



# Itsetiivistyvän betonin ominaisuudet ja käyttöönottoselvitys

Valtteri Ojaniemi

OPINNÄYTETYÖ  
Maaliskuu 2023

Biotuote- ja prosessitekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Biotuote- ja prosessitekniikan tutkinto-ohjelma

Ojaniemi Valtteri:  
Itsetiivistyvän betonin ominaisuudet ja käyttöönottoselvitys

Opinnäytetyö 41 sivua, joista liitteitä 1 sivua  
Maaliskuu 2023

---

Opinnäytetyö tehtiin Betset Group Oy:n Nurmijärven tehtaan toimeksiannosta. Työn tarkoituksena oli selvittää itsetiivistyvän betonin käyttöönottoa. Tavoitteena oli selvittää, mitä eroja itsetiivistyvä betoni tuo työvaiheisiin, laatuun ja kustannuksiin. Selvitys tehtiin kokeellisesti tutkimalla eri työvaiheita ja mittaamalla ajallisesti valuaikoja.

Yksi tärkeimmistä itsetiivistyvän betonin ominaisuuksista on sen notkeus, minkä vuoksi se nimensä mukaisesti tiivistyy muotteihin itsestään oman painonsa avulla. Tämän vuoksi betonielementtien työstäminen nopeutuisi, koska itsetiivistyvällä betonilla voidaan poistaa yksi kokonainen työvaihe.

Ennen koevaluja itsetiivistyvän betonin valmistusreseptin toimivuus tarkistettiin ja siihen tehtiin tarvittavat muutokset, minkä jälkeen päästiin aloittamaan varsinaiset kokeet. Kokeissa mitattiin aikaa valusta ensimmäisen telauksen loppuun. Tämä on merkitsevin aika betonin valussa, sillä työtavat eroavat tässä vaiheessa eniten.

Testeistä huomattiin, kuinka herkkä itsetiivistyvä betoni on ulkopuolisille tekijöille, kuten säälle ja raaka-aineiden laadun vaihtelulle. Testien aikana kuitenkin laatu kehittyi jokaisella valukerralla, ja viimeinen valukoe olikin lähes täydellinen. Itsetiivistyvä betoni on oikein toimiessaan nopeampaa valaa ja sitoutumaan. Tämä tuo etuja ajallisesti, mikä mahdollistaa tuotantokapasiteetin nostamisen. Kuitenkin kustannuksellisesti kulut nousisivat pelkästään massan kuutiohinnan osalta yhdeksällä prosentilla. Itsetiivistyvä betoni toimiessaan voi vähentää reklamaatioita, mikä vähentäisi kuluja.

Tuloksien perusteella itsetiivistyvää betonia kannattaisi käyttää vain sen vahvuusalueilla. Vaikeampien ja ahtaampien elementtien valussa työaika ja laatu paransivat merkittävästi. Itsetiivistyvää betonia ei kannata käyttää yksinkertaisissa valuissa, sillä ne onnistuvat hyvin jo tavallisellakin massalla.

---

Asiasanat: itsetiivistyväbetoni, käyttöönottoselvitys

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Bioproduct and Process Engineering

Ojaniemi Valtteri:  
Commissioning and Properties of Self-Compacting Concrete  
Bachelor's thesis 41 pages, appendices 1 pages  
March 2023

---

The thesis was commissioned by Betset Group Oy's Nurmijärvi factory. The purpose of the work was to research the commissioning of self-compacting concrete. The study aimed to find out what differences self-compacting concrete brings to work stages, quality and costs. This was done experimentally by studying different work stages and measuring casting times.

One of the most important properties of self-compacting concrete is its flow ability. The concrete does not require any external vibration to undergo compaction. Self-compacting concrete compacts under its own weight. For this reason, the working time improves as self-compacting concrete requires one work stage less.

Before casting the proper tests, the function of the self-compacting concrete's manufacturing recipe was checked and the necessary changes were made to it, allowing the actual tests to begin. In the tests, the time from casting to the end of the first roll was measured. This is the most significant time measure in concrete casting because working methods differ the most at this stage.

The tests showed how sensitive self-compacting concrete is to external factors, such as weather and changes in the quality of raw materials. After every test, however, the quality improved with each casting, and the last test was almost perfect. Self-compacting concrete is faster to cast and to bond. This brings advantages in terms of time, as the production capacity could be increased. But in terms of costs, the costs would increase by nine percent just for the price of the mass. Expenses should be cut elsewhere. Self-compacting concrete could reduce reclamations, which would reduce costs even more.

Based on the tests, self-compacting concrete should only be used in its areas of strength. When casting more difficult and cramped elements, working time and quality would improve significantly. Using self-compacting concrete in simple castings isn't beneficial as they are successful even with ordinary mass.

---

Key words: self-compacting concrete, commissioning

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	BETONIN RAKENNE.....	6
2.1	Raaka-aineiden merkitys betonissa .....	6
2.2	Betonimassan tärkeimmät ominaisuudet .....	8
2.3	Maksimiraekoko ja sen vaikutus betonissa .....	9
2.4	Lämpötilan vaikutus betonin ominaisuuksiin .....	10
2.5	Koossapysyvyyden tärkeys .....	11
2.6	Kovettuneen betonin ominaisuudet .....	11
2.6.1	Puristuslujuus betonin lujuuden määrittämisessä .....	11
2.6.2	Vetolujuus betonilla .....	13
3	ITSETIIIVISTYVÄ BETONIMASSA.....	14
3.1	Itsetiivistyvän betonin käyttökohteita .....	16
4	BETONIN PINNAN LAATU .....	17
5	KOEMENETELMÄT .....	19
5.1	Itsetiivistyvän betonin työvaiheet.....	19
5.2	Tavallisen betonin työvaiheet .....	20
6	KOETULOKSET .....	21
6.1	Testilaatan tulos .....	21
6.2	Koelaattojen mittaustulokset .....	22
6.3	Koelaatat 1 ja 2 .....	23
6.4	Betonimassojen käsittelyajat.....	27
6.5	Puristuslujuudet.....	31
7	HINTAVERTAILU.....	33
8	POHDINTA .....	35
	LÄHTEET .....	39
	LIITTEET .....	41
	Liite 1. Tutkittujen laattojen ominaisuudet .....	41

## 1 JOHDANTO

Betoni on yksi maailman käytetyimmistä rakennusmateriaaleista. Se mahdollistaa monimuotoisten rakentamisen luotettavasti ja edullisesti. Betoni yhdessä raudan kanssa mahdollistaa yli 100 vuotta kestävästä rakenteesta esimerkiksi siltoihin ja taloihin. Betoni suojaa rautoja korroosiolta ja puristukselta ja rauta kehittää betonin vetolujuutta samalla pitäen rakenteen jäykkänä. (Betonitieto n.d)

Betonilajeja on hyvin monenlaisia, joista yksi erikoisimmista on itsestivä betoni. Itsestivä betoni tuo notkeutensa ansiosta paljon uusia mahdollisuuksia ja voi jopa nopeuttaa betonin valmistusta.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia itsestivän betonin ominaisuuksia ja käyttöönottoa betonielementtitehtaalla. Työ tehdään yritykselle avuksi käyttöönoton päättämisessä. Työssä tutkitaan, kuinka itsestivän betonin valmistus eroaa jo käytössä olevan tavallisen betonin työstettävyydessä, laadussa ja miten massa eroaa kustannuksellisesti.

Itsestivän betonin käyttöönottoa tutkitaan käytännön kautta vertaamalla työaikaa samanlaisten ja samanlaatuisten tavallisten betonielementtien välillä. Elementtien laatuja verrataan keskenään, joista päätellään itsestivän betonin tuomat hyödyt. Lopuksi verrataan betonien kuutiohintoja kokonaistuotantomäärään, jolloin saadaan selville kustannuserot.

Opinnäytetyössä selitetään ensin yleiset betonien ominaisuudet ja raaka-aineet. Tämän jälkeen keskitytään itsestivän betonin tuomiin lisäominaisuuksiin ja sen käyttökohteisiin. Kokeellinen osuus aloitetaan esittelemällä koeprosessi, jonka jälkeen käydään tulokset läpi. Lopuksi pohditaan, mitä tulokset tuovat esille ja miten itsestivän betonin käyttö toimii yrityksessä. Lopussa mietitään ratkaisuja ongelmille ja tuodaan ehdotuksia niille.

## **2 BETONIN RAKENNE**

Betoni on maailman yleisimmin käytetty rakennusmateriaali. Suosio perustuu sen ominaisuuksiin ja halpaan hintaan. Betonin ominaisuuksia ovat lujuus, jäykkyys, kosteuden kesto ja muokattavuus. Betonin ominaisuudet takaavat turvalliset ja pitkäkestoiset rakenteet. (Rakentaja.fi n.d)

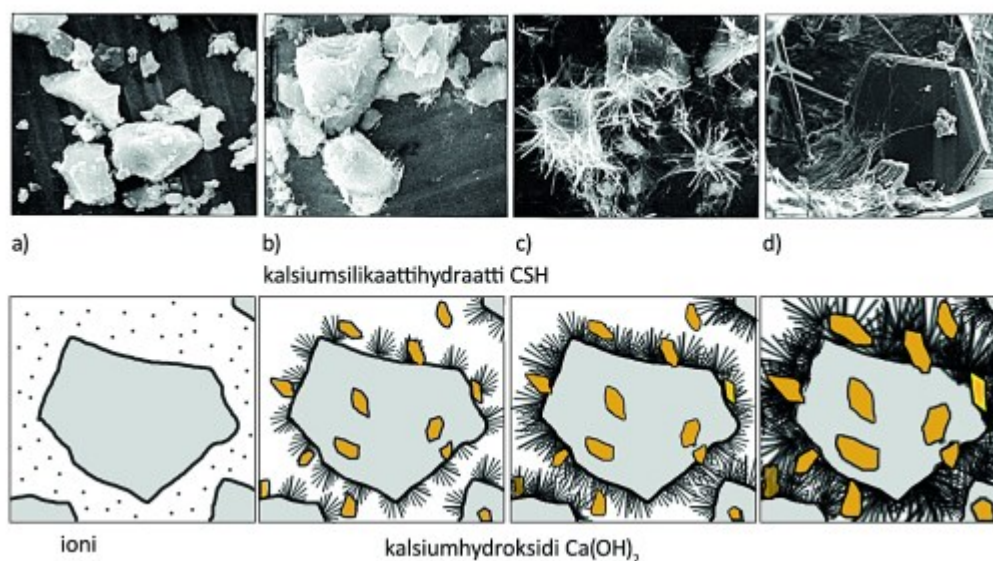
Betoni on erittäin monipuolinen materiaali, sen ominaisuudet takaavat joustavan ja tehokkaan rakentamisen. Betonitekniikan oppikirjan mukaan betoni mielletään erityisesti modernin arkkitehtuurin ja designin ilmentäjäksi. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019,13)

### **2.1 Raaka-aineiden merkitys betonissa**

Betonin pääraaka-aineita ovat vesi, sementti ja kiviainekset. Näiden lisäksi voidaan tarpeen mukaan käyttää erilaisia lisä- ja seosaineita. Sementti ja vesi muodostaa keskenään sementtiliiman, joka sitoo itsensä muiden ainesosien kanssa yhteen. Sementin ja veden kanssa tapahtuu kemiallinen reaktio, mikä kovettaa sementtiliiman sementtikiveksi. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, 24)

Sementin ja veden välistä kemiallista reaktiota kutsutaan hydrataatioksi. Vesi sioutuu sementtiin sekä kemiallisesti että fyysisesti. Reaktiossa sementtihiukkasissa tapahtuu kemiallisia reaktioita, jotka sitovat toisensa yhteen muodostaakseen sementtigelimassan, kalsiumhydraatin. Massa sitoo hydratoituneet sementtihiukkaset ja kiviainekset yhteen toisiinsa muodostaakseen sementtikiven. (Betonitieto n.d.)

Alla olevassa kuvassa 1 esitetään betonin hydrataatioreaktio. Ensimmäisessä vaiheessa raaka-aineiden sekoituttua sementtihiukkasista alkaa heti liueta kalsiumia ja eri metalleja veteen. Tämän jälkeen hiukkasiin alkaa muodostua hydrataatiotuotteita, esimerkiksi sementtigeeliä, jotka laajenevat hiukkasten pinnoilta veteen. Ajan saatossa reaktiotuotteet ovat toisissaan kiinni ja tuotteet alkavat sitoutua. Hydrataatio jatkuu niin pitkään kuin reagensseja riittää eli tässä tapauksessa niin kauan, kun seoksessa on reagoimatonta sementtiä ja vettä. (Kuva 1)



KUVA 1. Hydrataatioreaktion kehitys. (Betonitieto n.d.)

Kiviaines eli betonin runkoaine voi olla esimerkiksi hiekkaa, soraa tai kalliomursketta. Runkoaineena voidaan myös käyttää murskattua betonia. Kiviainesten ominaisuuksilla on suuri merkitys lopullisen betonituotteen ominaisuuksiin, sillä niiden osuus betonin tilavuudesta voi olla jopa 80 prosenttia. Suuren tilavuusosuuden vuoksi kiviaineksen laadussa täytyy olla tarkka, jotta lopullisen betonikiven laatu on halutun mukainen. (Betonitieto n.d.)

Lisäaineilla voidaan vaikuttaa sementin ominaisuuksiin. Lisäaineilla voidaan vaikuttaa esimerkiksi betonin kovettumisaikaan ja kovettuneen betonin lopullisiin ominaisuuksiin. Lisäaineilla saadaan myös erivärisiä betonikiviä lisäämällä massaan pigmenttejä. Värjäys onnistuu myös käyttämällä värillisiä kiviaineksia. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019,60)

Seosaineet ovat teollisuudessa syntyneitä hyödynnettäviä sivuvirtoja. Esimerkiksi raudan valmistuksessa syntyvää masuunikuonaa voidaan käyttää betonin valmistamisessa. Seosaineilla voidaan joko korvata sementtiä ja laskea materiaalikuluja ja ympäristökuormaa, tai muokata betonin ominaisuuksia. Esimerkiksi silika, mitä syntyy piin valmistuksessa, lisää betonin lujuutta. Edellä mainittujen seosaineiden lisäksi yleisimpiin seosaineisiin kuulu myös lentotuhka, mitä syntyy kivihiilen poltossa (Rakentaja.fi n.d.)

## **2.2 Betonimassan tärkeimmät ominaisuudet**

Betonimassan käsittelyyn ja lopputulokseen voidaan vaikuttaa raaka-aineilla, sekä lisäaineilla. Tärkeimpiä ominaisuuksia betonimassalle ovat notkeus, ilmamäärä, raekoko, lämpötila ja koossapysyvyys. Nämä vaikuttavat merkittävästi betonin lopullisiin ominaisuuksiin. (Betonitieto n.d.)

Notkeus on betonimassan työstettävyyden kannalta tärkeä ominaisuus. Notkeus vaikuttaa siihen, kuinka massa siirtyy ja täyttyy muotissa. Tiivistyvyyden luontevuus määräytyy myös betonin notkeuden mukaan. Notkea betoni helpottaa työstettävyyttä, mutta riski massan erottumiselle kasvaa, jolloin ainesosat eivät pysy yhdessä. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019,70.)

Ilmamäärä lisää betonin pakkasenkestävyyttä. Normaalissa betonissa ilmaa on noin 1–2 prosenttia sen kokonaistilavuudesta. Pakkasbetonissa käytetään 4–8 prosenttia. Betonin ilmamäärää voidaan lisätä lisäaineilla. Ilmakolot stabiloivat betonin sisäisiä paine-eroja lämpötilan muuttuessa. Näin vältetään betonin murtumiselta ja halkeilulta pakkasessa. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, 72)



### 2.3 Maksimiraekoko ja sen vaikutus betonissa

Maksimiraekoolla tarkoitetaan suurinta mahdollista runkoaineen raekokoa, jota voidaan käyttää olosuhteiden mukaan. Muoteissa ja rakenteissa voi olla ahtaita koloja ja rakoja, jonka betonimassan täytyy täyttää mahdollistaakseen tukevan rakenteen ja tasaisen laadun, mikä onnistuu valitsemalla oikea raekoko betonille. Betonin runkoaineen raekoolla voidaan edistää massan juoksevuutta ja kykyä täyttää pienimmätkin raot. Ahtaimpiin paikkoihin on hyvä valita pientä raekokoa, kun taas helpoimpiin ja isoihin muotteihin taas on parempi valita isompaa raekokoa (Rakentaja.fi n.d). Isompi raekoko vaikuttaa massan työstettävyyteen, tällöin massa on jäykempää. Myös rakeen muodolla on vaikutusta massan työstettävyyteen. Pyöreät ja litteät kivet edistävät betonin muokattavuutta ja samalla vähentävät sementin tarvetta, mikä edistää myös taloudellisuutta. (Betonitieto n.d.)

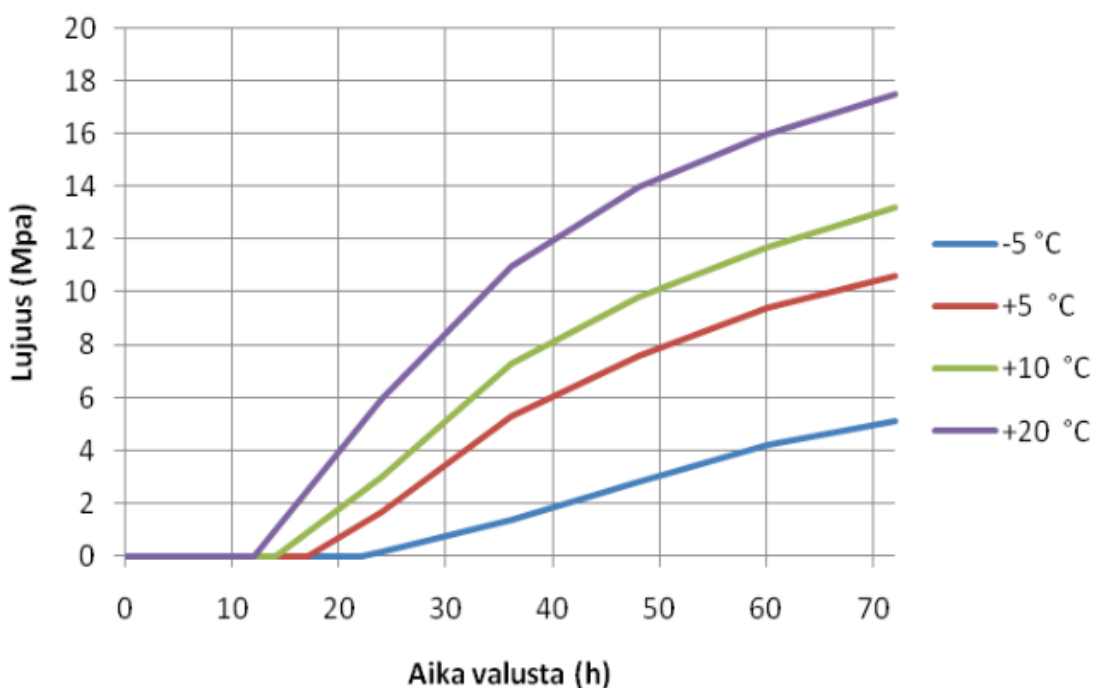
Yleisimpiä raekoita on; 8,12,16,32 mm. Massan raekoolla on kuitenkin merkittäviä vaikutuksia muiden raaka-aineiden määrään. Isommilla raekoilla tarvitaan vähemmän vettä, mikä pienentää haitallisia halkeamia ja kutistumista. Siksi onkin tärkeää valita massaan suurin mahdollinen raekoko. Näin voidaan säästää myös sitoutumisajassa, kun voitetaan veden määrässä. (Rakentaja.fi 2012)

Esimerkiksi elementin paksuuden mukaan voidaan valita sopiva raekoko. Perussääntönä toimii, että raekoko olisi kolmasosan betonilaatan paksuudesta. Esimerkiksi 100 mm paksuun laattaan voidaan käyttää 32 mm paksua raekokoa. Pumpatessa massaa sama periaate toimii sen putkiston halkaisijan mukaan. 100 mm putkessa voidaan pumpata 32 mm raekokoa. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, 80)

## 2.4 Lämpötilan vaikutus betonin ominaisuuksiin

Lämpötilalla on suuri merkitys betonin lujuuden kehittämisessä. Tavoitelämpötila betonin valmistuksessa on +20 °C. Lämpötila vaikuttaa betonin sitoutumis- ja kovettumisaikaan. 15 asteen alapuolella betoninmassan kovettuminen alkaa hidastumaan merkittävästi. Toisaalta liian korkea lämpötila haihduttaa vettä, jolloin vedentarve kasvaa. Tämä voi johtaa betonin kutistumiseen. Betoninmassan sitoutumisessa syntyvät kemialliset reaktiot tuottavat lämpöä, joten suurissa elementeissä on tärkeää rajoittaa lämpötilan nousemista taloudellisuuden ja ominaisuuden kannalta. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, 73)

Alla olevasta kuvasta 2 nähdään betonin lujuudenkehitys eri lämpötiloissa. Kuvasta nähdään, kuinka kriittinen tekijä lämpötila on lujuudenkehityksessä. Huomataan, että 20 asteen lämpötilassa saadaan nopein ja suurin lujuuden kehitys. (kuva 2) Perussääntönä voidaan pitää, että lämpötilan noustessa kymmenellä asteella, lujuudenkehitys kaksinkertaistuu (Johansson, K. 2022)



KUVA 2. Betonin lujuudenkehitys eri lämpötiloissa (Kestävä kivitalo n.d.)

## **2.5 Koossapysyvyyden tärkeys**

Koossapysyvyydellä tarkoitetaan betonimassan kykyä pysyä homogeenisenä käsittelyn ja kuljetuksen aikana. Käsittelyssä massa pyrkii erottumaan. Esimerkkejä erottumisesta voi olla: veden erottuminen massasta pintaan tai kiviainesten ja liiman erottumista (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019,73). Massa voi erottua myös liiallisen mekaanisen täryttämisen tai vääränlaisen kuljetuksen ansiosta. Erottuminen voi myös johtua raaka-aineiden, kuten runkoaineiden, epätasaisesta laadusta. (The constructor n.d.)

Erottunut massa heikentää betonin lujuutta ja kestävyyttä. Tyypillisesti lopputuloksena voi esiintyä enemmän kutistumista tai halkeamia betonissa. Nämä voivat selittyä erottumisen aiheuttamasta epätasaisesta tiivistymisestä. (The constructor n.d)

## **2.6 Kovettuneen betonin ominaisuudet**

Kovettuneen betonin tärkeimmät ominaisuudet ovat betonin lujuus ja säilyvyys. Suunnitteluvaiheessa betonin lujuus määrää hyvin paljon sen raaka-ainevalintaan ja niiden määrään. Muut ominaisuudet kuuluvat betonin muodonmuutosominaisuuksiin, kuten kuivumiskutistuvuuteen. Näitä muita ominaisuuksia ei tarkastella tässä raportissa rajauksen vuoksi.

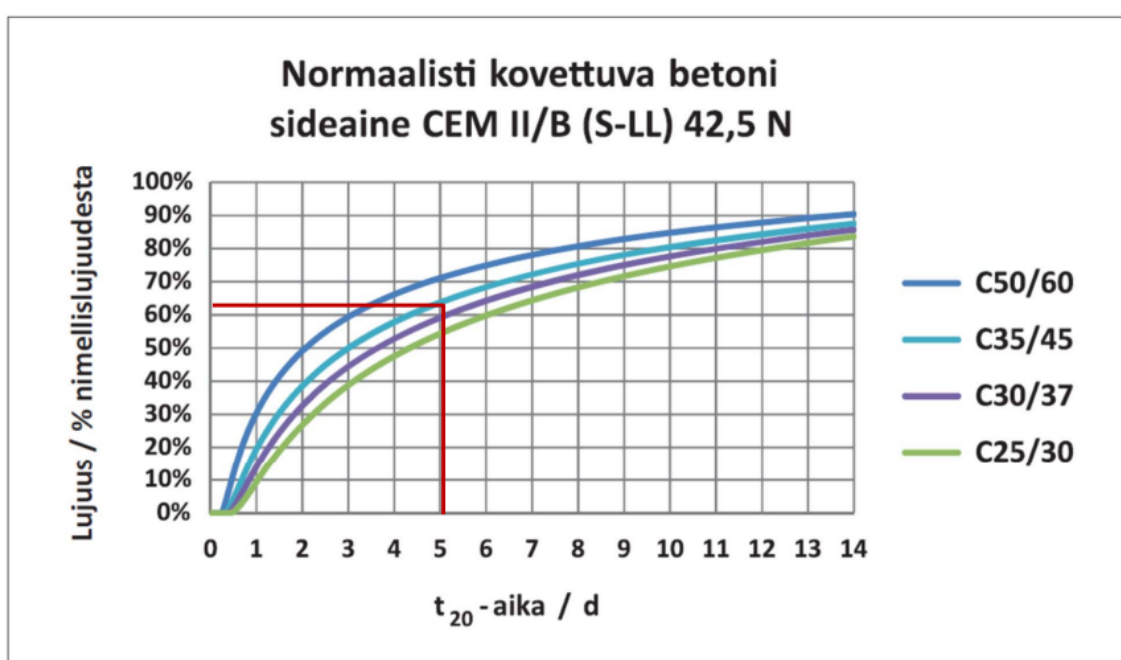
### **2.6.1 Puristuslujuus betonin lujuuden määrittämisessä**

Betonin tärkein ominaisuus on puristuslujuus. Betonin puristuslujuuden mukaan määräytyy monet muutkin sen ominaisuudet. Betonin puristuslujuutta voidaan muunnella vesi-sementtisuhteella, mitä enemmän on sementtiä suhteessa veteen, sitä korkeampi lujuus saadaan betonille. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, 85)

Betonin lujuusluokka määräytyy betonin puristuslujuuden perusteella. Betonin lujuus päätellään yleensä 28 vuorokauden kuluttua valamisesta, mutta lujuuden

kehitys kuitenkin jatkuu sen jälkeenkin. Betonin lujuusmerkintä C30/37 tarkoittaa, että betonin lieriölujuuden arvo on 30 MN/m<sup>2</sup> ja kuutiolujuuden arvo 37 MN/m<sup>2</sup>. Lujuusluokat on porrastettu 4–5 MN välein lujuusasteikon alapäässä ja yläpäässä 10 MN välein. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, 86)

Alla olevasta kuvaajasta nähdään normaalisti kovettuvan betonin lujuudenkehitys. Taulukossa esitetään eri lujuusluokkien välisiä eroja. Taulukosta nähdään eteenkin alkuvaiheessa kehityseroja. Korkeimman lujuusluokan betoni saavuttaa nimellislujutensa nopeinten. Loppupäässä huomataankin, että lujuudenkehityserot pienevät. (KUVA 3)



KUVA 3. betonin lujuuden kehittymisen seuranta

Massan ollessa 60 % nimellislujuudesta puhutaan purkulujuudesta. Purkulujuus tarkoittaa betonin lujuutta, joilla sen rakenne kestää rasitukset ilman sen muotonsa menettämistä tai vaurioita. Betoni voidaan purkaa muotista silloin, kun sen lujuus on 60 % nimellislujuudestaan. Näin turvataan betonin rakenteet ja pinnat. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, 91)

### **2.6.2 Vetolujuus betonilla**

Betonilla itsestään ei ole kovin hyvää vetolujuutta, vain kymmenes puristuslujuudesta. Vetolujuus on käänteisverrannollinen puristuslujuuteen eli se pienenee puristuslujuuden kasvaessa. Vetolujuudella on tärkeä merkitys halkeilun kannalta. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, 89)

Lisäämällä raudoitusta voidaan kasvattaa vetolujuutta merkittävästi. Tällöin puhutaan betonielementistä, joita käytetään esimerkiksi rakennuksien seinissä. Betonin ja raudoituksen yhteistyö mahdollistaa pitkäkestoisen ja kestävännen rakenteen. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, 89)

### 3 ITSETIIVISTYVÄ BETONIMASSA

Itsetiivistyvä betoni eli it nimensä mukaisesti tiivistyy ilman mekaanista apua. Tavallisesti betonia tiivistetään mekaanisesti täryttimellä tai muulla työvälineellä. Tämä täyttää muotin kaikki kulmat ja raot betonilla tasaisemmin. Itsetiivistyvä betoni ei tarvitse kyseistä vaihetta valussa, vaan sen notkeuden ansiosta massa täyttää pienetkin kolot oman painonsa ansiosta. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, 348)

Itsetiivistyvän betonin valmistus eroaa tavallisen betonin valmistuksessa raaka-aineissa ja valmistusajassa. Itsetiivistyvään betoniin lisätään enemmän lisäaineita, joista merkittävin on notkistin -lisäaine. Betonimassa notkistetaan niin paljon, kunnes sen materiaalien erottuminen toisistaan on rajalla. Erottumista rajoitetaan tarvittaessa stabilaattoreilla. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, 349).

Itsetiivistyvässä betonimassassa käytetään enemmän sementtiä, jolloin myös sen vesisementtisuhteet ovat pienempiä, joten itsetiivistyvät betonit täyttävät helposti halutut lujuusluokat. Kuitenkin massa on valmistusmateriaalien kannalta huomattavasti kalliimpaa, kuin tavallinen betoni. Kalliin hinnan vastapainona on nopeampi ja helpompi työstettävyys, kun sitä ei tarvitse erikseen tiivistää. Massa myös vähentää valutyövoimaa sekä parantaa työergonomiaa. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, 346)

Itsetiivistyvä betoni vaatii enemmän huolellisuutta ja tarkkuutta jokaisessa prosessivaiheessa. Muoteissa täytyy olla tarkkana niiden tiiveydessä ja ylimääräisissä raoissa. Notkeuden ansiosta massa pääsee helposti valumaan muotin raoista ja rei'istä ulos. Täten on tärkeää myös huolellisesti tukkia kaikki raot ja välit (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, 346).

Massan valmistuksessa on aina otettava näyte ja testata sen leviämä. Leviämällä tarkoitetaan, kuinka pitkälle massa leviää painonsa ansiosta. Leviämä tarkoittaa massan viskositeettia. Tästä kerrotaan enemmän myöhemmin. Leviämän perusteella voidaan päätellä esimerkiksi, onko massa erottunutta vai liian jäykkää. Päätelmän perusteella voidaan korjata tilanne lisäämällä stabilaattoreita tai notkistinta. Vettä ei saa lisätä enempää, koska tämä vaikuttaa betonin lopulliseen lujuuteen ja työnettävyyteen. Alla olevassa kuvassa 4 nähdään esimerkki painuma-leviämän testituloksesta. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, 349)



KUVA 4. Esimerkki painuma-leviämän testaamisesta. (Niskanen, J. 2020,12)

Itsetiivistyvälle betonille on olemassa oma standardiluokka SF, perustuen massan leviämään. Standardi jakautuu kolmeen eri leviämluokkaan, jotka selitetään alla olevassa taulukossa 1. Standardien avulla voidaan luokitella massan soveltuvuutta eri käyttökohteisiin: mitä suurempi luokka, sen vaativimpiin olosuhteisiin se soveltuu. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, 347)

TAULUKKO 1. Itsetiivistyvän betonin painuma-leviämäluokat. (Suomen Betoni-yhdistys ry. 2019, 347)

Luokka	Painuma-leviämä (mm)
SF1	550–650
SF2	660–750
SF3	760–850

Itsetiivistyvä massa tuo paljon etuja työstettävyyteen, laatuun ja valuaikaan, mutta vastapuolena se on kalliimpaa ja vaatii enemmän huolellisuutta kaikissa sen työvaiheissa. Itsetiivistyvä betonin ominaisuudet riippuvat merkittävästi sen raaka-aineiden laadusta ja niiden ominaisuuksista. Täten on hyvä valmistaa aina oma valmistusresepti paikkakohtaisesti, sillä käytettävät materiaalit vaihtelevat suuresti eri tehtailla ja kohteilla.

### 3.1 Itsetiivistyvän betonin käyttökohteita

Itsetiivistyvillä betoneilla voidaan valaa lujia, tiiviitä ja kestäviä rakenteita. Huokostimien avulla niistä voidaan myös tehdä säänkestäviä. Mekaanisen tiivistämisen poisjäänti nopeuttaa ja joustaa vaikeasti tiivistettävien rakenteiden valua. Siksi itsetiivistyvää massaa onkin hyvä käyttää ahtaissa ja monimutkaisissa rakenteissa. (Rudus, n. d.)

Esimerkkejä käyttökohteista ovat korkeat seinävalut, missä mekaaninen tiivistäminen on vaikeaa kohteen korkeutensa vuoksi. It-massaa voidaan käyttää tiheästi raudoitetuissa teräsbetonirakenteissa, jossa mekaaninen tiivistäminen on lähes mahdotonta. Massaa voidaan käyttää myös korjausrakentamisvaluissa, Pie-nissä rakenteissa, joiden ahtaat muodot vaikeuttavat tiivistämistä. (Rakennus-tieto, n. d.)



## 4 BETONIN PINNAN LAATU

Betoni on hyvin monimuotoinen materiaali, siitä voidaan tehdä laajalla kirjolla erilaisia muotoja ja rakenteita. Lopputulokseen vaikuttaa suuresti valettava muotti, joka antaa betonille muotonsa ja pintansa. Myös olosuhteet ja työtavat vaikuttavat lopulliseen tulokseen.

Betonipintojen laadulle on olemassa 4 eri luokkaa. Paikallavalettujen pintojen laadut ovat: AA, A, B, C. AA on näistä korkealaatuisin luokka ja sitä tulee käyttää vain erikoistapauksissa vaativuutensa ansiosta. Laatuluokat vaikuttavat muotin valintaan ja kustannuksiin, siksi on taloudellisesti kannattavaa valita vain tarvittava laatuluokkataso elementille. Luokat määräävät kuinka paljon poikkeuksia ja virheitä pinnassa saa olla. (Betoni n.d)

Laatuluokat jakavat pinnat eri käyttökohteisiin. Luokkaa AA pidetään ”arkkitehtonisena” luokkana, jota tulisi käyttää vain erikoiskohteissa. AA luokan vaatimukset ovat kustannuksellisesti merkittäviä vaatiessaan lähes aina uutta ja puhdasta muottipintamateriaalia. (Kivitalo, n.d.)

Luokka A:n vaatimuksiin kuuluu niin sanotut puhdasvalupinnat eli pinnat, joita valun jälkeen ei käsitellä. A luokan pinnat jäävät usein näkyviin. Luokka A ei täyty, jos pintaa joudutaan korjaamaan. Muotin pintamateriaalin täytyy olla hyvälaatuisia. A luokka vaatii etukäteissuunnittelua sekä muottipintamateriaalien käytössä että työkalustojen käytössä. (Kivitalo, n.d.)

Luokka B sisältää vaatimukset, jotka ovat helposti täytettävissä hyväkuntoisia muottikalustoja käyttäen. Muottipintamateriaali voi olla uudelleen käytettyä useain kertaan, kunhan sen kunto on hyvä. B luokan betonit jäävät yleensä piiloon tai niitä verhotaan, jolloin pinnan ulkonäöllä ei ole juurikaan merkitystä. Näkymättömiin jääville pinnoille voidaan käyttää C luokkaa, jossa sallitaan kaksinkertaisia arvoja B luokkaan verrattuna. (Kivitalo, n.d.)

Paikallavalussa käytetään useimmiten käsitteitä sileävalusta, puhdasvalusta ja raakavalusta. Puhdasvalulla käsitetään yleisimmin muottia vasten valettua betonipintaa, joka jää näkyviin ilman ylimääräisiä käsittelyjä. Muotin materiaalit vaikuttavat erityisen paljon elementin pintaan. Tehtailla yleensä käytetään teräspohjaa muoteissa. Tämä mahdollistaa yhtenäisen ja sileän pinnan elementille. Muita pohjamateriaaleja voivat olla esimerkiksi puu, muovi tai muottikankaat. Pintamateriaalit valitaan käytön mukaan. Terästä on hyvä käyttää toistuvissa vaaluissa, sillä se kestää pitkään, Mutta niitä ei voi muotoilla. Muottien reunuksiin eli runkoihin voidaan käyttää vaneria tai metalleja. (betonitieto, n.d.)

## 5 KOEMENETELMÄT

Tässä kappaleessa esitetään koemenetelmät, joilla selvitetään itsetiivistyvän betonin käyttöönottoa. Työn tavoitteena on selvittää käytännössä, miten itsetiivistyvän betonin käyttöönotto tarkoittaisi. Työssä tutkitaan betonin valmistusvaihetta ja siihen kuuluvaa työprosessia. Tämän jälkeen tutkitaan itse valuvaihetta, kuinka betoni käyttäytyy ja onko siinä konkreettisia eroja työmäärän ja laadun välillä verrattaessa jo käytössä olevaan betoniin.

Ennen varsinaisia kokeellisia valuja tehdään testikappale. Noin metrin leveän ja syvän muotoiseen valumuottiin valetaan itsetiivistyvää betonimassaa. Näin saadaan selville, tarvitaanko valmistusreseptiin tehdä muutoksia vai täyttääkö se tarvittavat kriteerit. Testin jälkeen voidaan tehdä varsinaiset kokeet.

### 5.1 Itsetiivistyvän betonin työvaiheet

Itsetiivistyvän betonimassan valmistuksessa otetaan leviämätesti, jolla varmistetaan sen laatu ja siten myös voidaan päätellä, tarvitseeko raaka-aineiden suhteita muuttaa. Jokaisesta erästä, mukaan lukien tavallinen betonimassa, otetaan näytteet. Näytteistä mitataan puristuslujuus 7 ja 28 vuorokauden kuluttua valusta. Tästä voidaan seurata betonin lujuudenkehitystä ja varmistaa betonin laatu. Näytekappaleet pidetään tasaisessa lämpötilassa, jolloin tulokset voidaan tasa-arvoisesti tulkita.

Itsetiivistyvän betonin työprosessi aloitetaan valuttamalla massaa muottiin. Massaa valetaan aina edellisen päälle, ettei massa erotu. Kun massa on saatu muottiin, aloitetaan ensimmäinen telaus. Telaus tehdään piikkitelalla, mikä vapauttaa betonissa olevat ylimääräiset ilmakuplat pois. Telaus tehdään koko muotin ympäri. Telaukset täytyy aina mennä edellisen telauksen päältä poistaakseen telan jäljet. Telaukset tehdään molempiin suuntiin: Syvyys-suuntaisesti ja leveys-suuntaisesti. Telauksen jälkeen odotetaan 15–30 minuuttia, jolloin katsotaan, tuleeko pintaan lisää ilmakuplia. Piikkitelaus voidaan tarvittaessa tehdä uudestaan, jos kuplia ilmaantuu vielä.

Piikkitelauksen jälkeen telataan mohairtelalla, joka poistaa edellisen telauksen jäljet. telaus tehdään silloin, kun betonin ainekset ovat sitoutuneet. Sitoutuminen voidaan todeta, jos pintaa hellästi koskemalla ei jää sormenpäähän betonia. telauksen jälkeen vielä telataan erittäin sileällä telalla, jonka tarkoitus on poistaa kiilto imemällä ylimääräisen veden pinnasta. Tämän jälkeen työprosessi on valmis ja betoni jätetään noin vuorokaudeksi kovettumaan. Vuorokauden kuluttua kivi irrotetaan muotista ja viedään viimeistelyyn ja siitä varastoon.

## **5.2 Tavallisen betonin työvaiheet**

Tavallisen betonin työprosessi eroaa valun alussa. Massan valettua muottiin sitä täytyy mekaanisesti tiivistää hiertämällä. Tähän on oma työkalu, jolla käydään koko muotti läpi. Täryttämällä betonimassa tiivistyy muottien kulmiin ja ahtaimpiin paikkoihin. Mekaaninen tiivistäminen on tärkeä vaihe laadun kannalta. Mekaanisen tiivistämisen jälkeen betoni telataan samanlaisesti kuin itsetiivistyvän betonimassan valmistuksessa. Viimeistelyt tehdään myös samanlaisesti.

Varsinainen koevalu tehdään oikeaan muottiin ja seurataan sen työprosessia. Valutyö mitataan ajallisesti ja verrataan sitä tavallisen betonin valuaikaan. Verranto tehdään siten, että valetaan samanlaisiin muotteihin itsetiivistyvää betonia ja tavallista betonia. Näin voidaan tulkita, onko valuaajoissa merkittäviä eroja. Viimeistelyä ei oteta huomioon, sillä niissä ei pitäisi olla juurikaan eroa ajallisesti tai työprosessin kannalta. Tärkein mitattava aika on valun alusta ensimmäiseen telauksen loppuun saakka.

Mittauksien ja valuprosessien jälkeen tuloksista tutkitaan eroavaisuuksia. Käyttöönottoa selvitetään myös haastatteleamalla työntekijöitä ja huomioidaan heidän mielipiteitänsä massan käytöstä ja sen vaikutuksista työhön. Lopuksi verrataan molempien massojen kuutiohintoja ja niiden tuottamia kuluja kokonaistuotannossa.

## 6 KOETULOKSET

Tässä kappaleessa esitetään saadut mittaustulokset. Tulokset käydään läpi tehtyjen testien mukaisesti omissa kappaleissaan, ensimmäisestä testilaatasta viimeiseen koelaatan tuloksiin. Betonien kuutiohintojen ja kustannuksien tulkinnat esitetään kappaleessa 7.

### 6.1 Testilaatan tulos

Ensimmäisen testilaatan työ alkoi muottien valmistelulla. Laattaan laitettiin yksinkertaiset raudat sisään ja nostolenkki sen siirron mahdollistamiseksi. Suurimmat reiät täytettiin uretaanilla ja muotti pinnoitettiin muottiöljyllä. Muottiöljy helpottaa kiven irrottamisen muotista. Valmistelujen jälkeen muottiin valettiin it-betonia.

Testissä ilmeni, että massassa oli liikaa huokostin-lisäainetta. Tämä johtaa massan liiakuplimiseen, jolloin se vaati enemmän työtä telaamisessa. Betonin ”rauhottaminen” vie reilusti enemmän aikaa huokostimen ansiosta sen tehdessään enemmän ilmaa massan sisällä. Testilaatan teossa kului huomattavasti enemmän aikaa, kuin olisi pitänyt.



KUVA 6: Testilaatta kuivana. (Valtteri Ojaniemi,2022)

Kuitenkin lopputulos oli hyvä. Kuten kuvassa 6 nähdään, että pinnassa on tasaista karheutta eikä siinä ole juurikaan kiiltoa, hieman väri vaihtelua näkyy. Laatta on onnistunut hyvin, mutta valmistuksessa meni enemmän aikaa, kuin olisi pitänyt liiallisen huokostimen ansiosta. (Kuva 6)

Resepti on muuten hyvä. Massa ei ollut liian vetistä tai erottunutta, mikä mahdollisti hyvän valun. Testikappaleen jälkeen voidaan valaa varsinaiseen seinäelementtimuottiin ja aloittaa kokeet.

## 6.2 Koelaattojen mittaustulokset

Alla olevassa taulukossa 2 esitetään tutkittujen laattojen valuajat ja niiden koot. Koelaatat 1–3 ovat itsetiivistävällä betonimassalla tehtyjä ja viimeinen on tavallisella betonilla tehty laatta. Tavallista betonilaattaa käytetään vertailuarvona valuaikoihin ja hintoihin.

TAULUKKO 2. Tutkittujen laattojen valuajat ja koot

Tutkitut laatat			
Laatat	Valuaika (min)	Kokonaisaika h	Koko (m <sup>3</sup> )
Koelaatta 1	20	4	3,38
Koelaatta 2	25	4	2,90
Koelaatta 3	14	3	1.87
Koelaatta 4 (ylimääräinen)	8	3	1.19
Tavallinen betoni	17	4	2,10

Taulukosta huomataan, että laatoilla on huomattavia eroja valuajoissa. Koelaatat 1 ja 2 ovat pitkäkestoisimmat elementit ja koelaatta 3 on lyhytkestoisin. Näitä käsitellään enemmän seuraavissa kappaleissa.

### 6.3 Koelaatat 1 ja 2

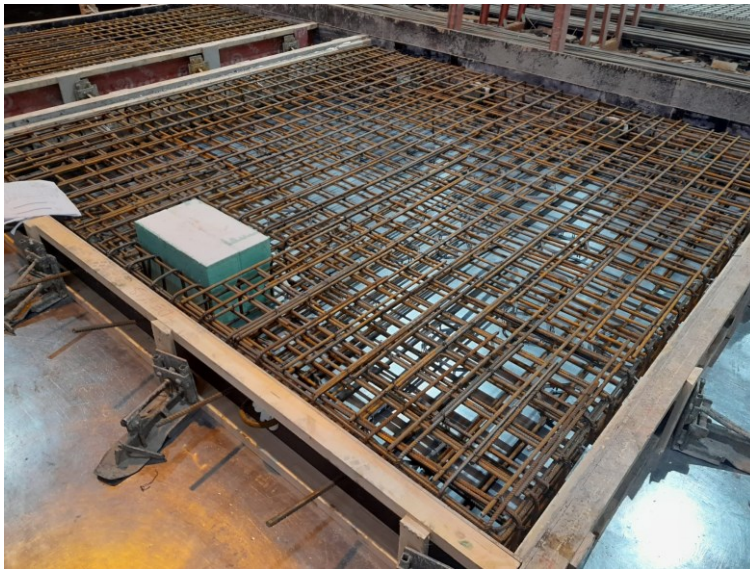
Työ aloitetaan myllyllä. Sekoitusvaiheessa otetaan leviämätesti. Leviämän tulos on 600 mm, mikä asettuu SF1 standardiin notkeudessa. Notkistin-lisäaine toimii vielä sekoituksen jälkeen, jolloin massan leviämä voi kasvaa. Leviämätestin jälkeen massa siirretään halliin, missä aloitetaan valu. Kuvassa 7 nähdään itsetiivistyvän betonin leviämätestin tulos.



KUVA 7. leviämätestin tulos. (Valtteri Ojaniemi,2022)

Valu tehdään kahteen muottiin. Muotit ja niiden raudoitteet esitetään kuvissa 8 ja 9. Muotit ovat kooltaan lähes samanlaiset. Työprosessin selkeyden vuoksi valittiin yksinkertaiset muotit.





KUVA 8: Koelaatan 1 muotti ja raudoitukset. (Valtteri Ojaniemi,2022)



KUVA 9: Koelaatan 2 raudoitukset ja muotti. (Valtteri Ojaniemi,2022)

Heti ensimmäisen valun aikana huomataan, että massassa on liikaa vettä. Tämä tekee vaikeuksia työstämisessä, sillä ainekset eivät ole jakautuneet tasaisesti. Tämä johtaa paikkoihin, joissa ei ole lainkaan kiinteää ainesta ja betonin kuivutessaan syntyy isoja reikiä. Nämä paikat joudutaan paikkaamaan ylimääräisellä betonimassalla.

Kuvassa 10 nähdään koelaatan 2 muotti valun jälkeen. Kuvasta nähdään, kuinka massan päällä on hyvin vetinen pinta. Tämä johtuu siitä, että kaikki ylimääräinen vesi massassa nousee pohjalta ylös. Muotin reunoissa nähdään vaahtoa, mikä tulee vaikuttamaan lopulliseen pinnan laatuun.





KUVA 10. Koelaatta 2 massan valun jälkeen. (Valtteri Ojaniemi, 2022)

Taulukon 2 mukaan aika massan valusta ensimmäiseen telaukseen koelaatassa 2 on noin 20 minuuttia. Toisessa muotissa aika oli pidempi, sillä sitä jouduttiin täyttämään uudella massaerällä. Siihen aikaa kului noin 25 minuuttia. Aikaan vaikutti myös se, että muotti vuoti saumoista. Sieltä pääsi vettä ulos, mikä johti täyttö vajeeseen. Tätä jouduttiin korjaamaan tilaamalla uusi annos massaa, jolloin aikaa kului massaa odotellessa.

Koevaluissa itsetiivistyvän betoni oli liian vesipitoista. Tämän selittää monet eri tekijät, mutta yksi niistä on kiviaineksen kosteus. Syksyisellä ja kostealla säällä kiviaineksen kosteus on korkealla. Koepäivän aamulla kivien kosteus oli työntekijöiden mukaan noin 4 prosenttia. Kosteuden määrällä on suuri vaikutus, sillä kiviaineksen määrä massan tilavuudesta on yli 50 prosenttia.

Kuvissa 11 ja 12 nähdään koelaattojen lopputulos. Kuten nähdään, lopputulokset eivät ole laadultaan parhaimpia. Koelaatassa 1 pinta on liian epätasainen, mutta kuitenkin tasalaatuisempi, kuin koelaatta 2. Koelaatassa 2 nähdään kiiltoa ja telauksen jälkiä. Elementtien kyljistä nähdään värieroja.



KUVA 11: Koelaatta 1 kuivana. (Valtteri Ojaniemi,2022)



KUVA 12. koelaatta 2 kuivana. (Valtteri Ojaniemi,2022)

Koelaattojen massa oli hyvin vesipitoista, mikä johtaa massan erottumiseen ja samalla vaikeuttaa sen työstämistä. Liiallinen vesi myös hidastaa massan sitoutumista ja tuo ylimääräisiä työvaiheita. Tässä tapauksessa vettä täytyi poistaa muotin pinnalta. Pintojen laatu myös heikkenee liiallisen veden ansiosta.

#### 6.4 Betonimassojen käsittelyajat

Alla olevassa kuvassa 13 esitetään koelaatan 3 itsetiivistyvän betonimassan muotti. Tavallisen betonin muotti on lähes samanlainen. Eroja voi olla, mutta ajallisesti eivät ole merkittäviä.



KUVA 13. koelaatan 3 muotti ja raudoitteet. (Valtteri Ojaniemi,2022)

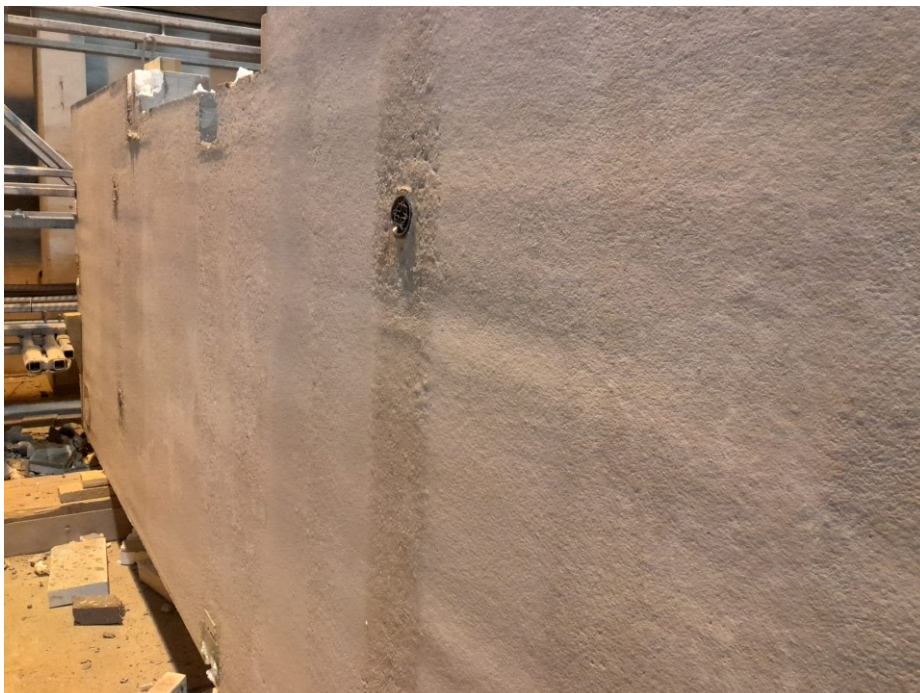
Toisessa kokeessa tehtiin yksi elementti it-massalla ja toinen samanlainen muotti tehtiin tavallisella betonilla. Ensin valettiin it-betonilla ja myöhemmin tavallisella betonilla.



It-massan leviämä on 550 mm. Tällä kertaa massa oli hieman liian kankeaa, jolloin sitä jouduttiin tiivistää muottitäryttimellä hetken tasoittaakseen pinnan. Valu edistyi muuten ongelmitta ja aikaa kului ensimmäiseen telaukseen 14 minuuttia. Kokonaisaika oli noin kolme tuntia, mutta massa oli jo alkanut sitoutumaan yhden tunnin jälkeen, mikä on nopeampaa tavalliseen massaan verrattuna. Kuvassa 14 nähdään massa telattuna ja kuvassa 15 massa kuivana.



KUVA 14. Koelaatta 3 märkänä. (Valtteri Ojaniemi,2022)



KUVA 15. koelaatta 3 kuivana. (Valtteri Ojaniemi,2022)

Kuvasta 15 nähdään, kuinka elementin pinta on aaltoileva. Pinnassa nähdään myös selvästi karkeampia kohtia ja telauksen jälkiä. Nämä ongelmat johtuvat itse valuprosessissa. Aaltoilut tulevat liian kovaa painetusta telasta. Muottia ei ollut telattu kahdesta suunnasta, mikä olisi voinut poistaa aaltoilut. Liian kovasta telauksesta johtuvat myös telanjäljet. Toinen selittävä tekijä telanjälkiin on, että toinen telaus tehtiin liian myöhässä massan ollessa jo hieman sitoutunutta. Karkeammat kohdat ovat pystytukien alapuolella. Tämä voi selittyä sillä, että tukien alle on vaikea päästä telaamaan.

Tavallisen betonielementin aika ensimmäisen telauksen loppuun oli noin 17 minuuttia. Tavallisen betonin elementin valussa telaus aloitettiin jo tiivistämisen aikana, jolloin valuaika on nopeampi. Jos telaus olisi aloitettu vasta tiivistämisen jälkeen, aikaa olisi mennyt noin 20 minuuttia.

Alla olevassa kuvassa 16 nähdään tavallisen betonielementin lopputulos. Kuvasta nähdään, että pinta on tasaisempi, eikä se aaltoile. Hieman värivaihtelua nähdään pinnassa, mutta nämä voivat hävitä vielä elementin kovettuessa.



KUVA 16. Tavallisen betonielementin lopputulos. (Valtteri Ojaniemi, 2022)

Ajallisesti it on nopeampaa, mutta laatu on tällä hetkellä heikompaa. It:n tulos oli 20 prosenttia nopeampi. Jos kaikki elementit valettaisiin itsetiivistyvällä betonimassalla, aikaero voi olla merkittävä. Testistä myös huomataan, että itsetiivistyvä betonimassa sitoutui hyvin nopeasti. Sen ansiosta koko massan työprosessi voi olla vielä nopeampi.

Testien aikana huomataan, että itsetiivistyvän betonin laatu on ollut vaihtelevaa, mutta testien myötä se on parantunut. Tämän vuoksi tehtiin vielä yksi kivi itsetiivistyvällä betonilla osoittaakseen, että massan laatu on parantunut.



KUVA 17. Koelaatta 4 märkänä ja telattuna. (Valtteri Ojaniemi,2022)

Kuten kuvasta 17 huomataan, että massa on hyvälaatuista. Massa levisi itseltään, eikä sitä tarvinnut täryttää. Massa sitoutui samanlaisesti tunnissa ja telaukset olivat onnistuneet. Hieman kiiltoa näkyy pinnassa, mutta sen korjaaminen onnistuu. Valuun ja ensimmäiseen telaukseen meni noin 8 minuuttia, mikä on nopein kokeen aikana suoritetuista testeistä. Kuitenkin elementin koko on pienin myös. Kokonaisaika oli noin 3 tuntia. Kokonaisaika ei kuitenkaan muutu, vaikka koko olisi pienempi. Valitettavasti kuvaa kovettuneesta kivistä ei saatu, sillä se

oli ehditty jo varastoida. Kovettuneen betonin pinta oli selvästi parempi, kuin aiemmissa kivissä. Tämä on jo hyvä askel parempaan massaan.

## 6.5 Puristuslujuudet

Puristuslujuuksien mittauksia varten otetaan massan valmistuksen aikana näyte-kappaleet, jotka säilytetään 20 asteessa. Näytteitä otetaan kaksi kappaletta ja niistä mitataan puristuslujuudet 7 päivän jälkeen valusta ja 28 päivän jälkeen valusta.

Näytekappaleiden koot ovat standardin SFS-EN 12390-1 mukaisia. Kuutioiden mitat ovat 150 mm jokaiseen suuntaan. Kuutiot tehdään kalibroituun muottiin ja niitä säilytetään noin 20 asteen lämpötilassa.

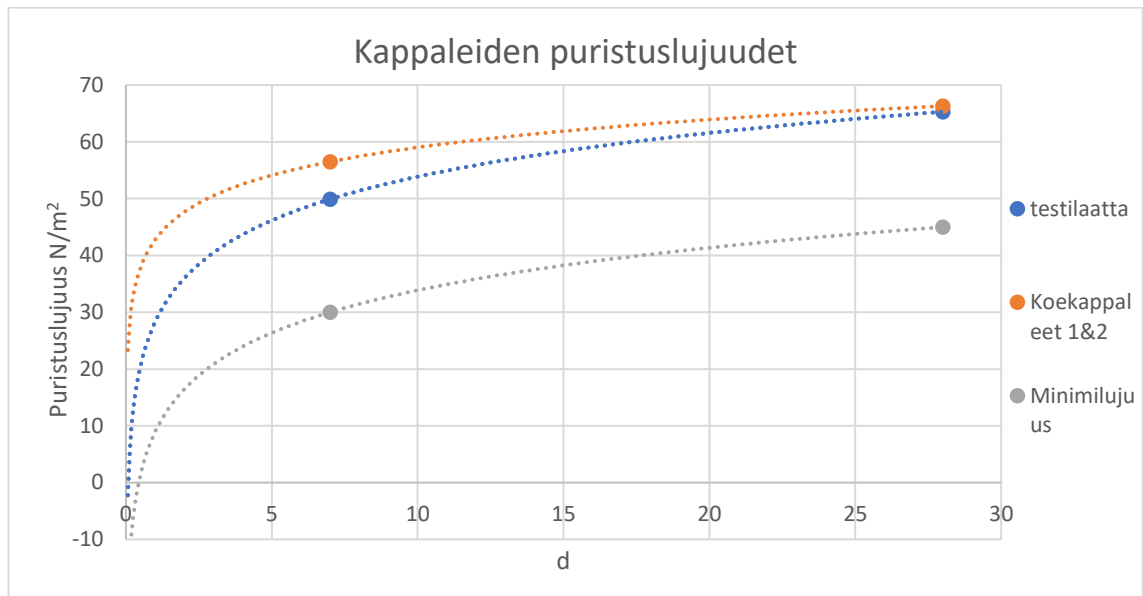
Puristuslujuudet mitataan automaattisella mittauslaitteella, joka puristaa kuutiota niin kauan, kunnes kuutio murtuu. Taulukossa myös esitetään kunkin massan vesi-sementtisuhteet.

Taulukko 3. Koekappaleiden puristuslujuudet.

Kappaleet	7 pv (N/m <sup>2</sup> )	28 pv (N/m <sup>2</sup> )	v/s
Testilaatta	49,9	65,3	0.39
Koekappaleet 1&2	56,5	66,3	0,38
Koekappale 3	49,7	-	0,42

Kuten taulukosta huomataan, itsetiivistyvän betonin lujuus kehittyy nopeasti. Jopa 7 päivän kuluttua massat ovat jo 50 N/m<sup>2</sup>:n lujuuksissa. Vaikka koekappaleiden pinnat olivat heikompia, kuitenkin ne ovat lujuuksiltaan hyväksyttävät. Itsetiivistyvä massa on lujaa betonia, mutta hyvien pintojen aikaansaamiseksi vaaditaan huolellista työtä.

Alla olevasta kuvaajassa esitetään kappaleiden lujuuskäyrät taulukon 3 mukaisesti. Kaksi ylintä käyrää esittää testilaatan (oranssi) ja koekappaleiden 1&2 (sininen) lujuudet. Kolmas käyrä (harmaa) esittää teoreettista käyrää kyseisten kappaleiden lujuuksille. Teoreettinen tulos saadaan teoriaosuuden puristuslujuuden kappaleesta (KUVA 4).



KUVIO 1: Kappaleiden puristuslujuudet.

Kuvaajasta nähdään, että koekappaleet ja testilaatta täyttävät lujuuskriteerit helposti. Korkeat lujuudet Elementit ovat siis hyvät, vaikka pinnat eivät ole esteettisesti onnistuneet. Koekappaleet 1 ja 2 käyvät hyvin väliseiniksi, jotka jäävät piiloon rakennuksen ollessa valmis.

Kokeen elementit onnistuivat lujuuksien kannalta erinomaisesti. Massan menestys pintojen laadussa on hieman heikkoa, mutta kuten aikaisemminkin mainittiin, kehitystä on tapahtunut tälläkin alueella kokeiden edetessä.



## 7 HINTAVERTAILU

Taulukossa 4 esitetään betonimassojen välisiä vuosikulueroja. Tulokset esitetään prosentuaalisesti verraten massojen kuutiohintoja elementtituotannon vuosittaiseen kokonaiskuutiomäärään. Oletuksena on, että kyseistä massaa käytettäisiin pelkästään kaikissa elementeissä.

TAULUKKO 4. Eri massalaatujen kokonaiskulut.

Laatu	Vuosikulut %
Tavallinen betoni	100
It-betoni	116
It-betoni (C50/60)	120

Kuten taulukosta huomataan, hintaerot ovat suuret. Alimpana taulukossa esitetään it-betoni, jos siitä tehdään C50/60 luokan lujuudella. Testeissä käytetyllä betonimassalla kokonaiskulut olisivat 16 prosenttia korkeammat. Korkean lujuusluokan it-betoni vuosikulut olisivat jopa 20 prosenttia korkeammat.

Itsetiivistyvän betonin valmistukseen tarvittaisiin yksi työntekijä vähemmän, kun massaa ei tarvitse täryttää. Valmistusperiaate toimisi siten, että yksi työntekijä on vastuussa massan valusta ja toinen sen telauksesta. Tällä hetkellä valmistuksessa toimii edellisten lisäksi yksi työntekijä lisää, kenen vastuulla on tiivistää betoni muotissa.

Vertailuun käytetään työntekijän keksiarvovuosituloa (Palkkavertailu n.d.). Itsetiivistyvän betonimassan vuosikuluista voidaan vähentää yhden työntekijän verran kuluja. Vuosikulut vähennyksen jälkeen esitetään taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Kokonaiskuluvertailu vähennyksillä.

Laatu	Vuosikulut %
It-betoni	109
It-betoni (C50/60)	114

Taulukosta nähdään, että kulut laskisivat noin seitsemällä sekä kuudella (C60) prosenttiyksiköllä. Yhdeksän prosenttia on määrällisesti suuri, kun otetaan huomioon tehtaan tuotantomäärät.

Itsetiivistyvänbetonin laadun kehityksen myötä voidaan edistää tehtaan elementtilaatuja. Näin voidaan vähentää reklamaatioita, jolloin sitä kautta voidaan säästää kuluissa. It-betonin lujuudet eivät ole kärsineet, vaikka pinta ei olekaan niin hyvä. Siten betonin laatu lujuuden kannalta on tasaisempaa, kuin tavallisella betonilla.

## 8 POHDINTA

Itsetiivistyvä betoni tuo paljon etuja tehtaan käytäntöihin, mutta samalla se tuo myös haittoja. Massa nopeuttaa elementtien valmistusta poistamalla kokonaisen työvaiheen valmistuksessa. Massan tiivistyminen on tasalaatuisempaa ja siten se voi myös parantaa elementtien laatua. Itsetiivistyvä massa tuo eteenkin tiheäraudoitteisiin ja ahtaisiin elementteihin huomattavia etuja työajassa ja laadussa. Massa ylittää helposti vaadittavat lujuudet, jolloin samareseptistä massaa voidaan käyttää useassa eri laatuluokassa.

Haittapuolena on se, että itsetiivistyvä betoni on erittäin vaativa betonilaji. It-betoni vaatii tarkkuutta ja tasalaatuisuutta, eteenkin raaka-aineissa. Materiaalilaitojen epätasaisuus tuo paljon lisätyötä valmistuksessa elementtien hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Itsetiivistyvän betonimassan herkün erottumisen myötä sen kuljettaminen myllyltä tehtaalle voi tuoda ongelmia. Massan seisominen paikoillaan kuljettimella voi aiheuttaa massan erottumista. Tämä tuo riskejä tuotantoon, sillä erottunut massa vaikuttaa työstettävyyteen ja laatuun, siten myös työaikaan.

Testien aikana ilmeni, että säävaihtelutkin vaikuttavat massan laatuun. Samana päivänä tehtyjen tavallisten betonimassojen laatu ei ollut juurikaan kärsinyt kosteudesta. Liiallinen vesimäärä teki itsetiivistyvän betonimassan työstettävyydestä hankalaa ja sotkuista. Aikaa kului myös tyhjien aukkojen täyttämiseen kiinteällä massalla. Sitä varten jouduttiin tekemään yksi ylimääräinen lasti massaa, mikä hidasti samalla muiden elementtien valmistusta.

Testeissä täytyy ottaa huomioon, että elementit tehtiin tuotannon käydessä eli aikaa olisi voinut kulua vielä vähemmän, jos olisi keskitytty vain niihin kyseisiin elementteihin. Työntekijät joutuivat tekemään muutkin elementit samanaikaisesti, kun kyseessä oli tavallinen työpäivä. Mutta tästä kuitenkin saadaan hyvä käytännön läheinen kuva, miten it-massa toimisi.

Tehtaalla on vain yksi betonimylly, joten on haastavaa vaihtaa betonilaatua tilaustuotteiden tekoon. Tehtaalta voidaan tilata betonimassaa muualle, mutta käytettäessä pelkkää it-massaa tämä ei onnistu kovin helpolla. Toisena tekijänä on, että tehtaan annostelukoneet ovat vanhoja, jolloin niiden annostelutarkkuus voi vaihdella merkittävästi tehden haasteita betonin laadun tasaisuuteen. Itsetiivistyvän betonin mylläysaika voi jopa kaksinkertaistua, sillä massassa käytettävän notkistimen täytyy antaa vaikuttaa massassa tarpeeksi kauan. Mylläysaika yhdelle panokselle voi olla 3 minuuttia puolentoista sijaan.

Massan valmistuksessa joudutaan valvoa prosesseja enemmän, kun täytyy ottaa huomioon muuttujat entistä huolellisemmin. Kiviaineksen laadun vaihtelu vaatii jatkuvaa suhteisuuksien muuntelua, mikä tuo enemmän työtä myllyn työntekijöille. Laadun vaihtelu voi tuoda haittaa myös muulle tehtaalle. Vaihtelu tuo paljon lisätyötä myös elementtityöntekijöille, jolloin mahdollisesti aikaa ei juurikaan säästetä.

Laadun heittäily voi koitua kalliiksi. Korkealaatuisissa elementeissä on tärkeää, että elementin pinnan laatu on tasaista ja luokituksien mukaisia. Elementtien pinnat voivat rakennuskohteen mukaan jäädä näkyviin, jolloin pinnan laadulla on erityisen tärkeä asema, kun se voidaan nähdä läheltä. Huonoista pinnoista voi syntyä reklamaatioita, mitkä voivat koitua isoiksi kuluiksi tehtaalle.

Laadunvalvonta nousee tärkeään asemaan jokaisessa työvaiheessa. Tehtaalla täytyy olla tarkkana valmistuksessa ja tietoinen, missä vaiheessa kukin elementti on. Jokaisesta massapanoksesta täytyy ottaa leviämäkoel varmistukseksi massan oikean suhteisuuden ja laadun. Massan pinnan telaamiset on aloitettava heti valusta. Liian myöhäiset telaukset voivat pahentaa pinnan laatua. Tämä ilmiö huomattiin koelaatassa, kun kovettuneessa pinnassa oli aaltoilua. Tämä johtui siitä, että telaus oli tehty myöhään massan jo ollessa liian sitoutunutta tai telaa oli painettu liian kovaa pintaa vasten.

Tarvitun laadunvalvonnan kasvun lisäksi it-massa on kalliimpaa. Tuloksien perusteella tehtaan kulut voivat nousta jopa yhdeksään prosenttiin vuodessa. Kulujen nousun ansiosta säästöjä pitäisi tehdä myös muualla minimoidakseen kulut. Itsetiivistyvän betonin parantaessa betonielementtien laatua, voidaan minimoida reklamaatioita vähentäen menoja yrityksessä. Kuluja voi myös syntyä epäsuorasti it-massaa käyttäessä. Esimerkiksi myllyn pyöriessä pidempään jokaisessa panoksessa sähkönkulutus kasvaa. Varsinkin nykytilanteen mukaan sähkönkäyttöä on hyvä hillitä. Mylläykseen tarvitaan isoa moottoria, mikä vaatii paljon tehoja pystyäkseen pyörittämään suuria määriä betonia. Jos jokaisella mylläyksellä aika kaksinkertaistuisi, voi sähkönkulutus kasvaa merkittävästi.

Itsetiivistyvän betonin käyttöönottoa on hyvä tutkia enemmän saadakseen selkeämmän kuvan massan eduista ja haitoista. Testien aikana huomattiin, että massan laatu ja toimivuus parantui huomattavasti jokaisella valukerralla. Viimeisin valu onnistui kiitettävästi. Siinä betonin leviämä ja notkeus oli kohdillaan, jolloin se täytti elementtimuotin nopeasti ilman ylimääräistä työtä. Pinnasta tuli tasalaatuinen, eikä sen taso aaltoillut. Massa oli sitoutunut hyvin nopeasti verrattuna tavalliseen betoniin, mikä nopeuttaa elementtien valmistusta merkittävästi.

Yksi vaihtoehto itsetiivistyvän betonin käytölle, jos sitä ei otettaisi jokaiseen valuun käyttöön, on käyttää sitä sen vahvuusalueilla. Tuotannossa tehtyjen tiheäraudoitteisten ja ahtaiden elementtien valuun voitaisiin käyttää kyseistä massaa. Massan ominaisuuksien ansiosta vaikeammat muotit voitaisiin valaa nopeasti ja tehokkaasti. Samalla karsitaan turhia ja aikaa vieviä välivaiheita.

Ympäristöä ajatellen itsetiivistyvä betoni ei ole ympäristöystävällisempää verrattuna tavalliseen betoniin. Sementin määrä massassa on suurempaa ja tämän valmistaminen tuottaa suuria määriä päästöjä. Siinä klinkkerin poltto synnyttää suurimmat hiilidioksidipäästöt. Kuitenkin Suomessa sementinvalmistuksessa on pyritty vähentämään päästöjä (Betoni n.d.). Eteenkin ilmastonmuutoksen hillitsemisen ollessa yksi megatrendeistä, on mietittävä erilaisia ratkaisuja päästöjen vähentämiseksi.

Näin ollen Itsetiivistyvän betonin käyttöönotto ei olekaan niin selvä kannattavuuden kannalta. Itsetiivistyvä betoni tuo paljon etuja yritykselle, mutta samalla se tuo myös haittoja. Betoni on nopeampaa ja helpompaa työstää, myös laatu voi parantua. Massa kuitenkin on kalliimpaa ja se vaatii tarkkaa laadunvalvontaa sekä huolellisuutta. Vaikka aikaa säästetään valuissa, voi tämä säästetty aika lisääntyä muihin työvaiheisiin. Ympäristön kannalta itsetiivistyvä betoni ei ole se kannattavin vaihtoehto sen käyttäessä enemmän sementtiä valmistuksessa.

Opinnäytetyön ansiosta voidaan seuloa itsetiivistyvän betonin kriittisimmät haasteet. Tuloksien perusteella saadaan selkeä kuva betonin toiminnasta ja vaativuudesta. Näitä voitaisiin tutkia jatkossa tarkemmin ja kehittää ratkaisuja, joilla saadaan tuotanto tehokkaammaksi ja elementtien laatu hyväksi.

## LÄHTEET

Betoni. n.d. Betoni on edullinen ja kestävä materiaali. Verkkosivu. Luettu 30.10.2022: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto/#:~:text=Betoni%20on%20turvallinen%20materiaali%20monesta,kymmeni%C3%A4%20vuosia%20jatku- nut%20k%C3%A4ytt%C3%B6%20mm.>

Betoni. n.d. Hiilidioksidipäästöjä vähemmän. Verkkosivu. Luettu 16.12.2022. <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/sementti-seos- aineiden-kaytto/>

Johansson, K. 4.5.2022 Betonin lujuuden kehittymisen seuranta. Betonilabo- rantti- ja myllärikurssi. Luento. Luettu 18.11.2022: <https://www.betoniyhdys- tys.fi/media/kurssimateriaalia/betonilaborantti-ja-myllari-2022/3.-jakso/betonin- lujuudenkehityksen-seuranta-2022.pdf>

Kestävä kivitalo. n.d. Pintaluokat ja -materiaalit. Verkkosivu. Luettu 10.11.2022: <https://www.kivitalo.fi/betonirakenteet/muottien-pintamateriaalit/>

Kestävä kivitalo. n.d. Talvibetonointi. Verkkosivu. Luettu 10.11.2022 <https://www.kivitalo.fi/betonirakenteet/betoni/talvibetonointi/>

Lumme, P. 2021.By 40 betonirakenteiden pinnat/luokitus- ja laatuohje. Acvacon Oy. Webinaari. Luettu 20.11.2022.

Niskanen, J.2020.Selvitys puristuslujuuksien eroista tehtaiden välillä. Raken- nus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto ohjelma. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. luettu 10.11.2022: [https://www.theseus.fi/bitstream/han- dle/10024/345280/Opinn%C3%A4ytety%C3%B6\\_Niskanen\\_Janne.pdf?se- quence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/han- dle/10024/345280/Opinn%C3%A4ytety%C3%B6_Niskanen_Janne.pdf?se- quence=2&isAllowed=y)

Palkkavertailu.fi. n.d. Betonielementtityöntekijän palkka. Verkkosivu. Luettu 25.11.2022:<https://palkkavertailu.com/palkka/betonielementtity%C3%B6nte- kij%C3%A4>

Rakentaja.fi, 17.2.2018. Betonikoulu. Verkkosivu. Luettu 8.11.2022.[https://www.rakentaja.fi/artikkelit/8989/mita\\_be- toni\\_on.htm#:~:text=Seosaineet%20ovat%20teollisuuden%20sivutuot- teina%20syntyvi%C3%A4,poltosta%20syntyv%C3%A4n%20palokaa- sun%20osa%20Daine.](https://www.rakentaja.fi/artikkelit/8989/mita_be- toni_on.htm#:~:text=Seosaineet%20ovat%20teollisuuden%20sivutuot- teina%20syntyvi%C3%A4,poltosta%20syntyv%C3%A4n%20palokaa- sun%20osa%20Daine.)

Rakentaja.fi, 20.3.2012. Betonin valinta. Verkkosivu. Luettu 18.1.2023. [https://www.rakentaja.fi/artikkelit/9026/betonin\\_valinta.htm](https://www.rakentaja.fi/artikkelit/9026/betonin_valinta.htm)

Rudus. n.d. Itsetiivistyvä betoni, ITB. Esite. Luettu 2.11.2022.

Suomen Betoniyhdistys ry.2019.Betonitekiikan oppikirja 201. 7.painos. Helsinki: BY-koulutus Oy

The constructor. Segregation of concrete- causes and prevention. n.d. Luettu 19.11.2023. <https://theconstructor.org/practical-guide/segregation-of-concrete-causes-prevention/6892/>



## LIITTEET

### Liite 1. Tutkittujen laattojen ominaisuudet

Tutkitut laatat			
Laatat	valuaika (min)	kokonaisaika h	koko (m <sup>3</sup> )
koelaatta 1	20	4	3,38
koelaatta 2	23	4	2,90
koelaatta 3	14	3	1.87
tavallinen be- toni	17	3	1.19

Ominaisuudet					
Laatat	leviämä (mm)	lämpö °C	v/s	lujuus 7pv (N/m)	lujuus 28 pv (N/m)
koelaatta 1	650	25.1	0.38	56.5	66.3
koelaatta 2	650	25.1	0.38	56.5	66.3
koelaatta 3	550	12.2	0.42	49.7	