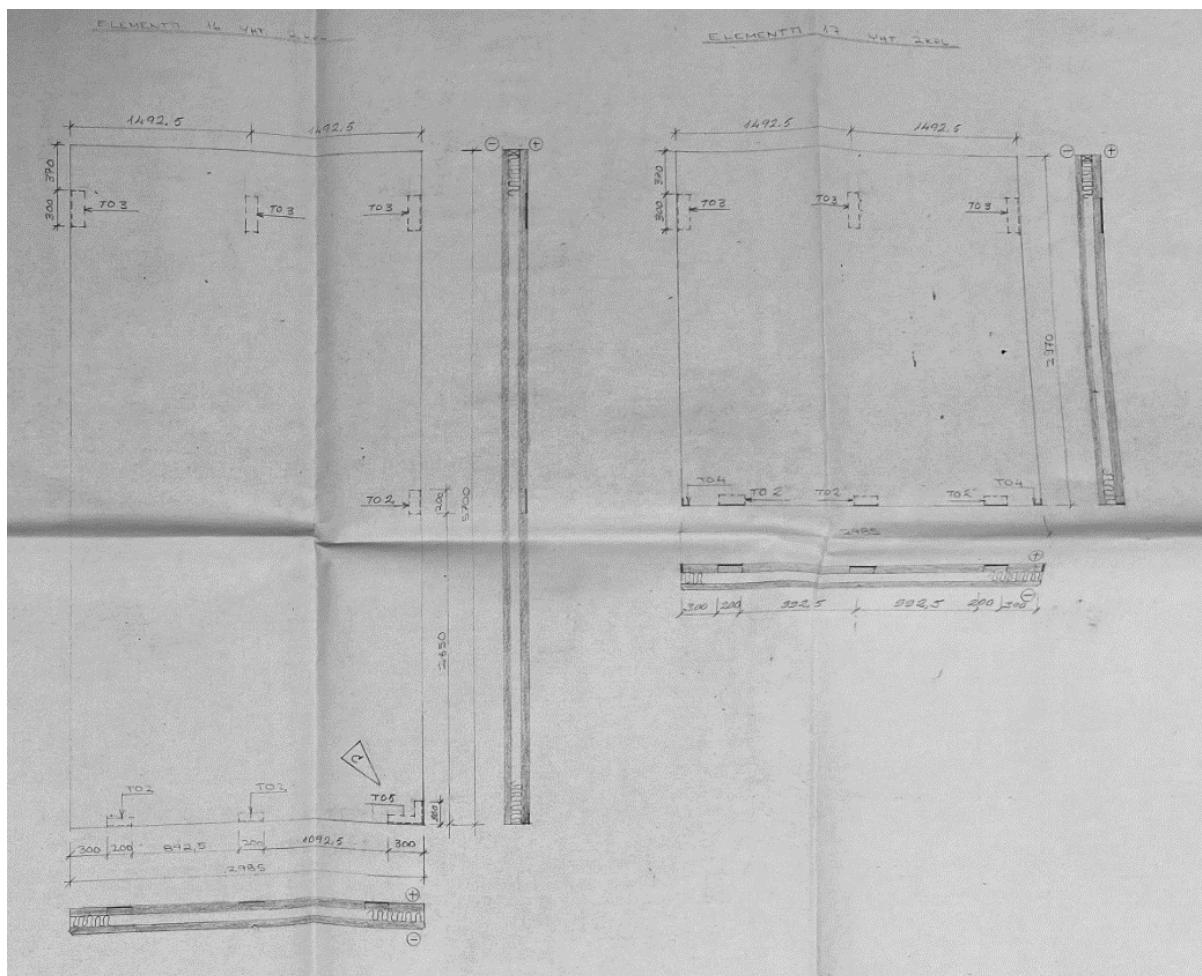
Hallin kantava runkomateriaali on betonia. Hallin pilariperustukset, lastaussiltojen perustukset, lämpökeskuksen perustukset sekä öljysäiliön perustukset on tehty betonista paikallavaluna. Sokkelipalkit on tehty puolestaan betonielementteinä (kuva 12). (Tyynysniemi 1973.)



KUVA 12. Teollisuuskiinteistön B-osan sokkielelementti S6 (Tyynysniemi 1971)

5.1.1 Seinärakenteet

Hallin ja lämpökeskuksen ulkoseinät koostuvat pääosin sandwich-betonielementistä. Tämän rakenne ulkoapäin lukien on: betoni 5 cm – mineraalivillalevy PV-75L (vuorivilla/kivivilla) 9 cm – betoni 7 cm. Kuvassa 13 on piirroskuva B-osan kahdesta erikokoisesta ulkoseinäelementistä. (Tynnysniemi 1973.)



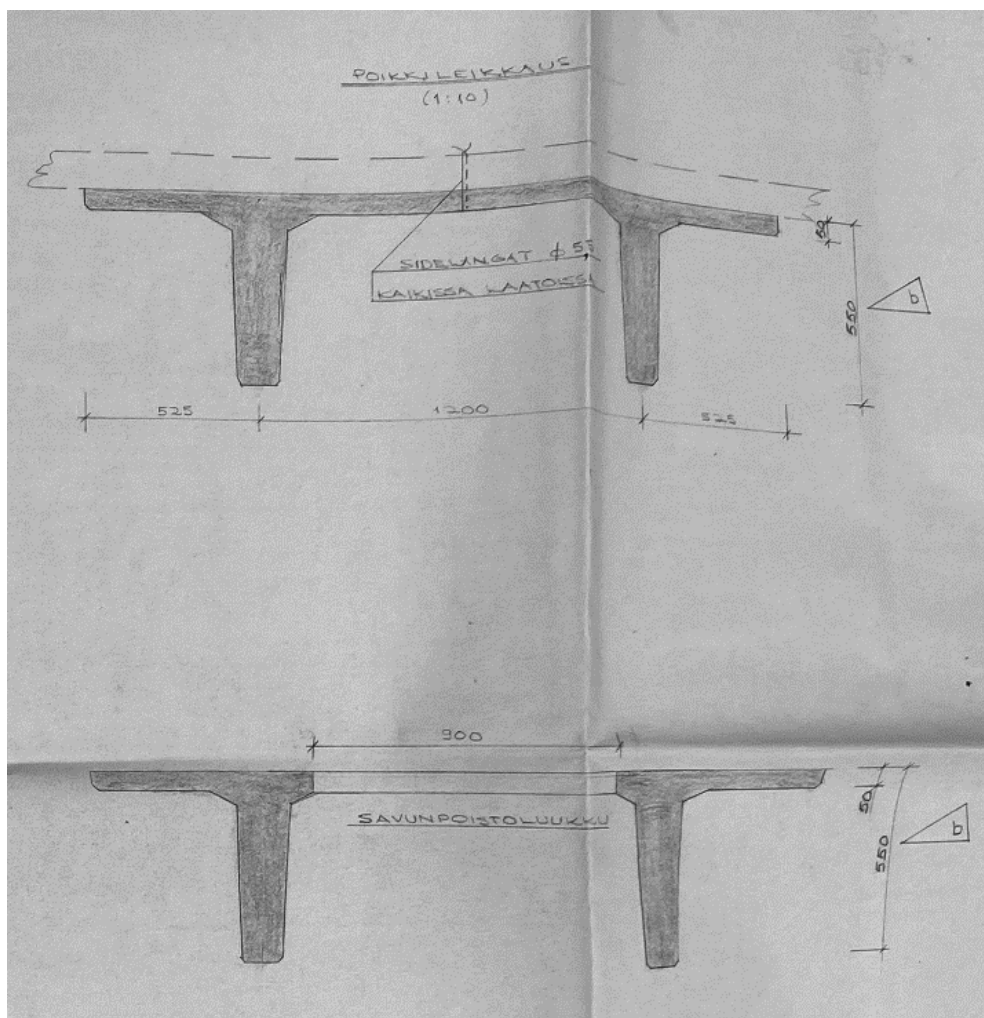
KUVA 13. Teollisuuskiinteistön B-osan ulkoseinäelementit 16 ja 17 (Tynnysniemi 1971)

Ilmastointikojuhuoneen ulkoseinät ovat puolestaan teräsrunkoista lämpöeristettyä rakennetta, jossa sisäpinta on minerit-levyä ja ulkopinta profiloitua alumiinilevyä ja höyrysulkuna on käytetty muovikelmua. (Tynnysniemi 1973).

Hallin ja lämpökeskuksen väliseinät ovat kalkkikiiekkatiilestä muurattuja. Ilmastokojuhuoneen väliseinät ovat ulkoseinän tapaan teräsrunkoiset ja ne on verhoiltu molemmin puolin minerit-levyllä. (Tynnysniemi 1973.)

5.1.2 Ala- ja yläpohjarakenteet

Hallin ja lämpökeskuksen lattiat ovat maanvaraisina betonista. Ilmastokojuhuoneen lattiana toimii hallin yläpohja. Hallin yläpohja on vuorostaan tehty TT-betonielementtilaatoista, joissa on päällä höyrysulku ja lämpöeristeenä mineraalivilla (kuva 14). Ilmastointikojuhuoneen yläpohja on teräsrunkoinen, johon on kiinnitetty sisäverhoukseksi minerit-levy. Näiden päällä on höyrysulkuna muovikeltu ja lämpöeristeenä mineraalivilla. Lämpökeskuksen yläpohja on tehty TT-betonielementtilaatoista, joissa on lämpöeristeenä mineraalivillaa. (Tynnysniemi 1973.)



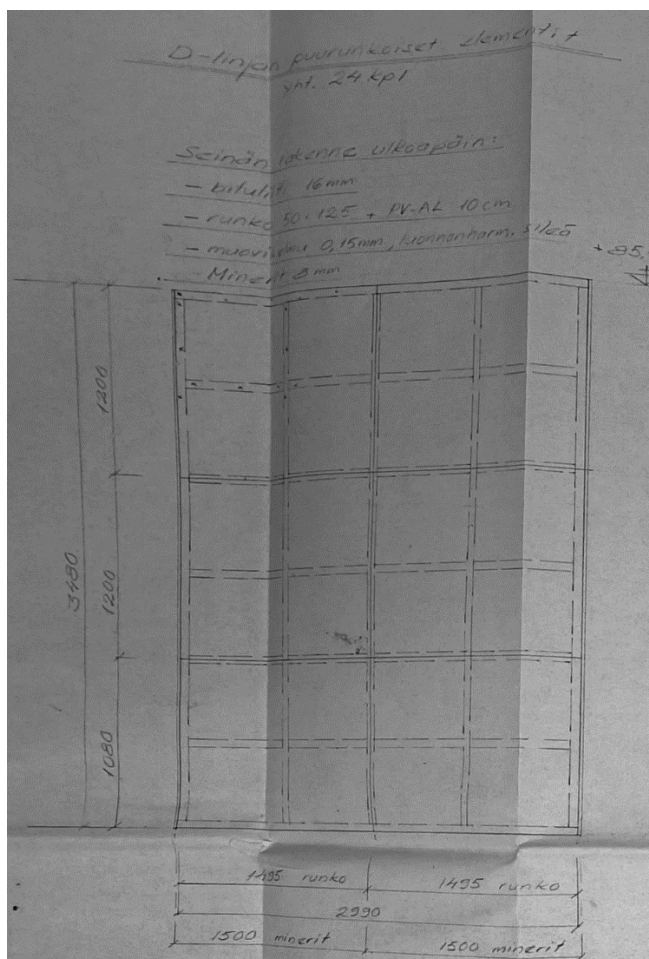
KUVA 14. Teollisuuskiinteistön C-osan TT-laatat 17–19, savunpoistoluukulla ja ilman (Tynynsniemi 1972)

Hallin vesikattorakenne on puurakenteinen, jonka katteena on 3-kertainen huopa + singeli. (Tynynsniemi 1973).

5.1.3 Kantava runko ja puurunkoinen elementti

Hallin kantava runkorakenne koostuu seuraavanlaisista betonielementeistä: sivuseinän pilarit 45 x 35 x 460, keskilinjän pilarit 45 x 50 x 445 ja päätypilarit 45 x 45 x 45. Pilareiden varaan on asennettu jännebetonipalkit, jotka sivuseinillä ovat I 100 x 35 x 900 ja keskellä 150 x 45 x 900. Lämpökeskuk-
sen kantava runko koostuu puolestaan seuraavista elementeistä: ulkoseinillä on pilarit 30 x 30 x 575. Sivuseinille on asennettu pilareiden varaan seuraavanlaiset betonipalkit: S 40 x 40 x 450. (Tynynsniemi 1973.)

Kuvassa 15 on piirustus teollisuuskiinteistön puurunkoisesta seinäelementistä. Kyseinen elementti sisältää mineriittiä, josta on lisätietoa luvussa 6.



KUVA 15. Teollisuuskiinteistön mineriittiä sisältävä C-D linjan puurunkoinen elementti ja sen mitat (Tyynysiemi 1972)

5.2 Toimisto A2 kiinteistön rakenne

Toimitilakiinteistön materiaalien määrälliset tiedot on saatu käyttäen hyödyksi kiinteistöstä löytyviä tiedostoja, kuten Teollisuus A1 tapaan rakennusselostusta sekä erilaisia piirustuksia, kuten rakenne-, elementti- ja osapiirustuksia. Näiden lisäksi hyödynnettiin erilaisia kaavioita (mm. lasiseinistä), ovi- ja ikkunaluetteloita sekä tyyppihuoneselostusta.

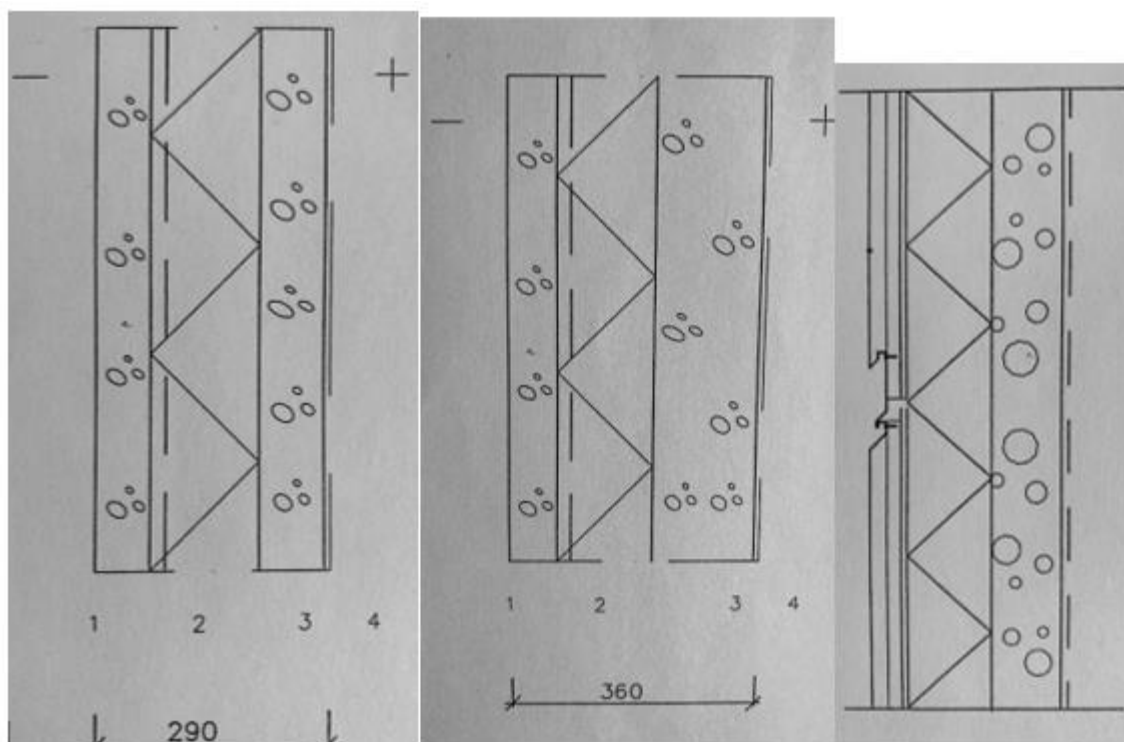
Rakenneselostuksesta saatiin monipuoliset pohjatiedot toimitilakiinteistöstä ja sen avulla tiedettiin mistä lähteä etsimään lisätietoa kustakin materiaalista. Pohjapiirustuksen avulla saatiin laskettua mm. pesuallaiden ja wc-pönttöjen määrä sekä seinien pituudet leveysuunnassa. Tästä on lisätietoa luvussa 7.

5.2.1 Seinärakenteet

Toimitilarakennuksen kantava runko on tehty betonitäytteisin teräspilarein ja -palkein. Lisäksi rakennuksen julkisivussa voi nähdä 8 erilaista ulkoseinätyyppiä, joita ovat kevyt ulkoseinä elementti (US1), kantava ulkoseinäelementti (US2), julkisivumetallilevy (US3), IV-konehuoneen Paroc-elementtiseinä (US4), saunan Paroc-elementtiseinä, kevyt ulkoseinärakenne (SR1) sekä lasiseinät (LSA ja LS). Ulkoseinät sijoittuvat rakennuksessa seuraavasti

- kevyt ulkoseinäelementti on yleisesti julkisivuilla ja kantava ulkoseinäelementti kantavissa julkisivuissa
- julkisivumetallilevyä esiintyy mm. pääsisäänkäyntijulkisivulla
- kevyt ulkoseinärakenne (SR1) mm. julkisivussa pilarin kohdalla
- kiinteä alumiinilasiseinä ja auringonsuojalasi sijaitsevat pääosin 2–4 kerroksien lounaan suuntaisissa julkisivujen siivissä
- alumiinilasista koostuva ulkoseinää on mm. 1. kerroksen porrashuoneiden ulkoseinissä. (Pöllänen ym. 2001.)

Ulkoseinäelementit ovat pääosin hienopestyjä valkobetonisandwich-elementtejä ja keraamisella laattalla pinnoitettua sandwich-elementtejä. Esim. kevyt ulkoseinäelementti ja kantava ulkoseinäelementti koostuvat molemmat ulkokuoresta, joka sisältää valkobetonielementin ja mineraalivillaa, sekä sisäkuoresta, joka on teräsbetonia (kuva 16). Pääsisäänkäynnin sivulla elementtinä on vastaavasti vain sisäkuori. Siinä on käytetty julkisivumetallilevyä, joka koostuu betonisesta sisäkuoresta sekä komposiittisesta 1,0 mm paksusta PVF2-pintaisesta metallilevystä, tuulensuojalevystä, mineraalivil-
lasta (kuva 16). (Pöllänen ym. 2001.)



KUVA 16. Toimitilarakennuksen tyypilliset ulkoseinäelementit ja niiden rakennepiirustukset, kevyt ulkoseinäelementti (US1), kantava ulkoseinäelementti (US2) ja julkisivumetallilevy (US3) (Laitinen 2000)

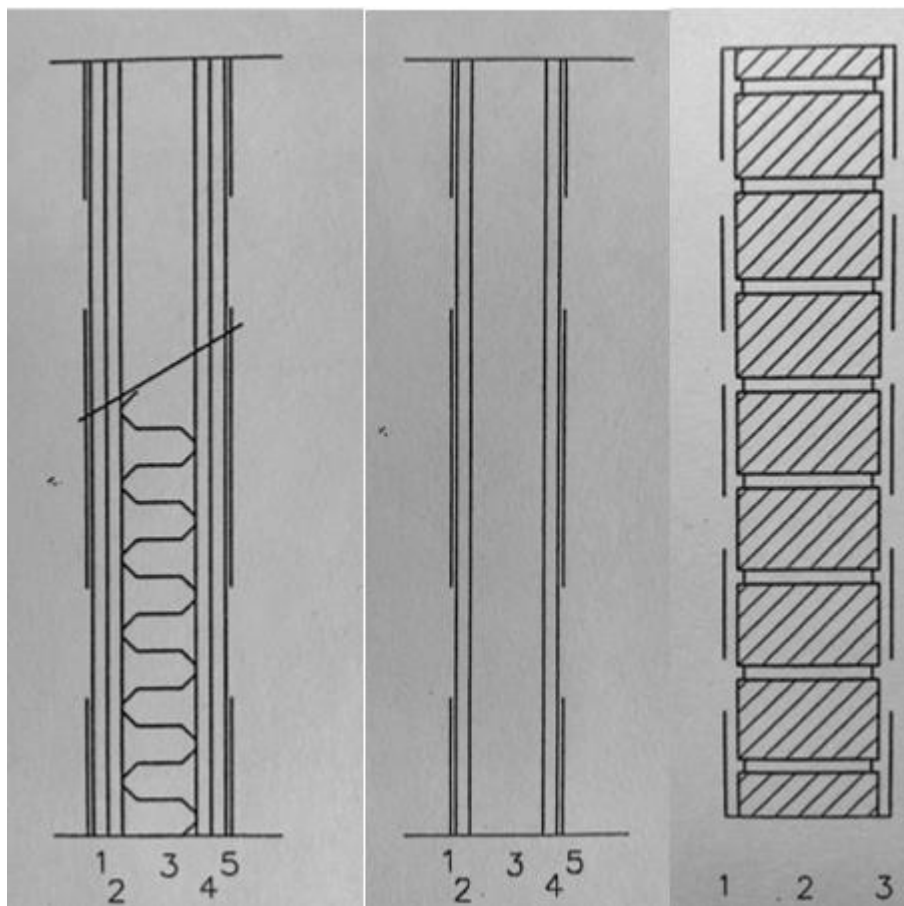
Monenlaisten ulkoseinien lisäksi toimitilarakennuksessa on yhteensä 14 erityyppistä väliseinää. Näihin kuuluvat lyhenteineen seuraavat

- äänieristävä kipsilevyseinä (VS1)
- kipsilevyseinä (VS7)
- porrashuoneiden ja hissikuilun porrasteräsbetoniseinä (VS2)

- teräsbetoniseinä (VS3)
- yleinen tiiliseinä (VS4)
- muuntamon teräsbetoniseinä (VS6)
- kiviaineinen väliseinälevy (VS7)
- teräslasiseinä (TSLS)
- puulasiseinä (PSLS)
- kosteiden tilojen/saunan seinä (VS8)
- laminaattijakoseinä ovineen (WC-kopit) (VS9)
- VSS-verkkoseinä (VS10)
- siirtoseinä (VS11)
- suihkujakoseinä (VS12).

Näistä Toimisto A2 rakennuksessa esiintyy eniten yleisesti toimistohuoneissa käytettävää kipsilevyseinää (VS7) ja äänieristävää kipsilevyseinää (VS1). VS4 tiiliseinä (kuva 14) on yleinen seinätyyppi toimitilarakennuksen ensimmäisessä kerroksessa, jossa on vähemmän toimistohuoneita. (Pöllänen ym. 2001)

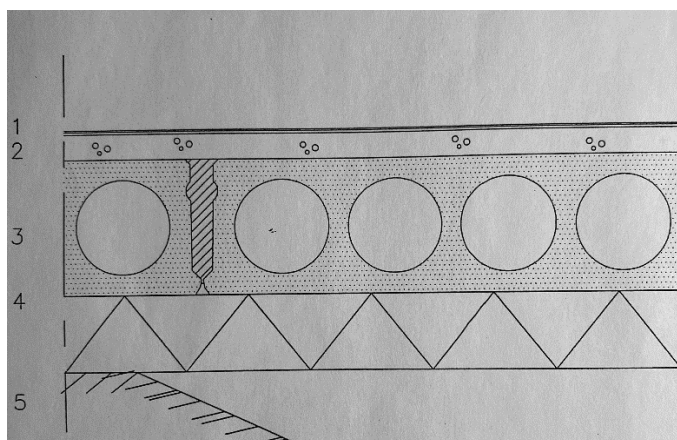
Ääntä eristävä kipsilevyseinä VS1, ja se koostuu kahdesta kaksinkertaisesta Gyproc EK 13 mm kipsilevystä ja näiden sisällä olevasta teräsrankarungosta ja palamattomasta, ääntä absorboivasta mineraalivillasta (kuva 17). Toinen kipsilevyseinä, VS7, on rakenteeltaan VS1 kaltainen, se koostuu kahdesta Gyproc EK 13 mm levystä, joiden sisällä on teräsrankarunko ilman mineraalivillaa (kuva 17). Rakenteensa ansiosta VS1 kipsilevyseinän ääneneristävyys on 48 dB, kun taas VS7 kipsilevyseinällä se on luokkaa 30 dB. VS4 tiiliseinä koostuu puolestaan kalkkihiiekkatiilestä, L-peltiprofiileista ja palamattomasta mineraalivillasta (kuva17). Lisäksi maalatut, ääneneristyksestään 46 dB tiiliseinät, on puhtaaksimuurattu ja vielä parempaa äänieristystä vaativat tiiliseinät (kuten toimistohuoneiden väliseinät) on tasoitettu molemmin puolin ennen niiden pintakäsittelyä. (Pöllänen ym. 2001.)



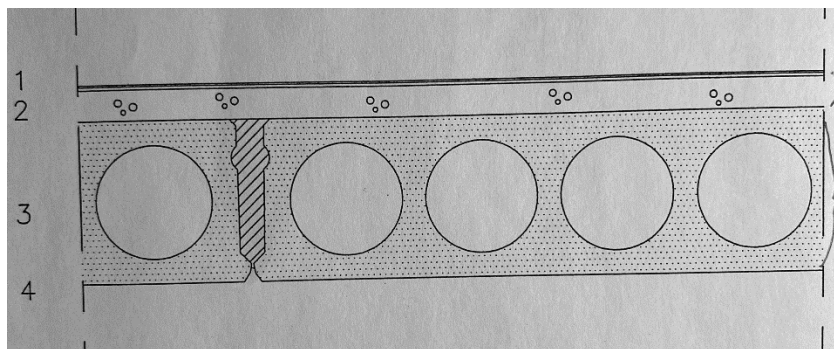
KUVA 17. Havainnoivat rakennepiirustukset toimitilakiinteistön kevyistä väliseinistä. Vasemmalta oikealle kipsi-levyseinästä (VS7), äänieristävää kipsilevyseinää (VS1) ja Tiiliseinä (VS4) (Laitinen 2001)

5.2.2 Ylä-, väli- ja alapohjarakenteet

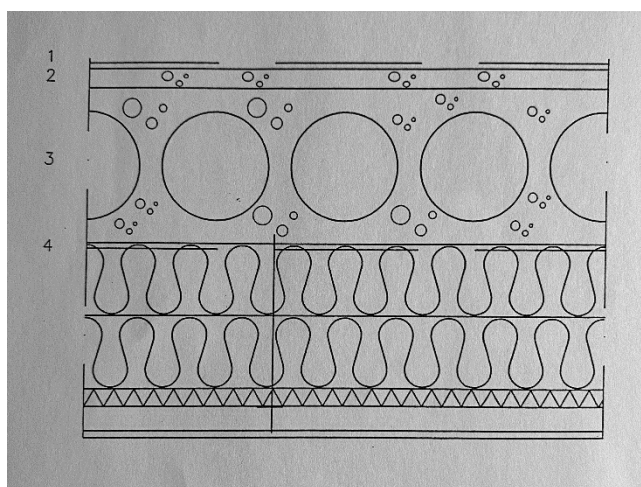
Toimisto A2 koostuu erityyppisistä ylä-, väli- ja alapohjista. Rakennuksen alapohjana ontelolaatta-alapohja (kuva 18). Kerroksien välisenä rakenteena on ontelolaattaväli- pohja (kuva 19 ja kuva 20). Kattorakenteena ontelolaattayläpohja, jossa kevytsoraeriste ja kermikate (kuva 21). IV-konehuoneiden ja kattoterassin yläpohjat eroavat tästä yleisestä yläpohjarakenteesta.



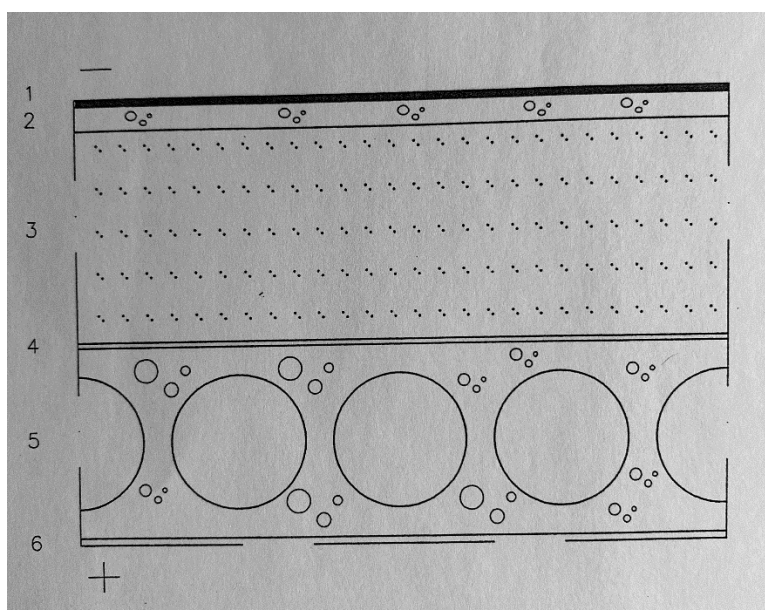
KUVA 18. Toimitilakiinteistön ontelolaatta-alapohja, jossa 1. lattiapinnoite, 2. pintabetoni, 3. Kantava rakenne 4. suulakepuristettu polystyreenilevy ja 5. tuuletettu ryömintätila (Laitinen 2000)



KUVA 19. Toimitilakiinteistön ontelolaattaväli­pohja, jossa 1. lattiapinnoite, 2. 50 mm pintabetoni, 3. 265 mm kantava rakenne, ontelolaatta ja 4. pintamateriaali (Laitinen 2000)



KUVA 20. Toimitilakiinteistön ontelolaattaväli­pohja, jossa 1. pintamateriaali, 2. pintavalu, 3. kantava rakenne 4. mineraalivilla sekä tuulensuojavilla (Laitinen 2000)



KUVA 21. Toimitilakiinteistön ontelolaattayläpohja, jossa 1. veden eriste, 2. betonilaatta (<40 mm), 3. lämmöneriste, kevytsoralajite (350-500 mm), 4. höyrynsulku 0,2 mm, 5. kantava rakenne, ontelolaatta ja 6. pintamateriaali (Laitinen 2000)

6 LASKENTAMENETELMÄN VALINTA JA LASKENNAN RAJAUS

Hiilijalanjäljen laskentaan on olemassa useita erilaisia työkaluja. Niistä piti tehdä valinta käytettävissä olleen aikataulun puitteissa. Myös laskentaan olisi voinut sisällyttää erilaisia näkökulmia, mutta sekin piti rajata sopivaksi.

6.1 Laskentamenetelmän valinta

Ensimmäiseksi kokeiltiin Ympäristöministeriön teettämää Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalua. Tämä arviointiin aluksi parhaaksi tähän tarkoitukseen, koska se on erityisesti tehty juuri rakennusten hiilijalanjäljen laskemiseen. Työkalu oli myös maksuton, kaikille helposti ulottuvissa oleva laskuri.

Seuraavaksi kokeiltiin One Click LCA ohjelmistoa. Tähän ohjelmistoon saa opiskelijalisenssillä ilmaiset käyttöoikeudet vuoden ajaksi lopputyön tekemistä varten. Opiskelijalisenssin käyttöoikeudet ovat kuitenkin rajatut verrattuna maksulliseen Business versioon. Tästä huolimatta tämän ohjelmiston käyttäminen vaikutti oikein sujuvalta, kun saatavilla on juuri kaikki tarvittavat käyttöominaisuudet. Kuitenkin business versiossa olevat lisäominaisuudet olisivat olleet erittäin hyödyksi.

Näiden kahden yllä olevan kokeilun jälkeen lopulta päädyttiin kokoamaan kokonaan uusi hiilijalanjäljen laskuri Microsoft Excel -ohjelmalle kuitenkin käyttäen hyödyksi sekä Ympäristöministeriön tekemän Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalua sekä One Click LCA elinkaariarviointiohjelmistoa. Näin ollen Exceliin tuli koota kaikki tarvittavat tiedot arvojen laskemiseksi. Excelin käyttöön päädyttiin, koska sillä pystyi tekemään kaikki tähän työhön tarvittavat toiminnot. Excel-ohjelmalla tiedon käsittely oli myös joustava ja sillä pystyi muokkaamaan nopeasti taulukkoja ja suodattimia haluttuun muotoon. Tehdystä laskurista lisätietoa luvussa 7.

Kiinteistöihin liittyvät tausta-aineistot kerättiin tilaajalta saaduista tiedostoista, jotka ovat pääasiassa paperimuodossa. CO₂-kertoimet kerätään eri lähteistä saatavuuden mukaan, pääasiassa Ympäristöministeriön Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalusta ja Rakentamisen päästötietokannasta sekä tarvittaessa One Click LCA-ohjelmiston tietokannasta.

6.1.1 Ympäristöministeriön hiilijalanjälkilaskuri

Tässä työssä on käytetty hyödyksi Ympäristöministeriön ja Green Building Council Finland teettämän Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalusta löytyvien materiaalien hiiliekvivalenttisarvoja. Työkalu on tehty yhteistyössä Green Building Council Finland (CBG) kanssa. Arviointityökalu on vielä luonnosversiovaiheessa ja on tarkoitettu rakennusten hiilijalanjäljen laskentamenetelmän testausta varten. Ensimmäinen versio tuli rakennushankkeiden testattavaksi vuoden 2019 syksyllä. Työkalun testausvaiheen jälkeen sitä ja siinä liitteenä olevia päästötietoja tullaan kehittämään. Arviointimenetelmä on kehitetty EN-standardien ja Euroopan komission Level(s)-menetelmän pohjalta. (Ympäristöministeriä julkaisuaika tuntematon.)

Avoimen työkalun tarkoituksena on edistää ja tukea rakennushankkeen valmistelussa, suunnittelussa, rakentamisessa ja rakennusten käytön aikana tehtävää elinkaarilaskentaa. Se soveltuu siis rakennuksen koko elinkaaren laskentaan, rakennustuotteiden valmistuksesta kuljetuksiin,

työmaatoimintoihin, käyttöön ja korjauksiin sekä lopulta rakennuksen purkamiseen ja kierrätykseen. Työkalu sopii parhaiten käytettäväksi yhdessä ympäristöministeriön yksinkertaistetun arviointimenetelmän kanssa. Lisäksi se käy tarkennetulla arviointimenetelmällä tehtyjen laskelmien raportointiin. Muilla soveltuvilla työkaluilla on myös mahdollista tehdä arvioinnit. (Ympäristöministeriö & Green Building Council Finland 2019.)

Hiilijalanjäljen arviointityökalu on Excelillä käytettävä, sisältäen kahdeksan eri välilehteä, joihin sisältyy työkalun ohjeet sisältävä välilehti sekä hankkeesta tietoa ja elinkaarivaikutuksista keräävät välilehdet. Välilehdet lueteltuina vasemmalta oikealle ovat: Ohje, Yhteenveto, Materiaaliluettelo, Valmistus, kuljetus, työmaa (A), Käyttö (B), Elinkaaren loppu (C+D), Tietojen laatu sekä viimeisenä Materiaalien päästötiedot, joita hyödynnettiin tässä työssä. Materiaalien päästötietoihin on laitettu ylös työkalussa käytettyjen hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen kertoimet. (Ympäristöministeriö & Green Building Council Finland 2019.)

6.1.2 One Click LCA

One Click LCA:n ohjelmiston tiedoista kerättiin osa materiaalien hiiliekvivalentti tiedoista, joita ei löytynyt Ympäristöministeriön hiilijalanjälkilaskurista eikä tietokannasta. One Click LCA (julkaisuaika tuntematon) on tehty mahdollisimman helppokäyttöiseksi ja automaattiseksi elinkaariarviointiohjelmistoksi, jonka avulla voi laskea ja vähentää rakennus- ja infraprojektien ja tuotteiden ympäristövaikutuksia.

One Click LCA ohjelmisto tukee EN- ja ISO-standardeja sekä yli 40 sertifikaattia. EN-sertifikaatteihin kuuluu EN 15978, EN 15804 sekä EN 15942 ja ISO-standardeihin puolestaan ISO 21931-1, ISO 21929-1 ja ISO 21930. One Click LCA on BRE-sertifioitu ja saanut BRE:n myöntämät korkeimmat laatupisteet sekä 100 % Mat 01 -luokitus. (One Click LCA julkaisuaika tuntematon.)

6.1.3 Rakentamisen päästötietokanta

Rakentamisen päästötietokannasta löytyy puolueetonta dataa Suomessa käytettävien rakennustuotteiden ilmastovaikutuksista, kuten kierrätettävyydestä, materiaalitehokkuudesta sekä hiilijalan- ja kädenjäljestä. Tiedot ovat hyödyllisiä kaikille rakentamisen ilmastovaikutuksista kiinnostuneille, etenkin rakennusalan ammattilaisille. Päästötietokannan kehittämisessä on mukana Suomen ympäristökeskus ympäristöministeriön toimeksiannosta. Palvelu on ilmainen ja kaikille avoin. Päästötietokannan tiedot helpottavat vähähiilisen rakennuksen suunnittelua ja yhdenmukaistavat syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen laskentaa rakennusten elinkaaren ajalta. (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon.)

Rakentamisen päästötietokanta löytyy osoitteesta [CO2data.fi](https://co2data.fi).

6.2 Laskennan rajaus

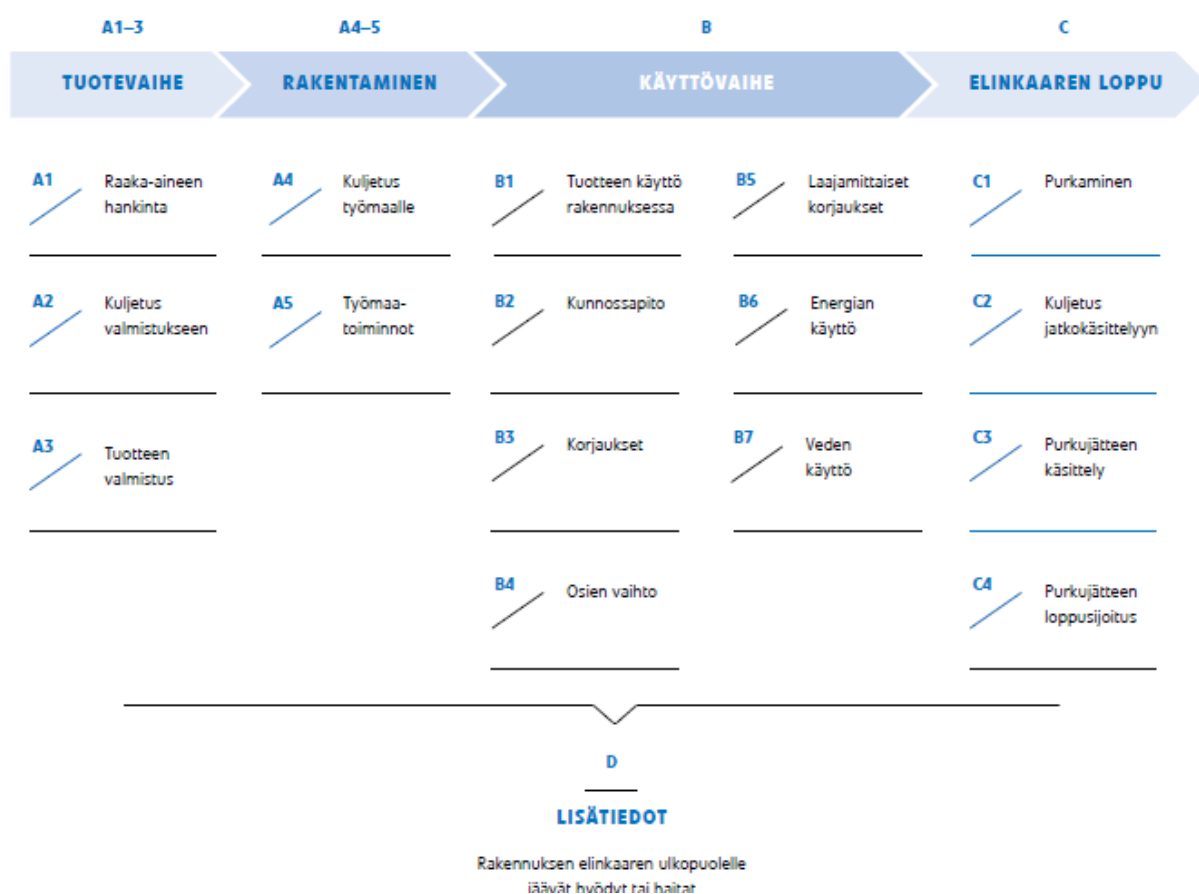
Kiinteistöjen hiilijalanjäljen laskentaan liittyy lukematon määrä erilaisia seikkoja. Tästä johtuen usein on suositeltavaa rajata laskenta tiettyihin osa-alueisiin laskentaprosessia helpottaakseen. Tässä opinnäytetyössä rajoittavina tekijöinä ovat pääosin aika sekä saatavilla oleva tieto. Yhtenä haasteena on löytää tarpeeksi tarvittavaa dataa, sillä vasta viime vuosina on aloitettu panostamaan

enemmän rakennusten materiaalitietojen tallentamiseen. Nykypäivänä yhtenä edistävänä tekijänä on toimiva nettiyhteys ja sen helppo käytettävyys. Lisäksi ajan myötä muuttuva lainsäädäntö korostaa yhä enemmän rakennusten kestävästä rakentamisesta.

Teollisuus A1 ja Toimisto A2 kiinteistöt antavat lisähaastetta sen suhteen, kun ne ovat rakennettu eri vuosiluvuilla, Teollisuus A1 kiinteistö 1970-luvulla ja Toimisto A2 kiinteistö 2001-luvulla. Näiden myötä kiinteistöistä saatavat tiedot eroavat toisistaan paljon, mikä on tullut hyvin ilmi työn edetessä. Osaltansa Toimisto A2 on ollut haasteellisempi sen tarvittavien tietojen löytämisen suhteen, koska tiedot olivat tallennettuna moniin erillisiin tiedostoihin. Tähän on oletettavasti syynä se, että 2001-luvulla tietoa tallennettiin 1970-lukuun verraten jo paljon enemmän.

Tässä työssä keskityttiin pääasiassa materiaalien tuotevaiheessa syntyviin päästöihin. Rakennusosien valittuihin materiaalien hiilikvivalenttiarvoon oli sisällytetyt pääasiassa A1-A3 vaiheista syntyneet päästöt, eli materiaalin tuotevaihe kokonaisuudessaan (kuva 22). Vaiheista A1 tarkoittaa raaka-aineen hankintaa, A2 kuljetusta valmistukseen ja A3 tuotteen valmistusta.

Teollisuus A1 ja Toimisto A2 kiinteistöjen rakenneosien elinkaarivaiheista pois rajattiin rakentamisen vaihe A4-5, käyttövaihe B sekä elinkaaren loppu C. Rakenneosien yleisin vaihtoväli oli noin 50 vuotta, joka on myös rakennusten keskimääräinen käyttöikä.



KUVA 22. EN 15978 standardin mukaiset rakennuksen elinkaaren vaiheet (Ympäristöministeriö 2019)

Ympäristöministeriön laskurissa arvioitavat rakenneosat jaetaan viidelle eri sektorille, joita ovat: tontti, kantavat rakenteet, täydentävät rakenteet, talotekniikka sekä työmaa (taulukko 2). Liitteessä 1 on lueteltuna Ympäristöministeriön hiilijalanjälkilaskurissa arvioitavat rakenneosat ja niiden

nimikkeet. Rakennusosat ovat jaoteltu arvioitaviin ja ei arvioitaviin. Esimerkiksi tonttialueelta arvioitaviin rakenneosiin kuuluvat maaosat, tuennat ja vahvistukset, päällysteet sekä alueen rakenteet. Tontin arviointiin ei sisälly alueen varusteet, kasvillisuus, kasvillisuuden, maaperän tai vesistöjen muutoksista aiheutuvat ilmastovaikutukset.

TAULUKKO 2. Ympäristöministeriön laskurin arvioitavat rakenneosat (Ympäristöministeriö 2019)

	Sisältyy arviointiin	Ei sisälly arviointiin
Tontti	+ Maaosat + Tuennat ja vahvistukset + Päällysteet + Alueen rakenteet	- Alueen varusteet - Kasvillisuus - Kasvillisuuden, maaperän tai vesistöjen muutoksista aiheutuvat ilmastovaikutukset
Kantavat rakenteet	+ Perustukset + Alapohjat + Runko + Julkisivut, ovet ja ikkunat + Ulkotasot + Kattorakenteet	- Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet
Täydentävät rakenteet	+ Väliseinät ja ovet + Portaat + Pintarakenteet + Tyypilliset kiintokalusteet + Hormit ja tulisijat + Tilaelementit	- Pintamateriaalit ja listat - Pintakäsittelyt ja maalaukset - Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet
Talotekniikka	+ Lämmitysjärjestelmät + Vesi- ja viemärijärjestelmät + Ilmastointijärjestelmät + Jäähdytysjärjestelmät + Sprinklerit + Sähköjärjestelmät + Hissit	- Tietotekniset järjestelmät - Taloautomaatio - Varavirtajärjestelmät - Liukuportaot - Erilliset koneet ja laitteet
Työmaa	+ Työmaalla kulutettu energia	- Telineet, suojaukset - Väliaikaiset rakenteet, muotit ja tekniset laitteet - Työmaatilojen elinkaari - Työmaan henkilöliikenne

6.3 Arviointiin sisällytetyt ja rajatut rakenneosat

Kiinteistöistä on sisällytetty laskentaan lähes yhtäläiset tiedot, poiketen vain osittain toisistaan, kuten talotekniikan osalta. Kiinteistöistä rajattiin useita rakenneosia pois, jotta pystyttiin keskittymään paremmin kiinteistöjen merkittävimpiin osa-alueisiin. Taulukosta 3 saa tiivistetyn kokonaisvaltaisen kuvan laskentaan mukaan otetuista ja vastaavasti rajatuista kiinteistöjen Teollisuus A1 ja Toimisto A2 rakenneosista.

Kiinteistöjen kantavista rakenteista sisällytettiin pääosa arviointiin mukaan. Arvioituihin kantaviin rakenneosiin kuului runko, julkisivut, ovet, ikkunat, kattorakenteet sekä alapohjat ja perustukset osittain. Ulkopuolelle rajattiin puolestaan tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet sekä lisäksi ulkotasot, kuten lastauslaiturit Teollisuus A1:n osalta.

Täydentävistä rakenteista arviointiin sisällytettiin väliseinät ja ovet, osa tilaelementeistä sekä pintarakenteet, joista lattiapäällysteet ja seinien muovipäällysteet. Täydentävistä rakenteista pois rajattiin mm. portaat rajallisen ajan takia. Tontin sektorilta arviointiin sisällytettiin päällysteistä asfaltti, jota löytyy molempien kiinteistöjen tonttien päällysteenä. Tontin arvioinnista pois rajattiin kaikki muut osa-alueet, kuten alueen varusteet, kasvillisuus, maasat, tuennat ja vahvistukset sekä alueen rakenteet. Talotekniikan osalta hissit sisällytettiin Toimisto A2:n arviointiin. Teollisuus A1:ssä ei vastavasti ollut hissejä, sen ollessa pääasiassa yksikerroksinen rakennus (väestön suojatilat C-lohkossa erillisessä kerroksessa). Loput rajauksen ulkopuolelle jääneet rakenneosat olivat tietotekniset järjestelmät, taloautomaatio, varavirtajärjestelmät, liukuportaat sekä erilliset koneet ja laitteet.

Työmaasektorin osalta rajattiin kaikki rakenneosat pois tietojen puutteellisuuden vuoksi. Pois rajatut rakenneosat lueteltuina taulukossa 3.

Kiinteistöistä jätettiin arvioinnin ulkopuolelle lisäksi suurin osa yksityiskohdista, detaljeista ja erillisistä rakenteista, kuten metallirungot elementeissä (kuten Teollisuus A1:n TT-laattojen ja sokkelielementtien osalta), kulmasuojalistat (mm. Toimisto A2:n rakennuksen kipsilevyseinissä) sekä eristeet (kuten vaahtomuovinauha).

Osa materiaaleista jouduttiin rajaamaan pois, jos niiden tietoja ei löytynyt. Näin jouduttiin tekemään lähinnä teollisuuskiinteistöjen kohdalla. Teollisuus A1 kiinteistössä on käytetty osittain materiaaleja, jotka eivät ole enää yleisesti käytössä. Tästä johtuen kyseisistä materiaaleista ei ole tarvittavia hiilikvivalentti- eikä tiheystietoja myöskään saatavilla. Esimerkiksi Jätekuikon (julkaisuaika tuntematon) mukaan vielä 1970-luvulla yleisesti käytössä ollutta mineriittilevyä ei enää käytetä rakennusmateriaalina sen asbestiriskin vuoksi. Etenkin vanhat mineriittilevyt sisältävät hyvin todennäköisesti asbestia. Asbestin käyttö rakenteena lopetettiin, kun huomattiin sen terveydellinen vaarallisuus hengitysteihin päätyessä. Vuodesta 1994 lähtien asbestin tai asbestipitoisten tuotteiden myyminen ja käyttöön ottaminen on ollut kielletty.

Myöskään bituliitista ei löytynyt tietoja, jonka johdosta tämä korvattiin saman tyyppisen materiaalin, bitumilevyn hiilikvivalentin ja tiheyden (kg/m^3) tiedoilla. Huntonin (2018, 2) mukaan bituliitti on bitumilla kyllästettyä huokoista kuitulevyä. Tätä on käytetty yleisesti tuulensuojalevynä pienrakennuksissa sekä osittain kerrostaloissa. 1930-luvun alussa Suomessa alettiin valmistaa tätä huokoista puukuitulevyä. Kyseisellä materiaalilla on hyviä akustisia ominaisuuksia sekä kohtuullisen hyvä lämmöneristysominaisuus.

TAULUKKO 3. Teollisuus A1 ja Toimisto A2 kiinteistöjen arviointiin sisällytetyt ja rajatut rakenneosat

Teollisuus A1			Toimisto A2	
	Sisältyy arviointiin	Ei sisälly arviointiin	Sisältyy arviointiin	Ei sisälly arviointiin
Tontti	+ Päälysteet	- Alueen varusteet - Kasvillisuus - Kasvillisuuden, maaperän tai vesistöjen muutoksista aiheutuvat ilmastovaikutukset - Maaosat - Tuennat ja vahvistukset - Alueen rakenteet	+ Päälysteet	- Alueen varusteet - Kasvillisuus - Kasvillisuuden, maaperän tai vesistöjen muutoksista aiheutuvat ilmastovaikutukset - Maaosat - Tuennat ja vahvistukset - Alueen rakenteet
Kantavat rakenteet	+ Perustukset + Alapohjat + Runko + Julkisivut, ovet ja ikkunat + Kattorakenteet	- Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet - Ulkotasot	+ Perustukset + Alapohjat + Runko + Julkisivut, ovet ja ikkunat + Kattorakenteet	- Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet - Ulkotasot
Täydentävät rakenteet	+ Väliseinät ja ovet + Pintarakenteet + Tilaelementit	- Pintamateriaalit ja listat - Pintakäsittelyt ja maalaukset sekä tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet - Portaat	+ Väliseinät ja ovet + Pintarakenteet + Tilaelementit	- Pintamateriaalit ja listat - Pintakäsittelyt ja maalaukset sekä tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet - Portaat
Talotekniikka		- Tietotekniset järjestelmät - Taloautomaatio - Varavirtajärjestelmät - Liukuportaat - Erilliset koneet ja laitteet - Hissit	+ Hissit	- Tietotekniset järjestelmät - Taloautomaatio - Varavirtajärjestelmät - Liukuportaat - Erilliset koneet ja laitteet
Työmaa		- Telineet, suojaukset - Väliaikaiset rakenteet, muotit ja tekniset laitteet - Työmaatilojen elinkaari - työmaan henkilöliikenne - Työmaalla kulutettu energia		- Telineet, suojaukset - Väliaikaiset rakenteet, muotit ja tekniset laitteet - Työmaatilojen elinkaari - Työmaan henkilöliikenne - Työmaalla kulutettu energia

7 LASKURI

Tätä työtä varten on tehty erillinen hiilijalanjälkilaskuri Microsoft Excel-ohjelmistoa käyttäen. Laskurissa on ensimmäisellä taulukkosivustolla laskuriin liittyvä lyhyt esittely ja ohjeet. Tämän avulla myös tilaajan on helpompi hyödyntää laskuria tarvittaessa rakennuksiin liittyviin hiilijalanjäljen laskentoihin. Laskemisen helpottamiseksi tiedot jaettiin seitsemälle eri taulukkopohjalle: 1. Ohjeet 2. Päätaulukko, 3. Materiaalit, 4. TeollisuusA1_Pinta-alat, 5. ToimistoA2_Seinät, 6. Raportit, 7. TeollisuusA1_Ympyräkaavio ja 7. ToimistoA2_Ympyräkaavio.

7.1 Ohje ja esittely

Hiilijalanjälkilaskurille on tehty Excel-tiedostoon tehdyt lyhyt esittely ja käyttöohjeet (kuva 23 ja 24). Laskuri pyrittiin tekemään mahdollisimman helppokäyttöiseksi ja miellyttäväksi käyttää. Alkusiilmäyksellä se voi mahdollisesti näyttää monimutkaisemmalta kuin se oikeasti on, sen monine täytettävine vaihtoehtoineen. Muista nykyisistä laskureista eroten tähän laskuriin jätettiin monia täyttövaihtoehtoja erityyppisille tiedoille. Erityisesti vanhemmissa rakennuksissa, tiedot ovat saatavilla monissa eri muodoissa. Mitat, kuten pituus ja leveys, saatiin erilaisista piirustuksista. Tässä laskurissa erilaiset tiedot voi täyttää mahdollisimman vähäisellä lisätyöllä. Myöskään erillisiä muunnoslaskelmia ei tarvitse tehdä laskuria varten. Ohjeiden avulla tästä monipuolisesta laskurista on saatu riittävän selkeä.

Laskurin sisältö

Laskurin eri välilehdillä kerätään tietoa kiinteistöistä ja niiden elinkaarivaikutuksista seuraavasti:

Päätaulukko: Laskuosio, johon lisätään manuaalisesti tiedot seuraavista; Rakennus, Osa, Elementti, Koodi, Palol./dB/Lämmönläpäisykerroin, Kappalemäärä, Materiaali, Pituus(mm), Leveys(mm), Paksuus(mm), LisäPaksuus(mm), SuoraPaino(kg), Paksuus2(m), SuoraPinta-ala(m²).

Kohdat täytetään seuraavasti:

- **Rakennus:** laskettava kiinteistö
- **Osa:** Rakennuksen osa (A, B, C..) tai kerros (1. ,2. ,3...). Tässä työssä Teollisuus A1 rakennus jaettiin osiin ja Toimisto A2 kerrokseen.
- **Elementti:** Laskettava erillinen rakennuksen elementti, kuten Elementtipilari.
- **Koodi:** Täytetään, jos elementillä on oma koodinsa, kuten elementtipilarilla esim. E1.
- **Palol./dB/Lämmönläpäisykerroin:** Lisätieto, ei pakollinen. Täytetään, jos esim. ovesta tai seinästä on tieto sen lämmönläpäisykerroin, palonkesto- tai äänieristeominaisuus.
- **Kappalemäärä:** laskettavan elementin kappalemäärä
- **Materiaali:** Elementin materiaali, johon liittyvät tiedot haetaan materiaaliluettelosta. (Huom. kirjotettu materiaali tulee löytyä materiaaliluettelosta, jotta tiedot täyttyvät.)
- **Pituus(mm):** Elementin pituus millimetreissä.
- **Leveys(mm):** Elementin leveys millimetreissä.
- **Paksuus(mm):** Elementin paksuus millimetreissä.
- **Lisäpaksuus(mm):** Käytetty mm. TT-laatan laskennassa, sen erilaisen muodon vuoksi.
- **SuoraPaino(kg):** Halutessa voidaan laittaa elementin paino suoraan, jolloin ei tarvita muiden mittojen tietoja, pituutta, leveyttä, paksuutta, tai suorapainoa. Tätä käytettiin mm. posliinista pesuallasta laskettaessa, kun pesuallaan standardipaino otettiin rakentamisen päästötietokannasta.
- **Paksuus2(m):** Käytetään SuoraPinta-ala(m²) kanssa, jos halutaan laskea tuotteen tilavuus. Tässä mittayksikkönä käytetään metriä.
- **SuoraPinta-ala(m²):** Tuotteen pinta-alan ollessa tiedossa, se voidaan syöttää suoraan tämän sarakkeen soluun neliömetreissä. Tätä käytettäessä ei tarvitse täyttää muita mittoja; Pituus(mm), Leveys(mm), Paksuus(mm), LisäPaksuus(mm).

Lisäksi päätaulukko koostuu automaattisesti täyttyvistä tiedoista. Näihin kuuluvat seuraavat tiedot; Poikkipinta-ala(mm), Tilavuus1(m³), Tiheys(kg/m³), Pinta-ala(m²), Tiheys(kg/m²), Paino(kg), kgCO₂eq/m², kgCO₂eq/kg, KgCO₂eq/kpl ja kgCO₂eq/tuoteryhmä. Alla näihin liittyvät selitykset laskukaavoina;

- **Poikkipinta-ala(mm)**: Leveys(mm)*Paksuus(mm)+LisäPaksuus(mm)
- **Tilavuus1(m³)**: Poikkipinta-ala*Pituus(mm)*10⁻⁹+SuoraPinta-ala(m²)*Paksuus2(m). Pituus kerrotaan luvulla 10⁻⁹, jotta saadaan mittayksiköt millimetreistä metreiksi (mm³ --> m³).
- **Tiheys(kg/m³)**: Haetaan Materiaalit taulukosta
- **Pinta-ala(m²)**: Pituus(mm)*Leveys(mm)*10⁻⁶.
- **Tiheys(kg/m²)**: Haetaan Materiaalit taulukosta
- **Paino(kg)**: Tilavuus1(m³)*Tiheys(kg/m³)+Pinta-ala(m²)*Tiheys(kg/m²)+SuoraPaino(kg)
- **kgCO₂eq/m²**: Haetaan materiaalit taulukosta.
- **kgCO₂eq/kg**: Haetaan Materiaalit taulukosta .
- **kgCO₂eq/kpl**: Paino*kgCO₂eq/kg
- **kgCO₂eq/tuoteryhmä**: kgCO₂eq/kpl*kappalemäärä

Materiaaliluettelo: Rakennuksessa käytettyjen materiaalien luettelointi, johon on kerätty seuraavat tiedot; Tiheys(kg/m³), Hiilijalanjälki/(kgCO₂eq/kg), Tiheys (kg/m²), Hiilijalanjälki/(kgCO₂eq/m²), Hiilikädenjälki/(kgCO₂eq/kg), Arvioitu vaihtoväli ja Lähteet. Päätaulukko hakee Materiaalit taulukosta tiedot laskukaavoihin. Hiilijalanjäljestä ja tiheydestä on kaksi täytettävää vaihtoehtoa. Vaihtoehtoista tulee täyttää vain toinen, jotta vältetään päällekkäin laskennalta.

- Hiilijalanjäljestä täytetään tieto tarpeen mukaan muodossa kgCO₂eq/kg tai kgCO₂eq/m². Pääosaksi materiaaleissa tieto on saatavilla kgCO₂eq/kg muodossa, mutta esimerkiksi ikkunoissa tieto ilmoitetaan yleensä jälkimmäisellä tavalla eli kgCO₂eq/m². Tiheydestä valitaan myös täytettäväksi joko kg/m³ tai kg/m². Tulokseen ei lasketa mukaan hiilikädenjälkeä eikä arvioitua vaihtoväliä. Materiaalien lähteet on merkitty numeroilla, jotka löytyvät merkittynä materiaaliluettelon alta.

TeollisuusA1 Pinta-alat: Taulukko lattiapäällystettyä sisältävien huoneiden pinta-aloista, jotka on laskettu ArchiCAD-suunnitteluohjelmistolla. Tämä vain TeollisuusA1 rakennuksesta, josta ei löytynyt tarkkoja huoneiden pinta-alatietoja. Päätaulukko hakee automaattisesti lasketut pinta-alatiedot.

ToimistoA2 Seinät: Taulukko Toimisto A2 rakennuksen sisäseinien mitoista leveysuunnassa, jotka on laskettu ArchiCAD-suunnitteluohjelmistolla. Päätaulukko hakee automaattisesti lasketut seinien leveysmitat.

Raportit: Tulokset yhteenvedon taulukoituna.

Teollisuus A1 Ympyräkaavio: Teollisuus A1 kiinteistön tuloksia havainnollistava ympyräkaavio.

TeollisuusA2 Ympyräkaavio: Toimisto A2 kiinteistön tuloksia havainnollistava ympyräkaavio.

KUVA 24. Hiilijalanjälkilaskurin ohjeet osa 2 (Nousiainen 2021, CC BY-SA)

7.2 Päätaulukko

Päätaulukossa on laskentakaavat ja suurin osa materiaalien tiedoista. Niin kuin jo yllä laskurin ohjeissa sanotaan, taulukkoon tarvittavista tiedoista osa on manuaalisesti syötettäviä ja osa automaattisesti täyttyviä. Päätaulukosta havainnollistava kuvakaappaus kuvassa 25. Vasemmalta ensimmäisenä ympyröity rakennus ja sen osa. Keskellä manuaalisesti täytettävät materiaalin perustiedot ja oikeanpuolimmaisena automaattisesti täyttyvät tiedot ja saatu arvo. (Tiedot vasemmalta oikealle lueteltuina, manuaalisesti syötettävät tiedot: Rakennus, Osa, Elementti tyyppi, Koodi, Palol./dB/Lämmönläpäisykerroin, Kappalemäärä, Materiaali, Pituus(mm), Leveys(mm), Paksuus(mm), Lisäpaksuus(mm), SuoraPaino(kg), Paksuus2(m) ja SuoraPinta-ala(m²) sekä automaattisesti haettavat tiedot: PoikkiPinta-ala(mm), Tilavuus1(m³), Tiheys(kg/m³), Pinta-ala(m²), Tiheys(kg/m²), Paino(kg), kgCO₂eq/m², KgCO₂eq/kg, kgCO₂eq/kpl sekä KgCO₂eq/tuoteryhmä).

Yleisesti tuotteista ei tiedetty niiden painoa, joten hiiliekvivalenttiarvoa laskiessa tarvittiin tuotteiden tilavuusarvot, jotka saatiin laskemalla niistä ilmoitetut mitat (pituus, leveys ja paksuus). Tiheyden ollessa tiedossa, haettiin materiaalien tiheyden arvot, joiden avulla saatiin laskettua elementin paino. Tuotteista, joista oli vaikea arvioida näiden tilavuudet (kuten posliinisissa ja metallisissa pesualtaissa), haettiin näiden standardipainot ympäristöministeriön tietokannasta. Näiden kodalla syötettiin

tuotteen paino kohtaan SuoraPaino, eikä tarvinnut täyttää erikseen muita tuotteeseen liittyviä mittoja, kuin materiaalit taulukkoon sen hiilikvivalentti muodossa KgCO₂eq/kg sekä tiheys muodossa Tiheys(kg/m³).

- Esimerkki Excelissä esiintyvistä hiilikvivaletin laskennan kaavasta, kun tuotteen paino on tiedossa:

$$mK \text{ (kg CO}_2\text{eq)} = m \text{ (kg)} * K \text{ (kg CO}_2\text{eq/(kg))}$$

missä m = tuotteen massa,

K = materiaalin hiilidioksidiekvivalenttikerroin

mK = tuotteen hiilijalanjälki

Esim. yhdestä tuotteesta/materiaalista.

Jos tuote koostuu useammasta materiaalista, lasketaan yhteen kunkin materiaalin hiilijalanjälki.

Tuotteen hiilijalanjälkiarvo on mahdollista laskea lisäksi pelkän pinta-alatiedon avulla. Tässä tapauksessa materiaalit taulukosta täytetään hiilijalanjälkikohta muodossa kgCO₂eq/m². Kyseistä muotoa käytetään yleisesti mm. ikkunoiden ja ovien kohdalla. Tässä tuotteen tietona riittää sen pinta-ala.

Rakeni	Dis	C4	Rakennustyyppi	Koodi	Palot.	Keppale	Materiaali	Pituus	Leveys	Paksuus	LisäPak	SuoraPa	Paksuus	Suo.	Pint	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti	Automaatti				
																TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG	TitäveesG				
				S1			5 Betonosokki	800	810	300						2475000	4288	2400	11	0	10400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116217	677597			
				S2			1 Betonosokki	800	785	300						234500	4201	2400	14	0	10328	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	162052	162052			
				S4			1 Betonosokki	800	810	300						2443000	4296	2400	15	0	10343	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116217	116217			
				S6			1 Betonosokki	800	825	300						247500	4431	2400	15	0	10371	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	171183	171183			
				S8			1 Betonosokki	1400	832	300						2475000	44704	2400	12	0	8326	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132250	132250			
				S7			1 Betonosokki	1400	810	300						2433000	3482	2400	11	0	8195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130788	130788			
				S8			2 Betonosokki	1100	825	300						2475000	27245	2400	9	0	8546	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104734	209468		
				S9			1 Betonosokki	1100	810	300						2443000	24862	2400	9	0	8447	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103190	103190		
				S10			1 Betonosokki	1100	810	300						2433000	26763	2400	9	0	8423	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102770	102770		
				1			1 Betoni	5700	2895	120						395200	20474	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				2			1 Mineraalivillale	5700	2895	90						26850	153105	100	17	0	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64315	64315	
				2A			1 Betoni	5700	2895	120						395200	20474	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				2A			1 Mineraalivillale	5700	2895	90						26850	153105	100	17	0	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64315	64315	
				3			2 Betoni	5700	2895	120						395200	20474	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				3			2 Mineraalivillale	5700	2895	90						26850	153105	100	17	0	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128630	128630
				4			2 Betoni	5700	2895	120						395200	20474	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				4			2 Mineraalivillale	5700	2895	90						26850	153105	100	17	0	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128630	128630
				5			1 Betoni	5700	2895	120						395200	20474	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				5			1 Mineraalivillale	5700	2895	90						26850	153105	100	17	0	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64315	64315
				6			1 Betoni	5700	1485	120						178200	10974	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				6			1 Mineraalivillale	5700	1485	90						12850	87695	100	8	0	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31938	31938	
				6A			1 Betoni	5700	1485	120						178200	10974	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				6A			1 Mineraalivillale	5700	1485	90						12850	87695	100	8	0	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31938	31938	
				7			1 Betoni	5700	2895	120						395200	20474	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				7			1 Mineraalivillale	5700	2895	90						26850	153105	100	17	0	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64315	64315	
				8			2 Betoni	5700	1485	120						178200	10974	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				8			1 Mineraalivillale	5700	1485	90						12850	87695	100	8	0	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31938	31938	
				9			1 Betoni	5700	1485	120						178200	10974	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				9			1 Mineraalivillale	5700	1485	90						12850	87695	100	8	0	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31938	31938
				10			1 Betoni	5700	2895	120						395200	20474	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

KUVA 25. Hiilijalanjälkilaskurin päätaulukko, kohteiden nimet poistettu julkisesta versiosta (Nousiainen 2021, CC BY-SA)

7.3 Materiaalit

Materiaalien kertoimet on haettu pääasiassa kolmesta eri lähteestä, ympäristöministeriön teettämästä rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalusta ja rakentamisen päästötietokannasta sekä One Click LCA ohjelmistosta. Materiaalitalukosta löytyy seuraavat tiedot: Tiheys(kg/m³), Hiilijalanjälki/(kgCO₂eq/kg), Tiheys (kg/m²), Hiilijalanjälki/(kgCO₂eq/m²), Hiilikädenjälki/(kgCO₂eq/kg), Arviointivaihtoväli ja Lähteet. Näihin liittyvät tarkemmat lisätiedot löytyvät kuvasta 24.

Materiaalien keskimääräinen arviointijakso on 50 vuotta. Luku vaihtelee tuotteiden välillä 15 vuodesta – ei vaihdeta ikinä, jolloin se on tarkoitettu kestävän arviolta rakennuksen oman eliniän ajan. Rakennuksille useimmiten arvioidaan noin 50 vuoden elinikä. Materiaaleista lyhyin elinkaari on laminaattilattia, arvio kuitenkin vaihtelee paljon riippuen monista eri tekijöistä, kuten laminaattilattian laadusta ja sen kulutuksesta.

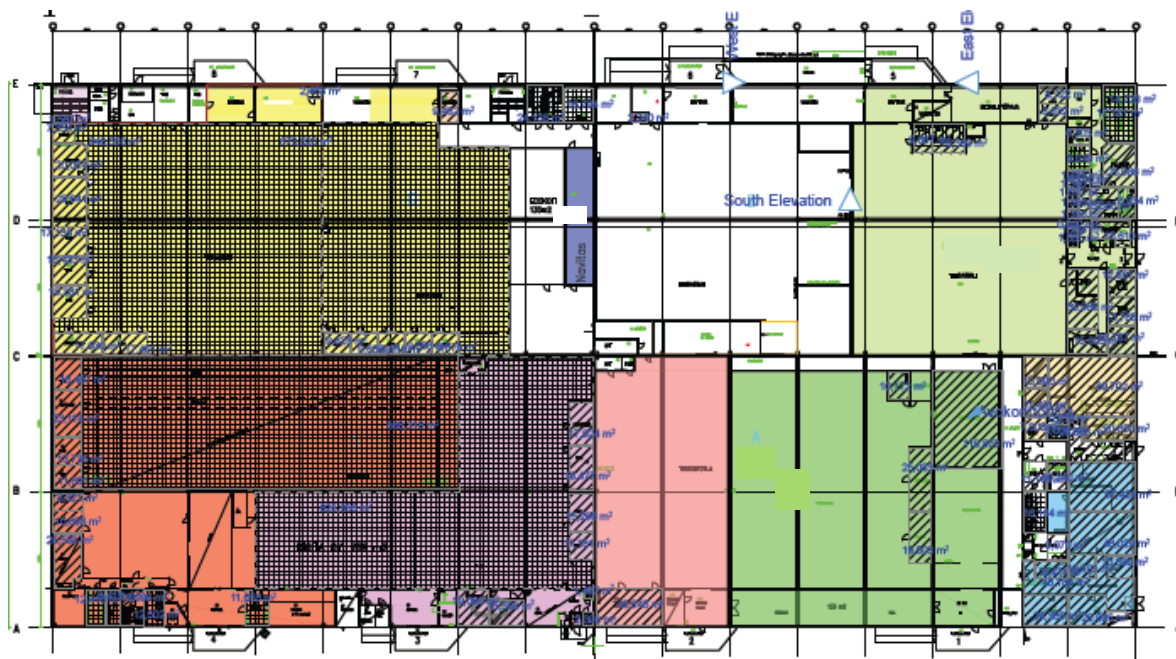
Lähteet ovat numeroituna taulukkoon, jossa 1 merkitsee Ympäristöministeriön rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalua, 2 Rakentamisen päästötietokantaa (co2data.fi) sekä 3 One Click LCA:ta.

7.4 Teollisuus A1 huoneet

Teollisuus A1:n huoneet osiossa on laskentoja Teollisuus A1 teollisuuskiinteistön huoneiden pinta-aloista. Pinta-alojen tietoa tarvittiin lattiapäällysteitä sisältävistä huoneista. Tiedon avulla pystyttiin laskemaan lattiapäällysteistä aiheutunut hiilijalanjälki tarkemmin. Pinta-alat laskettiin ArchiCAD-rakennussunnitteluohjelmiston avulla (kuva 16) ja saadut pinta-alamatiedot lisättiin Exceliin. Selvennykseksi lasketuille lattiapäällysteille (muovimatto, 2,5 mm muovilaatat ja lattialaatat) lisättiin selitteet (kuva 27).

Teollisuus A1:n kaikkien tilojen lattioihin laskettiin betoninen 3 cm pintakerros. Betonikerros laskettiin Teollisuus A1:n kokonaispinta-alan mukaan. Muita tekijöitä ei rajattu tästä pois, joten betonin pintakerroksen hiilijalanjälki on luultavimmin suurempi kuin todellisuudessa.

Lattiapäällysteet ovat vastaavasti karkeasti arvioidut huoneittain. Tilaajalla ei ollut tarkkaa tietoa lattiapäällysteistä sillä ne vaihtelevat paljon yrityksittäin sekä yrityksen sisällä. Esim. suurista tehdassaleista/tuotantotilasta ei ollut varmaa tietoa sisältävätkö näiden lattioiden pinnat muovimattoa, jonka alla on Finlex, vai ovatko ne jätetty betonipintaisiksi. Kyseisistä tiloista päädyttiin ratkaisuun, että lasketaan noin puolet tehdassalien lattioista muovimattopäällysteisiksi ja toiset puolet ilman päällysteitä. A ja B osien tehdassalit sekä tuotantotila määriteltiin tässä betonipintaisiksi. Vastaavasti C ja D osien tehdassalit määriteltiin muovimattopäällysteisiksi (kuva 26.) Tehdassalien lisäksi muovimattopäällyste laskettiin myös WC-tiloihin, siivouskeskukseen ja -huoneeseen sekä pukuhuoneisiin. 2,5 mm paksuiset muovilaatat laskettiin päällysteiksi neuvotteluhuoneisiin, toimistotiloihin ja toimistotilojen yhteydessä sijaitseviin käytäviin, sekä sosiaalitiloihin, kuten taukotiloihin, keittiöihin ja kahviuhuoneisiin. Kolmas lattiapäällyste, laattalattiat, laskettiin pesuhuoneisiin ja saunatiloihin. Pesuhuoneisiin laskettiin lisäksi huoneen seiniä koristavat seinäpäällystelaatat.



KUVA 26. ArchiCAD-ohjelmistolla lasketut pinta-alat Teollisuus A1 kiinteistöstä.



KUVA 27. Lattiapäällysteiden selitteet

7.5 Toimisto A2 Seinät

Teollisuus A1:n seinien tapaan Toimisto A2 rakennuksesta laskettiin sen seinien mitat pohjapiirustuksesta ArchiCAD-suunnitteluohjelmistolla. Tämän avulla saatiin suuntaa-antava tieto Toimisto A2 seinien leveyspituudesta. Pituudet laskettiin kaikista viidestä kerroksesta, kahdeksalle erityyppiselle väliseinälle sekä viidelle erityyppiselle ulkoseinälle, ikkunoiden kanssa ja ilman. Pohjapiirustuksissa seinät on merkattu pääpiirteittäin. Osa pohjapiirustuksen seinistä arvioitiin tiedon puuttuessa. Ennen mittausten aloittamista skaalattiin ArchiCAD:iin lisätty pohjapiirustus oikeaan mittakaavaan. Mittakaava ei saatu kuitenkaan erityisen tarkaksi. Testimittauksissa sama väli heitti noin senttimetrin tarkkuudella. Kaiken kaikkiaan mittauksilla saatiin kuitenkin tarvittavat suuntaa-antavat mittaukset, jotka mahdollistivat seinien sisällyttämisen laskentaan myös Toimisto A2 rakennuksen osalta.

Mitatut pituustiedot syötettiin Exceliin. Sisäseinämittojen taulukoinnin helpottamiseksi niille tehtiin oma taulukko, josta kunkin seinän arvot päivittyvät päätaulukkoon. Ulkoseinien tiedot täytettiin vastaavasti suoraan päätaulukkoon.

7.6 Raportit & ympyräkaaviot

Raportti osiossa on näkyvissä laskennasta tulleet tulokset kahtena taulukoituna muotona. Näiden lisäksi on tuloksia havainnollistavia piirakoita. Tuloksista lisätietoa on luvussa 8.

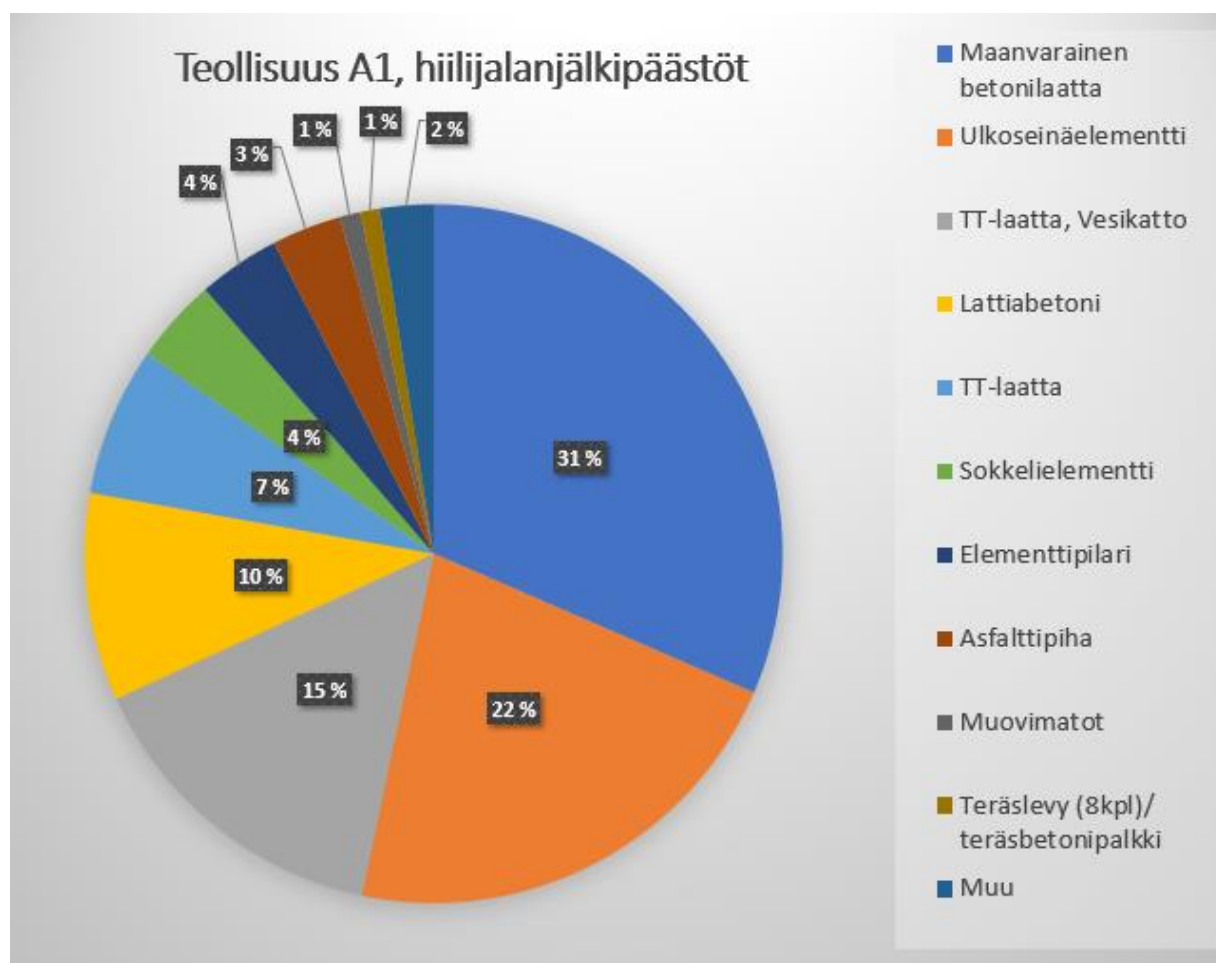
8 KOHDEKIINTEISTÖJEN HIILIJALANJÄLJET

Laskettujen kiinteistöjen Teollisuus A1 ja että Toimisto A2, suurin hiilidioksidipäästölähde on peräisin betonirakenteista. Tulos ei tullut yllätyksenä, sillä molemmat rakennukset ovat betonirunkoisia. Tämän johdosta rakennusten valmistukseen on tarvittu paljon betonimateriaalia.

8.1 Teollisuus A1 hiilijalanjälki

Teollisuus A1 kiinteistöstä hiilijalanjäljen tulokseksi saatiin kokonaisuudessaan 1 219 tCO₂eq. Kuvasta 28 voi havaita, että saadusta kokonaishiilijalanjäljen arvosta lähes 93 % muodostuu elementteistä, jotka ovat tämän tarkastelun kannalta käytännössä kokonaan betonimateriaalia. Suurin hiilijalanjälki on peräisin maanvaraisesta betonilaatasta merkittäväällä 31 % osuudella (384,0 tCO₂eq). Toisella sijalla on vesikaton ulkoseinäelementti 22 % osuudella (265,7 tCO₂eq). Kolmanneksi suurin hiilijalanjälki on peräisin vesikaton TT-laatasta 15 % (181,3 tCO₂eq) osuudella. Tarkemmat tiedot tuotteiden hiilijalanjälkiarvoista löytyy liitteestä 2.

Teollisuus A1 kiinteistön keskimääräiseksi hiilijalanjäljeksi saatiin 0,112 tCO₂eq/m². Keskimääräinen hiilijalanjälki laskettiin jakamalla rakennuksen kokonaishiilijalanjälki 1 179 tCO₂eq (josta vähennetty asfaltin hiilijalanjälki 39,3 tCO₂eq) rakennuksen arvioidulla bruttopinta-alalla (10 500 brm²). Vastavasti tontin asfaltti mukaan laskettuna keskimääräiseksi hiilijalanjäljeksi saatiin 0,116 tCO₂eq/m².



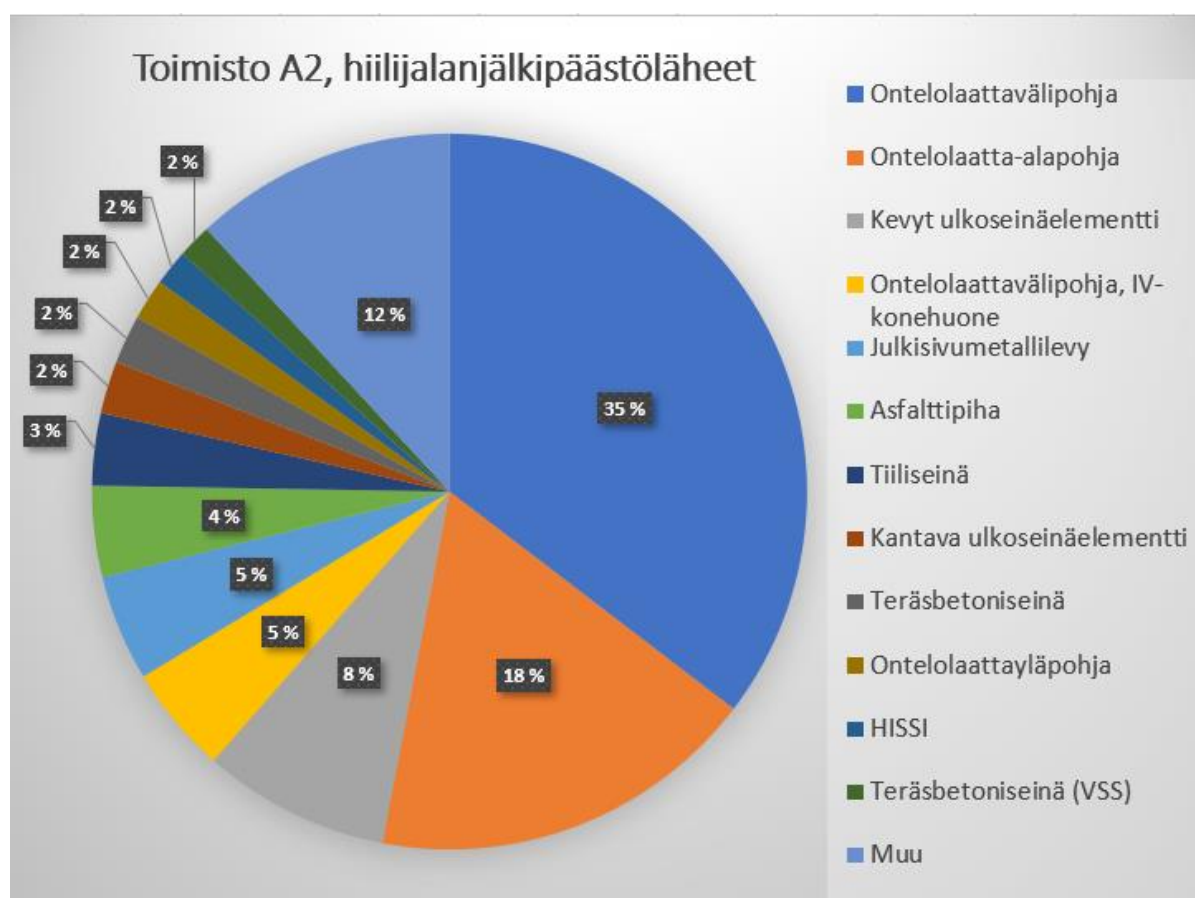
KUVA 28. Teollisuus A1 kiinteistön hiilijalanjälkipäästölähteet (Nousiainen 2021, CC BY-SA)

8.2 Toimisto A2 hiilijalanjälki

Toimisto A2 kiinteistöstä hiilijalanjäljen tulokseksi saatiin kokonaisuudessaan 1 411 tCO₂eq. Tästä keskimääräiseksi hiilijalanjäljeksi saatiin 0,149 tCO₂eq/m², joka laskettiin jakamalla rakennuksen kokonaishiilijalanjälki 1 353 tCO₂eq (josta vähennetty asfaltin hiilijalanjälki) rakennuksen bruttopinta-alalla (9 090 brm²). Vastaavasti kun luettiin tontin asfaltista aiheutuvat hiilijalanjälkipäästöt keskimääräiseksi hiilijalanjäljeksi, saatiin 0,155 tCO₂eq/m². Saaduista arvoista päätellen Toimisto A2 kiinteistöstä laskettiin suurempi keskimääräinen hiilijalanjälki Teollisuus A1 kiinteistöön verraten. Yhtenä vaikuttavana tekijänä tähän on tietojen saatavuus. Toimisto A2:stä tiedot olivat monipuolisemmin saatavilla, mikä mahdollisti kiinteistön laajempaa tarkastelua.

Toimisto A2:n osalta suurin osuus hiilijalanjälkipäästöistä on peräisin ontelolaattavälipohjasta 35 % osuudella (499,1 tCO₂eq) (kuva 29). Toisella sijalla on ontelolaatta-alapohja 18 % osuudella (248,8 tCO₂eq). Kolmanneksi suurin hiilijalanjälki on peräisin ulkoseinäelementeistä 8 % (119,3 tCO₂eq) osuudella. Tarkemmat tiedot tuotteiden hiilijalanjälkiarvoista löytyy liitteestä 3.

Ontelolaattavälipohjan hiilijalanjälki on niin iso koska sitä käytetään niin paljon, ja se koostuu pääosin suuren hiilijalanjäljen omaavista betonimateriaaleista: pintabetonista ja ontelolaatasta. Ontelolaattavälipohja toimii pääosin kerrosten välisenä rakenteena.



KUVA 29. Toimisto A2 kiinteistön hiilijalanjälkipäästölähteet (Nousiainen 2021 CC BY-SA)

Saaduista Toimisto A2:n tuloksista voi huomata selkeän samankaltaisuuden Teollisuus A1:n kanssa. Molemmissa rakennuksissa merkittävin hiilijalanjälkipäästö on peräisin ala-/välipohjista. Teollisuus A1:n maanvarainen betonilaatta ja lattiabetoni aiheuttavat 41 % osuuden kokonaishiilijalanjäljestä.

Vastaavasti Toimisto A2:n kohdalla ontelolaattaväli- ja -alapohjalla on 58 % osuus kokonaishiilijalanjäljestä. Ulkoseinien osuudeksi tuli molemmissa kiinteistöissä 22 %. Kuvan 29 ympyräkaaviossa ulkoseinään kuuluvat kevyt ulkoseinäelementti, julkisivumetallilevy ja kantava ulkoseinäelementti. Lisäksi asfaltilla on molemmissa kiinteistöissä lähes yhtäläinen osuus: Teollisuus A1:n osuudeksi tuli 3 % ja Toimisto A2:n osuudeksi noin 4 %.

Toimisto A2:n tyyppillisen 15,5 neliöisen toimistohuoneen hiilijalanjäljeksi laskettiin 2,15 tCO₂eq (taulukko 4). Tyyppihuoneen laskentaan valittiin yleisimmin rakennuksen toimistohuoneissa esiintyviä rakennuselementtejä: ontelolaattaväli- ja alapohja, kevyt ulkoseinäelementti (US1), äänieristettävä kipsilevyseinä, puinen sisäovi sekä sisälasi- ja ulkolasiseinä (ikkunat IP1-11 ja IP1-15). Ontelolaatan osuus toimistohuoneen hiilijalanjäljestä on 0,97 tCO₂eq. Tämä on lähes puolet huoneen kokonaishiilijalanjäljestä, joka on 2,15 tCO₂eq.

TAULUKKO 4. Toimisto A2 kiinteistön tyyppillisen 15,5 neliön toimistohuoneen arvioitu hiilijalanjälki.

Materiaali	Hiilijalanjälki / tCO ₂ eq
Ontelolaattaväli- ja alapohja	0,966
Kevyt ulkoseinäelementti, sisäkuori, teräsbetonia	0,335
Kevyt ulkoseinäelementti, lämmöneriste, mineraalivilla	0,079
Ulkolasiseinä	0,122
Kevyt ulkoseinäelementti, ulkokuori, teräsbetonia	0,344
Kipsilevyseinä, äänieristettävä, Gyproc EK 13	0,063
Kipsilevyseinä, äänieristettävä, mineraalivillalevy	0,152
Puusisäovi	0,066
Puinen sisälasiseinä	0,022
Summa	2,149

8.3 Tulosten vertailu aikaisemmin laskettuihin rakennuksiin

Tuloksista monipuolisemman kuvan saamiseksi etsittiin aikaisemmin tehty tutkimus liittyen rakennusten hiilijalanjäljen laskentaan. Löydetyistä aineistoista tähän tarkoitukseen parhaiten sopivaksi valittiin vuonna 2019 Senaatin tekemä pilotointi, jossa otettiin selvää kolmen erilaisen uudisrakennuksen tulevasta hiilijalanjäljestä. Näistä rakennuksissa vertauskohteeksi päädyttiin valitsemaan Lappeenrannassa sijaitseva oikeustalo. Valintaan vaikutti sen perusrakenne, joka on lähimpänä kiinteistön Toimisto A2:n rakennetta. Senaatin (2020) pilotoima oikeustalo sisältää käräjäoikeuden istunto-saleja, asiakaspalvelutilaa, toimistotilaa ja kokous-, koulutus- ja kirjastotilat.

Oikeistotalon kiinteistön kokonaishiilijalanjäljeksi saatiin 2 365 tCO₂eq, sisältäen 2 448 m² bruttopinta-alaisen rakennuksen (taulukko 5) sekä tontin rakennusosineen (Senaatti 2020). Tästä keskimääräiseksi hiilijalanjäljeksi saatiin 0,966 tCO₂eq/m². Saatu tulos on huomattavan suuri verraten laskettujen kiinteistöjen keskimääräisiin tuloksiin, joiksi saatiin Teollisuus A1:n osalta 0,093 tCO₂eq/m² sekä Toimisto A2:n osalta 0,155 tCO₂eq/m² (tonttien asfaltit mukaan luettuna). Huomioidavaa onkin, että Senaatin tekemän laskennan osa-alue oli tässä työssä tehtyä laskentaa laajempi, eikä näin ollen tästä saatu kunnon vertailukohtaa Teollisuus A1 ja Toimisto A2 kiinteistön tuloksiin.

Oikeistotalosta tehtyyn arviointiin sisältyi koko rakennus, tontin rakenteet ja taloteknisistä järjestelmistä suurin osa. Oikeistotalon arvio tehtiin 50 vuoden tarkastelujaksolla sisällyttäen elinkaaren

arviointiin rakennusmateriaalien valmistuksessa syntyneet päästöt, materiaalien kuljetus työmaalle, työmaan päästöt, rakennuksen käytön ja osien uusimisen päästöt sekä purkuvaiheessa syntyvät päästöt. (Senaatti 2020.) Vastaavasti teollisuus A1 ja Toimisto A2 kohdalla arviointiin sisällytettiin pääosin rakennuksen tuotantovaiheessa syntyneet päästöt. Talotekniikan osalta arviointiin sisällytettiin ainoastaan hissit Toimisto A2:sestä. Tontin rakenteista arviointiin sisällytettiin asfaltoitu alue. Osien arvioituja uusimisen ja korjauksen päästöjä ei laskettu. Kuitenkin suurimmalla osalla materiaaleista, etenkin kantavilla rakenteilla, oli 50 vuoden arvioitu vaihtoväli.

TAULUKKO 5. Senaatin hiilijalanjäljen pilotointiin valitut kohteet, joista tähän työhön vertailukohteeksi valittiin oikeustalo. (Muokattu lähteestä Senaatti 2020)

Selite	Koulu	Oikeistotalo	Esikuntarakennus
bruttopinta-ala, m ²	6399	2448	2620
lämmitetty nettoala, m ²	6025	2278	2433
kerrosluku	1-2	3	2 + kellari
pääasiallinen runkomateriaali	puu (CLT)	betoni	betoni
lämmitys	kaukolämpö	kaukolämpö	kaukolämpö
energialuokka	A	B	A
kokonaispäästöt	4 853 tCO ₂ eq	2 365 tCO ₂ eq	1 920 tCO ₂ eq
keskimääräiset päästöt, CO ₂ eq/m ² (tontin päästöt mukaan lukien)	0,758 tCO ₂ eq	0,966 tCO ₂ eq	0,733 tCO ₂ eq

8.4 Betoni rakennusmateriaalina ja sen energiatehokkuus

Sekä teollisuus- että toimitilakiinteistöstä merkittävä osa kokonaishiilijalanjäljestä on peräisin betonista. Osasyynä tähän on molempien rakennusten betonirunkoinen rakenne, joten mm. seinät sekä ala-, väli- ja yläpohjat koostuvat pääosin betonimateriaalista. Betoni rakennusmateriaalina omaa lisäksi korkean hiilijalanjälkiarvon tilavuuteensa nähden. Esimerkiksi tehdystä ”Materiaalit” -taulukosta katsoen betonin hiiliekvivalenttiarvo on noin 0,16 kgCO₂eq/kg ja tilavuudeltaan yksi kuutiometri betonia painaa keskimäärin 2400 kg. Tästä laskettuna betonin hiilijalanjälki on noin 384 CO₂eq/m³.

Betonin raaka-aineina käytetään pääosin sementtiä, vettä ja kiviainesta. Betoniin käytettävää kiviainesta ja kalkkikiveä on saatavilla lähes rajattomasti kaikkialla. Sementillä on suurin vaikutus betonin energiakulutukseen ja päästöihin. Sementin valmistukseen ja kuljetukseen menee energiaa keskimäärin 4 500–5 000 MJ/tonni sementtiä ja hiilidioksidipäästöjä aiheutuu noin 600–700 kg/tn. (Betoniteollisuus ry julkaisuaika tuntematon) Sementin valmistuksessa sähkön käytön tehokkuus vaihtelee välillä 89–130 kWh/tonni sementtiä. Noin 90 % valmistajista käyttävät menetelmää, joka kuluttaa energiaa noin 130 kWh/tonni sementtiä ja loput 10 % käyttävät menetelmää, joka kuluttaa energiaa noin 89 kWh/tonni sementtiä. Betonimateriaaleista aiheutuvaan hiilijalanjälkeen voi siis vaikuttaa mm. suosimalla energiaa säästävää tapaa. (Häkkinen & Vares 2018, 48, 52.)

Sementin laadusta ja edustavuudesta riippuen sen khk-päästöt vaihtelevat suuresti eri tietokannoissa ja tietolähteissä. Vuodesta 2018 katsottuna sementin hiilidioksidipäästöt ovat vähentyneet keskimäärin 16 % viimeisen 10 vuoden aikana. Merkittävimpänä tekijänä tähän on ollut kierrätyspolttoaineiden käyttö, joka on johtanut polttoaineesta peräisin olevien hiilidioksidipäästöjen vähentymiseen. Finnsementti, suomalaisen sementinvalmistajayrityksen esimerkillinen tavoite on sen

ympäristöraportin mukaan pyrkiä vähentää jo keskiarvoa pienempää CO₂-päästöjään. Yritys pyrkii tavoitteisiinsa mm. seuraavilla menetelmillä: kierrätyspolttoaineiden, vaihtoehtoisten raaka-aineiden ja sementin seostamisen avulla, jauheen sulamisasteen laskemisen avulla käyttämällä mineraalisaattoreita ja parantamalla polttoprosessin energiatehokkuutta. (Häkkinen & Vares 2018, 48, 52.)

Raudoitettun betonin ympäristöystävällisyyden arvioinnissa otetaan huomioon rakenteen koko elinkaari. Elinkaareen sisältyy betonin osa-ainesten ja rakenteen valmistus, käyttö, huolto, purkaminen sekä osien tai materiaalien kierrätyksen ympäristövaikutukset. (Betoniteollisuus ry julkaisuaika tuntematon.)

Terveyden ja ympäristön kannalta betoni on mitä toimivin rakennusmateriaali, sillä se ei sisällä näille sektoreille haitallisia aineita. Betoni kuuluu sisäilman pintamateriaalien laatuluokituksessa parhaimpaan M1 luokkaan. (Betoniteollisuus ry julkaisuaika tuntematon.)

Betonirakennuksen ekotehokkuutta puoltaa sen pitkä käyttöikä. Lisäksi se kuluttaa arviolta 5–15 % vähemmän lämmitysenergiaa verrattuna vastaavanlaiseseen kevytrakenteiseen rakennukseen. Betonirakennuksen suunnittelu- ja valmistusvaiheissa on kuitenkin monia huomioon otettavia seikkoja ekotehokkuuden lisäämiseksi. (Betoniteollisuus ry julkaisuaika tuntematon.)

Suunnittelussa huomioon otettavia seikkoja:

- valitaan betonille pidempi käyttöikä
- suunnitellaan valmiiksi rakenteen purettavuus
- talotekniikan vaihdettavuuden ja huollettavuuden ylläpito
- betonin termisten ominaisuuksien hyödyntäminen
- pitkien jännevälien käyttö muunneltavuuden turvaamiseksi

Valmistuksessa huomioon otettavia seikkoja:

- käytetään kierrätyskiviaineksia tai kalliomursketta luonnon harjukiviaineksen sijaan
- käytetään seossementtejä
- kierrätetään tuore jätebetoni, liete sekä prosessivesi
- käytetään hyväksi muun teollisuuden sivutuotteita, kuten lentotuhkaa ja silikaa
- Energian käytön minimointi betonituotteiden valmistuksessa (Betoniteollisuus ry julkaisuaika tuntematon)

Sementin laadusta ja edustavuudesta riippuen sen khk-päästöt vaihtelevat suuresti eri tietokannoissa ja tietolähteissä. Vuonna 2018 tehdyn tutkimuksen perusteella sementin hiilidioksidipäästöt olivat vähentyneet keskimäärin 16 % edellisten 10 vuoden aikana. Merkittävimpänä tekijänä tähän on ollut kierrätyspolttoaineiden käyttö, joka on johtanut polttoaineesta peräisin olevien hiilidioksidipäästöjen vähentymiseen. Finnsementti, suomalaisen sementinvalmistajayrityksen esimerkillinen tavoite on sen ympäristöraportin mukaan pyrkiä vähentää jo keskiarvoa pienempää CO₂-päästöjään. Yritys pyrkii tavoitteisiinsa mm. seuraavilla menetelmillä

- kierrätyspolttoaineilla
- vaihtoehtoisilla raaka-aineilla

- sementin seostamisella
- jauheen sulamispisteen laskemisella
- käyttämällä mineraalisaattoreita
- parantamalla polttoprosessin energiatehokkuutta. (Häkkinen & Vares 2018, 48, 52.)

9 YHTEENVETO JA POHDINTAA

Tässä opinnäytetyössä on selvitetty, miten rakennusten hiilijalanjälki muodostuu. Kiinteistöjen tutkimuksessa keskityttiin materiaaleista syntyviin hiilijalanjälkipäästöihin. Työssä laskettiin Navitas Kehitys Oy:lle suuntaa antava hiilijalanjälki Navitas Yrityspalvelut yrityksen kahdelle erityyppiselle, betonirakenteiselle teollisuus- ja toimitilakiinteistölle. Tässä raportin julkaistavassa versiossa kiinteistöt nimettiin Teollisuus A1 ja Toimisto A2. Saaduista tuloksista pohdittiin mahdollisia toimenpiteitä hiilijalanjäljen pienentämiseksi sekä jo olemassa oleville rakennuksille, että uudisrakennuksia ajatellen. Tulokset ovat osana yrityksen hiilineutraalitavoitetta antaen monipuoliset pohjatiedot sen tuleviin ympäristövastuullisiin hankkeisiin.

Työn edetessä selkeytyi ajatus hiilijalanjäljen huomioimisen tärkeydestä jo rakennushankkeen alkuvaiheesta lähtien. Tähän mennessä rakennusten ilmastovaikutusten ohjauksessa on keskitytty pääasiassa rakennusten käytön aikaiseen energiankulutukseen. Vuonna 2017 asetettiin enimmäisarvot uusien rakennusten energiatehokkuutta koskien. Kuitenkin rakennusmateriaaleista ja -tuotteista aiheutuvien päästöjen huomioon ottaminen asetuksella olisi kannattava lisäys rakentamisen ja rakennusten päästöjen laajempaa ohjausta ajatellen. Tämän avulla keskityttäisiin tasapainoisemmin eri rakennusvaiheiden päästöihin ja saataisiin suurempi vaikutus hiilijalanjälkeen sekä osaltansa kustannustehokkuuteen.

Kiinteistöistä suurin osa hiilijalanjälkiosuudesta oli peräisin kokonaan tai osaksi betonista koostuvista materiaaleista. Sementin valmistuksesta aiheutuu pääosa betonin päästöistä. Hiilidioksidipäästöjä muodostuu arviolta 600–700 kg/tonni sementtiä. Jatkuvan tuotekehityksen myötä kuitenkin sementistä aiheutuvia päästöjä saadaan kokoajan pienemmiksi. Suosimalla betonia, joka on valmistettu vähäpäästöisemmällä menetelmällä voi vaikuttaa jo merkittävästi rakennuksen valmistusvaiheessa aiheutuviin kokonaispäästöihin.

Työssä keskityttiin pääasiassa kiinteistön elinkaaren tuotevaiheessa syntyviin päästöihin, johon sisältyy raaka-aineen hankinta, kuljetus valmistukseen sekä tuotteen valmistus. Näihin liittyvät materiaalien hiiliekvivalenttitiedot on otettu suurimmaksi osaksi Ympäristöministeriön tietokannasta ja One Click LCA:n ohjelmistosta. Nämä ovat tarkoitettu pääasiassa uudisrakennusten hiilijalanjäljen laskeamiseen, sillä ne sisältävät nykypäivänä käytettävien materiaalien päästötiedot. Etenkin Teollisuus A1 kiinteistöstä saadut hiilijalanjälkiarvot ovat mitä luultavimmin todellisuutta pienemmät. Teollisuus A1 kiinteistön rakentamisen aikaan, 1970-luvulla, ei vielä tiedostettu kestävä rakentamisen termiä. Toimisto A2 kiinteistön osalta tietokannoista otetut tiedot ovat lähempänä materiaalien todenmukaista arvoa.

Toimisto A2 kiinteistöstä hiilijalanjäljen tulokseksi saatiin kokonaisuudessaan 1 411 tCO₂eq ja Teollisuus A1 kiinteistöstä 1 219 tCO₂eq. Näistä tuloksista keskimääräiseksi hiilijalanjäljeksi saatiin Toimisto A2:sta 0,149 tCO₂eq/m² ja Teollisuus A1:sta 0,112 tCO₂eq/m². Keskimääräinen hiilijalanjäljen arvo laskettiin jakamalla rakennuksen kokonaishiilijalanjälki (josta vähennetty asfaltin hiilijalanjälki) rakennuksen bruttopinta-alalla. Toimisto A2 kiinteistöstä laskettiin suurempi keskimääräinen hiilijalanjälki. Tämä luultavimmin johtuu siitä, että toimistossa on enemmän betonia rakenteissa bruttopinta-alaa kohden. Laskentaan ei löytynyt aikaisemmin tehtyjä vertailtavia tuloksia.

Laskentaa on tarvittaessa mahdollista jatkaa laskemalla tässä työssä pois rajatut osa-alueet, kuten elinkaaren vaiheista materiaalien kuljetus työmaalle, työmaan päästöt, rakennuksen käytön ja osien uusimisen päästöt sekä purkuvaiheessa aiheutuvat päästöt. Rakenneosista myöhemmin laskettavaksi jäi puolestaan mm. pääosa tontin ja talotekniikan rakenteista. Työn ohella koottuun hiilijalanjälkilaskuriin lisättiin erilliset laskentaohjeet, jotta myös tilaaja voi tarvittaessa hyödyntää tätä myöhemmin. Laskuri sisältää suuren määrän dataa laskettujen kiinteistöjen materiaaleista sekä erillisen ”Materiaalit” -taulukon, johon on koottu kaikki tarvittavat hiiliekvivalentti- ja tiheystiedot. Huomioitavaa on, että laskuri ei kuitenkaan sisällä rakennuksesta pois rajattujen elinkaarivaiheiden laskenta-kaavoja.

Työssä yksi olennaisin saatu tulos oli betonin määrä lasketusta kokonaishiilijalanjäljestä. Suurin osa kiinteistöjen hiilijalanjäljestä oli peräisin materiaaleista, jotka koostuivat kokonaan tai osaksi betonista. Sementin valmistuksesta aiheutuu pääosa betonin päästöistä, hiilidioksidipäästöjä aiheutuen arviolta 600–700 kg/tonni sementtiä. Jatkuvan kehittyvän tutkimuksen myötä kuitenkin myös sementistä aiheutuvia päästöjä saadaan kokoajan pienennettyä. Suosimalla betonia, joka on valmistettu vähäpäästöisemmällä menetelmällä voikin vaikuttaa jo merkittävästi rakennuksen valmistusvaiheessa aiheutuviin kokonaispäästöihin.

Työprosessin yksi haastavimpia osa-alueita oli tiedon etsiminen. Teollisuus A1 ja Toimisto A2 kiinteistöistä saatavilla olevat tiedot olivat lähes kaikki paperimuodossa. Kiinteistöjen rakentamisen aikaan ei ollut vielä mahdollista tallentaa tietoja internetin tietokantoihin nykypäivän tapaan. Nykyään tämä on jo pakollinen prosessi Suomessa tehtävissä uudisrakennuksissa. Rakennussektorin moninaisten tietohaarojen yhdistämiseksi on yhtenä viimeisimpänä edistysaskeleena kehitetty rakennusten tietomallinnukseen tarkoitettu BIM (Building Information Modeling). Tietomallinnus on luotu käytettäväksi rakennushankkeiden yhteistyönä toteutettaviin suunnittelu-, rakentamis- ja käyttöprosesseihin. Tietomallinnuksessa tietojen digitaalisesti kokoaminen mahdollistaa tietojen helpomman tarkastelun jälkepäin. Nopeasti käden ulottuvissa oleva digitaalinen informaatio antaa uuden ulottuvuuden niin rakennusten hiilijalanjäljen laskentaan kuin rakentamisen alalle kokonaisuudessaan. (MagiCAD julkaisuaika tuntematon.)

Digitaalisen tallentamisen avulla pystytään tarkkailemaan yhä tehokkaammin rakennussektorin ympäristövastuuta. Kehityssuunta on tärkeä, sillä rakennusteollisuudella on merkittävä osuus Suomen kokonaispäästöistä. Tämän vuoksi rakentamisen päästövähennykset ovat tarpeelliset kansallisten ja kansainvälisten ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyön tekeminen opetti ammatillisesti enemmän kuin olisin osannut odottaa. Työn tekemisen ohella opin käyttämään Microsoft Excel-ohjelmistoa yhä monipuolisemmin, erityisesti kaavojen laatimisen muodossa Pivot-taulukko-ominaisuutta hyödyntäen. Työn ohella tutustuin myös ensimmäistä kertaa ArchiCAD-suunnitteluohjelmiston käyttöön. Ohjelmiston avulla saatiin mitattua laskettavien kiinteistöjen tarpeelliset pinta-ala- ja pituustiedot. Lisäksi opin paljon rakennustekniikasta, jota ei minulla kuulunut opinto-ohjelmaan. Esimerkiksi opin lukemaan rakennusten mittapiirustuksia, elementtikaavioita ja pohjapiirustuksia. Työprosessin aikana sain laajemmän kokonaisvaltaisen ymmärryksen rakennusten hiilijalanjäljen laskennasta, mikä kehittyi työn

etenemisen ohella. Työn edetessä lujittui myös käsitys välitavoitteiden tekemisen ja niissä pysymisen tärkeydessä, etenkin näin pitkäaikaisen projektin osalta.

LÄHTEET

- Betoniteollisuus ry julkaisuaika tuntematon. Betonirakenteen ekotehokkuus. Verkkojulkaisu. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ekologisuus/betonirakenteen-ekotehokkuus/>. Viitattu 2.11.2021.
- Bionova 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Pdf-tiedosto. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf/1f3642e1-5d58-8265-40c1-337deeab782d/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf?t=1603260760602. Viitattu 15.11.2021.
- Ekokompassi julkaisuaika tuntematon. Yrityksen hiilijalanjälki. Verkkojulkaisu. https://ekokompassi.fi/yrityksen-hiilijalanjalki/?fbclid=IwAR1mG38cd7I9HkarLwgkJ9G0HYkD17TCeDFzc4O_jja8Muyroh5nKaSKFvM. Viitattu 26.11.2021.
- Greenhouse Gas Protocol julkaisuaika tuntematon. About Us. Verkkojulkaisu. <https://ghgprotocol.org/about-us>. Viitattu 12.9.2021.
- Greenhouse Gas Protocol 2004. A Corporate Accounting and Reporting Standard. Pdf-tiedosto. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>. Viitattu 14.9.2021.
- Greenhouse Gas Protocol 2011. GHG Protocol Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard. Pdf-tiedosto. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf. Viitattu 14.9.2021.
- Greenhouse Gas Protocol 2015. GHG Protocol Scope 2 Guidance. Pdf-tiedosto. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Scope%20%20Guidance_Final_Sept26.pdf. Viitattu 8.9.2021.
- Hunton julkaisuaika tuntematon. Tuulensuojalevy, läpikyllästetty. Pdf-tiedosto. <https://www.sarokas.fi/mwdownloads/download/link/id/29/>. Viitattu 19.9.2021.
- Häkkinen, Tarja & Vares, Sirje 2018. VTT. Rakennusten khk-päästöjen ohjauksen vaikutusten arviointi. pdf-tiedosto. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2018/T324.pdf>. Viitattu 25.11.2021.
- IPCC 2021. Climate change widespread, rapid, and intensifying. Pdf-julkaisu. <https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr/>. Viitattu 4.11.2021.
- Jäte kukko julkaisuaika tuntematon. Verkkojulkaisu. <https://www.jatekukko.fi/lajittelu-ja-neuvonta/lajittelun-abc/mineriitti.html#9c0e6c4f>. Viitattu 19.9.2021.
- KESTO julkaisuaika tuntematon. HANKE. Verkkojulkaisu. <https://kestosavo.fi/hanke-esittely/>. Viitattu 25.9.2021.
- Kurnitski, Jarek 2021. Suomen ilmastopaneeli. Ehdotus ympäristöministeriön asetukseksi rakennuksen ilmastaselvityksestä (luonnos). https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/08/VN-14758_2021_Ehdotus-ymparistoministerion-asetukseksi-rakennuksen-ilmastaselvityksesta_YM.pdf. Viitattu 24.11.2021.
- LAB OPEN julkaisuaika tuntematon. Energian hiilidioksidipäästöjen laskenta materiaalikatselmuksissa. Verkkojulkaisu. <https://www.labopen.fi/lab-pro/energian-hiilidioksidipaastojen-laskenta-materiaalikatselmuksissa/>. Viitattu 24.9.2021.

- MagiCAD julkaisuaika tuntematon. Mitä on BIM? Verkkajulkaisu. <https://www.magicad.com/fi/bim/>. Viitattu: 5.12.2021.
- Motiva 2021. CO2-päästökertoimet. Verkkajulkaisu. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian-kaytto-suomessa/co2-paastokertoimet>. Viitattu 26.9.2021.
- Myllylän Betoni Oy julkaisuaika tuntematon. VALMISBETONI. Verkkajulkaisu. <https://mybe.fi/valmis-betoni/>. Viitattu 19.9.2021.
- Tyynysniemi 1973. Ekono. Rakennusselitys. Julkaistu 16.4.1973. Varkauden kaupunki.
- Pöllänen, Heimo, Niskakangas, Tarmo, Paavola, Pekka, Somma, Kari, Laitinen, Hannu, Manninen, Jari, Mantsinen, Pertti ja Laitinen, Mikko 2001. Varkauden Taitotalo Oy, Arkkitehtitoimisto Pekka Paavola Oy, Arkkitehtitoimisto CJN Oy, Ins.tsto Controlteam Oy, LVI-Ins.sto Lindroos Oy, Sähköins.tsto, Maa ja Vesi Oy. Rakennuttaja, suunnittelijat, rakennesuunnittelu, LVI-suunnittelu, sähkösuunnittelu, pohjatutkija. Rakennusselostus. Julkaistu 31.1.2001. Varkauden kaupunki.
- Navitas Yrityspalvelut julkaisuaika tuntematon. Kokous-, tila- ja ravintolapalvelut. Verkkajulkaisu. <https://navitas.fi/kokous-ravintola-ja-toimitilapalvelut>. Viitattu 25.9.2021.
- Navitas Yrityspalvelut julkaisuaika tuntematon. Yritysten neuvonta-, kasvu- ja kehittämispalvelut. Verkkajulkaisu. <https://navitas.fi/kasva-ja-kehity>. Viitattu 25.9.2021.
- Navitas Yrityspalvelut julkaisuaika tuntematon. Navitas Yrityspalvelut. Verkkajulkaisu. <https://navitas.fi/navitas-yrityspalvelut>. Viitattu 25.9.2021.
- Nousiainen, Minna 2021. Hiilijalanjälkilaskurin ohjeet osa 1 & 2. Kuvankaappaus. 2.12.2021. Espoo: Minna Nousiaisen kokoelmat.
- Nousiainen, Minna 2021. Hiilijalanjälkilaskurin päätaulukko. Kuvankaappaus. 2.12.2021. Espoo: Minna Nousiaisen kokoelmat.
- Nousiainen, Minna 2021. Toimisto A1 kiinteistön hiilijalanjälkipäästölähteet. Valokuva. 25.5.2021. Espoo: Minna Nousiaisen kokoelmat.
- Nousiainen, Minna 2021. Toimisto A2 kiinteistön hiilijalanjälkipäästölähteet. Valokuva. 25.5. 2021. Espoo: Minna Nousiaisen kokoelmat.
- One Click LCA julkaisuaika tuntematon. Life Cycle Assessment. Verkkajulkaisu. <https://www.oneclick-lca.com/construction/life-cycle-assessment-software/>. Viitattu 3.11.2021.
- OpenCO2.net julkaisuaika tuntematon. Taustaa. Verkkajulkaisu. <https://www.openco2.net/fi/taustaa>. Viitattu 24.9.2021.
- Pajula, Tiina, Vatanen, Saija, Pihkola, Hanna, Grönman, Kaisa, Kasurinen, Heli & Soukka, Risto 2018. VTT. Carbon Handprint Guide. Pdf-tiedosto. https://moodle.savonia.fi/pluginfile.php/1154842/mod_resource/content/0/Carbon_Handprint_Guide2018.pdf. Viitattu 13.9.2021.
- Punkki, Jouni 2020. Rakentamisen ekologisuus. Pdf-tiedosto. <https://tiedostot.rakennustieto.fi/rakentajain-kalenteri/RK030305.pdf>. Viitattu 14.11.2021.
- Rakennustarkkailija 2017. Vanhoja ja vähän uudempiakin rakennusmateriaaleja. Verkkajulkaisu. <https://rakennustarkkailija.com/2017/09/22/vanhoja-ja-vahan-uudempiakin-rakennusmateriaaleja/>. Viitattu 23.9.2021.
- Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu. 2019. Ympäristöministeriö & Green Building Council Finland. <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Rakennusten-hiilijalanjaljen-arviointityokalu->

9.12.2019-D4EE18D2_E07C_48A2_88A5_D266705A0498-149235.xlsm/f3182a07-d5f5-b879-d663-1d28003cf5a4?t=1603259829955. Viitattu 24.9.2021.

Salovaara, Marjo 2014. Hiilijalanjäljen pienentämismahdollisuuksien tunnistaminen mediatalossa. Diplomityö. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/100064/Diplomity%C3%B6_Salovaara_Marjo.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Viitattu 12.11.2021.

Senaatti 2020. Miten suuri on rakennuksen hiilijalanjälki? Verkkojulkaisu. <https://www.senaatti.fi/tyoymparistot/inspiraatio/artikkeli/miten-suuri-on-rakennuksen-hiilijalanjalki/>. Viitattu 7.12.2021.

SFS-EN ISO 14067. 2018. Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

United Nations julkaisuaika tuntematon. What is climate change? Verkoaineisto. <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>. Viitattu 4.11.2021.

Ympäristöministeriö 2019. Rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Pdf-tiedosto. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyyden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 10.12.2021.

Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon. Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035. Verkkojulkaisu. <https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035>. Viitattu 4.11.2021.

Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon. Vähähiilinen rakentaminen. Verkkojulkaisu. <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen>. Viitattu 3.11.2021.

Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon. Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. Verkkojulkaisu. <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>. Viitattu 3.11.2021.

LIITE 1: TAULUKKO YMPÄRISTÖMINISTERIÖN ARVIOITAVISTA RAKENNEOSISTA JA NIIDEN TUNNUKSET

Tontti	
Maatyöt	1111 Raivaukset 1112 Kaivannot 1113 Kanaalit 1114 Täyttöosat 1115 Penkereet 1116 Kuivatusosat
Tuennat ja vahvistukset	1121 Paalut 1122 Pysyvät tuennat 1123 Vahvistukset
Tontin päällysteet	1131 Liikennealueiden päällysteet 1132 Paikoitusalueiden päällysteet 1133 Oleskelu- ja leikkialueiden päällysteet
Tontilla olevat ulkopuoliset rakenteet perustuksineen	1151 Pihavarastot 1152 Pihakatokset 1154 Portaat, luiskat ja terassit
Kantavat rakenteet	
Rakennusten perustukset ja vedenpoisto	1211 Anturat 1212 Perusmuurit, -pilarit ja -palkit
Alapohjat	1221 Alapohjalaatat 1222 Alapohjakanaalit
Runko	1231 Väestönsuojat 1232 Kantavat seinät 1233 Pilarit 1234 Palkit 1235 Välipohjat 1236 Runkoportaat
Julkisivut	1241 Ulkoseinät 1242 Ikkunat 1243 Ulko-ovet
Ulkotasot	1251 Parvekkeet 1252 Katokset 1253 Erityiset ulkotasot
Vesikatot	1261 Vesikattorakenteet 1262 Räystäsrakenteet 1263 Vesikatteet 1265 Lasikattorakenteet 1266 Kattoikkunat ja -luukut
Kevyet rakenteet	
Väliseinät	1311 Väliseinät 1312 Lasiväliseinät 1315 Väliovet 1316 Erityisovet 1317 Tilaportaat
Pintarakenteet	1321 Lattioiden pintarakenteet 1323 Sisäkattorakenteet 1325 Seinien pintarakenteet
Kiintokalusteet	1331 Vakiokiintokalusteet

Kevyet rakenteet	
Hormit ja tulisijat	134 Hormit ja tulisijat
Tilaelementit	1351 Kylpyhuone-elementit 1353 Saunaelementit 1354 Talotekniikan elementit 1355 Hormielementit
LVI-järjestelmät ja niitä vastaavat LVI2010-nimikkeet	
Lämmitysjärjestelmät	2111 Keskusosat: kattilalaitteistot, poltinlaitteistot, savupiiput, maa- ja ilmalämpöpumppulaitteistot, aurinkolämpöläitteistot 2112 Siirto-osat: vaihtoverkostot, liuosputkistot, ilmanavat 2113 Pääteosat: patterit, säteilylämmittimet, lattialämmitysputkistot, tuloilmalämmittimet 2114 Alueosat: verkostot, lämpökeskukset, piiput, polttoaineiden varastot, aurinko-, lämpöpumppu- ja yhdistelmälämmitysjärjestelmien laitteistot, lämmön varastointilaitteistot, putkistot
Vesi- ja viemärijärjestelmät	2122 Siirto-osat: säiliöt ja varaajat 2123 Pääteosat: sekoittimet, hanat, altaat, wc-istuimet, virtsalot, ammeet, suihkualtaat ja -kaapit 2124 Alueosat: talovesijohdot, tonttijohdot, jätevesiviemärit, tarkastuskaivot, hulevesikaivot, sadevesiviemärit
Ilmastointijärjestelmät	2131 Keskusosat: koneet osineen, poistoilmakoneet, kierrätysilmakoneet, tuloilmakoneet, lämmöntalteenotto-laitteistot, jäteilman puhdistuslaitteistot 2132 Siirto-osat: putket ja kanavat 2133 Pääteosat: poistoilmaikkunat 2134 Alueosat: ulko- ja jäteilmakuilut ja -kanavat, lämmöntalteenottolaitteistot, suodatinlaitteistot, ulkoilma- ja ulospuhalluslaitteet
Jäähdytysjärjestelmät	2141 Keskusosat: koneet, laitteet, pumput, höyrystimet, lämmönsiirtimet, lauhduttimet, säiliöt 2142 Siirto-osat: putkistot 2143 Pääteosat: patterit, ilmastointikoneet, ilmastointipalkit 2144 Alueosat: verkosto, keskukset, putkistot
Palontorjuntajärjestelmät	2152 Siirto-osat: Vesijohdot, sprinkleriputkistot
Sähköjärjestelmät ja niitä vastaavat S2010-nimikkeet	
Tuotanto ja liittäminen	S212 Sähkön tuotantojärjestelmät ja -laitteistot
Pääjakelu	S221 Keskijännitejakelujärjestelmä S222 Pääjakelujärjestelmä
Sähköistys	S231 Kiinteistön laitteiden ja laitteistojen sähköistys S232 LVI-laitteiden ja -laitteistojen sähköistys S233 Käyttäjän laitteiden ja laitteistojen sähköistys
Valaistusjärjestelmät	S251 Sisävalaistusjärjestelmä S252 Ulkovalaistusjärjestelmä S253 Aluevalaistusjärjestelmä
Sähkölämmitysjärjestelmät	S261 Rakennuksen sähkölämmitysjärjestelmä S262 Lattialämmitykset
Laitteosat	
Siirtimet	2511 Hissit

LIITE 2: TEOLLISUUS A1 KIINTEISTÖN RAKENNEOSIEN HIILIJALANJÄLJET

Rakennus	Teollisuus A1	
Riviotsikot	Summa / kgCO₂eq/tuoteryhmä	
Maanvarainen betonilaatta		384000
Ulkoseinäelementti		265678
TT-laatta, Vesikatto		181257
Lattiabetoni		117180
TT-laatta		84153
Sokkelielementti		48024
Elementtipilari		46322
Asfalttipiha		39312
Muovimatot		11718
Teräslevy (8kpl)/ teräsbetonipalkki		10744
Muovilaatat 2,5 mm		7008
TT-laatta, lämpökeskus		3747
Elementtipilari, lämpökeskus		3738
Puuovet ja ikkunat		3584
Teräsovi		3193
Seinäpäällystelaatat		2257
Jännebetonipalkki, vesikatto		1517
WC-istuin		1386
Betonipalkki, Lämpökeskus		1101
Savunpoistoluukku, vesikatto		1022
Laattalattia		1007
Pesuallas		471
Jännebetonipalkki		183
D-linjan runkoiset elementit		90
18-linjan puurunkoinen elementti		80
Kaikki yhteensä		1218774

LIITE 3: TOIMISTO A2 KIIINTEISTÖN RAKENNEOSIEN HIILIJALANJÄLJET

Rakennus	Toimisto A2	
Tulokset	Summa / KgCO₂eq/tuoteryhmä	
Ontelolaattavälipohja		499113
Ontelolaatta-alapohja		248766
Kevyt ulkoseinäelementti		119290
Ontelolaattavälipohja, IV-konehuone		69047
Julkisivumetallilevy		67504
Asfalttipiha		58061
Tiiliseinä		46098
Kantava ulkoseinäelementti		33379
Teräsbetoniseinä		30936
Ontelolaattayläpohja		26300
HISSI		22755
Teräsbetoniseinä (VSS)		21688
Puuovi		18660
Metalliovi		17997
linoleum-matto		17175
Kipsilevyseinä, äänieristettävä		14778
Puuikkuna		14248
Paroc elementtiseinä, IV-konehuone (EI 120)		13689
Lasiseinä		12390
Kipsilevyseinä		11048
Kuivapuristelaatta		8995
Poimulevy-yläpohja, IV-konehuone		7752
Massiivipuuparketti (tammi)		4779
Keraaminen laatta, ulkokuori		4680
flotex-tekstiilipalamatto		4048
Alumiinilasiulko-ovi		2673
Sokkelielementti		2537
Puiset sisälaseinät		2406
WC-istuin		2294
Keraaminen laatta		1594
Pesuallas		1541
Teräksiset sisälaseinät		917
Teräsrakenteinen ulko-ovi		702
Katokset		565
Kosteiden tilojen/saunan seinä		555
Paroc-elementtiseinä/Saunan seinä		454
Muovimatto		342
Siirtoseinä		263
Metallinen pesuallas		253
Suihku ja letku komposiitti		113
Palo-ovi, tuulikaapin sisäovet		97
Teräsrakenteinen ovi		86
Tuulikaapin ulko-ovet)		72
Tuulikaapin ulko-ovi		29
Kaikki yhteensä		1410670

LIITE 4: HIILIJALANJÄLKILASKURI (VAIN TILAAJAN KÄYTÖSSÄ)