

Kari Lahdenperä

KOERAKENTEEN MAABETONIRESEPTIEN TESTAAMINEN

KOERAKENTEEN MAABETONIRESEPTIEN TESTAAMINEN

Kari Lahdenperä
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, talonrakennustekniikka

Tekijä(t): Kari Lahdenperä
Opinnäytetyön nimi: Koerakenteen maabetonireseptien testaaminen
Työn ohjaaja(t): Vesa Kallio
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2016
Sivumäärä: 41 + 2 liitettä

Sideaineiden ansiosta betonipäällysteiden lujuus ja kantavuus ovat yleensä asfalttipäällysteitä paremmat. Betonipäällysteen mahdollisia käyttökohteita ovat mm. teiden pohjat, lentokentät ja teollisuuspihat. Maabetoni on tiivistetty maan, sideaineen ja veden seos. Kovettuessaan se muodostaa kestävä ja edullisen rakenteen. Suomalaisessa tierakentamisessa maabetonin käyttö on nykyään vähäistä, vaikka vielä 2000-luvun alussa maabetonipäällystettä valmistettiin noin 2 000 000 neliometriä vuodessa.

Opinnäytetyön aiheena oli Torniossa sijaitsevan teollisuusalueen pohjaan tehtävä maabetonikoerakenne. Tavoitteena oli testata ja vertailla maabetonipäällysteen reseptejä. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää lähtötietoja maabetonikoerakenteen toteuttamisen tueksi. Työ tehtiin Tapojärvi Oy:n Oulun ammattikorkeakoulun betonilaboratoriolle antamasta toimeksiannosta.

Laboratoriokokeita suoritettiin Oulun ammattikorkeakoulun betonilaboratoriossa. Betonin koemassoja sekoitettiin yhteensä kuusi, joista kaikista valettiin neljä koekappaleita. Tuoreista massoista määritettiin ilmamäärät ja tiheydet. Lujittuneiden koekappaleiden tiheydet mitattiin ja niille tehtiin puristuslujuustestit. Työssä perehdyttiin myös koerakenteen suunnitteluperusteisiin ja haasteisiin teoriatasolla.

Opinnäytetyössä saatujen tulosten perusteella todettiin, että maabetonia ja jaloteräskuonaa on mahdollista käyttää teollisuusalueen päällystyksessä. Laboratoriokokeissa tehdyt koekappaleet täyttivät niille asetetut puristuslujuusvaatimukset. Ilmamäärämittausten perusteella arvioitiin koekappaleiden pakkaskestävyyden olevan toivottua huonompi. Tuloksena olivat testatut vertailureseptit maabetonipäällysteelle. Tuloksia voidaan hyödyntää koerakennetta toteutettaessa.

Asiasanat: betoni, laboratoriokokeet, kuona

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building Engineering

Author(s): Kari Lahdenperä
Title of thesis: Testing Soil Concrete Recipes
Supervisor(s): Vesa Kallio
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2016
Pages: 41 + 2 appendices

Because of the binder properties, the strength and load capacity of concrete pavements are generally better than on asphalt pavements. Possible applications for soil concrete include road bases, airports and industrial yards. Soil concrete is a mixture of soil, binder and water. Cured soil concrete can be a durable and a low-cost structure. Use of soil concrete is currently limited in the Finnish road construction. In the early 2000s about 2 000 000 square meters of soil concrete pavements were made per year.

The subject of the thesis was an experimental soil concrete pavement to be built on an industrial area in Tornio. The objective was to test and compare the soil concrete recipes. In addition, the aim was to determine baseline data to support the implementation of the test structure of the concrete pavement. The work was done for Tapojärvi Ltd.

Laboratory tests were carried out in the concrete laboratory of Oulu University of Applied Sciences. A total of six test concretes were mixed. Four test pieces were poured from each concrete batch. The density and air content of concrete were determined. Strengthened specimens were measured for their densities and subjected to compressive strength tests. Design criteria and the challenges of the test structure were analyzed theoretically.

Based on the results obtained in this thesis, it was found that the soil concrete and metal slag can be used in industrial pavement. The specimens made in laboratory filled the compressive strength requirements set for them. On the basis of the air volume measurements, the test samples were evaluated to be inferior to the desired antifreeze protection. The thesis resulted in tested comparison recipes for soil concrete pavement. The results can be utilized when implementing the test structure.

Keywords: Soil concrete, metal slag, concrete pavement

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
1 JOHDANTO	7
2 MAABETONIPÄÄLLYSTE	8
2.1 Sekoitusmenetelmät	9
2.2 Maabetonoinnin työvaiheet	10
2.3 Maanvaraisen lattian pohjarakenne	12
3 MAABETONIN SUUNNITTELUPERUSTEET	14
3.1 Betonilattioiden rasitukset	15
3.2 Lujuus	15
3.3 Kulutuskestävyys	16
3.4 Pölyämättömyys	16
3.5 Pakkaskestävyys	16
3.6 Lämpömuodonmuutokset	17
3.7 Halkeilu	17
3.8 Rauditus	19
4 KOEMASSOISSA KÄYTETYT MATERIAALIT	21
4.1 Sementti	21
4.2 Metakaoliini	21
4.3 Masuunikuonajauhe	21
4.4 Ilmajäähdytetty ruostumattoman teräksen kuona	22
4.5 Murskattu betoni	23
4.6 Kiviaines	24
4.7 Vesi	25
4.8 Lisäaineet	25
5 LABORATORIOKOKKEET	27
5.1 Suhteitus	28
5.2 Massan sekoitus	29
5.3 Ilmamäärän mittaaminen	30
5.4 Koekappaleiden valaminen	32
5.5 Kappaleiden testaaminen	32

6 KOETULOKSET	34
6.1 Ilmamäärä ja tiheys	34
6.2 Lujuus	34
6.3 Notkeus	36
7 POHDINTA	37
LÄHTEET	40
Liite 1 Koekappaleiden tiedot	
Liite 2 Koekappaleissa käytettyjen runkoaineiden rakeisuudet	

1 JOHDANTO

Tapojärvi Oy:n yksi materiaalinkäsittelyalue sijaitsee Torniossa. Alue on vanhaa meren pohjaa, jossa on vuosikymmenten ajan harjoitettu kuonankäsittelyä. Alueen maapinta pölyää ja sitä on vaikea puhdistaa tai harjata. Kosteina vuodenaikoina toimintaa häiritsee pohjan mutaisuus. Tämän opinnäytetyön taustalla ovat tehdasalueen pohjan ongelmat sekä halu tutkia mahdollisia käyttötarkoituksia metalliteollisuuden sivutuotteille. Tilaajan käytettävissä on suuria määriä erilaisia kuonamateriaaleja.

Työn tavoitteena on tutkia maabetonin ja ruostumattoman teräksen kuonamateriaalien soveltuvuutta tehdasalueen betonipäällysteeseen. Maabetonirakenteen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat kestävyys ja kustannustekijät. Laboratoriokoekes- teistä saatujen tulosten avulla selvitetään sopivinta reseptiä maabetonipäällysteelle. Tutkimus- ja koetulosten perusteella tehdasalueelle toteutetaan maabetonikoerakenne.

Tapojärvi Oy:n erikoisosaamista ovat materiaalinkäsittely, kaivosurakointi sekä teollisuusprosessien hoito. Tilaaja toimii koko Suomen ja Pohjoismaiden alueella. Tapojärvi Oy:n kuonarikastamot Torniossa valmistavat CE-merkittyjä kuonamurskeita ja palauttavat kuonaan jääneitä metallikappaleita sulatoille.

2 MAABETONIPÄÄLLYSTE

Betonipäällysteiden lujuus, muodonmuutosominaisuudet ja kantavuus ovat sideaineiden ansiosta yleensä asfalttipäällysteitä paremmat. Maabetoni on tiivistetty maan, sideaineen ja veden seos. Kovettuessaan se muodostaa kestävä ja edullisen rakenteen. Suomessa käytetyistä betonipäällysteistä maabetoni on yleisin. Tiepohjien maatayttöjä sekä teiden peruskorjauksia voidaan tehdä maabetonilla. Mahdollisia käyttökohteita ovat myös lentokentät, teollisuuspihat ja bussipysäkit. Uudisrakenteissa sillä voidaan vähentää asfalttipinnan muodonmuutoksia ja nostaa tien kantavuutta. Vielä vuosituhannen alussa maabetonia valmistettiin noin 2 000 000 neliometriä vuodessa. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 2005, 540-541.) Suomalaisessa tierakentamisessa maabetonin käyttö on vähentynyt lähes olemattomiin (Kallio 2016).

Maa-aineksen sementillä lujittamista nimitetään yleisesti sementtistabiloinniksi. Maabetonoinnin ja stabiloinnin ero on niiden sijoittuminen rakenteen eri kerroksiin. Sementtistabiloinnilla vahvistetaan yleensä alusrakenteita kun taas maabetonilla kantavaa tai jakavaa kerrosta. Sementillä sidotun maan ominaisuuksia ovat hyvä väsymislujuus sekä ominaisuuksien riippumattomuus lämpötilasta ja kuormista. Nämä ovat päällysrakenteelle tärkeitä ominaisuuksia. (Jaara 1992, 3.)

Runkoaineet maabetoniin saadaan yleensä käyttöpaikalta tai sen läheisyydestä. Stabiloinnissa heikon ja edullisen maa-aineksen ominaisuuksia pyritään muuttamaan sideaineilla, jotta materiaali saavuttaisi vaaditun kantavuuden ja säilyvyyden. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 2005, 541.)

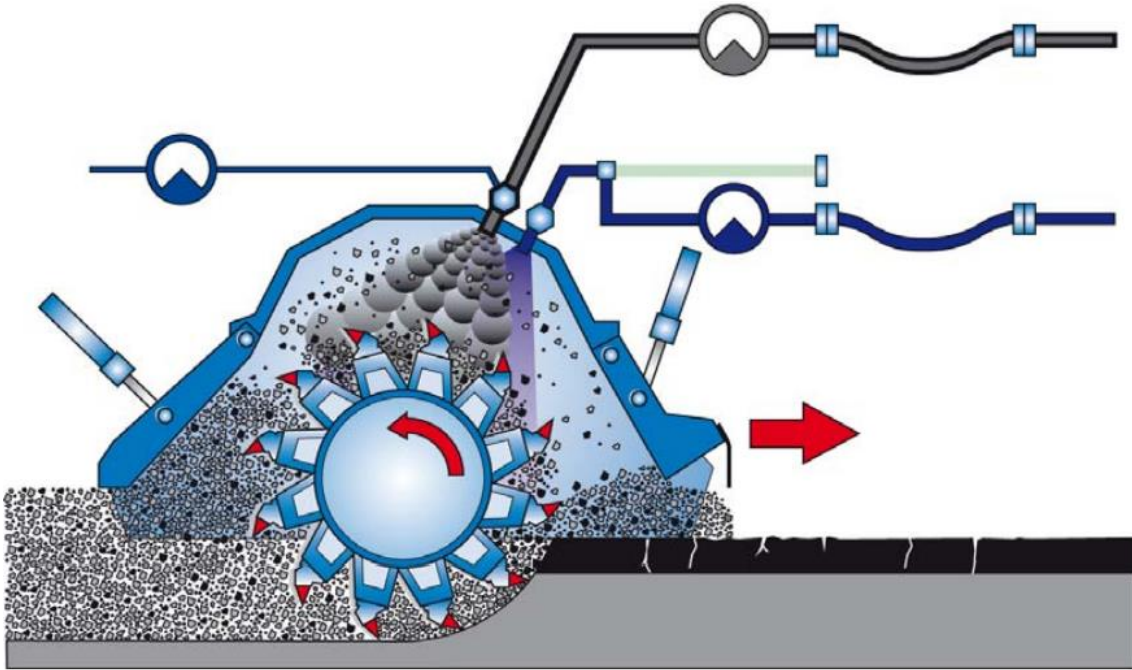
Sideainemäärä maabetonissa vaihtelee tyypillisesti kolmen ja kuuden prosentin välillä. Käytettäessä paikallasekoitusmenetelmää sideainetta käytetään yleensä neljästä kymmeneen prosenttiin. (Sarkkinen 2016.) Käytettävät sideaineet, runkoaineen ominaisuudet ja tavoitelujuus vaikuttavat sideainemääriin (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 2005, 541).

Korkean kuormituksen varastokentillä stabiloidun kerroksen paksuus voi olla jopa 400 mm. Alle 200 mm:n maabetonilaatta valetaan yleensä yhtenä kerroksena. Massa tulee levittää useampana kerroksena, jos väliin tulevat raudoitteet. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 2005, 541.) Maabetonin puristuslujuus on normaalisti 1 - 10 MPa. Kulutuskestävyyden nostamiseksi maabetonikerroksen päälle yleensä valetaan kovempi kulutuskerros asfaltista tai betonista. (Sarkkinen 2016.)

2.1 Sekoitusmenetelmät

Sekoitusasemamenetelmää käytettäessä betonin materiaalit sekoitetaan tehokkaassa työmaa-asemassa valmiiksi massaksi, joka siirretään käyttökohteeseen kuorma-autoilla. Maabetoni levitetään ja esitiivistetään levityslaatikolla tai asfaltinlevittimellä. Massa tiivistetään jyräämällä heti levityksen jälkeen. Yleensä asemasekoitusmenetelmällä saadaan tasalaatuisempi lopputulos. Asemasekoitus on kuitenkin Suomessa hieman paikallasekoitusta kalliimpi vaihtoehto. (Hartikainen 2000, 137.) Asemamenetelmän onnistumisen kannalta on tärkeää alustan tasaisuus ja tiiveys. Massa täytyy levittää huolellisesti suunnitellun paksuisena kerroksena, koska levityksen jälkeen korjaaminen on vaikeaa. (Koivukangas 1997, 9.)

Paikallasekoituksella tarkoitetaan betonin valmistusta stabiloitavassa kohteessa (Hartikainen 2000, 135-136). Paikallasekoitusmenetelmässä maabetonin raaka-aineet levitetään ja muotoillaan suoraan kohteeseen kerroksittain (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 2005, 541-542). Vettä lisätään massaan sijoituspaikassa jyrsimellä sekoitettaessa. (Kuva 1.) Paikallasekoitusmenetelmälle tyypillisiä piirteitä ovat paikalla olevan kiviaineksen hyödyntäminen sekä epätasainen kerrospaksuus ja lujuus. (Koivukangas 1997, 9.)



KUVA 1. Paikallasekoitus stabilointijyrsimellä (Päälysrakenteen stabilointi. 2007)

2.2 Maabetonoinnin työvaiheet

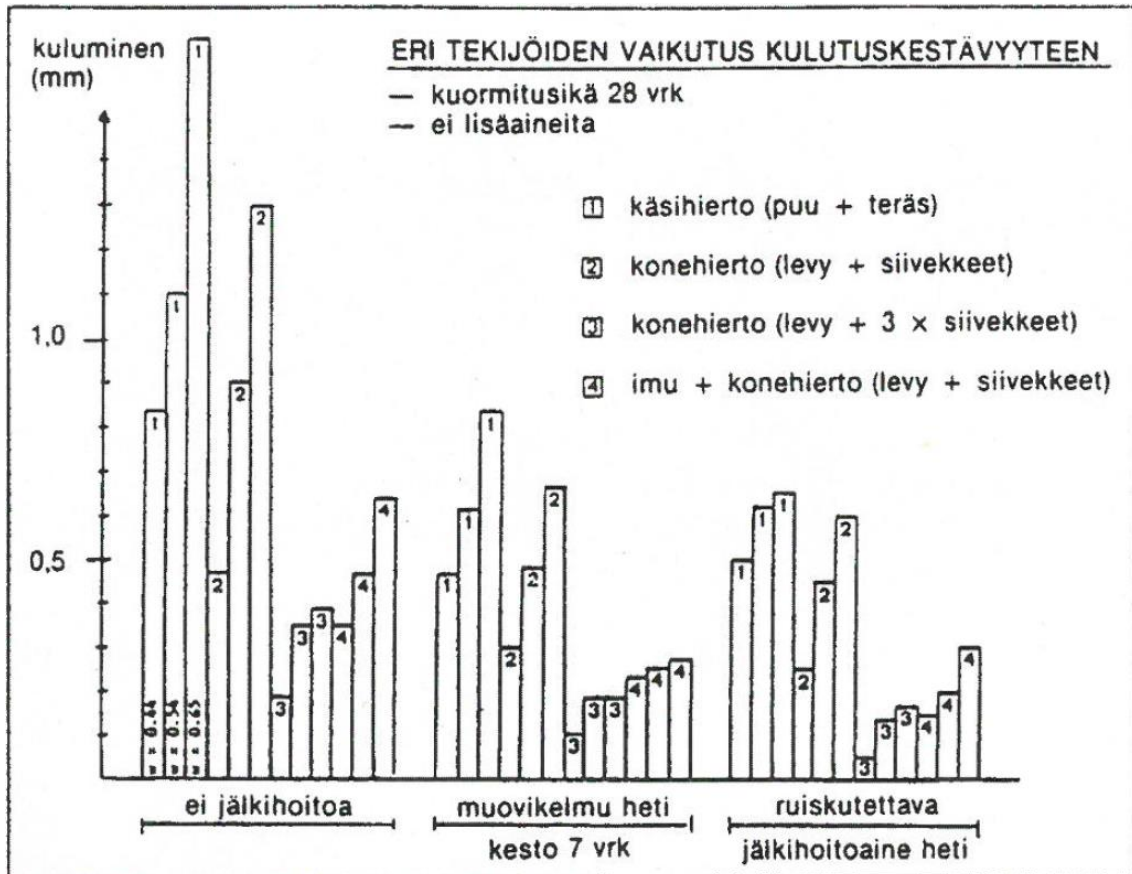
Massaa levitettäessä pitää huomioida löyhän kerrospaksuuden pieneneminen tiivistämisen johdosta. Jyräskertojen määrä valitaan tapauskohtaisesti. Yleensä sopivat jyräysmäärät esitiivistyksessä sekä varsinaisessa tiivistyksessä on 4 - 6 kertaa. Muotoilukaluston sopivuus täytyy selvittää koejyräyksellä työn alussa. (Kariniemi 1999, 23-24.)

Muotoilu pyritään suorittamaan loppuun ennen kuin sementin hydrataatio alkaa. Maabetoni esitiivistetään jyrällä levittämisen jälkeen, jotta mahdollistettaisiin pinnan muotoilu. Pinta höylätään lopulliseen muotoonsa tiehöylällä. Viimeiset poikkeamat rakenteen suunnitellusta muodosta korjataan tässä vaiheessa. Varsinainen tiivistäminen suoritetaan yleensä täryjyrällä halutun tiiveyden ja pinnan tasoisuuden saavuttamiseksi. Maabetonin pintaan mahdollisesti jääneet erottuneet kohdat tulee sekoittaa ja tiivistää uudelleen. (Kariniemi 1999, 25.)

Hieronta on työvaihe, joka tiivistää betonin pinnan parantaen lujuutta ja kulutuskestävyyttä (kuva 2). Betonilattian toimivuus riippuu suurelta osin sen muuta-

man millimetrin paksuisesta pintakerroksesta. Kulutuskokeiden perusteella voidaan sanoa, että koneellisella hierrolla saavutetaan selvästi käsin hierrettyä kestävämpi lattia. Hierto tulisi aloittaa nopeasti sitoutuvissa olosuhteissa mahdollisimman aikaisin. Konehierto voidaan aloittaa, kun vesi on poistunut pinnasta ja betoniin ei jää ihmisen painosta 5 mm syvempiä jalanjälkiä. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 2005, 427.)

Pinnan jälkihoito on tärkeä tekijä valmiin rakenteen lujuuden ja säilyvyyden suhteen (kuva 2). Muodonmuutosmittauksissa on huomattu, että lattiabetoni kutistuu valun jälkeen jo muutaman tunnin kuluttua. Lujittuvan betonin pinnasta haihtuva vesi aiheuttaa kapillaarisen alipaineen. Alipaineen vaikutuksia voidaan hidastaa jälkihoidolla, estämällä veden nopea haihtuminen. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 2005, 429.) Maabetonikerros on pidettävä valun jälkeen kosteana noin yhden viikon ajan. Liian nopea kuivuminen voidaan estää kastelemalla tai peittämällä stabiloitu rakenne. Valun jälkeen rakennetta ei saa rasittaa kahteen vuorokauteen ja raskas liikenne täytyy estää ensimmäisen viikon ajaksi. (Hartikainen 2000, 137.)



KUVA 2. Hierron ja jälkihoidon vaikutus lattian kulutuskestävyyteen (Betoniteknikan oppikirja 2004, 427)

Pintaan levitettävän jälkihoitoaineen käyttö on suositeltavaa olosuhteissa, joissa aurinko ja tuuli pääsevät kuivattamaan betonia nopeasti. Tällaisissa olosuhteissa veden haihtumisen estäminen on aloitettava heti massan muotoilun jälkeen. (RIL 149-1995, 78-79.)

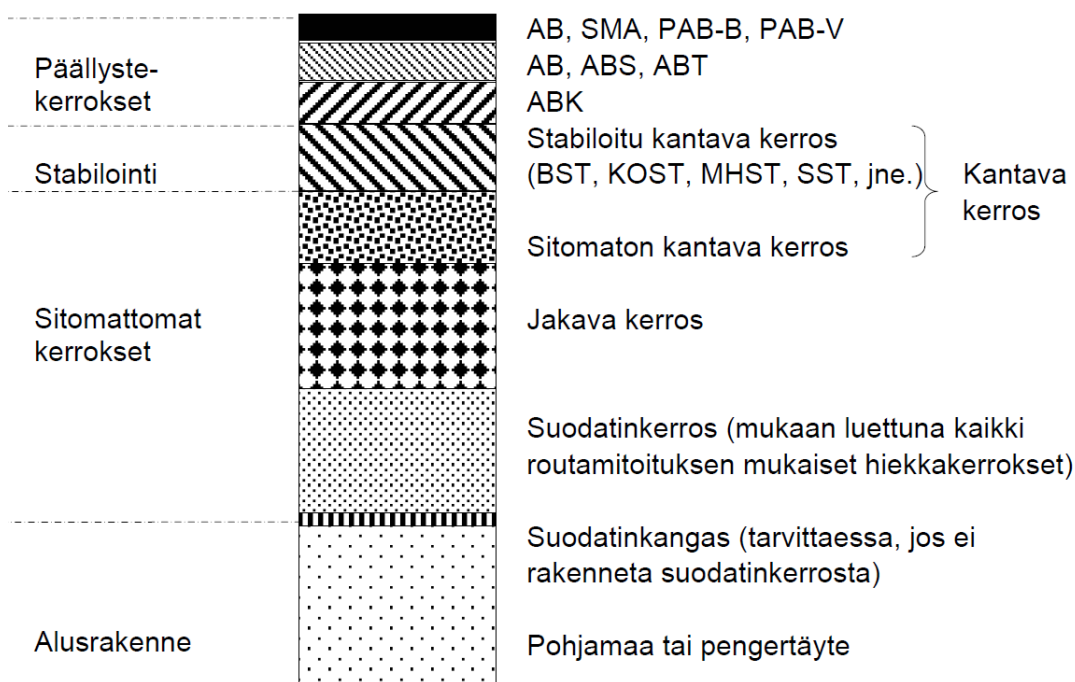
2.3 Maanvaraisen lattian pohjarakenne

Teollisuusalueella liikkuu jopa 150 tonnin painoisia materiaalin siirtoautoja. Maanvaraisen rakenteen kestävyys kannalta pintalaatan puristuslujuutta tärkeämpää on alusrakenteen riittävä kantavuus. Pohjan rakennekerrokset jakavat päällysteen pintaan kohdistuvat rasitukset niin, etteivät alempien rakennekerrosten suurimmat sallitut jännitykset ylitä. Alusrakenteen tarkoituksena on myös rajoittaa routanousuja. (Kariniemi 1999, 15.)

Maanvaraiseen lattian pohjarakenteeseen kuuluvat pohjamaa, kerroksittaiset täyttömateriaalit ja mahdollisesti lämmöneristeet. Pohjarakenne voi olla perusmaata luonnontilassa, vahvistettua maata tai vanhaa täyttömaata. Maanvaraisen laatan alusrakenteen täytyy kestää kuormitukset ilman huomattavia muodonmuutoksia. Pitkäaikainen kuorma saattaa aiheuttaa rakenteen painumaa, jos pohjamaa puristuu kasaan. Liikkuvat kuormat ja koneiden aiheuttama värinä voivat aiheuttaa painumia pitkällä aikavälillä. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 64.)

3 MAABETONIN SUUNNITTELUPERUSTEET

Tornioon, Tapojärvi Oy:n teollisuusalueelle rakennetaan maabetoninen koerakenne. Koska rakenteen kohde on tilaajan omassa käytössä oleva kenttä yksityisellä teollisuusalueella, standardien vaatimukset toimivat suunnittelussa viitearvoina eivätkä ehdottomina määräyksinä. Betonia valittaessa otetaan huomioon laatuvaatimukset, suunnitteluratkaisut sekä toteutusolosuhteet ja -tapa. Koerakennetta tierakenteeseen verrattaessa maabetoni korvaa kantavan kerroksen sekä päällystekerrokset. (kuva 3). Suunnittelun laatutekijöiksi valittiin suurten liikennekuormien teollisuuslattiaille suositellut suoruuksuus B, kulutuskestävyysluokka 1, ja halkeiluluokka II, jossa halkeamien suurin sallittu leveys on 1 mm. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 15, 24.)



KUVA 3. Tien mahdollisia rakennekerroksia (Tierakenteen suunnittelu. 2004)

Osatekijät asettavat betonin koostumukseen vaatimuksia, jotka saattavat olla keskenään ristiriidassa. Tällaisessa tilanteessa ristiriitaiset vaatimukset asetetaan suunnittelussa tärkeysjärjestykseen. Lattiabetonin valinnassa pyritään mahdollisimman vähäiseen kutistumaan ja halkeiluun. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 130.)

3.1 Betonilattioiden rasitukset

Liikkuva ja toistuva kuormitus on teollisuusalueella yleinen betonilattian rasitus-tapaus. Laattarakenteen rasitukset muuttuvat vetorasituksesta puristukseen kuormien liikkumisen johdosta. Betonilattiaa toteutettaessa valmiissa raken-teessa tapahtuu aina jonkin asteista halkeilua. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 145.) Suurempien halkeamien reunat voivat lohjeta toistuvan kuormituksen vai-kutuksesta. Laatan paksuus, raudoitus ja alapuolisten kerrosten jäykkyys vai-kuttavat huomattavasti maanvaraisen laatan taivutusrasituksiin. Lämpötilan vaihtelusta johtuvat muodonmuutokset voivat aiheuttaa betonilaattaan hal-keamia, jos liike estyy. Pyöräkuormien mekaaniset rasitukset saattavat irrottaa betonin pinnasta hienoainesta. Pitkäaikainen kuormitus joustavassa raken-teessa voi aiheuttaa painumia. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 2005, 403-404.)

Jäykkä päällysrakenne on herkkä vaurioitumaan routaliikkeestä (Kallio 2016). Rakennekokonaisuuden routamitoitus voidaan tehdä Tiehallinnon Tierakenteen suunnitteluohjeen perusteella. (Tierakenteen suunnittelu. 2004.)

3.2 Lujuus

Betonin tärkein ominaisuus on sen puristuslujuus. Vetolujuus on yleensä noin 10 % puristuslujuudesta, vanhemmilla betoneilla vetolujuus saattaa laskea 5 %:iin. Betonirakenteiden taivutuslujuutta parannetaan yleisesti raudoituksilla. Puristuslujuus kuvastaa monia betonin ominaisuuksia ja on suhteellisen helppo testata. Muun muassa veto- ja taivutuslujuus sekä kimmokerroin ovat verrannol-lisia puristuslujuuteen. Puristuslujuuden luokitus betoninormeissa perustuu sivu-mitoiltaan 150 mm:n koekuution testaukseen. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 2005, 79.)

Lujuus määritetään yleensä 28 vuorokauden kuluttua valusta. Käytännössä lu-juudenkehitys jatkuu vielä niin pitkään kuin betonissa on reagoimatonta sideai-netta. Betonin lujuusluokka ilmaistaan esimerkiksi merkinnällä C25/30 tai K30. Näillä lujuusluokilla betonin lujuus 150 mm:n kuutiokoekappaleilla on 30 MPa. (Betonin lujuus. 2016.) (Taulukko 1.)

*TAULUKKO 1. Betonin lujuusluokitusta vastaavat lujuudet eri koekappaleilla
(Betoninormit 2012 by 50. 2012. 107)*

Lujuus- luokka	Lujuus- luokka SFS-EN 206-1 mukaan	Alin 150x300 lieriöillä määrätty ominaislu- juus $f_{ck,cyl}$ [MN/m ²]	Alin 150 mm:n kuuti- olla määrätty ominaislujuus K [MN/m ²]	Alin 100 mm:n kuutiolla määrätty ominaislujuus K [MN/m ²]
C12	C12/15	12	15	15,5
C16	C16/20	16	20	20,6
C20	C20/25	20	25	25,8
C25	C25/30	25	30	30,9
C30	C30/37	30	37	38,1
C35	C35/45	35	45	46,4
C40	C40/50	40	50	51,5
C45	C45/55	45	55	56,6
C50	C50/60	50	60	61,8
C55	C55/67	55	67	69,0
C60	C60/75	60	75	77,2
C70	C70/85	70	85	87,6
C80	C80/95	80	95	97,8
C90	C90/105	90	105	108,2

3.3 Kulutuskestävyys

Betonirakenteen kulutuksen kestävyys riippuu betonin lujuudesta ja pinnan tiiveydestä. Tavoitellun kulutuskestävyyden saavuttaminen perustuu suurelta osalta myös huolellisuuteen työ- ja jälkihoitovaiheessa. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 164-165.) Kulutuskestävyyden parantamiseksi voidaan käyttää erilaisia betonipintaan levitettäviä sirotteita tai kovaa pintabetonikerrosta. (Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007 by 51. 2007. 44.)

3.4 Pölyämättömyys

Yhtenä päällysteen tavoitteena on pölyämättömyys. Betonipinnan pölyämistä pystytään vähentämään minimoimalla massan erottumista koostumuksen ja toteutustavan avulla. Riittävän pitkä jälkihoitoaika vähentää pinnan pölyämistä. Pinnan käsittely silikaatilla tai pölynsidonta-aineella on yleinen tapa saavuttaa pölyämättömyys. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 28.)

3.5 Pakkaskestävyys

Betonin pakkasrapautuminen johtuu yleensä sisäisten jännitysten ylittymisestä. Pakkasrasituksesta vaurioituminen aiheuttaa lujuuden menetystä, halkeamia ja lohkeilua. Betonin huokosrakenne on tärkein yksittäinen pakkaskestävyyteen

vaikuttava tekijä. Mahdollisimman alhainen vesi-sideainesuhde vähentää betonin pakkasenkestävyyden kannalta ongelmallista kapillaarihuokoisuutta. Huokostavalla lisäaineella betoniin saadaan suojahuokosia, joihin laajenevien jääkiteiden paine pääsee purkautumaan. (Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007 by 51. 2007, 18-19.)

Betoniyhdistyksen mukaan kaikissa suojaamattomissa ulkorakenteissa täytyy käyttää jäätymissulamiskestävyyttä parantavaa lisähuokostusta (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 136). Säilyvyyden suunnittelun jäätymis-/sulamisrasitusluokaksi valittiin XF3, johon kuuluvat suolaamattomat, kosteuden ja jään rasittamat vaakasuorat betonirakenteet. (Betoninormit 2012 by 50. 2012, 90.)

3.6 Lämpömuodonmuutokset

Betoniyhdistys kirjoittaa betonin lämpölaajenemiskertoimen olevan $10 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Metrin mittaisen rakenteen lämmitessä yhden asteen sen pituus kasvaa n. 0,01 mm. Yhden metrin mittaisen rakenteen jäähtyessä pituus pienenee n. 0,01 mm yhden asteen lämpötilamuutosta kohden. Mikäli muodonmuutokset eivät pääse tapahtumaan vapaasti, rakenne saattaa vaurioitua. Laattojen pituuden vaihtelut täytyy huomioida irrotuskaistoilla ja liikuntasaumoilla. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 143.)

3.7 Halkeilu

Voidaan sanoa, että halkeilua tapahtuu betonilattioissa aina jonkin verran. Halkeilua pyritään rajoittamaan, jottei se huonontaisi rakenteen toimintaa tai säilyvyyttä. Suunnittelussa määritetään halkeamaleveyden maksimiarvo ottaen huomioon säilyvyys ja kustannustekijät. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 145.)

Laatta voidaan halkeilun suhteen mitoittaa saumattomana tai kutistumissaumallisena. Mitoitettaessa ilman kutistumissaumoja laatan halkeamaväli ja -leveys pidetään riittävän pienenä laatan ja alustan välisellä kitkalla sekä riittävällä raudoituksella. Saumattoman laatan raudoituksen vetokestävyys täytyy olla betonin vetokestävyyttä suurempi. Kutistumissaumoilla varustetussa rakenteessa pyri-

tään ohjaamaan kutistumishalkeamat saumoihin, jotta laatta ei halkeilisi saumojen välillä. Saumallisessa rakenteessa laatan ja alustan välisen kitkan tulisi olla mahdollisimman pieni. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 85.)

Lattioiden saumoja voidaan käyttää kuivumiskutistuman aiheuttamien vetojännitysten ja halkeilun pienentämiseen sekä rakenteellisina liikuntasaumoina. Liikennekuormitettujen lattioiden saumat vaurioituvat herkästi. Kapeat saumat kestävät rasitusta leveämpiä paremmin. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 77.)

Liikuntasauva mahdollistaa esimerkiksi lämpötilan muutoksesta johtuvan laatan kiertymisen sekä pituuden ja leveyden vaihtelut. Liikuntasauvassa laatta on kokonaan poikki. Se toteutetaan yleensä esivalmistetuilla liikuntasauvalaitteilla leikkausrasituksen jakaantumisen varmistamiseksi. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 78.)

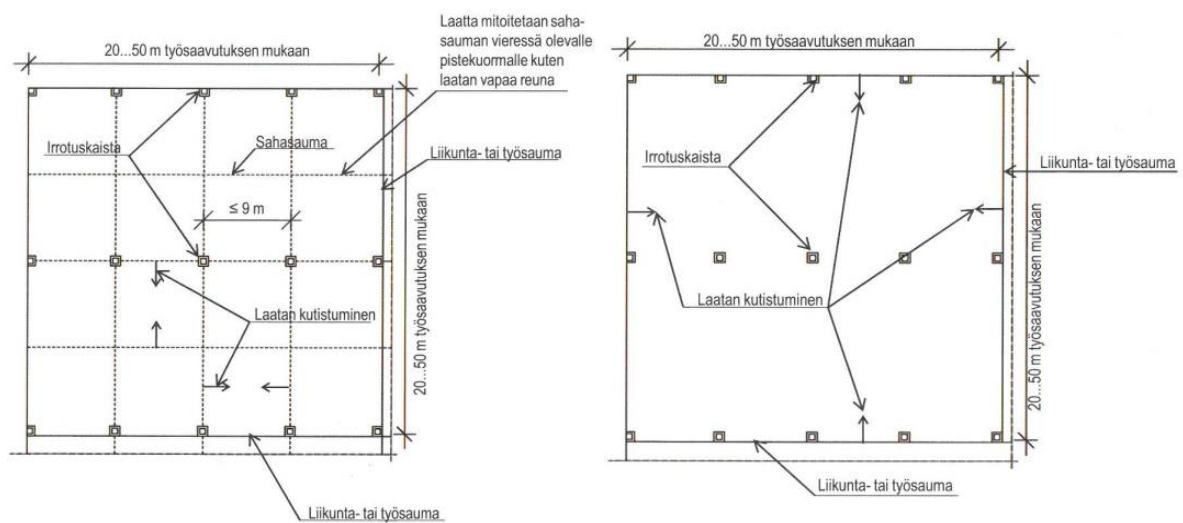
Kutistumissauma sallii sauman avautumisen ja kulman muuttumisen. Kutistumissaumana maanvaraisessa laatussa toimii yleisimmin sahasauma. Sahattu sauma tehdään sahaamalla laatan pintaan syvyydeltään noin 25 - 30 % laatan paksuudesta ja leveydeltään n. 3 mm oleva ura. Sahasauman kohdalla laatan vetokestävyys heikentyy, jolloin kutistushalkeilu keskittyy siihen. Laatan saumojen sahaus tehdään tapauskohtaisesti olosuhteista, betonista ja käytettävästä sahasta riippuen n. 16 - 40 h valun jälkeen. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 78-79.)

Betonilattioiden halkeilu jakautuu varhais- ja myöhäisvaiheeseen. Varhaisvaiheen halkeilu tapahtuu noin kahden vuorokauden sisällä valusta ja johtuu yleensä plastisesta kutistumasta. Myöhäisvaiheessa halkeilun syynä ovat yleensä lämpömuodonmuutokset tai kuivumiskutistuma. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 144.)

Rakenteen halkeilua voidaan pyrkiä hallitsemaan suhteituksessa mm. käyttämällä yli 35 % karkean kiven osuutta sekä kohtuullista C25- tai C30-lujuutta. Halkeilun hallinnan kannalta ihanteelliset valuolosuhteet lattialle olisivat: lämpötila +10 - +20 °C ja ei tuulta tai vetoa. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 145.)

Sahasaumoilla laatta jaetaan likimain neliömäiseen ruudukkoon, jonka sivujen suhde tulisi olla korkeintaan 1,5. Saumojen väli tulisi olla noin 30-kertainen laatan paksuuteen verrattuna, mutta ei suurempi kuin 6 m. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 80.)

Ilman kutistumissaumoja toteutetussa lattiassa työ- tai liikuntasaumoja tehdään päivittäisen valualueen rajoille. Saumattomana toteutettavan lattian valualueen sivumittojen suhde tulisi olla alle 2. Käytännössä laatan saumaväliksi suositellaan enintään 50 m. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 80.) (Kuva 4.)



KUVA 4. Laatta kutistumissaumoilla ja ilman kutistumissaumoja (Betonilattiat 2014. 2014, 81)

3.8 Rauditus

Raudoitusteräokset ruostuvat kosteuden ja ilman vaikutuksesta. Betoni suojaa raudoituksia korroosiolta kemiallisesti ja fysikaalisesti. Betonin emäksisyyden johdosta teräs muodostaa pintaansa ruustumista estävän oksidikalvon. Riittävä raudoitusta suojaavan betonipeitteen paksuus estää korroosiota aiheuttavien aineiden pääsyn raudoituksen läheisyyteen. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 2004, 97.)

Maanvaraisen laatan raudoitus tehdään yleensä raudoitusverkoilla. Laatassa voidaan käyttää varastoverkkoja tai erikoismitoilla valmistettuja verkkoja. Valmiiden verkkojen ulkomitat ovat 2350*5000 mm, tankokoko välillä 5 - 12 mm ja tankojen jako 150 tai 200 mm. (Betonilattiat 2014 by 45. 2014, 73.)

4 KOEMASSOISSA KÄYTETYT MATERIAALIT

Opinnäytetyössä tehdyissä laboratorikokeissa pyrittiin selvittämään sopivaa reseptiä edulliselle pakkasta ja kulutusta kestäväälle betonipäällysteelle. Käytettyjen materiaalien valinta perustui niiden kustannuksiin ja betonipäällysteen suunnittelussa määriteltyihin kriteereihin.

4.1 Sementti

Hydraulinen sideaine, sementti muodostaa kovan lopputuotteen veden kanssa reagoiessaan. Sementin valinta vaikuttaa muun muassa betonin lujuuteen, kestävyteen ja kustannuksiin. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 2005, 39.) Sementti muodostaa maabetonin hinnasta noin puolet, joten oikean sementtipitoisuuden tutkiminen on oleellista muutenkin kuin teknisestä näkökulmasta. (Kariniemi 1999, 14.) Koekappaleissa käytettiin nopeasti kovettuvaa Rapidsementtiä CEM II/A-LL 42,5 R sekä Plussemenettiä CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N, joka on normaalisti kovettuva portlandsementti. (Rapidsementti. 2016; Plussementti. 2016.)

4.2 Metakaoliini

Metakaoliini on pozzolaaninen aine, jota valmistetaan polttamalla mineraalia kaoliiniitti. Pozzolaanit tiivistävät betonin huokosrakennetta reagoimalla sementin ja veden hydratoitumisessa syntyvän kalsiumhydroksidin kanssa. Tiiviimpi rakenne suojaa betonia olosuhteiden vaikutuksilta ja parantaa lujuutta. Metakaoliinin valmistaminen on sementin valmistamista ympäristöystävällisempää matalamman lämpötilan ja puhtaampien päästöjen vuoksi. (Ahola - Puominen 2010, 25.)

4.3 Masuunikuonajauhe

SSAB:n masuunikuonajauhe voi toimia rakennussementin ohella betonin sideaineena. Sementistä poikkeavan sideaineen käyttö vaikuttaa betonimassan ja

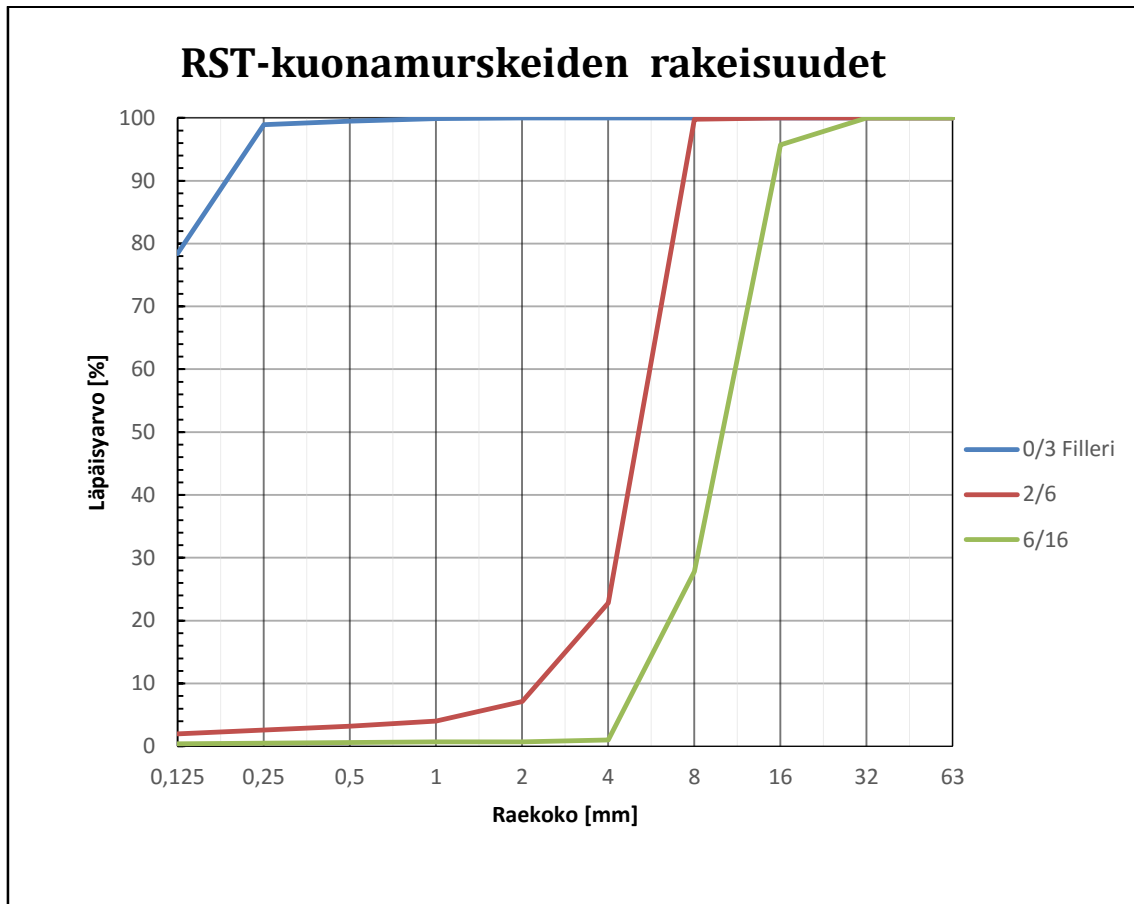
valmiin rakenteen ominaisuuksiin. Sideaineominaisuudet riippuvat masuunikuonajauheen käsittelystä, jäädyttämisestä ja jauhamisesta. (Betoninormit 2012 by 50. 2012, 175.)

Masuunikuona muuttaa massan lujuudenkehitystä, työstettävyyttä ja veden erottumista. Vaihtoehtoisen sidosaineen käyttö vaikuttaa myös muiden lisäainesten käyttöön. Hyvän säilyvyyden saavuttamiseksi seosaineet täytyy huomioida jälkihoitotavassa ja -ajassa. (Betoninormit 2012 by 50. 2012, 175.)

Opinnäytetyön kokeissa käytettiin Finnsementin Masuunikuona KJ400 –jauhetta sideaineen osana. Masuunikuona KJ400 tehdään jauhamalla granuloitu kuona hienoksi. Kuona lujittuu sementin ja veden reaktiosta vapautuvan kalsiumhydroksidin avulla. Lujittuminen on lähes sementin tasoa. (Masuunikuona KJ400. 2016.)

4.4 Ilmajäähdetty ruostumattoman teräksen kuona

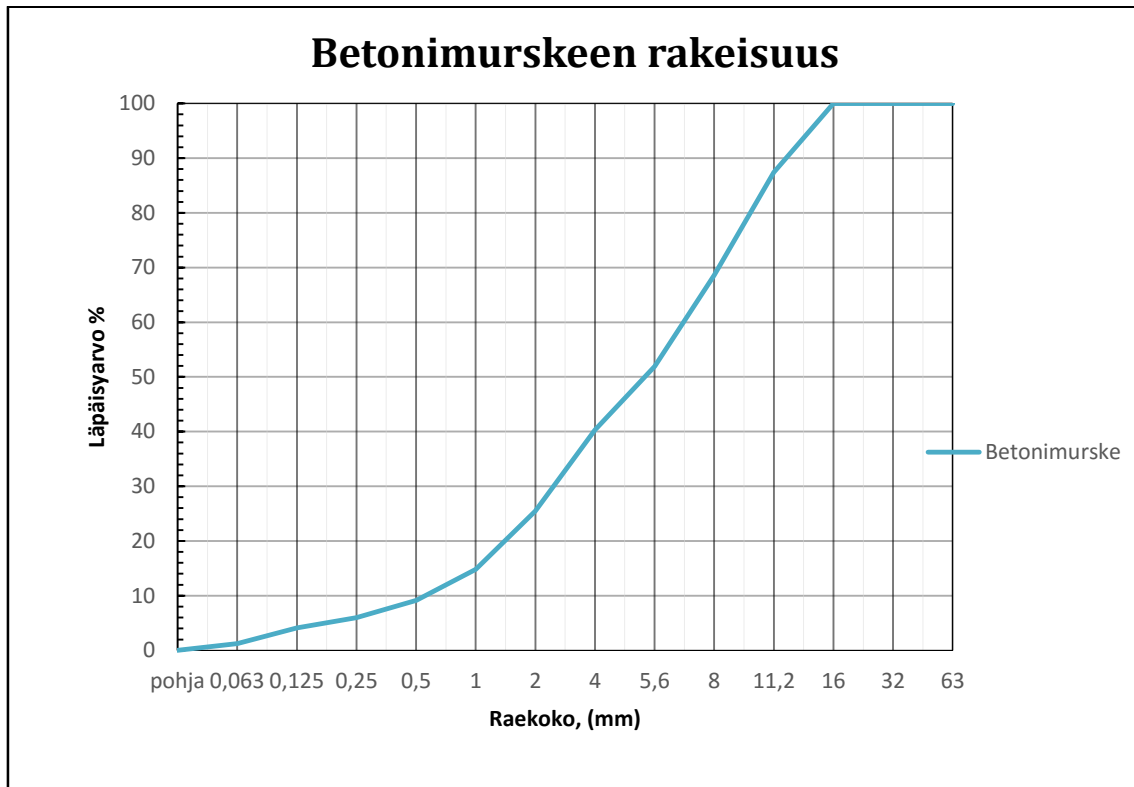
Terästeollisuuden prosesseissa muodostuvia kuonia voidaan käyttää myös runkoainetta korvaavana materiaalina. Outokummun ilmajäähdetyttä jaloteräs-kunamurskeita käytettiin koekappaleissa keinotekoisena kiviaineksena. Koemassoissa käytettiin rakeisuuksiltaan 6/16 ja 2/6 –mursketta sekä 0/3 filleriainesta, jonka rakeisuus on käytännössä alle 0,063 mm. (Kuva 5.) (Liite 2.) Korkean emäksisyytensä vuoksi rst-kuona hajoaa helposti jäädyttyään pulveriksi. Hajonnut pulveri erotetaan Tapojärvi Oy:n kuonarikastamon alussa #3 mm:n seulaverkolla kuonankäsittelyn helpottamiseksi. Ruostumattoman teräksen kuonilla, varsinkin hienolla filleriaineella, on myös lujittumisominaisuuksia, jotka pyrittiin ottamaan huomioon koemassoja tehdessä.



KUVA 5. Kuonamateriaalien rakeisuuskuvaajat

4.5 Murskattu betoni

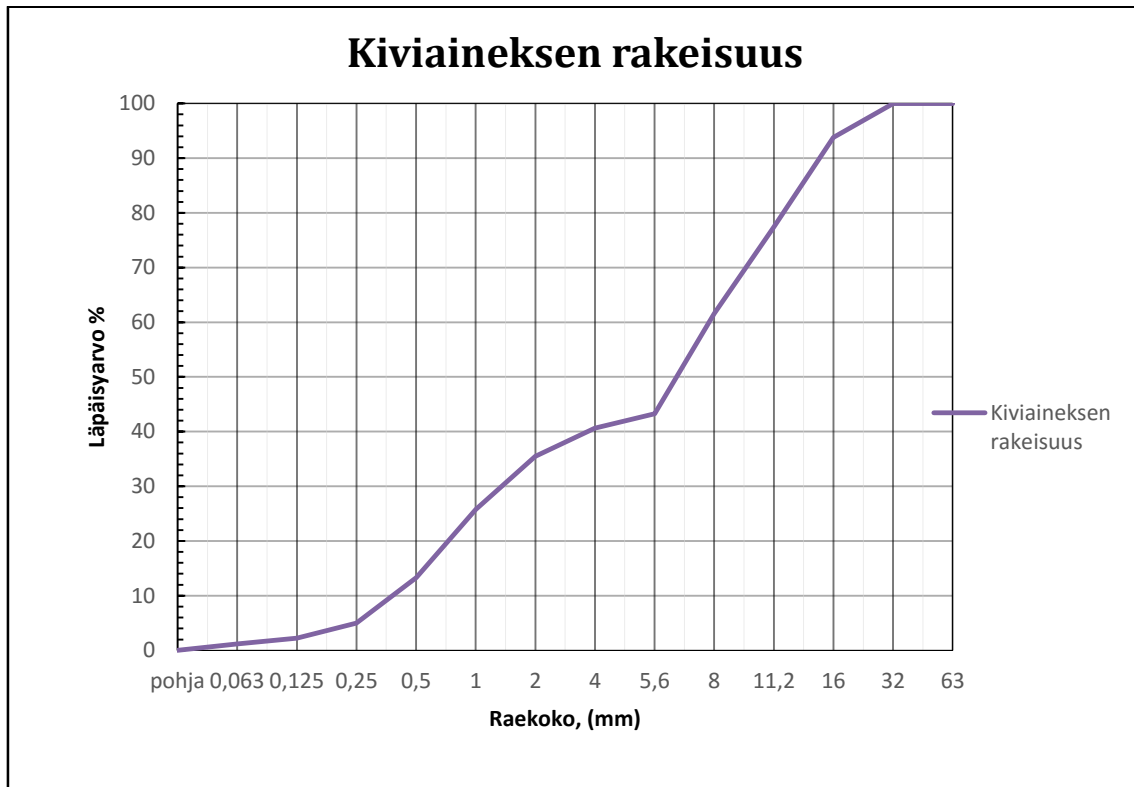
Betonimurske tehdään murskaamalla tehtailta tai työmailta saatavaa betonijätettä. Betonijäte erotellaan muusta jätteestä ja sen seasta poistetaan teräkset. Murske seulotaan haluttuun raekokoon. Koemassoissa käytetyn betonimurskeen suurin raekoko oli 16 mm. (Kuva 6.) (Liite 2.) Murskattua betonia käytettäessä täytyy ottaa huomioon sen rakeisuus, routivuus, lujuus ja puhtaus. Betonimurske voi sitoutua sementin uudelleenhydratoitumisen johdosta. (Katu 2002 Katusuunnittelun ja –rakentamisen ohjeet. 2003, 102-103.)



KUVA 6. Betonimurskeen rakeisuuskvaaja

4.6 Kiviaines

Kiviainesten ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi betonin ominaisuuksiin. Vertailukoekappaleissa käytettiin raekooltaan 16 mm ja tätä pienempää kiviainesta. (Kuva 7.)



KUVA 7. Kiviaineksen rakeisuuskuvaaja

4.7 Vesi

Juomakelpoinen vesi sopii yleensä betonissa käytettäväksi (Betonitekniiikan oppikirja 2004 by 201. 2005, 64). Koemassoissa käytettiin Oulun vesijohtoverkosta otettua vettä.

Sideainemäärää nostettaessa joudutaan yleensä lisäämään vettä. Vesi on tarpeellista sitoitumis- ja hydratoitumisreaktioiden syntymiseen. Massan kosteus on tärkeä tekijä sekoittumisen ja tiivistymisen kannalta. (Koivukangas 1997, 5.)

4.8 Lisäaineet

Lisäaineilla voidaan muokata betonimassan ominaisuuksia. Lisäaineiden tehokkuus riippuu muun muassa käytettävästä tuotteesta ja hienoaineen määrästä. (Betonitekniiikan oppikirja 2004 by 201. 2005, 141.)

Notkistavat lisäaineet auttavat sementin sekoittumista parantaen betonin tekniisiä ja taloudellisia ominaisuuksia. Notkistin on pinta-aktiivinen aine, joka mah-

dollistaa normaalia pienemmän vesi- ja sementtimäärän sekä parantaa työstettävyyttä. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 2005, 64-65.) Koemassojen notkistimena käytettiin Ha-Be Betonchemie GmbH & Co. KG:n tuotetta PANTARHIT T100 FI (FM).

Betonin normaalia 1 - 2 %:n ilmamäärää joudutaan pakkasenkestävyyttä tavoiteltaessa korottamaan huokostavan lisäaineen avulla. Ilmapitoisuus nostetaan 4 - 8 %:n, kun betonilta vaaditaan kykyä kestää kosteassa toistuvaa jäätymissuoritusrasitusta. Yhden prosentin nousu ilmamäärässä alentaa betonin lujuutta noin 5 %. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 2005, 66-67.) Koemassoissa huokostimena käytettiin Finnsementin Ilma-Parmix-rasvahapposäilyä, joka on pinta-aktiivinen lisäaine (Ilma-Parmix tuote-esite. 2016).

5 LABORATORIOKOKKEET

RST-kuonabetonien ja vertailubetonien ominaisuuksia tutkittiin Oulun ammattikorkeakoulun betonilaboratoriossa kevään 2016 aikana. Kokeissa pyrittiin selvittämään metalliteollisuuden sivutuotteiden soveltuvuutta maabetonipäällysteeseen.

Laboratoriossa sekoitettiin kuusi erilaista betonimassaa, joista jokaisesta valettiin neljä koekappaletta. Betonimassoista testattiin ennen valua ilmamäärä ja punnittiin ne tiheyden määrittämiseksi. Kappaleet valettiin 100x100x100 mm³:n muotteihin. (Kuva 8.) Koekappaleet puristettiin testauslaitteella betonin murtolujuuden selvittämiseksi kypsymisen eri aikoina.



KUVA 8. Valetut ja tasoitetut koekappaleet muoteissa

5.1 Suhteitus

Koerakenteen maabetonilta vaaditaan tavanomaista parempaa lujuutta ja kestävyyttä, joten siinä täytyy käyttää epätyypillistä koostumusta sekä normaalia korkeampaa sideainemäärää. Koemassojen tarkat koostumukset on esitetty taulukossa 2. Massojen erottamiseksi käytetään numerointia, sekä koostumuksiin viittaavia nimiä.

Koemassojen reseptit perustuivat Kajaanin ammattikorkeakoululta, Minna Sarkiselta saatuihin suuntaa antaviin ohjeisiin C25-lujuusluokan säärasitusta kestäväälle kuonabetonille. Runkoaineen suurin raekoko oli 16 mm kaikilla massoilla. Koemassoissa käytetyt runkoaineet olivat kuivia. Sementtiä useimmissa massoissa käytettiin ohjeissa annettu minimimäärä 245 kg/m^3 . Granuloitua masuunikuonajauhetta käytettiin 100 kg/m^3 . Vesi/sideainesuhde pyrittiin pitämään alle 0,44:n. Pakkaskestävyyden saavuttamiseksi ilmamäärän tavoitteena oli 6 %.

Koe-erien välillä vaihdettiin taustatietojen perusteella erilaisia side- ja runkoaineita. Sideaineina toimivat Finnsementin Masuunikuona KJ400, RST-kuonafilleri, metakaoliini, nopeasti kovettuvaa Rapidsementti CEM II/A-LL 42,5 R sekä Plussementti CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N. Runkoaineina käytettiin Outokummun ilmajähdytettyjä jaloteräskuonamurskeita, murskattua betonia sekä vertailumassoissa kiviainesta. Aineiden suhteet pyrittiin pitämään mahdollisimman samana. Veden ja notkistimen määrää muutettiin halutun notkeuden saavuttamiseksi. Huokostimen annostelulla tähdättiin suunniteltuun ilmamäärään. (Taulukko 2.)

Ensimmäisessä reseptissä käytettiin sideaineena Rapidsementtiä ja masuunikuonaa sekä runkoaineena RST-kuonamurskettä. Seuraavassa reseptissä osa runkoaineesta vaihdettiin murskattuun betoniin. Kolmannessa massassa runkoaineena oli RST-kuona ja Rapidsementistä puolet korvattiin Metakaoliinilla. Massa 4:ssä käytettiin runkoaineena kiveä. Viides resepti koostui RST-kuonarunkoaineesta, mutta Rapidsementti vaihdettiin Plussementtiin. Massa 6:ssä käytettiin Plussementtiä ja kivirunkoainetta. (Taulukko 2).

TAULUKKO 2. Koemassojen koostumukset

Massa	1. RST-kuona	2. Murskattu betoni	3. Kaoliini	4. Kiviaines	5. Plussementti, rst-kuona	6. Plussementti, kivi
Rapidsementti [kg/m ³] (% runkoainemäärästä)	245 (12,6)	245 (13,2)	122,5 (6,3)	245 (12,6)		
Plussementti [kg/m ³] (% runkoainemäärästä)					245 (12,6)	245 (12,6)
Masuunikuona [kg/m ³] (% runkoainemäärästä)	100 (5,2)	100 (5,4)	100 (5,2)	100 (5,2)	100 (5,2)	100 (5,2)
Kaoliini [kg/m ³] (% runkoainemäärästä)			122,5 (6,3)			
Vesi [kg/m ³]	202,8	188,6	203,5	160,7	190	123
Huokostin [kg/m ³] (% sideainemäärästä)	0,56 (0,16)	1,12 (0,32)	2,8 (0,81)	2,8 (0,81)	2,8 (0,81)	1,4 (0,41)
Notkistin [kg/m ³] (% sideainemäärästä)	2,76 (0,8)	2,76 (0,8)	2,76 (0,8)	2,76 (0,8)	2,76 (0,8)	2,76 (0,8)
RST-kuona 0/3 [kg/m ³]	388	194	290,9		388	
RST-kuona 2/6 [kg/m ³]	582	547	678,9		582	
RST-kuona 6/16 [kg/m ³]	970	481	969,8		970	
Murskattu betoni 0-16 [kg/m ³]		630				
Kiviaines 0/2 [kg/m ³]				232,8		232,8
Kiviaines 0/8 [kg/m ³]				737,2		737,2
Kiviaines 6/12 [kg/m ³]				485		485
Kiviaines 8/16 [kg/m ³]				485		485

5.2 Massan sekoitus

Jokaisesta reseptistä valmistettiin 10 litran koemassa. Kuiva-aineet sekoitettiin betonimyllyssä. Myllyyn kaadettiin hitaasti vettä sekä lisäaineet. Massaa sekoitettiin riittävän vedenimeytymisen ja lisäaineiden toimimisen varmistamiseksi viisi minuuttia. (Kuva 9.) Vettä lisättiin tarvittaessa massan notkistamiseksi.



KUVA 9. Massan sekoittaminen

5.3 Ilmamäärän mittaaminen

Ilmamäärämittari täytettiin testattavalla massalla kahdessa kerroksessa tärypöydällä tiivistäen. Tämän jälkeen pinta tasoitettiin ja ylivaluneet betonit pyyhittiin

pois. Astia punnittiin, painon ja tilavuuden perusteella laskettiin tuoreen betonin tiheys, joka merkittiin ylös. Ilmamäärämittarin reunat puhdistettiin ennen kannen asentamista tiiveyden varmistamiseksi. Kun kansi oli kiinnitetty paikalleen, betonin pinnalle jäävä ilmatasku täytettiin ruiskuttamalla kannen venttiileistä vettä. Venttiilit suljettiin, kun vesi tuli kummastakin täyttöaukosta ulos. Ilmamittari pumpattiin noltaan ja painettiin vivusta, jolloin mittari näytti ilmamäärän prosentteina. (Kuva 10.) Ilmamäärämittaus tehtiin samalla menetelmällä kaikille massoille.



KUVA 10. Betonimassan ilmamäärämittaus

5.4 Koekappaleiden valaminen

Koemassan päältä kaadettiin ilmamääränmittauksessa ruiskutettu vesi pois ja se palautettiin sekoituspataan. Betoni kauhottiin muotiniirrotusaineella käsiteltyihin muotteihin tiivistäen puukapulalla ja tärypöydällä. Tiivistyksen jälkeen kappaleiden pinnat tasattiin ja hierrettiin tasoituslastalla. Muotit merkattiin ja siirrettiin muovin alle lujittumaan.

5.5 Kappaleiden testaaminen

Muotit käytiin purkamassa noin vuorokauden kuluttua valusta ja koekappaleet siirrettiin vesialtaaseen lujittumaan (kuva 11). Ennen puristamista koekappaleiden nurkista hiottiin valupurseet. Kappaleet punnittiin ja mitattiin tiheyden ja kuutiolujuuden laskentaa varten. Tiheydet laskettiin jakamalla kappaleen paino sen tilavuudella. Koekappaleet puristettiin lujuuden selvittämiseksi kolmen, seitsemän, 14 sekä 28 vuorokauden ikäisinä. Puristuslujuus laskettiin jakamalla kappaleen korkein puristusvoima sen puristuspinnan pinta-alalla. Särmältään 100 mm:n koekuutioilla saadut tulokset muutettiin vastaamaan 150 mm:n kuutiolujutta jakamalla jokainen tulos luvulla 1,03. (SFS 7022. 2015.)

Koekappaleiden puristuslujuuksista laskettiin suunniteltuun 6 %:n ilmamäärään vaadittavan lisäilman perusteella teoreettiset arvot. Huokoisuus laskee puristuslujuutta n. 5 % yhden ilmamääräprosentin lisäyksestä. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 2005, 67.)



KUVA 11. Koekappaleita vesialtaassa

6 KOETULOKSET

6.1 Ilmamäärä ja tiheys

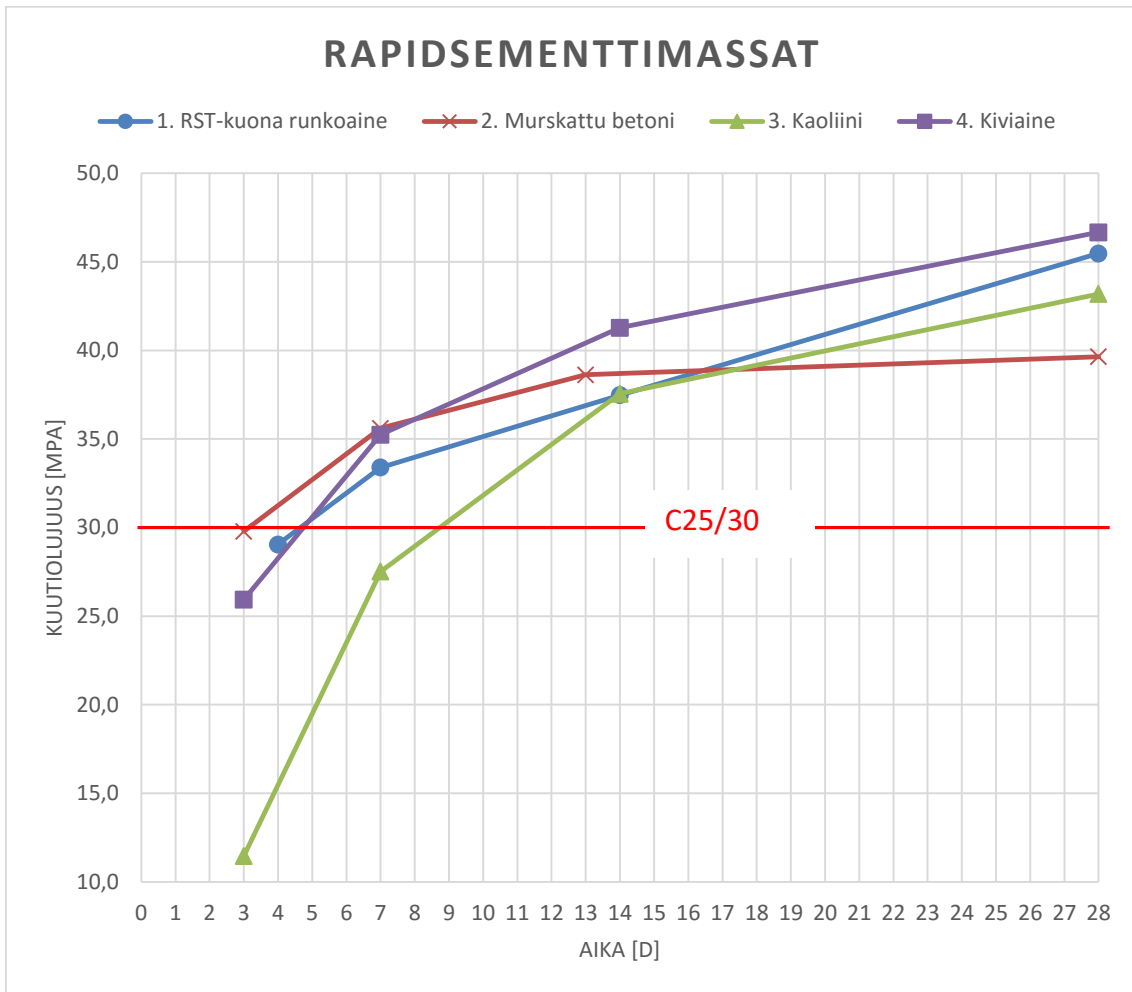
Laboratoriossa tehtyjen ilmamäärämittausten ja tiheyden määrittysten tulokset vaihtelivat huomattavasti massojen välillä (taulukko 3). Yksittäisten lujittuneiden koekappaleiden tiheydet ovat taulukoituina liitteessä 1.

TAULUKKO 3. Koemassojen ilmamäärät ja tiheydet

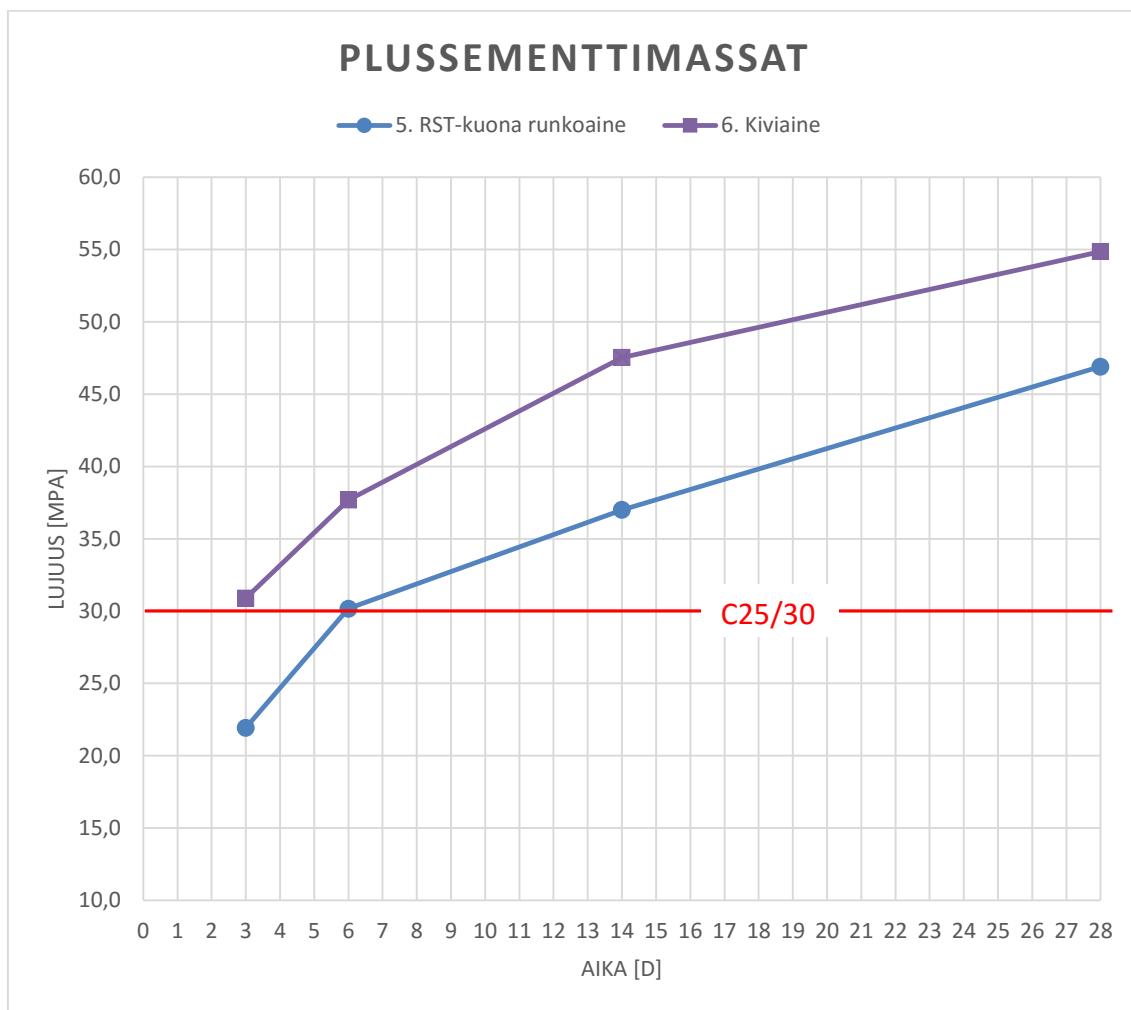
Massa	1. RST-kuona runkoaines	2. Murskattu betoni	3. Kao-liini	4. Ki-viaines	5. Plusse-mentti, rst-kuona	6. Plusse-mentti, kivi-aine
Ilmamäärä [%]	4,2	4,5	3,6	4,6	5,5	3,4
Massan tiheys [kg/m ³]	2463	2354	2460	2332	2439	2388

6.2 Lujuus

Rapid- ja Plussementtikappaleet esitettiin selvyyden vuoksi eri kaavioissa (kuva 12; kuva 13). Puristuslujuuskuvaajissa käytettiin ilmamäärän mukaan alennettuja arvoja. Koekappaleiden puristusvoimat ja tiedot ovat taulukoituina liitteessä 1.



KUVA 12. Koemassoista 1-4 valettujen kappaleiden lujuuksia ajan funktiona



KUVA 13. Koemassoista 5 ja 6 valettujen kappaleiden lujuuksia ajan funktiona

Korkeimmat lujuudet saavutettiin kiviainemassoilla. Rapidsementillä lujitetut RST-kuonamassat olivat kiviainekoekappaleita noin 10 % heikompia. Plussementtikoekappaleiden loppulujuudet olivat hieman vastaavia Rapidsementtikappaleita korkeammat. Kaikki massat täyttivät suunnittelulujuuden C25 viimeistään 14 vuorokauden puristuslujuuskokeissa.

6.3 Notkeus

Painumakokeita ei tehty, koska pystyttiin silmämääräisesti arvioimaan että massoissa ei olisi tapahtunut ollenkaan painumaa. Massat olivat notkeudeltaan hyvin jäykän ja maakostean välillä. Notkeusluokaksi arvioitiin V2 tai V1.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää maabetonin soveltuvuutta teollisuusalueen päällysteeseen. Reseptejä testattiin edullisen ja kestäväen rakenteen mahdollistamiseksi. Betonin koeresepteistä kaikki täyttivät niille asetetut lujuusvaatimukset. Ilmamäärä jäi koekappaleissa käytetyissä massoissa hieman tavoitteesta. Ilmamäärää voidaan nostaa lisäämällä reseptin huokostavan lisäaineen määrää. Kappaleiden pakkasenkestävyyttä ei tässä opinnäytetyössä testattu, mutta ilmamäärän perusteella sen voidaan olettaa olleen suunniteltua huonompi. Riittävää ilmamäärää simuloivat, alennetut lujuusarvot olivat selvästi suunnittelulujuuksia korkeammat. Tuloksia tarkastellessa täytyy kuitenkin muistaa että, yhden koekappaleen perusteella ei voi tehdä kovin varmoja yleistyksiä.

Puristuslujuuskokeiden perusteella voidaan sanoa, että jaloteräskuona sopii käytettäväksi betonin runkoaineena. Massoja sekoitettaessa kävi ilmi, että ruostumattoman teräksen kuonamateriaalien vedenimukyky oli huomattavasti kiviainesta korkeampi. Myös käytetyt lisäaineet käyttäytyivät eri tavoin side- ja runkoaineista riippuen. Samat määrät notkistinta ja huokostinta vaikuttivat heikommin kuonamassoihin kuin kiviaineeseen sekoitettuna. Lujuudenkehitys oli kiviainemassoilla hieman nopeampaa kuin kuonamassoilla. On todennäköistä, että lujuudenkehitys on 28 päivän kohdalla vielä kesken.

Laboratoriossa sekoitettujen betonimassojen painuma oli nolla eli hyvin jäykkä. Mikäli päällystettä tiivistetään maabetonin tavoin jyräämällä, notkeuden tulee olla vielä tätä jäykempää, lähempänä notkeusluokkaa puristustärytettävä. Massojen käsittelyn ja tiivistämisen mahdollistamiseksi laboratoriossa vettä jouduttiin lisäämään enemmän kuin suhteituksessa suunniteltiin. Vesi-sideainesuhteen pitämiseksi oikeana notkeuteen täytyy vaikuttaa lisäaineilla.

Rapidsementin hinta on Plussementtiin verrattuna noin kaksinkertainen. Plussementtimassojen lujuudenkehitys oli luonnollisesti hieman hitaampaa, mutta lopulujuudet olivat hieman korkeammat. Puristuslujuuskokeiden perusteella resepteistä kustannustehokkain olisi resepti 5, jossa sideaineena toimii Plussementti ja runkoaineena RST-kuona.

Koekappaleet, joissa osa RST-kuonarunkoaineesta oli korvattu murskatulla betonilla, saavuttivat hyviä lujuuksia ensimmäisissä puristuskokeissa. 28 päivän puristuslujuusarvo jäi kuitenkin n. 6 MPa kuonakappaleen lujuudesta. Kappaleissa käytetty betonimurske on saattanut olla suunnittelulujuutta heikompaa. RST-kuonakappaleiden parempi lujuus johtuu luultavasti kuonan sementtimäisistä ominaisuuksista. Murskattu betoni ei parantanut mitattuja ominaisuuksia, joten sitä ei näiden tutkimusten perusteella kannata käyttää. Betonin kuljettamisesta ja murskaamisesta aiheutuisi turhia kustannuksia.

Metakaoliinikappaleiden lujuudenkehitys poikkesi selkeästi muista. Lujittuminen alkoi hitaasti, mutta oli kolmen ja 14:n päivän välillä koereseptien nopeinta. Poikkeava lujuuskuvaaja saattaa johtua metakaoliinin tiivistävästä vaikutuksesta ja massan verrattain pienestä ilmamäärästä. Sementistä korvattiin metakaoliinilla puolet. Reseptin metakaoliini osuutta pienentämällä olisi aineesta luultavasti saatu suurempi hyöty. Koska metakaoliini lujittuu sementin reagoiessa syntyvän kalsiumhydroksidin avulla, on sideaineiden suhde tärkeä onnistuneen betonimassan kannalta. Aikaisemmissa tutkimuksissa on arvioitu, että metakaoliinin optimiosuus sideainemäärästä olisi noin 15 - 20 %. Metakaoliinin hinnasta oli vaikea löytää tietoa, mutta taustatutkimuksen perusteella se on sementtiä selvästi kalliimpaa.

Yksi koerakenteen haasteista on halkeilun hallinta. Halkeilun kannalta merkittävimpiä tekijöitä ovat saumat, raudoitus sekä laatan ja alustan välinen kitka. Saumallisen koealueen betonikerroksen alle täytyy rakentaa kitkaa vähentävä kerros esimerkiksi hiekasta. Kutistumissaumat ovat liikennekuormitetun lattian heikoin kohta. Suurella saumattomalla alueella kitka alustan ja laatan välillä on eduksi. Saumaton lattia on mahdollista toteuttaa myös tartunnattomilla jänneteräksillä jännitettynä.

Raudoituksen käyttöä betonirakenteessa ei laboratoriossa tutkittu. Koealueeseen kannattaisi mahdollisesti rakentaa raudoitettu ja raudoittamaton osa. Kuitubetonin käyttöä kannattaa mielestäni myöskin harkita.

Työmaalla betonin koostumusta ja ominaisuuksia on vaikeampi hallita kuin laboratoriossa. Suhteituksen toteutumista betonimassassa täytyy valvoa rakennusvaiheessa. Käytetyn betonin todellinen lujuus voidaan todeta rakenteesta poratun koekappaleen puristuslujuuskokeella.

Rakennekerroksia tai niiden paksuutta ei pystytä suunnittelemaan ilman rakennettavan alueen pohjatutkimusta. Mahdollisimman painumaton pohja on maanvaraisen lattian kannalta tärkeä. Voidaan arvioida, että betonikerroksen riittävä minimipaksuus olisi 150 mm.

Pintakerroksen suurin haaste on hyvän tiiveyden saavuttaminen. Kulutus- ja iskunkestävyyden parantamiseksi pintakerros täytyy tiivistää riittävällä ja oikea-aikaisella hierrolla sekä jälkihoidolla.

Tutkimuksen perusteella käyttökelpoisimpia ovat, paremmuusjärjestyksessä, reseptit 1, 5 ja 3. Lisäselvitystä vaatii ainakin maabetonin pakkas- ja kulutuskestävyys. Betonin säilyvyyttä testataan tämän opinnäytetyön tietojen pohjalta koerakenteessa.

LÄHTEET

Ahola, Antti – Puominen, Mikko 2010. Metakaoliinin käyttö betonissa sementin korvaajana yhdessä lentotuhkajalosteiden kanssa. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu.

Betonilattiat 2014 by 45. 2014. Suomen Betoniyhdistys r.y. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Betonin lujuus. 2016. Finnsementti Oy. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppi-aalle/betonin-lujuus>. Hakupäivä 14.5.2016.

Betoninormit 2012 by 50. 2012. Suomen Betoniyhdistys r.y. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Betonirakenteen käyttöikäsuunnittelu 2007 by 51. 2007. Suomen Betoniyhdistys r.y. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 2005. Suomen Betoniyhdistys r.y. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Hartikainen, Olli-Pekka 2000. Maarakennustekniikka. Helsinki: Otatieto Oy.

Ilma-Parmix tuote-esite. 2016. Finnsementti. Saatavissa: http://www.finnsementti.fi/fsproductdb/files/test/ilma-parmix_1_27042016_111300.pdf. Hakupäivä 10.5.2016.

Jaara, Mika 1992. Maabetoni ja vaahdotumistabilointi paikallasekoitusmenetelmällä. Insinööritö. Oulu: Oulun teknillinen oppilaitos, Rakennusosasto.

Kallio, Vesa 2016. Lehtori, Oulun ammattikorkeakoulu. Keskustelu 11.5.2016.

Kariniemi, Jarkko 1999. Sementtistabilointi paikallasekoitusmenetelmällä. Insinööritö. Oulu: Oulun teknillinen oppilaitos, Rakennusosasto.

Katu 2002 Katusuunnittelun ja –rakentamisen ohjeet. 2003. Suomen kuntatekniikan yhdistys. Jyväskylä: Suomen kuntatekniikan yhdistys.

Koivukangas, Pasi 1997. Sementtistabilointi. Teknikkotyö. Oulu: Oulun teknillinen oppilaitos, Rakennusosasto.

Masuunikuona KJ400. 2016. Finnsementti Oy. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/tuotteet/seosaineet-ja-silikajauheet/masuunikuonajauhe-kj400>. Hakupäivä 20.04.2016.

Plussementti. 2016. Finnsementti Oy. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/tuotteet/sementit/plussementti>. Hakupäivä 28.04.2016.

Päällysrakenteen stabilointi. 2007. Tiehallinto. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100055-v-07paallysrakenteen_stabilointi.pdf. Hakupäivä 11.5.2016.

RIL 149-1995. 1995. Betonityöohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

Rapidsementti Parainen. 2016. Finnsementti Oy. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/tuotteet/sementit/rapidsementti>. Hakupäivä 20.4.2016.

SFS 7022. 2015. Betoni. Standardin SFS-EN 206:2014 käyttö Suomessa. Standardi. Helsinki: Rakennustuoteteollisuus RTT ry.

Sarkkinen, Minna 2016. Maabetonipäällysteen reseptiikka. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Kari Lahdenperä. 23.2.2016.

Tierakenteen suunnittelu. 2004. Tiehallinto. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf>. Hakupäivä 11.5.2016.

Kappale	Massa	Koetusikä [d]	Mitat: a, b, h	Paino [g]	Murtumisvoima [kN]	Tiheys [kg/m ³]	Puristuslujuus [MPa]	Puristuslujuus 150 mm kuutiolle [MPa]	Ilmämääräinen pakaskestävyys [%]	Pakaskestävyys teen tarvittava lisäilman määrä [%]	Pakaskestävän betonin teoreettinen 150 mm kuutiolujuus [MPa]
183	1	4	101,8 100,4 100,2	2550	336	2490	32,9	31,9	4,2	1,8	29,0
181	1	7	102,2 100,2 100,1	2568	387	2505	37,8	36,7	4,2	1,8	33,4
182	1	14	100,3 101,3 100,4	2565	431	2514	42,4	41,2	4,2	1,8	37,5
186	1	28	100,1 102,3 100,2	2569	527	2503,7	51,5	50,0	4,2	1,8	45,5
187	2	3	101,2 100,4 100,3	2436	337	2390	33,2	32,2	4,5	1,5	29,8
188	2	7	100,2 101,2 100,1	2429	402	2393	39,6	38,5	4,5	1,5	35,6
189	2	13	101,3 100,3 100,2	2437	437	2394	43,0	41,8	4,5	1,5	38,6
190	2	28	101,7 100 100	2435	449	2394	44,1494592	42,9	4,5	1,5	39,6
140	3	3	100,2 100,4 100,3	2554	135	2531	13,4	13,0	3,6	2,4	11,5
141	3	7	100,7 100,2 100,2	2556	325	2528	32,2	31,3	3,6	2,4	27,5
142	3	14	100,6 100,4 100,2	2548	444	2518	44,0	42,7	3,6	2,4	37,6
143	3	28	100,6 100,5 100,4	2565	511	2526,9	50,5	49,1	3,6	2,4	43,2
144	4	3	100,2 101,8 100,1	2420	293	2370	28,7	27,9	4,6	1,4	25,9
145	4	7	101,8 100,4 100,5	2443	399	2378	39,0	37,9	4,6	1,4	35,2
148	4	14	101,6 100,1 100,0	2414	465	2374	45,7	44,4	4,6	1,4	41,3
149	4	28	101,1 100,1 100,4	2419	523	2380,8	51,7	50,2	4,6	1,4	46,7
134	5	3	101,0 100,0 100,2	2517	234	2487	23,2	22,5	5,5	0,5	21,9
137	5	6	100,3 100,4 100,2	2527	321	2504	31,9	30,9	5,5	0,5	30,2
138	5	14	100,5 100,8 100,2	2541	396	2503	39,1	38,0	5,5	0,5	37,0
139	5	28	101,3 100,4 100,4	2555	504	2502,2	49,6	48,1	5,5	0,5	46,9
150	6	3	100,2 101,5 100,2	2470	372	2424	36,6	35,5	3,4	2,6	30,9
151	6	6	100,1 101,0 100,2	2442	451	2411	44,6	43,3	3,4	2,6	37,7
157	6	14	100,3 100,3 100,2	2450	566	2431	56,3	54,6	3,4	2,6	47,5
158	6	28	100,7 100,6 100,5	2471	658	2427,1	65,0	63,1	3,4	2,6	54,9

Laji	Filleri	2/6	6/16
Seulan silmäkoko [mm]	Läpäisyarvo [%]	Läpäisyarvo [%]	Läpäisyarvo [%]
Pohja	0	0	0
0,125	78,4	2	0,4
0,25	98,9	2,6	0,5
0,5	99,5	3,2	0,6
1	99,9	4	0,7
2	100	7,1	0,7
4	100	22,8	1
8	100	99,8	27,8
16	100	100	95,7
32	100	100	100
63	100	100	100

Laji	Betonimurske	Kiviaines
Seulan silmäkoko [mm]	Läpäisyarvo [%]	Läpäisyarvo [%]
pohja	0,0	0,0
0,063	1,3	1,2
0,125	4,1	2,2
0,25	6,0	5,0
0,5	9,1	13,3
1	14,8	25,7
2	25,5	35,5
4	40,3	40,6
5,6	51,9	43,3
8	68,6	61,6
11,2	87,4	77,4
16	100,0	93,8
32	100,0	100,0
63	100,0	100,0