



Elizaveta Pavlenko

Ympäristöystävälliset betonit

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Opinnäytetyö

22.4.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Elizaveta Pavlenko
Otsikko:	Ympäristöystävälliset betonit
Sivumäärä:	34 sivua + 1 liite
Aika:	22.4.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Ammatillinen pääaine:	Rakennetekniikka
Ohjaajat:	Lehtori, PhD Paula Naukkarinen Työpäällikkö Markku Penttinen

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua Suomen ja kansainvälisillä markkinoilla saatavilla oleviin ympäristöystävällisiin betonivaihtoehtoihin sekä tarkastella niiden käyttöä rakennustuotannon ja rakennesuunnittelun näkökulmasta. Työn aihe rajautui ympäristöystävällisiin valmisbetoneihin, joita YIT Suomi Oy:n on mahdollista saada käyttöön huomioiden toimitus-, taloudellisuus- sekä soveltuvuustekijät.

Tutkimusmenetelmäksi valittiin tiedonkeruu ja sen tulosten analysointi. Tiedonkeruussa pyrittiin käyttämään monipuolisia lähteitä, kuten rakennustekninen kirjallisuus, yritysten toteutumätiedot, teemahaastattelu jne.

Tiedonkeruun ja sen tulosten analyysin perusteella selostettiin YIT Suomi Oy:n käyttöön soveltuvat ”vihreät” valmisbetonituotteet, tarkasteltiin opinnäytetyön aihetta rakennustuotannon ja rakennesuunnittelun näkökulmasta sekä tehtiin johtopäätöksiä ja jatkotutkimusehdotuksia. Muun muassa työn lopputuloksena selvitettiin, että nykyhetken markkinoilla olevilla tuotteilla on edelleen useita vakavia kehityskohtia, kuten hidas lujuudenkehitys ja heikko pakkasenkestävyys. Tästä johtuen vähähiilisten valmisbetoneiden käyttö laajassa mittakaavassa pysyy haasteellisena tällä hetkellä. Tiedot katsotaan palvelevaksi rakennustuotantoa sekä rakennesuunnittelua materiaalien ja toimintatapojen valinnassa.

Avainsanat: vihreä, betoni, tuotanto, rakennesuunnittelu

Abstract

Author: Elizaveta Pavlenko
Title: Environmental-friendly Concrete
Number of Pages: 34 pages + 1 appendices
Date: 22 April 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Professional Major: Structural Engineering
Supervisors: Paula Naukkarinen, Senior Lecturer, PhD
Markku Penttinen, Construction Manager

The purpose of the final year project was to conduct a study on environmental-friendly concrete options in Finnish and international markets and to examine the use of environmental-friendly concrete from the perspective of construction production and structural design. The study is focused on “green” ready-mixed concretes, which are available for use by YIT Finland Ltd. in residential construction considering their local availability, usability and sustainability aspects.

The main study method was data collection and its analysis. There is a number of sources of information that were benefitted in the study, such as: literature and studies on concrete technology, recent information on production performance of the employer company and international organizations, national and international codes and regulations as well as expert’s theme interview etc.

The result of the study indicated that there are several “green” ready-mixed concrete options available on the market that YIT Finland Ltd. may utilize in production. Nevertheless, despite the products’ positive influence on the environmental footprint of concrete construction, a closer examination from construction production and structural design points of view has shown that there is a series of improvements that must be performed before using them in mass production. The result of the study is expected to be utilized by construction production and structural design in the process of selecting products and work methods.

Keywords: green, concrete, production, structural design

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta ja tavoitteet	1
1.2	Tutkimusmenetelmät	2
2	“Vihreän” siirtymän lähtökohdat	2
2.1	Ilmastopolitiikka	2
2.1.1	Kansainvälinen ilmastopolitiikka	2
2.1.2	Suomen kansallinen ilmastopolitiikka	4
2.2	Science Based Targets -aloite	4
2.3	BY-vähähiilisyysluokitus	5
3	Betoni rakennusmateriaalina	8
3.1	Perustiedot	8
3.2	Betoni ja kestävä kehitys	9
3.3	Betonin osa-aineiden ympäristökuormitukset	11
3.3.1	Sementti	11
3.3.2	Lisäaineet	13
3.4	Ympäristöystävällinen betoni	13
3.4.1	Ympäristöystävällisen betonin ainesosat	14
3.4.2	Ympäristöystävällisen betonin tuotantotavat	16
4	Ympäristöystävälliset betonit	18
4.1	Suomen markkinat	18
4.1.1	Rudus Vihreä Betoni	18
4.1.2	Ruskon Betoni RB CLEAN	18
4.1.3	Swerock Eco-Betoni	19
4.2	Kansainväliset markkinat	20
4.2.1	Heidelberg Materials EcoCrete	20
5	Ympäristöystävällisten betonien käyttö	21
5.1	Rakennustuotannon näkökulma	21
5.1.1	Lujuudenkehitys	22
5.1.2	Hankesuunnittelu	22
5.1.3	Lämmitystarve ja sääolosuhteet	23

5.1.4	Työstettävyys	23
5.1.5	Kestävät toimintatavat	24
5.2	Rakennesuunnittelun näkökulma	25
5.2.1	Betonin vähähiilisyysluokitus	26
5.2.2	Ympäristöystävällisen betonin kehitystarpeet	28
5.2.3	Rakenneratkaisut	28
5.2.4	“Vihreän” betonin laskelmat	30
5.2.5	Aikatauluvaikutus	31
6	Yhteenveto	32
6.1	Jatkotutkimus	34
	Lähteet	35
	Liitteet	
	Liite 1: Ympäristöystävälliset betonit, teemahaastattelu	

1 Johdanto

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Ilmastomuutoksella on merkittävä vaikutus nykypäivän liiketoimintaan ja yhteiskuntaamme. Siirtymä kohti vähähiilistä taloutta katsotaan olevaksi yksi tehokkaimmista keinoista ilmastomuutoksen hillitsemiseen. Rakennusalalla on keskeinen rooli tässä siirtymässä, sillä Global Status for Buildings and Construction raportin mukaan rakennusteollisuuden ja rakennusten käytön aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ovat muodostaneet noin 37 prosenttia maailman kasvihuonekaasupäästöistä vuonna 2021. Rakennusmateriaalit sekä rakennusten ja infrastruktuurin käyttöaikaiset lämmitys-, jäähdytys- ja valaistustarpeet aiheuttavat niistä suurimmat päästöt. (1, s. 42.)

Tämä opinnäytetyö tehdään YIT Suomi Oy:n toimeksiannosta. YIT Suomi Oy on suomalainen rakennusalan yritys. YIT:n päämarkkina-alueet ovat Suomi, Ruotsi, Norja, Viro, Liettua, Latvia, Tšekki, Slovakia ja Puola. Yrityksen päätoimialat ovat asuminen, toimitilat, infrarakentaminen sekä kiinteistökehitys. (2, s. 4.)

Kuten monet suuret yritykset YIT on sitoutunut Science Based Targets (SBTi) aloitteeseen ilmaston lämpenemisen rajoittamiseksi. YIT on laatinut vihreän rahoituksen viitekehityksen (Green Finance Framework) edistääkseen siirtymä kohti hiilineutraalista kiertotalousmallia sekä saadakseen edellytykset vihreiden hankkeiden rahoittamiseen. YIT:n pitkän aikavälin tavoite on ilmastomuutoksen hillintä puolittamalla oman toiminnan ja omaperusteisten hankkeiden hiilidioksidipäästöt vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteeseen pääsemiseksi yritys tarvitsee muun muassa lisätietoa ympäristöystävällisistä materiaaleista, kuten vähähiilistä valmisbetoneista, joita voidaan hyödyntää asuntorakentamisessa. (3.)

Opinnäytetyön tavoitteena on saada tietoa ympäristöystävällisten betonien saatavuudesta Suomen ja kansainvälisillä markkinoilla sekä tarkastaa niiden käyttöön liittyvät mahdollisuudet tai rajaukset rakennustuotannon ja

rakennesuunnittelun näkökulmasta. Opinnäytetyön ajatellaan palvelevan sekä rakennustuotantoa että rakennesuunnittelua.

1.2 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmäksi valittiin tiedonkeruu verkko- ja kirjallisuuslähteiden sekä teemahaastattelun avulla. Tiedonkeruun pohjalta saadut tulokset analysoidaan ja laaditaan opinnäytetyön raportti niiden perusteella. Tiedonkeruun yhteydessä pyritään perehtyä ympäristöystävällisten betonien käyttöön liittyviin tekijöihin, sääntelyyn sekä niiden erikoisominaisuuksiin ja rajauksiin.

2 “Vihreän” siirtymän lähtökohdat

2.1 Ilmastopolitiikka

Tässä luvussa selvitetään “vihreän” siirtymän lähtökohdat ja etenkin sen juridiset perusteet. Tämän tiedon perusteella pyritään saada mahdollisimman selkeä kuva ajankohtaisesta ilmastopolitiikasta: sen tarkoituksesta, tavoitteista ja vaatimuksista.

2.1.1 Kansainvälinen ilmastopolitiikka

Ilmastopolitiikka sääntelee ilmastomuutoksen hillitsemiseen ja siihen sopeutumiseen liittyvää toimintaa valtakunnallisella tasolla. Ilmastopolitiikan keskeisenä tarkoituksena on ilmastojärjestelmän vakauden säilyttäminen, mikä mahdollistaisi kelvollinen elinympäristö ihmiskunnalle sekä olemassa oleville ekosysteemeille.

Tärkeimmät kansainväliset ilmastopoliittiset linjaukset ovat määritelty:

- YK:n ilmastomuutosta kokevassa puitesopimuksessa (UN Framework Convention on Climate Change, UNFCCC, 1992);

- Kioton pöytäkirjassa (1997);
- Pariisin ilmastopöytäkirjassa (2015). (4.)

YK:n ilmastopöytäkirja on kansainvälisen ilmastopolitiikan keskeinen pilari. Ilmastopöytäkirjan tavoitteena on hillitä ihmiskunnan aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen määrää ja saada sen pysymään turvallisella tasolla vaarallisten ilmastomuutosten ehkäisemiseksi. Tavoitetason tulee olla saavutettavissa riittäväällä aikavälillä sallittaakseen ekosysteemien sopeutua ilmastonmuutokseen luonnollisesti. Sopimukseen ei kuitenkaan ollut sisällytetty määrällisiä tavoitteita. Suomi on yksi pöytäkirjan osapuolista. (5, s. 4.)

Kioton pöytäkirjan (1997) tehtävänä on ollut täydentää YK:n ilmastopöytäkirjasta (1992). Pöytäkirjaan sisällyttiin toimenpiteitä ilmakehän kasvihuonekaasupäästöjen hillitsemiseen ottaen huomioon osapuolien kansalliset erot kasvihuonekaasupäästöissä, varallisuudessa ja mahdollisuuksissa toteuttaa vaadittuja vähennyksiä. Pöytäkirjan toinen velvoitekausi eli voimassaolo päättyi vuonna 2020. (6.)

Pariisin sopimuksen (2015) avulla pyrittiin edistää ja päivittää YK:n ilmastopöytäkirjan ehtoja muun muassa sen tavoitteet sekä keinot maailmanlaajuisen ilmastomuutoksen torjunnan käynnistämiseen. Sopimuksen ensisijaisiin tavoitteisiin kuuluvat:

- maapallon keskilämpötilan nousun pitäminen selvästi alle 2°C esiteolliseen aikaan verrattuna sekä lämpötilan nousun rajoittaminen 1,5°C:seen;
- ilmaston haitallisiin muutoksiin sopeutumiskyvyn kehitys sekä ilmastonsietokyvyn ja vähäpäästöisen toiminnan edistäminen elintarviketuotantoa vaarantamatta;
- rahoitusvirtojen ohjaus kohti vähäpäästöisiä ja kestäviä toimintamalleja. (7, s. 3.)

Pariisin sopimus on tullut voimaan vuonna 2016 ja se koskee vuoden 2020 jälkeistä toimintaa. Sopimuksen on ratifioinut 193 maata mukaan lukien Suomi. (7, s. 3.)

2.1.2 Suomen kansallinen ilmastopolitiikka

Suomen ilmastopolitiikasta säädetään kansallisessa Ilmastolaissa (423/2022). Laissa on määritetty tavoitteet ja puitteet Suomen ilmastopolitiikan suunnittelulle ja sen toteutuksen seurannalle. Lain tarkoituksena on ilmastomuutoksen hillitsemiseen ja siihen sopeutumiseen toimenpiteiden suunnittelun tehostaminen, yhteensovittaminen ja toteutuksen seuranta sekä eduskunnan ja yleisön osallistumisen ja vaikuttamisen ilmastopolitiikan suunnitteluun mahdollistaminen. (8, §1.)

Uudistetun Ilmastolain mukaan (1.7.2022) Suomessa pyritään saavuttaa 60% päästövähennystä vuoteen 2030 mennessä, 80% vuoteen 2040 mennessä ja 90% - 95% vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasoa verrattuna. (8, §1.)

Lisäksi Suomen hallituksen ohjelmassa korostuu erityisesti hiilineutraalisuus. Ohjelman mukaan Suomi sitoutuu saavuttamaan hiilineutraalisuutta vuoteen 2035 asti ja pysyä hiilinegatiivisena sen jälkeen. Ohjelman tarkoituksena on saada kasvihuonekaasupäästöjen ja hiilinielujen aikaansaamien poistumien samaan tasoon vuoteen 2035 mennessä ja tämän jälkeen nielujen vaikutuksen tulee olla suurempi, kuin päästöjä. Kyseisillä tavoitteilla epäilemättä tulee olla valtava vaikutus rakennusteollisuuteen ja siihen täytyy sopeutua ja kouluttautua pystyttäväkseen kohtamaan uudet ilmastohaasteet ja kehittämään tehokkaat ratkaisut niihin. (9, s. 12.)

2.2 Science Based Targets - aloite

Nykypäivänä yritykset saattavat kohdata useita haasteita tiukkenevan ilmastolainsäädännön vuoksi. Tällöin puolueettomat järjestöt ja organisaatiot ovat välttämättömiä neuvonantajan tai valvojan roolissa yritysten tavoitteiden ja

toimintastandardien määrittämiseen sekä niiden toteutuksen valvomiseen. Sellaisena organisaationa on, esimerkiksi Science Based Targets -aloite, johon YIT Suomi Oy on sitoutunut vuonna 2021 maailman monien yritysten joukossa ja virallisesti ensimmäisenä Suomen rakennusliikkeenä. (10.)

Science Based Targets -aloite on vuonna 2015 perustettu organisaatio, joka ajaa ilmastotoimia yksityisellä sektorilla mahdollistamalla yritysten tieteeseen perustuvien päästövähennystavoitteiden asettamista ympäri maailmaa. Science Based Targets -aloitteen muodostavat: CDP-järjestö, YK:n Global Compact -aloite, Maailman luonnonvaraininstituutti (WRI) ja ympäristöjärjestö WWF. Aloitteen tavoitteena on eri alojen yritysten kannustaminen sitoutumaan tieteen perustuviin ilmastotavoitteisiin ja olemassa oleviin hiilidioksidipäästöjen vähentämistä koskeviin vaatimuksiin sekä ryhtymään toimenpiteisiin niiden saavuttamiseksi. (11, s. 3.)

Viime vuosina aloitteesta on tullut maailmanlaajuinen ilmastostandardien asettaja. Muun muassa aloite määrittelee ja edistää vastuullisia käytäntöjä, tarjoaa resursseja ja ohjeita yrityksille sekä varmistaa yritysten tavoitteiden toteuttamista puolueettomasti ja itsenäisesti. SBTi:n tavoitteiden varmennusprosessissa noudatetaan tiukkaa sääntelyä varmistaakseen niiden asianmukaista saavuttamista. (11, s. 3.)

2.3 BY-vähähiilisyysluokitus

Tiukkeneva ilmastolainsäädäntö vaatii liiketoiminnoista myös entistä tarkempaa hiilidioksidipäästöjen seurantaa. On todennäköistä, että yritykset tarvitsevat hyvät edellytykset, työkalut ja keinot ilmastopolitiikan vaatimusten täyttämiseksi. BY-Vähähiilisyysluokitus toimii sellaisena työkaluna rakennusalan päästöjen laskennan haasteisiin. Tässä luvussa pyrimme tutustumaan kyseisen luokituksen periaatteisiin, sillä tulemme tarvitsemaan tämä tieto työn edettäessä.

Betoniyhdistyksen Vähähiilisyysluokitus on vuosina 2021 – 2022 tehty vapaaehtoinen Suomen kansallinen luokitus betonin hiilidioksidipäästöjen ilmoittamiseksi.

Luokitus on tehty Suomen Betoniyhdistys ry:n, Betoniteollisuus ry:n sekä Aalto-yliopiston toimesta. Luokittelun tarkoituksena on vähähiilisten betonien käyttöä helpottaminen. (12, s. 3.)

BY-Vähähiilisyysluokitus jakaa betonilaadut luokkiin hiilidioksidipäästöjen suuruuden perusteella. Luokitus sisältää yhteensä 16 betonilaatua sekä 5 vähähiilisyysluokkaa: GWP.REF, GWP.85, GWP.70, GWP.55, GWP.40. Vähähiilisyysluokkia merkitään GWP.NN – tunnuksilla. Tunnus merkitsee Ilmaston Lämpenemisen Potentiaalia (=Global Warming Potential). GWP.REF on referenssitaso, joka vastaa betonilaaduittain suomalaisten betonivalmistajien keskimääräistä päästötasoa vuonna 2021. Kyseiseen tasoon vertaillaan muiden vähähiilisyysluokkien päästötasot. Tämä tarkoittaa, että muiden vähähiilisyysluokkien päästötasojen on oltava referenssitasoa alhaisempia. Jotta betonia luokitellaan GWP.85:ksi, sen valmistuksen päästöjen täytyy olla korkeintaan 85% verrattuna referenssitasoon. (12, s. 5.)

Taulukossa 1 esitettiin eri betonilujuusluokat sekä niiden valmistuksesta aiheuttamat hiilidioksidipäästöarvot 5 vähähiilisyysluokissa. Päästöjen yksikkönä on kgCO₂e/betoni-m³.

BETONILAATU	kg CO ₂ e/m ³				
	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
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
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 1. BY-Vähähiilisyysluokituksen betonilaadut sekä BY-Vähähiilisyysluokkien raja-arvot. Vähähiilibetoni.fi (12, s. 6)

GWP-päästöjen laskennassa pääosin käytetään BY-Vähähiilisyyslaskuria. Laskenta on betonilaatu- ja betoniasemakohtainen. Päästöt lasketaan reseptikohtaisesti ottaen huomioon valmistajan asettamat päästöarvojen varmuusmarginaalit. (12, s. 7.)

Raaka-aineiden hiilidioksidipäästöjen laskennan osalta tulee huomioida niiden valmistus sekä kuljetus betoniasemalle. Kuljetuksen osalta huomioidaan kuljetustavat, -vaiheet tms. Laskentaan sisälletään myös betoniaseman käyttämä energia ja sähkö. Betonihukan arvona käytetään 2% vakiomäärää. Laskennan lopputuloksena saadaan kokonaispäästöjen määrää GWP_{total} , jota käytetään myöhemmin vähähiilisyysluokan määrittämiseen. Lisäksi laskuri luo kuvassa 1

esitetty vähähiilisyysluokan todistus ja laskelma. Eri vaiheiden päästöt on myös määritettävä, kuten raaka-aineiden hankinta ja kuljetus sekä valmistusprosessin päästöt. (12, s. 7.)



Kuva 1. BY-Vähähiilisyyslaskurin todistus (vasemmalla) ja laskelma (oikealla).
BY-Vähähiilisyysluokitus Taustaraportti 2022, Osa 1. (12, s. 8)

3 Betoni rakennusmateriaalina

3.1 Perustiedot

Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali. Betonia valmistetaan noin 13 mrd. kuutiometriä joka vuosi. Betonin yleisimmät käyttökohteet ovat: talon-, infra-

sekä ympäristörakentaminen. Betonia käytetään eniten perustuksissa ja muissa runkorakenteissa. (13, s. 13.)

Betonin merkittävimmät ominaisuudet ovat: edullisuus verrattuna muihin materiaaleihin, kosteuden kestävyys, lujuus ja jäykkyys, turvallisuus sekä hyvä muokattavuus. (13, s. 13.)

Edullisuuden vuoksi betonin käyttö mahdollistaa massiivisten rakenteiden toteuttamista taloudellisesti. Lisäksi kosteuskestävyyden vuoksi betonia voidaan käyttää monipuolisissa kohteissa, kuten pumppaamoissa, altaissa, padoissa jne. (14.)

Betonia tunnetaan kestävästi puristusta ja tätä ominaisuutta hyödynnetään parhaimmillaan sen käyttökohteissa. Betonin kestävyttä vetorasituksia vastaan parantamiseksi betonirakenteisiin asennetaan vetoraudoitus. (14.)

Lujuus- sekä jäykkyysominaisuuksiensa vuoksi betoni toimii hyvin värähtelyn vaimentajana sekä äänen eristäjänä. Tätä ominaisuutta käytetään yleensä raskaiden koneiden alustoja tai teollisuusrakennusten lattioita valettaessa. (14.)

Helposti ja turvallisesti kierrätettävänä rakennusmateriaalina betoni vastaa nykypäivän haasteisiin erityisen hyvin, mikäli sitä valmistetaan ja käsitellään asianmukaisella tavalla ottaen ympäristövaikutukset huomioon. (15.)

3.2 Betoni ja kestävä kehitys

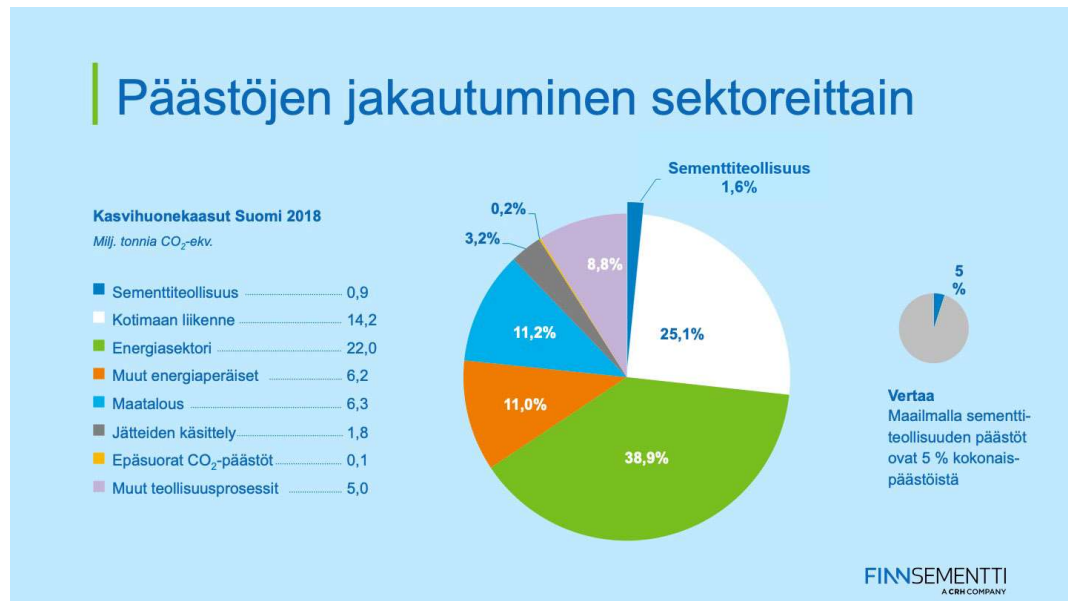
Kestävä kehitys on maailmanlaajuisesti tapahtuva muutos yhteiskunnassa, jonka tarkoituksena on turvata tulevien sukupolvien hyvät elämisen edellytykset. Kestävän rakentamisen tavoitteena on silloin rakentaa tarkoituksenmukaisia, pitkäaikaisia sekä materiaali- ja energiatehokkaita rakennuksia tai rakenteita. Vastuulliseen rakentamiseen liittyy mm. luonnonresurssien käyttö. Betonin valmistuksessa käytetään suuria määriä kiviaineksia, joiden käsittely ja kierrätys täytyy hoitaa ympäristövaatimusten mukaisesti. (16.)

Lähtökohtaisesti betonia pidetään kestäväenä materiaalina sen paikallisuuden vuoksi. Betonilla on erinomaiset kestävyysominaisuudet ja se on täysin kierrätettävä käyttökänsä päätyttyä. Lisäksi betonin tuotannossa hyödynnetään ympäristölle haitalliset teollisuusjätteet, kuten lentotuhka ja masuunikuona, joten niiden varastoinnin tarve vähenee.

Vaikka rakennuksen käyttövaiheessa käytettävä energiamäärä on monikertaisesti suurempi verrattuna rakennusmateriaalien tuotannossa käytettyyn energiaan, betonilla on merkittävä vaikutus rakennusteollisuuden CO₂-päästöihin sen laajan käytön vuoksi. Kestävän kehityksen kannalta betonin vaikutuksen arviointi tulee tehdä yleisellä rakennustasolla, sillä betonin ympäristökuormitus koostuu muutamasta tekijästä:

- betonin raaka-aineiden louhinta ja valmistus;
- betonin valmistus tehtaalla;
- betonin ja osa-aineiden kuljetus. (17, s. 146.)

Betonin pääraaka-aineet ovat sementti, vesi ja kiviaines. Merkittävin hiilidioksidipäästöjen lähde betonissa on sementti, sillä sen valmistuksessa syntyy noin 90% valmisbetonin päästöjen kokonaismäärästä. Kuvassa 2 on esitetty sementtiteollisuuden CO₂-päästöjen osuus Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärästä vuonna 2018. Valmistuksessa syntyvä materiaalihukka on toinen tekijä, joka kasvattaa betonin ympäristökuorman merkittävästi. Betonin kuljetuksen aiheuttamalla ympäristökuormalla on pienin osuus sen valmistuksesta aiheuttamista kokonaispäästöistä, yleensä korkeintaan 5%. (17, s. 146.)



Kuva 2. Päästöjen jakautuminen sektoreittain 2018. Finsementti.fi. (18)

3.3 Betonin osa-aineiden ympäristökuormitukset

Tässä luvussa tulemme käsittelemään betonin osa-aineiden ja etenkin sementin vaikutus betonin ympäristökuormaan, sillä niiden osuus betonituotannon kokonaispäästöistä on suurin.

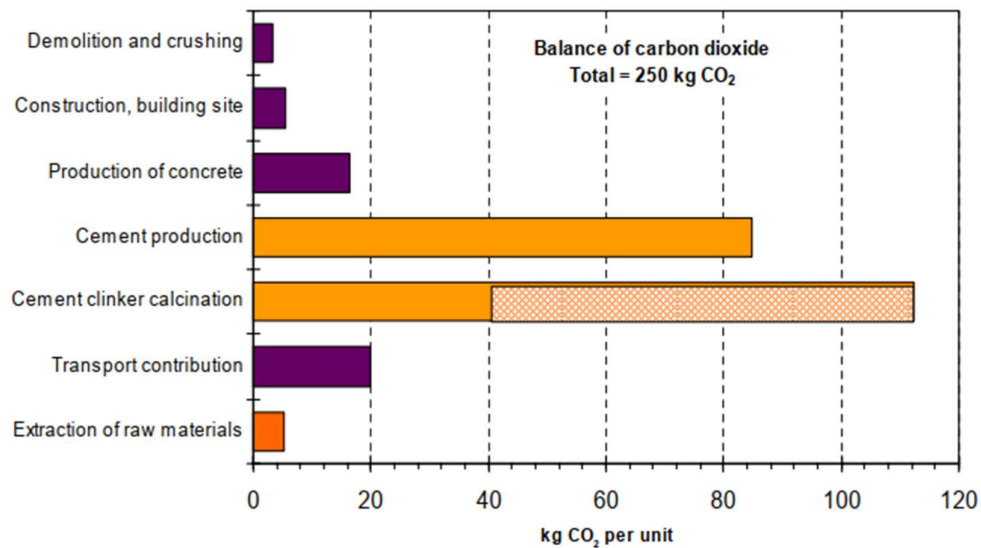
3.3.1 Sementti

Sementti on jauhemainen epäorgaaninen sideaine, joka reagoituessaan veden kanssa muodostaa lujaa ja kestäväää lopputuotetta nimeltään sementtikivi. Sementillä on suuri vaikutus betonin ominaisuuksiin, kuten lämmön- ja lujuudenkehitykseen, työstettävyyteen ja säilyvyyteen. (19, s. 24.)

Sementin CO₂-päästöt muodostuvat sen valmistuksen eri vaiheissa, kuten:

- sementtiklinkkerin poltossa;

- uunin polttoaineen poltossa;
- jauhatuksessa, sähkön käytön ja kuljetusten yhteydessä. (20, s. 148.)



Kuva 3. CO₂-päästöt betonin elinkaaren eri vaiheissa (kg CO₂/m³). (21)

Suurimmat määrät hiilidioksidia syntyvät sementtiklinkkerin valmistuksen yhteydessä. Louhitun kalkkikiven murskauksen jälkeen raakajauhetta esilämmitetään. Kyseistä reaktiota kutsutaan esikalsinoinniksi. Reaktion lopputuloksena kalkkikiven kalsiumkarbonaatti (CaCO₃) hajoaa kalsiumoksidiksi (CaO) ja hiilidioksidiksi (CO₂). (22, s. 24.)

Seuraavaksi kalkkikivi ja muut sementin sisältämät aineet hitaasti kuumennetaan 1450 °C kiertouunissa klinkkerimineraalien muodostumiseksi. Lopuksi klinkkeri, seosaineet ja kipsi huolellisesti jauhetaan kuulamylyssä hienoksi jauheeksi eli sementiksi. (22, s. 25.)

Sementin valmistuksesta syntyviin hiilidioksidipäästöihin voidaan vaikuttaa seuraavilla keinoilla:

- käyttämällä kierrätyspolttoaineita;
- seostamalla sementtiklinkkeriä vaihtoehtoisilla raaka-aineilla;
- parantamalla polttoprosessin energiatehokkuutta muun muassa energia-katselmusten avulla;
- hyödyntämällä erilaiset polttamisen tekniikat ja suodattimet. (23, s. 5)

3.3.2 Lisäaineet

Pääraaka-aineiden lisäksi betonin valmistuksessa käytetään myös seosaineet ja lisäaineet. Lisäaineiden avulla pyritään parantaa betonimassan tai kovettuneen betonin ominaisuuksia. Siitä huolimatta, että lisäaineiden ominaispäästöt oletetaan olevaksi suuret, niiden käytöllä on mahdollista pienentää betonin valmistuksesta aiheutuvaa ympäristökuormaa. (24, s. 150.)

Lisäaineet voidaan käyttää betonimassan sementtipitoisuuden vähentämiseksi, säilyvyysominaisuuksien parantamiseksi ja käyttöiän pidentämiseksi. Lisäaineilla voi olla myös positiivinen vaikutus betonin valmistusaikaisten päästöjen vähentämiseen. (24, s. 150.)

Betonimassan vesimäärää vähentävät lisäaineet mahdollistavat sementtimäärän vähennystä vesi-sementtisuhdetta ja lujuutta kärsimättä. Näin ollen betonin ympäristökuormaa voidaan vähentää 10 – 20 % käyttäen, esimerkiksi notkistavia lisäaineita. (24, s. 150.)

3.4 Ympäristöystävällinen betoni

Ympäristöystävällisyys, taloudellisuus ja säilytettävyyys ovat nykypäivän betonin pääedellytykset. Pääseminen tilanteeseen, jossa kaikki kolme edellytystä ovat

yhtäaikaaisesti voimassa, voi olla kuitenkin hyvin haasteellista. Täytyy muistaa, että ympäristöystävällisyyden tavoitteita voidaan saavuttaa paitsi "vihreiden" materiaalien valinnalla, myös vastuullisilla toimintatavoilla. Hyvin säilyvän ja kestävä rakenteen kunnostustarve sekä energiakulutus lähtökohtaisesti vähenevät ja tämän johtuen rakentamisen pienempää päästötasoa voidaan joskus saavuttaa välttämällä uusien korjausmateriaalien valmistusta, niiden kuljetusta, liiallista energiakulutusta tms.

Ympäristöystävällisellä betonilla tarkoitetaan betonia, jolla on vähäinen vaikutus ympäristöön. Ensimmäinen ympäristöystävällinen betoni on ollut kehitetty Tanskassa vuonna 1998. (25, s. 1.)

Ympäristöystävällistä betonia voidaan valmistaa muokkaamalla perinteisen betonin reseptiä käyttäen "vihreät" korvaavat materiaalit tai hyödyntämällä kestäviä työtapoja. (25, s. 4.)

3.4.1 Ympäristöystävällisen betonin ainesosat

On olemassa kolme yleistä betonivaihtoehtoa, joilla on vähäinen ympäristökuorma:

- betoni minimaalisella klinkkerin pitoisuudella;
- betoni "vihreällä" sementillä;
- betoni epäorgaanisilla jäännösmateriaaleilla. (25, s. 4.)

Kuten mainittiin luvussa 3.3.1, tehokkain keino betonimassan CO₂-kuorman vähentämiseen on pienentää betonissa käytettävän sementin portlandklinkkeripitoisuutta. Vaikutuksen tehostamiseen on mahdollista myös käyttää keinojen yhdistelmä, esimerkiksi sementin klinkkerin korvaaminen sekä betonin sementtimäärän vähentäminen. Yleisimmät materiaalit klinkkerin korvaamiseen ovat: lentotuhka, masuunikuona, kalkkikivijauhe tai muut luonnolliset pozzolaanit sekä kierätysbetonin hienoaines. Korvaavien materiaalien käyttö ja suhteutus riippuu

voimakkaasti niiden paikallisesta saatavuudesta sekä maakohtaisista toimintatavoista sementin valmistuksessa. On ollut todettu, että lujuusluokkien 20 – 30 MPa betoneissa on mahdollista korvata jopa 50% sementtimäärästä säilyttämällä Portland-sementin ominaisuudet. (26, s. 18.)

Masuunikuona on raakaraudan valmistuksen sivutuote, joka muodostuu masuunissa syntyneestä silikaattisulatteesta nopeasti jäädyttämällä vedellä tai höyryllä. Masuunikuonajauheella on piilevät hydrauliset ominaisuudet, jotka aktivoituvat sementin ja veden reaktiossa syntyvän kalsiumhydroksidin vaikutuksesta, jolloin masuunikuona kehittää lujuutta. Masuunikuonaa sisältävä sementti yleensä osoittaa saavuttaneensa alhaisempi varhaislujuus ja tuottavansa matalampi hydrataatiolämpö. Toisaalta sellainen sementti osoittaa saavuttaneensa korkeampi lujuus sekä parempi kemiallinen kestävyys pitkällä aikavälillä. (26, s. 17.)

Lentotuhka on hienoksi jauhetun kivihiilen poltossa syntyvä pozzolaani, jota erotetaan savukaasuista. Lentotuhka myös reagoi sementin hydrataatiossa syntyvän kalsiumhydroksidin kanssa muodostaen silikaattihydraattigeeliä. Lentotuhkaa sisältävissä sementeissä esiintyy alhaisempi varhaislujuus verrattuna tavalliseen Portland-sementtiin, sillä tämä reaktio on sementin hydrataatioreaktiota hitaampi. Lisäksi lentotuhkan käytöllä voidaan vähentää betonimassan vedentarvetta, parantaa sen työstettävyyttä ja koossapysyvyyttä sekä kasvattaa myöhäsiän lujuuksia. (26, s. 17.)

Luonnolliseksi pozzolaaneiksi kutsutaan materiaalit, joilla on vulkaaninen alkuperä, tai sedimenttikivet. Luonnollisesti kalsinoidut pozzolaanit ovat: savi, liusketai sedimenttikivet. Pozzolaanit sisältävät silikaattipitoisia aineita, jotka reagoivat veden ja kalsiumhydroksidin kanssa muodostaen kovettuvaa sementtigeeliä. Muodostuva sementtigeeli parantaa betonimassan lujuuden kehitystä. Betonimassan pozzolaanipitoisuuden kasvattaminen voi alentaa betonin varhaislujuuksia verrattuna Portland-sementtiin. Kuitenkin massan työstettävyyttä, myöhäinen lujuus sekä sulfaattikestävyys pysyvät samalla tasolla. (26, s. 17-18.)

Kalkkikiven käyttö on tehokas tapa vähentää sementtiklinkkeripitoisuutta betonissa. Kalkkikivi ei kuitenkaan edistä kovettuvan sementtipastan lujuudenkehitystä. Tämän johtuen kalkkikiven on oltava hienoksi jauhettu, mikäli halutaan saavuttaa Portland-sementin lujuuden tasoa. Kalkkikiven määrä ja laatu sementissä vaikuttaa kovettuneen sementtipastan sulfaatti- sekä pakkasenkestävyyteen. Kalkkikiven käytöllä voidaan parantaa betonin työstettävyyttä. (26, s. 18.)

Lisäksi Portland-komposiittisementin aineosana voidaan hyödyntää rakennusjätteestä kierrätettyä hienoainesta. Hienoaineksen sallittu määrä vaihtelee 5 – 20% kansallisista standardeista ja vaatimuksista riippuen. (26, s. 18.)

Nykypäivänä kalsinoidun saven, luonnon pozzolaanien, kalkkikiven sekä kierrätyshienoaineksen lisääntynyt käyttö sallii klinkkeripitoisuuden vähentämistä entistä enemmän. Arvioinnin mukaan kalsinoidun saven 8 – 16% pitoisuuksia sekä kalkkikiven 20% pitoisuudet ovat toteutettavissa vuoteen 2050. Myös sementtiklinkkerin pitoisuuden vähentäminen näyttää olevan mahdollisena jopa 59% asti. Täytyy kuitenkin muistaa, ettei tämän päivän markkinoilla ole vielä olemassa sopivaa materiaalia, jolla voidaan täysin korvata sementtiklinkkeriä säilyttäen Portland-sementin ominaisuudet. (26, s. 20.)

3.4.2 Ympäristöystävällisen betonin tuotantotavat

Betonin ympäristökuormaa voidaan alentaa myös vähentämällä sen tuotannon vaikutus ympäristöön. ”Vihreän” betonin tuotantoprosessi edellyttää valmistajalta tietoisuutta raaka-aineiden alkuperäisyydestä, vastuullisia valintoja sekä korkeatasoista energian ja käyttöveden kulutuksen hallintaa.

Betonin valmistuksen aikana kulutetaan suuria määriä energiaa. Tehtailla sähköenergiaa ja polttoaineita käytetään sekoittimiin, kuljettimiin, pumppuihin, kuorma-autoihin jne. Lisäksi betonin osa-aineiden louhinnalla, käsittelyllä sekä kuljetuksella yhteensä on merkittävä osuus energiakulutuksen kannalta. Energiakulutuksen arvot voivat vaihdella paikallisesti ja riippua monista tekijöistä, kuten ajoneuvo-, konetyyppi tms. (27, s. 7.)

Betonin kuljettamisella on huomattava osuus valmistusprosessin tuottamista CO₂-päästöistä. Normaalisti kiviaineksen ja betonin kuljettamiseen käytetyn dieselillä toimivan kuorma-auton päästöt ovat noin 0,1 kg/tonni*km, kun, esimerkiksi säiliöaluksen päästöt ovat noin 0,01 kg/tonni*km tai pienempi. (27, s. 7.)

Betonivalmistajan on huolehdittava myös betonimassan asianmukaisesta käsittelystä sekä kestävien työtapojen hyödyntämisestä tehtaalla. Betonin valmistuksessa syntyy erilaisia jäännösmateriaaleja, kuten: jätevesi, jossa on sementti- tai betonijäännöksiä laitteiden pesusta, sekä kovettunut betonijäte. Kovettuneen betonijätteen määrä yleensä vaihtelee 1 - 3 % koko valmistetusta betonin määrästä. Elementtitehtailla jäännösmateriaaleina ovat yleensä: teräs, eristeet, muovi, puutavara jne. Valmistajan tulee kiinnittää erityistä huomiota näiden materiaalien lajitteluun sekä asianmukaiseen kierrätykseen. (27, s. 8.)

Betonin valmistuksessa käytetään suuria määriä vettä, joten vedenkulutuksen seuraaminen ja hallinta ovat tärkeitä askeleita tuotannon ympäristövaikutuksen vähentämiseen. Yhden betonikuutiometrin valmistukseen sekä työpisteen pesuun tarvitaan keskimäärin 300 litraa käyttövettä. Käyttöveden kulutusta voidaan hallita muun muassa veden uudelleenkäytöllä. Silloin käyttövesi kerätään sedimentaatioaltaaseen, jossa vesi erotetaan betonista ja sementistä. Erotettu sementti- tai betonijäännökset hävitetään muun betonijätteen kanssa. Tietysti veden kierrätys vaatii lisäinvestointeja laitteistoon sekä tietty määrä energiaa, mutta nämä kulut ovat hyvitetävissä alhaisen vedenkulutuksen ansiosta. Vaihtoehtona on myös sadeveden hyödyntäminen. (27, s. 8.)

4 Ympäristöystävälliset betonit

4.1 Suomen markkinat

4.1.1 Rudus Vihreä Betoni

Rudus Oy on valmisbetonia, kiviainesta, betonituotteita sekä kierrätystuotteita ja -palveluita tarjoava yritys, joka toimii Suomessa ja Virossa. (28)

Ruduksen tarjoama Vihreä Betoni säilyttää perinteisen betonin lujuutta samalla keventäessä rakentamisen ympäristökuormaa. Vihreän Betonin tuotesarjaan kuuluu neljä tuotetta vähähiilisyysluokissa GWP.85, GWP.70, GWP.55, GWP.40. Kyseisten vaihtoehtojen CO₂-päästöt ovat 15 – 60% pienemmät kuin vastaavien normaalibetonien päästöt. (29.)

Vihreän Betonin valmistuksessa pyritään pienentämään sementtimäärää korvaamalla sementtiä muilla sideaineilla. Sideaineet saattavat hieman hidastaa betonimassan lujuudenkehitystä, joten Vihreän Betonin lujuusluokan valinnassa täytyy kiinnittää erityistä huomiota betonin lujuudenkehitykseen talviaikana. Normaalialia betonia hieman hitaamman lujuudenkehityksensä vuoksi Vihreä Betoni 20 soveltuu käyttöön lämpimissä olosuhteissa hyvin tai hitaamman kovettumisnopeuden vuoksi Vihreä Betoni 60 soveltuu, esimerkiksi massiivisten rakenteiden valuihin. Lisäksi Vihreän Betonin kuivumisaika osoittautui olevaksi normaalialia betonia nopeampaa sekä kuivumiskutistuma pienempää. (30, s. 2 – 3.)

4.1.2 Ruskon Betoni RB CLEAN

Ruskon Betoni Oy on suomalainen perheyriety, joka erikoistuu valmisbetonin, EK-putkien, kaivojen ja betonielementtien valmistamiseen sekä muiden palveluiden tarjoamiseen. (31)

Ruskon Betoni Etelä tarjoaa RB CLEAN -betonituoteperhettä, joka on ympäristöystävällisempi vaihtoehto normaalibetonille. RB CLEAN:n valmistuksessa käytetään vähähiiliset sideaineet kuten masuunikuona ja muut terästeollisuuden

sivutuotteet sementtiklinkkerin korvaamiseen. Lisäksi sementin poltossa käytävillä kierrätysmateriaaleilla on myös positiivinen vaikutus tuotteen päästöarvoon. (32.)

RB CLEAN on vähähiilisyysluokiteltu ja sen reseptin päästölaskentaan on käytetty Betoniyhdistyksen vähähiilisyyslaskuria. Tuoteperhe on jaettu viiteen vähähiilisyysluokkaan, jotka ovat: RB CLEAN I (GWP.REF), RB CLEAN II (GWP.85), RB CLEAN III (GWP.70), RB CLEAN IV (GWP.55), RB CLEAN V (GWP.40). (32.)

4.1.3 Swerock Eco-Betoni

Swerock Oy on ympäri Suomea toimiva valmisbetonin toimittaja, joka tarjoaa rakentamisen hiilijalanjälkeä vähentävää Eco-Betonia. Eco-Betonin ympäristökuorman vähennystä on saavutettu korvaamalla osaa sementistä terästeollisuuden sivusiirroista saatavalla masuunikuonajauheella. Näin ollen Eco-Betonin hiilidioksidipäästöjä saatiin vähennettyä jopa 50%. (33, s. 2.) Tuotevaihtoehdot ovat: Eco-Betoni 15, Eco-Betoni 30, Eco-Betoni 45, Eco-Betoni 60 (34).

Masuunikuonan käyttö sementin korvakkeena parantaa Eco-Betonin työstettävyyttä, kasvattaa loppulujuutta sekä parantaa sen kemiallista kestävyyttä. Lisäksi lopputuotteen korkeampi kestävyys lähtökohtaisesti vähentää sen ympäristökuormitusta pienemmän korjaustarpeen vuoksi. Eco-betoni soveltuu käyttöön massiivirakenteissa hyvin maltillisen lämmöntuoton ansiosta. Tuotteessa on myös tavallista betonia pienempi kromipitoisuus, minkä vuoksi se on turvallisempi käsitellä. (35, s. 3.)

Eco-Betoni soveltuu sekä sisä- että ulkovaluihin valettavan rakenteen rasitusluokkavaatimusten puitteissa. Tuote on saatavilla kaikissa notkeusluokissa (S1 – S4), maksimiraekolla 8 – 32 mm sekä lujuusluokilla C25/30 ylöspäin. Tuote on valettavissa kaikilla perinteisillä menetelmillä. Kuitenkin rasitusluokkien XF1 – 4 betoneille ei suositella sirotepohjaista pintakäsittelyä. (35, s. 3.)

4.2 Kansainväliset markkinat

Tässä luvussa tutustutaan kansainvälisten markkinoiden ”vihreisiin” valmisbetoneihin. Pyrimme etenkin keskittyä Baltian sekä Keski-Euroopan maiden markkinoihin, sillä niiden maiden YIT Oyj:n Asuminen-segmentit ovat laajuudeltaan liiketoiminnan suurimmat YIT Suomi Oy:n jälkeen. (36, s. 4.)

4.2.1 Heidelberg Materials EcoCrete

Heidelberg Materials on yksi maailman suurimmista sementin, valmisbetonin sekä betonin osa-aineiden valmistajista. Vuoden 2022 yritysesityksen mukaan Heidelberg Materials työllistää 50 780 työntekijää ja toimii noin 3 000 toimipai-koissa ympäri maailmaa. Yritys toimii Liettuassa (UAB HC Betonas), Puolassa (Góraždze Beton), Tšekissä (Českomoravský beton, a.s.), Latviassa (HC Betons) ja Virossa (HC Betoon). (37, s. 3.)

Heidelberg Materials tarjoava valmisbetoni EcoCrete on ominaisuuksiltaan täysin normaalia betonia vastaava tuote. Tuote täyttää DIN EN 206-1/DIN 1045-2 –standardin vaatimukset ja on sertifioitu ISO 9001 –standardin mukaisesti. Tuotteen valmistuksessa on mahdollista päästä 66% päästövähennykseen hyödyntäen ympäristöystävällisiä raaka-aineita, uudistunutta ja kehittyntä betonireseptiä sekä Heidelberg Betonin kehittämää vihreää sähköä HeiVoltage sekä vastuulista vedenkäyttöä ja energiaa säästävää logistiikkaa. (38, s. 1-2.)

EcoCrete – tuoteperheeseen kuuluvat: EcoCrete 30, EcoCrete 40, EcoCrete 50, EcoCrete R, EcoCrete 30R, EcoCrete 40R, EcoCrete 50R. Tuotteiden nimitykset vastaavat niiden CO₂ – päästöarvon vähennystä prosenteissa alan viitearvoon verrattuna. R – tunnus merkitsee, että tuotteen valmistuksessa on käytetty myös kierrätysmateriaaleja. EcoCrete on saatavilla eri lujuus- ja rasitusluokissa. (38, s. 3.)

5 Ympäristöystävällisten betonien käyttö

Rakenteiden toiminnan kannalta betonin tärkein ominaisuus on kestävyys muodonmuutoksia vastaan. Nämä muodonmuutokset ovat: kutistuminen, viruma, halkeilu ja tiiviys. Kovettuneen betonin merkittävimpiin ominaisuuksiin kuuluvat: lujuus ja säilyvyys rasituksia vastaan. (39, s, 69.)

Lujuus- ja säilyvyysominaisuuksien lisäksi betonimassan työstettävyyteen on kiinnitettävä huomiota, sillä työstettävyydellä on suora vaikutus työn etenemiseen, aikatauluun ja työmenetelmiin. Näillä tekijöillä puolestaan on suuri vaikutus kustannuksiin. (39, s, 69.)

Kaikilla betonin ominaisuuksiin liittyvillä valinnoilla ja toimenpiteillä on suuri merkitys työn lopputulokseen. Etenkin suunnitteluratkaisuilla sekä työmenetelmien ja tuotteiden valinnoilla on keskinen rooli lopputuotteeseen kohdistuvien laatuvaatimusten täyttämässä. Tässä luvussa pyrimme tarkastella ”vihreiden” betonien käyttöä rakennustuotannon ja rakennesuunnittelun näkökulmasta. (39, s, 69.)

5.1 Rakennustuotannon näkökulma

Toteutusvaiheen toimenpiteillä ja valinnoilla on suuri vaikutus betonityön onnistumiseen ja sen lopputuloksen laatuun. Toteutusvaiheessa korostuu etenkin betonimassan sekä kovettuneen betonin ominaisuuksien merkitys. Saadakse riittävän kattava kuva rakennustuotannon näkökulmasta, järjestettiin teemahaastattelu YIT Suomi Oy:n kehitysinsinöörin kanssa. Teemahaastattelun avulla pyrittiin selvittää ”vihreiden” betonien käyttöä koskevat edellytykset ja tekijät, joihin kannattaa kiinnittää huomiota toteutusvaiheessa.

Rakennustuotannon näkökulmasta ”vihreiden” betonien käytön yhteydessä tulisi huomioida lujuudenkehitys, muottien purkamislujuus, sääolosuhteet sekä lämmityksestä ja aikataulun pidentämisestä aiheutuvat kustannukset ja muut aikataulun muutoksista johtuvat tekijät. Hyvin tärkeänä edellytyksenä ovat myös

työmaan ja hankesuunnittelun yleinen tietoisuus ja perehtyneisyys tietyn tuotteen ominaisuuksiin ja sille soveltuviin käsittelytapoihin. (40.)

5.1.1 Lujuudenkehitys

Kovettuneen betonirakenteen tärkein ominaisuus on kestävyys rasituksia vastaan. Nämä ominaisuudet saavutetaan pääosin betonin puristuslujuuden ansiosta. Valetun rakenteen asianmukainen lujuudenkehitys määrittelee sen kesto-kykyä. (41, s. 84) Pääsääntöisesti lujuudenkehitys riippuu paitsi betonin lujuusluokasta, myös betonointityöstä, tiivistämisestä, jälkihoidosta sekä betonimassan ja ympäristön lämpötilasta. (41, s. 88.)

Käytännön havaintojen perusteella ”vihreiden” betonien lujuudenkehitys osoittautui olevaksi normaalia betonia hitaampaa myöskin silloin, kun käytetään kiihdyttimiä. Arvosteluikä on kasvanut 28 vuorokaudesta 88 vuorokauteen. Betonimassan varhaislujuuden saavuttamistahti on jäänyt hyvin hitaaksi. Betonin kovettuminen on kestänyt muutaman tunnin pidempää verrattuna normaalibetoniin. Kyseisellä tekijällä on kokonaisvaltainen vaikutus työnaikaiseen työturvallisuuteen sekä runkoaikatauluun ja tätä kautta hankkeen kustannuksiin. Pilottikohteen ”vihreän” valun toteutuksen perusteella todettiin, ettei käytössä oleva betoni soveltunut 1 viikon runkokiertoon. (42.)

5.1.2 Hankesuunnittelu

Yllä mainitusta tiedosta johtuen voidaan päätellä, että ”vihreiden” betonirakenteiden tavallista hitaampi lujuudenkehitys tulee edellyttämään rakennustuotannolta tarkkaa ennakkosuunnittelua hankesuunnittelun vaiheessa etenkin varaamalla runkovaiheelle tarpeeksi aikaa ja resursseja, selvittämällä ”vihreän” tuotteen ominaisuudet, arvioimalla ja vertailemalla sen käytön mahdollisuudet ja riskit. Tarkan ennakkosuunnittelun avulla voidaan tehdä oikea tuotevalinta ja näin ehkäistä toteutusvaiheen ei-toivotut poikkeamat tai varautua niihin. (42.)

5.1.3 Lämmitystarve ja sääolosuhteet

Betonimassan sitoutumis- sekä jälkihoitovaiheessa tapahtuvat lämpötilaerot voivat aiheuttaa haitallisia jännityksiä betonirakenteen eri osissa tai lujuudenkehityksen pysähtymistä. Näin ollen oikealla lämpötilalla ja betonille soveltuvilla olosuhteilla on merkittävä rooli betonitöiden onnistumisessa.

“Vihreää” betonia käyttäessä on tärkeää huomioida rakenteiden lämmitystarve tai sääolosuhteiden vaikutukset jo hankeen suunnitteluvaiheessa, sillä ympäristön lämpötilalla on keskeinen vaikutus betonin lujuudenkehitykseen. Haastattelussa selvitettiin, että ”vihreä” betoni vaatii lisälämmitystä jo viileissä olosuhteissa (+8 °C), minkä vuoksi kyseisen betonin käyttö talvibetonoinnissa pysyy edelleen hyvin haasteellisena. (42.)

Tämän lisäksi pidempi lämmitysjakso työmaaolosuhteissa edellyttää poikkeuksellisen suurta energiakulutusta ja tämän kautta rakentamisen ympäristökuormitus pysyy keskimäärin samalla tasolla, kuin jos käytettäisiin normaalibetonia. Tässä tapauksessa on mahdollista myös käyttää vaihtoehtoisia ”vihreitä” lämmitystapoja. (42.)

Lisäksi on huomioitu, että käytetty ”vihreä” tuote ei tuottanut liiallista lämpöä kovertumisvaiheessa, mikä voi olla eduksi lämpimissä sääolosuhteissa suoritettavissa massiivivaluissa. (42.)

5.1.4 Työstettävyys

Betonin työstettävyydellä tarkoitetaan betonimassan ominaisuus, joka kuvaa miten helposti massaa voidaan sekoittaa, levittää ja viimeistellä. Käytännössä työstettävyysominaisuuksilla on vaikutus betonin lujuuteen, laatuun, ulkonäköön ja työvoimakustannuksiin.

Betonimassan työstettävyyteen vaikuttaa sen notkeus. Notkeudella on suora vaikutus rakenteiden valettavuuteen ja pintojen viimeistelyyn. Notkea betonimassa

on helpompi ja nopeampi käsiteltävä, kuitenkin massan erottumis- ja halkeiluriski on silloin korkeampi. (43, s. 70.)

”Vihreän” betonin työstettävyyden osalta ei ollut tähän asti huomattu poikkeuksellista eroa verrattuna perinteiseen betoniin. Kannattaa kuitenkin ottaa huomioon massan hitaampi kovettumistahti, mikä siirtyy betonin pintakäsittelyn tai jälkihoidon aloittamisajankohdan myöhemmäksi. Tilanteessa, jossa joudutaan käyttämään kiihdyttimiä betonin lujoudenkehityksen nopeuttamiseksi, riskinä voi olla massan työstettävyyssajan liiallinen lyhentäminen. Tämä saattaa aiheuttaa haasteita betonipinnan käsittelyssä ja sen seurauksena lisätä tasoittamisen tarvetta, minkä johtuen muodostuu lisäympäristökuorma. Lisäaineiden käyttöön, kuten kiihdyttimiin, tulee silloin kiinnittää erityistä huomiota annostuksen sekä betonin muiden ainesosien soveltuvuuden kannalta, sillä ne voivat vahvasti määritellä betonimassan työstettävyysominaisuudet, -aika ja yleisesti rakenteen kestävyysominaisuudet myöhemmässä vaiheessa. (44.)

Lisäksi ”vihreä” betonimassa osoittautui olevaksi hyvin sitkeä ja tarttuva, joten riskinä voi olla lisääntynyt käyttöveden kulutus muun muassa työvälineiden pesua varten (44).

5.1.5 Kestävät toimintatavat

Kestävän rakentamisen kulmakivet ovat: tarkoituksenmukaisuus, pitkäaikaisuus, materiaali- sekä energiatehokkuus. Kestävän rakentamisen lopputuloksena pyritään saada turvalliset, terveelliset ja helppokäyttöiset rakennukset ja rakenteet sekä taata niiden pysyminen sellaisina koko elinkaaren aikana. Kestävää rakentamista pyritään tarkastella ensisijaisesti käyttäjien turvallisuuden ja lopputuotteen energiatehokkuuden kannalta. (45, s. 142.) Lisäksi pyritään muistaa, että kestävä rakentaminen on etenkin kokonaisuus vastuullisia valintoja, kestäviä materiaalia ja työtapoja.

Yksi kestävästä toimintatavoista, joita rakennustuotannolla on mahdollisuus hyödyntää tällä hetkellä, on Betoniyhdistyksen julkaiseman vähähiilisyysluokituksen

käyttöönotto. Kuten mainittiin luvussa 2.3, vähähiilisyysluokitus on valmishetonien hiilidioksidipäästöjä kuvaava luokitus. Luokitus on vapaaehtoinen. Kuitenkin sen käyttöönotto kannattaa jo tässä vaiheessa, sillä lähivuosien aikana Maankäyttö- ja rakennuslakiin (132/1999) tuleva vähähiilisyys sääntelykehikko edellyttäisi rakentamisen laadun ja arvon parantamista etenkin hiilineutraalisiirtymän avulla. Tämän hetken rajauksena olisi luokiteltujen betonien paikallinen saatavuus. (46.)

Toisena merkittävänä menettelytapana on työmaan vaihtoehtoisten lämmityskeinojen hyödyntäminen. Esimerkiksi toteutusvaiheessa on mahdollista hyödyntää hiilidioksidipäästötöntä kaukolämpöä. (46.)

Kolmannes ja mahdollisesti tärkein tekijä rakentamisen CO₂-päästöjen vähentämiseen on materiaalien vastuullinen käyttö sekä rakennusjätteiden asianmukainen lajittelu ja kierrätys. Materiaalien vastuullinen käyttö edellyttää materiaalien huollon tarpeen ja niiden vaikutuksen energiakulutukseen huomiointi, kuten myös materiaalihukan minimointi. Etenkin tarkkuus materiaalien hankinnassa korostuu merkittävästi, kun otetaan huomioon esimerkiksi hukatun betonin valmistuksen, kuljetuksen ja käsittelyn aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. (46.)

5.2 Rakennesuunnittelun näkökulma

Rakennesuunnittelulla on keskeinen rooli kestävässä rakentamisessa, sillä sen kautta pystytään kokonaisvaltaisesti vaikuttamaan rakennusten tai rakenteiden ympäristökuormituksen vähentämiseen kestävin rakenneratkaisuin. Rakennesuunnittelija pystyy hyödyntämään ”vihreä” betonia monipuolisesti sekä uudis- että korjausrakentamisessa.

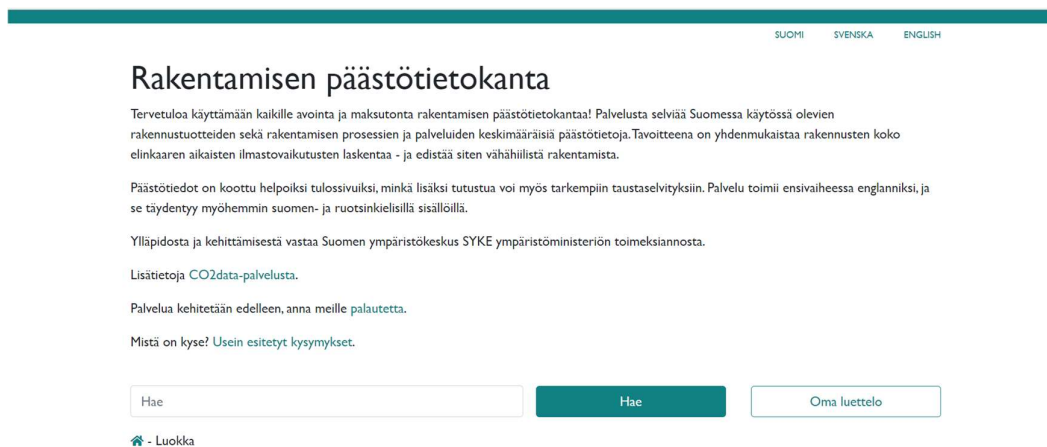
Ramboll Finland Oy projektinjohtajan seminaariesityksen pohjalta selvitettiin, että rakennesuunnittelun kannalta ”vihreiden” betonien käytön yhteydessä tulee ottaa huomioon tulevan ilmastomuutokseen liittyvän sääntelyn vaikutus, ”vihreiden” tuotteiden kehitystarpeet, kestävät rakenneratkaisut, betonin ympäristökuorman laskelmat sekä hitaan lujuudenkehityksen vaikutus hankkeen aikatauluun. (47.)

5.2.1 Betonin vähähiilisyysluokitus

Tuleva Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) uudistus tulee asettamaan rakennusten lupavaiheessa raja-arvot elinkaaren aikaisille ympäristövaikutuksille. Uusien vaatimusten täyttäminen käytettävien materiaalien osalta voidaan varmistaa Rakennustietosäätiön RTS EPD-ympäristöselosteen, Suomen Ympäristökeskuksen kehittämän CO₂data.fi-sivuston sekä BY:n Vähähiilisyysluokituksen avulla. (48.)



Kuva 4. RTS EPD-ympäristöselosteen etusivu. Cer.rts.fi. (49)



Kuva 5. CO₂data.fi etusivu. Co2data.fi. (50)

Pääsääntöisesti “vihreiden” betonien käyttö ei muuta rakennesuunnittelun periaatteita paljon. Poikkeuksena on suunnitelma-asiakirjoihin lisättävä GWP-luokitustunnus siihen soveltuviin betonilaatuihin. (51.)

Useimmiten julkisivu ja parvekkeet, jotka kuuluvat rasisitusluokkiin XF1 ja XF3, voidaan suunnitella luokan GWP.85 betonista. Vähähiiliset betonit GWP.55 ja GWP.40 ovat turvallisia käyttämään seuraavissa rasisitusluokissa: X0, XC1, XC2. Suunnittelussa täytyy muistaa ottaa huomioon betonin paikallista saatavuutta, varmistamalla valmistajan kykyä toimittaa tarvittavaa betoniluokkaa työkohteeseen. Luokan GWP.85 betoni on yleensä saatavilla lähes kaikilta betoniasemilta eikä sen käyttö edellytä erityisiä toimenpiteitä. Muiden GWP-luokkien saatavuus on varmistettava tapauskohtaisesti. (51.)

Muun muassa rakennesuunnittelijan on kiinnitettävä huomiota betonin pidempään arvosteluikään, joka on 91 vrk. Laboratoriokokeiden avulla kuitenkin on ollut todettu, että joissakin tapauksissa betoni on saavuttanut tarvittavaa nimellisuutta jo 88 vuorokauden kohdalla. (51.)

5.2.2 Ympäristöystävällisen betonin kehitystarpeet

Merkittävä "vihreiden" betonien kehityskohta on tiedon puute betonin kuivumisajasta, mikä on hyvin oleellinen tieto kosteudenhallinnan ja aikataulutuksen kannalta. On tiedossa, että kyseistä aihetta parhaimmillaan tutkitaan Aalto-yliopistossa tällä hetkellä. (51.)

Toisena "vihreiden" betonien kehityskohtana on pakkasenkestävyyden kehittäminen. Tämänhetkisen tiedon mukaan huokostettua vähähiilistä betonia on parhaiten saatavilla luokissa C30/37 - C50/60 GWP.85 ja GWP.70. (51.)

Kolmantena kehityskohtana on betonin hidas lujoudenkehitys. Tästä johtuen lujoudenkehitykselle soveltuvat olosuhteet ovat merkittävässä asemassa. (51.)

5.2.3 Rakennerratkaisut

Tässä luvussa käsitellään vähähiilisillä betoneilla toteutettavissa olevat rakennerratkaisut. Taulukoissa 2 – 4 esitetään vähähiiliset betonit rasitusluokittain rakennuskohtaisesti.

Taulukoissa esitettyjen tietojen perusteella voidaan päätellä, että GWP.85-luokan vähähiiliset betonit useimmiten soveltuvat käyttöön julkisivurakenteissa rasitusluokissa XF1, XF3 tai XC3. Luokkien GWP.55 ja GWP.40 betonit soveltuvat parhaiten käyttöön sisäpuolisissa runkorakenteissa ja perustuksissa rasitusluokissa XC1 ja XC2.

Julkisivut XF1	GWP.85
Julkisivut XF3	GWP.85
Sisäpuoliset runkorakenteet XC1	GWP.55, GWP.40
Perustukset XC2	GWP.55, GWP.40

Taulukko 2. Asuinkerrostalon betoniluokat rasisluokittain. (51)

Julkisivut XF1	GWP.85
Julkisivut XF3	GWP.85
Sisäpuoliset runkorakenteet XC1	GWP.55, GWP.40
Perustukset XC2	GWP.55, GWP.40

Taulukko 3. Halli- ja teollisuusrakennusten betoniluokat rasisluokittain. (51)

Tasojen ja ramppien alapinnat XF1; XC3	GWP.85
Seinät ja pystyrakenteet rakennuksen sisällä XF1; XC3	GWP.85
Perustukset XC2	GWP.55, GWP.40

Taulukko 4. Pysäköintirakennusten betoniluokat rasitusluokittain. (51)

5.2.4 “Vihreän” betonin laskelmat

Betonirakenteita suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon se, että rakenteiden hiilijalanjälki koostuu betonista, raudoitteista sekä mahdollisista lämmöneristeistä. Tietyn rakenteen hiilijalanjäljen laskennassa voidaan käyttää erilaisia menetelmiä ja etenkin CO₂data.fi-palvelua. (51.)

CO₂data.fi-palvelun avulla voidaan vertailla, esimerkiksi C25/30 (ei huokostettu) lujuusluokan normaalibetonista ja saman lujuusluokan GWP.70 vähähiilisestä betonista valmistettujen 260 mm massiivilaattojen hiilijalanjäljet olettaen laatan painoa olevaksi noin 628 kg/m².

Rakenne	Muunnoskerroin, kg/m ²	Ympäristökuorman arvo, kgCO ₂ e/kg	Ympäristökuorma yhteensä, kgCO ₂ e/m ²
C25/30 massiivilaatta	628	0,115	72,22
GWP.70 C25/30 massiivilaatta	628	0,08	50,24

Taulukko 5. 260 mm massiivilaatan hiilijalanjäljen vertailu.

Taulukossa 4 esitettyjen laskelmien perusteella selvitetiin, että GWP.70-luokan betonin käytöllä massiivilaatan hiilijalanjälkeä voidaan vähentää ainakin 30% verrattuna normaalibetoniin. Keskimäärin suurimman hiilijalanjäljen rakenteet ovat: välipohjan ontelolaatta, yläpohjan ontelolaatta ja kevytsoraeriste sekä kantava väliseinä. Tämän hetken markkinoilla olevilla tuotteilla on mahdollista päästä keskimäärin 25% päästövähennyksiin. Kestävillä betonirunkorakenteiden ratkaisuilla on mahdollista päästä puukerrostalon hiilidioksidipäästötason jo tällä hetkellä. (51.)

5.2.5 Aikatauluvaikutus

“Vihreää” betonia käyttäessä täytyy kiinnittää huomiota sen vaikutukseen hankkeen aikatauluun. Aikataulun vaikutus koskee sekä paikallavalu- että elementtirakenteiden käyttöä, sillä vähähiilisyydellä on suora vaikutus betonin

saatavuuteen. Paikallavalurakenteiden osalta betonin hidas 91 vuorokauden lujuudenkehitys vaikuttaa työmaan toteutusaikatauluun merkittävästi. Kuitenkin useat sementtiluokat mahdollistavat suunnitellun lujuuden saavuttamista myös 28 vrk:n arvosteluiällä kuten perinteisellä betonilla. Nämä on tarkasteltava tuote-kohtaisesti. (51.)

Rakennesuunnittelijan toteuttama lujuusoptimointi voi epäonnistua, mikäli sääolosuhteet tai rakenteiden työnaikainen suojaus ovat olleet huomioitu puutteellisesti toteutuksen ja aikataulun suunnittelussa. Erityisesti kyseiset tekijät pätevät talvibetonoinnin ja sääsuojauksen osalta ”vihreiden” betonien heikomman pakkasen- ja suolarasituskestävyyden vuoksi. Vähähiiliset ratkaisut luovat uudet edellytykset rakennesuunnittelulle kokonaisvaltaisesti ja niiden kasvavan merkityksen vuoksi rakennesuunnittelijan on osattava tarkastella projektin kokonaisuutta uudella tavalla. (51.)

6 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selostaa Suomen ja kansainvälisillä markkinoilla saatavilla olevat ympäristöystävälliset valmisbetonituotteet, joita YIT Suomi Oy voisi hyödyntää rakennustuotannossa, sekä tarkastaa niiden käyttö rakennustuotannon ja rakennesuunnittelun näkökulmasta. Muun muassa opinnäytetyössä tutustuttiin ”vihreiden” betonien määritelmään, niiden erikoisominaisuuksiin sekä ajankohtaiseen ilmastosäätelyyn ja sen vaikutuksiin rakennusteollisuuteen.

Suomen hallitus on käynnistänyt hallitusohjelman, jonka tavoitteena on hiilineutraali Suomi vuoteen 2035 mennessä. Rakennusteollisuudella on suuri merkitys Suomen hiilidioksidipäästöjen hillitsemisen tavoitteiden kannalta, sillä ainoastaan sementtiteollisuuden hiilidioksidipäästöjen osuus koko Suomen vuonna 2018 tuottamista vuosipäästöistä on ollut 1,6%. Kyseinen osuus vastaa noin 0,9 milj. tonnia CO₂-ekv.

Lähtökohtaisesti betoni on hyvin ympäristöystävällinen rakennusmateriaali. Siitä huolimatta massatuotannossa valmistetaan valtavia määriä betonia vuosittain ja tämän johtuen betonin suhteellisen pieni ympäristökuorma voi kasvaa moninkertaisesti. Tämän ongelman ratkaisemiseksi betonivalmistajat pyrkivät vähentämään betonin ympäristökuormaa käyttämällä erilaisia sideaineita.

Suomen ja Euroopan markkinoilla on saatavilla hyvin monipuoliset vähähiiliset betonituotteet, jotka soveltuvat käyttöön paikallavaluissa. Niistä korostuivat seuraavat tuotteet: Rudus Vihreä Betoni, Ruskon Betoni RB CLEAN, Swerock Eco-Betoni ja Heidelberg Materials EcoCrete.

Yhteenvedona rakennustuotannon ja rakennesuunnittelun näkökulmasta vähähiilisten betonien käytössä on kiinnitettävä huomiota etenkin hitaan lujuudenkehitykseen, aikatauluun, ennakoivaan hankesuunnitteluun, betonin työstettävyysominaisuuksiin ja saatavuuteen sekä asianmukaisiin sääolosuhteisiin, lämmitystarpeeseen ja vastuullisten työtapojen hyödyntämiseen.

Tutkimus on osoittanut, että vähähiiliset valmisbetonit ehdottomasti tuovat uusia mahdollisuuksia rakennusalan hiilidioksidipäästöjen hillitsemiseen, mutta tämän hetken markkinoilla olevilla tuotteilla on edelleen olemassa useita kehityskohtia. Merkittävimmät kehityskohdat ovat: hidas lujuudenkehitys ja heikko pakkasenkestävyys. Toisaalta lämpimässä lämpötilassa tapahtuvissa massiivivaluissa "vihreän" betonimassan pieni lämmöntuottavuus osoittautui olevaksi eduksi.

Viimeisten vuosikymmenien aikana yhteiskunnassa on tapahtunut positiivinen käänös ilmastotoimien merkitystä ajatelleen. Ilmastomuutosta käsiteltävissä asetuksissa ja -laeissa määritetään selkeät määrälliset tavoitteet aikavälineen, mikä ehdottomasti luo yhteinen selkeä käsitys asettamista vaatimuksista sekä siitä, mihin toimenpiteisiin yhteiskunnan kannattaa ryhtyä. Entistä useampi rakennusteollisuuden yritys pyrkii vastaamaan nykypäivän vaatimuksia sekä vastuullisen toiminnan merkitys korostuu vahvasti. Perspektiivissä ympäristöystävälliset betonit ovat tehokas tapa vähähiilisyyksivaatimusten täyttämiseksi. Tulemme varmasti todistamaan uusien innovatiivisten "vihreiden" valmisbetonituotteiden

kehitystä ja niiden avulla toteutettavia projekteja laajemmassa mittakaavassa tulevien vuosien aikana.

6.1 Jatkotutkimus

Tässä opinnäytetyössä ei otettu kantaa useampiin asioihin, kuten ”vihreiden” betonien kutistumaan, virumaan ja kuivumisaikaan hyvin rajatun tiedon vuoksi. Tämän johtuen nämä tekijät on syytä huomioida jatkotutkimuksessa silloin, kun riittävän kattavat tutkimustulokset Suomessa saatavilla olevista betoneista ovat tiedossa. Tämän hetken Suomen markkinoilla olevien tuotteiden kehityskohdat ovat: hidas lujuudenkehitys ja normaalia betonia heikompi pakkasenkestävyys. Jatkotutkimuksen kannalta on myös hyödyllistä tehdä laajempaa tarkastelua kansainvälisillä markkinoilla saatavilla olevista ”vihreistä” betoneista sekä rakennustuotannon ja rakennesuunnittelun toimintatavoista ja vertailla nämä Suomessa käytettäviin. Tarkastelun ja vertailun avulla voidaan muun muassa luoda paremmat edellytykset rakennustuotannon ja rakennesuunnittelun kehitykselle tulevaisuudessa.

Lähteet

- 1 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. 2022. Verkkoaineisto. United Nations Environment Programme. <<https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>>, s. 42. Luettu 25.02.2023.
- 2 Vuosikatsaus 2022. 2023. Verkkoaineisto. YIT Oyj. <https://www.yit-group.com/siteassets/investors/annual-reports/2022/yit_vuosikatsaus_2022_fi.pdf>, s. 4. Luettu 25.02.2023.
- 3 Vastuullinen johtaminen. 2023. Verkkoaineisto. YIT Oyj. <<https://www.yit-group.com/fi/vastuullisuus/vastuullisuuden-johtaminen>>. Luettu 25.02.2023.
- 4 Kansainvälinen ilmastopolitiikka. 2023. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/kansainvalinen-ilmastopolitiikka>>. Luettu 25.02.2023.
- 5 United Nations Framework Convention On Climate Change. 1992. Verkkoaineisto. United Nations. <<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>>, s. 4. Luettu 25.02.2023.
- 6 Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change. 1997. Verkkoaineisto. United Nations. <<https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/cop3/l07a01.pdf>>. Luettu 25.02.2023.
- 7 Paris Agreement. 2015. Verkkoaineisto. United Nations. <https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf>, s. 3. Luettu 25.02.2023.
- 8 Ilmastolaki 432/2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2022/20220423>
- 9 Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. 2022. Verkkoaineisto. Työ- ja elinkeinoministeriö. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164321/TEM_2022_53.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, s. 12. Luettu 25.02.2023.
- 10 YIT commits to Science Based Targets initiative as the first Finnish construction company. 2021. Verkkoaineisto. news.cision.com. <<https://news.cision.com/yit-oyj/r/yit-commits-to-science-based-targets-initiative-as-the-first-finnish-construction->

company,c3455774#:~:text=YIT%20com-mits%20to%20the%20Science%20Based%20Targets%20initiative,both%20in%20its%20own%20operations%20and%20value%20chain.>. Luettu 4.3.2023.

- 11 Science Based Targets Initiative Annual Progress Report, 2021. 2022. Verkkoaineisto. The Science Based Targets Initiative. <<https://science-basedtargets.org/resources/files/SBTiProgressReport2021.pdf>>, s. 3. Luettu 4.3.2023.
- 12 BY-Vähähiilisyysluokitus Osa 1, Taustaraportti 2022. 2022. Verkkoaineisto. Suomen Betoniyhdistys. <https://vahahiilinenbetoni.fi/wp-content/uploads/2022/06/by_vahahiilisyysluokitus_osa1-1406.pdf>, s. 3, 5 – 8. Luettu 19.3.2023.
- 13 Suomen Betoniyhdistys ry. 2019. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. Helsinki: BY-Koulutus Oy, s. 13
- 14 Betonin ominaisuudet ja käyttö. Verkkoaineisto. Betoni. <<https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto/>>. Luettu 19.3.2023.
- 15 Betonin kierrätys ja uudelleenkäyttö. Verkkoaineisto. Betoni <<https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/kiertotalous/>>. Luettu 19.3.2023.
- 16 Mitä on kestävä kehitys? 2022. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/mita-on-kestava-kehitys>>. Luettu 19.3.2023.
- 17 Suomen Betoniyhdistys ry. 2019. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. Helsinki: BY-Koulutus Oy, s. 146
- 18 Päästöjen jakautuminen sektoreittain. Verkkoaineisto. Finnsementti Oy. <<https://finnsementti.fi/palvelut/ymparisto/co2-tarina/>>. Luettu 19.3.2023.
- 19 Suomen Betoniyhdistys ry. 2019. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. Helsinki: BY-Koulutus Oy, s. 24
- 20 Suomen Betoniyhdistys ry. 2019. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. Helsinki: BY-Koulutus Oy, s. 148
- 21 CO₂ emissions distributed on the phases in a concrete life-cycle. 2007. Verkkoaineisto. Glavind, Mette, Vestergaard Nielsen, Claus. <https://www.dti.dk/_media/24786_Danish%20Experiences%20with%20a%20Decade%20of%20Green%20Concrete.pdf>, s. 7. Luettu 19.3.2023.

- 22 Suomen Betoniyhdistys ry. 2019. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. Helsinki: BY-Koulutus Oy, s. 24-25
- 23 Ympäristöraportti 2022. 2023. Verkkoaineisto. Finnsementti Oy. <<https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/Ymparistoraportti-Finnsementti-2022-1.pdf>>, s. 5. Luettu 19.3.2023.
- 24 Suomen Betoniyhdistys ry. 2019. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. Helsinki: BY-Koulutus Oy, s. 150
- 25 "Green" Concrete in Denmark. 2000. Verkkoaineisto. Glavind, Mette, Munch-Petersen, Christian. <https://www.dti.dk/_/media/GreenConcreteInDenmark.pdf>, s. 1, 4. Luettu 19.3.2023.
- 26 The ECRA Technology Papers 2022 – State of Art Cement Manufacturing – Current Technologies and their Future Development. 2022. Verkkoaineisto. European Cement Research Academy, Ed. <https://ecra-online.org/fileadmin/redaktion/files/pdf/ECRA_Technology_Papers_2022.pdf>, s. 17, 18, 20. Luettu 19.3.2023.
- 27 Danish Experiences with a Decade of Green Concrete. 2007. Verkkoaineisto. Glavind, Mette, Vestergaard Nielsen, Claus. <https://www.dti.dk/_/media/24786_Danish%20Experiences%20with%20a%20Decade%20of%20Green%20Concrete.pdf>, s. 5, 7, 8. Luettu 19.3.2023.
- 28 Rudus Oy. 2023. Verkkoaineisto. finder.fi. <<https://www.finder.fi/Betoni/Rudus+Oy+p%C3%A4%C3%A4konttori/Helsinki/yhteystiedot/153431>>. Luettu 18.3.2023.
- 29 Vihreä Betoni. 2023. Verkkoaineisto. Rudus Oy. <<https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/vihrea-betoni>>. Luettu 18.3.2023.
- 30 Vihreä Betoni esite. 2022. Verkkoaineisto. Rudus Oy. <<https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/vihrea-betoni-luonto-kiittaa-betoni-kestaaj#>>, s. 2 – 3. Luettu 18.3.2023.
- 31 Ruskon Betoni Oy. 2023. Verkkoaineisto. finder.fi. <<https://www.finder.fi/Betoni/Ruskon+Betoni+Oy/Oulu/yhteystiedot/173702>>. Luettu 19.3.2023.
- 32 RB CLEAN esite. 2022. Verkkoaineisto. Ruskon Betoni Oy. <<https://www.ruskonbetonietela.fi/wp-content/uploads/2022/11/RB-CLEAN-Ruskon-Betoni-Etela-2022-v.1.1.pdf>>, s. 2. Luettu 19.3.2023.

- 33 Swerock Eco-Betoni esite. 2022. Verkkoaineisto. Swerock Oy. <<https://swerock.fi/siteassets/swerock---betoni/eco-betoni/swerock-eco-betoni-esite-helmikuu-2022.pdf>>, s. 2. Luettu 19.3.2023.
- 34 Swerock Eco-Betoni tekninen esite. 2022. Verkkoaineisto. Swerock Oy. <<https://swerock.fi/siteassets/swerock---betoni/eco-betoni/swerock-eco-betoni-tekninen-esite-helmikuu-2022.pdf>>, s. 1. Luettu 19.3.2023.
- 35 Swerock Eco-Betoni esite. 2022. Verkkoaineisto. Swerock Oy. <<https://swerock.fi/siteassets/swerock---betoni/eco-betoni/swerock-eco-betoni-esite-helmikuu-2022.pdf>>, s. 3. Luettu 19.3.2023.
- 36 YIT Annual Review 2022. 2023. Verkkoaineisto. YIT Oyj. <https://www.yit-group.com/siteassets/investors/annual-reports/2022/yit_vuosikatsaus_2022_en.pdf>, s. 4. Luettu 25.3.2023.
- 37 Annual and Sustainability Report 2022. 2023. Verkkoaineisto. Heidelberg Materials Oy. <<https://www.heidelbergmaterials.com/en/reports-and-presentations>>, s. 3. Luettu 25.3.2023.
- 38 Tuotekortti EcoCrete – Luonollinen Betoni. 2022. Verkkoaineisto. Heidelberg Materials Oy. <<https://www.heidelbergmaterials.de/de/beton-und-fliessestrich/produkte/nachhaltiger-beton-ecocrete>>, s. 1 – 3. Luettu 25.3.2023.
- 39 Suomen Betoniyhdistys ry. 2019. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. Helsinki: BY-Koulutus Oy, s. 69
- 40 Nieminen, Juho. 2023. Kehitysinsinööri, YIT Suomi Oy. Teemahaastattelu 13.4.2023.
- 41 Suomen Betoniyhdistys ry. 2019. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. Helsinki: BY-Koulutus Oy, s. 84, 88
- 42 Nieminen, Juho. 2023. Kehitysinsinööri, YIT Suomi Oy. Teemahaastattelu 13.4.2023.
- 43 Suomen Betoniyhdistys ry. 2019. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. Helsinki: BY-Koulutus Oy, s. 70
- 44 Nieminen, Juho. 2023. Kehitysinsinööri, YIT Suomi Oy. Teemahaastattelu 13.4.2023.
- 45 Suomen Betoniyhdistys ry. 2019. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. Helsinki: BY-Koulutus Oy, s. 142

- 46 Nieminen, Juho. 2023. Kehitysinsinööri, YIT Suomi Oy. Teemahaastattelu 13.4.2023.
- 47 Merikukka, Heidi. 2023. Projektinjohtaja, Ramboll Finland Oy. Esitys “Mitä vähähiilinen betoni edellyttää suunnittelijalta?”, “Carbon free and Recycled Concrete in new future” - seminaari 1.2.2023.
- 48 Maankäyttö- ja rakennuslaki. 2023. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/maankaytto-ja-rakennuslaki>>. Luettu 16.4.2023.
- 49 RTS EPD-ympäristöseloste. 2023. Verkkoaineisto. Rakennustietosäätiö. <<https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/>>.
- 50 Rakentamisen päästötietokanta. 2023. Verkkoaineisto. Suomen ympäristökeskus. <<https://co2data.fi/rakentaminen/>>. Luettu 16.4.2023.
- 51 Merikukka, Heidi. 2023. Projektinjohtaja, Ramboll Finland Oy. Esitys “Mitä vähähiilinen betoni edellyttää suunnittelijalta?”, “Carbon free and Recycled Concrete in new future” - seminaari 1.2.2023.

Ympäristöystävälliset betonit, teemahaastattelu

13.04.2023

Rakennustuotanto

1. Oletteko työskennelleet ”vihreiden” betonien kanssa aiemmin?
2. Voisitteko kertoa kyseisestä kokemuksesta tarkemmin? Mitkä rakenteet, tuotteet tai kohteet olivat kyseessä tms.?
3. Mitkä ovat mielestänne tärkeimmät ”vihreiden” betonien käyttöön liittyvät edellytykset, joita täytyy ottaa huomioon rakennustuotannossa?
4. Mitä mielestänne on otettava huomioon ”vihreiden” betonien:
 - a. lujuudenkehityksen kannalta;
 - b. betonimassan työstettävyyden kannalta;
 - c. kuivumisajan kannalta?
5. Mitkä ympäristöystävälliset toimintatavat voidaan mielestänne hyödyntää työmailla jo tällä hetkellä?
6. Mitkä ovat muut aiheeseen liittyvät asiat, jotka haluaisitte mainita tässä haastattelussa?