

# Betonin lujuuden kehitys talviolosuhteissa



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, rakennusmestari  
Hämeenlinnan korkeakoulukeskus  
Kevät 2021  
Jorma Holma

Koulutus	Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, rakennusmestari	Tiivistelmä
Kampus	Hämeenlinnan korkeakoulukeskus	
Tekijä	Jorma Holma	Vuosi 2021
Työn nimi	Betonin lujuuden kehitys talviolosuhteissa	
Ohjaajat	Anssi Knuutila	

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena on ollut saada talvibetonointi ohje, jossa kerrotaan yksinkertaisesti ja mahdollisimman selkeästi onnistuneen betonivalun vaiheet talviolosuhteissa.

Betonivalu on aina ainutkertainen tapahtuma. Se aiheuttaa betonivaluun osallistuville usein painetta valun onnistumisesta. Betonin kovettuminen on kemiallinen reaktio, jota kutsutaan hydrataatioreaktioksi. Suurimpina vaikuttavina seosaineina kemiallisessa hydrataatioreaktiossa on vesi ja sementti, jotka reagoidessa toistensa kanssa muodostavat sementtikiven. Betonimassan veden jäätyessä betoni ei kovetu enää ja rakenne ei saavuta sille asetettuja vaatimuksia. Onnistunut ja laadukas talvibetonointi vaatii ymmärrystä ja osaamista. Tähän opinnäytetyöhön on kerätty aineistoa alan julkaisuista sekä haastatteluista.

Talvella betonivaluja voivat vaikeuttaa pakkanen, lumi ja nopeasti vaihtuvat sääolosuhteet. Tämän opinnäytetyön tietoperusta sisältää tietoa betonin hydrataatioreaktiosta, betonin lujuuden kehityksen seurannasta ja lämmitysmenetelmistä, joilla voidaan voittaa talvibetonoinnin haasteet sekä saavutetaan laadukas betonirakenne myös talvella. Opinnäytetyön tuotos on ohjekortti ontelolaattojen saumavaluihin talvella.

Avainsanat Lujuuden kehitys, sadgroven menetelmä, hydrataatioreaktio, talvibetonointi, ettringiittireaktio

Sivut 30 sivua ja liitteitä 3 sivua

Campus Hämeenlinnan korkeakoulukeskus

Author Jorma Holma

Year 2021

Subject High-quality concrete construction in winter conditions

Supervisors Anssi Knuuttila

---

ABSTRACT

The aim of the thesis has been to obtain a guide for winter concreting, which describes the steps of successful concrete casting in winter conditions simply and as clearly as possible.

Concrete casting is always a unique event. The success of concrete casting is often a concern for participants in concrete casting. The hardening of concrete is a chemical reaction called the hydration reaction. The major active alloying elements in the chemical hydration reaction are water and cement, which react with each other to form a cement stone. When the water in the concrete mass freezes, the development of the strength of the concrete stops and the structure does not reach the requirements set for it. Successful and high-quality winter concreting requires understanding and expertise. In winter concrete casting can be hampered by frost, snow and rapidly changing weather conditions. Material from publications and interviews in the field has been collected for this thesis.

The theoretical section of this thesis contain information about the hydration reaction of concrete, monitoring the development of concrete strength and heating methods that can overcome the challenges of winter concreting and achieve a high-quality concrete structure also in winter. The output of the thesis is an instruction card for joint Casting of cavity slabs in winter.

Keywords firmness developments, sadgrove method, hydration reaction, concreting in winter, ettingite reaction

Pages 30 pages and appendices 3 pages

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Betoni materiaalina .....	2
2.1	Betonin historia.....	3
2.2	Sementit.....	4
2.3	Sementin ominaisuudet .....	5
2.4	Sitoutuminen.....	6
2.5	Lujuuden kehitys .....	7
2.6	Lujuuden kehityksen seuranta .....	7
2.7	Jäätynyt betoni.....	10
3	Betonin lämmittäminen kovettumisvaiheessa.....	11
3.1	Milloin betonia lämmitetään? .....	11
3.2	Tilavuuden muutokset .....	13
3.3	Ettringiitin muodostuminen.....	13
4	Työmaaolosuhteissa tapahtuvia yleisimpiä paikallavalutöitä.....	14
4.1	Jatkuvien anturoiden valu .....	15
4.2	Pilari- ja paaluanturoiden valu .....	15
4.3	Paalulaatta sekä reunavahvisteisten laattojen valu .....	15
4.4	Pintalattioiden valu .....	17
4.5	Ontelolaattojen reuna- ja saumavalut.....	17
5	Betonin lämpötilaan vaikuttavat tekijät.....	19
5.1	Lujittuvan betonin lämpötilan muutokset .....	20
5.2	Lämmitetyt muotit .....	23
6	Betonointisuunnitelma.....	23
6.1	Talvibetonointisuunnitelma .....	23
6.2	Betonointipöytäkirja .....	24
7	Ohjekortin laatimisprosessi .....	26
7.1	Miten ohjekortti laadittiin?.....	26
7.2	Miksi ohjekortti laaditaan? .....	27
7.3	Ohjekortti tuotos.....	27
8	Pohdinta ja johtopäätökset .....	28
	Lähteet.....	30

## Kuvat

Kuva 1. Pantheon Roomassa (Betoniyhdistys n.d.).....	3
Kuva 2. Sadgroven kaava. (Betoniyhdistys. n.d.).....	8
Kuva 3. Kypsyys vs. lujuus. (Betoniyhdistys n.d.). ....	8
Kuva 4. Betonilämpötilan mittaus (Holma 2021) .....	9
Kuva 5. Läpivirtausvastus lämmitin asennettuna. (Holma, 2018).....	12
Kuva 6. Runsaita ettringiittikiteytymiä betonin huokosissa. (Betoniyhdistys n.d.). ....	14
Kuva 7. Laattavalun suojausmenetelmiä. (Pistesarjat n.d.). ....	16
Kuva 8. Pintalattian valu. (Repo 2020) .....	17
Kuva 9. Ontelolaattojen saumavalu. (Holma 2021) .....	18
Kuva 10. Kavennetun ontelolaatan nostolenkin takaa vedellä täyttynyt ontelo. (Holma 2021) .....	18
Kuva 11. Malli betoniauton rahtikirjasta. (Holma, 2020).....	25
Kuva 12. Ratu 0403 kortin ohje betonitöiden valmistelusta. (Rakennustieto ,2012) .....	26

## Liitteet

Liite 1	Excel laskentataulukko betonin kypsyysien laskennassa sadgroven kaavan avulla.
Liite 2	Betonointipöytäkirjamalli
Liite 3	Ontelolaattakentän saumojen ja reunojen talvibetonoinnin ohjekortti

## 1 Johdanto

Betonivaluja tehdään Suomessa ympäri vuoden. Suomen neljä vuodenaikaa asettavat rakennuspaikalla valumuotteihin tehtäville betonivaluille haasteita. Talven kylmyys sekä lumiolosuhteet tekevät valuoperaatioista usein vaikeita sääolosuhteiden nopeidenkin muutosten vaikutuksesta. Nämä tekijät voivat vaikuttaa talvibetonoinnin laatuun sekä olosuhdehallinnan onnistumiseen merkittävästi.

Opinnäytetyö kertoo hyväksi havaituista menetelmistä, joilla mahdollista betonivalujen oikea-aikaista lämmittämistä voidaan hyödyntää laadun, lujuuden tai kuivumisen edesauttamiseen ja kehittämiseen.

Tämän opinnäytetyön päätavoitteena on laatia tietopakkaus ja opas työmaa-aikaisten betonivalujen lämmittämiseen ja toteuttamiseen etupäässä talviolosuhteissa, jolloin lämmitystä tarvitaan. Opinnäytetyö on tarkoitettu rakennusalan ammattilaisille, jotka tekevät betonin valutöitä rakennustyömailla tai päättävät menetelmistä, joita käytetään työmailla betonivalujen lämmittämiseen. Opinnäytetyö käsittelee paikalla valettavien betonirakenteiden lujuuden- sekä muodon kehitykseen liittyviä haasteita. Työssä keskitytään tarkastelemaan etupäässä rakennusvaiheen aikana tehtävien betonivalujen lämmittämistä lujuuden kehityksen näkökulmasta. Opinnäytetyössä sivutaan myös betonilattioiden lämmittämisen aiheutta betonilattian kuivumisen näkökulmasta. Opinnäytetyö voi toimia ohjeistuksena rakennushankkeissa, joissa tehdään betonivaluja eri vuodenaikoina olosuhteissa, joissa on päädytty lämmittämään valuja jäätymisen ehkäisemiseksi, lujuuden kehityksen nopeuttamiseksi tai rakenteen kuivattamiseksi. Opinnäytetyön tavoitteena on laatia ohjekortti betonin lämmittämisestä ontelolaattojen saumavaluissa. Kortissa käsitellään lämmittämistä lujuuden kehityksen näkökulmasta sekä erityisesti ontelolaattojen saumavaluihin liittyvistä talvibetonoinnin riskitekijöistä. Opinnäytetyön tiedot perustuvat useisiin alan julkaisuihin, haastatteluihin sekä työmaalta saatuihin kokemuksiin.

Työssä tarkastellaan betonin kemiallista käyttäytymistä eri kosteus- sekä lämpöolosuhteissa sekä betonin kovettumisreaktion eli hydrataatioreaktion vaiheita sekä siihen olennaisena osana liittyviä tekijöitä, jotka vaikuttavat betonirakenteiden lujuuteen ja joissakin olosuhteissa myös muotoon.

## **2 Betoni materiaalina**

Betoni on vakiinnuttanut viimeisen vuosisadan aikana asemansa merkittävimpanä rakennusten runkomateriaalina ympäri maailmaa. Nykyisin betonia osataan valmistaa helposti kaikkialla maailmassa. Betonia käytetään yleisimmin rakennuksissa perustuksiin, runkorakenteena ja lattioissa. Betonin ominaisuudet kosteuden kestävydessä, lujuudessa, turvallisuudessa ja hinnassa ovat tekijöitä, jotka tekevät betonista ylivoimaisen rakennusmateriaalin.

Betonin helpon valmistusteknologian lisäksi betonin raaka-aineet ovat helposti saatavilla. Betonin runkoaineena käytetään yleensä paikallista kiviainesta, joka tekee materiaalien kuljetusmatkat lyhyeksi. Sementti valmistetaan pääasiassa kalkkikivestä, jota esiintyy lähes kaikkialla maailmassa. Betonin raaka-aineita ovat myös terästeollisuuden jätteeksi menevät ylijäämätuotteet, kuten lentotuhka, masuunikuona, ja silika. Näitä aineita kutsutaan betonin seosaineiksi. (Suomen betoniyhdistys 2018, s.13-24)

Betonilla on hyvät paloturvallisuus- ja äänieristysominaisuudet.

Betonin rakenneominaisuudet kantavina rakenteina mahdollistavat pitkät jännevälit. Betoni on paikallaan valettuna tai elementtirakentamisen keinoin joustava materiaali isoihinkin tiloihin. Betonin pintakäsittelyyn on paljon erilaisia variaatioita, jotka antavat mahdollisuuksia erilaisille arkkitehtuurin tuomille tarpeille.

Betonin pääraaka-aineet ovat sementti, vesi ja kiviainekset runkoaineena. Näiden perusaineosien lisäksi betonissa käytetään lähes aina lisäaineita, joilla muokataan tuoreen betonimassan työstettävyyttä tai ominaisuuksia sopimaan erilaisiin käyttöolosuhteisiin.

Betonin lisäaineilla voidaan säätää mm. betonin huokoisuutta.

(Suomen betoniyhdistys 2018, s.13-24)

Betonin lujuuden kehitys ja siihen liittyvä lämmön hallinta on betoniteknologian ydinkysymys. Betonin lujuuden kehitys ja siihen liittyvä kemiallinen hydrataatioreaktio on eksotermisen reaktio, joka luovuttaa lämpöä. Hydrataatiolämmön kehitys voimistuu, mitä korkeampi on ympärillä oleva lämpötila. Betonin lujuuden kehitys voimistuu betonia lämmitettäessä ulkoisesti lujuuden kehityksen aikana ja on usein talvella tehtävissä betonivaluissa välttämätön onnistuneen betonivalun saamiseksi.

(henkilökohtainen tiedonanto, luentoaineisto, Fahim Al-Neshawy 19.4.2021)

## 2.1 Betonin historia

Roomassa sijaitseva Pantheon-temppeli (118-125 jKr.) on yksi tunnetuimpia betonirakennuksia maailmassa, joka rakennettiin silloin uudella betonirakennustavalla. Roomalaisessa betonissa käytettiin kalkkia sekä runsaasti piitä sisältävää tulivuorituhkaa. Keski-ajalle tultaessa roomalaisen betonin valmistustapa unohtui luultavasti siitä syystä, että tulivuorituhkan saatavuus oli tuona aikana paikallista. Rakennusteollisuudessa aloitettiin betonin käyttö uudelleen 1800-luvulla, kun Portland-sementti keksittiin. Sementin käyttö yleistyi nopeasti 1900-luvulle tultaessa, jolloin raudotteet olivat yleistyneet jo betonirakenteissa. Suomessa ensimmäisiä merkittäviä betoniarkkitehtuuria sisältäviä rakennuksia ovat mm. eduskuntatalo, Stockmann, rautatieasema ja taidehalli. Betoni valtasi alaa nopeasti infrarakentamisessa, jossa betonia alettiin käyttää maantiesilloissa, viemärijärjestelmissä ja teollisuuden tuotantolaitosten rakentamisen yhteydessä. (Betoniteollisuus Ry, 2020)

Kuva 1. Pantheon Roomassa



## 2.2 Sementit

Sementti on hienoksi jauhettu epäorgaanien materiaali, joka reagoidessaan veden kanssa muodostaa lujan kivimäisen sementtikiven. Kivimäinen sementti liittyy yhteen betonin muut aineosat, kuten kiviaineksen, jota kutsutaan betonin runkoaineeksi. Sementti vaikuttaa merkittävästi niin tuoreen, kuin kovettuneenkin betonin ominaisuuksiin.

Portlandklinkkeri on sementin tärkein raaka-aine, joka valmistetaan kalkkikivestä. Kalkkikivi on suurimmaksi osaksi kalsiumkarbonaattia  $\text{CaCO}_3$ . Kalsiumkarbonaatin lisäksi sementin valmistukseen käytetään

piidioksidia  $\text{SiO}_2$ , rautaoksidia  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ja alumiinioksidia  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Edellä mainittuja aineita saadaan kalkkivilouhoksen sivukivistä sekä muun teollisuuden ylimääräisistä jakeista.

Betonin valmistukseen käytettävä sementti on oltava CE-merkittyä, joka täyttää standardin SFS-EN 197-1 vaatimukset. Standardi sisältää tiedot sementtien koostumuksesta, laatuvaatimuksista ja vaatimustenmukaisuudesta. CE-merkinnän saaminen edellyttää sementtien tuotesertifiointia, jossa varmennetaan sementtien täyttävän SFS-EN-1 vaatimukset

(Suomen betoniyhdistys 2018, s.24-29)

Suomessa käytettyjä rakennussementtejä ovat (Suomen betoniyhdistys 2018, s.31):

- Plussementti (CEM II/B-M(S-LL) 42,5 N) on normaalisti kovettuva sementti, jota voidaan käyttää yleisesti rakentamisessa lähes joka paikassa.
- Rapidsementti (CEM II/A-LL 42,5 R) on nopeasti kovettuva sementti, joka ominaisuuksien perusteella soveltuu erinomaisesti talvibetonointiin sekä lattavaluihin. Rapidsementtiä käytetään yleisesti betonielementtiteollisuudessa, mutta myös valmisbetoneissa.
- Pikasementti (CEM I 52,5 R) on erityisesti elementtiteollisuuden käyttämä nopeasti kovettuva sementti. Pikasementti soveltuu nopean alkulujuuden ansiosta myös tavibetonointiin sekä korkealujuusbetonien valmistukseen.

- SR-sementti (CEM I 42,5 N SR 3) on normaalisti kovettuva portlandsementti, joka soveltuu sulfaattirasituksen alaisin kohteisiin, kuten meriveden vaikutuksenalaisiin rakenteisiin.

- Valkosementin (yleensä CEM I 52,5 N) ominaisuudet perustuvat lähes raudattomaan erikoisklinkkeriin, jolla varmistetaan puhtaanvalkoinen väri, sekä lujuusominaisuudet. Valkosementtiä käytetään elementtiteollisuudessa julkisivuelementtien valmistuksessa.

### 2.3 Sementin ominaisuudet

Sementin ominaisuuksia voidaan tarkastella käyttötarkoituksen mukaan. Sementillä on lujuuden lisäksi seuraavia ominaisuuksia, jotka on syytä ottaa huomioon betonituotteita valmistettaessa:

- kemiallinen koostumus sekä seos- ja lisäaineet
- sementin reaktiot veden kanssa
- sitoutuminen
- lujuuden kehitys
- hienous/veden tarve
- kiinto- ja irtotiheys
- lämmönkehitys
- tilavuuden pysyvyys
- kemiallinen kestävyys
- väri
- lämpötila
- säilyvyys

Betonia valmistettaessa tärkein sementin ominaisuus on sen kyky reagoida veden kanssa muodostaen sementtipastan, jota sanotaan sementtikiveksi.

Sementin reagoidessa veden kanssa reagoivat ensin klinkkerimineraalien aluminaattiyhdisteet ( $C_3A$  ja  $C_4AF$ ). Sementtimassan työstöaikaa sekä reaktioaikaa pidennetään lisäämällä aluminaatin reaktiota hidastavia aineita. (Suomen betoniyhdistys 2018, s.35)

## 2.4 Sitoutuminen

Sementin ja veden sekoituksen jälkeen massa on aluksi notkeaa. Massa alkaa sitoutua jonkin ajan kulutta sekoituksesta, joka on kovettumisen alkutapahtuma. Sementin sitoutumisaika on tapahtuma veden lisäyksestä hetkeen, jolloin sementtigeeli saavuttaa tietyn jäykkyyden. Sitoutumisvaiheen jälkeen valettua betonia ei saa enää häiritä, sillä silloin muodostuneet hydrataatiotuotteet rikkoontuvat ja sen seurauksena betonimassaan tulee lujuuskatoa. Betonin sitoutumisaika riippuu sen kemiallisesta koostumuksesta sekä hienoudesta. Kipsiä lisäämällä saadaan betonimassalle enemmän työstöaikaa. Sitoutumisjakson aikaan vaikuttaa merkittävästi lämpötila. Mitä kylmemmät ovat betonivaluolosuhteet sitä hitaampi on sitoutumisvaihe eli sitä hitaampi on lujuuden kehitys. Kylmillä ilmoilla betonivaluja tehdessä on huomioitava lämpötila. Käytettävällä sementillä voidaan vaikuttaa merkittävästi betonin lujuuden kehitykseen eri lämpötiloissa. (Suomen betoniyhdistys 2018, s.37)

## 2.5 Lujuuden kehitys

Betonin kovettuminen eli lujittumisreaktio alkaa sitoutumisen päätyttyä ja jatkuu niin kauan, kunnes hydratoitumiseen osallistumiskykyistä vettä sekä reagoimatonta sementtiä on käytettävissä. Betonimassan vesi-sementtisuhte (v/s) vaikuttaa merkittävästi betonin lujuuteen. Sementtigeelin hydrataatioaste ( $\alpha$ ) riippuu saatavilla olevasta vesimäärästä. Sementti sitoo hydratoituessaan vettä kemiallisesti, jonka määrä on noin 25 % sementin painosta. Vettä sitoutuu myös sementtimassan geelihuokosiin n. 20 % sementin painosta, joten täydellisen hydratoitumisreaktion edellyttämä vesimäärä on n. 40-45 % sementin painosta. Täydellisen hydratoitumisreaktion edellyttämä vesi ei kykene saamaan betonimassaa sellaiseen olomuotoon, että se olisi valettavissa mihinkään muottiin. Tämän vuoksi betonimassoissa käytettävä vesimäärä on käytännössä aina suurempi. Kovettuneen betonimassan kapilaarihuokosissa on siis aina sitoutuneena hydrataatiosta vapaata vettä. (Suomen betoniyhdistys 2018, s.37)

## 2.6 Lujuuden kehityksen seuranta

Betonin lujuuden kehitystä voidaan seurata. Lujuusaste voidaan laskea Sadgroven (kuva 2.) kaavan avulla, kun tiedetään betonivalun lämpötila ja käytetyt seosaineet. Betonivalun sisään asennetaan lämpötila-antureita, joiden avulla seurataan betonin lämpötilaa. Betonin lämpötila tulee olla varmuudella selvitetty, jotta saadaan mahdollisimman tarkka tieto betonin lujuusasteesta. Eri sementtilajeilla sekä eri lujuusluokan betoneissa on oma lujuuden kehityksen käyrä, jonka avulla voidaan seurata betonimassan kypsyysikää eri lämpötiloissa, kun ensin Sadgroven kaavalla on laskettu betonin kypsyysikä.

Kuva 2. Sadgroven kaava. (Betoniyhdistys 2018, s 92-93)

## Sadgroven menetelmä

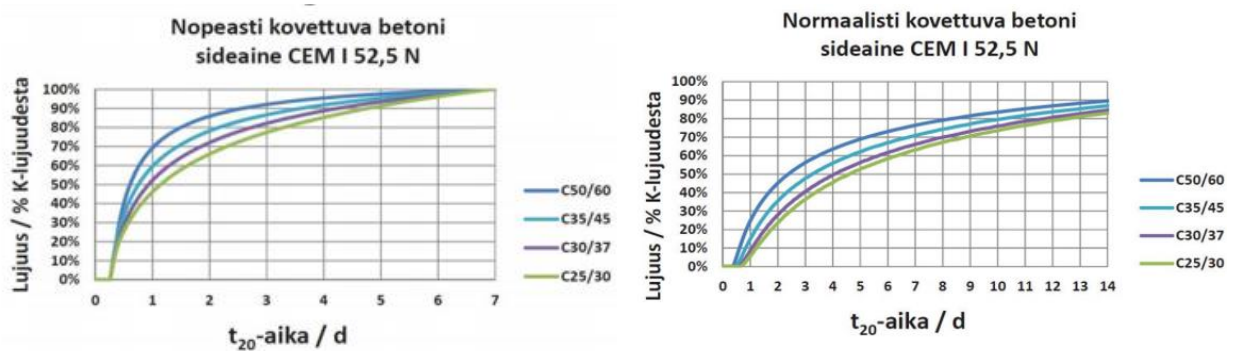
Nykästä tarkempi menetelmä on ns. Sadgroven menetelmä, jossa betonin kypsyysikä  $t_{20}$  lasketaan kaavalla:

$$t_{20} = \Sigma ( (T + 16 \text{ °C}) / 36 \text{ °C} )^2 \times t$$

missä  $T$  on betonin lämpötila aikana  $t$  [°C]  
 $t$  on kovettumisaika [d].

Sijoitetaan betonin lämpötila sekä hydrataatioreaktioon kulunut aika kaavaan, jonka avulla saadaan laskettu  $t_{20}$  kypsyysikä. Tämän jälkeen voidaan betonilaatu tuntien katsoa betonin lujuus käyrästä (kuva 3.) kypsyysiän mukaan.

Kuva 3. Kypsyys vs. lujuus. (Betoniyhdistys 2018, s 92-93)



Betonin lujuus on keskeinen tekijä arvioitaessa työmaalla muottien purkuajankohtaa. Kun betoni on saavuttanut 5 MN/m<sup>2</sup> lujuuden, betoni on saavuttanut jäätymislujuuden, jolloin sulamisen jälkeen jatkuva kovettuminen jatkuu ilman lujuuskatoa. Kun betoni on

saavuttanut 60% nimellislujuudesta, holvivalumuotin voi purkaa turvallisesti. Tällöin on ymmärrettävä kuitenkin, että holvin tai palkin kuormittaminen täytyy arvioida tarkkaan. Betoni saavuttaa nimellislujuuden normaalisti 28 vuorokaudessa lämpötilassa +20°C, mutta jatkaa lujittumistaan niin kauan, kuin betonimassa sisältää hydratoituvaa sementtiä sekä siihen tarvittavaa kosteutta. (Sahlstedt ym. 2013, s.17-18)

Kuva 4. Betonilämpötilan mittaaminen.



Betonin lämpötilaa voidaan seurata erilaisilla mittausmenetelmillä. Kuvassa 4. on betonin lämpötilan mittaamiseen tarkoitettu Trafitek lämpötilan mittauslaite, joka on kytketty betonivaluun sijoitettuun lämpötila-anturiin. Anturit tulee asettaa betonirakenteissa mittauspisteisiin, joista saadaan luotettava kuva betonirakenteen lämpötiloista kaikkein kylmimmissäkin kohteissa. (Sahlstedt ym. 2013, s.25)

## 2.7 Jäätynyt betoni

Betonin jäätyminen kovettumisvaiheessa voi aiheuttaa merkittävää lujuuskatoa betonirakenteissa. Betonityötä johtavien henkilöiden tulee varmistaa, että betonimassa ei pääse jäätymään. Betonin lujuuden kovettumisvaiheessa tulee olla kehittynyt ennen mahdollista jäätymistä niin suureksi, että veden jäätymisestä aiheutuneet sisäiset rasitukset eivät aiheuta vaurioita betonirakenteeseen. Betonin tulee saavuttaa  $5 \text{ MN/m}^2$ :n lujuus, jotta se kestää jäätyksen aiheuttaman rasituksen. Betonin pakkasenkestävyys on kovettuneen betonin kyky säilyttää lujuusominaisuutensa useista jäätymisistä huolimatta. Jäätyessään betonimassan lujuuden kehitys pysähtyy lähes kokonaan.

(Sahlstedt ym. 2013, s.17)

### 3 Betonin lämmittäminen kovettumisvaiheessa

Seuraava keskustelu johdattelee hyvin lämmittämisen aiheeseen:

Haastattelin opinnäytetyötäni varten kivitaloyhtiö Potius Oy:n hallituksen puheenjohtaja Hannu Holmaa, joka kertoi keskustelusta Lahden Kestobetoni Oy:n Heikki Laineen kanssa betonielementtitehtaalla. Miehet olivat kierrelleet vanhassa betonielementtitehtaassa, jonkakatossa näkyi suuret kaasulämmittimet. Hannu oli kysynyt Heikiltä: ”Milloin nuo laitetaan päälle?” Heikki oli katsonut Hannua huvittuneen näköisenä ja vastannut: ”omistaja päättää”. Hannu joutui miettimään Heikin vastausta ennen kuin tuli huomanneeksi, mikä on tämän vastauksen taustalla. Hannu kertoi haastattelussa, että myöhemmin ymmärsi varsin hyvin, mikä oli Heikin vastauksen taustalla.

Kun betonielementit valetaan muotteihin, on tehtaan tuotantonopeuden kannalta ensiarvoisen tärkeää, milloin muotit saadaan uudelleen käyttöön seuraavaa elementtiä varten. Talviseen aikaan betonitehtaan omistajan on pohdittava alituisesti, käyttääkö hän hallin lämmittämiseen tässä tapauksessa kaasulämmittimiä vai luottaako hän siihen, että yön aikana betoni on vallitsevassa lämpötilassa sitoutunut niin paljon, että elementit voidaan nostaa valupöydältä pois. Jos yön lämpötila on liian kylmä, menee tehtaan valupöytien yksi mahdollinen tuotantopäivä hukkaan, mutta jos lämmittimet olisivat päällä, elementit voisi mahdollisesti nostaa turvallisesti muotista pois. (henkilökohtainen tiedonanto, haastattelu, Hannu Holma 10.12.2020)

#### 3.1 Milloin betonia lämmitetään?

Betonivalujen lämmittämistä toteutetaan pääosin talvella ja sitä kutsutaan talvibetonoinniksi. Talvibetonointikauden ymmärretään alkavan lämpötilan laskiessa vuorokauden kuluessa alle +5°C:seen. Etelä- ja Pohjois-Suomessa kausi vaihtelee 7-9 kuukauteen. Nyrkkisääntönä voidaan pitää olevan lokakuusta huhtikuuhun. (Sahlstedt ym. 2013, s.29)

Betonia voidaan lämmittää muulloinkin kuin talvibetonointitarkoituksessa.

Betonilattioiden pinnoituksen aloittamiseen vaatii eri lattiamateriaaleja varten eri kuivusasteen. Usein joudutaan rakennustyömailla tilanteisiin, jossa rakennuksen lattian kuivumista joudutaan odottamaan. Tähän on yhtenä ratkaisuna betonilattian lämmittäminen lattian kuivumisen tehostamiseksi. Lattian kuivumisessa betonilaatan lämmityksen merkitys on nimenomaan kuivumisessa eikä niinkään lujuuden kehityksessä. Betonin kuivumisen nopeuttamiseksi tapahtuva lämmitys voi nopeuttaa betonilaatan kuivumista merkittävästi. Lämpötilan nosto 10°C:sta 30°C:een puolittaa kuivumisajan lähes kaikissa rakenteissa riippuen ympärillä olevan tilan suhteellisesta kosteudesta.

Tehokkain tapa nopeuttaa betonilaatan kuivumista onkin nostaa betonin lämpötilaa sisältäpäin lämmitettynä. (Merikallio, 2015, s.8)

Lattialämmitteisissä lattioissa voidaan hyödyntää rakennuksen lopullista lämmitysjärjestelmää kuivatettaessa betonilattioita. Kohteissa, joissa on vesikiertoinen lattialämmitys, voidaan käyttää väliaikaisia läpivirtausvastuslämmittimiä, joita tarjoaa jotkut konevuokraamot työmaiden käyttöön. Kuvassa 5. on esimerkki työmaalla olevasta väliaikaisesta vesikiertoisesta lämmittimestä lattialämmityskohteessa.

Kuva 5. Läpivirtausvastus lämmitin asennettuna.



### 3.2 Tilavuuden muutokset

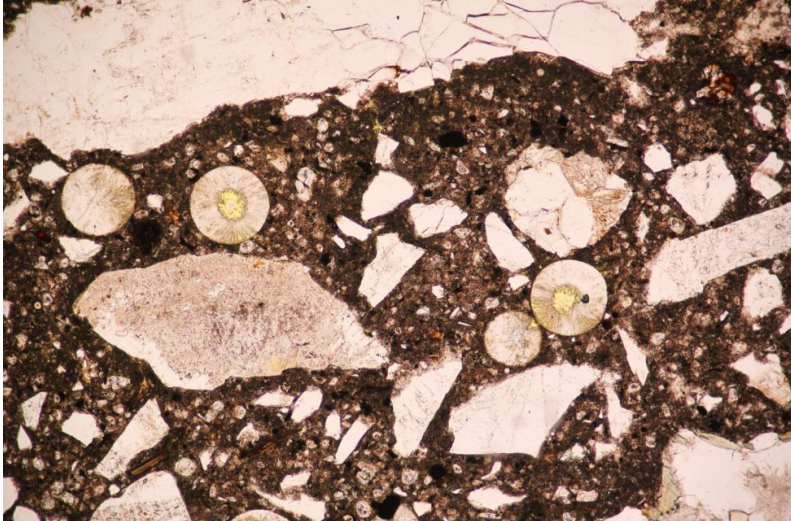
Kovettumisvaiheessa olevan betonimassan tilavuus voi muuttua useasta syystä, jotka työmaalla betonointi työtä tekevien on syytä ymmärtää. Betonista eri tavoin poistuva vesi aiheuttaa muodonmuutoksia betonissa. Vasta valetusta betonista poistuu vettä haihtumalla sekä erottumalla. Liiallinen betonimassan tiivistäminen sauvatäryttimellä aiheuttaa veden liiallista erottumista sekä kiviaineksien erottumista, jossa suurikokoinen kiviaines painuu alaspäin ja hienojakoinen ylöspäin. Tällöin vesi nousee valetun betonin pintaan ja näin vaikuttaa osaltaan massiivibetonin muotoon. Haihtuva vesi aiheuttaa muodonmuutoksia eniten silloin, kun ympäröivät olosuhteet ovat haihtumiselle otollisimmat. Haihtumista tapahtuu niin pitkään, että betonin suhteellinen kosteus saavuttaa ympärillä olevan tilan kanssa tasapainokosteuden. Tasapainokosteuden saavuttaminen kestää tavallisesti useita vuosia. (Suomen betoniyhdistys 2018, s.74-75)

Betonista poistuva vesi pienentää betonin tilavuutta, eli betoni kutistuu. Betonilattioissa betonin pinnalta haihtunut vesi aiheuttaa tällöin muodon muutosta betonilattioiden käyrityksenä reunoilta. Betonilattioiden käyritystä voidaan vähentää raudotteilla sekä liian nopean haihtumisen ehkäisemisellä.

### 3.3 Ettringiitin muodostuminen

Betonin kovettumisvaiheessa voi eri olosuhteissa sekä eri seosaineiden johdosta syntyä erilaisia kemiallisia reaktioita, jotka eri tavoin vaikuttavat betonivalun muotoon ja lujuuteen. Tässä työssä käsitellään työmaa-aikaisen betonirakenteen lämmittämisen vaikutuksia lujuuteen ja mahdolliseen muodonmuutokseen. Ettringiittireaktioksi kutsutaan sulfaattimineraalien kemiallisia reaktioita, joiden reaktiotuotteiden voimakas tilavuuden muutos aiheuttaa betonin ilmatäytteisten huokosten tilavuuden pienentymistä. Tämä reaktio heikentää ilmaantuessaan merkittävästi valmiin betonirakenteen pakkasen kestävyyttä ilmahuokosten pienentyessä. Ettringiittireaktion vauriot valmiissa betonirakenteessa muistuttavat pakkasrapautumisen vaurioita. Näiden vauriosyiden erottaminen vaatii laboratoriotutkimuksia. (Suomen betoniyhdistys 2018, s.134)

Kuva 6. Runsaita ettringiittikiteytyimiä betonin huokosissa. (Betoniyhdistys n.d.).



Betonin kovettumisvaiheessa tapahtuva liiallinen lämmittäminen aiheuttaa ettringiittireaktiota, jossa ettringiitti kiteytyy huokosiin. Tämä aiheuttaa häiriöitä sementin kovettumisreaktioon. Ettringiittireaktion muodostumisen yleisenä lämpötilarajana pidetään  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , jonka yli lämpötila kovettuvassa betonissa ei missään tapauksessa saa nousta. Betoniin muodostuvat mikrohalkeamat ovat kriittisiä ettringiittireaktion kannalta, jonne ettringiitin on mahdollista kiteytyä. Mikrohalkeamat voivat aiheutua muutoin betonin liiallisista lämpötilavaihteluista kovettumisvaiheessa. Ettringiittireaktioon vaaditaan ulkoinen tai sisäinen sulfaatin lähde sekä pitkäaikainen ja korkea kosteuspitoisuus betonissa. (Suomen betoniyhdistys 2018, s.134)

#### 4 Työmaolosuhteissa tapahtuvia yleisimpiä paikallavalutöitä

Tässä luvussa käydään läpi joitakin yleisimpiä betonivaluja rakennustyömailla, joissa on mahdollinen betonin lämmitystarve. Talvibetonointiin liittyvistä lämmitysmuodoista sekä käytännön toimenpiteistä joudutaan päättämään työmaalla nopeallakin aikataululla. Betonointisuunnitelmassa ei aina kyetä ottamaan kaikkia valuun liittyviä tekijöitä riittävästi huomioon. Jokainen valutyypin sisältää omat ominaispiirteensä, jotka valutöiden suorittajien tulee sisäistää. Betonointisuunnitelma tulee tehdä aina, kun tehdään betonointitöitä työmaalla.

#### **4.1 Jatkuvien anturoiden valu**

Jatkuvat anturat ovat ehkä tyypillisin anturatyyppejä rakennuksissa. Jatkuissa pötkömäisissä valuissa valu tehdään kahden muottisiivun väliin. Muottisiivut voivat olla mm. vaneri- tai lankkumuotteja, jossa valu tehdään niiden väliin. Talvibetonoinnissa lämmityksen voi toteuttaa helpoiten lämmityslangoilla, jotka asennetaan raudoituksiin kiinni. Märkään valuun on syytä asentaa lämpötila-anturit, joista valun lämpötilaa voidaan seurata. Jatkuvat anturamuotit valun jälkeen suojataan solumuovieristeellä tiiviisti esim. niittaamalla solumuovieriste muottiin kiinni. Tuulen ja viiman vaikutus tulee estää mahdollisimman hyvin pääsemästä valun pintaan. Muotin päälle laitettava suoja estää valun liian nopean jäähtymisen talvella. (Suomen betoniyhdistys 2018, s.506)

#### **4.2 Pilari- ja paaluanturoiden valu**

Pilari- ja paaluanturat ovat usein suorakaiteen muotoisia. Valut on massiivisia verrattuna jatkuviin anturoihin. Näissä valuissa betonin hydrataatiolämpö helpottaa valun lämmityksen hallintaa, koska massiivinen ja paksumpi valu ei niin helposti pääse luovuttamaan lämpöä pois. Etringiitti-reaktion mahdollisuus tulee ottaa huomioon kesäaikaan valettaessa, kun betonin hydrataatiolämpö voi nousta useisiin kymmeneen asteisiin. Massiivisissa pilari- ja paaluanturoissa on valun yläpinnan suojaus hyvä tehdä samaan tapaan, kuin jatkuvien anturoiden valun pinnan suojaus. Valun pinta on syytä suojata pe-muovikalvolla, jotta betonin pinnasta ei haihdu vettä, mikä heikentäisi betonin lujuuden kehitystä.

Vasta valettuun märkään betonimassaan on järkevää asentaa lämpötila-anturit betonin lämpötilan seurantaan ajatellen. Pilari- ja paaluanturoissa on mahdollista käyttää lämmitettäviä valmismuottielementtejä, joiden avulla on mahdollista lämmittää betonia kovettumisvaiheessa. (Sahlstedt ym. 2013, s.49)

#### **4.3 Paalulaatta sekä reunavahvisteisten laattojen valu**

Paalulaattojen ja reunavahvistettujen laattojen valut ovat massiivisia valuja. Näiden valujen yhteydessä valetaan usein lopullinen lattiapinta, jolloin pinnan jälkihoitoon tulee kiinnittää erityistä huomiota. Ongelmia voivat aiheuttaa valmiille lattiapinnalle valuva vesi tai toisaalta tuuliset olosuhteet voivat haihduttaa pinnasta kosteutta varsinkin silloin, kun talviseen

aikaan joudutaan lämmittämään laattaa jäätymisen ehkäisemiseksi. Laatan valun jälkihoitomenetelmät ovat järkevää etukäteen suunnitella ja kirjata betonointisuunnitelmaan.

Kuva 7. Laattavalun suojausmenetelmiä. (Pistesarjat n.d.).



Reunavahvistettuja laattoja valetaan joskus ennen rakennuksen rungon pystytystä, jolloin on harkittava suoja teltan rakentamista valualueiden ympärille estämään valumavesien sekä viiman vaikutusta valmiiseen valupintaan. Valun jälkihoito tulee aloittaa mahdollisimman pian, kun laatan päälle voidaan laittaa esim. pe-muovikalvo estämään liiallista veden haihtumista. Massiivisten rakennelaattojen lämmittäminen on mahdollista yhtäältä ympärillä olevan teltan avulla. Usein nykyään valmiiksi lattiapinnoiksi valettaviin rakennelaattoihin on asennettu lattialämmityspotket, joiden avulla voidaan läpivirtausvastuslämmittimillä lämmittää betonivalua sisältä päin.

#### 4.4 Pintalattioiden valu

Pintalattioiden valujen lämmityksiin käytetään yleensä lattiaan asennettavia lopullisia lämmitysmuotoja, jotka voivat olla lattialämmityskaapeleita tai vesiputkia. Vesiputkiin voidaan jo työmaalla asentaa läpivirtausvastuslämmitin, jolloin pintalattialaatan lämmittäminen kuivattamisen nopeuttamiseksi on mahdollista. Liian voimakas pintalaatan lämmittäminen pian valun jälkeen voi aiheuttaa voimakkaampaa kutistumahalkeilua tai reuna-alueiden käyristymistä.

Kuva 8. Pintalattian valu. (Repo, henkilökohtainen tiedonanto, 2020)



#### 4.5 Ontelolaattojen reuna- ja saumavalut

Ontelolaattojen reuna- ja saumavalut ovat kylmissä talviolosuhteissa usein lämmityksen, jään ja lumenpoiston kannalta haastavia, koska ohuet pötkömäiset sauma- sekä reuna-alueiden valujen hydrataatiolämmön vaikutus on heikko sekä ympärillä olevat betonirakenteet ovat kylmiä. Ontelolaattojen saumavaluihin käytetään vastuslankoja, jotka asennetaan saumaraudoitteisiin kiinni. Ontelolaattakentän alla olevaa tilaa voidaan lämmittää myös muilla lämmitysmuodoilla siten, että valettavan ontelolaattakentän ontelolaattojen pintalämpötilat saadaan riittävän lämpimiksi. Kuvassa 8. on tilanne, jossa ontelolaatan saumat sulatetaan lumesta ja jäästä juuri ennen valua höyryn avulla. Kuvan 8. savunpoistoluukun reunavalussa näkyy Pistesarjat Oy:n valmistamia vastuslankoja.

(Sahlstedt ym. 2013, s.64)

Kuva 9. Ontelolaattojen saumavalu. (Holma 2021)



Ontelolaattojen saumavaluihin liittyy merkittävä riski talvibetonoinnissa, jossa valun jälkeen ontelolaattojen onteloihin pääsee kertymään vettä, joka myöhemmin jäätyy. Onteloihin tehtaalla on porattu vesien poistoreiät, joiden kautta vesi pääsee pois onteloista. Kavennetuissa ontelolaatoissa vesireiät voivat jäädä valettujen nostolenkkien väärälle puolelle, jolloin onteloihin on mahdollisuus kertyä lauhan sään aikana vettä, joka jäätyy pakkasella. Kuvassa 9. on esimerkki pakkasen aiheuttamasta ontelolaatan halkeamisesta juuri kavennetussa laatassa.

Kuva 10. Kavennetun ontelolaatan nostolenkin takaa vedellä täyttynyt ontelo.



## 5 Betonin lämpötilaan vaikuttavat tekijät

Sitoutumisvaiheessa oleva betoni vapauttaa energiaa lämmön muodossa. Tätä kutsutaan hydrataatiolämmöksi. Hydrataatiolämpö osaltaan vauhdittaa lujittumisreaktiota. Lujittuvan betonin lisälämmitys voimistaa hydrataatiolämmön kehitystä. Työmaaolosuhteissa hydrataatiolämmön vaikutusta on mahdollista hyödyntää betonin lujuuden kehityksessä. Pakkasolosuhteissa tapahtuvassa valamisessa on olemassa aina riskitekijät valun jäätymiseen. Hydrataatiolämmön tuottaminen usein edellyttää myös lisälämmitystä sekä valun riittävää lämpöeristämistä, jotta hydrataatiolämpö olisi hyödyllinen alkulujuuden saavuttamiseksi. Valun lujuuden kehityksen suunnittelu talvibetonoinnissa ei voi pelkästään perustua hydrataatiolämpöön vaan tilannetta tulee tarkastella vallitsevien olosuhteiden, valupaksuuksien, betonin lujuusluokan ja betonin siirtotavan perusteella. Tarkasteltaessa esim. ontelolaattojen sauma- ja reunavaluja on varmistuttava siitä, että ontelolaatat eivät ole jäässä ennen valua. Betoni valualustana ja muottina varaa runsaasti lämpöä. Pitkän pakkasjakson jälkeen betoni voi olla useita päiviä pakkasen puolella vaikka ilma olisi jo plusasteilla. Valualustan ennakkolämpötila tulee varmistaa. Ontelolaattojen saumavalu on hyvä esimerkki siitä, missä hydrataatiolämmön vaikutus on lähes olematon. Vaikka betoni tuotaisiin kuumana työmaalle, sen hyöty on olematon silloin, kun valu ei ole massiivinen ja valualusta imaisee lämmön. (Kurjenmäki, henkilökohtainen tiedonanto, 23.4.2021)

Betonimassan lämpötilaan vaikuttaa kuljetuksen aikana ajomatkan pituuden lisäksi myös ulkoilman sekä massan välinen lämpötilaero. Tavanomaisia kuljetusmuotoja käytettäessä betonimassan lämpötilan laskeminen on kuitenkin vähäistä. Erilaisten mittausten perusteella betonimassan lämpötila voi ajomatkan aikana laskea 1–3 C°.

Lämpöhäviötä tapahtuu myös tyhjennyksen ja pumppauksen aikana, jolloin massan lämpötila olosuhteista riippuen voi vaihdella 1–5 C° asteen välillä.

(henkilökohtainen tiedonanto, luentoaineisto, Fahim Al-Neshawy 19.4.2021)

Betonimassan lämpötilaan vaikuttavat betonoinnin yhteydessä ulkolämpötila, tuuliolosuhteet, betonointiin käytetty aika, muottimateriaali sekä betonin siirtotapa. Hydrataatiolämmön vaikutus betoniin välittömästi veden lisäyksen jälkeen on merkityksetön. Hydrataatiolämmön muodostuminen kuitenkin alkaa heti veden lisäyksen jälkeen ja voimistuu hitaasti. Hydrataatiolämmön muodostuminen on voimakkaimmillaan kovettumisen alkuvaiheessa. Hydrataatiolämmön voimakkuus tai suuruus riippuu sementin määrästä. Mitä enemmän käytetään sementtiä, sen voimakkaampaa on hydrataatiolämmön kehitys. Pienissä valuissa hydrataatiolämmön kehitys on lähes olematon. Suuremmissa massiivisissa valuissa hydrataatiolämpöä voidaan joutua tietyissä olosuhteissa rajoittamaan liiallisen lämmön ehkäisemiseksi. Kuumana toimitetussa betonissa voidaan alkulujuus saavuttaa nopeammin, kun hydrataatiolämmön kehitys hetkellisesti voimistuu lämpötilan ollessa korkeampi. Tämä voi olla merkityksellinen jäätymislujuuden saavuttamiseksi. Hydrataatiolämmön tuotto saavuttaa yleensä saman arvon riippumatta siitä, missä lämpötilassa reaktio tapahtuu. (henkilökohtainen tiedonanto, luentoaineisto, Fahim Al-Neshawy 19.4.2021)

## **5.1 Lujittuvan betonin lämpötilan muutokset**

Betonin lämpötilaan vaikuttaa kovettumisvaiheessa neljä osatekijää, jotka ovat betonin alkulämpötila, hydrataatiolämmön määrä, lämmitysenergian määrä ja lämpöhäviöt ympäröivään tilaan. Edellä mainittujen osatekijöiden avulla on laskettavissa betonin keskimääräinen lämpötila seuraavan yhtälön avulla kovettumisvaiheessa.

Kaava 1. Betonin keskimääräisen lämpötilan laskentakaava.

$$T_b = T_{bo} + \frac{C}{c_b * \rho_b} * W + \frac{A_1}{V c_b * \rho_b} * W_u - \sum_0^t \frac{k_1 A_2}{V c_b * \rho_b} (T_b - T_u) \Delta t$$

missä

$T_b$	betonin keskimääräinen lämpötila (°C)
$T_{bo}$	betonin alkulämpötila (°C)
$C$	sementtimäärä (kg/m <sup>3</sup> )
$c_b$	Betonin ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg °C)
$\rho_b$	betonin tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
$W$	hydrataatiolämpö aikavälillä 0...t (kJ/kg sementtiä)
$A_1$	betonin lämmitettävä pinta-ala (m <sup>2</sup> )
$A_2$	betonin jäähtyvä pinta-ala (m <sup>2</sup> )
$V$	lämmitettävän rakenteen tilavuus (m <sup>3</sup> )
$W_u$	Lämmityksen yhteydessä betoniin tuotu ulkoinen energia (kJ/m <sup>2</sup> )
$k_t$	pinnan $A_2$ lämmönsiirtymiskerroin laskentahetkellä (W/°C m <sup>2</sup> )
$T_u$	ulkoilman lämpötila (°C)
$\Delta t$	aikaväli, joka valitaan lämpötilan muutosnopeuden mukaan (h)

Sementin kehittämä hydrataatiolämpö ilmoitetaan ns. asetuntiluvun avulla. Suomalaisen sementtien lämmön kehitystä kuvaamaan käytetään seuraavia yhtälöitä:

Kaava 2. Yleisportlandsementti.

$$W = 8,4 + 379 * e^{-\left(\frac{120}{N^{0,8}}\right)} \left(\frac{kJ}{kg} \text{ sementtiä}\right)$$

Kaava 3. Nopeasti kovettuva portlandsementti. (Aaltoyliopisto, 2015)

$$W = 10,5 + 407 * e^{-\left(\frac{100}{N^{0,8}}\right)} \left(\frac{kJ}{kg} \text{ sementtiä}\right)$$

Yhtälöissä on N ns. lämpöastetuntiluku ja se lasketaan kaavasta:

Kaava 4. Suomalaisten sementtien lämmön kehitystä kuvaavia yhtälöitä.

$$N = \sum_0^t (T_b + 10) \Delta t \text{ (}^\circ\text{Ch)},$$

jossa  $T_b$  on betonin keskimääräinen lämpötila aikavälillä  $\Delta t$

Ulkoinen energia voidaan esittää muodossa

$$W_u = \sum_0^t P_u * \Delta t$$

missä  $P_u$  on teho (nettoteho, jolla lämmitys tapahtuu).

Kaavan 1. avulla voidaan tarkastella lämpösuojauksen ja lämmityksen vaikutusta kovettuvaan betoniin. (henkilökohtainen tiedonanto, luentoaineisto, Fahim Al-Neshawy 19.4.2021)

## 5.2 Lämmitetyt muotit

Betonivaluihin voidaan selkeissä rakenteissa käyttää lämmitettyjä muotteja.

Muottilämmityksessä toimivat parhaiten lämpöeristetyt suurmuotit, jossa muottipinnan ja lämmöneristeen välissä on vastuslankasilmukoita tai vastuksia, joista lämpö siirtyy muottipinnan läpi betoniin. Lämpötiloja voidaan ohjata termostaateilla. Muottilämmitys voidaan asettaa jo etukäteen osateholle, jolloin muotti on valmiiksi lämmennyt jo betonointia varten. Lämmitettävien muottien etuna on niiden helppo lämpötilan hallinta. Lämmitettyjen valmismuottielementtien heikkous on niiden heikko sovellettavuus kohteissa, jossa valukertoja on vähän. (Sahlstedt ym. 2013, s.62)

## 6 Betonointisuunnitelma

Betonointisuunnitelma laaditaan suunnitelmien ja asiakirjojen pohjalta valutyön ohjeeksi.

Betonointisuunnitelma laaditaan yhteistyössä rakennesuunnittelijan kanssa.

Betonoinnin suunnittelussa noudatetaan samaa jatkuvan ja tarkentuvan suunnittelun periaatetta, kuin muussakin työn suunnittelussa. Betonointityötä varten laaditaan suunnitelma, jota täydentävät lyhyiden aikavälien- viikkojen tai päivien- betonointikohdekohtaiset suunnitelmat. (Sahlstedt ym. 2013, s.51)

### 6.1 Talvibetonointisuunnitelma

Kun betonirakentaminen tapahtuu talviaikana tai yleensä sellaisena ajankohtana, että sään muuttuminen kylmäksi on mahdollista, laaditaan betonityönsuunnitelman teon yhteydessä yleissuunnitelma talvibetonointitoimenpiteistä. Etenkin talvikautena on syytä panostaa betonointisuunnitelman laatimiseen yhteistyössä asianosaisten suunnittelijoiden ja betonitoimittajan kanssa. Yhteistyössä käydään läpi tavoitteet ja niiden saavuttamiseksi vaaditut toimenpiteet. (Sahlstedt ym. 2013, s.51)

## 6.2 Betonointipöytäkirja

Betonointipöytäkirja on asiapaperi, johon merkitään kaikki olennainen tieto paikallavalubetonointiin liittyvästä tapahtumasta. Betonointipöytäkirjan liitteenä on betoniauton rahtikirja, johon on merkitty tarvittaessa työmaalla lisätyt lisäaineet. Työmaan valvontatoimenpiteisiin kuuluu tarkastaa ennen valun aloittamista rahtikirjasta betonilaatu, jotta se vastaa suunnitelmissa olevaa betonia. Kuvassa 11. on esimerkki betoniauton mukana tulleesta rahtikirjasta. Betonointipöytäkirjaan merkitään muun muassa rakennuksen lohkot tai moduulit, jotta tiedetään mitä osia rakennuksesta on kulloinkin valettu.

Betonointipöytäkirja tulee arkistoida huolellisesti. Betonointipöytäkirja on asiakirja, jonka avulla voidaan jälkeenpäin tarvittaessa jäljittää betonitehtaalte saakka kunkin betoniannoksen tiedot. Betonointipöytäkirjaan merkitään kaikki olennaiset tiedot betonoitavasta osasta sekä olosuhteista betonoinnin aikana. (Sahlstedt ym. 2013, s.53)

Betonointi pöytäkirjaan merkitään mm.

- kohteen perustiedot
- betonitoimittaja-, valuryhmä- ja valvojatiedot
- testien, koevalujen ja varsinaisen betonoinnin suorittamisajankohdat
- ilman ja betonimassan valun alkaessa ja päättyessä
- käytetty kalusto
- lämpötilamittausten otokset
- jälkihoidon tarve ja siihen käytetyt aineet ja menetelmät
- arviot jäätymislujuuden ja muottien purkulujuuden saavuttamisesta.



## 7 Ohjekortin laatimisprosessi

Opinnäytetyön tuotos on ohjekortti ontelolaattojen sauma- ja reunavaluun talvisissa olosuhteissa. Ontelolaattojen sauma- ja reunavalujen betonointiin liittyvä ohjekortti opastaa ontelolaattojen saumavaluprosessin eri vaiheet talvibetonointiaikana. Tämän luvun kappaleissa kuvataan tuotekortin laatimisen aikana esiin tulleita kysymyksiä. Ohjekortin tiedot perustuvat tutkittuun tietoon eri alan lähteistä sekä kokemukseen työmaalla suoritettuihin betonivaluihin talvisissa olosuhteissa.

### 7.1 Miten ohjekortti laadittiin?

Ohjekortin laatimisen malliksi etsin olemassa olevia ohjekortteja, joiden mallin mukaan ohjekortti saatiin näyttämään ohjekortilta.

Tämän työn ohjekortin malli on otettu RT-kortiston ohjekorteista. Kuvassa 12. on yksi-RT-kortti, jota olen käyttänyt mallina ohjekortin visuaalisessa ulkomuodossa

Kuva 12. Ratu 0403 kortin ohje betonitöiden valmistelusta. (Rakennustieto, 2012)

Ratu 0403

Menekit ja menetelmät 7

#### Työkohteen valmistelu

6. Työkohte otetaan vastaan. Työkohdetta vastaanotettaessa tarkastetaan, että muotittyo ja rauditus ja mahdolliset muut edeltävät työvaiheet ovat betonoinnin edellyttämässä valmiudessa ja täyttävät suunnitelmien vaatimukset. Kaivantojen luiskien tulee olla riittävän loivat ja kulkuteiden kantavuus tarkastettu. Peittyvien rakenteiden tulee olla valmiit, tarkastettuja ja hyväksytyjä. Kohteen vastaanototarkastuksesta kirjoitetaan muistio, johon merkitään ylös havaitut virheet ja puutteet. Virheet ja puutteet korjataan ja tarkastetaan ennen töiden aloittamista.
7. Työkohteeseen järjestetään sähkö, valaistus ja tarvittavat jätteastiat työssä syntyville eri lajitteluluokkien jätteille. Siirretään työssä tarvittavat koneet, kalusto ja materiaalit työkohteeseen ja suojataan ne sateelta.

#### Olosuhteet

8. Olosuhteet asennuspaikalla tulee järjestää sellaisiksi, että työssä saavutetaan vaadittu laatutaso. Vallitsevien sääolosuhteiden vaikutus betonointiin ja nostotyöhön selvitetään ennen töiden aloittamista. Betoniastioiden nostot nostokoneella on keskeytettävä, mikäli tuulen voimakkuus on yli 15 m/s. Kulkutiet, telineet, tikkaat, ja muotit saattavat olla liukkaita lumen ja jään vaikutuksesta. Varmistetaan sähkön saatavuus, riittävä valaistus sekä työkohteen siisteys. Ulkopuolisten tahon liikkuminen työskentelyalueella estetään erottamalla se muusta työmaasta suoja-aitojen, pukkien tai lippusiiman avulla.

#### Tarkista

- sähkö, valaistus ja jätteastiat
- olosuhteet: tuuli, lämpötila ja kosteus
- pölyntorjunta

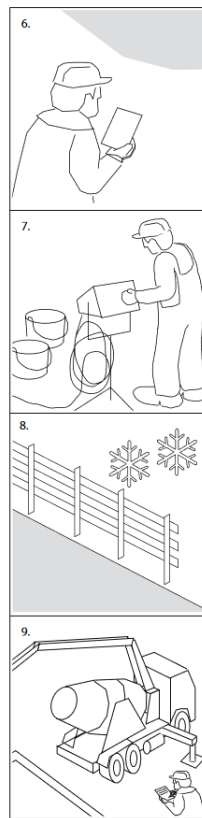
#### Pumppubetoniauto

9. Varmistetaan pumppuauton pystytyspaikka, kuten ulottumat, maaperän kantavuus, auton sijoittelu, siten että tukijalat saadaan ääriasentoon sekä työmaaliikenteen turvallisuus betonoinnin aikana.
10. Suunnitellaan ja rakennetaan betonipumppauksen pumppulinja ja suojataan valmis rakennus ja työmaan henkilöliikenne.

#### SIIRROT

#### Siirto nostoastialla

11. Nostoastia täytetään välisilosta tai suoraan betoniautosta.



## 7.2 Miksi ohjekortti laaditaan?

Toimivan ja riittävän yksinkertaisen talvibetonointityön ohjekortin tarve työmailla helpottaa päätöksen tekoa, joka liittyy betonivalujen lämmityksiin. Ohjekortti antaa malleja betonivalun lämmittämiseen usein nopeasti muuttuvissa olosuhteissa. Ohjekortteihin on koottu toimiviksi todettuja menetelmiä, jotka saattavat nopeuttaa päätöksentekoa työmaalla. Hyvä ohjekortti auttaa saamaan laadukkaita ja suunnitellun käyttöään mukaisia betonirakenteita.

## 7.3 Ohjekortti tuotos

Ohjekortti ontelolaattojen sauma- ja reunavaluista valikoitui tämän opinnäytetyön tuotokseksi. Ontelolaattojen reuna- ja saumavalut ovat ehkä haastavimpia betonointitöitä talviaikaan, kun valut ovat pieniä ja muottipinnat kylmiä sekä muottipintojen puhtaanapito jäästä ja lumesta on haastavaa. Ontelolaattojen reuna- ja saumavaluissa jäätymisriski on ehkä suurempi, kuin massiivisemmissä valuissa. Tämän vuoksi lujuuden kehityksen aikana tapahtuva lämmitys korostuu. Ohjekortin merkitys lujuuden kehitykseen korostuu juuri ei-massiivisissa betonivaluissa. Muihin valutyyppeihin, kuten anturavaluihin, pilarivaluihin, lattiavaluihin tai mihin tahansa valutyyppeihin olisi myös järkevää tehdä ohjekortti, joka ottaa näiden valujen talvibetonointiin liittyvät ominaispiirteet huomioon. Ohjekortit voivat toimia ohjeistuksena koko betonialan arvoketjussa aina betonitehtaalta valmiiseen rakenteeseen asti. Betonointiprosessi on ymmärrettävä ja sisäistettävä kokonaisuudessaan, jotta voidaan saavuttaa laadukas betonirakenne sekä siihen olennaisesti liittyvä dokumentointi.

Opinnäytetyön tuloksena oleva ohjekortti voi olla osa betonointisuunnitelmaa ja ohjekortti voi toimia osana betonitekniikan opintomateriaalia.

Ontelolaattojen sauma- ja reunavalut käydään ohjekortissa läpi jo ennakkovalmisteluista lähtien aina lujuuden varmistamiseen saakka. Ohjekortti on tämän työn liite 3.

## 8 Pohdinta ja johtopäätökset

Betonointityöt ovat aina ainutkertaisia työvaiheita, joissa työn onnistumiseen liittyy paljon riskitekijöitä. Toteutuessaan riskit voivat johtaa kokonaan tai osittain epätäydelliseen lopputulokseen. Työmaalla keskustelut olosuhteiden hallinnasta saattavat juuri siksi olla haastavia vastuiden ja käytännön töiden paineiden alla. Betoniteknologian kehitys on edelleen voimakasta ja siihen liittyy varmasti paljon immateriaalioikeuksiin liittyvää tietoa sekä tutkimuksissa esiin tulleita ominaisuuksia, jotka voivat olla betonialan kilpailussa merkittäviä kilpailutekijöitä.

Betonointityöt talvella vaativat hyvää osaamista työmaaolosuhteissa. Betonivalun lämmityksen mitoitus on vaihtelevien säätilojen vuoksi haastavaa. Valittu betonoinnin lämmittämisen tapa saattaa olla usein mitoitukseltaan pieni. Usein voidaan tarvita usean lämmitysmenetelmän rinnakkaista käyttöä laadukkaan pakkasella tapahtuvan betonoinnin onnistumiseksi. Betonivalujen onnistumisen resepti sisältää toimivaa yhteistyötä betonointiin osallistuvien välillä niin, että betonin valmistaja, rakennesuunnittelija, valutöihin osallistujat sekä betonityönjohtajat jakavat mahdollisimman paljon tietoa onnistuneen talvibetonoinnin mahdollistamiseksi. Opinnäytetyö osaltaan osoittaa, että betonin kovettumista voidaan tarkastella teoreettisesti erilaisten laskelmien ja kaavojen avulla. Nämä laskelmat antavat tietopohjan betonoinnin käytäntöön. Työn tuotoksena laadittu ohjekortti ontelolaattojen saumavaluihin talvella antaa osaltaan selvät ohjeet seikoista, joiden avulla on mahdollista saavuttaa onnistunut ontelolaattojen saumavalu talvella. Skandinaavisissa talviolosuhteissa tapahtuvaa paikallavalubetonointia ja sen kaikkia jälkihoitomenetelmiä ei tiettävästi ole kovinkaan tarkkaan standardisoitu. Työmailla sovelletaan paljon erilaisia lämmityksen menetelmiä. Talvella tapahtuva paikallavalu ansaitsee lisää tutkimusta. Betonoinnin lämmitysmarkkinoilla on tilaa uusille innovaatioille, joilla talvibetonointia voitaisiin merkittävästi helpottaa.

Betonin lujuus kasvaa ajan funktiona. Lujittumisaika on suoraan verrannollinen lämpötilaan. Yleisesti voidaan sanoa, että mitä korkeampi lämpötila, sitä nopeammin betoni saavuttaa nimellislujuuksensa. Kuitenkin on otettava huomioon liiallisen lämmittämisen vaikutukset betoniin, missä sillä voi olla vaikutusta halkeiluun, kutistumiseen tai muuhun lujuuden alenemiseen. Betonia lämmitettäessä veden haihtuvuus on aina suurempaa ja se tulee ehkäistä mahdollisuuksien mukaan. Lämmitysratkaisuja päätettäessä ja niitä käytettäessä betonitöistä vastuussa olevien tulee olla selvillä, miten lämmityksestä tapahtuvaa veden haihtumista estetään. Erilaiset lämmitysmuodot ovat sovelluksia eri lämmitysmuotojen väliltä ja niissä ratkaisee paljon käyttäjien kyky soveltaa osaamistaan. Tämä aihealue kaipaa lisää tutkimusta ja innovaatioita, joilla voidaan nostaa talvibetonoinnin laadun tasoa sekä vähentää talvibetonoinnista aiheutuneita rakennusvirheitä sekä vaurioita.

Betonin materiaaliset ominaisuudet ovat kiistatta korkealla tasolla ympäri maailmaa. Betonialan CO<sub>2</sub>- päästöt tulevat pääosin sementin valmistuksesta, joka on betonialan arvoketjussa alkuvaiheessa. Valmis betonirakenne imee itseensä hiilidioksidia. Kestävä ja laadukas betonirakenne pitää edelleen pintansa myöskin ympäristöystävällisenä materiaalina. Mitä laadukkaammin betonirakenteet kyetään tekemään, sitä ekologisempia ne ovat. Laadukkaaseen betonoinnin resepti sisältää hyvät ohjeet.

## Lähteet

- Al-Neshawy, F. (2015). *Luentoaineisto 82.3131 betoniteknikka 2*. Aaltoyliopisto. Haettu 26. 4 2021 osoitteesta  
[https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/130904/mod\\_resource/content/1/Rak-82\\_3131\\_heat\\_calculations\\_2.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/130904/mod_resource/content/1/Rak-82_3131_heat_calculations_2.pdf)
- Betoniteollisuus Ry. (2. 3 2021). *Betoniteollisuus Ry*. Haettu 2. 3 2021 osoitteesta  
<https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betonin-historia/>
- Hämäläinen, H. (2013). *Talvibetonointi*. Haettu 14. 3 2021
- Junnonen, J.-m.;& Kankainen, J. (2012). *Rakennusurakoitsijan hankintakäsikirja*. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.
- Merikallio, T. (2015). *Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi*. Helsinki: Rakennustieto Oy. Haettu 20. 3 2021 osoitteesta <http://betoninkovetus.fi/wp-content/uploads/2018/11/BET-betonin-kuivumisen-nopeuttaminen-ohjekirja-2018.pdf>
- Pyy, H. (2021). *Runsaita ettringiittikiteytyymiä betonin huokosissa*. Haettu 13. 3 2021 osoitteesta <http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/bkr-2019/hannu-pyy-betonin-korjauskurssi-2019.pdf>
- Rakennustieto. (2012). *Ratu 0403*. Haettu 24. 3 2021
- Sahlstedt, S.;Koskenvesa, a.;Lindberg, R.;Kivimäki, C.;Palolahti, T.;& Lahtinen, M. (2013). *Talvibetonointi*. Helsinki: Betoniteollisuus Ry. Haettu 14. 3 2021
- Suomen Betoniyhdistys Ry. (2018). *Betoniteknikan oppikirja. BY-Koulutus*. Suomen Betoniyhdistys Ry. Haettu 10. 3 2021
- Suomen Betoniyhdistys Ry. (n.d). *www.betoniyhdistys.fi*.  
<http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betonilaborantti-ja-myllari-2020/3.jakso/betonin-lujuudenkehityksen-seuranta-2020.pdf>

**Liite 1: Excel laskentataulukko betonin kypsyysiän laskennassa sadgroven kaavan avulla.**

C23		=(C20+16)/36)*M2*C21	
1	A	B	C
2	Betonin lujituksen kehittymisajan laskenta		
3	Sadgroven menetelmässä betonin kypsyysikä t <sub>20</sub> lasketaan kaavalla:		
4	$t_{20} = (T+16 - C) / 36 \cdot C \cdot t$ (1)		
5	missä		
6	T on betonin lämpötila aikana t [°C]		
7	t on kovettumisaika [d]		
8	Jos betonin lämpötila T on vakio koko kovettumisajan, saadaan t <sub>20</sub> suoraan kaavasta. Yleensä t <sub>20</sub> joudutaan määrittämään suunnana ajanjaksoista, joissa lämpötila on ollut likimain vakio. (By 201, 2004, 350)		
9	betonin lämpötila 5 astetta		
10	kovettumisaika 5 vuorokautta		
11	Kypsyysikä 1,70 vrk		
12	Jos valittu rapidilla niin esim betonilla C30/37 (ola sif vastaan K40) saadaan		
13	lujuudekstrn. väijä 80%:		
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			

**Normaalisti kovettava betoni**  
sideaine CEM I 52,5 N

Lujuus / % K-lujuudesta

t<sub>20</sub>-aika / d

**Nopeasti kovettava betoni**  
sideaine CEM I 52,5 N

Lujuus / % K-lujuudesta

t<sub>20</sub>-aika / d

**Kuva 8.7** Normaalisti kovettavaa sementillä käytetäessä betonin suhteellisen lujuuden kehitys kypsyysajan funktiona. Betoni on valmistettu Yleis- tai SR-sementillä käyttäen.

Kypsyysikä t<sub>20</sub> [d]

**Kuva 8.8** Nopeasti kovettavaa sementillä käytetäessä betonin suhteellisen lujuuden kehitys kypsyysajan funktiona. Betoni on valmistettu Rapid- tai Mega-sementillä käyttäen.

Kypsyysikä t<sub>20</sub> [d]

Liite 2: Betonointipöytäkirja

## BETONOINTIPÖYTÄKIRJA

Työmaa:		Työnro:	12019
Urakoitsija:		Juokseva nro:	1
Betonityönjohtaja:		Pvm:	
Betonoitu osa:	Mod.		

<b>BETONI</b>		Toimittaja:					
Lujuus- ja rakenneluokka:		Kuormakirjoja liitteenä:		kpl			
Rasitusluokka:							
Käyttöikä:							
Notkeusaste:							
Max. raekoko mm.:							
Sementtilaji:	<input type="checkbox"/> CEM I	<input type="checkbox"/> CEM II	<input type="checkbox"/> CEM III	<input type="checkbox"/> CEM IV	<input type="checkbox"/> CEM V		
Sementin lujuusluokka:	<input type="checkbox"/> 32,5 N	<input type="checkbox"/> 32,5 R	<input type="checkbox"/> 42,5 N	<input type="checkbox"/> 42,5 R	<input type="checkbox"/> 52,5 N	<input type="checkbox"/> 52,5 R	
Lisäaineet ja määrät:							
Erityisvaatimukset:	<input type="checkbox"/> Vesiliveys	<input type="checkbox"/> Pakkasan kestävyys	<input type="checkbox"/> Kulutuskest. luokka:				
Sovellusalue:							
Betonointi:	alkoi klo	päättyi klo	kesto				
Betoniannoksia:				h			
Valmistettu betonimäärä:			Betoniannos (ka):	#JAKO/0! m <sup>3</sup>			
			Betonointinopeus:	#JAKO/0! m <sup>3</sup> /h			
Betonointikalusto	<input type="checkbox"/> Pumppu	<input type="checkbox"/> Ränni	<input type="checkbox"/> Hihna	<input type="checkbox"/> Nostoastia	<input type="checkbox"/> Kottikärry	<input type="checkbox"/> Muu, mikä:	
Tiivistämiskalusto	<input type="checkbox"/> Sauva	<input type="checkbox"/> Tärypalkki	<input type="checkbox"/> Muu, mikä:				

<b>SAAOLOT</b>		<input type="checkbox"/> Sade	<input type="checkbox"/> Lumisade	<input type="checkbox"/> Pilvinen	<input type="checkbox"/> Aurinkoinen	<input type="checkbox"/> Tuulinen	<input type="checkbox"/> Valu sisätiloissa
Ilman lämpötila betonointipaikalla:	alussa		°C	lopusa		°C	
Betonimassan lämpötila:	saapuessa		°C	peitettäessä		°C	
Sääsuojaus/Lämmitys:							
Betonityökunta:		RAM		RM	Tunteja yht.		

<b>JALKITYÖT</b>		<input type="checkbox"/> Hierto	<input type="checkbox"/> Jälikhoitoaine, mikä:	
	<input type="checkbox"/> Kastelu, miten:		Levitystapa:	
			Levityskerrat:	
	aloitus klo		lopetus klo	
			kesto	
				min.
Jäätymislujuus:		Muottien purkulujuus:		Jälkituenta:

Laatija pvm \_\_\_\_\_ Nimen Selvennys \_\_\_\_\_

Tarkastaja pvm \_\_\_\_\_ Nimen Selvennys \_\_\_\_\_

## Ontelolaataston saumojen ja reunojen talvibetonoinnin ohjekortti

### tuulettuvat alapohjat, välipohjat, yläpohjat

#### Johdanto

Tässä ohjekortissa esitetään





ontelolaattojen saumavaluun liittyvät työvaiheet, jotka ovat merkittäviä sekä huomion arvoisia, jotta ontelolaattojen sauma- ja reunavalu voi onnistua talvisissa olosuhteissa. Talvisiin olosuhteisiin ontelolaataston sauma- ja reunavalua suunnitteleva henkilö saa tästä ohjekortista ratkaisuvaihtoehtoja laataston lämmitykseen sekä betonin lujouden seurantaan. Ontelolaattojen tavibetonointiin liittyy riski myös onteloihin jäneen veden jääytymisriskistä, joka voi aiheuttaa vaurioita rakenteeseen, joka pääsee jäätymään.



## Ontelolaataston saumojen ja reunojen talvibetonoinnin ohjekortti

Otsikko	Toteutuksessa otettava huomioon	Kuva
<b>ENNEN BETONOINTIA</b>		
<b>Raudoitus</b>	Raudoitustarkastuksen suorittaa päärakennesuunnittelija tai hänen valtuutuksellaan vastaavatyönjohtaja. Raudoitustarkastuksessa varmistetaan betonipeitteen suojaetäisyydet sekä raudoituksen suunnitelman mukaisuus. Raudoituksen yhteydessä on syytä myös tarkastaa ontelolaattojen tunnuksista laattajärjestys, jotta eri tavoin punostetut laatat ovat oikealla paikalla.	
<b>Reunamuotit</b>	Reunamuottien tuenta tulee varmistaa tarvittaessa rakennesuunnittelijalta silloin, kun ontelolaatan pitkittäisille tai läpivientiaukkujen sivuille joudutaan tekemään alhaalta holvituin tuettavia reunavaluja.	
<b>Jään ja lumen poistaminen sekä valu-alustan lämmittäminen</b>	Jää ja lumi tulee täysin poistaa ontelolaattojen saumoista sekä reunavalumuoteista. Kuiva pakkaslumi on mahdollista osittain poistaa puhaltimella, mutta laataston esilämmitys tulee pakkassäällä varmistaa esim. laatan alapuolisen tilan lämmittämisellä, johon voidaan käyttää kaasua- tai polttoainekäyttöisiä lämmittimiä. Lumi ja jää on helposti poistettavissa muotista myös höyryllä, joka voidaan totetuttaa valuhetkellä. Höyryllä on mahdollisuus lisälämmittää myös ontelolaattojen valupintoja juuri ennen valua. Ontelolaataston valupintojen tulee olla sulana valu hetkellä.	
<b>Lämpötila-antureiden asennus</b>	Betonin lujuuden seuranta varten asennetaan riittävä määrä lämpötila-antureita, joista seurataan betonin lujuuden kehitystä. Lämpötilan seuranta anturit tulee laittaa riittävä määrä eri syvyyksiin, jotta saadaan uskottava tulos, jonka mukaan lujittumisreaktiota seurataan.	
<b>Lämmitysvaihtoehtoja</b>	Hölvn alapuolisen tilan lämmittäminen, sauma-valuihin asennettavat vastuslangat. Nopean alkulujuuden saavuttamiseksi kuumabetonin käyttö on hyvä vaihtoehto.	

## Ontelolaataston saumojen ja reunojen talvibetonoinnin ohjekortti

Otsikko	Toteutuksessa otettava huomioon	Kuva
<b>BETONOINNIN JÄLKEEN</b>		
Lämmityksen varmistus	Valun onnistumisen varmistamiseksi on järkevää nimetä vastuullinen henkilö, joka varmistaa lämmittimien häiriöttömän toiminnan kovettumisvaiheen aikana. Vastuullisen henkilön tulee olla perehdytetty lämpötilan seurantaan ja sen toimimattomuuteen liittyviin riskeihin. Eri lämmitysmuotoja käytettäessä varataan riittävä määrä energialähteestä riippuen polttoainetta, jotta se ei loppu kesken.	
Valupinnan suojaus	Ontelolaattojen saumavalun jälkeen holvi suojataan. Tällä toimenpiteellä estetään tuulen ja kylmän viiman vaikutus pinnassa olevaan betoniin. Suojaus auttaa myös saumassa mahdollisesti olevan vastuslangan lämmön tasaisemman jakautumisen kovettuvassa saumassa.	
Lujuudenkehityksen seuranta	Betonin lujuuden kehitystä voidaan seurata, kun tiedetään luotettavasti valun lämpötila sekä kovettumisreaktioon käytetty aika. Mitä tarkempaa on lämpötilan seuranta, sen tarkemmin voidaan arvioida lujuuden kehitystä. Työmaalla voidaan käyttää lämpötiloja määrääjain taltioivia dataloggereita, jolloin saadaan kok vuorokauden kattava ja tarvittaessa usean päivän ajalle ulottuva lämmönkehityskäyrä, josta on dadgroven kaavalla laskettavissa saavutettu lujuus. Reunavalujen holvituet voidaan poistaa vasta, kun lujuuden kehitys on saavuttanut muottien purkulujuuden.	
Muottien purku	Ennen muottien purkua tulee varmistua betonin riittävästä lujuudesta. Eri rasitusluokan betoneissa voi olla rasitusluokkakohtaisia ohjeita nimellislajuuden vaatimuksista ennen muottien purkua. Muottien purkamisen jälkeen rakenne tulee jälkitukea, jotta rakentamisen aikana aiheutuneet rasitukset eivät pääse vaurioittamaan rakennetta työmaa-ajaksista.	

Lähteitä:

Sahlstedt, S.;Koskenvesa, a.;Lindberg, R.;Kivimäki, C.;Palolahti, T.;& Lahtinen, M. (2013). *Talvibetonointi*. Helsinki: Betoniteollisuus Ry.