

KORKEAT, VESITIIVIIT, PAIKALLAVALETTAVAT SEINÄT



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Hämeen ammattikorkeakoulu, rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Kevät, 2019

Jere Arffman

Rakennusmestarin opinnäytetyö
Visamäki

Tekijä	Jere Arffman	Vuosi 2019
Työn nimi	Korkeat, vesitiiviit, paikallavalettavat seinät	
Työn ohjaajat	Hannu Fagerlund, Pasi Juntunen	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö käsittelee korkeiden, vesitiiviiden ja paikallavalettavien seinien työvaiheita. Lisäksi työhön on sisällytetty betonin ominaisuuksia. Työn tarkoituksena on luoda ohjeistus betonointityön laadukkaaseen suorittamiseen. Työhön luodaan myös liitteeksi esimerkki betonointi suunnitelmasta.

Työn toimeksiantajana toimi Keski-Suomen Betonirakenne Oy, jonka edustajana tässä työssä toimii poikkeuksellisten vaativien betonirakenteiden työnjohtaja Pasi Juntunen.

Työn sisältö etenee kronologisessa aikajärjestyksessä ja työ suoritettiin käyttämällä betoniyhdistyksen ja rakennusinsinööriinon lähdetietoja sekä haastattelujen ja oman kohteen tietoja hyödyntäen.

Työn tuloksena oli, että betonointityön onnistuminen vaatii monen aikaisemman ja jälkeisen työvaiheen huolellista suunnittelua ja toteutusta betonoinnin lisäksi

Avainsanat Muottityö, rauditus, betonointi, jälkihoito, vesitiiveys

Sivut 28 sivua, joista liitteitä 3 sivua

Degree Programme in Construction Management
Visämäki

Author	Jere Arffman	Year 2019
Subject	High, watertight and in-situ walls	
Supervisors	Hannu Fagerlund, Pasi Juntunen	

ABSTRACT

This Bachelor's thesis was commissioned by Keski-Suomen Betonirakenne Oy. The thesis discusses the stages of constructing high, waterproof and in-situ walls including properties of concrete. The purpose was to draw up instructions for constructing high quality concrete structures. The thesis also includes an example form for designing concrete works.

The sources used in the thesis were publications by Betoniyhdistys and Rakennusinsinööriliitto. In addition, experts were interviewed and the author's own experience was utilized. The contents of the thesis proceeds in a chronological order.

The results of the thesis show that a successful concreting requires many operations before and after concreting including careful designing and finishing.

Keywords Formwork, reinforcement, concreting, curing, watertightness

Pages 28 pages including appendices 3 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	BETONIN OMINAISUUDET	2
2.1	Rasitusluokat.....	2
2.2	Lisäaineet.....	3
2.2.1	Notkistimet	3
2.2.2	Huokoistimet	3
2.2.3	Kiihdyttimet ja hidastimet	4
2.3	Lujuus	4
2.4	Vesitiiveys.....	4
3	SEINIEN VALMISTELU BETONOINTIA VARTEN	5
3.1	Muottityö	5
3.2	Raudoitus.....	6
3.3	Valuvalmistelut.....	8
4	SEINIEN BETONOINTI.....	9
4.1	Pumpun mitoitus.....	9
4.2	Betonointi.....	10
4.2.1	Nousunopeus ja pudotuskorkeus.....	11
4.2.2	Massan tiivistys.....	12
4.3	Jälkihoito	15
4.4	Talvibetonointi	16
4.4.1	Jälkihoito talvella	16
4.5	Olosuhteet.....	17
5	VESITIIVEYDEN VIIMEISTELY	17
5.1	Jännitys.....	17
5.2	Työsaumat.....	18
6	VEDENPAINEKOE	19
6.1	Koestaminen.....	19
6.2	Pienten vuotokohtien korjaaminen	19
7	YHTEENVETO JA TULOKSET	20
7.1	Muottityöt.....	20
7.2	Raudoitus.....	21
7.3	Betonointi.....	21
8	POHDINTA.....	25
	LÄHTEET	27

Liitteet

Liite 1 **Betonin testatut puristuslujuudet**

Liite 2 **Betonin lujuuslaskelma loggereiden lämpökäyrien avulla**

Liite 3 **Haastattelukysymykset**

1 JOHDANTO

Korkeiden seinien betonointi vaatii yleensä tarkkaa suunnittelua kaikkien työvaiheiden osalta ja betoni käyttäytyy massiivirakenteissa eri tavalla kuin normaaleissa rakenteissa. Haasteellista työssä on myös, että betonin ominaisuudet ovat hyvin erilaisia ja tavoiteltavat lujuudet huomattavasti korkeampia kuin normaalissa rakentamisessa. Siksi Keski-Suomen Betonirakenne halusi valmiin toimintamallin paikallavalettaville rakenteille.

Keski-Suomen Betonirakenne on erikoistunut vaativaan paikallarakentamiseen. Rakentamisalana toimivat pääasiassa liike- ja julkishallit, tuulivoimalat, parkkihallit sekä teollisuusalueiden betonirakenteet.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on luoda ohjeistus massiivisten rakenteiden betonointityön suorittamiselle, jotta jatkossa päästäisiin mahdollisimman laadukkaaseen lopputulokseen. Tämä työ toimii myös uudelle kokeemattomalle työnjohtajalle tai harjoittelijalle hyvänä ohjekirjana korkeiden seinien valamiseen.

Tämä tutkimus käsittelee jännitettäviä betonirakenteita, vaikka muitakin tapoja on, ja enimmäkseen vesitiiviiden säiliöiden rakentamisen kannalta. Tutkimus käsittelee myös betonointityön kannalta tärkeimpiä seikkoja betonin ominaisuuksista, käyttäytymisestä ja ennen betonointia tehtävistä työvaiheista sekä sen jälkeisiä työvaiheita, jotta voidaan saavuttaa vesitiivis betonirakenne. Lisäksi tutkimus käsittelee betonoinnin osalta perinteistä valutekniikkaa.

2 BETONIN OMINAISUUDET

2.1 Rasitusluokat

Betonin rasitusluokat käytettävään kohteeseen suunnitellaan ulkoisen ympäristön mukaan, jotka ovat X0, XC, XD, XS, XF ja XA. Kyseisillä luokat jaotellaan myös numeroihin, mitkä kertovat betonin kestävydestä. (Betoninormit 2016, s. 16)

X0-luokkaa käytetään, kun betonissa ei ole raudoitusta tai muita metallisia osia, eikä se saa jäätymis-, sulamis-, kulutus-, tai kemiallista rasitusta sekä rakenne on hyvin kuiva. XC-luokan rasitukset käsittelevät betonin karbonatisoitumisesta johtuvaa korroosiota. Tämä luokka kertoo, miten alttiina raudoitettu betoni ovat ilmalle ja kosteudelle. XD-luokan betonirakenteet ovat kosketuksissa veteen, mutta ovat alttiina muualta kuin merivedestä tulleille klorideille. XS-luokan betonirakenne sisältää suoran kosketuksen meriveden tai ilman kuljettaman suolojen kanssa. XF-luokan betonit kestävät sulamis- ja jäätymisrasituksia. XA-luokka kertoo, millainen kemiallinen rasitus betonille tulee. (Betoninormit 2016, s. 16-18)

Luokittelu tehdään seuraavasti:

X0	Raudoittamaton, ei pakkas-, kulutus- tai kemiallista rasitusta Raudoitettu, hyvin kuiva
XC1	Kuiva tai jatkuvasti märkä
XC2	Kostea, harvoin kuiva
XC3	Kohtalaisen kostea
XC4	Jatkuva kastuminen ja kuivuminen
XD1	Kohtalaisen kostea
XD2	Kostea, harvoin kuiva
XD3	Jatkuva kastuminen ja kuivuminen
XS1	Kosketuksissa ilman suolojen kanssa
XS2	Pysyvästi meriveden alla
XS3	Meriveden rajassa ja alttiina roiskeille
XF1	Kohtalainen kyllästymisen vedellä, ei sulatusaineita
XF2	Kohtalainen kyllästymisen vedellä, sulatusaineita
XF3	Suuri vedellä kyllästymisen, ei sulatusaineita

XF4	Suuri vedellä kyllästyminen, sulatusaineita tai merivettä
XA1	Kemiallisesti heikosti aggressiivinen ympäristö
XA2	Kemiallisesti kohtalaisesti aggressiivinen ympäristö
XA3	Kemiallisesti voimakkaasti aggressiivinen ympäristö

(Suomen Betoniyhdistys 2016, s. 16-18)

2.2 Lisäaineet

Lisäaineilla voidaan tehdä betonista helpommin työstettävää, antaa suojaa pakkasta vastaan, antaa lisää aikaa sen kuivumiselle tai nopeuttaa sitä ja tehdä betonista lujuusominaisuuksiltaan kestävämpää. Lisäaineiden käytössä on myös ymmärrettävä, minkälaisia haittavaikutuksia niiden käyttö voi aiheuttaa.

2.2.1 Notkistimet

Notkistavat aine ovat pinta-aktiivisia aineita, jotka parantavat betonin teknisiä ja taloudellisia ominaisuuksia. Notkistinta käytettäessä voidaan valmistaa korkeamman lujuusluokan omaavia betonirakenteita, sillä veden määrää sementissä voidaan vähentää. Lisäksi notkistettua betonia on helpompi pumpata ja työstää. Tosin notkistimen käyttö lisää massan erottumis- ja halkeiluriskiä. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 62)

Betonin notkeus luokitellaan sen painuman ja leviämisen mukaan luokkiin S1-S5 tai F1-F5 (itsetiivistyvässä SF1-SF3), jossa S1 on jäykkin ja S5 on notkein. Muita notkeusluokkia betonille ovat maakostea, hyvin jäykkä ja puristustärytettävä, joissa tiivistämiseen käytetään muuta kalustoa kuin sauvaa. Perusnotkeutena käytetään yleensä luokkaa S3, mutta notkeamman massan käyttö helpottaa sen työstettävyyttä tiivistysvaiheessa. Notkistimen käyttö kuitenkin vähentää massan kuivumisaikaa johtuen pienentyneestä vesimäärästä. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 70)

Yleensä betonin lujuus ja rasitusluokat määrittävät käytettävän vesi-sementti -suhteen. Esimerkiksi jos betonin vaatimukset ovat C35/45, XC4, XF4, XS1, XA2, betonin vesi-sementti -suhde jää todella vähäiseksi ja haluttu notkeusluokka voidaan saavuttaa notkistimien avulla.

2.2.2 Huokoistimet

Normaalissa betonissa on ilmamääränä n. 10-20 l/m³, kun taas huokoistussa betonissa 40-80 l/m³ (Ø 0,01-0,8 mm/huokonen). Huokoistimien tarkoituksena on lisätä betonin pakkasenkestävyyttä luomalla siihen ilmakup-

lia niin, että betoni ei rikkoudu veden jäätyessä sen sisäpuolella. Huokoistimen haittapuolena kuitenkin on, että se heikentää betonin lujuusominaisuuksia. Periaatteena toimii, että 1 % ilmaa tekee betonista 5 % lujuudeltaan heikompaa. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 63)

2.2.3 Kiihdyttimet ja hidastimet

Kiihdyttimillä saadaan sitoutumaan betoni nopeammin. Kiihdyttimien käytöllä saavutetaan myös betonin jäätymislujuus tai muotipurkulujuus nopeammin. Betonin kiihdyttäminen alentaa sen loppulujuutta ja siksi kiihdytetyn betonin käyttö onkin korvattu lujuudenkehitystä kehittäville menetelmillä, kuten nopealla sementillä, kuumalla betonilla ja alhaisella vesi-sementtisuhteella. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 64)

Hidastimilla siirretään betonin sitoutumisaikaa myöhemmäksi ja sen käytöllä voidaan välttää työsaumojen syntyminen. Tosin hidastimen käytöstä on hyötyä yleensä vain lämpimällä kelillä ja ennen sen käyttöä vaaditaan ennakkokokeet. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 64)

2.3 Lujuus

Betonin tärkein ominaisuus on kestää suuria puristuslujuuksia ja betoni luokitellaan juuri puristuslujuuksien perusteella. Puristuslujuuksien pienin luokka eurokoodien mukaan on C8/10 ja suurin C100/115. Ensimmäinen numero tarkoittaa betonin lieriömäistä koekappaletta ja toinen numero kuution mallista koekappaletta. Esimerkiksi C35/45 lujuusmerkintä tarkoittaa, että lieriölujuuden ominaisarvo on 35 MPa ja kuutiolujuuden ominaisarvo 45 MPa. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 87)

Betonin puristuslujuus testataan yleensä 28 vuorokauden kuluttua valupäivästä. (LIITE 1) Mikäli arvioidaan betonin lujuuden kehitystä sen jäätymislujuuden tai turvallisen muotipurkulujuuden saavuttamiseksi, voidaan puristuskokeet suorittaa jo seitsemän vuorokauden kuluessa. On kuitenkin muistettava, että betonin puristuslujuus on rakenteen yläosissa kuitenkin pienempi kuin rakenteiden alaosissa. Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 88)

2.4 Vesitiiveys

Betonivalmistaja ilmoittaa vedenpitävyyteen soveltuvat betonilaadut ja lujuusluokat etukäteen. Kyseisistä laaduista on oltava ennakkokokeet vesitiiveysmittauksilla saatuna, jotka ovat olleet voimassa enintään yhden vuoden. Betoni katsotaan vesitiiviiksi, kun veden paineellinen tunkeutumasyvyyks on enintään 100 mm SFS-EN 12390-8 standardin mukaan. (Suomen Betoniyhdistys 2016, s. 97)

3 SEINIEN VALMISTELU BETONOINTIA VARTEN

3.1 Muottityö

Muotit on rakennettava siten, että niissä ei tapahdu betonoinnin aikana eikä betonoinnin jälkeen merkittäviä muutoksia rakenteelle. Muotin tukirakenteen kestävyys määritellään joko laskemilla tai varmistamalla, että järjestelmämuotteja käytettäessä, niiden maksimikestävyysarvot eivät ylitä. (Suomen Betoniyhdistys 2016, s. 57)



Kuva 1. Kappaletavaramuotin ykköspanuoli, joka tehdään ennen raudoitusta

Korkeita seiniä valettaessa pyritään valamaan seiniä aina lohko kerrallaan niin, että yksi valettava lohko on täysikorkuinen. Tällöin on myös lähes välttämätöntä käyttää muotteihin kiinnitettävää, jäykistävää nostokehikkoa, jonka avulla voidaan kerralla koota suurempia valupinta-aloja. Nostokehikko mahdollistaa, että nosturi ei ole jatkuvasti muottityössä, joka mahdollistaa työmaan nopean jatkuvuuden. (Kemppe, haastattelu 26.2.2019)

Muottityön jatkuvuuden maksimoinnin aikaansaamiseksi, kannattaa myös keskustella betonintoimittajan kanssa ja säätää betonin suhteutusta siten, että muotit ovat purettavissa mahdollisimman nopeasti betonoinnin jälkeen. Tämä mahdollistaa työn tekemisen pienemmällä kalustomäärällä, josta on hyötyä ahtailla työmailla. (Kemppe, haastattelu 26.2.2019)

Jos valettava rakenne on kaareva, kannattaa tilaajan kanssa neuvotella, voidaanko suoria järjestelmämuotteja käyttää ja voidaanko muotit rakentaa murtoviivaa käyttämällä vai joudutaanko seinät rakentamaan kappale-tavarasta. Valutekniikan osalta muotteihin kannattaa myös miettiä innovatiivisia menetelmiä, kuten raidekiskot sähköisesti laskeutuville sauva-täryttimille, joilla vähennetään työmiesten kuormittamista. (Kemppe, haastattelu 26.2.2019)

Suurmuoteilla rakennettaessa tuuliset olosuhteet saattavat rajoittaa niiden pystytystyötä, koska montaa muottia nostettaessa samanaikaisesti pinta-ala muotilla voi olla jopa 60 m². Siksi oikean kokoisen nostokaluston ja muottikaluston sidonnan määrittäminen oikean kokoiseksi on äärimmäisen tärkeää. Näissä asioista on kannattavaa keskustella muottien valmistajan kanssa. (Juntunen, haastattelu 29.1.2019)

On myös varmistettava, että rakenne on riittävän tiivis, jotta betonin hieno-osa-aineet ja vesi eivät pääse pakenemaan rakenteiden välistä. Lisäksi muotin pintojen on oltava puhtaat tai niissä on oltava sellaisia muotinirrotusaineita, jotka eivät vaikuta betonin ominaisuuksiin merkittävällä tavalla. (Suomen Betoniyhdistys 2016, s. 57)

Vesitiiviissä rakenteessa on suositeltavaa käyttää kolmiosaisia välikekappaleita, jotta vältetään vuotokohdilta. Näiden välikkeiden keskimäinen osa eli sydänpultti jää rakenteeseen estämään veden pääsyä rakenteen sisäpuolelta. (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 1979, s. 300)

Sydänpultin keskelle tai molempiin päihin kannattaa asentaa paisuntanauhut ja valun jälkeen pultin reikien kohdalle vesitiiveystulpat. Näin voidaan varmistua, että huolellisen betonoinnin jälkeen pultin reikien kohdalta ei tarvitse ryhtyä korjaustoimenpiteisiin. (Juntunen, haastattelu 29.1.2019)

Muotit on tarkastettava ennen valua. Tarkastuksissa kannattaa kiinnittää huomio mm. seuraaviin asioihin:

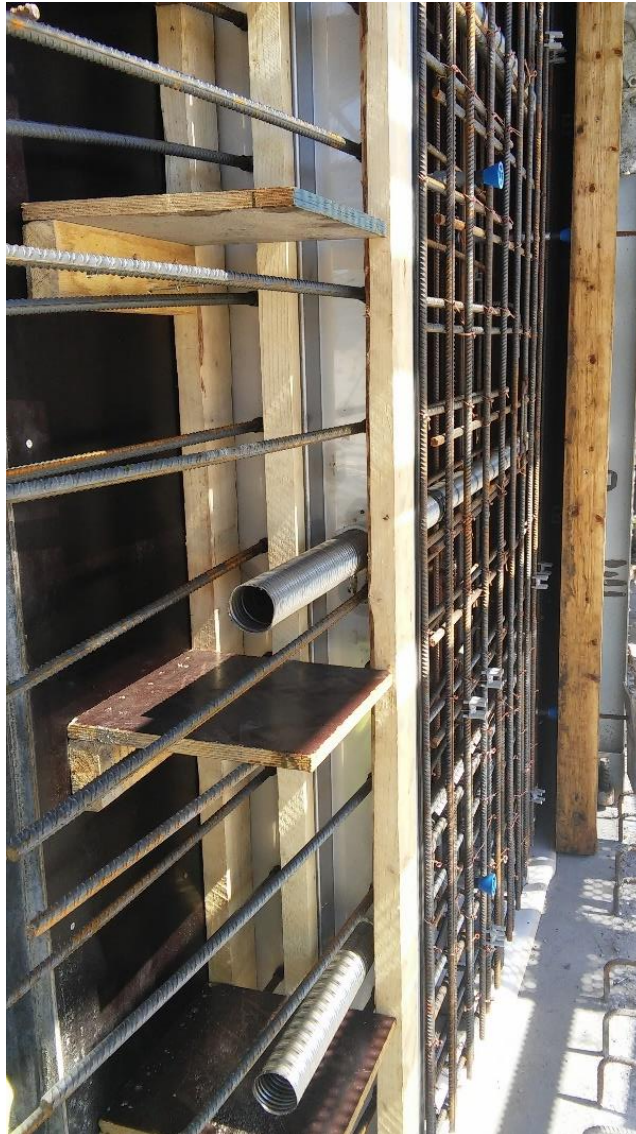
- Muottien tiiveys
 - Varaukset, saumakohtat ja työsaumat
 - Muotti on tehty suunnitelman mukaan
 - Muotit ovat puhtaita ja öljytty
 - Työ- ja suojatelineillä on turvallista työskennellä
- (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 251)

3.2 Raudoitus

Raudoitus betonirakenteeseen on suunniteltava siten, että valettava betoni pääsee esteettömästi kulkeutumaan jokaiseen väliin ja koloon. Työ- ja liikuntasauvojen kohdalla on jätettävä riittävästi tilaa rakenteen tiivistysnauhoille. Pääteräksien suojabetonin etäisyydet ovat yleensä vähintään veden vaikutusalueella ja maata vasten 50 mm, veden alla 40 mm ja ilmaa

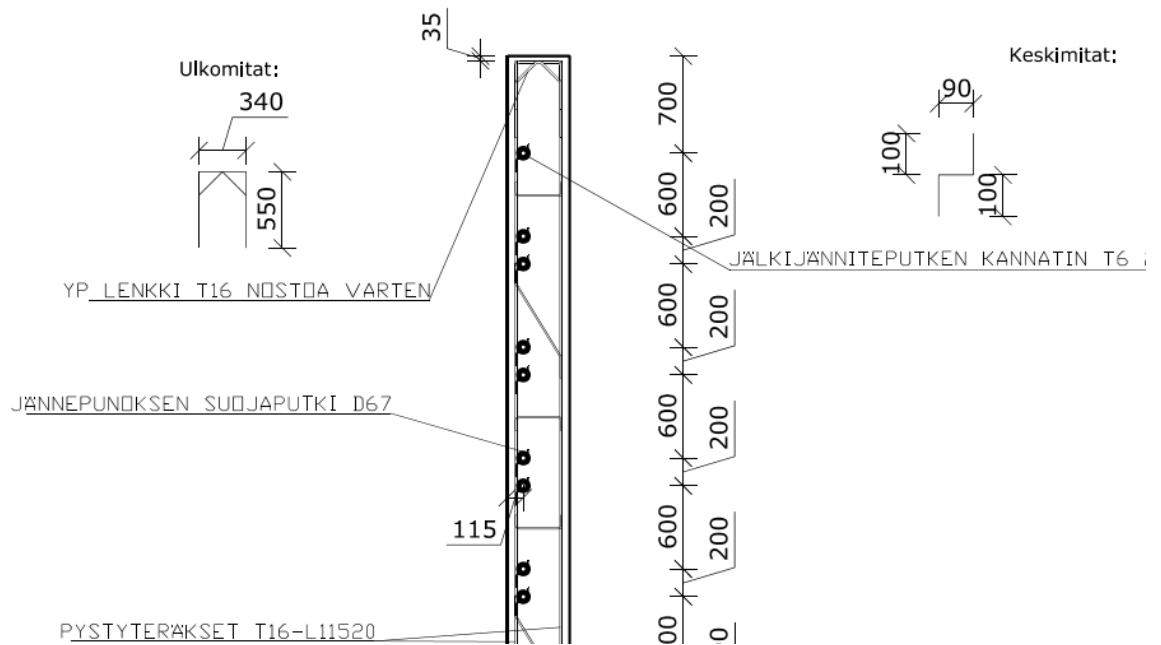
vasten valettaessa 30 mm. (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 1979, s. 300)

Suunnittelussa on myös, että tiivistyskalusto ja valuputket mahtuvat raudoituksien väliin, jotta betonointisuorituksesta voidaan tehdä mahdollinen. Työn jatkuvuuden kannalta symmetrisissä ja pitkissä rakenteissa on suositeltavaa käyttää osittain rakennettuja elementtejä, jotka on helppo nostaa paikalleen. Osittain rakennetut elementtiraudoitteet helpottavat myös muottivälikkeiden asennusta. (Leppisaari, haastattelu 31.1.2019)



Kuva 2. Raudoituksen suojaetäisyyksien ja muotin tiiveyden tarkastelua

Ylimääräisten raudoitteiden eli työraudoituksen asentaminen on suotavaa, jos raudoitteet helpottavat työsuoritusta. Esimerkiksi raudoitukseen voidaan asentaa S-mallin muotoinen työraudoitus punosputkia varten. Mikäli on mahdollista betonointia ajatellen, voidaan seinän päälle asentaa hattu-raudoitus vasta valun loppuvaiheessa, mikä helpottaa betonointiryhmän työskentelyä. (Skantz, haastattelu 29.1.2019)



Kuva 3. Esimerkki raudoitenostopukista ja asennetuista työteräksistä

3.3 Valuvalmistelut

Valuvalmistelut ovat tärkeä osa itse valusuoritusta ajatellessa. Niiden tekemisellä voidaan helpottaa betonoinnin liikkeellelähtöä. Nämä toimenpiteet olisi hyvä suorittaa jo valua edeltävinä päivinä:

- Tarkastaa, että virrat on vedetty mestalle ja keskukset suojattu sateen varalta.
- Tarkastaa valussa käytettävien työvälineiden kunto ja viedä ne mestalle odottamaan.
- Viedä betonin suojaustarvikkeet mestalle.
- Telineet on tehty helppokulkuisiksi ja turvallisiksi.
- Muotissa ei ole roskia, lunta, jäätä tms.

Tärkeinä asioina valuvalmisteluissa toimivat myös betonipumpun mitoitus ja betoniautojen kääntöpaikkojen sekä pesupaikkojen määrittäminen. Talvella tulee katsoa, että mestalle on hoidettu höyrytystarvikkeet ja riittävä määrä betonille suojaustarvikkeita, pressuja tms. sekä lämmönmittausloggerit on valmiiksi asennettu. Betonin toimittajan kanssa on myös hyvä jutella vara-aseman käytöstä ja mahdollisesta varabetonipumpusta, koska pitkissä valuisa toimituskaluston hajoamisen riski kasvaa. (Kemppe, haastattelu 26.2.2019)

Valuvalmisteluissa muotin pohja on tyhjennettävä vedestä, sillä ylimääräinen vesi heikentää betonin loppulujuutta. Säännusteen seuranta on myös tärkeää ja sillä saadaan tietoa, miten paljon suojaustarvikkeita valumes-talle tarvitaan, tai voidaan miettiä mahdollisesti toista valujankohdtaa. (Mäkelä, haastattelu 13.2.2019)

4 SEINIEN BETONOINTI

4.1 Pumpun mitoitus

Betonipumput ovat hyvin painavia kulkuneuvoja (26–55 tonnia), joten on varmistuttava, että pumpun paino ei aiheuta ongelmia maan kantavuudelle. Tukijalkojen on myös mahdollista avautumaan täyteen mittaansa, joten pumppaus paikalla on oltava pituussuunnassa tilaa 10–15 m sekä betonikuljetusauto ja kääntösäde ja leveysuunnassa 6–14 m. Alustan on myös oltava mahdollisimman tasainen. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s.327-328)

Betonipumpun pumppausputkiston pituus Suomessa vaihtelee 15 ja 60 metrin välillä. Tämä siis mahdollistaa betonille melko pitkiä siirtomatkoja. Pumppaustehot autoissa ovat niin suuria (suurimmillaan 160 m³/h), että ajassa mitoittava tekijä työlle on teoreettinen valuteho (50-60 m³/h laatoille, seinille 8-20 m³/h), joten jos halutaan suoriutua työstä nopeammin, on käyttöön otettava enemmän betonipumppuja. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 320)



Kuva 4. 56-metrinen betonipumppu paalulaatan päällä

4.2 Betonointi

Ennen kohteen betonitöiden aloittamista on laadittava työkohteinen betonointisuunnitelma, jota voidaan tarkentaa tarvittaessa kuhunkin betonointikohteeseen. Betonointisuunnitelmassa tulisi ottaa huomioon ainakin seuraavat asiat: (Suomen Betoniyhdistys 2016, s. 66)

- muotit ja niiden tuenta
- raudoitukseen liittyvät asiat
- betonointien osajako
- liikunta- ja työsaumat
- perustiedot käytettävästä betonista
- betonointimenetelmä, siirrot, tiivistys, valunopeus
- aikataulu, betonimenekki, työnjohto, työryhmät, työvuorot, varautuminen häiriöihin ja laadunvarmistus
- materiaalien ja toteutuksen tarkastukset ja dokumentointi
- jälkihoito, lämmön-, lujuuden- ja muiden ominaisuuksien kehitys seuranta, muottien ja muiden tukirakenteiden purku
- talvityöhön, lämpökäsittelyyn ja muihin erikoistoimenpiteisiin liittyvät asiat
- työturvallisuus

Valvonnalla ja tarkastuksilla varmistetaan, että rakenne on toteutusasiakirjojen mukaisesti tehty. Työtä johtavalla henkilöllä on oltava myös kyseisen vaativuusluokan vastaava pätevyys, jolloin hän vastaa rakenteiden valmistuksesta. Betonityönjohtajan on itse oltava paikalla tai hänen on muulla tavalla varmistettava, että rakenne tehdään ammattitaitoisesti ja suunnitelmien mukaisesti. (Suomen Betoniyhdistys 2016, s. 56)

Betonointisuorituksen onnistuminen vaatii hyvää työn suunnittelua. Käytettävän betonin on oltava helposti työstettävää, johon vaikuttavat muun muassa massan raekoko ja sen notkeus. Siksi yleensä tehtäessä vesitiivistä rakennetta kannattaa valita pienempi raekoko, mitä normeissa on asetettu suurimmaksi sallituksi. (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 1979, s. 464)

Lisäksi betonin nousunopeuden on oltava mahdollisimman jatkuvaa, jotta kahden valetun kerroksen väliin ei pääse syntymään työsaumaa. Työsuoritteet ovat yleensä myös pitkiä, joten on varauduttava työhön miettimällä oma varakalusto sekä keskusteltava betonitoimittajan kanssa mahdollisesta vara-asemasta. Työ suoritetaan kohteen suuruudesta riippuen joko pumpulla, nosturilla tai molemmilla. (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 1979, s. 465)

4.2.1 Nousunopeus ja pudotuskorkeus

Betonointia tehtäessä betonin nousunopeus vesitiiviiseen rakenteeseen mitoitetaan yleensä 250 mm/h. Betonitehtailta voi kuitenkin saada erikoismassoja, jotka kestävät suurempia nousunopeuksia. Näiden suurempien nousunopeuksien omaavien massojen toimivuus on kuitenkin todistettava ennakkokokeilla. Nousunopeuden määrittämisessä on otettava huomioon, että muotin mitoituksessa määritetty nousunopeus voi toimia raja-arvona, vaikka kyseisellä massalla voitaisiin valaa suuremmilla arvoilla. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 340)

Pudotuskorkeutta massalle pidetään mahdollisimman pienenä, korkeintaan 1,0-1,5 m, jotta massa ei erotu sitä pudotettaessa. Kuitenkin tehtailta voi saada suurempia pudotuskorkeuksia omaavia massoja, joiden toimivuus on varmistettava ennakkokokeilla. Korkeissa rakenteissa käytetään valuputkia, joilla voidaan rajata massan pudotuskorkeutta ja saada massa kulkemaan suorassa linjassa, sillä sen iskeytyminen seinään lisää erottumisriskiä. Lisäksi massaa pudotetaan laadusta riippuen muottiin n. 2-3 metrin välein, korkeintaan puolen metrin kerroksissa. Massaa ei myöskään saa levittää täryttimellä, sillä karkea kiviaines betonissa jää paikalleen ja hienoainekset liikkuvat sivustoille. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 333)



Kuva 5. Valuputkia, jotka vaihdetaan toisiin valun pinnan noustessa

Nousunopeuden kasvattaminen lisää massan erottumisriskiä siten, että valupaineen kasvaessa karkeampi kiviaines massan seassa alkaa painumaan muotin pohjalle. Tämä aiheuttaa sen, että betoni jää pohjakerrokista todella lujaksi ja pintakerroksien vaaditut lujuusluokat eivät täyty. Pahimmassa tapauksessa liiallisen massan tiivistyksen ja pienen valutaun kanssa jännitysankkurin kohdalle jää sauma, josta jännitystukki murtaa betonin puristuslujuuden ja alkaa painumaan. (Juntunen, haastattelu 29.1.2019)

4.2.2 Massan tiivistys

Betonia tiivistettäessä saadaan betonimassa kulkeutumaan kauttaaltaan muottiin ja raudoituksen ympärille, poistettua liiallinen ilma betonista sekä saadaan kiviaineksin osat hakeutumaan lähemmäksi toisiaan. Betonia täytettäessä se muuttuu juoksevaksi ja tiivistyy painovoiman vaikutuksesta. Se on tiivistettävä huolellisesti ja järjestelmällisesti siten, että jokainen uusi valukerros sekoittuu alemman valukerroksen kanssa. Samalla alempi kerros tulee jälkitärytettyä ja massasta poistuu tarpeettomat ilmahuokokset sekä varhaishalkeamat. Betonia ei kuitenkaan saa tiivistää liikaa, koska se lisää erottumisriskiä. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 335)



Kuva 6. Liiallisen tärytyksen seurauksena betoni erottuu

Vesitiiviitä rakenteita tehtäessä betonimassan rasitus- ja lujuusluokat ovat yleensä melko raskaita ja kun ne yhdistetään huokoistettuun betoniin, betonin työstämisestä tulee todella haastavaa. Tämä yleensä johtaa siihen, että joudutaan käyttämään normaalia notkeampia massoja, sillä normaali notkeudella massat voivat olla niin jäykkiä, että niiden työstäminen on käytännössä mahdotonta. Siksi työmaaolosuhteissa kannattaa suorittaa koevalu, jonka avulla selvitetään betonin käyttäytyminen kuljetusmatkoilla,

kohteessa ja paras mahdollinen työstettävyyssaste. (Leppisaari, haastattelu 31.1.2019)

Suuremmalla notkeusluokalla massa kulkeutuu helpommin pieniin koloihin, mutta jäykempää massaa käyttämällä savutetaan helpommin paremmat valupinnat, koska se ei roisku toisin kuin notkea massa, joka roiskuessaan seinäpinnoille kuivuu hyvin nopeasti ja saattaa muotin purun yhteydessä irrota jättäen valupinnan huokoiseksi. Notkeamman massan käyttö myös lisää erottumisriskiä. (Juntunen, haastattelu 29.1.2019)

Betonin huolimattomasta tiivistyksestä voi seurata seuraavanlaisia ongelmia:

- suuri huokoisuus
 - heikentynyt lujuus ja tiheys
 - harvat kohdat ja rotankolat
 - huonontunut tiiveys ja säänkestävyys
 - heikko tartunta betonin ja teräksen välillä
 - huono tartunta työsaumoissa
 - peräkkäin valetut osat eivät liity toisiinsa kunnolla.
- (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 336)



Kuva 7. Heikko tiivistys jättää betoniin rotankoloja ja pinta on harvaa

Tiivistysaika on riippuvainen massan notkeustasosta, raudoituksen tiheydestä ja rakenteen koosta tai muodosta. Tästä syystä oikeanlaisen tiivistyskaluston valinta on tärkeää. Esimerkiksi jos muotissa on iso varaus, niin sen alapuolinen tärytys ei onnistu sauvatäryttimellä vaan siihen tarvitaan muottitäryä. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 336)

Taulukko 1. Betonin normienmukaisia tiivistysaikoja (Suomen Betoniyhdistys 2016, s. 71)

Notkeusluokka	Tiivistysaika (s/m ³)
S1	400
S2	300
S3	200

Seinän paksuus vaikuttaa tiivistyskaluston valintaan. Esimerkiksi liian paksun sauvatäryttimen käyttäminen liian ohuissa seinissä jättää valupintaan todella paljon huokoisuutta. Pienemmän täryttimen valinta taas kutistaa sauvan vaikutusalueita ja tekee työstä raskaampaa useampien toistojen myötä. (Juntunen, haastattelu 29.1.2019)

Yleisin tiivistysväline on sauvatäry, joka on myös kaikista monipuolisin. Paras teho sauvalla saavutetaan pystysuorassa tärytyksessä, mutta sitä voidaan käyttää myös vino- tai vaakasuunnassa. Sauvalla tiivistettäessä betonia tiivistysväli on maksimissaan 8 kertaa sauvan halkaisijan mittainen ja sen annetaan upota omalla painollaan 100-200 mm uuden betonikerroksen alapuolelle. Sauva on nostettava hitaasti ylös betonista, jotta sen tekemä aukko sukeutuisi. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 336)

Varauksien ja läpivientien alapuolinen tiivistys on yleensä riskialtis paikka onkaloiden syntymiselle. Siksi ennen varauksien alapuolen täyttymistä valun pinta on jätettävä noin 200 mm vajaan ennen sen täyttämistä, tai varaukseen tehdään valuputkelle reikä. Seuraavan kerroksen valukerros on otettava paksummaksi varauksen vierestä ja sitä tärytetään voimakkaasti, jotta saataisiin luotua betonille painevaikutus ja varaus tulee täyteen. Betonointia on jatkettava varauksen toiselta puolelta vasta, kun voidaan todeta, että varauksen alapuoli on täyttynyt. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 340)

Viimeinen betonin kerros jälkitiivistetään juuri ennen tärytyksen rajan saavuttamista. Tämä raja on ylitetty silloin, kun täryttimen jättämä reikä ei enää sulkeudu sauvaa nostettaessa betonista. (Suomen Rakennusinsinööriliitto 1979, s. 301)

Jälkitärytyksessä oikean kokoisen sauvan käyttö on tärkeää, sillä jos kyseinen työvaihe suoritetaan liian suurella täryttimellä betonin pinta jää huokoiseksi. Mieluimmin työ kannattaa suorittaa astetta pienemmällä täryttimellä ja tehdä sitten betoniin tiheämpiä pistoja. (Skantz, haastattelu 29.1.2019)



Kuva 8. Betoni jää huokoiseksi, jos jälkitiivistys on huolimaton

4.3 Jälkihoito

Betonin jälkihoidolla pyritään saavuttamaan sen lopulliset ominaisuudet. Eli betoni suojataan, jotta kosteus ei pääse haihtumaan betonista ja betonin pinta ei halkeile. Betonin jälkihoito aloitetaan heti, kun massa on levitetty. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 342)

Seinäpintojen jälkihoitoon voidaan käyttää jälkihoitoainetta, joka ruiskutetaan seinille heti muotin purun jälkeen. Tätä menetelmää käytetään, jos aikataulu kohteessa on tiivis ja muotit on purettava ennen kuin kosteus betonissa on päässyt tasaantumaan. Seinäpintoja voidaan lisäksi kastella noin 1-2 viikon ajan. (Mäkelä, haastattelu 13.2.2019)

Koska tehtävät rakenteet ovat massiivisia, jälkihoidon merkitys kasvaa eikä rakenteen lämpötilat saa ylittää 60 °C ja rakenteiden lämpötilaerot eivät saa olla yli 20 °C. Sen takia massiivirakenteita valettaessa on suositeltavaa käyttää SR-sementtiä, joka omaa matalat lämpötilat. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 379)

Muotin saa purkaa yleensä jälkijännitetyistä rakenteista vasta, kun betoni on saavuttanut 80 % nimellislujudestaan (tai hyväksytyyn jännitystyön jälkeen), joka on myös jännityslujuus. Siksi onkin suositeltavaa, (Taulukko 2) että lämmöneristettäessä rakenteen lämpötila rajataan 30-40 °C asteen väliin, kuitenkin vähintään 5 °C ja enintään 60 °C, jotta betonin lujuusominaisuudet eivät kärsi. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 496)

Taulukko 2. Lämmön vaikutus lujuuden kehitykseen (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 497)

> +60 °C	Lujuuskato ja säilyvyyden heikkeneminen
+50-60 °C	Yhdenvuorokauden lujuudet nousevat, mutta valmis rakenne voi kärsiä lujuuskadosta
+30-40 °C	Massan suositeltu kovettumislämpötila
+20 °C	Betoni saavuttaa tavoitelujuuden 28 vrk:n päästä
+5 °C	Betonilla ei havaittavissa lujuudenkehitystä vrk:n kuluttua
< 0 °C	Lujuudenkehitys lähes lakkaa, vesi betonissa alkaa jäätyä
-10-15 °C	Lujuudenkehitys pysähtynyt, jäätyneellä massalla voi esiintyä valelujuutta

4.4 Talvibetonointi

Mitä viileämmäksi betonoinnin lämpötilat käyvät, sitä hitaammin betonin lujuus kehittyy. Laadukkaan lopputuloksen aikaansaanti vaatii siis erikoistoimia talvella, jotta betoni ei pääse jäätymään ennen kuin se on saavuttanut riittävän lujuuden. Tämä tarkoittaa käytännössä, että betonin lämpötilan on oltava vähintään 5 °C, kun betonointisuoritus päättyy ja jälkihoito alkaa. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 491)

Ennen valun aloittamista on varmistettava, että valettavilla pinnoilla ei ole lunta tai jäätä. Valun aikana on lämmitettävä ja/tai suojattava kalusto ja käytettävä massa, jotta lämpöhäviöt betonissa saataisiin minimoitua. Jälkihoiton aikana on huolehdittava valetun kohteen suojaamisesta ja lämmöneristämisestä, jotta betonin lujuus pääsee kehittymään. Tätä voidaan seurata asentamalla betoniin lämmönseuranta-antureita, joiden perusteella voidaan myös laskea lujuudenkehitys. (Liite 4) Anturit tulee asentaa oletettuun rakenteen kylmimpään paikkaan. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 491)

Anturit kannattaa asentaa jälkijännitettävissä rakenteissa kylmimmän paikan lisäksi myös jännitysankkurin päähän, sillä rakenteen jännityksessä suurimmat kuormat kohdistuvat juuri näihin pisteisiin (Skantz, haastattelu 29.1.2019)

4.4.1 Jälkihoito talvella

Talvella betoni on eristettävä pakkasmatoilla, pressuilla tms. kylmältä, jotta se ei pääse jäätymään ennen kuin se on saavuttanut jäätyislujutensa (5 MPa). Muut peitteet estävät sadetta huuhtomasta sementtiaineksia pois sekä estävät auringon paisteen ja tuulen aiheuttaman kosteuden haihduttamisen betonista. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 343)

4.5 Olosuhteet

Olosuhteet saattavat muuttua valun aikana äkisti tai hiljattain ja niitä voidaan ennakoida seuraamalla säätiedotteita. Muuttuviin sääolosuhteisiin voidaan reagoida lisäämällä suojauskalustoa sateen uhan tai viilenevien sääolosuhteiden alla. Mikäli lämpötila on -15 °C ja käytetään betonipumpua, tulisi valu siirtää toiselle päivälle. Toisessa ääripäässä, kun lämpötila ylittää 20 °C , betoni ei saa seistä pumpussa puolta tuntia kauempaa ja lämpötilan ylittäessä päivällä 25 °C siirtyminen yöllä valamiseen on varteenotettava vaihtoehto, sillä keli on kosteampi ja otollisempi massan ominaisuuksien kannalta. (Juntunen, haastattelu 29.1.2019)

Muotteihin on saatavilla erilaisia lämmöneristysratkaisuja, jotta betoni saadaan talvella pysymään lämpimänä. On myös muistettava, että tuuliset ja kuivat olosuhteet vaikuttavat betonin kuivumiseen niin, että betoni kuivuu paljon normaalia nopeammin. Lämpimällä kelillä tai valutauon sattuessa betoniin voidaan myös lisätä hidastinta, jotta vältytään valusaumojen syntymiseltä. Hidastimen käytössä on kuitenkin riskinä, että pieni virhe valmistuksessa siirtää betonin sitoutumisaikaa ja näin ollen valupaine kasvaa. (Leppisaari, haastattelu 31.1.2019)

5 VESITIIVEYDEN VIIMEISTELY

5.1 Jännitys

Jännityksen ideana vesitiiviissä rakenteessa toimii, että betonin puristuslujuutta hyödynnetään parhaalla mahdollisella tavalla. Tämä johtaa siihen, että mikrohalkeamat betonissa sulkeutuvat ja veden tunkeutumasyvyys betonissa on niin olematonta, että rakenteesta tulee vesitiivis. Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 381)

Paikalla valetuissa rakenteissa käytetään yleensä ankkurijännitysmenetelmää, jossa seinän sisään asennettuihin punosputkiin pujotetaan suunnittelijan määrittämä määrä vaijereita. Vaijerit voidaan asentaa myös suoraan valuun, jos vaijerit ovat maksimissaan 7-lankaisia. Rakenteen jälkijännityksessä vaijereiden päässä olevat ankkurit ottavat jännityksen voiman vastaan. Tartuntajännitysmenetelmä on yleisempi elementeissä, mutta sitä voidaan käyttää myös paikallarakentamisessa (Suomen Betoniyhdistys, s. 382)

Jännitetyssä rakenteessa on hyötynä, että siinä ei tarvitse käyttää niin paljon raudoitusta. Betonin lujuusluokan tulee olla kuitenkin vähintään C30/37, sillä jännerauditus on hyvin herkkä suoloille. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 383)

Punosputkia käytettäessä jännityksen jälkeen on varmistettava, että suunnittelija on hyväksynyt jännityksestä tehtävät pöytäkirjat ennen kuin punokset saadaan katkaista ja voidaan betonoida umpeen. (Juntunen, haastattelu 29.1.2019)

5.2 Työsaumat

Tähän tehdään viimeistely jo muottia rakennettaessa. Työ- ja liikunta-saumoihin tulee siis asentaa muottityön aikana paisuvanauha tai jokin muu saumanauha, joka tekee rakenteesta vesitiiviin. Työsauma on tehtävä aina niihin paikkoihin, joissa betonointi keskeytyy niin pitkäksi ajaksi, että betoni alkaa sitoutumaan. (Suomen Betoniyhdistys 2018, s. 258)

Seinän työsaumoissa on hyvä käyttää pontattua peltiprofiilielementtiä, jota voidaan käyttää myös valumuottina. Vaihtoehtoisena ratkaisuna valumuottiin voidaan tehdä syvennys. Paisuvanauha voidaan kiinnittää muottiin, vaikka liimaamalla tai niittaamalla. Lisäksi on suositeltavaa asentaa saumoihin injektioletkut, jotta vuotokohdat on jälkikäteen helppo paikata. (Kemppe, haastattelu 26.2.2019)

Pohjalaatan ja seinän välinen sauma voidaan esimerkiksi tiivistää tekemällä juurivalu ja injektointi molemmin puolin. Tällä varmistetaan muun muassa siitä, että seinän alapinnalla betonin sauma on tiivis ja se on viimeinen paikka mistä vesi tulee läpi. Juurivalu ja injektointityö tulee kuitenkin suorittaa vasta, kun seinien jännitystyö on suoritettu, sillä jännitystyö saattaa rikkoa injektointimassan seinän kutistuessa.



Kuva 9. Laatan ja seinän välinen saumakohta saadaan vesitiiviiksi injektioimalla

6 VEDENPAINEKOE

6.1 Koestaminen

Mahdollisuuksien mukaan seinät olisi myös hyvä testata niiden tiiveyden varmistumiseksi. Allasmaiset rakenteet voidaan testata laskemalla ne täyteen vettä ja seurata seuraavien päivien aikana, ilmeneekö missään vuoto-kohtia. (Kemppe, haastattelu 26.2.2019)

6.2 Pienten vuotokohtien korjaaminen

Pienimmät vuotokohdat tukkeutuvat itsestään betonista irtoavan kalkin seurauksena, sillä vesi reagoi reagoimattoman sementtiaineksen kanssa. Nämä kohdat kuitenkin vaativat muutaman päivän ajan seurantaa, että ne kohdat varmasti tukkeutuvat. Vuotokohtien tukkiminen voidaan suorittaa porainjektoinneilla. (Juntunen, haastattelu 29.1.2019)



Kuva 10. Säiliöallas vedenpainekokeessa

7 YHTEENVETO JA TULOKSET

7.1 Muottityöt

Muottityötä suunniteltaessa ennen työn aloittamista kannattaa tehdä kohteeseen erillinen muottityösuunnitelma, jotta saadaan selville, millä kalustolla tehdään, miten tehdään ja mitä riskejä työhön liittyy. Jos tehdään esimerkiksi pyöreää säiliön muotoista rakennetta, kannattaa miettiä voidaanko työ toteuttaa murtoviivaa käyttämällä. Murtoviivalla rakennettaessa on siis otettava huomioon, kuinka monta astetta muottien nurkkia täytyy kiilata, jotta saadaan mahdollisimman pieni heitto mittatoleransseihin.

Valupaine tulee tarkastaa muottien kohdalla aina tapauskohtaisesti ja sen perusteella määritellä muottien tuentapaikat. Esimerkiksi murtoviivalla rakennettaessa muotin heikoimmaksi kohdaksi ja valupaineelle mitoittavaksi tekijäksi muodostuu tällöin myös kiilapalat. Poikkeutena toimivat kovia pintoja vasten tehtävät betonoinnit, joissa suurin valupaine kohdistuu kovan pinnan ja muotin reunan väliin. Huonon näkyvyyden vuoksi korkeissa seinissä valumiehiä varten muotin päälle pitää myös merkitä varausten ja läpivientien paikat, jotta valun aikana niiden päälle ei pudotettaisi suoraan betonia.

Monissa kohteissa työtä pystytään jatkamaan samanlaisella muottikalustolla pitkään. Siksi on tärkeää, että muotit ja muotin osat kestävät työn aikana ja olosuhteiden tekemän kuormituksen. Työn jatkuvuuden kannalta nostokaluston sijoittaminen kannattaa tehdä sellaiseen paikkaan, missä selvittää työstä mahdollisimman pienillä siirroilla ja ylinostoilla.

Tärkeintä on, että miehille on jatkuvasti mestaa eli kun ensimmäinen muotti on paikallaan, päästään asentamaan seuraavaa jo paikalleen. Kun seuraava muotti on asennettu niin tuona aikana ensimmäisen muotin seinusta on raudoitettu ja päästään asentamaan muotin tuplauspuoli paikoilleen ja sen jälkeen betonoimaan. Kalusto työmaalle kannattaa siis mitoitaa tämän käytännön mukaan.

On myös mietittävä, tehdäänkö työ henkilönostimilla vai telineillä. Telineissä on yleensä etuna, että siellä pääsee vapaammin liikkumaan, liittyi työ sitten muotteihin, raudoitukseen tai betonoimiseen, mutta telineasennukset saattavat hidastaa työntekoa ja on turhan hintavaa lähteä tekemään montaa lohkoa etukäteen. Järjestelmämuotteihin on saatavilla myös erikseen asennettavia valutelineitä, joita voidaan liikuttaa muottien siirtojen yhteydessä.

Hyvän valupinnan aikaansaamiseksi huolellinen muottipinnan puhdistus ja muottiöljyn levittäminen on erityisen tärkeää, sillä järjestelmämuotit ovat usein filmipintaisia ja niiden irrottaminen saattaa olla hankalaa ilman irrotusaineita.

7.2 Raudoitus

Rakenteen raudoituksen suunnittelussa unohdetaan kovin useasti raudoituksen jälkeen tehtävät työt. Nämä työt ja haasteet jäävät kuitenkin liian useasti työmaan kontolle. Tällä tarkoitetaan, että raudoitus rakenteessa on hyvin usein niin ahtaaksi suunniteltu, että betonointityön suorittamisesta tulee käytännössä mahdotonta. Siksi suunnittelijaa tulisikin painostaa ja vaatia raudoituskuviiin riittävän suuret aukot tiivistyskalustolle ja muutamaan paikkaan reiät valuputkille, jotta päästään betonoinneissa normien mukaisiin pudotuskorkeuksiin. Liian ahtaan raudoituksen suunnittelu lisää myös riskejä betonoinnin aikana ”rotankolojen” ja valusaumojen syntymiselle sekä massan erottumiselle, koska betonia on tiivistettävä normaalia voimakkaammin, jotta voidaan varmistua, että betoni on tasaisesti levittänyt joka paikkaan.

Raudoituksen kokoamiseen työmaalla kannattaa rakentaa raudoitepukit maahan, joiden päälle on helppo koota osittainen raudoitus, joka nostetaan elementtinä paikoilleen. Osittain rakennettua raudoite-elementtiä kannattaa käyttää sen vuoksi, että kokonainen raudoituselementti saattaa aiheuttaa ongelmia muottivälkkeiden asennuksen aikaan. Osittainen raudoite-elementti on myös helpompi saada osumaan paikoilleen edellisestä seinästä tulevien työsaumaraudoitteiden kanssa. Kokonaan paikalla rakennettua raudoitusta tulisi käyttää vain geometrisesti haastavissa rakenteissa ja niissäkin mahdollisuuksien mukaan kannattaa tilata raudoiteosat määrämittäisinä ja taivutettuina.

Lisäraudoitusta rakenteisiin voidaan asentaa työraudoitteiden merkeissä, mikäli ne helpottavat raudoitustyön tekoa, mutta eivät merkittävästi hankaloita muottityötä tai betonointisuoritusta.

7.3 Betonointi

Kun lähdetään tekemään betonointeja kohteessa, työnjohtajan tärkein työkalu on betonointisuunnitelma, joka kannattaa tehdä ensin kohdekohtaisena ja haastavimpiin rakenteisiin osakohtaisena. Betonointi on riskialttein työvaihe, sillä sen on onnistuttava kerralla, kun taas muoteissa ja raudoituksissa tarkistusten jälkeen pienet virheet ovat yleensä helposti ja nopeasti korjattavissa, mutta epäonnistuneen betonointisuorituksen korjaaminen tulee todella kalliiksi.

Pumpun mitoituksessa kannattaa muistaa, että pumppauskalusto tarvitsee yllättävän paljon tilaa. Maan kantavuus kannattaa vielä valua ennen käydä itse tarkastamassa ja mitoittamassa, mihin kohtaan suurin piste-kuorma tulee. Maan kantavuutta voidaan parantaa täryttämällä. Pumpun edessä olevat esteet tulee myös ottaa huomioon, sillä korkeat seinärakenteet saattavat kasvattaa tarvittavan pumppukoon mittaa. Mitoituksessa olisi myös hyvä tarkistaa, mihin betoniautot ja pumppu voivat suorittaa pesun.

Betonointisuoritus mielletään yleensä helpoksi työvaiheeksi. Sitä se ei kuitenkaan ole ja kyseisessä työssä kannattaa käyttää ammattitaitoista työryhmää. Kokemattomilla työryhmillä betonityönjohtajan on itse oltava koko ajan paikalla valvomassa betonointisuoritusta, jotta työ tulee tehtyä normien mukaisesti.

Päivät ovat myös korkeiden seinien valuissa pitkiä, joten on huolehdittava, että valumiehiä on riittävä määrä, sillä kun työntekijä väsähtää, hän lähtee helposti oikomaan työnteossa. Kokemattomamman valumiehen kanssa kannattaa käydä keskustelu, miksi jokin asia (esim. tiivistys) tehdään tietyllä tavalla, jotta saadaan ymmärrys työtavan merkityksestä.

Työnjohtajan kontrollin pitäminen valun aikana on tärkeää ja siksi betontehtaan kanssa kannattaa käydä keskustelu siitä, että muutosmääräykset tilatun betonin suhteutukseen tulevat suoraan betonityönjohtajalta eikä pumppukuskilta tai valumieheltä. Työryhmältä voi kyllä kysellä työn helpottamiseksi, mikäli massa antaa myöden, tarvitaanko notkeampaa vai jäykempää massaa.

Suomessa sääolosuhteiden vaihtelu voi olla hyvinkin rajua, etenkin syksyisin ja keväisin, joten ennen betonointeja tulee huolellisesti määritellä, millaisiin toimenpiteisiin ryhdytään, jos sää muuttuu äkisti betonoinnin aikana.



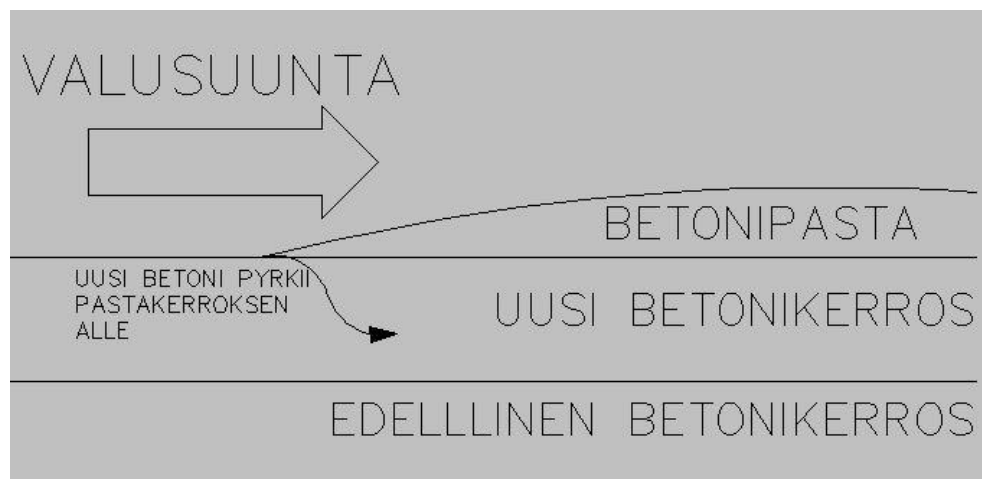
Kuva 11. Vasemmalla kuva valua aloittaessa ja oikealla 20 minuuttia myöhemmin

Sateen aiheuttama vesimäärä voi turmella betonoinnin lopputuloksen myös seinissä, sillä ylimääräisen veden sekoittuminen betoniin heikentää sen loppulujuutta. Siksi onkin tärkeää, että betonin pinta suojataan saateelta ja estetään veden pääseminen muottiin valun ajaksi. Kuumilla hellekeleillä tai valutauon sattuessa muotin päälle voidaan myös asentaa solumuovikerros, jotta saataisiin kosteus pysymään betonissa, eikä betoni näin ollen kuivu niin nopeasti. Kuumalla kelillä betonia on myös hyvä kierrättää betonipumpussa, jotta betoni ei jämähdy ja tuki pumppauslinjastoa. Kyseistä betonia voidaan myös notkistaa pumpussa ja saada lämpötilasta riippuen 10-30 minuuttia lisää peliaikaa työn jatkamiselle. Tätä pumpussa

kierrätettyä, uudelleen notkistettua betonia ei kuitenkaan saa laskea muottiin.

Kuumilla keleillä valettaessa kannattaa myös pohtia yöllä valamista, mikä helpottaa työntekoa ja massa pysyy parempana pitkään. Tuolloin kuitenkin häiriöihin varautumisen on oltava täysin kunnossa ja mietittävä jos jokin menee vikaan, mistä saa betonia, uuden pumpun tai työmiehiä keskellä yötä.

Vesitiivis betoni on myös usein rasitusluokiltaan ja lujuuksiltaan melko korkea ja yhdistettynä huokoistimien käyttöön betonista tulee vaikeaa hallittavaa. Ongelmat syntyvät usein massan tiivistyksen yhteydessä, sillä huokoistettu betoni yhdessä monen rasitusluokan kanssa saa betonille aikaan kittimäisen ominaisuuden ja normien mukaisilla kerrospaksuuksilla ja tiivistysajoilla massaa tärytetään liikaa, koska massan pintaan kertyy kuohamainen ”betonipastakerros”, jonka alle uusi betoni pyrkii. Tämä saattaa tiivistyksen osalta korkeisiin seiniin aiheuttaa ongelmia, sillä jokaisen piston jälkeen kerros kasvaa ja sauvatärytin on työnnettävä syvemälle. Pastakerros kyllä voidaan kaapia pois, sillä se nousee valun mukana, mutta riskinä on, että aikaisempaa valukerrosta ei välttämättä tule jälkitiivistettyä, eikä kaikkea ”pastaa” ehkä saada lopuksi pois, jolloin valun pinnasta tulee heikko.



Kuva 12. Huokoistetun ja useiden rasitusluokkien betonin ongelmat työmaalla korkeita seiniä valettaessa normien ja tehtaan antamien arvojen mukaisesti

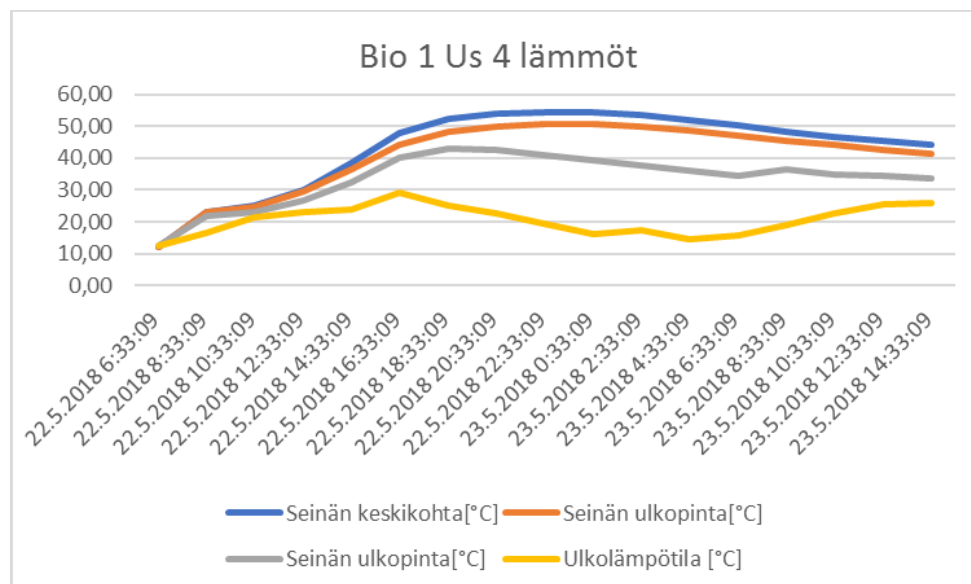
Ongelma kuitenkin on helposti ratkaistavissa ja kyseisiä betonilaatuja tulisi valaa enintään 400 mm paksuisina kerroksina, jolloin vältetään betonin erottumiselta, koska betonissa olevat ylimääräiset huokokset poistuvat vähemmällä vaivalla.

Huolellisesti tehty betonimassan tiivistys yhdessä nousunopeuden hallinnan kanssa vaikuttavat eniten vesitiiveyden saavuttamiseksi. Kun valetaan

tasaisia kerroksia, niin valumiesten on helppo päätellä, kuinka paljon tärytintä tulee laskea betoniin. Betonin pinnan korkeutta voidaan tarkkailla vaikkapa etäisyysmittarilla.

Jos seinän korkeus ylittää 8 metriä, tulisi miettiä IT-betonin käyttämistä, jotta betonointisuorituksesta saadaan laadukas ja jatkuva. Siinä vain on oltava tarkkana IT-betonin jämähtämisen kannalta, koska IT-betoni kuivuu normaalimassoja huomattavasti hitaammin. IT-betonin kuivumista voidaan tarkkailla laskemalla sitä jonkinlaiseen valuastiaan. IT-betonin käyttäminen vähentää lisäksi valumiesten kuormittamista ja virheitä betonointisuorituksessa. IT-betonilla valettaessa, korkeissa seinissä hyvä valunopeus on yleensä 1 m/h.

Myös betonin lämpötilojen seuraaminen on tärkeää, sillä betonin lämpötilat eivät saa olla yli 60 °C, eikä betoni saa myöskään jäätyä ennen kuin se on saavuttanut 5 MPa lujuuden. Kuumalla kelillä on huomioitava, että SR-sementti, joka tuottaa normaalisti melko vähän lämpöä, voi nousta korkeisiin lämpötiloihin paksuissa rakenteissa. Siksi on tärkeää jutella betonin toimittajan kanssa, että lämpimällä kelillä betonimassa tehtäisiin mahdollisimman kylmään veteen ja keskusteltaisiin kuona-ainesten käytöstä. Mikäli betonin lämpötilat siltikin nousevat joissain paksuissa rakenteissa yli 60 °C, on valuun asennettava jäähdytysputkia.



Kuva 13. SR-sementin lämpötilakäyrä, kun seinän paksuus 350 mm

Jälkihoidon merkitys betonoinnissa on tärkeää ja sen vaikutukset betonoinnin jälkeen jäävät liian usein taka-alalle, varsinkin seinärakenteissa. Yleensä muotit revitään jo seinistä seuraavana päivänä, vaikka paras pinta rakenteelle saadaan, kun muotin annetaan olla paikallaan 2-3 päivää. Senkin jälkeen seiniä tulisi hieman kosteuttaa päiväsaikaan. Pakkaskelillä on huolehdittava huolellisesta suojauksesta, jotta betoni ei pääse jäätymään ja kosteus pysyy betonissa.

8 POHDINTA

Tutkimuksessa käytetyn lähdeaineiston tutkimisen jälkeen, voidaan todeta, että vesitiiviille ja korkeille betonirakenteille löytyy hyvin vähän tietoa normeista ja ohjeistuksista. Iso osa kirjoihin pohjautuvasta tiedoista löytyi Betoniyhdistyksen julkaisemasta Betonitekniikan oppikirjasta. Tietoja vesitiiviyteen vaikuttavista asioista löytyi RIL:n betonitekniikan ohjeistuksesta vuodelta 1979, josta iso osa on jo todennäköisesti vanhentunutta tietoa, mitä pitäisi päivittää.

Tietojen päivittäminen olisi tarpeellista, sillä betonissa käytettävät lisäaineet ovat muuttuneet ja lisääntyneet vuosien saatossa. Enää ei siis ole tarkkaa tietoa, miten muuttuneet lisäaineet käytännön tilanteissa vaikuttavat esimerkiksi valupaineen kasvaessa tai massaa tiivistettäessä, ja näistä syntyvät ongelmat näkyvät työmailla.

Tutkimuksessa oli siis tukeuduttava haastatteluihin, joissa eri betonityönjohtajilta, työnjohtajilta ja suunnittelijoilta saatiin erilaisia näkemyksiä, kuinka korkeita ja vesitiiviitä seiniä tulisi tehdä. Haastatteluja tekemällä voitiin myös jälkeinpäin todentaa, että tiedot täydensivät kirjoista saatuja ja itse opittuja tietoja.

Haastattelut ovat myös hyvä tapa hankkia tietoa työmaakohtaisista ongelmista ja niiden ratkaisuksista. Haastatteluilla voidaan myös kyseenalaistaa ja parantaa nykyisiä betonoinnin ohjeistuksia ja määräyksiä, mikä vie betonirakentamisen alaa eteenpäin.

Kun olin betonityönjohtoharjoittelussa 9 kuukauden aikana, rakentamassa Nesteen jätevedenkäsittelylaitoksen betonirakenteita Porvoon Kilpilahdessa, sain kirjoitettua opinnäytetyöhöni paljon sieltä itse opittua materiaalia ja tuloksia tutkimukseen.

Paikallavalamisen onnistuminen lähtee pitkälti jokaisen kohteen erikseen suunnittelulla ja tärkein asia on saavuttaa jokaisessa kohteessa työlle jatkuvuutta. Betonointityöt vaikuttavat suuresti kaikkien urakoitsijoiden aikatauluihin, koska betonointikalusto vie paljon tilaa työmaalla. Siksi olisi tärkeää keskustella myös muiden urakoitsijoiden kanssa betonointiaikatauluista päivittäin, jotta työt muiden urakoitsijoiden kanssa voitaisiin koordinoita ja jokaiselle työvaiheelle tulisi mahdollisimman vähän viivästyksiä.

Ennen betonointia tehtävistä töistä muottien mitoittaminen valupaineen mukaan ja muottien puhtaus betonipintojen laatuun muodostuivat tärkeimmiksi osa-alueiksi. Lisäksi huomion kiinnittäminen raudoituksen suunnitteluun onnistuneen betonointisuorituksen osalta muodostui todella tärkeäksi osa-alueeksi.

Sääolosuhteet ja häiriöihin varautuminen määrittävät pitkälti, miten helppo betonointisuoritteesta tulee. Betonointisuunnitelmaa kannattaa käyttää tähän työkaluna. Jos tulee ongelma betonoinnin aikana, mitä ei välttämättä ole otettu huomioon, työnjohtajana nopean päätöksen tekeminen on parempi vaihtoehto kuin jäädä miettimään, jolloin seuraukset voivat olla paljon pahemmat. Toki voi vielä kysyä neuvoa tehtaalta, kollegoilta.

Opinnäytetyöstä selviää myös betonirakenteiden jälkihoidon tarpeen, joka on suuri niin kesällä kuin talvella. Työtavat tehdä jälkihoitoa eri vuodenaikoina vain poikkeavat hieman toisistaan.

Tämän työn tavoitteena oli siis toimia uudelle työnjohtajalle ohjeistuksena korkeiden seinien valamiseen, jonka avulla voi soveltaa työmaan betonointia edeltäviä töitä ja betonoinnin aikaisia sekä jälkeisiä töitä. Työn tavoitteena oli myös parantaa betonirakentamisen laatua. Vaikka työ on sisällöllisesti pitkä, se kattaa tiivistetysti laadukkaan betonirakentamisen perusteet.

LÄHTEET

Anttila, V (2018) VS: Splitterbox 1 seinien lämmöt. Sähköpostiviesti tekijälle 6.11.2018

Havuaho, M (2018) RAK20181068. Sähköpostiviesti tekijälle 18.10.2018

Suomen Betoniyhdistys ry (2016) *BY65 Betoninormit 2016*. Helsinki: BY-Koulutus Oy

Suomen Betoniyhdistys ry (2018) *BY201 Betonitekniikan oppikirja 2018*. Helsinki: BY-Koulutus Oy

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (1979) *RIL119 Betonitekniikka*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y.

HAASTATTELUT

Juntunen, P. (2019). Vastaava mestari, Keski-Suomen Betonirakenne Oy. Haastattelu 29.1.2019

Kemppe, T. (2019). Projekti-insinööri, Keski-Suomen Betonirakenne Oy. Haastattelu 26.2.2019

Leppisaari, O-M. (2019). Työnjohtaja, Keski-Suomen Betonirakenne Oy. Haastattelu 31.1.2019

Mäkelä, P. (2019). Vastaava työnjohtaja, Keski-Suomen Betonirakenne Oy. Haastattelu 13.2.2019

Skantz, T. (2019). Toimitusjohtaja, Keski-Suomen Betonirakenne Oy. Haastattelu 29.1.2019

RAKENTEEN TESTATUT PURISTUSLUJUUDET



KymiLabs

TESTAUSSELOSTE
RAK 20181068

1/1

Tilaaaja	Keski-Suomen Betonirakenne Oy PL 5283 70710 Kuopio	Näytteiden saapumispvm	17/10/2018
Työmaa / kohde	Neste Nasu- Projekti / betonialustat ja maaneläiset putkitukset	Kpl-tyyppi	Lienö 150x300
Testauksen tiedot	Betonikappaleiden puristuslujuuden testaus tehdään standardin SFS-EN 12390-3 mukaisesti ja tiheyden määrittäminen standardin SFS-EN 12390-7 mukaisesti siten, että massa määritetään vastaanottotilassa ja tilavuus käyttäen todellisia mittoja. Testi tehdään koekappaleen molemmat pinnat hioituina. Koekappaleiden mittauksessa käytetään standardin SFS-EN 12390-3 liite B:n mukaista menetelyä. Normilieriön (Ø160 x 900) ja normikuution (100 x 100 x 100) tulokset on muunnettu vastaamaan 160mm:n normikuutiota vastaavaksi Betoninormit 2018, BY 86 mukaisesti.		

TILAAJAN ILMOITTAMAT TIEDOT				MITTAUSTULOKSET					
Tunnus	Valm. päivä	Lujuus- ja rak. luokka	Ikä [d]	Test.päivä	Max kuorma [kN]	Tasomaisuus	Suorakulmaisuus	Muunnettu pur.lujuus K160 [Mpa]	Tiheys [kg/m³]
11887_CLAR1	20.09.18	C35/45	28	18.10.18	713,8	OK	OK	50,5	2360
11888_CLAR1	20.09.18	C35/45	28	18.10.18	702,4	OK	OK	49,8	2350

Huomioita:

Betonintestauspalvelut

Kotka 18/10/2018

Matti Havuaho, RI (AMK)

Tämän selosteen OSITTAINEN julkaiseminen on sallittu vain testauslaitoksen kirjallisella luvalla.

Kaakkola-Suomen ammattikorkeakoulu Oy/KymiLabs

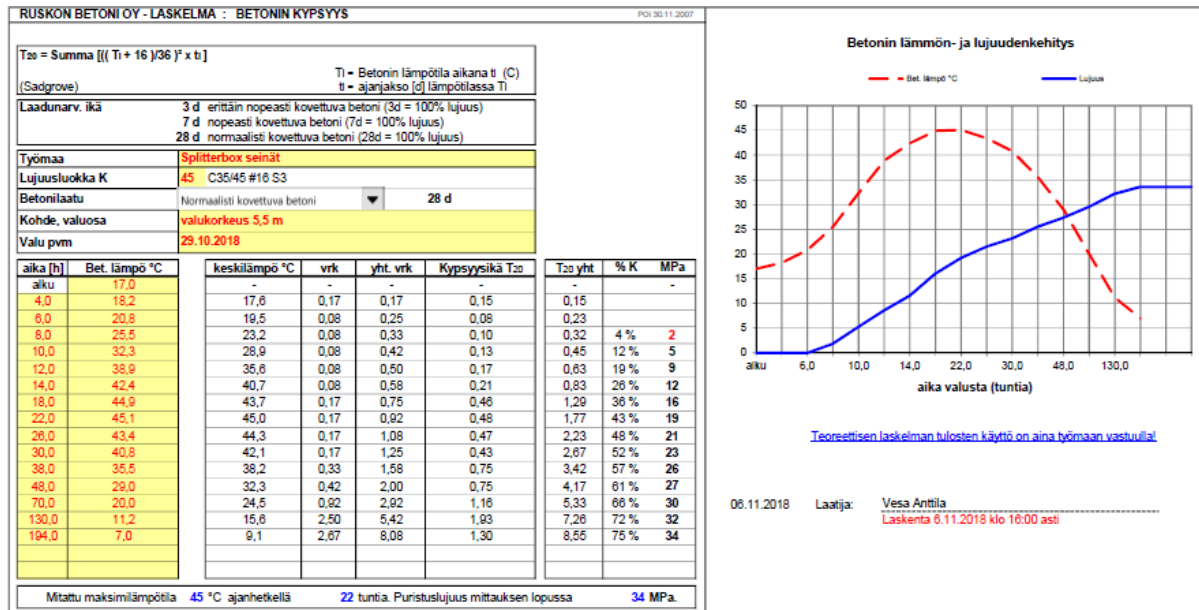
etunimi.sukunimi@xamk.fi

Kotkan kampus, Pääskysentie 1, 48220 KOTKA

www.xamk.fi

Liite 2 (Anttila 2018)

BETONIN LUJUUSLASKELMA LOGGEREIDEN LÄMPÖKÄYRIEN AVULLA



HAASTATTELUKYSYMYKSET

Muottityö

- Kuinka muottien kantavuus/kestävyys tulisi ottaa huomioon nostojen, kaarevuuden ja valutekniikan osalta?
- Mitä työsaumojen ja varausten teossa kannattaa huomioida vesitiiveyden kannalta?
- Kuinka muottikierto kannatta tehdä, jotta työ sujuisi mahdollisimman jouhevasti?
- Mitkä olivat omissa kohteissa suurimpia haasteita korkeiden seinien kannalta ja miten ne ratkaistiin?

Raudoitus

- Milloin työmaan sujuvuuden kannalta on järkevintä käyttää paikallarakennettua raudoitusta, raudoite-elementtiä tai paikallarakennettu elementtiä?
- Mitä raudoitustyössä kannattaa huomioida seuraavia työvaiheita ajatellen?
- Suurimmat haasteet ja ratkaisut?

Valut

- Mitä työmaan näkökulmasta betonointityön valmistelussa kannattaa huomioida?
- Miten työtavoilla ja massan laadulla betonin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa?
- Millaisilla tavoilla olosuhteet sekä talvityöt vaikuttavat betonointiin ja miten niihin voidaan reagoida?
- Miten jälkihoidolla voidaan vaikuttaa lopputulokseen?
- Kuinka varmistutaan, että massa on saavuttanut purkulujuuden tai jännityslujuuden?
- Haasteet ja ratkaisut omissa kohteissa?