



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juuso-Petteri Kivelä

Betonirakentamisen hiilidioksidipäästöt

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (AMK), Rakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Juuso-Petteri Kivelä

Työn nimi: Betonirakentamisen hiilidioksidipäästöt

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2023

Sivumäärä:22

Liitteiden lukumäärä:2

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on käsitellä betonirakentamisen aiheuttamia hiilijalanjälkiä ja ilmastopakotteiden aiheuttamia toimenpiteitä näiden vähentämiseksi. Myös vähähiilisemmät vaihtoehdot ja näiden käyttötarkoitukset ovat suuressa roolissa. Tarkoituksena on, että tämä työn lukija ymmärtää betonirakentamisen aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen suuruuden ja sen, kuinka tärkeää niitä on saada pienennettyä, sekä ymmärtää, millä keinoin on mahdollista vähentää päästöjä betonirakentamisen kohdalla. Tämä työ on tehty mielenkiinnosta betonirakentamisen ilmastovaikutuksia kohtaan ja halusta tuoda muiden tietoon asian vakavuus.

Tämän opinnäytetyön tekemiseen on käytetty niin suomenkielisiä kuin englanninkielisiäkin nettiartikkeleita, En-säännöksiä ja tavarantoimittajien infopaketteja. Näistä on pyritty keräämään olennaista tietoa niin betonista kuin myös sen päästöistä ja tavoista vähentää näitä päästöjä.

Työtä tehdessäni yllätyin positiivisesti huomattessani, että betoniteollisuus on menossa parempaan suuntaan ja alan toimijat ovat aktiivisesti ruvenneet tutkimaan vaihtoehtoisia ratkaisuja tavanomaiselle betonille. Monet toimijat ovatkin jo saaneet markkinoille vähähiilisempiä betonituotteita, joille luvataan 50%–90% vähennystä päästöissä verrattuna tavalliseen betoniin. Tästä on silti vielä pitkä matka siihen, että valtaosa käytetystä betonista olisi vähähiillistä, mutta suunta on oikea.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Design

Author/s: Juuso-Petteri Kivelä

Title of thesis: CO2 Emissions of concrete construction

Supervisor(s): Jorma Tuomisto

Year: 2023

Number of pages:22

Number of appendices:2

The purpose of this thesis was to study carbon footprint caused by concrete construction and measures to reduce the footprint made necessary by climate policies. Low-carbon options and their use also play a big role. The purpose was for the reader of the thesis to understand the amount of carbon dioxide emissions caused by concrete construction and how important it would be to reduce them, as well as to understand what means were possible to reduce the emissions in the case of concrete construction. The thesis was done out of interest in the climate change effects of concrete construction and the desire to make people aware of the seriousness of the matter.

Both Finnish and English Internet articles, Euronorm regulations and information packages from suppliers were used to write the thesis. From these, the aim was to gather essential information about concrete as well as its emissions and ways to reduce these emissions.

It was positive to notice that the concrete industry was going to a better direction and they had actively started to research alternative solutions for conventional concrete. Many operators had already launched low-carbon concrete products in the market, which was promised a 50%-90% reduction in the emissions compared to regular concrete. There is still a long way to the point where most of the concrete used is low carbon, but the direction is right.

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ	2
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	4
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	5
1 JOHDANTO	6
2 BETONIN HISTORIAA	7
3 BETONI MATERIAALINA.....	8
3.1 Sementti	9
3.2 Runkoaine	10
3.3 Seos- ja lisäaineet.....	10
3.4 Betonin valmistusprosessi	11
3.5 Käyttökohteet	11
3.6 Hiilijalanjälki.....	12
3.7 Kiertotalous	13
3.8 EEJ-betoni.....	13
4 GEOPOLYMEERIT	15
5 Vähähiilisyys	16
5.1 Rakennusmateriaalien päästöjen määrittäminen.....	17
5.2 Ympäristöseloste	18
6 YHTEENVETO	19
LÄHTEET	20
LIITTEET	22

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Sementin valmistusprosessi (Bbc, (2018)).....	9
Kuvio 2. Betonin päästörakenne (Betoni, i,a).....	12

Käytetyt termit ja lyhenteet

Hiilidioksidi	Hiilidioksidi on merkittävin ihmistoiminnan tuottama kasvihuonekaasu. Hiilidioksidi on merkittävä ilmastoa lämmittävä kasvihuonekaasu, koska se päästää näkyvän valon lävitseen, mutta absorboi voimakkaasti infrapuna- eli lämpösäteilyä.
CO₂	Hiilidioksidi
Vähähiilisyys	Vähähiilisyys tarkoittaa sitä, että tuotteista pyritään tekemään vähäpäästöisempiä.
Hiilijalanjälki	Hiilijalanjälki tarkoittaa jonkin tuotteen, toiminnan tai palvelun aiheuttamaa ilmastokuormaa eli sitä, kuinka paljon kasvihuonekaasuja tuotteen tai toiminnan elinkaaren aikana syntyy.
Hydrataatio	Sementin ja veden välinen reaktio, jossa vesi sitoutuu kemiallisesti ja fysikaalisesti sementtiin.

1 JOHDANTO

Tavoitteena on käsitellä betonirakentamisen aiheuttamia hiilijalanjälkiä ja ilmastopakotteiden aiheuttamia toimenpiteitä näiden vähentämiseksi. Myös vähähiilisemmät vaihtoehdot ja näiden käyttötarkoitukset ovat suuressa roolissa. Tarkoitus on, että tämä työn lukija ymmärtää betonirakentamisen aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen suuruuden ja sen, kuinka tärkeää niitä on saada pienennettyä, sekä ymmärtää, millä keinoin on mahdollista vähentää päästöjä betonirakentamisen kohdalla. Tämä työ on tehty mielenkiinnosta betonirakentamisen ilmastovaikutuksia kohtaan ja halusta tuoda muiden tietoon asian vakavuus.

Tämän opinnäytetyön tekemiseen on käytetty niin suomenkielistä kuin englanninkielistäkin kirjallisuutta, En-säädöksiä, Internet-artikkeleita ja tavarantoimittajien infopaketteja. Näistä on pyritty keräämään olennaista tietoa niin betonista kuin myös sen päästöistä ja tavoista vähentää näitä päästöjä.

Työtä tehdessäni yllätyin positiivisesti huomattessani, että betoniteollisuus on menossa parempaan suuntaan ja alan toimijat ovat aktiivisesti alkaneet tutkimaan vaihtoehtoisia ratkaisuja tavanomaiselle betonille. Monet toimijat ovatkin jo saaneet markkinoille vähähiilisempiä betonituotteita, joille luvataan 50%–90% vähennystä päästöissä verrattuna tavalliseen betoniin.

2 BETONIN HISTORIAA

Pienimuotoinen betonin kaltaisten materiaalien tuotanto aloitettiin nabaatealaisten kauppiaiden toimesta, jotka kehittivät pienen valtakunnan Etelä-Syyrian ja Pohjois-Jordanian alueilla 400 vuotta ennen ajanlaskun alkua (Wikipedia, i.a,-b). He löysivät poltetun kalkin edut, joilla oli joitain itsekovettavia ominaisuuksia jo vuodesta 700 eaa. He rakensivat uuneja tuottamaan laastia kivitalojen, betonilattioiden ja maanalaisten vesitiiviiden kaivojen rakentamiseen. He pitivät kaivoja salaisuuksina, sillä ne mahdollistivat nabatealaisten selviytymisen aavikolla. Osa näistä rakenteista on edelleen olemassa tänä päivänä.

Antiikin Rooman arkkitehdit käyttivät betonin kaltaista ainetta nimeltä opus caementicium, ja monet tämän aikakauden betonirakennukset ovat vieläkin pystyssä (Wikipedia, i.a. -b). Betonin kestävyys johtuu alumiinipitoisesta tulivuorentuhkasta ja kalkkikiven puhtaudesta, jotka lisättiin seokseen. Arkkitehti Vitruvius kirjoitti betonin reseptin ensimmäisellä vuosikaudella ennen ajanlaskun alkua ja käytti tuliperäistä tuhkaa ja vulkaanista kiveä. Kuitenkin, kun Rooman valtakunta rappeutui, betonin käyttö väheni.

Betonia ei käytetty keskiajalla, koska vulkaanista tuhkaa, joka on välttämätön betonin valmistukseen, oli saatavilla vain tietyillä alueilla (Wikipedia, i.a -b). 1800-luvulla kehitettiin portlandsementti, mikä helpotti betonin valmistusta. 1900-luvulla betonin käyttö laajeni nopeasti. Suomessa vanhimpia käyttökohteita ovat valetut portaat. Teräsbetonia on tiedettävästi käytetty ensimmäistä kertaa Venäjällä Nevyanskin kaupungissa sijaitsevassa Nevyanskin tornissa. Tarkka rakennusaika ei ole tiedossa mutta uskotaan, että se on rakennettu vuosien 1721 ja 1745 välillä.

Tieto siitä, että betonia voidaan käyttää rungon rakentamiseen, levisi maailmanlaajuisesti Pariisiin maailmannäyttelyssä vuonna 1900 (Betoni, i.a -a). Tämä johti nopeaan betoniarkkitehtuurin ja -tekniikan kehittymiseen Suomessa esimerkiksi rautatieasemien rakentamisessa. Vuonna 1911 rakennettu Tönnön silta Orimattilassa on edelleen käytössä, ja se oli Suomen ensimmäinen teräsbetonisilta. Raudoitustekniikoiden käytön aloittaminen vuosikymmenien alussa avasi uusia mahdollisuuksia avointen tilojen suunnitteluun ja siltojen rakentamiseen. Teollistumisen ja kaupungistumisen aiheuttamaan rakentamistarpeeseen Suomessa vastattiin uusilla betonitekniikoilla ja betonia käytettiin laajasti kaikilla rakentamisen aloilla.

3 BETONI MATERIAALINA

Betoni on valmistuksen aikana nestemäisessä muodossa oleva massa, joka kovettuu raaka-aineidensa kemiallisessa reaktiossa kiinteään, kivimäiseen muotoon (Wikipedia, i.a.-a). Betoni koostuu perusmateriaalista, sementistä ja vedestä sekä mahdollisista lisäaineista ja seoksista. Runkomateriaali on rakeinen kivi, ja valmiin rakennusosan ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa raekokoa ja -jakautumaa säätämällä. Sementti puolestaan saa aikaan kovettumiseen vaadittavan kemiallisen reaktion veden kanssa. Lisäaineita lisäämällä voidaan vaikuttaa betonin erilaisiin ominaisuuksiin. Lisäaineet voivat vaikuttaa esimerkiksi pakkaskestävyyteen, joustavuuteen ja kovettumiseen. Sekoitusaineet voivat toisaalta vaikuttaa mm. työstettävyyteen, mittastabiiliuteen ja lujuuteen. Massan alkuvaiheen nopean kovettumisen jälkeen kemiallinen reaktio jatkuu hitaasti, kunnes kaikki ainesosat ovat täysin sitoutuneet betoniin.

Betoni on veden jälkeen maailman toiseksi eniten käytetty aine ja laajimmin käytetty rakennusmateriaali (Wikipedia, i.a. -d). Sen käyttö maailmanlaajuisesti on kaksinkertainen verrattuna teräksen, puun, muovin ja alumiinin yhteiskäyttöön massassa mitattuna. Tämä laaja käyttö aiheuttaa useita ympäristövaikutuksia. Erityisesti sementin tuotantoprosessi tuottaa suuria määriä kasvihuonekaasupäästöjä, mikä johtaa 8 prosenttiin maailman päästöistä. Merkittävää tutkimus- ja kehitystyötä tehdään päästöjen vähentämiseksi tai betonin muuttamiseksi hiilidioksidin sitojaksi sekä kierrätysaineiden ja teollisuusjätteiden pitoisuuden lisäämiseksi sekoitukseen kiertotalouden saavuttamiseksi. Betonin odotetaan olevan avainmateriaali ilmastokatastrofeja ehkäisevissä rakenteissa sekä ratkaisuna muiden teollisuudenalojen saastuttamisen lieventämiseen, sillä siihen voidaan käyttää jätteitä, kuten hiilen lentotuhkaa tai bauksiittijätteitä ja masuunikuonaa.

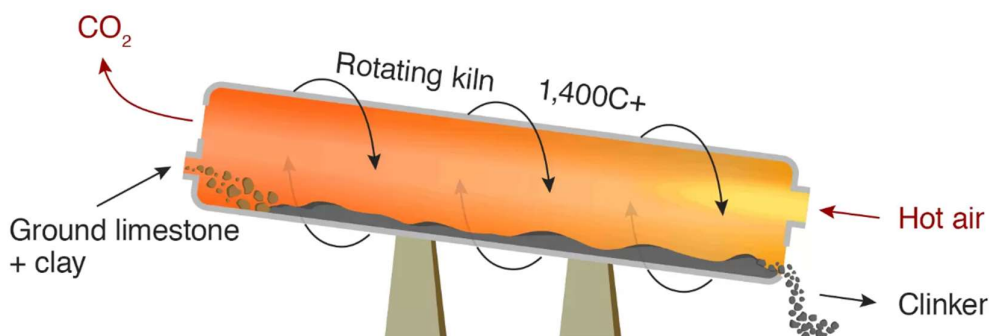
Kun runkoaine sekoitetaan Portland-sementtiin ja veteen, seoksen muodostama nestemäinen betoni on helposti kaadettava ja muotoon muotoiltava (Wikipedia, i.a.-d). Sementti reagoi veden kanssa prosessissa, jota kutsutaan hydrataatioksi, ja se kovettuu useiden vuorokausien aikana kiven kaltaiseksi materiaaliksi, jolla on monia käyttötarkoituksia. Usein betonirakenteissa käytetään lisäksi harjateräksiä, jotka parantavat vetolujuutta merkittävästi.

3.1 Sementti

Sementti on rakentamiseen käytetty sideaine, joka asettuu, kovettuu ja kiinnittyy muihin materiaaleihin sitoakseen ne yhteen (Wikipedia, i.a -b). Pelkän sementin kestävyys on heikko, joten sitä käytetään liimaamaan yhteen hiekkaa ja soraa, jolloin kestävyys on lähellä kiven kestävyyttä. Sekoittamalla sementtiä hienoainekseen saadaan muurauslaastia tai hiekan ja soran kanssa betonia. Rakentamisessa käytettävät sementit ovat yleensä epäorgaanisia. Ne ovat usein kalkki- tai kalsiumsilikaattipohjaisia, joita voidaan luonnehtia hydraulisiksi tai harvemmin ei-hydraulisiksi riippuen sementin kyvystä kovettua veden kanssa.

Hydrauliset sementit (esim. portlandsementti) kovettuvat hydrataation avulla, joka johtuu kemiallisesta reaktiosta, joka aiheutuu, kun vettä ja sementtiä sekoitetaan toisiinsa (Wikipedia, i.a. -e). Kemiallisessa reaktiossa syntyy mineraalihydraatteja, jotka eivät ole vesiliukoisia, joten ne kestävät veden aiheuttamaa rasitusta ja myös kemiallisten vaikutusten kestävyys on hyvä. Hydrataatio on mahdollista myös märissä olosuhteissa tai veden alla.

Sementin valmistus tuottaa paljon päästöjä, ja vuonna 2015 se tuotti 8% kaikista päästöistä maailmanlaajuisesti (Wikipedia, i.a -e). Sementin raaka-aineet jauhetaan ja kuumennetaan uunissa noin 1450 °C:n lämpötilaan, kun mineraalit sulavat ja reagoivat keskenään (Betoni, i.a -b). Samalla vapautuu kalkkikiven sisältämä hiilidioksidi. Sementtiuunissa tapahtuvissa kemiallisissa reaktioissa vapautuu ns. klinkkerimineraaleja, joista sementti jauhetaan.



Kuvio 1. Sementin valmistusprosessi (Bbc, (2018)

3.2 Runkoaine

Hienot ja karkeat kiviainekset muodostavat suurimman osan betoniseoksesta (Wikipedia. i.a -a). Tyypillisesti 65–80% tilavuudesta on runkoainetta. Tähän käytetään pääasiassa hiekkaa, luonnonsoraa ja murskattua kiveä. Kierrätettyjä kiviaineksia, kuten rakennus-, purku- ja louhintajätteitä, käytetään yhä useammin luonnollisten kiviainesten osittaisena korvaajana, kun taas monet teollisuuden sivutuotteet, mukaan lukien masuunikuona ja lentotuhka, ovat myös käytössä.

Kiviaineksen kokojakauma määrittää, kuinka paljon sideainetta tarvitaan (Wikipedia. i.a -a) Kiviaineksella, jonka kokojakauma on erittäin tasainen, on suurimmat aukot, kun taas kiviaineksen lisääminen pienempien hiukkasten kanssa pyrkii täyttämään nämä raot. Sideaineen tulee täyttää kiviaineksen väliset raot sekä liimata kiviaineksen pinnat yhteen, ja se on tyypillisesti kallein komponentti. Siten kiviaineksen koon vaihtelu alentaa betonin kustannuksia. Kiviaine on lähes aina vahvempaa kuin sideaine, joten sen käyttö ei vaikuta negatiivisesti betonin lujuuteen

3.3 Seos- ja lisäaineet

Betonin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa erilaisilla lisäaineilla (Betonyhdistys, 2022). Niillä voidaan vaikuttaa niin betonimassaan kuin myös kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Lisäaineilla pyritään parantamaan betonin ominaisuuksia ja taloudellista kilpailukykyä. Esimerkiksi pakkasenkestävää ja korkealujuusbetonia on erittäin vaikea valmistaa ilman lisäaineita.

Betonissa käytetään lisäaineena teollisuuden sivutuotteita, esimerkiksi silikaattia, lentotuhkaa ja masuunikuonaa (Betoni,i.a. -c). Voimalaitoksissa, joissa poltetaan kivihiiltä, syntyy lentotuhkaa, joka on kivihiilestä jäävää palamatonta kiviainetta. Lentotuhka parantaa sekä tuoreen että kovettuneen betonin ominaisuuksien hallintaa. Lentotuhka voi korvata sementtiä betonin valmistuksessa tai toimia hienoaineksena. Masuunikuona on raudan valmistuksen yhteydessä syntyvä materiaali. Sitä syntyy satoja tonneja vuosittain. Sitä voidaan käyttää korvaamaan osa portlandsementistä. Piioksidia syntyy piin ja piiraudan valmistuksessa, ja se on erittäin hienojakoinen materiaali. Piioksidi kasvattaa betonin lujuutta. Betonin kemiallinen kestävyys myös paranee. Tiiviys ja vedenpitävyys myös paranee.

Betonin hiilijalanjälkeä voidaan vähentää selvästi käyttämällä erilaisia seosaineita. Äärimmäisissä tapauksissa hiilijalanjälkeä saadaan vähennettyä jopa 90%.

3.4 Betonin valmistusprosessi

Betonin valmistus on prosessi, jossa sekoitetaan keskenään erilaisia ainesosia (Wikipedia i.a -d). Vettä, kiviainesta, sementtiä ja mahdollisia lisäaineita sekoitetaan betonin valmistamiseksi. Betonin valmistus on aikaan sidonnainen. Kun ainekset on sekoitettu, työntekijöiden on asetettava betoni paikoilleen ennen kuin se kovettuu. Nykyaikaisessa käytössä suurin osa betonin tuotannosta tapahtuu suuressa teollisuuslaitoksessa, jota kutsutaan betoniasemaksi.

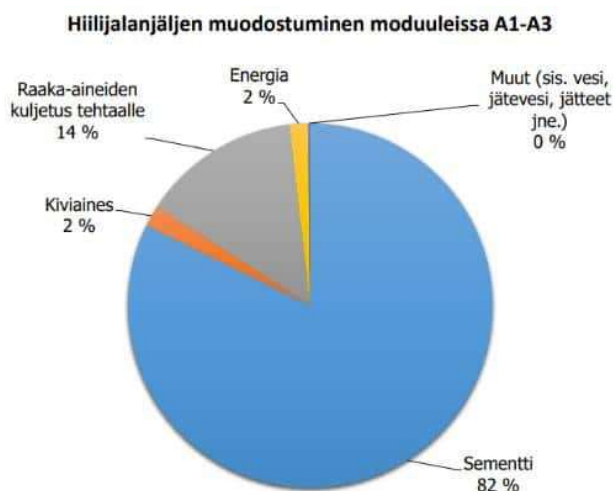
Yleiskäytössä betoniasemia on kahta päätyyppiä, valmiita sekoituslaitoksia ja keskussekoituslaitoksia (Wikipedia i.a. -d). Valmissekoituslaitos sekoittaa kaikki ainekset paitsi veden, kun taas keskussekoituslaitos sekoittaa kaikki ainekset mukaan lukien veden. Keskussekoituslaitos mahdollistaa betonin laadun tarkemman hallinnan lisätyn vesimäärän paremman mittauksen ansiosta, mutta se on sijoitettava lähemmäksi käyttökohdetta, jossa betoni käytetään, koska hydrataatio alkaa jo betoniasemalla.

3.5 Käyttökohteet

Melkein kaikissa rakennuksissa on käytetty betonia, ja sen näkemiseltä ei voi välttyä kulkiessaan kaupunkiympäristössä, sillä betoni on maailman yleisin rakennusmateriaali (Betoni, i.a -d). Rakennusten rakentamisessa suurimpiin betonin käyttökohteisiin kuuluvat perustukset ja maanvaraiset rakenteet. On todella harvinaista, että rakennus olisi tehty muutoin kuin betoniperustuksille. Betonia käytetään kaikenlaisten rakennusten julkisivuissa ja rungoissa ja varsinkin kerrostalorakentamisessa sitä käytetään runsaasti. Infrastruktuurista suurin osa rakennetaan betonista, kuten sillat, tunnelit, satamat ja padot. Betoni sopii tähän käyttötarkoitukseen hyvin pitkän elinkaarensa ja säänkestävyytensä ansiosta.

3.6 Hiilijalanjälki

Portlandin sementin havaittiin olevan tyypillisten kaupallisesti tuotettujen betoniseosten synnyttämien hiilidioksidipäästöjen ensisijainen lähde, ja se on vastuussa 74–81 prosentista hiilidioksidipäästöjen kokonaismäärästä (Flower & Sanjayan, 2007). Seuraavaksi suurin betonin hiilidioksidipäästöjen lähde havaittiin olevan karkeat kiviainekset, jotka vastaavat 13–20 % kaikista hiilidioksidipäästöistä. Suurin osa hiilidioksidipäästöistä karkeiden kiviainesten tuotannossa johtuu sähköstä, tyypillisesti noin 80 %. Räjähetykset, louhinta ja kuljetus muodostavat alle 25 %. Vaikka räjähteillä oli erittäin korkeat päästökertoimet massayksikköä kohden, ne vaikuttavat karkeaan kiviainestuotantoon hyvin pieniä määriä (<0,25 %), koska niitä käytetään vain pieniä määriä. Hienot kiviainekset tuottavat vähemmän hiilidioksidipäästöjä, koska ne vain lajitellaan eikä murskata. Dieselin ja sähkön todettiin aiheuttavan lähes yhtä paljon kuin hienojakoisten kiviainesten valmistuksen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Seosten aiheuttamien päästöjen todettiin olevan mitättömiä. Betonin annostelu-, kuljetus- ja sijoittamistoimintojen todettiin aiheuttavan hyvin pieniä määriä hiilidioksidia betonin kokonaispäästöihin.



Kuvio 2. Betonin päästörakenne (Betoni, i,a).

3.7 Kiertotalous

Kiertotaloudella on merkittävä rooli betonirakentamisessa (Betoni, i.a -d). Se alkaa jo sementin valmistuksesta, jossa käytetään kierrätysraaka-aineita, kuten terästeollisuudessa syntyvää masuunikuonaa ja valssaamalla syntyvää rautahilsettä. Sementtiuunin energianlähteenä käytetään useita hiilidioksidineutraaleja bio- ja kierrätyspolttoaineita, kuten pakkausjätteestä valmistettua kierrätysmateriaalia, lihaluu jauhoa ja autonrenkaiden rouhetta. Suomalaisissa sementtiuuneissa noin puolet energiasta tuotetaan jo kierrätyspolttoaineilla.

Uuneista talteen otettava ja kaukolämpönä jaettava energiamäärä kattaa jo yli 2 000 omakotitalon lämmitykseen (Betoni, i.a -e). Betoniteollisuus käyttää sementin korvikkeena lämpövoimalaitosten lentotuhkaa ja terästeollisuuden masuunikuonaa vuosittain yli 300 000 tonnia.

Betonin valmistuksessa ylimääräiseksi jäävä betoni on mahdollista erotella betonilietteeksi ja karkeaksi kiviaineeksi. Myös kovettuneen betonin murskaaminen ja seulominen eri rae-
kokoihin on mahdollista (Betoni, i.a -e). Pestyä kiviainesta voidaan käyttää uuden betonin valmistuksessa, ja osa tästä on mahdollista korvata murskatulla betonilla. Betonilietettä voidaan käyttää korvaamaan osa betonin vaatimasta vedestä. Murskattua betonia voi myös käyttää esimerkiksi kantavissa maarakenteissa.

Betonirakenteet, joiden elinkaari on tullut loppuunsa, puretaan murskaamalla ja teräs erotellaan talteen ja se toimitetaan metalliromuksi (Betoni, i.a -e). Metalliromusta voidaan valmistaa uutta harjaterästä tuleviin betonirakenteisiin. Betonimurske jatkojalostetaan ja sitä käytetään maarakenteissa, kuten teiden kantavissa ja jakavissa kerroksissa. Tiivistetty betonimurske kovettuu vielä hieman ja sillä saadaan erinomainen kantavuus.

Suurista elementeistä rakennetut rakennukset on helppo purkaa, ja niitä on mahdollista käyttää uudestaan rakennettaessa samanlainen rakennus eri sijaintiin tai käyttää uudenlaisen rakennuksen valmistukseen (Betoni, i.a -e).

3.8 EEJ-betoni

Valtioneuvosto on luonut asetuksen, jossa on arviointiperusteet betonimurskeen jätteen luokittelun päättämiseen (Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteen luokittelun

päättymisen arviointiperusteista 466/2022). Asetusta sovelletaan valmistajaan, jolla on ympäristösuojelulain (527/2014) 27 §:ssä tarkoitettu ympäristölupa betonijätteen murskaustointaan tai jonka toiminnassa murskataan betonijätettä kiinteään betoniaseman ja betonituotetehtaan ympäristönsuojeluvaatimuksista annetun valtioneuvoston asetuksen (858/2018) nojalla.

Käytetty betoni ja ylijäämäbetoni eivät ole enää jätettä, kun betonijäte valmistetaan betonimurskaksi asetuksen vaatimusten mukaisesti (Kiwa, 2023). Betonijätteen jalostaminen on mahdollista uudelleenkäytettäväksi tuotteeksi, joka on käytettävissä asetuksen mukaisissa käyttötarkoituksissa ilman raskasta MARA-ilmoitusmenettelyä. EEJ-sertifioinnin saanutta betonia voidaan käyttää rakentamisessa maanparannusaineena, kiviaineksena tai betonin valmistuksen raaka-aineena sekä lannoitteena. Edellytyksenä on, että toimijalta vaaditaan sertifioitua laadunvarmistusjärjestelmää sekä rakentamisessa käytettävien tuotteiden CE-merkitsemistä AVCP 2+ -menettelyn mukaisesti.

4 GEOPOLYMEERIT

Betonia on mahdollista valmistaa myös ilman sementtiä (Keko Geopolymeerit ,i.a.). Valmistukseen voidaan käyttää muita aktivaattoreita, joita kutsutaan geopolymeereiksi. Näihin liittyvä tutkimus- ja kehitystyö on ollut nousussa etenkin Suomessa viime aikoina. Kuitenkin harvat tietävät, mitä geopolymeerit todellisuudessa ovat.

Geopolymeerit ovat kiinteitä materiaaleja, joita valmistetaan epäorgaanisista raaka-aineista (Keko Geopolymeerit ,i.a.). Niitä hyödynnetään monissa eri sovelluksissa, mm. sideaineena betonissa ja tulenkestävissä rakennusmateriaaleissa. Pääraaka-aine geopolymeerien valmistuksessa on yleensä epäorgaaninen materiaali, joka sisältää runsaasti piitä ja alumiiniä, jota voidaan valmistaa luonnosta tai teollisesta toiminnasta. Geopolymeeri ja aktivaattori reagoivat toistensa kanssa luoden vahvan ja kestäväen materiaalin. Aktivaattori on yleensä jokin alkalinen aine.

Betonissa käytetyn sementin korvaaminen geopolymeerisideaineella johtaa betoniin, jonka hiilijalanjälki on merkittävästi pienempi kuin tavanomaisella sementillä tuotetussa betonissa (Keko Geopolymeerit ,i.a.). Geopolymeerien pääraaka-ainetta ei kuitenkaan valmisteta riittävästi sementin valtavaan kysyntään nähden, joten geopolymeerit eivät yksin pysty ratkaisemaan globaalia sementin ympäristöongelmaa.

Monilla alueilla maailmassa syntyy huomattavia määriä jäte- tai sivuvirtoja, joita voidaan käyttää geopolymeerien raaka-aineina. Geopolymeeripohjaiset tuotteet voisivat olla merkittävä tapa vähentää päästöjä (Keko Geopolymeerit ,i.a.). Näiden materiaalien käytöllä on tietysti myös muita etuja. Kun sivu- ja jätevirroista tehdään arvokkaita geopolymeerien raaka-aineita, syntyy uusia taloudellisia mahdollisuuksia tällaisten virtojen tuottajille. Tässä lähestymistavassa jätteenkierron luokitellut materiaalit tuodaan takaisin kiertotalouden materiaali-kiertoon. Tämä suojelee koskemattomia luonnonvaroja tuleville sukupolville ja vähentää jätevirtojen kielteisiä vaikutuksia sekä jätteenkäsittelyn kustannuksia.

5 Vähähiilisyys

Suomen Betoniyhdistys ry on luonut vähähiilisyys luokituksen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi (Suomen Betoniyhdistys, i.a.). Tuloksena on luotu tapa kuvata ja vertailla erilaisia vähähiilisen betonin laatuja tuotemerkestä riippumatta. Tämän avulla asiakas voi kilpailuttaa vähähiilisen betonin eri toimijoilta. Betonia tilatessa valitaan taulukosta päästoluokka, jonka mukaan määrittyvät hiilidioksidipäästöt ja jonka mukaan toimittaja osaa tehdä tarjouksen. Luokittelusta vastaa Suomen Betoniyhdistys ry.

Rakennusalan hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on tärkeää. Alalla on suurta potentiaalia niiden vähentämiseen (Suomen Betoniyhdistys, i.a.). Vuonna 2025 tulee voimaan rakennusmääräys, jossa tuodaan rakennuksille hiilikatto ja vaaditaan ilmastaselvitys. Tämä tulee pakottamaan rakennusalan toimijoita siirtymään vähähiilisempiin materiaaleihin ja rakennustapoihin. Tällöin tarvitaan päästötietoja jo rakennuslupavaiheessa eri rakennusmateriaaleista. Eurooppalaiseen standardiin perustuva ympäristöselosteessa (EPD = Environmental Product Declaration) voidaan esittää eri rakennusmateriaalien hiilidioksidipäästöjä ja muita ympäristöindikaattoreita. Tähän vaaditaan ulkopuolisen tahon verifointi.

BY-Vähähiilisyysluokitus on tehty ympäristöselosteen ohelle, ja se on yksinkertaisempi ja edullisempi tapa tuoda hiilidioksidipäästöt ilmi (Suomen Betoniyhdistys, i.a.). Vähähiilisen betonin valinta helpottuu jo suunnitteluvaiheessa. On kuitenkin tiedostettava, että vähähiilisemmän betonin valinta vaikuttaa myös betonin muihin ominaisuuksiin, esimerkiksi lujuudenkehitykseen.

BY-vähähiilisyysluokituksessa betonilaadut on jaettu luokkiin hiilidioksidipäästöjen perusteella (Suomen Betoniyhdistys, i.a.). Luokitus sisältää yhteensä 16 eri valmisbetonilaatua ja yhteensä 5 eri vähähiilisyysluokkaa. Luokitus on resepti- ja asemakohtainen. Betonin valmistaja voi luokitella haluamansa betonireseptit vähähiilisiin luokkiin varmistaakseen, että reseptin päästöarvo täyttää luokituksen vaatimukset.

BY-vähähiilisyysluokituksen toteuttamisesta vastaa Suomen Betoniyhdistys ry (BY) (Suomen Betoniyhdistys, i.a.). Luokittelu tehtiin vuosina 2021 ja 2022, ja luokitukseen

osallistuivat Suomen Betoniyhdistys ry, Betoniteollisuus ry ja Aalto-yliopisto. Luokittelutyötä on johtanut BY:n hallituksen asettama laaja-alainen työryhmä.

Vähähiilisyysluokkia merkitään tunnuksella GWP.NN. GWP on lyhenne sanoista Global Warming Potential (Suomen Betoniyhdistys, i.a.). Koodissa NN on päästötaso, jota verrataan vertailutasolle. Esimerkiksi GWP.85 tarkoittaa, että betoni hiilidioksidipäästöt ovat enintään 85 % hiilen vertailutasosta.

betonin laadun osalta vertailutaso vastaa suomalaisten betoninvalmistajien keskimääräistä päästötasoa vuonna 2021. Vähähiilisten luokkien päästötaso on vertailutasoa alhaisempi. BY vähähiiliset luokat on esitetty taulukossa 1. Vertailutaso (GWP.REF) toimii myös vähähiilisenä luokkana, koska tässä luokassa betonin GWP-päästöt ovat korkeintaan betonin laadun keskiarvo. Luokitus on pelkästään betonille eikä pidä sisällään raudoituksia, kuljetuksia eikä työmaatoimintoja.

Betoniluokkaa valittaessa on syytä ottaa huomioon vähähiilisten luokkien saatavuus (Suomen Betoniyhdistys, i.a.). Mahdollisuudet saavuttaa alhaisimpia vähähiilisiä luokkia riippuvat betonin laadusta. Väyläviraston määräykset infrabetoneihin liittyen voivat tehdä P-luokan betonin saatavuuden käytännössä mahdottomaksi. Oletettavasti vähähiilisten betonien saatavuus kasvaa vähitellen. Saatavuus vaihtelee myös betoniasemakohtaisesti ja alueittain.

BY-Vähähiilisyysluokituksen betonilaadut sekä vähähiilisyysluokkien raja-arvot ja eri päästöluokkien arvioitu saatavuus vuonna 2022 on esitetty liitteissä (Liitteet 1 ja 2).

5.1 Rakennusmateriaalien päästöjen määrittäminen

Rakennusmateriaalien hiilidioksidipäästötietoja on saatavilla useista lähteistä. Näitä ovat pääasiassa tuotteiden ympäristöselosteet ja päästölaskentaohjelmistot, jotka sisältävät ympäristöselosteet ja päästöjen tietokannan. (Bionova, 2017) Päästöt vaihtelevat myös

saman materiaaliryhmän sisällä. Päästöt on voitu laskea eri tavoin, ja ne voivat koskea teknisesti erilaisia tuotteita ja kuvata tuotteen hiilijalanjälkeä eri maassa valmistettuna.

Käytännön päästölaskennan kannalta on oleellista, että käyttäjällä on suomalaisissa olosuhteissa käyttökelpoisia materiaaleja luotettavilla päästötiedoilla ja että tiedot ovat yhdenmukaisia keskenään ja valmistettu EN 15804 -standardin vaatimusten mukaisesti.

Päästötietojen tarkkuuden lisäksi laskentajärjestelmien laadulla ja yhdenmukaisuudella on merkitystä. EN 15804 -standardin mukaisuutta voidaan pitää minimivaatimuksena nykyisessä toimintaympäristössä, sillä hajontaa ja poikkeavuuksia voi tulla muilla laskentaperusteilla tuotetussa tiedossa. Standardin mukaisella ympäristöselosteella voimassaoloaika on 5 vuotta. Koska standardi EN 15804 on tullut käyttöön vasta 2012 vuonna, vanhempien rakennustuotteiden ympäristötiedot eivät aina vastaa standardin vaatimuksia. Vain ajankohtaista tietoa tulee käyttää arvioinnissa.

5.2 Ympäristöseloste

EPD (environmental product declaration) on standardoitu tapa esittää valmistuksen eri vaiheissa syntyvät ympäristövaikutukset luotettavasti (Leveelahti, 2022). Siihen sisältyy tuotteen kaikki valmistusvaiheet aina raaka-aineen louhinnasta siihen asti, kun valmis tuote lähtee tehtaalta. Veden ja sähkönkulutus sekä logistiikka on myös otettu huomioon. Tuotteen hiilijalanjälki perustuu näihin laskelmiin.

EPD-ympäristöselosteet vaativat kolmannen osapuolen verifiointin (Leveelahti, 2022). Elinkaarilaskenta kuuluu tarkistaa vuosittain. Mikäli indikaattoreissa on yli 10 prosentin muutoksia, laskelmat tulee päivittää. Näin ympäristövaikutusten laskelmat ovat vertailukelpoisia.

6 YHTEENVETO

Vähähiilinen betoni on ajankohtainen aihe. Yllätyin siitä, kuinka suuri osa hiilidioksidipäästöistä johtuu betonin valmistuksesta. Oli positiivista huomata, että alan yritykset myös tiedostavat tämän ja tähtäävät vähähiilisempiin ratkaisuihin betonin reseptiikassa. Vähähiilisyysluokitus on myös tärkeä työkalu, joka auttaa vähentämään hiilidioksidipäästöjä. Sen käyttö tosin on alkuvaiheissa ja täysi hyöty siitä saadaan vasta tulevaisuudessa. Päästö-laskentaohjelmistot alkavat myös yleistyä, mutta en löytänyt sellaista, josta olisin saanut tarvittavat tiedot ja kaavat, että olisin voinut käsin laskemalla tehdä esimerkin, jossa on selkeästi eritelty betonin päästöt ja vaikutus, jos betoni korvataan vähähiilisemmällä vaihtoehdolla.

LÄHTEET

Betoni. (i.a-a). *Betonin historia: Betonia käytettiin jo antiikin Rooman aikana.*

<https://betoni.com/tietoa-betonista/betonin-historia/>

Betoni. (i.a-b). *Betonin valmistus: Sementti ja sen valmistus.*

<https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-valmistus/>

Betoni. (i.a-c). *Sementti ja kasvihuonepäästöt: Hiilidioksidipäästöjä vähennetään.*

<https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/sementti-seosaineiden-kaytto/>

Betoni. (i.a-d). *Mihin betonia käytetään?: Betoni on maailman yleisin rakennusmateriaali*

<https://betoni.com/tietoa-betonista/mihin-betonia-kaytetaan/>

Betoni. (i.a-e) *Kiertotalous toimii: Betonirakentamisessa materiaalit kiertävät*

<https://betoni.com/perustietopaketti/ekologisuus/kierratys/>

Betoniyhdistys. (2022). *Lisäaineet.*

<https://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betonilaborantti-ja-myllari-2022/1.-jakso/1.3.2022-lisaaineet.pdf>

Bionova. (2017) Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa.

<https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B4B3172BC-4F20-43AB-AA62-A09DA890AE6D%7D/129197>

Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista 466/2022

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2022/20220466>

Leveelahti, U. (23.11.2022). *Sementintuotannon ilmastotyö näkyy uusissa ympäristöselosteissa*

<https://finnsementti.fi/nosto/sementintuotannon-ilmastotyö-näky-yuussissa-ymparistoselosteissa/>

Keko Geopolymeerit. (i.a.) *Tietoa geopolymeereistä*

<http://www.kekogeopolymeerit.fi/geopolymeerit.html>

Kiwa. (2023) *Betonimurskeen EEJ (ei enää jätettä) sertifiointi*

<https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelumme2/sertifiointi-arviointi-ja-todentaminen/betonimurskeen-eej-sertifiointi/>

Flower, D. J. M., & Sanjayan, J. G. (2007). *Green house gas emissions due to concrete manufacture* [*The International Journal of Life Cycle Assessment* 12\(3\), 282–288.](#)

<https://link.springer.com/article/10.1065/lca2007.05.327>

Suomen Betoniyhdistys. (i.a) *BY-Vähähiilisyysluokitus*

<https://vahahiilinenbetoni.fi/>

Wikipedia. (i.a-a). *Betoni*

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Betoni>

Wikipedia. (i.a-b). *Betoni historia*

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Betoni#Historia>

Wikipedia. (i.a-c). *Cement*

<https://en.wikipedia.org/wiki/Cement>

Wikipedia. (i.a-d). *Concrete*

<https://en.wikipedia.org/wiki/Concrete>

Wikipedia. (i.a-e). *Reinforced concrete*

https://en.wikipedia.org/wiki/Reinforced_concrete

LIITTEET

Liite 1. BY-Vähähiilisyysluokituksen betonilaadut sekä vähähiilisyysluokkien raja-arvot.


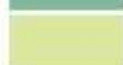


Liite 2. Eri päästöluokkien arvioitu saatavuus vuonna 2022.

Liite 1. BY-Vähähiilisyysluokituksen betonilaadut sekä vähähiilisyysluokkien raja-arvot.
[\(https://vahahiilinenbetoni.fi/\)](https://vahahiilinenbetoni.fi/)

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
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
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

Liite 2. Eri päästöluokkien arvioitu saatavuus vuonna 2022. (<https://vahahiilinenbetoni.fi/>)

Betoni	GWP.REF	GWP.85	GWP.70	GWP.55	GWP.40
C20/25 - Ei huokostettu	Green	Green	Light Green	Yellow	Red
C25/30 - Ei huokostettu	Green	Green	Light Green	Yellow	Red
C30/37 - Ei huokostettu	Green	Green	Light Green	Yellow	Red
C35/45 - Ei huokostettu	Green	Green	Light Green	Yellow	Red
C45/55 - Ei huokostettu	Green	Green	Light Green	Yellow	Red
C50/60 - Ei huokostettu	Green	Green	Light Green	Yellow	Red
<hr/>					
C30/37 - Huokostettu	Green	Green	Yellow	Red	Red
C35/45 - Huokostettu	Green	Green	Yellow	Red	Red
C45/55 - Huokostettu	Green	Green	Yellow	Red	Red
C50/60 - Huokostettu	Green	Green	Yellow	Red	Red
<hr/>					
C30/37 P0	Green	Light Green	Yellow	Red	Red
C30/37 P30	Green	Light Green	Yellow	Red	Red
C35/45 P0	Green	Light Green	Yellow	Red	Red
C35/45 P30	Green	Light Green	Yellow	Red	Red
C35/45 P50	Green	Light Green	Yellow	Red	Red
C45/55 P50	Green	Light Green	Yellow	Red	Red

	Todennäköisesti yleisesti saatavilla
	Todennäköisesti saatavissa useilta valmistajilta ¹
	Todennäköisesti saatavissa joiltakin valmistajilta ¹
	Todennäköisesti saatavissa vain projektikohtaisena erikoistuotteena ¹

¹ Saatavuus varmistettava etukäteen