

BETONIBLOKIEIN VALMISTUS FECR-KUONASTA

Mattila Ismo

Opinnäytetyö
Kone- ja tuotantotekniikka
Kaivosmuuntokoulutus
Insinööri (AMK)

2016

Kone- ja tuotantotekniikka
Kaivosmuuntokoulutus
Insinööri (AMK)

Tekijä	Ismo Mattila	Vuosi	2016
Ohjaajat	DI Rauno Toppila DI Jukka Joutsenvaara FM Jouko Karinen		
Toimeksiantaja	Tapojärvi Oy / Juha Koskinen		
Työn nimi	Betoniblokien valmistus FeCr-kuonasta		
Sivu- ja liitesivumäärä	70		

Opinnäytetyön aiheena oli betoniblokien valmistaminen ferrokromikuonasta Tapojärvi Oy:lle. Tavoitteena oli tutkia FeCr-kuonan hyötykäyttöä valamalla koe-erä kuonapitoisia betoniblokeja, jossa runkoaineeksena käytettiin FeCr-kuonaa.

Optimoitua reseptiikkaa oli aikaisemmin kehitelty jo laboratorio-olosuhteissa. Työhön sisältyi lisäksi betonireseptiikan käytännön viimeistely, tarvikkeiden hankinta, aikataulutus, kirjallinen raportointi sekä koe-erän tulosten seuranta ja laadunvalvonta. Koe-erän perusteella pohdittiin myös mahdollisia jatkosuunnitelmia hankkeelle tulevaisuudessa.

Betoniblokeja valmistettiin yhteensä viisi kappaletta. Tuoreesta betonimassasta suoritettiin laaduntarkkailua kuten notkeuden, ilmamäärän, tiheyden, ja puristuslujuuden mittaukset.

Lopputuloksena koe-erälle saatiin viimeisteltyä betonireseptiikka käytännössä. Suurimmalle osalle betoniblokeista massan laatu saatiin pidettyä riittävän laadukkaana ja vaadittujen kriteerien sisällä. Lisäksi koe-erän avulla laadittiin betoniblokin valmistusohjeet sekä laadunvalvonnan ohjeistus tuoreelle betonimassalle.

Avainsanat arktinen teollisuus, betoni, ferrokromi, kiertotalous, kuona, OKTO, teollisuuden sivuvirrat

Mechanical and Production Engineering
Mining Conversion
Bachelor of Engineering

Author	Ismo Mattila	Year	2016
Supervisor	Rauno Toppila, MSc (Tech) Jukka Joutsenvaara, MSc (Tech) Jouko Karinen, MSc		
Commissioned by	Tapojärvi Oy / Juha Koskinen		
Subject of thesis	Manufacturing Concrete Blocks from Ferrochromium		
Number of pages	70		

The subject of the thesis was to produce concrete blocks from ferrochromium slag to Tapojärvi Oy. The aim was to study ferrochromium's utilization by casting a trial sample of blocks which include slag.

An optimized product formulation had already been developed before in laboratory circumstances. In addition, the aim was to finish the product formulation in practice, to purchase supplies, schedule, report, and monitor the results and quality control. On the basis of the test possible future plans were also discussed for the project in the future.

Concrete blocks were produced a total of five pieces. The quality control was made from the fresh concrete mix, such as pliability, air volume, density and compressive strength measurements.

The final result of the thesis was to find finished product formulation in practice. For the majority of the concrete blocks the quality of the mass was kept sufficiently high and within the required criterions. In addition, concrete block manufacturing instructions were made and quality control guidelines for fresh concrete mix.

Key words arctic industry, circular economy, concrete, ferrochromium, industrial side streams, OKTO, slag

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	TAPOJÄRVI OY	10
3	FERROKROMIPROSESSIN KUONAN SYNTYMINEN	11
3.1	Ferrokromin valmistus	11
3.2	FeCr-kuona	13
3.3	OKTO-murske	15
3.4	OKTO-murskeen ja luonnonkiven eroavaisuudet	18
4	BETONI	19
4.1	Betoni rakennusaineena	19
4.2	Betonimassan raaka-aineet	19
4.2.1	Sementti	20
4.2.2	Runkoaine	21
4.2.3	Lisäaineet	22
4.2.4	Vesi	23
4.3	Kovettunut betoni	24
4.4	Betonin luokitus	25
4.5	Betonimassan valmistaminen	27
5	BETONIBLOKI	31
5.1	Mitä betoniblokit ovat?	31
5.2	Betoniblokin valmistusohje	34
5.2.1	Valmistelutyöt	34
5.2.2	Muottiin valaminen	36
5.2.3	Betonin tiivistäminen	37
5.2.4	Pinnan hiertäminen	39
5.2.5	Viimeistelytyöt	39
5.2.6	Muotin purkaminen	40
6	KOEKAPPALEET JA LAADUNMITTAUSOHJEET	42
6.1	Koekappaleet	42
6.2	Laadunmittaukset	45
6.2.1	Painuma	45
6.2.2	Ilmamäärä	48

6.2.3 Tiheys.....	49
7 KOE-ERÄN VALMISTUS.....	52
8 KOE-ERÄN TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI	56
8.1 Tulokset	56
8.2 Tulosten analysointi	57
8.2.1 Ilmamäärän ja märkätiheyden tarkastelu.....	59
8.2.2 Puristuslujuuden ja tiheyden tarkastelu	60
9 BETONIBLOKIN VALMISTUSKUSTANNUKSET	63
10 JATKOSUUNNITELMIA HANKKEELLE	64
11 POHDINTA	67
LÄHTEET	69

ALKUSANAT

Opinnäytetyö tehtiin kesän 2016 aikana. Kiitän toimeksiantaja Tapojärveä opinnäytetyön aiheen saamisesta. Kiitokset Tapojärven tutkimus- ja kehitysjohtajalle Juha Koskiselle, sekä Laura Kivilompololle ja Annaleena Kostamolle valutöiden avustamisessa.

Lapin AMK:n TKI-tutkimusryhmästä kiitän Rauno Toppilaa, Jouko Karista sekä Jukka Joutsenvaaraa työn asianmukaisesta ohjauksesta.

Kiitokset myös puolisololleni ja muille läheisille kannustamisesta sekä tukemisesta opinnäytetyöni tekemisessä.

Kemissä elokuussa 2016,

Ismo Mattila

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

EKU	etukuumennusuuni
FeCr	ferrokromi
JT	jaloteräs
OKTO	Outokumpu Tornio

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe on saatu Lapin ammattikorkeakoulun Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisalan TKI-ryhmän tutkimustiimi ”Arctic Steel and Miningin” kautta, joka on yksi Lapin AMK:n tutkimusryhmistä. Tapojärvi Oy on hakenut TKI-ryhmän kautta opinnäytetyön tekijöitä liittyen Tornion Outokummun terästehtaan tuotannosta syntyvän kuonan hyötykäyttöön. FeCr-kuonaa voidaan hyödyntää monin eri tavoin kuten maanrakennuksessa, ja siitä valmistetaan CE-merkittyjä tuotteita. Opinnäytetyön aikana kuonatutkimuksia tehdään useampikin samanaikaisesti, joista aiheekseni sain ferrokromikuonan hyötykäytön tutkimista betonin runkoaineena.

Toisen tutkimustyön aihe on hyvin samankaltainen, erona vain että siinä tutkitaan VKU-kuonan hyötykäyttöä betonoinnissa. FeCr-kuona on näistä kahdesta kuonalajikkeesta helpommin hyödynnettävää, koska sillä ei ole esimerkiksi paisumisominaisuuksia. Opinnäytetyön projektiin osallistuvat aikaisempia tutkimuksia kuonasta tehneet yhteistyökumppanit Kajaanin ja Oulun ammattikorkeakoulusta. He toimivat projektin konsultteina, joiden kautta saadaan esimerkiksi betonireseptit sekä muutkin betonikemiaan liittyvät ammatilliset ohjeistukset.

Kajaanin ammattikorkeakoulusta betonireseptiikan asiantuntijana projektissa toimii Minna Sarkkinen, joka työskentelee projektitutkijana sekä betonikemistinä, ja on koulutukseltaan tekniikan tohtori (TkT). Oulun ammattikorkeakoulusta betoniasiantuntijoina ovat laboratoriomestarit Heikki Isohookana ja Pertti Uhlback, sekä projektin kehityspalavereissa mukana toimii rakentamistekniikan lehtori Hannu Kääriäinen.

Betoniblokeja on tarkoitus valmistaa yhdestä viiteen kappaletta Tapojärven JT-rikastamon tiloissa kesän 2016 aikana. Blokien valmistuksessa hyödynnetään betonialan asiantuntijoiden apua haasteellisissa tilanteissa. Betonimassan teossa ja laadunmittauksessa noudatetaan betonialan standardeja, jotta massa valmistetaan oikeaoppisesti ja laatu mitataan annettujen ohjeiden mukaisesti.

Tärkeimmät tutkittavat ominaisuudet betonista ovat ilmamäärän, notkeuden sekä kovettuneen betonin puristuslujuuden mittaukset.

2 TAPOJÄRVI OY

Tapojärvi Oy on kaivosalan moniosaaja, joka on keskittynyt kaivostoimintaan, materiaalinkäsittelyyn sekä tehdas- ja teollisuusprosessien hoitamiseen. Lisäksi Tapojärvi on laajentanut liiketoiminta-alueitaan ostamalla Kolarin kunnassa sijaitsevan kaivoksen nimeltään Hannukainen, jota pyörittää Tapojärven tytäryhtiö Hannukainen Mining. Tapojärvi osti Northland Finlandin konkurssipesän, joka oli ehtinyt tutkia esiintymää alueella ja sen hyödyntämistä. Varsinainen kaivostoiminta siellä on vasta suunnitteluvaiheessa, sillä nyt on käynnissä lupavaihe ja itse kaivostoiminta voisi alkaa noin viiden vuoden aikajänteellä. Varsinaisesta maanrakentamisesta on luovuttu ennen vuosituhannen vaihdetta. Tapojärvi on edelleen perheyrittäjä, jonka toiminta ja juuret ovat yhä Lapin maaperällä. Yhtiön kotipaikka sijaitsee Kolarissa, ja pääkonttori Torniossa. Yritys työllistää noin 490 työntekijää, ja toimialue on Suomen lisäksi myös Pohjoismaat. Kotimaassa isoimmat työmaat sijaitsevat Kemissä, Torniossa, Raahessa, Kittilässä, Ilomantsissa ja Polvijärvellä. (Tapojärvi Oy 2016.)

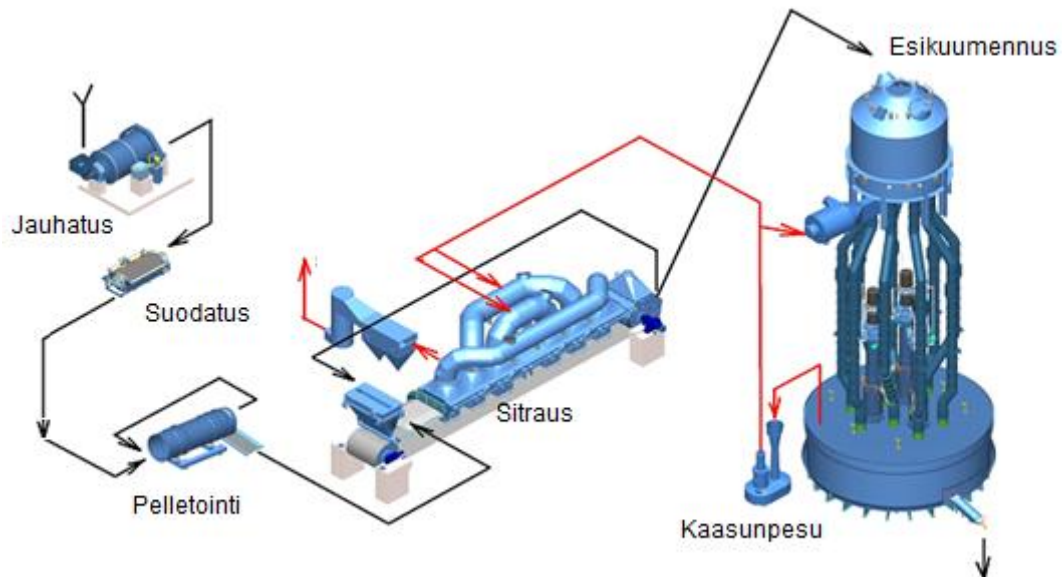
Tapojärvi tarjoaa asiakkailleen monenlaisia palveluita, jotka koostuvat monesta eri osaamisalasta. Tärkeimpiä toimintoja ovat muun muassa louhintä-, kuljetus-, rusnaus- ja kaivosten varustelutyöt, louhostäytöt, maanalaisten teiden rakentaminen ja kunnostus, maanpoistot sekä padonrakennus. Kokemusta on kertynyt vuosikymmenten ajalta niin avo- kuin maanalaisista louhoksista. Tapojärvi on vakiinnuttanut asemansa useassa kaivoksessa osana tuotantoa malmin ja sivukiven lastauksessa ja kuljetuksessa. (Tapojärvi Oy 2016.)

Tapojärven yksi perusarvoista on pyrkiä toimimaan ympäristöystävällisesti. Prosesseja kehitetään jatkuvasti, ja ne tukevat kestävä kehityksen periaatteita. Esimerkiksi Tornion Tapojärven rikastamolla valmistetaan asiakkaalle myyntituotteita FeCr- ja JT-kuonista, joista ferrokromi ja teräs erotetaan takaisin tuotantoon, ja ylijäänyt kuona tuotteistetaan CE-merkityksi materiaaliksi teiden ja infrastruktuurin rakentamisessa. Näin ollen säästetään satojen tuhansien tonnien jätteiden syntymisestä ympäristöön. (Tapojärvi Oy 2016.)

3 FERROKROMIPROSESSIN KUONAN SYNTYMINEN

3.1 Ferrokromin valmistus

Torniossa sijaitsevan Outokumpu Chrome Oy:n ferrokromisulatolla valmistetaan ferrokromia, jota käytetään Outokumpu Tornio Worksin ruostumattoman teräksen tuotannossa. Ferrochromin tärkein raaka-aine, kromiittimalmi, saadaan louhittua Kemin Elijärven kaivokselta, joka kuuluu myös Outokumpu Chrome Oy:n omistukseen. Malmi kuljetetaan kuorma-autoilla Tornioon. Palarikaste voidaan käyttää ferrokromin valmistuksessa sellaisenaan, kun se tuodaan Elijärven kaivokselta Tornioon FeCr-tehtaalle. (Pekkala & Ruokanen 2007, 3.)

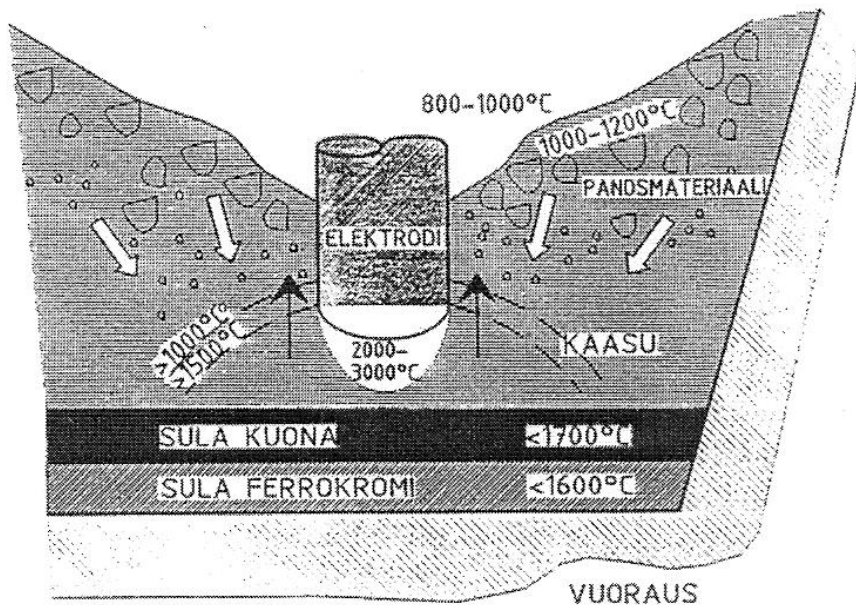


Kuvio 1. Ferrochromin valmistusprosessi (Kasala 2005)

Kuviossa 1 on esitetty ferrokromin valmistusprosessi Torniossa. Vasemmasta laidasta etenevä prosessin kuvaus käsittää ensin kuulamyllyn, jossa hienorikastetta ja hienokoksia jauhetaan entistä hienommaksi märkäjauhatuksen avulla. Suodatuksen ja sekoituksen jälkeen rikasteet syötetään pelletointirumpuun, jolla aikaansaadaan 11 - 13 mm halkaisijaltaan olevia pellettejä. Suodinkakkuun annostellaan lisäksi koksi- ja yleispölyä sekä bentoniittia sideaineeksi. Pelletointirummusta märkäpelletit jatkavat matkaansa teräsnauhasintrausuuniin, jossa ne kuumennuksen avulla kovettuvat sopivaksi syötemateriaaliksi sulatukseen. Tämän jälkeen oikeaan suhteeseen annosteltu sulatuspanos ohjataan ferro-

kromisulatolle, jossa se ensimmäisenä läpikäy etukuumennuksen (EKU). Etukuumennus sijaitsee uppokaariuunin yläpuolella. Sulatuspanos sisältää Eljärven kaivokselta tuotettua palarikastetta, sintraamon pellettejä sekä muita tuotantotarveaineita kuten koksia ja kvartsiittia. (Ollila 2008.)

EKU:ssa kuumennettu syötemateriaali valuu painovoiman ansiosta syöttöputkia pitkin uppokaariuuniin, jossa ferrokromin sulatus tapahtuu. Uppokaariuunin sulatus tapahtuu uunin sisällä olevien kolmen elektrodin kautta. Elektrodeihin johdetaan virtaa, joka aiheuttaa kuumenemisen ja sitä kautta syötteen sulamisen. Kuviossa 2 on esitetty uppokaariuunin toimintaperiaate. Kuviossa alimmaisena uunin pohjalla on sula ferrokromi, ja sen päällä kuonakerrostuma. Ferrokromi painuu uunin pohjalle johtuen siitä, että se on kuonaa tiheämpää. Lämpötila sulalla kuonalla on noin 1700 °C, ja ferrokromilla noin 100 °C matalampi. (Ollila 2008.)



Kuvio 2. Uppokaariuunin poikkileikkaus (Niemelä 2001)

Uppokaariuunin laskureikä aukaistaan noin 2,5 tunnin välein, jolloin FeCr ja kuona lasketaan tulenkestäviin senkkoihin. Suurin osa sulasta ferrokromista toimitetaan välittömästi suoraan Tornion terässulatolle. Painava ferrokromi pysyy senkassa, mutta kuona ohjataan senkoista ylijuoksuna rakeistusaltaaseen, jossa se saadaan jäähdytettyä nopeasti. Rakeistuksesta kuona jatkaa matkaan-

sa Tapojärven rikastamolle, jossa siitä erotetaan arvometallit erilleen ja myydään ylijäänyt kuona eteenpäin. (Ollila 2008.)

3.2 FeCr-kuona

Tornion ferrokromisulatolla kuonaa syntyy noin 1,2 tonnia tuotettua ferrokromi-tonnia kohden. Laadukkaan lopputuloksen sekä ferrokromiprosessin toimivuuden kannalta kuonan ominaisuudet ovat tärkeässä roolissa. Ferrokromikuonan laatua tarkkaillaan jatkuvasti näytteenoton avulla, joka otetaan sulanlaskun aikana. Näytteiden tuloksia käytetään sulatusprosessin ohjauksen parantamiseen. (Ollila 2008.)

Laadukkaan kuonan ominaisuuksiin kuuluvat alhainen viskositeetti, vähäinen sähkönjohtavuus sekä sopiva sulamispiste. Muita vaikuttavia ominaisuuksia ovat esimerkiksi riittävän alhainen tiheys ja mahdollisimman alhainen kromipitoisuus. Kuonan pääkomponentteja ovat Al_2O_3 (alumiinioksidi), SiO_2 (piioksidi), MgO (magnesiumoksidi) ja CaO (kalsiumoksidi). Niiden lisäksi kuonassa on rauta- sekä kromioksidgeja ja ferrokromia metallipiroitteina. Kuonan koostumus voi vaihdella hieman Tornion ferrokromisulatolla, johtuen uunien erilaisista dimensioista, prosessin ”ajamistavasta” sekä syötteen panostuksen annostelusuhteesta.

Taulukossa 1. on listattu FeCr-kuonan tyypillinen koostumus. (Pekkala & Ruokanen 2007, 7-8,14.)

Taulukko 1. FeCr-kuonan tyypillinen koostumus (Pekkala & Ruokanen 2007, 8)

Komponentti	Osuus FeCr-kuonasta (%)
Al ₂ O ₃	26
SiO ₂	30
MgO	23
CaO	1 - 2
Fe	3 - 4
Cr	8

Kuonan yksi tärkeä tehtävä on toimia metallia kuumentavana väliaineena. Siksi kuonan sulamispisteen täytyy olla huomattavasti korkeampi kuin metallin. Sulamispiste ei saa olla kuitenkaan liian korkea, sillä se aiheuttaa ylimääräistä energian kulutusta kuonan kuumentamisessa ja lisää toiminnan kannattamattomuutta. Liian alhainen sulamispiste sen sijaan johtaisi merkittäviin valutappioihin metallin jäädessä kiinni senkkoihin sulanlaskussa sekä kuljetusten yhteydessä. Optimaalinen ferrokromikuonan sulamispiste vaihtelee 1680 - 1720 °C:n välillä. Korkealla kvartsipitoisuudella saadaan laskettua ferrokromikuonan sulamispistettä tarvittaessa, mikäli sulamispiste ylittää reilusti optimaalisen sulamisrajan. (Pekkala & Ruokanen 2007, 8,15.)

Toisena tärkeänä kuonan ominaisuutena ferrokrominprosessissa voidaan pitää sähkönjohtavuutta. Vastuksen täytyy olla riittävä, jotta johdettu sähkövirta kuumentaa syötepanoksen sulamispisteeseen saakka. Kuonan sähkönjohtavuutta pystytään säätämään koksen määrällä sekä etukuumennusastetta, elektrodien asemaa tai panostussuhdetta muuttamalla. Sähkönjohtavuus kuonassa riippuu myös emäksisyysarvosta, jolla voidaan säädellä kuonaan jäävää kromin määrää. Tavoitteena on luonnollisesti tuottaa mahdollisimman vähän kuonaa ferrokromin tuotannossa. Vahvasti emäksisellä kuonalla saadaan korkea sähkönjohtavuus. Toisaalta vahvasti emäksisellä kuonalla viskositeetti samalla laskee. Tästä johtuen ei ole kannattavaa lisätä syötepanokseen liikaa emäksistä kuonaa, vaikka se parantaisikin kuonan muita ominaisuuksia. (Pekkala & Ruokanen 2007, 9-10.)

Kuonan viskositeetti vaikuttaa suuresti uppokaariuunin tuottavuuteen. Viskositeettiin vaikuttavat kiintoainemäärä, lämpötila ja koostumus. Tavoitteena on mahdollisimman matalan viskositeetin ylläpitäminen. Mikäli viskositeetti on liian korkea, niin se aiheuttaa sulanlaskussa turhan suuren määrän metallin kulkeutumisen kuonan mukana rakeistukseen. Jähmeä kuona tulee hitaasti ulos uunista sulanlaskussa, ja korkea kuonan viskositeetti voi lisätä sulanlaskussa sulamattoman syötteen määrää. Matalaviskoosisella kuonalla parannetaan aineensiirtoa ja kuonan reagointikykyä metallin ja kiinteiden aineiden kanssa. Lisäksi CO-kaasun kautta tapahtuva pelkistyminen edistyy kun kuonan viskositeetti on alhainen. Matalaviskoosinen kuona parantaa myös kuonan ja metallin välistä kostutusta, jolloin metallissa olevat pii sekä hiili pystyvät pelkistämään kuonan sisältämiä kromioksidgeja. (Pekkala & Ruokanen 2007, 12.)

3.3 OKTO-murske

Asiakkaalle myytäviä FeCr-kuonan kiviainest tuotteita kutsutaan OKTO-rakennustuotteiksi. Tässä opinnäytetyössä pääpaino keskitetään OKTO-murskeeseen, jota valmistettavissa betoniblokeissa käytetään runkoaineena. OKTO-tuotteiden käyttö säästää luonnonkiviainesta, joka on ympäristön kannalta paras hyödyntämistapa. Kaikki OKTO-tuotteet ovat CE-merkittyjä, ja niiden ominaisuuksia analysoidaan ISO 9001 -laatu järjestelmän mukaisesti. Valmistus suoritetaan myös ISO 14001 -ympäristöjärjestelmän mukaisesti. (Morenia Oy 2016.)

OKTO-tuotteille ei tarvita erillistä ympäristölupaa. Ne kuuluvat tuotevastuulain piiriin ja niitä voidaan käyttää samoin kuten muitakin luonnonkiviaineita tuottajan vastatessa tuotteiden ympäristökelpoisuudesta. OKTO-tuotteiden sisältämät metallit ovat ominaisuuksiltaan niukkaliukoisia sekä happoliuospitaisuudet tarpeeksi pieniä, ja ne täyttävät EU:n tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset. OKTO-tuotteista valmistetut rakenteet ja niistä läpisuotautunut vesi eivät aiheuta vaaraa lähialueen eläimille, kaloille tai vesieläimille, eivätkä ne pilaa pohjavettä materiaaleista mahdollisesti liukenevista pienistä metalli-

määristä johtuen. OKTO-tuotteita ei suositella kasvualustoiksi huonon vedenpidätysominaisuutensa vuoksi. (Morenia Oy 2016.)

OKTO-murske on ilmajäähdytetystä FeCr-kuonasta murskaamalla valmistettu kivituoite. Murskeella on CE-merkintä perustuen standardiin SFS-EN 13043. Kuona murskataan ja jaetaan pesuseulonnassa ensin karkealla jaolla kokoihin 0/5 ja 5/22 mm, minkä jälkeen metalli kerätään talteen väliaine-erotuksella. Hienopiirissä metallien erotus tapahtuu magneettierottimen sekä spiraalien avulla. OKTO-murskeen raekokoluokat vakiotuotannossa ovat 0/5 mm, 4/8 mm, 4/11 mm, 8/11 mm, 10/16 mm sekä 6/22 mm. Hienoainespitoisuus saadaan pidettyä erittäin alhaisena vesiseulonnan ansiosta tuotantoprosessissa. Kuvassa 1 näkyy kaksi erikokoista kasaa OKTO-mursketta. (Outokumpu Oy 2010, 4.)



Kuva 1. OKTO-mursketta 0/5mm ja 16/22 (Outokumpu Oy 2010, 6)

OKTO-mursketta käytetään pääasiassa päällysteiden runkoaineena. Muita käyttökohteita ovat esimerkiksi kapillaarikatkokerrosten (maanvaraisen lattian salaoituskerroksen korvaavan kevytsoratäytön) rakentamisessa sekä betonin runkoaineena. Kovuudeltaan ne luokitellaan I- tai II-luokan kiviaineeksi, eli niitä voidaan käyttää vaativissakin päällystyskohteissa. Murskeen ominaisuuksiin kuuluvat kantavuus, keveys, eristävyys sekä alhainen veden imeytymiskorkeus. (Morenia Oy 2016.)

OKTO-murske on mineralogiselta koostumukseltaan suhteellisen homogeenista. Murske on osittain kiteistä sekä osittain lasista kovaa kiviainesta. Pääfaasit

suuruusjärjestyksessä ovat lasi, spinellit, forsteriitti, Mg-Al-silikaatti ja metallipirote. Kiteytymisaste on granuloitua eli rakeistettua OKTO-eristettä korkeampi, ja siitä syystä OKTO-murskeen rakenne on erittäin kestävä. Taulukossa 2 on lueteltu OKTO-murskeen tärkeimpiä teknisiä ominaisuuksia. (Morenia Oy 2016.)

Taulukko 2. OKTO-murskeen tekniset ominaisuudet (Morenia Oy 2016)

Ominaisuus	Arvo	Yksikkö
Irtotiheys	1,4 - 1,6	t/m ³
Kiintotiheys	3,1	t/m ³
Kuivairtotiheys	1,5	t/m ³
Ominaispinta-ala	2,2	m ² /g
Lämmönjohtavuus	1,14	W/mK
Vedenläpäisevyys	$10^{-0,5} - 10^{-4}$	m/s
Kuulamylllyarvo	7	-
Routimiskerroin	0	mm ² /Kh
Turpoamiskerroin	0	%
Jäädytys-sulatuskestävyys	0,2	%
Litteysluku	8	-
E-moduulisuositus	100...280	MN/m ²
Kitkakulma	42	°

3.4 OKTO-murskeen ja luonnonkiven eroavaisuudet

Vaikka OKTO-murske onkin kelvollinen luonnon kiviaineksen korvaaja runkoaineeksi, on sillä olemassa tiettyjä eroavaisuuksia betonin valmistuksen suhteen. Suomen luonnossa esiintyvien kivennäismaalajien kiintotiheys on tyypillisesti 2,6 - 2,8 t/m³. OKTO-murskeella kiintotiheys on noin 3,1 t/m³, joten näin ollen se on raskaampaa kuin keskimääräinen kiviaines. (Moilanen 2008, 22.)

Runkoaineena käytettävän kiviaineksen on oltava sovelias betonoitavaan kohteeseen. Runkoaine ei saa sisältää liian paljon litteää kivimateriaalia, koska se voi heikentää kovettuneen betonin lujuutta. OKTO-murskeen kitkakulma on keskimääräisesti noin 42°. Suuri kitkakulman luku johtuu OKTO-murskeen karkeista raepinnoista. Mikäli kiviaines on litteää, saattaa sen muoto estää betonin riittävän tiivistymisen sekä aiheuttaa työstettävyyden heikkenemistä. Litteän raekoon haittana on myös se, ettei se pysty vastaanottamaan yhtä suurta kuormitusta kuin vastaavan kokoinen pyöreämpi rae. (Moilanen 2008, 22.)

Luonnon muovaaman kiviaineksen etuna on tyypillisesti sen pyöreämpi muotoisuus OKTO-murskeeseen verrattuna. Pyöreämuotoinen kivimateriaali soveltuu hyvin runkoaineeksi, koska se tarvitsee vähemmän pinta-alaa suhteessa litteämpään ja murskattuun kiviainekseen. Pyöreä raekoko tarvitsee myös pienemmän määrän sementtiä betonirakenteen yhteenliittymiseksi. Sen sijaan murskattu OKTO-murske vie enemmän pinta-alaa, joten se vaatii enemmän sementtiä ja näin ollen myös enemmän vettä. Tästä johtuen vesi-sementtisuhde kasvaa, mikä heikentää betonin lujuutta. (Palviainen 2014, 9,12.)

4 BETONI

4.1 Betoni rakennusaineena

Betoni tulee ranskan kielen sanasta béton, joka tarkoittaa perustuksissa käytettyä valumassaa, joka sisältää kiviä. Sen keksivät roomalaiset vuoden 200 eKr. aikoina. Nykypäivänä betonista puhuttaessa tarkoitetaan aina portlandsementistä, runkoaineesta ja vedestä valmistettua massaa, joka jähmettyy betonirakenteeksi muotissa. Betoni on yksi suosituimmista rakennusaineista maailmassa sen hyvien ominaisuuksiensa ansioista. Sitä käytetään lähes jokaisella rakentamisen osa-alueella, kuten siltojen, teiden, kerrostalojen ja patojen rakennusaineena. Suomi voidaan laskea tärkeimpien betonirakentajien maiden joukkoon. Betonimassan on oltava ominaisuuksiltaan sellaista, että sitä voidaan käyttää kohteeseen soveltuvia betonointimenetelmiä käyttäen, ja kovetuttuaan se täyttää asetetut vaatimukset. Tärkeimmät betonimassan ominaisuudet ovat koossapysyvyys, notkeus sekä tiivistyvyys. (Kaila 1999,165.)

4.2 Betonimassan raaka-aineet

Käytännössä betoni on kiveä, joka on luotu keinotekoisesti. Betonimassan raaka-aineet ovat:

- sementti
- runkoaine eli kiviaines
- lisäaineet
- vesi.

Betonimassaa valmistetaan sekoittamalla raaka-aineet keskenään myllyn avulla. Kivimäinen koostumus syntyy, kun betoni kuivuessaan jähmettyy kivimäisen kovaksi. Kiviaineksen tehtävä on toimia betonin runkoaineena. Vesi antaa tuoreelle betonimassalle välttämättömän työstettävyyden. Sementti on betonin liimaava ainesosa, joka reagoi veden kanssa ja saa aikaan sementtiliiman kovettumisen sementtikiveksi. Sen tehtävänä on täyttää betonoinnissa syntyvät tyhjät

tilat. Lisäaineilla voidaan muokata betonin ominaisuuksia, kuten väriä sekä kestävyysominaisuuksia erilaisia olosuhteita varten. (Uusitalo ym. 2002, 9-10, 18.)

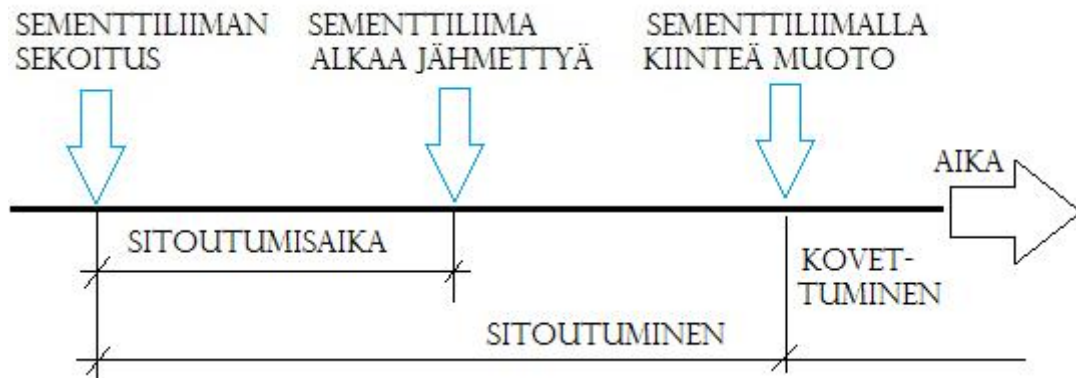
4.2.1 Sementti

Sementin pääraaka-aine on savipitoinen kalkkikivi, joka ensin louhitaan, murskataan ja lajitellaan ennen raakajauhatusta. Sementin valmistuksessa tarvitaan kalkkikivestä saatavan kalsiumkarbonaatin (CaCO_3) lisäksi piioksidia (SiO_2), alumiinioksidia (Al_2O_3) ja rautaoksidia (Fe_2O_3), jotka saadaan hankittua kalkkivilouhoksen sivukivistä sekä teollisuuden sivutuotteista. Kalkkikiven raaka-aineiden kemiallisten koostumusten perusteella määritetään oikeat syöttösuhteet, minkä jälkeen aineet syötetään raakajauhemyllyyn, jossa ainekset jauhautuvat hienoksi. (Finnsementti Oy 2016.)

Sementtiklinkkeri valmistetaan kiertouunissa noin $1400\text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa. Jauhettu raaka-aines syötetään uuniin syklonitorniin kautta, jossa se saadaan kuumenemaan uunista poistuvien savukaasujen ansiosta. Kalkki-, alumiini-, pii- sekä rautayhdisteet sintraantuvat uunissa lopulta sementtiklinkkeriksi. Uunin loppuosassa klinkkeri jäähdytetään nopeasti noin $20\text{ }^\circ\text{C}$:seen ilmanjäähdyttimien avulla. Uunista päästyään sementtiklinkkeri muistuttaa siinä vaiheessa karkeaa soraa. Rakennussementtiä saadaan aikaan jauhamalla kuulamylyssä klinkkeriä, seosaineita ja kipsiä. Seosaineina käytetään muun muassa kalkkikiveä ja masuunikuonaa. Kipsin avulla säädellään sementin sitoutumisaikaa. (Finnsementti Oy 2016.)

Sementille voidaan määritellä kaksi eri vaihetta, jotka se läpikäy betonoinnin aikana: sementin sitoutuminen ja kovettuminen. Kuviossa 3 on esitetty sementtiliiman muuttuminen sementtikiveksi suhteessa aikaan. Kun sementtiliima sekoitetaan, pysyy se tietyn aikaa notkeana ja helposti muokattavana. Seuraavaksi sementtiliima alkaa jähmettyä ja muuttua hiljalleen kiinteään muotoon. Sitoutumisajaksi kutsutaan sitä aikaa, joka kuluu sementin sekoituksesta jäykistymisen alkuun. Viimeisenä vaiheista on kovettuminen, jolloin sementti kovettuu lopulliseen muotoonsa. Riittävän pitkä sitoutumisaika on tärkeää betonitöissä, sillä sinä aikana betoni on kuljetettava valupaikalle, muotteihin sekä tiivistettävä.

Jos sitoutumisvaiheessa olevaa betonia yritetään muokata, saattaa se rikkoa sementtikiveä sekä heikentää betonin lujuutta. (Uusitalo ym. 2002, 13-14.)



Kuvio 3. Sementin vaiheet betonoinnissa (Uusitalo ym. 2002, 13)

Sementtilaatuja on olemassa erilaisia, ja kaikille niille on normeissa määrätty sitoutumisajan ylä- ja alarajat. 20 °C:n lämpötilassa normaali kovettumisaika vaihtelee 2 - 4 tunnin välillä. Lämpötilan vaikutus sitoutumisaikaan on se, että 10 °C:n nousu tuplaa reaktionopeuden eli lyhentää sitoutumisajan puoleen. Kii-reellisissä tapauksissa voidaankin käyttää sementin kovettumista edistäviä kuumennusuuneja ajan säästämiseksi. Sitoutumisen jälkeen alkaa kovettumisvaihe, eli käytännössä 4 - 6 tunnin päästä sekoituksesta. Kovettumista voidaan seurata normeissa säädetyillä koestusikätesteillä. Esimerkiksi rakennussementit jaetaan 28 vuorokauden kuluttua mitatun lujuuden perusteella kolmeen lujuusluokkaan, jotka määrittelevät sen lujuuslaadun. (Uusitalo ym. 2002, 14-15.)

4.2.2 Runkoaine

Suurin osa betonin tilavuudesta koostuu runkoaineesta (60 - 70 %). Runkoaineksella tarkoitetaan pääasiassa kiviainesta, mutta käytännössä se sisältää kaiken materiaalin, jota betonissa käytetään sementin, lisäaineiden ja veden lisäksi. Runkoaine on yleensä luonnosta louhittu kiviaines. Muita vaihtoehtoja runkoaineelle voivat olla muun muassa sora tai kuona, joita tässä opinnäytetyössä on tavoitteena hyödyntää betoniblokien valmistamisessa. Kiviaines voidaan jakaa raekoon mukaan kolmeen eri lajitteeseen: filleriin, hienoon sekä karkeaan. Fillerilajite on alle 1 mm, hieno alle 8 mm ja karkea lajite 8 - 64 mm.

Sen isompaa raekokoa ei suositella käytettävän betonin runkoaineena. (Uusitalo ym. 2002, 18-19.)

Betonin runkoaine ei saa olla rapautunutta, eikä siinä saa esiintyä aineita, jotka huonontavat betonin ominaisuuksia. Tärkeimmät kiviaineksen ominaisuudet ovat puhtauden lisäksi rakeisuus ja kosteus. Rakeisuus tarkoittaa aineksessa olevien erikokoisten rakeiden jakautumaa. Rakeisuuden tulisi hyvä olla sopivan jakautunutta, ja olisi vältettävä pelkästään suurien rakeiden käyttämistä. Tavoitteena on että sementtiä joudutaan käyttämään mahdollisimman vähän sidosaineena, koska sementti on betonin kallein raaka-aine. Kaikki runkoaineet sisältävät aina jonkin verran kosteutta. Isoin osa kosteudesta on kertynyt kalvoksi kiviainesrakeiden pinnalle. Hienojakoinen kiviaines sisältää yleensä enemmän kosteutta kuin karkea johtuen sen suuremmasta ominaispinta-alasta. Luonnonkosteassa kiviaineksessa on tyypillisesti noin 2- 5 % kosteutta. Betonivalmistuksessa kosteus on tärkeä tietää, koska sen avulla voidaan laskea runkoaineen mukana sisältyvä vesimäärä betonimassaan. (Uusitalo ym. 2002, 19, 23.)

4.2.3 Lisäaineet

Lisäaineilla tarkoitetaan aineita, joilla halutaan muokata betonin haluttuja ominaisuuksia perusraaka-aineiden lisäksi. On tärkeää tietää, että lisäaineilla ei pelasteta huonoa betonia, vaan sillä voidaan hienosäätää pelkästään hyvän betonin ominaisuuksia. Lisäaineet voidaan jakaa päävaikutuksensa sekä käyttötarkoituksensa mukaan:

- notkistimiin
- kiihdyttimiin
- hidastimiin
- huokostimiin
- tiivistysaineisiin
- injektointiaineisiin.

Tuoreeseen betonimassaan käytetään notkistinta, jolla voidaan muuttaa betonia notkeammaksi. Notkeus saadaan aikaan ilman veden lisäystä. Notkistinta käy-

tetään muun muassa tiheästi raudoitetuissa ja ahtaissa kohteissa. Kiihdytin li-säaineena nopeuttaa betonin kovettumista. Kiihdytintä käytetään esimerkiksi kun halutaan nopeuttaa muottikiertoa tai kun talvibetonoinnissa halutaan vähentää lämmitystarvetta ja -aikaa. Hidastimella sen sijaan vaikutus on päinvastainen kuin kiihdyttimellä: sillä saadaan siirrettyä sementin sitoutumisen alkua myöhemmäksi. Hidastinta käytetään usein silloin, kun halutaan saada lisää työstettävyyss aikaa. Huokostin parantaa kovettuneen betonin kykyä kestää jatkuvien jääty-misen sekä sulamisen aikaansaama rasitus betonille. Käytännössä huokostin muodostaa pieniä ilmakuplia, jotka tasaisesti jakautuvat betoniin. Huokostimella saadaan parannettua näin ollen varsinkin pakkaskestävyyttä. Tiivistysainetta käytetään, jos betonia halutaan entistä tiiviimmäksi. Samalla tiivistysaine parantaa lujuutta sekä pienentää betonin nesteen- ja kaasunläpäisevyyttä. Injektointiaineella voidaan parantaa injektointilaastin pumppautuvuutta ja tunkeutuvuutta. Lisäksi se saattaa paisuttaa laastia jonkin verran. Käyttökohteina injektointiaineelle ovat esimerkiksi juotosvalut sekä ankkurijän-teiden injektoinnit. (Uusitalo ym. 2002, 19, 25-26.)

4.2.4 Vesi

Betonin valmistuksessa vedellä on tärkeä rooli, jotta betonin raaka-aineita voidaan sekoittaa keskenään. Betonin työstettävyyden lisäksi vesi reagoi sementin kanssa aiheuttaen sementtiliiman kovettumisen. Käytettävä vesi tulee olla mahdollisimman puhdasta. Epäpuhtaudet voivat vaikuttaa heikentävästi betonin kovettumiseen ja sen ominaisuuksiin. Haitallisia aineita vedessä ovat muun muassa sulfaatit, kloridit, rasvat, hapot ja sokeripitoiset aineet. Suomessa käytettävä vesijohtovesi on usein riittävän puhdasta betonin valmistamiseen, koska se sisältää suhteellisen pienen määrän epäpuhtauksia. Merivesikin on monesti riittävän puhdasta kotimaassamme, sillä se sisältää sen verran vähän suolaa betonin laatua pilatakseen. Jos olosuhteiden pakosta on jouduttu käyttämään muualta hankittua vettä ja sen laatua epäillään, on silloin veden laatu tutkittava joko kemiallisesti tai betonikokeen avulla. (Uusitalo ym. 2002, 18.)

4.3 Kovettunut betoni

Betonille on asetettu laatu- ja toimivuusvaatimuksia, jotka se on täytettävä kun se saavuttaa lopullisen kovettuneen muotonsa. Betonirakenteen on kestävä kuormitukset, ympäristöolosuhteiden vaikutukset sekä muiden tekijöiden aiheuttamat rasitukset. Vaikka betonilla on paljon hyviä ominaisuuksia, on sillä myös joitakin puutteita. Se tulee esimerkiksi harvoin toimeen ilman rakennetta jäykistäviä teräksiä, mikä johtuu betonin vähäisestä vetolujuudesta. Betonointia käytetään kuitenkin niin useassa eri kohteissa, että asetetut vaatimukset kovettuneelle betonille voivat vaihdella. (Uusitalo ym. 2002, 8, 33.)

Kovettuneen betonin tyypilliset ominaisvaatimukset ovat:

- puristuslujuus
- pakkaskestävyys
- vedenpitävyys
- kulutuksenkestävyys.

Puristuslujuutta voidaan pitää betonin tärkeimpänä ominaisuutena, sillä se kuvaa samalla jossain määrin myös betonin muita kestävyysominaisuuksia. Betonille on ominaista hyvä puristuslujuus. Lujuusluokat määrittelevät betonin puristuslujuuden, jossa yksikkönä on Mpa tai MN/m². Betoniteollisuudessa käytetään yleensä lujuuksia K30...K60 (C25/30...C50/60), ja korkealujuusbetoneissa K70...K100 (C55/67...C100/115). (Finnsementti 2016.)

Esimerkiksi merkintä K30 tarkoittaa seuraavaa: betonin kuutiopuristuslujuus on 30 Mpa, 28 vuorokauden ikäisenä. Voidaan käyttää joko merkintää K30 tai C25/30 (Finnsementti 2016). Merkinässä C25/30 ensimmäinen arvo tarkoittaa lieriölujuutta Ø150 x 300 mm, ja jälkimmäinen arvo kuutiolujuutta 150 x 150 x 150 mm (Uhlbäck 2016).

Pakkaskestävyyttä vaaditaan kaikilta ulkona olevilta betonirakenteilta. Pakkaskestävyys tarkoittaa betonin kykyä kestää pakkasen aiheuttamat rasitukset, kuten jatkuvan jäätymisen ja sulamisen. Kun lämpötila laskee alle 0 °C, betonin huokosiin imeytynyt vesi jäätyy ja aiheuttaa pakkasvaurioita. Veden laajenemi-

nen aiheuttaa vauriot, koska vesi laajenee n. 9 % ja aiheuttaa näin ollen betoniin halkeamia. Lämpötilan noustessa ja laskiessa nollan molemmin puolin vesi pääsee imeytymään jo syntyneisiin halkeamiin. Se aiheuttaa entistä suurempia vaurioita betonille, ja toistuvien jäätymisten ja sulamisten vuoksi betoni lopulta rapautuu. Betonirakenteen rapautumisen paine riippuu betonissa olevan jäätyvän veden määrästä. Jos betonissa on riittävästi ns. ilmantäytteisiä suojahuokosia, voivat ne pienentää syntyvää painetta antamalla tilaa vielä jäätyttömälle vedelle. Pakkasenkestävyyttä voidaan parantaa tekemällä betonista mahdollisimman tiivistä. Silloin betoniin syntyy vain vähän sellaisia ilmahuokosia, joihin vesi pystyy imeytymään. Lisäaineet myös voivat ehkäistä pakkasen aiheuttamia rasitusuhkia. Huokostimilla saadaan aikaan niin kutsuttuja suojahuokosia, joiden on oltava tarpeeksi pieniä, etteivät ne täyty vedellä normaalilanteessa. Huokospitoisuuden pakkasenkestävyyden aikaansaamiseksi on oltava noin 4-6 tilavuusprosenttia. Betonin vedenpitävyydellä tarkoitetaan sitä, että betonilla on kyky vastustaa toispuolisen vedenpaineen vaikutuksesta tapahtuva veden kulkeutuminen betonin rakenteen läpi. Tätä ominaisuutta vaaditaan varsinkin betoneille, joiden ympäristönä vesistöt, kuten padot, tunnelit ja uima-altaat toimivat. Vedenpitävällä betonirakenteella vaatimuksena on muun muassa se, että lujuusluokan on oltava vähintään K30. (Uusitalo ym. 2002, 37-38.)

Kulutuksenkestävyyden ominaisuus on betonille tärkeää, kun se altistuu voimakkaalle mekaaniselle kulutukselle. Muun muassa teollisuus- ja varastohallien lattioilta sekä betonipäälysteisiltä maanteiltä vaaditaan kyseistä ominaisuutta. Rakenteiden kulumista ei voida tietenkään estää, mutta on olemassa ratkaisuja, jotka pidentävät betonin käyttöikää. Esimerkiksi lattioita voidaan valaa kaksikerrosvaluina, ja maanteiden valmistuksessa käytetään mahdollisimman jäykkää ja kivipitoista betonimassaa. (Uusitalo ym. 2002, 38.)

4.4 Betonin luokitus

Betonityöt ja betonirakenteet voidaan jakaa rakenneluokkiin rakenteiden vaatimuksen perusteella. Luokkia on olemassa kolme: 1., 2. ja 3. luokka. Jotta betonimassa voidaan laskea johonkin rakenneluokkaan, on sen valmistuksessa

noudatettava kyseisen luokan suunnittelu- sekä työn suorituksen ohjeita. Massan on täytettävä esimerkiksi seuraavia vaatimuksia: massan valmistus ja laadun valvonta, osa-aineiden ominaisuudet ja seossuhteiden määrittämistapa. Rakenneluokka merkitään betonin lujuusluokan perään merkinnällä, esim. K30-3. (Uusitalo ym. 2002, 48-49.)

Betonimassan 1. luokka on korkeatasoisin vaatimuksiltaan, ja rakenteille suunnittelijalta ja betonityönjohtajalta vaaditaan 1. luokan pätevyys työn suorittamiseksi. Tyypillisiä tähän luokkaan kuuluvia töitä ovat muun muassa vaativat silta- ja siilorakenteet sekä jännitetyt rakenteet. 2. luokkaan kuuluvat suurin osa tavallisista betonirakenteista, joka onkin eniten käytetty rakenneluokka betonitöissä. Vaatimuksena suunnittelijoille on vähintään teknillisen opiston talonrakennuksen tai tie- ja vesirakennuksen tai vastaavan alan tutkinto. Betonityönjohtajalta vaaditaan sen sijaan vähintään teknillisen koulun rakennusteknikon tai vastaava tutkinto, sekä henkilön on oltava perehdytetty betonitöiden suoritukseen ja betoniteknologiaan. 3. luokka on vaatimuksiltaan vähäisin. Tyypillisiä kohteita ovat esimerkiksi pientalojen betonityöt. 3. luokassa suunnittelijalle eikä betonityönjohtajalle ole asetettu tutkintovaatimuksia, vaan edellytyksenä on riittävä pätevyys ja tietämys työn laajuuteen sekä vaativuuteen nähden. (Uusitalo ym. 2002, 49.)

Betoniainesten ominaisuuksien tutkimiseen on myös asetettu vaatimuksia eri betoniluokituksissa. 1. ja 2. luokassa osa-aineiden ominaisuuksia tutkitaan jatkuvasti betonia valmistaessa. Runkoaineista tutkittavia ominaisuuksia ovat puhkaus, rakeisuus, kosteus ja tarvittaessa muut ominaisuudet. Seossuhteiden määrittäminen tapahtuu 1. ja 2. luokassa paino-osina erityisiä suhteutusmenetelmiä käyttäen, mutta 3. luokassa tilavuusosina seossuhdetaulukoita käyttäen. Betonin valmistusvaiheessa 1. ja 2. luokan kiinteät ainekset mitataan punnitsemalla, ja 3. luokassa ne voidaan mitata tilavuusosina. 1. ja 2. luokassa betoni sekoitetaan aina koneellisesti, ja lisäksi betonista tehdään normien edellyttämän kelpoisuuskokeet. (Uusitalo ym. 2002, 49.)

4.5 Betonimassan valmistaminen

Betonimassa voidaan hankkia työmaalle kahdella tavalla: joko tilaamalla massa valmiina betoniasemalta tai valmistamalla omatoimisesti paikan päällä sinne hankituista osa-aineista. Suurimpaan osaan betonirakentamisen kohteista betoni hankitaan valmisbetonilaitoksista, joita nykyään löytyy lähes kaikista suurista asutuskeskuksista. Valmisbetonin etuja ovat korkeat laatu- ja ominaisvaatimukset täyttävät betonimassat. Pienille työmaille, joissa betonille ei aseteta erityisiä laatuvaatimuksia, on parempi vaihtoehto usein omatoiminen betonin valmistaminen työmaalla. Suuremmatkin työmaat vaativat usein osittain paikan päällä valmistettavaa betonia, joten betonisekoitin on tuttu näky, kun suoritetaan betonirakentamista kohteesta riippumatta. Itse valmistettu betonin käyttö kuitenkin rajoittaa betonin sijoittelua työmaalla, sillä omatoimisesti valmistetussa betonissa suurin lujuusluokka on K20. Työmaalla valmistettu betoni voidaan luokitella enintään 3. luokan betoniksi. Työmaabetonin ainesosat voidaan annostella tilavuusosina johtuen 3. luokan luokituksesta. (Tenhunen 2012, 9-10.)

Kun betonia ryhdytään valmistamaan työmaalla valmisbetonin hankkimisen sijaan, täytyy betonin raaka-aineet punnita ennen myllyyn sekoittamista. Työmaalla betonimassan valmistaminen suoritetaan tyypillisesti vapaapudotussekoittimella, jonka tilavuus on noin 120 - 200 litraa. Tällainen menetelmä on edullista, jos betonimäärää tarvitsee valmistaa vain muutamia satoja litroja. Kuvassa 2 esiintyy tyypillinen työmaalla käytettävä vapaapudotussekoitin. Rajoituksena voi tulla eteen jäykkien massojen valmistaminen, sillä jäykkä massa saattaa tarttua sekoittimen seinämiin, jonka seurauksena betoni ei välttämättä pääse sekoittumaan kunnollisesti. Sekoittimen koko on hyvä valita sellaiseksi, että betonimassa hyödyntää mahdollisimman ison osan sekoittimen sallitusta tilavuudesta. Ainesosien annosteluun suositellaan käytettäväksi mitta-astioita, joiden tilavuus on tarkasti määritetty. Esimerkiksi lapio ei ole soveltuva mitta-astia, koska raaka-aineen tilavuutta ei sillä voida tarkasti määrittää. (Tenhunen 2012, 9-10.)



Kuva 2. Vapaapudotussekoitin (Ignatov 2012, 15)

Ainesosien suositetulle sekoitusjärjestykselle betonimassan valmistuksessa on olemassa erilaisia ohjeita. Seuraavaksi on lueteltu tälle projektille ohjeistettu sekoitusjärjestys, joka soveltuu ainakin betonille, jonka runkoaineena käytetään kuona-aineksia:

1. Runkoaineet
2. Sementti
3. 2/3 vesimäärästä
4. Lisäaineet
5. Loppuvesi.

(Sarkkinen 2016, 29.)

Kolmannen luokan eli työmaalla valmistetun betonin valmistuksessa vesimäärä arvioidaan silmämääräisesti. Tavoitteena pyritään saada kohteeseen soveltuva notkeus betonimassalle. On syytä varoa lisäämästä vettä enemmän kuin massan tarvittu notkeus edellyttää, sillä liian suuri vesimäärä pienentää betonin lujuutta. Vaikka sekoitusjärjestyksellä on olemassa useita eri ohjeita, on tärkeää tietää, ettei sementtiä tule annostella ensimmäiseksi kosteaan sekoittimeen.

Silloin se saattaa helposti tarttua kiinni rumpuun ja sekoitusiivekkeisiin. Lisäaineet annostellaan joka tapauksessa käyttöohjeiden mukaisesti. (Uusitalo ym. 2002, 46.)

Ainesosat on sekoitettava tasalaatuiseksi betonimassaksi. Massan tarvittavaan sekoitusaikaan vaikuttaa sekoittimen teho, mutta sekoitusaika runkoaineelle ja sementille on noin 1 - 2 minuuttia. Vettä lisätään, kunnes massan koostumus on muuttunut homogeeniseksi. Lisäaineet sekoitetaan veteen laimennettuna. Loppuveden annostelu tapahtuu notkeuden koostumusta arvioimalla tavoitenotkeuden mukaan. (Sarkkinen 2016, 29.)

Betonimassan valmistuksessa ja valettaessa on kiinnitettävä huomiota vallitseviin olosuhteisiin. Poikkeukselliset olosuhteet, kuten sade, tuuli tai voimakas auringonpaiste voivat vaikuttaa betonin lopputulokseen ja lujuuden kehitykseen. Suomessa eri vuodenaajat aiheuttavat lämpötilan ja kosteuden vaihteluita voimakkaasti. Kuviossa 4 on esitetty vuodenaikojen vaikutukset betonoinnissa.

KEVÄT	KESÄ
<p>Keväällä ulkoilman kosteus voi olla alhainen.</p> <p>Veden haihtuminen betonista on nopeaa. Muista huolellinen betonin jälkihoito.</p> <p>Päivä- ja yölämpötilojen ero voi olla suuri. Varmista rakenteiden lämpöliikkeet ja tarkista massojen valinta rakenteisiin.</p>	<p>Betonin lämmön tuotto voi lämpimässä ilmassa olla liian suuri ja siitä syntyy halkeiluriski.</p> <p>Muista sopivat massan valinnat.</p> <p>Kiinnitä erityistä huomiota jälkihoitoon, etenkin aurinkoisina ja tuulisina päivinä.</p>
SYKSY	TALVI
<p>Yleensä hyvät valuolosuhteet.</p> <p>Muista viilenevän ilman vaikutus massan lujittumiseen – hiertoajankohdan viivästyminen.</p> <p>Viilenevät valualustat – massan kerroksittainen sitoutumisriski – hierto-ongelmat.</p>	<p>Talvi alkaa kun ilman lämpötila laskee alle 10 asteen, jolloin betonin lujuuden kehitys alkaa oleellisesti hidastua.</p> <p>Varmista massan valinnalla olosuhteisiin riittävä massan lämmön- ja lujuuden kehitys</p> <ul style="list-style-type: none"> - betonin lujuusluokan nosto - Rapid-betonit <p>Varmista valualustan ja liittyvien rakenteiden riittävä lämpötila.</p> <p>Varaudu lämmitykseen ja suojaamiseen.</p>

Kuvio 4. Olosuhteiden vaikutus betonointiin (Rudus Oy 2016)

5 BETONIBLOKI

5.1 Mitä betoniblokit ovat?

Betoniblokit ovat siirreltäviä betonielementtejä, joille on olemassa useita eri käyttökohteita ja -tarkoituksia. Blokeja valmistetaan betonimassaa valamalla blokimuotteihin. Niitä ei muurata eikä kiinnitetä toisiinsa, vaan niistä pinottuja seiniä ja rakennelmia voidaan helposti koota ja purkaa yhä uudelleen. Blokimuotteja on olemassa useita erikokoisia ja -mallisia, kuten pinottavia kuutio-
muotteja, mutta myös muotteja joilla voi valaa muun muassa portaita. (Koskinen, 2016.)

Betoniblokkien käyttökohteita ovat esimerkiksi teollisuuden, rakentamisen ja liikenteen toimintaympäristöt, kuten kulkuesteet, sokkelit, varastokaukalot (kuva 3), aidat, meluvallit ja tunnelit. Blokit soveltuvat varsinkin kohteisiin, joissa on oletettavaa että rakennelmat ovat väliaikaisia tai tarve niiden sijainnin siirtämiseen on aika ajoin.



Kuva 3. Betoniblokeja varastokaukaloina (BetonBlock® 2016)

Kuvassa 4 betoniblokeja on aseteltu meluvalliksi.



Kuva 4. Betoniblokeja meluvallina (BetonBlock® 2016)

Kuvassa 5 blokeja on käytetty varaston sokkeileina, jonka päälle suojakatos on asennettu.



Kuva 5. Betoniblokeja katoksellisen varaston sokkeileina (ADZ-System 2016)

Kotimaisia betoniblokien valmistajia löytyi ainakin yksi, nimeltään HB-Betoniteollisuus Oy. Se on Jyväskylässä toimiva betonituottaja, joka valmistaa EkoBlokki-nimisiä betoniblokeja ylijäämä- ja palautusbetoneista. Yrityksen internet-sivustolla markkinoidaan tällä hetkellä vain yhtä mallia, samankokoista päällekkäin pinottavaa betoniblokiä kuin tässäkin opinnäytetyössä on käytetty: 1600 x 800 x 400 mm. Yritykselle tehdyn tarjouspyynnön mukaan EkoBlokkit ovat hin-

naltaan noin 80 € / kpl suoraan varastosta. Vaihtoehtoisesti yritys myy myös blokin puolikkaita, hinnaltaan noin 49 € / kpl. HB-Betoniteollisuus vuokraa lisäksi tarvittaessa blokien nostoihin käytettäviä nostosaksia. Kuvassa 6 näkyy HB-Betoniteollisuuden kotisivuilla myytäväksi valmistettuja betoniblokeja. Suomesta ei sen sijaan löytynyt toistaiseksi blokimuotin valmistajia. (HB-Betoniteollisuus Oy 2016.)



Kuva 6. HB-Betoniteollisuus Oy:n betoniblokeja

Euroopassa toimivia blokimuotin valmistajia löytyi melko helposti useampikin yritys. Opinnäytetyössä käytettävä blokimuotti tilattiin hollantilaiselta toimittajalta nimeltään BetonBlock®. Muita eurooppalaisia betoniblokien valmistajia löytyi Hollannin useamman toimittajan lisäksi esimerkiksi Saksasta (ETH Umwelt-technik), Englannista (H.Cope & Sons) ja Puolasta (ADZ-System). Kauempaa maailmanlaajuisesti valmistajia löytyi ainakin Kanadasta (Sustainbuild Canada).

5.2 Betoniblokin valmistusohje

5.2.1 Valmistelutyöt

Betonointia suorittaessa työt on aina suunniteltava tarkasti etukäteen. Betonirakenteita valmistettaessa on syytä muistaa, että ne ovat pysyviä ja korjaus- ja muuttamistyöt ovat vaikeita ja kalliita toteuttaa. Betonirakentajan tulee tuntea erityisen hyvin betonoinnin eri työvaiheet ja niihin liittyvät toimenpiteet, ettei rakennetta pilattaisi väärillä työtavoilla. (Uusitalo ym. 2002, 51.)

Valutöiden aloittamiseksi on ensiksi määritettävä valamiseen soveltuva työympäristö. Lattiapinnan tulisi olla mahdollisimman tasainen sekä kiinteä muotin painumisen ehkäisemiseksi. On varmistettava, että kulku- ja kärräystiet ovat työturvallisuusmääräysten mukaiset: teiden tulee olla esteettömät, tarpeeksi kantavat ja turvalliset muun muassa tarvikkeiden, ajoneuvojen ja raaka-aineiden kuljetusta varten.

Betonointiin osallistuvien työntekijöiden on oltava selvillä tehtävistään ennen betonoinnin aloittamista. Kun betonointi alkaa, niin silloin ei ole enää aikaa opeteluun. Työntekijöiden on käytettävä asianmukaisia suojavaatteita sekä hengityssuojaimia. Varsinkin sementti sekä hieno runkoaines pölyävät helposti niitä annosteltaessa. Kaikki betonoinnissa tarvittava välineistö ja ainekset tulee varmistaa ja hankkia ne valupaikalle. Työturvallisuudesta on huolehdittava kaikin puolin, ja betonoinnissa käytettävä kalusto on tarkastettava ennen käyttöönottoa. Turvallisen työnteon varmistamiseksi on myös huolehdittava riittävä valaistus, sillä betonointikohteessa täytyy olla hyvä näkyvyys. Lisäksi on huolehdittava tarvittavasta sähkövoiman ja vedensaannista valupaikalle. Sateen sattuessa on mahdollisuuksien mukaan hakeuduttava sateen suojaan, sillä kova sade voi helposti sekoittaa veden suhteituksen betonimassaa valmistettaessa. Valmistelutyöt päättyvät huolellisiin tarkastustoimenpiteisiin, jotta työn jouheva sujuminen voidaan varmistaa betonoinnin aikana sekä laadukkaan lopputuloksen saavuttamiseksi. (Uusitalo ym. 2002, 56.)



Kuva 7. Blokimuotti vanerilevyn päällä

Valettava blokimuotti (kuva 7) asetellaan täyttöä varten valmiiksi sopivan kokoi-
sen teräs- tai vesivanerilevyn päälle. Ensimmäisellä valukerralla on hyvä tarkis-
taa, että muotti on piirustusten tai annettujen mittojen mukainen, riittävän tiivis ja
tukevasti maassa pysyvä. Muotissa ei saa olla ylimääräisiä roskia, jätettä, van-
haa kovettunutta betonia tai muuta vastaavaa joka saattaisi pilata onnistuneen
lopputuloksen. Muotissa voi olla erilaisia pulttikiinnityksiä, joiden sijainti ja kiinni-
tys on varmistettava. Kun blokimuotti on asetettu valualustan päälle, kastellaan
se sisäpinnoiltaan muottiöljyllä (kuva8). Öljy helpottaa muotin avaamista betonin
kovettumisen jälkeen.



Kuva 8. Muottiöljyn lisääminen (BetonBlock® 2016)

5.2.2 Muottiin valaminen

Betonimassa pyritään valamaan muotteihin siten, että se täyttää muottia mahdollisimman tasalaatuisina ja halutun paksuisina kerroksina. Massa tulee tiivistää hyvin ja valaa suoraan lopulliselle paikalleen. Betonointia on suositeltavaa valaa korkeintaan 0,5 m paksuina kerroksina. Seuraavan kerroksen on liityttävä saumattomasti jo ennestään olevaan tuoreeseen betonimassaan mahdollisimman nopeasti, ettei alempi kerros ehtisi jähmettyä. (Betoniteollisuus ry 2016.)

Kuvassa 9 on näytetty vaihe, jossa betonimassa valetaan muottiin. Tilannekuvassa tosin tasosekoittimen nostokorkeus ei yltänyt muotin yläpuolelle, joten massa siirrettiin muottiin laastiämpäreillä sekä lapioilla. Betonisekoittimesta laskeutuva massa on lähtökohtaisesti tavoitteellista ohjata muotin päälle. Mikäli sekoitin jää muotista liian kauas, kannattaa silloin käyttää valamisen apuna valuränniä. Massan vapaa pudotuskorkeus on pidettävä pienenä ja vältettävä yli metrin pudotusta, jotta massa saadaan valettua roiskumatta hallitusti ja tasaisesti kohteeseen. Yli 1,5m pudotuskorkeuksissa on syytä käyttää apuna valusuppilaa. Betonimassaa ohjataan tasaisesti täyttäen muottia, varoen massan iskeytymistä muotin sivuseiniin tai roiskumista muotin ulkopuolelle. (Betoniteollisuus ry 2016.)



Kuva 9. Betonimassan valaminen muottiin

5.2.3 Betonin tiivistäminen

Betonimassan tiivistäminen tapahtuu tärjättimen avulla. Blokimuotin tiivistämisessä soveltuvana tärjättimenä toimii sauvatärjytin. Tiivistämiseen vaikuttavat valettava rakenne, massan notkeus, raudoitus sekä betonille asetetut vaatimukset kuten esimerkiksi vesitiiveys. Sauvassa tärjyn aiheuttaa sauvan teräskuoren alla massaltaan epäkeskeinen paino, joka pyöriessään alkaa värähdellä. Tärjysauvojen läpimitat vaihtelevat 25 - 100 mm:n ja pituudet 300 - 1000 mm:n välillä. Tärjysauvassa olevat moottorit voivat olla joko sähkö-, polttomoottori- tai paineilmakäyttöisiä. Kuvassa 10 betonimassaa tiivistetään sähkökäyttöisen sauvatärjättimen avulla. (Betoniteollisuus ry 2016.)



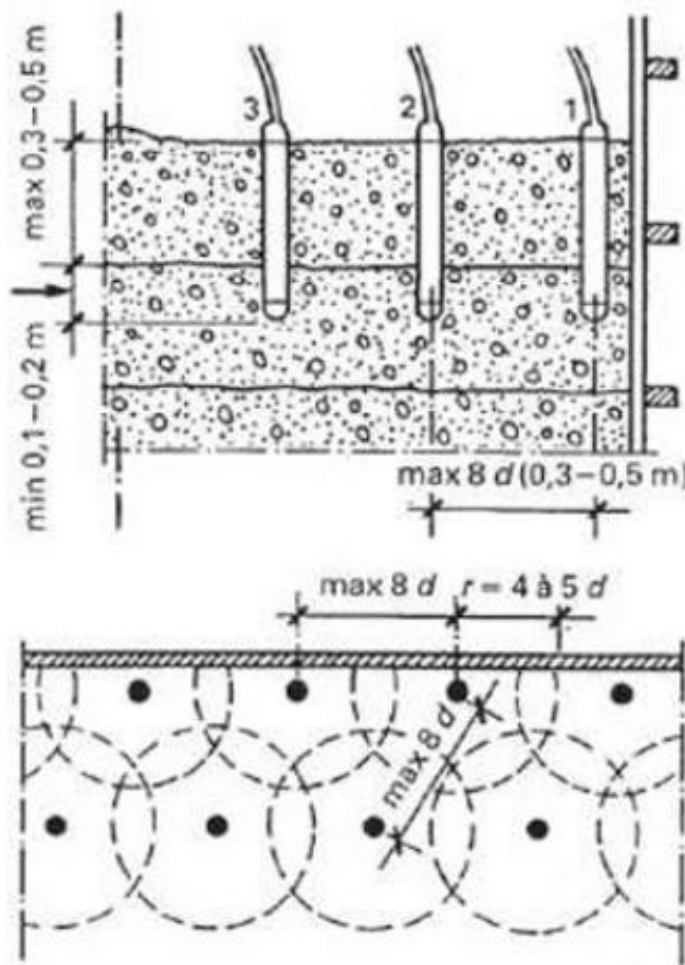
Kuva 10. Betonin tiivistäminen tärjättimellä

Betonimassan tiivistämisen tarkoituksena on:

- poistaa massasta ylimääräinen ilma
- täyttää muotin jokainen kohta
- ympäröidä teräkset
- saada runkoaineen osaset hakeutumaan lähemmäksi toisiaan.

(Betoniteollisuus ry 2016.)

Tiivistäminen suoritetaan tärýsauvan avulla siten, että sauvan annetaan upota omalla painollaan betonimassaan mahdollisimman pystysuorassa asennossa. Trytysaika on noin 10 - 20 sekuntia. Sopiva aika riippuu muun muassa massan notkeudesta. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että mitä jäykempi massa, sitä pitempi trytysaika. Trytyksen aikana tarkkaillaan betonimassan pinnan tasoittumista sekä tiivistymistä joka paikkaan muotissa. Sauva tulee vetää massasta tasaisen hitaasti ylös, sillä liian nopeasti vedettynä se jättää massan pinnan epätasaiseksi. Betonimassan erottumista tryttmisen aikana tulee välttää. Erottumisen voi aiheuttaa muun muassa sauvatryttimen liian pitkn samalla paikalla pitäminen. Trytint ei ole myöskään tarkoitettu betonimassan siirtvlineeksi. Kuviossa 5 on havainnollistettu betonimassan oikeaoppista tiivistämistä. Kuvion yksikkö d tarkoittaa sauvatryttimen halkaisijaa, joka vaihtelee tyypillisesti 0,3 - 0,5 metriin. (Uusitalo ym. 2002, 71-74.)



Kuvio 5. Vaakarakenteisen betonin tiivistäminen (Betoniteollisuus ry 2016)

5.2.4 Pinnan hiertäminen

Täyteen valetun muotin betonimassan pinta tasoitetaan tasoituslastan avulla. Pinta voidaan hiertää, kun betoni alkaa sitoutua sekä jähmettymisen aikana pinnalle noussut vesi alkanut imeytyä takaisin betoniin. Hiertäminen voidaan suorittaa joko puu- tai teräshiertimellä (kuva 11). Hiertämisen avulla betonin pintaosa tiivistyy, mikä vähentää betonin huokoisuutta sekä samalla parantaa kulutuksenkestävyyttä ja pinnan lujuutta. (Betoniteollisuus ry 2016.)



Kuva 11. Valupinnan hiertäminen

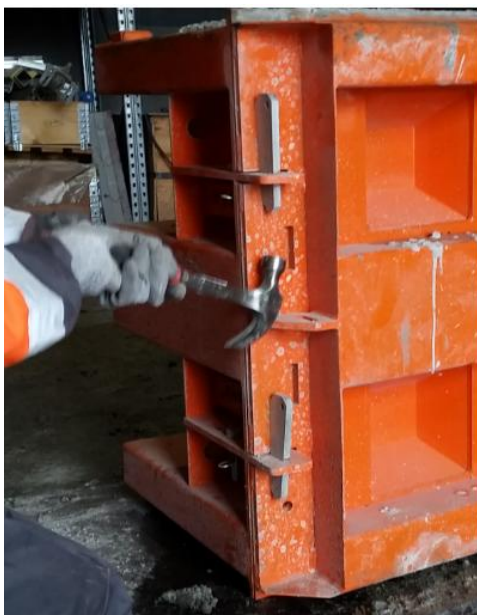
5.2.5 Viimeistelytyöt

Valetun blokimuotin ollessa valmis voidaan suurella todennäköisyydellä todeta että työympäristö on epäjärjestyksessä. Viimeistelytyöihin kuuluvat työvälineiden puhdistus sekä ympäristön siivous. Muotti puhdistetaan valuroiskeista sekä suoritetaan vuodenajan vaatimat suojaus- ja lämmitystoimet. Oikeanlainen jälkihoito on välttämätöntä laadukkaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Tällöin taataan riittävä kovettumiskosteus sekä sopiva lämpötila betonin kovettumiselle.

On varmistettava, ettei kovettuva betonibloki altistu ulkoiselle vaikutukselle, kuten tuulelle, auringonpaisteelle, sateelle tai kylmyydelle. Mahdollinen veden haihtuminen betonista on estettävä esimerkiksi muovikalvolla tai muulla kosteuden haihtumisen estävällä peitteellä. Betonin kovettumisessa eli sementin hydrataatiossa tapahtuu kemiallinen reaktio, joka vaatii vettä. Veden nopea haihtuminen on estettävä, vaikka massassa on enemmän vettä kuin täydellinen hydrataatio edellyttää. Veden haihtuminen aiheuttaa betonin kutistumista, joka saattaa aiheuttaa betonin halkeilua. Jos veden haihtumista ei estetä, voi silloin kovettumisreaktio jäädä puutteelliseksi ja näin ollen alentaa puristus- ja taivutusvetoluutta betonille. Myös oikeasta lämpötilasta on huolehdittava betonin kovettumisen aikana. Varsinkin kylmä sää hidastaa betonin sitoutumis- ja kovettumisreaktioita, ja pakkasen saattaa vaurioittaa vastabetonoitua rakennetta. (Uusitalo ym. 2002, 103,150-152.)

5.2.6 Muotin purkaminen

Tarkkaa muotin purkamisajankohtaa on vaikea määritellä, sillä ympäröivät olosuhteet voivat vaikuttaa suuresti betonin vaatimaan kuivumis- ja kovettumisaikaan. Muotin purkaminen on ajankohtainen, kun betoni on saavuttanut riittävän lujuuden.



Kuva 12. Muotin irrotus

Kuvassa 12 on esitetty muotin irrotuksen vaiheet. Ensin muotista irrotetaan kiinnityskiilat ja asetetaan ne niille tarkoitetuille säilytyspaikoille muotin sivustassa. Sen jälkeen muotin leveä seinämä avataan muotin irrotukseen tarkoitetulla työkalulla. Muotti tulee purkaa aina varovasti, aiheuttamatta äkillisiä iskuja tai sysäyksiä rakenteeseen. Muottielementit ovat tyypillisesti hintavia, joten purkaminen on tehtävä varoen. Kuvassa 13 näkyy oikeaoppisesti avattu muotti, ja betoni näyttää olevan virheettömässä kunnossa avaamisen jälkeen.



Kuva 13. Valmis betonibloki

6 KOEKAPPALEET JA LAADUNMITTAUSOHJEET

Jokainen betonibloki valettiin eri massasta, joten kullekin blokille täytyi suorittaa oma laadunmittauksensa. Mittaustuloksista pystyttiin analysoimaan betonin ominaisuuksia, ja kehittämään betonireseptiä tarpeen tullen mikäli jotakin betonin ominaisuutta haluttiin seuraavalla valukerralla parantaa. Tärkeimmät koemassan tarkasteltavat ominaisuudet tässä projektissa olivat painuman, lämpötilan, ilmamäärän sekä puristuslujuuden mittaukset.

6.1 Koekappaleet

Koekappaleiden valmistusta ja niiden testausta varten laaditut ohjeet on määriteltä standardisarjassa SFS-EN 12390 "Kovettuneen betonin testaus". Koekappaleilla on tarkoitus mitata kovettuneen betonimassan puristuslujuutta ja tiheyttä. Tyypillisesti niitä valmistetaan yhdeksän mahdollisimman identtistä kappaletta, joille voidaan suorittaa laaduntarkkailua laboratorio-olosuhteissa. Määrä johtuu puristuslujuuden mittaamisesta kolmena eri mittausajankohtana, joihin kunkin tarvitaan kolme koekappaletta. Aikaväleinä käytetään yleensä 3, 7 ja 28 vuorokauden mittausajankohtia betonimassan valamisen jälkeen. Tässä opinäytetyössä aikaväleinä laadunmittauksille käytettiin 7, (14) ja 28 vuorokauden välejä johtuen vaikeuksista toimittaa koekappaleita laboratorioon ajoissa.

Koekappaleet valmistetaan joko kuution, lieriön tai prisman muotoisiksi. Niiden tulee olla vähintään 3 ja puoli kertaa niin suuria kuin suurin raekoko on betonin kiviaineksella. Muottien tulee olla vesitiiviitä sekä vettä imemättömiä. Materiaaliksi soveltuu hyvin esimerkiksi muovi, pelti, vaneri tai puu. Kuution koekappalekokona käytetään 100, 150, 200, 250 ja 300 mm:n sivun pituisia nimellismittoja. Lieriökoot vaihtelevat halkaisijaltaan 100 - 300 mm, jossa korkeus on aina kaksi kertaa halkaisijaa isompi. Prismakokoina käytetään samankaltaisia koekappalekokoja, mutta ovat harvemmin käytettyjä kuin kuutiot ja lieriöt. Kuvassa 14 on opinäytetyössä käytetty muotti, kooltaan 150 x 150 x 150 mm. (SFS-EN 12390-1.)



Kuva 14. Koekappalemuotti

Kun koekappaleita valmistetaan valujen aikana, on työntekijöiden suunniteltava ja perehdyttävä huolellisesti ennakkoon tehtäviin toimenpiteisiin kokeiden onnistumiseksi. On syytä muistaa, että betonin kanssa työskennellessä aikaa on rajoitusti, sillä betonimassa kuivuu melko nopeasti sekoituksen jälkeen.

Valmistusohjeet koekappaleille: muotit tulee rasvata (muotti)öljyllä sisäpinnoillaan. Suositellaan, että muotin pohjaan tehdään reikä, mikäli muottia halutaan käyttää useammin kuin kerran. Kuvan 14 olevan muotin pohjaan on tehty alle 10 mm:n reikä, joka on täytetty korvatulpalla. Reikä on sitä varten, että muotti on helppo irrottaa esimerkiksi paineilman avulla kun betoni on kuivunut tarpeeksi.

Koekappaleen muotti täytetään kahdessa eri kerroksessa jotta saadaan aikaan mahdollisimman täydellinen tiivistyminen. Aluksi muotti täytetään puoleen väliin saakka, jonka jälkeen betonimassaa tiivistetään tärysekoittimen avulla. Tärysekoitinta käytetään muotin pohjassa saakka noin 5 sekuntia, tasaisesti laskien ja nostaen. Riittää, että tärysekoitinta upotetaan kahdesta eri pisteestä, eli käytännössä vastakkaisilta muotin reunoilta. Seuraavaksi muotista täytetään toinenkin kerros, joka täytetään hieman muotin yläpintaa korkeammalle. Tiivistys

suoritetaan samalla tavalla kuin ensimmäisellekin kerrokselle, eli kahdesta pisteestä täryttäen 5 sekuntia. Toisen kerroksen osalta riittää, että tärysekoitin upotetaan vain hieman yli puoleen väliin muottia. Tiivistämisen jälkeen koekappalemuotin pinnalta ylimääräinen betoni poistetaan käyttämällä lastaa tai hierontaa, jonka jälkeen muotin reunat puhdistetaan ylimääräisestä betonimassasta.

Muotti voidaan purkaa, kun betoni on saavuttanut riittävän lujuuden. Koekappaleiden on oltava muoteissa kuitenkin vähintään 16 tunnin ajan, mutta ei pidempään kuin kolme päivää. Muotit on suojattava iskuilta, tärinältä ja kuivumiselta lämpötilassa 20 ± 5 °C. Muotin irrotuskeinoja on monia, mutta ilmanpaineella irrotus onnistunee helpoiten koekappaletta ja muottia rikkomatta. Tämän jälkeen ne merkitään vedenpitävällä tavalla vahingoittamatta koekappaletta. Kappaleet merkitään tunnuksella sekä valupäivämäärällä, jotta ne voidaan erottaa toisistaan jatkotutkimuksia tehtäessä. Muotin poiston jälkeen koekappaleita säilytetään lujuustesteihin saakka vedessä (kuva 15). Lopuksi muotit voidaan puhdistaa lastan sekä teräsvillan avulla sekä työympäristö siivotaan. (SFS-EN 12390-2.)



Kuva 15. Koekappaleet merkitty tunnuksilla ja laitettu veteen säilytykseen

6.2 Laadunmittaukset

Betonimassalle suoritettavat laadunmittaukset painuman, ilmamäärän sekä tiheydenmittauksen osalta suoritettiin SFS-EN standardeissa esiintyvien ohjeiden mukaisesti.

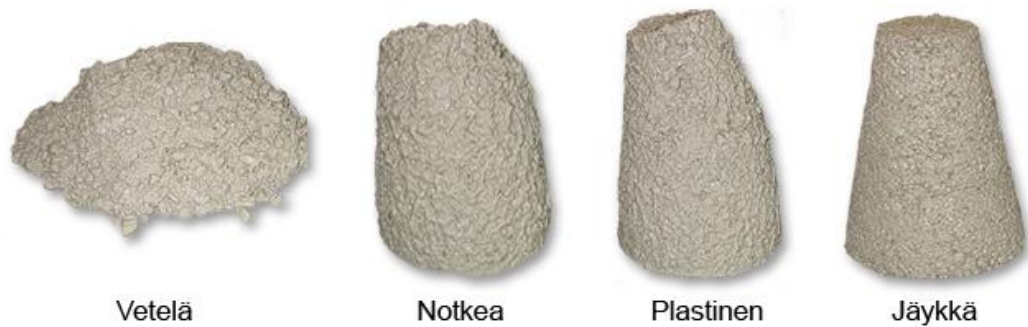
6.2.1 Painuma

Tuoreen betonin notkeus valitaan valettavan rakenteen perusteella. Notkeuden testaamisen ohjeet painumakokeen avulla on määriteltynä standardissa SFS-EN 12350-2. Yksinkertainen notkeuden mittausta voidaan suorittaa työmaalla painumatestillä kartion avulla. Kuvassa 16 esiintyy opinnäytetyön testeissä käytetyt painumakartio sekä sauva.



Kuva 16. Painumakartio ja sulloinsauva

Painumatestin tuloksena voi syntyä hyvin erinäköisiä betonimassakasoja, riippuen massan notkeudesta. Kuvassa 17 on havainnollistettu erilaisia notkeustyyppisiä betonille. (Finnsementti Oy 2016.)



Kuva 17. Betonimassan notkeustyyppit kartiotestillä (Finnsementti Oy 2016)

Betonimassan painumasta voidaan havaita sen notkeusluokka. Notkeusluokkia on 5, jotka on määritelty taulukossa 3. Notkeusluokkia S2, S3 ja S4:ää voidaan pitää työstettävyydeltään parhaimpina luokkina, riippuen valettavasta kohteesta. Ääripääluokat S1 sekä S5 ovat harvoin käytännöllisiä, sillä S1 on liian jäykkää ja S5 turhan vetelää massan valamiseen.

Taulukko 3. Betonimassan notkeusluokat (Tuomainen 2013, 33)

Notkeusluokat	
Luokka	Painuma [cm]
S1	1–4
S2	5–9
S3	10–15
S4	16–21
S5	≥ 22

Painumakokeen suorittamiseksi tarvitaan seuraavia välineitä: painumakartio, sulloinsauva, mitta, pohjalevy sekä tasoitinlevy, esimerkiksi messinkilasta. (SFS-EN 12350-2.)

Aluksi muotti sekä pohjalevy kostutetaan, ja muotti asetetaan tasaisella alustalla olevan pohjalevyn päälle. Täyttämisen aikana toisen henkilön tulee pitää muotia tiiviisti pohjalevyä vasten joko käsillä tai kahdella jalalla seisten kartion ripojen päällä. Muotti täytetään tuoreella betonimassalla kolmessa eri kerroksessa. Kukin kerros tiivistetään sulloinsauvan avulla noin 25 iskulla kartion reunoja

myöten. Keskimäinen sekä ylimmäinen kerros tiivistetään koko syvyydeltään siten, että sauvan iskut osuvat hiukan alempana olevaan kerrokseen. Ylimmäinen kerros täytetään vähän kartion yläpuolelle kukkuroilleen ennen tiivistämisen suorittamista sulloinsauvalla. Sen jälkeen betonimassan pinta tasataan tasoituslastalla pyörivin ja sahaavin liikkein. (SFS-EN 12350-2.)

Kartiomuotin nostaminen suoritetaan tasaisella nopeudella noin 5 - 10 sekunnin aikana, ilman että betonin kohdistuu sivusuuntaista tai kiertävää liikettä. Muotin täyttämisestä sen poistamiseen aikaa tulisi kulua enintään 150 sekuntia. Kun kartio on nostettu, asetetaan se painuneen betonimassan viereen. Kartion päälle asetetaan tarpeeksi pitkä tasainen lasta (esimerkiksi tasoituslasta), jonka toinen pää yltää betonimassan yläpuolelle. Sen jälkeen painuma (h) kirjataan kartion ja massan yläpintojen mittaero ylös välittömästi muotin poistamisen jälkeen. Painuma ilmoitetaan lähimpään 10 mm:n pyöristettynä. Kuvassa 18 näkyy painuman mittaustapahtuma työmaalla betoniblokin valun yhteydessä. Betonimassasta on syytä mitata myös lämpötila, sillä betonin lujuuden kehityksessä voimakkain vaikutustekijä sementtimäärän lisäksi on betonin lämpötila. (Betoniteollisuus ry 2016.)



Kuva 18. Painuman mittaus betonimassasta

6.2.2 Ilmamäärä

Ilmamäärän mittaamisen ohjeet tuoreesta betonista on määritelty standardissa SFS-EN 12350-7. Kuvassa 19 näkyvällä ilmamäärämittarilla on tarkoitus mitata betonimassan sisältämä ilmamäärä. Ilmamäärämittarin sanko täytetään ensin puoleen väliin saakka, jonka jälkeen massaa tiivistetään tärisekoittimella eli vibralla. Tiivistys tehdään 2 - 3 eri kohdasta noin 5 - 7 sekunnin ajan tasaisin ja rauhallisin liikkein. Sen jälkeen astia täytetään loppuun ja tiivistetään samalla tavalla kuin ensimmäinen puolisko. Astian reuna tasoitetaan esimerkiksi messinkilastalla sahaten, ja reunat puhdistetaan kannen kiinnityksen onnistumiseksi. Ilmamäärämittarin säiliön ja kansilaitteiston laipat puhdistetaan hyvin ja kansi lukitaan pikalukituksella tiiviiksi kolmella kiinnikkeellä astiaan. (SFS-EN 12350-7.)



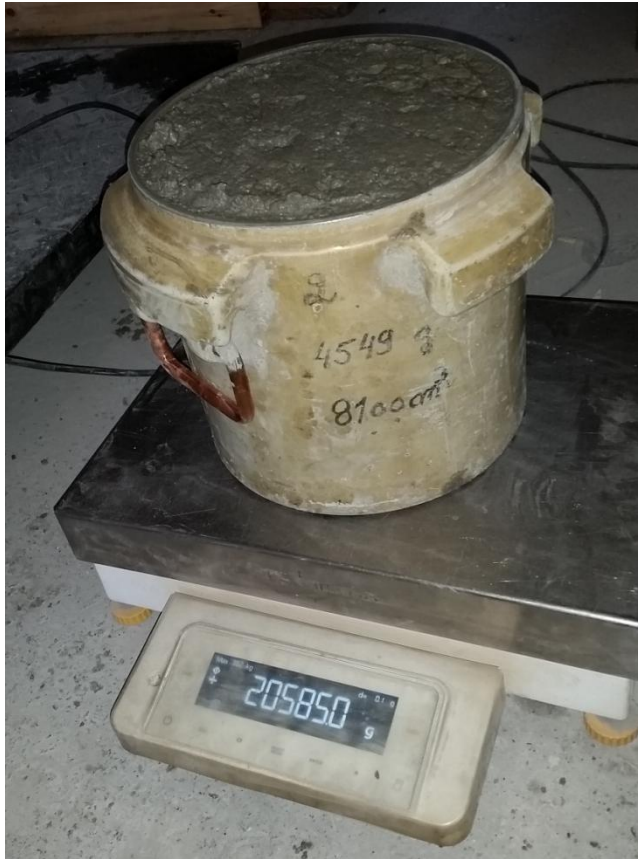
Kuva 19. Ilmamäärämittari

Sen jälkeen kannen ja sanko-osan välinen tila täytetään vedellä sivulla sijaitsevan ilmaventtiilin kautta. Kun täyttö on valmis, niin molemmat ilmaventtiilit suljetaan. Sitten ilmaa pumputaan käsin kannessa sijaitsevan pumpun avulla, kunnes mittarin viisari saadaan asettumaan mittariston nollakohtaan. Lopuksi il-

manmittaus suoritetaan painamalla kannessa olevasta vipuventtiilistä, jolloin mittari osoittaa oikean ilmamäärän betonimassasta. Ilmamäärätavoite vaihtelee noin 5 - 8 %:n paikkeilla. Näiden arvojen sisällä aikaisemmat kuonasta valmistetut koesarjat ovat osoittaneet hyvän pakkaskestävyyden. Sen ylittävä ilmamäärä muun muassa heikentää helposti betonin lujuusarvoja huomattavasti. (Tenhunen 2012, 22.)

6.2.3 Tiheys

Tuoreen betonin tiheyden mittauksen ohjeet on määritelty standardissa SFS-EN 12350-6. Tiheydenmittaus tehdään tuoreelle betonimassalle, joka tiivistetään rakenteeltaan jäykkään ja vesitiiviiseen astiaan, jonka tilavuus sekä paino on laskettu etukäteen. Astian tilavuus ei saa olla pienempi kuin 5 litraa. Sopivan kokoinen astia on suositeltavaa olla helposti käsin siirreltävä varsinkin työmaalla suoritettavassa tiheydenmittauksessa. Käytännössä tiheydenmittausastiana voidaan käyttää samaa astiaa, jota käytetään ilmamäärän mittauksessa, ilman kantta. Näin meneteltiin tämän opinnäytetyön tehdyissä mittauksissa (kuva 20). (SFS-EN 12350-6.)



Kuva 20. (Tiheyden)mittausastia, jonka tilavuus ja paino on merkitty astiaan

Betonimassan ilmamäärän sekä tiheydenmittaus on käytännöllistä suorittaa peräkkäin. Tiheydenmittauksessa betonimassaa tiivistetään samalla tavalla kahdessa eri kerroksessa astiaan, joka tiivistetään täryttimen avulla. Kun tiivistys sekä pinnan tasoitus on suoritettu, asetetaan täysi massa-astia vaa'an päälle punnittavaksi. Astia punnitaan sisältöineen ja saatu massa merkitään ylös muistiin. (SFS-EN 12350-6.)

Tiheyden (D) laskenta kaavalla:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (1)$$

missä

D	on	tuoreen betonimassan tiheys [kg/m^3]
m_1	on	astian massa [kg]
m_2	on	astia ja astiassa olevan betonin massa [kg]
V	on	astian tilavuus [m^3]

Tiheys tuoreelle betonimassalle ilmoitetaan pyöristettynä lähimpään 10 kg/m^3 .

Raporttiin tulee lisäksi merkitä muun muassa tarkat tunnistetiedot näytteestä, testauspaikan sijainti, testauspäivämäärä, tiivistysmenetelmä sekä tuoreen betonimassan laskettu tiheys. (SFS-EN 12350-6.)

7 KOE-ERÄN VALMISTUS

Betoniblokien koe-erä ferrokromikuonasta valmistettiin Tornion Tapojärven JT-rikastamon ympäristössä. Lähtökohtaisen aikataulun mukaan kaikki valamiset oli tarkoitus suorittaa kesän 2016 aikana. Valupaikaksi täytyi löytää sateelta suojassa oleva sekä mahdollisimman rauhallinen ja neutraali työtila onnistuneiden blokien aikaansaamiseksi. Sopivimmaksi paikaksi valuille osoittautui muovihalli, jossa säilytetään pääasiassa rikastamon prosessin varaosia. Hallissa oli saatavilla myös sähköä, jotta tarvittavia elektronisia laitteita blokien valmistukseen liittyen voitiin käyttää.

Yksi opinnäytetyön olennainen tehtävä oli hoitaa käytännön järjestelyt tehtäville valuille. Oli muun muassa selvitettävä, mistä ja miten tarvittava laitteisto, välineistö ja materiaalit hankittaisiin valuja varten. Tavoitteena oli hankkia suurin osa välineistä paikallisilta toimittajilta ja yrityksiltä. Alkuselvittelyn jälkeen selvisi, että koe-erässä käytettävä valumuotti joudutaan tilaamaan ulkomailta. Muotti saatiin hankittua Tornioon parin viikon kuluttua. Muotin mitat ovat 1600 x 800 x 400 mm ja tilavuus noin 0,5 kuutiota. Betonimassan valmistukseen käytettiin 800 litran tilavuista tasosekoitinta, jota pyöritetään traktorin avulla. Kuvassa 21 näkyy valupaikalle siirretyt tasosekoitin sekä blokimuotti.



Kuva 21. Tasosekoitin ja blokimuotti

Koepalamuotit, betonitärytin sekä laadunvalvontamittauslaitteet vuokrattiin Oulun ammattikorkeakoulun betonilaboratoriosta. Loput tarvittavat välineistöt, kuten sementti, lisäaineet ja muut valutarvikkeet, pystyttiin hankkimaan pääosin Tornion lähialueelta.

Ennen betonimassan valmistamista oli tärkeää huolehtia, että kaikki alkuvalmistelut oli suoritettu, jotta betoni voitiin valaa välttämättä massan jähmettymistä liian aikaisin. Keskeisiä etukäteisvalmisteluita olivat muun muassa valumuotin rasvaaminen muottiöljyllä, lisäaineiden ja veden punnitus sekä betonitäryttimen ja laadunmittauslaitteistojen sijoittelu valupaikan läheisyyteen. Yksi tärkeimmistä aineettomista järjestelyistä etukäteen oli sopia työntekijöiden kesken selkeä työnjako, jotta työt voitiin suorittaa jouhevasti ilman ylimääräisiä katkoja. Kuvassa 22 on havainnollistettu tyypilliset alkujärjestelyt ennen valua.



Kuva 22. Alkujärjestelyt ennen valamista. Etualalla näkyvät koekappalemuotit ja laadunmittausvälineet

Massan oikean sekoitussuhteen aikaansaamiseksi kaikki ainekset oli punnittava ennen sekoittamista. Punnitustarkkuus runkoainesten osalta oli opinnäytetyön tekemisessä yksi kilo. Kokonaismäärään verrattuna yksi kilo vastaa 1400 kilon runkoaineksissa n. 0,07 prosenttia, joten punnitustarkkuuden pieni heittely ei vaikuttanut merkittävästi lopullisiin laadunmittaustuloksiin ja reseptin optimointiin. Kuonamurskeet oli punnittu etukäteen yhteiseen säkkiin, jotka ensim-

mäiseksi lisättiin tasosekoittimeen pyöräkoneen avulla. Ainoastaan JT-filleri punnittiin erikseen ja lisättiin sekoittimeen ämpäreiden avulla. Sitten sekaan voitiin lisätä sementti, jotka olivat valmiina 25 kilon säkeissä. Tämän jälkeen kuiva-aineksia sekoitettiin noin minuutti keskenään.

Seuraavaksi kuiva-ainesten sekaan tasosekoittimeen lisättiin noin 2/3 vesimäärästä. Betonimassaa sekoitettiin niin kauan, että massan koostumus oli homogeenista. Lisäaineet laimennettiin osaan vesimäärästä ennen niiden lisäystä, joista huokostin tuli annostella ennen notkistimen lisäystä. Sekoitusaika lisäaineille oli riittävä, kunnes notkistin alkoi reagoida. Loput vesimäärästä annostellaan tarvittaessa, jos massa näyttää silmämääräisesti tarvitsevan vettä notkeuden lisäämiseksi. (Sarkkinen 2016, 29.)

Muotin täyttäminen massalla suoritettiin kahdessa eri osassa. Kun muotti oli puolillaan, tiivistettiin massa betonitäryttimen avulla. Tämän jälkeen suoritettiin koekappalemuottien täyttö sekä laadunmittaukset, sillä keskivaiheilta otettu massanäyte antoi todennäköisesti tasaisimman tuloksen betonimassan laadusta. Sitten muotti valettiin täyteen ja tiivistettiin ylempi massakerros samalla tavoin kuin alempi täryttimen avulla. Kuvassa 23 on muotin täyttäminen meneillään.



Kuva 23. Muotin täyttäminen betonimassalla

Kun muotti ja koekappaleet oli valettu massalla, voitiin massan pinta tasoittaa lastan avulla. Viimeistelytöitä varten massan annettiin hetki jähmettyä, jotta sen pinta voitaisiin hiertää. Kuvassa 24 on esillä siistitty työympäristö, jossa betonin valaminen on saatu suoritettua. Bloki- ja koekappalemuoteille on myös suoritettu pinnan hiertäminen.



Kuva 24. Viimeistelyt betonibloki ja koekappaleet

Valamisen jälkeen betonibloki ja koekappaleet jätettiin kovettumaan vuorokaudeksi, huolehtien etteivät ne altistu sateelle tai muulle äkilliselle sääolosuhteiden vaihtumiselle, mikä voisi vaikeuttaa betonin kovettumista. Bloki olisi voitu tarvittaessa suojata esimerkiksi muovikalvolla haihtumisen estämiseksi.

8 KOE-ERÄN TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

8.1 Tulokset

Koe-erän valmistuksessa käytettiin pohjana TkT Minna Sarkkisen laatimaa optimoitua betoniblokireseptiä FeCr-kuonalle. Resepti oli todettu toimivaksi Sarkkisen aikaisempien laboratorio-olosuhteissa tehtyjen tutkimusten perusteella. Optimoinnissa oli pyritty laatimaan resepti, jolla parannetaan ensisijaisesti blokin säärasituksen kestävyyttä. Reseptillä tavoiteltiin lisäksi saavuttamaan muun muassa oikeanlainen vesi-sementtisuhde sekä hyvä massan työstettävyys. Opinnäytetyön laadunvalvonnassa rajattiin pakkasrasituskestävyyden tutkiminen pois opinnäytetyön ajallisesta kestosta johtuen. Työssä keskityttiin koe-erän avulla saavuttamaan riittävän laadukasta betonia blokeille Sarkkisen reseptin pohjalta sekä hienosäätämään reseptiä tarpeen tullen.

Alkuperäinen resepti oli määritetty yhdelle betonikuutiolle, eli kuinka paljon massan aineksia tarvitaan yhden betonikuution valmistamiseen. Opinnäytetyössä käytetty tasosekoitin betoniblokin valmistuksessa oli kuitenkin sen verran pieni, että sekoitussuhteet jouduttiin mitoittamaan pienemmälle erälle. Lisäksi valettava blokimuotti oli tilavuudeltaan noin puoli kuutiota, joten taloudellista oli mitoittaa vain tarvittava betonimassamäärä yhdelle valukerralle. Sarkkisen reseptiä päädyttiin suhteuttamaan siten, että valmistettava määrä vastaisi 0,6 kuutiollista massaa, jolloin yli jäävä massamäärä jäisi mahdollisimman pieneksi, mutta riittäisi hyvin blokin valmistukseen, koekappaleille sekä laadunmittausten suorittamiseen.

Betoniblokin valuja ferrokromikuonasta suoritettiin yhteensä viisi kappaletta. Koe-erissä käytetyt betoniaineisten reseptimäärät sekä betonille tehdyt laadunvalvonnan tulokset on listattu taulukkoon 4. Puristuslujuus- ja tiheysarvot kovetuneelle betonille taulukossa ovat kolmelle koekappaleelle mitattuja keskiarvoja. Betonin valmistusreseptit pyrittiin pitämään mahdollisimman samankaltaisina jokaiselle betoniblokille keskinäisen vertailun aikaansaamiseksi.

Taulukko 4. Betoniblokien koe-erän reseptit ja laadunvalvontatulokset

Koe / Päivämäärä	1 / 8.6.16	2 / 6.7.16	3 / 7.7.16	4 / 20.7.16	5 / 28.7.16
Plussementti (kg)	207	207	207	207	207
JT-filleri (kg)	120	120	120	120	120
FeCr-murske 0/4 (kg)	488	488	488	488	488
FeCr-murske 4/8 (kg)	225	225	225	225	225
FeCr-murske 8/11 (kg)	210	210	210	210	210
FeCr-murske 10/16 (kg)	150	150	150	150	150
Yhteensä	1400	1400	1400	1400	1400
Vesi (kg)	96	86	74	80	85
Notkistin Vario-Parmix (kg)	2,25	2,25	2,5	2,5	2,5
Huokostin Mapeair (kg)	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3
Ilman lämpötila (°C)	7	16	15	19	21
Tuulen nopeus (m/s)	3	2	2	2	1
Massan sekoitusaika veden lisäyksen jälkeen (min)	30	10	16	10	10
Huokostimen annostelu veden lisäyksen jälkeen (min)	n.10	2:30	6	2:30	2:30
Notkistimen annostelu veden lisäyksen jälkeen (min)	n.12	3:30	7:30	3:30	3:30
Laadunvalvonta					
Massan ilmamäärä (%)	14	5,5	9	7,5	7,2
Massan notkeus	S3	S4	S3	S2	S3
Massan märkätiheys (kg/m ³)	1980	2470	2280	2330	2390
Massan lämpötila (°C)	21	20	24	24	26
Puristuslujuus 7 päivää (Mpa)	-	C 21,9/26,9	C 13,6/16,9	C 15,5/19,3	C 17,5/22,3
Puristuslujuus 14 päivää (Mpa)	C 4,5/5,6	-	-	-	-
Puristuslujuus 28 päivää (Mpa)	C 5,3/6,6	C 28,7/35,4	C 17,7/22,1	C 18,9/23,6	C 22,5/27,5
Tiheys 7 päivää (kg/m ³)		2460	2240	2310	2370
Tiheys 14 päivää (kg/m ³)	2020	-	-	-	-
Tiheys 28 päivää (kg/m ³)	2030	2470	2250	2270	2380

8.2 Tulosten analysointi

Kaikissa viidessä kuonablokin valmistuksessa käytettiin saman verran runkoaineksia sekä sementtimäärä pidettiin kokeissa samana. Ensimmäinen koe-erä betoniblokin valmistuksessa oli käytännössä oikean betonireseptin lopullista

kokeilemista sekä massan sopivan sekoitusajan optimoimista. On syytä huomioida, että vaikka jokainen resepti olisi ollut identtisesti samanlainen ja suoritustapa yhdenmukainen, saattaisi laadunmittauksissa ilmetä eroavaisuuksia. Esimerkiksi betonin puristuslujuuteen voivat vaikuttaa esimerkiksi runkoaineen rakeisuus, muoto ja pinnan laatu, jotka vaihtelevat aina hieman eri valukerroilla. (Uusitalo, 36.)

Lisäksi merkittävä muuttuja laadun tasaisuuden ylläpitämiseen oli opinnäyte-työssä käytetty tasosekoitin, sillä sekoitinta käytettäessä epätasaisuutta saattoi selkeästi havaita tuoreessa massassa. Varsinkin sekoittimen reunoille jäi paljon runkoainesta, jotka eivät päässeet sekoittumaan veden kanssa juuri laisinkaan. Myös notkeuden vaihtelua ilmeni massan sekoituksen aikana, kun pohjamassa oli huomattavasti notkeampaa ja nestemäisempää kuin yläpuolella oleva massa.

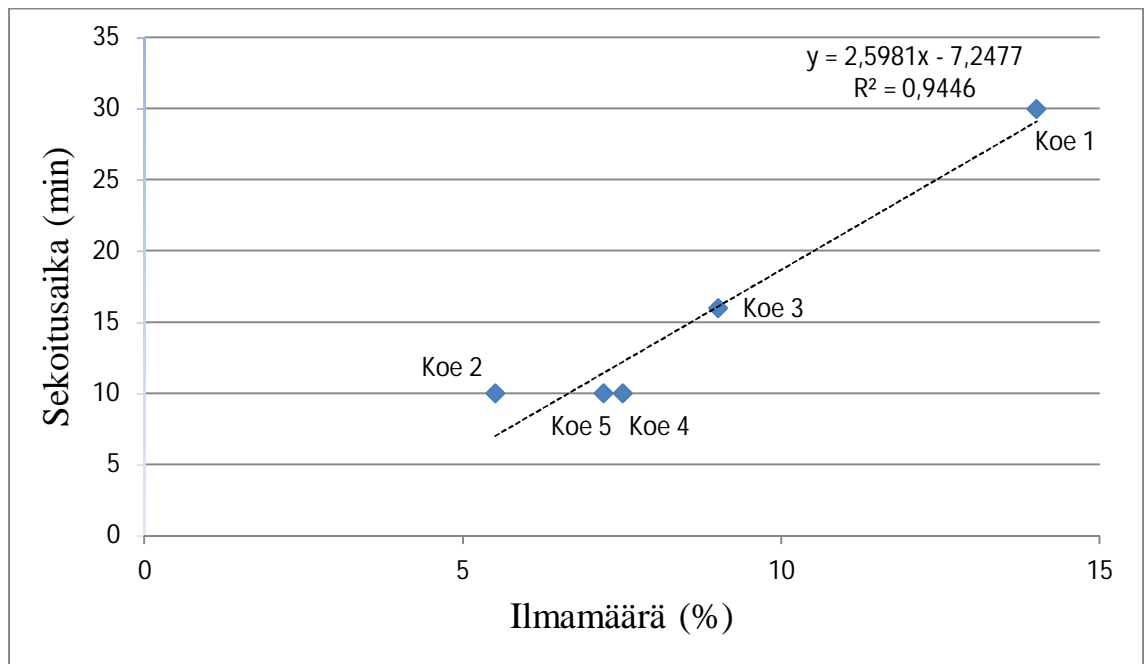
Vettä betonimassaan lisättiin joka koe-erässä silmämääräisesti tavoitenotkeuden mukaan. Veden määrää voitiin vähentää notkistinta lisäämällä. Notkistin vähentää vedentarvetta ja sitä kautta parantaa betonin lujuutta, tiiviyyttä sekä kestävyyttä. Lisäaineiden määrää muutettiin koe-erien välillä, mikäli siihen oli tarvetta tuoreesta massasta tehtyjen laadunmittausten perusteella. Huokostimen määrä puolitettiin heti ensimmäisen valukerran perusteella, sillä ilmamäärää oli saatava alemmaksi ensimmäisen valutulosten perusteella. Notkistinta annosteltiin kolmella viimeisellä valukerralla noin 10 % lisää, jotta vedenmäärää voitaisiin hieman pienentää.

Betonimassojen valuissa vallitsevat olosuhteet on merkitty myös taulukkoon 4. Kaikki koe-erät valettiin sateelta, tuulelta sekä auringonpaisteelta suojassa katoksen alla, joten sääolosuhteet eivät vaikuttaneet olennaisesti betonin laadunvalvonnan tuloksiin. Ilman lämpötilankaan vaihteluilla ei pitäisi olla merkitystä lopputuloksiin, sillä lämpötilavaihtelu oli betonin kovettumisten aikana noin $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

8.2.1 Ilmamäärän ja märkätiheyden tarkastelu

Betonin laadunvalvonnassa yksi tärkeimmistä ominaisuuksista oli massan oikean ilmamäärän aikaansaaminen, sillä kriteerirajat ylittävä ilmamäärä vaikuttaa merkittävästi muun muassa betonin puristuslujuuteen. Koe-erien ilmamäärät vaihtelivat välillä 5,5 - 14 %, kun tavoitellut arvot olivat 5 - 8 %. Heti ensimmäisten valujen jälkeen havaittiin, että yksi merkittävä tekijä ilmamäärän muuttumiselle oli massan sekoitusaikojen vaihtelut: Ensimmäisessä koe-erässä massan sekoitusaika oli noin 30 minuuttia veden lisäyksen jälkeen, ja massan ilmamääräksi mitattiin 14 %. Toisen koe-erän massan sekoittaminen lyhennettiin 10 minuuttiin, ja mitattu ilmamäärä saatiin pudotettua tavoiteltujen kriteerien sisälle 5,5 prosenttiin.

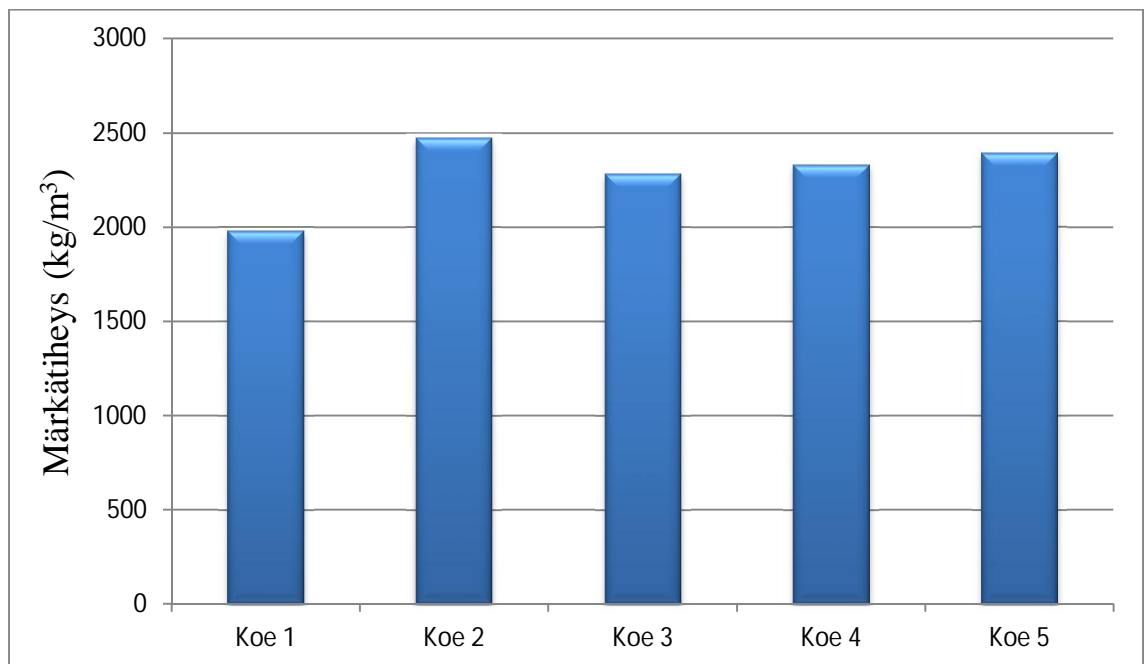
Kolmelle kokeelle (kokeet 2, 4 ja 5) päätettiin vakioida samat massan sekoitusajat sekä lisäaineiden annosteluajat. Näin ollen saatiin vertailukelpoisia tuloksia, kun muuttujia koe-erien kesken on mahdollisimman vähän. Kuviossa 6 on esitetty koe-eristä mitattujen ilmamäärien sekä betonimassan sekoitusaikojen korrelaatio eli kahden muuttujan välinen riippuvuus.



Kuvio 6. Koe-erien ilmamäärien ja massan sekoitusaikojen korrelaatio ja trendiviiva

Sopivaksi sekoitusajaksi tasosekoittimelle todettiin noin 10 minuuttia veden li-säyksen jälkeen, jolloin ainekset ehtivät sekoittua keskenään riittävästi keske-nään. Kuten kuvion 6 käyrien kehityksestä voi päätellä, koe-erien osalta voi-daan karkeasti todeta että mitä pidempi sekoitusaika, sitä suurempi ilmamäärä. Vertailukelpoisilla kokeilla 2, 4 ja 5 massan ilmamäärä pysyi tavoiteltujen arvo-jen sisällä, kun sekoitusaika kaikissa pidettiin samana.

Notkeuden mittaus suoritettiin sekoittimen keskivaiheilla olevasta massasta. Notkeusluokat (s.44) vaihtelivat kaikissa viidessä koe-erässä S2 ja S4:n välillä, ja mikä tärkeintä, kaikissa tapauksissa massa oli työstettävää. Tuoreen massan märkätiheys (Kuvio 7) vaihteli koe-erillä 2000 - 2400 kg/m³ paikkeilla, joita pro-jektissa toimineiden OAMK:n betoniasiantuntijoiden mukaan voidaan pitää kel-vollisina arvoina työmaalla valetuille massoille.

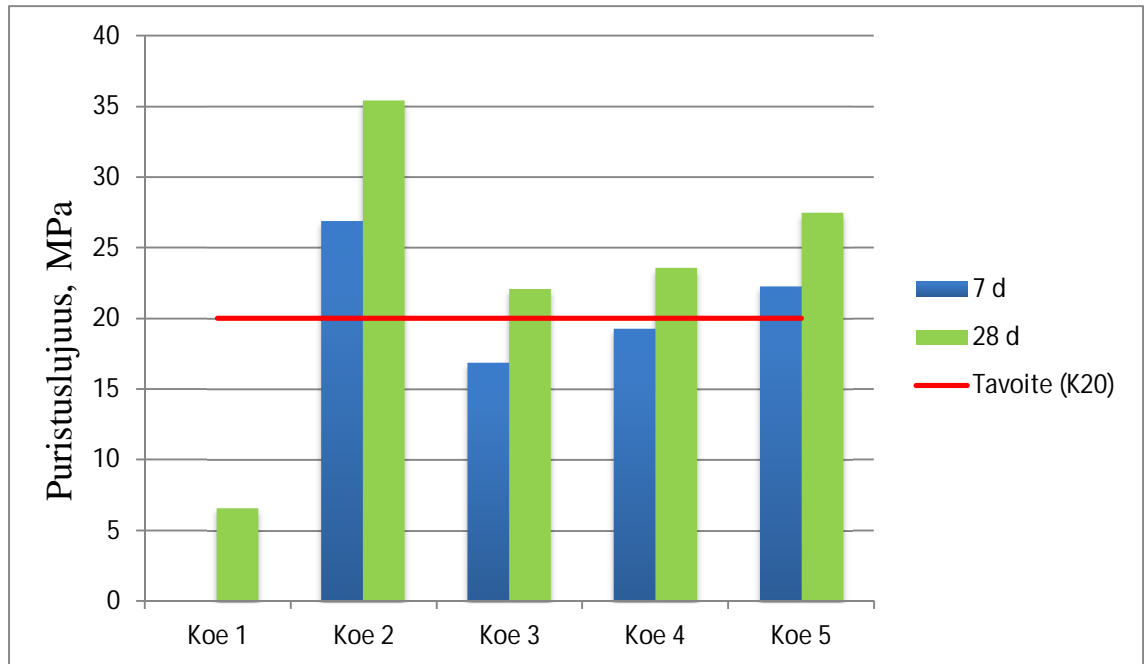


Kuvio 7. Koe-erien tuoreen massan märkätiheys

8.2.2 Puristuslujuuden ja tiheyden tarkastelu

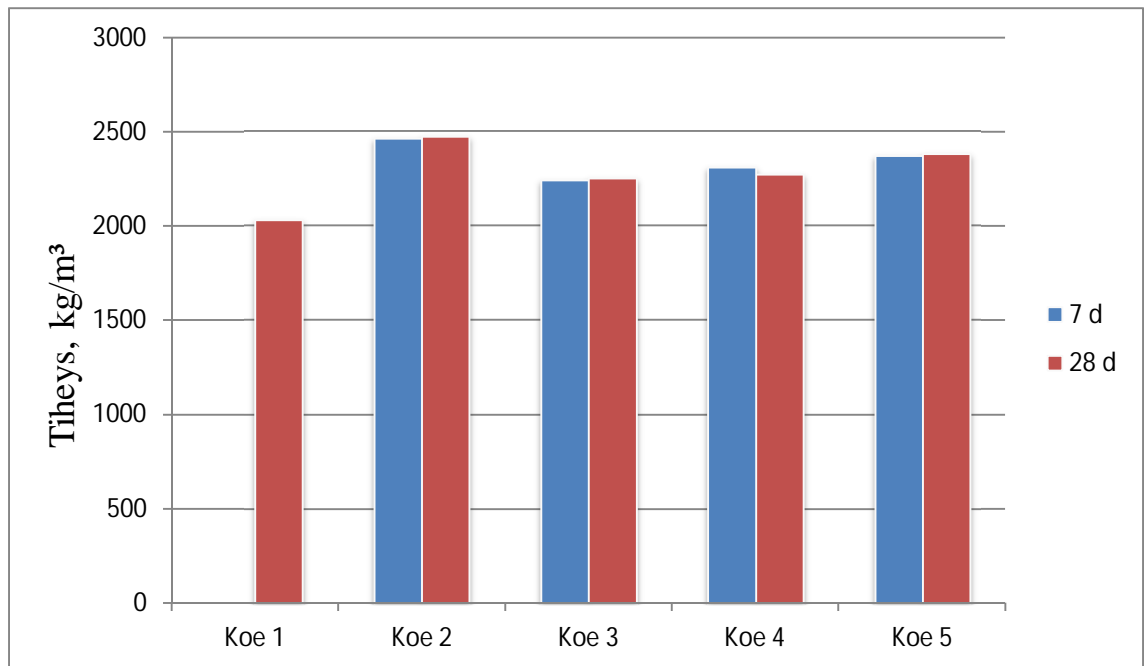
Puristuslujuudet mitattiin kaikista koe-eristä 7 sekä 28 vuorokauden aikaväleillä, lukuun ottamatta ensimmäistä koe-erää, jolle ensimmäinen lujuudenmittaus suoritettiin vasta 14 vuorokauden kuluttua. Koe-erien 7 vrk:n puristuslujuudet vaihtelivat välillä 16,9 - 26,9 MPa. 28 vrk:n puristuslujuudet sen sijaan vaihteli-

vat 6,6 - 35,4 Mpa. Tuloksia voi pitää tyydyttävänä, sillä suurin myönnettävä lujuusluokka työmaalla omatoimisesti valmistetulle betonille on K20. Kuviossa 8. on kooste koe-erien puristuslujuuksien kehityksestä 7 ja 28 vuorokauden (d) mittaajajankohdina.



Kuvio 8. Koe-erien puristuslujuuden kehitys

Kuvioon 9 on koottuna koe-eristä mitatut tiheysarvot 7 ja 28 vuorokauden ajankohtina. Arvot eivät ole merkittävästi muuttuneet suuntaan tai toiseen verrattaessa tuoreen betonin tiheysarvoihin. Lisäksi tiheyden kasvu on ollut vähäistä kaikissa koe-erissä mitattujen ajankohtien välillä.



Kuvio 9. Kovettuneen betonin tiheyden kehitys koe-erillä

9 BETONIBLOKIN VALMISTUSKUSTANNUKSET

Betoniblokin valmistuksen kustannuslaskelmissa on huomioitu vain raaka-aineista aiheutuneet kustannukset. Kustannuksista on rajattu pois ainakin laitteiden käytöstä sekä henkilöstön työtunneista aiheutuneet kustannustekijät, jotka ovat merkityksellisiä laskettaessa kokonaiskannattavuutta blokien valmistuksessa.

Laskelma perustuu opinnäytetyössä käytettyyn reseptiin, joka on mitoitettu 0,6 betonikuutiolle, sillä kyseinen määrä oli riittävä yhden betoniblokin valmistukseen, johon kuuluivat myös laadunmittaukseen tarvittut betonimäärät. Jokaisessa koe-erässä käytettiin samoja runkoainemääriä. Lisäaineiden määrää hienosäädettiin koe-erien välillä laadunmittauksista saatujen tulosten perusteella, joten notkistimen ja huokostimen määrät kustannuslaskelmassa ovat keskiarvoja koe-erissä käytetyille määriille. Hinnat raaka-aineille on määritelty sen hetkisinillä myyntihinnoilla paikallisilta toimittajilta. Tosin isompia määriä tilattaessa raaka-aineiden kustannukset todennäköisesti laskisivat huomattavasti. Taulukon 5 laskettujen raaka-ainekustannusten perusteella yhdelle betoniblokille kertyisi kustannuksia noin 59 €.

Taulukko 5. Raaka-aineiden kustannuslaskelmat yhdelle betoniblokille

<u>Materiaali</u>	<u>Määrä (kg)</u>	<u>Hinta (€)</u>	<u>Hinta (€/kg)</u>	<u>Yhteensä (€)</u>
Plussementti	207	4,44 € / 25 kg	0,18	36,76
JT-filleri	120	90 € / t	0,09	10,80
FeCr-murske 0/4	488	4,5 € / t	0,00	2,20
FeCr-murske 4/8	225	7,5 € / t	0,01	1,69
FeCr-murske 8/11	210	7,5 € / t	0,01	1,58
FeCr-murske 10/16	150	5,5 € / t	0,01	0,83
Notkistin Vario-Parmix	2,4	358 € / 200 kg	1,79	4,30
Huokostin Mapeair	0,36	60,50 € / 25 kg	2,42	0,87
Yhteensä:				59,01

10 JATKOSUUNNITELMIA HANKKEELLE

Opinnäytetyön tarkoitus oli valmistaa Tapojärven omaan käyttöön pienimuotoinen koe-erä ferrokromikuonapohjaisia betoniblokeja. Työn aikana suoritettujen laadunvalvonnan perusteella ferrokromikuona vaikuttaisi soveltuvalta runkoainekselta betoniblokien valmistukseen. Blokien pidempiaikainen kestävyys tul- laan näkemään tosin vasta tulevan vuoden talvena ilmojen kylmetessä tai labo- ratoriossa suoritettavien myöhempien pakkastestien avulla. Mikäli pakkastes- teistä saadut laatuarvot eivät vastaa tavoiteltuja arvoja, voidaan jatkossa betoni- reseptiä vielä viimeistellä laatutason parantamiseksi.

Lisäksi jatkotutkimuksia voidaan tarvittaessa tehdä reseptin mahdollisista hal- vennuskeinoista. Olisiko massaa mahdollista valmistaa esimerkiksi pienemmäl- lä sementtimäärällä niin, että pakkaskestävyys ja muut lujuusominaisuudet be- tonissa eivät kärsisi. Osan sementistä voisi mahdollisesti korvata masuunikuo- nalla tai kivihiilituhkalla. Toinen reseptin halventaminen voisi olla runkoainesten sekoitussuhteen muokkaaminen. Reseptissä voitaisiin kokeilla halvempien ku- ten muun muassa 0/4 mm sekä 10/16 mm FeCr-murskeiden määrän suhteellis- ta kasvattamista, jotka ovat tonnimäärältään 2 - 3 € edullisempia kuin murske- koot 4/8 ja 8/11 mm.

Opinnäytetyössä tehtyjen blokien muottipintojen havaittiin jäävän melko karhe- aksi betonin kuivumisen jälkeen, kun pinnan tasoitus oli tehty hiertimen avulla. Jatkossa muottipintoja voitaisiin tasoittaa laadukkaamman näköiseksi esimer- kiksi käsikäyttöisellä betonihiomakoneella.

Tapojärvellä on Torniossa ihanteellinen sijainti kuonan hyötykäytön kannalta, sillä kuonaa saadaan läheltä otettua helposti käyttöön Tornion Outokummun prosessin ansiosta. Ennen projektin alkua Outokumpu oli ehdollisesti tilannut 200 betoniblokiä, mutta vetäytyi lopulta projektista toistaiseksi. Tätä asiaa ei kannata välttämättä Tapojärven näkökulmasta ottaa negatiivisesti. Nyt Tapojär- vellä onkin aikaa kehittää ja tutkia kuonablokien valmistamista jatkossa, ilman asiakkaan vaatimaa kiirettä – joka projekteissa tahtoo nykypäivänä aina olla. Mikäli Outokumpu olisi pitänyt tilauksestaan kiinni, olisi Tapojärvellä saatettu

tehdä hätäisiä ratkaisuja esimerkiksi valupaikan päättämisen suhteen sekä menetelmien valintaan. Nyt voidaan pohtia huolellisesti jatkotoimenpiteitä, mikäli blokeja päätetään alkaa valmistamaan sarjatuotantona, ja mahdollisesti myymään niitä eteenpäin.

Käytännön tasolla valupaikan sijaintia kannattaa pohtia huolellisesti. Onko perustettava valutyömaa kenties Tornion Tapojärven toimipisteessä, jossain muussa heidän logistisesti sijainniltaan paremmassa yksikössä vai perustettaisiinko kokonaan uusi toimipaikka? Yksi vaihtoehto voisi olla myös betoniblokien valmistamisen ulkoistaminen, mikäli omaa valmistuskalustoa ei aiota hankkia eikä henkilöstöä haluta sitouttaa toimintaan.

Valupaikkaa pohtiessa olisi ensisijaisesti löydettävä kuivat ja mahdollisimman neutraalit olosuhteet, joka olisi vähintään suojattu sateelta, aivan kuten opinnäytetyöissäkin tehtiin mutta vain pienemmässä mittakaavassa. Lisäksi tulisi pohtia, kuinka monta blokimuottia tullaan valmistamaan esimerkiksi vuositasolla, sillä vain muutamalla blokilla valmistus tulisi olemaan vaivalloisen hidasta ja kannattamatonta. Blokimuotteja on useita erilaisia malleja olemassa, joten ennen blokien tilausta on syytä pohtia, keskitytäänkö vain tiettyihin malleihin, vai pyritäänkö asiakkaille tarjoamaan mahdollisimman monipuolista tarjontaa. Päätetyn valmistusmäärän volyymin perusteella on järkevää mitoittaa oikean kokoinen betonin valmistusmenetelmä, kuten esimerkiksi hankkimalla betonin valmistukseen sopivan kokoinen betoniauto.

Blokien siirtelyyn olisi syytä tilata jonkinlaiset nostosakset, sillä esimerkiksi trukilla siirtely voi olla hidasta, ja blokin kääntäminenkin haasteellista. Bloki on käännettävä ensi töikseen valamisen jälkeen, jotta bloki asettuu oikein päin kun niitä pinotaan monta päällekkäin. Jos valupaikka suoritetaan sisätiloissa, tällöin kätevä ja turvallinen ratkaisu blokien siirtelyyn voisi olla katto- tai pylväskäntönostimien avulla.

Koe-erän valmistuksesta aiheutuneet kustannukset ovat varsin pieniä verrattaessa suurteollisuuden toiminnan mittakaavaan ja niissä liikkuviin kustannusmääriin. Tarkkojen kannattavuuslaskelmien tekeminen olisi silloin välttämätöntä,

jos Tapojärvi päättää aloittaa järjestelmällisen blokien valmistamisen tulevaisuudessa. Ennen toiminnan aloittamista tulisi selvittää, onko betoniblokeille kysyntää esimerkiksi Suomessa, jossa blokien valmistajia vaikuttaisi olevan vielä tällä hetkellä varsin vähän. Potentiaalisia asiakkaita voisi lähestyä markkinoimalla betoniblokien monipuolisista käyttömahdollisuuksista ja tiedustelemalla olisiko blokeille kysyntää. Betoniblokille voi hyvinkin olla Suomessa kysyntää, sillä onhan sen valmistustapa ympäristöystävällinen sekä ekologinen, jotka ovat tämän päivän Suomessa muodostuneet trendikäsiteiksi.

Yksi liikeidea voisi myös olla, että blokeista rakennettaisiin asiakkaille esimerkiksi valmiita halleja tai välivarastoja, joita voisi vuokrata tai niitä voisi toimittaa väliaikaisesti asiakkaan haluamaan toimipaikkaan. Näin ollen asiakkaan ei tarvitsisi hankkia blokeja itselleen tai pystyttää niitä, vaan mahdollisuutena olisi tilata valmis rakennelma.

11 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli valmistaa koe-erä betoniblokeja, joiden runkoaineena on käytetty FeCr-kuonaa. Tapojärvellä on valmistettu samankaltaisia blokeja jo aikaisemmin käyttämällä VKU-kuonaa runkoaineena, mutta FeCr-kuonan soveltuvuutta ei ole kokeiltu betoniblokien runkoaineena aikaisemmin. Aikaisemmissa tutkimuksissa VKU-kuonan suurimpana ongelmana on ollut huono säänkestävyys pakkastesteissä.

FeCr-kuonalla tehtyjen laboratoriotestien perusteella ferrokromilla on paremmat pakkaskestävyysominaisuudet kuin VKU-kuonalla. Tässä työssä valmistetulle koe-erälle on tarkoitus suorittaa pakkasrasitustestit myöhemmässä vaiheessa, tosin opinnäytetyöstä ulkopuolelle rajattuna.

Koe-erään kuului yhteensä viiden betoniblokin valmistus. Koe-erät saatiin valettua suunnitellussa aikataulussa kesän 2016 aikana Tornion Tapojärven JT-rikastamon tiloissa. Työhön sisältyi lisäksi myös muun muassa käytännön järjestelyt valujen suorittamiseksi, tarvikkeiden hankinta sekä kirjallinen raportointi ja ohjeistus betoniblokin valmistukselle. Olennainen tehtävä oli myös laboratorio-olosuhteissa aikaisemmin kehitelty betonireseptiikan viimeistely käytännössä koe-erien avulla. Betonireseptiä hienosäädettiin koe-erien kesken aina seuraavalle valukerralle laadunvalvonnan avulla, kun vaaditut laatukriteerit oli saavutettava massalle.

Tuoreen betonimassan laaduntarkkailussa keskityttiin mittaamaan notkeutta, ilmamäärää sekä tiheyttä. Kovettuneelle betonimassalle suoritettiin sen sijaan puristuslujuus- sekä tiheydenmittauksia Oulun ammattikorkeakoulun betonilaboratoriossa.

Opinnäytetyössä alkuperäiset tavoitteet saavutettiin koe-erän osalta, sillä lopputuloksena betonireseptiikka saatiin viimeistelyä käytännössä ylläpitäen suurimmalle osalle betonimassan laatu vaatimusten sisällä. Yhteensä viidestä koe-erän valusta kolmelle suoritettiin mahdollisimman yhdenmukainen valaminen, jotta mitattuja tuloksia voidaan pitää vertailukelpoisina ja kohtuullisen luotettavi-

na. Työssä saatiin myös aikaiseksi ohjeistus betoniblokin valmistukselle sekä ohjeet betonin laadunmittausten oikeaoppisille suorituksille.

Opinnäytetyön tutkimuksen luotettavuutta voidaan pitää kohtalaisen paikkaansa pitävänä. Betonin valmistus sekä laadunmittaukset on suoritettu alan ammattilaisten opastuksella sekä työssä on noudatettu laadunmittauksiin liittyviä standardiohjeita mahdollisimman tarkasti. Luotettavuutta heikentäviä tekijöitä voivat olla muun muassa aikaisemman kokemuksen puute betonin valmistuksessa sekä mahdolliset huolimattomuusvirheet raportoinnissa laadunvalvonnan osalta.

Joka tapauksessa työ antaa hyvän pohjan mahdollisille jatkotoimenpiteille pohdittaessa betoniblokkien valmistamisen tulevaisuutta Tapojärvellä. Opinnäytetyön avulla blokkeja osataan ensinnäkin valmistaa oikealla tavalla. Tiedossa on nyt myös oikeanlainen reseptimäärä blokille, jonka kautta on laskettu suuntaa antavasti raaka-ainekustannukset yhden blokin valmistukselle. Alustavasti vaikuttaisi siltä, että betoniblokkeja voitaisiin valmistaa taloudellisesti kannattavasti jatkossa, sillä sarjatuotantona valmistuskustannukset tyypillisesti laskevat huomattavasti. Myöhempiä tarkempia kannattavuuslaskelmia suositellaan tehtäväksi sen jälkeen, kun jatkosuunnitelmat blokeille alkavat selkeytyä.

Oppimiskokemuksena opinnäytetyön kautta sain itselleni laajan tietämyksen betonin valmistamisen perusteista, sillä aikaisemmin en ole juurikaan betonin teoriaan tutustunut tai betonia valmistanut. Käytännön kautta opin myös ymmärtämään tärkeimmät edellytykset hyvän betonin aikaansaamiseksi. Vaikka työ aluksi vaati huolellista syventymistä betonin valmistamisen teoriaan, oli loppujen lopuksi opinnäytetyö hyvin käytännönläheinen.

Tärkeimmät työvaiheet suoritettiin käytännön tasolla työmaalla, kuten betonin valmistaminen, valu sekä laadunmittaukset. Kokonaisuutena koin työn sopivan haasteelliseksi, jossa pystyin haastamaan itseäni ja osaamistani. Lopputulokseen olen tyytyväinen, sillä tavoitteet saavutettiin, aikataulussa pysyttiin sekä mielenkiinto pysyi aiheessa opinnäytetyön alusta loppuun saakka.

LÄHTEET

ADZ-System 2016. Internet-sivut. Viitattu 26.6.2016 <http://adz-system.cz/>

BetonBlock® 2016. Internet-sivut. Viitattu 12.6.2016 <http://betonblock.com/>

Betoniteollisuus ry 2016. Internet-sivut. Viitattu 22.6.2016
<http://www.valmisbetoni.fi/>

Finnsementti Oy 2016. Internet-sivut. Viitattu 22.6.2016
<http://www.finnsementti.fi/>

HB-Betoniteollisuus Oy 2016. Internet-sivut. Viitattu 26.6.2016 <http://www.hb.fi/>

Ignatov, M. 2012. Siirrettävän betoniaseman kiviainessiiloston modulointi. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Kaila, P. 1999. Talotohtori, rakentajan pikkujättiläinen. 4. painos. Porvoo: WSOY - Kirjapainoyksikkö.

Kasala, M. 2005. Kromimalmista ferrokromiksi. PowerPoint esitemateriaalia.

Koskinen, J. 2016. Tapojärvi Oy. Kehityspäällikkö, keskustelu 27.4.2016.

Moilanen, N. 2008. Hienokuonan käyttö kevytsoran lisäaineena. Helsingin teknillinen korkeakoulu. Diplomityö.

Morenia Oy 2016. Internet-sivut. Viitattu 25.6.2016 <http://www.morenia.fi/>

Niemelä, P. 2001. Kromiittiraaka-aineiden pelkistyminen uppokaariuunissa ferrokromin valmistuksessa, Pohto, Oulu.

Ollila, J. 2008. Ydinprosessi (FeCr:n valmistus ja toimitus). Sisäinen Intranet, Outokumpu Chrome.

Outokumpu Oy Tornio Works 2010. OKTO-rakennustuotteiden suunnittelu- ja rakentamisohje tie-, katu- ja maarakentamisessa.

Palviainen, J. 2014. Runkoaineen ja notkistimen vaikutus ruiskubetonin laatuun. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Pekkala, O., Ruokanen, J. 2007. Ferrokromiprosessin kuona. Oulun Yliopisto. Kirjallisuustyö.

Rudus Oy 2016. Internet-sivut. Viitattu 12.6.2016
<http://www.rudus.fi/ohjeet/betonin-ohjeet#>

Sarkkinen, M. 2016. Betoniblokkien säänkestävyyden parantaminen. KAMK / Kone- ja kaivostekniikka.

SFS-EN 12350-2. 2000. Tuoreen betonin testaus. Osa 2: Painuma. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 12350-6. 2000. Tuoreen betonin testaus. Osa 2: Tiheys. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 12390-1. 2013. Kovettuneen betonin testaus. Osa 1. Muoto, mitat ja muut koekappaleiden ja muottien vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 12390-2. 2009. Kovettuneen betonin testaus. Osa 2. Koekappaleiden valmistus ja säilytys lujuustestejä varten. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

Tapojärvi Oy 2016. Internet-sivut. Viitattu 30.5.2016 <http://www.tapojarvi.com/>

Tenhunen, J. 2012. Ruiskubetonin kehitys polymeerinotkistimen avulla. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Tuomainen, N. 2013. Pienempi hiilijalanjälki vihreällä lattiabetonilla. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Uhlbäck, P. 2016. Lujuusluokka. Sähköposti Ismo.Mattila@edu.lapinamk.fi 12.8.2016.

Uusitalo, J., Ihanamäki, J., Rajala, R. & Vallin, O. 2002. Betonityöt. 5. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.