

27.3.2025

Prof. Jouni Punkki
Betonitekniikka
Aalto-yliopisto

Vähähiilisen betonin tiekartta

Sisällysluettelo

SISÄLLYSLUETTELO	1
YLEISTÄ	1
SEMENTIN VALMISTUS	2
BETONIN VALMISTUS	3
RAKENTEET	4
PÄÄSTÖVÄHENNYKSET	5
SKENAARIOT	6
YHTEENVETO	7

Yleistä

Vuonna 2025 valmistuneessa Vähähiilisen betonin tiekartassa on analysoitu eri mahdollisuuksia vähentää betonin valmistuksen CO₂-päästöjä. Tiekartassa ei tarkastella muita kestävän kehityksen näkökulmia kuten raaka-aineiden käyttöä tai biodiversiteettiä. Tiekartassa rajoitetaan päästövähennystoimenpiteisiin, esimerkiksi talteen otetun hiilidioksidin varastointia tai hyödyntämistä ei analysoida. Tiekartassa arvioidaan saavuttavia päästövähennyksiä 2030, 2040 ja 2050. Päästövähennysten lisäksi arvioidaan karkealla tasolla myös toteutumisriskejä sekä kustannusvaikutuksia.

Vähähiilisen betonin tiekarttaa ovat rahoittaneet SBK Säätiö sr, Betoniyhdistys ry., Finnsementti Oy ja Aalto-yliopisto. Tiekartan on koennut prof. Jouni Punkki ja työtä on tukenut teollisuuden edustajista koostunut ohjausryhmä.

Tiekartassa on tunnistettu ja analysoitu kaikkiaan 16 eri päästövähennysmahdollisuutta. Nämä ovat jaettu kolmeen ryhmään: Sementin valmistus, Betonin valmistus ja Rakenteet (kuva 1). Eri päästövähennystoimenpiteet on muunnettu vertailukelpoisiksi esittämällä päästövähennykset betoni-m³ kohden (kg-CO₂ eq/m³-betoni). Laskelmissa on pyritty välttämään päällekkäislaskentaa.

Osa esitetyistä päästövähennysmahdollisuuksista on vaihtoehtoisia keskenään ja siten osaa päästövähennyksistä ei ole yhteenlaskettavissa.

SEMENTIN VALMISTUS

- Sementtien seostaminen
- Energiatehokkuus ja raaka-aineet
- Vähäpäästöinen energia ja sähköinen kalsinointi
- CO₂-talteenotto

BETONIN VALMISTUS

- Uudet sideaineet
- Reseptioptimointi
- Valmistustekniikka
- Sähkö ja lämmitys-energia
- Betonimurskeen käyttö
- Sementin ja kiviainesten kuljetus
- CO₂:n sitouttaminen tuoreeseen betoniin
- CO₂:n sitouttaminen betoniin kovettumisen aikana

RAKENTEET

- Lujuusluokka ja laadunvarmistusikä
- Suunnitteluratkaisut
- Elementtien uudelleenkäyttö
- *Karbonatisoituminen*

Kuva 1. Vähähiilisen betonin tiekartassa analysoidut betonin päästövähennystoimenpiteet.

Tiekartassa noudatetaan "gradle-to-gate" periaatetta eli tarkastellaan elinkaarianalyysin vaiheita A1-A3), jotka pitävät sisällään betonin raaka-aineiden, niiden kuljetusten sekä valmistusprosessin aiheuttamat päästöt. Siten valmisbetonin, betonielementtien tai betonituotteiden kuljetuksia tai mahdollisia työmaatoimintoja ei tarkastella. Myöskään ei tarkastella mahdollisen talteen otetun hiilidioksidin varastointia tai hyötykäyttöä.

Tiekartassa on analysoitu päästövähennyksiä koko betoniteollisuuden kannalta, mutta lisäksi on arvioitu yksittäisen yrityksen mahdollisuuksia päästövähennyksiin. Yksittäisten yritysten osalta arvioinnit on tehty tuoteryhmittäin ja analyysit kuvastavat tilannetta, jolloin yritys panostaa runsaasti päästövähennyksiin. Yritystasoinen analyysi nähdään tärkeäksi, sillä havaitaan toimenpiteitä, joilla ei koko betonialan osalta saavuteta merkittäviä päästövähennyksiä, mutta voivat olla yhden yrityksen kannalta hyvinkin merkittäviä.

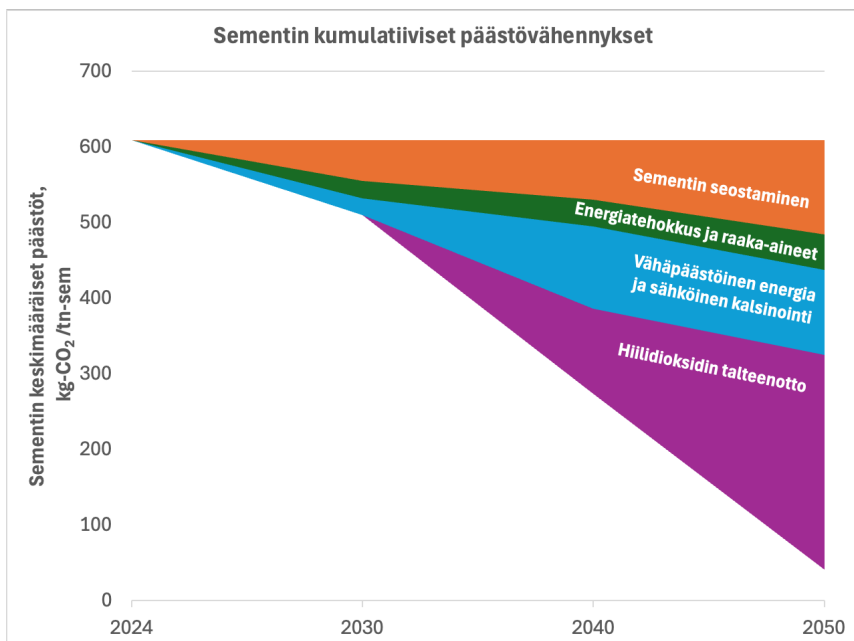
Rakeenteet-ryhmän vaihtoehdot ovat jossain poikkeavia verrattuna sementin ja betonin valmistukseen liittyviin vaihtoehtoihin. Rakenteisiin liittyvät päästövähennysvaihtoehdot eivät yleensä ole betonin valmistajan päätösvallassa, vaan esimerkiksi suunnittelijan valittavissa. Lisäksi mukana oleva karbonatisoituminen tapahtuu ilman erityisiä toimenpiteitä. Karbonatisoituminen onkin tiekartassa mukana lähinnä vertailuarvona.

Sementin valmistus

Sementin valmistus aiheuttaa valtaosan betonin päästöistä ja siten myös suurimmat päästövähennysmahdollisuudet löytyvät sementin valmistuksesta. Sementin osalta on esitetty neljä vaihtoehtoa päästövähennyksiin:

- Sementtien seostaminen
- Energiatehokkuus ja raaka-aineet
- Vähäpäästöinen energia ja sähköinen kalsinointi
- Hiilidioksidin talteenotto

Pidemmällä aikavälillä (2040 ja 2050) hiilidioksidin talteenotto on selvästi tehokkain keino päästöjen vähentämiseksi. Lyhyemmällä sementtien seostaminen nousee tärkeimmäksi toimenpiteeksi (kuva 2).



Kuva 2. Sementin kumulatiiviset päästövähennykset.

Mikäli esitetyt päästövähennystoimenpiteet toteutuvat, sementistä tulee lähes nollapäästöinen materiaali, kaikki sementin merkittävät päästölähteet voidaan eliminoida. Samoin myös betonista tulee erittäin vähäpäästöinen rakennusmateriaali, betonin osalta voidaan hyödyntää sementin päästövähennysten lisäksi myös muita päästövähennystoimenpiteitä. Päästövähennysten kustannukset ovat vielä tässä vaiheessa vaikeasti arvioitavissa, tulevaisuudessa betonin hintaan tulee vaikuttamaan betonin päästötaso. Betonin päästöjen radikaali vähentyminen tulee vaikuttamaan myös monien muiden päästövähennystoimenpiteiden kilpailukykyyn.

Koska suurimmat sementin päästövähennykset saavutetaan vasta 2030:n jälkeen, tulee lyhyemmällä aikavälillä panostaa seossementtien käyttöön. Hiilidioksidin talteenoton kustannusvaikutusten takia seossementtejä tullaan tarvitsemaan myös 2040- ja 2050 luvuilla. Seossementtien käytömahdollisuudet vaihtelevat jossain määrin tuoteryhmittäin sekä valmistettavien tuotteitten mukaan, mutta seossementtien käyttö on tehokas ja varsin helposti toteutettava päästövähennystoimenpide.

Betonin valmistus

Betonin valmistuksen osalta on analysoitu kaikkiaan kahdeksan eri vaihtoehtoa päästövähennyksiin:

- Uudet sideaineet
- Reseptioptimointi
- Valmistustekniikka
- Sähkö- ja lämmitysenergia
- Betonimurskeen käyttö

- Sementin ja kiviainesten vähäpäästöinen kuljetus
- CO₂:n sitouttaminen tuoreeseen betoniin
- CO₂:n sitouttaminen betoniin kovettumisen aikana

Lisäksi sementin valmistukset kohdalla esitettyä sementtien seostamista voidaan pitää myös betonin valmistajan toimenpiteenä, valitseehan betonin valmistaja käytettävän sementtityypin.

Betonin valmistuksessa voidaan saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä, päästövähennykset jäävät kuitenkin selvästi matalammalle tasolle kuin mitä sementillä voidaan saavuttaa. Koko betoniteollisuuden osalta suurimmat päästövähennykset saavutetaan raaka-aineiden kuljetuksista sekä valmistuksen energian käytöstä (kuva 3). Kyseiset säästötoimenpiteet voidaan toteuttaa myös varsin lyhyellä aikavälillä. Yksittäisten yritysten osalta nousee varsin korkealle myös uusien sideaineiden mahdollisuudet. Tähän liittyy kuitenkin runsaasti epävarmuustekijöitä, tiekartassa on oletettu, että vaihtoehtoisten sideaineiden käyttömahdollisuudet paranevat tulevaisuudessa. Erityisesti betonituotteiden osalta merkittää potentiaalia nähdään myös CO₂:n sitouttamisessa betoniin kovettumisen aikana.

Rakenteet

Perinteisesti rakenteiden suunnittelussa on kiinnitetty vähemmän huomiota rakenteiden päästöihin, mutta jatkossa rakenteita optimoidaan myös CO₂-päästöjen kannalta. Päästövähennysten arvioiminen on kuitenkin varsin haastavaa, koska päästövähennykset ovat hyvin tapauskohtaisia. Rakenteiden osalta suunnittelija on avainroolissa, betonin valmistaja ei voi yksin vaikuttaa rakenteiden päästöihin. Tiekartassa arvoitiin seuraavia rakenteisiin liittyviä päästövähennyksiä:

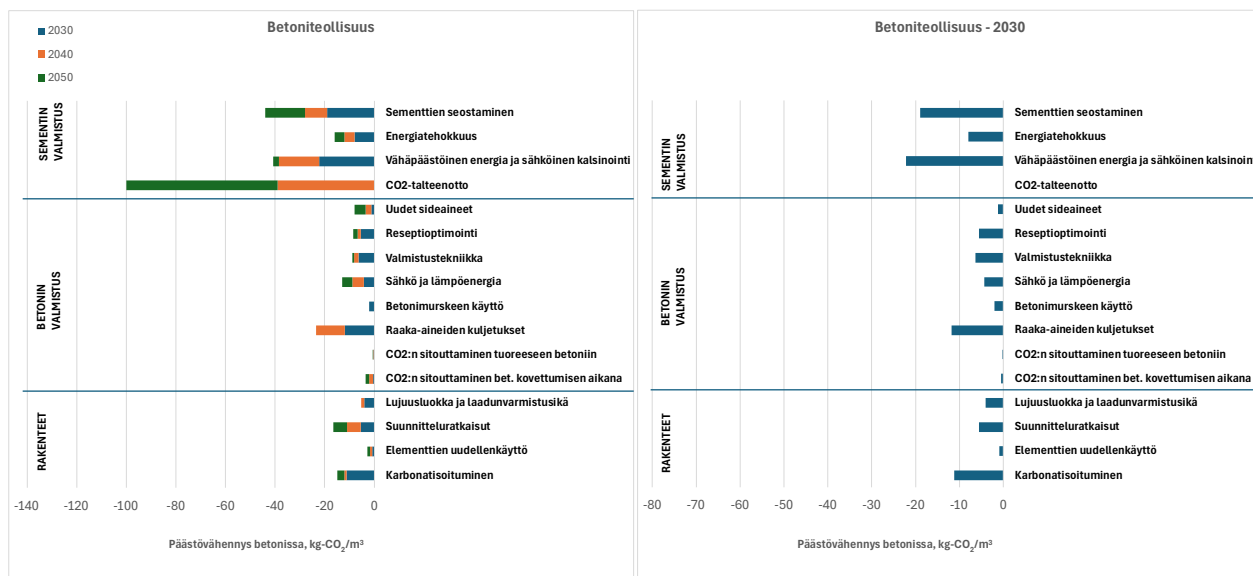
- Betonin lujuusluokka ja puristuslujuuden arvosteluikä
- Suunnitteluratkaisut
- Elementtien uudelleenkäyttö
- *Karbonatisoituminen*

Lujuusluokkien osalta arvioidaan mahdollisuuksia välttää ylilujuuksia. Samoin tarkastellaan millaisia päästövähennyksiä pidempi puristuslujuuden arvosteluikä (28 vrk -> 91 vrk) voisi antaa. Edellä mainitut toimenpiteet voidaan toteuttaa vain osassa kohteita. Suunnitteluratkaisujen osalta arvioitiin varsin yleisellä tasolla millaisia päästövähennyksiä voitaisiin saavuttaa. Yksittäisissä kohteissa voitaisiin todennäköisesti saavuttaa selvästi suurempiakin päästövähennyksiä. Elementtien uudelleen käytöllä voidaan parhaimmillaan saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä, koska betonin päästöt jäävät lähes kokonaan pois. Haasteena on kuitenkin varsin pieneksi jäävät käyttömäärät. Karbonatisoituminen on tiekartassa lähinnä vertailutasona, päästövähennykseksi arvioitiin olemassa olevien betonirakenteiden hiilinielu suhteessa valmistettuun betonimäärään.

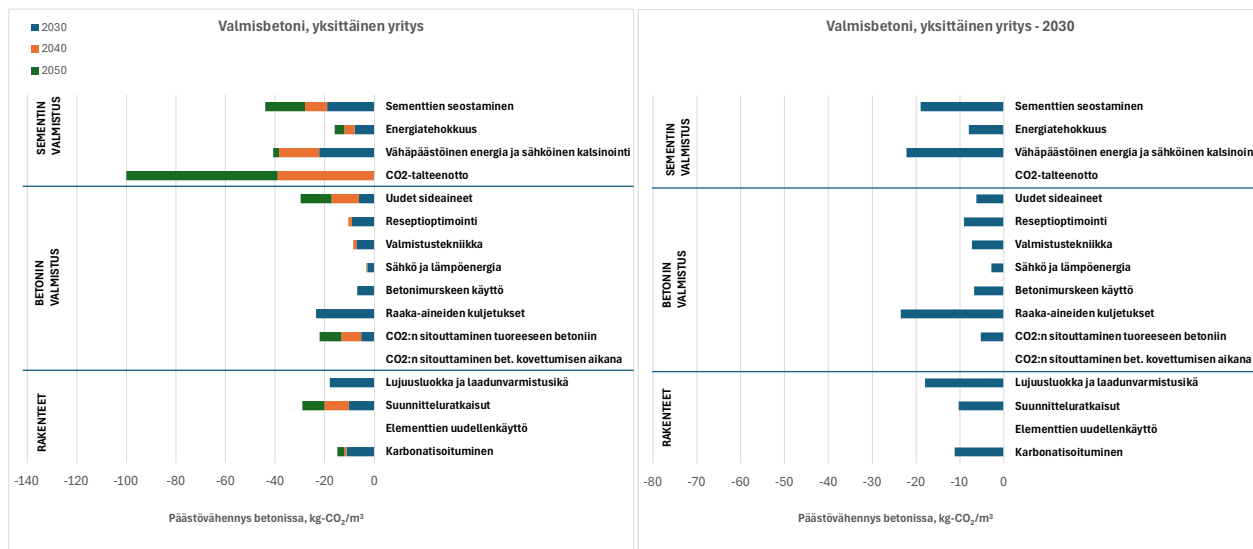
Koko betoniteollisuuden kannalta suunnitteluratkaisulla arvioitiin saavutettavan suurimmat päästövähennykset. Myös olemassa olevien rakenteiden karbonatisoitumisen vaikutus on yllättävän suuri. Yksittäisten valmisbetoniyritysten osalta lujuusluokan ja arvosteluiän muutoksilla sekä suunnitteluratkaisulla voidaan saavuttaa suurimmat päästövähennykset. Yksittäisen elementtien valmistajan osalta myös elementtien uudelleen käytöllä on merkittävää säästöpotentiaalia.

Päästövähennykset

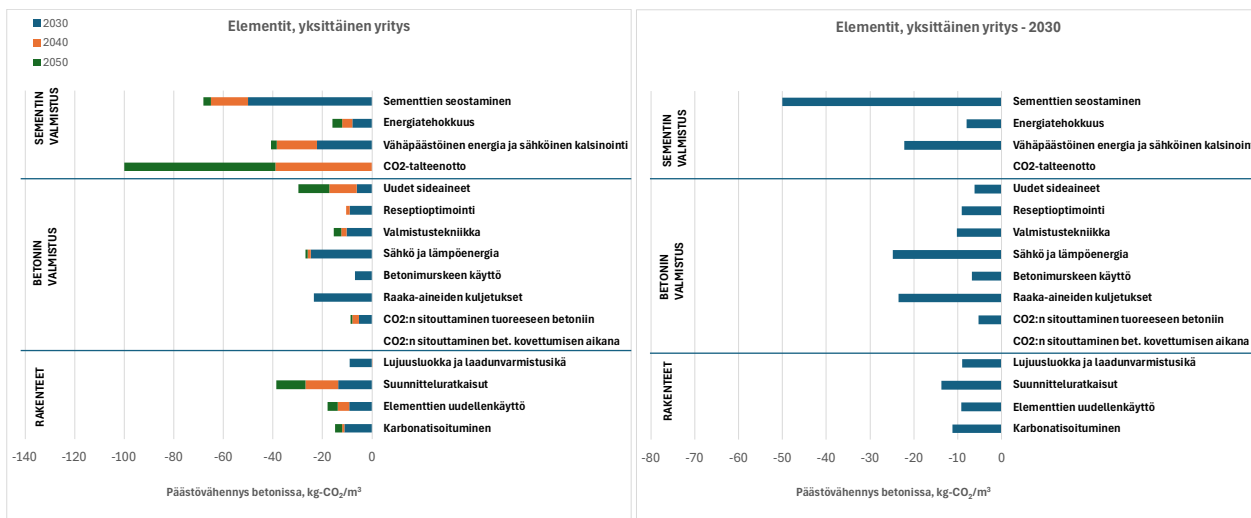
Kuvassa 3 on esitetty koko betonialan päästövähennykset koko tarkastelujaksolla (2030-2050) sekä lyhyellä aikavälillä (2030). Kuvissa 4-6 on vastaavasti esitetty yksittäisten yritysten päästövähennysmahdollisuuksia tuoteryhmittäin. Yksittäisten yritysten analyysi kuvastaa tilannetta, jossa yritys panostaa määrätietoisesti päästövähennyksiin.



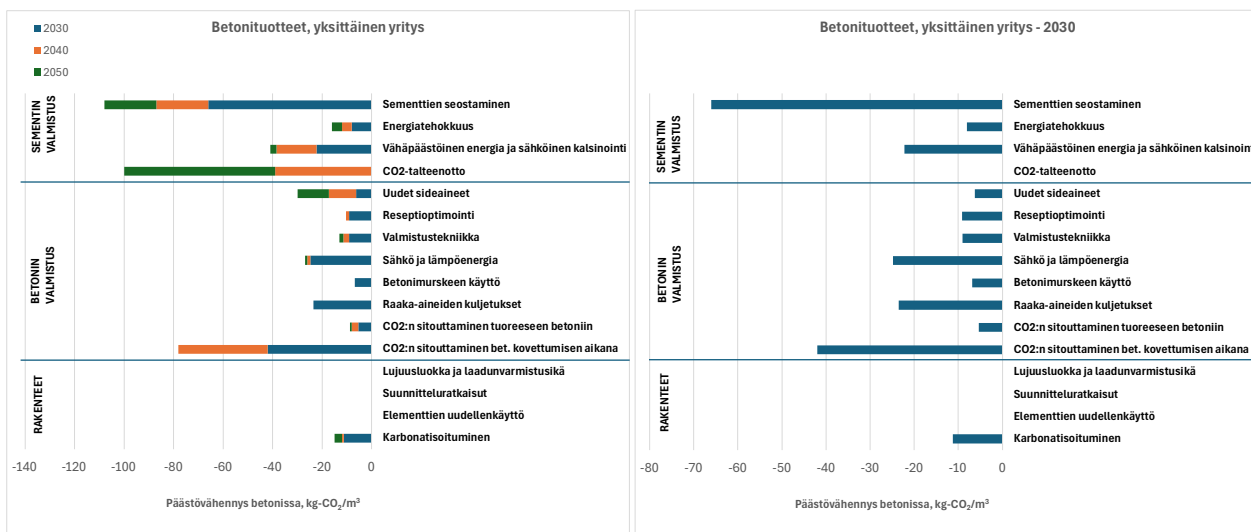
Kuva 3. Betoniteollisuuden päästövähennysmahdollisuudet. Vasemmalla 2030-2050 ja oikealla 2030.



Kuva 4. Yksittäisen valmisbetoniyrityksen päästövähennysmahdollisuudet. Vasemmalla 2030-2050 ja oikealla 2030.



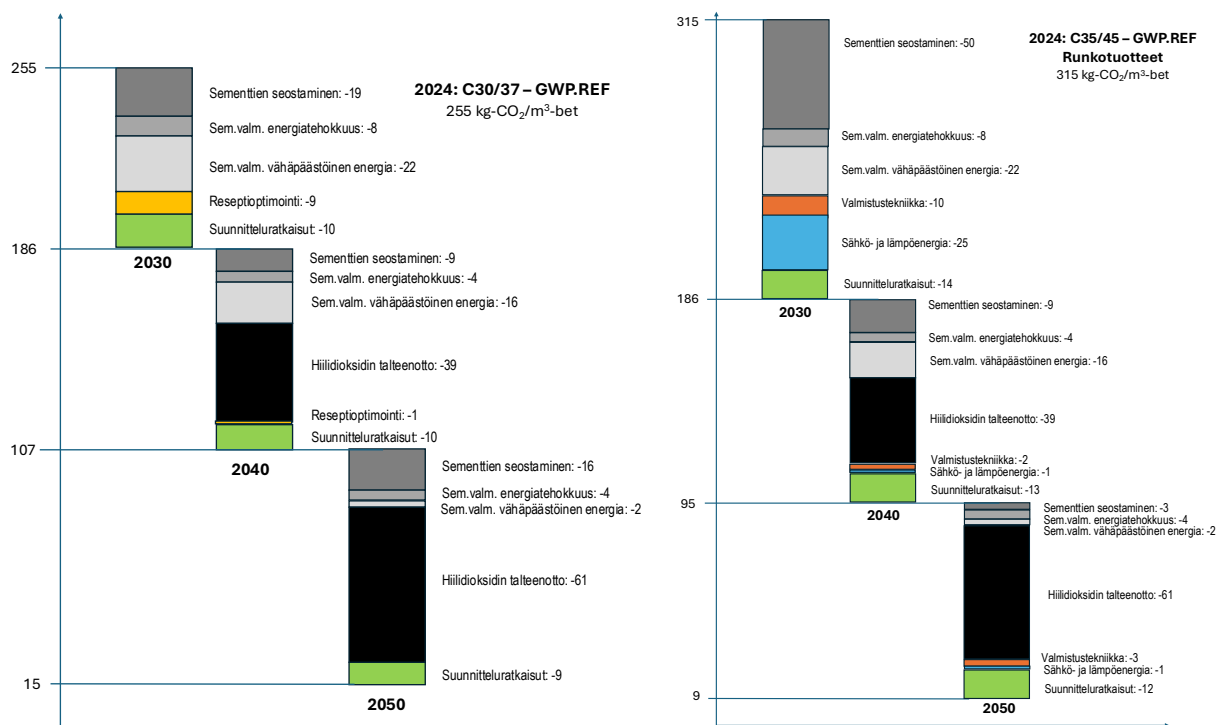
Kuva 5. Yksittäisen elementtivalmistajan päästövähennysmahdollisuudet. Vasemmalla 2030-2050 ja oikealla 2030.



Kuva 6. Yksittäisen betonituotevalmistajan päästövähennysmahdollisuudet. Vasemmalla 2030-2050 ja oikealla 2030.

Skenaariot

Tiekartassa on esitetty myös skenaariot millä toimenpitein valmisbetonin tai betonielementtien valmistaja voi vähentää päästönsä hyvin alhaiselle tasolle. Valmisbetonin osalta lähtökohtana C30/37 GWP.REF päästöluokan betoni, jonka hiilidioksidipäästöt ovat 255 kg-CO₂/m³-bet. Elementtien osalta lähtökohtana runkotuotteisiin käytettävä lujuusluokan C35/45 GWP.REF päästöluokan betoni, jonka hiilidioksidipäästöt ovat 315 kg-CO₂/m³-bet. Skenaariot on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Skenaario valmisbetonin (vas.) ja elementtien (oik.) päästövähennystoimenpiteistä eri aikakausina.

Skenaariot vahvistavat, että betonin saadaan hyvin alhaiselle tasolle ja jopa betonin nollapäästöisyys on saavutettavissa.

Yhteenveto

Vähähiilisen betonin tiekartassa on analysoitu 16 eri mahdollisuutta betonin päästövähennyksiin. Koko tarkastelujaksolla merkittävimäksi toimenpiteeksi nousee odotetusti hiilioksidin talteenotto sementin valmistuksessa. Lyhyellä aikavälillä (vuoteen 2030 mennessä) potentiaalisimpana toimenpiteenä nähdään seossementtien käytön lisääminen.

Sementin lisäksi nähdään myös useita muita päästövähennystoimenpiteitä, joita voidaan hyödyntää betoniteollisuudessa. Saavutettavat päästövähennykset vaihtelevat tuoteryhmittäin ja myös yritysakohtaisesti. Sementin lisäksi suurimmat mahdollisuudet päästövähennyksiin nähdään raaka-aineiden kuljetuksissa (kaikki tuoteryhmät), valmistuksen energian käytössä (elementit ja betonituotteet), uusissa sideaineissa (kaikki tuoteryhmät) sekä CO₂:n sitouttamisessa betoniin kovettumisen aikana (betonituotteet). Edellä mainituista uusien sideaineiden käyttöönotto tulee tapahtumaan viiveellä ja käyttöönottoon liittyy runsaasti epävarmuutta, kun taas muutokset raaka-aineiden kuljetuksissa ja valmistuksen energian käytössä voidaan toteuttaa nopeastikin.

Toteutuessaan esitetyt päästövähennystoimenpiteet tekevät betonista erittäin vähäpäästöisen tai jopa nollapäästöisen rakennusmateriaalin. Sementin päästöjen merkittävä vähentyminen tulee myös vaikuttamaan muiden betonin päästövähennysvaihtoehtojen kilpailukykyyn, esimerkiksi uusien sideaineiden kilpailukykyyn tulee vaikuttamaan merkittävästi perinteisten sementtien päästö-taso.

Vähäpäästöinen betoni tulee olemaan erittäin tärkeässä roolissa koko rakentamisen päästöjen kannalta. Betonin päästötason radikaali alentuminen tulee tekemään betonista erittäin kilpailukykyisen rakennusmateriaalin kestävä kehityksen näkökulmasta. Betonilla on useita erittäin vahvoja ominaisuuksia, betonin raaka-aineita on runsaasti saatavilla kotimaasta, sementin valmistuksen päästöt tulevat olemaan minimaaliset, sementin valmistuksessa ei synny juurikaan jätteitä, vaan sementin valmistuksessa voidaan hyödyntää muiden alojen jätteitä. Lisäksi betonin ominaisuudet tunnetaan erittäin hyvin ja betonin käytöstä on Suomessakin jo yli 100 vuoden kokemus.