OAMK OULUN AMMATTIKORKEAKOULU

Jaakko Riekki

HIRSI TOIMITILARAKENTAMISESSA

Ekologisuus ja taloudellisuus

HIRSI TOIMITILARAKENTAMISESSA

Ekologisuus ja taloudellisuus

Jaakko Riekki
Opinnäytetyö
Kevät 2023
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, talonrakennustekniikka

Tekijä: Jaakko Riekki
Opinnäytetyön nimi: Hirsi toimitilarakentamisessa Ekologisuus ja taloudellisuus
Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Use of Log in Office Building Ecology and Economical Efficiency
Työn ohjaaja: Juho Vinkki
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023 Sivumäärä: 36

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia hirren käytön ekologisuutta ja taloudellisuutta toimitilarakentamisessa elinkaarilaskennan keinoin. Työn tarkoituksena oli selvittää, onko hirsi kilpailukykyinen materiaali toimitilarakentamisessa.

Työssä tehtiin hiilijalanjälkilaskelma ja elinkaarikustannuslaskelma herkkyystarkasteluineen esimerkkikohteelle ja tarkasteltiin aihetta tuloksien pohjalta. Aluksi tehtiin laskelmat rakennetun mukaisella hirsirakennuksella, jota vertailtiin kuvitteellisiin vertailurakennuksiin hiilijalanjäljen ja elinkaarikustannusten suhteen.

Laskelmista kävi ilmi, että hirsirakennus on rakentamiskustannuksiltaan kilpailukykyinen vaihtoehto sekä kustannusten että ympäristövaikutusten näkökulmasta, mutta elinkaaren aikaisiin päästöihin ja energiatehokkuuteen pitäisi kiinnittää huomiota, jotta hirsirakennus olisi ekologinen ja taloudellinen vaihtoehto vertailurakenteisiin nähden koko elinkaaren aikana.

Asiasanat: hiilijalanjälki, hiilikädenjälki, elinkaarilaskenta

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering, Option of House Building Engineering

Author: Jaakko Riekki
Title of thesis: Use of Log in Office Building Ecology and Economical Efficiency
Supervisor: Juho Vinkki
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023
Number of pages: 36

The aim of the thesis was to study the ecological and economical nature of the use of logs in the construction of premises by means of life cycle calculations. The purpose of the thesis was to find out whether log is competitive material in the construction of premises.

The work carried out a carbon footprint calculation and a life cycle cost calculation with sensitivity reviews for an example target and examined the subject on the basis results. The calculations were initially made with a built log building, which was compared with imaginary reference buildings in terms of carbon footprint and life cycle costs.

The calculations showed that log building is a competitive alternative to building costs, both from a cost and environmental point of view, but attention should be paid to life cycle emissions and energy efficiency to make log building an ecological and economic alternative to reference structures throughout the life cycle.

Keywords: carbon footprint, carbon handprint, life-cycle costing

ALKULAUSE

Haluan kiittää opinnäytetyön toimeksiantajaa AHS Control Oy:tä mahdollisuudesta työskennellä opinnäytetyön esimerkkikohteena olevan toimitilarakennuksen rakennusprojektin parissa ja siihen liittyvän tiedon jakamisesta. Erityisesti kiitän vaimoani opinnäytetyöhön liittyvästä tuesta ja opintojen mahdollistamisesta työn ja perhe-elämän ohella.

Haluan kiittää opinnäytetyön ohjaajaani Juho Vinkkiä, jolta sain paljon tietoa erityisesti hiilijalanjälkilaskentaan liittyvissä asioissa.

Kiitos myös opettajalleni Vesa Pitsingille, joka sai minut kiinnostumaan elinkaarikustannuslaskennasta. Kiitos kysymyksistä ja vastauksista.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO ... 9
2 RAKENNUKSEN EKOLOGISUUS ... 10
2.1 Päästötavoitteet ja lainsäädäntö ... 10
2.2 Vähähiilinen rakentaminen ... 11
2.3 Vähähiilisyyden arviointi ... 12
3 RAKENNUKSEN ELINKAARITALOUDELLISUUDEN ARVIOIMINEN ... 14
3.1 Rakennuksen elinkaarikustannuslaskennan periaatteet ... 14
3.1.1 Elinkaarikustannukset ... 16
3.1.2 Laskentakorko ja diskonttaaminen ... 17
3.2 Elinkaarikustannuslaskennan epävarmuustekijät ja haasteet ... 19
4 LASKENNASSA KÄYTETTÄVÄT TYÖKALUT JA MENETELMÄT ... 20
4.1 One Click LCA -hiilijalanjäljen laskentaohjelma ... 20
4.2 One Click LCC -elinkaarikustannuslaskentatyökalu ... 20
5 HIRSIRAKENTAMINEN TOIMITILATARPEISIIN ... 21
5.1 Tutkittavan kohteen lähtötiedot ... 21
5.2 Vertailtavat rakenneratkaisut ... 24
6 LASKENNAN TULOKSET ... 26
6.1 Päästöt elinkaaren aikana ... 26
6.2 Kustannukset elinkaaren aikana ... 30
7 YHTEENVETO ... 34
LÄHTEET ... 35

SANASTO

Diskonttaaminen	Tulevaisuudessa tapahtuvan menon tai maksusuorituksen muuttaminen nykyarvoon.
Elinkaariarviointi (LCA)	LCA-elinkaariarvio (LCA, life cycle assessment) antaa tietoa rakennuksen elinkaaren aikaisista päästöistä, hiilijalanjäljestä ja positiivisista ympäristövaikutuksista.
Elinkaarilaskelma (LCC)	LCC (Life cycle costing) eli elinkaarikustannuslaskelma arvioi, mitä rakennus tulee elinkaarensa aikana maksamaan. Laskelma ottaa investointihetken kustannuksen lisäksi huomioon kaikki tarkastelujaksolla syntyvät kulut ja mahdollisen jäännösarvon tarkastelujakson jälkeen.
Hiilijalanjälki	Kuvaa tuotteen tai toiminnan aiheuttama ilmastokuormaa. Hiilijalanjäljen mittayksikköä kutsutaan hiilidioksidiekvivalentiksi ja sen yksikkö on **kg CO2e.**
Hiilikädenjälki	Rakennushankkeen hiilikädenjäljellä tarkoitetaan positiivisia ilmastovaikutuksia, joita ei syntyisi ilman tarkasteltavaa rakennushanketta. Hiilikädenjälkeä ei vähennetä hiilijalanjäljestä.

Hiilinielu	Toiminto tai tapahtuma, jonka seurauksena ilmakehästä poistuu hiilidioksidia. Hiilinieluja ovat esimerkiksi kasvava metsä ja sementin karbonatisoituminen.
Hiilivarasto	Hiilivarastoksi kutsutaan materiaaliin varastoituneen ilmakehän hiiltä: esimerkiksi puuhun on varastoituneena ilmakehän hiiltä noin puolet sen kuivapainosta.

1 JOHDANTO

Kerrosalaltaan noin 10 % Suomen rakennuskannasta on liike- ja toimistorakennuksia (1). Ne edustavat merkittävää osaa koko Suomen rakennuskannasta, niin taloudellisesta kun myös ympäristövaikutusten näkökulmasta.

Hirsi on perinteisesti mielletty kesämökkien ja pientalojen rakennusmateriaaliksi, mutta nykyään yhä useampi liiketila ja toimitilarakennus rakennetaan hirrestä. Hirsirakentamisen hyviksi puoliksi mielletään luotettavuus, hyvä sisäilma ja ekologisuus, mutta toisella puolella vaakakupissa painavat korkea hinta ja huonompi lämmöneristävyys verrattuna tyypillisesti käytettäviin elementtirakenteisiin.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan elinkaari- ja hiilijalanjälkilaskennan keinoin hirren käytön ekologisuutta ja taloudellisuutta toimitilarakentamisessa. Opinnäytetyöni tavoitteena on vertailla hirsirakentamisen hyötyjä ja haittoja toimitilarakentamisessa ja arvioida esimerkkitapauksen keinoin, onko hirsi kilpailukykyinen materiaali yleisesti käytettyihin rakenneratkaisuihin verrattuna.

Esimerkkitapauksena laskennassa käytetään 2021 valmistunutta Kempeleessä sijaitsevaa Koneunion Oy:n hirsirakenteista toimitilarakennusta. Vertailun vuoksi laskennat suoritetaan kohteessa tehtyjen materiaalivalintojen ja taloteknisten ratkaisujen pohjalta ja vertaillaan sitten simuloimalla vaihtoehtoiseen toteutustapaan julkisivumateriaalien suhteen, joita vastaavissa kohteissa on käytetty. Maanrakennus ja aluerakenteet jätetään laskennan ulkopuolelle ympäristöministeriön laskentaohjeesta poiketen, jotta laskenta havainnollistasi paremmin vertailtavien materiaalien aiheuttamia muutoksia kokonaisuuteen. Laskelmissa ei oteta huomioon liiketoiminnan tuottoja.

2 RAKENNUKSEN EKOLOGISUUS

Rakennuksen ekologisuus on käsitteenä laaja, mutta hyvä keino arvioida rakennuksen ympäristövaikutuksia on elinkaariarviointi (LCA). Elinkaariarviointi kertoo, kuinka paljon rakennus elinkaarensa aikana aiheuttaa ilmastokuormaa. Elinkaariarviointi ottaa huomioon rakennustuotteiden valmistuksen, kuljetuksien, työmaatoimintojen sekä käytön, korjauksien ja kierrätyksen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt. (2, s. 12.)

Kasvihuonekaasut aiheuttavat ilmaston lämpenemistä, koska ne ilmakehässä ollessaan haittaavat auringon lämpösäteilyn pääsemistä takaisin avaruuteen. Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa muun muassa sään ääri-ilmiöiden lisääntymistä ja luonnon monimuotoisuuden vähenemistä. (3.)

Rakennuksen ympäristövaikutukset muodostuvat monista eri tekijöistä. Rakennuksen materiaalien lisäksi energiankulutus, käyttöikä ja jopa sijainti vaikuttavat rakennuksen elinkaaren aikaisiin päästöihin. Energiatehokkuuteen on kiinnitetty huomiota jo vuosikymmeniä ja kun rakennusten energiatehokkuus paranee ja käytön aikaiset päästöt vähenevät, kasvaa rakennusmateriaalien suhteellinen merkitys rakennuksen hiilijalanjäljen kannalta. (4, s. 11–12.)

2.1 Päästötavoitteet ja lainsäädäntö

Vuonna 2017 ympäristöministeriö teetti selvityksen tiekartasta, jolla vähennetään rakentamisen ja erityisesti rakennusmateriaalien hiilijalanjälkeä sekä edistetään Suomen rakennus- ja kiinteistöalaa koskevia ilmastotavoitteita. Selvityksen pohjalta julkaistiin kolmivaiheinen tiekartta rakennuksen hiilidioksidipäästöjen ohjaukseen. Ensimmäinen arviointimenetelmän versio julkaistiin vuonna 2019 syksyllä ja päivitetty luonnos oli lausuntokierroksella vuonna 2021. Lopullinen vähähiilisyyden arviointimenetelmän ohje julkaistaan, kun asetus tulee voimaan. (5, s. 5–6.)

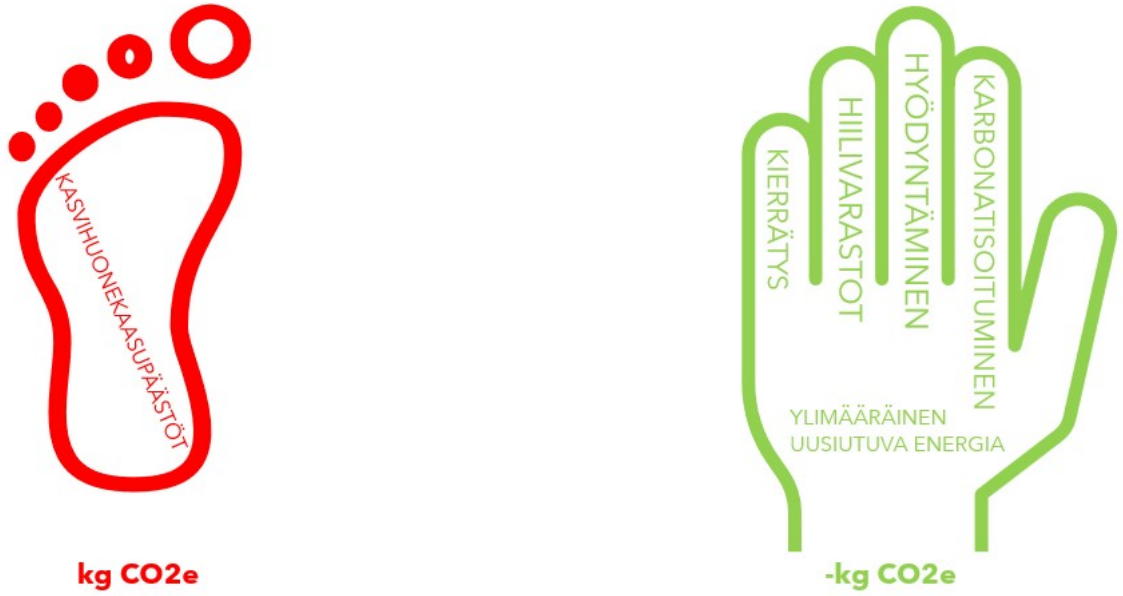
Ympäristöministeriön tavoitteena on, että rakennuksen hiilijalanjäljen raja-arvot saataisiin määritettyä ja elinkaaren aikaisia päästöjä ohjattaisiin lainsäädännöllä vuonna 2025. Suomi pyrkii olemaan hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja tavoittelee hiilinegatiivisuutta 2040-luvulla. (5, s. 6.)

2.2 Vähähiilinen rakentaminen

Vähähiilinen rakennus on sellainen, jonka hiilijalanjälki on pieni ja jonka hiilikädenjälki on suuri. Rakennuksen hiilijalanjälki kuvaa rakennuksen elinkaaren aikaisia kasvihuonepäästöjä ja hiilikädenjälki positiivisia ilmastovaikutuksia. (5, s. 8.)

Rakennuksen hiilijalanjälki muodostuu rakennustuotteiden, kuljetusten, työmaan- ja energian hiilijalanjäljestä. Hiilikädenjäljen osatekijöitä ovat kierrätys ja hyödyntäminen, rakennuksen pitkäikäiset hiilivarastot, sementtipohjaisten tuotteiden karbonatisoituminen sekä ylimääräinen uusiutuva energia. (5, s. 10.)

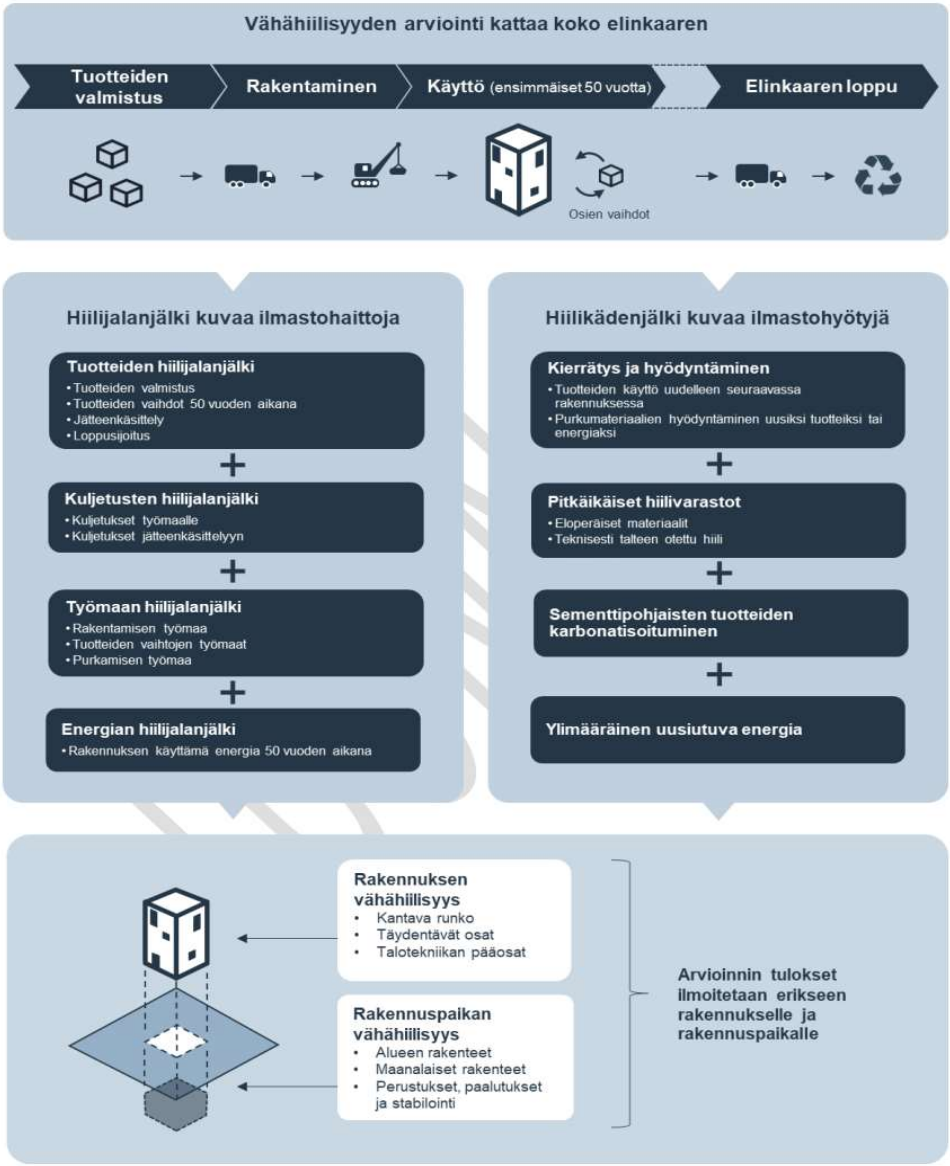
Hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki

2.3 Vähähiilisyyden arviointi

Rakennuksen hiilijalanjäljenlaskenta suoritetaan laskemalla yhteen rakennustuotteiden, kuljetusten, työmaan ja energian hiilijalanjäljet arviointijakson aikana. Hiilikädenjälkilaskenta suoritetaan laskemalla yhteen ne positiiviset ilmastovaikutukset, jota ei syntyisi ilman rakennushanketta. Hiilikädenjälkeä ei vähennetä hiilijalanjäljestä. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän luonnoksen mukaan arviointijakso on vakioitu 50 vuoden pituiseksi. (5, s. 5–8.) Periaate on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Vähähiilisyyden arviointi (5, s. 10).

Arvioitavat osat on rajattu ympäristöministeriön ohjeessa. Arviointiin sisältyvät osat on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Arviointiin sisältyvät osat (5, s. 11).

	Sisältyy arviointiin	Ei sisälly arviointiin
Alueosat	1.1.1 Maaosat 1.1.2 Tuennat 1.1.3 Päällysteet 1.1.5 Alueen rakenteet	- Raivaukset, kaivannot ja kanaalit (1.1.1.1 – 1.1.1.3) - Alueen varusteet (1.1.4) - Tuotteiden pakkaukset - Uuden rakennuksen tieltä purettavat rakenteet tai rakennukset - Kasvillisuus, maaperä ja vesistö
Rakennusosat	1.2.1 Perustukset 1.2.2 Alapohja 1.2.3 Runko 1.2.4 Julkisivut, ovet ja ikkunat 1.2.5 Ulkotasot ja parvekkeet 1.2.6 Kattorakenteet	- Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet - Savunpoistorakenteet - Tuotteiden pakkaukset
Tilaosat	1.3.1 Jako-osat (väliseinät, ovet, portaat) 1.3.2 Tilapinnat (lattiat, sisäkatot, seinät) pintakäsittelyineen 1.3.3 Tilavarusteet (kiintokalusteet, keittiölaitteet) 1.3.4.2 Hormit ja tulisijat 1.3.5 Tilaelementit (mm. kylpyhuonemoduulit)	- Listat ja kulmavahvikkeet - Kaiteet (1.3.1.4) - Tilaopasteet (1.3.3.5) - Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet - Tuotteiden pakkaukset
Talotekniikka	- Lämmitysjärjestelmän pääosat - Vesi- ja viemärijärjestelmän pääosat - Ilmastointijärjestelmän pääosat - Jäähdytysjärjestelmän pääosat - Sprinklerijärjestelmän pääosat - Sähköjärjestelmän pääosat - Hissit ja liukuportaat	- Tietotekniset järjestelmät - Taloautomaation järjestelmät - Varavirtajärjestelmät - Erilliset koneet ja laitteet - Tuotteiden pakkaukset
Arvioinnin tarkkuus	Voit jättää arvioinnin ulkopuolelle enintään yhden painoprosentin arviointiin sisältyvistä rakennusosista.	
Taulukkoarvojen käyttö	Voit käyttää kansallisessa päästötietokannassa olevia taulukkoarvoja helpottamaan rakennusosien arviointia.	

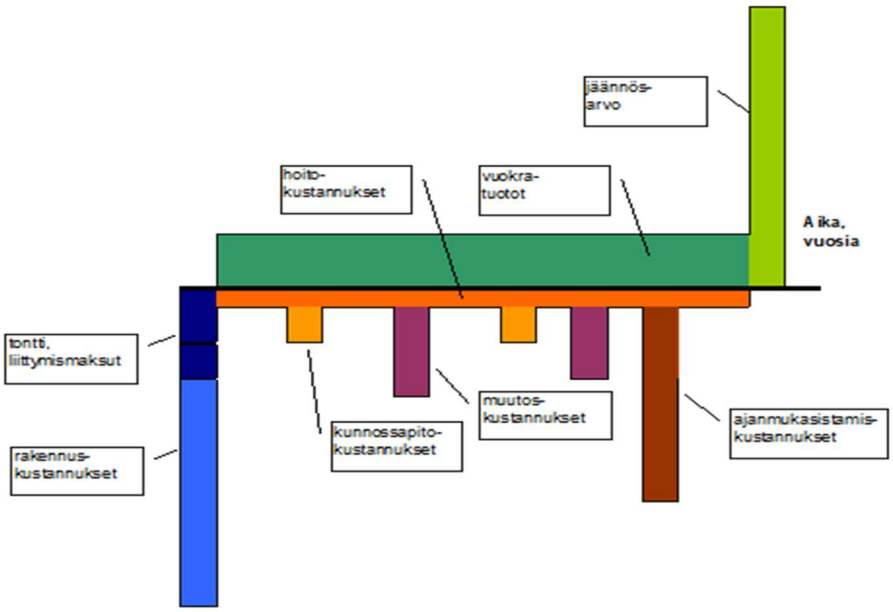
3 RAKENNUKSEN ELINKAARITALOUDELLISUUDEN ARVIOIMINEN

Rakennuksen elinkaaritaloudellisuuden vertailu tapahtuu laskemalla yhteen eri vaihtoehtojen elinkaaren aikaiset kustannukset ja tuotot huomioiden rahan aika-arvon eri aikoina syntyvissä kustannuksissa. (6, s. 7.)

3.1 Rakennuksen elinkaarikustannuslaskennan periaatteet

Rakennuksen elinkaaren aikana syntyviin kuluihin vaikuttavat rakentamisen kustannukset, energiamuoto, energiatehokkuus, ylläpidon huolto ja korjaustarpeet sekä elinkaaren loppuvaiheen kustannukset. Elinkaarikustannukset muodostuvat uudisrakennushinnasta, ylläpitokustannuksista, kunnossapitokustannuksista ja jäännösarvosta, joka voi olla negatiivinen, jos rakennus joudutaan purkamaan.

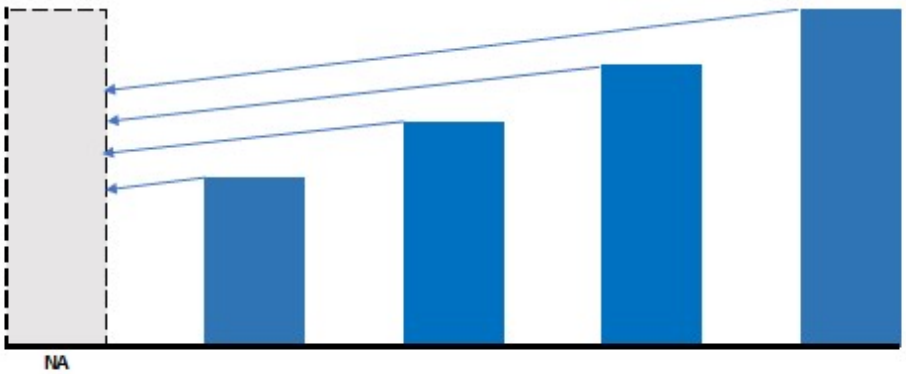
Rakennuksen elinkaarikustannusten muodostumisen periaate on esitetty kuvassa 2.



KUVA 3. Kiinteistön elinkaarikustannusten muodostuminen, kun rakennuksella on arvoa taloudellisen pitoajan päättyessä (6, s. 5).

Nykyarvomenetelmässä eri aikoina syntyvät kulut diskontataan, eli muutetaan nykyarvoon valitun laskentakorkokannan mukaan. Elinkaarikustannusta laskettaessa tarkastelujakso määräytyy kulloinkin käytettävän taloudellisen pitoajan perusteella. (7, s. 4–5.)

Nykyarvomenetelmän periaate on esitetty kuvassa 3.



KUVA 4. Nykyarvomenetelmän periaate (6, s. 9).

Tulevaisuudessa syntyvien kustannusten nykyarvo voidaan laskea kaavan 1. avulla.

KAAVA 1. Nykyarvon laskentakaava (6, s. 9).

$$K_{NA} = \Sigma [K_i * dis_i] = \Sigma [K_i * 1/(1+r/100)^i]$$

K_{NA}	Kustannuksen nykyarvo
K_i	Kustannus vuonna i
dis_i	diskonttaustekijä vuonna i
r	Korko (%)
i	Aika nykyhetkestä kustannuksen toteutumavuoteen (vuotta)

3.1.1 Elinkaarikustannukset

Uudisrakennushinta sisältää rakennuttamisen ja rakentamisen kustannukset. Rakennuttamisen kuluja ovat suunnittelu, lupa, liittymä ja valvontakustannukset sekä rakennusaikaiset rahoituskustannukset. Rakentamisen kustannukset sisältävät rakennustyöt ja talotekniset työt sekä työmaakustannukset ja urakoitsijan katteen. Uudisrakennushinnan kulut ovat nykyarvossa, joten niitä ei tarvitse diskontata. (8, s. 5.)

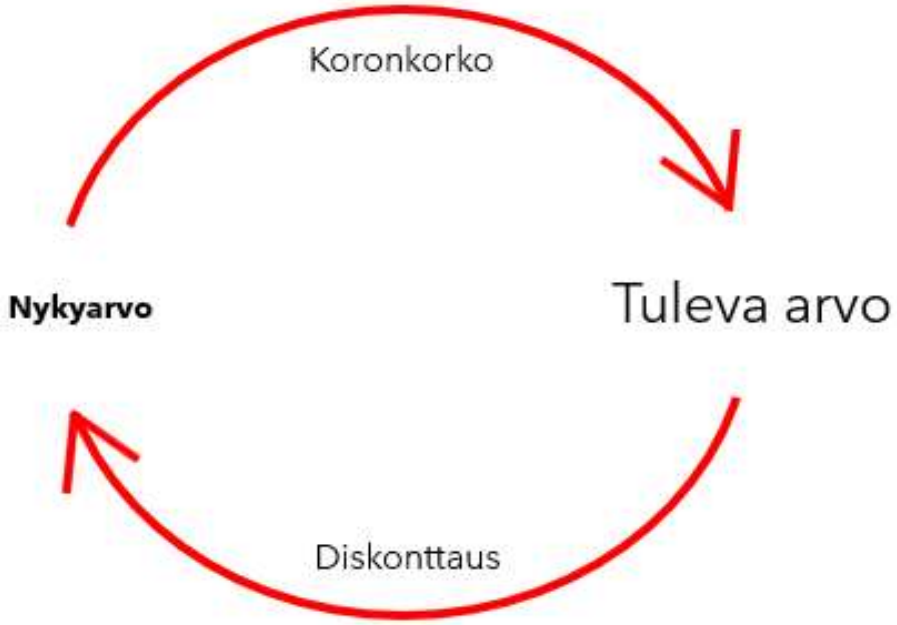
Ylläpitokustannukset pitävät sisällään kulutukseen perustuvat hinnanosat, palvelukuvauksiin ja sopimuksiin perustuvat hinnanosat, sekä kiinteät hinnan osat. Kulutusperusteiset ovat energiaan ja käyttöaineisiin perustuvia kuluja. Palvelukuvauksiin ja sopimuksiin perustuvat hinnanosat ovat esimerkiksi kiinteistö- ja jätehuoltoon liittyviä kuluja ja kiinteitä kuluja ovat vakuutukset tonttivuokrat ja kiinteistöverot. (8, s. 6.)

Kunnossapitokustannukset sisältävät taloudellisen pitoajan aikana ja päättyessä tehtävien kunnossapito- ja korjaustoimenpiteiden kustannukset arvonlisäverollisina tarkasteluhetken hintatasossa ja ne tuodaan nykyarvoon diskonttaamalla, käytettävä diskonttokorko riippuu kiinteistöstrategiasta. Taloudellinen pitoaika vaihtelee rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan ja sijoittuu yleensä 10–60 vuoden väliin. (8, s. 7.)

Taloudellisen pitoajan päässä rakennuksella on jäännösarvo, joka voi olla positiivinen tai negatiivinen. Mikäli taloudellinen pitoaika on lyhyempi kuin rakennuksen käyttöikä, rakennuksella on jäännösarvo, joka on positiivinen. Mikäli rakennus on taloudellisen pitoajan lopussa käyttöikänsä päässä, on purkukustannus jäännösarvon osatekijä. (6, s. 4.)

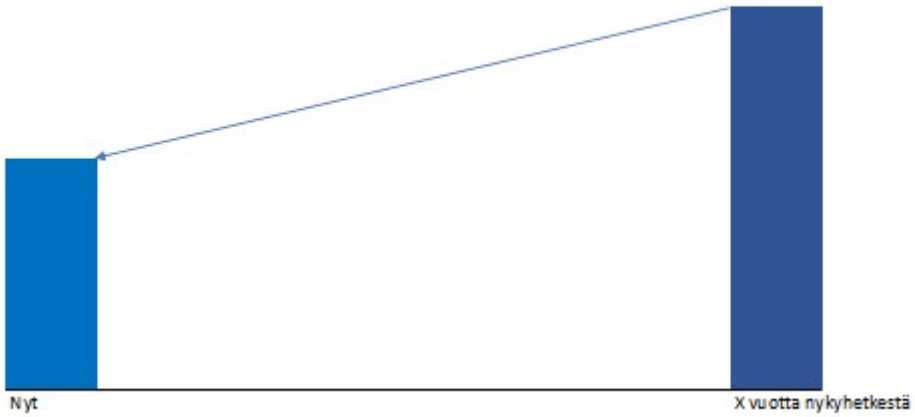
3.1.2 Laskentakorko ja diskonttaaminen

Koska rakennuksen kulut ja tuotot syntyvät eri ajankohtina, eivät ne ole suoraan vertailukelpoisia. Nyt saatava raha on arvokkaampaa kuin kymmenen vuoden päästä saatava samansuuruinen maksusuoritus, minkä vuoksi eri aikoina syntyvät kulut ja kustannukset muutetaan nykyarvoon diskonttaamalla. Laskentakorkokanta valitaan kiinteistöstrategian ja lähestymistavan perusteella. (8, s. 7–9.) Diskonttauksen perusperiaate on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Diskonttauksen perusperiaate

Yksittäisen maksutapahtuman diskonttaamisen periaate on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Tulevaisuudessa tapahtuvan maksutapahtuman diskonttaamisen periaate (6, s. 7).

Diskonttaustekijä(dis) lasketaan kaavalla 2.

KAAVA 2. Diskonttaustekijän laskentakaava (6, s.7)

$$dis = 1/(1+r/100)^i$$

r Korko (%)

i Aikajänne nykyhetkestä kustannuksen toteutumavuoteen (vuotta)

Esimerkki:

Mitä suurempi valittu laskentakorko on, sitä pienempi on diskontatun suorituksen nykyarvo. Esimerkiksi jos oletetaan rakennuksen jäännösarvoksi 50 vuoden pitoajan jälkeen 500 000 euroa ja se diskontataan nykyhetkeen käyttäen 2 % reaalikorkoa, on diskontattu arvo noin 185 764 euroa. Mutta jos valittu laskentakorko on 7 % on diskontattu arvo noin 16 974 euroa. Jos pitoaikaa lyhennetään 30 vuoteen, on 2 % laskentakorolla jäännösarvon nykyarvo noin 276 035 euroa. Voidaan huomata, että tapahtuman aikaistaminen kasvattaa diskonttaustekijää. (6, s. 7.)

3.2 Elinkaarikustannuslaskennan epävarmuustekijät ja haasteet

Elinkaaritaloudellisuutta arvioivissa laskemissa on tyypillistä se, että niissä ennustetaan kauaskin tulevaisuuteen. Ennusteissa ja niihin liittyvissä laskelmissa on useita muuttujia ja niihin sisältyy epävarmuutta. Esimerkiksi korot ja inflaatio ovat asioita, joita ei voi tarkasti ennustaa. Koska laskelmiin sisältyy epävarmuustekijöitä, on tärkeää suorittaa herkkyysanalyysi. Herkkyysanalyysin avulla voidaan selvittää, miten herkkä laskelman lopputulos on käytettyjen lähtötietojen muuttamiselle. (6, s. 11.)

Selventävä keino tutkia laskelman herkkyyttä muuttujille on etsiä ne lähtötietojen kriittiset arvot, joilla investointi on vielä kannattava. Lähtötietoja, joiden suhteen herkkyystarkastelu kannattaa suorittaa ovat mm. investointikohteen pitoaika, energian hinta ja kunnossapitojaksojen pituudet. (6, s. 11.)

4 LASKENNASSA KÄYTETTÄVÄT TYÖKALUT JA MENETELMÄT

4.1 One Click LCA -hiilijalanjäljen laskentaohjelma

One Click LCA-laskentaohjelma on selainpohjainen ohjelma, jota käytetään rakennusten ja infrahankkeiden elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten ja hiilijalanjäljen laskentaan. Ohjelma on maksullinen ja se on tarkoitettu lähinnä yritysten käyttöön. (9.)

Vähähiilisyyden laskennassa käytettävä One Click LCA-laskentaohjelma pohjautuu Euroopan komission Level(s)-menetelmään sekä EN-standardeihin ja tukee ympäristöministeriön menetelmää. Rakennusmateriaalien määrien ja laatujen tuonti ohjelmaan tapahtuu, käsin syöttämällä tai ne voidaan siirtää suoraan Excelistä, tietomallista tai energiamalleista. (9.)

Opinnäytetyön materiaaliluettelo syötettiin suoraan ohjelmaan. Määrät ja laadut laskettiin tietomallista ja suunnitelmista. Hiilijalanjälkilaskennassa käytettiin kuljetusmatkojen suhteen ohjelman oletusarvoja ja materiaalit valittiin suunnitelmien mukaisiksi.

4.2 One Click LCC -elinkaarikustannuslaskentatyökalu

One Click LCC-laskentatyökalu on suunniteltu ISO 15686-5 -ja EN 16627-standardien mukaan. Tulokset raportoidaan pakollisten EN-standardin kustannusluokkien mukaisesti, sisältäen rakentamiseen käyttöön ja käyttöiän loppuun liittyvät kustannukset. Rakennusmateriaalien määrien ja laatujen tuonti ohjelmaan tapahtuu samalla tavalla, kun LCA laskelmassa. (10.)

Opinnäytetyön laskennassa käytettiin kustannusten osalta pääosin laskentatyökalun oletusarvoja, joita täydennettiin toteutuneilla materiaalien ja työn kustannuksilla. Diskonttokoron, inflaatioprosentin ja taloudellisen pitoajan suhteen tehtiin herkkyystarkastelua eri lähtöarvoilla.

5 HIRSIRAKENTAMINEN TOIMITILATARPEISIIN

Opinnäytetyön laskelmissa vertailukohteena oli Koneunionin vuonna 2021 valmistunut toimitilarakennus. Suunnitteluvaiheessa julkisivumateriaalivaihtoehtoina on ollut hirren lisäksi betonielementit ja sandwich uretaanielementit. Rakennuksen julkisivut päädyttiin toteuttamaan hirrestä, laskelmien avulla vertailtiin, onko hirsi elinkaaritaloudellinen ja ekologinen vaihtoehto kyseisessä kohteessa.

5.1 Tutkittavan kohteen lähtötiedot

Tutkittava kohde sijaitsee Kempeleessä Zatelliitin yritysalueella. Rakennuksen kokonaiskerrosala on 881 m^2 ja se on rakennettu 6124 m^2 tontille. Rakennuksessa on vuokraamo, korjaamohalli sekä asiakaspalvelu ja toimistotilaa. Lämmitysmuotona on kaukolämpö ja lämmönjakojärjestelmänä on alakerrassa vesikiertoinen lattialämmitys ja yläkerrassa vesikertoinen lämmitys pattereilla. Rakennuksen suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta.

Korjaamon ja pesuhallin suunnittelulämpötila on 15 astetta, varaston 10 astetta ja muiden tilojen tavoitelämpötila on 21 astetta. Tilojen tilavuuksilla painotettu keskimääräinen sisälämpötila rakennuksessa on 16 astetta ja paikkakuntakohtaisen lämmitystarveluvun (S17, 1991–2020) avulla laskettu sisä- ja ulkolämpötilan keskimääräinen erotus on 9,4 astetta. Lämmitystarvelukua on korjattu vastaamaan normaalitapauksesta poikkeavaa keskimääräistä sisä- ja ulkolämpötilojen erotusta. Rakennuksen tilaluettelosta käy ilmi rakennuksen tilankäyttö ja käyttötarkoitus.

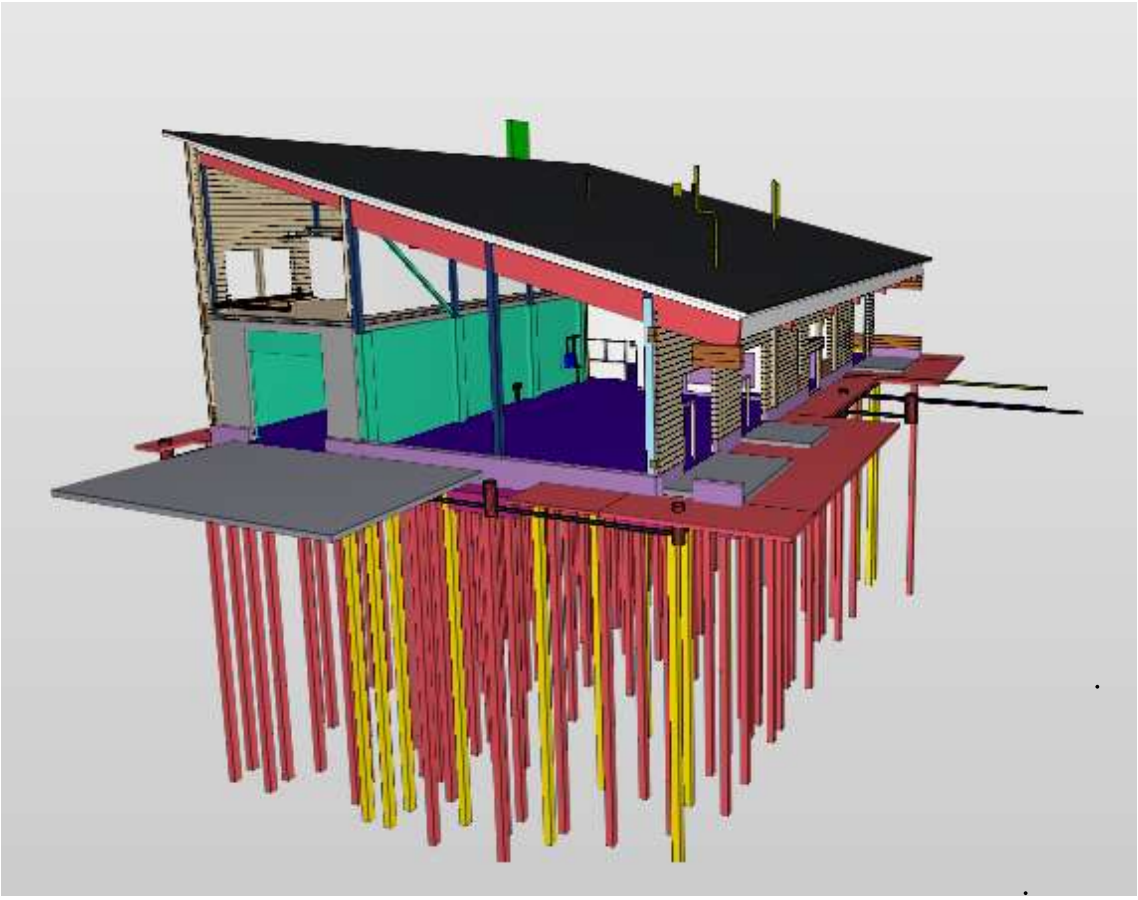
Rakennuksen tilaluettelo on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Rakennuksen tilaluettelo

Tila	Koko m2
1.Krs.	
Pesuhalli	205,6
Varasto	181,5
Toimisto	18,6
Aula	47,2
Sos. Tila	9,2
Wc	3,8
Kh.	3,9
Korjaamo	90,9
2.Krs.	
Toimisto 1.	36,6
Toimisto 2.	13,8
Toimisto 3.	13,8
Toimisto 4.	13,8
Toimisto.5	15,1
Aula	110,3
Siivous	1,2
Pukuhuone/M	5
Kh./M	4
WC	1,9
Pukuhuone/N	6,3
Kh./N	3,6
Neuvotteluhuone	29,1
Tekninen tila	16,7
3.krs.	
IV-Konehuone	29,1

Rakennus on perustettu teräsbetonisten lyöntipaalujen varaan ja alapohjarakenteena toimii osittain reunavahvistettu paalulaatta. Rakennuksen kantava runko on toteutettu teräspilarein, jotka kantavat liimapuupalkkeja. Liimapuupalkkien päällä on kattoelementit. Julkisivumateriaalina on käytetty ristiin laminoitua painumatonta hirttä. Pesuhalli on betonirakenteinen.

Rakennuksen rakenneratkaisut ovat nähtävissä kuvassa 6.



KUVA 6. Rakennuksen rakenteelliset ratkaisut.

5.2 Vertailtavat rakenneratkaisut

Opinnäytetyössä vertailtavat vaihtoehtoiset rakenneratkaisut ovat ulkoseinärakenteita. Merkittävimmät eroavaisuudet rakenteiden ominaisuuksien välillä olivat hirren merkittävästi heikompi U-arvo vertailurakenteisiin nähden, uretaanielementin halvempi hankintahinta ja betonielementin muita rakennetyyppejä merkittävästi korkeampi valmistuksenaikainen hiilijalanjälki.

Vertailtavat rakenneratkaisut on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Vertailtavat rakenneratkaisut

Rakennetyyppi	Hirsi 204 mm	Sandwich betonielementti	Uretaanielementti
U-arvo(W/m2K)	0,53	0,17	0,17
Hinta e/m2	184,8	200	48
Kasvihuonepäästöt (kg CO2e / seinä m2)	17,99	51,75	27
Hiilikädenjälki(kg CO2e / seinä m2)	162	Riippuu materiaalin altistumisesta, altistuksen kestosta sekä sementin alkuperäisestä määrästä.	
Vaikutus perustuksiin e	0	+6800	-840

Rakenteen läpi johtumalla siirtyvän lämpöenergia voidaan laskea likimääräisesti kaavan 3 avulla

KAAVA 3. Rakenteen läpi johtuva lämpöenergia

$$Q = U * A * \Delta T * \Delta t$$

Q	Rakenteen läpi johtumalla siirtyvä lämpöenergia
U	Rakenteen U-arvo
A	Rakenteen pinta-ala
ΔT	Lämpötilaero rakenteen eri puolilla
Δt	Tarkasteluajajakson pituus

Opinnäytetyön tapauksessa voidaan hirsirakenteen läpi johtuvan lämpöenergian ero vertailutapauksiin laskea seuraavasti kaavaa 3 soveltaen. (0,53-0,17) m^2ºC/W*752m^2*3422,828ºCvrk*24h=22 239,07kWh/v. Voidaan todeta, että 204 mm paksun hirsirakenteen läpi johtuu noin 22 239,07kWh/v enemmän energiaa kun elementtivertailurakenteiden, tätä lukua käytettiin vertaillessa hiilijalanjälkeä ja elinkaarikustannuksia. Laskutoimituksessa ei ole otettu huomioon julkisivumateriaalivaihdon mahdollisia vaikutuksia ilmatiiveyteen.

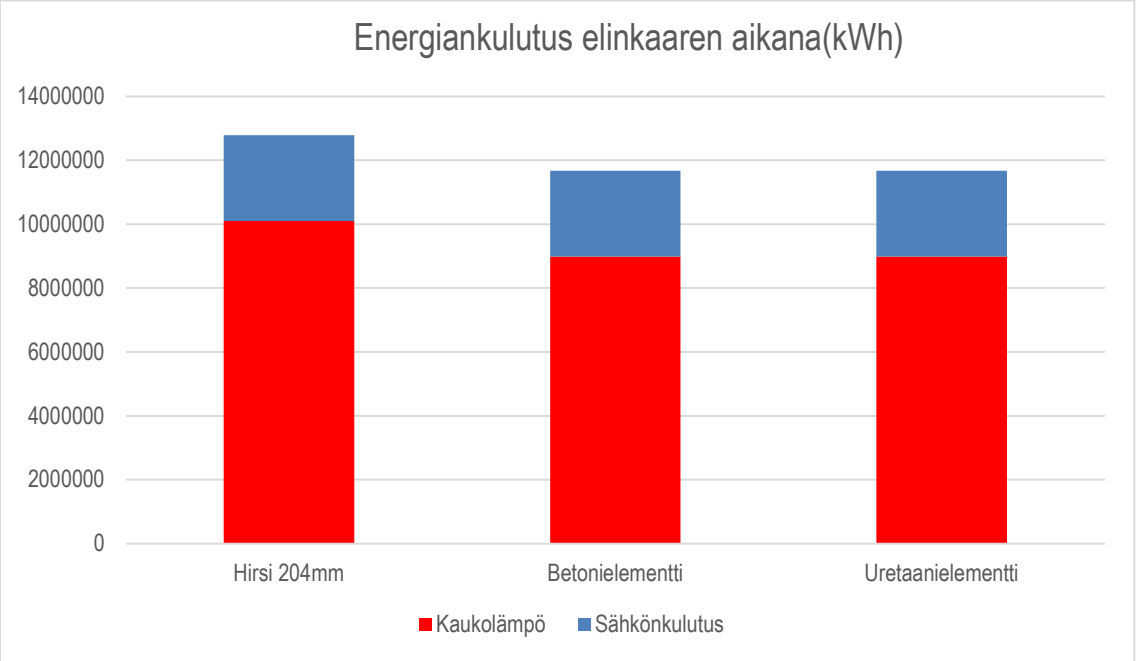
6 LASKENNAN TULOKSET

Opinnäytetyön laskentatuloksia vertailtiin elinkaaren aikaisten päästöjen ja kustannusten suhteen. Laskelmat suoritettiin ensin toteutetulla hirsivaihtoehdolla ja sen jälkeen vaihtoehtoisilla rakenneratkaisuilla. Tuloksien vertailu opinnäytetyössä tapahtui vertailemalla One Click-ohjelmalla tehtyjen laskelmien hiilijalanjälki ja elinkaarikustannuksia eri vaihtoehtojen välillä. One Click-ohjelmassa käytettävät laskentatyökalut olivat hiilijalanjäljen laskentaan Ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän luonnos 2021 ja elinkaarilaskentaan standardien ISO 15686-5 ja EN 16627 mukainen työkalu.

6.1 Päästöt elinkaaren aikana

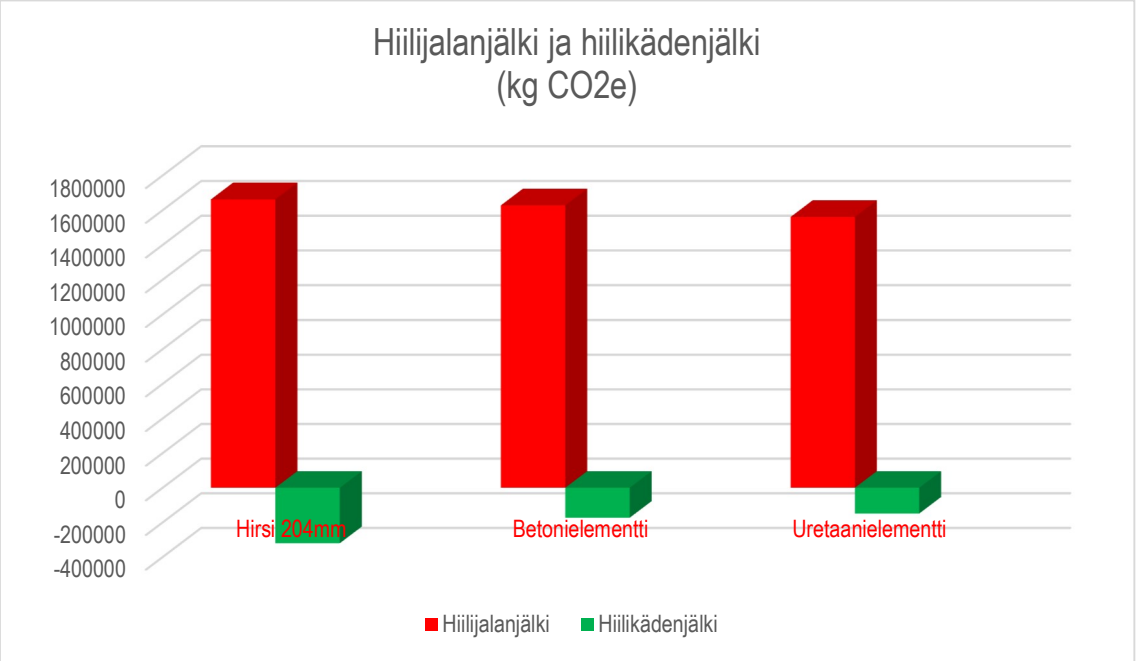
Vertailuvaihtoehtojen välillä kaukolämmön kulutus aiheutti merkittävimmän eron rakennuksen elinkaaren aikaisten päästöjen suhteen. Hirsiseinän huonommasta u-arvosta johtuva lämpöhäviö lisää kaukolämmön kulutusta noin 1112 megawattitunnilla 50 vuoden tarkastelujaksolla. Lisääntynyt kaukolämmönkulutus aiheuttaa 106 752kgCO2e suuremman lämmityksestä johtuvan hiilijalanjäljen.

Rakennuksen energiankulutusta vertailtu eri rakennevaihtoehdoilla. Tulokset on esitetty kaaviossa 1. Tarkastelujakso on 50 vuotta.



KAAVIO 1. Energiankulutus elinkaaren aikana

Hirsiseinällä on muita ulkoseinärakenteita huonompi u-arvo, mutta sillä on myös vertailurakenteita suurempi hiilikädenjälki. Rakennuksen elinkaarenaikainen hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki eri vertailuvaihtoehdoilla esitetty kaaviossa 2.

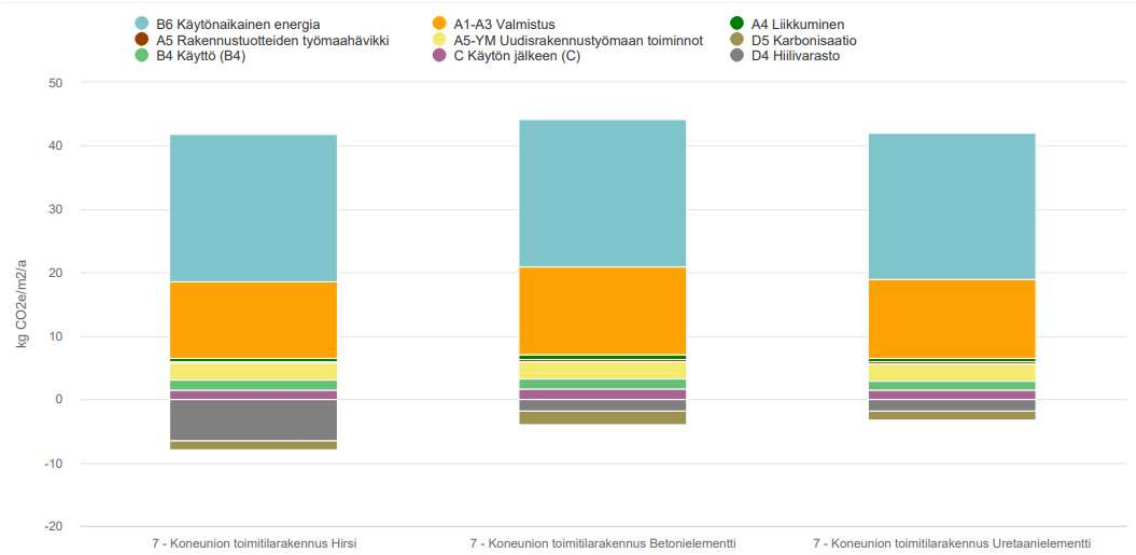


KAAVIO 2. Vertailuvaihtoehtojen hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki 50 vuoden tarkastelujaksolla

Hiilikädenjälkeä ei ympäristöministeriön ohjeen mukaan vähennetä hiilijalanjäljestä, joten vertailu hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen välillä tehdään erikseen. Hirsivaihtoehdolla toteutetun rakennuksen hiilijalanjälki on 2,1 % korkeampi kuin betonielementtivaihtoehdolla ja 6,5 % korkeampi kuin uretaanielementtivaihtoehdolla. Hirsirakennuksen hiilikädenjälki on 1,9-kertainen verrattuna betonielementtirakenteiseen ja 2,2-kertainen verrattuna uretaanielementtirakenteiseen. Voidaan huomata, että hirsivaihtoehdon elinkaaren aikainen hiilijalanjälki on hieman korkeampi kuin vertailurakennusten, mutta hiilikädenjälki on merkittävästi korkeampi kuin vertailurakenteilla. Päästöjen jakaantuminen elinkaaren ajalle on esitetty kaaviossa 3.

KAAVIO 3. Päästöjen jakautuminen elinkaaren ajalle

Vertailun vuoksi ja teorian tueksi tehtiin laskelma kuvitteellisesta tilanteesta, jossa hirsirakennuksen energiankulutus oletettiin samaksi kuin vertailurakennuksilla. Laskelmasta kävi ilmi, että hirsirakennuksen päästöt olisivat vertailuryhmästä pienimmät ja hiilikädenjälki suurin, mikäli hirsirakennuksen energiatehokkuus saataisiin samalle tasolle vertailurakennusten kanssa ja rakentamisen aikaiset päästöt pysyisivät ennallaan. Laskelman tulokset on esitetty kaaviossa 4.



KAAVIO 4. Päästöjen jakautuminen elinkaaren ajalle laskelmassa, jossa vertailurakennusten energiankulutus oletettu yhtä suureksi

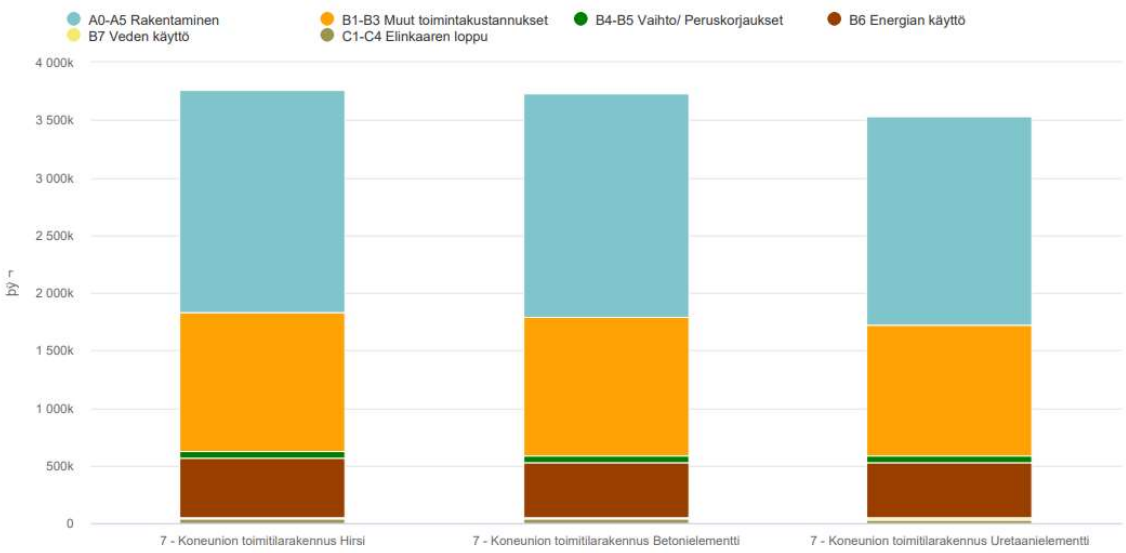
6.2 Kustannukset elinkaaren aikana

Elinkaarikustannuslaskelmassa muodostettiin kolme vaihtoehtoista skenaariota, joissa aloitusparametreja muutettiin inflaation, taloudellisen pitoajan ja energian hinnan suhteen. Lähtötietoja muuttamalla pyrittiin tekemään herkkyysanalyysi. Skenaario kohtaiset lähtötiedot esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Vaihtoehtoiset skenaariot

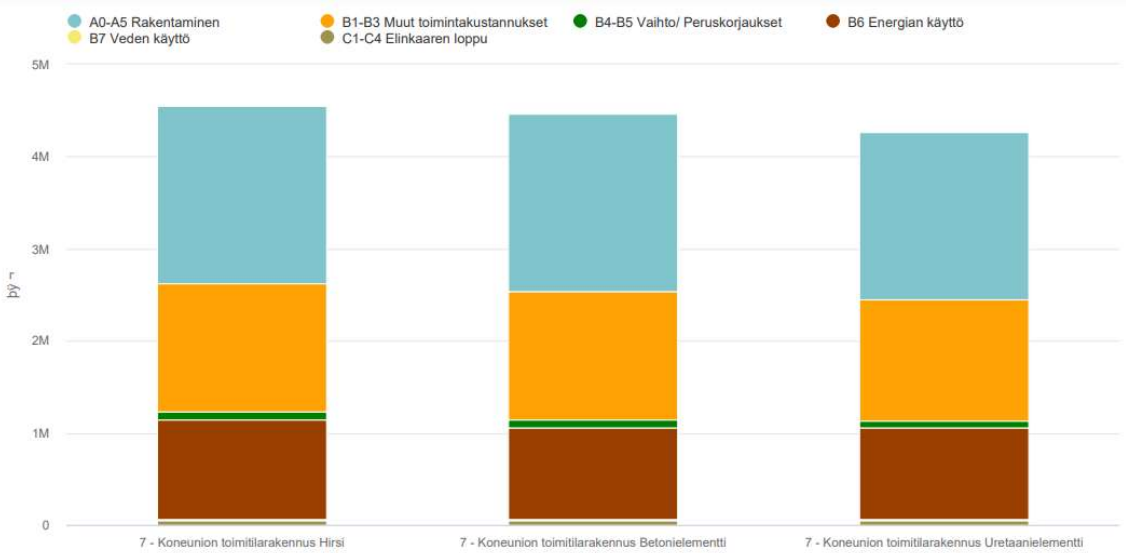
Muuttuja	**Skenaario 1.**	**Skenaario 2.**	**Skenaario 3.**
Taloudellinen pitoaika vuotta	30	30	50
Diskonttokorko	3	4	7
Inflaatio %	2	4	10
Sähkön hinta e/kWh	0,13	0,18	0,30
Kaukolämmmön hinta e/kWh	0,07	0,13	0,25

Laskentatuloksien pohjalta voidaan todeta, että skenaarion 1 mukaisessa tilanteessa hirsi on elinkaarikustannuksiltaan kallein vaihtoehto. Betonielementti on 0,7 % halvempi kuin hirsi ja uretaanielementti 5,9 % halvempi kuin hirsi. Skenaarion 1 mukaiset elinkaarikustannukset esitetty kaaviossa 5.



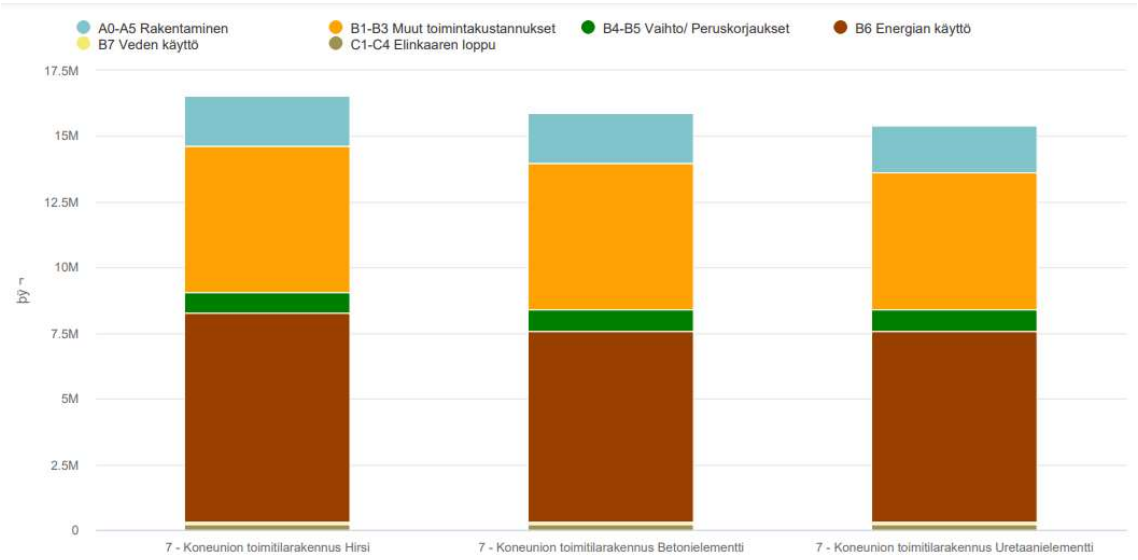
KAAVIO 5. Skenaarion 1 tulokset

Myös skenaariossa 2 hirsi on elinkaarikustannuksiltaan kallein julkisivuvaihtoehto. Betonielementeillä toteutettu vaihtoehto on 1,6 % halvempi kuin hirsivaihtoehto ja uretaanielementeillä toteutettu vaihtoehto on 6,2 % halvempi kuin hirrellä toteutettu. Skenaarion 2 mukaiset elinkaarikustannukset on esitetty kaaviossa 6.



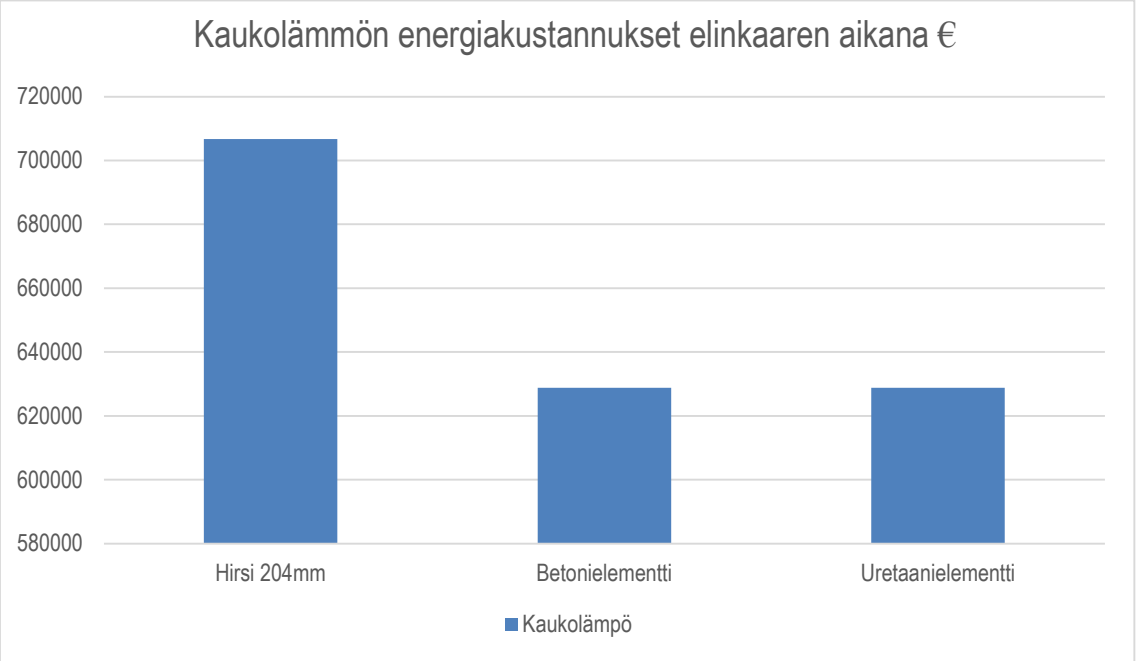
KAAVIO 6. Skenaarion 2 tulokset

Myös skenaariossa 3 hirsi on kallein vaihtoehto. Betonielementti on 3,9 % halvempi kuin hirsi ja uretaanielementti on 6,8 % halvempi kuin hirsi. Elinkaarikustannuslaskennan kaikissa vaihtoehtoisissa skenaarioissa merkittävä kustannuserä oli kaukolämmön käyttö. Skenaarion 3 mukaiset elinkaarikustannukset on esitetty kaaviossa 7.



KAAVIO 7. Skenaarion 3 tulokset

Kaukolämmön elinkaaren aikainen kustannus ilman diskonttausta on esitetty kaaviossa 8. Kaukolämmön hinnaksi oletettu 0,007e/kWh.



KAAVIO 8. Kaukolämmön kustannukset elinkaaren aikana (ei diskontattu)

One Click-ohjelma ei ota huomioon mahdollisesti poikkeavia jäännösarvoja vertailutapausten välillä. Mikäli hirsirakennuksen jäännösarvo oletettaisiin 500 000 euroa suuremmaksi, mitä vertailurakenteilla, olisi hirsirakennus elinkaaritaloudellisesti betonirakennusta edullisempi vaihtoehto skenaariossa 1, mutta yhä uretaanielementeillä toteutettua kalliimpi. Muissa skenaarioissa järjestys pysyisi samana.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella hirren käytön taloudellisuutta ja ekologisuutta toimitilarakentamisessa elinkaarilaskennan keinoin. Opinnäytetyön laskelmista saadut tulokset osoittivat, että hirsirakenteen heikomman u-arvon vaikutus rakennuksen elinkaaren aikaiseen hiilijalanjälkeen ja elinkaarikustannuksiin oli merkittävä.

Vaikka hirsirakenteinen toimitila ei rakennuskustannuksiltaan ole kallein vaihtoehto, muodostuivat sen elinkaaren aikaiset kustannukset vertailurakenteita korkeammiksi suuremman kaukolämmön kulutuksen vuoksi kaikissa vertailutapauksissa. Hirsirakennuksen hiilijalanjälki oli laskelmissa korkeampi kuin vertailurakenteilla korkeamman energian kulutuksen vuoksi, mutta myös hiilikädenjälki oli vertailurakenteita merkittävästi suurempi. Hiilikädenjäljen painoarvoa ei ole määritetty ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän luonnoksessa ja se hankaloitti suoran vertailun tekemistä rakenneratkaisujen välillä. On huomioitavaa, että ympäristöministeriön ohjeen mukaan eloperäinen materiaali ilmoitetaan elinkaaren alussa negatiivisena lukuna ja elinkaaren lopussa päästöinä - tämä ilmenee laskennassa hirsirakennuksen kohdalla suurempina päästöinä laskennallisen elinkaaren lopussa, vaikka hirsirakenteella olisikin vielä runsaasti käyttöikää jäljellä.

Laskelmista kävi ilmi, että puu on ekologinen ja taloudellinen vaihtoehto rakentamisessa, jos se ei vaikuta rakennuksen energiankulutukseen ja sillä voidaan samanaikaisesti korvata suuripäästöisiä ja kalliita materiaaleja. Myös kantavia rakenteita voitaisiin enemmän tehdä enemmän puusta, samalla saataisiin kevennettyä rakennusten kokonaispainoa ja kuormia, jolloin esimerkiksi perustukset voitaisiin tehdä kevytrakenteisempina. Elinkaarilaskennat olisi hyvä tehdä ennen rakenneratkaisujen ja taloteknisten perusperiaatteiden päättämistä, jolloin elinkaarikustannuksiin ja elinkaaren aikaisiin päästöihin voitaisiin tehokkaimmin vaikuttaa.

LÄHTEET

1. Suomen virallinen tilasto (SVT): Rakennukset ja kesämökit. 2020, Rakennuskanta 2020 (Korjattu 3.6.2021). Helsinki: Tilastokeskus. Hakupäivä 13.2.2023. http://www.stat.fi/til/rakke/2020/rakke_2020_2021-05-27_kat_002_fi.html.

2. Ympäristöministeriö 2019. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Hakupäivä 13.2.2023. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyyden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

3. Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut. Helsinki: Tilastokeskus. Hakupäivä 13.2.2023. http://www.stat.fi/til/khki/kas.html.

4. Ympäristöministeriö. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. 2017. Hakupäivä 13.2.2023. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Selvitys_rakennusten_hiilijalanjaljen_va(43779).

5. Ympäristöministeriö. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän ohjeen luonnos lausuntokierrosta varten 6/2021. Hakupäivä 13.2.2023. https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/DownloadProposalAttachment?proposalId=0b297461-cdee-4657-9a4e-d2791315257d&attachmentId=15860.

6. Saari, A. Elinkaarikustannusten laskenta (luonnos 23.8.2004). VTT projekti. Hakupäivä 27.2.2023. http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/environ2/rem/elinkaarikustannukset.doc.

7. Vinkki, Juho-Martti. & Pitsinki, Vesa 2021. Rakentamisen ilmastojälki ja elinkaarikustannukset. Oamk Journal 104/2021. Hakupäivä 19.2.2023 https://oamk.fi/oamkjournal/2021/rakentamisen-ilmastojalki-ja-elinkaarikustannukset/.

8. Pitsinki, Vesa 2020.TF00BO10-3005 Rakennushankkeen talouden hallinta 5 op. Opintojakson luennot syksyllä 2022. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, Tekniikan ja luonnonvara-alan yksikkö. Hakupäivä 24.2.2023. https://moodle.oulu.fi/pluginfile.php/1387027/mod_resource/content/0/ELINKAARILASKELMAT.pdf. Vaatii käyttöoikeuden.

9. One Click LCA Ltd. 2023. Hiilijalanjälkilaskenta. Hakupäivä 14.3.2023 https://www.oneclicklca.com/fi/rakennusten-hiilijalanjaljen-arviointimenetelma/.

10. One Click LCA Ltd. 2023. Elinkaarikustannuslaskenta. Hakupäivä 14.3.2023 https://www.oneclicklca.com/fi/rakennushankkeisiin/elinkaarikustannuslaskenta/.