

Juha Sorvali

# VÄHÄHIILISEN BETONIN KÄYTTÖ SENAATTI-KONSERNIN RAKENNUSHANKKEISSA

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

2023



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	<a href="#">Insinööri (AMK)</a>
Tekijä/Tekijät	Juha Sorvali
Työn nimi	Vähähiilisen betonin käyttö Senaatti-konsernin rakennushankkeissa
Toimeksiantaja	Puolustuskiinteistöt-liikelaitos
Vuosi	2023
Sivut	45 sivua, liitteitä 9 sivua
Työn ohjaaja(t)	Sirpa Laakso, Anna Eskola, Mirkka Rekola

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, miten Senaatti-konsernin rakennushankkeissa on otettu käyttöön vähähiilinen betoni ja mitkä ovat sen käyttömahdollisuudet tulevaisuudessa. Konsernissa on käytössä ohje hiilijalanjäljen ohjaamiseen rakennuttamisessa ja sen perusteella isoissa hankkeissa tarkastelut tehdään hankesuunnitteluvaiheessa.

Suomen valtio on sitoutunut olemaan hiilineutraali vuonna 2035, jonka vuoksi myös valtion rakennuskohteissa tarkastellaan kaikki mahdolliset hiilidioksidipäästöjen vähentämiskeinot. Lisäksi vuonna 2025 voimaan tuleva Rakentamislaki edellyttää rakennushankkeissa ilmastonselvityksen tekemistä ja sen liitteenä tulee olla materiaaliseloste, jossa on laskettu käytettävien rakennusmateriaalien hiilijalanjälki. Asetuksella tullaan myöhemmin antamaan raja-arvoja rakennushankkeiden sallituille kasvihuonekaasupäästöille.

Tutkimuksen lähtötietona oli projektinhallintaohjelmasta ajettu listaus tarkasteltavista hankkeista. Hankevastaaville lähetettiin kysely, onko heidän hankkeissaan tehty hiilijalanjälkitarkastelut sekä onko tarkasteluissa tai hankkeen aikana suunnittelussa käsitelty vähähiilisen betonin käyttöä tai jo käytetty sitä. Lisäksi selvitettiin vähähiilisen betonin mahdollisia käyttökokemuksia muilta suomalaisilta toimijoilta. Tuotevalmistajia haastateltiin ja kerättiin heidän näkemyksiä vähähiilisen betonin tulevaisuuden näkymistä.

Selvityksen perusteella Senaatti-konsernissa vähähiilisen betonin käyttö rakennushankkeissa on vielä hyvin vähäistä. Hankevastaavilla on kuitenkin melko hyvät lähtötiedot käyttömahdollisuuksista. Laajempi käyttöönottomahdollisuuksien tarkasteleminen edellyttää vähähiilisen betonin vertailukriteeristön selkeyttämistä. Betoniteollisuus tekee parhaillaan erittäin paljon kehitystyötä vähähiilisen betonin toteuttamiseksi. Vähähiilisten vaihtoehtojen tarjonta on jo melko hyvä betonielementeissä sekä vähähiilistä valmisbetonia tuotetaan jo monilla tuotantolaitoksilla. Suurimmat haasteet vähähiilisissä tuotteissa ovat valmisbetonissa talviolosuhteissa käsiteltävän massan valmistus ja betonielementeissä suola-pakkasrasituksen alaisiksi joutuvien elementtien valmistaminen. Työn perusteella Senaatti-konsernin hankevastaaville tehdään ohjeistus, miten vähähiilisen betonin käyttöä voidaan lisätä rakennuttamisessa.

**Asiasanat:** vähähiilinen betoni, hiilijalanjälki, vähähiilisyysluokitus

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Juha Sorvali
Thesis title	The use of low-carbon concrete in construction projects of the Senate Group
Commissioned by	Puolustuskiinteistöt-liikelaitos (Defence Properties Finland)
Time	2023
Pages	45 pages, 9 pages of appendices
Supervisor	Sirpa Laakso, Anna Eskola, Mirkka Rekola

## ABSTRACT

The purpose of the thesis was to investigate how low-carbon concrete has been adopted in the Senate Group's construction projects and what are the possibilities of its use in the future. The Senate Group has a guideline for controlling the carbon footprint in construction, and thus carbon footprint of large projects is reviewed in the project planning phase. The state of Finland has committed being carbon neutral in 2035, which is why all possible means of reducing carbon dioxide emissions are also being examined in the state's construction sites. The Construction Act that will enter into force in 2025 requires a climate review to be carried out in construction projects, and it must be accompanied by a material statement, which calculates the carbon footprint of the construction materials used. A decree will later set limit values for the permitted greenhouse gas emissions of construction projects.

The initial data of the study was a list of the projects under review, which was run from the project management program. Those in charge of the project were sent a survey inquiring whether carbon footprint reviews have been carried out in their projects and whether the use of low-carbon concrete has been discussed in the reviews or in the design during the project, or if it has already been used. In addition, possible use experiences of low-carbon concrete from other Finnish operators were investigated. For this, product manufacturers were interviewed and their views on the future prospects of low-carbon concrete were collected.

Based on the survey, the use of low-carbon concrete in construction projects in Senate Group is still very limited. However, those in charge of the project have fairly good basic knowledge about the possibilities of use. A broader investigation of the implementation possibilities requires clarification of the reference criteria for low-carbon concrete. The concrete industry is currently developing the implementation of low-carbon concrete. The supply of low-carbon alternatives of concrete elements and low-carbon ready-mixed concrete is already reasonably good as they are already produced in many production plants. The principal challenges in low-carbon products are the production of the mass for ready-mixed concrete to be processed in winter conditions and the production of concrete elements that are exposed to salt and frost stress. Based on the thesis, instructions will be drafted for the project managers of Senate Group on ways to increase the use of low-carbon concrete in construction.

**Keywords:** low-carbon concrete, carbon footprint, low carbon classification

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	RAKENNUSSEKTORIN KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT .....	7
2.1	Rakennussektorin globaali päästötilanne .....	7
2.2	Betonin hiilidioksidipäästöt.....	8
2.3	Suomen päästötilanne .....	9
2.4	Suomen sementtiteollisuuden hiilidioksidipäästöt.....	10
2.5	Sementtiteollisuuden hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot .....	12
2.6	Betoni hiilivarastona.....	14
3	VÄHÄHIILINEN BETONI .....	15
3.1	BY-Vähähiilisyysluokitus.....	15
3.2	Vähähiilinen betoni Ruotsissa ja Norjassa.....	20
3.2.1	Ruotsi.....	20
3.2.2	Norja .....	22
4	VÄHÄHIILISEN BETONIN KÄYTÖN TILANNEKUVA SENAATTI-KONSERNISSA ...	23
4.1	Ohjeistus.....	23
4.2	Ohjeistuksen soveltaminen betonin suhteen .....	23
4.3	Vähähiilisen betonin käyttöönotto tähän mennessä.....	24
5	VÄHÄHIILISEN BETONIN KÄYTTÖKOKEMUKSET ERÄILLÄ MUIILLA TOIMIJOILLA SUOMESSA .....	26
5.1	Helsingin kaupunki, Kaupunkiympäristön toimiala, Infrarakentaminen .....	26
5.2	Kotkan kaupunki, Tekniset palvelut, Rakennuttaminen .....	27
5.3	Skanska Oy .....	27
5.4	Tampereen kaupunki .....	28
5.5	Väylävirasto .....	28
5.6	Yhteenveto käyttökokemuksista .....	29
6	NÄKEMYS VÄHÄHIILISEN BETONIN KÄYTÖSTÄ TULEVAISUUDESSA .....	29
6.1	Rakentamislaki .....	29

6.2	Tuotevalmistajat.....	31
6.3	Tekniset parametrit .....	31
6.3.1	Sementin valmistus.....	32
6.3.2	Elementtien valmistus.....	32
6.3.3	Vähähiilisten elementtien käyttökohteet.....	33
6.3.4	Betonin lujuus .....	33
6.3.5	Betonin raaka-aineet.....	34
6.3.6	Vähähiilisyys ja kompensointi .....	35
6.3.7	Muita teknisiä seikkoja .....	36
6.4	Kustannusvaikutus.....	37
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPIDE-EHDOTUS SENAATTI-KONSERNISSA.....	38
	LÄHTEET.....	41
	LIITTEET	

Liite 1. Figure 9.3b Historialliset skenaariot maanosittain

Liite 2. Taulukko kyselyn tuloksista (ei julkinen)

Liite 3. Ohje hankevastaaville (päivittyvä)

## 1 JOHDANTO

Suomessa on tehty kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. Strategiassa on linjattu toimia, joiden avulla Suomella on mahdollisuus täyttää Euroopan Unionin asettamat ilmastovelvoitteet vuodelle 2030 sekä saavuttaa ilmastolain mukaiset tavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä 60 prosentilla vuoteen 2030 mennessä ja vuotta 2035 koskevan hiilineutraaliustavoitteen. Strategia on tehty pääministeri Sanna Marinin hallitusohjelman mukaisesti. Hallitusohjelmassa asetettu hiilineutraaliustavoite vuodelle 2035 on merkittävästi tiukempi kuin Euroopan Unionin vastaavat voimassa olevat tavoitteet. Tämän johdosta vuoteen 2030 mennessä pitää kehittää ja tehdä suurempia päästövähennyksiä kuin nykyisillä olemassa olevilla toimilla voidaan saavuttaa. (TEM 2022, 4, 12.) Hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi on etsittävä aktiivisesti keinoja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi esimerkiksi rakentamishankkeissa.

Suomen valtion rakennuskannan omistaa, rakennuttaa ja peruskorjaa pääosin Senaatti-konserni. Konserniin kuuluvat Puolustuskiinteistöt-liikelaitos, joka hallinnoi Puolustusvoimien käytössä olevia kohteita ja Senaatti-kiinteistöt-liikelaitos, joka hallinnoi muiden valtion viranomaisten ja virastojen käytössä olevia toimitiloja. Senaatti-konsernin rakennuttamisen volyyymi (uusinvestoinnit ja peruskorjaukset) on suuri, esimerkiksi vuonna 2021 noin 417 000 000 € ja vuonna 2022 noin 483 000 000 € (Senaatti 2022, 51; Senaatti 2023, 60). Vuoden 2023 investointiohjelma on enintään 700 000 000 € (VM 2022).

Valtion asettaman hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi Senaatti-konsernissa aloitettiin keväällä 2021 hiilineutraalisuusohjelma. Konsernissa linjattiin, että kaikissa yli 2 000 000 € rakennushankkeissa tulee suunnitteluvaiheessa tarkastella keinoja hiilijalanjäljen pienentämiseksi ja tavoitella hankkeen hiilijalanjäljen pienentämistä.

Hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamisen yksi mahdollinen keino on vähähiilisen betonin käyttö rakennushankkeissa. Tässä työssä tutkitaan, miten keväällä 2021 tehtyä linjausta on sovellettu ja miten tavoitteen saavuttamista voitaisiin kehittää vähähiilisen betonin osalta. Myös mahdollisten toimenpiteiden kustannusvaikutukset sekä tekniset reunaehdot selvitetään.

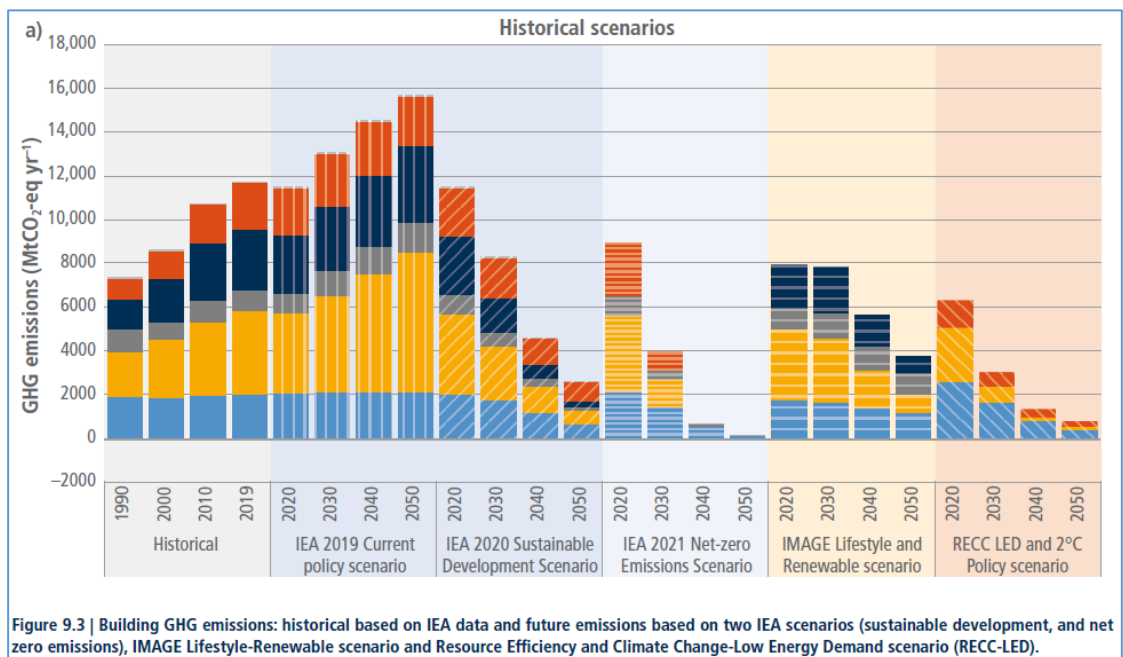
Konsernissa tähän asti tehdyt toimenpiteet selvitetään haastattelemalla yli 2 000 000 € hankkeiden hankevastaavia. Lisäksi selvitetään referenssikoh- teita muilta isoilta toimijoilta, kuten kaupungeilta, Väylävirastolta ja rakennus- liikkeiltä. Tuotetoimittajia haastatellaan, jotta saadaan heidän näkemyksensä vähähiilisen betonin mahdollisuuksista valmisbetonissa ja betonielementeissä.

## 2 RAKENNUSSEKTORIN KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT

### 2.1 Rakennussektorin globaali päästötilanne

Rakennussektori tuotti vuonna 2019 maailmanlaajuisesti kasvihuonekaasu- päästöjä 12 GtCO<sub>2</sub>-ekv., joka vastaa noin 21 % kyseisen vuoden globaaleista kasvihuonekaasupäästöistä, 59 GtCO<sub>2</sub>-ekv. Rakentamisen osuudesta noin 18 % hiilidioksidipäästöistä aiheutui sementin ja teräksen tuotannosta. Yli 95 % rakennuksista aiheutuvista kasvihuonekaasupäästöistä on hiilidioksidipäästöjä ja muut kaasut ovat tähän verrattuna marginaalisia. (IPCC 2022, 955.)

Kuvassa 1. ja liitteessä 1. on esitetty rakennussektorin aiheuttamat kasvihuo- nekaasupäästöt ajalta 1990-2019 sekä tulevaisuuden erilaiset skenaariot.



Kuva 1. Figure 9.3a Historialliset skenaariot (IPCC 2022, 963)

IEA 2019 Current policy -skenaario kuvaa päästöjen tasoa, jos maailman kasvihuonepäästöt jatkavat kasvamistaan nykyisellä polulla (IPCC 2022, 965).

IEA 2020 Sustainable Development (SDS) -skenaario ottaa huomioon myös julkisen terveydenhuollon seikat (kuten COVID-19:n talousvaikutukset) sekä talousvaikutukset yleensä. Se on myös normatiivinen skenaario, joka toimii taaksepäin ilmaston, puhtaan ilman ja energian saatavuudesta. Skenaariossa tutkitaan mitkä toimet ovat välttämättömiä tavoitteiden saavuttamiseksi. (IEA 2020b, 29.)

IEA 2021 Net-zero Emissions (NZE) -skenaario on normatiivinen skenaario, jossa asetettu kapea mutta saavutettavissa oleva reitti saavuttaa hiilidioksidipäästöt nollatasolle vuoteen 2050 mennessä (IEA 2021, 13).

IMAGE-Lifestyle-Renewable (LiRE) -skenaario ottaa huomioon myös hiilen hinnan yhdessä elämäntavan muutoksen kanssa, rajoittamalla sen lattiapinta-alan kasvuun asukasta kohden kehittyneissä maissa. Energiatuotannossa skenaario olettaa sähkön kulutuksen ja uusiutuvan energian osuuden myös lisääntyvän. Resource Efficiency and Climate Change-Low Energy Demand (RECC-LED) -skenaario on tehty globaalilla alhaalta-ylös -mallilla, joka arvioi resurssitehokkuuden vaikutusta ilmaston muutoksen hillitsemiseen. Malli arvioi energia- ja materiaalivirtoja yhdistettynä asuntokannan kasvuun, väestön ja asukasta kohden lasketun lattiapinta-alan ohjaamana. (IPCC 2022, 965.)

Yllä olevat tutkimustulokset osoittavat, että myös rakennussektorin kasvihuonekaasupäästöt ovat globaalisti nousseet merkittävästi viimeisen 30 vuoden aikana. Jos hillitseviä toimenpiteitä ei tehdä, tulee kasvaminen jatkumaan voimakkaasti etenkin kehittyvillä alueilla. Tulevaisuuden skenaarioissa päästöjen tasot vaihtelevat maanosittain ja skenaarioittain, mutta globaalisti ne laskevat kokonaisuudessaan, kun toimia tehdään.

## **2.2 Betonin hiilidioksidipäästöt**

Betonin valmistuksessa syntyy aina hiilidioksidipäästöjä. Tämä perustuu siihen, että sementin valmistuksessa kalkkikiven (kalsiumkarbonaatti) kalsinoitumisprosessissa ( $\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ) vapautuu aina hiilidioksidia.

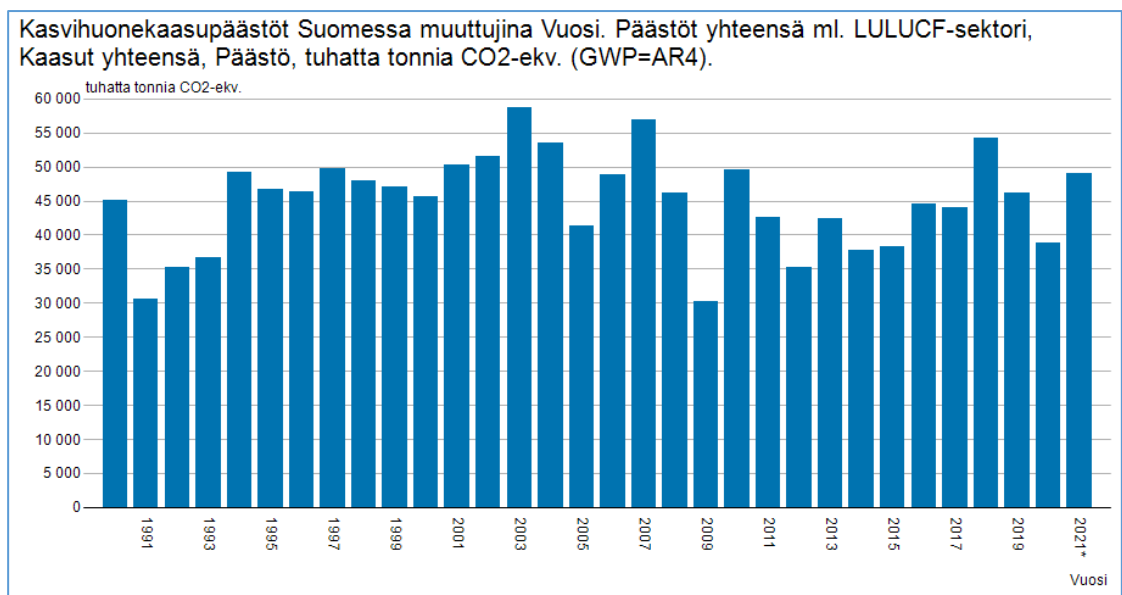


Betonin valmistuksessa hiilidioksidipäästöistä suurin osuus muodostuu itse sementin valmistuksesta. Siinä noin 60 % muodostuu kalkkikiven kalsinoitumisesta ja noin 40 % polttoaineiden palamisesta (Leveelahti 2023a). Muiden päästölähteiden, kuten esimerkiksi kiviaineksen, veden, seos- ja lisäaineiden osuudet riippuvat betonin laadusta ja ominaisuuksista. Betonin hiilidioksidipäästön vähentämisessä onkin merkittävin tekijä se, miten itse sementin osuutta saadaan vähennettyä.

Sementin valmistaminen vaatii suuren määrän energiaa. Globaalisti sementin tekemiseen käytettiin vuonna 2019 noin 7 % kaikesta teollisuuden käyttämästä energiasta ja valmistaminen aiheutti 2,4 GtCO<sub>2</sub>-ekv. päästöt, joka on noin 4 % koko maailman hiilidioksidipäästöstä. Yhden sementtitonnin valmistaminen aiheuttaa keskimäärin 0,5-0,6 tCO<sub>2</sub> päästön. (IEA 2020a, 215-216.)

### 2.3 Suomen päästötilanne

Suomen kasviuonekaasupäästöt ovat vaihdelleet ajan jaksolla 1990-2021 noin 30 000 – 59 000 tuhatta tonnia CO<sub>2</sub>-ekv. Vuoden 2021 osuus on vielä arvio. (Tilastokeskus, aineistohaku.)



Kuva 2. Suomen kasviuonekaasupäästöt 1990-2021 (Tilastokeskus, aineistohaku)

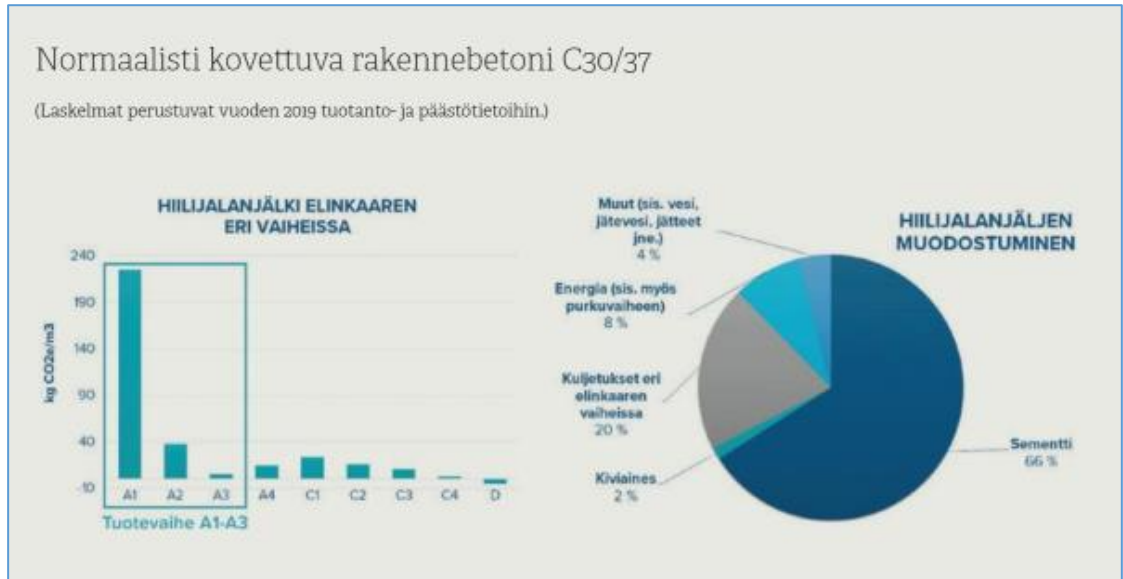
Kuvassa 2. esitetyt CO<sub>2</sub>-ekv. päästöt sisältävät Suomen kaikki päästöt, sisältäen myös maankäyttösektorin. Kuva 2. on kuvakaappaus Tilastokeskuksen aineistohakupalvelusta.

#### **2.4 Suomen sementtiteollisuuden hiilidioksidipäästöt**

Suomessa betoniteollisuuden nettomyynti oli vuonna 2021 noin 1,2 miljardia euroa. Tästä elementtisektorin myynti oli noin 786 000 000 €, valmisbetonisektorin noin 313 000 000 € ja betonituotesektorin noin 90 000 000 € (Betoniteollisuus ry 2023b). Valmisbetonia tuotettiin Suomessa vuonna 2019 noin 2 700 000 m<sup>3</sup>, joka on noin 0,5 m<sup>3</sup> / asukas (Betoniteollisuus ry 2023c). Betonielementteinä tuotettiin vuonna 2020 seinäelementtejä 2 200 000 m<sup>2</sup>, laattaelementtejä 2 800 000 m<sup>2</sup> sekä pilari- ja palkkielementtejä 54 000 m<sup>3</sup> (Betoniteollisuus ry 2023d).

Suomessa sementtiteollisuuden toiminnasta aiheutuu vuosittain noin 0,9 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt. Koko Suomen hiilidioksidipäästöt ovat noin 50 miljoonaa tonnia vuodessa. Vuonna 2018 esimerkiksi sementin valmistus tuotti noin 1,6 % Suomen kaikista kasvihuonekaasupäästöistä. (Betoniteollisuus ry 2023a.) Vähähiilisen valmisbetonin tai betonielementtien osuus tuotannosta on vielä marginaalista, ehkä muutaman prosentin luokkaa (Mattila 2023).

Kuvassa 3. on esitetty esimerkkinä Suomessa yleisesti käytössä olevan rakennebetonin hiilijalanjäljen muodostuminen. Sementin osuus tästä on 66 %. (Salminen 2021.) Sen pienentämisellä saadaan merkittävimmin pienennettyä betonin hiilijalanjälkeä.



Kuva 3. Rakennebetoni C30/37 hiilidioksidipäästöt (Salminen 2021)

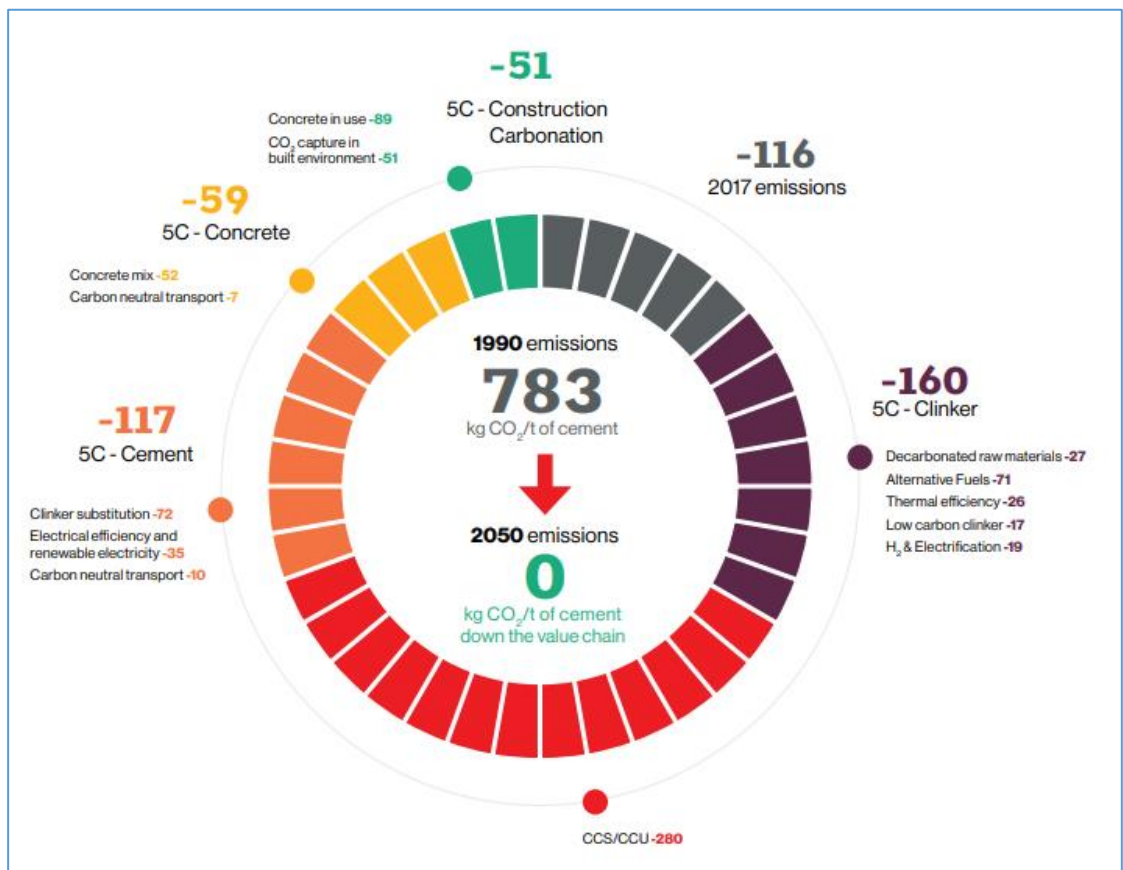
Sementtiklinkkeri valmistetaan kalsiumkarbonaattikivestä ja pienemmässä määrin muista mineraalisista raaka-aineista kuumentamalla aineksia isossa pitkän mallisessa uunissa noin 1450 °C:n lämpötilassa. Polttoprosessin jälkeen sementtiklinkkeri jauhetaan hienoksi jauheeksi – sementtijauhoksi. Yhden sementtijauhetonnin valmistukseen käytetään noin 1500 kg kalsiumkarbonaattikiveä. Tämän määrän kuumennuksessa vapautuu noin 530 kg hiilidioksidipäästöjä. Kuumennuksessa käytettävästä polttoaineesta aiheutuu myös hiilidioksidipäästöjä. Päästöjen määrää on saatu pienennettyä muuttamalla uuneja koko ajan energiatehokkaammiksi. Uuneissa on myös otettu käyttöön kierrätyspolttoaineita, kuten autonrenkaita, lihaluujauhoa sekä pakkausjätteitä. Vuonna 2021 sementin valmistuksessa käytetystä polttoaineesta noin 45 % oli kierrätyspolttoainetta. Betonin valmistuksessa pyritään käyttämään seosaineena teollisuudessa syntyviä sivutuotteina, esimerkiksi masuunikuonaa ja muita tuhkia. Masuunikuonan ja tuhkien käyttö on ollut Suomen betoniteollisuudessa noin luokkaa 350 000 tonnia vuodessa. Käyttämällä seosaineita voidaan vähentää betonin aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä merkittävästi. Seosaineita käyttämällä pystytään pienentämään betonin aiheuttamaa hiilijalanjälkeä noin 50 % ja joissakin laaduissa jopa 90 %. (Betoniteollisuus ry 2023a.)

Suomessa sementtiä valmistaa Finnsementti Oy Paraisten ja Lappeenrannan tehtailla (Finnsementti Oy 2023d). Sementtiä tuodaan Suomeen myös ulkomailta. Tuontia harjoittavat ainakin Schwenk Suomi Oy Naantalin, Loviisan ja

Joensuun laivaterminaaleihin (Schwenk Suomi Oy 2023). Lisäksi Scandinavian Cement Oy tuo sementtiä Haminan laivaterminaaliin (Scandinavian Cement Oy 2023). Näiden kolmen yrityksen toimittamat sementit ovat myös mainittuna BY-vähähiilisyyslaskurin raaka-aineluettelossa (Suomen Betoniyhdistys ry 2023c, 4).

## 2.5 Sementtiteollisuuden hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinot

Kuvassa 4. on esitetty CEMBUREAU:n (European Cement Association) tiekartta kohti hiilineutraaliutta. Järjestön jäseniä ovat Euroopan unionin jäsenmaiden kansalliset sementtialan yhdistykset. Järjestön yhtenä tavoitteena on vähentää tuotteiden hiilijalanjälkeä ja sitä kautta edistää sementtituotteiden käyttöä myös tulevaisuudessa. Esitetyillä toimenpiteillä aiotaan saavuttaa päästövähennykset, joiden jälkeen sementtiteollisuuden tavoitteena on tuottaa päästötöntä sementtiä vuoteen 2050 mennessä.



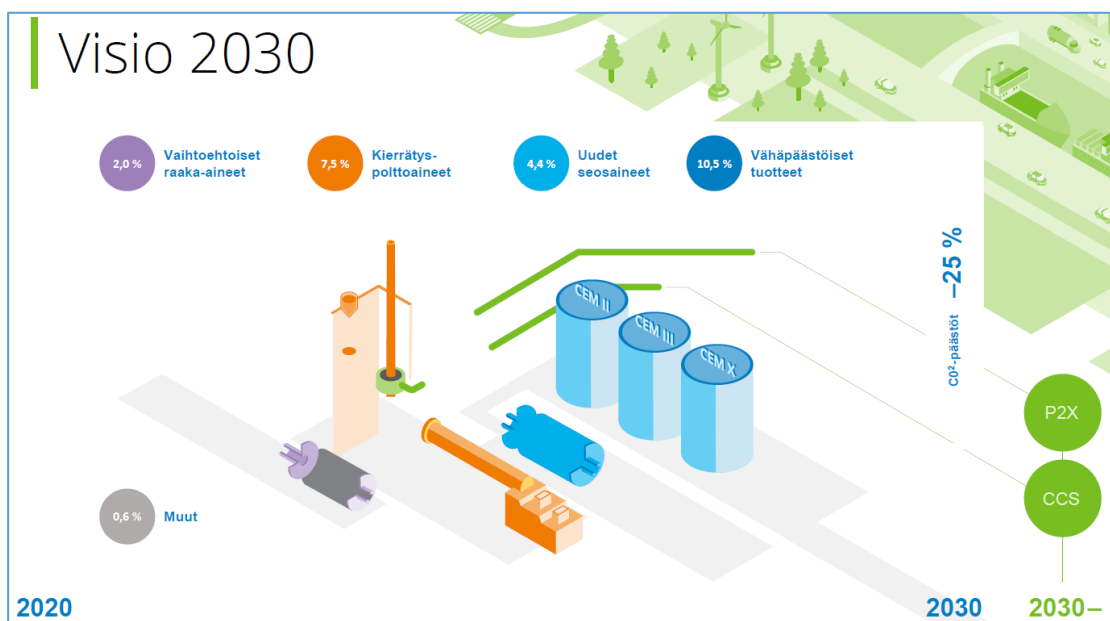
Kuva 4. CEMBUREAU:n tiekartta päästöttömään sementtiin 2050 (Cembureau 2020, 12)

Tiekartassa on esitetty 5C-osa-alueet, joilla päästöjä vähennetään.

5C klinkkeri -osa-alueessa päästöjen vähentämiskeinoja ovat karbonaattittomat raaka-aineet, vaihtoehtoiset polttoaineet, valmistusprosessin terminen tehokkuus, vähäpäästöinen klinkkeri sekä vedyn ja sähkön käytön lisääminen valmistusprosessissa. 5C sementti -osa-alueessa päästöjen vähentämiskeinoja ovat klinkkerin korvaaminen muulla materiaalilla, sähköenergiatehokkuuden parantaminen ja uusiutuvan energian käyttö valmistusprosessissa sekä hiilineutraalit raaka-aineille. 5C betoni -osa-alueessa päästöjen vähentämiskeinoja ovat uudet betoniseokset sekä betonin hiilineutraalit kuljetukset. 5C rakentaminen ja karbonatisoituminen -osa-alueessa päästöjen vähentämiskeinoja ovat betonin käytön vähentäminen ja hiilidioksidin sitouttaminen rakennettuun ympäristöön. (Cembureau 2020, 12.)

CCS tarkoittaa hiilidioksidin talteen ottoa sekä varastointia ja CCU sen talteenottoa sekä hyötykäyttöä. Tiekartasta voidaan todeta, että Euroopan sementtiteollisuudella on selkeä näkemys kasvihuonekaasupäästöjen pienentämiseen.

Suomessa käytettävästä sementistä pääosa valmistetaan Finnsementti Oy:n Paraisten ja Lappeenrannan tehtailla. Yrityksellä on tavoitteena vähentää sementtituotannon hiilidioksidipäästöjä vuoden 2020 tasosta vuoteen 2030 mennessä 25 % (Leveelahti 2023a). Kuvassa 5. on esitetty keinot, joilla vähennys arvioidaan tehtäväksi.



Kuva 5. Finnsementti Oy:n tavoite CO<sub>2</sub>-päästöjen pienentämiseksi (Leveelahti 2023a)

Yksi vuoden 2020 jälkeen tehdyistä toimista Finnsementti Oy:llä on Kolmossementin tuonti markkinoille syksyllä 2021. Kolmossementti sisältää 36...65 % teollisuuden sivutuotteena syntynyttä masuunikuonaa, tuote kuuluu CEMIII/A 52,5-luokkaan ja sen GWP-tot on 446 kg CO<sub>2</sub> eq / 1 t sementtiä (Finnsementti Oy 2023a). Vertailun vuoksi aikaisemmin markkinoilla ollut vähäpäästöiseksi tulkittu Oiva-sementti on CEMII/B-M (S-LL) 42,5 N ja sen GWP-tot on 587 kg CO<sub>2</sub> eq / 1 t sementtiä Paraisten tehtaalla tuotettuna (Finnsementti Oy 2023b). Vastaavasti Lappeenrannan tehtaalla tuotetun Oiva-sementin GWP-tot on 549 kg CO<sub>2</sub> eq / 1 t sementtiä (Finnsementti Oy 2023c). Kolmossementin kasvihuonekaasun päästömäärä on siis 18...24 % pienempi kuin Oiva-sementin ja sen lisäksi se on vielä lujuusluokaltaan parempi.

Yksi sementin tuotannon hiilidioksidipäästöjen vähentämisen haaste tulevaisuudessa on masuunikuonan tuotannon vähentyminen. Terästehtaat pyrkivät vähentämään kivihiilen käyttöä tuotannossaan, jolloin myös masuunikuonan määrät vähentyvät. Tällä hetkellä vähähiilisen sementin tuotanto perustuu pitkälti juuri masuunikuonan hyötykäyttöön. On kuitenkin arvioitu, että masuunikuonan käyttö on vain välivaihe vihreässä siirtymässä ja se tulee säilymään raaka-aineena vielä noin 10...15 vuotta (Mattila 2023).

## 2.6 Betoni hiilivarastona

Betonin toimiminen hiilidioksidivarastona on kehittyvä betoniteollisuuden osa-alue. Yleensä betonin valmistus on mielletty vain kasvihuonekaasujen lähteeksi, mutta tulevaisuudessa asia on todennäköisesti toisin. Vähäpäästöisyysvaatimusten lisääntyessä varastointiteknologioista saadaan merkittävää hyötyä betoniteollisuudessa. Myös tutkimusta erilaisten jo tehtyjen betonirakenteiden kyvystä sitoa hiilidioksidia vuosikymmenten saatossa tullaan tulevaisuudessa tekemään yhä enemmän, kun mietitään betonin hiilikädenjälkeä. Ruotsissa on tutkittu erilaisten betonirakenteiden kykyä sitoa hiilidioksidia sadan vuoden aikaikkunassa ja esimerkiksi sisätiloissa ollut käsittelemätön pinta on todettu parhaaksi hiilivarastoksi (Nilsson 2011, 25).

Suomessa on kehitetty Carbonaide-teknologia Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen betonitutkimusprojektien yhteydessä. Tässä menetelmässä juuri valmistetut kovettumisvaiheessa olevat betonituotteet altistetaan tiiviissä tilassa

hiilidioksidille. Laitteisto integroidaan normaaliin tuotelinjastoon ja on pysyvä osa sitä. Hiilidioksidi reagoi betonissa olevien sideaineiden kanssa ja muuttuu mineraaleiksi betoniin. Tällöin hiilidioksidi jää pysyvästi betoniin. Menetelmällä saadaan pienennettyä betonin hiilijalanjälkeä merkittävästi sekä vähennettyä betonissa tarvittavan sementin määrää. Betonin lujuudenkehitys on nopeampaa tällä menetelmällä verrattuna normaaliin prosessiin. Teoriassa menetelmällä on mahdollista tuottaa hiilinegatiivisia betonituotteita. Hanke on juuri tuotteistettu Carbonaide Oy:n toimesta ja koelinjastoja on rakennettu tuotevalmistajien linjastoille. Tällä hetkellä menetelmää käytetään raudoittamattomille tuotteille, esimerkiksi pihakiville. Menetelmän korroosiovaikutuksista betoniteräksille tulee tehdä lisätutkimuksia, ennen kuin ne voidaan ottaa menetelmän piiriin. Menetelmä sopii valmistuotteisiin, mutta ei valmisbetoniin. Samankaltaisia, hiilidioksidin varastointiin soveltuvia tekniikoita, tuottaa noin viisi muuta toimijaa koko maailmassa. (Vehmas 2023.) Myös Finnsementti Oy on alkanut kehittää hiilidioksidin talteenottoa sementin valmistusprosessissa ja Lappeenrannan tehtaalla on koetoiminta jo meneillään (Leveelahti 2023b).

### **3 VÄHÄHIILINEN BETONI**

Vähähiilinen betoni on termi, jolle ei ole tällä hetkellä olemassa tieteellistä numeerista määritelmää. Vähähiilinen betoni tarkoittaa sitä, että pyritään aktiivisesti eri tekijöiden avulla pienentämään betonin valmistuksen hiilidioksidipäästöjä.

Betonitiedon betonisanastossa vähähiilinen betoni on tällä hetkellä määritelty siten, että sen hiilidioksidipäästöt ovat normaalitasoa alhaisempia ja eniten päästöjä vähennetään raaka-aineita muuttamalla. Sementin korvaaminen esimerkiksi lentotuhkalla, masuunikuonalla, kalkkikivijauheella ja silikalla on mainittu myös keinoina. Mitään numeerisia arvoja ei ole esitetty (Suomen Betoniyhdistys ry 2023a.)

#### **3.1 BY-Vähähiilisyyssluokitus**

BY-Vähähiilisyyssluokitus on Suomessa kehitetty, vapaaehtoisuuteen perustuva menetelmä, jolla voidaan vähentää betonin hiilidioksidipäästöjä yhtenäisellä tavalla. Luokituksella luodaan betonialalle yhtenäinen menetelmä, jonka avulla voidaan tuottaa vähähiilistä valmisbetonia tuotemerkeistä riippumatta.

BY-Vähähiilisyysluokitus on tarkoitettu ainakin tällä hetkellä vain valmisbetonin hiilidioksidipäästöjen luokitteluun. Luokituksesta vastaa Suomen Betoniyhdistys ry. (Suomen Betoniyhdistys ry 2023a.)

Euroopassa on käytössä standardit ISO 14025 ja EN 15804:2012+A2:2029, joiden mukaisesti rakennusmateriaalien hiilidioksidipäästöt voidaan esittää ympäristöselosteella (EPD = Environmental Product Declaration).

Standardiin perustuva ympäristöseloste sisältää hiilidioksidipäästöjen arvojen lisäksi myös muita ympäristöindikaattoreita ja se tulee verifioida kolmannen osapuolen toimesta. Jos yhdellä valmistajalla on laaja tuotevalikoima, kuten esimerkiksi valmisbetonitoimittajalla, on tuotteiden ympäristöseloste osoittautunut melko raskaaksi tavaksi esittää tuotteen hiilidioksidipäästöt. (Suomen Betoniyhdistys ry 2023b.)

BY-Vähähiilisyysluokkia merkitään tunnuksella: GWP.NN. GWP tarkoittaa Global Warming Potential, joka on ominaislämmitysvaikutuskerroin. Kertoimen avulla voidaan vertailla eri kasvihuonekaasupäästöjen suuruutta.

Suomen Betoniyhdistys ry on rekisteröinyt tavaramerkillä termin BY-Vähähiilisyysluokitus ® sekä GWP-luokkien tunnukset GWP.REF™, GWP.85™, GWP.70™, GWP.55™ ja GWP.40™.

BY-Vähähiilisyysluokituksen tunnuksessa NN on päästötaso verrattuna valittuun referenssitasoon. Esimerkiksi GWP.85™ tarkoittaa, että betonin hiilidioksidipäästöt ovat korkeintaan 85 % verrattuna referenssitasoon. Referenssitaso on valittu betonilaaduittain suomalaisten valmisbetonivalmistajien keskimääräinen päästötaso vuodelta 2021. On huomioitavaa, että myös referenssitaso GWP.REF™ itse toimii vähähiilisyysluokkana, koska kyseisessä luokassa betonin GWP-päästöt ovat korkeintaan kyseisen betonilaadun keskiarvon suuruiset. (Suomen Betoniyhdistys ry 2023b.)

Luokituksen päästöarvot ja GWP-luokat koskevat vain valmisbetonia ja eivät sisällä betonirauδοitusta, eristeitä, betonituotteen kuljetuksia tai työmaalla tapahtuvia toimintoja. Tällöin koko rakennetta tai valmistuvaa betonielementtiä ei voida GWP-luokitella. (Suomen Betoniyhdistys ry 2023b.)



GWP-luokkien rekisteröityjä tunnuksia saa käyttää ainoastaan betonilaatujen merkintöjen yhteydessä ja vain, mikäli betoni täyttää BY-Vähähiilisyysluokitusmääritelmän mukaiset vaatimukset. GWP-luokkien mukaiset päästöarvot tulee olla laskettu Suomen Betoniyhdistys ry:n hyväksymällä laskentatavalla ja laskelmien tulee olla Suomen Betoniyhdistys ry:n hyväksymän kolmannen osapuolen valvomina. (Suomen Betoniyhdistys ry 2023b.)

Kolmannen osapuolen valvonnan suorittaa tällä hetkellä Inspecta Sertifiointi Oy. Sertifiointi tehdään valmistaja ja asemakohtaisesti. Vähähiilisyysluokan ja sertifiointin laskelmissa otetaan huomioon tuotteen raaka-aineiden, kuljetusmatkojen ja energiankulutuksen oikeat todennetut päästötiedot (Vuori, 2023).

Tehty luokitus parantaa erityisesti julkisen hankintalain puitteissa toimivien organisaatioiden mahdollisuuksia vähähiilisemmän betonin käyttöönottoon hankkeiden valmisbetoneissa. Julkisessa kilpailutuksessa ei voida määrätä esimerkiksi käytettäväksi tiettyä tuotemerkkiä, mutta siinä voidaan määrätä ominaisuudet, jotka tuotteen tulee täyttää. Hankkeiden suunnittelussa tulee mahdollisimman aikaisessa vaiheessa huomioida käyttömahdollisuus ja tehdä päätökset missä osassa hanketta käyttö on mahdollista ja mitä teknisiä reuna-ehdoja tulee huomioida.

Kuvassa 6. on esitetty tällä hetkellä (26.4.2023) olemassa olevat GWP-luokitellut betonit. Betonit on jaettu kolmeen luokkaan; normaali huokostamaton betoni, huokostettu eli säänkestävä betoni sekä P-lukubetoni infrahankkeisiin.

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

Kuva 6. BY-Vähähiilisyysluokituksen betonilaadut sekä luokkien raja-arvot, yksikkönä kgCO<sub>2</sub>-e/betony-m<sup>3</sup> (Suomen Betoniyhdistys ry 2023b)

Tällä hetkellä on luokiteltuna 18 erilaista betonilaatua. Vähähiilisiin luokkiin eivät sisälly korkealujuusbetonit. Korkealujuusbetoneilla puristuslujuus on yli 60 MN/m<sup>2</sup> (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 16). Luokitus ei poista muita betonin teknisiä vaatimuksia ja niiden toteutuminen tulee varmistaa betonirakenteen suunnittelu- ja valmistusprosessissa. Betonivalmistajien on tuotettava valmisbetonia, joka tuotteena täyttää halutun teknisen lopputuloksen vaatimukset. Lisäksi rakennesuunnittelijan on osattava arvioida miten vähähiilisen betonin

käyttö vaikuttaa hankkeeseen, esimerkiksi betonin lujittumisaika ja sen vaikutus valun jälkeiseen rakentamiseen.

BY-Vähähiilisyysluokituksen mukaisten betoneiden saatavuus on tällä hetkellä vielä rajoitettua. Kuvassa 7. on esitetty niiden arvioitu saatavuus vuoden 2022 lopulla.

Betoni	GWP.REF	GWP.BS	GWP.JO	GWP.SS	GWP.AO
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
C40/50 - 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
C40/50 - 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
<hr/>					
	Todennäköisesti yleisesti saatavilla				
	Todennäköisesti saatavissa useilta valmistajilta <sup>1</sup>				
	Todennäköisesti saatavissa joiltakin valmistajilta <sup>1</sup>				
	Todennäköisesti saatavissa vain projektikohtaisena erikoistuotteena <sup>1</sup>				
<sup>1</sup> Saatavuus varmistettava etukäteen					

Kuva 7. BY-Vähähiilisyysluokituksen mukaisten betonien arvioitu saatavuus vuonna 2022 (Suomen Betoniyhdistys ry 2023b)

Halutun vähähiilisen betonin alueellinen saatavuus onkin varmistettava aina erikseen hankkeen suunnittelun eri vaiheissa. Saatavuusarviosta näkee, että

lähtökohtaisesti kannattaa luokitusmenettelyn alkuvaiheessa pyrkiä GWP.REF tai GWP.85 -luokkien käyttöön ja muiden luokkien käyttöön niiden saatavuuden parantuessa. Luokituksen käyttöoikeus valmisbetonissa edellyttää Suomen Betoniyhdistys ry:n hyväksymän kolmannen osapuolen sertifiointia. Tällä hetkellä sertifiointeja on myönnetty 26.4.2023 mennessä 32 betonitehtaalle Suomessa (Inspecta Sertifiointi Oy).

### **3.2 Vähähiilinen betoni Ruotsissa ja Norjassa**

Ruotsi ja Norja sijaitsevat samalla pääosin lauhkealla ilmastovyöhykkeellä Suomen kanssa, jolloin rakentamisolosuhteet ovat pääosin samat kaikissa maissa. Esimerkiksi talvibetonoinnit tehdään samanlaisissa olosuhteissa ja ratkaistavana on samanlaisia teknisiä haasteita.

#### **3.2.1 Ruotsi**

Ruotsilla on tavoite olla hiilineutraali vuonna 2045. Ruotsissa vuonna 2020 konaishiilidioksidipäästöt olivat 46,3 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. Tästä noin 4% on lähtöisin sementtituotannosta. Betcrete 2.0 tavoitteena oli vähentää sementin määrää betonissa esimerkiksi korvaavilla tuotteilla, kuten lentotuhkalla, kuonalla, luonnollisella Pozzolaanilla, kasviperäisellä tuhkalla tai jätelasilla. (Malaga 2022.)

Betcrete-hanke on Ruotsissa RISE:n (Research Institutes of Sweden) vetämä ohjelma, jolla pyritään vähentämään sementti- ja betoniteollisuuden hiilidioksidipäästöjä. Vuosina 2020-2022 oli käynnissä Betcrete 2.0 -hanke, jonka rahoitus oli 10 000 000 SEK. Hanke jatkuu Betcrete 3.0-hankkeena vuosien 2023-2024 aikana, jossa rahoitus on 44 000 000 SEK. (RISE 2023.)

Ruotsissa on myös tehty luokitusta edistämään betonin hiilidioksidipäästöjen vähentämistä. Julkaistussa tiekartassa on tavoitteena puolittaa betonin ilmastovaikutukset vuoden 1990 tasosta vuoteen 2023 mennessä. Tämän jälkeen tavoite on, että vuonna 2030 markkinoilla on tarjolla hiilineutraalia betonia. Viimeisenä tavoitteena on, Ruotsin yleisen hiilineutraalisuustavoitteen mukaisesti, että vuonna 2045 kaikki käytetty betoni on hiilineutraalia. Tiekartassa on esitetty myös kuvissa 8. ja 9. näkyvät eri tasot, jonka mukaisesti erilaiset betonit luokitellaan ympäristöystävällisemmiksi. (Svensk Betong 2022, 3.)

Fabriksbetong Tabell 1	Exponerings- klass	Hållfasthets- klass*	vct <sub>skv</sub> *	Klimatpåverkan GWP-GHG, kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>3</sup>				
				Bransch- referens	Nivå 1	Klimatförbättrad, max		
					Nivå 2	Nivå 3		
<b>Hus invändigt</b> RF <sub>krav</sub> < 85%, tex plastmatta och vissa fall parkett	X0, XC1	C50/60	0,35	365	330	290	255	≤ 220
RF <sub>krav</sub> < 90%, tex balklag	X0, XC1	C35/45	0,45	305	275	245	215	≤ 185
<b>Hus invändigt</b> Inomhus med låg fuktighet	X0, XC1	C30/37	0,55	255	230	205	180	≤ 155
	X0, XC1	C28/35	0,60	240	215	190	170	≤ 145
	X0, XC1	C25/30	0,65	225	205	180	160	≤ 135
	X0, XC1	C16/20	0,70	205	185	165	145	≤ 125
<b>Parkeringshus</b> Slutet, uppvärmt, utsatt för saltstänk	XD3	C40/50	0,40**	340	305	270	240	≤ 205
<b>Grundkonstruktioner</b> Frostfritt under GVV	XC1	C30/37	0,55	255	230	205	180	≤ 155
Ej Frostfritt över/under GVV	XC3, XC4, XF3	C28/35	0,55**	270	245	215	190	≤ 160
<b>Hus Utomhus, ej salt</b> Yttervägg, balkong, sockel	XC3, XC4, XF3	C28/35	0,55**	270	245	215	190	≤ 160
<b>Hus Utomhus, salt</b> Parkeringshus, kallt	XD3, XF2	C35/45	0,40**	340	305	270	240	≤ 205
<b>Anläggning Utomhus, salt och frost</b> se Betongrapport II Utänför zon 2. T.ex. stödmurar.	XC4, XF3	C28/35	0,50**	325	290	260	225	≤ 195
I zon 2, ej i stänkzon.	XD2, XS2, XF2	C32/40	0,45**	355	320	285	250***	≤ 215***
Tösaltade vägar och vägbroar, konstruktioner i eller invid havsvatten	XD3, XS3, XF4	C35/45	0,40**	385	345	310	270***	≤ 230***

\* Typiska värden/klasser. Styrts främst av exponeringsklass och hållfasthetskrav. Kan variera, se texten i avnittet.  
\*\* Max vct<sub>skv</sub> i exponeringsklassen enligt SS 137003:2021 samt Trafikverket.  
\*\*\* Standarder och regelverk i Sverige begränsar möjlig reduktion.  
Svensk Betong Vägledning Klimatförbättrad betong utgåva 2.0

Kuva 8. Valmisbetonin ilmastovaikutukset, luokittelu (Svensk Betong 2022, 16)

Kuvassa 8. referenssitasona on Ruotsissa tyypillisesti vuosina 2017-2018 valmistetun valmisbetonin hiilidioksidipäästö. Nivå 1- Nivå 4 ovat tästä tasosta 10 %, 20 %, 30 % ja 40 % pienempiä. (Svensk Betong 2022, 16.)

Vastaavasti kuvassa 9. on esitetty betonituotteiden luokittelu hiilidioksidipäästöjen perusteella tavanomaisissa rakennuksissa, kuten toimistot, asunnot, koulut ja hotellit, käytettäville betonituotteille (Svensk Betong 2022, 18).

Prefabricerade betongprodukter							
Kontor, Bostäder, Skolor, Hotell Tabell 3	Exponerings- klass	vct <sup>ekv*</sup>	Klimatpåverkan GWP-GHG, kg CO <sub>2</sub> -ekv/ton				
			Typiskt värde	Nivå 1	Klimatförbättrad, max		
					Nivå 2	Nivå 3	Nivå 4
<b>Inomhus, torr miljö</b>	XC1						
Håldäck (HD/F)		0,40	135	120	110	95	< 80
Håldäck (HD/F)		0,50	115	105	95	80	< 70
Massiva förspända plattor (RD/F)		0,50	185	165	145	130	< 110
TT plattor		0,50	185	165	145	130	< 110
Massiva slakarmerade plattor (D/F)		0,50	185	165	145	130	< 110
Plattbärlag		0,55	185	165	145	130	< 110
Sandwichvägg (RW)		0,55	235	210	185	165	< 140
Halvsandwich (VI)		0,55	205	185	165	145	< 125
Skalvägg (VS)		0,55	185	165	145	130	< 110
Balk slakarmerad (RB)		0,45	200	180	160	140	< 120
Balk förspänd (RB/F)		0,40	190	175	155	135	< 115
Pelare (RP)		0,50	240	215	190	170	< 145
Väggar (RV)		0,50	155	140	125	110	< 95
Trappor		0,45	210	190	170	145	< 125
<b>Utomhus, fuktig miljö</b>	XC3						
Balkonger		0,45	210	190	170	145	< 125
Loftgångar	0,40	220	190	175	155	< 130	

Kuva 9. Betonituotteiden ilmastovaikutukset, luokittelu (Svensk Betong 2022, 18)

Kuvassa 9. vertailutasona on pidetty yleistä vuonna 2019 valmistettua tuotetta ja Nivå 1- Nivå 4 vastaavat vähennyksiä 10 %, 20 %, 30 % ja 40 % vertailutason verrattuna (Svensk Betong 2022, 18).

Edellä esitetyt luokitukset ovat saman suuntaisia, kuin Suomessa kehitetty BY-Vähähiilisyysluokitus. Erona on se, että lähtötaso, johon alenemaa verrataan, on ruotsalaisessa mallissa korkeampi kuin suomalaisessa mallissa.

### 3.2.2 Norja

Norjassa on julkaistu 2015 Norjan betoniyhdistyksen julkaisu nro 37 Lavkarbonbetong. Julkaisu käsittelee vain betonia, ei raudoitusta ja siihen on tehty päivitykset vuosina 2019 ja 2020. Julkaisussa on annettu luokitukset vähähiiliseen betonille eri lujuusluokissa. Vähähiiliseen betonille ovat luokat A ja B, sekä uusimpana luokat Plus ja Extreme. Luokitukset lujuusluokkineen on esitetty kuvassa 10. Jälkimmäiset luokat vaativat erityistoimia valmistuksessa sekä niiden saatavuus markkinoilla on rajoitettu. Vähähiilisen betonin luokajärjestelmä ei koske erikoisbetoneja, kuten kevytbetoni tai ruiskubetoni. (Norsk Betongforening 2020.)

Fasthetsklasse <sup>1)</sup> og lavkarbonklasse	B20	B25	B30	B35	B45	B55	B65
Maksimalt tillatt klimagassutslipp [kg CO <sub>2</sub> -ekv. pr m <sup>3</sup> betong]							
Bransjereferanse	240	260	280	330	360	370	380
Lavkarbon B	190	210	230	280	290	300	310
Lavkarbon A	170	180	200	210	220	230	240
Lavkarbon Pluss <sup>2)</sup>			150	160	170	180	190
Lavkarbon Ekstrem <sup>2)</sup>			110	120	130	140	150

Kuva 10. Norjassa käytössä oleva luokitus (Norsk Betongforening 2020)

## 4 VÄHÄHIILISEN BETONIN KÄYTÖN TILANNEKUVA SENAATTI-KONSERNISSA

### 4.1 Ohjeistus

Senaatti-konsernissa on ollut käytössä rakennuttamisen hiilijalanjäljen ohjeistus huhtikuusta 2021 alkaen. Hiilijalanjäljen laskenta ja vähennystavoitteet koskevat tällä hetkellä yli 2 000 000 € hankkeita. Tavoitteena on, että hiilijalanjälkeä pienennetään uudishankkeissa vähintään 25 % ja korjaushankkeissa vähintään 15 %. Vertailutasona pidetään jokaisessa hankkeessa elinkaarikonsultin määrittämää ns. normaalia rakentamisen tasoa. Hiilijalanjäljen pienentämisen keinot tarkastellaan hankekohtaisesti ja tähän asti ei ole määrätty mitään tiettyä osa-alueita, jolla vähentäminen tulee toteuttaa.

### 4.2 Ohjeistuksen soveltaminen betonin suhteen

Senaatti-konsernin rakennuttajille suunnattiin kysely hankkeista, joissa he olivat hankevastaavia. Hankkeet valittiin mukaan projektitietokannasta tehdyllä haulla siten, että hakukriteerinä oli hankkeen suuruus vähintään 2 000 000 € sekä hankkeen perustamisaika alkaen noin huhtikuu 2021. Haku tehtiin 26.1.2023. Kysely toteutettiin sähköpostitse henkilökohtaisella suunnatulla kyselyllä 54 konsernin rakennuttajalle. Vastaukset saatiin joko sähköpostitse tai suullisesti puhelimitse 51 rakennuttajalta. Vastaukset saatiin yhteensä 127 hankkeesta.

Kyselyssä selvitettiin:

- Oliko hankkeessa tehty hiilijalanjälkilaskenta elinkaarikonsultin toimesta?
- Oliko hankkeessa tarkasteltu vähähiilisen betonin käyttöä?
- Onko vähähiilinen betoni otettu / otetaan mukaan suunnitteluun?
- Onko vähähiilistä betonia jo käytetty valuissa tai elementeissä?
- Mikä on syy, että vähähiilistä betonia ei ole otettu mukaan suunnitteluun?
- 

Kyselyn sekä hankkeiden elinkaarikonsulttien tietokantaan ilmoittamien tietojen perusteella hiilijalanjälkilaskennan (HJJ) tilanne on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Toteutuneiden hankkeiden HJJ-laskennan tilanne, yhteensä 127 hanketta

Hankemäärä	HJJ-laskennan tilanne
51	Oli tehty hiilijalanjälkilaskelma
22	Tullaan tekemään melko varmasti hiilijalanjälkilaskelma
26	Hiilijalanjälkeä ei ole laskettu tai ei tulla laskemaan
28	On epävarmaa, tehdäänkö hiilijalanjälkilaskelma

### 4.3 Vähähiilisen betonin käyttöönotto tähän mennessä

Kyselyn perusteella tämän hetken tilanne vähähiilisen betonin käytön osalta Senaatti-konsernissa on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Vähähiilisen betonin olemassa olevissa hankkeissa, yhteensä 127 hanketta

Hankemäärä	Vähähiilinen betoni hankkeissa
1	On käytetty vähähiilistä betonia.
1	Tehty vähähiilisellä betonilla koevalu, mutta laatu ei soveltunut käytettäväksi kohteessa.
46	Tarkastellaan tulevassa suunnittelussa vähähiilisen betonin käyttömahdollisuus.
6	Ei ole vielä tarkasteltu vähähiilisen betonin käyttömahdollisuutta (esimerkiksi urakkavaiheessa).
14	Suunnittelussa on tarkasteltu vähähiilisen betonin käyttö, mutta ei soveltunut käytettäväksi.
53	Ei otettu tai ei oteta vähähiilistä betonia mukaan suunnitteluun.
6	Tarkastelu suunnitteluvaiheesta jäi epäselväksi.



Taulukossa 2. on esitetty toisella rivillä tapaus, jossa oli tehty koevalu kahdella erilaisella vähähiilisellä betonilla. Valu oli tehty suoraan rakenteena 17 kappaaleeseen 1,5...2,0 m<sup>3</sup> anturoita. Koevalu tehtiin talviaikaan ja 4 vuorokauden kuluttua valusta oli saavutettu vain 39 % suunnittelulujuudesta ja lämpötila oli pudonnut tasolle +3 °C. Kohteessa piti päästä tekemään jatkoasennuksia nopeasti ja ei ollut mahdollista odottaa epämääräistä 3 viikon...3 kuukauden aikaa.

Saatujen vastausten perusteella pääasialliset syyt miksi vähähiillistä betonia ei ole käytetty tai otettu mukaan kyselyjen hankkeiden suunnittelussa on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Syitä, miksi hankkeissa ei otettu vähähiillistä betonia mukaan toteutukseen

<b>Tekijöitä, jotka estivät VHB:n käytön</b>
Betonivalujen määrä oli niin pieni, että käyttöä ei katsottu tarpeelliseksi tarkastella.
Hankkeen aikataulu oli kriittinen, ei voitu käyttää.
Arvioitiin, että betoni ei kuivu tarpeeksi nopeasti.
Hankkeen vetäjällä ei ollut tietoa / osaamista vähähiilisestä betonista, ei siten osannut selvittää hankkeeseen.
Hanke oli alkanut ennen kuin päästölaskelmia alettiin tehdä ja ei voitu enää ottaa mukaan hankkeeseen.
Vähähiillistä betonia ei ollut alueella saatavilla paikallisesti.
Vähähiillistä betonia ei ollut järkevästi saatavilla kohteeseen.
Hankkeen betoni joutuu voimakkaaseen kemialliseen rasitukseen, jonka vuoksi ei edes tarkasteltu.
Vähähiilisestä betonista ei käyty mitään keskusteluja, vaikka hiilijalanjälki-tarkastelukin tehtiin.
Hankalaa ottaa mukaan kesken hankkeen.
Ei käytetty, koska olisi tuonut lisäkustannuksia budjettiin.
Ei käytetty, koska liikaa riskejä talvibetonoinnissa.
Ei käytetty, koska infrahanke.
Testattiin, mutta lujuus ei kehittynyt tarpeeksi nopeasti.
Tarjoajia olisi ollut vain yksi, joten ei olisi saatu kilpailua aikaan.
Hanke keskeytettiin.
Hankkeessa ei tehty betonitöitä.

Saatujen vastausten perusteella parhaillaan suunnittelussa olevissa tai kohta alkavissa hankkeissa vähähiilisen betonin tuleva käyttö riippuu taulukossa 4. esitetyistä seikoista.

Taulukko 4. Suunnittelussa tai alkavissa kohteissa vähähiilisen betonin tulevaan käyttöön vaikuttavia asioita

<b>VHB käyttöön vaikuttavia asioita</b>
Käyttö riippuu paikkakunnan saatavuudesta.
Käyttö riippuu hinnasta.
Käyttö riippuu vaikuttaako aikatauluun.
Käytetään kaikissa rakenneosissa, jossa katsotaan mahdolliseksi jatkosuunnittelussa.
Hanke alussa, käyttö mahdollista, jos suunnittelussa todetaan mahdolliseksi.
Todennäköisesti käytetään, jotta hankkeen päästötavoite saavutetaan.

Kyselystä saadut yksittäisten hankkeiden vastaukset on koostettu liitteessä 2. Senaatti-konsernissa tehdään paljon turvaluokiteltuja hankkeita, jonka vuoksi liite 2. ei ole julkinen.

## **5 VÄHÄHIILISEN BETONIN KÄYTTÖKOKEMUKSET ERÄILLÄ MUILLA TOIMIJOILLA SUOMESSA**

Vähähiilisen betonin käyttö on uusi asia Suomen rakennusalalla. Työssä selvitettiin valikoiduilta tahoilta ovatko he käyttäneet sitä hankkeissaan ja mitkä ovat kokemukset. Kysely suunnattiin viidelle toimijalle, jotka teettävät betonirakenteita (rakennukset, infrarakenteet, taitorakenteet). Kyselyssä selvitettiin hyviä ja huonoja kokemuksia ja muita havaittuja tekijöitä, jotka vaikuttavat vähähiilisen betonin käyttöön tulevilla hankkeilla. Saatua tietoa on tarkoitus soveltaa Senaatti-konsernin tulevien hankkeiden ohjeistuksessa.

### **5.1 Helsingin kaupunki, Kaupunkiympäristön toimiala, Infrarakentaminen**

Helsingin kaupungilla on tehty tiekartta, jonka avulla tavoitellaan päästötöntä kaupunkia. Kaupungin infrahankkeissa ei vielä ole käytetty vähähiilistä betonia, joten käyttökokemusta ei ole. Suunnitteluprosessi kestää normaalisti noin kaksi vuotta, joten käyttövaatimuksia ei ole vielä sisällytetty suunnitelmiin.

Maaliskuusta 2023 alkaen vaatimuksia on lisätty kaupallisiin asiakirjoihin ja alussa vaatimus on GWP.85-tasoa rakenteissa. Kustannusvaikutuksesta ei vielä ole tietoa, kun hankkeet ovat vasta tarjouslaskentavaiheessa. Suunnittelijoiden tai urakoitsijoiden osaamistasosta betonin vähähiilisyteen ei ole vielä tietoa. Jatkossa betonin vähähiilisyysvaatimukset sisällytetään suunnitelmiin ja työselostuksiin sekä myös tieto, miten asiaa voidaan seurata urakan valvon-  
nassa. Nähdään selvänä, että käyttöön siirrytään laajemmin ja kokemuseräisesti tarkastellaan mihin vähähiilisyysluokkaan missäkin rakenteessa voidaan päästä. (Repo 2023.)

## **5.2 Kotkan kaupunki, Tekniset palvelut, Rakennuttaminen**

Kotkan kaupungin hankkeissa ei ole vielä käytetty vähähiilistä betonia, joten sen käyttökokemuksia tai tietoa kustannusvaikutuksista ei vielä ole. Aiheesta on vielä hyvin vähän keskusteltu. Kun käyttökokemukset vähähiilisestä betonista yleisesti lisääntyvät, on mahdollista, että kokeilemme sitä jossakin hankkeessa. (Kaunola 2023.)

## **5.3 Skanska Oy**

Skanska on käyttänyt yksittäisissä pienissä hankkeissa jonkin verran vähähiilisiä betonikomponentteja. Mukana on myös yksi iso varikkohanke, jossa tilaaja halusi käytettävän vähähiilistä betonia. Käyttökokemus ei siis vielä ole laajaa. Suunnitelmissa on huomioitava työmaan käytännön menettelyt ja työmaavaihetta ei ole vara hidastaa normaalista. Osin tämä voi onnistua normaalista poikkeavalla työvaiheiden jaksotuksella. Käyttökokemuksena on todettu, että vähähiilinen betoni on soveltuvaa ainakin massiivisiin valuihin, jolloin ei tarvita välttämättä kiihdyttäviä lisäaineita massa oman lämmöntuoton vuoksi. Lisäksi kuumalla säällä massassa saattaa esiintyä pinnassa korppuuntumista ja sisältä massa on vielä ns. kelluvaa. Lopputuloksena on kuitenkin saatu onnistuneita rakenteita. Sisä rakenteissa käyttö koetaan ainakin nyt alussa varmemmaksi. Suunnittelussa on todettu, että on haastavaa löytää rakennesuunnittelijaa, joka hallitsee myös hiilidioksidipäästöjen laskennan hyvin. Suunnittelussa on tarkasteltu, onko kohteessa ilmastopäästöjen kannalta parempi vaihtoehto käyttää vähähiilistä betonia vai yrittää ennemmin optimoida rakenteiden dimensioita pienemmiksi ja materiaalia kuluu vähemmän. Laskelmissa todettu, että kerrostalon välipohjassa materiaalin vaihto vähähiiliseen betoniin tuotti

vain 10 % päästövähennyksen. Markkinavuoropuhelun käyttöä suositellaan, jotta alueen todellinen saatavuus saadaan selville. Pääkaupunkiseudulla vähähiilisen valmisbetonin lisähinta on luokkaa 5...10% ja muualla Suomessa jossakin hankkeessa lisähinta oli luokkaa 10...20 %. Tällä hetkellä päästöjä tutkitaan laskennan alkuvaiheessa co2data.fi-palvelusta ja tuotetoimittajien selvittyä tuotteiden ympäristöselosteista. Jatkossa myös Rakennustietosäätiön RTS EPD-ympäristöseloste mahdollisesti käytössä, jos se kelpaa Ympäristöministeriön vaatimaan laskentaan. (Jylhä 2023.)

#### **5.4 Tampereen kaupunki**

Tampereen kaupunki laskee hiilijalanjäljen kaikista rakennushankkeistaan ja myös osasta vanhojakin hankkeita on laskettu. Ongelmaksi on koettu, että valtakunnallisen ohjauksen raja-arvot puuttuvat, jolloin näillä laskelmilla ei ole ohjausvaikutusta käytännössä. Laskelmat ovat olemassa, kun ohjauksen raja-arvot mahdollisesti joskus tulevat ja niiden käyttöä voi tällöin harkita. Tampereella laskelmia tehdään myös jo asemakaavoitusvaiheessa. (Ekholm 2023.) Vähähiilisen betonin käyttöön ei rakennushankkeissa ole vielä lähdetty. Suurin mielenkiinto kohdistuu betonielementteihin. Todennäköisesti asiaan ryhdytään markkinavuoropuhelulla ja tällaisia asioita on yleensä lähdetty kehittämään pilotihankkeiden kautta. (Mölsä 2023.)

#### **5.5 Väylävirasto**

Väylävirasto ei ole vielä käyttänyt vähähiillistä betonia rakennushankkeissaan. Hankkeet ovat pääasiassa infraprojekteja, esimerkiksi siltoja, tukimuureja ja paalulaattoja. Hankkeissa käytetään yleisesti P-lukubetoneja, koska rakenteiden tulee kestää suola- ja pakkasrasituksia. Rakenteiden säilyvyydelle on isot vaatimukset, koska niiden suunniteltu kestoikä on jopa 100 vuotta. Hankkeiden suunnitteluun ei ole vielä otettu mukaan vähähiillistä betonia ja ei ole kokemusta mikä on asiassa rakennesuunnittelijoiden osaamistaso. Todennäköisesti aiheesta lähdetään alussa liikkeelle jossakin pienessä koerakenteessa, kuten tukimuuri. Paalulaatat ovat yksi komponentti, jossa vähähiilisyyttä voi tarkastella. Ne sijaitsevat maan sisällä ja kuuluvat infrabetoneista P0-luokkaan, joissa ei vaadita suola- ja pakkaskestoa. Yleisesti on selvää, että talopuoli on vähähiilisessä betonissa edellä infrapuolta. Väylävirasto on mukana BY-vähähiilisyyssluokituksen hankkeessa sekä myös betoniteollisuuden ja

Aalto-yliopiston Loikka-hankkeessa, jossa etsitään keinoja kotimaisen betonteollisuuden hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. (Lemmetyinen 2023; Vuotari 2023.)

## **5.6 Yhteenveto käyttökokemuksista**

Vähähiilisen betonin käyttö on selvitysten perusteella vielä aika pienimuotoista. Rakennusyritykset ovat alkaneet niitä käyttämään joissakin hankkeissa. Tähän ajaa voimakkaasti se, että kuluttajat ovat valveutuneita ja osaavat tulevaisuudessa arvostaa ilmastotekijöitä myös asunnon ostopäätöksissä. Lisäksi rakennusyhtiöitä ohjaa Euroopan Unionin taksonomia-asetus, jossa rahoittajat vaativat yritysten siirtymistä vähempipäästöisiin tuotteisiin (Mattila 2023). Skanska on alkanut käyttää vähähiilisiä betoniosia rakennushankkeissaan. Lisäksi YIT Oy on ilmoittanut käyttävänsä pääkaupunkiseudun ja Uudenmaan yksiköiden asuntotuotannossa ainoastaan vähähiilisiä ontelolaattoja marras-kuusta 2022 alkaen (YIT 2022).

Tilajaapuolella vähähiilisen betonin tai betonielementtien käyttöönotto on vielä alku tekijöissä. Ongelmaksi on koettu, että ei ole selkeitä arvoja, johon verrataan sekä ei ole teknisiä käyttökokemuksia. Helsingin kaupungin infrarakennuttamisessa on tulossa ensimmäisenä käyttöön tarjouspyynnöissä vaatimus vähähiilisestä betonista. Kotkan kaupungilla, Tampereen kaupungilla ja Väylävirastolla ei ole asiaa vielä otettu tarkasteluun hankkeiden suunnittelussa. Kaikilla tahoilla oli kuitenkin tahtotila, että käyttöönottoa tehdään, kun tietoisuus asiasta lisääntyy.

## **6 NÄKEMYS VÄHÄHIILISEN BETONIN KÄYTÖSTÄ TULEVAISUUDESSA**

### **6.1 Rakentamislaki**

Maankäyttö- ja rakentamislaki korvautuu rakentamissätelyn osalta vuoden 2025 alusta alkaen uudella Rakentamislaila, joka hyväksyttiin Eduskunnassa maaliskuussa 2023.

Vanhassa lainsäädännössä ei ole ollut mitään kansallista sääntelyä, asetuksia tai EU-sääntelyä rakentamisen kasvihuonekaasupäästöihin tai vähähiilisyys-teen. Kaikki ohjaus on perustunut tähän asti vapaaehtoiisiin menetelmiin. (HE 139/2022, 22.) Uudessa rakentamislaisissa ilmastonmuutoksen vähentäminen tuodaan laki- ja asetustasolle. Lainsäädäntöön on tulossa raja-arvoihin perustuva ohjausta, jotka säädetään erikseen Valtioneuvoston asetuksella (Martinkauppi 2023).

Rakentamislaisissa määrätään ylläpidettäväksi kansallista päästötietokantaa. Tietokanta tulisi sisältämään myös rakennustuotteiden valmistuksen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt. Rakennushankkeiden yhteydessä lupavaiheessa tulee pääsääntöisesti tehdä ilmastaselvitys, jossa raportoidaan hankkeen hiilijalanjälki sekä hiilikädenjälki. (HE 139/2022, 140, 158.) Tähän vaikuttaa rakennusmateriaalien valmistuksen kasvihuonekaasupäästöjen määrä, joka tulee käytännössä edellyttämään mahdollisimman vähähiilisten tuotteiden käyttöä. Ilmastaselvityksen yhteydessä tehdään materiaaliseloste, joista kummastakin annetaan Ympäristöministeriön asetus (Martinkauppi 2023).

Tällä hetkellä ei vielä ole selvillä lainsäädännöllisesti, miten BY-Vähähiilisyysluokitukset otetaan rakentamislain vaatimissa hiilijalanjälkilaskelmissa huomioon. Tähän voisi olla vaihtoehtoina tulkita ne yleisesti hyväksytyiksi menetelmiksi tai sitten laskelmat sisällytettäisiin CO2data.fi-palveluun. (Mattila 2023.)

Uudistuva rakennuslainsäädäntö tukee voimakkaasti rakennusmateriaalien vähähiilisyttä, sen kehittämistä ja tiedon digitalisointia. Rakentamislaisissa on paljon materiaaleihin liittyviä huomioon otettavia yksityiskohtia. Esimerkiksi hiilijalanjäljen raja-arvoissa ei oteta huomioon rakennuspaikkaa pohjatöineen (alueen rakenteet, perustukset, paalutukset, stabilointi). Rakennuspaikan pohjatyt tulkitaan kuuluvan kaavoituksen puolelle (vaikuttaa alueisen eri arvoisuuteen perustamisolosuhteista riippuen) ja niiden vaikutusta rakennuksen hiilijalanjäljen kokonaislaskelmaan raja-arvoihin verratessa ei siis huomioida. Raja-arvot tullaan tarkemmin määrittelemään Valtioneuvoston asetuksessa uuden rakennuksen hiilijalanjäljen raja-arvoista. Yleisesti kun lasketaan koko rakennushankkeen elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä, on myös perustusrakenteiden aiheuttamat hiilidioksidipäästöt huomioitava, koska ne voivat olla hankekohtaisesti merkittäviäkin.

## 6.2 Tuotevalmistajat

Tuotevalmistajat ovat avain asemassa vähähiilisen betonin teknisessä kehityksessä ja valmistuksessa. Tämän vuoksi heiltä selvitettiin näkemyksiä tuotteiden tulevaisuuden näkemyksistä. Kyselyyn valittiin isoja suomalaisia valmisbetoni- ja betonielementtivalmistajia Lujabetoni Oy, Parma Oy, Rudus Oy, SBS-Betoni Oy sekä sementtivalmistaja Finnsementti Oy, jolla on yli 75 % markkinaosuus sementtituotannosta Suomessa. Tietoja hyödynnetään Se-naatti-konsernin tulevien hankkeiden suunnittelun ohjauksessa.

Osa tuotevalmistajista pyysi, että heidän antamia tietoja ei kaupallisista syistä eritellä heidän kertomikseen. Tämän johdosta kappaleissa 6.2 ja 6.3 mainituissa teknisissä tiedoissa sekä kappaleessa 6.4 mainituissa hintatiedoissa viitataan kaikkiin haastateltuihin valmisbetoni- tai betonielementtitoimittajiin yhteisviitteellä Autio 2023; Rämö 2023; Suutarinen 2023; Voutilainen 2023.

Tuotevalmistajat ovat panostaneet tuotekehityksissään merkittävästi valmisbetonin ja betonituotteiden hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Heillä on tutkittu ja haettu reseptiikkamuutoksia betonin valmistukseen, muutettu valmistusprosesseja sekä olosuhteita, joissa valmistus tapahtuu. Tuotteita on myös jo ns. vähähiilisenä toimitettu markkinoille, vähähiilisyyden määritelmät kuitenkin ovat vaihtelevia vielä tällä hetkellä. (Autio 2023; Rämö 2023; Suutarinen 2023; Voutilainen 2023.)

## 6.3 Tekniset parametrit

Betonin valmistuksessa suositaan tällä hetkellä masuunikuonapitoisen sementin käyttöä hiilidioksidipäästöjen vähentämiskeinona. Kuonan käytöllä voidaan päästä jopa kolmasosaan hiilidioksidipäästöissä verrattuna normaaliin sementtiin, mutta yleensä lujuuden kehitys hidastuu, vaikkakin saavuttaa vaaditun lujuuden viimeistään 91 vuorokauden kohdalla (Iqbal 2022, 76). Hitaan lujuuden kehityksen vuoksi vähähiilisten masuunikuonabetoneiden valmistuksessa on testattu erilaisia kiihdytinkemikaaleja, joiden avulla pystytään nopeuttamaan lujuuden kehitystä (Orfanoudaki 2022, 51).

Tuotevalmistajien haastatteluissa tuli esille vähähiiliseen betoniin liittyen useita teknisiä seikkoja, jotka on esitetty kohdissa 6.3.1 – 6.3.7.

### **6.3.1 Sementin valmistus**

Sementin valmistuksessa suosittua masuunikuonaa saadaan sementti- ja betonteollisuuden käyttöön tällä hetkellä pääosin SSAB Oy:n Raahen terästehtaalta. Terästehtaalla on kuitenkin tarkoitus ajaa alas kivihiiheen perustuva nykytuotoinen tuotanto vuoteen 2030 mennessä, kun terästuotanto siirtyy päästöttömään valmistusprosessiin. (Leveelahti 2023b.)

Sementtiteollisuudessa kehitetään tuotantoa koko ajan esimerkiksi etsimällä sementtiklinkkerille sekä masuunikuonalle korvaavia materiaaleja. Nämä seossementit todennäköisesti kasvattavat merkitystään tulevaisuudessa ja niissä tutkitaan raaka-aineita, kuten vulkaanista tuhkaa ja kalsinoitua savea. Myös valmistuksen energian kulutuksessa kierrätyspolttoaineita testataan parhaillaan. Finnsementti Oy:n Lappeenrannan tehtaalla kierrätyspolttoaineilla normaalin klinkkerisementin valmistuksen hiilidioksidipäästöjä niillä voidaan vähentää noin 20-30 kg CO<sub>2</sub> / 1 t sementtiä. Vastaavasti Paraisten tehtaalla polttolaitteen arinan uusiminen vaikuttaa vastaavasti noin 40-50 kg CO<sub>2</sub> / 1 t sementtiä päästöjä vähentävästi. Sementeissä, joissa käytetään masuunikuonaa, vähennyspotentiaali on tällä keinolla hieman pienempi sementin pienemmän klinkkerimäärän vuoksi. (Leveelahti 2023b.)

Masuunikuonaa käytetään myös betonin valmistuksessa, joten kysyntä ei rajoitu pelkästään sementin valmistukseen (Autio 2023; Rämö 2023; Suutarinen 2023; Voutilainen 2023). Jos masuunikuonan tuotanto Suomessa loppuu, sitä voidaan todennäköisesti korvata tuonnilla ulkomailta. Tällöin kuljetuksesta aiheutuvat lisäpäästöt verrattuna kotimaiseen tuotantoon voivat nostaa lopputuotteen hiilidioksidipäästöä merkittävästi. Isoja masuunikuonan tuottajia ovat perinteisesti olleet Ukraina ja Venäjä (Suutarinen 2023).

### **6.3.2 Elementtien valmistus**

Vähähiilisen betonin käyttö betonielementtiteollisuudessa edellyttää sitä, että valmistusprosessissa päästään muottikiertoon, joka ei pääasiassa poikkea tehtaan normaalista muottikierrosta ns. normaalilla betonilla.



Betonielementtien valmistuksessa on käytetty yleensä Portlandsementtiä (CEM I) muottikierron mahdollistamiseksi. Finnsementti Oy:llä on tavoite saada elementtien valmistukseen kehitettyä Portlandseossementti (CEM II), jolla saataisiin tarpeeksi nopea lujuuden kehitys yhden vuorokauden muottikierron onnistumiseksi. (Leveelahti 2023b.)

Normaali elementtien purku-aika on noin 15-17 tuntia betonin valamisesta, johon on päästävää myös vähähiilisiä elementtejä tehtäessä, jotta valmistus on taloudellisesti mahdollista. Alkuvaiheen lujittumista voidaan nopeuttaa käyttämällä kiihdyttimiä sekä lisäämällä lämpöä prosessiin ja näitä menetelmiä on jo käytössä. Myös tehdasolosuhteita parantamalla (lämpöeristetyt tuotantotilat) parannetaan valmistusmahdollisuuksia. Jos valmistetaan jotakin erikoista elementtiterää, voidaan se myös sovittaa viikon viimeiseen valuun, jolloin betonilla on pitempi lujittumisaika viikonlopun yli ja maanantaina vasta muotin purku. Elementtivalmistajat ovat joustavia ja halukkaita tutkimaan erilaisia vaihtoehtoja, jotta vähähiilinen tuote saadaan valmistettua. (Autio 2023; Rämö 2023; Suutarinen 2023; Voutilainen 2023.)

### **6.3.3 Vähähiilisten elementtien käyttökohteet**

Helpoiten vähähiilisiä betonielementtejä voidaan tuottaa tällä hetkellä sisälle tuleviin rakenteisiin, jotka eivät joudu pakkas- ja suolarasituksen kohteeksi. Tällaisia elementtejä ovat ainakin ontelolaatat, väliseinäelementit, pilarit ja palakit. Ulkoseinäelementeissä eristeen sisäpuolinen betonivalu voidaan tehdä vähähiilisellä tuotteella ja eristeen ulkopuolinen normaalilla tuotteella. Tuotteiden toimittajilla on käynnissä tuotekehitystä ja testausta myös pakkas- ja suolarasitukseen tulevista elementtituotteista, mutta tällä hetkellä näiden valmistus ei pääasiassa ole vielä mahdollista vähähiilisenä versiona. (Autio 2023; Rämö 2023; Suutarinen 2023; Voutilainen 2023.)

### **6.3.4 Betonin lujuus**

Mitä korkeampilujuuksista betonia tehdään, sitä isommat ovat tuotteen valmistuksen hiilidioksidipäästöt. Tämä aiheutuu siitä, että korkealujuuksisissa tuotteissa täytyy käyttää klinkkerisementtiä huomattava määrä.

Suomessa on yleisesti käytetty korkeampia lujuuksia betonirakenteissa kuin esimerkiksi Keski-Euroopassa. Valmisbetoneissa yleisin lujuusluokka on C30/37 ja betonielementeissä C45/55. Ontelolaatoissa käytetään yleensä hie- man muita elementtejä isompaa lujuusluokkaa sekä betoniseos on omanlai- nen nopeasti lujittuva, ontelorakenteen muodossa pysymisen vuoksi.

Betonielementtejä ei kannata turhaan tehdä liian suurilla lujuuksilla, koska tämä nostaa tuotteen hiilidioksidi päästöä. Jo yhden lujuusluokan muutoksella voidaan saada isoissa kohteissa merkittävää säästöä hiilidioksidipäästöissä. Esimerkiksi jos tehdään kuutio ei-huokostettua betonia lujuusluokan C30/37 betonilla, on tuotteen hiilidioksidipäästö 312 kg CO<sub>2e</sub>/m<sup>3</sup> ja lujuusluokan C35/45 betonilla vastaava päästö on 336 kg CO<sub>2e</sub>/m<sup>3</sup> (CO<sub>2</sub>data).

Rakennesuunnittelijoiden kanssa tulee keskustella maavaraisten lattioiden tarpeellisesta lujuusluokasta. Usein on lattioita tehty yli C30/37 lujuusluokan betonista, joka todennäköisesti on turhan iso vaatimus. Toinen seikka, jota rakennesuunnittelijoiden kanssa kannattaa tarkastella, on rakenteiden dimensiot, jotta ei tehdä ylisuuria rakenteita. Lopputulokseltaan voidaan päästä pienempään hiilidioksidipäästöön, jos tehdään rakenne suuremman lujuusluokan betonista, mutta voidaankin se toteuttaa huomattavasti pienemmällä betonimäärällä. Osa tuotevalmistajista on aloittamassa rakenteiden suunnittelupalveluiden tarjoamista, jotta elementtirakenteissa saataisiin optimoitua dimensiot, materiaali sekä hiilidioksidipäästöt. (Autio 2023; Rämö 2023; Suutarinen 2023; Voutilainen 2023.)

### **6.3.5 Betonin raaka-aineet**

Betonivalmistajat pyrkivät aktiivisesti itse etsimään ratkaisuja betonin hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. Tässä asiassa otetaan huomioon myös muita seikkoja sementtilaadun valitsemisen lisäksi. Valmistajat pyrkivät tekemään yhä enemmän erilaisia seostuksia, joilla korvataan sementtiklinkkeriä. Seostuksissa voidaan käyttää esimerkiksi masuunikuonaa ja erilaisia tuhkia, sekä etsitään erilaisia uusia vaihtoehtoja. Kiviaineksen raekokojakauman suhteutus on yksi tekijä, jossa kehitystyötä on vielä tehtävänä. (Autio 2023; Rämö 2023; Suutarinen 2023; Voutilainen 2023.)

### 6.3.6 Vähähiilisyys ja kompensointi

Haastatellut tuotevalmistajat pitävät Betoniyhdistyksen luomaa valmisbetonin vähähiilisyysluokitusta onnistuneena. Luokitus tuottaa yhtenäiset vertailuarvot kaikille toimijoille.

Suomen ympäristökeskus ylläpitää rakentamisen ja infrarakentamisen päästö-tietokantaa CO2data.fi, jonka avulla voidaan laskea rakentamisen päästöjä. Tietokannassa olevat päästötiedot ovat keskimääräisiä tietoja, jotka on koottu ilmoitetuista tuotteiden ympäristöselosteista ja sieltä ei löydy yksittäisen valmistajan tuotteiden tarkkoja arvoja (CO2data). Tietokannasta löytyy keskimääräiset arvot erilaisille betonielementeille sekä BY-vähähiilisyysluokituksen valmisbetonin arvoja. Tietokannan päästölaskelmassa on mukana myös konservatiivisen arvon kerroin, joka on valmisbetonin sekä betonielementtien osalta 1,2.

Betoniyhdistyksellä on meneillään projekti vähähiilisyysluokituksen laajentamiseksi koskemaan myös betonielementtituotteita. Laajennus on tarkoitus saada käyttöön vuoden 2023 loppuun mennessä. Luokitus tulee koskemaan vain elementissä käytettävää betonia. Eristeet, rauditus ja mahdolliset pinoitteet lasketaan erikseen mukaan kokonaistuotteen päästöarvoon. Laskuriin tullaan sisällyttämään myös osio, jolla voidaan laskea kuljetuksen aiheuttamat päästöt tehtaalta työkohteelle. (Mattila 2023.)

Haastatellut tuotevalmistajat pitivät luokitusmenettelyn laajentamista elementtipuolelle hyvänä etenemissuuntana. Tosin kriteeristön ollessa vielä julkaisematta, he eivät voineet ottaa siihen varmaan kantaa. Luokituksen laajennukseen toivottiin sitä, että siinä edellytettäisiin tehdaskohtaisia laskentamenetelmiä, kuten valmisbetonipuolella. Jos laskentamenetelmästä tulee jokin yleinen keskiarvoinen, ei-tehdaskohtainen laskentatapa, se ei anna oikeaa kuvaa yritysten tuotteiden vähähiilisyys todellisesta arvosta.

Tulevalla luokituksella saadaan selkeä yhtenäinen menetelmä johon verrataan, mikä on vähähiilistä betonielementtiä. Tällä hetkellä vertailukohteet ovat melko vaihtelevia. Vertailua tehdään esimerkiksi CO2data-tietokantaan ja tul-

kitaan oma tuote vähähiiliseksi, jos sen ympäristöselosteessa (EPD) on pienempi hiilidioksidipäästö kuin tietokannassa. Toinen vaihtoehto esimerkiksi on, että verrataan oman tuotteen hiilidioksidipäästöä siihen, että sama tuote olisi tehty Euroopan unionissa käytetystä keskivertosementistä (CEM I) ja jos saatu hiilidioksidipäästö on pienempi, on se vähähiillistä betonia. (Autio 2023; Rämö 2023; Suutarinen 2023; Voutilainen 2023.)

Osa betonielementtien valmistajista tarjoaa myös hiilidioksidipäästöjen kompensatiota siltä osin, kun tuotteista ei pystytä päästöjä kokonaan poistamaan päästäkseen hiilineutraaliksi. Lujabetoni Oy tarjoaa mahdollisuutta, että asiakas voi pienellä lisäkustannuksella ostaa päästövähennyksiä sertifioiduista projekteista, joissa saadaan sama määrä päästövähennyksiä tai lisätään hiilinieluja (Lujabetoni Oy 2023). Pielisen Betoni Oy tarjoaa päästökompensatiota siten, että se lupaa hoitaa omistamiaan metsiä sillä periaatteella, että ne pysyvät ylläpidettyinä hiilinieluinä (Pielisen Betoni Oy 2023). Kompensatiot eivät vähennä betonituotteiden valmistuksen hiilidioksidipäästöjä, mutta ovat ympäristönäkökulmallinen lisäarvo asiassa.

### **6.3.7 Muita teknisiä seikkoja**

Asuntorakentamisessa vähähiillisten betonielementtien kysyntä ja käyttö on alkanut jo melko hyvin. Kohteita on jo rakennettu. Toimitilapuolella kysyntä on vielä pienempää. Kun betonielementtitehtailla saadaan muottikierto toimimaan vähähiilisiä elementtejä valmistettaessa normaaliin tapaan, niin myöskään tilauksia ei tarvitse tehdä normaalia aikaisemmin. On kuitenkin huomioitava, että samallakin toimittajalla erityyppisiä betonielementtejä tehdään eri tehtailla ja samoin voi olla, että vähähiilisiä versioita tehdään vain osassa tehtaita. Ennen hanketta voidaan markkinakyselyllä kartoittaa alueen toimijoilta mitä laadua ja mihin komponentteihin on saatavilla, jolloin mahdollistetaan paremmin vähähiillisten tuotteiden käyttö. Periaatteessa on mahdollista, että isoissa rakennuskohteissa valmisbetonitoimittaja voi tuoda työmaalle mobiiliaseman ja tehdä myös vähähiillistä betonilaatua suoraan kohteessa. (Autio 2023; Rämö 2023; Suutarinen 2023; Voutilainen 2023.)

Suunnitteluprosessissa ja työmailla mietittävä ennakkoon, missä kyseisen hankkeen osissa voitaisiin käyttää vähähiilistä valmisbetonia tai betonielementtejä. Myös rakentamisvuodenaika voi vaikuttaa päätöksen tekoon. Talvi-betonoinnissa on suurimmat haasteet, jotta lujittuminen saadaan tehokkaasti käyntiin. Tämä voi vaatia lisälämmitystä, valun eristystä sekä kiihdytysaineita. Kiihdytysaineissa tarvitaan uusia tuotteita ja niiden tutkimustyötä tehdään paljon tällä hetkellä.

Vähähiilisyysasioiden huomioon ottaminen vaatii rakennesuunnittelijoilta paljon uusien asioiden omaksumista verrattuna vanhaan perinteiseen suunnitteluprosessiin. Suunnitteluprosessissa olisi tehtävä vaihtoehtoisia tarkasteluja dimensioiden, lujuuden ja teräsmäärien osalta, jotta saadaan optimoitua paras ratkaisu. Samoin olisi tarkasteltava ovatko samat rakenteet oikea vaihtoehto läpi koko rakennuksen. Tällä hetkellä suunnittelijakentällä ei ole vielä laajaa osaamista hahmottaa, missä rakenteissa kannattaa panostaa vähähiilisen tuotteen vaihtoehdon selvittämiseen. Tilaajien tulee tiedostaa, että rakennesuunnitteluvaiheessa hiilidioksidipäästöjen huomioon ottaminen vaatii enemmän kustannuspanostusta perinteiseen suunnitteluun verrattuna. (Mattila 2023.)

#### **6.4 Kustannusvaikutus**

Vähähiilisen betonin valmistuksen kustannusero verrattuna ns. normaaliin betoniin vaihtelee alueellisesti. Hinnoitteluun vaikuttaa mistä ja mitä raaka-aineita tuodaan betoninvalmistukseen. Esimerkiksi vaihdettaessa eri sementtilaatuun, saattaa sen toimituspaikka vaihtua ja vaikuttaa betonin kuutiohintaan usean euron verran. Toisaalta jos betonissa käytetään masuunikuonaa korvaamaan sementtiklinkkeriä, on se taas edullisempaa ja voi kompensoida muiden raaka-aineiden kalliimpaa hintaa. Valmisbetonissa raaka-aineiden tuottamisen kustannukset näkyvät voimakkaammin, koska työpanosta ei ole niin paljon mukana tuotteen hinnassa verrattuna elementtituotantoon. Tällöin elementtituotannossa hintaero on pienempää kuin valmisbetonin valmistuksessa. (Autio 2023; Rämö 2023; Suutarinen 2023; Voutilainen 2023.)

Vähähiilinen valmisbetoni on tällä hetkellä pääosin noin 10...20 % normaalia valmisbetonia kalliimpaa. Alueilla, joilla valmistajia ja tarjontaa on vähän, voi

vähähiilisen betonin hinta olla noin 20...30 % korkeampi verrattuna normaaliin valmisbetoniin. (Autio 2023; Rämö 2023; Suutarinen 2023; Voutilainen 2023.)

Elementtituotteissa vähähiilisen betonin käyttö komponenteissa nostaa hintoja luokkaa 10 % verrattuna normaaleihin tuotteisiin. Pääkaupunkiseudulla on vähähiilisten elementtien saatavuus jo hyvä, jonka vuoksi kustannusnousu verrattuna normaaleihin elementteihin voi olla alle 10 %. Myös muissa isoissa kasvukeskuksissa, kuten Tampereella, Turussa ja Oulussa suuntaus on sama. (Autio 2023; Rämö 2023; Suutarinen 2023; Voutilainen 2023.)

## **7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPIDE-EHDOTUS SENAATTI-KONSERNISSA**

Tehdyn selvityksen perusteella Senaatti-konsernin hankevastaavat ovat melko hyvin teettäneet hiilijalanjälkitarkasteluja yli 2 000 000 €:n hankkeissaan kulu-  
neen kahden vuoden aikana. Tarkastelut oli tehty tai melko varmasti tullaan tekemään noin 57 %:ssa hankkeista. Lukua arvioitaessa pitää huomioida, että projektihallintaohjelmasta saadussa hankelistauksessa on myös hankkeita, joiden hankesuunnitteluvaihe on tehty ennen hiilijalanjäljen tarkasteluvaatimuksen asettamista.

Vähähiilisen betonin käyttöönotto on vielä alkutekijöissä hankkeissa. Vain yhdessä hankkeessa sitä oli käytetty ja yhdessä hankkeessa tehty koerakenne, mutta todettu sopimattomaksi kohteeseen. Tarkasteltuja hankkeita oli 127 kappaletta, joista kaikissa ei ollut betonityötä tai sen osuus oli merkityksetön. Saatujen vastausten perusteella hankevastaavat ovat kuitenkin melko hyvin tietoisia vähähiilisen betonin tulevista mahdollisuuksista ja ovat ottamassa useissa projekteissaan jatkosuunnittelussa tarkasteluun sen käytön. Pääasiallinen syy käyttämättä jättämiseen on ollut vielä epävarma tuotteiden tekninen soveltuvuus. Selkeiden vähähiilisyyskriteereiden puuttuminen on myös hankaloittanut käyttöä.

Suomen hiilineutraalisuustavoite vuodelle 2035 sekä uusi Rakentamislaki ohjaavat selkeästi panostamaan vähähiilisten tuotteiden käyttöönottoon rakentamishankkeissa. Julkisia rakennuksia toteutetaan pitkälle käyttöiälle, jolloin betonirakentamisen osuus on merkittävää jatkossakin.

Jatkotoimenpiteenä suositellaan, että vähähiilisen betonin käyttömahdollisuudet tarkastellaan aiempaa tarkemmin hankkeiden suunnitteluvaiheissa. Jatkossa lähes kaikissa hankkeissa, joille haetaan rakentamislupa, tulee olla materiaaliseloste ilmastaselvityksen liitteenä. Asetukset, joilla määrätään raja-arvot rakennuksen elinkaaren hiilidioksidipäästöille, ovat vielä valmistelussa.

Oletuksena on, että betonin BY-Vähähiilisyysluokitus ® hyväksytään virallisesti menetelmäksi tarkastella tuotteen hiilidioksidipäästöjä. Tällöin saadaan yhtenäiset todelliset vertailukriteerit sekä valmisbetonille, että elementtirakentamiseen. Julkiselle toimijalle luokitus luo selkeän kriteeristön hankintavaatimukseen ja mahdollistaa paremmin kilpailuttamisen. Alkuvaiheessa kannattaa lähteä tutkimaan GWP.REF tai GWP.85 -luokan tuotteiden käyttöä ja siirtyä vähempihiilisiin vasta myöhemmin kokemuksen kartuttua.

Valmisbetonin osalta tulee selvittää, onko hankkeessa osioita, joissa vähähiilisiä tuotteita voidaan käyttää. Suunnittelussa on arvioitava minä vuodenaikana kohde rakennetaan sekä selvitettävä markkinakartoituksella alueen saatavuus. Yleisesti isoissa kasvukeskuksissa saatavuus on parempi kuin haja-asutusalueilla. Kohteissa ei kannata kategorisesti lähteä vaatimaan kaikkeen rakentamiseen vähähiilistä betonia tai edes tiettyä luokkaa, vaan asiassa kannattaa edetä realistisesti, tekniset reunaehdot huomioiden. Työmaan ns. normaali eteneminen on edellytys vähähiilisen betonin käytölle. Lujuusluokkia ei tule turhaan suunnitella ylisuuriksi, tarkasteltava oikea tarve suunnittelussa.

Vähähiilisten betonielementtien saatavuus hankkeisiin arvioidaan hyväksi. Kun BY-Vähähiilisyysluokitus ulotetaan kattamaan elementtituotanto, saadaan selkeä vähähiilisyiden kriteeristö myös elementtipuolelle. Elementtivalmistajat ovat jo alkaneet tuottaa vähähiilisiä versioita ja saatavuus esimerkiksi pääkaupunkiseudulla on jo nyt hyvä. Valmistajat ovat tuotekehityksellään onnistuneet toteuttamaan normaalin muottikierron myös vähähiilisillä tuotteilla. Suunnitteluvaiheessa on kuitenkin myös elementtirakentamisessa tärkeä selvittää alueen todellinen saatavuus, koska kaikkia vähähiilisiä elementtejä ei valmisteta kaikilla tuotantolaitoksilla. Elementtien osalta kannattaa ensi vaiheessa lähteä liikkeelle rakennuksen sisäosista vähähiilisillä versioilla. Ulkoelementit (pakas- ja suolarasituskestävyys) ovat vielä kehitysvaiheessa.

Suuri haaste on löytää hankkeisiin ammattitaitoiset rakennesuunnittelijat, jotka hallitsevat myös vähähiilisyysajattelun. Suunnittelijoiden tulee osata tarkastella rakenteiden erilaisia dimensioita, betonilaatuja sekä raudoitusvariaatioita, jotta saadaan teknisesti sekä kasvihuonekaasujen päästöjen kannalta paras yhdistelmä toteutukseen. Hankkeissa ei jatkossa riitä se, että hankesuunnitteluvaiheessa elinkaarikonsultti tekee yleistarkastelun. Osaavan rakennesuunnittelijan vaatimiseen pitää panostaa hankkeiden suunnittelijoita valitessa. Tilaajana on huomioitava, että suunnittelukustannuksiin joudutaan panostamaan enemmän kuin aikaisemmin.

Hankkeiden kustannuksissa vähähiilisen valmisbetonin tai betonielementtien käyttö näkyy jonkinasteisena nousuna. Kustannusnousu ei kuitenkaan kokonaisuudessaan ole välttämättä kovin merkittävä, jos vähähiilisiä komponentteja käytetään vain osassa hanketta. Elementtipuolella kustannusnousu on selvityksen mukaan maltillinen, koska tuotteen hinnassa on työpanosta muutenkin iso osa. Kustannusvaikutus on tarkasteltava suunnittelussa ja myös muutoksista saatavan hiilidioksidipäästön pienenemisen hyöty arvioitava.

Liitteessä 3. on esitetty yleisohje hankevastaaville vähähiilisen betonin käytön mahdollistamiseksi hankkeissa. Ohje on päivittyvä ja sitä muokataan tarpeen mukaan, esimerkiksi syksyllä 2023 betonielementtien BY-Vähähiilisyysluokituksen valmistuttua.



## LÄHTEET

Autio, M. 2023. Kehityspäällikkö. Haastattelu 3.4.2023. Rudus Oy.

Betoniteollisuus ry. 2023a. Sementti ja kasvihuonepäästöt, Hiilidioksidipäästöjä vähennetään. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/sementti-seosaineiden-kaytto/> [viitattu 11.2.2023].

Betoniteollisuus ry. 2023b. Suurimmat valmistajat. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-alasta-2/suhdanteet-tilastot/suurimmat-valmistajat/> [viitattu 12.2.2023].

Betoniteollisuus ry. 2023c. Valmisbetoni. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni.html> [viitattu 26.4.2023].

Betoniteollisuus ry. 2023d. Betonielementit. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/betonielementit.html> [viitattu 26.4.2023].

Cembureau. 2020. Cementing the European Green Deal. The European Cement Association. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://cembureau.eu/media/kuxd32gi/cembureau-2050-roadmap\\_final-version\\_web.pdf](https://cembureau.eu/media/kuxd32gi/cembureau-2050-roadmap_final-version_web.pdf) [viitattu 12.2.2023].

CO2data s.a. Rakentamisen ja infrarakentamisen päästötietokannat, CO2data.fi -palvelu. WWW-sivusto. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <https://co2data.fi/> [viitattu 23.4.2023].

Ekholm, V. 2023. Kiinteistöjohtaja. Sähköposti 19.4.2023. Tampereen kaupunki.

Finnsementti Oy. 2023a. Environmental Product Declaration (EPD), Kolmoscement, CEMIII/A 52,5 L Parainen. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/Finnsementti-Parainen-Kolmossementti.pdf> [viitattu 14.2.2023].

Finnsementti Oy. 2023b. Environmental Product Declaration (EPD), Oiva-cement, CEMII B-M (S-LL) 42,5 N Parainen. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/Finnsementti-Parainen-Oiva-1.pdf> [viitattu 14.2.2023].

Finnsementti Oy. 2023c. Environmental Product Declaration (EPD), Oiva-cement, CEMII B-M (S-LL) 42,5 N Lappeenranta. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/Finnsementti-Lappeenranta-Oiva-1.pdf> [viitattu 14.2.2023].

Finnsementti Oy. 2023d. Finnsementti Oy:n kotisivu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://finnsementti.fi/> [viitattu 14.2.2023].

HE 139/2022. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi rakentamislainsäädännön muuttamisesta ja siihen liittyviksi laeiksi. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/paatokset/paatokset?decisionId=0900908f807d311e> [viitattu 22.2.2023].

IEA. 2020a. Energy Technology Perspectives 2020. Rev. 2021. Pariisi: International Energy Agency. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy\\_Technology\\_Perspectives\\_2020\\_PDF.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy_Technology_Perspectives_2020_PDF.pdf) [viitattu 9.2.2023].

IEA. 2020b. World Energy Outlook 2020. Pariisi: International Energy Agency. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a72d8abf-de08-4385-8711-b8a062d6124a/WEO2020.pdf> [viitattu 11.2.2023].

IEA. 2021. Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector. Pariisi: International Energy Agency. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector\\_CORR.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf) [viitattu 11.2.2023].

Inspecta Sertifiointi Oy. Sertifikaattihaku: Tuote- ja järjestelmäsertifikaatit. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelutyypit/sertifiointi-ja-arviointi/sertifikaattihaku/> [viitattu 21.2.2023].

IPCC. 2022. The Working Group III, Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, Chapter 9, Buildings. The Intergovernmental Panel on Climate Change. PDF-dokumentti. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf) [viitattu 9.2.2023].

Iqbal, A. 2022. Durability Properties of Low-carbon Concrete. Aalto-yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202210165939> [viitattu 4.3.2023].

Jylhä, J-P. 2023. Ympäristöasiantuntija. Haastattelu 31.3.2023. Skanska Oy.

Kaunola, J. 2023. Rakennuttajainsinööri. Sähköposti 21.4.2023. Kotkan kaupunki, Tekniset palvelut.

Lemmetyinen, M. 2023. Asiantuntija. Haastattelu 25.4.2023. Väylävirasto.

Leveelahti, U. 2023a. Sementin kiertotalous- ja päästövähennystoimet. Esitelmä Betonipäivät Espoossa 1.2.2023. Esitelmä.

Leveelahti, U. 2023b. Ympäristöpäällikkö. Haastattelu 24.3.2023, Finnsementti Oy.

Lujabetoni Oy. 2023. Luja Vähähiilibetoni. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://lujabetoni.fi/vahahiilibetoni/> [viitattu 23.4.2023].

- Malaga, K. 2022. BETCRETE 2.0 – how Swedish cement- and concrete producers implement climate neutral concrete in practise. Esitelmä NCR Symposium, Stockholm 2022. Saatavissa: <https://betongforening.se/2022/09/09/xxiv-ncr-symposium-2022-2/> [viitattu 15.2.2023].
- Martinkauppi, K. 2023. Rakentamisen vähähiilisyiden sääntelykehikko tuossa. Esitelmä Betonipäivät Espoossa 1.2.2023. Esitelmä.
- Mattila, J. 2023. Toimitusjohtaja. Haastattelu 26.4.2023. Betoniteollisuus ry.
- Mölsä, P. 2023. Toimitusjohtaja. Sähköposti 25.4.2023. Tampereen Tilapalvelut Oy.
- Nilsson, L-O. 2011. A new model for CO-absorption of concrete structures. CO-cycle in cement and concrete Part 7: Models for CO-absorption. Lund University. Division of Building Materials. Report TVBM-315B. Saatavissa: <https://portal.research.lu.se/en/publications/a-new-model-for-co-absorption-of-concrete-structures-co-cycle-in-> [viitattu 5.3.2023].
- Norsk Betongforening. 2020. 37. Lavkarbonbetong. WWW-sivusto. Saatavissa: <https://betong.net/nettbutikk/nb-publikasjoner/37-pdf-lavkarbonbetong-2015-gratis-nedlasting-klikk-les/> [viitattu 22.2.2023].
- Orfanoudaki, I. 2022. Effects of accelerators on early strength development of low-carbon concretes. Aalto-yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202301291799> [viitattu 4.3.2023].
- Pielisen Betoni Oy. 2023. 100% kompensoitu betoni. WWW-sivusto. Saatavissa: <https://www.pielisenbetoni.fi/hiilineutraali/> [viitattu 23.4.2023].
- Repo, J. 2023. Projektinjohtaja. Haastattelu 31.3.2023. Helsingin kaupunki, kaupunkiympäristön toimiala, rakennuttamisyksikkö.
- RISE. 2023. Betcrete 3.0 – om projektet. RISE Research Institutes of Sweden. WWW-sivusto. Saatavissa: <https://www.ri.se/sv/betcrete-30/betcrete-30-om-projektet> [viitattu 15.2.2023].
- Rämö, J. 2023. Teknologiajohtaja. Haastattelu. 29.3.2023. Parma Oy.
- Salminen, E. 2021. Suomalaisen betonin hiilijalanjälki. Betoni 1, 86-91.
- Scandinavian Cement Oy. 2023. WWW-sivusto. Saatavissa: <https://www.scandinaviacement.fi/> [viitattu 14.2.2023].
- Schwenk Suomi Oy. 2023. WWW-sivusto. Saatavissa: <https://schwenk.fi/> [viitattu 14.2.2023].
- Senaatti. 2022. Senaatti-konsernin vuosi 2021 Yhdessä kohti tulevaa yhteiskuntavastuuraportti. Senaatti-konserni. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.senaatti.fi/yhteiskuntavastuuraportti2021/> [viitattu 21.2.2023].

Senaatti. 2023. Senaatti-konsernin vuosi 2022 Yhteiskuntavastuuraportti. Senaatti-konserni- PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.senaatti.fi/yhteiskuntavastuuraportti2022/> [viitattu 22.4.2023].

Suomen Betoniyhdistys ry. 2018. Betonitekniikan oppikirja 2018 BY 201. 9. painos. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2023a. Betonitieto. Betonisanasto. Vähähiilinen betoni. WWW-dokumentti. <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/vahahiilinen-betoni.html> [viitattu 14.2.2023].

Suomen Betoniyhdistys ry. 2023b. BY-Vähähiilisyysluokitus. WWW-sivusto. Saatavissa: <https://vahahiilinenbetoni.fi/> [viitattu 14.2.2023].

Suomen Betoniyhdistys ry. 2023c. BY-Vähähiilisyysluokitus, Hiilidioksidipäästöjen laskennassa käytettävät ominaisarvot, päivitetty 31.1.2023. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://vahahiilinenbetoni.fi/wp-content/uploads/2023/01/BY-Vahahiilisyysluokituksen-ominaisarvot-1.pdf> [viitattu 14.2.2023].

Suutarinen, T. 2023. Teollisuusneuvos. Haastattelu 24.3.2023. SBS-Betoni Oy.

Svensk Betong. 2022. Vägledning Klimatförbättrad betong. Utgåva 2.0, 2022. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.svenskbetong.se/images/pdf/Vagledning\\_Utgava\\_2\\_Webb.pdf](https://www.svenskbetong.se/images/pdf/Vagledning_Utgava_2_Webb.pdf) [viitattu 15.2.2023].

TEM. 2022. Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2022:53. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-811-0> [viitattu 9.2.2023].

Tilastokeskus, aineistohaku. 2023. Kasvihuonekaasupäästöt Suomessa. WWW-sivusto. Saatavissa: [https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_khki/statfin\\_khki\\_pxt\\_138v.px](https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_khki/statfin_khki_pxt_138v.px) [viitattu 12.2.2023].

VM. 2022. Hallituksen esitys Eduskunnalle valtion talousarvioksi vuodelle 2023. Valtion talousarvio 2023. Helsinki. Valtiovarainministeriö 19.9.2022. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://budjetti.vm.fi/indox/sialto.jsp?year=2023&lang=fi&maindoc=/2023/aky/aky.xml&id=/2023/aky/YksityiskohtaisetPerustelut/28/20/88/88.html> [viitattu 22.4.2023].

Vehmas, T. 2023. Carbonaide projekti. Esitelmä Betonipäivät Espoossa 1.2.2023. Esitelmä.

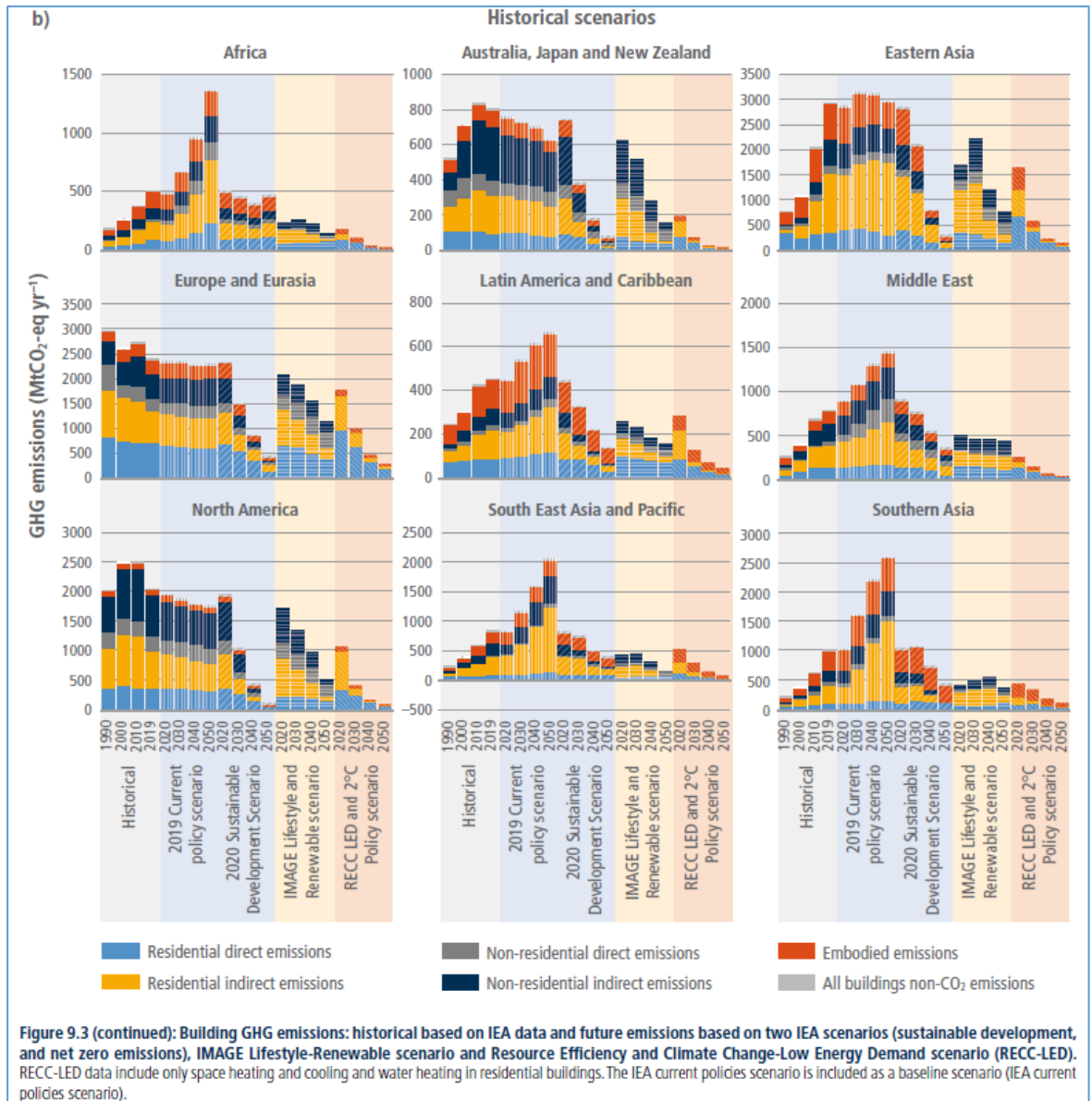
Voutilainen, O. 2023. Kehityspäällikkö. Haastattelu. 4.4.2023. Lujabetoni Oy.

Vuori, M. 2023. By-vähähiilisyysluokitus. Esitelmä Betonipäivät Espoossa 1.2.2023. Esitelmä.

Vuotari, J. 2023. Asiantuntija. Haastattelu 25.4.2023. Väylävirasto.

YIT. 2022. YIT ottaa merkittävän askeleen kohti vähähiilistä rakentamista. YIT Oyj Lehdistötiedote 4.10.2022. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.yit-group.com/fi/news-repository/lehdistotiedotteet/yit-ottaa-merkittavan-askeleen-kohti-vahahiilista-rakentamista> [viitattu 25.4.2023].

Figure 9.3b Historialliset skenaariot maanosittain. (IPCC 2022, 964)



# Vähähiilinen betoni

Ohjeistus hankevastaaville /  
26.4.2023, päivittyvä

Juha Sorvali

# Yleistä vähähiilisestä betonista

- Vähähiilisen betonin (VHB) kriteerit tällä hetkellä kirjavat
- Tulossa [BY-Vähähiilisyysluokitus](#) käyttöön laajasti, on jo käytössä valmisbetonille
  - Betonivalmistaja määrittelee reseptin, millä tuote täyttää kriteerit
  - Asemakohtainen sertifiointi (Kiwa Inspecta)
  - Vähähiilisyysluokkien arvot, raja-arvot sekä yleisen saatavuuden löydät [täältä](#)
  - Sertifioidut valmisbetoniasemat löydät [täältä](#), kirjoita referenssikenttään "vähähiilisyys" ja hae
  - Julkiselle toimijalle selkeä kriteeristö, johon voi viitata tarjouspyynnössä
  - Huomioitava, että jo luokka GWP.REF on sekin VHB-luokka
  - Luokitus laajentuu koskemaan elementtejä loppuvuonna 2023 (ohjetta täydennetään)



# Vähähiilinen valmisbetoni

- Vaadi hankkeeseen rakennesuunnittelija, joka ymmärtää myös vähähiilisyysluokituksen
- Selvittäkää hankkeesta:
  - Missä olosuhteissa rakentaminen tapahtuu (kesä, talvi)
  - Selvitä onko alueella saatavilla VH-betonia (suunnittelija voi selvittää)
    - Mitä laatua (lujuusluokka, raekoko yms)
    - Mitkä ominaisuudet (lujuudenkehitys, kuivuminen yms)
  - Onko rakenteissa jokin osa, jonka voisi tehdä VH-betonilla
    - Lujuudenkehitysaika
    - Kuivumisaika
    - Olosuhde, mihin betoni tulee

# Vähähiilinen betonielementti

- Vaadi hankkeeseen rakennesuunnittelija, joka
  - osaa laskea rakenteita erilaisilla dimensioilla, betonilaaduilla ja teräsmäärillä ja
  - ymmärtää myös vähähiilisyysluokituksen
- Selvittäkää hankkeesta:
  - Onko alueella saatavilla VHB-elementtejä, markkinakartoitus tai suunnittelija selvittää
  - Suositellaan rakennuksen sisäpuolen elementtejä; ontelolaatat, väliseinät, sisälle tulevat pilarit ja palkit
  - Normaali elementtitoimitus, ei vaikutusta työmaajärjestelyihin
  - Pakkas-suolarasituksen elementit vielä kehityksen alla. Sandwich-elementeissä voi olla jo tarjontaa sisäpuoli VH-betonia ja ulkopuoli normaalia betonia.
- Elementtien BY-Vähähiilisyysluokitus: päivitetään, kun julkaistaan syksyllä 2023. Sitä ennen ole kriittinen, kun ilmoitetaan olevan vähähiilistä tuotetta !



**SENAATTI**