



Euroopan unionin
osarahoittama



ÖSTERBOTTENS FÖRBUND
POHJANMAAN LIITTO

Maatilakokoluokan biometaanin tuotanto haastaville raaka-aineille -hanke:

Vähähiilinen betoni biometaanin tuotantolaitoksen rakenteissa

Tom Lipkin & Saara Leppä

2025



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SISÄLLYS

1	PROJEKTIKUVAUS	5
2	BETONI RAKENNUSAINEENA.....	5
3	VÄHÄHIILINE BETONI BIOKAASUREAKTORIN RAKENTEISSA	6
4	BETONIN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	7
4.1	Materiaalit	8
4.2	Valmistusprosessi ja rakentaminen.....	10
4.3	Käytöstä poistaminen ja kierrätys	11
5	BETONITUOTANNON HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN12	
5.1	Sideaineen valinta ja klinkkerin määrä.....	13
5.2	Roomalainen betoni ja vulkaaninen tuhka	16
5.3	Hiilen varastointi betoniin (biohiili)	17
5.4	Hiilidioksidin talteenotto	18
5.5	Karbonatisoituminen ja kierrätys	19
5.6	Valmistusprosessin optimointi ja kuljetukset	20
5.7	Materiaalitehokkuus	21
5.8	Rakennuksen pitkäikäisyys	22
5.9	Korvaavat materiaalit.....	22
5.9.1	Teräs	23
5.9.2	Puu.....	23
6	BETONILAADUT JA GWP	24
7	BIOKAASUREAKTORIN SUUNNITTELU VÄHÄHIILISESTÄ BETONISTA	
	27	
7.1	Betonikokeet	27
7.2	Eri rakenne vaihtoehdot ja kustannukset	35
7.3	Rasitusluokat ja lujuusluokka.....	36
7.4	Sementtityypit	36
7.5	Yhtenäinen valu	37
7.6	Saumaton valu ja tiiveys.....	38

7.7 Kulutuksen kestävyys ja pinnan käsittely	39
7.8 Lisäaineet	40
7.9 Kuidut betonissa	41
7.10 Kiviaineksen laatu	41
8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	42
9 LÄHTEET	44
10 LIITTEET	50

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Raudoitus. Kuva Tom Lipkin.	6
Kuva 2. Betonin rakenne. Kuva Saara Leppä.....	9
Kuva 3. Paikallavalu. Kuva Tom Lipkin.	11
Kuva 4. Betonirakenteinen halli. Kuva Tom Lipkin.	22
Kuva 5. Normaali rakennebetoni C30/37. Lähde Betoni.com Ympäristöselosteet. (Betoni.com, ei pvm.l)	25
Kuva 6. Vähähiilinen rakennebetoni C25/30. Lähde Betoni.com Ympäristöselosteet. (Betoni.com, ei pvm.l).....	26
Kuva 7. Säänkestävä rakennebetoni C30/37 XF1. Lähde Betoni.com Ympäristöselosteet. (Betoni.com, ei pvm.l).....	26
Kuva 8. Painuman mittaus. Kuva Saara Leppä.....	29
Kuva 9. Puristuslujuuden mittaus. Kuva Saara Leppä.	31
Kuva 10. Koekappaleita. Kuva Saara Leppä.	33
Kuva 11. Vetolujuuden mittaus. Kuva Saara Leppä.....	34
Kuva 12. Paikallavalu. Kuva Tom Lipkin.....	36
Kuva 13. Betonin tasoitus, pysäköintitalo. Kuva Tom Lipkin.	38
Kuva 14. Kiviaineksia. Kuva Saara Leppä.	42
 Taulukko 1. Betonin vähähiilisyyssuokitus. Lähde: BY-Vähähiilisyyssuokitus.....	24
Taulukko 2. Betonimassan painuma.....	28
Taulukko 3. Puristuslujuus 3 vrk. MPa.....	30

Taulukko 4. Puristuslujuus 28 vrk. MPa.	32
Taulukko 5. Vetolujuus 28 vrk. MPa.	34

1 Projektikuvaus

Tässä raportissa käymme läpi ensiksi betonia rakennusaineena, ja sitä mitkä ovat betonin ympäristövaikutukset ja hiilidioksidipäästöjen aiheuttajat. Sen jälkeen perehdytään hiilidioksidipäästöjen vähentämismahdollisuuksiin ja vertailuun siitä, miten päästöt eroavat betonilaaduittain. Työn tarkoituksena oli selvittää, miten vähähiiliset betonit sopisivat biometaanintuotantolaitoksen rakenteisiin. Tehdyt betonikokeet havainnollistivat sementin, masuunikuonan ja tulivuorentuhkan eroja ja niiden soveltuvuutta laitoksen rakenteisiin. Lopuksi käydään läpi mitä riskejä kyseisessä rakenteessa on. Arvioidaan mm. valun kulutuksen kestävyyttä ja tiiveyttä ja mahdollisia pinnoitusvaihtoehtoja sekä mahdollisia riskejä ja niiden ehkäisemistä.

2 Betoni rakennusaineena

Betonilla on monia käyttökohteita mm. rakennusten perustukset, rakennukset, infrarakenteet ja ympäristötuotteet. Betonilla on monia hyviä ominaisuuksia kuten lujuus, jäykkyys ja edullisuus sekä hyvä saatavuus ja helppo valmistustekniikka. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.13)

Betonin ominaisuudet riippuvat siitä mitä betonissa on ja minkälainen suhteutus betonin raaka-aineilla on. Alhaisella vesi-sementtisuhteella saadaan lujempaa ja tiiviimpää betonia kuin suuremmalla vesi-sementtisuhteella. Huokosten määrä parantaa betonin pakkasenkestävyyttä, mutta vähentää lujuutta, säilyvyyttä ja kasvattaa betonin kutistumista. Betonimassan työstettävyyteen vaikuttaa betonimassan notkeus, maksimiraekoko ja lämpötila. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.69–73). Betonin kustannuksiin vaikuttavat sementin laatu, sideaineen ja kiviaineksen kuljetuskustannukset.

Betoni valmistetaan sementistä, vedestä, kiviaineksesta ja lisäaineista. Sideaine sementti valmistetaan yleensä kalkkikivestä. Kalkkikivi kuumennetaan, jotta saadaan sementti klinkkeriä, joka voidaan jauhaa sementiksi. Kalkkikiven poltosta vapautuu hiilidioksidia. Betoni voi olla valmisbetonia tai betonielementtejä sekä betonituotteita.

Betonirakenteissa käytetään yleensä terästä vahvistamaan rakennetta ja parantamaan vetorasitusta. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s. 209) Betonin vetolujuus on vain noin kymmenesosa betonin puristuslujuudesta. Näin mahdollisuudet käyttää betonia rakennusaineena ilman raudoitusta ovat rajoitetut.



Kuva 1. Raudoitus. Kuva Tom Lipkin.

Betoni voidaan kierrättää, kun sen käyttöikä rakenteissa päättyy. Betonimursketta voidaan käyttää maanrakentamiseen tai uuden betonin valmistukseen. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.153)

3 Vähähiiline betoni biokaasureaktorin rakenteissa

Tavoitteena on suunnitella maatilakokoluokan biometaanin tuotantolaitos, joka soveltuu hankalille raaka-aineille. Sen rakenteet suunnitellaan vähähiilisestä betonista. Tavoitteena on hyödyntää rakenteissa jo olemassa olevia vähähiilisen betonituotannon ratkaisuja ja saada aikaan vähähiilinen ja kustannustehokas ratkaisu.

Sementtiteollisuus kuuluu EU:n päästökauppaan. Euroopan sementtiteollisuuden kattojärjestöllä CEMBUREAU on hiilineutraaliustavoite vuoteen 2050 mennessä. Myös monilla muilla betoni- ja sementtijärjestöillä on hiilineutraaliuteen tähtääviä tiekarttoja.

(Betoni.com, ei pvm.i). Yksi tärkeimmistä tekijöistä hiilineutraalius tavoitteisiin pääsemisiin on päästökauppa. Jos tavoitteisiin ei päästä, syntyy kustannuksia. Näin ollen hiilidioksidipäästöjen vähentäminen voi olla kannattavaa, vaikka lopputuote (sementti tai betoni) olisi markkinoilla kalliimpaa.

Viranomaisvaatimukset, betonin kilpailukykyisyys, kustannuspaineet ja ilmastonmuutos vaativat toimia betonin hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Suomen vähähiilisen betonin tiekartta on valmistumassa vuoden 2025 alussa. Sen tavoitteena on mm. etsiä vaihtoehtoja vähähiilisen betonin valmistukseen ja kilpailukykyisyyteen. (Punkki, 2024b). Suomella on hiilineutraaliustavoite vuoteen 2035 mennessä ja vuonna 2025 aloitettiin laskea uusien rakennusta hiilidioksidi päästöjä. (Punkki, 2021). Uusi rakennuslaki astui voimaan 2025 alussa, joka edellyttää vähähiilisyysluokituksen soveltamista (Tompuri, 2024). Ilmastaselvityksiä vaaditaan 2026 lähtien. Yksi helpottava tekijä vähähiilisyyspyrkimisessä on vähähiilisyysluokitus. Vähähiilisyysluokituksella vähennetään betonin hiilidioksidipäästöjä luokittelemalla betonien hiilidioksidipäästöt vertailukelpoisiksi. Se on Suomen Betoniyhdistys ry:n menetelmä, joka on tullut ympäristöselosteen rinnalle. (BY-Vähähiilisyysluokitus, ei pvm.)

Betonin valmistusmäärät ovat suuria ja niiden päästöt ovat 8 % kaikista ihmisen aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä. Valmistusmäärien ennustetaan vielä kasvavan. (Dunderfelt ym., 2023, s. 97) Varsinkin julkisissa hankkeissa tulisi painottaa vähähiilisyystavoitteita. Päästökauppa pakottaa vähähiilisiin ratkaisuihin.

4 Betonin ympäristövaikutukset

Betonirakenteiden hiilidioksidipäästöt tulevat suurimmaksi osaksi käytön aikana, joka koostuu sadan vuoden tarkastelujaksolla enimmäkseen (71 %) lämmityksestä aiheutuvista päästöistä. Materiaalin ja rakennuksen purun päästöt ovat vain 21 % ja työmaan sekä korjauksen päästöt ovat 8 %. Täten onkin suuri merkitys rakennuksen hiilidioksidipäästöjen kannalta, että rakennus on energiatehokas ja lämmitysenergia on tuotettu päästöttömästi. Betonirakennukset ovat energiatehokkaita ilmatiiviin ja lämpötilaa tasaavan rakenteen takia. Betonirakenteet ovat myös pitkäikäisiä ja säilyviä

sekä muuntojoustavia, jolloin päästöt jakautuvat pidemmälle ajalle. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.142–153)

Betonielementin hiilidioksidipäästöt tulevat suurimmaksi osaksi sementistä. Sementin päästöt ovat noin 69 %, valmistusprosessin päästöt ovat 16 %, kuljetuksen 6 %, raudoitteiden 5 %, kiviaineksen 3 % ja lisäaineiden 1 %. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s. 142–153) Betonituotteesta ja valmistustavasta riippuen voidaan myös sanoa, että sementin päästöt ovat 80–85 % betonin valmistuksen päästöistä (Betoni.com, ei pvm.i). Hiilidioksidia vapautuu eniten kalsinoinnista ja valmistusprosessin energian käytöstä (Ruskeeniemi, 2022). Suomessa tuotetun sementin hiilidioksidipäästöt ovat 0,9 milj. tonnia/vuosi (Betoni.com, ei pvm.h). Suurin syy betonin suuriin päästöihin on sen käyttömäärät.

Sementintuotannosta syntyviä päästöjä ovat CO₂, SO₂, NO_x ja pöly. Hiilidioksidi päästöt ovat n. 700 kg / klinkkeritonni. Muut päästöt ovat vähäiset. Ja energiankulutus on n. 4500–5000 MJ/klinkkeritonni. (Betoni.com, ei pvm.h)

4.1 Materiaalit

Betonin valmistamiseen käytetään mm. kiviainesta. Kiviaines on uusiutumaton luonnonvara ja sillä on vaikutuksia luonnonympäristöön (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018). Hiekka- ja soranottoalueita halutaan käyttää myös muuhun tarkoitukseen kuten pohjavedenottoon tai asutukseen. Nykyään onkin käytetty enemmän murskattua kalliokiviainesta. Tällöin kuljetusetäisyydet pysyvät myös tarpeeksi pieninä. Resurssitehokkuudella ja betonin kierrätyksellä uusiokäyttöön on merkittävä rooli luonnon monimuotoisuuden haittojen vähentämisessä sekä päästöjen suuruudessa. (Betoni.com, ei pvm.e). Betonin hienojakoisempi kiviaines on kuitenkin useasti luonnonhiekkaa tai luonnonsoraa. Alueilla missä ei ole saatavilla sopivaa luonnonmateriaalia kuljetusmatkat ovat pitkiä.

Vaikka betoni koostuu suurimmaksi osaksi kiviainesta (70–75 %). Kiviaineksen päästöt ovat betonielementeillä 3 %. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.142–153). Kuvasta 2 voidaan nähdä betonin ainesosien suhde.



Kuva 2. Betonin rakenne. Kuva Saara Leppä.

Betonin suurimmat päästöt tulevat Portland-sementistä. Vähähiilisempien sideaineiden käyttö vähentää hiilidioksidipäästöjä. Betonissa on sementtiä noin 300–400 kg/tonni betonia ja elementin sementistä aiheutuvat päästöt ovat noin 69 %. Veden ja kiviaineksin ympäristökuormitukset ovat vähäisiä sementtiin verrattuna, vaikka niiden tilavuusprosentti onkin suuri. Sementin hiilidioksidipäästöt johtuvat kalkkikiven kalsinoinnista, joka tapahtuu sementtiklinkkeriä poltettaessa. Siinä kalkkikivi hajoaa kalsiumoksidiksi ja hiilidioksidiksi. Hiilidioksidipäästöt riippuvat käytettävän klinkkerin määrästä. Klinkkerin määrää saadaan pienemmäksi käyttämällä sementin lisäksi mm. masuunikuonaa ja lentotuhkaa. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s. 142–153). Viime vuosina hiilen käyttö energialähteenä on vähentynyt huomattavasti ja täten betonituotantoon soveltuva lentotuhkaa on tarjolla niukasti. Sen tähden markkinoilla ei ole tarjolla juurikaan lentotuhkaa sisältävää betonia.

Lisäaineiden hiilidioksidipäästöt ovat 1 kg-CO₂/kg-lisäaine. Lisäaineita ei käytetä suuria määriä, vain noin 1/1000 betonin massasta. Keskiverto elementin lisäaineista johtuva päästöt ovat 1 %. Lisäaineilla käytöllä on myös positiivisia vaikutuksia

ympäristökuormituksiin. Notkistimien käytöllä voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä jopa 10–20 %. Kun vettä tarvitaan vähemmän, sementtiäkin voidaan käyttää vähemmän. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.142–153)

Betoniteräs on pääosin kierrätettyä pohjoismaissa. Pohjoismaiden terästuotanto on kierrätyspohjaista ja myös pohjoismaihin tuotava teräs on suurimmaksi osaksi kierrätysterästä. Kierrätysteräksen päästöt ovat alle 400 kg/terästonni. (Betoni.com, ei pvm.g)

4.2 Valmistusprosessi ja rakentaminen

Valmistukseen tarvitaan lämpöenergiaa, jonka tuottamisesta aiheutuu päästöjä. Elementteillä ne ovat 16 % betonin hiilidioksidipäästöistä (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.142–153).

Betonin ja elementtien kuljetuksista aiheutuu päästöjä, jotka ovat noin 5 % kokonaispäästöistä (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.142–153). Betonirakenteiden rakentaminen aikaisia pölyämistä, melua ja liikennehaittoja voidaan vähentää tehdasvalmistuksella (Betoni.com, ei pvm.c).



Kuva 3. Paikallavalu. Kuva Tom Lipkin.

4.3 Käytöstä poistaminen ja kierrätys

Betonin murskaaminen ja jauhaminen tehostaa hiilidioksidin sitoutumista betoniin. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.142–153). Betoni pystyy sitomaan jopa 85 % kalsinointireaktiossa vapautuvasta hiilidioksidista, ja murskattuna jopa 90 %. (Concrete, ei pvm.). Tällä hetkellä suomessa kierrätetään yli 80 % betonijätteestä (Betoni.com, ei pvm.a)

Kiertotalous vaikuttaa betonin hiilidioksidipäästöihin. Betonin jauhaminen betonimurskeeksi ja sen uusiokäyttö vähentää mm. kiviaineksen oton päästöjä. (Betoni.com, ei pvm.e)

5 Betonituotannon hiilidioksidipäästöjen vähentäminen

Nykytilanteessa tehokkain keino betonituotannon hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi on sideainevalinta. Esimerkiksi masuunikuonan käyttö vähentää Portland-sementistä aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä. Sen käyttö on myös nykyisten standardien mukaista ja saatavuus on tällä hetkellä hyvä, mutta se ei välttämättä tule riittämään kysynnän kasvaessa. Eurooppalaisten standardien mukaan 95 % klinkkeristä voi olla masuunikuonaa. Uusien sideaineiden käyttöönotto on hidasta, mutta masuunikuonan tunnettavuus ja pitkä käyttökokemus edistävät sen nopeaa käyttöönottoa. Kuitenkin masuunikuonan käyttö hidastaa alkulujuuden kehitystä ja sillä on vaikutuksia pakkassuolakestävyyteen nopeuttaen rapautumista yli 50 % kuonamäärillä. Myös karbonatisoitumisnopeus suurenee. Mutta masuunikuonalla on myös positiivisia vaikutuksia joihinkin säilyvyysominaisuuksiin ja loppulujuus on sillä yleensä Portland-sementtiä suurempi. Alkulujuuden kehitystä voidaan nopeuttaa kiihdyttimillä sekä lämpökäsittelyllä ja lisäämällä kemikaaleja, jotka lisäävät liukenemista ja auttavat kiteytymistä. Tähän tarvitaan kuitenkin lisätutkimista, kaupallisia toimijoita ja lisäaineiden hyväksyntää. Tarvitaan myös muita vaihtoehtoja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. (Punkki, 2024a)

Kiviainesten vedentarvetta vähentämällä pystytään vähentämään sementtimäärää ja näin päästöjä. Tähän vaikuttaa eniten hienoaineksen määrä ja sen ominaispinta-ala. Näihin vaikuttaa taas kiillemineraalit ja kallion metamorfoosioaste. Luonnonkiviaines vaatii vähemmän vettä kuin murskattu kiviaines. Murskattu kiviaineksin voidaan saada vähemmän vettä kuluttavaksi poistamalla hienoainesta sekä säätelemällä louhintaa ja murskausprosessia. (Punkki, J. (2024a). Standardointi hankaloittaa vähähiilisiin tuotteisiin siirtymistä ja koko vihreää siirtymää. (Dunderfelt ym., 2023, s. 98) Koska vähähiilisten betonilaatujen käyttöön liittyy pitkällä tähtäimellä epävarmuustekijöitä, se hidastaa uusien betonilaatujen käyttöönottoa. Betonirakenteen suunnittelijan ja rakenteen toteuttajan täytyy olla vakuuttunut rakenteen pitkäikäisyydestä ja kestävyyydestä.

5.1 Sideaineen valinta ja klinkkerin määrä

Sideaineena voidaan käyttää seoksia sementistä, masuunikuonasta, lentotuhkasta ja kalkkikivestä. Tosin lentotuhkan käyttö on viime vuosina jäänyt vähäiseksi. Masuunikuonan, lentotuhkan ja kalkkikiven käyttö vähentävät klinkkerin määrää, josta aiheutuu suurimmat hiilidioksidipäästöt. Seosaineiden käyttö voi kuitenkin hidastaa lujuudenkehitystä. Sitä voidaan nopeuttaa lämpökäsittelyllä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.142–153). Näiden lisäksi voidaan käyttää myös silikaa, biotuhkia ja tulivuoren tuhkaa (Ruskeeniemi, 2022, s.13–52). Myös geopolymeerit, joissa sideaineena voi olla esimerkiksi kaoliinisavi tai teollisuuden sivuvirrat voivat olla keino vähentää hiilidioksidipäästöjä tulevaisuudessa (Betonicom, ei pvm.). Näitä teollisuuden sivuvirtoja ovat mm. piitä ja alumiinia sisältävät jätteet (Härkönen, 2021).

Silika (SiO_2) on pozzolaani eli sideaine. Sitä saadaan ferropiin ja piin valmistusprosessin savukaasuista. Se parantaa lujuutta, kemiallista kestävyyttä, tiiviyyttä ja rakennetta sekä vedenpitävyyttä. Se vähentää myös lujuusreaktioista aiheutuvaa lämpöä. (Betonitieto, ei. pvm.). Silikaa käytetään korkeaa lujuutta ja tiiveyttä vaativissa rakenteissa. Se on kuitenkin kallis, lisää vedentarvetta, vaikuttaa negatiivisesti korkealujuusbetonin työstettävyyteen ja lisää pinnan kuivumisnopeutta. Silikaa käyttämällä saadaan lujia rakenteita, jolloin materiaalia tarvitaan vähemmän. (Ruskeeniemi, 2022, s.13–52)

Masuunikuona on siitä hyvä, että sillä voidaan parantaa betonin sulfaatinkestävyyttä. Kuitenkin pakkassuolakestävyys heikkenee, karbonatisoituminen nopeutuu ja viruma suurenee sekä kuljetusmatkat voivat kasvaa suuriksi terästeollisuuden muuttuessa. Lentotuhka taas parantaa työstettävyyttä ja jäykkyyttä. Saatavuudessa on myös haasteita kivihiilen käytön vähentyessä. Kalkkikivellä voidaan vaikuttaa alkulujuudenkehityksen nopeutumiseen, jolloin voidaan vähentää sementin määrää. (Ruskeeniemi, 2022, s.13–52)

Kalsinoituja savia voidaan käyttää myös sementin korvaajina. Esimerkkinä tästä on metakaoliini. Sen satavuus on yleisesti hyvä. (Ruskeeniemi, 2022, s.13–52). Mutta Suomessa sitä ei ole saatavilla laajalla alueella (Ruggeri, ei pvm.). Sen valmistuksen energiankulutus on suurta, mutta kuitenkin pienempi kuin sementin. Lisäksi hinta on korkeampi kuin sementillä. Metakaoliinia valmistetaan kalsinointireaktiolla kaoliinista

600–900 celsiusasteessa. Hiilidioksidipäästöt ovat ainakin puolet pienemmät mitä sementillä. (Ruskeeniemi, 2022, s.13–52). Metakaoliinia käytetään mm. Australiassa hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen (Australasian pozzolan association, 2023). Ja Brasiliassa sitä on käytetty patojen rakentamisessa. Ensimmäisen kerran sitä on käytetty 1960-luvulla. Silloin sen tarkoituksena oli estää huokosrakenteen vauriot, jotka syntyvät alkalipiidioksidireaktiosta. (Australasian pozzolan association, ei pvm.). Metakaoliitti lisää lujuutta ja kestävyyttä, vähentää korroosiota, lisää karbonatisoitumista ja lisää vesitiiveyttä. (Ruskeeniemi, 2022, s.13–52).

Sideaineina voidaan käyttää myös kalsium-aluminaattisementtejä, kalsium-sulfoaluminnaattisementtejä sekä alkaliaktivoituja materiaaleja eli epäorgaanisia polymeerejä ja geopolymeerejä. Geopolymeereillä on alhaisempi kalsiumpitoisuus ja korkeampi alkalipitoisuus kuin epäorgaanisilla polymeereillä. Alkaliaktivoitujen materiaalien valmistukseen voidaan käyttää masuunikuonan ja lentotuhkan lisäksi silikaa, kalsinoituja savia ja biotuhkia sekä aktivaattorina natriumhydroksidia tai natriumsilikaattia. Ominaisuuksien vaihdellessa lähtöaineiden mukaan, voidaan kuitenkin sanoa, että alkaliaktivoituilla materiaaleilla on hyvä loppulujuus, vesitiiveys ja korkeiden lämpötilojen kesto sekä huonoina puolina hauraus ja työstettävyyden vaikeus. Alkaliaktivoitujen materiaalien ominaisuuksista ei tiedetä vielä paljoa, mutta monet tutkimustulokset osoittavat, että kemiallinen rasituksen sietokyky olisi parempi kuin normaalin betonin, koska huokosrakenteessa on eroavaisuuksia. 1960-luvulla alkaliaktivoituja materiaaleja käytettiin rakentamiseen Ukrainan alueella. Rakennetut kohteet ovat säilyneet vähintään perinteisen betonin tavoin. (Ruskeeniemi, 2022, s.13–52).

Ukrainassa 1960 luvulla käytössä olleen alkaliaktivoitun sideaineen pohjalta Bengt Forss kehitti F-sementin suomessa 1980-luvulla. Tutkimuksista huolimatta sitä ei otettu koskaan käyttöön. Silloin myös Partekin sementtiteollisuus kehitti käyttöön sideaineen, jossa oli alkaliaktivoitun sideaineen lisäksi Portland-sementtiä. Sitä ehdittiin käyttämään 1990-luvulle asti. (Punkki, 2021)

Ukrainan lisäksi geopolymeerejä on testattu myös muualla Euroopassa ja Suomessa. Tutkimusta ja pilotointia tehtiin Suomessa 70- ja 80-luvuilla. Geopolymeereistä

valmistettiin kattotiiliä vuonna 1998. Materiaalina oli alkaliaktivoitu masuunikuona. Ne säilyivät hyvin suomen olosuhteissa (Oulun yliopisto, 2024). Oulun yliopisto on kehittänyt geopolymeeribetonia, jonka puristuslujuus on 107 MPa. Raaka aineina siinä on ollut masuunikuonaa ja vesilasiliuosta. Valmistukseen riitti huonelämpötila. (Oulun yliopisto, 2019).

Kaoliinia on tutkittu betonin sideaineena ja puolet kaoliinia sisältävä näytteen lujuudeksi saatiin 74 MPa. Tämä osoittaa savesta tehdyn betonin olevan lujempaa kuin sementistä valmistetun betonin, koska sementti betonin lujuus on 30–50 MPa. Vielä on epäselvää, miten suomalaista savea voitaisiin hyödyntää. Osalla niistä on kuitenkin samoja ominaisuuksia, kun kaoliinilla. Suomessa poistetaan paljon savimaata rakennustyömaiden tieltä ja viedään kaatopaikalle. Voisi olla mahdollisuus hyödyntää savi paikan päällä. (Ruggeri, ei pvm.)

Savella on betonin kaltaisia ominaisuuksia ja sitä voidaan käyttää betonin tavoin. Suomessa on valmistettu ja valmistetaan luonnonbetonista mm. lattioita. Luonnonbetoni valmistetaan savesta ja kiviaineksesta. Siitä saadaan kovaa ja kestävää betonia puristamalla ainesosat yhteen. Savi toimii siis sideaineena ja pinnan sulkemiseen käytetään pintakäsittelyä, jotta saadaan likaa ja kosteutta hylkivä pinta. Luonnonbetonissa käytetään rakennustyömaalta kaivettuja maita tai ylijäämämaita. Luonnonbetonin päästöt ovat 9,3 CO₂ eq/m³. Se on betonin päästöistä noin 4 %. (Luonnonbetoni, ei pvm.)

Vaihtoehtoisilla sideaineilla pystytään hyödyntämään monenlaisia teollisuudessa syntyneitä kuonia, tuhkia ja jätemateriaaleja, jotka olisivat muussa tapauksessa käyttökelvottomia. Tämä vaatii kehitystä ja se vaatisi myös standardien muuttamista koska standardit säätelevät sitä mitä kantavissa rakenteissa oleva betoni voi sisältää ja mistä raaka-aineista se voidaan valmistaa. Toinen vaihtoehto on erillinen ETA-hyväksyntä. (Punkki, 2021) Esimerkkeinä sivutuotteista, joita on tutkittu geopolymeerinä on sellutuotannon viherlipesakka. Aktivaattorista eli sideaineen lujittajasta 40 % voi olla viherlipesakkaa (Metsä Group, 2021). Myös mineraalivillaa voidaan käyttää betonissa. Suomessa on Oulun yliopisto kehittänyt innovaation, jossa mineraalivillajätettä voitaisiin käyttää betonin valmistukseen. Haasteena on kuitenkin sen saatavuus.

(Ruskeeniemi, 2022, s.13–52). Myös biotuhka ja turvetuhka sopii sideaineeksi. Mutta suuremmassa mittakaavassa käyttöä ei ole ollut, koska tutkimustietoa ei ole ollut tarpeeksi ja tuhka on laadultaan vaihtelevaa. Myöskään sopivia standardeja ei ole. Tuhkien laatuun voidaan vaikuttaa polttokattilaan lisättävillä mineraaleilla ja puhdistamalla savukaasuja. Tuhkaa voidaan myös jauhaa, jolloin käyttömahdollisuudet paranevat. (Ohenoja, 2019) Kaivosteollisuuden silikaatteja voisi olla mahdollista käyttää täyteaineena (Ruggeri, ei pvm.).

On yrityksiä, jotka käyttävät geopolymeerejä ja niitä on hyödynnetty isoissa hankkeissa. Jos mennään useita vuosia taaksepäin, esimerkiksi Roomalainen betoni valmistettiin vulkaanisesta tuhkasta ja kalkista ja saamelaiset ovat käyttäneet paikallista savea tiilien valmistukseen. (Ruggeri, ei pvm.)

On kuitenkin hyvä todeta, että vaihtoehtoisten sideaineiden hiilidioksidipäästö laskelmat eivät pidä välttämättä paikkaansa. Päästöjä ei ole välttämättä tutkittu ollenkaan tai laskelmat ovat olleet puutteelliset. Ja esimerkiksi kuljetuksen päästöt tai se, että päätuotteiden päästöt huomioidaan sivutuotteiden päästöissä voivat nostaa kokonaishiilidioksidi päästöjä niin, että se ei olekaan vähähiilisempi ratkaisu. (Ruskeeniemi, 2022, s.13–52). Vaihtoehtoisten sideaineiden käyttö voi olla hiilidioksidipäästöjen osalta samaa luokkaan kuin seostetuilla sementeillä (Punkki, 2021). Myös sementin korvaaminen voi vähentää karbonatisoitumista ja sen väheneminen voi johtaa negatiivisiin vaikutuksiin hiilidioksidi päästöjen kannalta (Dunderfelt, ym., 2023, s.99).

5.2 Roomalainen betoni ja vulkaaninen tuhka

Antiikin Rooman aikaisessa betonissa käytettiin vulkaanista tuhkaa ja kalkkia. Roomalaisella betonilla on kyky korjata itse itseänsä, joka liittyy betonin kalkkipartikkeleihin ja niiden aiheuttamiin kemiallisiin reaktioihin. Kalkkikertymät on saatu aikaan kuumasekoituksella. Laasti kovettuu nopeasti kalkkipartikkelin ympärille ja ne jäävät reagoimattomiksi. Kun betoni halkeilee ja vettä tunkeutuu rakenteeseen, tapahtuu reaktiivinen hydrataatio ja halkeama korjautuu ja rajapinnat lujittuvat, koska betonissa on liukenevaa kalkkia (kalsiumoksidia). Korjautumisen syynä voi olla kalsiumkarbonaatin kiteytyminen tai reagoimaton vulkaaninen tuhka voi liuetessaan

muodostaa kalsiumpitoisen nesteen kanssa kalsium-aluminaatti-silikaatti-hydraattia (C-A-S-H) ja lujittua. C-A-S-H kasvattaa betonin lujuutta vahvistaen tartuntaa ainesosien välillä. Betonista tulee lujempaa. Kalsiumoksidi vähentää myös 90 vuorokauden ikäisen betonin kutistumista 9 %. Negatiivisena puolena on se, että betonin emäksisyys katoaa karbonatisoitumisessa, mikä ei ole raudoituksille hyväksi. (Tykkä, 2023).

Vulkaanista tuhkaa voidaan käyttää sideaineena betonissa sementin lisäksi. Sillä on sementin kaltaisia ominaisuuksia. Heidelberg Materials on kehittänyt Bascement Plussan, joka sisältää sementtiä ja luonnollista pozzolania eli vulkaanisia materiaaleja. (Heidelberg Materials, ei pvm.). Pozzolaanin osuus Bascement Plussassa on enintään 22 %. (Heidelberg Materials, 2024). Vulkaaninen tuhka betonissa lisää betonin lujuutta, ja vulkaanisen tuhkan käyttö vähentää hiilidioksidipäästöjä. Hiilidioksidipäästöjen pienenemiseen on syynä se, että vulkaanisella tuhkalla ei ole valmistuksesta tulevia ympäristövaikutuksia niin kuin muilla sideaineilla, koska se on valmiiksi lämpökäsitelty. Bascement Plussan vulkaaninen tuhka on peräisin Islannista ja sen saatavuus on hyvä. (Heidelberg Materials, ei pvm.). Vulkaanisella tuhkalla on hyviä ominaisuuksia kuten lujuus, riittävyys ja se on valmiiksi lämpökäsitelty.

5.3 Hiilen varastointi betoniin (biohiili)

Biohiili on pyrolyysireaktiolla valmistettava materiaali. Sitä voidaan valmistaa hakkuujätteestä, puupohjaisesta purkujätteestä, sellu- ja paperitehtaan lietteestä, riisinkuoresta, pähkinän kuorista sekä muista jäte- ja sivuvirroista. Biohiilen valmistus edistääkin kiertotaloutta. Valmistuksen hiilidioksidipäästöt ovat maltilliset ja siitä ei synny hyödyntämättömiä sivuvirtoja. Biohiiltä voidaan käyttää betonissa sementin ja runkoaineen korvaajana sekä lisäaineena. (Dunderfelt, ym., 2023, s. 62, 99, 101 & 102).

Tietyllä määrällä biohiiltä voidaan lisätä betonin kestävyttä, mutta korvattaessa suuria määriä sementtiä, biohiilellä kestävyys ominaisuudet heikkenevät. Biohiilen käytön vaikutuksia puristuslujuuteen täytyy tutkia vielä enemmän. (Dunderfelt, ym., 2023, s. 62, 99, 101 & 102).

Biohiiltä käyttämällä betonin raaka-aineena pystytään sitomaan hiilidioksidia betoniin sekä vähentämään sementin määrää ja päästöjä. Biohiileen sitoutuu hiilidioksidia myös

sen ollessa rakenteessa. Biohiilen käytöllä voidaan vähentää jopa 870 kg CO₂ eq/1000 kg kuiva raaka-aine. Myös jätteenkäsittely kustannuksien metaani- ja typpipäästöt pienenevät. (Dunderfelt, ym., 2023, s.99)

Biohiilellä on muitakin positiivisia vaikutuksia, joita ovat mm. betonin kovettumisen ja varhaislujuuden paraneminen, runkoaineesta lähtevien orgaanisten epäpuhtauksien liikkumisen väheneminen, (joka mahdollistaisi epäpuhtaampien/ kierrätetyn aineksen käytön), korkea pH ja vedenläpäisykyky. Lisäksi biohiili vähentää betonin tiheyttä. Riisinkuori biohiilen materiaalina parantaa sufaatinkestävyyttä. Se kuluttaa betoniin hydratoitumisen seurauksena syntynyttä kalsiumhydroksidia, joka vaikuttaa huokosrakenteen tiivistymiseen. Biohiilen käyttö betonissa vähentää betonin painoa sekä lisää lämmönjohtavuutta ja äänieristävyyttä (Dunderfelt, ym., 2023, s. 61, 62, 98, 14 ja 8).

Biohiilessä voi olla haitta-aineita, joiden esiintyvyyttä voidaan välttää käyttämällä laatusertifioitua biohiiltä (Dunderfelt, ym., 2023, s.49). EBC-basicMaterials- sertifioitu biohiili sopii mm. rakennusmateriaaliksi. Biohiilen laatu on vaihtelevaa, joten se vaatii laadun tarkistamista- Laatuun vaikuttaa biohiilen valmistuslämpötila. Mitä korkeampi valmistuslämpötila, hiilipitoisuus ja stabiilius sitä laadukkaampi biohiili. Lämpötilan pitäisi olla yli 500 celsiusastetta (Dunderfelt, ym., 2023, s. 49, 16, 24 ja 12).

Biohiilen käyttö vaatii mm. sääntelyn muutosta sekä tutkimusta liiketalouden ja lainsäädännön osalta. Lisätutkimusta tarvitaan laajasti myös kemikaalirasituksien ja säärasitusten kestossa sekä standardien osoittamien vaatimusten täyttymistä biohiilessä betonin raaka-aineena. Biohiilen saatavuuden ja tuotantoketjun olisi myös kehityttävä. (Dunderfelt, ym., 2023, s. 21, 28 & 102)

5.4 Hiilidioksidin talteenotto

Yksi keino vähentää betonin hiilidioksidi päästöjä on hiilidioksidin talteenotto. Tällöin Portland-sementti voidaan valmistaa päästöttömästi. Esimerkkinä tästä on Norjan hiilidioksidintalteenottolaitos Norcemin sementtitehtaan lähetyvillä, jonka tarkoituksena on ottaa sementintuotannon hiilidioksidi talteen ja säilöä se Pohjanmeren tyhjiin öljykenttiin. (Betoni.com, ei pvm.j). Laitos pystyy sitomaan 400 000 tonnia

hiilidioksidia/vuosi. Se on tehokas tapa ja päästöjä voidaan vähentää vain tiettyyn pisteeseen korvaamalla kalkkikiveä, kierrätyspolttoaineilla, energiatehokkuutta parantamalla ja seostamalla sementtejä. Suomessa ei ole tyhjiä öljy- tai kaasukenttiä, mutta hiilidioksidista voitaisiin valmistaa esimerkiksi liikennepolttoaineita. (Finnsementti, 2021). Hiilidioksidin talteenotontekniikka on kallista, mutta päästökaupan hintojen nousun myötä kannattavampaa. (Punkki, 2021)

5.5 Karbonatisoituminen ja kierrätys

Kun betoni on kosketuksissa ilman kanssa, hydratoitunut sementti ja ilma reagoivat keskenään ja kalsinoinnissa ilmakehän hiilidioksidi sitoutuu sementtiin takaisin. Reaktio tapahtuu betonin pinnassa. Murskaamalla voidaan kasvattaa reagoivaa pinta-alaa. (Concrete, 2020). Karbonatisoitumista ei ole kuitenkaan huomioitu vielä päästölaskelmissa (Härkönen, 2021).

Betonin murskaaminen ja jauhatus tehostaa hiilidioksidin sitoutumista betoniin (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s. 142–153). Mitä pienempi hiukkanen sitä nopeampaa hiilidioksidin sitoutuminen on (Concrete, 2020). Betoni pystyy sitomaan 85 % kalsinointireaktiossa vapautuvasta hiilidioksidista. Ja murskattuna jopa 90 %. (Concrete, ei pvm.). Ympäristön kosteus vaikuttaa karbonatisoitumiseen. Vesi on välttämätöntä, mutta suuri ympäristön kosteus hidastaa karbonatisoitumista tukkimalla kaasun pääsyn betoniin. Karbonatisaationopeuden kannalta paras suhteellisen kosteuden osuus betonissa on 60–80 %. (Concrete, 2020).

Päästöjä voitaisiinkin pienentää huolehtimalla siitä, että betoni jauhetaan pieneksi ja käytetään uudelleen. Uudelleenkäyttö vähentää myös uuden kiviaineksen hankinnan päästöjä, kun betonimurskeen käyttö pienentää tarvittavaa uutta kiviainesmäärää. Kuljetustenaikaiset päästöt myös vähenevät. Käytössä ollutta betonia voidaan käyttää murskattuna talonrakentamisessa ja maanrakentamisessa sekä valmisbetonissa ja betonituotteissa, kun se ei ylitä tiettyjä raja arvoja liittyen haitta-aineisiin ja epäpuhtauksiin ja AVCP arvo on 2+ (Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteen luokittelun päättymisen arviointiperusteista 466/2022, 14 §).

Luulajan teknillinen yliopisto (LTU) on kehittänyt uuden betonin mihin ei ollenkaan lisätä uutta sideainetta, vaan sideaine on betonimurskeesta saatu hienoaines. Tämä hienoaines jauhetaan kuulumyllyssä, kitka nostaa lämpötilan, ja sementti saa takaisin alkuperäisiä ominaisuuksia. Ilman uutta sideainetta, lisäämällä vain vettä ja runkoaietta, betonin puristuslujuus on ollut 30 MPa. Tutustumiskäynti Luulajassa tehtiin 13.12.2024.

Kiertotaloudella voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä. Myös rakenteiden pitkäikäisyydellä voidaan vaikuttaa hiilidioksidipäästöjen suuruuteen.

Kierrätettävyyden onnistuu valmistamalla tuotteet niin että, purkaminen onnistuu aiheuttamatta vahinkoa tuotteelle. Elementeistä valmistetuissa rakenteissa pultti- tai hitsausliitoksin mahdollista rakenteen purkamisen käyttöänsä päätyttyä. Myös rakenteen muunneltavuus eri käyttötarkoituksiin on tärkeää kiertotalouden näkökulmasta. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s. 142–153)

Yksi keino betonin kierrätyksessä ja näin hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä on elementtien uusiokäyttö. Se edellyttää, että elementit ovat tarpeeksi hyvässä kunnossa. Rakenteessa ei ole halkeilua, raudotteiden peitepaksuudet ovat riittävät ja alkuperäinen suunnittelulujuus ylittyy. Irrotustyö täytyy myös tapahtua vaurioitta. (Lahdensivu & Räsänen, 2024)

5.6 Valmistusprosessin optimointi ja kuljetukset

Vähähiilinen betoni edellyttää kiviaineksen laadukkuutta. Betonissa kuuluisi olla paljon kiviainesta ja vähän muita aineita. Kiviaineksen ominaisuudet täytyy olla sopivat. (Härkönen, 2021)

Betonin lämpökäsittelyllä voidaan vähentää sementin käytön tarvetta. Lämmitysenergian tuotantoon käytettävä uusiutumaton energia voidaan korvata bio- ja kierrätyspolttoaineilla. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.142–153). Energiatohokkuuteen pyrkiminen ja sähköinen kalsinointi vähentää myös energian kulutusta. (Punkki, 2024b). Lisäksi sementtiklinkkerin polttoprosessin energiatohokkuutta lisäämällä saadaan vähennettyä päästöjä ja kalsinointi voidaan tehdä myös sähköllä. (Punkki, 2021)

Lisäaineista notkistimen käytöllä voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä jopa 10–20 %. Kun vettä tarvitaan vähemmän, sementtiäkin voidaan käyttää vähemmän. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.142–153)

Kuljetusten päästöt voidaan minimoida lyhyillä kuljetusetäisyyksillä. Eli suosimalla paikallisia materiaaleja.

5.7 Materiaalitehokkuus

Vähemmän betonia vaativat rakenteet ovat vähähiilisempiä. Jännitetyt betonirakenteet mahdollistuvat hoikat rakenteet ja pitkät jännevälit. Nämä vähentävät tarvittavan betonin määrää rakennuksessa. Toisaalta rakennuksen saaminen esim. muuntojoustavaksi voi vaatia rakenteiden kantavuutta ja materiaalien suurempaa käyttöä. Materiaalitehokkuus täytyisikin miettiä niin, että muut vähähiilisyyttä edesauttavat ominaisuudet säilyvät. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.142–153).

Korkealujuusbetoni vähentää betonin määrää, koska rakenteen poikkileikkausta pystytään pienentämään, kun betonin kantavuus on parempi. Lujempaa betonilaatua tarvitaan vähemmän, jotta saavutetaan sama kantokyky kuin vähemmän lujemmalla betonilaadulla. Puristuslujuuden kasvaessa kolminkertaiseksi 25 Mpa:sta 75 Mpa:han, sementtimäärä puolittuu ja kiviaineksen määrä on enää kolmasosa. (Ruskeeniemi, 2022). Lujuuden säädöllä voidaan parantaa materiaalitehokkuutta. Rakenteen lujuuden ja kantavuuden ei tarvitse olla aina yhtä suuri. Suunnittelussa on tärkeä huomioida rakenne kokonaisuutena. (Härkönen, 2021)

Rakenteiden optimoinnilla voidaan päästä mahdollisimman vähäiseen materiaalin käyttöön, mutta kuitenkin riittävään kuormituksenkestävyyteen. Optimointi lisää kuitenkin kustannuksia. (Betoni.com, ei pvm.f).

Myös valmistusmenetelmillä voidaan vähentää materiaalihukkaa. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.142–153). Tehdasvalmistus vähentää materiaalihukkaa, parantaa kierrätettävyyttä ja mittatarkkuutta. (Betoni.com, ei pvm.c).



Kuva 4. Betonirakenteinen halli. Kuva Tom Lipkin.

Yksi materiaali tehokkuutta edistävä ratkaisu voisi olla betonin 3D-tulostaminen. Siinä säästetään materiaaleja muihin valmistustekniikoihin verrattuna (Dunderfelt, 2023, s. 106). Betonin 3D-tulostin tekniikka ei kuitenkaan vielä sovellu useimpiin betonirakenteisiin.

5.8 Rakennuksen pitkäikäisyys

Suunnittelemalla rakennuksen tekninen käyttöikä pitkäksi ja varmistamalla rakenteiden muuntojoustavuus voidaan vaikuttaa rakenteen pitkään elinkaareen (Betoni.com, ei pvm.d). Käyttöikään vaikuttavia tekijöitä on lujusluokka, vesi-sideainesuhde, sementin määrä ja tyyppi, lisäaineet, raudoitteiden sijainti riittävän betonipeitteen alla, raudoituksen tyyppi sekä ulkoinen rasitus. (Betoni.com, ei pvm.c). Pitkällä käyttöiällä voidaan vähentää päästöjä, kun vanhan rakennukseen purkamisesta ja rakentamisesta ei aiheudu uusia päästöjä. Rakennuksen päästöt jakautuvat myös pitkälle ajanjaksolle.

5.9 Korvaavat materiaalit

Suurin syy betonin suuriin hiilidioksidipäästöihin on suuret käyttövolyymit. Päästöjä voidaan vähentää käyttämällä muita rakennusaineita, mutta vain rajoitetusti. Melkein kaikkien rakenteiden runkomateriaali on Suomessa betoni, teräs tai puu.

5.9.1 Teräs

Teräs valmistetaan raudasta ja hiilestä sekä useista seosaineista kuten hiilestä, mangaanista, alumiinista, fosforista, piistä, typestä, niobista, kuparista, vanadiinista, koboltista ja volframista. (Teräsrakenneyhdistys, ei pvm.a)

Teräksellä on suuri lujuus. Teräksen hyviä ominaisuuksia on myös sitkeys, muokattavuus, keveys, hoikkien ja keveiden rakenteiden mahdollisuus, liittämisen ja kiinnittämisen helppous, hyvä muuntojoustavuus pitkien jännevälien ansioista, kestävyys ja pitkäikäisyys, kosteudenvaihteluiden sietokyky, palonkesto, nopea rakennettavuus sekä uudelleenkäytettävyys ja kierrätettävyys. Teräksen ominaisuuksien muuttaminen onnistuu koostumusta ja valmistusteknologioita muuttamalla. (Teräsrakenneyhdistys, ei pvm.c)

Teräksen ekologinen kestävyys perustuu uudelleenkäytettävyyteen ja kierrätettävyyteen. Rakenteiden liitosratkaisut mahdollistavat uudelleenkäytön. Kierrätysaste on 100% (Teräsrakenneyhdistys, ei pvm.b). Teräksen hiilijalanjälki on 0,7 kg/terästonnia kierrätetyn teräksen osalta ja neitseellisen teräksen osalta 2,5 kg/terästonni (Tompuri, 2024).

5.9.2 Puu

Puulla on monia hyviä ominaisuuksia, joita ovat mm. keveys, työstettävyys, liitosmahdollisuudet, terveellinen sisäilma, lujuus (liimapuu voi olla lujempaa kuin esimerkiksi teräs) hyvä saatavuus ja materiaalina se ei saastuta ympäristöä. Puun haasteita ovat kosteudenkeston puute, puun eläminen ja lahoaminen sekä huono palonkesto. (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 20–21)

Puun käyttö rakentamisessa vaatii paljon suunnittelua. Puun lujuuteen vaikuttaa se mm. puun ikä, missä suunnassa puun syyt ovat kuormitukseen nähden, sydänpuun hartsi ja pihka, puun tiheys, joka vaihtelee puulajien sekä tyvi- ja latvapuun välillä. Myös puun vikakohdat ja halkeamat vaikuttavat lujuuteen. Tiheys vaikuttaa lujuuden lisäksi puun kulutuksenkestävyyteen ja kimmoisuuteen. (Puuinfo, 2020)

Puu luokitellaan uusiutuvaksi luonnonvaraksi. Puun käytön ja metsän hoidon on kuitenkin oltava kestävää. Puustoa ei saa poistaa enempää kuin se kasvaa. Puu voi

toimia hiilivarastona rakenteissa ja vähentää rakentamisen kasvihuonekaasupäästöjä. Ja näin puun käyttö rakentamisessa on keino hiilineutraalius tavoitteiden saavuttamisessa. (Soimakallio ym., 2021, s.9, s. 28) Hiilidioksidipäästöt puulla ovat pienemmät kuin muilla materiaaleilla, ja puu sitoo hiilidioksidia noin tonnin/1m³. (Puuinfo, 2023) Puu soveltuu rakennusmateriaaliksi varsinkin, kun puu tuotetaan lähellä rakennuskohdetta ja kuljetuskustannukset ovat kohtuulliset.

6 Betonilaadut ja GWP

BY-vähähiilisyyssuokitus taulukoista nähdään suomessa valmistettujen eri valmisbetonilaatujen sekä betonielementtien Global Warming Potential arvot (BY-Vähähiilisyyssuokitus, ei pvm.).

Taulukko 1. Betonin vähähiilisyyssuokitus. Lähde: BY-Vähähiilisyyssuokitus.

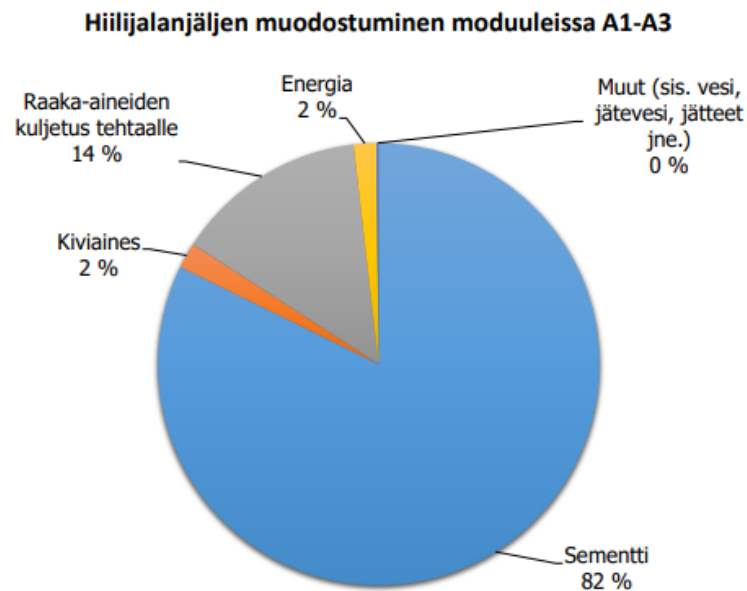
Varmista betonilaadun saatavuus saatavuustaulukosta					
Betoni	GWP.REF	GWP.85	GWP.70	GWP.55	GWP.40
C20/25 – Ei huokostettu	210	180	145	115	85
C25/30 – Ei huokostettu	230	195	160	125	90
C30/37 – Ei huokostettu	255	215	180	140	100
C35/45 – Ei huokostettu	285	240	200	155	115
C40/50 – Ei huokostettu	305	260	215	170	120
C45/55 – Ei huokostettu	320	270	225	175	130
C50/60 – Ei huokostettu	340	290	240	185	135

Taulukosta 1 nähdään ei huokostettujen betonilaatujen GWP.REF arvot. GWP.REF tarkoittaa kyseisen betonin päästöjä prosenttiosuutena referenssitasosta, pois lukien raudoituksen, kuljetusten ja työmaan päästöt. Referenssitaso on suomalaisen valmisbetonin päästöjen keskiarvo vuodelta 2021. (BY-Vähähiilisyyssuokitus, ei pvm.). Monella betonintuottajalla on tarjolla oma vähähiilinen betoninsa.

Valmisbetonien päästöjä vertaillen normaalin rakennebetonin C30/37 päästöt ovat kuvan 5 mukaan 268 kg CO₂ eq. /betoni-m³ ja vähähiilisen rakennebetonin C25/30 kuvan 6 mukaan 176 kg CO₂ eq. /betoni-m³. Kuvan 7 mukaan säänkestävällä C30/37 betonilla päästöt ovat 290 kg CO₂ eq. /betoni-m³ ja sementin päästöt ovat 2 % suuremmat kuin normaalilla rakennebetonilla. Näistä säänkestävä betoni on päästöiltään suurin. Vähähiilisen rakennebetoni päästöt ovat 92 kg CO₂ eq. /betoni-m³ pienemmät kuin normaalin rakennebetonin.

NORMAALI RAKENNEBETONI C30/37

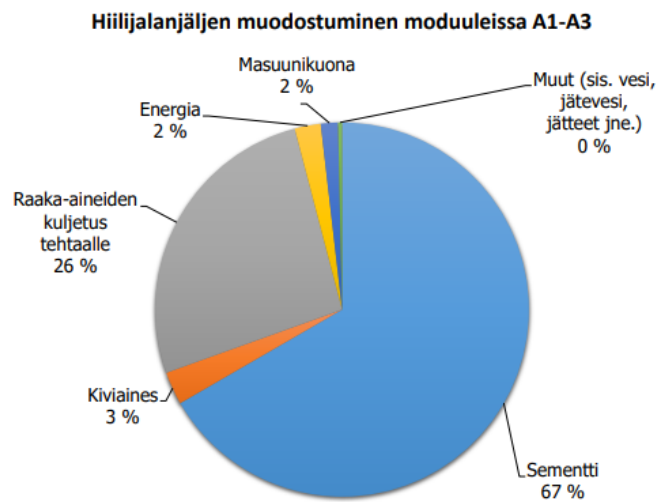
A1-A3 päästöt (GWP): **268 kg CO₂ eq./betoni-m³**



Kuva 5. Normaali rakennebetoni C30/37. Lähde Betoni.com Ympäristöselosteet. (Betoni.com, ei pvm.l)

VÄHÄHIILINEN RAKENNEBETONI C25/30

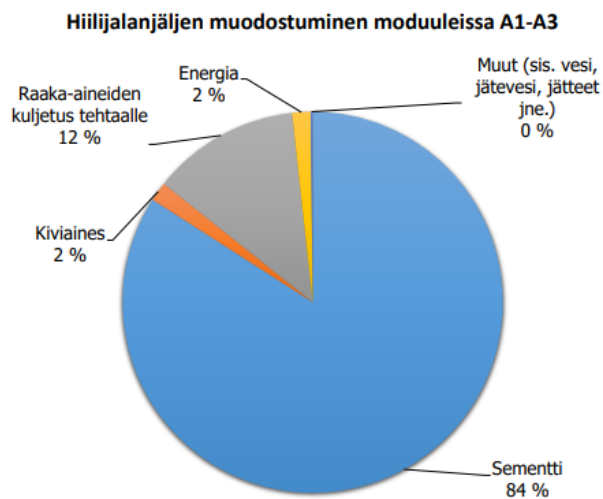
A1-A3 päästöt (GWP): **176 kg CO₂ eq./betoni-m³**



Kuva 6. Vähähiilinen rakennebetoni C25/30. Lähde Betoni.com Ympäristöselosteet. (Betoni.com, ei pvm.l)

SÄÄNKESTÄVÄ RAKENNEBETONI C30/37 XF1

A1-A3 päästöt (GWP): **290 kg CO₂ eq./betoni-m³**



2

Kuva 7. Säänkestävä rakennebetoni C30/37 XF1. Lähde Betoni.com Ympäristöselosteet. (Betoni.com, ei pvm.l)

7 Biokaasureaktorin suunnittelu vähähiilisestä betonista

Biokaasulaitoksen rakenteet suunnitellaan vähähiilisestä betonista. Rakenteiden suunnittelussa täytyy ottaa huomioon monia asioita. Suunnittelussa biokaasulaitoksen lattia laatta on 10x20 m² ja kolmeen suuntaan kalteva jopa 5 %. Haasteena on saada valettua laatta ilman halkeiluja. Rakenteiden pitäisi olla myös vedenkestäviä, jotta biojäte ei pääse imeytymään rakenteisiin ja vahingoittamaan niitä. Pohjalaatalla liikutaan erilaisilla koneilla, jolloin esimerkiksi kauhakuormaajan pyörien aiheuttama rasitus täytyy huomioida. Vähähiilisellä betonilla on omat poikkeavuutensa ja haasteensa. Esimerkiksi lujittumisen hitaus, kun käytetään masuunikuonaa. Paikallisilla materiaaleilla saadaan kuljetusetäisyydet mahdollisimman pieniksi.

7.1 Betonikokeet

Betonikokeita tehtiin islantilaista tulivuorentuhkaa sisältävälle betonille sekä masuunikuonaa ja Oiva -sementtiä sisältäville betoneille. Betonikokeiden tavoitteena oli selvittää tulivuorentuhkan käytön mahdollisuuksia sideaineena, kuinka paljon kuonaa voidaan käyttää biokaasureaktorin rakenteissa sekä vertailla sementtiä, masuunikuonaa ja tulivuorentuhkaa sisältävien betonien ominaisuuksia. Kokeissa mitattiin koekappaleiden puristus- ja vetolujuus. Puristuslujuuden mittaukset suoritettiin kolmen sekä 28 vuorokauden kuluttua valusta. Vetolujuus mitattiin 28 vuorokauden kuluttua valusta. Vertailuna tulivuorentuhkalle mittauksia tehtiin myös betoneille, joissa käytettiin sideaineena Oiva -sementtiä ja masuunikuonaa.

Sekoitukset:

1. Ref. OPC, Oiva (Finnsementti)
2. 25 % Slag, 75 % Oiva
3. 40 % Slag, 60 % Oiva
4. 100 % Bascement plus (from Heidelberg, Sweden)
5. 75 % Bascement plus, 25 % Oiva

Resepti:

- 35 dm³

- 30 kg 8–16 mm kiviaines
- 30 kg 0–8 mm kiviaines
- 14 kg sideaineita
- 6,9 kg vettä
- v/c 0,49
- kuutiot 150 mm ja lieriöt 150/300 mm

Liitteinä sideaineiden tuoteselosteet (Oiva-sementti, Bascement plus ja masuunikuona KJ400).

Betonikokeet aloitettiin punnitsemalla kiviainekset, sideaineet ja vesi. Mitatut aineet sekoitettiin betonimyllyssä. Aineiden sekoituttua, betoni valettiin öljytyihin kuutio- ja lieriömuotteihin. Betonimassan työstettävyyttä eli massan notkeutta mitattiin massasta. Betoni täytettiin ja tiivistettiin, jonka jälkeen valetut muotit siirrettiin muovipeitteen alle odottamaan seuraavan päivän muottien irrotusta. Vuorokauden kuluttua koekappaleet irrotettiin muoteista ja laitettiin veteen. Ensimmäiset puristuslujuuden mittaukset tehtiin kolmen vuorokauden kuluttua valusta. Koepuristuksiin käytettiin Amsler -laitetta.

Taulukko 2. Betonimassan painuma.

Painuma		cm		
		100 %		
		Bascement plus (from Heidelberg, Sweden)		
Ref. OPC, Oiva (Finnsementti)		25 % kuona, 75 % Oiva	40 % kuona, 60 % Oiva	75 % Bascement plus, 25 % Oiva
5 cm	6,5 cm	9 cm	3,5 cm	5,5 cm

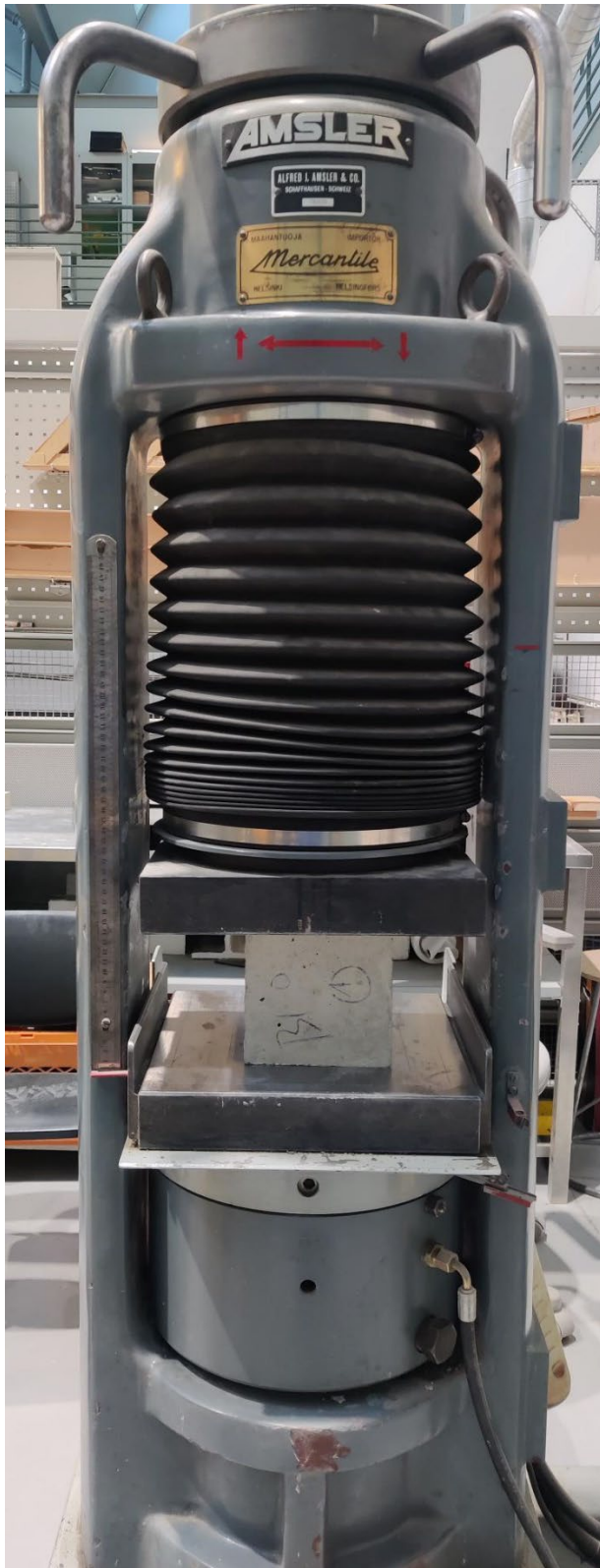


Kuva 8. Painuman mittaus. Kuva Saara Leppä.

Taulukon 2 tuloksista nähdään, että 100 % Bascement plus betonimassa on jäykintä ja mitä suurempi masuunikuonan osuus on, sitä suurempi betonimassan painuma on eli massa on notkeampaa. Betonimassassa, joka sisälsi 40 % masuunikuonaa painuma oli 9 cm ja 25 % masuunikuonaa sisältävän betonimassan painuma oli 6,5 cm. 100 % Bascement plus sisältävän betonimassan painuma oli 3,5 % ja 75 % Bascement plussaa sisältävän betonimassan painuma oli 5,5 %. Oiva-sementin painuma oli lähes samaa luokkaa kuin 100 % Bascement plussaa sisältävä massa eli 5 cm. Täten sideaineen valinta vaikuttaa betonimassan notkeuteen ja työstettävyyteen. Suurimmillaan erot olivat noin 5 cm. Näin ollen kuonalla valmistetut koekappaleet olisi voitu valmistaa pienemmällä vesimäärällä tuloksena sama työstettävyys kuin muilla koekappaleilla. Kuonalla valmistettujen koekappaleiden lujuus olisi ollut hieman suurempi.

Taulukko 3. Puristuslujuus 3 vrk. MPa.

Puristuslujuus 3vrk. MPa				
Ref. OPC, Oiva (Finnsementti)	25 % kuona, 75 % Oiva	40 % kuona, 60 % Oiva	100 % Bascement plus (from Heidelberg, Sweden)	75 % Bascement plus, 25 % Oiva
14,1	11,6	10,6	31,9	29,6
15,0	11,2	10	31,9	30,3
16,1	10,7	10,2	32	29,4
ka. = n. 15,1	ka. = n. 11,2	ka. = n. 10,3	ka. = n. 31,9	ka. = n. 29,8



Kuva 9. Puristuslujuuden mittaus. Kuva Saara Leppä.

Kolmen vuorokauden puristuslujuuden mittauksien tuloksista, taulukosta 3, nähdään, että Oiva-sementin alkulujuus on suurempi kuin masuunikuonalla. Mitä enemmän sideaineena käytetään masuunikuona, sitä heikompi alkulujuus on. Oiva-sementistä valmistetun betonin alkulujuus oli noin 15,1 MPa. Masuunikuonaa sisältävien sementtien alkulujuudet olivat 25 % masuunikuonaa sisältävällä betonilla noin 11,2 MPa ja 40 % masuunikuonaa sisältävällä betonilla noin 10,3 MPa. Alkulujuus oli noin 1 MPa verran pienempi, kun masuunikuonan määrää nostettiin 25 %:sta 40 %:iin. Käytettäessä islantilaista tulivuorentuhkaa sisältävää Bascement plussaa alkulujuudet olivat kaksinkertaisia Oiva-sementtiin verrattuna ja kolminkertaisia masuunikuonaan verrattuna. 100 % Bascement plus alkulujuus oli noin 31,9 MPa ja 75 % Bascement plus oli noin 29,8 MPa. Kun Bascement plussan osuutta laskettiin 100%:sta 75%:iin muutos oli noin 2 MPa:ta. Tuloksista voidaan todeta, että Bascement plussan käyttö nostaa betonin alkulujuutta verrattuna Oiva-sementtiin ja Oiva-sementin ja masuunikuonan yhdistelmään. Masuunikuonalla on heikompi alkulujuudenkehitys verrattuna sementtiin. Tämä voidaan todeta myös kirjallisuutta tutkittaessa.

Taulukko 4. Puristuslujuus 28 vrk. MPa.

Ref. OPC, Oiva (Finnsementti)	Puristuslujuus 28 vrk. MPa		100 % Bascement plus (from Heidelberg, Sweden)	75 % Bascement plus, 25 % Oiva
	25 % kuona, 75 % Oiva	40 % kuona, 60 % Oiva		
39,1	39,2	39,4	44,3	46,0
39,2	39,5	39,6	45,2	45,9
39,5	40,0	37,6	45,3	45,9
ka. = n. 39,3	ka. = n. 39,6	ka. = n. 38,9	ka. = n. 44,9	ka. = n. 45,9



Kuva 10. Koekappaleita. Kuva Saara Leppä.

Taulukosta 4 nähdään, että Oiva-sementin sekä sekoituksen, jossa oli 25 % kuonaa ja 75 % Oivaa, 28 vuorokauden puristuslujuuksien ero oli 1,3 MPa. Oivan puristuslujuus oli noin 39,3 MPa ja sekoituksen, jossa oli 25 % kuonaa ja 75 % Oivaa oli noin 39,8 MPa. Sekoituksen, jossa oli 40 % kuonaa ja 60 % Oivaa tulos oli 38,9 MPa. Bascement plussaa sisältävät betonit erottuivat lujuudeltaan näistä kolmesta. Puristuslujuus 28 vuorokauden kokeessa oli 100 % Bascement plus betonissa noin 44,9 MPa ja sekoituksen, jossa oli 75 % Bascement plussaa ja 25 % Oivaa noin 45,9 MPa. Testien perusteella voidaan todeta, että Bascement plus tekee betonista 28 vuorokauden ikäisenä lujempaa kuin pelkästään Oiva-sementtiä ja masuunikuonaa sisältävät betonit.

Taulukko 5. Vetolujuus 28 vrk. MPa.

Vetolujuus	28 vrk. MPa		100 % Bascement plus (from Heidelberg, Sweden)	75 % Bascement plus, 25 % Oiva
Ref. OPC, Oiva (Finnsementti)	25 % kuona, 75 % Oiva	40 % kuona, 60 % Oiva		
3,0	3,1	(2,2)	3,3	2,7
2,9	3,1	3,3	3,5	3,4
ka. = n. 2,95	ka. = n. 3,1	ka. = n. (2,75)	ka. = n. 3,4	ka. = n. 3,05



Kuva 11. Vetolujuuden mittaus. Kuva Saara Leppä.

Taulukosta 5 nähdään, että vetolujuuksissa ei ole suuria eroja sideaineiden välillä, noin 0,65 M suurimmillaan. Kuitenkin 100 % Bascement plus erottuu vetolujuudeltaan parhaaksi noin 3,4 MPa: lla. Sekoituksen, jossa oli 75 % Bascement plussaa ja 25 % Oivaa vetolujuus oli noin 3,05 MPa. Se oli 0,1–0,8 yksikköä pienempi kuin 100 % Bascement plus. Sekoituksella, jossa oli 40 % kuonaa ja 60 % Oivaa oli myös hyvä

vetolujuus toisessa testikappaleessa. Vetolujuus oli 3,3 MPa. Kuitenkin toinen mittaus oli vain 2,2. Poikkeava tulos saattoi johtua valmistuksessa tapahtuneesta virheestä. Sekoituksen, jossa oli 25 % kuonaa ja 75 % Oivaa vetolujuus oli noin 3,1, joka oli vain 0,1 MPa: ta pienempi kuin sekoituksella, jossa oli 40 % kuonaa ja 60 % Oivaa. Pienin vetolujuus oli Oiva-sementillä noin 2,95 MPa. Mutta sekään ei eroa suuresti Bascement plussan arvosta. Voidaan todeta, että vetolujuudella ei ole niin suurta eroavaisuutta eri sideaineiden välillä kuin puristuslujuudella. Kuitenkin Bascement plus osoittautuu vetolujuudeltaan suurimmaksi.

Tulosten ei voida olettaa olevan virheettömiä. Tuloksiin voi vaikuttaa mittausmenetelmien ja valmistusmenetelmien poikkeavuudet ja virheet. Tuloksiin voi vaikuttaa myös se, että Oiva-sementti ei ollut yhtä tuoretta mitä Bascement plus ja osa sideaineesta oli saattanut reagoida ilmankosteuden kanssa. Tuloksiin saattoi vaikuttaa mm. tärytyksen määrän vaihtelu eri sekoituksien välillä. Todetaan, että koekappaleita oli vain muutama ja luotettavamman tuloksen saamiseksi pitäisi valmistaa useampia rinnakkaisnäytteitä. Jokaista betonisekoitusta valmistettiin 6 kpl kuutiota (sivumitta 150 mm) ja 2 lieriötä (d=150 mm). Näin tulosten tilastollinen luotettavuus on heikko ja tulokset vain viitteellisiä. Ympäristöystävällisen betonin resepti bioreaktoria varten vaatii edelleen runsaasti lisätutkimuksia. Tulivuorituhkan käyttö vaikuttaa kuitenkin hyvin soveltuvan bioreaktorin rakentamiseen.

7.2 Eri rakenne vaihtoehdot ja kustannukset

Vertailtaessa paikallavalua ja elementtejä, edullisuus riippuu monista tekijöistä. Elementtien tehdasvalmistuksessa mm. materiaalien ja ajan tehokas käyttö, suljettu prosessi, automaatio ja sarjavalmistus vähentävät valmistuskustannuksia. (Betoni.com, ei pvm.c)

Elementtirakentaminen on nopeampaa kuin paikallavalu, mutta kuljetuskustannukset ovat suuremmat. Elementtirakentamisessa voidaan säästää ajassa ja siihen tarvittavassa työvoimassa, mutta elementtien kuljetus on kalliimpaa kuin valmisbetonin. Paikallavalussa työ- ja muottikustannukset ovat suuremmat, materiaalikustannukset pienemmät, tiiveys parempaa ja jälkihoito vaativampaa kuin elementeillä.

Kustannusvertailu on vaikeaa ja vain suuntaa antavaa. Todelliset kustannukset saadaan vasta työtarjousten perusteella.



Kuva 12. Paikallavalu. Kuva Tom Lipkin.

7.3 Rasitusluokat ja lujuusluokka

Rasitusluokat jaetaan luokkiin X0 Ei rasitusta, XC1...XC4 Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio, XS1...XS3 Meriveden kloridien aiheuttama korroosio, XD 1...XD 3 Muusta kuin merivedestä aiheutuneiden kloridien aiheuttama korroosio, XF 1...XF 4 Jäädytys-sulatusrasitus ja XA 1...XA 3 Aggressiivinen kemiallinen rasitus. (SFS Suomen Standardit, 2024, s. 13)

Biometaanintuotantolaitoksen rakenteet vaativat kemiallisen rasituksen kestämistä. Rasitusluokka XA3 sopii rakenteisiin, joihin kohdistuu aggressiivista kemiallista rasitusta. Vähimmäis- lujuusluokkana tässä on C40/50 (SFS Suomen Standardit, 2024, s.13).

7.4 Sementtityypit

Sementit voidaan jakaa sementtityyppeihin, joita ovat CEM I Portlandsementti, CEM II Portlandseossementti, CEM III Masuunikuonasegmentti, CEM IV Pozzolaanisementti ja

CEM V Seossementti. Lajittelu perustuu Portland klinkkerin määrään. (SFS Suomen Standardit, 2012, s.14–15)

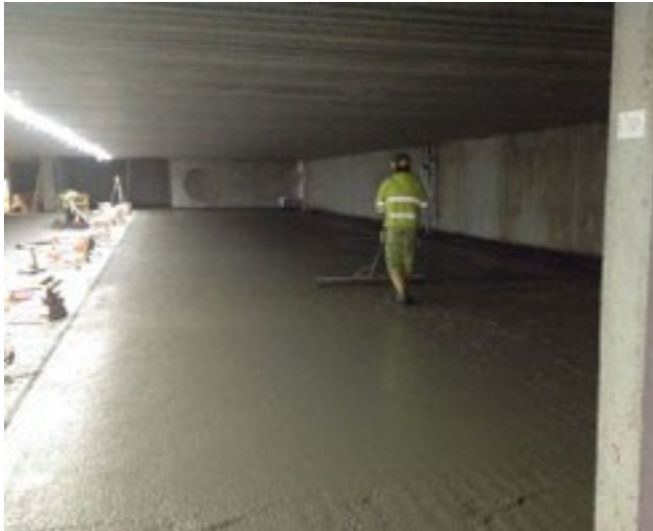
Betonikokeissa käytettiin Oiva-sementtiä, joka on tyypiltään CEM II B Portlandseossementtiä. Siinä on sementtiä 65–79 % ja se soveltuu monipuolisesti eri rakentamiseen. Sen kovettuminen on normaalia. CEM III Masuunikuonasegmenttissä on masuunikuonaa enemmän kuin CEM II:ssa. Masuunikuonan määrä on 40–46 %. Se on ympäristöystävällisempi vaihtoehto kuin CEM I portlandsementti, joka sisältää 95–100 % sementtiklinkkeriä. Sen päästöt ovat 40 % alhaisemmat kuin CEM I:n. Pozzolaadisementti CEM IV sisältää klinkkerin ja kipsin lisäksi pozzolaania, jonka osuus on 15–40 %. (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 175–176). Betonikokeiden tulivuorentuhkaa sisältävä sementti lukeutuu CEM II/B-M (P-LL) luokkaan. Betoniluokkia tarkasteltaessa se voisi lukeutua CEM IV Pozzolaanisementteihin, koska se sisältää < 22 % tai = 22 % pozzolaania, Kalkkikiveä <12 % tai =12 % ja klinkkeriä < 68 % tai =68 %. (Heidelberg Materials, 2024)

7.5 Yhtenäinen valu

Riskinä yhtenäisessä valussa on betonin halkeilu. Valuissa, joiden pienin sivumitta on 1000 mm täytyy ottaa huomioon lämpötilanmuutokset ja niiden erot ja suunnitella muotit, betonointi, valupinnan jälkihoito, viimeistely, suojaus ja jäähdytyksen optimaalisiksi. Hydrataatiolämmön tulisi olla mahdollisimman pieni. Hydrataatioreaktio vapauttaa lämpöä ja suuremmassa rakenteessa lämpö ei pääse haihtumaan tasaisesti. Lämpötilan tai lämpötilaerojen noustessa liian korkeaksi betonin lujuus heikkenee. Lämpötila saa olla korkeintaan 60 astetta ja erot 20 astetta. Betonimassan koostumuksella, valulla ja jälkihoidolla voidaan vähentää halkeilua. Sementin määrällä, tyypillä, koostumuksella ja hienojakoisuudella voidaan vaikuttaa lämpötilan nousuun. Sementin määrään vaikuttaa lisäaineet, maksimiraekoko ja betonimassan jäykkyys. Masuunikuonajauhe ja lentotuhka vähentävät hydraatiolämpöä niiden pienemmän reaktiolämmön takia. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s. 376–380). Vähähiilisissä betoneissa käytetään masuunikuonaa enemmän, mikä on hyödyksi suuren valun kannalta. Näin reaktiolämpöä ei muodostu liikaa. On suositeltavaa käyttää vähähiilistä

betonia massiivisissa valuissa. (Härkönen, 2021). Tällöin pidemmästä lujittumisajasta on hyötyä.

Kutistumaan vaikuttaa kiviaineksen määrä ja koko. Suurempi kiviaineksen raekoko ja kiviaineksen määrä pienentävät kutistumaa. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s. 458) Myös jälkihoitoaineilla pystytään estämään liian nopeaa kuivumista. (Semtu, ei pvm.b).



Kuva 13. Betonin tasoitus, pysäköintitalo. Kuva Tom Lipkin.

7.6 Saumaton valu ja tiiveys

Saumattomalla valulla pystytään estämään laitoksessa käytettävän biojätteen aiheuttamaa korroosiota rakenteille.

Saumaton pinta voidaan toteuttaa laaja-aluevaluna, jossa valetaan yhdellä kertaa iso alue. Toinen vaihtoehto on saumaton valu, joka eroaa laaja-aine valusta sillä, että liikuntasaumojen tilalla on raudoitettut työsaumat. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.419)

Rakenteen tiiveys voidaan varmistaa käyttämällä työsaumassa saumanauhaa tai pesemällä sauma. Pestyn sauman ominaisuudet ovat paremmat kuin muiden saumatyyppien. Saumakohtien tiiveys on aina kuitenkin heikompi kuin muun betonialueen. Myös vetolujuus ja leikkauslujuus pienenevät. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s. 258)

7.7 Kulutuksen kestävyys ja pinnan käsittely

Betonilaatan hierto, joka tehdään kovettumisen alkuvaiheessa, lisää pinnan lujuutta ja kulutuksenkestävyyttä. Kestävin betoni saadaan 2–3 hierrolla. Myös huolellisella jälkihoidolla saadaan aikaan luja ja kulutuskestävä pinta. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.422–424)

Lattiatasotteilla ja pinnoitteilla saadaan lisättyä kulutuksen kestoja, ilman että kutistuma suurenee ja halkeiluriski kasvaa. (Semtu, ei pvm.c). Pinnoitteilla voidaan saada betoni kestävämmän kemikaaleja ja suoloja paremmin. (Semtu, ei pvm.a)

Betonipintoja voidaan käsitellä pölynsidonta-aineilla, impregointiaineilla ja silikaateilla kestävämmän lopputuloksen saamiseksi. Näistä aineista impregointiaineilla voidaan tukkia betonin huokosia ja saada pinnasta vettähylyvä. Nämä betonipintaa suojaavat aineet sisältävät yleensä silikaattia ja sen lisäksi aineen imeytymissyvyyteen ja reaktiivisuuteen vaikuttavia natriumia, litiumia tai kaliumionia. Vettähylyvällä impregoinnilla voidaan saada pinnasta hydrofobinen. Tässä käytettävät silaanit ja siloksaanit muodostavat pinnalle silikonihartsia, joka hylkii vettä. (Semtu, 2024)

Impregointiaineet voivat ulottua imeytymistä auttavien aineiden kanssa jopa 40 mm syvyyteen asti ja reagoidessaan kalsiumhydroksidin kanssa pinta tiivistyy sekä vesitiiveys paranee. Esimerkiksi Evercrete V on yksi CE-merkityistä aineista, joka parantaa kemiallista kestävyyttä ja estää rapautumista. Imeytysaineet ja grafitisuoja-aineet tehostavat pinnan suojausta. Toinen esimerkki CE-merkitystä impregointiaineesta on Sisorol F, joka muodostaa vettähylyvän pinnan, mutta ei sovellu lattioille niihin aiheutuvan kulutuksen takia. (Semtu, 2024) Xypexin Modified pinnoitus lisää kulutuksenkestävyyttä, parantaa kemikaalien kestoja ja tekee siitä kosteudenkestävän (Xypex, 2022).

Betonilattian kiiltohionta menetelmällä saadaan pinnasta tiiviimpi, jolloin nesteiden ja kemikaalien imeytyminen on pientä. Hionta lisää kulutuksen kestävyyttä. Hionta ei yksinään tee pinnasta tarpeeksi kulutuksen kestävä, mikäli kohteessa on paljon kulutusta. Pintaan voidaan lopuksi lisätä kovabetonia tai kuivasirota. Pelkkä silikaattikäsittely ei riitä kovan kulutuksen pinnalle. (Matsinen, 2020)

Kuivasirootteilla voidaan saada pinnasta kaksi kertaa kestävämpää (Semtu, ei pvm.d). Concrialla on teollisuyslattioille Concria Optimal Slab Industrial kuivasirote, joka lisää kulutuksenkestävyyttä 2–4 kertaa. Se sopii äärimmäiseenkin kulutukseen. Halkeilu vähenee ja pinta saadaan tiiviiksi. Se kestää yli 50 vuotta käytössä. Vertailuna muiden lattiapinnoitteiden käyttöikä on 10–15 vuotta. (Concria, ei pvm.)

Epoksinpinnoite kestää mekaanisen kulutuksen lisäksi kemiallista rasitusta. Se on vesitiivis ja saumaton. Hiertoepoksi soveltuu betonilattioille, joihin kohdistuu raskasta rasitusta. Pinnoite sisältää hartsia ja kovetinta. (Suomen lattiapinnoittajat Oy, ei pvm.b)

Kovaan mekaaniseen rasitukseen ja kemiallisen kestävyuden sietoon sopii myös akryylipinnoite. Se on myös saumaton ja vesitiivis pinnoitevaihtoehto. Se on massaa, jolla on nopea kovettuminen. Lisäksi se on edullinen ja pitkäikäinen ratkaisu, mm. betonilattian suojaamiseen. (Suomen lattiapinnoittajat Oy, ei pvm.a)

Erittäin suureen rasitukseen, kuten kemialliseen rasitukseen, happoihin, mekaaniseen rasitukseen, iskuihin ja kuumuuteen, sopii Ucretea. Sitä on käytetty esim. biokaasuvoimaloissa, joissa lattiaan kohdistuu suurta rasitusta työkoneista. Kestävyyttä voidaan säädellä pinnoitteen paksuudella. Käyttöikä sillä on 50 vuotta. Tällöin kustannukset jäävät mataliksi. (Suomen lattiapinnoittajat Oy, ei pvm.c)

Biometaanintuotantolaitoksen rakenteet ovat poikkeavat ja aiheuttavat hankaluutta pinnoituksessa. Pinnoite aineet ovat myös kalliita. Pinnoitteiden soveltuvuuden ja kustannusten lisäksi kysymykseen tulee pinnoitteiden hiilidioksidipäästöt.

7.8 Lisäaineet

Betoniin voidaan lisätä betonin tiivistysaineita, jotka tekevät betonista vesitiiviin kristallisaatioreaktion avulla. Tämä reaktio edellyttää betonissa olevaa vapaata kalkkia. (Semtu, ei pvm.e) Vähähiilisissä ratkaisuissa sementin määrä on pienempi. Onko sillä vaikutusta tuotteen toimivuuteen?

Huokostimilla saadaan betoniin lisää pakkasenkestävyyttä. Huokostimilla saadaan lisättyä betonin ilmapitoisuutta ja syntyneet suojahuokokset tasoittavat veden jäätymisen aiheuttaman paineen. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s. 63)

7.9 Kuidut betonissa

Ensimmäisiä kuituja rakennelmissa ovat olleet oljet ja eläinten karvat. Teräs on ollut yleisin kuitu betonirakenteissa. Polymeerikuituja käytetään yhä enemmän lisäämään betonin lujuutta. Lisäksi on myös lasi- ja hiilikuituja, keraamisia kuituja ja PVA kuituja (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s. 389)

Teräskuituja käytetään paljon maanvaraisissa lattioissa ja ruiskubetonissa. Kantavissa rakenteissa ja perustuslaatoissa kuitujen määrät ovat jopa 100 kg/m³. Lattiabetoneissa se on vähemmän eli noin 25–45 kg/m³. Saumattomissa rakenteissa se on 30–50 kg/m³ ja maanvaraisissa lattiarakenteissa 25–35 kg/m³. Alustan ja laatan välisellä kitkalla voidaan ehkäistä yhdessä korkean kuitupitoisuuden kanssa halkeilua saumattomissa valuissa, joissa kitka aiheuttaa hiushalkeilua. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s.389–390)

Polymeerikuiduista mikropolymeerit toimivat halkeilun estämisessä lujuuden kehityksen alussa, sitovat hiushalkeamia, tekevät massasta tasalaatuista ja erottumatonta. Makropolymeerit taas lisäävät rakenteen lujuutta. Ne eivät ruostu teräksen tavoin. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, s. 390–391)

Vanhojen mattojen kuituja on testattu betonin lujittamiseen ja sillä on saatu vetolujuuden 40 % paraneminen. Tekstiiliuidut myös vähentävät betonin halkeilua, kun kutistuma on pienempi. (Jalli, 2024)

7.10 Kiviaineksen laatu

Kiviaineksen rakeisuus, tiheys ja epäpuhtaudet vaikuttavat betonin ominaisuuksiin. Rakeisuudella voidaan säädellä massan tiiveyttä ja koossapitävyyttä. Erikokoiset kivet mahdollistavat tiiviimmän rakeiden sijoittumisen. Kulmikkaat kivet ovat hyviä betonin tartunnan kannalta. Kiviaineksen tulisi olla kestävä, vähähuokoisia ja vähäkiilteisiä. Kiviaineksessa ei saisi olla myöskään humusta ja lietettä. Humus estää kovettumisreaktiota ja liete suurina määrinä vähentää tartuntaa, mutta vähäisissä määrin se voi parantaa sitä. (Siikanen & Siikanen 2023, s. 176–179)



Kuva 14. Kiviaineksia. Kuva Saara Leppä.

8 Johtopäätökset ja pohdinta

Betoniteollisuuden vähähiilisyteen pyrkiminen edellyttää monia ratkaisuja. Sideainevalinta on yksi merkittävimmistä keinoista hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä, koska betonin päästöt tulevat suurimmaksi osaksi sementistä. Sementin päästöt eivät kuitenkaan yksittäisessä rakenteessa ole suuret, vaan päästöjen suuruus johtuu betonin suurista käyttömääristä.

Tällä hetkellä masuunikuona on yleinen sideaine vähähiilisissä betoneissa, mutta se ei riitä kaikkeen betonirakentamiseen. Tulevaisuudessa mahdollisuutena olisi käyttää myös muita teollisuuden sivutuotteita ja hyödyntää savien potentiaali. Teollisuuden sivutuotteiden ja saven hyödyntäminen vähentää jätettä, mutta sivutuotteiden määrä ei ole välttämättä niin suuri, että niitä olisi kannattavaa käyttää suuremmassa mittakaavassa. Koostumus niissä on myös poikkeavaa ja uusissa sideaineissa tulee myös kysymykseen standardointi. Uudet sideaineet vaativat lisää tutkimusta ja osaamista. Roomalaiset käyttivät betonissa vulkaanista tuhkaa. Tuhkaa ei tarvitse polttaa erikseen vaan kuumennus on jo tapahtunut tulivuoren korkeissa lämpötiloissa, mikä vähentää hiilidioksidipäästöjä. Roomalaisessa betonissa tulivuorentuhka ja kalkki tekivät betonista kestäväää ja itsekorjautuvaa. Tulivuorentuhkaa sisältävää sideainetta on

saatavilla myös tänä päivänä. Heidelberg Materials on tuonut markkinoille islantilaista tulivuorentuhkaa sisältävän sementin.

Keinoja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi on sideainevalinnan lisäksi rakenteen suunnittelu pitkäikäiseksi, materiaalit tuominen läheltä, valmistusprosessin ja rakenneratkaisujen optimointi, raaka-aineiden suhteutus ja mitoitus, materiaalihukan vähentäminen ja kierrättäminen. Rakentamisen vähentäminen, rakenteen suunnittelu pitkäikäiseksi ja kierrättäminen käyttöiän päättyessä olisi kaikista tehokkain keino. Koska betonin suuret hiilidioksidipitoisuudet johtuvat sen suuresta käyttömäärästä, betonilla on kyky sitoa hiilidioksidia ilmasta rakenteessa sekä betonin murskaus lisää hiilidioksidin sitoutumista betoniin. Ainut ongelma on, että rakentaminen ei tule loppumaan ja silloin täytyy kiinnittää huomiota suurimpiin päästölähteisiin betonissa ja niiden vähentämiseen.

On kehitteillä myös hiilidioksidin talteenotto tekniikoita, esimerkkinä on Norjan Norcem. Suomessa talteen otettua hiilidioksidia voitaisiin hyödyntää liikennepolttoaineiden valmistamiseen. Betoniin voidaan myös lisätä biohiiltä hiilidioksidin sitomiseksi betoniin. Tästäkin tarvitaan tutkimusta lisää.

Korvaavia materiaaleja betonille ovat puu ja teräs. Ne aiheuttavat myös hiilidioksidipäästöjä. Materiaalien valinnassa täytyykin ottaa huomioon sen soveltuvuus käyttötarkoitukseen.

Kyseisen biometaanintuotantolaitoksen rakenteissa täytyy ottaa huomioon valun yhtenäisyyden ja kaltevuuden tuomat haasteet, käytönaikainen rasitus biojätteestä ja työkoneista. Betonin koostumus täytyy olla sellainen, että se soveltuu yhtenäiseen ja kaltevaan valuun. Betonin rasitusluokassa täytyy ottaa huomioon kemiallinen ja mekaaninen rasitus. Vedenpitävyyttä, kemiallisen ja mekaanisen rasituksen kestoa voidaan lisätä pinnoitteilla. Sopivan pinnoitteen löytäminen on haastavaa.

Jos betonia aletaan valmistaan erilaisilla resepteillä ja betonit tulevat sisältämään kaikenlaisia jätteitä matonkuteista mineraalivillaan niin miten betonin kierrätys uuteen betoniin betonimurskeena onnistuu tulevaisuudessa. Pelkää sementtiä sisältävä betoni

on helpompi kierrätettävä. Kuinka saataisiin selville lujuus epätasalaatuisesta materiaalista ja mitkä ovat aineiden kemialliset reaktiot?

Betonikokeista voimme päätellä, että islantilaista tuhkaa sisältävässä betonissa alkulujuus ja loppulujuus olivat suurempia kuin sementtiä ja masuunikuonaa sisältävät betonit. Tulivuorentuhkan voidaan katsoa sopivat hyvin biokaasureaktorin rakenteisiin.

9 Lähteet

Australasian pozzolan association. (12.1.2023). Innovations in Metakaolin. <https://apoza.asn.au/blog/2023/01/innovations-in-metakaolin>

Australasian pozzolan association. (ei pvm.) Metakaolins. Noudettu 19.2.2025 osoitteesta <https://apoza.asn.au/pozzolans/metakaolins>

Betoni.com. (ei pvm.a). Kierrätys. Noudettu 20.12.2024 osoitteesta <https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/vahahiilinen-betoni/kierratys/>

Betoni.com. (ei pvm.b). Kiertotalous. Noudettu 20.12.2024 osoitteesta <https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/kiertotalous/>

Betoni.com. (ei pvm.c). Käyttö. Noudettu 20.12.2024 osoitteesta <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/kaytto-infrarakentamisessa/>

Betoni.com. (ei pvm.d). Käyttöikä. Noudettu 20.12.2024 osoitteesta <https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/vahahiilinen-betoni/kayttoika/>

Betoni.com. (ei pvm.e). Luonnonvarat. Noudettu 20.12.2024 osoitteesta <https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/luonnonvarat/>

Betoni.com. (ei pvm.f). Rakenteiden optimointi. Noudettu 20.12.2024 osoitteesta <https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/vahahiilinen-betoni/rakenteiden-optimointi/>

Betoni.com. (ei pvm.g). Raudoitteet. Noudettu 20.12.2024 osoitteesta <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/raudoitteet/>

Betoni.com. (ei pvm.h). Sementti ja kasvihuonekaasupäästöt. Noudettu 20.12.2024 osoitteesta <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/sementti-seosaineiden-kaytto/>

Betoni.com. (ei pvm.i). Tiekartat. Noudettu 20.12. 2024 osoitteesta <https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/tiekartat/>

Betoni.com. (ei pvm.j). Vähähiilinen betoni. Noudettu 20.12.2024 osoitteesta <https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/vahahiilinen-betoni/>

Betoni.com. (ei pvm.l). Ympäristöselosteet. Valmisbetonit. Noudettu 27.12.2024 osoitteesta <https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/ymparistoselosteet/valmisbetonit/>

Betonitieto. (ei pvm.) Silika. Noudettu 19.2.2025 osoitteesta <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/silika.html>

BY-Vähähiilisyysluokitus. (ei pvm.) Noudettu 20.2.2025 osoitteesta <https://vahahiilinenbetoni.fi/>

Concrete. (ei pvm.). Betoni on hiilinielu. Betoniteollisuus ry. Noudettu 27.12.2024 osoitteesta <https://concretesolution.fi/betoni-hiilinielu/>

Concrete. (2020). Concrete solution – Report Q1/2020, Kirjallisuusreferaatti (kompakti). <https://concretesolution.fi/wp-content/uploads/2020/04/CO2NCRETE-SOLUTION-kirjallisuusraportti-6p-20200206.pdf>

Concra (ei pvm.) Suomeksi. Teollisuuslattiat. Noudettu 28.2.2025 osoitteesta <https://concra.com/kuivasirotelattia/>

Dunderfelt, A. Heinimö, J., Hokkanen, M., Huuhtanen, S., Jordan, K., Leppänen, T., Lipponen, J., Liukas, C., Lämsä, A., Malmstedt, K., Piirainen, K., Salmi, H., Soininen, H., Sourander, M., Tuominen, R. (2023) Biohiilen mahdollisuudet ja haasteet betonin raaka-aineena. Teoksessa Dunderfelt, A. & Sourander, M. (toim.) Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-536-9>

Finnsementti. (17.2.2021). Suuri askel sementtiteollisuudelle – ensimmäinen hiilidioksidin talteenotto- ja varastointihanke etenee Norjassa. <https://finnsementti.fi/ymparisto/suuri-askel-sementtiteollisuudelle-ensimmainen-hiilidioksidin-talteenotto-ja-varastointihanke-etenee-norjassa/>

Heidelberg Materials. (ei pvm.). Bascement Plus. Noudettu 7.2.2025 osoitteesta <https://www.cement.heidelbergmaterials.se/en/bascement-plus>

Heidelberg Materials. (16.10.2024). Bacement Plus. https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sites/default/files/2024-10/BasPlus_VPI_ENG_2024-10-16.pdf

Härkönen, T. (10.12.2021). Vähähiilinen betoni tulee vauhdilla. Tutkimus ja kehitys NRO4. Betoni verkkolehti. <https://betoni.com/lehti/2021/12/10/vahahiilinen-betoni-tulee-vauhdilla/>

Jalli, L. (17.11.2024) Tuiki tavallinen jäte teki betonista vahvempaa – vetolujuus parani 40% ja halkeamat vähenivät. Tivi.fi <https://www.tivi.fi/uutiset/tuiki-tavallinen-jate-teki-betonista-vahvempaa-vetolujuus-parani-40-ja-halkeamat-vahenivat/ba0b1b27-a1e8-49f4-aa4d-1dbb888e643c>

Lahdensivu, J & Räsänen, A. (2024). ReCreate-hankkeen uudelleenkäytettävien betonielementtien koestukset. Betoni. https://betoni.com/wp-content/uploads/2024/10/BET_2403_28-33.pdf

Luonnonbetoni. (ei pvm.). Materiaalit. Noudettu 27.12.2024 osoitteesta <https://www.luonnonbetoni.fi/materiaali>

Matsinen, M. (2020). Kiiltohiotut betonilattiat. Betoni.com. https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2020/05/BET2002_64-69.pdf

Metsä Group. (16.9.2021). Tutkimusyhteistyöllä etsitään uusia käyttökohteita viherlipeäsakalle. <https://www.metsagroup.com/fi/metsafibre/uutiset-ja-julkaisut/uutiset-ja-tiedotteet/artikkelit-videot/2021--fi/tutkimusyhteistyolla-etsitaan-uusia-kayttokohteita-viherlipeasakalle/>

Ohenoja, K. (26.4.2019). Lentotuhkat rakentamiseen. Uusiouutiset.
<https://uusiouutiset.fi/lentotuhkat-rakentamiseen/>

Oulun yliopisto. (19.6.2024). 30 vuotta vanha geopolymeeristä valmistettu suomalainen kattotiili on erinomaisen kestävä – Oulun yliopisto tutki kemialliset ominaisuudet. <https://www.oulu.fi/fi/uutiset/30-vuotta-vanha-geopolymeerista-valmistettu-suomalainen-kattotiili-erinomaisen-kestava-oulu>

Oulun yliopisto. (21.1.2019). Ennätysluja ekobetoni kehitetty Oulun yliopistossa. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/69850211/ennatysluja-ekobetoni-kehitetty-oulu-yliopistossa?publisherId=57858920>

Punkki, J. (10.12.2021). Betonin sideaineet tulevaisuudessa. Tutkimus ja kehitys NRO 4. Betoni verkkolehti. <https://betoni.com/lehti/2021/12/10/betonin-sideaineet-tulevaisuudessa/>

Punkki, J. (2024a). LOIKKA – Tavoitteena puolittaa betonin hiilidioksidipäästöt. Betoni. https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2024/06/BET_2402_44-49.pdf

Punkki, J. (4.11.2024b). Vähähiilisen betonin tiekartta. Betoniteollisuus ry. https://betoni.com/wp-content/uploads/2024/11/Betonivartti-4.11.2024_VHBetonin-tiekartta.pdf

Puuinfo. (25.6.2020). Puutieto. Puun ominaisuudet. Lujuusteknisiä ominaisuuksia. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/lujuusteknisia-ominaisuuksia/>

Puuinfo. (25.1.2023). Puutieto. Suomen metsät. Metsät, puu ja ilmasto. <https://puuinfo.fi/puutieto/suomen-metsat-2/metsat-puu-ja-ilmasto/#:~:text=Kasvavat%20puun%20varastoivat%20ilman%20hiilidioksidia%2C%20joka%20s%C3%A4ilyy%20puutuotteissa,mets%C3%A4t%20sitovat%20itseens%C3%A4%20hiilidioksidia%20enemm%C3%A4n%20kuin%20t%C3%A4ysikasvuinen%20met s%C3%A4>

Ruggeri, A. (ei pvm.). Perinteisen betonin superluja haastaja tehdään ekologisesti savesta – jopa suoraan rakennuspaikalla. Aalto yliopisto. Noudettu 27.12.2024 osoitteesta <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/perinteisen-betonin-superluja-haastaja-tehdään-ekologisesti-savesta-jopa-suoraan-rakennuspaikalla>

Ruskeenieniemi, K. (2022). Vähäpäästöisten betonien käyttömahdollisuudet korjausrakentamisessa. <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/1bb736db-d0c4-4e0d-81a6-bedd953891d3/content>

Semtu. (2024). Betonin suojaamisen abc. Semtu -uutiset. https://www.semtu.fi/application/files/7117/2785/8975/Semtu-uutiset_0324_netti.pdf

Semtu. (ei pvm.a). Cemtop 360 Erittäin kestävä sementtipohjoinen pumpattava ja itsetasoittuva teollisuuslattiapinnoite. Noudettu 30.12. 2024 osoitteesta https://www.semtu.fi/application/files/1116/1348/0752/Cemtop_360-esite.pdf

Semtu (ei pvm.b) Jälkihoitoaineet. Noudettu 30.12.2024 osoitteesta <https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/jalkihoitoaineet>

Semtu. (ei pvm.c). Kuivasirotteet ja lattiapinnoitteet. Noudettu 30.12.2024 osoitteesta <https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/kuivasirotteet-ja-lattiapinnoitteet>

Semtu. (ei pvm.d) Sem Quartz-kuivasirotteet. Noudettu 30.12.2024 osoitteesta <https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/kuivasirotteet-ja-lattiapinnoitteet/semrquartz-kuivasirotteet>

Semtu. (ei pvm.e). VELOSIT CA 112 Jauhemainen betonin tiivistysaine, ns. kristallisointiaine. Noudettu 30.12.2024 osoitteesta https://www.semtu.fi/application/files/1516/4698/4815/Velosit_-_Product_Card_-_2022-03-11.pdf

SFS Suomen Standardit. (2024). Betoni. Standardin SFS-EN 206 käyttö Suomessa. SFS 7022:2024. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/SFS/ID2/7/1308133.html.stx>

SFS Suomen Standardit. (2012). Sementti. Osa 1: Tavallisten sementtien koostumus, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. SFS-EN 197-1. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/182891.html.stx>

Siikanen, L & Siikanen, U. (2023). Rakennusaineoppi. Rakennustieto Oy.

Soimakallio, S., Häkkinen, T., Seppälä, J. (2021). Puutuotteet hiilivarastona ja uusiutumattomien materiaalien korvaajina. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 45. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/69143d5f-45a2-40ec-b5d7-b895704331de/content>

Suomen Betoniyhdistys ry. (2018). By 201 Betonitekniiikan oppikirja 2018.

Suomen lattiapinnoittajat Oy. (ei pvm.a). Akryylilattia. Noudettu 30.1.2025 osoitteesta <https://lattiapinnoittajat.fi/lattiapinnoitukset/akryylilattia/>

Suomen lattiapinnoittajat Oy. (ei pvm.b) Epoksilattia. Noudettu 30.1.2025 osoitteesta <https://lattiapinnoittajat.fi/lattiapinnoitukset/epoksilattia/>

Suomen lattiapinnoittajat Oy. (ei pvm.c). Ucretelattia. Noudettu 30.1.2025 osoitteesta <https://lattiapinnoittajat.fi/lattiapinnoitukset/ucretelattia/>

Tompuri, V. (16.1.2024) Vähähiilisyys muuttaa betonia ja terästä. Rakennustaito. <https://rakennustaito.fi/vahahiilisyys-muuttaa-betonia-ja-terasta/>

Teräsrakenneyhdistys. (ei pvm.a). Teräs. Noudettu 23.1.2025 osoitteesta. <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/teras/teras-materiaalina/terasta-ja-rautaa/>

Teräsrakenneyhdistys. (ei pvm.b). Teräksen Hiilijalanjälki, Hiilikädenjälki ja Kiertotalous. Noudettu 23.1.2025 osoitteesta <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/teras/co2-ja-kiertotalous/>

Teräsrakenneyhdistys. (ei pvm.c). Teräs materiaalina. Noudettu 23.1.2025 osoitteesta <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/teras/teras-materiaalina/>

Tykkä, T. (6.2.2023) Kestävä, kestävämpi, betoni. Xamk. <https://www.xamk.fi/kestava-kestavampi-betoni/>

Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen
arviointiperusteista 466/2022, 14 §.
<https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2022/466#OT12>

Xypex. (20.7.2022). Modified. Betonin vesieristäminen.
[https://da.xypex.com/docs/default-source/product-data-library/product-data-\(finland\)/2022-07-20-modified-\(a4\)-finland.pdf?sfvrsn=d59fe169_2](https://da.xypex.com/docs/default-source/product-data-library/product-data-(finland)/2022-07-20-modified-(a4)-finland.pdf?sfvrsn=d59fe169_2)

10 Liitteet

Liite 1. Basement plus



Basement Plus

CEM II/B-M (P-LL) 42,5 R

Basement Plus is a Portland-composite cement produced by Heidelberg Materials in Slite, Sweden.

The product fulfills the technical data below. On rare occasions the values may deviate from the specified ranges or limits.

Property		Value	Range	Requirements in EN 197-1
Compact density (kg/m³)		3023	±20	-
Bulk density (kg/m³)		1000	±200	-
Setting time (min)		140	±30	≥ 60
Specific surface (blaine, m²/kg)		-	±30	-
Brightness (%)		-	± 1	-
Compressive strength (MPa)	1 day	21	± 3	-
	2 days	33	± 3	≥ 20.0
	28 days	53	± 4	≥ 42.5 / ≤ 62.5
Sulfates, SO ₃ (%)		3.6	± 0.3	≤ 4.0
Alkali, Na ₂ O _{eq} (%)		1.1	± 0.1	-
Chlorides, Cl ⁻ (%)		0.06	± 0.03	≤ 0.10
Water-soluble chromium Cr ⁶⁺ (PPM)		0-2	-	≤ 2 ¹
Clinker (%)		≥ 68	-	65-79
Pozzolan (%)		≤ 22	-	6-29
Limestone (%)		≤ 12	-	6-29
Pozzolan + limestone (%)		≤ 32	-	21-35

¹ Clause 47 of Annex XVII the REACH Regulation.

The maximum storage period is 12 months from the date of packaging for unbroken big bags and 6 months from the date of delivery for silos (bulk).

For further information and handling of cement, see the safety data sheet.

Liite 2. Oiva-sementti

Cement 11/2024

Oiva

SEMENTTI

Portland composite-cement

CEM II/B-M (S-LL) 52,5 N

Oiva cement is an economical and versatile cement. Cement properties are its best in ready-mixed concrete, but there are also applications for Oiva-cement in various concrete products and element production.

Oiva cement is also an excellent cement for stabilization. The relatively high admixture content of cement makes it a more environmentally friendly solution to concrete construction.

Cement properties	Requirements (SFS-EN 197-1)
Strength 2 d	≥ 20 MPa
Strength 28 d	≥ 52,5 MPa
Initial setting time	≥ 45 min
Soundness	≤ 10 mm
SO ₃	≤ 4,0%
Chloride content	≤ 0,10%

Cement composition	Requirements (SFS-EN 197-1)
Cement clinker	≥ 65% and ≤ 79%
Additives (limestone and GGBFS)	≥ 21% and ≤ 35%

Cement properties	Requirements (REACH No 1907/2006)
Cr6+	≤ 2 mg/kg

FINNSEMENTTI

A GRU COMPANY

Finnsementti Oy

FI-21600 Parainen, Tel. +358 201 206 200

info@finnsementti.fi, name.surname@finnsementti.fi

semet.fi, finnsementti.fi

CE

kiwa

ETB 0142

201001

011001

Liite 3. Masuunikuona

51

Ground Granulated Blast Furnace Slag

Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS) is a blending material with hydraulic properties and used in concrete manufacturing.

Production of GGBS

The ground granulated blast furnace slag (GGBS) is extracted from the process of pig iron production, where the molten slag is quenched with cold water, producing glassy granulates. These granulates are dried and ground to a fineness suitable for concrete production.

Main Usage

GGBS can be used in massive foundation castings for lowering the heat of hydration and controlling the high temperature rise. GGBS has a low heat of hydration. GGBS is also used when sulphate resistance is needed. If the slag percentage is over 70% of binder, concrete can be considered as sulphate resistant also when it is not used with sulphate resistant cement. Concrete containing GGBS are also suitable for aggressive environments.

Advantages

There are several advantages in using cement / slag powder mix as binder in concrete:

- lowers the heat development of concrete and it is suitable for massive castings
- reduces the reduction of compressive strength when heat treatment is used
- reactions of slag powder continue a long time, high later strength can be reached
- improves the durability of concrete especially against sulphate attack
- also suitable for aggressive environment
- makes the colour of concrete lighter
- profitable binder
- by-product and therefore its use is environmentally beneficial.

Technical Properties

Replacing cement with GGBS lowers the early strengths in +20 °C. When total GGBS content from binder is less than 25% concrete will meet the same strength requirements in 28 days than the reference concrete. When 60–70% of binder is replaced with GGBS the strength will meet the reference concrete in 91 days.

Chemical Properties

CaO	36–42%
SiO ₂	36–40%
Al ₂ O ₃	8–10%
MgO	10–12%
S	1.5–2%
Ti	0.9–1.3%
K ₂ O	0.5–1.0%
Na ₂ O	0.5–1.0%

Technical Data

Colour	52–56% (ISO4270)
State	fine powder
Absolute density	2 900 kg/m ³
Bulk density	1 200 kg/m ³
Fineness (Blaine)	400 m ² /kg

FINNSEMENTTI
A CRH COMPANY

Finnsementti Oy
FI-21600 Parainen | Tel. +358 201 206 200
www.finnsementti.fi | www.semnet.fi
info@finnsementti.fi
name.surname@finnsementti.fi

