

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

2025

Timo Hänninen

Koepetisegmentin käyttöönotto

– Consolis Oy Ab



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikka

20.04.2025 | 30 sivua

Timo Hänninen

Koepetisegmentin käyttöönotto

Opinnäytetyön tavoite oli saattaa Consolixen laboratoriossa oleva koepetisegmentti toimintakuntoon. Koepetisegmentin avulla on tarkoitus kehittää ontelolaatta valualustojen lämmitysjärjestelmiä ja niille valetun betonin todellisen lämpötilan ja sen mukaan laskettavan lujuudenkehityksen seurannan ja tarkkuuden parantaminen. Vähäpäästöisen betonin lujuudenkehitys on huomattavasti hitaampaa kuin perinteisillä resepteillä valmistetuissa betoneissa. Hitaampaa lujuudenkehitystä voidaan kompensoida lämmityksellä.

Testejä varten koepetisegmenttiin asennettiin kolme lämpötila-anturia, joiden asennus ja eristys poikkesivat toisistaan. Kaupallisen anturin ja aikaisemmin kehitetyn oman mallin lisäksi asennettiin koeanturi, jolla tavoiteltiin mahdollisimman tehokasta eristystä suhteessa lämmitysputkiin ja toisaalta helppoa asennusta. Tätä mallia tullaan vielä kehittämään tehdaskäyttöä varten. Koeanturin tarkkuutta tutkittiin eri olosuhdeasetuksilla vertailemalla sen tuloksia kaupallisten antureiden tuloksiin ja ulkoiseen mittalaitteeseen.

Koepetisegmentin käyttöönotto sisälsi lämmitysjärjestelmän testauksen, eristystyöt ja lämpötila-anturiasennukset. Tulosten perusteella betonimassan lämpötilan mittaustarkkuutta pystyttiin parantamaan uuden mallisella koeanturiasennuksella. Tavoite on jatkossa tehdä lämmitysjärjestelmien kalibroinnit ja simuloinnit laboratoriossa hyödyntäen olemassa olevaa tehdas dataa.

Avainsanat:

Betonin lämmitys, betonielementti, koepetisegmentti

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

20.04.2025 | 30 pages

Timo Hänninen

Introduction of the testbed segment

Consolis Oy Ab

The aim of the thesis was to put the testing bed segment in Consolis laboratory in working order. The testing bed will be used to develop the heating systems of concrete slab casting beds and to improve the monitoring and accuracy of the temperature and strength development of the casted concrete. The strength development of low carbon concrete is notably slower than strength development of concrete made with traditional recipes. Therefore, heating has an essential role in keeping the process moving as fast as possible.

The testing bed segment has three different temperature sensors that are of different types and insulated in a different way. Sensor1 is detachable and installable from the upper side, and it is insulated as well as possible from the heat generated by heating pipes. This model will still be improved for factory use. Multiple tests were made with different water temperature, heating times and output of water pump. The tests were also done with the testing tray.

The tests gave information of values from different temperature sensors from the heating start to finish, and values from testing tray and testing bed element compared with each other. The objective is that in the future the calibrations and simulations can be made in the laboratory with the help of testing bed segment, by analyzing the measurements that were previously made in factories.

Keywords:

Heating of concrete, concrete element, testing bed

Sisältö

1 Johdanto	6
2 Toimeksianto	8
3 Yrityksen esittely	11
4 Teoria	13
4.1 Mitä on betoni?	13
4.2 Betonin ominaisuudet	14
4.3 Lämmityksen merkitys ontelolaatta tuotannossa	16
5 Segmentin kehittäminen	18
5.1 Lämpötila-anturin asennus ja eristäminen	18
5.2 Vesipumppu	21
5.3 Anturiasennuksen eristyksen testaus	22
5.4 Lämmityksen testaus	23
5.5 Anturi tarkkuuden testaus	24
6 Yhteenveto	27
Lähteet	29

Liitteet

Liite 1. Tuotteen päästöarvon laskenta

Kuvat

Kuva 1. Tuotteen päästöarvon laskenta. (images.tuotetieto.fi)	6
Kuva 2. Ontelolaatta profiilien poikkileikkauksia (Elementtisuunnittelu 2024).	8
Kuva 3. Tyypillinen ontelolaatan valualusta.	9
Kuva 4. Koepetisegmentti.	10

Kuva 5. Runkoelementtivarasto.	11
Kuva 6. Ontelolaattavarasto.	12
Kuva 7. Standardin mukaiset materiaalit (SFS-EN 206: 2014+A2:2021:en, 5).	13
Kuva 8. Koekappalepuristin.	14
Kuva 9. Porattuja koelaatan osia.	15
Kuva 10. Lieriö koekappaleita.	15
Kuva 11. Valukone.	16
Kuva 12. Lämmitysjärjestelmän kiertovesipumppuja ja venttiilejä.	17
Kuva 13. Valualustan segmentti.	18
Kuva 14. Testatut anturimallit.	19
Kuva 15. Eristämiseen käytettyjä materiaaleja.	19
Kuva 16. Lämpötila-anturin 1 sijainti ylhäältä katsottuna.	20
Kuva 17. Lämpötila-anturin 1 eristys.	20
Kuva 18. Valualustan alapuolen eristys.	21
Kuva 19. Kiertovesipumppu.	22
Kuva 20. Kiertovesipumppu asennettuna laitteistoon.	22
Kuva 21. Koesegmentin lämmityskoe.	23
Kuva 22. Koekaukalo koepetisegmentillä.	24
Kuva 23. Laitteiden välissä vain ilma tutkittaessa lämpötila-antureiden tarkkuuksia.	25
Kuva 24. Vesi lämmönsiirron väliaineena.	26
Kuva 25. Kaikki lämpötila kuvaajat.	26

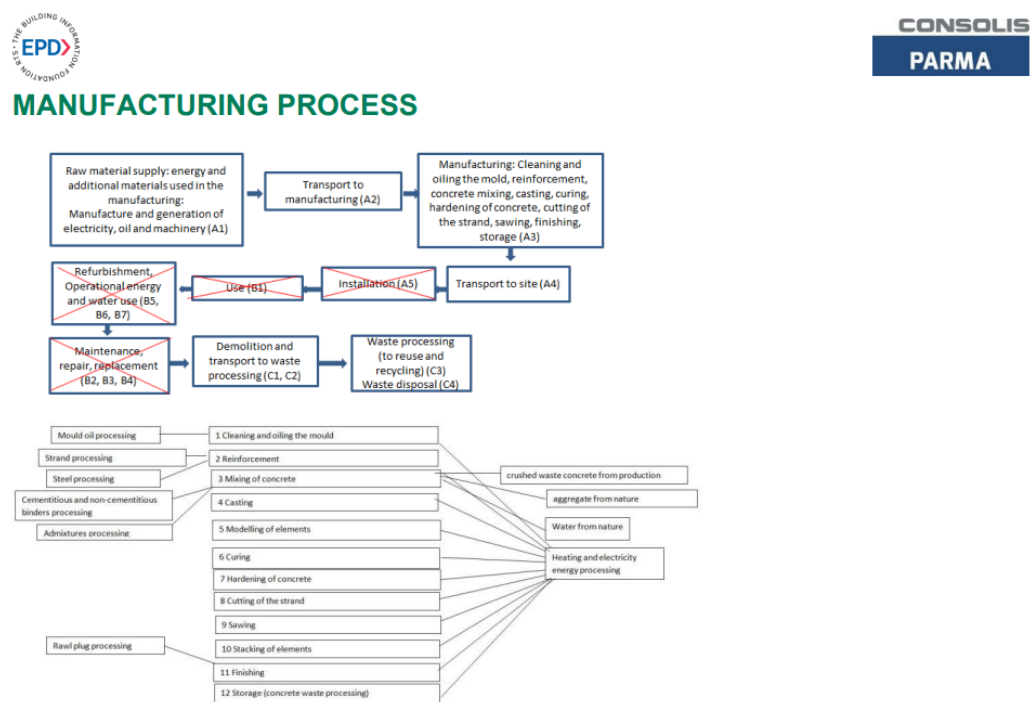
Taulukot

Taulukko 1 Pedin pintalämpötilat eri anturiratkaisuilla	23
---	----

1 Johdanto

Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali. Sen raaka-aineena käytettävän sementin valmistus tuottaa lähteistä riippuen 7-8 % maailman hiilidioksidipäästöistä (CCUS in the Indian cement industry 2024, 4). Tämän ympäristövaikutuksen minimomiseksi Consolis -konserni on sitoutunut vähentämään hiilidioksidipäästöjensä linjassa SBTi-tavoitteiden kanssa. SBTi (Science Based Target initiative) määrittelee kriteerit, joilla ilmaston lämpeneminen rajataan 1,5 °C:seen (SBTi CORPORATE NET-ZERO STANDARD CRITERIA 2024).

Käytännössä rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset mukaan lukien, hiilidioksidipäästöt ilmoitetaan tuotteen ympäristöselosteessa (ISO 14025/EN 15804:2012+A2:2019). Päästöarvon laskentaan vaikuttavia tekijöitä on havainnollistettu kuvassa 1 (Liite 1).



Kuva 1. Tuotteen päästöarvon laskenta (Consolis 2021).

Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen betonin tuotannossa on kunnianhimoinen tavoite. Kun vähennetään sementin käyttöä betonin valmistuksessa on betonin lämmitysjärjestelmien ja lujuudenkehityksen seurannan toimivuus aivan olennaista, koska korvaavat materiaalit eivät saa aikaan yhtä nopeaa lujuuden kehitystä kuin sementti. Näiden asioiden kehittämiseen ja valvonnan tarkkuuteen pyritään työssä olevalla laitteistolla vaikuttamaan.

Tämän opinnäytetyön aiheena on koepetisegmenttilaitteen käyttöönotto. Laitteen tarkoitus on havainnollistaa ontelolaatta valualustan lämmitystä. Sen avulla kehitellään olemassa olevia lämmitysjärjestelmiä ja simuloidaan eri tehtaiden järjestelmiä laboratorio-olosuhteissa.

Aihe on tärkeä erityisesti alan pyrkiessä hiilineutraalimpaan betonin valmistukseen vähentämällä sementin osuutta ja korvaamalla sitä seosaineilla. Tällöin betonilta vaadittavan lujuuden saavuttaminen kuitenkin usein hidastuu ja siksi ontelolaattojen valualustojen lämmitystä pyritään optimoimaan.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään ensin yleisesti yritystä sekä projektin tarkoitusta. Tämän jälkeen käsitellään betoniin sekä sen kovettumiseen liittyvää teoriaa, jonka jälkeen selostetaan itse käyttöönottoprosessi. Työssä käytetään lähteenä aiheen kirjallisuutta, yritysten nettisivuja, sekä kirjoittajan huomattavaa tietotaitoa ja aikaisempaa työkokemusta aiheesta.

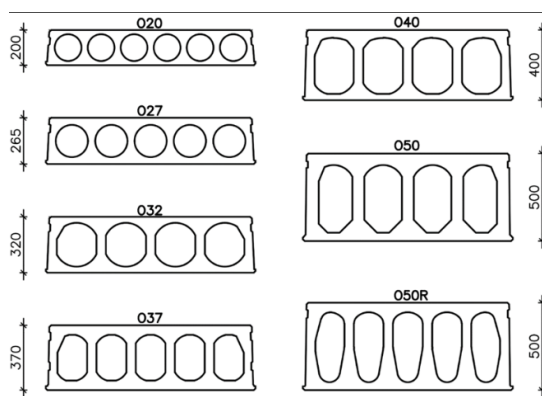
Ontelolaatta valun purkulujuudella tarkoitetaan lujuutta, joka on 60 % käytetyn betonin lopullisesta lujuudesta. Perinteisillä nopeasti kovettuvilla Portlandsementtipohjaisilla betoneilla voidaan ontelolaattavalun jännitys purkaa katkaisemalla jännepunokset jo kuuden tunnin kuluttua valun päättymisestä. Vähähiiliset betonimassat sen sijaan vaativat huomattavasti pidemmän ajan riittävän laukaisulujuuden saavuttamiseksi. Käytännössä on havaittu, että lämmitys teholla on suuri merkitys, milloin purkulujuus saavutetaan. Lämmitysjärjestelmästä riippuen saman betonilaadun lämpötiloissa voi olla kymmenien asteiden eroja, joka vaikuttaa purkuajankohtaan jopa vuorokaudella. Tällä on merkittävä vaikutus tehtaan tuotantokapasiteettiin.

2 Toimeksianto

Rakentamisessa käytetään yleisesti betonielementtejä. Niitä käytetään monenlaisissa kohteissa kuten erilaisissa asuinrakennuksissa. Elementtejä käytetään myös teollisuuteen ja liiketoimintaan soveltuvissa kohteissa. Infrastruktuurin eli teknisien perusrakenteiden, kuten ratapölkkyjen ja siltojen valmistamisessa käytetään usein betonielementtejä. (Betonitieto n.d.)

Ontelolaattoja käytetään erilaisten rakennusten lattia- ja kattorakenteissa. Ontelolaatoilla päästään pitkiin jänneväleihin laatan korkeudesta ja punostuksesta riippuen. Ontelolaatta on kevyt verrattuna paikallaan valettuihin ratkaisuihin ja nopea asentaa. Ontelolaatat voidaan myös valmiiksi eristää alapuolelta tehtaalla. Saatavilla on myös kylpyhuonelaattoja, joissa on tiivistetty madallus viemärinteitä varten.

Ontelolaatat ovat betonielementtejä, joissa on laatan pituussuunnassa kulkevia onteloita (Kuva 2). Ontelolaatoissa on esijännitetyt punokset. Betonin lujuus, jota laattojen valmistuksessa käytetään, on C40/50- C70/85. Ontelolaatta valu tapahtuu siihen tarkoitukseen suunnitellulla valukoneella, joka kulkee valualustan sivuissa olevien kiskojen päällä. Valu etenee koneelle tulevan betonin mahdollistamalla nopeudella. Valukone tiivistää betonin ja valu pysyy muodossaan ilman ulkopuolisia muotteja. (Elementtisuunnittelu 2024.)



Kuva 2. Ontelolaatta profiilien poikkileikkauksia (Elementtisuunnittelu 2024).

Valupetien pituus on usein 100–130 metriä (Kuva 3). Ontelolaatta betonimassasta käytetään myös nimitystä maakostea betoni.

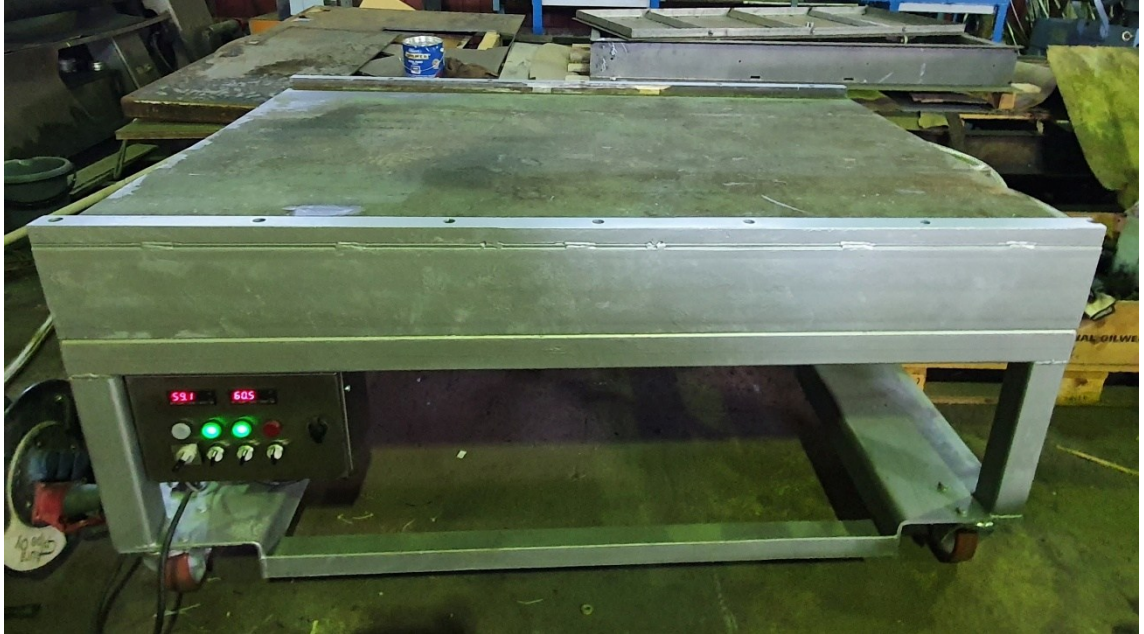
Ontelolaattakoneen rakenne saa aikaiseksi betoniin useampaan kohtaan edestakaisia hiertoliikkeitä, joilla syöttöruuvien koneeseen paineistama betonimassa tiivistyy ja pysyy muodossaan tultuaan koneen ulkopuolelle.



Kuva 3. Tyypillinen ontelolaatan valualusta.

Toimeksiantona oli saattaa koepetisegmentti (Kuva 4) toimintakuntoon. Tämä koepetisegmentti on Consolixen materiaalikehityskeskukseen suunnittelema prototyyppilaitte, minkä avulla tutkitaan ontelolaattapetien lämmityksen toimintaa ja betonin lujuuden kehittymistä. Koepetisegmentti on valmistettu noin kahden metrin pituisesta kappaleesta valualustaa. Liikuteltavan laitteen runko on valmistettu rakenneputkesta. Siihen asennettiin ja kytkettiin laitteiston logiikkaan kolme erilaista lämpötila-anturia, jotta niiden antamia arvoja voitiin verrata toisiinsa. Järjestelmässä on kiertovesipumppu, vesiputkisto ja lämmitysvastus. Koepetisegmenttiä ohjataan tietokoneella ja siihen valitaan erilaisia

parametrejä, kuten testin pituus, lämmityksen teho, kiertovesipumpun tuotto. Tietokoneelta voi seurata eri antureiden antamia lämpötila-arvoja suhteessa aikaan.



Kuva 4. Koe-petisegmentti.

Laitteella on tarkoitus simuloida eri ontelolaattatehtaiden valualustojen lämmitysjärjestelmiä ja pyrkiä kalibroimaan betonireseptikohtainen lämmityksen ohjausjärjestelmä hallituissa laboratorio-olosuhteissa. Petisegmentin toimintakuntoon saattaminen mahdollistaa myös tehdaskohtaisten lämmitysjärjestelmien kehittämisen laboratoriossa.

3 Yrityksen esittely

Consolis on Euroopan johtava betonielementtiratkaisujen toimittaja rakennus- ja sähköalalle. Consoliksella on 7500 työntekijää 20 yrityksessä 17 maassa ja 47 tuotantopaikassa. Myynti on yli 1 miljardi euroa ja asiakkaita on yli 1000.

Avaintuotteena vähäpäästöisissä tuotteissa on Consolis Green Spine Line -ontelolaatat, joita käytetään esimerkiksi lattioihin ja kattoihin. Toistaiseksi vähäpäästöisiä ontelolaattoja valmistetaan Suomessa, Ruotsissa, Norjassa ja Hollannissa. (Consolis n.d). Suomessa Consoloksen Parman tehtailla valmistetaan ontelo- ja kuorilaattoja, joita käytetään ala-, väli- ja yläpohjarakenteissa. Runkoelementtejä ovat esimerkiksi seinä-, parveke-, hissikuiluelementit sekä pilarit ja palkit. (Parma n.d). Valmiit elementit varastoidaan pääasiassa ulkotiloihin. Kuvissa 5 ja 6 on esitetty runkoelementti- ja ontelolaattavarastot.



Kuva 5. Runkoelementtivarasto.



Kuva 6. Ontelolaattavarasto.

Consoliksens historia on alkanut vuonna 1997, kun Partek Concrete ja ruotsalainen Strängbetong AB yhdistettiin uudeksi Addtek international -yhtiöksi. Vuonna 2002 Addtekin nimi muutettiin Consolikseksi. (Hytönen & Seppänen 2009, 294)

Consolikseen kuuluu myös Group Materials Development Centre (GMDC) -yksikkö, jonka laboratorio ja toimisto sijaitsee Ruskolla. Yksikkö on materiaalikehityskeskus, joka toimii Consoliksens eri tehtaiden tukena valualustojen lämmitysten, kiviaineiden, sidosaineiden, lisäaineiden ja betonireseptien kehittämisessä. Tämä opinnäytetyö liittyy tämän kyseisen yksikön toimintaan.

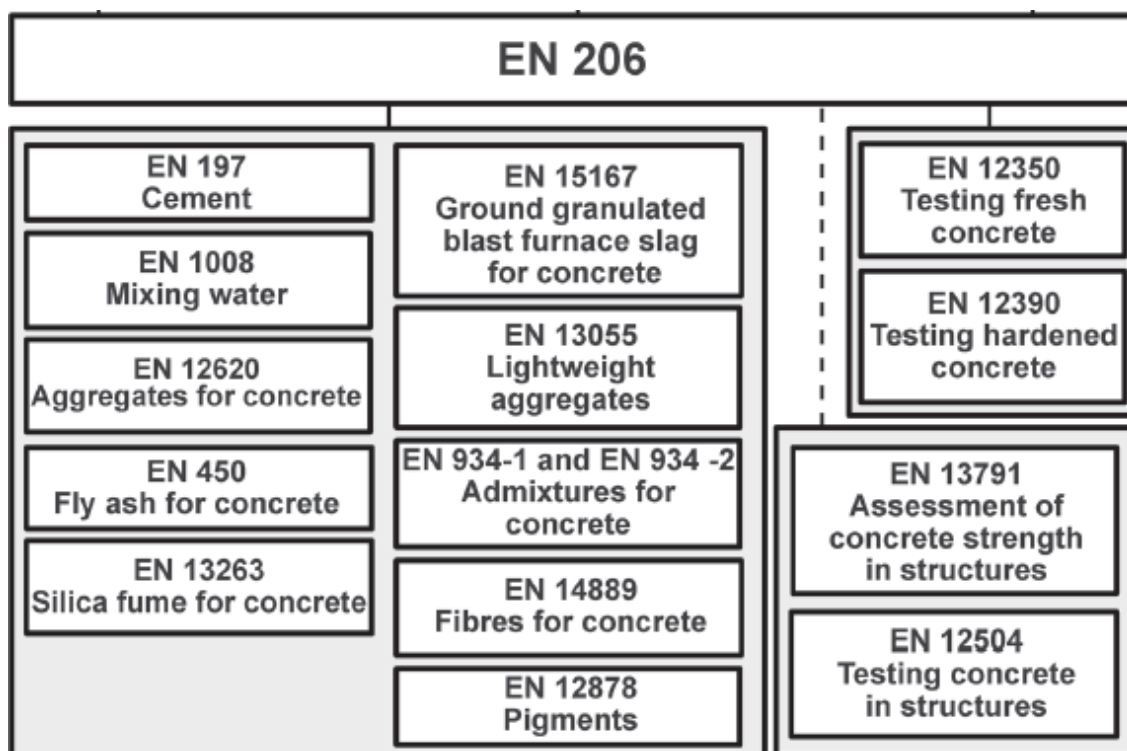
4 Teoria

4.1 Mitä on betoni?

Betoni on maailman eniten käytetty rakennusmateriaali.

Kuvassa 7 on esitetty eurooppalaisen standardin EN 206 betonin valmistuksessa sallimat materiaalit.

Betonimassa valmistetaan sekoittamalla sementti, kiviaineet ja vesi, lisäämällä tai lisäämättä sekoitukseen lisäaineita tai kuituja. Betonin kovettuminen ja lujuusominaisuudet perustuvat sementin hydratoitumisreaktioihin. (SFS-EN 206:2014+A2:2021:en,9.)



Kuva 7. Standardin mukaiset materiaalit (SFS-EN 206: 2014+A2:2021:en, 5).

4.2 Betonin ominaisuudet

Betoni on valettava materiaali, joka kovettuu sementin ja veden välisen reaktion kautta. Kovettumisreaktiossa sementtiliima (vesi ja sementti) liimaa runkoaineet kiinteäksi materiaaliksi (Suomalainen sementti opas n.d, 27, 35).

Perinteisesti valettava betoni tiivistetään täryttämällä massaa esimerkiksi tärysauvalla. Maakosteaa ontelolaattabetoni vaatii koneen aikaan saavan tiivistyksen. Työstettävyydeltään toisena ääripäänä on itsestiivistyvä betoni, joka ei vaadi tiivistykseen ulkopuolista tärytystä. Itsestään tiivistyvää betonia käytetään esimerkiksi pilareissa ja palkeissa (Petrow 2020).

Kovettuneen betonin lujuusominaisuudet ilmaistaan puristuslujuuden (Kuva 8) mukaan eri lujuusluokkina (SFS-EN 206: 2014+A2:2021:en). Esimerkiksi ontelolaatta betoni Suomessa täyttää yleisesti lujuusluokan C50/60 vaatimukset. Samassa standardissa kuvataan myös ulkoisia rasituksia, joihin betoni suunnitellaan. Nämä rasitusluokat esittävät vaatimuksia esimerkiksi betonin soveltuvuudelle kemiallisesti rasitettuihin tai säänvaihteluille alttiisiin kohteisiin.



Kuva 8. Koekappalepuristin.

Standardin SFS-EN 206 mukainen betonin lujuusominaisuuksien laadunvalvonta toteutetaan 28 vuorokauden ikäisistä koekappaleista. Nämä koekappaleet voivat olla elementeistä porattuja lieriöitä (Kuvat 9 ja 10) tai erikseen kyseessä olevasta betonista valmistettuja lieriö- tai kuutiokoekappaleita. Betonin ominaisuuksien laadunvalvonta on kolmannen osapuolen tarkastusten piirissä (Liimatainen, J, haastattelu 10.1.2025).



Kuva 9. Porattuja koelaatan osia.



Kuva 10. Lieriö koekappaleita.

4.3 Lämmityksen merkitys ontelolaatta tuotannossa

Ontelolaattaa valmistetaan teräksisellä valualustalla, missä on kiskot, joiden päällä kone liikkuu syöttöruuvien aiheuttaman työntövoiman avulla (Kuva 11). Valualustalle on valmisteltu esijännitetyt punokset, jotka jäävät betonin sisään vahvistamaan ontelolaattaa. Valetun ontelolaattapedin purku ja jännepunosten katkaisu edellyttää punosten riittävää tartuntaa betoniin. Tätä kontrolloidaan betonin purkulujuudella, joka on vähintään 60 % betonin lopullisesta lujuusarvosta. Vaaditun purkulujuuden arviointiin voidaan käyttää olosuhdekoekappaleita tai elementin lämpötilatietoa. Tässä työssä kehitetään edelleen lämpötilan mittausmenetelmää ja -olosuhteita.



Kuva 11. Valukone.

Betonin lujuuden kehitys on riippuvaista lämpötilasta (Suomalainen sementti opas n.d, 35). Toisin sanoen, alhaisemmassa lämpötilassa betonin lujuus kehittyy hitaasti saavuttaen kuitenkin korkean loppulujuuden. Betonin lujuudenkehitystä voidaan kiihdyttää joko kemiallisesti kiihdyttävillä lisäaineilla tai lämmittämällä valua. Jälkimmäiseen tarkoitukseen valualustan lämmitysjärjestelmässä on lämpimänveden tuottava laite, kiertovesipumppu, ohjausventtiili ja lämmitysputkisto (Kuva 12).



Kuva 12. Lämmitysjärjestelmän kiertovesipumppuja ja venttiilejä.

5 Segmentin kehittäminen

Ontelolaatan betonin lämmön- ja lujuudenkehitystä voidaan mallintaa asentamalla koepetisegmentin päälle tuore betonikappale, joka käyttäytyy samalla tavalla kuin tehtaalla valmistettu betoni. Kuvassa 13 on ontelolaatta valualustasta irrotettu noin kuuden metrin kappale, mistä selviää valualustan rakenne ja lämmitysputkistojen paikat.



Kuva 13. Valualustan segmentti.

5.1 Lämpötila-anturin asennus ja eristäminen

Aluksi, kun koepetisegmentin alaosa ja päädyt on vielä eristämättä, asennettiin, kytkettiin ja eristettiin lämpötila-anturit. Antureiden asennuksen jälkeen segmentin alaosa sekä päädyt eristettiin polyuretaanilevyllä. Polyuretaania käytettiin myös anturin eristämiseen.

Koepetisegmenttiin asennettiin kolme PT100 lämpötila-anturia. Anturipaketit 1 ja 3 ovat kokeellisia ja anturi 2 kaupallinen versio (Kuva 14).



Kuva 14. Testatut anturimallit.

Lämpötila-anturi numero yhdestä haluttiin tehdä yläkautta irrotettava ja helposti vaihdettava. Tähän anturiin tehtiin myös tehokas eristyskappale, jotta anturi ei lämpenisi lämpöputkista. Näin sen arvioitiin antavan mahdollisimman oikean arvon valupinnalla olevan betonin lämpötilasta.

Käytännössä tehtaiden anturiasennukset poikkeavat toisistaan erityisesti eristyksen osalta. Laitteella pystyttäisiin vertailemaan eri lailla eristettyjen antureiden antamia lämpötila-arvoja toisiinsa laboratorio-olosuhteissa ja analysoimaan sekä kalibroimaan eristyksen vaikutus lämmitysautomaatiikkaan.

Lämpötila-anturin numero 1 asennuksessa tarvittiin välilaippaa, joka ruuvattiin valualustan alapuolelle. Itse lämpötila-anturi kierrettiin välikappaleeseen, jolla se kiinnitettiin välilaippaan. Eristys suunniteltiin niin, että välikappale voidaan irrottaa lämpötila-antureineen anturin johdon tai eristeen vaurioitumatta. Kuvassa 15 näkyy lämpötila-anturin eristämiseen käytettyjä materiaaleja.



Kuva 15. Eristämiseen käytettyjä materiaaleja.

Kuvassa 16 näkyy kokeellisen lämpötila-anturin kiinnityspaikka koepetisegmentin yläpinnassa, kun alapuolinen välikappale on ruuvattuna paikalleen ja eristys asennettuna.



Kuva 16. Lämpötila-anturin 1 sijainti ylhäältä katsottuna.

Itse eristys tehtiin poraamalla ja leikkaamalla polyuretaanilevystä sopivia kappaleita ja laittamalla niiden ympärille alumiiniteippiä, ettei lämpö pääsisi säteilemään eristeeseen. Eristyksestä tehtiin kaulus, jonka halkaisija on 145 millimetriä ja korkeus 75 millimetriä. Eriste kiinnitettiin kiristysliinojen kanssa lämpöputkiin. Kiinnitys voidaan toteuttaa myös uretaanivaahdon kanssa. Kuvassa 17 ilmenee eristyksen rakenne.



Kuva 17. Lämpötila-anturin 1 eristys.

Valualustan alapuoli ja päädyt eristettiin lämpöputkien alapuolelta, ettei lämpö pääse karkaamaan alaspäin (Kuva 18). Rakenne vastaa tilannetta tehtailla, joissa valualustojen alla on betonivalu.



Kuva 18. Valualustan alapuolen eristys.

5.2 Vesipumppu

Laitteessa on kiertovesipumppuna GRUNDFOS MAGNA 3 25.40 180 -mallinen pumppu, jota voidaan ohjata tietokoneen avulla. Pumpussa on portaaton pyörimisnopeuden valinta. Ennen koeajoja pumppu purettiin ja herkisteltiin

jumiutumisen estämiseksi. Kuvissa 19 ja 20 näkyy kiertovesipumppu ja sen sijainti.



Kuva 19. Kiertovesipumppu.



Kuva 20. Kiertovesipumppu asennettuna laitteistoon.

5.3 Anturiasennuksen eristyksen testaus

Ensimmäiseen koeajoon veden tavoitelämpötilaksi asetettiin 50 °C, lämmitystehoksi 4 kilowattia, vesipumpun pyörimisnopeudeksi 40 %, eli 1143

kierrosta minuutissa ja toiminta-ajaksi 1 tunti. Veden tavoitelämpötila saavutettiin 35 minuutin kuluttua. Lämpötila-anturien arvot 35 minuutin kohdalla on esitetty taulukossa 1.

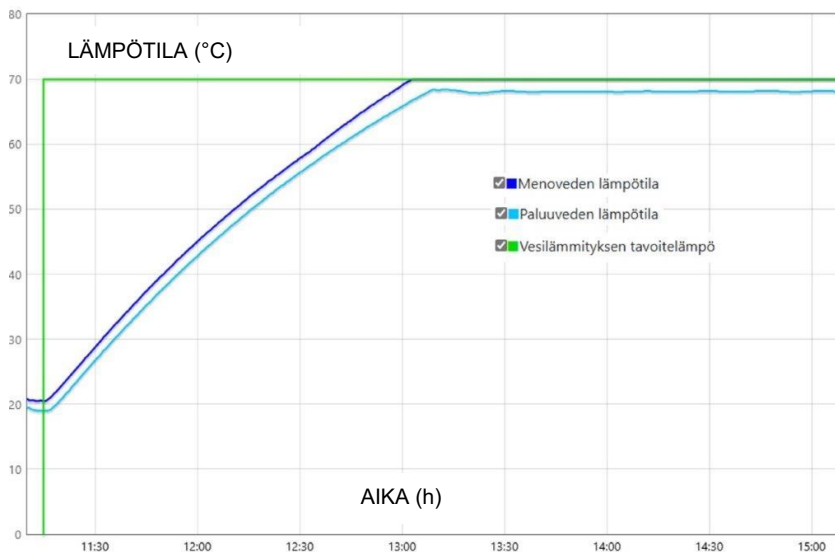
Taulukko 1. Pedin pintalämpötilat eri anturiratkaisuilla.

Anturi 1	21 °C
Anturi 2	22,5 °C
Anturi 3	22,7 °C

Taulukosta 1 voidaan todeta, että tässä vaiheessa anturin 1 eristys suhteessa lämmitysputkiin on tehokkain ja näyttää toimivan odotetulla tavalla.

5.4 Lämmityksen testaus

Testejä tehtiin korottamalla veden lämpötilaa 10 °C kerrallaan aina 80 °C asti ja jokaisen testin pituudeksi määriteltiin 4 tuntia. Tarkoituksena oli seurata, että vesi lämpenee ja lämpötila pysyy annetussa arvossa testin loppuun asti ja verrata segmentin ja koekaukalon antureiden arvoja. Kuvassa 21 ilmenee, miten tavoitelämpötila pysyy tarkasti annetussa arvossa sen saavutettuaan.

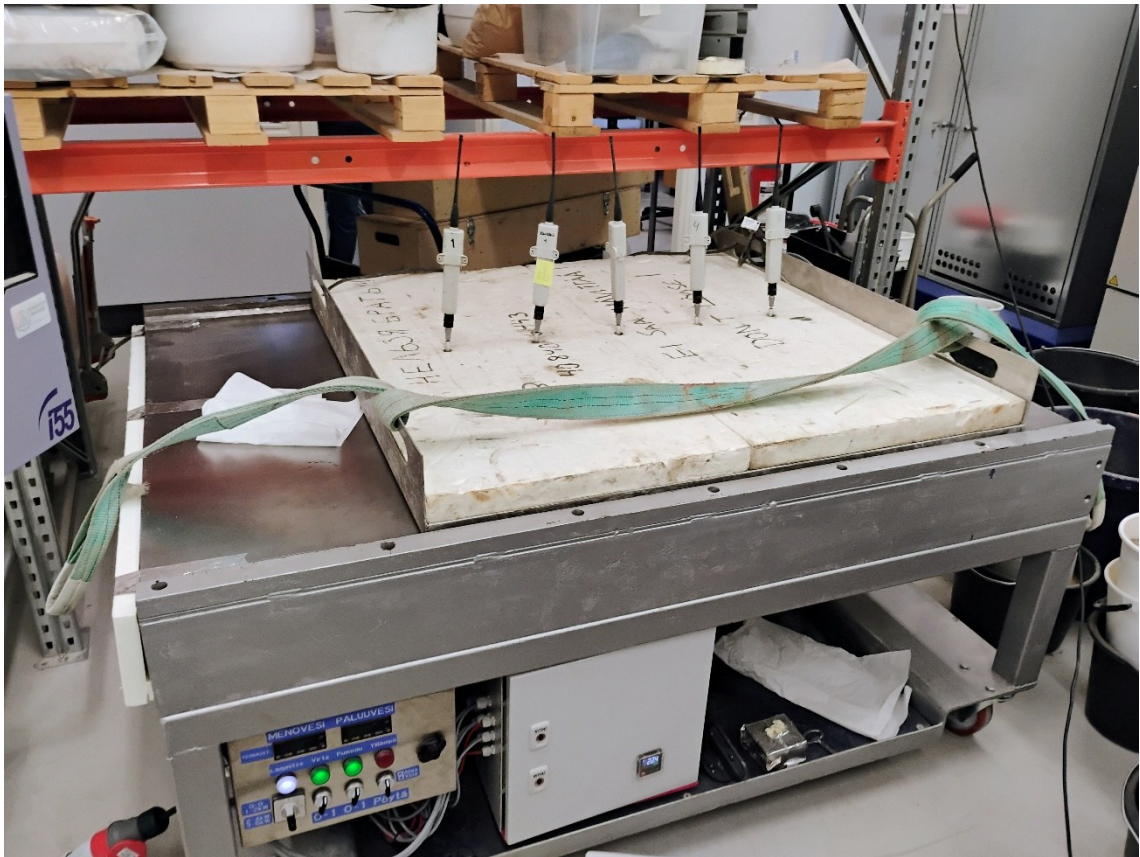


Kuva 21. Koesegmentin lämmityskoe.

Kun viimeisin testi saatiin tehtyä, irrotettiin koepetisegmentin alapuolinen eristys ja tarkastettiin antureiden eristyksen, johtojen ja muiden komponenttien toimintakunto. Kaikki oli kunnossa ja eristys kiinnitettiin takaisin.

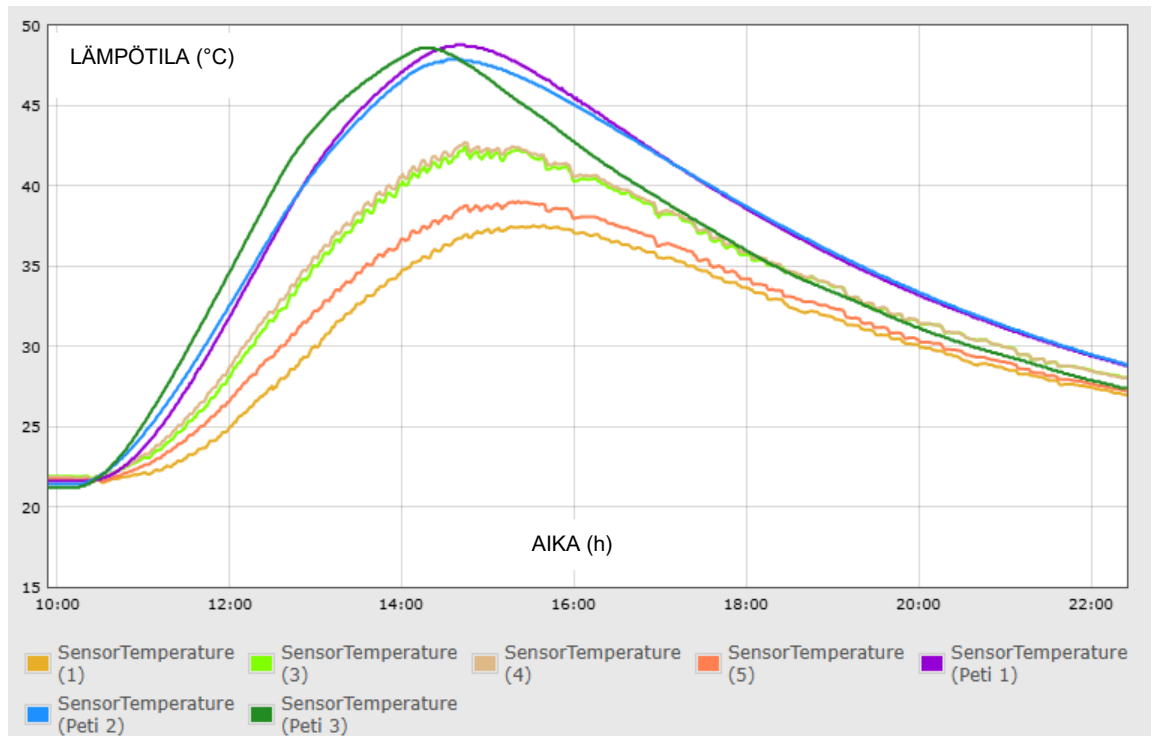
5.5 Anturi tarkkuuden testaus

Koepetisegmentin lämpötila-antureiden antamia arvoja verrattiin segmentin päälle asennetun ulkoisen mittalaitteen (Kuva 22) lämpötiloihin. Kaukalossa on betonivalu pohjalla, jolla simuloidaan ontelolaatta valua tehtaalla.



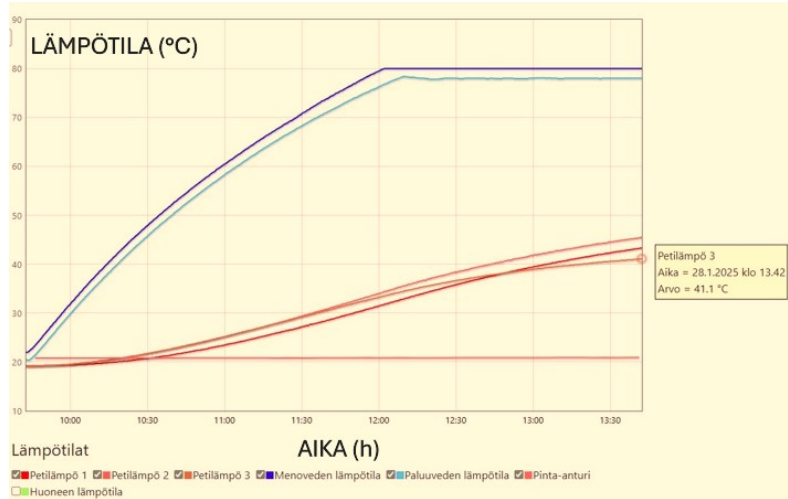
Kuva 22. Koekaukalo koepetisegmentillä.

Ensimmäisessä anturitarkkuus mittauksessa havaittiin petiantureiden ja kaukaloantureiden välillä merkittävä ero mittaustuloksissa (Kuva 23). Kaukaloantureiden välillä oli myös hajontaa. Tämän oletettiin johtuvan puutteellisesta lämmönjohtumisesta pedin ja kaukalon välillä. Myöhemmissä mittauksissa koepetisegmentin pinnalle tehtiin neopreenikumilla ja silikonilla alue, johon laitettiin vettä lämmönjohtumisen varmistamiseksi.



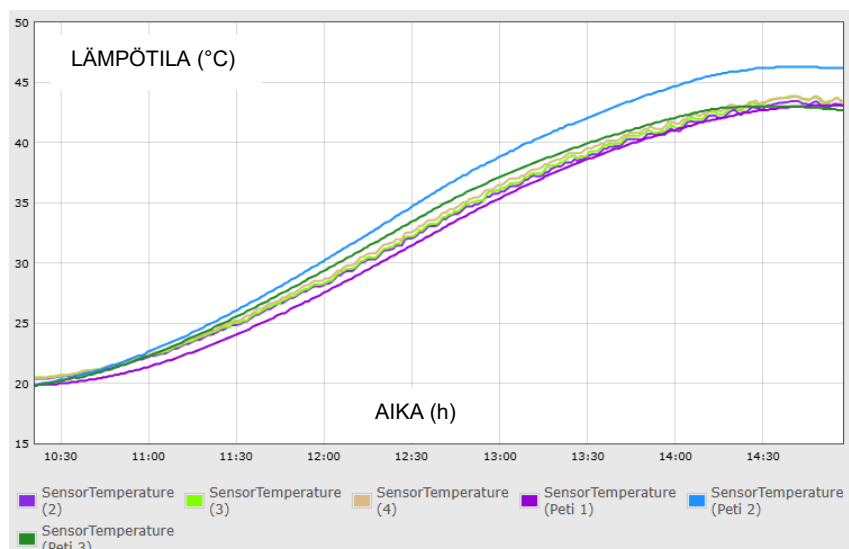
Kuva 23. Laitteiden välissä vain ilma tutkittaessa lämpötila-antureiden tarkkuuksia.

Aluksi kaukalo asennettiin keskeisesti koepedin kanssa. Tällöin anturi 3 jäi kaukalon kattaman ulkopuolelle ja antoi poikkeavaa arvoa (Kuva 24). Kaukalo siirrettiin jatkossa keskeiseksi koepedin antureiden kanssa.



Kuva 24. Vesi lämmönsiirron väliaineena.

Kun lämmönsiirto pedin ja kaukalon välillä oli varmistettu ja kaukalo keskitetty, havaittiin koepedin anturin 1 antavan selvästi muita petiantureita alempaa lämpötilaa (Kuva 25). Testin loppua kohden sekä koepedin että kaukalon antureiden arvot tasoittuivat 1 °C sisälle lukuun ottamatta anturia 2. Tästä voidaan päätellä anturin sijainnilla ja eristyksellä olevan merkitystä.



Kuva 25. Kaikki lämpötila kuvaajat.

6 Yhteenveto

Tarkoituksena opinnäytetyössä oli tehdä käyttökuntoon laitteisto, jolla voitaisiin verrata eri lailla asennettujen ja eristettyjen lämpötila-antureiden antamia lämpötila-arvoja toisiinsa. Eli mikä ratkaisu antaisi todellisimman tiedon betonin lämpötilasta valualustalla. Tämä on tärkeä tieto lämmitysjärjestelmäautomaatiikalle, joka laskee lämpötila kehityksen mukaan purkulujuuden kehityksen. Laitteistolla voitaisiin tehdä kalibrointeja sekä simulointeja laboratorio-olosuhteissa.

Opinnäytetyössä viimeisteltiin ja tarkastettiin laitteiston kokoonpano ja toimivuus. Työ alkoi kolmen lämpötila-anturin asennuksella, kytkennällä ja eristyksellä. Yksi anturi tehtiin yläpuolelta asennettavaksi ja eristettiin mahdollisimman hyvin alapuolelta. Toinen anturi oli valmis paketti toimittajalta ja kiinnitetään kierteellä valupinnan alapuolelle. Kolmas anturi kiinnitetään magneetilla alapintaan ja siinä on kevyt eristys. Antureiden testaus tapahtui lämmittämällä laitteistossa olevaa vettä eri lämpötiloihin ja erilaisilla ulkoisilla varusteilla.

Laitteiston toiminnallinen testaus keskittyi lämmitysjärjestelmän, anturieristyksen ja mittaustarkkuuden testaukseen. Lämmityslaite on tällä hetkellä erittäin tehokas ja sitä tullaan kompensoimaan veden kierron nopeutta hidastamalla. Automaatiikka pitää tarkasti vedenlämmön halutussa lämpötilassa ja lämpötila-antureilta saatava tieto on korrektia. Testeissä selvitettiin eristysten ja asennusten vaikutukset lämpötila-arvoihin ja voidaan jatkossa kalibroida eri lämpötila-anturien antamia arvoja vastaamaan todellisia lämpötiloja. Purkulujuuden määrittämiseen on todellisella lämpötilalla ratkaiseva merkitys.

Jatkossa tutkitaan laitteiston yläpuolisen lämmönlähteen vaikutusta lämpötila-antureiden antamiin arvoihin, millä simuloidaan betonin aikaansaavan lämmöntuoton lämpötila-arvoihin. Myös testauksien jatkaminen ulkopuolisten välineiden avulla, esimerkiksi muovikelmulla ja erilaisilla lämpöpeitteillä on suunnitteilla. Näillä testeillä simuloidaan tehtaiden käytäntöjä

lämmöneristämiseen ja kosteuden haihtumiseen. Käyttöönotto suunnitellun uuden kehitysversion anturi 1:n nykyisen rakenteen tilalle tai sen lisäksi.

Lähteet

Betonitieto, n.d. Betonitieto. fi/betoniteollisuus/betonielementit.html. Viitattu 5.2.2025.

CCUS in the indian cement industry 2024, 4. A review of co2 hubs and storage facilities.

Consolis, n.d. Consolis – about us. <https://consolis.com/about-us/> Viitattu 4.11.2024.

Consolis 2021. Enviromental Product Declaration. Viitattu 20.2.2025
[images.tuotetieto.fi/RTS_116_21_rts-epd_116-21_consolisparma_lowcarbonslab%\(4\).pdf](https://images.tuotetieto.fi/RTS_116_21_rts-epd_116-21_consolisparma_lowcarbonslab%(4).pdf)

Elementtisuunnittelu2024. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat/> Viitattu 3.4.2025.

Hytönen, Y.; Seppänen, M. 2009. s 294- SBK-säätiö, betonitieto oy.

Liimatainen, J. 2025. Haastattelu. Head of Consolis GMDC Janne Liimataista haastatteli 10.1.2025 Timo Hänninen.

Parma, n.d. Parma tuotteet- ja ratkaisut. [https://Parma.fi/tuotteet- ja ratkaisut/](https://Parma.fi/tuotteet-ja-ratkaisut/) Viitattu 14.11.2024.

Petrow, P. 2020. by 73 Betonin tiivistys. BY-Koulutus.

SBTi CORBORATE NET-ZERO STANDARD CRITERIA 2024. Corporate Net-Zero Standard Criteria V 1.2.

SFS-EN 206:2014+A2:2021:en. Concrete. Specification, performance, production and conformity Suomen Standardisoimisliitto.

Suomalainen Sementti Opas, n.d. Finnsementti Oy.

Tuotteen päästöarvon laskenta

MANUFACTURING PROCESS

