



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Elmeri Marjomäki

---

## **Betonirakenteisen uudiskerrostalon vähähiiliset rakennusratkaisut**

Opinnäytetyö

Kevät 2024

Insinööri (AMK), Rakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Elmeri Marjomäki

Työn nimi alaotsikoineen: Betonirakenteisen uudiskerrostalon vähähiiliset rakenneratkaisut

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 30

Liitteiden lukumäärä: 1

---

Pariisin sopimuksen astuttua voimaan vuonna 2016 ilmastokriisi on otettu vakavasti. Rakentamiseen käytetään Euroopassa enemmän raaka-aineita kuin mihinkään muuhun teollisuuden alaan ja käytetyin raaka-aine on betoni. Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa nykytilaa ja haasteita perinteisissä betonirakenteissa sekä esittää vaihtoehtoisia ratkaisuja rakentamisen ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Suunnittelu Teräsmaa Oy:n kanssa.

Opinnäytetyössä laadittiin Excel-taulukko. Excel-taulukko tehtiin yhteistyötaholle Suunnittelu Teräsmaalle auttamaan vähähiilisemmän kerrostalon suunnittelua. Taulukko on lisätty opinnäytetyöhön liitteenä, joka on salattu yrityksen toiveesta.

Tulokset osoittivat, että vähähiilisten betonirakenteiden toteuttaminen vaatii kokonaisvaltaista lähestymistapaa, joka huomioi materiaalien valinnan, rakenteiden suunnittelun ja energiatehokkuuden. Muun muassa parempi eristysmateriaalien hyödyntäminen sekä vähähiilisen betonin käyttö vähentää huomattavasti rakenteiden hiilijalanjälkeä. Lisätutkimuksia tarvitaan jatkossa, jotta vähähiilisten betonirakenteiden käyttöä voidaan edelleen tehostaa ja yleistää rakennusalalla.

<sup>1</sup> Asiasanat: betonirakentaminen, vähähiilisyys, rakennesuunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Elmeri Marjomäki

Title of thesis: Low-carbon structural solutions for a new concrete apartment building

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2024

Number of pages: 30

Number of appendices: 1

---

Since the entry into force of the Paris Agreement in 2016, the climate crisis has been taken seriously. In Europe, construction consumes more raw materials than any other industry, with concrete being the most commonly used material. The objective of the thesis was to assess the current state and challenges of traditional concrete structures and to propose alternative solutions for reducing the environmental impact of construction. The thesis was conducted in collaboration with Suunnittelu Teräsmaa Oy.

In the thesis, an Excel spreadsheet was prepared. The Excel spreadsheet was created in collaboration with the partner organization Suunnittelu Teräsmaa to assist in the design of a low-carbon footprint apartment building. The spreadsheet is included in the thesis as an annex, and it is encrypted at the request of the company.

The results indicated that implementing low-carbon concrete structures requires a comprehensive approach that considers material selection, structural design, and energy efficiency. Utilizing better insulation materials and incorporating low-carbon concrete significantly reduces the carbon footprint of structures. Further research is needed in the future to further enhance and promote the use of low-carbon concrete structures in the construction industry.

<sup>1</sup> Keywords: concrete construction, low-carbon, structural design

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva- ja taulukkuuettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	6
1 JOHDANTO .....	7
1.1 Opinnäytetyön tausta .....	7
1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset .....	8
1.3 Opinnäytetyön toimeksiantaja .....	8
2 BETONI TALONRAKENTAMISESSA.....	9
2.1 Yleistä .....	9
2.2 Sementti .....	10
2.3 Vähähiilinen betoni .....	12
2.4 Vähähiilisen betonin luokitus .....	14
3 VÄHÄHIILINEN RAKENTAMINEN .....	18
3.1 Yleistä CO2 termeistä .....	18
3.1.1 Hiilijalanjälki .....	18
3.1.2 Hiilikädenjälki .....	18
3.1.3 Päästökerroin.....	19
3.2 Rakenteiden ja materiaalien vaikutus kerrostalossa.....	21
4 RAKENTEIDEN HIILIJALANJÄLKIVERTAILU.....	24
4.1 Menetelmät .....	24
4.2 Ulkoseinät .....	24
4.3 Yläpohja .....	24
4.4 Välipohja .....	25
5 POHDINTA JA YHTEENVETO.....	26
LÄHTEET .....	27
LIITTEET .....	29

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Suunnittelu Teräsmaan logo. ....	8
Kuvio 2. Betonia on mahdollista valmistaa ilman sementtiä.....	12
Kuvio 3. Vihreä Betonin loppulujuus on yhtä korkea tai korkeampi kuin normaalin betonin...	14
Kuvio 4. Rakennuksen hiilivarasto ja hiilijalanjälki. ....	20
Kuvio 5. Leikkaus. Tarkasteltavana olevasta esimerkkikohteesta. ....	21
Kuvio 6. Betonielementtirakenteisen asuinkerrostalon rakennetyyppien hiilijalanjälki. ....	22
Kuvio 7. Vähähiillisen rakenteen valinta. ....	23
Taulukko 1. Vähähiilisyysluokituksen valmisbetonilaadut sekä vähähiilisyysluokkien raja-arvot.....	16
Taulukko 2. BY-Vähähiilisyysluokituksen betonielementtien betonilaadut sekä BY-Vähähiilisyysluokkien raja-arvot.....	17
Taulukko 3. Hiilijalanjätkivertailun tulokset. ....	25

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Ekvivalentti</b>	Suure, jolla ilmastovaikutuksia kuvataan.
<b>GWP</b>	Yksikkö, jota käytetään kaasuja vertailtaessa. Lyhenne sanoista Global Warming Potential.
<b>Hiilineutraalius</b>	Tarkoittaa, että päästöjä syntyy korkeintaan saman verran kuin niitä on mahdollista sitoa hiilinieluihin.
<b>Vihreä Betoni</b>	Valmisbetoni, jonka valmistus on vähäpäästöisempää normaaliin betoniin verrattuna.
<b>Vähähiilisyys</b>	Tarkoittaa, että tuotteen elinkaaren hiilijalanjälki on mahdollisimman pieni.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Suomi pyrkii saavuttamaan hiilineutraaliuden vuoteen 2035 mennessä (Vihreät, i.a.). Tämä merkitsee sitä, että aiheutettu hiilidioksidipäästöjen määrä rajoittuu tasolle, joka vastaa hiilinielujemme, kuten metsien ja soiden kykyä sitoa hiilidioksidia. Tulevaisuudessa, vuoden 2035 jälkeen, meidän odotetaan sitovan enemmän hiiltä kuin päästämme ilmakehään.

Pariisin sopimus astui voimaan marraskuussa 2016 (Ulkoministeriö, i.a.). Se merkitsee historiallista sitoutumista ilmastonmuutoksen torjuntaan, kun lähes kaikki maailman maat ilmaisivat valmiutensa toimia. Sopimus on kattava ja oikeudellisesti sitova, ja Suomi liittyi siihen samana vuonna.

Rakentaminen ja rakennusten toiminta vaikuttavat merkittävästi sekä ihmisten hyvinvointiin että ympäristöömme, ja ne ovat keskeinen tekijä ilmastonmuutoksen torjunnassa (RIL, i.a.). Euroopassa rakentamiseen käytetään enemmän raaka-aineita kuin mihinkään muuhun teollisuuden alaan, noin puolet kaikista käytetyistä raaka-aineista. Lisäksi rakentaminen ja rakennusten purkaminen tuottavat noin 40–50 prosenttia kaikista jätteistä. Rakennusten käytöstä syntyy noin 32 prosenttia energiakulutuksesta ja noin 30 prosenttia hiilidioksidipäästöistä.

Maailman eniten käytetyin rakennusmateriaali on betoni. Vuosittain sitä tuotetaan noin 13 miljardia kuutiometriä (Betoni, i.a.-a). Betonin käyttö on monipuolista ja sitä voidaan hyödyntää niin pienissä kuin suurissakin rakennusprojekteissa. Se on ylivoimaisesti suosituin materiaali rakennusten perustuksissa. Betonia käytetään usein myös infrakohteissa kuten, silloissa, padoissa, satamissa ja voimalaitoksissa.

Sementti on betonin tärkein sideaine, joka valmistetaan luonnonmineraaleista, pääasiassa kalkkikivestä, joka on yleinen kivilaji maankuoressa (Betoni, i.a.-b). Raaka-aineet murskataan ja jauhetaan hienoksi jauheeksi, jonka jälkeen se altistetaan erittäin korkealle lämpötilalle uunissa, noin 1450 °C:ssa. Näin mineraalit sulavat ja reagoivat keskenään. Samalla kuumuus vapauttaa hiilidioksidia kalkkikivestä. Lopputuloksena saadaan sementtiä, joka reagoi veden kanssa muodostaen lujan mineraalin, sementtikiven, joka sitoo yhteen betonin kiviainesrakeet ja raudoituksen muodostaen kestävästä rakenteesta.

## 1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, mistä muodostuu rakenteiden hiilijalanjälki sekä tarkastella, millaiset rakenneratkaisut ovat vähähiilisiä. Tarkoituksena oli myös tutkia, mikä tarkasteltavista rakenneratkaisuista on kaikista vähähiilisin ja pitää rakentaminen taloudellisesti kannattavana.

Opinnäytetyö rajattiin betonirakenteisen uudiskerrostalon rakenteisiin. Perehtyminen rajoitettiin vain rakenteiden aiheuttamaan hiilijalanjälkeen. Tutkittavat rakenteet olivat välipohja, ulkoseinät ja yläpohja.

## 1.3 Opinnäytetyön toimeksiantaja

Suunnittelu Teräsmaa osakeyhtiö on perustettu vuonna 2005 (kuva 1). Yritys on jakautunut keväällä 2019 ja liiketoiminta on siirtynyt uuden yrityksen puolelle. Yrityksessä tehdään rakenne- ja elementtisuunnittelua sekä uudisrakentamiseen että korjausrakentamiseen. Yritys tekee myös rakenneteknistä konsultointia sekä antaa asiantuntijalausuntoja. Kohteita ovat asuinrakennukset, teollisuusrakennukset ja julkiset rakennukset.



Kuvio 1. Suunnittelu Teräsmaan logo (Suunnittelu Teräsmaa, i.a.).



## 2 BETONI TALONRAKENTAMISESSA

### 2.1 Yleistä

Betonin suosio runkomateriaalina johtuu sen lujuudesta, jäykkyydestä ja kohtuuhintaisuudesta, sekä kyvystä kestää kosteutta ja paloa (Betoni, i.a.-c). Betoni on erittäin turvallinen rakennemateriaali ja se on helposti muokattavissa eri tarpeisiin.

Betonin (i.a.-c) mukaan kuutiometrin hinta betoniasemalla valmisbetonille vaihtelee yleisesti 50–100 euron välillä. Hinta riippuu siitä, mitä vaatimuksia betonille on asetettu. Tämä kuitenkin tarkoittaa noin 2400 kilogrammaa valmista betonia, joka on muovattavissa, kovettuu itsensä ja säilyy kosteissa oloissa. Toisin sanoen, betoni on synteettistä mineraalia, joka on valmistettu sopimaan erilaisiin rakennustarpeisiin. Sitä voidaan muotoilla vapaasti ennen kovettumistaan, säilyttäen ominaisuutensa kosteissa ympäristöissä.

Betonin (i.a.-d) mukaan betonin osuus rakentamisessa vaihtelee sen käyttötarkoituksen mukaan. Talorakentamisessa sen osuus pääasiallisen materiaalin mukaan luokiteltuna on noin puolet ja julkisivuista noin 15 prosenttia. Kerros- ja rivitalo rakentamiseen soveltuu sandwich-elementit, koska ne ovat edullisia ja toimivia rakenneratkaisuja isoissa eristetyissä rakennuksissa. Pientalorakentamisessa taas suositaan kevytsora- ja betoniharkkoja, sillä niiden käsittely on helppoa rakennustyömaalla eikä se vaadi suurta nostokalustoa.

Esijännitettyä ontelolaattaa käytetään usein ala-, väli- ja yläpohjarakenteissa (Betoni, i.a.-d). Hallirakennuksiin sopii HTT- ja TT-laatat, jotka toimivat sekä pää- että apurakenteina. Esijännitetyillä palkeilla voidaan saavuttaa jopa 50 metrin jännevälit normaalilujuuksisella betonilla, ja pilareilla voidaan toteuttaa suuria kantavuuksia. Korkealujuusbetonit mahdollistavat vielä suuremman kantokyvyn.

Betonin (i.a.-d) mukaan betoniset ulkokuorielementit tarjoavat kestäviä ja taloudellisia vaihtoehtoja julkisivujen toteutukseen. Betonisilla väliseinillä voidaan täyttää sekä palo- että äänieristysvaatimukset ilman erillisiä eristyksiä.

## 2.2 Sementti

Sementti on maailman toiseksi eniten käytetty materiaali heti veden jälkeen. Sen käyttö on helppoa, edullista ja luotettavaa rakentamisessa (Illikainen, i.a.). Valitettavasti sementin valmistusprosessi on suuri hiilidioksidipäästöjen lähde. Kun kalkkikiveä hajotetaan kemiallisesti sementin valmistuksessa, syntyy hiilidioksidia. Lisäksi sementin valmistus korkeassa lämpötilassa fossiilisilla polttoaineilla aiheuttaa myös hiilidioksidipäästöjä.

Koska sementtiä käytetään valtavia määriä, sen valmistus tekee siitä yhden suurimmista ihmisen aiheuttamista hiilidioksidipäästölähteistä maailmassa (Illikainen, i.a.). Vaikka käytettävään uusiutuvaa energiaa sementin valmistuksessa, hiilidioksidin syntymistä kemiallisessa reaktiossa ei voida täysin estää. Mahdollisia ratkaisuja ovat sementin käytön vähentäminen tai uusien sementtityyppien kehittäminen korvaamaan perinteinen Portland-sementti.

Sementin käyttöä vähennetään suunnittelun optimoinnilla ja betonin tehokkaalla hyödyntämisellä (Illikainen, i.a.). Kun ylijäämäbetonista aiheutuva ymärstökuorma tiedostetaan, pystytään näillä menetelmillä välttämään sementin hukkaa. Kouluttamalla työntekijöitä voidaan myös tehostaa resurssien käyttöä. Elementtituotannon suosiminen valmisbetonin sijaan ja korkealujuusbetonin käyttö pienentävät sementin tarvetta ja vähentävät siten betonirakentamisesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä. Korkealujuusbetoni on betoniseos, joka on suunniteltu kestämaan poikkeuksellisen suuria kuormituksia ja painetta. Vaihtoehtona päästöjen vähentämiseen on kehitetty uusia sementtimäisiä materiaaleja, jotka eivät vapauta hiilidioksidia reaktiossaan. Tutkijat työskentelevät tämän tavoitteen eteen kehittämällä uudenlaista sementtikemiaa. Tämä pohjautuu mineraaleihin, joiden reaktiossa ei vapaudu hiilidioksidia.

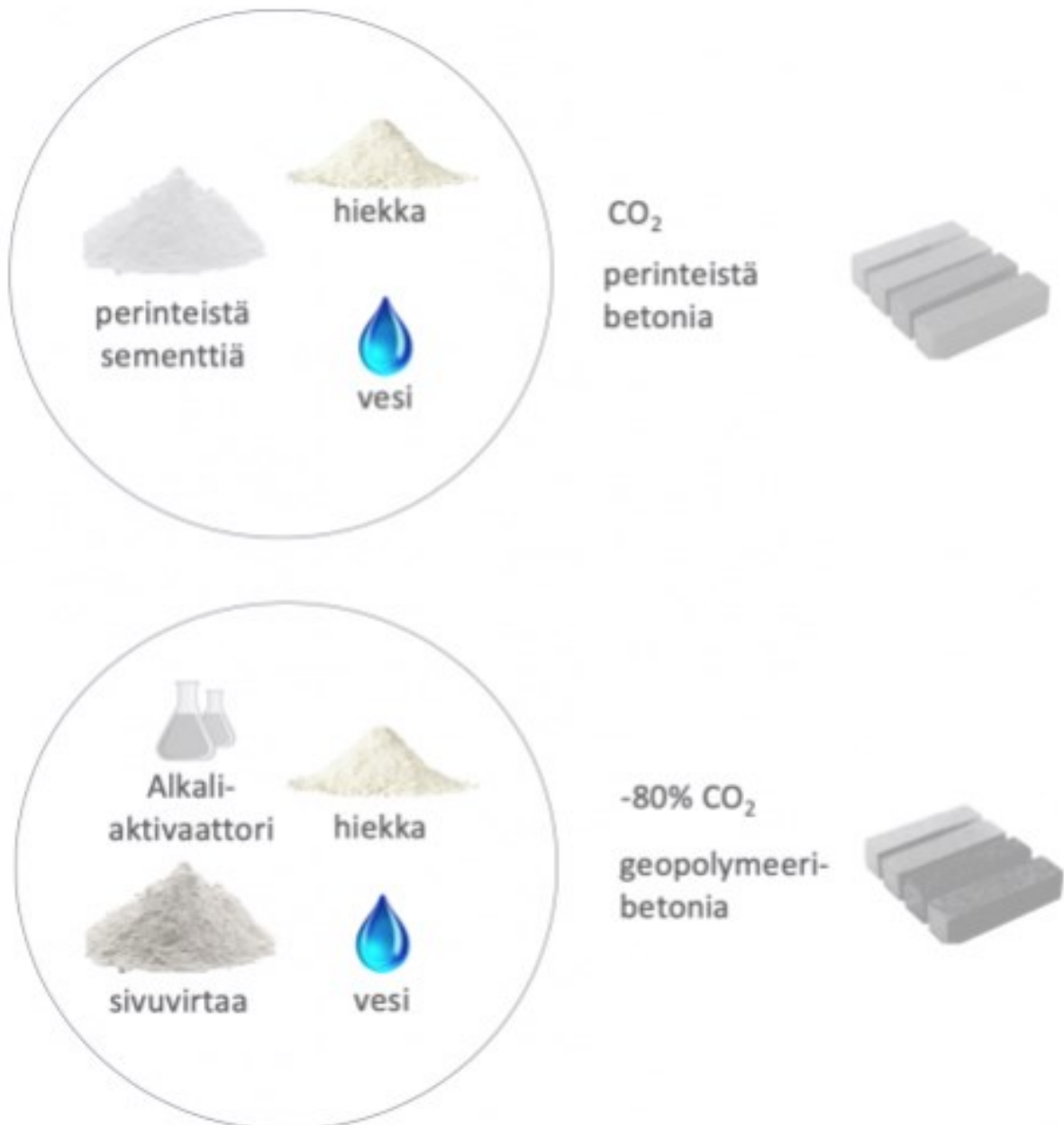
Illikaisen (i.a.) mukaan Sveitsissä on kehitetty menetelmä, joka on todella lupaava vaihtoehto. Menetelmässä suuri osa perinteisestä sementistä korvataan poltetulla savimineraalilla ja hienonnetulla kalkkikivellä. Tämä vähentää betonin hiilidioksidipäästöjä noin kolmanneksella verrattuna perinteiseen sementtiin perustuvaan betoniin. Lisäksi käytettävissä olevat savimineraalit ja kalkkikivi ovat saatavilla lähes kaikkialla maailmassa. Suomen maaperässä olevat savimineraalit eivät kuitenkaan sovellu tähän tarkoitukseen.

Hyödyntäen teollisuuden sivuvirtoja betonin valmistuksessa, voimme vähentää sementin tarvetta (Illikainen, i.a.). Betonin valmistuksessa käytettyjen sivuvirtojen avulla voimme vähentää hiilidioksidipäästöjä jopa 80 prosenttia verrattuna perinteisen betonin valmistukseen. Tämä

toimenpide tukee myös kiertotalouden periaatteita hyödyntämällä jo olemassa olevia materiaaleja uudelleen sen sijaan, että hankittaisiin uusia raaka-aineita.

Illikaisen (i.a.) mukaan kiertotalouden keskeinen idea on suunnitella tuotanto niin, että syntyy mahdollisimman vähän jätettä. Teollisuudessa kuitenkin syntyy erilaisia sivuvirtoja ja jätteitä, joita on vaikea täysin välttää. Esimerkiksi metallien erottaminen kiviaineksesta teollisuuden prosesseissa tuottaa suuria määriä ylimääräistä materiaalia. Suomessa, joka on teollisuus-painotteinen maa, tämä on erityisen merkittävä haaste, koska meillä syntyy enemmän epäor-gaanista jätettä asukasta kohti kuin muualla Euroopassa.

Teollisuuden sivuvirrat sisältävät yleisimpiä maaperän alkuaineita (Illikainen, i.a.). Näistä samoista alkuaineista voidaan valmistaa materiaalia, joka lujittuu samalla tavalla kuin sementti. Tätä materiaalia kutsutaan alkali-aktivoituksi materiaaliksi tai usein myös nimellä geopolymeeri. Geopolymeeribetonin valmistuksessa sekoitetaan teollisuuden sivuvirta, kemiallinen aktivaattori, hiekka ja sora. Tämä prosessi ei ole kovin erilainen verrattuna perinteisen betonin valmistukseen, jossa käytetään sementtiä, hiekkaa ja soraa sekoitettuna veden kanssa. Vaikka lopputuote voi näyttää samalta, geopolymeeribetonin ominaisuudet voivat kuitenkin poiketa merkittävästi perinteisen betonin ominaisuuksista (kuva 2).



Kuvio 2. Betonia on mahdollista valmistaa ilman sementtiä (Rakennustekniikka, i.a.).

### 2.3 Vähähiilinen betoni

Rakennuskohteiden kasvihuonepäästöjen vähentämiseen liittyvät vaatimukset ovat kiristyneet merkittävästi ja odotettavissa on lisää tiukennuksia erilaisten sitoumusten ja lainsäädännön myötä (Härkönen, 2021). Materiaalivalmistajien on vastattava tähän haasteeseen kehittämällä tuotteita ja ratkaisuja, jotka vähentävät päästöjä. Ympäristöasiat ja tuotteiden hiilijalanjälki ovat nousseet keskeisiksi tekijöiksi rakennushankkeiden hankintapäätöksissä. Vähähiiliset tuotteet ovat nyt nopeasti yleistymässä markkinoilla, ja ne ovat betonialan yrityksille keskeinen kehityskohde.

Suomalaisessa betoniteollisuudessa edistytään nopeasti kohti ympäristöystävällisempien betonituotteiden kehittämistä, mikä on vastaus rakentajien kasvavaan kiinnostukseen vähähiilisiä vaihtoehtoja kohtaan (Heikkilä, 2022). Sementti on ollut tärkeä sideaine betonissa, mutta tulevaisuudessa sen tilalle pyritään yhä enenevässä määrin käyttämään vähäpäästöisempiä vaihtoehtoja. Näitä uusia sementtejä kutsutaan seossementeiksi. Niiden kysyntä on vasta viime aikoina kasvanut merkittävästi, vaikka niitä on ollut saatavilla jo pitkään.

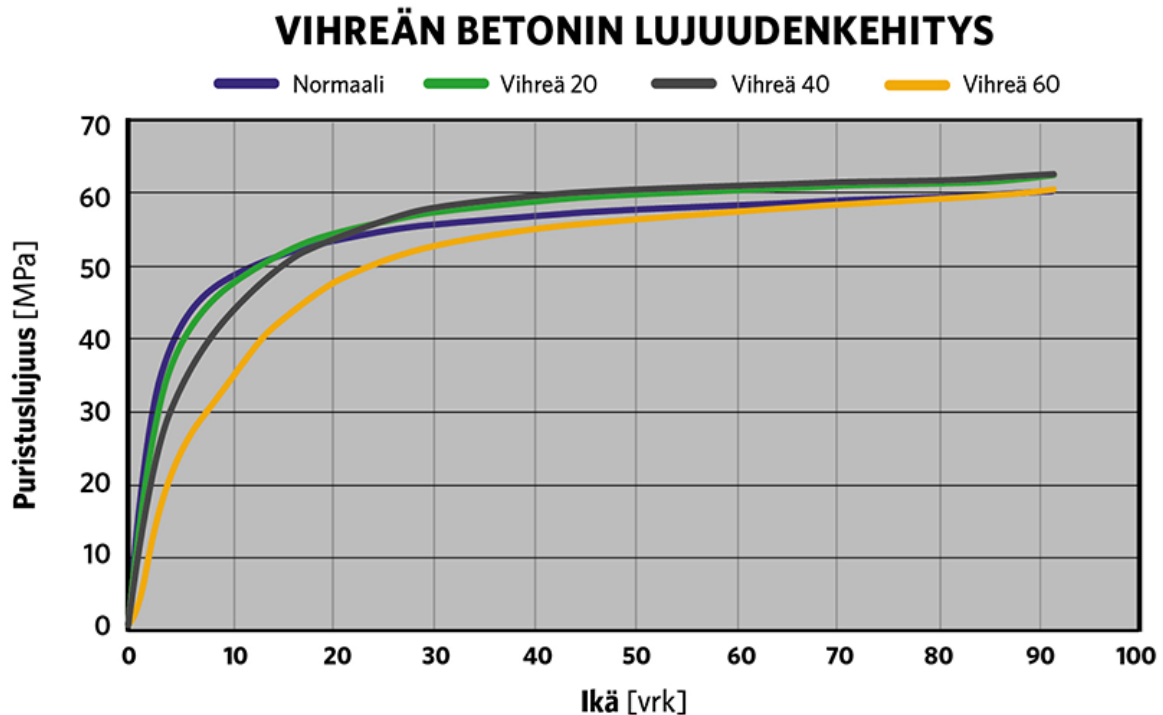
Heikkilän (2022) mukaan viimeisen vuoden aikana vähähiilisiä tuotteita on kysytty enemmän kuin aikoihin, mikä on yllättänyt monia toimijoita betonialalla. Betonielementtejä valmistavan Betsetin kehitysjohtaja Harri Bergholm huomauttaa, että tähän asti tällaisille tuotteille ei ole ollut suurta kysyntää markkinoilla. Yksi vaihtoehto perinteisen sementin korvaajaksi on teräksen valmistuksen yhteydessä syntyvä masuunikuona.

Seossementtien yleistyminen tulevina vuosina nähdään tehokkaimpana keinona vähentää betonin päästöjä. Niiden käyttöön liittyy kuitenkin haasteita, jotka vaativat ratkaisua (Heikkilä, 2022). Erityisen tärkeä kehityskohde on seosbetonin hitaampi lujuuden kehitys verrattuna perinteiseen betoniin. Hiljattain pörssiin listautunut materiaalteknologiayritys Betolar pyrkii vastaamaan tähän haasteeseen kehittämällä kemiallista kiihdytintä. Tämä kiihdytin on suunniteltu nopeuttamaan seossementin lujuuden kehittymistä erityisesti ensimmäisen vuorokauden aikana. Yritys on testannut kiihdyttimen toimivuutta tehtaallisessa mittakaavassa.

Suurin osa betonin hiilidioksidipäästöistä, noin 50–90 prosenttia, johtuu sen sideaineesta, Portland-sementistä (Betoni, i.a.-e). Vähäpäästöistä betonia voidaan tuottaa käyttämällä osittain korvaavia aineita perinteisen sementin sijaan. Näitä vaihtoehtoisia aineita ovat esimerkiksi lentotuhka, masuunikuona, kalkkikivijauhe ja silika. Jopa 90 prosenttia hiilidioksidipäästöistä voidaan vähentää näiden aineiden käytöllä. Vähäpäästöiselle betonille on ominaista korkeampi loppulujuus, mutta sen lujuuden kehittyminen on hitaampaa, etenkin viilleissä olosuhteissa. Kun vähäpäästöistä valmisbetonia käytetään rakennustyömaalla, on tärkeää huolehtia kovettumisolosuhteiden hallinnasta. Valut pitää suojata kylmältä ja betonia voi tarvittaessa lämmittää sen kovettuessa.

Rudus PRO:n (2021) mukaan vihreän betonin lujuuden kehittymiseen vaikuttavat seosainesten hitaampi lujuuden kehitys sekä sideaineoptimointi. Massiivisiin erikoisratkaisuihin, kuten sillankansiin tai holvien palkkeihin sopii parhaiten GWP.40, koska sillä on hitaampi

kovettumisaika. Lämpimissä olosuhteissa GWP.70 on hyvä vaihtoehto, koska se saavuttaa lopullisen lujuutensa vain hieman hitaammin kuin normaali betoni (kuva 3).



Kuvio 3. Vihreä Betonin loppulujuus on yhtä korkea tai korkeampi kuin normaalin betonin (Rudus, i.a.).

## 2.4 Vähähiilisen betonin luokitus

BY-Vähähiilisyysluokitus® jakaa betonilaadut viiteen eri luokkaan niiden hiilidioksidipäästöjen perusteella (Betoniyhdistys, i.a.). Tämä luokitus kattaa yhteensä 18 eri betonilaatua valmisbetonien osalta ja 17 eri betonilaatua betonielementtien osalta. Jokainen betonin tai betonielementin valmistaja voi määritellä haluamansa betonireseptit näihin vähähiilisyysluokkiin, kunhan reseptin päästöarvot täyttävät luokituksen asettamat vaatimukset (taulukko 1 & 2).

Tunnuksella GWP.NN merkitään betonin vähähiilisyysluokat, jossa GWP tulee sanoista Global Warming Potential ja NN on päästötaso verrattuna referenssitason (Betoniyhdistys, i.a.). Esimerkiksi, jos betonin hiilidioksidipäästöt ovat korkeintaan 70 prosenttia verraten referenssitason, se merkataan silloin GWP.70™. Referenssitaso on päästötasoltaan aina korkeampi kuin vähähiilisyysluokat. Referenssitaso vastaa suomalaisten valmisbetonivalmistajien

keskimääräistä päästötasoa vuonna 2021, sekä betonielementtien betonien osalta vuonna 2023. Yhtenä vähähiilisyysluokkana toimii myös referenssitaso (GWP.REF™), koska siinä betonin GWP-päästöt ovat suurimmillaan kyseisen betonilaadun keskiarvon suuruiset. GWP-luokitus ja siihen liittyvät päästöarvot koskevat ainoastaan betonia eivätkä sisällä tietoja rakenteen muiden osien, kuten raudoituksen, kuljetusten tai työmaatoimintojen päästöistä. Tämä tarkoittaa, että GWP-luokitusta ei voida tehdä koko rakenteelle tai betonielementille.

Betoniyhdistyksen (i.a.) mukaan betonille asetetut vaatimukset, kuten lujuus- ja säilyvyysominaisuudet, eivät muutu vähähiilisyysluokan perusteella. On tärkeää ymmärtää, että valittaessa vähähiilistä betonia se voi silti vaikuttaa muihin betonin ominaisuuksiin, kuten lujuudenkehitykseen. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennusvaiheita suunniteltaessa täytyy ottaa betonin kovettumisaika huomioon.

Taulukko 1. Vähähiilisyysluokituksen valmiskonkreettilaadut sekä vähähiilisyysluokkien raja-arvot (Betoniyhdistys, i.a.).

Betoni	GWP.REF	GWP.85	GWP.70	GWP.55	GWP.40
C20/25 - Ei huokostettu	210	180	145	115	85
C25/30 - Ei huokostettu	230	195	160	125	90
C30/37 - Ei huokostettu	255	215	180	140	100
C35/45 - Ei huokostettu	285	240	200	155	115
C40/50 - Ei huokostettu	305	260	215	170	120
C45/55 - Ei huokostettu	320	270	225	175	130
C50/60 - Ei huokostettu	340	290	240	185	135
<hr/>					
C30/37 - Huokostettu	290	245	205	160	115
C35/45 - Huokostettu	330	280	230	180	130
C40/50 - Huokostettu	355	300	250	195	140
C45/55 - Huokostettu	375	320	265	205	150
C50/60 - Huokostettu	395	335	275	215	160
<hr/>					
C30/37 P0	270	230	190	150	110
C30/37 P30	300	255	210	165	120
C35/45 P0	300	255	210	165	120
C35/45 P30	330	280	230	180	130
C35/45 P50	340	290	240	185	135
C45/55 P50	375	320	265	205	150



Taulukko 2. BY-Vähähiilisyysluokituksen betonielementtien betonilaadut sekä BY-Vähähiilisyysluokkien raja-arvot (Betoniyhdistys, i.a.).

Tuoteryhmä	Betoni	GWP.REF	GWP.85	GWP.70	GWP.55	GWP.40
Ontelo- ja kuorilaatat	C40/50	270	230	190	150	110
	C50/60	295	250	205	160	120
	C60/75	340	290	240	185	135
Runkotuotteet <sup>1</sup>	C35/45	315	270	220	175	125
	C40/50	335	285	235	185	135
	C45/55	350	300	245	195	140
	C50/60	360	305	250	200	145
	C55/67	375	320	265	205	150
	C60/75	390	330	275	215	155
Muut elementit <sup>2</sup>	C30/37	290	245	205	160	115
	C30/37 huokostettu	310	265	215	170	125
	C35/45	320	270	225	175	130
	C35/45 huokostettu	340	290	240	185	135
	C40/50	350	300	245	195	140
Seinät, valkosementti	C30/37	505	430	-	-	-
	C35/45	525	445	-	-	-
	C40/50	555	470	-	-	-

## 3 VÄHÄHIILINEN RAKENTAMINEN

### 3.1 Yleistä CO2 termeistä

#### 3.1.1 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki kuvaa tietyn hankkeen, kuten rakennuksen, infrastruktuurin tai muun vastaavan kokonaisuuden ilmastovaikutusta (Open CO2 Net, i.a.). Tämä vaikutus perustuu kasvihuonekaasupäästöihin, kuten hiilidioksidiin (CO<sub>2</sub>) ja metaaniin (CH<sub>4</sub>), jotka syntyvät kyseisen hankkeen eri vaiheissa. Hiilijalanjälki ilmaistaan hiilidioksidiekvivalentteina, mikä ottaa huomioon eri kasvihuonekaasujen erilaiset ilmastovaikutukset.

Rakentamisen hiilijalanjälki lasketaan kattavasti, huomioimalla kaikki suorat ja epäsuorat päästöt hankkeen koko elinkaaren ajalta (Open CO2 Net, i.a.). Tämä sisältää raaka-aineiden louhimisen, valmistuksen, rakentamisen, käytön, ylläpidon ja lopulta purkamisen vaiheet. Esimerkiksi rakennuksen tapauksessa hiilijalanjälki voitaisiin laskea rakennuksen käyttöiän ajalta. Hiilijalanjälki ilmoitetaan yleensä syntyvien päästöjen massana, joka voi vaihdella tilanteen mukaan tonneina, kilogrammoina tai grammoina. Tämä antaa konkreettisen kuvan siitä, kuinka paljon kasvihuonekaasupäästöjä on syntynyt rakennushankkeen yhteydessä. Esimerkiksi materiaalien valinta, energiatehokkuus ja rakennusprosessin kestävyys voivat vaikuttaa merkittävästi hiilijalanjäljen kokoon. Näin ollen rakennusalan toimijat voivat suunnitella ja toteuttaa hankkeita kestäväällä tavalla, vähentäen samalla niiden ilmastovaikutuksia (kuva 4).

#### 3.1.2 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjälki heijastelee tietyn ratkaisun myönteisiä ilmastovaikutuksia koko elinkaarensa aikana (Open CO2 Net, i.a.). Positiivinen hiilikädenjälki syntyy, kun käytetty ratkaisu vähentää toisen, yleensä asiakkaan, hiilijalanjälkeä. Tässä yhteydessä hiilikädenjäljen määrittelyssä on olennaista ottaa huomioon vertailukohta, joka vaihtelee tilanteen mukaan. Rakennusalalla positiivinen hiilikädenjälki voi ilmetä esimerkiksi materiaali- tai energiatehokkuuden parantamisena. Tämä tarkoittaa, että käytetään kestävämpiä ja vähäpäästöisempiä materiaaleja tai optimoidaan rakennusten energiankulutusta. Tehokkuuden lisääminen ei pelkästään vähennä rakennuksen omaa hiilijalanjälkeä, vaan myös mahdollistaa asiakkaan hiilijalanjäljen vähenemisen rakennuksen käytön aikana.

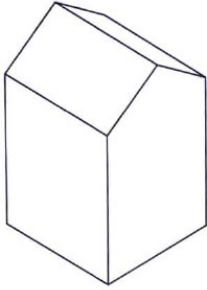
Open CO2 net (i.a.) mukaan positiivinen hiilikädenjälki rakentamisessa voi myös juontua fossiilisten aineiden tai energian korvaamisesta uusiutuvilla vaihtoehdoilla. Rakennusten energiantuotannon siirtyminen kohti kestävämpiä ratkaisuja edistää positiivista ilmastovaikutusta. Kun rakennusmateriaalit ja -ratkaisut on suunniteltu pitkäikäisiksi, vähentää se tarvetta uusille investoinneille ja siten pienentää koko rakennuksen elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä. Hiilikädenjälki rakentamisessa voi kasvaa, kun kiinnitetään huomiota jätteiden vähentämiseen ja hävikin pienentämiseen. Kiertotalouden periaatteiden mukainen rakentaminen voi johtaa positiiviseen ilmastovaikutukseen, kun käytetyt resurssit optimoidaan ja jätehallintaa parannetaan (kuva 4).

### 3.1.3 Päästökerroin

Päästökertoimet ovat olennainen osa hiilijalanjäljen arvioinnissa ja ympäristövaikutusten hallinnassa (Open CO2 Net, i.a.). Rakennusalalla päästökertoimia käytetään mittaamaan ja arvioimaan rakennusmateriaalien, rakennusprosessien ja rakennusten elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä. Tämä auttaa ammattilaisia ja sidosryhmiä tekemään kestäviä valintoja rakennusten suunnittelussa ja toteutuksessa. Rakennusmateriaalien päästökertoimia voidaan ilmaista useissa eri yksiköissä, kuten kg CO<sub>2</sub>e/kg tai kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, ja ne antavat kuvan siitä, kuinka paljon kasvihuonekaasupäästöjä syntyy yksikköä kohden. Esimerkiksi betonin päästökertoimet voivat sisältää sekä valmistusvaiheen että rakennusprosessin aikaiset päästöt, ja ne ilmaistaan usein kilogrammoina hiilidioksidiekvivalentteina per valmistettu tonni betonia.

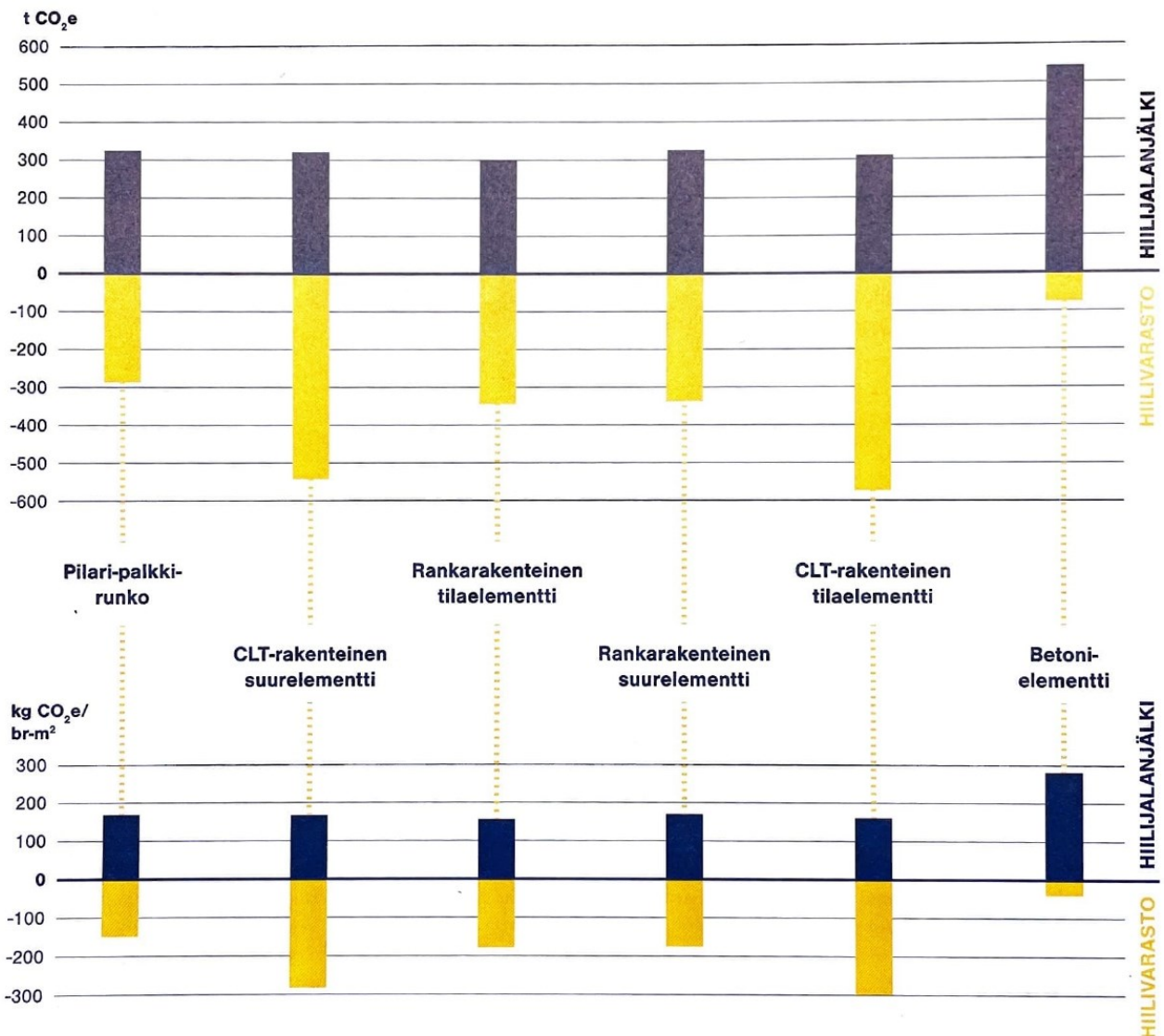
Open CO2 Net (i.a.) mukaan rakennuksen elinkaaren aikaiset päästökertoimet ottavat huomioon kaikki vaiheet, kuten raaka-aineiden hankinnan, valmistuksen, kuljetuksen, käytön ja lopusijoituksen. Tämä laaja näkökulma auttaa arvioimaan kokonaisvaltaisesti rakennuksen ympäristövaikutuksia. Rakennusmateriaalien ja rakennusprosessien kehittäminen kohti vähähiilisiä vaihtoehtoja on tärkeää, ja päästökertoimien avulla voidaan tunnistaa ne vaiheet, jotka aiheuttavat suurimman ympäristökuormituksen. Lisäksi päästökertoimien avulla voidaan vertailla eri rakennusmateriaalien ja -menetelmien ympäristövaikutuksia ja tehdä kestäviä valintoja rakennushankkeissa. On tärkeää huomata, että vaikka termi "hiilijalanjälki" usein liitetään tuotteen tai palvelun päästökertoimeen, se tarkoittaa täsmällisesti kasvihuonekaasupäästöjen määrää koko elinkaaren aikana, ilmaistuna hiilidioksidiekvivalentteina. Tämä pitää sisällään kaikki ilmastovaikutukset, joita tuote tai palvelu aiheuttaa aina raaka-aineiden hankinnasta tuotantoon, kuljetukseen ja lopulta käyttövaiheeseen asti.

## Rakennuksen hiilivarasto ja hiilijalanjälki



**Nelikerroksinen asuintalo** (bruttoala 1922 m<sup>2</sup>, huoneistoala 1402 m<sup>2</sup>)  
 Rakennuksen kaikki kerrokset ovat joko puu- tai betonirakenteisia. Rakennuksen alapohjana on betonilaatta ja huoneistojen väliset seinät ovat kantavia. Rakennukset täyttävät samat keskeiset rakennusmääräykset (U-arvo < 0,17 W/m<sup>2</sup>K, R<sup>w</sup> > 55 dB. Puurakennusten ulkoseinien sekä osastoivien seinien paloluokka on REI 60 (palonkesto aika 60 minuuttia) ja suojaverhous täyttää K210/EI15-vaatimukset. Betonirakennus, jossa ulkoseinän sisäkuori kantava (150 mm), palonkesto aika parempi, REI 90 (90 minuuttia). Puurakennerratkaisut perustuvat pääosin RunkoPes<sup>42</sup> ohjerakenteisiin; betonirakennusratkaisut RT-ohjetiedostojen ratkaisuihin.

### Eri rakenteiden hiilijalanjälki ja hiilivarasto



Kuvio 4. Rakennuksen hiilivarasto ja hiilijalanjälki (Kohti vähähiilistä rakentamista, 2020).

### 3.2 Rakenteiden ja materiaalien vaikutus kerrostalossa

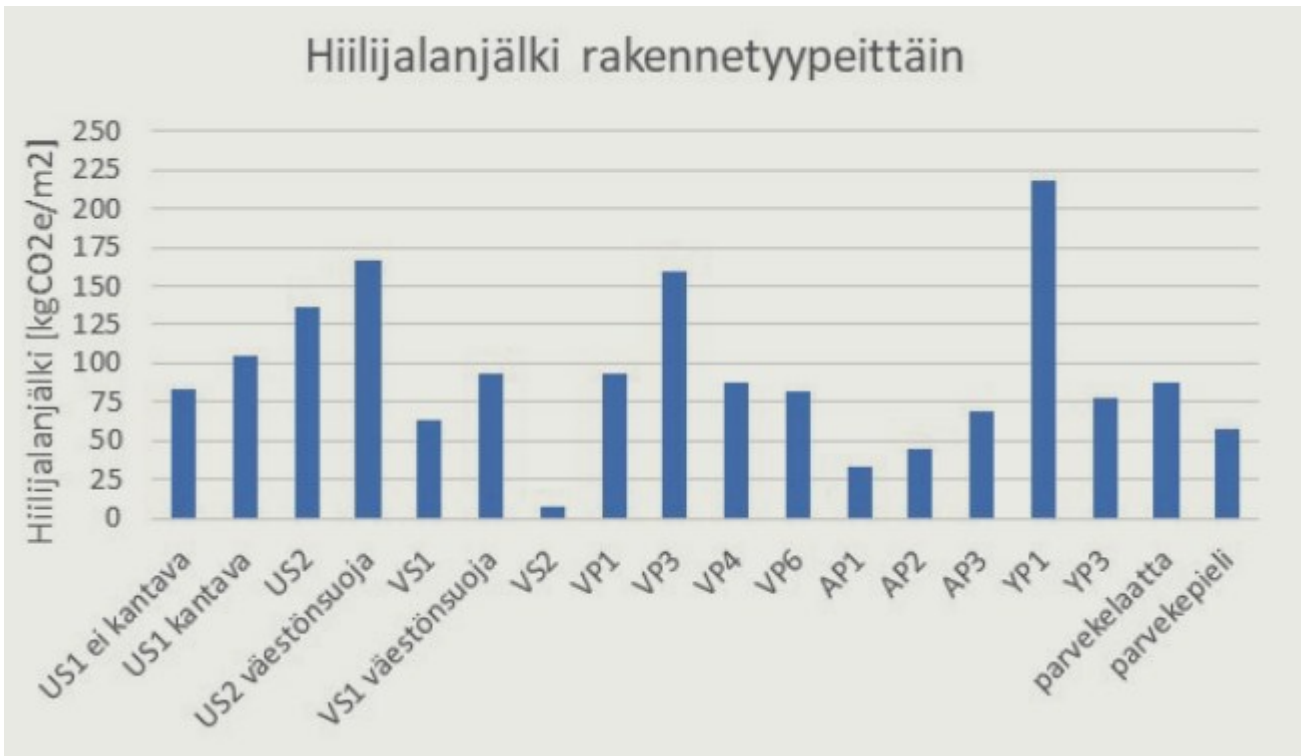
Betoni-lehden artikkelissa oli tarkasteltu yleistä kahdeksankerroksista betonielementtitaloa (kuva 5) (Lahdensivu, 2020). Kantavana välipohjina oli käytetty kolmea eri paksuista ontelolaattaa, joiden lujuusluokka oli C40/50. Muiden betonirakenteiden lujuusluokka oli yleisempi C30/37. Tutkimuksen peruslaskelmat oli suoritettu One Click LCA -ohjelmiston tiedoilla ja vähähiilisen betonin tutkimukset saatiin valmisbetonin toimittajilta. Tutkimuksessa huomattiin, että rakennetyyppien hiilijalanjälki vaihtelee todella laajalti.



Kuvio 5. Leikkaus tarkasteltavana olevasta esimerkkikohteesta (Betoni, 3.2022).

Lahdensivun (2022) mukaan yläpohjalla on suurin hiilijalanjälki, jossa kantavana rakenteena on usein ontelolaatta ja lämmöneristeenä kevytsoraa. Tämän yläpohjarakenteen hiilijalanjälki on yhteensä 217 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Suurin osa päästöistä aiheutuu lämmöneristeenä käytetystä kevytsorasta, minkä valmistus tuottaa 103 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Vähemmän päästöjä syntyy kantavan ontelolaatan valmistuksesta, joka tuottaa hiilijalanjälkeä 59 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Seuraavaksi korkeimman hiilijalanjäljen tuottaa väestönsuojan seinärakenteet 166 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

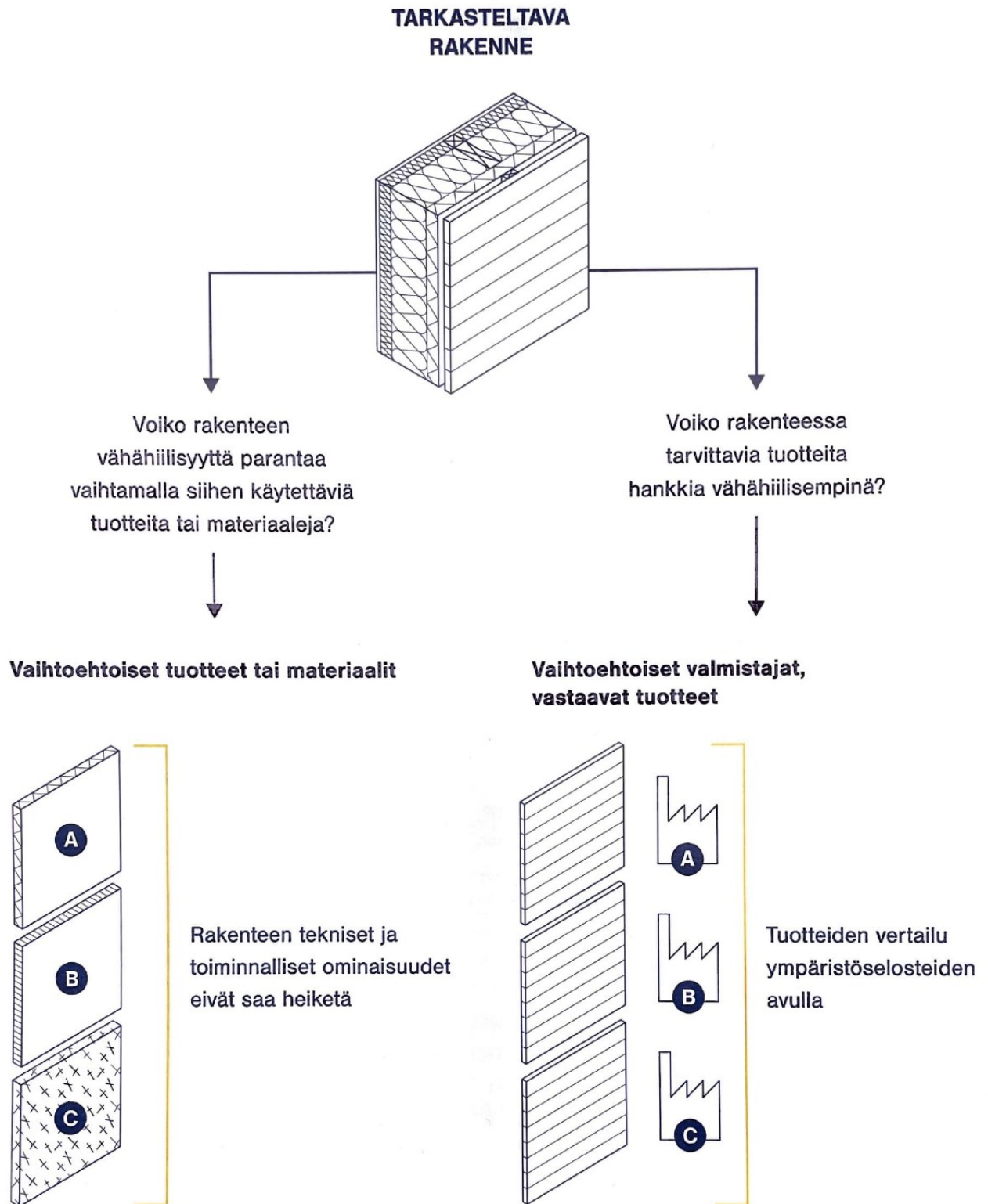
Väestönsuojissa käytettävässä 300 millimetrin paksuisessa betoniseinässä on myös todella paljon raudoitusta. Monilla välipohjarakenteilla on myös suuri hiilijalanjälki, joka vaihtelee välillä 82–160 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Pienin hiilijalanjälki kantavista rakenteista tulee kantavien väliseinien valmistuksesta, joka on 63 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Suurin osa näiden kantavien rakenteiden hiilijalanjäljestä muodostuu valmistettaessa betonia (kuva 6).



Kuvio 6. Betonielementtirakenteisen asuinkerrostalon rakennustyyppien hiilijalanjälki (Betoni, 2022).

Häkkisen ja Kuittisen (2020) mukaan suunnittelun näkökulmasta materiaalitehokkuus on yhtä keskeinen kuin energiatehokkuus, ja se on olennainen osa rakennusten vähähiilisyyden tavoittelua. Erityisen merkittäväksi se nousee, kun otetaan huomioon energiantuotannon päästöjen väheneminen ja niiden odotettu merkittävä lasku kivihiilen energiakiellon myötä vuonna 2029. Rakennuksen vähähiilisyyttä voidaan parantaa materiaalien näkökulmasta kahdella pääasiallisella tavalla: vähentämällä kokonaisuudessaan tarvittavien materiaalien määrää tai valitsemalla vähähiilisiä vaihtoehtoja. On tärkeää huomioida, että näissä lähestymistavoissa on otettava huomioon materiaalien tarjoamat toiminnalliset, taloudelliset ja tekniset ominaisuudet. Näitä seikkoja on arvioitava vähintään rakenteiden tai rakennusosien tasolla (kuva 7).

## Vähähiilisen rakenteen valinta



Kuvio 7. Vähähiilisen rakenteen valinta (Kohti vähähiillistä rakentamista, 2020).

## 4 RAKENTEIDEN HIILIJALANJÄLKIVERTAILU

### 4.1 Menetelmät

Hiilijalanjätkivertailu tehtiin betonirakenteisen uudiskerrostalon kolmeen elementtirakenteseen. Tutkittavat rakenteet olivat ulkoseinät, yläpohja ja välipohja. Jokaisesta rakenteesta valittiin muutama erilainen rakennetyyppi vertailtavaksi. Laskenta suoritettiin itse laaditulla Excel-tilulukolla ja päästötiedot otettiin rakentamisen päästötietokannasta, sekä tuotevalmistajien sivuilta. Päästöt laskettiin neliometrille (tilulukko 3), laskennassa ei otettu teräksiä huomioon betonirakenteissa.

### 4.2 Ulkoseinät

Ulkoseinätarkasteluun valittiin viisi erilaista rakennetyyppiä: sandwich-, tiililaatta-, ohutrapaus-, tiilimuuraus- ja puuverhoiltu elementti. Jokaisessa rakennetyypissä sisäkuori oli valmisbetonista, mutta muut materiaalit poikkesivat toisistaan. Eristevalinnoissa testattiin materiaalien eroavaisuutta, tavoitteena saada pienempi hiilijalanjälki. Seinärakenteessa testattiin ohutta uretaanieristettä, mutta silti parempi tulos saatiin mineraalivillalla.

Vähähiilisillä materiaaleilla suurin hiilijalanjälki tuli tiilimuuratulle ulkoseinälle, jolle saatiin 80,316 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Toiseksi suurin hiilijalanjälki oli tiililaatta verhotulla sandwich-elementillä, jolle tuli 57,454 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Kolmanneksi pienin hiilijalanjälki saatiin normaalille sandwich-elementille, joka ei paljoa poikennut edellisestä 53,794 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Toiseksi pienin hiilijalanjälki tuli ohutrapatulle 43,450 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ja pienin hiilijalanjälki puuverhotulle 19,546 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

### 4.3 Yläpohja

Yläpohjan tarkasteluun valittiin kolme erilaista kattomateriaalia ja jokainen laskettiin massiivibetoni- sekä ontelolaatalla. Eriste-, tukirakenne- ja pinnoite valinnoissa tutkittiin materiaalien ja valmistajien eroavaisuutta.

Suuremmat hiilijalanjäljet tulivat massiivibetonilaatta yläpohjille, joista suurin tuli konesaumapeltikatteelle 65,788 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Toiseksi suurin bitumikermikatteelle 65,216 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ja



kolmanneksi suurin betonitiilikatteelle 56,009 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Pienemmät hiilijalanjäljet saatiin ontelolaatta yläpohjille, joista kolmanneksi pienin tuli konesaumapeltikatteelle 46,889 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Toiseksi pienin hiilijalanjälki bitumikermikatteelle 46,317 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ja pienin hiilijalanjälki betonikattotiili yläpohjalle 37,110 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

#### 4.4 Välipohja

Välipohja tarkasteluun valittiin kaksi erilaista rakennetyyppiä: massiivibetonilaatta ja ontelolaatta. Rakenteissa käytettiin eri lujuusluokan betonia. Vähähiillisillä materiaaleilla suurempi hiilijalanjälki tuli niukasti massiivibetonilaatalle, jolle saatiin 60,480 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Pienempi hiilijalanjälki saatiin ontelolaatalle, jolle tuli 55,942 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

Taulukko 3. Hiilijalanjälkivertailun tulokset.

#### ULKOSEINÄT

TIILIMUURAUUS	80,316	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
TIILILAATTA	57,454	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
SANDWICH	53,794	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
OHUTRAPPAUS	43,450	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
PUUVERHOILU	19,546	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>

#### YLÄPOHJA

##### MASSIIVI-BETONILAATTA

PELTIKATE	65,788	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
BITUMIKERMIKATE	65,216	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
BETONITIILIKATE	56,009	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>

##### ONTELOLAATTA

PELTIKATE	46,889	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
BITUMIKERMIKATE	46,317	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
BETONITIILIKATE	37,110	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>

#### VÄLIPOHJA

MASSIIVI-BETONILAATTA	60,480	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
ONTELOLAATTA	55,942	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>

## 5 POHDINTA JA YHTEENVETO

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin kattava ymmärrys betonirakenteisen uudiskerrostalon vähähiilisten rakenneratkaisuista. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää keinoja vähentää rakennusten hiilijalanjälkeä betonirakenteisessa kerrostalossa. Työssä tarkasteltiin erilaisia materiaali- ja rakenneteknisiä ratkaisuja, jotka mahdollistavat hiilidioksidipäästöjen vähentämisen rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa, erityisesti suunnittelussa.

Tutkimuksen perusteella havaittiin, että betonirakenteisen kerrostalon vähähiiliset ratkaisut perustuvat monipuolisiin strategioihin. Näihin kuuluvat muun muassa betonin tuotantoprosessin tehostaminen, uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen tuotantoprosessissa sekä betonin korvaaminen osittain tai kokonaan vähäpäästöisemmällä vaihtoehdoilla, kuten lasikuidulla vahvistetulla muovilla tai puupohjaisilla materiaaleilla.

Tärkeää on huomioida käyttäjän näkökulma vähähiilisten rakenneratkaisujen suunnittelussa ja toteutuksessa. Käyttäjien osallistaminen prosessiin voi auttaa varmistamaan, että kestävyysratkaisut eivät vaaranna rakennuksen käyttömukavuutta tai toiminnallisuutta. Esimerkiksi energiatehokkaat ja vähäpäästöiset ratkaisut voivat tuoda lisäarvoa asukkaille alentamalla energiakustannuksia ja parantamalla sisäilman laatua.

Vähähiilisten rakenneratkaisujen edistäminen vaatii yhteistyötä eri sidosryhmien välillä, kuten rakennusalan toimijoiden, viranomaisten ja tutkimuslaitosten välillä. Tällainen yhteistyö voi edistää innovaatioiden syntymistä ja vähentää esteitä kestävien ratkaisujen käyttöönotolle.

On myös tärkeää jatkaa tutkimusta ja kehitystyötä vähähiilisten rakenneratkaisujen parissa. Teknologisten innovaatioiden ja uusien materiaalien kehitys voi mahdollistaa entistä kestävämpiä ratkaisuja rakentamisessa. Lisäksi tarvitaan jatkuvaa seurantaa ja arviointia vähähiilisten ratkaisujen vaikutuksista, jotta voidaan varmistaa niiden tehokkuus ja kestävyys pitkällä aikavälillä.

Yhteenvetona voidaan todeta, että betonirakenteisen uudiskerrostalon vähähiiliset rakenneratkaisut tarjoavat merkittäviä mahdollisuuksia vähentää rakennusalan ympäristövaikutuksia. Kokonaisvaltaisen lähestymistavan ja yhteistyön avulla voidaan luoda kestäviä ja toimivia ratkaisuja, jotka edistävät sekä ympäristön että ihmisten hyvinvointia.

## LÄHTEET

- Betoni. (i.a.-a). *Betoni rakennusmateriaalina*. <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/>
- Betoni. (i.a.-b). *Sementti ja sen valmistus*. <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-valmistus/>
- Betoni. (i.a.-c). *Ominaisuudet ja käyttö*. <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto/>
- Betoni. (i.a.-d). *Käyttö talonrakentamisessa*. <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/kaytto-infrarakentamisessa/>
- Betoni. (i.a.-e). *Ratkaisuksi vähähiilinen betoni*. <https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/vahahiilinen-betoni/>
- Betonyhdistys. (i.a.). *Vähähiilisyysluokitus*. <https://vahahiilinenbetoni.fi/>
- CO2data. (i.a.). *Rakentamisen päästötietokanta*. <https://co2data.fi/rakentaminen/>
- Heikkilä, E. (22.2.2022). *Suomi aikoo puolittaa betonirakentamisen päästöt lähivuosina*. Yle. <https://yle.fi/a/3-12324386>
- Häkkinen, T. & Kuittinen, M. (2020). *Kohti vähähiilistä rakentamista*. Rakennustieto.
- Härkönen, T. (4.2021). *Vähähiilinen betoni tulee vauhdilla*. Betoni. [https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2021/12/BET2104\\_84-95.pdf](https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2021/12/BET2104_84-95.pdf)
- Illikainen, M. (i.a.). *Betonia teollisuuden sivusiirroista*. Rakennustekniikka. <https://www.ril.fi/fi/rakennustekniikka/betonia-teollisuuden-sivuvirroista.html>
- Lahdensivu, J. (3.2022). *Vähähiilisen betonin mahdollisuudet asuinkerrostalon hiilijalanjäljen pienentämisessä*. Betoni. [https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2022/10/BET2203\\_84-89.pdf](https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2022/10/BET2203_84-89.pdf)

Open CO2 Net. (i.a.). *CO2-termit tutuiksi*. <https://www.openco2.net/fi/co2-tietoa>

RIL. (i.a.). *Hiilineutraali tulevaisuusseminaarissa ideoitiin keinoja hiilineutraaliuden edistämiseksi*. <https://www.ril.fi/fi/artikkelit/hiilineutraali-tulevaisuus-nyt-seminaarissa-ideoitiin-keinoja-hiilineutraalisuuden-edistamiseksi.html>

Ulkoministeriö. (i.a.) *Suomen ilmastopolitiikka*. <https://um.fi/ilmastoulkopolitiikka>

Vihreät. (i.a.). *Hiilineutraali Suomi 2035*. <https://www.vihreat.fi/tavoitteet/hiilineutraali-suomi-2035/>

Ympäristöministeriö. (i.a.). *Rakentamisen kiertotalous*. <https://ym.fi/rakentamisen-kiertotalous>

## LIITTEET

Liite 1. CO2-laskentataulukko.

