

Aleksi Sukuvaara

## **LISÄAINEEN VAIKUTUS MAAKOSTEAN BETONIN OMINAISUUKSIIN JA VAL- MISTUSKUSTANNUKSIIN BETONILAATTOJEN VALMISTUKSESSA**

# **LISÄAINEEN VAIKUTUS MAAKOSTEAN BETONIN OMINAISUUksiIN JA VAL- MISTUSKUSTANNUksiIN BETONILAATTOJEN VALMISTUKSESSA**

Aleksi Sukuvaara  
Opinnäytetyö  
Kevät 2024  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Aleksi Sukuvaara

Opinnäytetyön nimi: Lisäaineen vaikutus maakostean betonin ominaisuuksiin ja valmistuskustannuksiin betonilaattojen valmistuksessa.

Työn ohjaajat: Ari Oikarinen, Oulun ammattikorkeakoulu, tehdaspäällikkö Jussi Sievers, Rudus Oy

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 32 + 14 liitettä

---

Betonireseptiikan kehityksellä voidaan vähentää betonin valmistuksesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä huomattavasti. Reseptejä voidaan optimoida esimerkiksi käyttämällä lisäaineita betonin valmistuksessa. Tilaajayritys Rudus Oy:n tavoitteena on olla betoniteollisuuden suunnannäyttävä kehittämällä toimintaansa koko ajan vähähiilisemmäksi. Lisäaineiden toiminnasta päällystelaattojen valmistuksessa käytettävän maakostean betonin kanssa Ruduksen Oulun tehtaalla ei ollut kovinkaan paljon kokemusta, joten toiveena oli saada lisää luotettavaa tutkimustietoa.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voitaisiinko lisäaineen käytöllä saada parempia testituloksia ja mahdollisen sementin vähennyksen myötä alentaa valmistuskustannuksia sekä hiilidioksidipäästöjä. Työssä valmistettiin maakostealla betonilla koekappaleet päällystelaatoista erilaisilla resepteillä, joissa muutettiin lisäaineen ja/tai sementin määriä. Muut betonin ainesosat pysyivät valmistuksen ajan vakiona. Koekappaleista mitattiin standardin mukaisesti taivutuslujuus 3-pistekuormituskokeella ja säänkestävyys suolapakkaskokeilla. Lisäksi niistä kuvattiin vedentunkeumakuviot. Testeistä pyrittiin saamaan luotettavia tuloksia, joiden pohjalta arvioitiin, voidaanko lisäaine ottaa tuotannossa laajemmin käyttöön.

Koekappaleet suoriutuivat hyvin 3-pistekuormituskokeista, sillä jokainen sarja läpäisi testin. Paras taivutuslujuustulos saatiin optimaalisimmalla reseptillä, jossa oli käytetty lisäainetta ja vähennetty sementin määrää. Säänkestävyyden osalta vain yksi sarja läpäisi testin, emmekä päässeet ihan odotettuihin tuloksiin. Tuloksissa oli jonkin verran hajontaa ja osa yksittäisistä tuloksista oli hyviä. Tutkimuksessa ilmeni, että lisäaineen käytöllä on mahdollista saavuttaa positiivisia vaikutuksia maakostean betonin ominaisuuksiin. Näillä resepteillä Antipor 59 lisäainetta ei kuitenkaan voida ottaa tutkimustulosten perusteella käyttöön tehdastuotannossa. Reseptiä voisi vielä jatkossa optimoida lisää, jolloin saataisiin mahdollisesti vielä parempia tuloksia ja käyttökelpoinen resepti.

---

Asiasanat: betoni, maakosteaa betoni, päällystelaatat, päällystekivet, lisäaine, betonituote

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction, Option of Civil Engineering.

---

Author: Aleksi Sukuvaara

Title of thesis: Effects of Admixture on Features and Manufacturing Costs of Semi-Dry Concrete in Production of Paving Slabs.

Supervisors: Ari Oikarinen, Oulu University of Applied Sciences, Plant manager Jussi Sievers, Rudus Oy

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 32 + 14 appendices

---

Carbon dioxide emission in concrete production can be reduced remarkably by developing the concrete recipes. The recipes can be optimised for example by using admixtures in the production.

The purpose of the thesis was to study if the features of semi-dry concrete could be improved by using an admixture in the production of paving slabs and therefore lower the manufacturing costs and carbon dioxide emissions. The test specimen paving slabs were made with various recipes where the amount of admixture and/or cement were adjusted. Other ingredients of the concrete remained standard during the production. Water absorption patterns were photographed of the test specimen, and they were tested for bending strength and freeze/thaw resistance with de-icing salt.

The research showed that it is possible to achieve positive effects on the features of semi-dry concrete by using an admixture. Especially the bending strength test results were good, since every set of test specimen passed the test. However, only one set of test specimen passed the freeze/thaw resistance with de-icing salt test. As a conclusion, Antipor 59 admixture cannot be used in factory production yet with these recipes and test results. The recipe could be optimized even further, which could lead to better results and a usable recipe.

---

Keywords: concrete, semi-dry concrete, paving slabs, paving stones, admixture, concrete product

# SISÄLLYS

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | JOHDANTO .....   | 6  |
| 2     | BETONISET PÄÄLLYSTELAATAT .....                                      | 7  |
| 2.1   | Betonilaattojen valmistus tehtaalla .....                            | 7  |
| 2.2   | Betonilaattojen laatuvaatimukset .....                               | 8  |
| 2.2.1 | Materiaalivaatimukset .....  | 8  |
| 2.2.2 | Tuotteita koskevat vaatimukset .....                                 | 8  |
| 2.3   | Testausmenetelmät .....  | 9  |
| 2.3.1 | Säänkestävyys .....  | 9  |
| 2.3.2 | Taivutuslujuus ja murtokuorma .....                                  | 11 |
| 2.3.3 | Vedenimeytyminen .....   | 13 |
| 3     | MAAKOSTEA BETONI PÄÄLLYSTELAATOISSA .....                            | 14 |
| 3.1   | Maakostea betoni .....   | 14 |
| 3.1.1 | Maakostean betonin ominaisuudet .....                                | 14 |
| 3.1.2 | Maakostean betonin ainesosat päällystelaattojen valmistuksessa ..... | 15 |
| 3.1.3 | Käyttökohteet .....  | 15 |
| 3.1.4 | Betonin lisäaineet .....   | 15 |
| 3.1.5 | Tutkimuksessa käytettävä betonin lisäaine .....                      | 17 |
| 4     | KOEKAPPALEIDEN VALMISTUS .....                                       | 18 |
| 5     | TESTIEN SUORITUS KOEKAPPALEILLE .....                                | 22 |
| 5.1   | Taivutuslujuustestit .....   | 23 |
| 5.2   | Suolapakkaskokeet .....  | 24 |
| 6     | TESTITULOSTEN VERTAILU .....   | 25 |
| 6.1   | Taivutuslujuustestien tulokset .....                                 | 25 |
| 6.2   | Suolapakkaskokeiden tulokset .....                                   | 26 |
| 7     | YHTEENVETO .....   | 28 |
| 7.1   | Lisäaineen vaikutukset maakostean betonin ominaisuuksiin .....       | 28 |
| 7.2   | Kustannusvaikutukset .....   | 30 |
| 8     | LÄHTEET .....  | 31 |

# 1 JOHDANTO

Betonituotteiden valmistuksessa käytettävän sementin osuus valmistusprosessin hiilidioksidipäästöistä on merkittävä, jopa yli 70 %, kun tarkastellaan kaikkia betonituotteita (Rudus Oy 2018a). Betonituotteiden hiilidioksidipäästöjä pyritään vähentämään korvaamalla sementtiä vähäpäästöisemmällä raaka-aineilla, kuten lisäaineilla. Betonireseptejä kehittämällä pyritään löytämään kestäviä, mutta vähähiilisempiä ratkaisuja. Betonilaattojen valmistuksessa sementti on yleensä arvokain raaka-aine, joten sitä vähentämällä saavutetaan myös kustannussäästöjä. (Rudus Oy 2021.)

Tässä opinnäytetyössä valmistetaan koekappaleet kuudella eri reseptillä, jonka jälkeen niille suoritetaan suolapakkaskokeet ja 3-pistekuormituskokeet standardin SFS-EN 1339 mukaisesti. Lisäksi koekappaleista kuvataan vedentunkeumakuviot. Testituloksien pohjalta arvioidaan lisäaineen vaikutusta maakostean betonin ominaisuuksiin ja valmistuskustannuksiin. Testeistä pyritään saamaan mahdollisimman luotettavia tuloksia. Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, voidaanko lisäaineen käytöllä saada hyötyä valmistuksessa käytettävän betonimassan ominaisuuksiin ja sitä kautta mahdollisesti laskettua valmistuskustannuksia ja hiilidioksidipäästöjä. Testitulosten pohjalta arvioidaan, voidaanko lisäainetta ottaa laajemmin käyttöön. Jotta resepti olisi käyttökelpoinen, koekappaleiden on täytettävä testeissä standardin mukaiset laatuvaatimukset.

Tämän opinnäytetyön tilaajayritys Rudus Oy on johtava kivipohjaisia rakennusmateriaaleja valmistava yritys Suomessa. Vuodesta 1999 lähtien Rudus on kuulunut irlantilaiseen CRH-konserniin, joka toimii rakennusmateriaalialalla maailmanlaajuisesti. Betonituotteiden valmistus Ruduksella on aloitettu 1960-luvulla. (Rudus Oy 2018b.) Oulussa Liitintien tehdas on aloittanut toimintansa 1985 Lujabetoni Oy:n omistuksessa, joka myöhemmin vuonna 2019 siirtyi liiketoimintakaupassa Rudukselle. Ruduksen toimialaan kuuluvat betonituotteiden lisäksi betonit, kiviainekset ja kierrätystuotteet. Yritys haluaa panostaa tuotekehitykseen ja tutkimukseen, jotta se voisi tarjota ympäristöä säästäviä ja koko elinkaaren huomioivia tuotteita. (Rudus Oy 2021.)

## 2 BETONISET PÄÄLLYSTELAATAT

Betonisilla päällystelaatoilla tarkoitetaan betonista valmistettuja kappaleita, joita käytetään päällystämateriaalina ja joka täyttää seuraavat ehdot: sen kokonaispituus on enintään 1 metri ja sen kokonaispituuden ja paksuuden suhde on suurempi kuin neljä (SFS-EN 1339 2003). Laatat voidaan valmistaa ns. yksi- tai kaksoismassalaattana. Yhdellä massalla valmistaessa koko laatta tehdään samasta betonista. Kahdella massalla valmistaessa laattaan tehdään pinta- ja pohjakerros erikseen. Betonilaattoja valmistetaan eri värisinä ja erilaisilla pintakäsittelyillä. Niiden paksuus on tavallisesti 30–80 mm ja ne ovat yleensä raudoittamattomia. Betonilaatat soveltuvat käytettäväksi kävelyalueilla tai liikennealueilla. Mikäli betonilaattoja käytetään liikennealueella, on laatan paksuus oltava vähintään 80 mm.

### 2.1 Betonilaattojen valmistus tehtaalla

Rudus Oy:n maisematuotetehtaalla betonituotteiden valmistusprosessi on automatisoitu, eli betonimassojen tilaaminen ja reseptien asettaminen tehdään tietokoneohjelmalla. Eri tuotteille on valmiiksi asetettu järjestelmään omat reseptinsä.

Aluksi kiviainessiiloista annostellaan punnitusvaa`alle reseptin mukaiset määrät raekooltaan eri laatuksia kiviaineksia, jonka jälkeen runkoaine nostetaan kiviainesnostimella myllytasolle, josta se kipataan väliastiaan odottamaan edellisen annoksen sekoittumista. Kun edellinen annos on sekoittunut myllyssä ja ohjattu eteenpäin, kipataan runkoaine väliastiasta myllyyn. Myllyyn annostellaan runkoaineen sekaan sementti, vesi ja mahdolliset lisäaineet, jolloin saadaan maakostea betonia. Jos valmistetaan värillisiä tuotteita, lisätään massaannostelijalla pigmenttiä. Ruduksella laatat valmistetaan kaksoismassalaattana, eli niihin tulee erikseen pinta- ja pohjamassa. Tuotekoneen käyttäjä tilaa massat erikseen, pohjamassa 0,5 m<sup>3</sup> annoksina ja pintamassa 0,3 m<sup>3</sup> annoksina, jotka jaetaan pohja- ja pintamassasuppiloihin. Molemmille massoille on omat tuotekohtaiset reseptinsä. Massasuppiloista maakostea betoni syötetään teräksiseen muottikehikkoon, ensimmäisenä pohjamassa ja sen jälkeen pintamassa. Kun maakostea betoni on syötetty muottiin, pistin eli teräsrunkoinen paininosa, jolla tehdään tuotteen pintaprofiili, laskeutuu muottiin ja puristaa massan oikeaan vahvuuteen samalla tiivistäen täryttämällä. Puristuksen ja tärytyksen jälkeen tuotteet siirretään aluslevyjen päällä siirtokuljettimella kuivatusvarastoon, jossa ne saavat kuivua noin 1,5–

3 vuorokautta ennen kuormalavoille pakkaamista. Kuivumisen jälkeen valmis tuote siirretään siltanosturilla pakkauskoneelle, jossa pakkauskoura nostaa tuotteet aluslevyiltä kuormalavoille kerroksittain. Käärintäkone käärii tuotteet pakkausmateriaaliin, jonka jälkeen valmis kuormalava siirretään siirtokuljettimella ulos tehtaasta ja se varastoidaan pyöräkuormaajalla varastoalueelle.

## **2.2 Betonilaattojen laatuvaatimukset**

### **2.2.1 Materiaalivaatimukset**

Betonilaattojen valmistuksessa on käytettävä vain materiaaleja, joiden sopivuus on todettu niiden ominaisuuksien ja toimivuuden perusteella. Valmistajan tulee esittää käytettyjen materiaalien sopivuutta koskevat vaatimukset tuotannon valvonta-asiakirjoissa. Materiaalien tarkatukseen käytetään tarkastusmallia A, joka on esitetty standardissa SFS-EN 1339. Tarkastusmallissa on esitetty vaatimukset kaikille valmistuksessa käytettäville betonin ainesosille. Asbestin tai asbestia sisältävän materiaalin käyttö on kielletty. (SFS-EN 1339 2003.)

### **2.2.2 Tuotteita koskevat vaatimukset**

Betonilaattojen toiminnalliset vaatimukset määritellään luokkina, joilla on niihin kuuluva nimike ja merkintä. Luokissa esitetään standardin SFS-EN 1339 mukaan mitattavat laatutekijät, jotka ovat käytön kannalta tärkeitä. Laatutekijät on ilmoitettu seuraavasti (luokka/merkintä):

- säänkestävyys (1/A, 2/B, 3/D)
- taivutuslujuus (1/S, 2/T, 3/U)
- kulutuskestävyys (1/F, 2/G, 3/H, 4/I)
- murtokuorma (30/3, 45/4, 70/7, 110/11, 140/14, 250/25, 300/30)
- palokäyttäytyminen (betoniset päällystelaatat luokitellaan ilman testausta Euroluokkaan A1)
- asbestipäästö (sisältää tai ei sisällä asbestia)
- liukastumisvastus (Testausta ei vaadita, jos laatan koko yläpintaa ei ole hiottu ja/tai kiillotettu erittäin sileän pinnan aikaansaamiseksi. Mikäli testiä vaaditaan poikkeustapauksessa, ilmoitetaan liukastumisvastuksen vähimmäisarvo.)

(SFS-EN 1339 2003.)

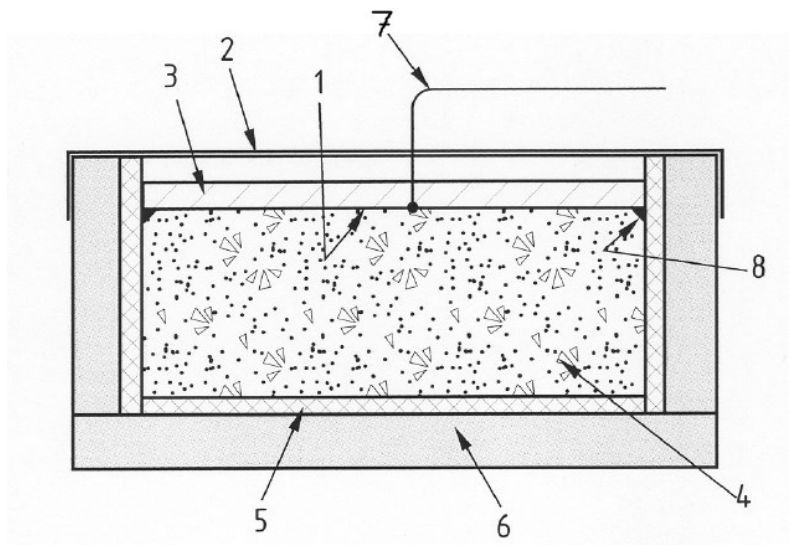
## 2.3 Testausmenetelmät

### 2.3.1 Säänkestävyys

Betonin säänkestävyyttä mitataan suolapakkaskokeella. Suolapakkaskokeen aloituksessa koekappaleen tulee olla vähintään 28 vuorokauden ikäinen, mutta enintään 35 vuorokauden ikäinen. Koekappaleesta poistetaan irrallinen materiaali, jonka jälkeen sitä jälkihoidetaan 168 tunnin ajan ilmastointikaapissa. Koekappaleen pinnat tiivistetään kumilevyllä, paitsi testattava pinta, joka jätetään näkyviin. Kun koekappaletta on jälkihoidettu ilmastointikaapissa, sen testattavalle pinnalle kaadetaan 5 mm  $\pm$  2 mm paksuinen kerros talousvettä, jonka lämpötila on 20 °C  $\pm$  2 °C. Koekappaletta ja sen päällä olevaa vettä pidetään 72 tunnin ajan lämpötilassa 20 °C  $\pm$  2 °C. (SFS-EN 1339 2003.)

Ennen jäädytys-sulatussyklejä koekappaleen tiivistetyt pinnat lämmöneristetään.

Vesi poistetaan testattavalta pinnalta 15–30 minuuttia ennen koekappaleen pakastusta. Veden tilalle kaadetaan saman paksuinen kerros talousvettä, johon on sekoitettu 3 % NaCl. Liuoksen päälle asetetaan polyeteenikalvo haihtumisen estämiseksi. (SFS-EN 1339 2003.)



KUVA 1. Koekappaleen poikkileikkaus jäädytys-sulatustestissä

1. Testattava pinta
2. Polyeteenikalvo

3. Jäädytysaine (suolavesi)
4. Koekappale
5. Kumilevy
6. Lämmöneriste
7. Lämpötilamittari
8. Tiiviste

Pakastimessa koekappaleeseen kohdistetaan 28 jäädytys-sulatussykliä. Sykliä jälkeen testattavasta pinnasta irronnut materiaali kerätään talteen ja punnitaan, jonka jälkeen testitulos ilmoitetaan kg/m<sup>2</sup>. Arvojen tulee olla taulukon 1 vaatimusten mukaisia, jotta se läpäisee testin. (SFS-EN 1339 2003.)

*TAULUKKO 1. Suolapakkaskokeen avulla määritetty jäädytys-sulatuskkestävyys (SFS-EN 1339 2003).*

| Luokka | Merkintä | Massahävikki jäädytys-sulatustestin jälkeen<br>kg/m <sup>2</sup> |
|--------|----------|--|
| 3      | D        | Keskiarvo ≤ 1,0<br>Mikään yksittäinen arvo ei saa olla > 1,5     |

Massahävikki L (kg/m<sup>2</sup>) jäädytys-sulatussykliä jälkeen lasketaan kaavalla

$$L = \frac{M}{A}, \quad (\text{KAAVA 1})$$

jossa

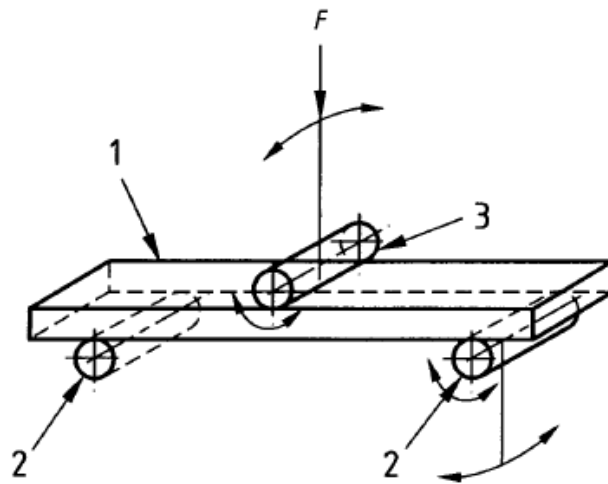
*M* on irronneen materiaalin kokonaismassa 28 jäädytys-sulatussyklin jälkeen, kg

*A* on testattavan pinnan pinta-ala, m<sup>2</sup>

### 2.3.2 Taivutuslujuus ja murtokuorma

Taivutuslujuus ja murtokuorma mitataan 3-pistekuormituskoneella. Kuormituskoneen ylätuen tulee olla alatukien puolivälissä ja tukien kaarevuussäde on oltava  $20\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ .

Koekappaleina käytetään kokonaisia laattoja, jos niissä on kaksi yhdensuuntaista reunaa. Muissa tapauksissa koekappaleen reunat sahataan yhdensuuntaisiksi. (SFS-EN 1339 2003.)



KUVA 1. 3-pistekuormitus

1. Koekappale
2. Tuet
3. Kuormituspalkki

Materiaalia kuormitetaan  $20\text{ kN} \pm 5\text{ kN}$  voimalla kuormitusnopeudella  $48\text{ kN/min} \pm 10\text{ kN/min}$ .

Kuorma kohdistetaan ilman iskua ja sitä lisätään tasaisesti siten, että murtokuorma saavutetaan  $45 \pm 15$  sekunnissa. Testistä kirjataan yksittäinen lujuustulos, MPa ja murtokuorma, kN. (SFS-EN 1339 2003.)

Testatun laatan taivutuslujuus  $T$  (MPa) lasketaan kaavalla

$$T = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times t^2}, \quad (\text{KAAVA 2})$$

jossa

$T$  on lujuus, MPa

$P$  on murtokuorma, N

$L$  on alatukien välinen etäisyys, mm

$b$  on laatan leveys murtotasossa, mm

$t$  on laatan korkeus murtotasossa, mm

Ominaistaivutuslujuuden tulee olla vähintään taulukossa 2 esitetyn arvon suuruinen. Yksikään yksittäinen tulos ei saa alittaa taulukon 2 taivutuslujuuden vähimmäisarvoa. (SFS-EN 1339 2003.)

Opinnäytetyössä testattavien laattojen tulee läpäistä vaatimusluokka 3U.

*TAULUKKO 2. Taivutuslujuusluokat (SFS-EN 1339 2003)*

| Luokka | Merkintä | Ominaistaivutuslujuus<br>MPa | Vähimmäistaivutuslujuus<br>MPa |
|--------|----------|------------------------------|--------------------------------|
| 1      | S        | 3,5                          | 2,8                            |
| 2      | T        | 4,0                          | 3,2                            |
| 3      | U        | 5,0                          | 4,0                            |

### 2.3.3 Vedenimeytyminen

Vedenimeytyminen määritetään liottamalla koekappaleta ensin  $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  vedessä vähintään 3 vuorokautta, niin että se ei enää ime enempää vettä itseensä ja saavuttaa vakiomassan märkänä. Sen jälkeen sitä kuivataan lämpökaapissa vähintään 3 vuorokautta, niin että se ei kuivu enempää ja saavuttaa vakiomassan kuivana. Vettä imeneen ja kuivatun koekappaleen massojen perusteella lasketaan massahävikki. Massahävikki ilmoitetaan prosentteina kuivan koekappaleen massasta. (SFS-EN 1339 2003).

Laattojen tulee täyttää taulukon 3 vaatimukset. Opinnäytetyössä testatut laatat kuuluvat luokkaan 1A, eli niistä ei standardin mukaan tarvitse mitata vedenimeytymistä. Vedenimeytymistä voidaan tarkastella visuaalisesti 1A luokan laatoista kuvaamalla vedentunkeumakuviot, mutta niille ei ole standardin asettamia vaatimuksia. Vedentunkeumakuvioista voidaan visuaalisesti päätellä, paljonko kyseinen koekappale on imenyt vettä. Vesi pääsee imeytymään betoniin kapillaarihuokosten kautta. Ne ovat betonille haitallisia koska betoniin imeytynyt vesi pääsee liikkumaan ja jäätymään. Hyvässä betonissa kapillaarihuokosia on mahdollisimman vähän. Vedentunkeumakuvioista voidaan tarkastella esimerkiksi kapillaarihuokosten määrää. (BY 201 2018).

TAULUKKO 3. Vedenimeytyminen (SFS-EN 1339 2003)

| Luokka | Merkintä | Vedenimeytyminen massaprosentteina |
|--------|----------|------------------------------------|
| 1      | A        | Ei mitattu                         |
| 2      | B        | $\leq 6$                           |

### **3 MAAKOSTEA BETONI PÄÄLLYSTEALTOISSA**

#### **3.1 Maakostea betoni**

Maakostea betoni on reseptin mukaan valmistettavaa betonia, jolla ei ole normien mukaan virallisia lujuusvaatimuksia. Se määritellään SFS-EN 206 standardin mukaan koostumuksen mukaiseksi betoniksi. Koostumuksen mukaisten betonien valmistuksessa valmistaja seuraa reseptin mukaisten kilomäärien toteutumista annosten punnituksessa. Maakosteasta betonista ei tehdä lujuuskoekappaleita kuten normaaleista lujuusluokitelluista betoneista. (BLY-18 2016). Maakostea betoni käytetty eri tavoin kuin normaalit lujuusluokitellut betonit, ja tutkimustietoa sen käytöstä tai ominaisuuksista on vähän saatavilla.

##### **3.1.1 Maakostean betonin ominaisuudet**

Maakostea betoni on kuivaa, olomuodoltaan lähes ”hiekkamaista” massaa, jonka saa yleensä pysymään koossa puristamalla massaa palloksi käsin. Sen vesimäärä on alhainen, jonka vuoksi massa on todella kuivaa ja ilmavaa.

Maakostea betonia ei voida tiivistää normaalilla tärylaitteistolla, vaan sen tiivistäminen vaatii erityismenettelyjä, esimerkiksi betonilaattojen valmistuksessa käytetään puristustärytystä. Sen notkeutta ei ole luokiteltu standardin mukaisesti kuten normaaleja lujuusluokiteltuja betoneja. Notkeuden mittausta tehdään valmistajan erikseen sopimalla tavalla, jota käytetään erityistarkoituksiin käytettävälle betonille. Maakostean notkeus on tyypillisesti paljon alhaisempi kuin S1-luokan normaali betonilla. Vesi-sementtisuhde maakosteassa betonissa on 0,4 tai pienempi, eli samaa luokkaa korkealujuusbetonien kanssa. Sen lujuus jää kuitenkin korkealujuusbetoneja alhaisemmaksi suu-remman ilmamäärän vuoksi. Normaalien lujuusluokiteltujen betonien ilmamäärä eli huokoisuus on noin 1–2 %, kun taas maakosteassa betonissa huokoisuus voi olla yli 10 %. (SFS-EN 206:2014 + A2:2021; BLY-18 2016).

Maakostea betoni sopii hyvin betonituotteiden valmistukseen, koska sillä on hyvä kuivumisnopeus ja massa on tarpeeksi jäykkää. Massa ei ole juoksevaa, joka mahdollistaa sen liikuttamisen hihna-

kuljettimella tehdasympäristössä. Se pysyy myös hyvin koossa muottiin puristuksen jälkeen. Suuren huokoisuuden ansiosta maakostea betoni kestää hyvin pakkasrasitusta, joka on tärkeää koska suuri osa betonituotteista asennetaan ulko-olosuhteisiin.

### **3.1.2 Maakostean betonin ainesosat päällystelaattojen valmistuksessa**

Maakostean betoni koostuu runkoaineesta, vedestä, sementistä ja mahdollisista lisäaineista. Runkoaineessa päällystelaattojen valmistuksessa käytetään eri raekokoisia seulottuja kiviaineksia, esimerkiksi filleriä, eli hienoa seulottua hiekkaa raekooltaan 0–1 mm ja seulottua luonnonsoraa raekooltaan 0–4 mm ja 0–8 mm. Runkoaine voi olla myös murskattua kiviainesta. Oikeanlaisen runkoaineen tärkeitä ominaisuuksia ovat sopiva rakeisuus, raemuoto ja tiheys. Runkoaineen on oltava myös puhdasta, eli se ei saa sisältää humusta, lietettä, ruostetta tai kiillettä. (Timonen-Nissi 2019.) Sementtilaatusena on suotavaa käyttää taloudellisia betonituotteille soveltuvia sementtejä, jotka aiheuttavat mahdollisimman vähän hiilidioksidipäästöjä. Betonissa käytettävä vesi on normaalia talousvettä. Päällystelaattojen valmistuksessa lisäaineina käytetään yleensä erityisesti maakostealle betonille suunniteltuja notkistimia.

### **3.1.3 Käyttökohteet**

Maakostea betonia on käytetty Suomessa erilaisten betonituotteiden, kuten päällystekivien, ontelolaattojen ja muiden elementtien tehdastuotantoon. Sitä on käytetty myös pitkään lattiabetonina Suomen lisäksi Ruotsissa, Saksassa sekä muissa Euroopan maissa (BLY-18 2016). Maakostea betonia käytetään myös yleisesti päällystekivien ja kadun reunatukien asennus- ja alustana. Päällystekivien asennus- ja alustana maakostea betoni lisää pohjanrakenteen kantavuutta. Se toimii hyvin ulko-olosuhteissa hyvän säänkestävyytensä vuoksi.

### **3.1.4 Betonin lisäaineet**

Betonin lisäaineilla voidaan säädellä betonimassan ja kovettuneen betonin ominaisuuksia. Niillä voidaan parantaa betonin teknisiä ominaisuuksia, kuten esimerkiksi lujuutta, työstettävyyttä ja pakkasenkestävyyttä tai vaikuttaa sitoutumisaikaan. Lisäaineiden käytöllä voidaan myös parantaa betonin taloudellista kilpailukykyä esimerkiksi korvaamalla lisäaineella vettä ja sementtiä, joka on kallias raaka-aine. Yleisimpiä lisäaineita ovat erilaiset notkistavat lisäaineet, huokostimet, hidastimet ja

kiihdyttimet. Lisäaineilla on myös olemassa sivuvaikutuksia, joihin on syytä perehtyä ennen käyttöä. Runkoaine, sementtilaatu, lämpötila, annostelujärjestys ja betonimyllyn teho voivat myös vaikuttaa lisäaineen toimintaan. Niiden käyttöä suunniteltaessa on oltava huolellinen ja tehtävä ennakkokokeita, jotta löydetään toimiva resepti. (BY 201 2018.)

CE-merkityt betonin lisäaineet on luokiteltu harmonisoidun lisäainestandardin SFS-EN 934-2 mukaan. Lisäaineen kelpoisuus voidaan vaihtoehtoisesti osoittaa myös ympäristöministeriön hyväksymän toimielimen myöntämällä varmennustodistuksella, mikäli sitä ei voida osoittaa standardin mukaisella CE-merkinnällä. (BY 201 2018.)

Notkistavat lisäaineet voivat parantaa betonimassan työstettävyyttä ja koossapysyvyyttä sekä niillä on mahdollista vähentää betonissa käytettäviä vesi- ja sementtimääriä. Notkistimien käyttö on välttämätöntä, kun valmistetaan korkealujuusbetoneja. Betonin valmistuskustannuksia voidaan alen- taa merkittävästi notkistimen käytöllä saavutettavalla veden vähentämisellä, koska samalla voi- daan vähentää sementtiä, kunhan vesi-sementtisuhde on riittävä. Tyypillisesti notkistimia annos- tellaan 0,3–1,0 % sementin kokonaismäärästä ja niiden käytöllä saavutettava vedenvähennys voi olla korkeimmillaan jopa 40 % vesimäärästä. (BY 201 2018.)

Huokostimen käytöllä voidaan lisätä betonin pakkasenkestävyyttä, muokkautuvuutta, notkeutta, koossapysyvyyttä ja kuljetuskestävyyttä sekä sillä voidaan vähentää betonin osa-aineiden erottu- mista. Huokostuksen huono puoli on, että se alentaa betonin lujuutta. Normaalisti betonin ilma- määrä on noin 1–2 %, mutta betonissa, jossa on käytetty huokostinta lisäaineena, ilmamäärä nou- see jopa 4–8 %:iin. Betonin lujuus alenee noin 5 % kun ilmamäärää nostetaan 1 %. Ilmamäärän lisäyksen aiheuttamana betoniin syntyy enemmän ilmakuplia, eli suojahuokosia, jotka parantavat betonin pakkasenkestävyyttä. Suojahuokokset ottavat vastaan paineen, joka syntyy, kun betonissa oleva vesi jäätyy. Kovettuneesta betonista voidaan tutkia huokostuksen onnistumista pinta- tai ohuthiekappaleista ja pakkasenkestävyyttä tutkitaan suolapakkaskokeilla. Huokostinta annostel- laan yleensä 0,01–0,03 % sementin määrästä. (BY 201 2018.)

Hidastimilla voidaan pidentää aikaa, jolloin betoni alkaa sitoutua. Sitoutumisajan pitkittämistä voi- daan tarvita esimerkiksi, kun kuljetusmatkat työmaalle ovat pitkiä. Hidastimia käytetään lähinnä lämpimällä säällä, koska talvella alhainen lämpötila hidastaa sitoutumista riittävästi. Hidastimien tyypillinen annostelumäärä on 0,2–2 % sementin määrästä. (BY 201 2018.)

Kiihdyttimien käytöllä nopeutetaan betonin sitoutumis- ja kovettumisaikaa. Niitä voidaan käyttää esimerkiksi, kun halutaan saavuttaa nopeasti riittävä lujuus muottien purkamista varten. Kiihdyttimiä käytetään myös yleisesti ruiskubetonoinnissa. Huonona puolena kiihdyttimien käytössä on, että se vähentää jonkin verran betonin loppulujuutta. (BY 201 2018.)

### **3.1.5 Tutkimuksessa käytettävä betonin lisäaine**

Tutkimukseen valittiin käytettäväksi lisäaineeksi Ha-Be:n Antipor 59 (ST) stabilointiaine, jolla on notkistavia vaikutuksia. Se soveltuu maakostealle tärytetylle betonille ja muottiin puristetuille betonuotteille. Se on lisäainestandardin SFS-EN 934-2 mukainen CE-merkitty lisäaine. Antipor 59 parantaa betonin työstettävyyttä ja tiivistymistä, sekä sillä voidaan saavuttaa parempia tuloksia puristus- ja taivutuslujuudessa. Suositeltu annostelumäärä on 0,2–0,6 % sementin määrästä. (Ha-Be Betonchemie GmbH 2021.)

## 4 KOEKAPPALEIDEN VALMISTUS

Koekappaleet valmistettiin kahdessa erässä Rudus Oy:n Oulun tehtaalla. Ensimmäinen erä valmistettiin 6–10.10.2022. ja toinen erä 13.12.2022. Testattava päällystelaatta on tyypiltään betonilaatta 298 x 298 x 50 mm sileä harmaa, joka on Ruduksen Oulun tehtaalla hyvin tavanomainen tuote. Tuotteessa on 2 mm asennusnystyrät, jotka eivät sisälly mittoihin, ja 3 x 3 mm reunaviisteet. Harmaa väri tarkoittaa, että tuotteessa ei ole käytetty väriainetta. Laatat valmistettiin kaksoismassalaattana, eli erillisellä pinta- ja pohjamassalla. Pintamassan annoskoko on 0,3 m<sup>3</sup> ja pohjamassan 0,5 m<sup>3</sup>. Sementtilaatuna Ruduksella oli käytössä Oiva-sementti CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N. Lisäaineena käytettiin Antipor 59:ä.

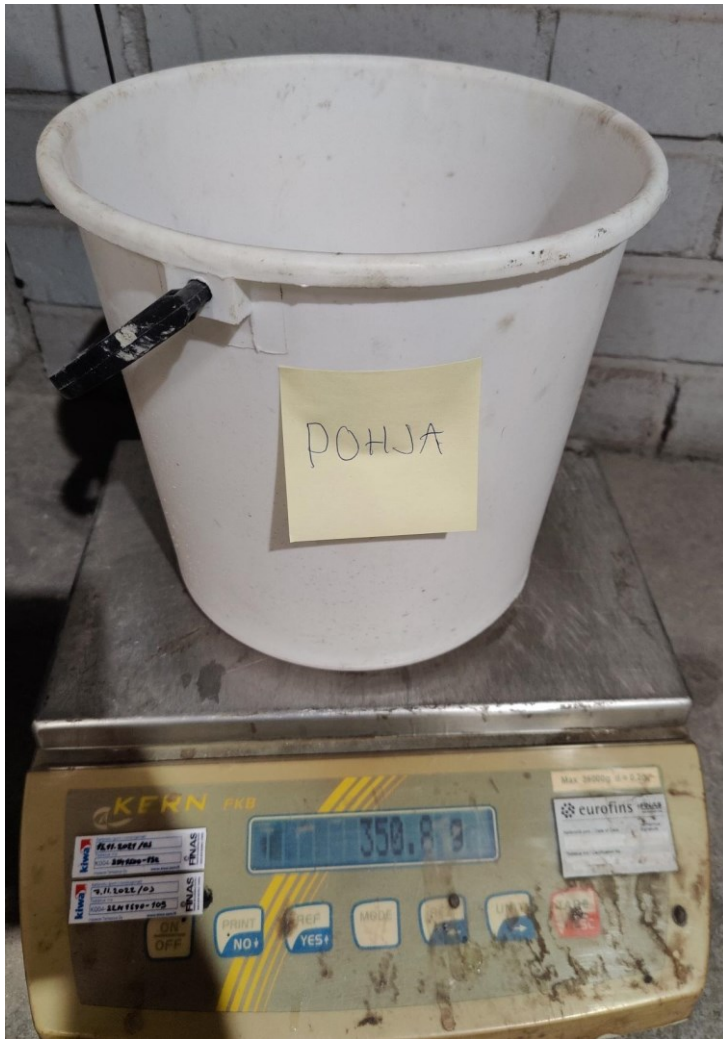
Valmistimme laatoista kuusi erilaista sarjaa, joissa säädettiin lisäaineen ja sementin määriä. Reseptien muut ainesosat pysyivät testien ajan vakiona, eikä niitä tässä opinnäytetyössä esitetä, koska ne ovat salassa pidettävää tietoa.

Ruduksen Oulun tehtaalla ei ollut juurikaan aiempaa kokemusta Antipor 59 lisäaineen käytöstä 298 x 298 x 50 mm betonilaatan valmistuksessa, joten lisäaineen annostelumäärät valikoitiin mahdollisimman laajalta väliltä suositellusta annostelumäärästä. Sarjoissa 2 ja 3 nostimme pintamassan sementin määrää 400 kg/m<sup>3</sup>:n, saadaksemme selville, onko siitä merkittävää hyötyä laatan kestävyys. Sarjassa 6 vähennettiin sementin määrää pohjamassasta ja laitettiin 0,5 % annos Antipor 59:ä. Sementin määrää vähentämällä voisi saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä ja vähentää hiilidioksidipäästöjä. Taulukossa 4 on eritelty sarjoissa käytetyt muuttuvat lisäaine- ja sementtimäärät.

TAULUKKO 4. Betonilaattojen testisarjat

| Sarja   | Valmistus-<br>päivämäärä | Lisäaine-%<br>sementin<br>määrästä | Sementin määrä<br>pintamassasta<br>kg/m <sup>3</sup> | Sementin määrä<br>pohjamassasta<br>kg/m <sup>3</sup> |
|---|--------------------------|------------------------------------|--|--|
| 1. Normaali resepti + Anti-<br>por 0,4 %                        | 10.10.2022               | 0,4                                | 365  | 350  |
| 2. Pintamassa sementti 400<br>kg/m <sup>3</sup> + Antipor 0,4 % | 10.10.2022               | 0,4                                | 400  | 360  |
| 3. Pintamassa sementti 400<br>kg/m <sup>3</sup>                 | 10.10.2022               | 0,0                                | 400  | 360  |
| 4. Normaali resepti + Anti-<br>por 0,2 %                        | 13.12.2022               | 0,2                                | 365  | 350  |
| 5. Normaali resepti + Anti-<br>por 0,3 %                        | 13.12.2022               | 0,3                                | 365  | 350  |
| 6. Pohjamassa sementti 320<br>kg/m <sup>3</sup> + Antipor 0,5 % | 13.12.2022               | 0,5                                | 365  | 320  |

Betoniaseman lisäainepumpulla ei ollut mahdollista annostella lisäaineita betonimyllyyn halutulla tarkkuudella ilman veteen ”lantraamista”, joten lisäaineet mitattiin vaa`alla  $\pm 1$  gramman tarkkuudella ämpäreihin kuvan 3 mukaisesti. Mikäli lisäaine otettaisiin tehtaalla laajempaan käyttöön, olisi automaattiseen lisäaineannostelijaan tehtävä muutoksia.

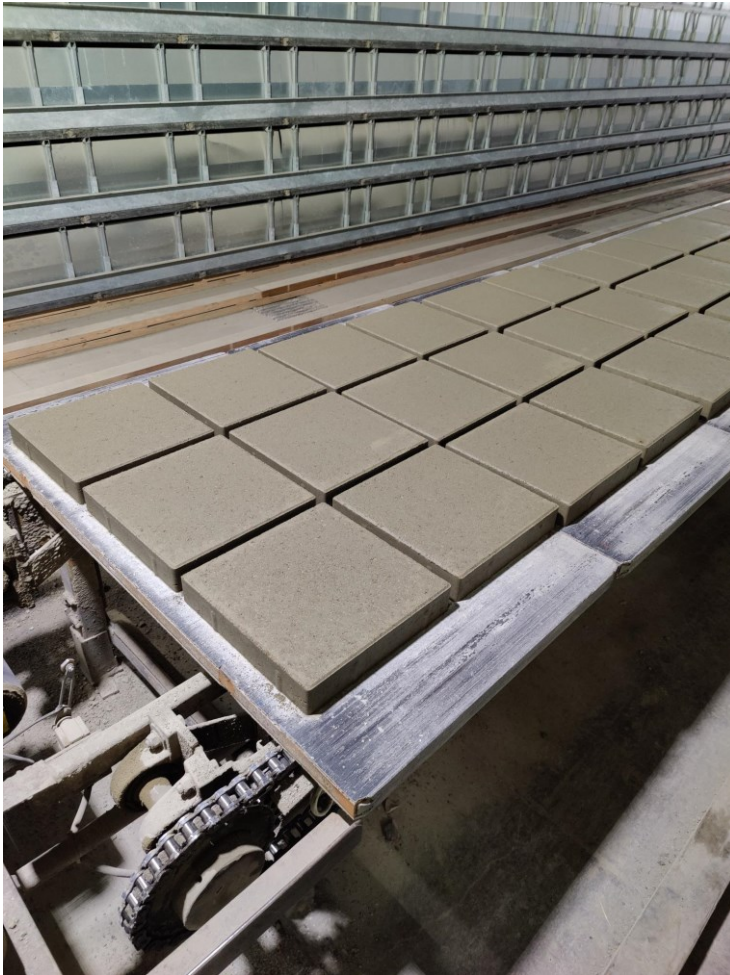


KUVA 3. Lisäaineen mittaaminen pohjamassaan

Kun Antipor 59:ä oli mitattu ämpäriin haluttu määrä, se annosteltiin betonimyllyyn käsin, kaatamalla lisäaine massan sekaan. Betoniaseman automaatio syöttää ensin myllyyn runkoaineen, sementin ja veden, jonka jälkeen myllyn kansi avataan ja sinne kaadetaan lisäaine. Mylly pysähtyy automaattisesti lisäaineen annostelun ajaksi, kun sen kansi aukaistaan. Myllyä avatessa altistuu sementtipölylle ja Antipor 59 -lisäaine on luokiteltu syövyttäväksi, joten lisäainetta annostellessa oli tärkeää käyttää valmistajan laatiman käyttöturvallisuustiedotteen mukaista suojavarustusta.

Betonilaattoja valmistettiin riittävän monta aluslevyllistä, että jokaisesta testierästä saatiin edustavat koekappaleet. Reseptinvaihdon jälkeen tuotekoneella täytyi ajaa muutamia aluslevyllisiä ennen kuin massan vesi määrä saatiin säädettyä sopivaksi lisäainemäärään nähden. Maakosteassa betonissa käytetään todella vähän vettä, joten sitä täytyi annostella tarkasti, sillä lisäaineen käyttö

vähensi veden tarvetta entisestään. Annoksen vesimäärässä oli otettava huomioon myös runkoaineen kosteus. Tämä vaati tuotekoneen käyttäjältä tarkkuutta, jotta massasta saatiin riittävän homogeenistä. Kun edustavat koekappaleet oli saatu tehtyä, ne siirrettiin siirtokuljettimella kuvan 4 mukaisesti aluslevyjen päällä kuivumisvarastoon.



*KUVA 4. Valmiit betonilaatat kuivumisvarastossa*

## 5 TESTIEN SUORITUS KOEKAPPALEILLE

Koekappaleille haluttiin tehdä kaksi toiminnallisesti kriittisintä testiä, eli halkaisutesti 3-pistekuormituksella ja suolapakkaskoe. Kuvasimme myös vedentunkeutumat halkaistuista laatoista. Halkaisutestit tehtiin Ruduksen laboratoriossa Oulussa ja suolapakkaskokeet Helsingissä.

Laatat punnittiin vaa'alla ja paino merkattiin tussilla jokaiseen laattaan. Tämän jälkeen ne laitettiin huoneenlämpöiseen (17 celsiusastetta) vesialtaaseen vuorokausi ennen halkaisutestejä, jotta niistä saadaan kuvattua vedentunkeutumakuviot.



KUVA 5. Koekappaleet vesihautausaltaassa

## 5.1 Taivutuslujuustestit

Taivutuslujuustestissä käytettiin Form + Test Prüfsysteme 3-pistekuormituskonetta, joka on esitetty kuvassa 6. 10.10.2022 valmistetut koekappaleet testattiin 22 vuorokauden ikäisinä ja 13.12.2022 valmistetut 28 vuorokauden ikäisinä.

Ennen koekappaleiden puristamista niistä mitattiin työntömitalla leveys, pituus ja paksuus 1 mm:n tarkkuudella. Mittojen ja aiemmin mitatun painon avulla saadaan laskettua laattojen tiheys (kg/m<sup>3</sup>). Testattava koekappale asetettiin 3-pistekuormituskoneeseen symmetrisesti kuormitustukien väliin yläpinta ylöspäin. Kuormitustukien jännevälinä käytettiin 250 mm.



KUVA 6 Form + Test prüfsysteme 3-pistekuormituskone

Koekappaletta kuormitettiin tasaisesti siihen asti, että se saavuttaa murtokuorman. Kone ilmoittaa murtokuorman lukeman näytöllä kN:na kuvan 7 mukaisesti. Lopuksi halkaistuista koekappaleista kuvattiin vedentunkeumakuviot. Testiraportilla ilmoitetaan koekappaleen mitat [mm], tiheys [kg/m<sup>3</sup>], murtokuorma [N] ja lasketaan lujuus [N/mm<sup>2</sup> / MPa] kaavan 2 mukaan.



KUVA 7 Murtokuorman lukemat 3-pistekuormituskoneen näytöllä kuormituksen aikana

## 5.2 Suolapakkaskokeet

Suolapakkaskokeet suoritettiin Rudus Oy:n Konalan keskuslaboratoriossa Helsingissä standardin SFS-EN 1339 mukaisesti. Jokaisesta koekappalesarjasta testattiin 4 kpl laattoja. Kokeet aloitettiin lokakuussa valmistettujen laattojen osalta 9.12.2022 ja joulukuussa valmistettujen osalta 10.2.2023. Koekappaleille tehtävien jäädytys-sulatussykliä määrä oli 28 kpl. Jokaisesta koekappaleesta mitattiin massahävikki eli kumulatiivinen rapauma (g/m<sup>2</sup>) 7, 14 ja 28 syklin jälkeen.

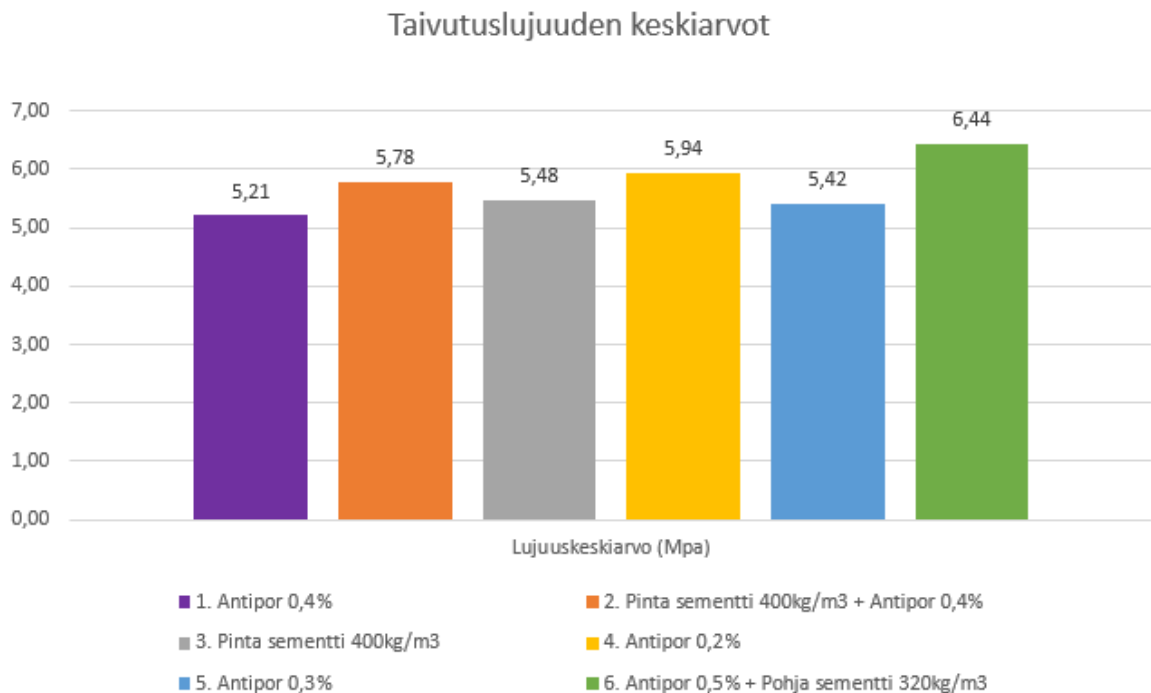
## 6 TESTITULOSTEN VERTAILU

### 6.1 Taivutuslujuustestien tulokset

Taivutuslujuustestien tulokset on esitetty liitteissä 1–6. Testissä oli vaateena ominaistaivutuslujuus 5,0 MPa ja yksikään yksittäinen kyseisen sarjan lujuusarvo ei saa alittaa vähimmäistaivutuslujuutta 4,0 MPa. Jokainen sarja läpäisi taivutuslujuuskokeen vaatimukset. Sarjat 1–3 puristettiin 22 vuorokauden isässä, eli 6 vuorokautta aikaisemmin kuin sarjat 4–6. Tästä ei kuitenkaan pitäisi olla merkittävää haittaa koekappaleiden vertailukelpoisuuteen, koska käytetty betoni saavuttaa noin 90 % nimellislujuudestaan jo 14 vuorokauden ikään mennessä.

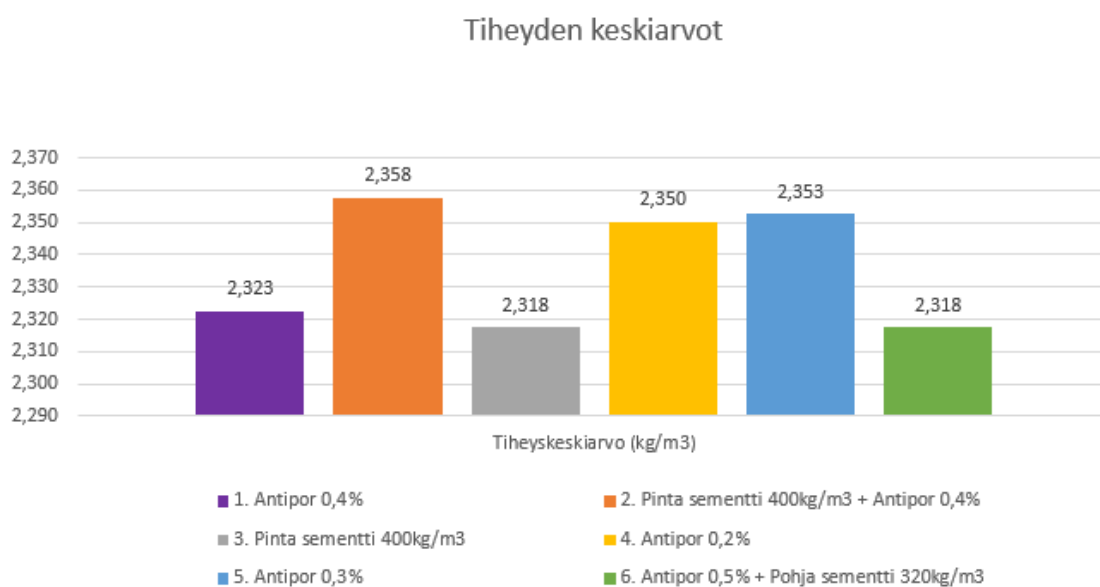
Lujuuksien osalta päästiin haluttuihin tuloksiin, kun suurin lujuuskeskiarvo (taulukko 5) ja suurin yksittäinen lujuusarvo (7,78 MPa) saatiin sarjasta 6, jossa oli käytetty lisäainetta ja vähennetty sementtiä pohjamassasta. Pintamassan sementin lisäyksellä sarjoissa 2 ja 3 ei näyttäisi olevan merkittävää positiivista vaikutusta lujuuden suhteen. Tuloksien perusteella lisäaineen käytöllä on mahdollista kasvattaa betonin lujuutta, samalla vähentäen käytetyn sementin määrää.

TAULUKKO 5. Taivutuslujuuden keskiarvot sarjoittain



Koekappaleiden tiheydet vaihtelivat välillä 2,30–2,38 kg/m<sup>3</sup>, joten erien välillä on jonkin verran hajontaa. Koekappaleiden tiheyskeskiarvot on esitetty taulukossa 6. Tuloksien perusteella lisäaineen käytöllä ei näyttäisi olevan suoraa vaikutusta betonin tiheyteen. Vedentunkeumakuvioista ilmenee, että koekappaleet sarjoissa 4 ja 5 ovat imeneet paljon vettä, vaikka niillä on korkeat tiheydet. Molemmissa erissä on käytetty lisäainetta. Mielenkiintoista on, että sarjan 6 koekappaleet olivat lähes kuivia, vaikka niiden tiheydet olivat alhaisimmat. Vedentunkeumat on esitetty liitteissä 9–14.

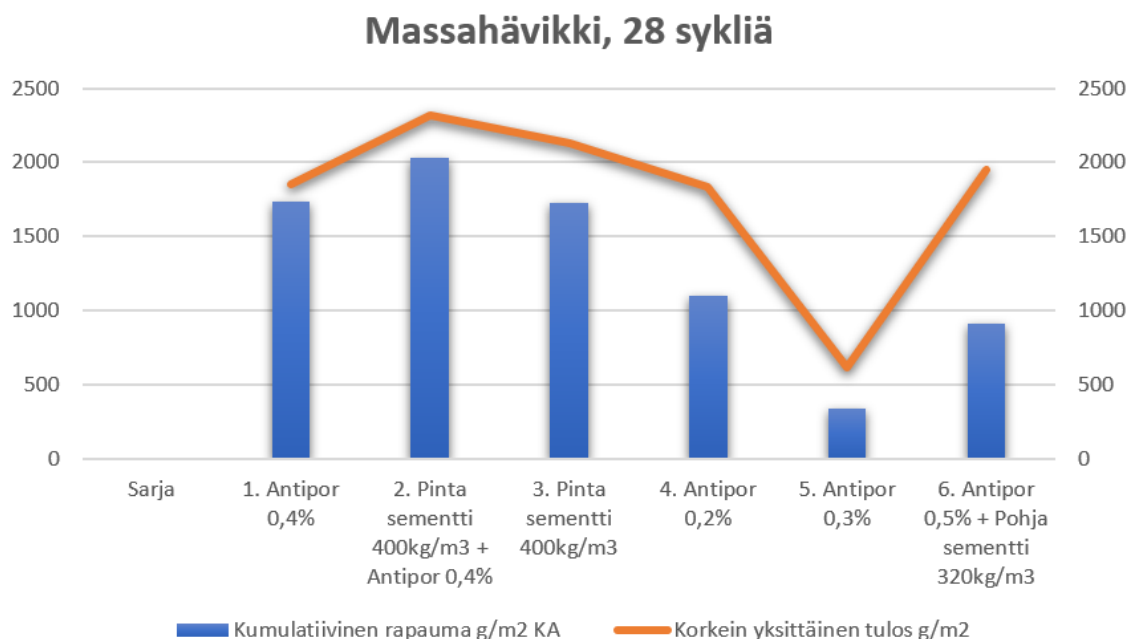
TAULUKKO 6. Betonin tiheyden keskiarvot sarjoittain



## 6.2 Suolapakkaskokeiden tulokset

Suolapakkaskokeiden tulokset on esitetty liitteissä 7 ja 8. Suolapakkaskokeissa läpäisemisen vaahteena oli, että kumulatiivisen rapauman keskiarvo on alle 1000 g/m<sup>2</sup>, eikä mikään yksittäinen kumulatiivisen rapauman arvo kyseisestä sarjasta saa ylittää 1500 g/m<sup>2</sup>. Taulukossa 7 on esitetty koekappaleiden massahävikin keskiarvot ja korkeimmat yksittäiset arvot 28 jäädytys-sulatussyklin jälkeen.

TAULUKKO 7. Koekappaleiden massahävikit 28 jäädytys-sulatussyklin jälkeen



Kuten tuloksista ilmenee, ainoastaan sarja 5 läpäisi suolapakkaskokeen. Sarjoissa 1–3 kaikki mitatut kumulatiivisen rapauksen arvot olivat yli 1000 g/m² 28 syklin jälkeen, eli niiden voisi sanoa kokonaisuudessaan epäonnistuneen. Sarjoissa 4 ja 6 oli suuria eroja yksittäisten kappaleiden mitatuista arvoista. Osa näiden yksittäisistä arvoista oli todella hyviä ja osa todella huonoja. Sarja 6 olisi läpäissyt testin keskiarvon mukaan, mutta yksi huono koekappale ylitti arvon 1500 g/m², mikä johti hylkäykseen.

Suolapakkaskokeissa päästiin osittain toivottuihin lopputuloksiin, koska tutkimuksen tärkein sarja 6 melkein läpäisi testin, mikä herättää ajatuksen, että reseptistä voisi saada toimivan, jos sitä vielä jatkokehittäisiin. Sarja 5 jossa oli käytetty lisäainetta 0,3 % läpäisi molemmat testit, mikä kertoo, että Antipor 59 lisäaine toimii päällystelaattojen valmistuksessa, ja sillä on mahdollista tehdä standardien vaatimukset täyttävä tuote. Pintamassaan sementin lisäämisestä sarjojen 2 ja 3 tuloksien perusteella ei näyttäisi olevan hyötyä, vaan ainoastaan haittaa, koska huonojen testitulosten lisäksi se nostaa betonin omakustannehintaa ja hiilidioksidipäästöjä.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, voidaanko lisäaineen käytöllä saada hyötyä päällystelaattojen valmistuksessa käytettävän betonimassan ominaisuuksiin ja sitä kautta mahdollisesti laskettua valmistuskustannuksia ja hiilidioksidipäästöjä. Testeistä pyrittiin saamaan luotettavia tuloksia, joiden pohjalta arvioida voidaanko lisäainetta ottaa tuotannossa laajemmin käyttöön.

Tulosten luotettavuutta jälkeenpäin ajateltuna olisi voitu parantaa sillä, että kaikki koekappaleet olisi valmistettu samana ajankohtana, jolloin olosuhteet olisivat olleet kaikissa valmistetuissa massoissa samat esimerkiksi raaka-aineiden lämpötilan ja kosteuden osalta. Jälkimmäisiä sarjoja valmistaessa oli pakkasta ja runkoainetta jouduttiin lämmittämään höyryttämällä, kun taas ensimmäisiä sarjoja valmistaessa lokakuussa ei ollut pakkasta. Suuret rapaumaerot yksittäisten koekappaleiden välillä sarjojen 4 ja 6 suolapakkaskokeissa voi olla aiheuttanut se, ettei lisäaine ole välttämättä sekoittunut myllyssä tarpeeksi. Sekoittuvuutta olisi voitu parantaa lantraamalla lisäaine veteen ennen annostelua. Koekappaleet valikoitiin täysin sattumanvaraisesti, joten voi olla myös mahdollista, että sekaan on sattunut muutama huono kappale. Taivutuslujuustesteissä tulosten hajonta ei kuitenkaan ollut normaalista poikkeava, joten sen tulokset vaikuttavat luotettavilta.

Antipor 59 lisäainetta ei tämän tutkimuksen tulosten perusteella voida vielä ottaa käyttöön päivitäisessä tehdastuotannossa. Vaikka sarja 5 läpäisi molemmat testit, ei kyseistä reseptiä kannata käyttää tuotannossa, koska siinä ei vähennetty sementin määrää, eikä lisäaine näin ollen tuo merkittävää hyötyä normaaliin reseptiin verrattuna. Sarjassa 6 ainoastaan yksi koekappale oli huono, joka johti suolapakkaskokeen hylkäämiseen. Taivutuslujuudesta kyseinen erä sai parhaat tulokset. Jatkokehittämällä ja laajemmin tutkimalla sarjan 6 reseptistä voisi saada käyttökelpoisen, jolloin päästäisiin sementtiä vähentämällä matalimpiin kustannuksiin ja hiilidioksidipäästöihin.

### 7.1 Lisäaineen vaikutukset maakostean betonin ominaisuuksiin

Koekappaleita valmistaessa ilmeni, että lisäaineen annostelun jälkeen massojen vesimäärän kanssa on oltava tarkkana, jotta massasta saadaan tasalaatuista, eikä se mene liian märäksi tai kuivaksi. Ongelmaan auttaisi riittävän tarkka automaattinen lisäaineen annostelujärjestelmä, johon

Ruduksen olisi investoitava, mikäli lisäaine haluttaisiin ottaa laajemmin käyttöön. Testitulosten perusteella Antipor 59:n käytöllä on mahdollista oikealla annostuksella vaikuttaa lujustuloksiin positiivisesti. Tuoteselosteen mukaan Antipor 59:n pitäisi parantaa betonin tiivistymistä, mutta koekappaleiden tiheystulosten perusteella ei voi sanoa sillä olevan suoraa vaikutusta betonin tiivistymiseen.

Mikäli sarjan 6 resepti olisi läpäissyt molemmat testit ja sitä voitaisiin käyttää tuotannossa, olisi sillä mahdollista vähentää betonin aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Vuonna 2023 Ruduksen Oulun Liitintien tehtaalla sementin kokonaiskulutus oli 2745005,7 kg, josta arvioin noin 90 % olevan käytetty pohjamassoihin. Yksi kilogramma Oiva-sementtiä aiheuttaa 0,526 kg hiilidioksidipäästöjä (Finnsementti 2023). Uudella reseptillä 298 x 298 x 50 mm betonilaattojen tuotannossa olisi päästy noin 30 000 kg:n vähennykseen hiilidioksidipäästöistä. Jos resepti olisi ollut käyttökelpoinen kaikilla Oulun tehtaan valmistamilla tuotteilla, päästäisiin noin 112 000 kg hiilidioksidipäästöjen vähennykseen vuositasona. Sementtiä vähentämällä saavutettavat hiilidioksidipäästöjen vähennykset on esitetty taulukossa 8.

*TAULUKKO 8. Sementtiä vähentämällä saavutettava hiilidioksidipäästöjen vähennys vuodessa*

|  |                         |  |  |
|--|-------------------------|--|--|
| Oiva-sementin hiilidioksidipäästöt kg /sementtikilo  | 0,526                   |  |  |
| 2023 sementin kokonaiskulutus kg Rudus Oulu, Liitintien tehdas                                   | 2745005,7               |  |  |
|  |                         |  |  |
|  | <b>Normaali resepti</b> | <b>Uusi resepti (sementin vähennys pohjamassasta 8,6%)</b> | <b>Hiilidioksidipäästöjen vähennys, kg</b> |
| 2023 pohjamassassa käytetty sementin määrä kg, betonilaatta 298x298x50mm                         | 666128,2                | 609031,5   | 30032,9                                    |
| 2023 pohjamassassa käytetty sementin määrä kg, koko tuotanto (arvio n. 90% kokonaiskulutuksesta) | 2470505,1               | 2258041,6  | 111755,8                                   |

## 7.2 Kustannusvaikutukset

Mikäli lisäainetta käyttämällä olisi mahdollista laskea sementin määrää pohjamassasta sarjan 6 reseptin mukaisesti, saavutettaisiin sillä noin 2,5 % alhaisempi omakustannushinta 298 x 298 x 50 mm betonilaatalle. Säästetty euromäärä olisi moninkertainen, mikäli reseptiä voisi käyttää kaikille tehtaan valmistamille tuotteille, joka tarkoittaisi merkittävää säästöä vuositasolla. Lisäaineen käyttöönotto vaatisi kuitenkin investoinnin lisäaineen annostelujärjestelmän parantamiseen, jonka kustannukset olisi myös otettava huomioon.

## 8 LÄHTEET

Ha-Be Betonchemie GmbH 2021. Technical data sheet Antipor 59 (ST). Hakupäivä 5.4.2023.  
<https://www.ha-be.com/mediafiles/36915.pdf>.

Rudus Oy 2018a. Concrete acts! – Vähähiilisiä tekoja. Hakupäivä 14.11.2023.  
<https://www.rudus.fi/vastuullisuus/ilmasto>.

Rudus Oy 2018b. Kalkki-Petteristä irlantilaisomistukseen. Hakupäivä 14.11.2023  
<https://www.rudus.fi/rudus-yrityksena/historia>.

Rudus Oy 2021. Concrete acts! Ruduksen ympäristövastuuohjelma 2021. Hakupäivä 5.1.2024.  
[https://www.rudus.fi/Download/33281/Rudus%20ymparistovastuu\\_web.pdf](https://www.rudus.fi/Download/33281/Rudus%20ymparistovastuu_web.pdf)

SFS-EN 1339 2003. Betoniset päällystelaatat, vaatimukset ja testausmenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Hakupäivä 5.4.2023.  
<https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/6344.html.stx>. Vaatii lisenssin.

SFS-EN 206:2014 + A2:2021. Betoni. Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimuksenmukaisuus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Hakupäivä 23.11.2023.  
<https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/2/1003388.html.stx>. Vaatii lisenssin.

BLY-18. 2016. Maakostean betonin käyttö mosaiikkibetonilattioissa. Vantaa: Suomen betonilattia-yhdistys ry. Hakupäivä 23.11.2023  
<https://bly.fi/wp-content/uploads/2023/03/BLY-18.pdf>.

BY 201. 2018. Betoniteknikan oppikirja 2018. Helsinki: BY-Koulutus Oy

Timonen-Nissi, Hannu 2019. Betoni materiaalina. Rudus Betoniakatemia koulutusmateriaali 25.1.2019. Hakupäivä 5.1.2024.  
<https://www.rudus.fi/Download/27932/Betoniakatemia%20Betoni%20materiaalina.pdf>

Finnsementti Oy 2023. Laatuinformaatio 28.12.2023. Hakupäivä 8.1.2024.

<https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/23->

[52.pdf?\\_ga=2.139654835.1275356008.1704702864-205751858.1704702864](https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/23-52.pdf?_ga=2.139654835.1275356008.1704702864-205751858.1704702864)

## LIITTEET

|   |          |
|---|----------|
| Taivutuslujuus sarja 1. Antipor 0,4%  | Liite 1  |
| Taivutuslujuus sarja 2. Pintamassa sementti 400kg/m <sup>3</sup> + Antipor 0,4% | Liite 2  |
| Taivutuslujuus sarja 3. Pintamassa sementti 400kg/m <sup>3</sup>                | Liite 3  |
| Taivutuslujuus sarja 4. Antipor 0,2%  | Liite 4  |
| Taivutuslujuus sarja 5. Antipor 0,3%  | Liite 5  |
| Taivutuslujuus sarja 6. Antipor 0,5% + Pohjamassa sementti 320kg/m <sup>3</sup> | Liite 6  |
| Suolapakkaskoe tulokset sarjat 1-3.   | Liite 7  |
| Suolapakkaskoe tulokset sarjat 4-6.   | Liite 8  |
| Vedentunkeuma sarja 1. Antipor 0,4%   | Liite 9  |
| Vedentunkeuma sarja 2. Pintamassa sementti 400kg/m <sup>3</sup> + Antipor 0,4%  | Liite 10 |
| Vedentunkeuma sarja 3. Pintamassa sementti 400kg/m <sup>3</sup>                 | Liite 11 |
| Vedentunkeuma sarja 4. Antipor 0,2%   | Liite 12 |
| Vedentunkeuma sarja 5. Antipor 0,3%   | Liite 13 |
| Vedentunkeuma sarja 6. Antipor 0,5% + Pohjamassa sementti 320kg/m <sup>3</sup>  | Liite 14 |

# LIITE 1



Koepöytäkirja nro: Antipor testi Vuosi: 2022  
 Tuote: Kivi [ ] Laatta [ x ] Reunatuki [ ]

131 EN-1338  
 EN-1339  
 EN-1340

Tehdas: OULU Valmistettu: 10.10.2002  
 Tark.erä.nro: Normaali resepti+Antipor Testausikä: 22 vrk

| NIMELLISMITAT: | 1   | 2   | 3   | 4   | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|
| Leveys         | 298 | 298 | 298 | 298 |   |   |   |   |
| Pituus         | 298 | 298 | 298 | 298 |   |   |   |   |
| Paksuus        | 50  | 50  | 50  | 50  |   |   |   |   |

|    |      |      |      |      |  |  |  |  |
|----|------|------|------|------|--|--|--|--|
| k= | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 |  |  |  |  |
|----|------|------|------|------|--|--|--|--|

|                | 1    | 2    | 3    | 4    | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|------|------|------|------|---|---|---|---|
| TIHEYS [kg/m³] | 2,34 | 2,32 | 2,32 | 2,31 |   |   |   |   |

| MITAT            | 1             | 2    | 3        | 4     | 5                          | 6   | 7   | 8   |
|------------------|---------------|------|----------|-------|----------------------------|-----|-----|-----|
| Pituus [mm]      | 298           | 298  | 298      | 298   | 298                        | 298 | 298 | 298 |
| Leveys [mm]      | 298           | 298  | 298      | 298   | 298                        | 298 | 298 | 298 |
| Paksuus [mm]     | 52            | 52   | 53       | 53    | 53                         | 53  | 53  | 53  |
| keskiarvo →      | 52            | 53   | 53       | 53    |                            |     |     |     |
| Ristimitat [mm]  |               |      |          |       |                            |     |     |     |
| Tasomaisuus [mm] |               |      |          |       |                            |     |     |     |
| Viiste [mm]      |               |      |          |       |                            |     |     |     |
| Pintakerros [mm] |               |      |          |       |                            |     |     |     |
| Paino [kg]       | 10,8          | 10,9 | 10,9     | 10,85 |                            |     |     |     |
| Toimenpide       | Hyväksytty: x |      | Hylätty: |       | Varakoekappaleet testattu: |     |     |     |

| HALKAISULUJUUS      | 1           | 2 | 3        | 4 | 5                          | 6 | 7 | 8 |
|---------------------|-------------|---|----------|---|----------------------------|---|---|---|
| Murtokuorma [N]     |             |   |          |   |                            |   |   |   |
| Murtokuorma [N/mm²] |             |   |          |   |                            |   |   |   |
| Lujuus [N/mm²]      |             |   |          |   |                            |   |   |   |
| Toimenpide          | Hyväksytty: |   | Hylätty: |   | Varakoekappaleet testattu: |   |   |   |

| TAIVUTUSLUJUUS  | 1             | 2        | 3        | 4        | 5                          | 6 | 7 | 8 |
|-----------------|---------------|----------|----------|----------|----------------------------|---|---|---|
| Murtokuorma [N] | 12423         | 11281    | 11158    | 11153    |                            |   |   |   |
| Jännemitta [mm] | 250           | 250      | 250      | 250      |                            |   |   |   |
| Lujuus [N/mm²]  | 5,781424      | 5,053716 | 4,998614 | 4,996374 |                            |   |   |   |
| Toimenpide      | Hyväksytty: x |          | Hylätty: |          | Varakoekappaleet testattu: |   |   |   |

Päiväys: 1.11.2022

Kokeen suorittajan allekirjoitus: Miika Huuskonen

Kokeen valvojan allekirjoitus:

# LIITE 2



Koepöytäkirja nro: Antipor testi Vuosi: 2022  
 Tuote: Kivi [ ] Laatta [ x ] Reunatuki [ ]

131 EN-1338  
 EN-1339  
 EN-1340

Tehdas: OULU Valmistettu: 10.10.2002  
 Tark.erä.nro: Pinta semu 400+Antipor Testausikä: 22 vrk

| NIMELLISMITAT: | 1   | 2   | 3   | 4   | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|
| Leveys         | 298 | 298 | 298 | 298 |   |   |   |   |
| Pituus         | 298 | 298 | 298 | 298 |   |   |   |   |
| Paksuus        | 50  | 50  | 50  | 50  |   |   |   |   |

|    |      |      |      |      |  |  |  |  |
|----|------|------|------|------|--|--|--|--|
| k= | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 |  |  |  |  |
|----|------|------|------|------|--|--|--|--|

|                | 1    | 2    | 3    | 4    | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|------|------|------|------|---|---|---|---|
| TIHEYS [kg/m³] | 2,38 | 2,35 | 2,36 | 2,34 |   |   |   |   |

| MITAT            | 1             | 2     | 3            | 4    | 5                               | 6   | 7   | 8   |
|------------------|---------------|-------|--------------|------|---------------------------------|-----|-----|-----|
| Pituus [mm]      | 298           | 298   | 298          | 298  | 298                             | 298 | 298 | 298 |
| Leveys [mm]      | 298           | 298   | 298          | 298  | 298                             | 298 | 298 | 298 |
| Paksuus [mm]     | 52            | 52    | 52           | 52   | 52                              | 52  | 52  | 52  |
| keskiarvo →      | 52            | 52    | 52           | 52   |                                 |     |     |     |
| Ristimitat [mm]  |               |       |              |      |                                 |     |     |     |
| Tasomaisuus [mm] |               |       |              |      |                                 |     |     |     |
| Viiste [mm]      |               |       |              |      |                                 |     |     |     |
| Pintakerros [mm] |               |       |              |      |                                 |     |     |     |
| Paino [kg]       | 11            | 10,85 | 10,9         | 10,8 |                                 |     |     |     |
| Toimenpide       | Hyväksytty: x |       | Hylätty: [ ] |      | Varakoe-kappaleet testattu: [ ] |     |     |     |

| HALKAISULUJUUS      | 1               | 2 | 3            | 4 | 5                               | 6 | 7 | 8 |
|---------------------|-----------------|---|--------------|---|---------------------------------|---|---|---|
| Murtokuorma [N]     |                 |   |              |   |                                 |   |   |   |
| Murtokuorma [N/mm²] |                 |   |              |   |                                 |   |   |   |
| Lujuus [N/mm²]      |                 |   |              |   |                                 |   |   |   |
| Toimenpide          | Hyväksytty: [ ] |   | Hylätty: [ ] |   | Varakoe-kappaleet testattu: [ ] |   |   |   |

| TAIVUTUSLUJUUS  | 1             | 2        | 3            | 4        | 5                               | 6 | 7 | 8 |
|-----------------|---------------|----------|--------------|----------|---------------------------------|---|---|---|
| Murtokuorma [N] | 13122         | 11473    | 12314        | 12801    |                                 |   |   |   |
| Jännemitta [mm] | 250           | 250      | 250          | 250      |                                 |   |   |   |
| Lujuus [N/mm²]  | 6,106725      | 5,339312 | 5,730697     | 5,957338 |                                 |   |   |   |
| Toimenpide      | Hyväksytty: x |          | Hylätty: [ ] |          | Varakoe-kappaleet testattu: [ ] |   |   |   |

Päiväys: 1.11.2022

Kokeen suorittajan allekirjoitus: Miika Huuskonen

Kokeen valvojan allekirjoitus:

# LIITE 3



Koepöytäkirja nro: Antipor testi Vuosi: 2022  
 Tuote: Kivi [ ] Laatta [ x ] Reunatuki [ ]

131 EN-1338  
 EN-1339  
 EN-1340

Tehdas: OULU Valmistettu: 10.10.2002  
 Tark.erä.nro: Pinta semu 400 Testausikä: 22 vrk

| NIMELLISMITAT: | 1   | 2   | 3   | 4   | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|
| Leveys         | 298 | 298 | 298 | 298 |   |   |   |   |
| Pituus         | 298 | 298 | 298 | 298 |   |   |   |   |
| Paksuus        | 50  | 50  | 50  | 50  |   |   |   |   |

|    |      |      |      |      |  |  |  |  |
|----|------|------|------|------|--|--|--|--|
| k= | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 |  |  |  |  |
|----|------|------|------|------|--|--|--|--|

|                | 1    | 2    | 3    | 4    | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|------|------|------|------|---|---|---|---|
| TIHEYS [kg/m³] | 2,36 | 2,30 | 2,31 | 2,30 |   |   |   |   |

| MITAT            | 1             | 2    | 3            | 4    | 5                              | 6   | 7   | 8   |
|------------------|---------------|------|--------------|------|--------------------------------|-----|-----|-----|
| Pituus [mm]      | 298           | 298  | 298          | 298  | 298                            | 298 | 298 | 298 |
| Leveys [mm]      | 298           | 298  | 298          | 298  | 298                            | 298 | 298 | 298 |
| Paksuus [mm]     | 51            | 51   | 52           | 52   | 52                             | 52  | 52  | 52  |
| keskiarvo →      | 51            | 52   | 52           | 52   |                                |     |     |     |
| Ristimitat [mm]  |               |      |              |      |                                |     |     |     |
| Tasomaisuus [mm] |               |      |              |      |                                |     |     |     |
| Viiste [mm]      |               |      |              |      |                                |     |     |     |
| Pintakerros [mm] |               |      |              |      |                                |     |     |     |
| Paino [kg]       | 10,7          | 10,6 | 10,65        | 10,6 |                                |     |     |     |
| Toimenpide       | Hyväksytty: x |      | Hylätty: [ ] |      | Varakoekappaleet testattu: [ ] |     |     |     |

| HALKAISULUJUUS      | 1               | 2 | 3            | 4 | 5                              | 6 | 7 | 8 |
|---------------------|-----------------|---|--------------|---|--------------------------------|---|---|---|
| Murtokuorma [N]     |                 |   |              |   |                                |   |   |   |
| Murtokuorma [N/mm²] |                 |   |              |   |                                |   |   |   |
| Lujuus [N/mm²]      |                 |   |              |   |                                |   |   |   |
| Toimenpide          | Hyväksytty: [ ] |   | Hylätty: [ ] |   | Varakoekappaleet testattu: [ ] |   |   |   |

| TAIVUTUSLUJUUS  | 1             | 2        | 3            | 4        | 5                              | 6 | 7 | 8 |
|-----------------|---------------|----------|--------------|----------|--------------------------------|---|---|---|
| Murtokuorma [N] | 13111         | 10827    | 12087        | 10525    |                                |   |   |   |
| Jännemitta [mm] | 250           | 250      | 250          | 250      |                                |   |   |   |
| Lujuus [N/mm²]  | 6,34323       | 5,038676 | 5,625056     | 4,898131 |                                |   |   |   |
| Toimenpide      | Hyväksytty: x |          | Hylätty: [ ] |          | Varakoekappaleet testattu: [ ] |   |   |   |

Päiväys: 1.11.2022

Kokeen suorittajan allekirjoitus: Miika Huuskonen

Kokeen valvojan allekirjoitus:

# LIITE 4

**Rudus**

A CRH COMPANY

Koepöytäkirja nro: Antipor testi Vuosi: 2023  
Tuote: Kivi [ ] Laatta [ x ] Reunatuki [ ]

131 EN-1338  
EN-1339  
EN-1340

Tehdas: OULU Valmistettu: 13.12.2022  
Tark.erä.nro: Antipor 0,2% Testausikä: 28 vrk

| NIMELLISMITAT: | 1   | 2   | 3   | 4   | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|
| Pituus         | 298 | 298 | 298 | 298 |   |   |   |   |
| Leveys         | 298 | 298 | 298 | 298 |   |   |   |   |
| Paksuus        | 50  | 50  | 50  | 50  |   |   |   |   |

|    |      |      |      |      |  |  |  |  |
|----|------|------|------|------|--|--|--|--|
| k= | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 |  |  |  |  |
|----|------|------|------|------|--|--|--|--|

| TIHEYS [kg/m³] | 1    | 2    | 3    | 4    | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|------|------|------|------|---|---|---|---|
|                | 2,35 | 2,32 | 2,36 | 2,37 |   |   |   |   |

| MITAT            | 1             | 2    | 3        | 4    | 5                          | 6   | 7 | 8 |
|------------------|---------------|------|----------|------|----------------------------|-----|---|---|
| Pituus [mm]      | 298           | 298  | 298      | 298  | 299                        | 299 |   |   |
| Leveys [mm]      | 298           | 298  | 298      | 298  | 299                        | 299 |   |   |
| Paksuus [mm]     | 50            | 50   | 51       | 51   | 51                         | 51  |   |   |
| keskiarvo →      | 50            | 51   | 51       | 51   |                            |     |   |   |
| Ristimitat [mm]  |               |      |          |      |                            |     |   |   |
| Tasomaisuus [mm] |               |      |          |      |                            |     |   |   |
| Viiste [mm]      |               |      |          |      |                            |     |   |   |
| Pintakerros [mm] |               |      |          |      |                            |     |   |   |
| Paino [kg]       | 10,45         | 10,5 | 10,7     | 10,8 |                            |     |   |   |
| Toimenpide       | Hyväksytty: x |      | Hylätty: |      | Varakoekappaleet testattu: |     |   |   |

| HALKAISULUJUUS      | 1           | 2 | 3        | 4 | 5                          | 6 | 7 | 8 |
|---------------------|-------------|---|----------|---|----------------------------|---|---|---|
| Murtokuorma [N]     |             |   |          |   |                            |   |   |   |
| Murtokuorma [N/mm²] |             |   |          |   |                            |   |   |   |
| Lujuus [N/mm²]      |             |   |          |   |                            |   |   |   |
| Toimenpide          | Hyväksytty: |   | Hylätty: |   | Varakoekappaleet testattu: |   |   |   |

| TAIVUTUSLUJUUS  | 1             | 2        | 3        | 4        | 5                          | 6 | 7 | 8 |
|-----------------|---------------|----------|----------|----------|----------------------------|---|---|---|
| Murtokuorma [N] | 11529         | 11590    | 12880    | 12711    |                            |   |   |   |
| Jännemitta [mm] | 250           | 250      | 250      | 250      |                            |   |   |   |
| Lujuus [N/mm²]  | 5,803188      | 5,607355 | 6,23147  | 6,129139 |                            |   |   |   |
| Toimenpide      | Hyväksytty: x |          | Hylätty: |          | Varakoekappaleet testattu: |   |   |   |

Päiväys: 10.1.2023

Kokeen suorittajan allekirjoitus: Miikael Huuskonen

Kokeen valvojan allekirjoitus:



Koepöytäkirja nro: Antipor testi Vuosi: 2023  
 Tuote: Kivi [ ] Laatta [x] Reunatuki [ ]

131 EN-1338  
 EN-1339  
 EN-1340

Tehdas: OULU Valmistettu: 13.12.2022  
 Tark.erä.nro: Antipor 0,3% Testausikä: 28 vrk

| NIMELLISMITAT: | 1   | 2   | 3   | 4   | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|
| Pituus         | 298 | 298 | 298 | 298 |   |   |   |   |
| Leveys         | 298 | 298 | 298 | 298 |   |   |   |   |
| Paksuus        | 50  | 50  | 50  | 50  |   |   |   |   |

|    |      |      |      |      |  |  |  |  |
|----|------|------|------|------|--|--|--|--|
| k= | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 |  |  |  |  |
|----|------|------|------|------|--|--|--|--|

|                | 1    | 2    | 3    | 4    | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|------|------|------|------|---|---|---|---|
| TIHEYS [kg/m³] | 2,38 | 2,34 | 2,35 | 2,34 |   |   |   |   |

| MITAT            | 1             | 2    | 3            | 4    | 5                              | 6   | 7 | 8 |
|------------------|---------------|------|--------------|------|--------------------------------|-----|---|---|
| Pituus [mm]      | 298           | 298  | 298          | 298  | 299                            | 299 |   |   |
| Leveys [mm]      | 298           | 298  | 298          | 298  | 299                            | 299 |   |   |
| Paksuus [mm]     | 51            | 51   | 51           | 52   | 52                             | 52  |   |   |
| kesklarvo →      | 51            | 51   | 52           | 52   |                                |     |   |   |
| Ristimitat [mm]  |               |      |              |      |                                |     |   |   |
| Tasomaisuus [mm] |               |      |              |      |                                |     |   |   |
| Viiste [mm]      |               |      |              |      |                                |     |   |   |
| Pintakerros [mm] |               |      |              |      |                                |     |   |   |
| Paino [kg]       | 10,8          | 10,6 | 10,85        | 10,9 |                                |     |   |   |
| Toimenpide       | Hyväksytty: x |      | Hylätty: [ ] |      | Varakoekappaleet testattu: [ ] |     |   |   |

| HALKAISULUJUUS      | 1               | 2 | 3            | 4 | 5                              | 6 | 7 | 8 |
|---------------------|-----------------|---|--------------|---|--------------------------------|---|---|---|
| Murtokuorma [N]     |                 |   |              |   |                                |   |   |   |
| Murtokuorma [N/mm²] |                 |   |              |   |                                |   |   |   |
| Lujuus [N/mm²]      |                 |   |              |   |                                |   |   |   |
| Toimenpide          | Hyväksytty: [ ] |   | Hylätty: [ ] |   | Varakoekappaleet testattu: [ ] |   |   |   |

| TAIVUTUSLUJUUS  | 1             | 2        | 3            | 4        | 5                              | 6 | 7 | 8 |
|-----------------|---------------|----------|--------------|----------|--------------------------------|---|---|---|
| Murtokuorma [N] | 11675         | 9837     | 11873        | 12378    |                                |   |   |   |
| Jännemitta [mm] | 250           | 250      | 250          | 250      |                                |   |   |   |
| Lujuus [N/mm²]  | 5,648479      | 4,759237 | 5,525464     | 5,741216 |                                |   |   |   |
| Toimenpide      | Hyväksytty: x |          | Hylätty: [ ] |          | Varakoekappaleet testattu: [ ] |   |   |   |

Päiväys: 10.1.2023

Kokeen suorittajan allekirjoitus: Miika Huuskonen

Kokeen valvojan allekirjoitus:



A CRH COMPANY

Koepöytäkirja nro: Antipor testi Vuosi: 2023  
 Tuote: Kivi [ ] Laatta [x] Reunatuki [ ]

131 EN-1338  
 EN-1339  
 EN-1340

Tehdas: OULU Valmistettu: 13.12.2022  
 Tark.erä.nro: Antipor 0,5%+Semu 320kg Testausikä: 28 vrk

| NIMELLISMITAT: | 1   | 2   | 3   | 4   | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|
| Pituus         | 298 | 298 | 298 | 298 |   |   |   |   |
| Leveys         | 298 | 298 | 298 | 298 |   |   |   |   |
| Paksuus        | 50  | 50  | 50  | 50  |   |   |   |   |

|    |      |      |      |      |  |  |  |  |
|----|------|------|------|------|--|--|--|--|
| k= | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 |  |  |  |  |
|----|------|------|------|------|--|--|--|--|

|                | 1    | 2    | 3    | 4    | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|------|------|------|------|---|---|---|---|
| TIHEYS [kg/m³] | 2,30 | 2,31 | 2,31 | 2,35 |   |   |   |   |

| MITAT            | 1             | 2     | 3        | 4     | 5                          | 6   | 7   | 8   |
|------------------|---------------|-------|----------|-------|----------------------------|-----|-----|-----|
| Pituus [mm]      | 298           | 298   | 298      | 298   | 298                        | 298 | 298 | 298 |
| Leveys [mm]      | 298           | 298   | 298      | 298   | 298                        | 298 | 298 | 298 |
| Paksuus [mm]     | 51            | 51    | 51       | 51    | 51                         | 51  | 51  | 51  |
| keskiarvo →      | 51            | 51    | 52       | 51    |                            |     |     |     |
| Ristimitat [mm]  |               |       |          |       |                            |     |     |     |
| Tasomaisuus [mm] |               |       |          |       |                            |     |     |     |
| Viiste [mm]      |               |       |          |       |                            |     |     |     |
| Pintakerros [mm] |               |       |          |       |                            |     |     |     |
| Paino [kg]       | 10,4          | 10,45 | 10,65    | 10,65 |                            |     |     |     |
| Toimenpide       | Hyväksytty: x |       | Hylätty: |       | Varakoekappaleet testattu: |     |     |     |

| HALKAISULUJUUS      | 1           | 2 | 3        | 4 | 5                          | 6 | 7 | 8 |
|---------------------|-------------|---|----------|---|----------------------------|---|---|---|
| Murtokuorma [N]     |             |   |          |   |                            |   |   |   |
| Murtokuorma [N/mm²] |             |   |          |   |                            |   |   |   |
| Lujuus [N/mm²]      |             |   |          |   |                            |   |   |   |
| Toimenpide          | Hyväksytty: |   | Hylätty: |   | Varakoekappaleet testattu: |   |   |   |

| TAIVUTUSLUJUUS  | 1             | 2       | 3        | 4        | 5                          | 6 | 7 | 8 |
|-----------------|---------------|---------|----------|----------|----------------------------|---|---|---|
| Murtokuorma [N] | 11494         | 12523   | 13667    | 16082    |                            |   |   |   |
| Jännemitta [mm] | 250           | 250     | 250      | 250      |                            |   |   |   |
| Lujuus [N/mm²]  | 5,56091       | 6,05875 | 6,360357 | 7,780629 |                            |   |   |   |
| Toimenpide      | Hyväksytty: x |         | Hylätty: |          | Varakoekappaleet testattu: |   |   |   |

Päiväys: 10.1.2023

Kokeen suorittajan allekirjoitus: Miikael Huuskonen

Kokeen valvojan allekirjoitus:

Testauspaikka: Rudus Oy, Konalan keskuslaboratorio  
Koe: Suolapakkaskoe (3 % NaCl)

Koesarja: 808 A, B, C  
Kappaleet: 4 kappaletta/sarja

Valupäivämäärä:  
Testi alkoi: 9.12.2022  
Näytteiden ikä  
kokeen alussa [d]:  
Kokeen lopetus: 13.1.2023

Lisätiedot:  
Oulun pihalaattojen suola-pakkaskokeet.

## TULOKSET

Taulukko 1 Koesarjan 808 A tulokset

Sarja 1. Antipor 0,4%

| Näyte     | 7   | 14   | 28   | - | - |
|-----------|-----|------|------|---|---|
| 808 A1    | 56  | 709  | 1485 |   |   |
| 808 A2    | 82  | 745  | 1796 |   |   |
| 808 A3    | 41  | 434  | 1852 |   |   |
| 808 A4    | 194 | 1015 | 1821 |   |   |
| Keskiarvo | 93  | 726  | 1739 |   |   |

Taulukko 2 Koesarjan 808 B tulokset

Sarja 3. Pinta sementti 400 kg/m<sup>3</sup>

| Näyte     | 7   | 14   | 28   | - | - |
|-----------|-----|------|------|---|---|
| 808 B1    | 240 | 1429 | 2128 |   |   |
| 808 B2    | 260 | 1071 | 1566 |   |   |
| 808 B3    | 296 | 1092 | 1582 |   |   |
| 808 B4    | 342 | 1158 | 1643 |   |   |
| Keskiarvo | 285 | 1188 | 1730 |   |   |

Taulukko 3 Koesarjan 808 C tulokset

Sarja 2. Pinta sementti 400 kg/m<sup>3</sup> + Antipor 0,4%

| Näyte     | 7   | 14   | 28   | - | - |
|-----------|-----|------|------|---|---|
| 808 C1    | 408 | 1658 | 2321 |   |   |
| 808 C2    | 316 | 1301 | 1918 |   |   |
| 808 C3    | 245 | 1107 | 1673 |   |   |
| 808 C4    | 770 | 1541 | 2214 |   |   |
| Keskiarvo | 435 | 1402 | 2032 |   |   |

Testauspaikka: Rudus Oy, Konalan keskuslaboratorio  
Koe: Suolapakkaskoe (3 % NaCl)

Koesarja: 802 A, B, C  
Kappaleet: 4 kappaletta/sarja

Valupäivämäärä:  
Testi alkoi: 10.2.2022  
Näytteiden ikä  
kokeen alussa [d]:  
Kokeen lopetus: 10.3.2023

Lisätiedot:

Oulun pihalaattojen suola-pakkaskokeet. A-sarja: Antipor 0,2 %, B-sarja: 0,3 % ja C-sarja: 0,5 % (pohjasemu 320 kg)

TULOKSET

*Sarja 4. Antipor 0,2 %*

|                                     |    |      |      |   |   |
|-------------------------------------|----|------|------|---|---|
| Taulukko 1 Koesarjan 802 A tulokset | 7  | 14   | 28   | - | - |
| Näyte                               | 7  | 14   | 28   | - | - |
| 802 A1                              | 26 | 1000 | 1837 |   |   |
| 802 A2                              | 10 | 66   | 434  |   |   |
| 802 A3                              | 20 | 36   | 541  |   |   |
| 802 A4                              | 10 | 66   | 1597 |   |   |
| Keskiarvo                           | 17 | 292  | 1102 |   |   |

*Sarja 5. Antipor 0,3 %*

|                                     |    |    |     |   |   |
|-------------------------------------|----|----|-----|---|---|
| Taulukko 2 Koesarjan 802 B tulokset | 7  | 14 | 28  | - | - |
| Näyte                               | 7  | 14 | 28  | - | - |
| 802 B1                              | 15 | 31 | 393 |   |   |
| 802 B2                              | 15 | 31 | 617 |   |   |
| 802 B3                              | 10 | 31 | 219 |   |   |
| 802 B4                              | 10 | 15 | 128 |   |   |
| Keskiarvo                           | 13 | 27 | 339 |   |   |

*Sarja 6. Pohja sementti: 320 kg/m<sup>3</sup> + Antipor 0,5 %*

|                                     |    |     |      |   |   |
|-------------------------------------|----|-----|------|---|---|
| Taulukko 3 Koesarjan 802 C tulokset | 7  | 14  | 28   | - | - |
| Näyte                               | 7  | 14  | 28   | - | - |
| 802 C1                              | 20 | 36  | 122  |   |   |
| 802 C2                              | 26 | 122 | 1949 |   |   |
| 802 C3                              | 5  | 20  | 332  |   |   |
| 802 C4                              | 10 | 82  | 1235 |   |   |
| Keskiarvo                           | 15 | 65  | 910  |   |   |

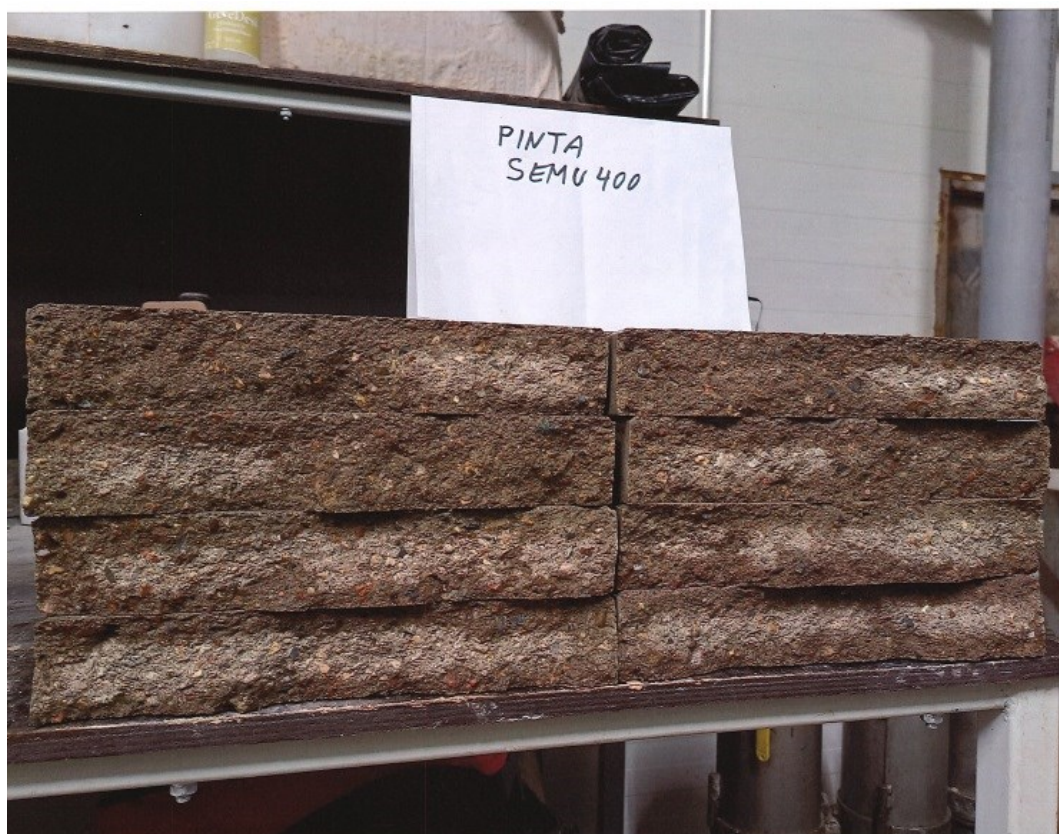
LIITE 9



LIITE 10



LIITE 11



LIITE 12



LIITE 13



LIITE 14

