

Vähähiilisen betonin mahdollisuudet asuinkerrostalon hiilijalanjäljen pienentämisessä

Jukka Lahdensivu

Tekn. toht., johtava asiantuntija
Ramboll Finland Oy
jukka.lahdensivu@ramboll.fi

Artikkelissa tarkastellaan, miten tavanomaisessa asuinkerrostalossa hiilijalanjälki jakautuu eri rakennusosille, mitkä ovat merkittävimmät päästöjä aiheuttavat rakennusosat ja millainen vaikutus vähähiilisellä betonilla on rakentamisen hiilijalanjäljen pienentämisessä.

Rakentamisen ilmastovaikutusten pienentäminen on ollut puheenaiheena jo useamman vuoden. Useat valtiot, kaupungit ja yritykset ovat tuoneet julkisuuteen omia tavoitteitaan vähähiilisen yhteiskunnan luomisessa. Tavoitteet ja niihin pääsemisen aikataulut ovat usein kunnianhimoisia. Ympäristöministeriö on ilmoittanut tuovansa ilmastaselvityksen osana rakennusluvan hakemista. Tähän liittyy oleellisena osana hiilijalanjäljen raja-arvot erityyppisille rakennuksille, joita ei saa ylittää.

Teollisuudessa on vastattu tuleviin vaatimuksiin kehittämällä vähähiilisempiä rakennusmateriaaleja. Betoniteollisuudessa on käynnissä useita hankkeita, joissa etsitään sementtiä korvaavia sideaineita ilman lujuus-, säilyvyys-, työstettävyys-, jne. ominaisuuksien menetystä, vaikka lopputuote eli betoni on lopulta vähähiilisempää. Betoniyhdistys on laatinut vähähiilisyyssuokituksen [1] apuvälineeksi betonirakentamisen vähähiilistämiseen.

Tässä artikkelissa tarkastellaan, miten tavanomaisessa asuinkerrostalossa hiilijalanjälki jakautuu eri rakennusosille, mitkä ovat merkittävimmät päästöjä aiheuttavat rakennusosat ja millainen vaikutus vähähiilisellä betonilla on rakentamisen hiilijalanjäljen pienentämisessä.

Tutkimusaineisto ja menetelmät

Tutkimus tehtiin tyypilliseen kahdeksan-kerroksiseen betonielementtirakennukseen. Rakennus on perustettu teräs- ja teräsbetonipaaluille. Rakennuksen kokonaispinta-ala

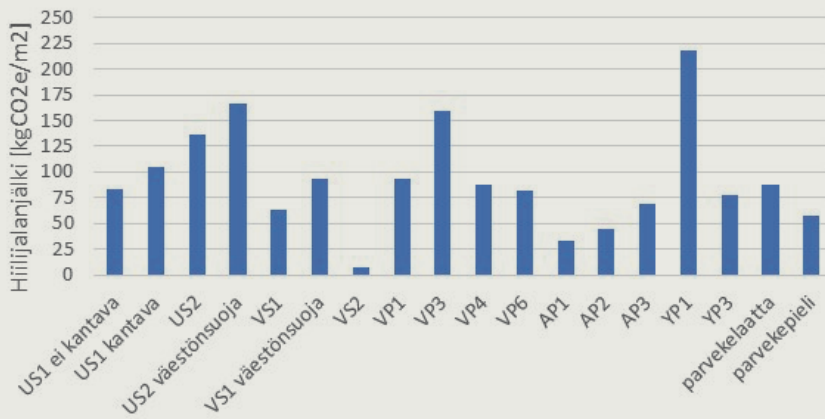
1 Leikkaus. Tarkasteltavana olevassa esimerkkikohteessa on nykypäivän betonielementtirakenteinen asuinkerrostalo, joten laskelmat ovat siten verrattavissa muihin samantyyppisiin kohteisiin.

2 Asuinkerrostalossa hiilijalanjälki jakautuu eri rakennusosille eri tavoin. Mitkä ovat merkittävimmät päästöjä aiheuttavat rakennusosat ja millainen vaikutus vähähiilisellä betonilla on rakentamisen hiilijalanjäljen pienentämisessä?





Hiilijalanjälki rakennustyyppittäin



Kuva 1 Betonielementtirakenteisen asuinkerrostalon rakennustyyppien hiilijalanjälki [kgCO₂e/m², A1-A5, C1-C4]

on 4583 m² ja huoneistoala 3962 m². Rakennuksen välipohjien kantavana rakenteena on paksuudeltaan 265 mm, 320 mm ja 370 mm ontelolaatat, joiden betonin lujuusluokka on C40/50. Kaikkien muiden betonirakenteiden lujuutena käytettiin C30/37. Tyypilliset rakenteet dimensioineen on esitetty taulukossa 1.

Rakenteisiin sitoutuneen hiilijalanjäljen laskenta suoritettiin erikseen jokaiselle rakennustyyppille. Paalut ja perustukset laskettiin yhtenä kokonaisuutena. Laskentaan otettiin mukaan elinkaaren vaiheet A1-A5 ja C1-C4. Rakennuksen käyttövaihetta (elinkaarilaskennan vaihe B) ei otettu mukaan laskentaan, sillä tarkastelussa keskityttiin rakenteisiin sitoutuneen materiaalin aiheuttamaan hiilijalanjälkeen ja sen pienennysmahdollisuuksiin.

Laskentatarkastelu tehtiin 50 vuoden elinkaarelle ympäristöministeriön julkaiseman ohjeen mukaan [2]. Tässä tutkimuksessa peruslaskelmat suoritettiin One Click LCA -ohjelmiston tiedoilla ja vähähiilisen betonin tutkimukset valmisbetonin toimittajilta ja betonielementtivalmistajien ympäristötuoteselosteista (EPD) saatavalla tiedolla. Ohjeistukset perustuvat standardeihin EN-15978 [3] ja EN-15804 [4].

Rakennustyyppien hiilijalanjälki

Eri rakennustyyppien hiilijalanjälki vaihtelee suuresti, ks. kuva 1. Selvästi suurin hiilijalanjälki on yläpohjalla, missä kantavana rakenteena on ontelolaatta ja lämmöneristeenä kevytsora. Yläpohjan hiilijalanjälki on 217 kgCO₂e/m². Hiilijalanjäljestä suurimman osan muodostaa lämmöneristeenä käytetyn kevytsoran valmistus (103 kgCO₂e/m², A1-A3) ja toisena tulee kantavan ontelolaatan valmistuksen

hiilijalanjälki (59 kgCO₂e/m², A1-A3).

Toiseksi korkein hiilijalanjälki on väestönsuojan seinärakenteella (166 kgCO₂e/m², A1-A5, C1-C4). 300 mm paksuinen betoniseinä sisältää runsaasti myös raudoitusta. Lisäksi eri välipohjarakenteilla on suhteellisen korkea hiilijalanjälki (82-160 kgCO₂e/m², A1-A5, C1-C4). Näissä kantavissa rakenteissa hiilijalanjälki muodostuu suurimmaksi osaksi betonin valmistuksen hiilijalanjäljestä.

Pienimmät hiilijalanjäljet ovat kevyillä väliseinillä sekä maanvaraisilla betonilattioilla. Kantavan väliseinän hiilijalanjälki on 63 kgCO₂e/m², A1-A5, C1-C4, ollen pienimpiä kantavan rakenteen hiilijalanjäljistä.

Rakennuksen rungon hiilijalanjälki

Yksittäisten rakennustyyppien hiilijalanjäljestä saa käsityksen siitä, mihin materiaalia ja hiiltä on sitoutunut, mutta rakennusta tulee kuitenkin tarkastella kokonaisuutena. Kokonaisuuden kannalta yläpohjan suurin tai väestönsuojan seinän toiseksi korkein yksittäisen rakennustyyppien korkea hiilijalanjälki ei välttämättä ole merkittävä. Rakennustyyppien korkean hiilijalanjäljen lisäksi on oleellista rakennustyyppien määrä rakennuksessa.

Näin tarkastellen korkein hiilijalanjälki muodostuu välipohjasta, jota on rakennuksessa 3814 m². Välipohjat muodostuvat ontelolaatoista ja sen yläpinnassa olevasta tasoitteesta. Vähähiilisen betonin käytöllä välipohjissa on siten merkittävä hiilijalanjäljen vähennyspotentiaali verrattuna esimerkiksi yläpohjaan tai ulkoseiniin, joissa myös lämmöneristeellä on korkea hiilijalanjälki.

Kuten kuvasta 2 voidaan havaita, korkein hiilijalanjälki rakennuksen tasolla on sellai-

sisssa rakennustyypeissä, joita on rakennuksessa paljon ja niissä on runsaasti betonia. Välipohjien jälkeen toiseksi korkein hiilijalanjäljen muodostavat paalut. Perustamistapaan voidaan vaikuttaa vain rakennuspaikan valinnalla. Usein asuinkerrostaloja rakennetaan alueille, joissa paalutus on tarpeen. Betonipaalujen tulee erityisesti rannikolle rakennettaessa olla sulfaatinkestäviä tavanomaisten kuormitusrasitusten lisäksi.

Kolmanneksi suurin hiilijalanjälki aiheutuu kantavista väliseinistä. Kantavaa väliseinärakennetta on tässä esimerkkikerrostalossa 2243 m², joten suhteellisen pienestä rakennustyyppien hiilijalanjäljestä huolimatta kokonaisuus on huomattava. Vastaavasti väestönsuojan korkeasta rakennustyyppien hiilijalanjäljestä huolimatta koko rakennuksen tasolla väestönsuojan seinää on kuitenkin huomattavan vähän (113 m²), joten kokonaisuus jää varsin pieneksi. Eri rakennustyyppien kokonaishiilijalanjälki on esitetty kuvassa 2.

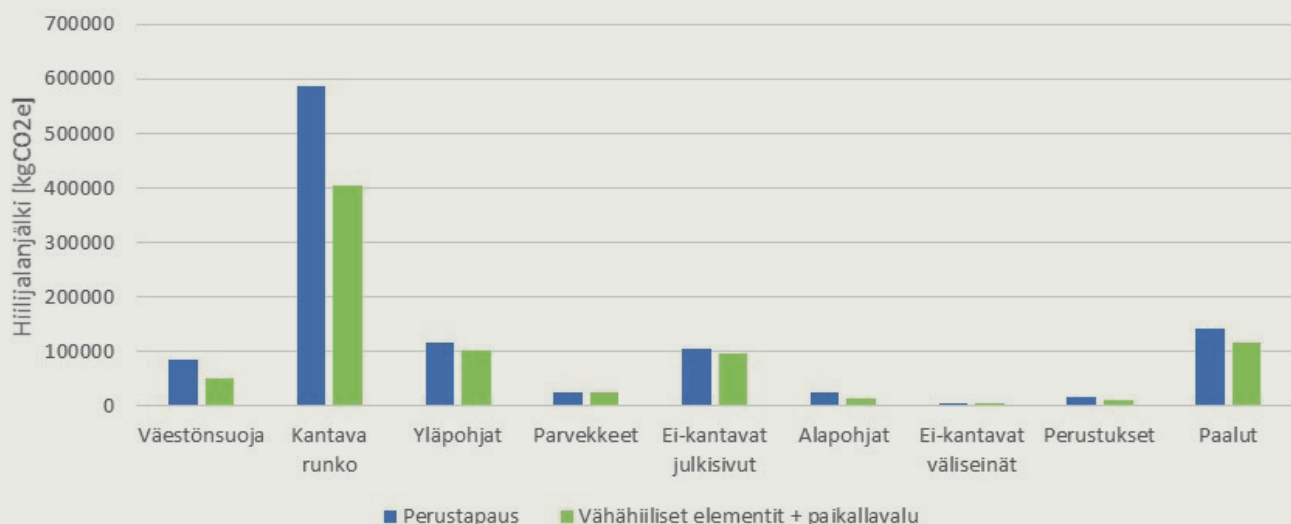
Vähähiilisen betonin vaikutus hiilijalanjälkeen

Kuten kuvasta 2 voidaan havaita, kannattaa asuinkerrostalon vähähiilistäminen kohdentaa sellaisiin rakennusosiin, joilla on kokonaisuuden kannalta suurin vaikutus, eli välipohjaan, yläpohjaan ja kantaviin pystyrakenteisiin. Kuvassa 3 on esitetty vertailu perustapauksen ja vähähiilisestä betonista rakennetun betonielementtirakenteisen asuinkerrostalon hiilijalanjäljelle. Laskennassa on käytetty C30/37 betonin GWP-arvona 115 kgCO₂e/m³ ja ontelolaatalle 36,5 kgCO₂e/m². Laskelmissa vähähiilistä betonia on käytetty kaikissa säältä suojassa olevissa rakenteissa, eli paaluissa,

Kuva 2 Betonielementtirakenteisen asuin-
kerrostalon rakennetyyppien kokonaishiili-
jalanjälki [kgCO₂e, A1-A5, C1-C4]



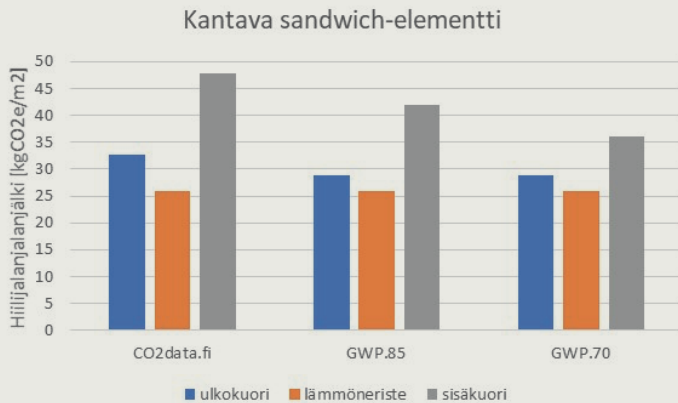
Kuva 3 Rakennuksen rungon hiilijalanjälki perus-
tapauksessa ja vähähiilisellä betonilla toteutettuna
[kgCO₂e, A1-A5, C1-C4]



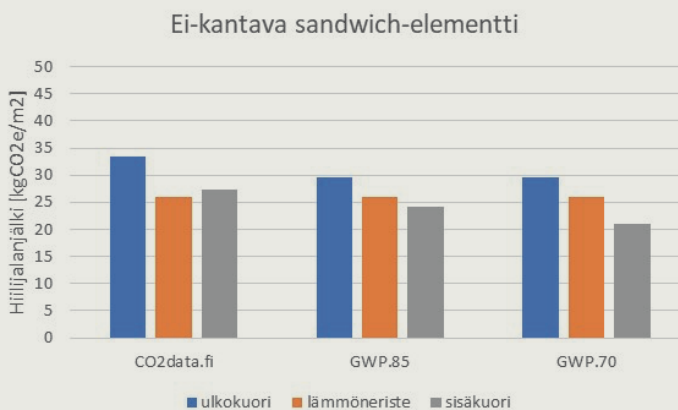
perustuksissa ja lämpimässä sisätilassa olevissa betonirakenteissa.

Vähähiilisestä betonista toteutetun asuin-kerrostalon hiilijalanjälki on 24 prosenttia pienempi kuin perustapauksen. Yksittäisissä rakennusosissa, kuten ontelolaattavälikohjissa, maanvaraisissa betonilattioissa sekä paikallavaletuissa seinissä ja perustuksissa voidaan päästä yli 40 prosentin hiilijalanjäljen vähennykseen. Kantavan rungon osuus rakenteiden kokonaishiilijalanjäljestä on perustapauksessa 53 prosenttia. Myös vähähiilisellä betonilla toteutettuna kantavan rungon osuus on suurin, 45 prosenttia, mutta kokonaispäästöt ovat laskeneet rungon osalta noin kolmanneksen.

Julkaisun [1] mukaan vain GWP:85-luokan betoneita on tällä hetkellä hyvin saatavilla myös lisähuokostettuina, joten sääle alttiissa julkisivuissa ja parvekkeissa erittäin vähähiilisten betoneiden käyttö ei vielä ole todennäköistä. Eri GWP-luokkien vaikutusta kantavaan ja ei-kantavaan betonisandwich-elementtiin on esitetty kuvissa 4 ja 5 erikseen sisä- ja ulko-kuorissa sekä lämmöneristeessä. Lukuarvot on esitetty taulukossa 2. GWP:70-luokan betonin käyttäminen pienentää kantavan elementin hiilijalanjälkeä 14 prosenttia (kgCO₂e/m², A1-A5, C1-C4) ja ei-kantavan 11 prosenttia.



Kuva 4 Kantavan betonisandwich-elementin hiilijalanjäljen jakautuminen eri GWP-luokissa [kgCO₂e/m², A1-A5, C1-C4]



Kuva 5 Ei-kantavan betonisandwich-elementin hiilijalanjäljen jakautuminen eri GWP-luokissa [kgCO₂e/m², A1-A5, C1-C4]

Vähähiilisen betonin käytössä huomioitavaa

Vähähiilistä betonia on turvallista käyttää rasisluokissa Xo, XC1 ja XC2, eli säältä suojassa olevissa rakenteissa ja perustuksissa. Erittäin vähähiilisten betoneiden (GWP.55 ja GWP.40) saatavuus on julkaisun [1] mukaan varmistettava tapauskohtaisesti. Vähähiilisten betoneiden käyttäminen rakennushankkeessa edellyttää aina keskustelua rakennushankkeen ryhtyvän kanssa, sillä ainakin useimmissa tapauksissa vähähiilinen betoni toteutetaan korvaamalla sementtiä joko masuunikuonalla tai lentotuhkalla. Merkittävä sementin korvaaminen näillä sideaineilla yleensä hidastaa betonin lujuudenkehitystä, jolla on vaikutusta myös rakentamisen, suunnittelun ja hankinnan aikatauluihin. Elementtirakentamisessa vähähiilisten betoneiden mahdollisesti hitaampi lujuudenkehitys ei vaikuta suoraan työmaan aikatauluun, mutta kylläkin hankinta- ja suunnitteluaiakatauluihin. Tämä tarkoittaa, että rakennushankkeen kaikkien osapuolien tulee sitoutua hankkeen alussa määriteltyihin vähähiilisyystavoitteisiin.

Vähähiilisten betonilaatujen kuivumisnopeudesta on vielä melko vähän kokemuksia. Rakentamisen kosteudenhallinnassa ja erityisesti lattioiden päällystämisen aikatauluissa tällä voi olla suuri merkitys.

Taulukko 2

Betonisandwich-elementin hiilijalanjälki (A1-A5, C1-C4) [kgCO₂e/m²]

	Ei-kantava	Kantava
CO₂data.fi	87	106
GWP.85	80	97
GWP.70	77	91

Lähteet:

1. Vuori, M., Punkki, J. 2022. BY-Vähähiilisyysluokitus käyttöön. Betoni-lehti 1-2022, s. 90-95.
2. Kuittinen, M. 2019. Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä. Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. 54 s.
3. Finnish Standard Association: "Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method", SFS-EN 15978, 2011. 60 p.
4. Finnish Standard Association: "Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products", SFS-EN 15804, 2012, 64 p.

Taulukko 1

Esimerkkirakennuksen rakennetyypit ja materiaalikerrokset

Rakennetyyppi	Rakennekerrokset ja materiaalit				
Kantava betoni-sandwich-elementti US1	150 mm betoninen sisäkuori	200 mm mineraalivillaa	85 mm betoninen ulkokuori		
Ei-kantava betoni-sandwich-elementti US1	80 mm betoninen sisäkuori	200 mm mineraalivillaa	85 mm betoninen ulkokuori		
Kellarin seinä US2	300 mm teräs-betoniseinä	10 mm bitumi-kermieristys	160 mm EPS-eriste	100 mm betoni-ulkokuori	200 mm #6–16 sepeli
VSS2	300 mm teräs-betoniseinä	10 mm bitumi-kermieristys	160 mm EPS-eriste	100 mm betoni-ulkokuori	300 mm #6–16 sepeli
Kantava väliseinä VS1	200 mm teräs-betoniseinä				
Kantava väliseinä VSS1	300 mm teräs-betoniseinä				
Kevyt väliseinä VS2	13 mm kipsilevy	66 mm metalli-rankarunko	13 mm kipsilevy		
Välipohja VP1	370 mm ontelo-laatta	5–30 mm tasoite			
Välipohja VP3	400 mm teräsbetonilaatta	220 mm EPS-eriste	80 mm pinta-betonilaatta		
Välipohja VP4	260 mm teräs-betonilaatta	10 mm tasoite			
Välipohja VP6	265 mm ontelo-laatta	80 mm pinta-betonilaatta			
Alapohja AP1	300 mm #6–16 sepeli	100 mm EPS-eriste	80 mm betoni-laatta		
Alapohja AP2	300 mm #6–16 sepeli	100 mm EPS-eriste	120 mm betoni-laatta		
Alapohja AP3	300 mm #6–16 sepeli	100 mm EPS-eriste	200 mm kantava betonilaatta		
Yläpohja YP1	320 mm ontelo-laatta	950–1150 mm kevytsoraeristys	suodatinkangas	40 mm betoni-laatta	Bitumikermikate
Yläpohja YP3	kantava teräs-poimulevy	410 mm mineraalivillaeristys	Bitumikermikate		
Parvekelaatta	200 mm teräs-betonilaatta				
Parvekkeen pieliseinä	180 mm teräs-betoniseinä				
Perustukset	teräsbetoni				
Paalut	300×300 teräsbetonipaalut, kokonaispituus 347 m	RD 140/8 teräspaalu, kokonaispituus 235 m			