



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SANNI AALTO
TALVIBETONOINNIN YLEISIMMÄT VIRHEET JA RISKIT

Kandidaatintyö

Tarkastaja: Hannu Koski

TIIVISTELMÄ

SANNI AALTO: Talvibetonoinnin yleisimmät virheet ja riskit (Most Common Mistakes and Risks in Winter Concreting)

Tampereen teknillinen yliopisto

Kandidaatintyö, 24 sivua

Kesäkuu 2018

Rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Talonrakentaminen

Tarkastaja: Hannu Koski

Avainsanat: betonointiprosessi, betonointityö, lujuudenkehitys, riskit, talvi, talvi-betonointi, virheet.

Talvibetonointi on alle 5 °C:n lämpötilassa toteutettavaa betonointia, jonka ongelmat aiheutuvat suurimmaksi osaksi kylmästä lämpötilasta. Betonin lujuudenkehitys hidastuu lämpötilan laskiessa, joka voi johtaa talvella siihen, etteivät muotipurkulujuudet täyty suunnitellussa aikataulussa. Jotta betonin laatu ei olisi riippuvainen vallitsevasta vuodenaajasta, sääolosuhteet tulee huomioida betonointiprosessin jokaisessa vaiheessa. Betonointiprosessin monimutkaistuessa talvella riskit lisääntyvät ja prosessivaiheiden aikana tehtävien virheiden todennäköisyys kasvaa.

Tässä työssä on tutkittu talvibetonointiprosessissa esiintyviä yleisiä riskejä ja virheitä prosessivaiheittain rakennusalan julkaisujen ja kirjallisuuden pohjalta. Lisäksi huomioidaan betonin jäätyminen ja halkeilun aiheuttamat ongelmat sekä tarkastellaan betonin lujuudenkehitykselle alhaisesta lämpötilasta syntyviä riskejä. Prosessivaiheiden ohella työssä paneudutaan betonointityön työturvallisuus-, talous- ja aikatauluriskeihin. Työn tarkoituksena on koota talvibetonoinnin yleisimmistä riskeistä ja virheistä kattava kokonaisuus rakennusalan julkaisujen pohjalta. Työ on toteutettu kirjallisuustutkielmana ja aineistona on käytetty pääasiassa rakennusalan kirjallisuutta ja internetjulkaisuja.

Työn tutkimustuloksena havaitaan, että talvella betonoitaessa suurin riskitekijä on alhainen lämpötila. Talvella alhaisessa lämpötilassa valettu lämmittämätön betoni on altis lujuuden alenemalle, jäätymiselle, hidastuneelle lujuudenkehitykselle sekä muodonmuutoksille. Betonoinnissa tehtävät virheet johtavat usein betonin halkeiluun, joka heikentää betonirakenteen toimintaa. Työssä havaitaan betonointiprosessin oikeanlaisen toteutuksen tärkeys, sillä väärin toteutettu betonointi voi johtaa kustannus-, aikataulu- ja työturvallisuusongelmiin.

Työ on rajattu koskemaan Suomessa talonrakennustyömailla tapahtuvaa talvibetonointia, joten tarkempia tuloksia haluttaessa tutkimus tulisi ulottaa myös muihin betonointityömaatyyppeihin tai erilaiseen talvi-ilmastoon. Kattavamman tutkimustuloksen saavuttaisi myös huomioimalla betonin suhteuttamisvaiheessa tai betonitehtaalla tapahtuvat yleiset riskit ja virheet, joita tässä työssä ei ole tarkasteltu.

ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö toteutettiin Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laboratoriolle. Aiheeseen tartuin betonirakenteiden ongelmien ajankohtaisuuden vuoksi ja kiinnostuksesta talviaikaiseen betonirakentamiseen. Työn kirjoitusprossin aikana tietoisuuteni sääolosuhteiden aiheuttamiin ongelmiin kasvoi ja ymmärrän nykyään paremmin, miten ainutlaatuisista talviaikainen rakentaminen on Suomessa. Se, että nykytekniikka mahdollistaa samanlaisen laadun vuodenaikasta huolimatta, on seurausta siitä, että betonoinnin vuodenaikasadonnaisista ominaisuuksista on vahva tietoisuus. Tässä työssä on pyritty kokoamaan talvibetonoinnin yleisimmät virheet ja riskit yhteen tiedon löytämisen helpottamiseksi.

Työn kirjoittaminen oli prosessi, jossa tutustuin kattavasti suomalaisiin talvibetonointiaiheisiin julkaisuihin sekä yleisesti tutkimuksen tekemiseen. Haluaisin kiittää kandidaatintyön ohjaajaani Hannu Koskea avusta, hyvistä vinkeistä ja tutustuttamisesta tutkimusten maailmaan.

Tampereella, 4.6.2018

Sanni Aalto

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimusongelma ja työn tavoite	1
1.2	Käytetty aineisto.....	1
2.	TALVIBETONOINTIPROSESSI	3
3.	TUTKIMUSTULOKSET	6
3.1	Talvibetonoinnin suunnittelu.....	6
3.2	Betonin valinta	7
3.2.1	Betonityypit talvibetonointiin	7
3.2.2	Lujuudenkehitys.....	8
3.2.3	Lisäaineet	9
3.3	Betonin kuljetus.....	10
3.4	Muotti- ja valutyöt.....	11
3.4.1	Sääolosuhteet	11
3.4.2	Muottityöt.....	12
3.4.3	Betonointityö.....	13
3.4.4	Raudoitteet	14
3.4.5	Lämmitys	14
3.4.6	Jälkihoito ja sääsuojaus.....	16
3.4.7	Muottien purku.....	16
3.4.8	Työturvallisuus.....	17
3.5	Betonin jäätyminen	18
3.6	Betonin halkeilu	19
3.6.1	Plastinen painuma ja kutistuma.....	19
3.6.2	Betonin lämpötilan aiheuttamat ongelmat	19
3.6.3	Kuivumiskutistumat	20
3.7	Taloudelliset ja aikataululliset ongelmat.....	20
3.8	Tutkimustulosten ja lähdeaineiston luotettavuus	21
4.	YHTEENVETO	22
	LÄHTEET.....	24

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimusongelma ja työn tavoite

Talvibetonointi tarkoittaa betonin valamista alle viiden asteen lämpötilassa. Tällöin betonin kovettumisen takaamiseksi betonointimenetelmiä muutetaan lämpötilaan sopivaksi. [1] Suomen olosuhteissa kylmempiä ajanjaksoja, joissa kuukauden keskilämpötila laskee alle viiden asteen, on lokakuusta huhtikuuhun asti [2]. Näin ollen betonointi toteutetaan suurimman osan vuodesta talvibetonointina.

Talvibetonoinnissa on normaaliin betonointiin nähden omat riskinsä. Työnaikaiset virheet, epävarmat sääolosuhteet ja puutteellinen suunnittelu voivat pahimmassa tapauksessa aiheuttaa rakenteelle suuria vaurioita ja mahdollisesti aiheuttaa rakenteen sortuman. Näin ollen talvibetonoinnin riskien tarkastelu ja yleisimpien virheiden tiedostaminen saattavat säästää ylimääräisiltä kustannuksilta ja ajanhukalta. Kun riskit pystytään tunnistamaan ajoissa, ne voidaan ottaa huomioon suunnittelussa ja työnohjauksessa [3, s. 35].

Tässä työssä tarkastellaan talvibetonoinnin eri osa-alueiden yleisimpiä ongelmia. Tarkoituksena on koota eri vaiheiden riskit, virheet ja niiden mahdolliset ratkaisut yhteen. Näin saadaan selkeä kuva, mitä kaikkea tulee havainnoida ja tiedostaa betonirakenteiden talvikaikaisessa toteutuksessa. Työn tavoitteena onkin saada mahdollisimman kattava kuvaus kaikesta siitä, mikä heikentää talvella valetun betonin laatua ja aiheuttaa ongelmia betonoinnin suorittajalle. Tutkimusongelmana toimii siis kysymys, mitkä ovat talvibetonoinnin yleisimmät riskit ja virheet. Työssä tutkimusongelma on rajattu koskemaan talonrakennustyömaiden talvibetonointia.

Työssä on aluksi käyty läpi tyypillisen talvibetonointiprosessin kulku ja koottu talvibetonoinnin oikeanlaista toteutusta tukevia asioita. Itse tutkittavan aiheen tutkimustulokset, eli talvibetonoinnin yleisimmät virheet ja riskit, on koottu lukuun 3. Prosessivaiheiden ongelmien ohella työssä käsitellään virheiden myötä syntyneitä laatu-, aikataulu- ja kustannusongelmia.

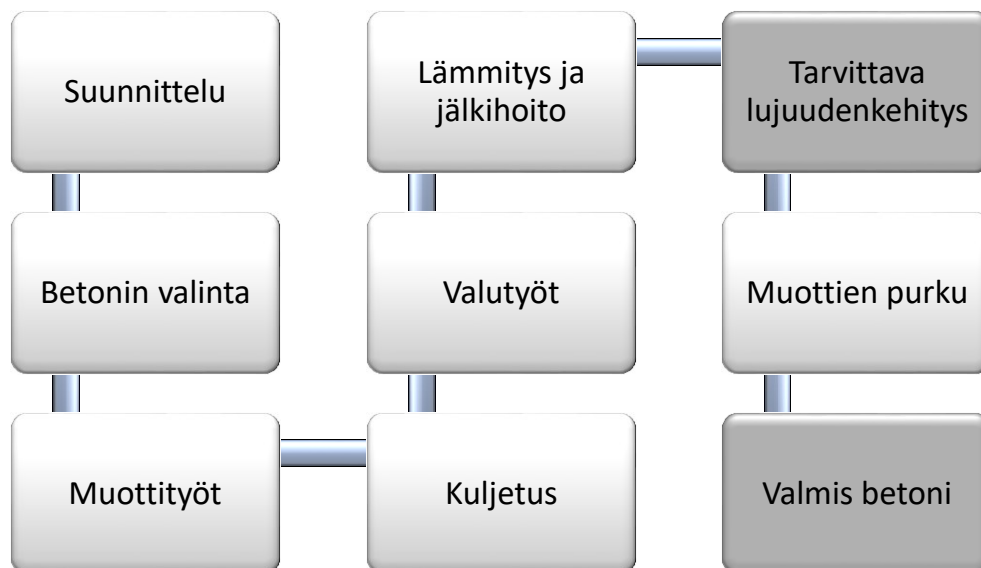
1.2 Käytetty aineisto

Työ on tehty kirjallisuustutkimuksena ja sen aineistona on pääasiallisesti käytetty rakennusalan julkaisuja ja teoksia. Lähteinä toimii muun muassa Betoniteollisuus ry:n julkaisema Talvibetonointi-kirja, [3] jossa talvibetonoinnin virheitä ja ongelmatilanteita käsitellään laajasti ja kattavasti. Työn lähteinä on myös käytetty Betoniteollisuus ry:n internetsivuilta löytyviä talvibetonointiprosessin eri vaiheista kertovia artikkeleita [2, 4, 5].

Talvibetonointia käsitteleviä lähteenä käytettyjä julkaisuja edellä mainittujen ohella ovat esimerkiksi Suomen Rakennusinsinöörien liiton kirja *Betonityöohjeet: betonointi, talvibetonointi ja paikkaus*, sekä Eero Kilven ja Asko Sarjan julkaisu *Rakentajan talvibetonointiopas: turvallinen talvibetonointi*. Suomen rakennusinsinöörien liiton kirja on kattava julkaisu talvibetonoinnin ohella myös normaalin talvibetonointiprosessin kulusta, sekä mahdollisten virheiden korjaamisesta. Eero Kilven ja Asko Sarjan julkaisu on Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tiedote, jossa käydään läpi kylmän sään betonoimisen pääkohdat. Työssä on hyödynnetty myös erinäisiä internetjulkaisuja tukemaan kirjallisia lähteitä. Näitä ovat muun muassa Finnsementin internetsivujen artikkelit [6, 7] sekä Ilmatieteenlaitoksen sivuilta löytyvät valtakunnalliset säätilastot [1, 8].

2. TALVIBETONOINTIPROSESSI

Talvibetonointi eroaa oleellisimmin lämpimän sään betonoinnista siten, että kylmissä olosuhteissa betonin kovettumisen varmistamiseksi tarvitaan erillistä lämmitystä. Näin varmistetaan, että betonin olosuhteet ovat koko prosessin ajan sellaiset, että lujuudenkehitys on hallittua ja suunnitelmien mukaista. Talvibetonoinnin ei tule erota laadullisesti muusta betonoinnista ja sen saavuttamiseksi joudutaan betonoinnissa käyttämään lämmityksen kaltaisia erityistoimenpiteitä. [9, s. 75] Talvibetonointiprosessi on siis lämpimämmän ilman betonointityöhön verrattuna monivaiheisempi. Kuvassa 1 on talvibetonoinnin prosessikaavio, jossa on esitelty prosessi karkeasti vaiheittain.



Kuva 1. Talvibetonoinnin vaiheet.

Kun lämpötilan voi odottaa laskevan alle viiden asteen valupäivänä, tehdään yleissuunnittelu ja rakennekohtainen betonointisuunnitelma [3, s. 50–52]. Yleissuunnittelu tehdään ennen betonointiprosessin alkamista betonointiin yleisesti liittyvistä asioista [9, s. 75]. Rakennekohtaisen betonointisuunnitelman on puolestaan tarkoitus ohjata talvibetonointiprosessin etenemistä ja toimia ohjeistuksena kullekin betonoinnille erikseen [3, s. 50–52]. Siinä käydään betonointiprosessi läpi alusta loppuun ja annetaan tietoa muun muassa betonin lujuuksista, lämmityslaitteistoista ja rakenteen dimensioista [3, s. 80–82]. Suunnitelman toteutumista seurataan erillisellä betonointipöytäkirjalla, johon kirjataan tehdyt toimenpiteet ja niiden poikkeamat suunnitellusta [9, s. 75]. Suunnitteluosuuden yhteistyö työnjohtajan, betonin toimittajan ja rakennesuunnittelijan kanssa on tärkeää virheiden ja häiriötekijöiden välttämiseksi [10, s. 13].

Betonilaadun ja -tyypin valinta on myös tärkeä osa betonointiprosessia, sillä sen vaikutus työn laatuun ja betonoinnin onnistumiseen on suuri. Betonin valinnassa tulee ottaa huomioon betonirakenteen käyttötarkoitus sekä siihen olennaisesti liittyvät rasitus-, lujuus- ja rakenneluokat, suojaavien betonipeitteiden paksuudet, sekä toleranssit ja pintaluokat. Kun suunnitelmat tehdään oikein, on tulokseksi mahdollista saada toimiva ja pitkäikäinen rakenne. [5]

Talvella betonin tärkeimpiä ominaisuuksia on kyky sietää toistuvia sulamis- ja jäätymissyklejä normaaliloissa sekä suolarasituksen alaisena [3, s. 9]. Betonityyppi ja -laatu valitaan yleensä samaan aikaan, kun rakennekohtaisia suunnitelmia tehdään. Tämän jälkeen suunnitelmia tarkennetaan lähempänä valuajankohtaa säätilan ja työskentelyolosuhteiden mukaan. Betonin valinta on yhteistyötä rakennesuunnittelijan, betoniasiantuntijan ja työnjohdon kanssa, sillä betonin lujuudenkehitykseen vaikuttavia tekijöitä, kuten säätilaa, on vaikea hallita ennakkoon. Betonin lujuudenkehitykseen vaikuttavat esimerkiksi muotikierron pituus, muottijärjestelmä ja sen jälkituenta, lämmitysmenetelmät, lämpösuojaus sekä sääolosuhteet ja sääsuojaukset. Talvibetonointiin soveltuvia betonilaatuja ovat esimerkiksi kuumabetoni, pakkasbetoni ja pakkasenkestävä betoni. [3, s. 19]

Betoni joudutaan usein kuljettamaan betoniasemilta työmaille ja kuljetusmatkat saattavat olla pitkät. Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisun mukaan betonia kuljetettaessa tulee huomioida betonin lämpötila ja jäykistyminen, jottei betoni pääse sitoutumaan enenaikaisesti. Myös massan tasalaatuisuuteen tulee kiinnittää huomiota, ettei massasta tule erottunutta. Betonin sitoutumiseen ja erottumiseen voi vaikuttaa esimerkiksi lisäaineilla ja valitsemalla kullekin massalle sopivan maksimiraekoon. [9, s. 38–39]

Kuljetuksen jälkeen betoni siirretään muotteihin. Eero Kilpi ja Asko Sarja toteavat kirjassaan Rakentajan talvibetonointiopas [10, s. 18-19], että ennen betonin valamista tehtävässä muottityössä muotteihin asennetaan lämmityslaitteistot sekä lämpötilan mittaamiseen tarvittavat välineistöt. Muotit myös lämpösuojataan, niille varataan lämmittimet sekä varalämmittimet ja ne puhdistetaan lumesta ja jäästä ennen betonoinnin alkua. Muotit sekä niiden lähiympäristö myös lämmitetään. [10, s. 18–19]

Muotti- ja raudoitustyön jälkeen voidaan siirtyä itse betonointiin. Kilven ja Sarjan mukaan betonointi pyritään suorittamaan niin, ettei massa pääse jäähtymään liiaksi prosessissa [10]. Betonointaessa pyritään myös olemaan vahingoittamatta asennettuja raudoituksia. Ennen betonointia on tärkeää muistaa tarkistaa sääennuste, jotta esimerkiksi lämpötila on betonointiin sopiva [3, s. 53]. Betonointityön jälkeen valu suojataan ja lämmityslaitteet laitetaan päälle [10, s. 20].

Sitoutuessaan betonin lämpötila nousee sementin hydrataatioreaktion takia, jolloin lämpötilat massiivisissa rakenteissa voivat nousta korkeiksi [11]. Tarkoituksena on huolehtia, etteivät betonin lämpötilaerot kasva liian suureksi, sillä epätasainen lämpötila rakenteessa voi aiheuttaa siihen halkeiluja [3, s. 60–61]. Oikeanlaisella jälkihoidolla voidaan vähentää

rakenteen sisäisiä lämpötilaeroja. Sopiva jälkihoitoaika on tavallisesti 3 – 14 vuorokautta ja se riippuu betonin rasitusluokasta sekä halutusta nimellisljuudesta [3, s. 60–61]. Jälkihoitoa tulee jatkaa niin kauan, kunnes tietty prosentti betonin nimellisljuudesta on saavutettu. Luokille X0 ja XC1 osuus on 60 %, kun taas luokille XF2, XF4 ja kulutuksen kestäville betoneille vaaditaan 80 % nimellisljuudesta. Muille luokille ljuuden tulee olla 70 % nimellisljuudesta, kunnes jälkihoidon saa lopettaa. [3, s. 60] Jälkihoidon tarkoituksena on varmistaa, että betoni vastaa ominaisuuksiltaan, kuten ljuusluokaltaan ja ulkonäöltään, tehtyjä suunnitelmia.

Betonoitaessa täytyy kiinnittää huomiota teknisten seikkojen ohelle myös työturvallisuuden. Kivimäen et al. mukaan talvella betonointiin syntyy lumen, jään ja kylmän sään myötä paljon turvallisuusriskitekijöitä. [3, s. 35] Työntekijöiden turvallisuus ja ergonominen työympäristö ovat varteenotettavia asioita talvibetonointityömailla.

3. TUTKIMUSTULOKSET

3.1 Talvibetonoinnin suunnittelu

Talvibetonointiin on tärkeää varautua ajoissa, ja kylmän sään mahdollisuus edellyttääkin betonointisuunnitelman tekemistä yhteistyössä rakennesuunnittelijan kanssa. Suunnitelman on tarkoituksena toimia ohjeena valulle ja se sisältää tietoa esimerkiksi betonin valinnasta, sekä valun lämmittimisestä ja suojauksista. [3, s. 50–52]

Suunnittelijalla tulee olla asiaankuuluva pätevyys suunnitella rakenteelle asetetun seuraamusluokan mukaisia betonirakenteita. Betonityönjohtajan pätevyyden pitää puolestaan olla toteutusluokan mukainen. [3, s. 11] Oikeanlainen koulutus pohja ja pätevyys ovat tärkeitä, sillä talvibetonoinnin virheitä voidaan vähentää oikeanlaisella työnjohdon ja työntekijöiden koulutuksella [10, s. 16]. Suunnitteluvirheillä voi olla rakenteelle vakaviakin seurauksia.

Suunnitteluvirheet ovat esimerkiksi tapauksia, joissa rakenteelle ominaisten staattisten seikkojen huomioonotto on unohdettu tai joissa korkeasta lämpötilasta, lämpötilaeroista tai kutistumasta aiheutuvia pakkovoimia ei ole otettu huomioon. Myös materiaalien korrosioherkkyyden huomiotta jättäminen on suunnitteluvirhe, joka voi johtaa rakenteen vaurioitumiseen. Rakenteet saatetaan myös virheellisesti suunnitella yhteensopimattomiksi tai niissä voi olla yhteistoiminnallisia eroja. Virheitä suunnitteluun voi myös syntyä, jos rakenteelle aiheutuvia kuormia ei huomioida oikein tai jos rakenteet perustetaan soveltumattomalla perustamistavalla. Vaurioihin johtavia suunnitteluvirheitä ovat myös virheellisesti suunnitellut tuennat ja yleiset mitoitusvirheet. [9, s. 127]

Suunnitelmissa tulee kiinnittää huomiota esimerkiksi työsauman sijoittamiseen, sillä sen vääränlainen sijoituspaikka voi pahimmillaan johtaa rakenteen sortumaan. Eräs esimerkki tästä on jatkuvan laatan virheellisesti sijoitettu työsauma jatkuvana tukena toimivan seinän kohdalle, mikä muuttaa laatan toimintaa muotipurkuhetkellä yksinkertaisesti tuetuksi, jos työsauman betonointi on keskeneräinen tai liian tuore. Tällöin laatan kenttämomentti kasvaa 50 % jatkuvaan laattaan nähden, työsaumaseinän tukipinta jää pieneksi, sekä laatan alapinnan raudoitteiden ankkurointiin voi jäädä puutteita. Näin laattaan voi syntyä sortumavaara. [9, s. 77] Virheiden välttämiseksi onkin tärkeää pystyä tunnistamaan riskit ajoissa, jotta ne voidaan ottaa huomioon suunnittelussa ja työnohjauksessa [3, s. 35].

3.2 Betonin valinta

3.2.1 Betonityypit talvibetonointiin

Talvibetonoinnissa nopeaa muottikiertoa käytettäessä suositellaan käytettäväksi yhtä lujuusluokkaa suurempaa betonimassan nimellislujuuksi tai nopeasti kovettuvaa sementtiä betonin nopeamman lujoudenkehityksen ja lämmityskustannussäästöjen takia. [9, s. 78–79] Normaalisti kovettuvaa betonia voidaan käyttää talvivaluissa, kun lämmitys ja sääsuojaus ovat tehokkaita, eikä riskiä kovista pakkasista ole [3, s. 19].

Oikeanlaisen betonin valinta on tärkeää, sillä eri paikkoihin sijoitetut betonirakenteet altistuvat erilaisille rasituksille. Kivimäen et al. [3, s. 20–22] mukaan talvibetonointiin on saatavilla erilaisia talvivalamiseen soveltuvia betonityyppejä, joita ovat esimerkiksi kuumabetoni, pakkasbetoni ja P-lukubetoni.

Kuumabetoni on esilämmitettyä betonimassaa, jonka lämpötila on yleensä noin 30 celsiusastetta betoniasemalta lähtiessään, kun taas normaalin betonimassan lämpötila on yleensä noin 20 astetta [3, s. 20–21]. Yli 60 °C:n kuumabetonia tulee käyttää vain silloin, kun pyritään saamaan hyvin suuria varhaislujuuksia, sillä massan työstettävyyttä heikkenee lämpötilan myötä. Myös lämpötilan aiheuttama lujuskato käy yli 60 °C:n massoissa haitalliseksi. [12, s. 7]

Ongelmana kuumabetonoinnissa on, että korkean lämpötilan vuoksi betonin sitoutumisen ja työstettävyyden aika lyhenee, mikä vaikuttaa erityisesti ensimmäisten tuntien lujoudenkehitykseen ja sitoutumiseen. Korkeammassa lämpötilassa olleen betonin loppulujuus ei yleensä saavuta vastaavan matalammassa lämpötilassa olleen kappaleen loppulujuutta, vaan jonkinasteista lujuskatoa pääsee syntymään. Loppulujuus alenee varsinkin, jos kuumabetonin lämpötila pääsee nousemaan yli 50 celsiusasteen. Parhaimman tuloksen saa, kun kuumabetonivalun eristää ja suojaa hyvin reuna-alueita myöten, jotta betonin lämpö saadaan hyödynnettyä. Kuumabetonin käyttö säänkestävissä ja massiivisissa rakenteissa ei ole suositeltavaa sen suuren lämmönkehityksen takia. [3, s. 20–21] Liian suureksi kohonnut lämpötila voi aiheuttaa betoniin lujuskatoa [3, s. 15].

Pakkasbetoni on puolestaan betonilaatu, joka ei vaurioidu jäätyessään ennen jäätymislujouden saavuttamista. Sen käyttökohteita ovat pienet betonointityöt, kuten saumavalut, sillä sen lujoudenkehitys on hidasta ja se käytännössä pysähtyy -10 celsiusasteen lämpötilassa. Pakkasbetonia ei voi käyttää paikoissa, jossa valmiiseen rakenteeseen kohdistuu pakkas- ja suolarasitusta tai jos rakenteelle on annettu rasiusluokka XF. Pakkasbetonin ongelmana on myös sen työstettävyyttä: hitaat valut ovat lyhyen työstettävyyden takia ongelmallisia yli 0 celsiusasteessa. [3, s. 22]

Itsestään tiivistyvä betoni on betonityyppi, jota ei tarvitse erikseen tiivistää. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi ahtaisiin ja hyvin korkeisiin valuihin, joiden tiivistäminen on hankalaa. [13, s. 409] Itsestään tiivistyvän betonin käyttö pakkasella on ongelmallista, sillä se sisältää runsaasti lisäaineita ja sen lujuudenkehitys hidastuu merkittävästi kylmissä olosuhteissa [3, s. 19].

3.2.2 Lujuudenkehitys

Eurokoodin mukaiset betonin lujuusluokat määräytyvät betonin lieriö- ja kuutiopuristuslujuuksien nimellisljuuksista, joiden arvosteluikä on 28 vuorokautta. Käytössä on C-luokitusjärjestelmä, jossa puristuslujuus ilmoitetaan lieriö- ja kuutiopuristuslujuuksien suhteena. Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) B4 mukaan suunniteltujen rakenteiden lujuusluokituksena käytetään puolestaan K-lujuusluokkia. Luokituksilla on vastaavuuksia, ja esimerkiksi rakentamismääräyskokoelman lujuus K45 ja eurokoodin luokka C35/45 ovat lujuusominaisuuksiltaan samat. [3, s. 6] Taulukossa 1 esitetään rakennekohtaisesti yleisimmät lujuusluokat, suurimmat raekoot ja notkeudet [5].

Taulukko 1. Eri käyttötarkoituksiin soveltuvat betonin ominaisuudet. [5]

Rakenne	Lujuusluokka	Suurin raekoko	Notkeus (sVB)
Perustukset	C25/30 (K30)	16, 32	Notkea (S2)
Maanvaraiset rakenteet	C20/25 (K25)	16	Vetelä S3 tai notkea S2
Kulutusta kestävä rakenne (autotallin laatta)	C35/45 (K45)	16	Notkea (S2)
Pintabetonilattia 30-50 mm	C20/25 (K25)	8, 12	Vetelä S3
Pintabetonilattia 50-80 mm	C20/25 (K25)	16	Notkea (S2)
Kelluvat lattiat (> 40 mm)	C20/25 (K25)	8, 12, 16	Vetelä S3 tai notkea S2
Sisätilojen pilarit ja seinät	C20/25 (K25)	16	Notkea (S2)
Ulkorakenteet	C30/37 (K37)	8, 12, 16, 32	Notkea (S2)

Lämpötilalla on suuri vaikutus betonin lujuudenkehitykseen. Talvella lämpötilan ollessa alhainen betonin lujuudenkehitys hidastuu ja 0 celsiusasteen alapuolelle mentäessä lakkaa käytännössä kokonaan. Normaalisti betoni vaatii noin 20 celsiusasteen lämpötilan, jotta sen lujuus kehittyisi tarpeeksi nopeasti. Lämpötila ei saa kuitenkaan ylittää 60 celsiusastetta, jottei betoniin syntyisi korkean lämpötilan aiheuttamaa lujuuskatoa. [3, s. 15] Taulukossa 2 on koottuna betonimassan lämpötilojen vaikutukset lujuudenkehitykseen.

Taulukko 2. *Betonimassan lämpötilojen vaikutus lujuudenkehitykseen.* [3, s. 15]

Lämpötila	Huomioita
yli +60 °C	Korkean lämpötilan seurauksena esiintyy lujuuskatoa ja betonin säilyvyyden heikkenemistä.
+50°...+60 °C	Vuorokauden aikana saavutettu lujuus kasvaa, mutta loppulujuudessa voi olla lujuuskatoa.
+30 °C...+40 °C	Suosittelava lämpötila betonimassan kovettumiselle.
+20 °C	Tavoitelujuus saavutetaan noin 28 vuorokaudessa.
+5 °C	Yhden vuorokauden jälkeistä lujuutta ei ole havaittavissa.
alle 0 °C	Lujuudenkehitys lähes lakkaa ja betonilla on jäätymisriski.
-10 °C...-15 °C	Betonin lujuudenkehitys on käytännössä pysähtynyt. Jäätyneellä betonilla saattaa olla valelujuutta.

Talvibetonoinnin ongelmana on kylmän betonimassan aiheuttama lujuudenkehityksen hidastuminen [3, s. 15]. Yleisesti talvibetonoinnin epäonnistuminen johtuu siitä, ettei betoni ole liian alhaisen lämpötilan takia saavuttanut vaadittua lujuutta [10, s. 7]. Kivimäen et al. [3, s. 24] mukaan lujuudenkehitystä voi nopeuttaa esimerkiksi käyttämällä nopeasti kovettuvaa betonia, nostamalla betonimassan lämpötilaa sekä lämmittämällä ja eristämällä valettuja rakenteita. Lujuudenkehitystä voi nopeuttaa myös käyttämällä nimellislujudeltaan yhden luokan lujempaa betonia [9, s. 77–78].

Riittämätön lujuus rakenteessa tai sen osassa voi johtaa halkeiluun ja ääritapauksissa rakenne voi sortua muotteja purettaessa. Tämän vuoksi on erittäin tärkeää seurata betonin lämmönkehitystä koko rakenteessa ja epävarmuuksien välttämiseksi tarkistaa betonin lujuus ennen muottien purkua esimerkiksi ainetta rikkomattomilla menetelmillä. [10, s. 8]

3.2.3 Lisäaineet

Lisäaineilla on tarkoitus vaikuttaa betonin ominaisuuksiin, kuten lujuudenkehitykseen ja sitoutumiseen. Toivottujen ominaisuuksien lisäksi lisäaineilla on myös yleensä jonkinasteisia sivuvaikutuksia, jotka saattavat aiheuttaa ongelmia talvibetonoinnissa. [3, s. 23] Kylmällä säällä tulee kiinnittää huomioita myös lisäaineiden yliannostusvaaraan [9, s.

79]. Yliannostustapauksissa betonierien käyttö kielletään tai liiallisen lisäaineen vaikutukset betonin ominaisuuksiin lyhyt- ja pitkäaikaisessa käytössä tutkitaan tarkasti [10, s. 29]. Yleisesti käytettäviä lisäaineita ovat huokostimet, kiihdyttimet, hidastimet ja notkistimet.

Huokostimilla on tarkoitus tehdä betonista säänkestävää lisäämällä sinne halkaisijaltaan 200–800 µm korkeita ja 400 µm etäisyydellä toisistaan olevia ilmakuplia, suojahuokosia, joihin betonin kapillaarihuokosissa oleva vesi voi jäätyessään laajeta [3, 15, s. 23]. Suomessa lähes kaikki ulkona olevat betonirakenteet altistuvat jäätymiselle ja sulamiselle, jolloin niissä käytettävän betonin tulee olla säänkestävää [15]. Näin ollen suuri osa tehtävästä betonimassasta täytyy huokostaa. Finnsementin huokostinmerkin käyttöohjeen mukaan [16] huokostamisen ongelmana on kuitenkin negatiivinen vaikutus betonin nimellislujuteen. Yksi prosentti lisättyä ilmaa betonimassaan alentaa betonin loppulujuutta noin 5 prosenttia [16].

Kiihdyttimien tarkoituksena on puolestaan nopeuttaa betonin sitoutumista, minkä ansiosta betoni saavuttaa purkulujuutensa aiemmin. Kivimäen et al. mukaan kuitenkin talvi-betonoinnissa kiihdyttimillä ei pystytä juurikaan nopeuttamaan kovettumista. Kuitenkin osa kiihdyttimistä sisältää vedenjäätymispistettä alentavia ominaisuuksia [3, s. 23]. Kiihdyttimien toiminta perustuu kalsiumkloridiin, jolla on teräksen korroosiota edesauttavia vaikutuksia. Kloridien käyttöä valvotaan ja kiihdyttimien käyttö esimerkiksi jännitetyissä betonirakenteissa on kokonaan kielletty korroosiovaaran takia. [9, s. 79]

Lisäaineiden säilytykseen tulee kiinnittää huomiota. Lisäaineet tulee suojata jäätymiseltä, liian suurelta kuumuudelta ja suoralta auringonvalolta, jotta niiden toimivuus ja oikea käyttöikä voidaan taata. Lisäaineet tulee myös säilyttää puhtaissa olosuhteissa, jottei niihin muodostu mikrobikasvustoja. Myöskään vanhentuneita tuotteita ei tule käyttää. [17]

3.3 Betonin kuljetus

Talvella betonin kuljetukset tulisi pitää lyhyinä ja välttää mahdollisia siirtoja kulkuvälineestä toiseen betonin jäähtymisen minimoimiseksi. Massan eristys tai suojaus ovat välttämättömiä pitkillä kuljetusmatkoilla, sillä massaan syntyy kuljetuksen aikana lämpöhäviöitä. Kriittisimmät kuljetuksen ja siirron vaiheet ovat kuitenkin massan siirtäminen ja hitaasti tapahtuva valaminen, jolloin massan lämpötila laskee eniten. [3, s. 57] Liian nopeasti jäähtynyt massa voi aiheuttaa betonin halkeamisen [3, s. 71].

Ongelmia voi koitua myös sementin sitoutumisesta ja massan työstettävyyden heikkeneemisestä kuljetuksen aikana, jos massalla on huono kuljetuskestävyys. Liian aikaisen kovettumisen voi estää käyttämällä hidastinta, lisäainetta, jonka tarkoituksena on hillitä massan sitoutuminen kuljetuksen aikana. Työstettävyyttä ja kuljetuskestävyyttä voi puolestaan parantaa notkistimilla ja huokostimilla, joista notkistimet myös vähentävät massan vedenerottumista. [9, s. 38]

Kuljetuksessa veden ohella myös kiviaines pyrkii erottumaan. Erottumisella tarkoitetaan betonimassan tasalaatuisuuden heikkenemistä, joka johtaa kerrostumien muodostumiseen. Erottumista voidaan ehkäistä pienentämällä runkoaineen maksimiraekokoa tai valitsemalla massalle pienempi vesisementtisuhte. [9, s. 39] Talviolosuhteisiin kelpaamattoman kuljetuskaluston takia betoni voi päästä myös jäätymään. Kivimäen et al. mukaan ennen massan sitoutumista jäätyneet betoni on lujuudeltaan alhaisempaa ja mahdollisesti myös halkeaa ja vaurioituu aikaisen jäätyneen seurauksena. [3, s. 73]

Myös työmaiden olosuhteet tulee ottaa huomioon betonikuljetuksissa. Talvibetonoinnin kannalta huonon maaperän merkkejä ovat riittämätön kantavuus betonointivälineistölle, sekä liiallinen jyrkkyys ja liukkaus. Mahdollisen roudan sulamisen aiheuttama maan kantavuuden lasku tulee huomioida talvella betonoitaessa. Myös työmaan teiden tulee olla mitoiltaan tarpeeksi leveitä betonikuljetuskalustolle. [3, s. 57]

3.4 Muotti- ja valutyöt

3.4.1 Sääolosuhteet

Ilmatieteen laitoksen mukaan Suomen pisin vuodenaika on terminen talvi, jolloin lämpötila pysyy suurimmaksi osaksi nollan alapuolella. Sää on silti hyvin vaihtelevaa ja saattaa muuttua nopeasti. Varsinkin maan etelä- ja länsiosissa on talvisin pitkiäkin leutoja jaksoja, jotka johtuvat Atlantilta tulevista matalapaineista. [8] Sääolosuhteet ovat siis suuren osan vuodesta betonointiprosessille haasteellisia.

Talvella lämpötila on alhainen, mikä laskee myös betonimassan lämpötilaa. Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisun [9, s. 111] mukaan alhaisessa lämpötilassa olevan betonimassan sitoutuminen hidastuu, joka viivästyttää lujuudenkehityksen alkua ja näin ollen hidastaa lujuudenkehitystä. Jo alle 10 celsiusasteen lämpötila voi aiheuttaa hidastumista betonin lujuudenkehitykseen. Nopeisiin lämpötilan vaihteluihin tulee siis varautua ajoissa. [3, s. 27]

Tuuliolosuhteet vaikuttavat myös usein negatiivisesti betonointiprosessiin. Riskinä on, että kova tuuli hidastaa betonointia esimerkiksi aiheuttamalla esteitä nosturityöskentelyyn. Tuulella on myös vaikutuksia betonin kovettumiseen, sillä se haihduttaa vettä betonin pinnalta ja näin ollen lisää varhaisvaiheen kutistuman riskiä. [3, s. 33] Varhaisvaiheessa syntyvä kutistuma voi aiheuttaa betonin halkeilemista [3, s. 71]. Tuuli myös jäähdyttää valettua betonimassaa ja voi laskea kovettuvan betonin lämpötilaa, jolloin betonimassalle suunniteltu lämpötila ei toteudu. [9, s. 101]. Tällöin lämpötilan alenema voi johtaa hidastuneeseen lujuudenkehitykseen [9, s. 111].

Sääolosuhteet täytyy huomioida myös pumppukaluston käytössä. Lämpötila ei saa laskea alle -15 asteen, sillä riskinä on haurasmurtuman muodostuminen pumppuauton puomiin. [3, s. 59] Kylmä sää luo myös tarpeen työntekijöiden talvivarustukselle, joka puolestaan

voi hankaloittaa työskentelyä [3, s. 35]. Sääolosuhteilla on siis vaikutuksia myös työturvallisuuteen.

3.4.2 Muottityöt

Talvibetonoinnin muottityössä tulee ottaa huomioon jää- ja lumiolosuhteet. Kivimäen et al. [3, s. 58] mukaan on tärkeää puhdistaa muotit, betonointialusta ja betonin siirtoon ja vastaanottoon käytettävä kalusto lumesta ja jäädästä. Puhdistamatta jätetyt muotit voivat johtaa betonin merkittävään kantokyvyn laskuun, sillä betoni ei pääse leviämään muotin pohjaan asti. Muotin pohja voi jäädä kokonaan betonoimatta, jos pohjalla oleva lumi ja jää eivät ehdi sulaa ennen massan sitoutumista. Laattamuotteja käytettäessä sulanut lumi heikentää betonin lujuutta, sillä massan vesimäärä lisääntyy lumen ja jään muuttuessa vedeksi. Tämä aiheuttaa myös betonin ulkonäön heikkenemistä. [9, s. 118–119] Ulkonäöllistä heikkenemää betoniin saattaa aiheuttaa puhdistamattomiin uusiin teräsmuotteihin jäänyt valssihilse, joka saattaa värjätä betonia, jos muotteja ei ole puhdistettu huolellisesti [9, s. 26]. Kuvassa 2 sulatetaan muottiin jäänyttä lumea ja jäätä, jolloin betoni pääsee muottiin tasaisesti.



Kuva 2. Muotissa olevan lumen ja jään sulatus [3, s. 34].

Esilämmityksellä varmistetaan, että muotit, betonointialusta ja niitä ympäröivät rakenteet ovat betonimassan kovettumisen kannalta sopivassa lämpötilassa. Erityisesti teräs-, muovi- ja betonimuotteja käytettäessä lämpötilan täytyy olla yli 0 astetta. [3, s. 58] Jos muotteja ei ole sulatettu ja niiden puhdistus on laiminlyöty, voi seurauksena olla rakenteiden väliin jääviä koloja tai rakoja. Rakenteet, kuten pilarit ja seinät, voivat huonossa tapauksessa jäädä pelkästään raudoituksen varaan. [3, s. 69]

Muotin ominaisuuksilla, kuten materiaalilla, tiiveydellä ja lujuudella, on vaikutusta betonipinnan ulkonäköön ja laatuun. Vääränlainen muotti saattaa muuttaa muotoaan betonimassan aiheuttaman valupaineen takia, jonka takia muotin tulee olla riittävän luja ja hyvin

tuettu. Muotilta vaaditaan myös riittävää tiiveyttä, sillä huonosti tehdyssä muotissa betoni voi pursuta muotin saumoista ulos. Tämä voi aiheuttaa betonin lujuuteen alenemaa ja heikentää rakenteen ulkonäköä. [4] Talviolosuhteissa muotin valinnassa kannattaa ottaa myös huomioon sen lämmönjohtavuuskyky ja koko. Pienikokoiseen muottiin saumoja ja kiinnitysosia tarvitaan enemmän. [3, s. 55] Tällöin voi syntyä ylimääräisiä kustannuksia. Kilven ja Sarjan mukaan tulee myös välttää ylipitkiä muotteja, sillä niiden vapaa pää viilentää rakenteen reuna-alueita [10, s. 36]. Tällöin reunojen lämmitystarve kasvaa.

Myös vääränlaisten muottien valinnalla voi olla negatiivia seurauksia. Kivimäen et al. mukaan muottien valinnassa virheitä voi syntyä esimerkiksi siitä, että muotit ovat tehty talvella, kun varsinainen valu suoritetaan vasta sään lämmentyessä. Muottien lämmitessä niiden perusta alkaa sulaa ja sen seurauksena painua. Tämä voi aiheuttaa myös valetta-vaan rakenteeseen painumia. Painumia voi myös ilmetä, jos muotit virheellisesti tuetaan jäätyneen maan varaan. [3, s. 69] Näin ollen muottien lisäksi niitä ympäröivät rakenteet tulee lämmittää. Tärkeää on lisäksi muistaa selvittää muottien tuennat [3, s. 56]. Heikosti tuetut ja jälkituetut muotit ovat työmaalla työturvallisuusriski.

Muottityöhön kuuluu myös lämpöanturien ja -mittauslaitteistojen sijoittaminen paikalleen. Kylmälle ilmalle herkemmat alueet, kuten reunat ja liittymäkohdat, varustetaan lisälämmittimillä. Lämmityslaitteistoja käytettäessä riskinä on niiden rikkoutuminen, jonka takia varalämmittimiä ja huoltovälineistöä tulee pitää lähistöllä. [3, s. 56] Lämmitys- ja muottikaluston yhteensopivuus tulee myös varmistaa [3, s. 79].

3.4.3 Betonointityö

Betoni pyritään valamaan yhtäjaksoisesti ilman ylimääräisiä keskeytyksiä betonimassan lämpötilaa seuraten. Betoni suojataan mahdollisimman nopeasti valun jälkeen, jotta jäähtyminen, liian suuret lämpötilaerot ja mekaaninen kuormitus voidaan minimoida. Valaminen ja siihen käytettävä kalusto saattaa vaurioittaa lämmityslaitteistoja, joten niitä pyritään varomaan betonointityön aikana. [3, s. 59]

Betonointivirheitä valamiseen aiheutuu esimerkiksi jäätyneen runkoaineen käytöstä. Jäässä olevassa runkoaineessa on käytännössä aina jäätyneitä hiekkakokkareita, jotka eivät sekoitusvaiheissa välttämättä sekoitu massaan, vaan jäävät sellaisinaan betonin joukkoon. Sulaessaan ne jättävät betoniin hiekkapesäkkeitä, joilla ei ole käytännössä lainkaan lujuutta. Tällöin betonin lujuus heikkenee erityisesti hoikissa rakenteissa, kuten ohuissa pilareissa ja palkeissa, kun betonin toiminnallinen poikkileikkaus-ala pienenee. [9, s. 118–119]

Virheitä voi myös syntyä, jos valu suoritetaan jäätyneen maan päälle. Lämmin massa sulattaa alla olevaa maaperää ja voi aiheuttaa maahan ja tulevaan rakenteeseen painumia. Myös rakenteen alaosan murtumat ovat mahdollisia seurauksia. [3, s. 69]

Betonointiin kuuluu olennaisesti myös valetun betonimassan tiivistys. Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisun [9, s. 54] mukaan erityisesti talvibetonoinnissa käytettävillä huokostimilla saatua lisäilmaa saattaa poistua tiivistyksen mukana. Jos tiivistys on tehty vajavaisesti tai epätasaisesti, saattaa lopputuloksena olla pintaan jääneet suuret ilmakuplat tai pintaviat sekä näkyvät valukerroksien rajat. Riskinä huolimattomalle tiivistykselle on myös massan epätasainen asettuminen esimerkiksi yksityiskohtien, kuten raudoituksen ympärille. Tällöin on usein kyse epätäydellisestä tiivistämisestä, jossa yksityiskohtia ei ole huomioitu tarpeeksi. [9, s. 54–55].

3.4.4 Raudoitteet

Raudoituksen tarkoituksena on vahvistaa betonirakennetta ja ottaa vastaan rakenteeseen kohdistuvia vetojännityksiä. Kivimäen et al. mukaan raudoitteille syntyviä riskitekijöitä ovat niiden vahingoittuminen betonia valettaessa sekä vääränlainen asennustapa, joka saattaa aiheuttaa ongelmia raudoitteiden ja betonin välisessä tartunnassa. [3, s. 59]. Tämän lisäksi raudoitteiden väärä sijainti betonirakenteen yläpinnassa voi aiheuttaa rakenteelle plastista kutistumaa, joka voi johtaa rakenteen pinnan halkeiluun [3, s. 71–73].

Raudoitteen ongelmaksi voi koitua myös korroosio eli useiden vuosien aikana tapahtuva hidas ruostuminen. Se aiheutuu esimerkiksi liian pienestä betonipeitteestä, kloridien vaikutuksesta tai liian huokoisesta betonista. [3, s. 71] Ruostumisen seurauksena myös betoni voi vaurioitua [4]. Tulee myös huomata, että raudoitteiden lisäksi myös betonille voi aiheutua korroosiota, jos sen valmistukseen on käytetty alkalireaktiivista piihappoa sisältävää runkoainetta tai sulfideja, sulfaatteja tai humusta sisältäviä hiekkoja [9, s. 129]. Tämän vuoksi työmaalla tehtävän betonin runkoaineen kelpoisuus tulee varmistaa.

Talvella betonoitaessa suositaan teollisesti valmistettuja raudoitteita, sillä ne pyritään asentamaan nopeasti, jotta mahdollinen lumen sataminen muottiin saadaan estettyä [3, s. 55]. Jos kuitenkin muottiin pääsee lunta ja jäätä, tulee ne poistaa ennen valua [3, s. 58]. Jäätä ja lunta sulatettaessa höyryllä täytyy kiinnittää huomiota siihen, ettei raudoitteen pintaan pääse syntymään jääkerrosta. Virheellisesti pintaan jätetty jääkerros heikentää raudoitteen tartuntaa betoniin. Tämän takia raudoitteet tulee aina tarkistaa ja mahdollisesti sulattaa ennen valua. [9, s. 119]

3.4.5 Lämmitys

Betonin lämmitykseen on saatavissa monia erilaisia lämmitystapoja, joita ovat esimerkiksi kuumailma-, lanka- ja infrapunasäteilylämmitys sekä lämmitettävät muotit [3, s. 42]. Lämmitystavan valinta riippuu esimerkiksi lämmitettävästä rakenteesta, vuodenajasta ja aikataulusta. Kilven ja Sarjan mukaan [10, s. 32] lämmityksen tavoitteena voidaan pitää sitä, että sen teho on riittävä ja ulottuu kaikkialle rakenteeseen tasaisesti.

Kuumailmalämmityksessä lämmitetään tiiviissä tilassa olevaa ilmaa, joka vastaavasti lämmittää betonia ja muottia. Riskinä kuumailmalämmityksessä on betonin halkeilu, sillä se kuivattaa ilmaa, jonka seurauksena betonin pinnalta haihtuu moninkertainen määrä kosteutta verrattuna normaalitilanteeseen. [3, s. 43] Pinnan nopea kuivuminen voi johtaa plastiseen kutistumaan [3, s. 71]. Ongelmallista palamiseen perustuvissa lämmitystavoissa on myös niistä syntyvät myrkylliset kaasut, jonka vuoksi lämmityspaikalla tulee olla tuuletusmahdollisuus [9, s. 92].

Lankalämmityksessä puolestaan betonin sisään asennetaan lämmityslanka tai -kaapeli. Tällöin lämmitys voidaan kohdistaa haluttuun osaan tarkasti ja sitä voidaan jatkaa muottien purkamisenkin jälkeen. Lankalämmityksen riskinä ovat rakenteen sisäiset liian suuret lämpötilaerot, jotka johtuvat siitä, että betonin pinta jäähtyy samalla kun lanka lämmittää betonin sisäosia. Suuret lämpötilaerot voivat johtaa betonin halkeiluun, jota voi myös aiheutua lankalämmitintä käytettäessä betonipinnan nopeasta jäähtymisestä. Lämpötilaerojen takia valut tulee suojata hyvin valamisen jälkeen. Lankalämmittimien riskinä on myös mahdollinen lämmityslangan katkeaminen. [3, s. 45–46]

Betonivalua voi lämmittää myös infrapunasäteilylämmittimillä, jotka perustuvat lämmön siirtämiseen säteilyllä [9, s. 95]. Infrapunasäteilylämmitys on herkkä ilmavirtauksille ja sen kanssa käytettävän muottikaluston tulee olla lämmitysmuodolle soveltuva. Säteilyn tiellä ei myöskään tule olla tukirakenteita, jotka voivat estää säteilyn etenemisen. Infrapunalämmittämisessä on myös huomioitava aina tulipaloriski, sillä lämmittimen energialähteenä käytetään usein nestekaasua, öljyä tai sähköä. [3, s. 44]

Valun voi pitää lämpimänä myös lämmitettävillä muoteilla, joissa muottipinnan ja eristeen väliin on asennettu vastuslankasilmukoita tai lämpövastuksia. Lämmitettäviä muotteja käytetään paikoissa, joissa samalla muotilla on monta käyttökertaa. Ongelmana onkin, etteivät lämmitettävät muotit sovellu kohteisiin, joissa käyttökertoja on vähän. Pienillä uudelleenkäyttömäärillä muotin hankkiminen on taloudellisesti kannattamatonta. Riskinä lämmitettävissä muoteissa on myös pinnan hilseily muottia purettaessa, jos lämmitysteho on liian suuri. [3, s. 49] Tehon nostamista rajoittaa myös puuosien ja kaapeleiden vaara ylikuumentua [9, s. 94].

Lämmityslaitteiston sijoittaminen vääriin kohtiin tai lämmönseurannan puutteellisuus voi johtaa rakenteen eri kohtien lämpötilaeroihin. Suuret lämpötilaerot voivat aiheuttaa rakenteen halkeilua. [3, s. 69] Myös liian alhainen lämpötila saattaa johtaa siihen, ettei betoni saavuta tarvittavaa purkulujuutta ajoissa. Tällöin liian alhaisen kovettumislämpötilan syynä on yleensä luultua alempi ulkolämpötila, lämmityksen alimitoitus, laitteisiin mahdollisesti tulleet viat tai huono eristys. [10, s. 8]

3.4.6 Jälkihoito ja sääsuojaus

Jälkihoidon tarkoituksena on luoda betonille sellaiset kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, jotka takaavat häiriöttömän lujuudenkehityksen [9, s. 69]. Jälkihoidossa talvella tulee esimerkiksi ottaa huomioon, ettei valua saa virheellisesti kastella vedellä, jos on olemassa riski betonin jäätymiseen [3, s. 60]. Ennen sitoutumista aiheutunut betonin jäätyminen aiheuttaa betoniin lujuuskatoa. Sitoutumisen jälkeen jäänyt betoni voi puolestaan halkeilla. Halkeamien laajuus riippuu siitä, kuinka paljon betoni on ehtinyt kovettua. [3, s. 74]

Betonin jälkihoitoon kuuluu myös rakenteen suojaus. Epäedullisiin sääolosuhteisiin voi talvella betonoitaessa vaikuttaa sääsuojauksella, jolloin kovettumisolosuhteista saadaan betonille paremmat [3, s. 35]. Sääsuojauksen tarkoituksena on pitää massa lämpimänä, jotta betonille taataan riittävä lujuudenkehitys. Suojauksella pyritään myös estämään lumen ja jään sataminen muottiin, mikä helpottaa muotin puhdistustöitä. [3, s. 36]

Sääsuojien valinta tapahtuu sen perusteella, miltä valua, työntekijöitä ja työympäristöä halutaan suojata. Talvella tyypillisiä suojaustarpeen aiheuttajia ovat tuuli, lumi ja kylmät olosuhteet. [3, s. 36–37] Suojat tulee puhdistaa lumesta ja jäästä, sillä ne eivät kestä niistä aiheutuvia rasituksia hyvin [3, s. 38]. Pinnat tulee peittää materiaaleilla, jotka estävät hyvin kosteuden poistumisen rakenteesta. Tällaisia ovat esimerkiksi muovit, vesitiiviit pahvit ja erilaiset pressut. Tärkeää on huomata välttää tummia värejä, kuten mustaa, aurinkoisella säällä. Myös tiiveydessä tulee olla tarkkana, sillä suojan ja valun väliin jäävästä raosta tuuli voi päästä kiertämään rakenteen ja sääsuojauksen väliin. [9, s. 70]

3.4.7 Muottien purku

Kun betoni on saavuttanut tarvittavan purkulujuuden, muottien purkamistyö voidaan aloittaa. Purkutöissä seurataan ennalta tehtyä purkusuunnitelmaa, jossa työn vaiheet ja muottien varatuennat ovat selkeästi esitettyinä. Ennen purkutöitä on tärkeää perehdyttää työntekijät muottien purkamisen työturvallisuusohjeisiin varsinkin, jos on kyse työntekijälle ennestään tuntemattomasta rakenteesta tai työtavasta. [9, s. 91]

Tuotannollisten ja taloudellisten syiden takia nopea muottikierto on yleistä. Tällöin tarvitaan hyvin hallittu ja nopea varhaislujuudenkehitys, jotta betoni saavuttaa purkulujuuden ennen muotin purkamista. Syynä talvibetonoinnin epäonnistumiseen yleensä onkin, ettei rakenne ole saavuttanut riittävää lujuutta yleisesti tai paikallisesti liian alhaisen kovettumislämpötilan takia. [10, s. 7]

Suunniteltua alhaisemmaksi jäänyt betonimassan lämpötila voi aiheuttaa betonille hidastuneen lujuudenkehityksen. Tällöin muotteja ei voida purkaa suunnitellussa aikataulussa, sillä tarvittavaa lujuutta ei saavuteta ajoissa. [3, s. 59] Lujuudenkehityksen hidastuessa

on vaarana, että rakennusprojektien kokonaisaikatauluun voi tulla viivästyksiä. Jos puolestaan muotit virheellisesti puretaan ennen purkulujuuden saavuttamista, voi rakenteeseen tulla epämieluisia muodonmuutoksia, halkeamia ja vaurioita [3, s. 59]. Kuvassa 3 on tuettu betonilaatta, jonka tukia ei saa purkaa ennen riittävää lujuutta. Aikataulun ollessa tiukka on mahdollista nopeuttaa purkulujuuden saavuttamista ja muottikiertoa käyttämällä yhden lujuusluokan suurempaa betonilaatua tai nopeasti kovettuvaa sementtiä [10, s. 9].



Kuva 3. Betonin tulee saavuttaa purkulujuutensa ennen tukien purkamista [3, s. 19].

Muotteja purettaessa on syytä varmistua siitä, että tarvittava lujuus on saavutettu esimerkiksi betonin lämpötilaa seuraamalla. Pystyrakenteiden lujuuden tulee olla vähintään 5 MPa, sillä alle 3 MPa:n lujuus pystyrakenteiden alaosassa johtaa suureen rakenteen kaatumisriskiin. Alhaisen lujuuden voi huomata muotinpurkutyössä irtoilevina kulmapaloina, pintoina tai pistorasioina. Vaakarakenteissa tarvittava purkulujuus on puolestaan 15–21 MPa ja sitä alempi lujuus aiheuttaa riskin rakenteen taipumisen aiheuttamalle halkeilulle, joka johtaa rakenteen elinkaaren lyhenemiseen. [3, s. 76]

3.4.8 Työturvallisuus

Työturvallisuus täytyy ottaa hyvin huomioon talvella betonoitaessa, sillä kylmä sää, lumi ja jää kasvattavat työturvallisuusriskejä työmailla. Työturvallisuusriskinä on esimerkiksi liukastuminen, sillä kulkuväylät ja muottien pinnat saattavat olla jäisinä ja lumisina hyvin liukkaita. Lumen alle on myös saattanut jäädä tavaroita, kuten liukkaita muoveja, jotka voivat aiheuttaa kaatumisriskin. [3, s. 35]

Talvella ongelmana on myös kylmyys. Ulkotöissä työskenneltäessä tarvitaan raskaampi talvivarustus, joka saattaa hankaloittaa liikkumista ja näin ollen työntekoa. Tämän lisäksi myös puutteellinen työ- ja suojarustus on työturvallisuusriski, sillä kesävarustus ei ole riittävä kylmän vuodenajan ulkotöihin. Talven sääolosuhteet aiheuttavat myös ongelmia laitteistojen kanssa, joissa saattaa esiintyä kylmällä säällä toimintahäiriöitä. [3, s. 35]

Maan jäätyessä riskinä on myös riittämätön maapohjan tiiveys betonointikaluston alla. Myöskään raskaita muotteja ei tulisi pystyttää lumen ja jään päälle, jos ei ole varmistuttu siitä, että pohjaolosuhteet ovat hyvät ja muottien pystytys on riittävä. Putoamissuojat tulee myös tarkistaa talvella virheellisyyden ja puutteellisuuden takia, jotta ne toimivat tarkoituksenmukaisesti. Tärkeää on myös huomioida työmaan riittävä valaistus, sillä pimeä vuodenaika lisää työtapaturmien todennäköisyyttä. [3, s. 35]

Ennen betonointia kalusto sekä käytettävät suojaukset, telineet ja koneet on käytettävä ja todettava turvallisiksi [3, s. 59]. Samoin tulee kiinnittää huomiota betonointityöntekijöiden suojaruustukseen, sillä betoni on erittäin emäksinen aine. Betonin emäksisyys on pH-asteikolla 13 ja se voi ihokosketukseen päästyään ärsyttää ihoa ja aiheuttaa vakavan silmävaurion ja joissain tapauksissa kemiallista syöpymistä [18].

3.5 Betonin jäätyminen

Betoni sisältää aina jonkun verran vettä, josta osa jäätyy lämpötilan laskiessa 0 asteen alapuolelle. Jäätyessään vesi aiheuttaa betoniin sisäistä painetta, sillä se laajenee jäätyessään noin 9 %. Liian suureksi kasvanut paine voi johtaa betonin vaurioitumiseen. [9, s. 117]

Betonin jäätyessä syntyy valelujutta, joka näyttää tilastoissa normaalilta lujudenkehitykseltä. Todellisuudessa lujuus katoaa heti jään sulettua. Jäätyneen betonin uudelleenlämmittäminen vaurioittaa rakenteen pysyvästi. [3, s. 74] Betonin jäätyminen on erittäin ongelmallista varsinkin silloin, kun sitä ei huomata [9, s. 117]. Huomaamatta jäänyt vaurioitunut rakenne voi aiheuttaa turvallisuusriskin esimerkiksi muotteja purettaessa tai jään sulaessa.

Betonin jäätyminen aiheuttamien vaurioiden laajuus riippuu siitä, milloin betoni on jäänyt. Kivimäen et al. mukaan ennen sementin sitoutumista jäätyneeseen betoniin muodostuu jäälinsskejä, jotka kasvattavat betonin huokoisuutta ja lisäävät taipumusta halkeiluun. Jäälinssit heikentävät myös tartuntaa sementtikiven, runkoaineen sekä raudoituksen kesken. Sementin sitoutumisen jälkeen tapahtuva jäätyminen puolestaan aiheuttaa betoniin halkeilua sitä enemmän, mitä vähemmän aikaa sitoutumisesta on. [3, s. 74]

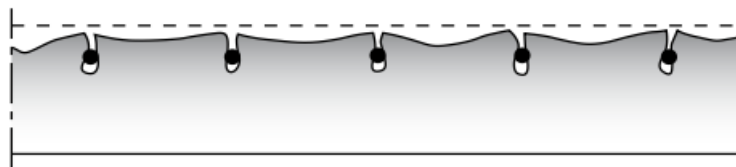
Betonin jäätyminen on rakenteille suuri riski, sillä sen seuraukset voivat olla vakavat. Kivimäen et al. mukaan betonin jäätyminen aiheuttaa betonille lujuskatoa ja jäätyminen

ajankohdasta riippuen myös muita vaurioita, kuten halkeilua. Suurimmassa vaarassa jäätymiselle ovat reuna-alueet, kylmää pintaa vasten valettavat rakenteet, sekä pienikokoiset valut. [3, s. 74] Kun betoni saavuttaa jäätymislujuuden, eli noin 5 MPa, sen taipumus halkeiluun on pieni. Täytyy kuitenkin huomioida, etteivät betonin huokoset saa täyttyä vedellä, eikä esimerkiksi valua saa jälkihoitaa vesikastelulla. [3, s. 74] Jäätymislujuuden jälkeen voidaan katsoa, ettei betoni enää menetä lopullisia ominaisuuksiaan jäätyessään. [9, s. 117]

3.6 Betonin halkeilu

3.6.1 Plastinen painuma ja kutistuma

Jos sementti ja runkoaines eivät pääse painumaan pohjaan esimerkiksi tiellä olevan raudoituksen takia, riskinä on plastinen painuma. Plastiselle painumalle altistaa kylmän sään aiheuttama hitaampi hydrataatio, jolloin vesi pääsee helpommin erottumaan massasta. Plastisen painuman takia betonirakenne voi vaurioitua halkeamalla painuman kohdalta. [3, s. 72] Kuvassa 4 on kuvattuna laatan plastinen painuma raudoitusten kohdalla. Painuma aiheuttaa halkeamia rakenteeseen.



Kuva 4: Laatan plastinen painuma [19].

Plastisella kutistumalla tarkoitetaan puolestaan betonimassan vaakasuuntaista kutistumaa, joka aiheutuu betonin pinnan liian nopeasta kuivumisesta. Veden haihtuminen pinnasta tiivistää pinnassa olevia hiukkasia lähemmäs toisiaan aiheuttaen rakenteeseen vetojännityksiä. Plastisen kutistuman aiheuttamat vetojännitykset voivat aiheuttaa rakenteeseen halkeamia, [3, s. 72] Kutistumaa voidaan merkittävästi pienentää ehkäisemällä betonin pinnalla olevan veden haihtumista tehokkaalla jälkihoidolla [7].

3.6.2 Betonin lämpötilan aiheuttamat ongelmat

Jos betonin kovettuessa lämpötila ei ole jakautunut tasaisesti, riskinä ovat lämpötilaerojen aiheuttamat vauriot. Jos betonivalun eri osat jäähtyvät eri aikaan, syntyy niiden välille vetojännityksiä ja muodonmuutoksia jäähtyneemmän osan kutistumisen takia. Lämpimämpi eli vähemmän kutistunut osa estää betonin muodonmuutokset, jolloin rakenteeseen muodostuu halkeama. [3, s. 73] Näin ollen suuria lämpötilaeroja tulee välttää, minkä takia usein rajana eri kohtien lämpötilaeroille pidetään 20 °C:n lämpötilaa.

Tämän lisäksi myös liian alhainen kovettumislämpötila altistaa rakenteen onnettomuusriskeille. Riittämätön lujuus voi johtaa taipumiin, halkeiluun tai mahdollisesti jopa sortumiin. [9, s. 116]. Alhaisessa lämpötilassa kovettuneen betonin kestävyys tulisi aina tarkistaa ennen muottien purkamista onnettomuuksien välttämiseksi. Muutenkin virheellisesti liian aikaisin purettujen muottien seurauksena pinnan lämpötila voi talviolosuhteissa jäähtyä liian nopeasti, mikä altistaa rakenteen halkeilulle [3, s. 73].

3.6.3 Kuivumiskutistumat

Kuivumiskutistuma on rakenteeseen betonin kuivumisesta aiheutuvaa kutistumaa. Se syntyy veden poistuttua rakenteesta haihtumalla tai siirtymällä toiseen rakenteeseen kapillaarisesti kosteuserojen takia. Jos betonin kutistuminen on estetty, se halkeaa. Kuivumiskutistuma on tyypillisesti 0,4 – 0,8 promillea. [3, s. 73]

Kuivumiskutistuma pystytään estämään hyvällä jälkihoidolla, sekä betonireseptin huolellisella valinnalla. Mahdollisimman pieni vesimäärä ja mahdollisimman suuri runkoaineen maksimiraekoko edesauttavat betonin kuivumiskutistuman minimointia. Myös sementtityypillä ja sementin määrällä on vaikutusta kutistuman tai mahdollisten halkeamien syntyyn. [3, s. 73]

3.7 Taloudelliset ja aikataululliset ongelmat

Talvella betonoinnin kustannukset ovat suuremmat verrattuna kesäaikaan suoritettuun betonointityöhön. Ylimääräisiä kustannuksia syntyy kylmän sään aiheuttamasta lämmitys- ja suojaustarpeesta sekä käytettävistä erityistoimenpiteistä tai materiaaleista. Kivimäen et al. [3, s. 36–49] mukaan esimerkiksi sääsuojauksien kustannukset tulee ottaa huomioon vertailulla, sillä kustannustehokkaan vaihtoehdon löytäminen riippuu suojaustarpeesta. Kustannuksia syntyy myös rakenteiden lämmittämisestä, sillä lämmitystavat kuluttavat yleensä sähköä. Esimerkiksi kuumailmalämmitykseen menee 150–500 kWh sähköä betonikuutiota kohti. [3, s. 36–49]. Myös lisäaineista ja työmaalla talviaikaan tarvittavista erityislaitteistoista syntyy ylimääräisiä kustannuksia suhteutettuna lämpimämmän ilman betonointiin. Näiden kustannusten ohella tulee myös ottaa huomioon epäonnistumisesta johtuvat kulut, jos betonirakennetta joudutaan esimerkiksi halkeilun takia korjaamaan tai huonosta toteutuksesta johtuen uusimaan.

Lisäkustannusten ohella kylmä ilma aiheuttaa betonointiin myös hidasteita. Aikatauluun vaikuttavat muuan muassa talvibetonointisuunnitelman tekeminen. Kivimäen et al. mukaan [3, s. 50] suunnitelma tulee tehdä tarpeeksi ajoissa, jotta laite- ja materiaalihankinnat voidaan tehdä hyvissä ajoin. Talvibetonoinnissa tulee myös huomioda, että suojausten pystyttäminen sekä lämmityslaitteiden asentaminen vievät aikaa. Ylimääräisiä aikaa vieviä tekijöitä ovat myös mahdollinen muottien puhdistus lumesta ja jäästä sekä työympäristön suojaus esimerkiksi työturvallisuustarkoituksessa.

Täytyy kuitenkin huomata, että teknisten seikkojen lisäksi betonointiprosessia hidastaa kylmän ilman aiheuttama lujuudenkehittymisen hidastuminen. Kivimäen et al. mukaan [3, s. 15] alle 5 °C:n lämpötilassa betonin lujuudenkehitys on jo niin hidasta, että sen käyttö aiheuttaa aikataulullista haittaa rakentamiselle. Näin ollen betonin lämpötila pitäisi pyrkiä pitämään yli 20 °C:ssa, jotta rakentaminen etenisi kohtuullisessa aikataulussa [3, s. 50]. Talvibetonirakentaminen käytännössä aina edellyttää lämmittämistä, joka puolestaan pitää suunnitella hyvin turvallisen rakenteen aikaansaamiseksi [10, s. 7]. Näin ollen voidaan todeta talvibetonoinnin vievän normaaliin yli 5 °C:n lämpötilassa tapahtuvaan betonointiin verrattuna aikaa, joka voi aiheuttaa rakentamiselle aikatauluongelmia, jos talvibetonointiin ei ole varauduttu.

3.8 Tutkimustulosten ja lähdeaineiston luotettavuus

Koska tutkimus on tehty kirjallisuustutkimuksena, tutkimustulokset pohjautuvat käytettyyn lähdeaineistoon. Tulosten luotettavuuden määrittelee siis lähdeaineiston luotettavuus. Tässä työssä aineistona on pääasiassa käytetty Betoniteollisuus ry:n Talvibetonointi-kirjaa ja internet-artikkeleja, Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisuja, Finnsementti Oy:n internet-aineistoja, Ilmatieteenlaitoksen säätilastoja sekä Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tutkimustiedotteita.

Betoniteollisuus ry sekä Suomen rakennusinsinöörien Liitto ovat tunnettuja rakennusalan organisaatioita, joiden jäsenistöön kuuluu paljon rakennusalan ammattilaisia. Valtion teknillinen tutkimuskeskus on tutkimus- ja teknologiaorganisaatio, joka tuottaa tutkimuksia yrityksille ja julkiselle sektorille. Ilmatieteenlaitos on puolestaan sää-, meri- ja ilmasto-tutkimuksia tuottava Liikenne ja ympäristöministeriön alaisuudessa oleva tutkimuslaitos. Työssä hyödynnettyjen tutkimuslaitosten ja organisaatioiden tavoitteiden ja tunnettavuuden perusteella voidaan uskoa niiden tuottaman aineiston olevan luotettavaa.

Finnsementti Oy on puolestaan voittoa tavoitteleva yritys, jonka tuottamaan aineistoon tulee suhtautua varauksella mahdollisten kaupallisten tarkoitusten takia. Finnsementti Oy:n markkina-aseman ja yrityksen tuottamien asiantuntijapalvelujen perusteella voidaan kuitenkin olettaa julkaistun aineiston olevan luotettavaa.

Työssä käytetyt aineistot ovat pääasiallisesti julkaistu 2010-luvulla lukuun ottamatta Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tutkimustiedotteita, Suomen Rakennusinsinöörien Liiton vuoden 1983 julkaisua ja E. Punakallion Betonin valinta-kirjaa. Vanhempien aineistojen paikkansapitävyyteen tulee suhtautua asiaankuuluvalla varauksella, vaikka betonointitekniikat eivät ole viimeisten vuosikymmenien aikana muuttuneet periaatteeltaan. Kyseisiä teoksia voidaan kuitenkin pitää suhteellisen luotettavina.

4. YHTEENVETO

Talvibetonoinnissa olosuhteet ovat haastavammat verrattuna kesätoteutukseen, mikä lisää mahdollisuutta virhe- ja riskitekijöiden syntyyn. Talvibetonointiprosessin voi jakaa eri vaiheisiin, joista ensimmäinen on suunnittelu ja käyttökohteeseen sopivan betonityypin valinta. Kun betonoinnin teoreettiset lähtökohdat tiedetään, suoritetaan muottityöt, kuljetaan betonimassa haluttuun kohteeseen ja valetaan rakenne. Valun jälkeen betonia jälkihoidetaan eli se suojataan kylmältä ilmalta sekä eristetään ja lämmitetään tarpeen mukaan. Prosessin lopuksi on tarkoitus odottaa, että betoni saavuttaa tarvittavan lujuuden, jotta betonimuotit voidaan purkaa.

Jokaisella prosessin vaiheella on omat riskitekijänsä ja ominaiset virhemahdollisuutensa. Suurimman yksittäisen ongelman talvibetonointiin tuo alhainen lämpötila. Kylmän sään aiheuttama lujuuden alenema onkin merkittävä epäonnistumisia aiheuttava tekijä betonoinnissa. Jotta alhaisen lämpötilan aiheuttaman lujuudenkehityksen hidastumisen ja lujuuden alenemisen voisi estää, betonia täytyy lämmittää lämpötilan ollessa 5 °C:n alapuolella.

Kylmän sään aiheuttama prosessin monimutkaistuminen lisää riskien syntyä. Rakennesuunnittelussa ja betonointisuunnitelman teossa tulee jo hyvissä ajoin ottaa huomioon säätilan vaikutus prosessin vaiheisiin. Betonityppi tulee valita lämpötilalle ja olosuhteille sopivaksi ja lisäaineiden käyttöä tulee harkita. Vääränlainen betonityppi voi olla rakenteen turvallisuuden ja lujuudenkehityksen kannalta riskialtis. Tärkeintä betonin ja lisäaineiden valinnassa onkin saada varmistettua kylmemmässäkin lämpötilassa betonille tarvittava lujuudenkehitys.

Kylmä lämpötila aiheuttaa myös betonoinnin toteutukseen haasteita. On esimerkiksi tärkeää varmistaa, että työmaan talviaikaiset olosuhteet ovat sopivia kuljetuskalustolle ja eivät aiheuta työturvallisuusriskejä. Kuljetuksen lisäksi lumi ja jää vaikeuttavat muottityötä. Muotteihin jäävä lumi ja jää estävät betonin levittäytymisen koko muotin alueelle ja aiheuttavat rakenteeseen koloja sekä laadullista ja ulkonäöllistä haittaa. Itse betonoinnissa puolestaan riskitekijöitä ovat muun muassa huonosti toteutettu tiivistys, liian hidas valaminen ja heikko sääsuojaus. Raudoitteille suurin riskitekijä on korroosio.

Suurin ero talvi- ja kesäbetonoinnissa on talviaikaisen betonin lämmityksen tarve, jolla varmistetaan, että betonin laatu ei heikkene kylmän sään takia. Lämmitys tulee valita ja toteuttaa oikein, jotta siitä ei aiheudu haittaa rakenteille. Lämmityksessä tulee kiinnittää huomiota oikeanlaisen lämmityslaitteiston valintaan, tasaiseen lämmittämiseen sekä sähkön kulutukseen. Epätasainen ja liian tehokas lämmitys voi johtaa betonin halkeiluun. Lämmityksen ohella myös sääsuojaus on tärkeä osa hyvin toteutettua betonointiprosessia. Sääsuojien tulee estää betonimassassa olevan veden liian nopea haihtuminen, sekä tuulen

aiheuttamasta pintakuivumisesta ja -jäätymistä johtuva halkeilu. Hyvä jälkihoito kestää 7–14 päivää ja on tärkeä osa betonoinnin onnistumisesta.

Oikeanlainen betonoinnin toteutus on tärkeää, sillä betonointityön epäonnistuessa betoniin voi muodostua painumia, halkeamia, liiallista huokoisuutta tai lujuuden alenemaa. Yleisiä ongelmia ovat plastinen kutistuma ja painuma, liian suuret lämpötilaerot sekä kuivumiskutistuma, joiden seurauksena betoniin muodostuu halkeamia. Vaurioituneen rakenteen toiminta heikkenee. Kriittisintä on kuitenkin betonin jäätyminen, sillä aikaisessa vaiheessa jäätyneen rakenteen lujuus jää suunniteltua huomattavasti pienemmäksi.

Talvella betonoitaessa on myös suuri riski syntyä talous-, aikataulu- ja työturvallisuusongelmia. Oletettua suurempia kustannuksia voi aiheutua esimerkiksi betonoinnin epäonnistumisesta, rakenteen oletettua alhaisemmasta lujuudesta, tarvittavista lisälaitteista ja huonosta varautumisesta sääolosuhteisiin. Aikatauluongelmia puolestaan aiheuttaa esimerkiksi oletettua hitaampi lujuudenkehitys tai aikaa vievät lisätoiminnot, kuten lämmityslaitteiston asennukset. Myös työturvallisuusriskien suuruus kasvaa betonoinnin talvitoteutuksessa. Esimerkiksi liukkaus, hämäryys ja lumen alle jäävät esineet heikentävät betonointityömaan työturvallisuutta. Talviolosuhteissa erityisesti muottien purkamisen turvallisuuteen tulee kiinnittää huomiota, ja muotit tulisinkin purkaa vasta kun betonin suunnitelman mukaisesta lujuudesta on varmistuttu. Betonointityön oikeanlainen toteutus on tärkeää, sillä betonoinnin epäonnistuminen johtaa ylimääräisiin kustannuksiin, voi aiheuttaa työtaturmia sekä hidastaa myös muun rakentamisen aikatauluja.

Lisätutkimuksia tähän työhön voisi tehdä ulottamalla tutkimuksen koskemaan myös muita työmaita talonrakennustyömaiden lisäksi. Koska tässä työssä maantieteelliseksi ympäristöksi on rajattu Suomi, jatkotoimenpiteenä lisätutkimusta voisi tehdä talvibetonoinnin virheistä ja riskeistä erilaisissa talvi-ilmastoissa. Lisäksi tämän tutkimuksen ulkopuolelle rajatut betonin suhteuttamisvaiheessa ja betonitehtaalla tapahtuvat yleiset virheet ja riskit voisi huomioida jatkotutkimuksessa.

LÄHTEET

- [1] Kuukausitilastot, Ilmatieteenlaitos, 2018. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>.
- [2] Betonointi talvella, Betoniteollisuus ry, 2018. Saatavissa: <http://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/betonointi-talvella/>.
- [3] C. Kivimäki, A. Koskenvesa, M. Lahtinen, R. Lindberg, T. Palolahti, S. Sahlstedt, Talvibetonointi, Betoniteollisuus ry, Sastamala, 2013, s. 88
- [4] Betonin vaurioituminen, Betoniteollisuus ry, 2018. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/betonin-vaurioituminen/>.
- [5] Betonityypit ja oikean betonin valinta, Betoniteollisuus ry, 2018. Saatavissa: <http://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/betonityypit-ja-oikean-betonin-valinta/>.
- [6] Notkistimet, Finnsementti Oy, 2018. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/tuotteet/parmix-lisaaineet/notkistimet>.
- [7] Betonin kutistuma, Finnsementti Oy, 2018. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-suunnittelijalle/betonin-kutistuminen>.
- [8] Talvitilastot, Ilmatieteenlaitos, 2018. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/talvitilastot>.
- [9] Betonityöohjeet: betonointi, talvibetonointi, korjaus ja paikkaus, Suomen rakennusinsinöörien liitto, Helsinki, 1983, s. 171
- [10] E. Kilpi, A. Sarja, Rakentajan talvibetonointiopas: turvallinen talvibetonointi, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo, 1981, s. 48
- [11] Lämmönkehitysominaisuudet, Finnsementti Oy, 2018. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-suunnittelijalle/lammonkehitysominaisuudet>.
- [12] E. Kilpi, Kuumen betonin käyttö rakennustyömaalla, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo, 1982, s. 47
- [13] E. Punakallio, Betonin valinta, 1987, s. 409–416. [http://www.otalib.fi/cgi-bin/thw/trip/?\\${BASE}=vttjure&\\${HTML}=wwwrecorden&\\${OOHTML}=wwwrecorden&\\${TRIPSHOW}=form=wwwabstracten&\\${FREETEXT}=R%3D4724](http://www.otalib.fi/cgi-bin/thw/trip/?${BASE}=vttjure&${HTML}=wwwrecorden&${OOHTML}=wwwrecorden&${TRIPSHOW}=form=wwwabstracten&${FREETEXT}=R%3D4724).

- [14] Betonin pakkasenkestävyys, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 2018. Saatavissa: <http://www.vttexpertservices.fi/palvelut/testaus-ja-tarkastus/rakentamisen-tuotteet-ja-materiaalit/rakennusmateriaalien-testaus/betoni-rakennusmateriaalit/betoni-laasti-tasoite/kunto/pakkaskestavyys>.
- [15] Huokostimet, Finnsementti Oy, 2018. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/tuotteet/parmix-lisaaaineet/huokostimet>.
- [16] Huokostava betonin lisäaine, Finnsementti Oy, 2018. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/tuotteet/parmix-lisaaaineet/huokostimet/ilma-parmix>
- [17] Lisäaineiden vastaanotto ja säilytys, Suomen betoniyhdistys Oy, 2018. Saatavissa: www.betoniyhdistys.fi/media/lisaaaineiden-vastaanotto-ja-sailytys-15-06-2017.pdf.
- [18] S. Ruokonen, Työturvallisuus betonin valmistuksen ja käsittelyn yhteydessä, 2018. Saatavissa: <http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betoni-labo-rantti-ja-myllari-2018/tyoturvallisuus-betonin-ja-sementin-kasittelyssa-betoni-la-borantti-ja-myllarikurssi.pdf>.
- [19] Suomen betoniyhdisty ry, by 201 Betonitekniiikan oppikirja 2004, 7. painos, Vantaa, 2012.