

BETONIRAKENTEIDEN MERKITYS RAKENNUKSEN ELINKAAREN AIKAISISTA HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖISTÄ

Jouni Punkki, tekn.toht, Consolis Technology Oy
Aleksi Lounamaa, tekn.yo., Aalto Yliopisto,
Teknillinen korkeakoulu
Seppo Junnila, professori, Aalto Yliopisto,
Teknillinen korkeakoulu



1 Betonirakenteiden valmistuksen CO₂-päästöt ovat yleensä luokkaa 250...350 kg betoni-m³:a kohden. Arvo on samaa luokkaa kuin muilla kivipohjaisilla rakennusmateriaaleilla. Rakennusmateriaalien ekologisuuden arvioimi-

nen tulisi aina tehdä koko rakennuksen tasolla ja rakennuksen koko elinkaari huomioiden. Kuvassa Oulun uusi viirastotalo on esimerkki laadukkaasta betonisesta toimistotalosta, mutta se ei liity artikkelin tutkimukseen.

JOHDANTO

Tavoitteet ilmastomuutoksen hillitsemiseksi ovat nostaneet myös rakentamisen hiilidioksidipäästöt entistä voimakkaammin esille. Onhan noin 40% maailman CO₂-päästöistä peräisin rakennetusta ympäristöstä. Valtaosa näistä päästöistä aiheutuu rakennuksen käytöstä lämmitysenergian ja sähkön kulutuksen sekä kunnossapidon kautta, mutta myös rakentamisvaihe rakennusmateriaaleineen aiheuttaa merkittäviä määriä CO₂-päästöjä.

Selvittääkseen tarkemmin rakentamisvaiheen merkitystä rakennuksen elinkaaren aikaisiin ympäristökuormitukseen *Consolis Technology* teetti yhteistyössä *NCC:n* kanssa kaksi diplomityötä Aalto-yliopiston teknillisessä korkeakoulussa (Kiinteistöjohtaminen). Tavoitteena oli saada aikaan avoin laskentamalli rakennuksen elinkaarenaikaisten energiankulutuksen ja CO₂-päästöjen laskentaan. Diplomitoista toinen keskittyi erityisesti betonielementtien valmistuksen vaikutuksiin (*Consolis Technology*) ja toinen työmaatoimintojen vaikutuksiin (*NCC*). Diplomitoissa tarkasteltiin erikseen toimistorakennusta sekä asuinkeuhkaloa.

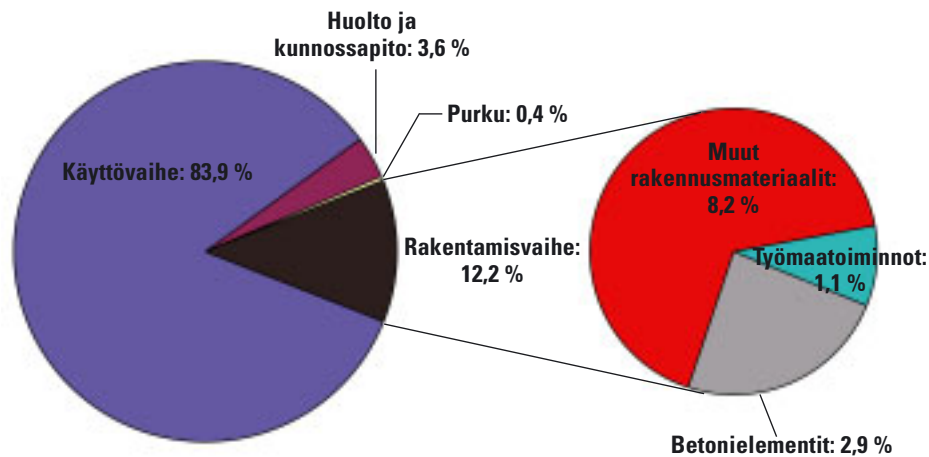
Tässä artikkelissa käsitellään vain betonielementtien vaikutuksia rakennuksen elinkaaren aikaisiin hiilidioksidipäästöihin. Diplomityön tekijänä oli *Aleksi Lounamaa* ja työn valvojana professori *Seppo Junnila*.

SEMENTIN CO₂-PÄÄSTÖT

Sementti on CO₂-intensiivinen materiaali. Sementtiklinkkerin poltto tapahtuu korkeassa lämpötilassa ja kuluttaa siten varsin paljon energiaa. Lisäksi sementtiklinkkerin poltossa tapahtuu kemiallinen reaktio, kalkkikiven kalsinointi, josta aiheutuu noin 500 kg:n suuruinen CO₂-päästö sementtitonnin kohden. Kokonaisuudessaan portlandsementin CO₂-päästöt ovat yleensä 700...850 kg sementtitonnin kohden. Sementin CO₂-päästöjä voidaan tehokkaimmin alentaa seostamalla portlandsementtiä seosaineilla kuten masuunikuonalla ja lentotuhkalla sekä myös kalkkikivifillerillä. Sementin valmistuksessa tapahtuva kemiallinen CO₂-päästö palautuu betonin karbonatisoituaessa, eli betonirakenteet sitovat itseensä hiilidioksidia. Tätä reaktiota ei ainakaan toistaiseksi oteta huomioon betonin LCA-laskelmissa.

Sementin arvioidaan aiheuttavan noin 5% maailman CO₂-päästöistä. Suuri osuus johtuu erityisesti Kiinan ja Intian valtavasta rakentamismäärästä, Suomessa sementin osuus CO₂-päästöistä on

CO₂ - Toimistorakennus - 50 v



1,5...2%. Suomalainen sementtiteollisuus aiheuttaa noin 1 miljoonan tonnin CO₂-päästöt vuosittain ja lisäksi Suomessa käytetään tuontisementtiä 10...20% sementin kokonaismäärästä.

BETONIN CO₂-PÄÄSTÖT

Kivaineokset ja vesi edustavat normaalisti reilusti yli 80 tilavuus-%:a betonin raaka-aineista ja samalla niiden CO₂-päästöt ovat hyvin alhaiset. Tästä johtuen sementin osuus betonirakenteiden valmistuksen CO₂-päästöistä on erittäin suuri. Yleensä 60...80% betonirakenteiden valmistuksen päästöistä aiheutuu sementistä. Osuuteen vaikuttaa merkittävästi sementtimäärä ja -tyyppi, raudoituksen määrä ja laatu sekä valmistustapa ja raaka-aineiden ja betonin/betonituotteen kuljetusmatkat. Raudoituksen osuus betonirakenteiden CO₂-päästöistä on yleensä 10...25% ja valmistuksessa käytettävän sähkö- ja lämpöenergian osuus on normaalisti 5...20%. Betonin valmistaminen ei vaadi sinänsä paljoa energiaa, koska valmistuksessa ei ole energiantensiivisiä vaiheita.

Betonirakenteiden valmistuksen CO₂-päästöt ovat yleensä luokkaa 250...350 kg betoni-m³:a kohden. Arvo on samaa luokkaa kuin muillakin kivipohjaisilla rakennusmateriaaleilla. Rakennusmateriaalien ekologisuuden arviointi perusteella on kuitenkin erittäin vaikeaa ja usein myös harhaanjohtavaa. Arviointi tulisi aina tehdä koko rakennuksen tasolla ja rakennuksen koko elinkaari huomioiden. Lisäksi pitäisi pystyä varmistumaan että vertailtavat materiaalit täyttävät samat toiminnalliset vaatimukset.

RAKENNUKSEN CO₂-PÄÄSTÖT

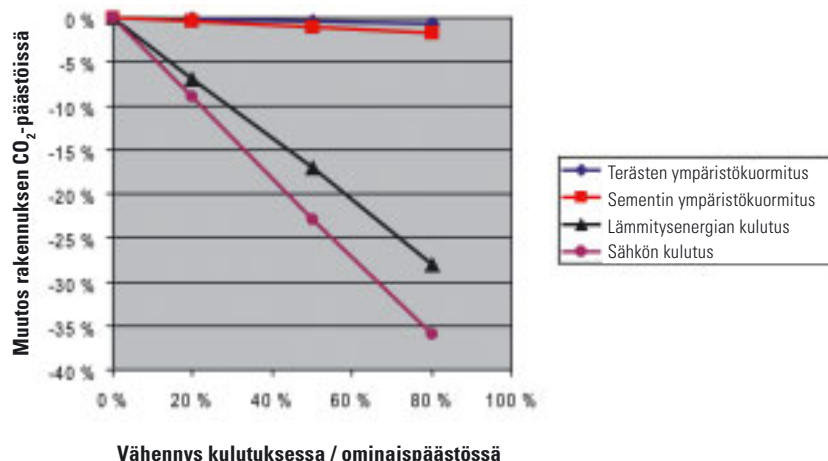
Betonirakeiden osuus rakennuksen elinkaaren aikaisista CO₂-päästöistä riippuu olennaisesti useista tekijöistä, joista tärkeimpiä ovat betonirakenteiden määrä sekä rakennuksen käytönaikainen energiankulutus.

Lounamaa (2010) analysoi diplomityössään betonielementtien merkitystä toimistorakennuksen ja kerrostalon elinkaaren (50 v) aikaisiin ympäristökuormituksiin. Tämänhetkisillä energian kulutustasoilla ja energian päästöprofiileilla rakentamisvaiheen osuus elinkaaren aikaisista (50 v) CO₂-päästöistä oli toimistorakennuksella 12% ja asuinke-rostalolla 9%. Käyttövaiheen vastaavat arvot olivat 84% ja 88%. Betonielementtien osuus elinkaaren aikaisista CO₂-päästöistä oli toimistorakennuk-

2

2 Toimistorakennuksen CO₂-päästöjen jakautuminen rakennuksen elinkaaren vaiheisiin. Rakentamisvaihe on jaettu betonielementtien, muiden rakennusmateriaalien sekä työmaatoimintojen kesken (data: Lounamaa 2010).

Vaikutus rakennuksen elinkaaren aikaisiin CO₂-päästöihin



3

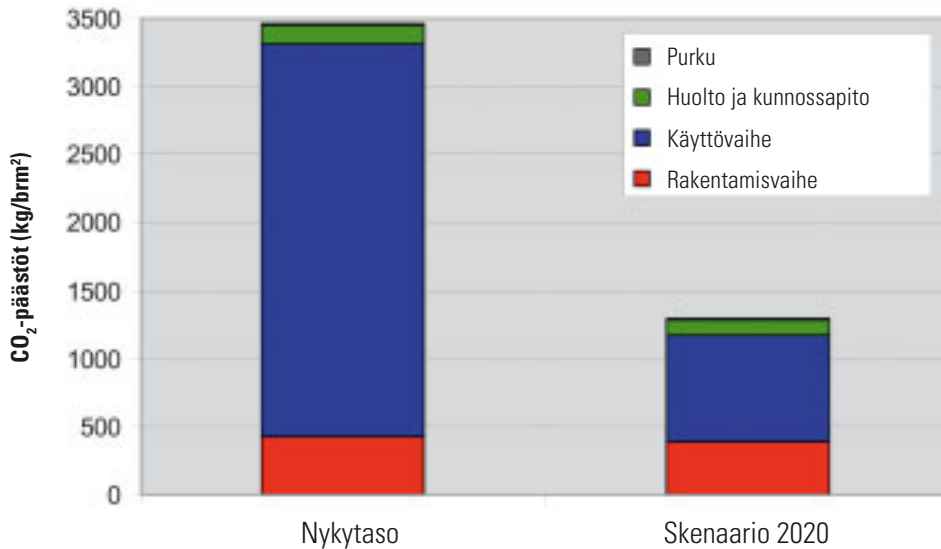
sessä noin 3% ja kerrostalossa 4%. Arvot vahvistavat käyttövaiheen dominoivan roolin rakennuksen ympäristökuormitusten kannalta. Kuvassa 2 on esitetty toimistorakennuksen CO₂-päästöjen jakautuminen elinkaaren eri vaiheisiin ja rakentamisvaihe on edelleen jaettu betonielementtien, muiden rakennusmateriaalien sekä työmaatoimintojen kesken.

Käyttövaiheen rooli tulee selkeästi myös työn herkkyytarkastelussa, joissa verrattiin eri tekijöiden parantamisen vaikutuksia elinkaaren aikaisiin CO₂-päästöihin (kuva 3). Rakennuksen lämmitys- ja sähkönenergian kulutuksen vähentämisellä on erittäin voimakas vaikutus elinkaaren aikaisiin CO₂-päästöihin, kun taas betonissa käytettävän sementin tai teräksen vaikutukset ovat minimaalisia.

3

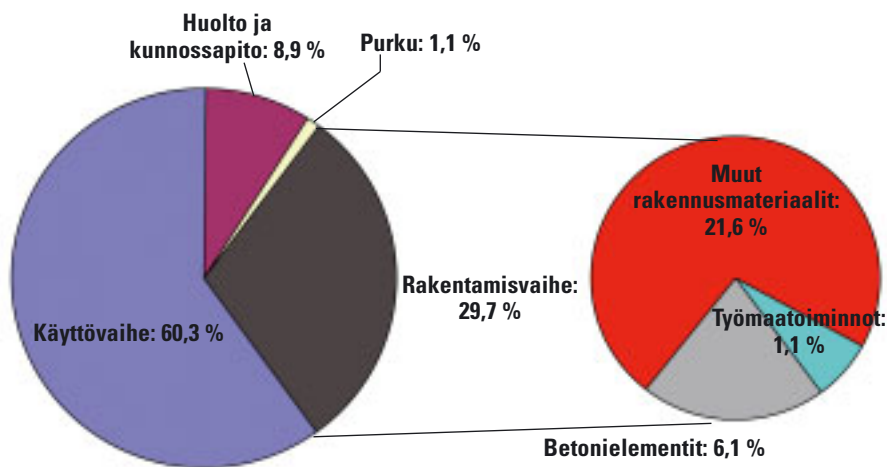
Kuvassa sähkön kulutuksen, lämmitysenergian kulutuksen, sementin ja teräksen ympäristökuormitusten alentamisen vaikutukset toimistorakennuksen elinkaaren aikaisiin CO₂-päästöihin (Lounamaa 2010).

Rakennuksen elinkaarenaikaiset CO₂-päästöt



4

CO₂ - Toimistorakennus - 50 v Skenaario



5

4

Rakennuksen elinkaarenaikaiset CO₂-päästöt elinkaaren eri vaiheissa. Nykytaso ja laskennallinen skenaario 2020 ovat esitetty erikseen. Toimistorakennus Etelä-Suomessa, tarkastelujakso: 50 v (Lounamaa 2010).

5

Toimistorakennuksen CO₂-päästöjen jakautuminen rakennuksen elinkaaren vaiheisiin skenaario 2020:ssä. Rakentamisvaihe on jaettu betonielementtien, muiden rakennusmateriaalien sekä työmaatoimintojen kesken (data: Lounamaa 2010).

6

Tämänhetkisillä energian kulutustasoilla ja energian päästöprofiileilla rakentamisvaiheen osuus elinkaaren aikaisista (50 v) CO₂-päästöistä oli toimistorakennuksella 12%. Käyttövaiheen vastaava arvo oli 84%. Betonielementtien osuus elinkaaren aikaisista CO₂-päästöistä oli toimistorakennuksessa noin 3%. Arvot vahvistavat käyttövaiheen dominoivan roolin rakennuksen ympäristökuormitusten kannalta.

Kuvassa Arkkitehtitoimisto SARC:n suunnitteleman Oulun virastotalon betonielementtijuksivua. Elementit on valmistanut Rajaville Oy. Kohde on valmistunut vuonna 2009.

SKENAARIO 2020

Kuten edellä on esitetty, betonirakenteiden osuus rakennuksen elinkaaren aikaisista CO₂-päästöistä on nykyisellään varsin pieni, luokkaa 3...4%. Tämän osuuden voidaan kuitenkin olettaa muuttuvan seuraavan noin 10 vuoden aikana, käyttövaiheen päästöt vähenevät merkittävästi ja sitä kautta rakentamisvaiheen päästöjen suhteellinen osuus kasvaa. Tämän muutoksen taustalla on kaksi selvää muutostrendiä:

1. Rakennusten energiankulutus alenee merkittävästi
2. Energia muuttuu vähitellen vähähiiliseemmäksi

Uudisrakennusten lämmitysenergian kulutus vähenee merkittävästi jo vuoden 2010 sekä seuraavan rakennusmääräysten muutosten kautta. Lisäksi kiinnostus matalaenergia- ja passiivitalo-tasoa kohtaan kasvaa jatkuvasti. Vuonna 2020 valtaosa uudisrakennuksista tehtäneen passiivitasoisena. Koko rakennuskannan energiankulutus vähenee huomattavasti hitaammin kannan hitaan uusiutumisen vuoksi.

Myös energia, erityisesti sähköenergia, muuttuu koko ajan vähähiiliseemmäksi. Kivihiili korvautuu

ydinvoimalla sekä myös tuuli-, bio- ja aurinkoenergialla. Nykyisellään Suomen keskimääräinen sähkön CO₂-päästö on eurooppalaista keskitasoa ja monikertainen verrattuna esimerkiksi ruotsalaiseen tai saati norjalaiseen sähkөөn.

Lounamaa teki laskelman jossa oletettiin tapahtuvat ylläesitellyt muutokset rakennuksen energiankulutuksessa sekä energian CO₂-profiilissa. Seuraavat muutokset oletettiin tapahtuvan:

- Rakennuksen lämmitysenergian kulutus laskee arvoon 25 kWh/m² * a (passiivitalon energiankulutus).
- Sähköenergian kulutus laskee 20%.
- Rakennuksen jäädytysenergian kulutuksessa tai lämpimän käyttöveden aihuttamassa energiankulutuksessa ei oletettu tapahtuvan muutoksia.
- Rakennuksen lämmitysenergian CO₂-päästöt laskevat kolmasosaan nykyisistä (oletettu että siirrytään maalämpöön kaukolämmön sijaan).
- Sähköenergian CO₂-päästöt oletetaan puolittuvan nykyisestään.
- Betonielementtien osalta odotetaan tapahtuvan 10% kehitys sementin ja teräksen käyttömäärissä sekä valmistuksen energiankulutuksessa.
- Muiden rakennusmateriaalien osalta ei oleteta tapahtuvan muutoksia (oletetaan että esim. lämmöneristeiden valmistuksessa tapahtuva kehitys kompensoituu eristeiden lisääntyvällä käytöllä).
- Sementin CO₂-päästön oletetaan alenevan arvoon 620 kg/tn.
- Betonielementtien valmistuksessa tarvittavan sähköenergian CO₂-päästöt vähenevät 50% (sama kuin rakennuksen osalta), mutta energian osalta vähennyksen oletetaan olevan vain 35%.

Lounamaan laskelmien mukaan vuonna 2020 uuden toimistorakennuksen kokonaispäästöt voisivat tippua nykyisestä 3500 kg:sta noin 1300 kg:aan rakennuksen brutto-m² kohden (kuva 4). Merkittävin muutos tapahtuu rakennuksen käytön aikaisissa CO₂-päästöissä, jotka vähenevät lähes neljäsosaan verrattuna nykytasoon. Rakentamisvaiheen CO₂-päästöt alenevat laskelmassa noin 8%. Kuvassa 5 on esitetty hiilidioksidipäästöjen jakautuminen rakennuksen elinkaaren eri vaiheisiin. Vaikka rakentamisvaiheen absoluuttiset päästöt alenivat laskelmassa, niiden suhteellinen osuus kasvaa merkittävästi käyttövaiheen CO₂-päästöjen pudottua. Näin rakentamisvaiheen osuus nousisi vajaaseen 30%:iin nykyisestä 12%:sta. Samalla myös betonielementtien osuus



kasvaksi nykyisestä vajaasta 3%:sta reiluun 6%:iin.

Samassa yhteydessä tehtiin myös laskelma jossa käyttövaiheen muutokset olivat edelläesitettyjen mukaisia, mutta rakentamisvaiheessa ei oletettu tapahtuvan mitään muutoksia. Ainoastaan sähkön CO₂-profiilissa tapahtuvat muutokset oletettiin tapahtuvan myös rakennusmateriaalien valmistuksessa. Näin rakentamisvaiheen osuus kasvoi 31%:iin ja betonielementtien osuus reiluun 7%:iin.

Skenaario 2020:ssa käytetyt oletukset energiankulutuksen vähentymisestä sekä myös energian CO₂-päästöjen kehittymisestä vaikuttavat ainakin tämänhetkisen käsityksen valossa aika äärimmäisiltä tilanteilta. Toki kehitys voi olla nopeampaa kuin tällä hetkellä yleisesti oletetaan, mutta on myös hyvinkin todennäköistä, että esitettyjä oletuksia ei tulla saavuttamaan. Siten ylläesitetyt laskelmat edustavat oletettua ääritilannetta.

YHTEENVETO

Betonirakenteiden valmistus aiheuttaa varsin runsaasti CO₂-päästöjä johtuen lähinnä sementin korkeista CO₂-päästöistä. Rakennuksen elikaarta tarkasteltaessa käyttövaihe on kuitenkin erittäin dominoiva vaihe ja siten esimerkiksi betonielementtien osuus rakennuksen elinkaaren aikaisista CO₂-

päästöistä on luokkaa 3...4%. Rakennusmateriaalien sijaan todelliset mahdollisuudet vaikuttaa rakennusten CO₂-päästöjen vähentämiseksi löytyvät vielä pitkään rakennuksen energiankulutuksen alentamisesta.

Rakentamisvaiheen suhteellinen osuus tulee kasvamaan, kun käyttövaiheen osuus pienenee. Käyttövaiheen CO₂-päästöihin vaikuttaa vähentävästi sekä rakennusten energiankulutuksen väheneminen sekä energian muuttuminen vähähiilisemmäksi. Laskennallisesti rakentamisvaiheen osuuden voidaan olettaa kasvavan noin 30%:iin elikaaren aikaisista CO₂-päästöistä, mutta edelleenkin käyttövaihe säilyi reilusti suurimpana CO₂-päästöjen aiheuttajana. Rakentamisvaiheen osuuden väistämätön kasvu tarkoittaa kuitenkin sitä, että rakennusmateriaalien valmistajien sekä myös rakentajien on entistä ponnekkammin haettava ratkaisuja CO₂-päästöjen vähentämiseksi.

Lisätietoja:

Lounamaa, A. 2010. CO₂-Emissions during the life cycle of Apartments and Office buildings – effects of precast concrete elements. Master's thesis. Aalto University, Teknillinen korkeakoulu, Kiinteistöjohtaminen. 80 s.

CONTRIBUTION OF CONCRETE STRUCTURES TO CARBON DIOXIDE EMISSIONS DURING THE LIFE CYCLE OF A BUILDING

The goals for restraining climate change have brought also carbon dioxide emissions from the construction trade more into the limelight. After all, the built-up environment is responsible for some 40% of global CO₂ emissions. The emissions are primarily caused by the use of buildings, i.e. the consumption of heating energy and electricity, as well as by building maintenance activities, but the construction phase including building materials also contributes significantly to CO₂ emissions.

The manufacture of concrete structures causes relatively large amounts of CO₂ emissions, particularly due to the high CO₂ emissions of cement. The operational phase, however, plays a dominant role during the life cycle of a building, with the contribution of e.g. the CO₂ emissions of concrete structures being only 3...4% of total emissions during the life cycle. Real possibilities to restrain the CO₂ emissions of a building will for a long time still be found in the reduction of the energy consumption of the building, not in building materials.

The relative share of the construction phase will increase as the share of the operational phase decreases. CO₂ emissions at the operational phase are reduced by both lower energy consumption and the use of less carbon-intensive energy. The share of the construction phase can theoretically be assumed to increase to ca. 30% of total CO₂ emissions during the life cycle, but the operational phase will still remain the major contributor to CO₂ emissions. However, the inevitable increase in the share of the construction phase means that manufacturers of building materials as well as builders must focus more efforts on finding solutions to restrain CO₂ emissions.