

KUONAPOHJAISEN MAABETONIRESEPTIIKAN KEHIT- TÄMINEN

Salmela Riikka

Opinnäytetyö
Kone- ja tuotantotekniikka
Kaivosmuuntokoulutus
Insinööri (AMK)

2017

Kone- tuotantotekniikka
Kaivosmuuntokoulutus
Insinööri (AMK)

Tekijä	Riikka Salmela	Vuosi	2017
Ohjaajat	DI Rauno Toppila DI Jukka Joutsenvaara FM Jouko Karinen		
Toimeksiantaja	Tapojärvi Oy/ Juha Koskinen		
Työn nimi	Kuonapohjaisen maabetonireseptiikan kehittäminen		
Sivumäärä	57		

Opinnäytetyön aiheena oli kehittää maabetoniresepti varastokenttien pohjakerrokseksi. Resepti koostuu ruostumattoman teräksen valmistuksessa syntyvästä kuonasta ja on lujuudeltaan sellainen, että se kestää suurien ajoneuvojen ja raskaan kaluston aiheuttamat rasitukset.

Reseptivaihtoehtoja oli seitsemän erilaista ja niissä vertailtiin muun muassa sementin, kuonapitoisuuden ja veden määrää. Resepteistä tehtiin koekappaleet, joille tehtiin puristuskoee ICT-laitteella. Tavoitteena oli kehittää resepti, jonka runkoaineena käytettiin mahdollisimman paljon kuonapohjaisia aineita ja jonka puristuslujuus ylsi 10 MPa:iin.

Työn tuloksena saatiin kehitettyä kuonapohjainen pohjakerroksen maabetoniresepti. Lisäksi työssä laskettiin koerakenteen kustannukset kahdella eri vaihtoehdolla. Vaihtoehtoina oli tehdä koerakenne kahdesta eri tai koko rakennekerros samasta kuonapohjaisesta maabetonireseptistä. Näistä vaihtoehdoista huomattiin, että edullisin vaihtoehto rakennekerrokseen koostuisi pelkästään pohjakerroksen maabetonireseptistä seitsemän.

Avainsanat

kuonapohjainen maabetoni, teräskuona

Mechanical and Production Engineering
Mining Conversion
Bachelor of Engineering

Author	Riikka Salmela	Year	2017
Supervisor	Rauno Toppila, MSc (Tech) Jukka Joutsenvaara, MSc (Tech) Jouko Karinen, MSc		
Commissioned by	Tapojärvi Oy / Juha Koskinen		
Subject of thesis	Development of slag-based concrete recipe		
Number of pages	57		

The subject of this thesis was to develop a recipe to storage field bed layers. The recipe consists of the slag produced in the manufacture of stainless steel, a strength such that it can withstand the stresses caused by large vehicles and heavy equipment.

The recipe options were seven different, comparing the amount of cement, slag content and water. The recipes were specimens and the compression tests carried out by on ICT device. The objective was to develop a recipe, using as much slag-based material as possible in the frame material and the compressive strength reaches 10 MPa.

As the results a slag-based floor concrete recipe was developed. In addition, the test structure costs were calculated in two versions The options were to make a test structure two different slag-based recipe or the entire structure from the same layer of slag-based recipe. From these alternatives, it was found out that the most advantageous option for the structural layer composed of only the ground floor recipe seven.

Key words slag- based concrete, steel slag

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	MAABETONI.....	10
2.1	Stabilointimenetelmät.....	13
2.2	Sääolosuhteet.....	15
2.3	Teräskuonat.....	17
2.4	Terässulatto.....	17
3	LABORATORIOKOKKEET.....	20
3.1	Käytetyt aineet.....	20
3.1.1	Sementti.....	20
3.1.2	RST-kuona.....	21
3.1.3	Masuunikuonajauhe.....	22
3.2	Reseptit.....	23
3.2.1	Työvaiheet.....	24
3.2.2	ICT- Laite.....	25
3.2.3	Resepti 1.....	27
3.2.4	Resepti 2.....	28
3.2.5	Resepti 3.....	29
3.2.6	Resepti 4.....	30
3.2.7	Resepti 5.....	31
3.2.8	Resepti 6.....	33
3.2.9	Resepti 7.....	34
3.2.10	Testaukset.....	35
4	RESEPTIEN KUSTANNUKSET.....	37
4.1	Pohjakerros.....	37
4.2	Kulutuserros.....	42
4.3	Koealue.....	44
4.4	Koerakenteiden vaihtoehdot.....	45
5	KOEKOHTIEN TOTEUTUSSUUNNITELMA.....	48
5.1	Maaperätutkimukset.....	48
5.2	Maanvahvistaminen.....	48
5.3	Pohjakerroksen levitys.....	49

5.4	Pintakerros.....	49
5.5	Kulutuskerroksen levitys	49
5.6	Viimeistely.....	50
5.7	Seuranta	50
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	52
7	POHDINTA	54
	LÄHTEET.....	56

ALKUSANAT

Kiitokset Tapojärvi Oy:lle haastavasta, mutta mielenkiintoisesta lopputyöaiheesta!

Suuret kiitokset Oulun AMK:n Vesa Kalliolle avustamisessa aiheen kanssa sekä Betonilaboratorion Hannu Kääriäiselle ja Heikki Isohookanalle avusta reseptien laadinnassa. Kiitokset myös KAMK:n Minna Sarkkiselle avusta.

Kiitokset kuuluvat myös kotijoukoille - puolisolteni Jarmolle ja pojalleni Joonalle, kannustuksista opintojeni loppuun saattamiseksi.

Kemissä 20.1.2017

Riikka Salmela

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Filleri	Hienojakoinen ruostumattoman teräksen kuona 0/1mm
RST-kuona	Ruostumattoman teräksen kuona
VKU-kuona	Valokaariuunin kuona

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksianto tuli Tapojärvi Oy:ltä ja tehtävänä on kehittää kuonapohjainen maabetoniresepti, jota voitaisiin hyödyntää muun muassa varastokenttien pohjien pohjakerroksena. Varastokentän pohja tulee koostumaan kahdesta päällekkäisestä kuonapohjaisesta maabetonikerroksesta. Tässä työssä kehitetään resepti alemman kerroksen maabetoniin, pohjakerrokseen. Kulutuskerroksen kuonapohjainen maabetoniresepti on kehitetty keväällä 2016 Oulun ammattikorkeakoulussa lopputyönä.

Kulutuskerroksena tarkoitetaan kerrosta, joka on ylin sää- ja kulutusrasituksille altistuvana oleva kerros. Pohjakerroksena pidetään taas kerrosta, joka tulee suoraan kulutuskerroksen alle. (Suomen Betoniyhdistys 2011.)

Työn tavoitteena on kehittää kuonankäsittelyyn ja muillekin tehdasalueille soveltuvaa kovaa maapohjaa, jossa hyödynnetään mahdollisimman paljon toimeksiantajalla olemassa olevaa ruostumattoman teräksen valmistuksessa syntyvää kuona-ainetta. Reseptin tulee olla myös kustannustehokas. Reseptien kehityksen lisäksi työssä vertaillaan kahta eri vaihtoehtoa maapohjan toteutukseen. Ensimmäinen vaihtoehto on, että pohjakerros ja kulutuskerros valmistetaan eristä kuonapohjaisesta betonista. Pohjakerroksena käytetään tässä työssä kehitettyä maabetonireseptiä ja kulutuskerroksena aiemmin Oulussa kehitettyä reseptiä. Toinen vaihtoehto taas on, että molemmat rakennekerrokset, sekä pohja- että kulutuskerros, valmistetaan samasta kuonapohjaisesta maabetonireseptistä.

Näiden tutkimus- ja koetulosten sekä aiempien kuonatutkimusten perusteella voidaan Tapojärvi Oy:n materiaalinkäsittelyalueelle toteuttaa koerakenne, jossa maata vahvistavat rakennekerrokset tehdään kuonapohjaisella maabetonilla.

Tapojärvi Oy:n materiaalinkäsittelyalue sijaitsee Torniossa, Outokummun terästehtaan alueella. Tapojärvi Oy on kaivosurakointiin, materiaalinkäsittelyyn sekä tehdas- ja teollisuusprosessien hoitoon erikoistunut yritys. Yritys työllistää noin 450 työntekijää ja toimialueena on koko Suomi sekä Pohjoismaat. Yrityksen

suurimmat työmaat sijaitsevat tällä hetkellä Kemissä, Raahessa, Torniossa, Polvijärvellä, Kittilässä ja Ilomantsissa. Tapojärvi Oy:n kehittämiä palveluita ovat muun muassa terästeollisuuden sivutuotteiden tuotteistaminen: esimerkiksi terästeollisuudessa syntyvistä kuonista voidaan jatkojalostaa kiviainesta teiden ja infrastruktuurin rakentamiseen. (Tapojärvi Oy 2016.)

Kaivoksille yritys tarjoaa monenlaista osaamista. Nykyään yritys toimii monilla kaivoksilla kiinteänä osana tuotantoa malmien ja sivukiven lastaus- ja kuljetustyössä. Kaivostoimintaan kuuluu edellä mainittujen lisäksi myös louhosten täyttötöyt, maanalaisten teiden rakentaminen ja kunnossapito, rusnaustyöt, kaivosten varustelutyöt, maanpoistot ja padonrakennusurakoinnit sekä louhintatyöt. (Tapojärvi Oy 2016.)

2 MAABETONI

Maabetonointi eli stabilointi on maakerroksen kovettamista runkoaineen ja sideaineen avulla. Siinä edullisen ja heikkolaatuisen maa-aineksen ominaisuuksia muutetaan sideaineiden vaikutuksella niin, että materiaali täyttää pohjarakenteen vaatimukset kantavuuden ja routimattomuuden osalta. (Suomen Betoniyhdistys 2011.)

Maabetonoinnin kehittäjäksi voidaan kutsua englantilaista insinööriä Brooke-Bradleytä. Hän kokeili ensimmäisenä yhdistää maata ja sementtiä rakenteelliseksi koostumukseksi vuonna 1917. Tästä kehittyi menetelmä, jota nykyään kutsutaan stabiloinniksi tai lujittamiseksi. Esimerkiksi savi koostuu hienoaineksesta ja kestää kuivana suuriakin rasituksia, mutta kastuessaan sen leikkauslujuus lähestyy nolaa. Karkearakeinen maa-aines taas sietää hyvin kosteusvaihteluita, koska se läpäisee vettä maan kantokyvyn siitä kärsimättä. Jos taas maa esimerkiksi haihtumisen seurauksena kuivuu liikaa, niin sen kiinnevoima häviää osittain – kuormituksen alaisena se jauhautuu ja maan kantokyky vähenee. Kosteussuhteiden samoin kuin lämpötilojen pitäminen kullekin maaperälle sopivana tuottaa vaikeuksia. Tämän vuoksi kehitettiin menetelmä, jonka tarkoituksena on saada maaperä pysyvästi sellaiseen tilaan, jossa sen kantokyky, pakkaskestä ja vedenkestä ovat mahdollisimman suuret. (Markkanen 1970, 6.)

Lujittaminen voidaan mahdollistaa erilaisten sideaineiden avulla. Sementti ja kalkki ovat tärkeimpiä sideaineita. Niitä voidaan käyttää joko erikseen tai yhdessä riippuen maaperän koostumuksesta. Yleisesti voidaan sanoa, että mikäli maaperä on hienojakoista ja sen läpäisyprosentti #0,06 mm:n seulalla on yli 35 tai suurempi, käytetään kalkkia, muulloin sementtiä. (Markkanen 1970, 6.)

Maabetonoinnin onnistuminen riippuu riittävästä laboratoriokokeista ja analysoinnista sekä työtaidosta, materiaalin valinnasta ja rakenteellisten yksityiskohtien huomioimisesta. Merkittävimmät tekijät lujittamisessa ovat oikea kosteuspitoisuus, oikea sideainepitoisuus sekä rakenteen riittävä tiivistäminen. Nämä kaikki vaikuttavat lujuuteen ja kestävyYTEEN ja ovat myös toisistaan riippuvaisia. (Markkanen 1970, 6.)

Maabetonin käyttö on betonipäälysteistä yleisintä Suomessa. Täällä on paljon pehmeitä maa-alueita, joiden hyödyntäminen on heikkoa. Näille alueille rakennettaessa on maata jouduttu vahvistamaan ja tekemään maanvaihtotöitä. Maanvaihdot voidaan korvata stabiloinnilla. Tällä tavoin säästetään arvokkaampia ja uusiutumattomia luonnonvaroja. Maabetonin valmistusmäärä vuosittain on noin 2 000 000 m². (Suomen Betoniyhdistys 2011, 541.)

Runkoaineena maabetonoinnissa käytetään usein paikallista maa-ainesta, murskattua moreenia tai kalliomurskettä, jota ei voida käyttää kulutuskerrokseen. (Suomen Betoniyhdistys 2011, 541)

Maabetonia käytetään teiden peruskorjauksiin, uudisrakenteissa vahvistamaan tien kantavuutta ja samalla myös parantamaan asfalttikerroksen muodonmuutoksia. Maabetoni soveltuu käytettäväksi myös varastojen ja suurien hallien lattioiden päällystämiseen sekä raskaasti kuormitetuilla teollisuus- ja satamakentillä. Maabetonointia voidaan käyttää myös piha-alueiden, maanteiden, metsäteiden, kävelyväylien ja lastauspaikkojen vahvistamiseen. (Suomen Betoniyhdistys 2011, 541–542.)

Stabiloinnin sideainemäärä riippuu runkoaineena käytettävien materiaalien ominaisuuksista sekä käytettävän betonin lujuudesta. Tyypillinen maabetonin puristuslujuustavoite seitsemän vuorokauden iässä on noin 5-7 MPa. Tavoitteena on, että puristuslujuus ei 28 vuorokauden jälkeen nousisi yli 12 MPa:iin. Puristuslujuuden kasvaessa myös sen vetolujuus kasvaa, minkä seurauksena myös halkeamaleveys ja -väli kasvavat. Liian leveät halkeamat maabetonikerroksessa voivat aiheuttaa myös kulutuskerroksen halkeilua. Kulutuskerroksen alla ei yllijuudella ole merkitystä. (Suomen Betoniyhdistys 2011, 541.)

Tierakenteessa maabetonikerroksen paksuus on yleensä 150–180 mm. Raskaasti kuormitetuilla varastokentillä maabetonikerroksen paksuus voi kohota jopa 400 mm:iin. Maabetonikerros voidaan valmistaa yhtenä laattana. Mikäli rakenne raudoitetaan, levitetään massa kahtena kerroksena. Tällöin raudoitukset asennetaan kerrosten väliin. Mikäli lopullisen rakennekerroksen paksuus on

yli 250 mm, täytyy myös tiivistäminen tehdä kahdessa erässä. (Suomen Betoniyhdistys 2011, 541.)

Betonimassa voidaan valmistaa joko asema- tai paikallasekoitusmenetelmällä. Asemasekoitusmenetelmä tarkoittaa, että kaikki tarvittavat raaka-aineet sekoitetaan riittävän suuritehoisessa työmaa-asetmassa valmiiksi massaksi, joka kuljetetaan levityspaikalle. Massa tiivistetään levityksen jälkeen esimerkiksi kauha-kuormaajan kauhalla tai asfaltinlevittimellä. Lopuksi kerros tiivistetään jyräämällä. (Suomen Betoniyhdistys 2011, 541–542.)

Asemasekoitusmenetelmää käytetään pääasiassa uusien teiden rakentamisessa ja rakenteiden parantamisen yhteydessä silloin kun stabiloitava rakennekerros koostuu enimmäkseen uudesta kohteeseen lisättävästä materiaalista. Asemasekoituksessa ominaista on, että tavalla voidaan valmistaa kaikkia stabilointimassoja, aineosien (kiviaines, asfalttirouhe, sideaine) annostelu on tarkkaa, massa on homogeeninen ja tasalaatuinen ja kerros voidaan rakentaa haluttuun paksuuteen. Haittana taas voidaan sanoa, että asemasekoitus on usein kalliimpi menetelmä kuin paikallasekoitusmenetelmä. Mikäli halutaan käyttää vanhoja rakennekerroksia hyödyksi, vaatii se niiden kuljettamista asemalle ja vielä takaisin kohteeseen. (Tiehallinto 2007,16.)

Paikallasekoitusmenetelmässä raaka-aineet levitetään ja muotoillaan kerroksittain suoraan sijoituspaikkaan. Sementtiä levitetään maa-alueen pinnalle. Sitä käytetään 5-10 % käsiteltävän maakerroksen painosta. Maa jyrksitään määräsyyvyyteen, jolloin sementti sekoittuu maa-aineksen kanssa. Jyrksitty kerros kastellaan. Kastelun jälkeen kerros tiivistetään ensin jyrällä ja sen jälkeen vielä useita kertoja täryjyrällä. Lujitettu kerros on vielä päällystettävä esimerkiksi asfaltilla. (Suomen Betoniyhdistys 2011, 542.)

Paikallasekoitusmenetelmä soveltuu vanhojen tai kevyesti rakennettujen teiden parantamiseen silloin kun rakenteen parantamiseen tarvittavat kiviainekset ovat kaukana saatavilla. Menetelmä soveltuu myös uudisrakentamiseen, tällöin stabiloitava materiaali levitetään ja tiivistetään rakenteeseen ennen stabilointia. Ominaista paikallasekoitukselle on vanhojen rakennekerrosten ja päällysteiden

hyötykäyttö. Siinä stabiloitavaksi käy lujuudeltaan ja muodoltaan myös huonompi kiviaines, lisäkiviainesten kuljetustarve on vähäinen, työnsuoritus on nopeaa eikä työhön tarvita ympäristölupaa. Haittana tästä voidaan mainita, ettei sideaineen ja kiviaineksen sekoittuminen ja massan koostumus ole yhtä tasa-laatuista kuin asemasekoitusmenetelmässä. (Tiehallinto 2007, 13.)

Molemmissa tavoissa massan tiivistämiseen tarvitaan jyrää. Yleensä vaadittu tiiveysaste saavutetaan noin viidellä yliajokerralla. Näistä ensimmäinen ja viimeinen kerta tapahtuu ilman täryä, ja muut täryn kanssa. Maabetonin tiiveys vaikuttaa lujuuteen ja näitä tiivistyvyysominaisuuksia voidaan säätää kosteus- ja hienoainespitoisuuksilla. (Suomen Betoniyhdistys 2011, 542.)

Maabetoni itsessään ei kestä toistuvia sääräsitouksia, minkä vuoksi se tulee aina päällystää vettä läpäisemättömällä kerroksella, joko betonilla tai asfaltilla. Yleensä maabetonikerros jätetään yhtenäiseksi laataksi. Sen voi myös leikata tuoreena määrämittäisiin osioihin. Mikäli kulutuskerrokseksi tulee raudoittamaton betonipäällyste, voidaan maabetonipohjakerrokseen tehdä kulutuskerroksen mukaisesti halkeama-aihiot, joihin kutistumat keskittyvät. Jos kulutuskerrokseksi valitaan asfaltti, ei maabetonia leikata. Maabetoni voidaan päällystää asfaltilla välittömästi. (Suomen Betoniyhdistys 2011, 543.)

Ympäristön kannalta stabilointi on paras vaihtoehto esimerkiksi tierakenteen parantamisessa, koska siinä vanha tierakenne kierrätetään lähes kokonaan ja uutta materiaalia tarvitaan vain vähän. Ympäristöystävällisyyttä lisää myös se, että usein lisättävä materiaali voi olla teollisuuden sivutuotetta. (Tiehallinto 2007, 11.)

2.1 Stabilointimenetelmät

Stabilointimenetelmät voidaan jakaa käytettävän sideaineen mukaan sementti-, bitumi-, komposiitti- ja masuunihiekkastabilointiin. Valittava lujitusmenetelmä ja käytettävä aine riippuvat käytettävästä materiaalista ja siitä, millainen lopputulos halutaan. Yleisperiaatteena voidaan sanoa, että kitkamaalajit, eli karkearakeiset

maalajit, joita ovat muun muassa hiekka, sora ja kivet, lujitetaan sementillä ja koheesiomaat eli hienorakeiset maalajit, joita ovat muun muassa savi ja siltti, lujitetaan kalkilla. (Markkanen 1970, 8; Ronkainen 2012, 10)

Suomessa sementillä sidotusta rakennekerroksesta käytetään tavallisesti nimitystä maabetoni. Sementtistabilointi soveltuu parhaiten uusien liikennealueiden rakennekerrosten vahvistamiseen. Se muodostaa puolijäykän ja kantavan pohjan kulutus- tai pintakerrokselle. Sideaineena käytetään normaalisti perussementtiä. Sementtistabilointi on perinteisiin rakentamistapoihin verrattuna kustannuksiltaan edullinen. (Tiehallinto 2007; Lemminkäinen Stabilointi 2017, 2)

Sementtilujittamista käytetään eniten kantavan kerroksen rakentamisessa. Vanhojen teiden kunnossapidossa sementillä lujitettua kerrosta voidaan käyttää ainoana kantavan kerroksen osassa. Kerrospaksuudet riippuvat pohjamaan kantavuudesta, yleisesti ne vaihtelevat 150 – 250 mm:n välillä. Alle 150 mm ohuempia kerroksia tulee välttää, koska kerrospaksuudet voivat työmenetelmästä johtuen vaihdella suunnitellusta paksuudesta. (Markkanen 1970, 12)

Bitumistabilointi on vanhojen teiden kuormituskestävyyden ja liikennöitävyyden parantamismenetelmä. Bitumi soveltuu erinomaisesti vanhojen liikennealueiden parantamiseen. Uusilla teillä voidaan käyttää kovempia bitumilaatuja. Sideaineena käytetään vaahdotettua bitumia tai bitumiemulsiota stabiloitavasta materiaalista riippuen. Bitumistabiloitu pinta on hyvä ajoneuvoja ajatellen – tasainen ja liikennöitävyydeltään erinomainen. Veden ja roudan kestävyudet paranevat huomattavasti, kun kapillaarivesi ei pääse kulkeutumaan rakenteisiin. (Lemminkäinen 2017, 3)

Bitumistabilointi soveltuu siis käytettäväksi silloin, kun rakenteelle halutaan lisää kuormituskestävyyttä, halutaan parantaa routakestävyyttä ja halutaan nopeasti valmis kohde. Bitumistabiloidulla pinnalla voidaan liikennöidä heti stabiloinnin päätyttyä. (Tiehallinto 2007.)

Komposiittistabiloinnissa käytetään useampaa sideainetta samanaikaisesti, jolloin saadaan yhdistettyä pehmeän sideaineen, yleensä bitumin, joustavuus ja

kestävyys sekä hydraulisen sideaineen, yleensä sementin, jäykkyys parhaan mahdollisen kuormituskestävyyden ja lujuuden saavuttamiseksi. Komposiittistabilointi soveltuu käytettäväksi kaikkiin stabiloitaviin kohteisiin erityisesti silloin, kun pinnan päällystystyö tehdään piakkoin stabiloinnin jälkeen, koska komposiittistabiloinnilla saavutetaan nopeasti tarvittava alkulujuus (Lemminkäinen 2017, 3; Tiehallinto 2007)

Masuunihiekkastabiloinnissa sideaineena käytetään terästeollisuuden sivutuotetta masuunihiekkaa, jonka sitoutumisominaisuuksien myötä saadaan aikaan rakenne, joka muistuttaa sementtistabilointia. Sitoutumisreaktion nopeuttamiseksi voidaan aktivaattorina käyttää sementtiä (0,5 - 1,5 %). Masuunihiekan sitoutumisreaktio on hitaampi kuin sementillä, joten kerroksen työaika on pidempi sementtistabilointiin verrattuna. Masuunihiekkastabilointia käytetään sekä uudisrakennekohteissa että vanhan rakenteen vahvistamiseksi. Masuunihiekka stabilointi tehdään yleensä paikallasekoitusmenetelmällä. Masuunihiekkastabilointi soveltuu kohteisiin, joissa tarvitaan kantavuutta ja joissa esiintyy routanousuja. (Tiehallinto 2007, 18. Lemminkäinen 2017, 3)

Sementillä tai masuunihiekalla stabiloitu rakenne voi vaurioitua suolan ja veden yhteisvaikutuksesta. Näin ollen on tärkeää estää suolaveden pääsy rakennekerrokseen. (Tiehallinto 2007, 22)

2.2 Sääolosuhteet

Betonin lujuuden kehitykseen vaikuttaa sementtimäärän lisäksi betonin lämpötila. Lujuudenkehitys hidastuu, kun lämpötila laskee alle 0 °C:een. -10...-15 °C:ssa lujuudenkehitys lopulta pysähtyy kokonaan. (Suomen Betoniyhdistys 2011, 342)

Sääolosuhteet vaikuttavat betonirakentamiseen paljon. Varsinkin pakkasenkesto ja jäätyminen tulee ottaa huomioon, kun suunnitellaan rakentamista kylmällä ajanjaksolla. Betoniteknologian kannalta ajanjakso, jolloin vuorokauden keskilämpötila laskee alle +5 °C:n, on kylmää kautta. Kylmä kausi kestää Pohjois-

Suomessa jopa 8 kuukautta. Tällöin betonin kovettumisreaktiot hidastuvat, ja varsinkin mahdolliset yöpakkaset voivat aiheuttaa vaurioita vastavalettuihin rakenteisiin. Myös lumentulo haittaa tiettyjä työvaiheita. Lumen sulattamiseen runkoaineesta ja mahdollisista muoteista on varauduttava. Lumen vesiarvo eli sulatuksessa syntyvä vesimäärä on Pohjois-Suomessa jopa kaksinkertainen verrattuna Etelä-Suomeen. (Suomen Betoniyhdistys 2011, 342)

Kylmän ajan rakentamista suunniteltaessa on hyvä käyttää apuna erilaisia tilastoja. Paikalliset lämpötilat ja pakkas- ja lumimäärät voivat kuitenkin poiketa tilastotiedoista, koska Suomen säätila vaihtelee paljon vuosittain. Myös työmaiden sijainneilla on vaikutusta pakkaslukemiin, samoin meren rannikon etäisyys määrää sääolosuhteita. Talviolosuhteissa myös tuuli lisää lämmön siirtymistä ja edistää kosteuden haihtumista. Tämä vaikuttaa kovettuvan betonirakenteen suojauksen suunnitteluun. Säätietojen perusteella voidaan päättää esimerkiksi valujen ja raudoituksien yöllinen suojaustarve tai määritellä tarvittava lämmityskaluston määrä. (Suomen Betoniyhdistys 2011, 343.)

Vesi laajenee 9 % jäätyessään. Veden jäätyminen aiheuttaa siis betoniin sisäisiä rasituksia, jotka betonin tulisi kuitenkin kestää rikkoutumatta. Mikäli betonirakenne joutuu alttiiksi säänvaihteluille, täytyy betoni tehdä pakkasenkestävänä. Kovettuneelle betonille jäätyminen ei aiheuta vaaraa, mikäli betonin koostumus on oikea. Kovettuvan betonin lujuuden tulee ennen jäätymistä olla niin suuri, että se kestää myös veden jäätymisestä aiheutuvat rasitukset. (Suomen Betoniyhdistys 2011, 344)

Pakkasenkestävyys ja jäätymislujuus ovat kaksi eri asiaa. Pakkasenkestävyys tarkoittaa kovettuneen betonin kykyä säilyttää ominaisuutensa toistuvista jäätymisistä huolimatta, kun taas jäätymislujuus on raja, jonka alapuolella betoni jäätyessään vaurioituu pysyvästi. Betonin rakenne rikkoutuu veden jäätyessä ja laajetessa. Betonin loppulujuus jää vajaaksi ja muutkin ominaisuudet voivat kärsiä. Toistuva sulaminen ja jäätyminen tehostavat jäätyksen aiheuttamia vaurioita. Mikäli betoni pääsee jäätymään heti valun jälkeen, tarkoittaa se sitä, että betoni on vaurioitunut pysyvästi. Betonin jäätyessä siihen syntyy valelujuutta,

joka katoaa, kun jää sulaa. Valelujuus saattaa olla jopa 20 MN/m². (Suomen Betoniyhdistys 2011, 346.)

2.3 Teräskuonat

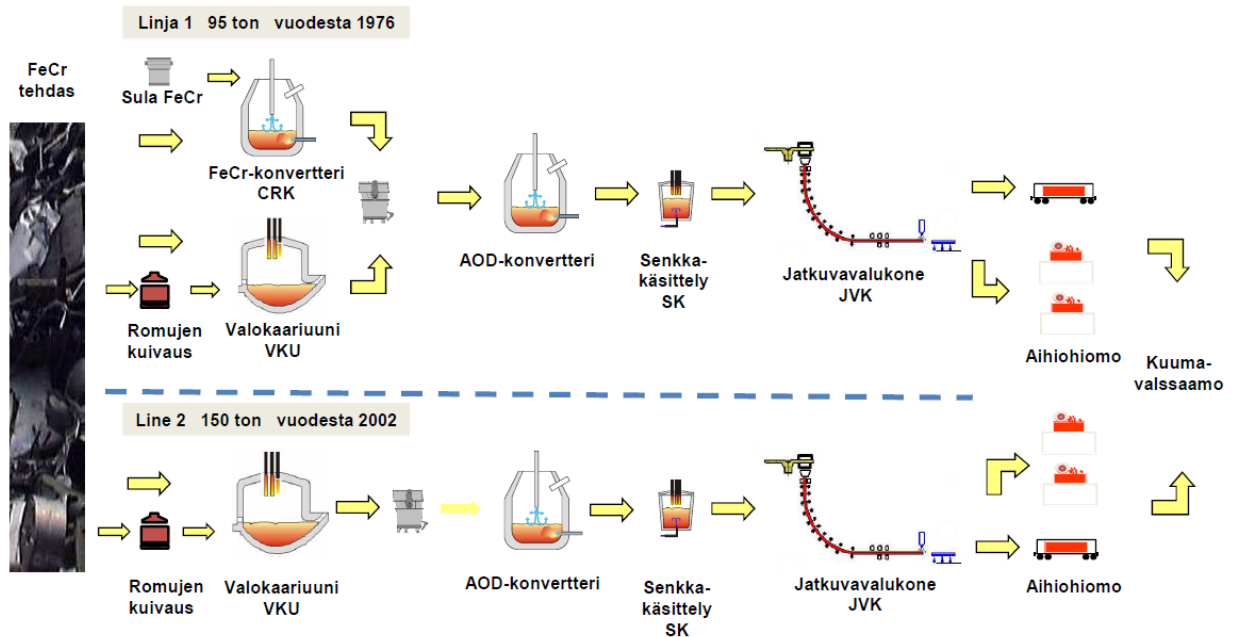
Teräskuonia käytetään sementtipohjaisissa betoneissa pääasiassa luonnon kiviaineksen korvaajina, sideaineena ja sementin komposiittimateriaalina. Sementtiin verrattuna teräskuonissa on korkeampi rautaoksidipitoisuus ja matalampi trikalsiumsilikaattipitoisuus, minkä seurauksena teräskuonan hydraulinen aktiivisuus on heikko verrattuna sementtiin ja masuunikuonaan. Teräskuonabetoneissa suurin ongelma on säärasitukselle alttiilla rakenteilla kovettuneessa betonissa tapahtuva kalkin ja magnesiumin hydraation aiheuttama paisuminen. Paisumisreaktiossa muodostuvat tilavuudenmuutokset voivat ilmetä vasta pitkällä aikavälillä, monien vuosien jälkeen. (Sarkkinen 2016a, 3.)

Kun betonia valmistetaan teräskuonasta, tulee teräskuona ennen käyttöä vanhentaa usean kuukauden ajan. Yleisesti ottaen vain osa betoniin runkoaineesta korvataan teräskuonalla, näin paisumisvaikutukset ovat pienemmät ja säänkestävyys parempi. Paisumisreaktio on suurempi, kun käytetään keskikokoisia partikkeleita. Pienissä partikkeleissa (<150 ϕ m) kalkki vapautuu jo alkusitoutumisvaiheessa eli sekoitusvaiheessa, joten paisumisesta ei tule ongelmaa. Suurilla partikkeleilla (8-16 mm) kalkki vapautuu vasta jo kovettuneessa betonissa, mikä aiheuttaa vaurioitumista. Pakkasrasituksen kestävyys vaikuttaa muun muassa kiviaineksen vedenimu. Tämä on teräskuonilla suurempi kuin tavallisella kiviaineksella. Hienon kiviaineksen vedenimulla on suurempi merkitys kestävyyskuonien kuin karkealla. Teräskuonan kestävyysominaisuuksia on mahdollista parantaa muun muassa käyttämällä huokosrakennetta tiivistävää ja vedenläpäisyä pienentävää filleriä. (Sarkkinen 2016a, 3.)

2.4 Terässulatto

Tornion terässulatolla on käytössä kaksi tuotantolinjaa. Linja 1 on aloittanut tuotannon vuonna 1976 ja Linja 2 vuonna 2002. Terässulaton tärkeimmät

raaka-aineet ovat teräsromu, ferrokromi ja nikkeli. Kuviossa 1 on esitetty terässulaton prosessi.



Kuvio 1. Outokummun terässulaton prosessikaavio (Outokumpu Oyj 2016)

Outokumpu Tornio Worksin Terässulaton tuotanto alkaa raaka-ainepihalta. Siellä varastoitu kierrätysromu lastataan romukoreihin. Romukorit kuljetetaan sulatolinjalle valokaariuunille tai kromikonvertteriin. Ruostumattoman teräksen valmistuksessa käytettävä ferrokromi valmistetaan ferrokromitehtaalla kromiittimalmista. Koska ferrokromissa on liian korkea hiilipitoisuus teräksen valmistukseen, täytyy se käsitellä ferrokromikonvertterissa. Konvertteriin panostetaan sulaa ferrokromia. Lisäksi panostetaan myös rautaromua jäädytystä varten ja kalkkia kuonanmuodostajaksi. Sulan ferrokromin hiili- ja piipitoisuutta pienennetään happi- ja paineilmapuhalluksen avulla. Sula ferrokromi siirretään kiskoilla terässulatolle. Sula ferrokromi, jota ei tarvita sulatolla, kaadetaan valukouruihin jäähtymään, jonka jälkeen se murskataan. Kiinteä ferrokromi varastoidaan myöhempää käyttöä varten tai myydään. (Outokumpu Oyj 2016)

Valokaariuuniin panostetaan kierrätysterästä, jonka osuus on jopa 90 % ruostumattoman teräksen valmistuksessa käytetystä raaka-aineesta, ja muita raaka-aineita (nikkeliä, molybdeenia, ferrokromia ja koksia). Uunissa teräs sulatetaan sähköenergian avulla. Elektrodiin ja panoksen väliin syntyy valokaari, jonka

lämpöenergia siirtyy teräkseen, joka lopulta sulaa. Teräkseen lisätään ferrokromia, jotta sen korroosionkestävyys paranee. Kun panos on sulanut ja kuona poistettu, sula kaadetaan kaatoreiän kautta uunin alapuolella junan päällä olevaan senkkaan. Juna kuljettaa sulan AOD-konvertterille. Valokaariuunissa syntyvä kuona toimii terästä suojaavana kerroksena. Kalkkia lisätään, jotta kuonaa muodostuu. Kalkin tehtävänä on myös suojata uunia sulatuksen aikana. Uuniin jäänyt kuona kipataan kuonankippauspaikalle, josta Tapojärvi Oy käsittelee kuonan jatkoa varten. Kuonasta erotetaan teräs, joka palautuu takaisin terässulatolle. (Outokumpu Oyj 2016)

Haluttuja teräksen muokkautumisominaisuuksia saadaan käsittelemällä valokaariuunissa sulatettu teräs AOD-konvertterissa. Siinä suoritetaan mellotus eli hiilipitoisuuden vähennys halutulle tasolle. Terässula ja sula ferrokromi panostetaan AOD-konvertteriin. Teräksen hiilipitoisuus ennen mellotusta on noin 1-2 painoprosenttia ja mellotuksen jälkeen n. 0,04 %. AOD-konvertterilla myös pelkistetään piillä kuonaan hapettunut kromi takaisin terässulaan ja poistetaan rikkiä. (Outokumpu Oyj 2016)

Senkkäkäsittelyssä suoritetaan terässulan viimeistelyä. Sulan sekaan voidaan lisätä eri seosaineita, lisäksi epämetallisia sulkeumia poistetaan ja lämpötilaa nostetaan ja tasataan jatkuvavalua varten. Jatkuvavalussa terässula kaadetaan kokillin läpi. Kokillissa teräs jäähtyy, sen kuori jähmettyy ja saadaan halutun muotoinen teräsaihio. Jotta sula ei pääse tarttumaan kokilliin, liikkuu se jatkuvasti sivusuunnassa. Kokillissa syntynyttä valunauhaa vedetään toisiojäähdytysalueelle, jossa nauha jäähdytetään vesisuihkulla tai vesisuihkulla ja ilmalla. Jäähdytyksen jälkeen nauha leikataan joko mekaanisesti tai kaasulla polttamalla halutun mittaisiksi aihioiksi. Aihiot ovat noin 14 m pitkiä ja painavat 20–26 t. Aihiohiomossa aihioista hiotaan pintaviat pois, jonka jälkeen ne siirretään kuumavalssaamolle tai varastoidaan. (Outokumpu Oyj 2016)

3 LABORATORIOKOKKEET

Kuonapohjaisia maabetonireseptejä tutkittiin Oulun ammattikorkeakoulun betonitutkimuslaboratoriossa heinäkuussa 2016. Kokeissa pyrittiin selvittämään soveltuvin resepti maabetonointikerroksen valmistamiseen. Laboratoriossa testattiin seitsemää erilaista maabetonireseptiä, joista jokaisesta valmistettiin kolme koekappaleta. Betonimassoista valettiin halkaisijaltaan 100 mm:n ja korkeudelta n. 100 mm:n kokoisia ympyrälieriön muotoisia koekappaleita. Koekappaleet tehtiin puristamalla ICT- laitteella 5 Bar/ -100 kierrosta. ICT-laitteen antamat puristusvoimat ovat lähes vastaavia kuin täryjyrällä tehtävä tiivistys maanpinnalla olevalle maabetonikerrokselle.

Reseptien tavoitteena oli löytää paras vaihtoehto, jossa voitaisiin käyttää mahdollisimman paljon kuona-aineita ja joka kuitenkin omaisi 10 MPa lujuuden.

3.1 Käytetyt aineet

Koemassoissa käytetyt raaka-aineet olivat kaikki kuivia tai kuivattuja, näin voitiin määrittää tarvittava veden määrä. Koe-erien välillä vaihdeltiin eri sideaineita. Kokeiluja tehtiin muuttamalla sementin, runkoaineen ja masuunikuonajauheen suhteutusta. Runkoaineena käytettiin raekokoja 0/8 mm ”perushiekkaa”, 6/16 mm RST-kuonaa, 0/6 mm RST-kuonaa ja # 0/3 mm RST-kuonaa. Sideaineina toimivat pikasementti, tavallinen sementti ja masuunikuonajauhe.

3.1.1 Sementti

Sementti on hydraulinen sideaine, joka muodostaa veden kanssa reagoidessaan kovan lopputuotteen. Sementin valinta vaikuttaa betonin lujuuteen, kestävyteen ja kustannuksiin. Näissä koetestauksissa käytettiin sekä pikasementtiä, että perussegmenttiä. Pikasementin käyttöön päädyttiin ensimmäisissä reseptien kokeiluissa, jotta saatiin koekappaleet pikaisesti lujuustutkimuksiin. Pikasementti saavuttaa maksimi lujuuteensa jo kolmessa vuorokaudessa, perussegmentillä tähän menee 28 vuorokautta. Taulukossa 1 on esitetty perussegmentin teknisiä tietoja. (Finnsementti 2016b)

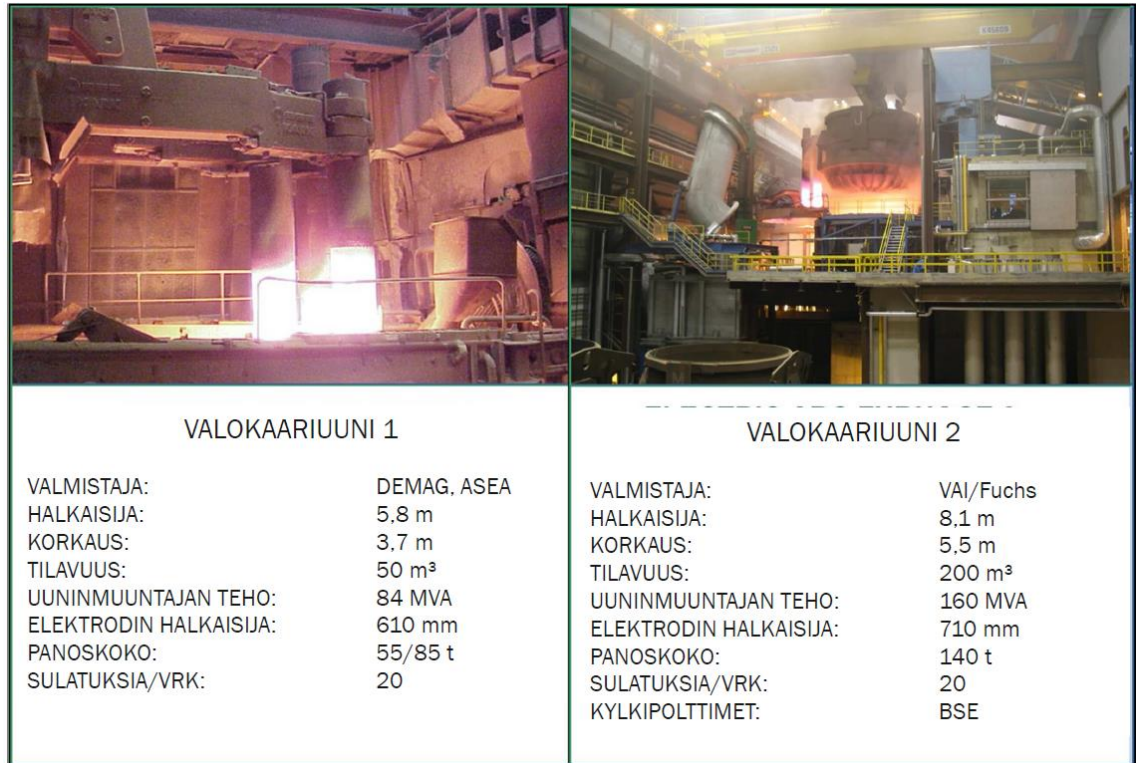
Taulukko 1. Perussementin tekniset tiedot (Finnsementti 2016b).

Tekniset tiedot (tyypilliset arvot):		
Sitoutumisaika:	150-210	Min
Hienous:	420-470	m ² /kg
Hydraatiolämpö 7 vrk:	310-340	Kj/kg
Puristuslujuus 1 vrk:	10-14	MPa
Puristuslujuus 2 vrk:	21-26	MPa
Puristuslujuus 7 vrk:	34-39	MPa
Puristuslujuus 28 vrk:	46-52	MPa

3.1.2 RST-kuona

Maabetonikokeissa käytettiin Outokummun RST-kuonaa. Kuona on muodostunut valokaariuuni prosessissa, jossa terästä sulatetaan sähköisesti. Valokaariuuni toimii pääosin kaikkien materiaalien sulattajana, pääosin siinä sulatetaan kierrätettyä romuterästä. Kuona toimii VKU-uunissa terästä suojaavana kerroksena, se ottaa vastaan epäpuhtaudet joita teräksessä on. Kuona myös suojaa uunin vuorausta valokaaren aiheuttamalta lämpösäteilyltä. Kuona koostuu pääosin kalkista, piioksidista, alumiinioksidista ja magnesiumoksidista, jota irtoaa uunin vuorauksesta sekä tiilimurskeesta ja kromioksidista. (Kunelius 2010).

Kuvassa 1 näkyy Outokummun Tornion tehtaalla olevat valokaariuunit ja niiden tiedot.



Kuva 1. Outokummun Tornion tehtaan valokaariuunit (Outokumpu Oyj 2016)

Maabetonin seassa runkoaineena käytettiin erikokoisiksi seulottuja kuonamateriaaleja. Käytetyt raekoot olivat 0/2 mm (seulottu #0/3mm seula-aukolla), 0/6 mm (seulottu #8 mm seula-aukolla) ja 6/16 mm (seulottu #20 mm seula-aukolla).

3.1.3 Masuunikuonajauhe

Masuunikuonajauhetta valmistetaan jauhamalla granuloitua masuunikuonaa. Granuloitua kuonaa saadaan, kun raakaraudan valmistuksen yhteydessä syntyvä emäksinen sula jäähdytetään nopeasti vesisuihkujen avulla ja kuonasta tulee lasimaista. Kuonan hydrauliset ominaisuudet heräävät sementin ja veden reaktiossa syntyvän kalsiumhydroksidin vaikutuksesta ja kuona kehittää lujuutta lähes yhtä paljon kuin sementtiklinkkeri. (Finnsementti 2016a)

Masuunikuonajauheen vedentarve on vähäinen ja sen vuoksi se notkistaa betonia. Jauhe on väriltään hieman vaaleampaa kuin sementti. Kuonan lujuusreaktiot tuottavat vähemmän lämpöä, joten siitä on hyötyä massiivisten betonira-

kenteiden valussa. Masuunikuonajauhetta käytettäessä betonin varhaislujuudet ovat yleensä heikkoja. Masuunikuonajauheen käyttö lisää betonin virumaa eli ajastariippuvaa muodonmuutosta. (Suomen Betoniyhdistys 2011, 88)

Masuunikuonajauhe voi toimia sementin ohella betonin sideaineena. Sementistä poikkeavan sideaineen käyttö vaikuttaa betonimassaan ja valmiin rakenteen ominaisuuksiin. Sideaineominaisuudet riippuvat masuunikuonajauheen käsittelystä, jäädyttämisestä ja jauhamisesta. (Finnsementti 2015)

Opinnäytetyössä tehtiin yksi koe-erä käyttämällä sideaineena masuunikuonajauhetta sementin sijasta.

Vetenä testeissä käytettiin tavallista hanavettä.

3.2 Reseptit

Reseptejä alettiin kehittää ensimmäisestä reseptistä, joka toimi vertailukohtana ja niin sanottuna perusversiona. Toinen resepti muokkaantui ensimmäisestä siinä suhteessa, että reseptistä osa luonnon hiekasta korvattiin kuonapohjaisella fillerillä. Kolmannessa reseptissä oli luonnonhiekkia jätetty pois ja korvattu kokonaan fillerillä. Neljännessä ja viidennessä reseptissä tutkittiin sementin vaikutusta, neljännessä reseptissä oli sementtiä huomattavasti vähemmän kuin muissa ja viidennessä taas enemmän kuin muissa. Kuudennessa reseptissä sementti oli korvattu kokonaan masuunikuonajauheella. Seitsemännessä reseptissä taas raaka-aineet olivat muuten samoja kuin kolmannessa reseptissä, ainoastaan pikasementti vaihdettiin perussementtiin. Taulukossa 2 on näytetty reseptien koostumukset ja lujuudet.

Taulukko 2. Kehitetyt reseptit ja niiden lujuudet

Raaka-aine [kg/m ³]	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
vesi	168	144	159	109	159	159	159
0/8 mm luonnon hiekka	600	300	0	0	0	0	0
6/16 mm RST- kuona	600	600	600	600	600	600	600
0/6 mm RST-kuona	750	750	750	750	750	750	750
pikasementti	160	160	160	100	210	0	200
0/3 mm RST-kuona	0	300	600	600	600	600	600
masuunikuonajauhe	0	0	0	0	0	160	0
Lujuus 3vrk (MPa)	12,1	19,11	9,81	6,56	12,64		
Lujuus 7 vrk (MPa)							13,14
Lujuus 28 vrk (MPa)						14,53	24,8

3.2.1 Työvaiheet

Jokaisesta reseptistä valmistettiin 3,2 litran massa, jotta saatiin tehtyä kolme koekappaleita. Yhden koekappaleen tilavuus oli 0,785 litraa. Betonimyllyyn lisättiin ensin kuivat aineet, jotka sekoitettiin keskenään. Massan sekoitusta on esitetty kuvassa 2. Vettä lisättiin rauhallisesti ja samalla otettiin aikaa, jotta saatiin sekoitusaika kirjattua. Ensimmäisen reseptin aikana sekoitusaika oli kaksi minuuttia. Kokeen jälkeen kuitenkin huomattiin, että aika oli liian lyhyt ja seuraaviin massan sekoituksiin aikaa muutettiin. Lopuissa massan sekoituksissa tehtiin niin, että veden sekoituksen jälkeen massaa sekoitettiin kaksi minuuttia, sitten pidettiin seitsemän minuutin tauko, jotta vesi ehti imeytyä aineisiin. Lopuksi massaa sekoitettiin vielä minuutin ajan, ennen kuin se valettiin muotteihin ja puristettiin ICT-laitteella koekappaleiksi.



Kuva 2 Betonimassan sekoitusta

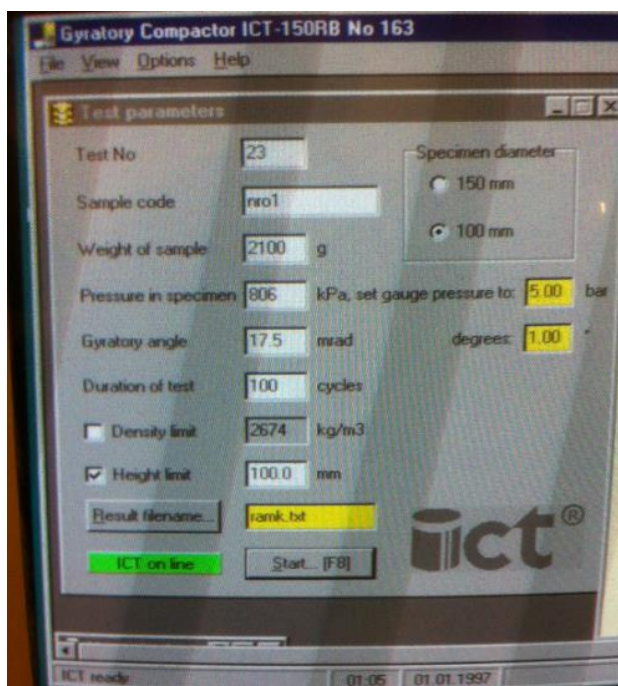
Sekoituksen jälkeen massa punnittiin ICT-laitteen muottiin. Ensimmäisen koeerän massaksi punnittiin 2 382 g, joka todettiin kuitenkin liian suureksi. Muodostuneesta koekappaleesta tuli liian korkea. Seuraavien koekakkujen painoksi päätettiin 2 100 g, jolla kakuista tuli halkaisijaltaan 100 mm ja korkeudeltaan 100 mm. ICT-laitteella kakkuja puristettiin 5 bar paineella 100 kierrosta.

3.2.2 ICT- Laite

Oulun ammattikorkeakoulun betonitutkimuslaboratoriossa on käytössä Gyro-ry COMPACTOR ICT-150RB- merkkinen ICT-laite. Kuvassa 3 näkyy ko. laite. Laite määrittelee betonimassan tiivistysominaisuuksia kiertotiivistämällä. Massa tiivistetään sylinterimäisessä muotissa kiertotiivistimellä koekappaleeksi. Tiivistyspaine, joka voidaan itse määrittää, puristaa näytettä. Näytesylinterin kallistus pyörii laitteen pystyakselin ympäri, kunnes tavoitemäärä kierroksia on saavutettu. Kuvassa 4 näkyy laitteeseen asetetut parametrit koekappaleiden puristusta varten.



Kuva 3. ICT-laite



Kuva 4. Parametrit, jotka ICT-laitteeseen määriteltiin koekappaleiden puristukseen.

3.2.3 Resepti 1

Ensimmäinen koe-erä maabetonitestauksessa tehtiin reseptillä, jossa oli 0/8 mm runkoainesta eli tavallista hiekkaa 600 kg/m^3 , 6/16 mm RST-kuonaa 600 kg/m^3 , 0/6 mm RST-kuonaa 750 kg/m^3 ja pikasementtiä 160 kg/m^3 ja vettä. Reseptin 1 tarkempi koostumus on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Resepti 1:n koostumus

raaka-aine	1. Resepti [g]	tehty massa [g]
vesi		671
0/8 mm luonnon hiekka	600	2400
6/16 mm RST-kuona	600	2400
0/6 mm RST-kuona	750	3000
pikasementti	160	640
0/3 mm RST-kuona	0	
masuunikuonajauhe	0	



Kuva 5. Ensimmäisen reseptin koekappale puristamisen jälkeen

Ensimmäisessä koekappaleen teossa huomattiin, että reseptissä oli liikaa vettä. Vesi tihkui muotista, kun massaa puristettiin ICT-laitteella. Seuraaviin sekoituksiin veden määrää vähennettiin, myös sekoitusaikaa säädettiin. Kuvassa 5 näkyy ensimmäisen reseptin koekappale heti puristamisen jälkeen.

3.2.4 Resepti 2

Toisessa reseptissä runkoaineen määrää vähennettiin puolella ja lisättiin hienojakoista filleriä. Taulukossa 4 on esitetty reseptin 2 tarkempi koostumus. Kuvassa 6 näkyy käytetyt raaka-aineet ennen massan sekoitusta ja kuvassa 7 valmis koekappale puristamisen jälkeen.

Taulukko 4. Resepti 2:n koostumus

raaka-aine	2. Resepti [g]	tehty massa [g]
vesi		663
0/8 luonnon hiekka	300	1200
6/16 karkea RST-kuona	600	2400
0/6 RST-kuona	750	3000
pikasementti	160	640
0/3 RST-kuona	300	1200
masuunikuonajauhe	0	0



Kuva 6. Toisen reseptin kiinteät raaka-aineet ennen sekoitusta



Kuva 7. Toisen reseptin koekappale puristamisen jälkeen

3.2.5 Resepti 3

Kolmannessa koe-erässä perushiekka korvattiin kokonaan hienojakoisella fillillä. Runkoaineena tässä erässä oli siis ainoastaan kuonapohjaisia materiaaleja. Taulukossa 5 on esitetty reseptin 3 tarkempi koostumus.

Taulukko 5. Resepti 3:n koostumus

raaka-aine	3. Resepti [g]	tehty massa [g]
vesi		637
0/8 luonnon hiekka	0	
6/16 mm RST-kuona	600	2400
0/6 mm RST-kuona	750	3000
pikasementti	160	640
0/3 mm RST-kuona	600	2400
masuunikuonajauhe	0	0

Kolmannessa koe-erässä sekoitusaika pidettiin samana kuin edellisessä: kaksi minuuttia sekoitusta veden lisäämisen jälkeen, sitten seitsemän minuutin tauko ja lopuksi vielä minuutin sekoitus ennen massan laittamista ICT- laitteeseen.

Kolmannessa koe-erässä massa oli jauhoisempaa kuin edellisessä, joten siihen lisättiin viimeisen sekoituksen aikana vettä 26 g. Kuvassa 8 näkyy kolmannen reseptin koekappale puristamisen jälkeen.



Kuva 8 Kolmannen reseptin koekappale puristamisen jälkeen

3.2.6 Resepti 4

Neljännessä ja viidennessä reseptissä tutkittiin sementin määrän vaikutuksia. Neljännessä reseptissä sementin määrää vähennettiin, hiekka korvattiin edelleen kokonaan kuonalla. Taulukossa 6 on esitetty reseptin 4 tarkempi koostumus ja kuvassa 9 näkyy reseptin 4 koekappale puristamisen jälkeen.

Taulukko 6. Resepti 4:n koostumus

raaka-aine	4. Resepti [g]	tehty massa [g]
vesi		435
0/8 mm luonnon hiekka	0	
6/16 mm RST-kuona	600	2400
0/6 mm RST-kuona	750	3000
pikasementti	100	400
0/3 mm RST-kuona	600	2400
masuunikuonajauhe	0	0

Sementin vähentämisen seurauksena vettä kului vähemmän.



Kuva 9 Neljännen reseptin koekappale puristamisen jälkeen

3.2.7 Resepti 5

Viidennessä reseptissä sementin määrää lisättiin. Reseptin 5 tarkempi koostumus näkyy taulukossa 7. Kuvassa 10 näkyy viidennen reseptin koekappale heti puristamisen jälkeen.

Taulukko 7. Resepti 5:n koostumus

Raaka-aine	5. Resepti [g]	tehty massa [g]
vesi	637	637
0/8 mm luonnon hiekka	0	
6/16 mm RST-kuona	600	2400
0/6 mm RST-kuona	750	3000
pikasementti	210	840
0/3 mm RST-kuona	600	2400
masuunikuonajauhe	0	0



Kuva 10 Viidennen reseptin koekappale puristamisen jälkeen

3.2.8 Resepti 6

Kuudennessa reseptissä sementti korvattiin kokonaan masuunikuonajauheella. Taulukossa 6 on esitetty reseptin 6 tarkempi koostumus. Kuvassa 11 näkyy kuudennen reseptin koekappale heti puristamisen jälkeen.

Taulukko 8. Resepti 6:n koostumus

Raaka-aine	6. Resepti [g]	tehty massa [g]
vesi		637
0/8 mm luonnon hiekka	0	
6/16 mm RST-kuona	600	2400
0/6 mm RST-kuona	750	3000
pikasementti	0	0
0/3 mm RST-kuona	600	2400
masuunikuonajauhe	160	640



Kuva 11. Kuudennen reseptin koekappale puristuksen jälkeen

Neljännän, viidennen ja kuudennen reseptin koekappaleet olivat melko tiukkoja irrottaa valumuotista, vaikka muotti oli kostutettu vedellä ennen massan lisäämistä kuten muillakin kerroilla.

3.2.9 Resepti 7

Seitsemäs resepti tehtiin kolmannen reseptin ohjeella, eroavaisuutena oli, että pikasementti korvattiin tässä perussementillä. Myös sementin määrää lisättiin. Reseptin 7 tarkempi koostumus on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Resepti 7:n koostumus

Raaka-aine	7. Resepti [g]	tehty massa [g]
vesi		1274
0/8 mm luonnon hiekka	0	0
6/16 mm RST-kuona	600	4800
0/6 mm RST-kuona	750	6000
pikasementti	200	1600
0/3 mm RST-kuona	600	4800
masuunikuonajauhe	0	0

Seitsemännän reseptin koekappaleet olivat myös melko tiukkoja irrottaa valumuotista. Kokeilimme ensin muotin voitelua öljyllä, mutta kävikin niin että massa tarttui tiukemmin muottiin kuin pelkällä vedellä voidellessa. Lopuissa kappaleissa käytimme muotin kostutukseen vettä.

3.2.10 Testaukset

Koekappaleiksi puristamisen ja kolmen vuorokauden kovettumisen jälkeen maabetonikoekappaleille tehtiin standardin SFS-EN 12390 mukainen puristuskoelaitteella. Testin tarkoituksena oli selvittää kuinka paljon puristusta kukin koekappale kestä. Aluksi koekappaleiden pinnat tasoitettiin rikin avulla, kuvassa 12 näkyy rikitetty koekappale. Sen jälkeen koekappaleille tehtiin puristustesti Toni Technikin laitteella. Laite on esitetty kuvassa 13. Kuvassa 14 on kuvattu puristuskoelaitteen konekilpi, joka kertoo muun muassa puristuskokeissa käytetyn laitteen nimen, mallin, valmistusvuoden, laitteen sarjanumeron, painon ja maksimiarvon käytettävälle puristukselle.



Kuva 12. Rikitetty koekappale



Kuva 13. Toni Technikin puristuslaite



Kuva 14. Puristuskokeissa käytetyn puristuslaitteen konekilpi

4 RESEPTIEN KUSTANNUKSET

Tarkoituksena on tehdä koealue, jossa sekä pohjakerros että kulutuskerros tehdään kuonapohjaisesta maabetonista.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa pohja- ja kulutuskerros ovat eri reseptistä. Pohjakerros koostuu tässä työssä tehdystä reseptistä, kulutuskerros aiemmin Oulussa kehitetystä reseptistä.

Toisessa vaihtoehdossa maabetonikerros kokonaisuudessaan koostuu vain yhdestä reseptistä, eli tässä työssä kehitetystä reseptistä.

4.1 Pohjakerros

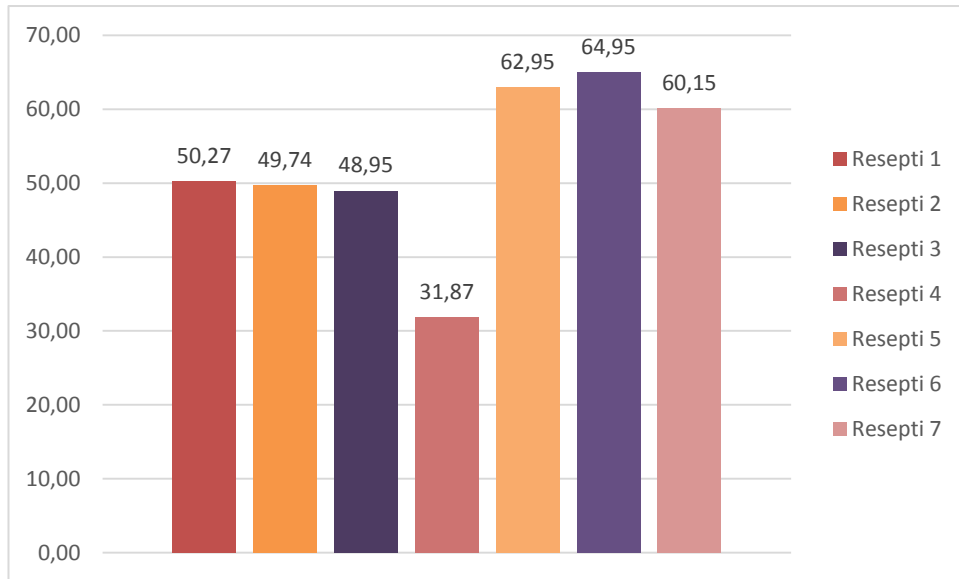
Alla olevaan taulukkoon (Taulukko10) on koottu tietoa pohjakerroksen reseptien kustannuksista.

Taulukko 10. Pohjakerrosreseptien hinnat

raaka-aine kg/m ³			1. [g]	2. [g]	3. [g]	4. [g]	5. [g]	6. [g]	7. [g]
vesi	1,59	€/m ³	168	144	159	109	159	159	159
0/8 mm luonnon hiekka	4,7	€/t	600	300					
6/16 mm RST-kuona	2	€/t	600	600	600	600	600	600	600
0/6 mm RST-kuona	2	€/t	750	750	750	750	750	750	750
pikasementti	0,48	€/kg	160	160	160	100	210		
perusmentti	0,28	€/kg							200
0/3 mm RST-kuona	2	€/t		300	600	600	600	600	600
masuunikuonajauhe	0,38	€/kg						160	
Lujuus 3vrk (MPa)			14,75	22,65	13,12	8,86	17,09		
Lujuus 7 vrk (MPa)									16,72
Lujuus 28 vrk (MPa)								14,53	24,8

Hinta perusmentillä €/m ³			50,27	49,74	48,95	31,87	62,95	64,95	60,15
--------------------------------------	--	--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Kun tehdään oikea koealue, tullaan sementtinä käyttämään perusmenttiä, joten taulukkoon on laskettu reseptin hinta käyttäen perusmenttiä. Kuviossa 2 on esitetty reseptien hinnat yhdelle kuutiometrille (m³).



Kuvio 2. Reseptien hinnat laskettuna yhdelle kuutiometrille (m³). Lujuustavoitteena 10 MPa.

Pohjakerroksen kerrospaksuus tulee olemaan 150 - 250 mm. Tässä hinta on laskettu paksuimman ja ohuimman vaihtoehdon mukaan, jotta niitä voidaan verrata toisiinsa. Vaikka reseptit ovat eri lujuisia, eivät lujuuDET kuitenkaan vaikuta kovin paljoa tarvittavan rakennekerroksen paksuuteen. Rakennekerroksen suurella lujuuDElla on suurempi merkitys ilmastovaikutusta vastaan, ei niinkään rakenteen kantavuuteen. (Kallio 2016b.)

Rakennekerroksen kantavuusmitoitusta voi tarvittaessa määrittää tarkemmin esimerkiksi Odemarkin kantavuuskaavalla. Odemarkin kantavuuskaava on esitetty alla. (Tiehallinto 2004)

$$E_p = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2}}\right) \frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2 \left(\frac{E}{E_A}\right)^{2/3}}} } \quad (1)$$

missä:

E_A on mitoitettavan kerroksen alta saavutettava kantavuus (MPa)

E_p on mitoitettavan kerroksen päältä saavutettava kantavuus (MPa)

E on mitoitettavan kerroksen materiaalin E- moduuli (MPa)

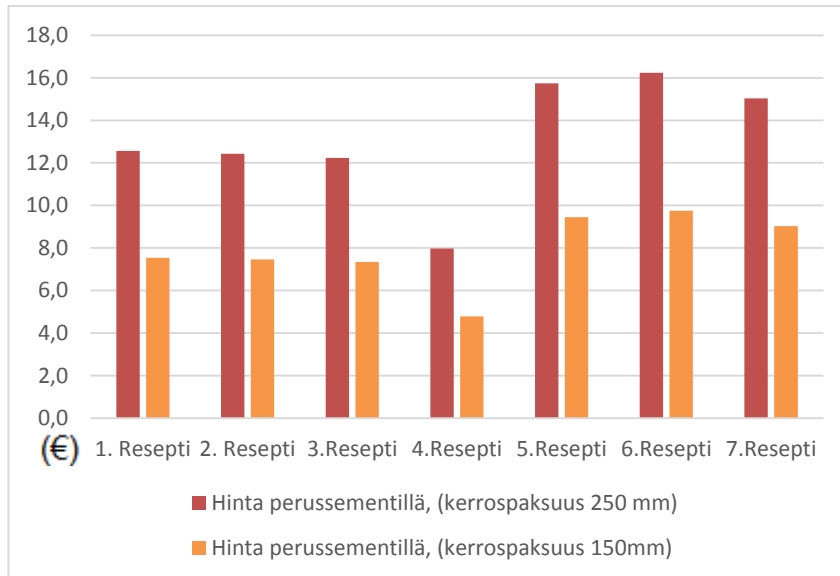
h on mitoitettavan kerroksen paksuus (m)

(Tiehallinto 2004)

Näissä laskennoissa ei ole otettu huomioon suhteutusta reseptin lujuuden ja tarvittavan rakennepaksuuden välillä vaan on laskettu, että kaikilla resepteillä tarvittava rakennepaksuus on sama riippumatta reseptin lujuudesta. Taulukossa 11 ja kuviossa 3 on esitetty reseptien hinnat eri kerrospaksuuksilla. (Kallio 2016b.)

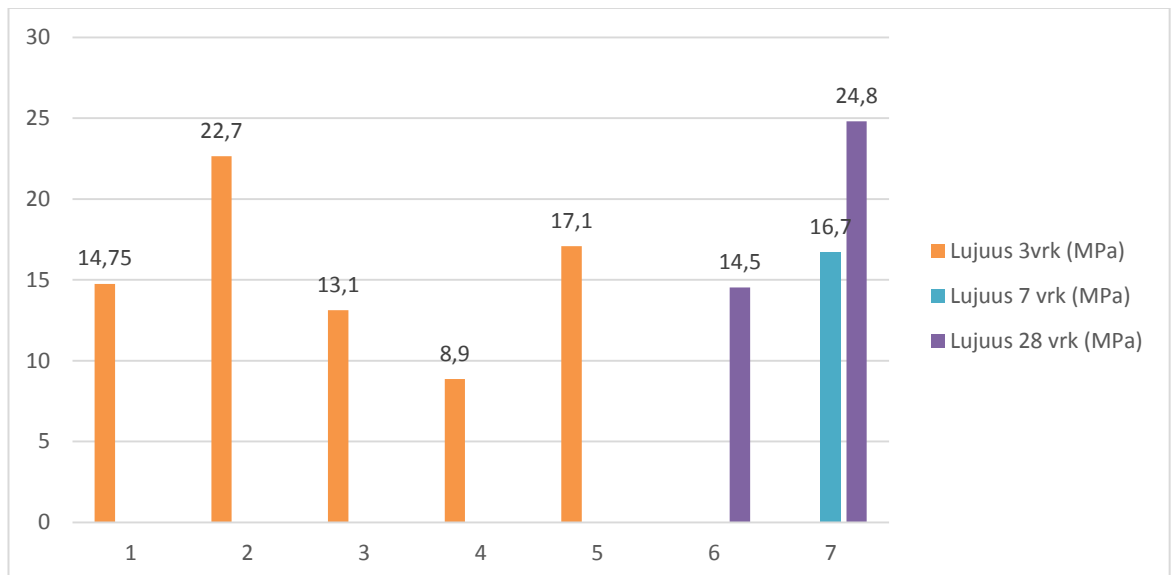
Taulukko 11. Reseptien hinnat eri kerrospaksuuksilla

	1. Resepti	2. Resepti	3. Resepti	4. Resepti	5. Resepti	6. Resepti	7. Resepti
Hinta perussementillä, (kerrospaksuus 250 mm)	12,6	12,4	12,2	8,0	15,7	16,2	15,0
Hinta perussementillä, (kerrospaksuus 150mm)	7,5	7,5	7,3	4,8	9,4	9,7	9,0



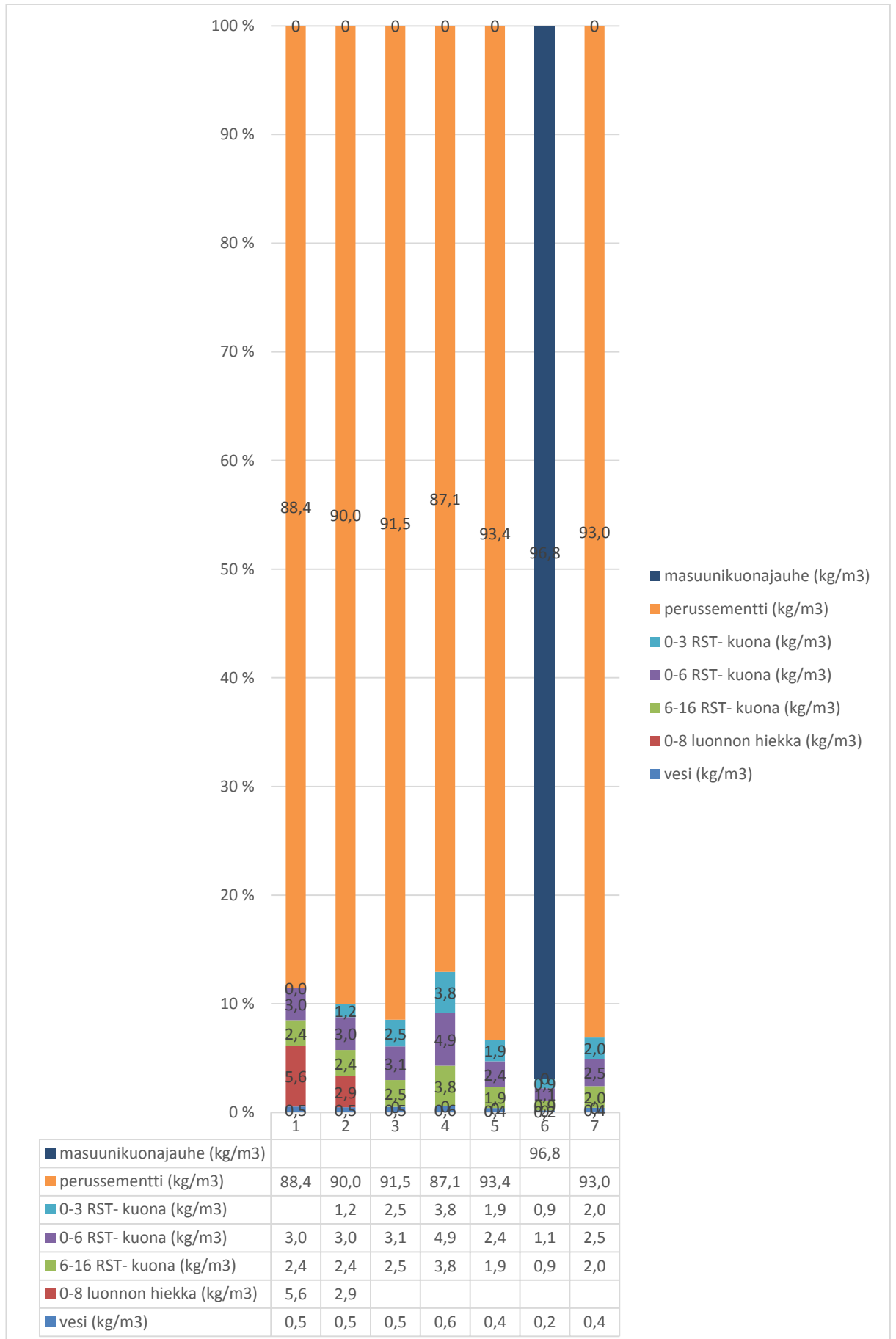
Kuvio 3. Reseptien hinnat eri kerrospaksuuksille (€)

Tavoitteena oli löytää resepti, joka koostui mahdollisimman paljon kuonapohjaisista resepteistä, yltäisi lujuudelta 10 MPa:n tulokseen ja olisi myös kustannuksiltaan kilpailukykyinen vaihtoehto. Kuviossa 4 on näytetty reseptien lujuudet.



Kuvio 4. Pohjakerroksen reseptien lujuudet. Tavoitelujuus 10 MPa

Kuviossa 5 on esitetty, kuinka reseptin hinta jakaantuu eri raaka-aineille. Sementin hinta vaikuttaa eniten reseptin hintaan. Pienempi sementin tarve siis pienentää myös reseptistä syntyviä kustannuksia.



Kuvio 5. Reseptien hintojen koostumus

4.2 Kulutuskerros

Kulutuskerroksen kuonapohjaiseksi maabetonireseptiksi oli tehty kuusi erilaista reseptiä, jotka on esitetty taulukossa 12.

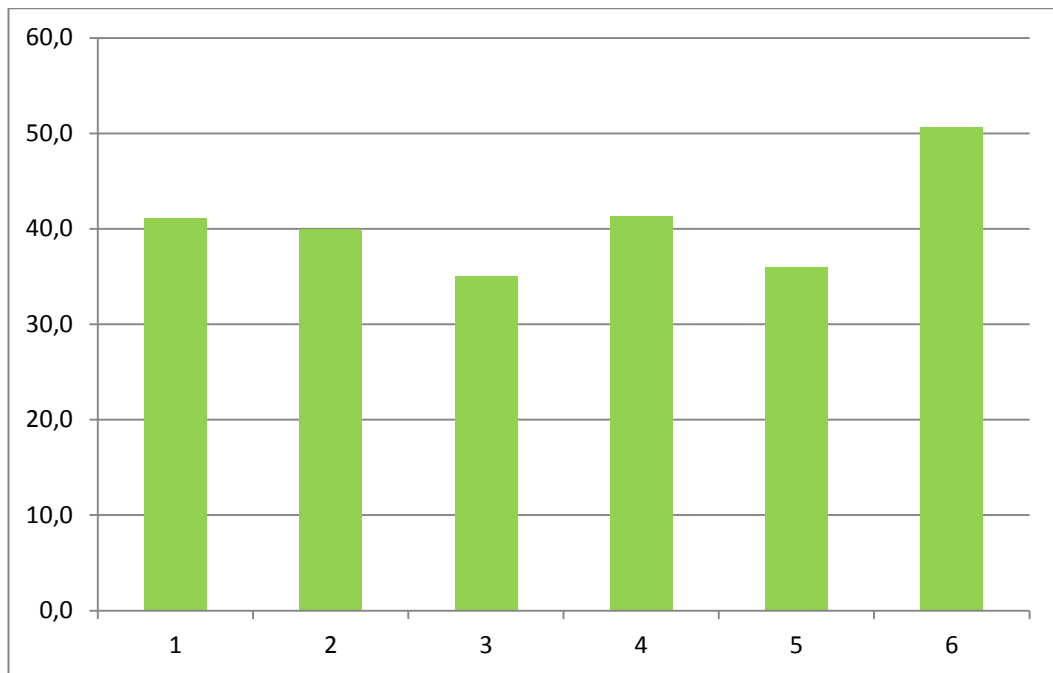
Taulukko 12. Kulutuskerroksen maabetonireseptit (Lahdenperä 2016; Mäntylä 2016; Sarkkinen 2016b)

Massa			1. RST-kuona	2. Murskattu betoni	3. Kaoliini	4. Kiviaines	5. Plussementti, RST-kuona	6. Plussementti, kivi
Rapidsementti [kg/m ³] (% runkoainemäärästä)	0,48	€/m ³	245 -12,6	245 -13,2	122,5 -6,3	245 -12,6		
Plussementti [kg/m ³] (% runkoainemäärästä)	0,28	€/m ³					245 -12,6	245 -12,6
Masuunikuona [kg/m ³] (% runkoainemäärästä)	0,38	€/m ³	100 -5,2	100 -5,4	100 -5,2	100 -5,2	100 -5,2	100 -5,2
Kaoliini [kg/m ³] (% runkoainemäärästä)	350	€/t			122,5 -6,3			
Vesi [kg/m ³]	1,59	€/m ³	202,8	188,6	203,5	160,7	190	123
Huokoistin [kg/m ³] (% sideainemäärästä)	4,37	€/kg	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)	2,54	€/kg	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]	2	€/t	388	194	290,9		388	
RST-kuona 2/6 [kg/m ³]	2	€/t	582	547	678,9		582	
RST-kuona 6/16 [kg/m ³]	2	€/t	970	481	969,8		970	
Murskattu betoni 0/16 [kg/m ³]	3	€/t		630				
Kiviaines 0/2 [kg/m ³]	4,7	€/t				232,8		232,8
Kiviaines 0/8 [kg/m ³]	4,7	€/t				737,2		737,2
Kiviaines 6/12 [kg/m ³]	4,7	€/t				485		485
Kiviaines 8/16 [kg/m ³]	4,7	€/t				485		485

Taulukko 13. Kulutuskerroksen maabetonireseptien hinnat (Lahdenperä 2016; Mäntylä 2016; Sarkkinen 2016b)

	1. RST-kuona	2. Murskattu betoni	3. Koa-liini	4. Ki-viaines	5. Plusse-mentti, RST-kuona	6. Plusse-mentti, kivi
Hinta perussementillä €/m ³	491,4	471,7	486,4	439,5	480,8	324,4
Hinta perussementillä (kerrospaksuus 150 mm)	73,7	70,8	73	65,9	72,1	48,7

Taulukossa 13 on esitetty kulutuskerroksen reseptien hinnat €/m³ ja €/m². Kerrospaksuutena on 150 mm. Reseptien lujuudet on esitetty kuviossa 6.



Kuvio 6. Kulutuskerroksen reseptien lujuudet (MPa). Tavoitelujuus 25 MPa. (Lahdenperä 2016)

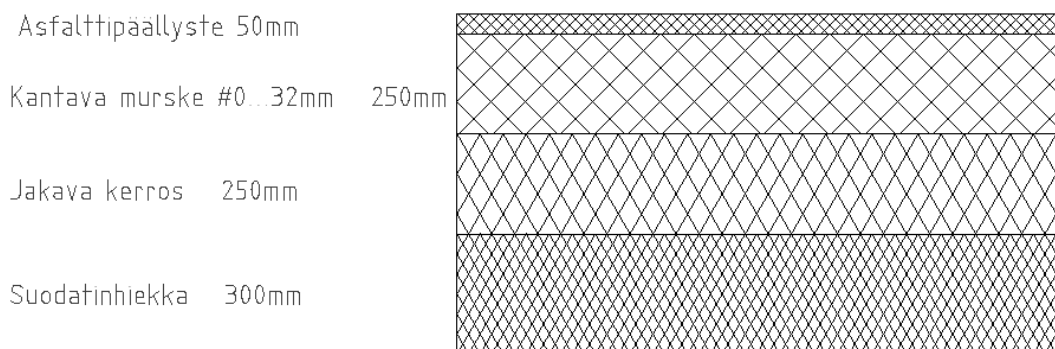
Kun tehdään oikea koealue, tullaan sementtinä käyttämään perussementtiä, joten taulukkoon on laskettu reseptin hinta käyttäen perussementtiä.

Aikaisemmassa tutkimuksessa oli päätelty, että reseptit 1, 3 ja 5 ovat näistä varteenotettavimmat vaihtoehdot.

Pohjarakenteen vaihtoehtoiksi sopisivat siis reseptit kolme ja seitsemän. Mikäli resepti kolme ei kata säärasituksia pienen sementti määrän vuoksi, täytyy lisätutkimuksia tehdä resepteille seitsemän ja viisi, joissa molemmissa sementin määrä oli hieman suurempi.

4.3 Koealue

Koealue tulee sijoittumaan Tapojärven materiaalinkäsittelyalueelle Tornioon, Outokummun tehdasalueen eteläosaan. Koealue koostuu vanhasta merenpohjasta, jolla on vuosien ajan tehty kuonankäsittelyä. Alueen pinta pölyää voimakkaasti ja sitä on haastava pitää puhtaana. Keväisin ja syksyisin alue muuttuu mutaiseksi kosteuden vuoksi. Finnish Consulting Group on tehnyt alueelle alustavan pohjarakenne-ehdotuksen vuonna 2007. Kuvassa 15 on esitetty ehdotuksen tulos. Tutkimuksessa on selvitetty painokairausten ja maalaboratoriokoikeiden avulla, että maaperä koostuu moreenista. Moreenin rakenne on enimmäkseen tiivistä. Moreeni on myös määritelty routivaksi. (Finnish Consulting Group 2007.)



Kuva 15. Finnish Consulting Groupin tekemän ehdotuksen mukainen pohjarakenteen koostumus

Jakava ja suodatinkerros voidaan korvata masuunihiekalla tai OKTO-eristeellä. (Finnish Consulting Group 2007)

4.4 Koerakenteiden vaihtoehdot

Koerakenteen suunniteltu koko on noin 20 x 20 metriä. Pohjakerroksen paksuudeksi on alustavasti määritetty 250 mm. Kulutuskerroksen paksuudeksi määritettiin 150 mm. Kulutuskerroksen vaatimuksena oli korkeampi lujuusluokka, esimerkiksi 25 MPa. Pohjakerroksen lujuus vaatimuksena oli 10 MPa. Kulutuskerroksen suurella lujuudella tavoitellaan parempaa kulutuskestävyyttä, varsinkin hyvää säänkestoa. (Kallio 2016a.)

Taulukossa 14 on esitetty pohjakerroksen ja kulutuskerroksen hintoja, laskettuna koealueelle jonka koko olisi 20 m x 20 m. Pohjakerroksen paksuutena on käytetty 0,25 m:ä ja kulutuskerroksen paksuutena 0,15 m:ä. Pohjakerroksen hintavertailuun on valittu reseptit 3, 5 ja 7. Kulutuskerroksen hintavertailuun valittiin reseptit 1, 3 ja 5.

Taulukko 14. Esimerkki reseptien hinnoista

			Pohjakerros			Kulutuskerros		
			Resepti 3	Resepti 5	Resepti 7	1. RST	3. Kaoliini	5. Plussementti, RST- kuona
Hinta [€/m ³]			48,95	62,95	60,15	491,4	486,4	480,8
Alueen koko [m]		20x20						
Pohjakerros	paksuus [m]	0,25						
	tilavuus [m ³]	100						
	pinta-ala [m ²]	400						
Kulutuskerros	paksuus [m]	0,15						
	Tilavuus [m ³]	40						
	pinta-ala [m ²]	266,7						
Hinta, Kerrospaksuus 250mm			12,24	15,74	15,04			
Hinta, Kerrospaksuus 150mm			7,34	9,44	9,02	73,71	72,96	72,12

Ensimmäisessä vaihtoehdossa pohja- ja kulutuskerros ovat eri reseptistä. Pohjakerros koostuu tässä työssä tehdystä reseptistä, kulutuskerros aiemmin Oulussa kehitetystä reseptistä.

Edullisin vaihtoehto olisi käyttää pohjakerrokseen reseptiä 3 ja kulutuskerrokseen reseptiä 5. Hinnat on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. Ensimmäisen laskentavaihtoehdon yhteenlasketut hinnat

	Resepti 3	5. Plussementti, RST-kuona
Hinta [€], Kerrospaksuus 250mm	12,24	
Hinta [€], Kerrospaksuus 150mm		72,12
Hinta yhteensä [€/m ³]	84,36	

Toisessa vaihtoehdossa maabetonikerros kokonaisuudessaan koostuu vain yhdestä reseptistä. Kulutuskerroksen vaatimuksena oli korkeampi lujuusluokka n. 25 MPa, joten koko koerakennekerroksessa tulee käyttää reseptiä joka ylittää lujuudeltaan 25 MPa:iin. Pohjakerros vaihtoehdoista resepti 7 on ainoastaan lähellä tätä lujuusvaatimusta. Taulukossa 16 on esitetty hinnat tälle vaihtoehdolle.

Taulukko 16. Toisen laskentavaihtoehdon yhteenlasketut hinnat pohjakerroksen reseptillä 7.

	Resepti 7
Hinta [€], Kerrospaksuus 250mm	15,04
Hinta [€], Kerrospaksuus 150mm	9,02
Hinta yhteensä [€/m ³]	24,06

Kulutuskerrokseen määritettyjen reseptien lujuudet ylsivät kaikissa resepteissä yli 25 MPa: n. Taulukossa 17 on esitetty hinnat näille vaihtoehdoille.

Taulukko 17. Toisen laskentavaihtoehdon yhteenlasketut hinnat kulutuskerroksen resepteillä 1, 3 ja 5.

	Kulutuskerros		
	1. RST	3. Kaoliini	5. Plussementti, RST-kuona
Hinta [€], Kerrospaksuus 250mm	122,85	121,6	120,2
Hinta [€], Kerrospaksuus 150mm	122,85	72,96	72,12
Hinta yhteensä [€/ m ³]	245,7	194,56	192,32

Edullisin vaihtoehto tähän olisi tehdä koerakenne pohjakerrosresepti seitsemän mukaan.

Koska molemmissa koerakenteentekovaihtoehtoissa rakennekerroksen paksuudeksi tulee yli 250 mm, tulee koerakenne tehdä kahdella levityskerralla. Työkustannuksien osuus molemmissa vaihtoehtoissa olisi siis samaa luokkaa.

5 KOEKOHTEEN TOTEUTUSSUUNNITELMA

5.1 Maaperätutkimukset

Ennen varsinaisen koekohteen tekoa täytyy alueelle, johon koerakenne tehdään, tehdä maaperätutkimuksia ja selvittää niiden perusteella tarkemmin lopullisen rakenteen kokonaisrakenneratkaisu. (Kallio 2016a)

Alueelle voidaan esimerkiksi tehdä kairaus, jolla selvitetään maaperän tiiveys ja samalla ottaa maanäytteet eri syvyyksiltä, joista tutkitaan rakeisuus. Vaihtoehtona on myös koekuoppatestaus - kaivinkoneella tehdään kaksi metriä syvä kuoppa, josta havaitaan silmämääräisesti erilaiset kerrokset ja mitataan näiden kerrosten paksuudet. Havaituista kerroksista otetaan maanäytteet, joista laboratoriossa määritetään rakeisuuskäyrät. Tämän avulla päästään käsitykseen maaperän routivuudesta ja kantavuudesta. Tämä koekuoppa tulisi tehdä välittömästi suunnitellun koealueen viereen, koska se huonontaa paikallisesti maaperän tiiveyttä. (Kallio 2016a.)

Työturvallisuuden varmistamiseksi näytteenotossa kuopan tulee olla tarpeeksi loivareunainen sortumavaaran estämiseksi. Lisäksi kaivausalue täytyy eristää, jottei tapahdu lisävahinkoja. (Kallio 2016a.)

5.2 Maanvahvistaminen

Maaperätutkimuksen mukaisesti maa täytyy vahvistaa. Maan vahvistaminen tapahtuu tässä pohjamaan päälle rakennettavilla rakennekerroksilla. Näin kentälle saadaan riittävä kuormituskestävyys. (Kallio 2016a.)

Esimerkki maanvahvistamisesta ja rakennekerroksista.

- Kulutuskerros 100 - 200 mm (aiemmin määritetty resepti)
- Kantava murske/ pohjakerros 250 mm (tämä resepti, joka nyt kehitettiin)
- Jakava kerros 250 mm (OKTO- murske, kantavuusmoduuli n. 280 MPa)
- Suodatinhiekkä 300 mm (OKTO)

Maan vahvistamisessa tulee huomioida myös sadevesien kulku. Mikäli alue on laaja, täytyy tehdä riittävät kallistukset, jotta sadevedet valuvat haluttuun suuntaan. Alueelle voisi myös suunnitella rakenteen alla olevaa salaojitusta. (Kallio 2016a.)

5.3 Pohjakerroksen levitys

Maaperätutkimusten mukaisesti maapohja vahvistetaan, ja tehdään tarvittavat kallistukset sekä mahdolliset salaojitukset. Routaeristeeksi laitetaan kerros OKTO-mursketta. (Kallio 2016a)

OKTO-murskeen päälle voidaan alkaa levittää pohjakerroksena toimivaa kuonapohjaista maabetonikerrosta. Ensi levitetään kuivat aineet jyrsimellä maan päälle, jonka jälkeen lisätään vettä. Pintakerros jyrätään vielä jyrsimellä, jotta saadaan pintalaatalle hyvä tartuntapinta. Pohjakerroksen paksuus tulisi olla 100 -150 mm, ja lujuus n. 10MPa. (Kallio 2016a.)

5.4 Pintakerros

Pintakerrokseksi eli kulutuskerrokseksi sopivia vaihtoehtoja olisi aiemmin tutkitun kuonapohjaisen maabetonin lisäksi asfaltti. (Kallio 2016a)

Maabetonikerros tulee aina päällystää vettä läpäisemättömällä kerroksella, koska se ei kestä toistuvia sulamisen ja jäätyminen aiheuttamia rasituksia. (Suomen Betoniyhdistys 2011, 543)

5.5 Kulutuskerroksen levitys

Kun pohjarakenteena toimiva maabetonikerros on kuivunut, voidaan sen päälle levittää kulutuskerros. Kulutuskerroksen paksuuden tulee olla noin 100 mm, ja tarvittavan lujuuden n. 25 MPa. Kulutuskerroksen levityksessä täytyy ottaa huomioon liikuntasaumot ja kutistumissaumat. Lisäksi voidaan ottaa huomioon

myös raudoituksen tarve. Mikäli pintalaatalle tarvitaan raudoitus, tehdään valu kahtena kerroksena. (Kallio 2016a.)

5.6 Viimeistely

Valun jälkeen betonin pintaa täytyy kastella 3-14 vuorokautta. Täytyy huomioida, ettei pinta pääse kuivumaan kasteluiden välillä. Pinnan päälle voidaan myös levittää muovi, mutta kun kyseessä on suuri alue, on tämä vaihtoehto epäsoveltuva. Olemassa on myös ruiskutettavia jälkihoitoaineita, jotka muodostavat betonin pinnan päälle kalvon, joka estää kosteuden haihtumisen. Tämä tuote tulee ruiskuttaa välittömästi valun jälkeen, lisäkastelu ei ole aineen laitton jälkeen enää mahdollista. Aine haihtuu betonin pinnasta 4-6 viikon aikana. (Kallio 2016a; Uusitalo, Ihanamäki, Rajala & Vallin 1990, 151–152)

5.7 Seuranta

Valmiin koerakenteen seurannassa otetaan huomioon mm. säärasituksen aiheuttamat muutokset rakenteelle. Mikäli koerakenne saadaan tehtyä syksyn aikana, tulisi alkumittaukset tehdä rakenteen valmistumisen jälkeen. Seurantamittaukset tehtäisiin jo kolmen kuukauden jälkeen. Sen jälkeen mittaukset otettaisiin vuoden ja kahden vuoden jälkeen rakentamisesta. Käytännössä vaurioita voidaan havaita alustavasti silmämääräisesti. Havainnoitavia kohteita ovat mm. halkeamaleveys ja – väli sekä rapautuminen. Seurantakertojen väli riippuu siitä, kuinka nopeasti rakenteen arvioidaan muuttuvan. Nopeasti muuttuvaa rakennetta voidaan tutkia jopa viikoittain, mutta normaali seurantaväli on noin yksi vuosi, enintään viisi vuotta. (Kallio 2016a.)

Koerakenteen puristuslujuutta voidaan testata rakenteesta poratusta koekappaleesta, josta saadaan selville kohteessa käytetyn betonin todellinen lujuus. Rakenteen kantavuutta täytyy myös testata valmiista rakenteesta, jos halutaan verrata sitä myöhemmin mitattuihin kantavuuksiin. Routaliike voidaan havaita vertailemalla aikaisin keväällä tehtyjä korkeusasemamittauksia kesällä tehtyihin. Halkeilua voidaan pienentää tekemällä pintakerrokseen liikuntasauvoja. Koera-

kenteessa voidaan myös kokeilla osittain raudoitusta, jolloin pintakerros valettaisiin kahdessa kerroksessa. Lisäksi valetusta betonista voidaan tehdä pienempiä koekappaleita, esimerkiksi kuutioita kokoa 100 mm x 100 mm x 100 mm. Näitä kappaleita voidaan tutkia tarpeen mukaan. (Kallio 2016a.)

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Maabetonireseptejä kehitettiin seitsemän erilaista. Resepti 1 toimi vain vertailukohtana ja siitä aloitettiin reseptien kehittäminen. Koska siinä on runkoaineena eniten käytetty luonnon hiekkaa ja tämä myötä vähiten kuonapohjaisia aineita, ei se mielestäni ole soveltuva, koska tarkoituksena oli käyttää mahdollisimman paljon kuonapohjaisia raaka-aineita. Samalla perustelulla jättäisin myöskin Resepti 2 pois jatkosta.

Resepti 4 ei saavuttanut lujuudessa tavoitteena ollutta 10MPa:n lujuutta, joten sitäkään ei tarvinne tässä vaiheessa enempää tutkia. Resepti 5:ssä käytettiin enemmän sementtiä kuin muissa resepteissä. Sementin määrän lisääminen vaikutti lujuuden nousuun. Sementin lisäys aiheutti sen, että reseptin hinta nousi. Tosin säänkestoon sementin lisäyksellä saattaa olla vaikutusta. Mutta säänkestoa ei tutkittu tässä työssä.

Resepti 6:ssa käytettiin sideaineena masuunikuonajauhetta. Hinnaltaan tämä versio on kaikista kallein, johtuen siitä, että masuunikuonajauhe on kalliimpaa ainetta kuin sementti. Lujuudessa tämä resepti ylsi myös tavoitteeseen. Masuunikuonajauhe on hitaasti kovettuvaa, joten ensimmäiset mittaukset lujuudesta voidaan tehdä vasta 28 vuorokauden kuluttua.

Resepti 3:ssa ja 7:ssä betonimassan runkoaineena käytettiin eniten kuonapohjaisia materiaaleja. Lujuustesteissä ne saavuttivat tavoitteena olleen 10 MPa:n. Myös hinnan perusteella nämä ovat parhaita vaihtoehtoja. Reseptissä seitsemän on käytetty enemmän sementtiä kuin reseptissä kolme. Sementin lisäys vaikuttaa reseptin hintaan korottavasti, sekä myös lujuuteen.

Mielestäni näistä vaihtoehdoista lisätutkimusta kannattaa tehdä resepteille seitsemän ja kolme. Tutkia kannattaa esimerkiksi mitä vaikutuksia sementin määrällä on säänkestoon. Raaka-aineet näissä resepteissä oli samat, ainoana eroa siis vain sementin määrä ja laatu. Resepti 3:n kustannukset kuutiometrille olivat 48,95 € ja resepti 7:n 60,15 €. Myös reseptistä kolme kannattanee tehdä versio perussementillä, samalla perussementtimäärällä kuin nyt käytetyllä pi-

kasementillä. Tällä nähtäisiin, onko sementin lisäyksellä vaikutusta lujuuteen ja säänkestoon, vai riittääkö pienempi määrä sementtiä saavuttamaan riittävän lopputuloksen.

Valmistettavan koerakenteen vaihtoehdoiksi tässä työssä vertailtiin kahta eri vaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa koerakenne tehtiin kahdessa kerroksessa. Pohjakerroksena toimi maabetoniresepti, joka tässä työssä kehitettiin, eli resepti 3. Kulutuskerroksena taas toimi aiemmin kehitetty kuonapohjainen betoniresepti vaihtoehto 5. Tällä vaihtoehdolla koerakenteen kokonaishinnaksi ilman työkustannuksia saatiin 84,36€/m³. Toisena vaihtoehtona oli tehdä koerakenne pelkästään yhdestä reseptistä. Vertailu laskennat tehtiin sekä pelkästään pohjakerroksen maabetonista että kulutuskerroksen maabetonista. Pohjakerroksen maabetoni resepteistä ainoastaan resepti 7 ylsi tavoitteena olleeseen 25 MPa:n lujuuteen. Tämän vaihtoehdon hinnaksi tuli 24,06 €/m³. Kulutuskerroksen maabetoniresepteistä hinnat laskettiin resepteille 1, 3 ja 5. Resepti 1:n hinnaksi saatiin 245,7 €/m³, resepti 3:n hinnaksi 194,56 €/m³ ja resepti 5:n hinnaksi 192,32 €/m³.

Hintoja vertaillessa kulutuskerroksen betoni nostaa hintaa melko paljon, ja siitä syystä käytettäessä pelkästään kulutuskerroksen betonia koko koerakenteelle onkin se kallein vaihtoehto. Kahden reseptin käyttö tulee myös kalliimmaksi kuin vain yhden reseptin käyttö. Materiaali kustannuksiltaan edullisin vaihtoehto olisi siis tehdä koerakenne käyttäen yhtä reseptiä ja käyttäen pohjakerrokseen luokiteltua maabetonia, jonka lujuus ylsi tavoitteena olleeseen 25 MPa, eli tässä tapauksessa reseptiä 7.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää kuonapohjainen maabetoniresepti, jota voidaan käyttää varastokenttien pohjana. Tässä työssä kehitettiin reseptiä pohjakerrokseen, sekä laskettiin reseptien hinnat koalueelle kahdella eri vaihtoehdolla. Kulutuskerroksen reseptit oli kehitetty jo aikaisemmin Oulussa tehdyssä työssä. Näitä reseptejä ei tässä työssä tutkittu enempää.

Koerakenteen tekemiseksi vertailtiin kahta eri vaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa koerakenne tehtiin kahdessa kerroksessa. Pohjakerroksena toimi maabetoniresepti, joka tässä työssä myös kehitettiin. Kulutuskerroksena taas toimi aiemmin kehitetty kuonapohjainen betoniresepti. Toisena vaihtoehtona oli tehdä koerakenne pelkästään yhdestä kuonapohjaisesta reseptistä. Näille vaihtoehdoille laskettiin myös hinnat.

Työssä saatiin tehtyä seitsemän eri vaihtoehtoa pohjakerroksen kuonapitoiseksi reseptiksi yhdessä Oulun ammattikorkeakoulun betonilaboratorion kanssa. Näitä reseptejä tutkittiin testaamalla niiden lujuuksia. Tavoitteena oli löytää resepti, joka ylittäisi 10MPa lujuuteen, sisältäisi mahdollisimman paljon kuonapitoisia aineita ja olisi näin ollen myös kustannuksiltaan edullinen.

Tuloksien pohjalta voidaan tehdä vielä lisätutkimuksia resepteistä. Tutkittavia asioita on ainakin säänkesto, johon ei tässä työssä otettu kantaa ollenkaan. Säänkesto on kuitenkin oleellinen asia, koska tehtävät varastokentät tulevat sijaitsemaan ulkona, muuttuvissa sääolosuhteissa. Varsinkin pakkasenkesto on valittavalle reseptille tärkeä.

Opinnäytetyössä saavutettiin alkuperäiset tavoitteet reseptin kehittämisen osalta, sillä työn lopputuloksena saatiin kehitettyä resepti, joka koostui kuonapohjaisista aineksista ja saavutti lujuustavoitteena olleen 10 MPa. Kaikille resepteille tehtiin yhdenmukainen testaus, tämän perusteella saatuja tuloksia voidaan pitää vertailukelpoisina.

Kehitettyjen reseptien luotettavuutta voidaan pitää melko paikkaansa pitävinä. Reseptien kehitys on tehty betonilaboratoriossa asianmukaisilla välineillä sekä reseptien kehittämisessä on ollut mukana joukko alan ammattilaisia.

Oppimiskokemuksena, tämän hyvin käytännönläheisen ja hieman myös haastavan, opinnäytetyön kautta sain itselleni tietoa betonin valmistuksesta ja eri työtavoista. Aikaisempaa kokemusta näistä minulla ei juuri ollut. Lopputulokseen ei voi olla kuin tyytyväinen, toivottavasti jatkotutkimukset resepteille ja koe-rakenteen erilaiset testaukset osoittavat, että tämä vaihtoehto on tilaajalle sopiva, kustannustehokas ja muutenkin hyvä ratkaisu varastokenttien pohjarakenteeksi.

LÄHTEET

Finnish Consulting Group 2007. JT- sulaton pohjarakenne-ehdotus.

Finnsementti 2015. KJ400 Masuunikuonajauhe. Viitattu 18.7.2016
http://www.finnsementti.fi/fsproductdb/files/test/kj400_1_31032016_104028.pdf

Finnsementti 2016a. Masuunikuonajauhe. Viitattu 18.7.2016
[/http://www.finnsementti.fi/tuotteet/seosaineet-ja-silikajauheet/masuunikuonajauhe-kj400/](http://www.finnsementti.fi/tuotteet/seosaineet-ja-silikajauheet/masuunikuonajauhe-kj400/)

Finnsementti 2016b. Plussementti. Viitattu 18.7.2016
<http://www.finnsementti.fi/tuotteet/semetit/plussementti>

Kallio, V. 2016a. Lopputyö: Maabetonoinninkokeilu-Tapojärvi. Email riikka.salmela@edu.lapinamk.fi 13.5.2016, 18.5.2016, 25.5.2016

Kallio V. 2016b. Maabetoni lopputyö. Email riikka.salmela@edu.lapinamk.fi 30.8.2016, 21.9.2016

Kunelius, J. 2010. Valokaariuuni 2:n kaatolämpötilan mallinnus. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Prosessimetallurgian laboratorio. Diplomityö.

Lahdenperä, K. 2016. Koerakenteen maabetonireseptien testaaminen. Oulun ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Lemminkäinen Oy 2017. Stabilointi. Viitattu 18.8.2016. lemminkainen.fi/globalassets/documents/infra/fi/paving/stabilointi.pdf

Markkanen, P. 1970. Maabetoni- Sementillä ja kalkilla lujittaminen. Sementtiyhdistys ry.

Mäntylä, A. 2016. Kyselyä hinnoista. Email riikka.salmela@edu.lapinamk.fi-12.9.2016.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2011. Betonitekniikan oppikirja 2004. Helsinki: BY-Koulutus.

Sarkkinen, M. 2016a. Betoniblokkien säänkestävyyden parantaminen. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Kone- ja kaivostekniikan osasto. Tutkielma.

Sarkkinen, M. 2016b. Tapojärvi: Maabetoni lopputyö. Email riikka.salmela@edu.lapinamk.fi 27.9.2016

Outokumpu Oyj 2016. Tuotantoprosessi Kemissä ja Torniossa. Viitattu 18.7.2016.
http://www.outokumpu.com/sitecollectiondocuments/tornio_animaatio_printtiversio.pdf

Tiehallinto 2004. Tietoa tiensuunnitteluun. Viitattu 19.1.2017.
<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/ttiens/tts73.pdf>

Tiehallinto 2007. Päällysrakenteen stabilointi. Viitattu 18.7.2016.
alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100055-v-07paallysrakenteen_stabilointi.pdf

Tapojärvi Oy 2016. Internet-sivut. Viitattu 10.7.2016 <http://www.tapojarvi.com>

Uusitalo, J., Ihanamäki, J., Rajala, R. & Vallin, O. 1990. Betonityöt. 5. painos
Jyväskylä: Rakennustieto Oy.