

TALVI- BETONOINTI

betoni

Talvibetonointi

Tekijät: Satu Sahlstedt, Anssi Koskenvesa, Rita Lindberg,
Christian Kivimäki, Tuomas Palolahti, Matti Lahtinen

Ohjausryhmä: Seppo Petrow, Rakennustuoteteollisuus RTT ry
Petri Mannonen, Rakennustuoteteollisuus RTT ry
Tarja Salmimies, Lujabetoni Oy
Pentti Lumme, Rudus Oy

Julkaisija: Betoniteollisuus ry

Kustantaja: Suomen Rakennusmedia Oy
Unioninkatu 14
00130 Helsinki
www.rakennusmedia.fi

ISBN 978-952-269-083-8

ISBN 978-952-269-084-5 (pdf)

© Betoniteollisuus ry, Mittaviiva Oy

Taitto: Satu Sahlstedt, Mittaviiva Oy

Kuvat: Pistesarja Oy, Rudus Oy, Betoniteollisuus ry, Mittaviiva Oy

Kansi: Studio Hoo!

Kannen kuva: Maritta Koivisto

Paino: Vammalan Kirjapaino Oy, Sastamala 2013

Sisällysluettelo

1 Betonirakenteiden suunnittelu 6

Suomen rakentamismääräyskokoelman ja eurokoodien rinnakkaiskäyttö	6
Betonin lujuusluokka	6
Rakenneluokka tai seuraamus- ja toteutusluokka	7
Betonin rasitusluokat	9
Pätevyudet	11

2 Betonin lujuudenkehitys 14

Lämpötilan vaikutus lujuudenkehitykseen	15
Betonin lujuuden tarkasteluhetket	17
Betonin valinta	19
Lisä- ja seosaineiden vaikutus lujuudenkehitykseen	23
Lujuudenkehityksen nopeuttaminen	24
Lujuudenkehityksen hallinta	25

3 Suomen talviolosuhteet 28

Lämpötila	29
Sade- ja lumiolot	31
Tuuli	33
Valaistus	34
Työturvallisuus talviolosuhteissa	35

4 Suojaustavat ja lämmitysmenetelmät 36

Suojaustavat	36
Lämpösuojaus	40
Suojauskaluston valinta	41
Lämmitysmenetelmän valinta	42
Kuumailmalämmitys	43
Infrapunasäteilylämmitys	44
Lankalämmitys	45
Lämmitettävät muotit	49

5 Työmaan betonointityö ja laadunvarmistus 50

Betonoinnin suunnitelmat	50
Betonoinnin laadunvarmistus	54
Kalusto	55
Muottityö	56
Betonin kuljetus ja siirrot	57
Toimenpiteet ennen betonointia	58
Betonoinnin suoritus	59
Jälkihoito	60
Muottien purku	60
Jälkihoito muotin purun jälkeen	61
Työnjälkeinen laadunvarmistus	62
Valmistajan laadunvalvonta	62

6 Elementtien saumaus 63

Elementtien asennussuunnitelma	63
Ontelolaattojen saumavalu	64
Seinäelementtien saumavalut	66
Pilarien ja palkkien juotosvalut	67

7 Talvibetonoinnin vauriot 68

Betonin halkeilu	70
Betonin jäätyminen	74
Rakenteiden kaatuminen tai sortuminen	76
Elementtisaumauksen riskit	77

8 Talvibetonointisuunnitelma 78

Hakemisto ja kirjallisuus 85

Johdanto

Alhaisissa lämpötiloissa sementin reaktiot veden kanssa hidastuvat. Betonin alhainen lämpötila tarkoittaa, että jäätymlujuuden ja muotinpurkulujuuden saavuttaminen siirtyy myöhäisemmäksi. Ääritapauksissa betoni saattaa jäätyä ja vaurioitua ennen kuin jäätymlujuus on saavutettu. Jotta päästään laadukkaaseen lopputulokseen, tulee betonointi toteuttaa talvibetonointina.

Varsinaisen talvibetonointikauden katsotaan alkavaksi, kun lämpötila laskee alle +5 °C:n. Betonin hitaampaan lujuudenkehitykseen tulee kuitenkin varautua jo ennen tätä. Ennakosuunnitteluun tulee myös panostaa jo ennen varsinaista talviaikaa. Talvibetonointiin varaudutaan riittäväillä lämmittimillä, kunnollisilla suojaustoimenpiteillä sekä oikeanlaisella betonilla.

Kirjassa käsitellään asuin- ja liikerakennuksen paikalla valettavia rakenteita sekä betonielementtien juotoksien valamista kylmissä olosuhteissa. Kirjan alussa käsitellään lyhyesti betonirakenteiden suunnittelua. Kirjan pääpaino on talvibetonointitoimenpiteissä. Oletuksena on, että lukijalla on perustiedot betoniteknologiasta ja betonointitöistä.

1

Betonirakenteiden suunnittelu

Taulukko 1. Rakentamismääräyskokoelman B4 (RakMK B4) ja eurokoodijärjestelmän lujuuksien vastaavuudet.

RakMK B4	EN 206-1 ja EN 1992
K20	C16/20
K25	C20/25
K30	C25/30
K35	
	C30/37
K40	
K45	C35/45
K50	C40/50
K55	C45/55
K60	C50/60
	C55/67
K70	
	C60/75
K80	
	C70/85
K90	
	C85/95
K100	
	C90/105

Suomen rakentamismääräyskokoelman ja eurokoodien rinnakkaiskäyttö

Rinnakkaiskäyttökauden ajan kantavien rakenteiden suunnittelu voi perustua joko eurokoodien ja niiden kansallisten liitteiden tai Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) määräysten ja ohjeiden mukaiseen suunnitteluun. Yhtenä kokonaisuutena toimivat rakenneosat on suunniteltava käyttäen vain jompaakumpaa suunnittelujärjestelmää, ts. niitä ei saa käyttää ristiin.

Rinnakkaiskäyttökauden ennakoitua päättyvän 30.6.2013, jolloin eurokoodien kanssa päällekkäiset suunnittelusäännöt poistetaan rakentamismääräyskokoelmasta. Vanhan B-sarjan virallisen kumoamisen jälkeen muidenkin kuin eurokoodeissa esitettyjen suunnittelumenetelmien hyväksyminen on periaatteessa yhä mahdollista. Hyväksyminen jää kuitenkin rakennusvalvonnantapauskohtaisen harkinnan varaan, eikä rakennusvalvonnalla ole mitään lakisääteisiä veloitteita hyväksyä niitä.

Betonin lujuusluokka

Eurokoodeilla suunniteltaessa betonin lujuusluokka esitetään C-lujuusluokkia käyttäen. Lujuusluokka ilmoitetaan 28 vuorokauden ikäisen betonin lieriö- ja kuutiopuristuslujuuden suhteena (esim. C30/37). Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) B4 mukaisessa suunnittelussa käytetään perinteisiä K-lujuusluokkia (esim. K35). Taulukossa 1 on esitetty eurokoodien ja rakentamismääräyskokoelman lujuuksien vastaavuudet.

RakMK B4 antamat ohjeet koskevat lujuusluokkiin K15...K100 kuuluvien rakenteiden valmistusta ja lujuusluokkiin K15...K60 kuuluvien rakenteiden suunnittelua. Lujuusluokkiin K70...K100 (korkealujuusbetonit) kuuluvien rakenteiden mitoitusohjeita on esitetty Suomen Betoniyhdistys ry:n julkaisussa by 50.

Suunnittelija määrittää lujuuden rakenteen käyttötarkoituksen mukaan. Vaadittu lujuusluokka merkitään rakennepiirustuksiin. Lujuusluokan perään merkitään rakenteen rakenne- tai toteutusluokka.

Rakenneluokka tai seuraamus- ja toteutusluokka

Betonirakenteet jaetaan RakMK B4 mukaan kolmeen rakenneluokkaan, joita nimitetään 1-, 2- ja 3-luokiksi. Eurokoodeilla suunniteltaessa valitaan seuraamus- ja toteutusluokka. Eurokoodien toteutusluokat vastaavat likimain vanhoja rakenneluokkia. Rakennesuunnittelijoiden ja betonityöjohtajien pätevyysvaatimukset määräytyvät rakenneluokan mukaan.

Rakenneluokka

1900-luvun puolivälissä betoninormeihin tulleet rakenneluokat perustuivat alun perin betonin valmistuksen vaativuuteen. Niihin liittyvät myös suunnittelun ja rakenteen valmistuksen vaativuus, rakenteen merkitys, valvonta ja osavarmuusluvut.

Rakenneluokka ilmaistaan lujuusluokan jälkeen tehtävällä merkinnällä, esimerkiksi K30-2. Rakenneluokat ja niiden sisällöt on esitelty taulukossa 2.

Seuraamusluokka

Eurokoodeissa rakenteen merkitys eli mahdollisen vaurion seuraamukset katetaan seuraamusluokilla, jotka otetaan huomioon muuttamalla kuormien osavarmuuslukuja. Seuraamusluokkien kuvaukset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 2. RakMK:n rakenneluokkien vastaavuudet eurokoodien toteutusluokkiin.

Rakenneluokka, RakMK B4	Rakenneluokan sisältö RakMK B4 mukaan	Vastaavuus eurokoodeissa	Osavarmuusluku- jen suositusarvot rakenneluokissa
1	Rakenteet ja rakenneosat, joiden suunnittelun katsotaan vaativan erityistä pätevyyttä tai joiden valmistaminen niiden rakenteellisen toiminnan varmistamiseksi edellyttää erityistä huolellisuutta, toteutetaan 1-rakenneluokassa. Vaativiksi katsotaan jännitetyt rakenteet ja esimerkiksi tavanomaisesta poikkeavat suuret tai monikerroksiset elementtirakenteet.	Toteutusluokka 3, toleranssiluokka2	Betoni 1,35, teräs 1,1
2	Rakenteen kantavuus korkeintaan K40	Toteutusluokka 2, toleranssiluokka1 lujuus korkeintaan C50/60	Betoni 1,5, teräs 1,15
3	Rakenteen kantavuus korkeintaan K20	Toteutusluokka 1, betonin lujuus korkeintaan C20/25	

Toteutusluokka

Betonirakenteiden toteutusstandardi SFS-EN 13670 sisältää kolme toteutusluokkaa, jotka poikkeavat toisistaan tarkastusten vaativuuden suhteen. Tarkastustaso kasvaa luokasta 1 luokkaan 3. Numerointi on siis päinvastainen kuin poistuvissa rakenneluokissa.

Toteutusluokka 1 vastaa likimain poistuvaa rakenneluokkaa 3. Sitä voidaan käyttää vain seuraamusluokan CC1 rakenteille ja mitoituksessa saadaan käyttää korkeintaan betonin lujuutta C20/25.

Toteutusluokka 2 vastaa likimain poistuvaa rakenneluokkaa 2. Sitä voidaan käyttää seuraamusluokkien CC1 ja CC2 rakenteille, ei kuitenkaan korkealujuusbetonille (C55/67).

Toteutusluokka 3 on valittava seuraamusluokan CC3 rakenteille, korkealujuusbetonille tai kun toteutuksen katsotaan vaativan erityistä pätevyyttä tai rakenteiden valmistaminen edellyttää erityistä huolellisuutta.

Toteutusluokat koskevat vain työmaatöitä, eivät tuotestandardin mukaan valmistettuja elementtejä (betonivalmisosa). Tarkastettu valmistus on pakollinen betonivalmisosille, ellei niitä ole CE-merkitty. Betonivalmisosia voidaan käyttää kaikissa seuraamusluokissa.

Taulukko 3. Seuraamusluokkien määrittely. Lähde: ympäristöministeriön asetus Eurocode-standardien soveltamisesta talonrakentamisessa. 2007.

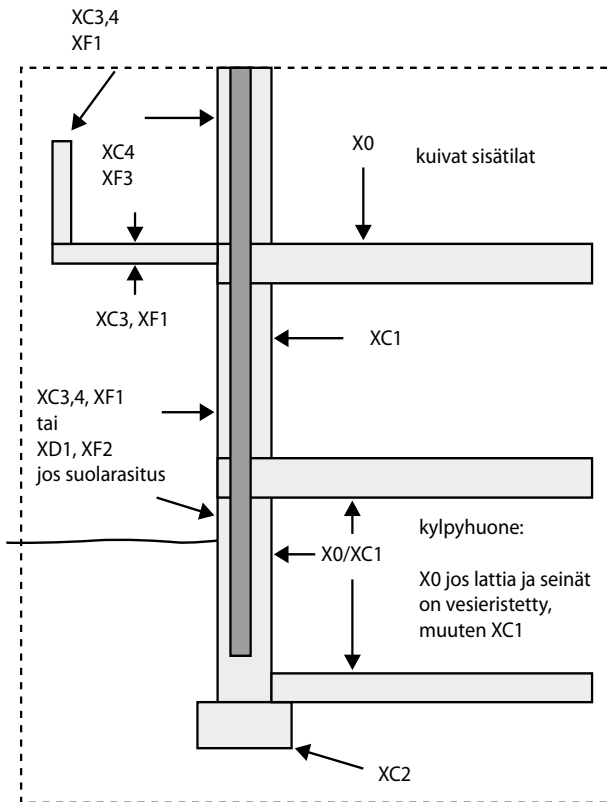
Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia tai rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset hengenmenetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.	Rakennuksen kantava runko jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten <ul style="list-style-type: none">• yli 8-kerroksiset asuin-, konttori- ja liikerakennukset• konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot• raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset.
CC2	Keskisuuret seuraamukset hengenmenetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkaan CC3 tai CC1. Ylä- ja välipohjat kuuluvat kuitenkin luokkaan CC2, elleivät ne toimi koko rakennusta jäykistävänä rakenteena.
CC1	Vähäiset seuraamukset hengenmenetysten tai pienien tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.	1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä, esimerkiksi varastot. Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa.

Betonin rasitusluokat

Rakenteita suunniteltaessa kovettuneen betonin tärkeimmät määritettävät ominaisuudet ovat betonin lujuus ja säilyvyys erilaisia rasituksia vastaan. Suomen ulko-olosuhteissa rakenteiden säilyvyyden kannalta tärkeimmät ominaisuudet ovat pakkasenkestävyys (toistuva jäätyminen ja sulaminen) ja pakkas-suolarasituksen kestävyys (toistuva jäätyminen ja sulaminen ympäristössä, jossa on suoloja, esim. klorideja).

Suunnittelija valitsee rakenteen rasitusluokan rakenteeseen kohdistuvien rasitustekijöiden avulla. Kuva 1 esittää periaatteen, miten rakenteet jaetaan rasitusluokkiin.

Rakenne voi kuulua samanaikaisesti useampaan rasitusluokkaan. Esimerkiksi julkisivut kuuluvat jäädytys-sulatus-rasituksen mukaan luokkaan XF1 sekä karbonatisoitumisen aiheuttaman korroosion suhteen luokkaan XC3 tai XC4. Taulukossa 4 on esitetty eri rasitusluokkien vaatimukset 50 vuoden käyttöiällä. Taulukossa 5 on tarkempi selostus jäädytys-sulatus-rasitusluokista XF1...XF4.



Kuva 1. Kerrostalon osien sijoittuminen eri rasitusluokkiin. Muokattu lähteestä: by 51 Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007.

Taulukko 4. Betonin koostumuksen ja ominaisuuksien raja-arvot, kun suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta. Lähde: by 50 Betoninormit 2012.

RASITUSLUOKAT		KOOSTUMUS JA OMINAISUUDET				
		w/c enintään	Vähimmäis-lujuusluokka	Vähimmäis-sementtimäärä (kg/m ³)	Ilmamäärä	
Ei korroosion tai rasituksen vaaraa		XO		C12/15		
Karbonatisoitumisen aiheuttama korrosio		XC1	0,90	C20/25	160	
		XC2	0,80	C20/25	160	
		XC3	0,60	C30/37	250	
		XC4	0,60	C30/37	250	
Kloridien aiheuttama korrosio	Merivesi	XS1	0,50	C30/37	300	
		XS2	0,45	C35/45	320	
		XS3	0,45	C35/45	320	
	Kloridit muusta kuin merivedestä	XD1	0,55	C30/37	300	
		XD2	0,55	C30/37	300	
		XD3	0,45	C35/45	320	
Jäädytys-sulatus-rasitus ¹⁾²⁾		XF1	0,60		270	4,0 ⁴⁾
		XF2 ³⁾	0,50		330	5,0
		XF3	0,50		300	4,0 ⁴⁾
		XF4 ³⁾	0,45		360	5,5
Agressiiviset kemialliset ympäristöt		XA1	0,50	C30/37	300	
		XA2	0,45	C35/45	320	
		XA3	0,40	C40/50	330	

- 1) Tulee täyttää kelpoisuusvaatimukset.
- 2) Rasitusluokissa XF2 ja XF4 betonin vesi-sementtisuhteen, ilmamäärän ja sementtimäärän vaatimukset CEM I, CEM II/A-D, CEM II/A-LL, CEM II/A-M JA CEM II/B-M tietyin rajoituksin.
- 3) Betonin pakkasuolakestävyys pitää osoittaa, kun
 - käytetään sementtilaatuja CEM II/A-S, CEM II/B-S ja CEM II/A-V tai
 - käytetään sementtilaatuja CEM II/A-LL, CEM II/A-M ja CEM II/B-M koostumusrajoittamattomasti tai
 - poiketaan taulukon mukaisista suhteitusvaatimuksista rasitusluokissa XF2 ja XF4.
- 4) Ilmamäärävaatimus koskee betonia, jossa kiviaineksen ylänimellisraja on vähintään 16 mm. Ylänimellisrajan ollessa 12 mm ilmamäärävaatimusta nostetaan 0,5 %-yksikköä ja ylänimellisrajan ollessa 8 mm 1,0 %-yksikköä.

Taulukko 5. Rasitusluokat ympäristöolosuhteiden mukaisesti, kun betoni on märkä ja siihen kohdistuu kosteuden lisäksi merkittäviä jäädytys-sulatus-rasituksia. Lähde: by 50 Betoninormit 2012.

Luokka	Ympäristön kuvaus	Esimerkkejä
XF1	Kohtalainen vedellä kyllästymisen ilman jäänsulatusaineita.	Sateelle ja jäätymiselle alttiit pystysuorat betonipinnat. Julkisivut, sokkelit. Suolaamattomien teiden siltojen osat kuten kansilaatta, palkit, maa- ja välituet.
XF2	Kohtalainen vedellä kyllästymisen ja jäänsulatusaineet.	Sateelle ja jäätymiselle alttiit pystysuorat betonipinnat, jotka ovat alttiina jäätymiselle ja ilman kuljettamalle jäänsulatusaineille. Meluseinät ja sokkelit tien vieressä.
XF3	Suuri vedellä kyllästymisen ilman jäänsulatusaineita.	Sateelle ja jäätymiselle alttiit vaakasuorat betonipinnat. Parvekkeet, siltapilarit ja muut rakenteet sisävesien vesirajassa, patorakenteet, makeanveden altaat.
XF4	Suuri vedellä kyllästymisen ja jäänsulatusaineet tai merivesi.	Suoralle jäänsulatusaineroiskeelle ja jäätymiselle alttiit vaakasuorat betonipinnat ja jäänsulatusaineille alttiit teiden siltojen kannet.

Pätevydet

Rakenneluokan tai seuraamus- ja toteutusluokan perusteella määräytyvät suunnittelijalta ja työnjohdolta vaadittava pätevyys sekä työsuorituksen tarkkuus. Valmisbetonin valmistuksesta vastaavalla henkilöllä tulee olla valmistettavan betonin rakenneluokan mukainen pätevyys.

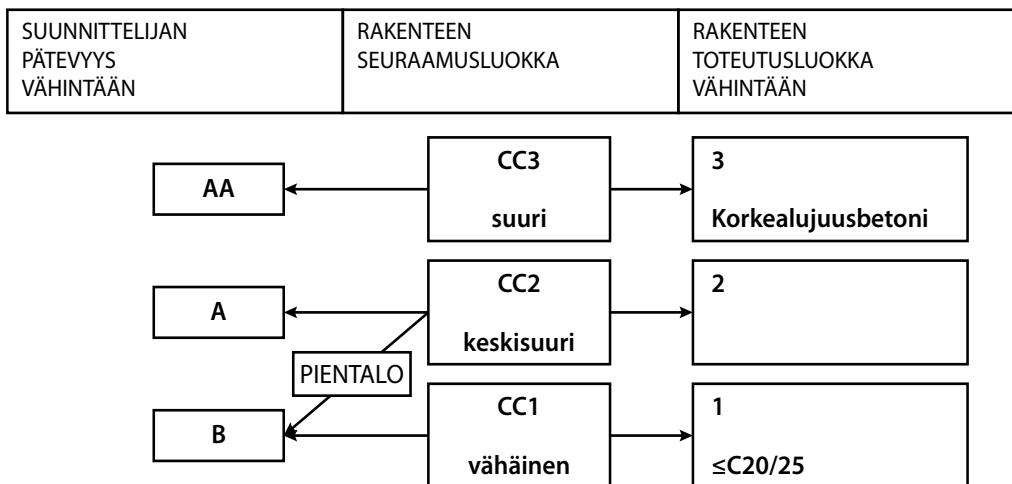
Ympäristöministeriön hyväksymälle toimielimelle ilmoitetaan, kuka toimii betonin valmistuksesta vastaavana henkilönä ja ketkä toimivat prosessinohjaajina.

Rakennuspaikalla betonimassalle tai valmiille rakenteelle tehtävien kokeiden suorittajan tulee olla näytteenottoon ja tarvittaviin kokeisiin nähden riittävän pätevä henkilö. Tämä koskee myös betoniauton kuljettajaa, jos hän tekee esim. ilmapitoisuuden tai muun ominaisuuden määryksiä tai jos betoniin sekoitetaan lisäaineita työmaalla.

Betonipumpun hoitajalla tulee olla riittävät betonin ominaisuuksia ja nostolaitteiden käsittelyä koskevat tiedot.

Suunnittelijan pätevyys

Suunnittelijan vaadittava kelpoisuus määräytyy suunnittelijan riittävästä pätevydestä suhteessa kulloisenkin suunnittelutehtävän vaativuuteen. Kuvassa 2 on esitetty seuraamusluokan vaikutus suunnittelijan pätevyteen. Suunnittelijoiden kelpoisuus on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelmassa. Vastuu rakennustuotteen valinnasta on suunnittelijalla.



Kuva 2. Seuraamusluokan vaikutus toteutusluokkaan ja suunnittelijan pätevyteen. Lähde: Rakentamismääräyskokoelman B-sarjan sisältö. Powerpoint-esitys. Rakennusteollisuus RT ry. 2010.

Peruseriaatteena on, että rakennesuunnittelija määrittelee piirustuksissaan ne ominaisuudet, joita kovettuneelta betonilta rakenteessa vaaditaan. Näitä ovat mm.

- betonin lujuusluokka
- rakenneluokka tai seuraamus- ja toteutusluokka
- betonipeitteen ominaisuudet ja sallitut mittapoikkeamat
- tarvittaessa muut erityisohjeet (lämmönkehitys, yms.)
- telineiden ja muottien purkulujuus
- jännittämislujuus
- toleranssit ja pintaluokat (by 39 tai Betonielementtien toleranssit -kirja ja by 40).

Betonirakentamisen työjohto

FISE Oy:n mukaan uudisrakentamisen työjohtoon pätevyysvaatimukset betonirakentamisessa jakautuvat seuraavasti:

- betonirakenteiden työjohtajan pätevyysvaatimukset (1- ja 2-luokka)
- valmisbetonityöjohtajan pätevyysvaatimukset (1- ja 2-luokka)
- betonielementtien asennustyöjohtajan pätevyysvaatimukset
- betonijulkisivutyöjohtajan pätevyysvaatimukset
- betonilattiatyöjohtajan ja betonilattiapinnoitustyöjohtajan pätevyysvaatimukset
- betonilaborantin pätevyysvaatimukset.

Pätevyyden toteaa FISE Oy:n tehtävään nimittäjä pätevyyslautakunta. Pätevyys myönnetään seitsemäksi vuodeksi kerrallaan.

Betonityöjohtaja

Rakennustyömaalla betonityöjohtaja johtaa rakenteiden valmistusta, ja hänellä tulee olla tehtävän vaativuuden mukainen pätevyys. Hänellä tulee olla riittävät tiedot betonin ominaisuuksista ja valinnasta sekä riittävä käytännön kokemus rakenteiden valmistuksesta.

Betonityöjohtajan on oltava paikalla oleellisten työvaiheiden, etenkin betonoinnin, aikana. Jos 1- tai 2-luokan betonityöjohtaja hetkellisesti joutuu poistumaan paikalta, tulee hänen tilallaan olla vähintään 2-rakenneluokan betonityöjohtaja.

Betonityönjohtajalla tulee olla rakenneluokan mukainen riittävä koulutus sekä tehtävään soveltuva ja riittävä käytännön kokemus. Eurokoodien mukaan suunniteltaessa betonityönjohtajalla tulee olla toteutusluokkaa vastaava pätevyys ja suunnittelijalla tulee olla seuraamusluokkaa vastaava pätevyys.

Taulukko 6. Betonirakenteiden työnjohtajan pätevyys. Lähde: FISE Oy. <http://www.fise.fi>.

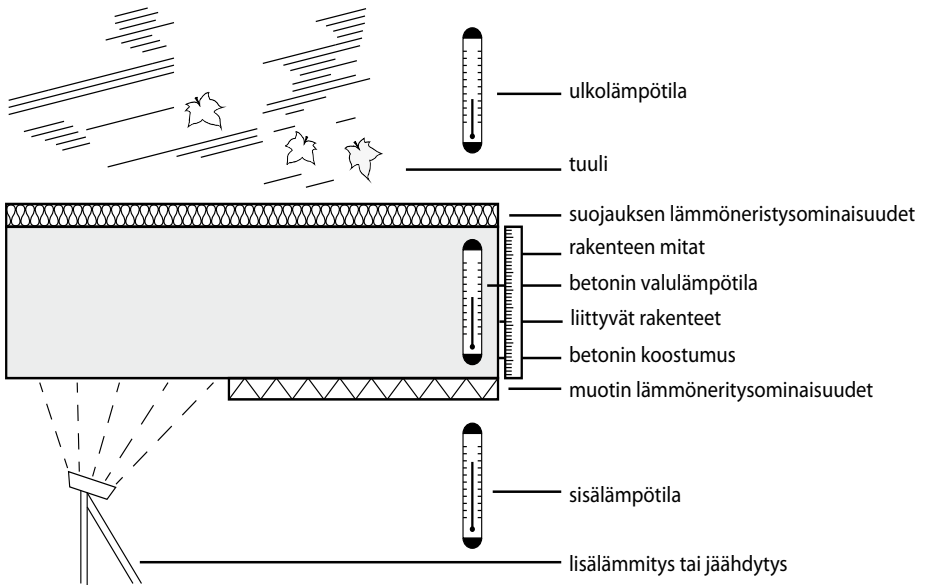
1-luokan betonirakenteiden työnjohtajan pätevyys	
<p>1-luokan työssä betonityönjohtajan tulee olla suorittanut vähintään ammattikorkeakoulun tai teknillisen oppilaitoksen rakennusosaston insinööritutkinnon, johon sisältyvät betonirakenteiden suunnittelua ja toimintaa tai valmistusta ja toimintaa käsittelevät kurssit.</p> <p>Teknikon tai rakennusmestari AMK:n tutkinnon suorittaneilla tulee olla vastaavat tiedot betonirakenteiden valmistuksesta ja toiminnasta (hankittu esim. täydennyskoulutuksella, jota kontrolloidaan lautakunnan hyväksymällä tentillä). Suoritettu pätevyystentti ei pätevyyttä todettaessa saa olla kolmea vuotta vanhempi.</p>	Ammatillinen perus- ja täydennyskoulutus
<p>Insinööritutkinnon tai sitä korkeamman tutkinnon suorittaneelta hakijalta edellytetään kokemusta työnjohtotehtävistä ja riittävän monipuolista ja tehtävään soveltuvaa kokemusta betonirakenteiden valmistuksesta, yleensä vähintään kaksi vuotta.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Työkokemuksen pituus lasketaan yleensä perustutkinnon jälkeen. Se ei kuitenkaan saa olla seitsemää vuotta vanhempaa. • Valmisbetonilaitoksessa saavutetusta työnjohtokokemuksesta otetaan huomioon puolet, kuitenkin enintään vuosi. • Betonirakenteita koskevassa tutkimus-, kehitys- ja opetustyössä, rakentamisen valvonnassa sekä rakennuttamisessa saavutettu kokemus otetaan huomioon soveltuvin osin. <p>Teknikon tai rakennusmestari AMK:n tutkinnon suorittaneelta edellytetään kokemusta työnjohtotehtävistä ja vähintään kolme vuotta riittävän monipuolista kokemusta betoniteistä. Työkokemus luetaan hyväksi vasta pätevyteen vaadittavan tutkinnon suorittamisen jälkeen.</p>	Käytännön kokemus
2-luokan betonirakenteiden työnjohtajan pätevyys	
<p>2-luokan työssä betonityönjohtajan tulee olla suorittanut vähintään ammattikorkeakoulun tai teknillisen oppilaitoksen rakennustekniikan tai -tuotannon insinööritutkinnon tai rakennusmestari AMK vastaa- van aiemman tutkinnon (teknillisen oppilaitoksen rakennusosaston teknikkotutkinto). Tutkintoon tulee sisältyä betonirakentamista ja -teknologiaa sekä rakenteiden mekaniikkaa ja rakenteiden fysiikkaa käsitteleviä kursseja.</p>	Ammatillinen perus- ja täydennyskoulutus
<p>Hakijalta edellytetään kokemusta betonirakenteiden työnjohtotehtävistä vähintään kahden vuoden ajalta. Valmisbetonilaitoksessa saavutetusta työnjohtokokemuksesta otetaan huomioon puolet, kuitenkin enintään vuosi.</p> <p>Työkokemus luetaan hyväksi vasta pätevyteen vaadittavan tutkinnon suorittamisen jälkeen. Se ei kuitenkaan saa olla seitsemää vuotta vanhempaa.</p>	Käytännön kokemus

2

Betonin lujuudenkehitys

Betonin lujuudenkehitysreaktiot nopeutuvat lämpimässä ja hidastuvat kylmässä. Talvibetonoinnissa tärkeintä on betonin riittävän lämpötilan ylläpito kovettumisen varmistamiseksi. Käytännössä betonin lämpötilan on pysyttävä reilusti nollan yläpuolella, jotta betonin lujuudenkehitys voi tapahtua esteettä siten, että betoni saavuttaa muotinpurkulujuuden kohtuullisessa ajassa.

Betonin lämmön- ja lujuudenkehitykseen vaikuttavat tärkeimmät tekijät on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Betonin lämmön- ja lujuudenkehitykseen vaikuttavat tekijät. Muokattu lähteestä: Betonin lujuudenkehityksen hallinta. Rudus Oy. Internet-julkaisu.

Lämpötilan vaikutus lujuudenkehitykseen

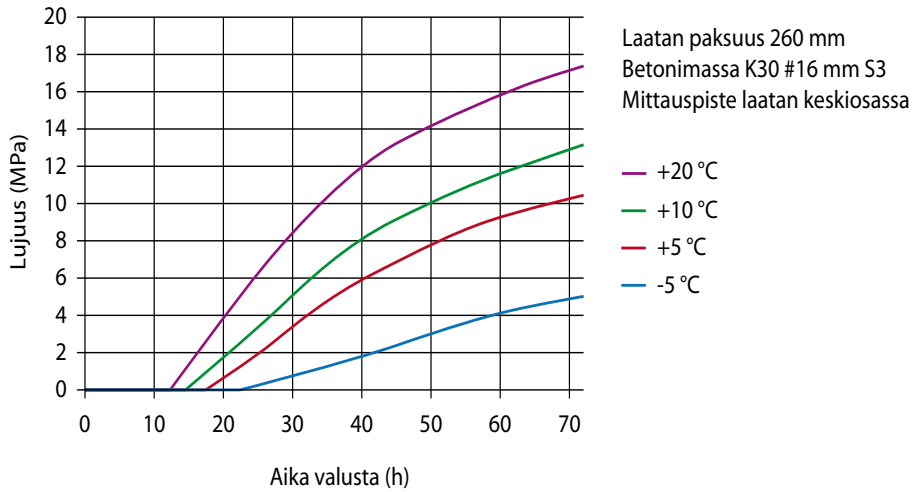
Kylmällä säällä betonin lujuudenkehitykseen kiinnitetään erityistä huomiota. Kun betonin lämpötila jää $+5\text{ °C}$:seen, betonin lujuudenkehitys on usein liian hidasta normaalin rakentamisen vauhtiin. Betonin varhaisesta jäätymisestä voi seurata sisäisiä vaurioita ja rapautumista.

Useimmin betonirakenteen riittävän nopea kovettuminen vaatii betonilta $+20\text{ °C}$:n tai korkeampaa lämpötilaa. Lämpötila ei saa kuitenkaan nousta yli $+60\text{ °C}$:n, koska tuolloin vaarana on lujuuskato. Korkeissa lämpötiloissa lujuuskadon määrä tulee selvittää ja ottaa huomioon.

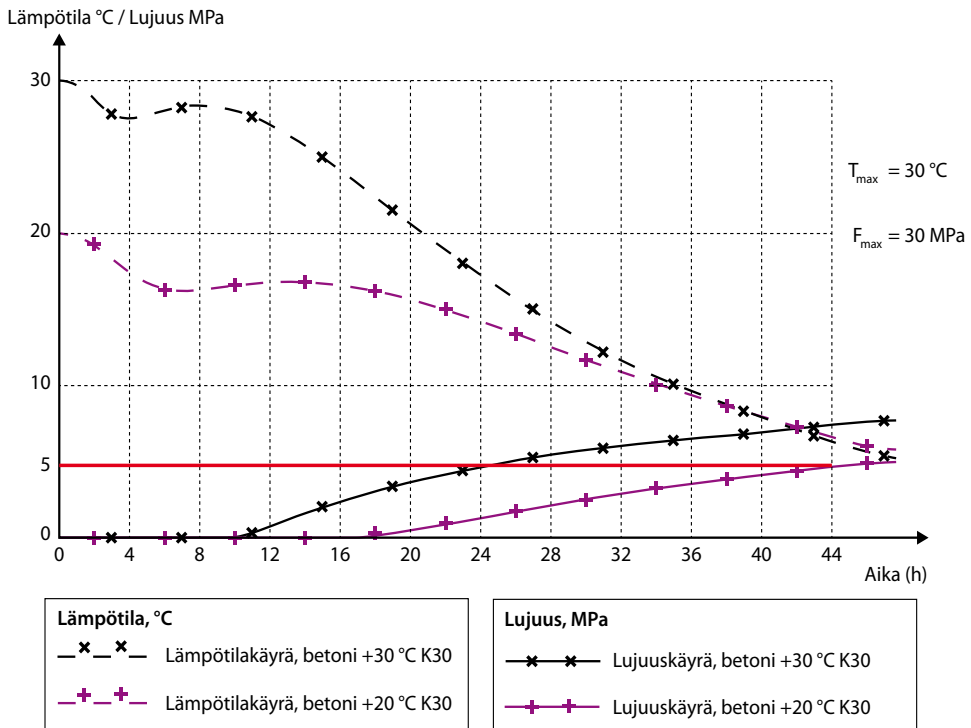
Taulukossa 7 on kuvattu lämpötilojen vaikutuksia betonin/betonimassan lujuudenkehitykseen. Lämpötilan vaikutusta betonin lujuudenkehitykseen ajan suhteen on esitetty kuvissa 4 ja 5.

Taulukko 7. Lämpötilojen vaikutus betonin/betonimassan lujuudenkehitykseen.

Lämpötila	Huomioita
$> +60\text{ °C}$	Seurauksena lujuuskatoa ja säilyvyyden heikentyminen. Lujuuskadon määrä selvitetään ja otetaan huomioon.
$+50\dots+60\text{ °C}$	Yhden vuorokauden lujuudet nousevat, mutta valmiin betonin lujuusominaisuudet saattavat kärsiä (lujuuskato).
$+30\dots+40\text{ °C}$	Betonimassan suositeltava kovettumislämpötila.
$+20\text{ °C}$	Betonin tavoitelujuus saavutetaan n. 28 vrk:n kuluttua.
$+5\text{ °C}$	Betonilla ei ole havaittavaa lujuutta vielä yhden vuorokauden iässä.
$< 0\text{ °C}$	Betonin lämpötilan laskiessa alle 0 °C :n lujuudenkehitys käytännössä lakkaa. Betonissa oleva vesi alkaa jäätyä.
$-10\dots-15\text{ °C}$	Lujuudenkehitys pysähtyy käytännössä katsoen kokonaan. Jäätäneellä betonilla saattaa olla valelujuutta.



Kuva 4. Lämpötilan vaikutus välipohjan lujuudenkehitykseen. Lähde: Betonin valinta rakentäisiin – olosuhdehallinta. Rudus Oy. Internet-julkaisu.



Kuva 5. Suojaamattoman laatan valu 0 °C:ssa. Jäätymislujuus 5 Mpa saavutetaan betonilla +30 °C K30 24 tunnin kuluessa. Betonilla +20 °C K30 jäätymislujuuden saavuttaminen kestää kaksi vuorokautta. Lähde: Betonin lujuudenkehityksen hallinta. Rudus Oy. Internet-julkaisu.

Betonin lujuuden tarkasteluhetket

Kaikissa olosuhteissa on huolehdittava, että betonirakenne saavuttaa sille suunnitellun rakenteellisen lujuuden eikä muotteja pureta ennen kuin rakenne kestää toimenpiteen vaurioitumatta.

Kylmissä olosuhteissa betonointiin liittyy kolme tärkeää lujuuden tarkastushetkeä (kuva 6):

- jäätymislujuuden saavuttaminen
- muottien purkulujuuden saavuttaminen
- nimellisljuuden saavuttaminen.

Jäätymislujuus

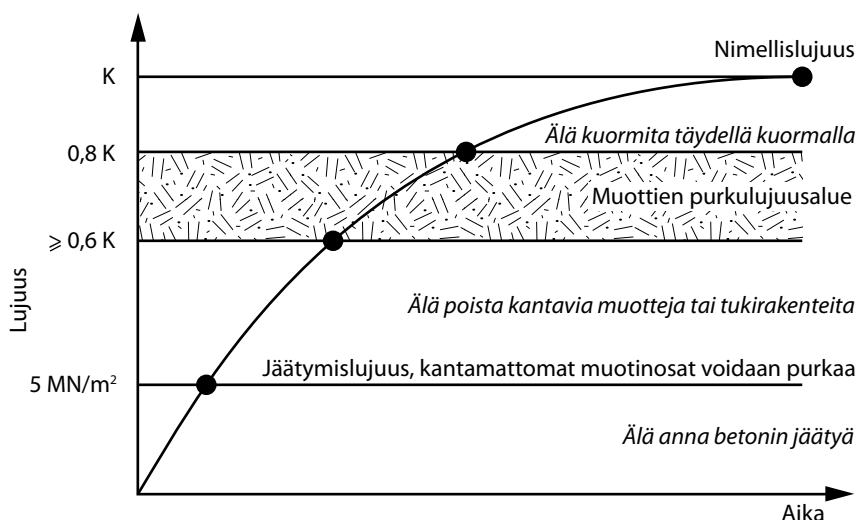
Kovettuvan betonin lujuuden tulee olla ennen mahdollista jäätymistä niin suuri, että se kestää veden jäätymisestä aiheutuvat sisäiset rasitukset. Jäätymislujuus ilmoittaa rajan, jonka alapuolella betoni jäätyessään pysyvästi vaurioituu.

Jäätymislujuus on kaikilla lujuusluokilla vähintään 5 MN/m². Nykyään muotit pyritään purkamaan mahdollisimman nopeasti, joten lujuuden tarve on käytännössä lähes aina suurempi kuin 5 MN/m².

Mikäli betoni pääsee jäätymään ennen jäätymislujuuden saavuttamista, loppulujuus jää vajaaksi ja betonin muut ominaisuudet kärsivät veden jäätyksen aiheuttamien vaurioiden seurauksena.

Jäätymislujuuden saavuttamisen jälkeen betoni voi jäätyä ilman, että syntyy lujuuskatoa. Muotteja ei kuitenkaan saa purkaa, ennen kuin betoni on saavuttanut muottien purkulujuuden.

Pakkasenkestävyys on kovettuneen betonin kyky säilyttää ominaisuutensa toistuvista jäätymisistä huolimatta.



Kuva 6. Betonin kovettumisen vaiheet kylmissä olosuhteissa. Muokattu lähteestä: by 201, betonitekniikan oppikirja 2004.

Muotinpurkulujuus

Rakennetta kantavien muottien osien ja niiden tukirakenteiden purkamisen edellytyksenä on, että betonin lujuus on riittävä kestäämään rakenteeseen kohdistuvat rasitukset ilman vaurioita ja haitallisia muodonmuutoksia. Tätä betonin lujuutta nimitetään muottien purkulujuudeksi.

Purkulujuuden suuruus riippuu

- rakenteen toimintatavasta ja betonin nimellisljuudesta
- muottien tukemistavasta
- rakennetta muottien purkamishetkellä ja sen jälkeen rasittavan kuormituksen suhteesta ominaiskuormaan
- työn suorituksen etenemisen aiheuttamista erityisvaatimuksista.

Yleisohjeena on, että betonin lujuuden tulee olla muotteja ja niiden tukirakenteita purettaessa vähintään 60 % nimellisljuudesta, ellei piirustuksissa ole toisin esitetty tai ellei ole tehty muuta erillistä selvitystä.

Jälkijännitetyissä rakenteissa muottia ei saa purkaa ennen hyväksytyä jännitystyötä. Jälkijännitetyissä rakenteissa betonin lujuuden tulee yleensä olla 80 % nimellisljuudesta ennen kuin jännitystyö voidaan tehdä. Jälkijännitetyt rakenteet kestävät jännittämisen jälkeen mitoituskuormat, jolloin jälkituentaa ei välttämättä tarvita.

Muotit ja niiden tukirakenteet voidaan purkaa turvallisesti suunniteltuna ajankohtana, kun betonille on luotu sellaiset kovettumisolosuhteet, että lujuudenkehitys voi tapahtua rakenteessa hallitusti.

Nimellisljuus

Nimellisljuus on se betonin lujuusluokka, jonka mukaan rakenne on suunniteltu. Rakenteiden tulee saavuttaa nimellisljuus ennen käyttöönottoa. Rakenteita ei saa kuormittaa täydellä kuormalla ennen nimellisljuuden saavuttamista.

Betonin valinta

Betonin valinta tehdään yleensä rakennekohtaisen suunnitelman teon yhteydessä ja sitä tarkennetaan ennen valua sää- ja työskentelyolosuhteiden mukaisesti. Kuhunkin rakenneosaan ja lämmitysmenetelmään parhaiten soveltuva betonilaatu päätetään yhteistyössä betonityönjohdon, rakennesuunnittelijan ja betoniasiantuntijan kesken. Tämä on välttämätöntä useiden ennakkoon vaikeasti hallittavien betonin lujuudenkehitykseen vaikuttavien tekijöiden takia.

Betonin lämpötilaan ja lujuudenkehitykseen vaikuttavat

- muottikierron vaadittu nopeus
- muottijärjestelmä ja etenkin siihen liittyvä jälkituenta
- lämmitysmenetelmä
- muottien ja betonin lämpösuojaus
- odotettavissa olevat sääolosuhteet valun aikana ja sitä seuraavina lähivuorokausina
- sääsuojien käyttö.

Betonilaadun valinnassa tulee ottaa huomioon

- kohteessa kirjatut rakenneominaisuudet
- tavoitteet toteutukselle
- olosuhteet
- suojaus ja lämmitys.

Selvitetään ennakkoon ne betonilaadut, joilla kohde voidaan toteuttaa eri olosuhteissa.



Kuva 7. Tukia ei saa purkaa, ennen kuin betoni on saavuttanut muotinpurkulujuuden.

Kun kovettumisen aikaisiin lämpötiloihin ja lujuudenkehitykseen vaikuttavat tekijät ovat tiedossa, valitaan lopullinen käytettävä betonilaatu. Mikäli tavoitteita on vaikea saavuttaa kohtuullisesti millään betonilaadulla, tulee miettiä, voidaanko valutilanteen olosuhteisiin (lämpötilat, suojaus, lämmitys) vaikuttaa.

Talvibetonoinnissa käytetään tyypillisesti nopeasti kovettuvaa betonia tai kuumabetonia. Saumavaluissa voidaan harkita pakkasbetonin käyttöä.

Normaalisti kovettava rakennebetoni

Normaalisti kovettava rakennebetoni on perusbetonilaatu ilman erikoisbetonien erikoisominaisuuksia. Se soveltuu käytettäväksi, jos ei vaadita säänkestävyyttä tai muita erityisominaisuuksia.

Normaalisti kovettavaa betonia käytetään talvibetonoinnissa, kun suojaus ja lämmitys ovat tehokkaita ja/tai kovia pakkasia ei ole odotettavissa. Tyypillisiä rakenteita ovat mm. perustukset, holvit ja pilarit. Lattioihin, saumauksiin ym. erikoisrakenteisiin suositellaan niihin paremmin soveltuvien erikoislaatuja.

Nopeasti kovettava betoni

Nopeasti kovettuvat betonilaadut saavuttavat nimellislujuutensa seitsemän vuorokauden ikäisinä. Ne kehittävät kovettuessaan runsaasti lämpöä, mikä nostaa vastabetonoidun rakenteen lämpötilaa. Riittävän korkea lämpötila nopeuttaa betonin lujuudenkehitystä ja muotinpurkulujuuden saavuttamista talviolosuhteissa.

Kuumabetoni

Kuumabetoni on vakiintunut tuotenimike haluttuun lämpötilaluokkaan lämmitetystä betonista. Kuumabetonimassan lämpötila on noin +30 °C ja normaalin betonimassan lämpötila on noin +20 °C niiden lähtiessä tehtaalta.

Korkea lämpötila nopeuttaa massan sitoutumista ja lyhentää työstettävyysaikaa. Kuumabetonin käyttö nopeuttaa erityisesti ensimmäisten tuntien sitoutumista ja lujuudenkehitystä.

Lämmitettyyn betoniin syntyy yleensä jonkinasteisesti lujuuskatoa, eli korkeammassa lämpötilassa lujuuttaan kehittänyt betoni ei saavuta samaa loppulujuutta kuin matalammassa lämpötilassa ollut vastaava betoni. Kuumabetoni alentaa loppulujuustasoa, jos rakenteen lämpötila ylittää +50 °C (kuva 8). Lujuuskadon suuruutta ja haittoja pystytään vähentämään, mutta lujuuskatoa ei pystytä täysin välttämään, kun betonin lämpötila nostetaan korkeaksi.

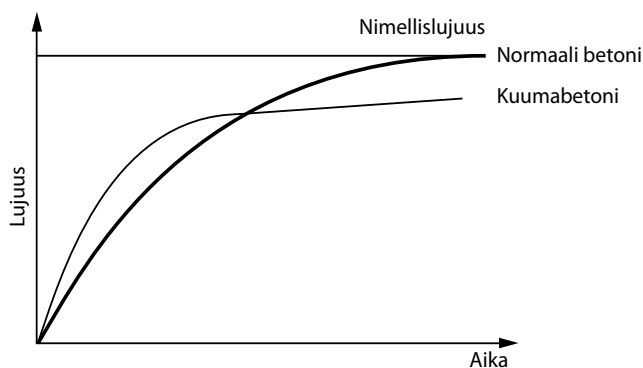
Kuumabetoni

Kuumabetoni on vakiintunut tuotenimike betonitehtaalla haluttuun lämpötilaluokkaan lämmitetystä betonista.

Betonimassan tavallista korkeampi lämpötila hyödynnetään parhaiten, kun massa valetaan hyvin lämpöeristettyyn muottiin ja peitetään eristepeitteillä ennen jäähtymistä. Lämpösuojaus on tärkeä ulottaa myös reuna-alueille, joissa lämmön haihtuminen on tyypillisesti vaikeinta hallita. Valun tulee tapahtua ripeästi, jotta betonin lämpö voidaan hyödyntää mahdollisimman hyvin.

Kuumabetonia ei suositella säänkestäviin rakenteisiin eikä massiivisten rakenteiden valuun, koska lämpötilan nousu voi olla voimakasta.

Betonilaatua ja betonimassan toimituslämpötilaa valittaessa kannattaa turvautua valmisbetonitoimittajan laskentapalveluun. Valmisbetonitoimittajan tietokonelaskennan avulla voidaan valita kuumabetonin oikea lämpötila tai nopeammin kovettuva betonilaatu mm. sääolosuhteiden, rakenteen paksuuden, kylmäsiltojen, muotin eristyksen ja lämmityksen mukaan.



Kuva 8. Kuumabetonin käyttö nopeuttaa erityisesti ensimmäisten tuntien sitoutumista ja lujuudenkehitystä. Kuumabetonin käyttö alentaa loppulujuustasoa, jos rakenteen lämpötila ylittää $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pakkasbetoni

Ei vaurioidu jäätyessään ennen jäätymislujuuden saavuttamista. Pakkasbetonia voidaan käyttää pienellä pakkasella, mutta sen lujuudenkehitys on hidasta.

Pakkasenkestävä betoni

Pakkasenkestävä eli säänkestävä betoni tarkoittaa betonia, joka kestää kovettuneena ulko-olosuhteissa toistuvaa jäätymistä ja sulamista.

Pakkasbetoni

Pakkasbetoni käytetään lähinnä elementtien saumavaluissa. Pakkasbetoni ei sovellu kohteisiin, joissa on suolarasitusta tai edellytetään säänkestävyyttä. Pakkasbetonia ei saa käyttää XF-rasitusluokan rakenteissa.

Pakkasbetonia voidaan käyttää pienessä pakkasessa, mutta tällöin pakkasbetonin lujuudenkehitys on erittäin hidasta. Pakkasbetonin lujuudenkehitys pysähtyy käytännössä -10 °C :ssa.

Hitaissa valuissa pakkasbetonin lyhyt työstettävyyisaika tuottaa ongelmia valettaessa yli 0 °C :n lämpötilassa. Massan työstettävyydestä kannattaa keskustella betonitoimittajan kanssa.

Itsetiivistyvä betoni eli IT-betoni

Itsetiivistyvä betoni on betonia, joka tiivistyy painovoiman avulla. Se täyttää muotin ja ympäröi raudoituksen ilman mekaanista täryttämistä. IT-betoni soveltuu kohteisiin, joissa käytetään tiheää raudoitusta tai rakenteet ovat muuten ahtaita ja vaikeapääsyisiä.

Talvibetonointikohteissa itsetiivistyvän betonin käyttöön tulee suhtautua varauksella, sillä betoni sisältää paljon lisäaineita ja lujuudenkehitys hidastuu voimakkaasti kylmissä olosuhteissa. Itsetiivistyvän betonin käyttö talviolosuhteissa vaatii aina rakentajan/rakennesuunnittelijan/työsuorittajan ja betonin toimittajan yhteistä ennakkosuunnittelua.

Lisä- ja seosaineiden vaikutus lujituksenkehitykseen

Lisäaineet

Lisäaineita käyttämällä säädellään betonimassan ominaisuuksia, betonin sitoutumista ja kovettumista sekä kovettuneen betonin ominaisuuksia. Lähes kaikissa betoneissa käytetään lisäaineita.

Lisäaineilla on usein päävaikutuksensa lisäksi sivuvaikutuksia. Talviolosuhteissa on varmistuttava lisäaineiden oikeasta käytöstavasta ja lisäaineen käyttökelpoisuudesta.

Notkistimet

Notkistavia lisäaineita käytetään betonin notkeuden lisäämiseen ja veden vähentämiseen. Betonin notkistaminen parantaa betonin työstettävyyttä. Veden vähentäminen pienentää betonin vesi-sementtisuhdetta, mikä nostaa betonin lujuutta.

Viileissä olosuhteissa pienet notkistinmäärät eivät vaikuta betonin lujituksenkehitykseen. Runsas notkistimien käyttö (2...3-kertainen normaaliannostukseen verrattuna) viileissä olosuhteissa saattaa sen sijaan hidastaa betonin sitoutumista. Lattiatbetoneissa notkeusluokkaa ei tule lisätä, jos valuolosuhteet ovat viileät.

Huokostin

Huokostin on lisäaine, joka lisätään betoniin, kun valmiilta rakenteelta vaaditaan säänkestävyyttä (rasitusluokat). Huokostettu betoni kestää kovettuneena toistuvaa jäätymistä ja sulamista. Betoniin muodostuu suojahuokosia, joihin jäänyt vesi voi laajeta rikkomatta kovettuneen betonin rakennetta. Huokostimet varmistavat valmiiden betonirakenteiden pakkasenkestävyyden.

Kiihdyttimet

Talvibetonoinnissa kiihdyttimillä ei merkittävästi voida nopeuttaa betonin kovettumista. Joillakin kiihdyttimillä on jäätymisspistettä alentava vaikutus, jota voidaan hyödyntää. Huomioon tulee ottaa kiihdyttimien mahdolliset betonin säänkestävyyteen, kutistumiseen ja raudoituksen korroosioon vaikuttavat ominaisuudet.

Seosaineet – lentotuhka ja silika

Alhaisissa lämpötiloissa tuoreen betonin sitoutuminen ja lujituksenkehitys hidastuvat, kun betonin seosaineena käytetään lentotuhkaa tai silikaa. Seosaineiden vaikutuksista tulee aina keskustella betonitoimittajan kanssa.

Lujuusluokan nosto

Työmaa voi tarvittaessa käyttää suunniteltua lujempaa betonia. Lujuusluokan nostaminen nopeuttaa betonin lujudenkehitystä ja muotinpurkulujuuden saavuttamista.

Valun suojaus- ja lämmitysmenetelmät

Eri lämmitysmenetelmiä ja suojaustapoja on käsitelty tarkemmin luvussa 4 ”Suojaustavat ja lämmitysmenetelmät”.

Lujuudenkehityksen nopeuttaminen

Talvibetonoinnin yhteydessä betonin lujudenkehitystä nopeutetaan seuraavin menetelmin:

- Käytetään nopeasti kovettuvaa betonia.
- Korotetaan lujuusluokkaa eli nostetaan betonin suhteituslujuutta.
- Nostetaan betonimassan lämpötilaa.
- Lämmitetään valettua rakennetta.
- Lämmitetään liittyvät rakenteet (kylmäsiltojen poisto).
- Eristetään/suojataan valu tehokkaasti pakkaselta.
- Käytetään edellä mainittujen yhdistelmiä.

Nopeaa muottikiertoa käytettäessä betonin lujudenkehitystä nopeutetaan, vaikka ulkolämpötila olisi korkeampi kuin +5 °C. Lujudenkehityksen nopeuttamiskeinoja on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Käytössä olevia keinoja halutun muottien purkuajankohdan saavuttamiseksi. Talvibetonointiosuhteissa tulee lisäksi muistaa hyvä lämpösuojaus. Muokattu lähteestä: RIL 149-1995 Betonityöohjeet.

Muottien purkulujuuteen tarvittava aika	Betoni	Lämmitys ja suojaus
1...2 vrk	Normaalisti kovettuvan betonin lujuusluokkaa on korotettava.	Betonin lämmitys ja suojaus
	Nopeasti kovettuvan betonin lujuusluokka on korotettava.	Betonin lämmitys ja suojaus
	Kuumabetoni	Reuna-alueiden lämmitys, suojaus
≥ 3 vrk	Normaalisti kovettava betoni	Tehokas lämmitys ja suojaus
	Kuumabetoni	Reuna-alueiden lämmitys, suojaus
Arvioitava tapauskohtaisesti	Pakkasessa kovettava betoni ¹⁾ . Tuotekohtaiset erot ja rajoitukset tulee huomioida.	Lämmitystä ei välttämättä tarvita, suojaus

¹⁾ Pakkasessa kovettava betoni on tarkoitettu vain pienehköihin valuihin, joissa lämmitys olisi vaikeasti toteutettavissa.

Lujuudenkehityksen hallinta

Yksinkertaistettuna betonin lujuudenkehityksen hallinta työmaalla sisältää kaksi toimenpidettä: tuoreen ja kovettuvan betonin lämpötilan seurannan sekä betonin lujuuden määrittämisen lämmönkehityksen perusteella käytetyn betonin suhteitustiedoilla.

Lämpötilojen seurantaan on tarjolla etäluettavia lämmöntallennusjärjestelmiä. Tällöin laskenta suoritetaan etälaskeutena. Järjestelmiin voidaan sisällyttää erilaisia varoitussjärjestelmiä esimerkiksi hälyttämään lämmitettävän tilan tai rakenteen lämpötilan laskusta.

Lämpötilojen mittaus

Betonin lujuus arvioidaan ensisijaisesti valetusta rakenteesta mitattujen lämpötilojen avulla.

Mittaukseen voidaan käyttää perinteisiä lämpömittareita, joilla mittaaminen tapahtuu betoniin asetetuista putkista, tai elektronisilla mittareilla betoniin asennettujen antureiden avulla. Työmailla käytetään lämpötiloja määräajoin taltioivia automaattisia tallentimia eli dataloggereita. Niiden avulla saadaan koko vuorokauden kattava ja tarvittaessa yli viikonlopun ulottuva lämmönkehityskäyrä, josta on laskettavissa saavutettu lujuus.

Mittaamisessa on huomioitava lämpötilan ohella mittausajankohta. Mittauspisteet on valittava siten, että saadaan luotettava kuva betonin lämpötiloista rakenteen kylmissäkin osissa.



Kuva 9. Dataloggeri. Kuva: Pistesarjat Oy. Heikki Hämäläinen.

Mittausanturit

Lämmönmittausanturina käytetään termoelementtilankaa, joka kiinnitetään raudoitusteräksiin halutulle mittausvyydelle. Langan paljastetut päät kierretään toisiinsa kiinni. Huolehditaan, että päät ovat kosketuksissa betoniin, mutta eivät raudoitusteräksiin tai muihin metallisiin osiin.

Jos lisälämmitysmenetelmänä on lankalämmitys, asennetaan termostaattilanka riittävän etäälle vastuslangasta. Langan päät voidaan suojata esim. sähköteipillä. Samalla voidaan varmistaa kierrettyjen lankojen yhdessä pysyminen.

Lämpötilan mittauspisteet

Tuoreen ja kovettuvan betonin lämpötilaa seurataan rakenteen ns. kriittisistä pisteistä. Rakenteiden kriittisiä pisteitä ovat kohdat,

- joissa lämpötilan voidaan olettaa olevan matalimmillaan
- joihin kohdistuu suurin rasitus muotipurkuhetkellä
- jotka ovat kriittisiä seuraavien työvaiheiden etenemisen osalta
- jotka ovat kriittisiä valmiin rakenteen toimivuuden kannalta.

Tyypillisimpiä mittauskohtia rakenteissa ovat

- seinien ja pilarien alaosat
- seinien ja pilarien yläosat, joihin kohdistuu yläpuolisista rakenteista suuria voimia
- tukialueet, joihin muodostuu kylmäsiltoja
- laattarakenteen kentät ja yläpinnat tukialueilla
- kaikki rakenteet, joita tullaan kuormittamaan pian valun jälkeen.



Kuva 10. Valun jälkeen seurataan betonin lämpötilaa.

Lujuudenkehityksen laskentaohjelmat

Betonitoimittajien tarjoamilla lujuudenkehityksen laskentaohjelmilla voidaan laskea ennakkoon betonirakenteiden lämmön- ja lujuudenkehitys erilaisissa betonointiolosuhteissa. Ennakkosuunnittelussa voidaan tarkastella eri muuttujien, kuten betonilaadun, lämmityksen, suojauksen ja sääolosuhteiden vaikutusta, ja valita säätilaan ja muottiratkaisuun parhaiten sopiva betonilaatu.

Ohjelmissa voidaan myös hyödyntää työmaalla mitattua erilaisten datatallentimien muistiin tallennettua lämpötilatietoa ja laskea rakenteen lujuus tarkasteluhetkellä sekä ennustaa lujuudenkehittyminen. Tarkastelu tehdään yhteistyössä betonitoimittajan kanssa.

Muista kylmällä säällä betonoitaessa:

- Nopeisiin tuulen ja lämpötilojen muutoksiin kannattaa varautua.
- Yön ja päivän välillä voi olla suuria lämpötilavaihteluja.
- Olosuhteet voivat muuttua kylmiksi myös syksyllä ja keväällä.
- Alle +10 °C voi aiheuttaa ongelmia betonin lujuudenkehityksessä.

3 Suomen talviolosuhteet

Sääolojen arvioinnissa käytetään hyväksi rakentajille tarkoitettuja rakennussääpalveluita.

Myrskyt, pakkaset sekä vesi- ja lumisade hidastavat rakennustyötä ja aiheuttavat usein keskeytyksiä. Säähäiriöiden aiheuttamat haitat ovat kuitenkin ehkäistävissä hyvällä ennakkosuunnittelulla.

Yleissuunnitteluvaiheessa valun sääoloja arvioidaan tarkastelemalla pitkän ajan säätilastoja. Varsinaiset valupäivän lämpötilat ja pakkasmäärät voivat kuitenkin poiketa tilastotiedoista merkittävästi, sillä Suomen säätila vaihtelee paljon vuosittain. Myös työmaan sijainnilla on merkitystä. Eri maakuntien ilmastoon vaikuttavat mm. laajat vesistöalueet sekä maanpinnan korkeussuhteet.

Suomen ilmasto on myös muuttumassa. Viimeisen sadan vuoden aikana Suomen keskilämpötila on noussut noin asteen. Ilmastomallien pohjalta arvioidaan, että keskilämpötila jatkaa nousuaan, sateisuus lisääntyy erityisesti talvella, rankkasateet voimistuvat ja Etelä-Suomen lumipeite muuttuu oikukkaammaksi.

Sääennusteet tarkastetaan suunnitelmien tarkentuessa. Rakennekohtaista betonointisuunnitelmaa tehtäessä ja päätettäessä varsinaisesta valujankohdasta sääolosuhteiden ennakoimisessa käytetään eri tiedotusvälineissä annettavia sääennusteita. Lisäksi rakentajille on olemassa erilaisia rakennussääpalveluita, joista on saatavissa paikkakuntakohtaisia sääennusteita lyhyille aikaväleille.

Myös sade-ennusteista on hyötyä päätettäessä muottien ja raudoituksen peittämis- ja suojaustoimenpiteistä. Tuulienusteita kannattaa hyödyntää mm. muottien nostoja suunniteltaessa.

Lämpötila

Talvibetonointikauden katsotaan alkavan, kun lämpötila laskee vuorokauden kuluessa alle +5 °C:seen. Etelä-Suomessa tuo kausi kestää noin seitsemän kuukautta ja käsittää ajanjakson lokakuusta huhtikuuhun. Pohjois-Suomessa talvibetonointikausi kestää jopa yhdeksän kuukautta syyskuusta aina toukokuuhun. Taulukossa 9 on esitetty keskilämpötilat kuukausittain eri puolella Suomea.

Taulukon 9 keskilämpötilat antavat suuntaa siitä, milloin talvibetonointiin kannattaa varautua. Lämpötilat tulevat muuttumaan, ja ennusteiden mukaan lämpötilamuutokset näyttäisivät olevan suurempia talvella kuin kesällä. Varminta on tarkistaa valupäivien olosuhteet sääpalveluista sekä seurata tarkasti betonin lämpötilan kehitystä.

Betonin lujuudenkehityksen kannalta ensimmäinen vuorokausi on tärkeä, joten jo vuorokauden mittainen luotettava lämpötilaennuste antaa varmuutta betonointiin ja vähentää epäonnistumisen riskiä. Valupäivän lämpötilat tarkistetaan hyvissä ajoin ennen valua ja uudestaan juuri ennen valua.



Kuva 11. Valualusta sulatetaan höyryn avulla ennen valua.

Taulukko 9. Kuukausien keskilämpötilat eri havaintoasemilla. Lähde: Ilmatieteen laitos. Loka-joulukuun keskilämpötilatiedot vuosilta 1971...2000. Tammi-syyskuun keskilämpötilatiedot vuosilta 1981...2010.

Keskilämpötila (°C)	Havaintoasema											
	Helsinki-Vantaan lentoasema	Jyväskylän lentoasema	Kaarina Yhtiöinen	Lahti Laune	Lappeenrannan lentoasema	Rovanlemen lentoasema	Seinäjoki Pelmaa	Sillakajoki Revonlahti	Tampere-Pirkkalan lentoasema	Tohmajärvi Kemie	Utsjoki Kevo	Vaitimo Kk
Loka*	5,2	3,2	5,7	4,2	3,9	0,1	3,9	2,8	4,7	3,0	-1,2	2,3
Marras*	0,1	-2,2	1,0	-0,8	-1,4	-6,1	-1,4	-3,1	-1,0	-2,9	-8,9	-3,7
Joulu*	-3,2	-6,4	-2,8	-4,8	-5,2	-10,0	-5,3	-7,3	-4,6	-7,3	-12,9	-8,7
Tammi	-5,0	-8,3	-4,4	-6,4	-7,5	-11,3	-6,9	-9,3	-6,4	-9,6	-14,0	-10,7
Helmi	-5,7	-8,5	-5,3	-7,0	-7,8	-10,8	-7,2	-9,0	-6,9	-9,6	-12,8	-10,4
Maalis	-1,9	-3,8	-1,8	-2,7	-3,0	-6,1	-3,1	-4,5	-2,8	-4,2	-8,2	-4,9
Huhti	4,1	2,2	3,7	3,5	3,2	-0,2	3,0	1,7	3,3	1,9	-2,5	1,2
Touko	10,4	8,9	9,8	10,1	10,1	6,3	9,1	7,9	9,7	8,8	3,7	8,2
Kesä	14,6	13,7	14,3	14,4	14,6	12,2	13,8	13,1	14,1	13,8	9,6	13,6
Heinä	17,7	16,5	17,2	17,2	17,6	15,2	16,3	15,9	16,9	16,5	13,1	16,4
Elo	15,8	14,1	15,8	15,1	15,4	12,5	14,3	13,5	15,0	13,9	10,7	13,7
Syys	10,7	8,8	10,9	9,7	10,0	7,1	9,3	8,4	9,8	8,8	5,7	8,5

* Keskilämpötilatiedot vuosilta 1971...2000. Muiden kuukausien tiedot vuosilta 1981...2010.

Lämpötilat:

	< 0 °C		7...10 °C
	0...6 °C		>10 °C

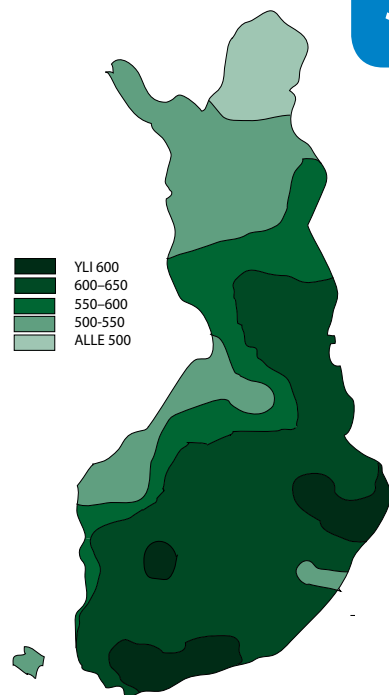
Sade- ja lumiolot

Tilastojen avulla voidaan todeta, että syys-, loka- ja marras-kuussa sataa yli yhden millimetrin vuorokaudessa noin kymmenenä päivänä. Vuotuinen sademäärä on pohjoisemmassa Suomessa yleensä pienempi kuin eteläisessä Suomessa (kuva 12). Pohjois-Suomessa lumikausi on kuitenkin pidempi ja lunta on enemmän kuin Etelä-Suomessa (kuva 13). Ensimmäisen ehjän lumipeitteen tulon ajankohta on esitetty kuvassa 14 ja lumipeitteen lähtemisen ajankohta kuvassa 15. Lumisateita voi esiintyä myös tilastollisten kausien ulkopuolelle (taulukko 10). Sateisiin voidaan varautua seuraamalla säätiedotuksia. Sateen aiheuttamien keskeytyksien määrä arvioidaan kohdekohtaisesti.

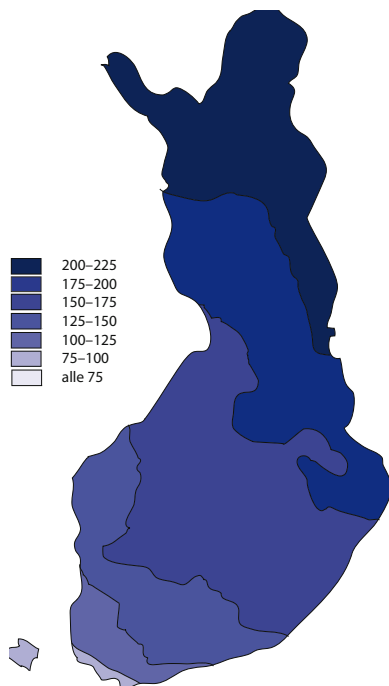
Ilmaston lämmitessä entistä suurempi osa talven sateista tulee vetenä. Samaan aikaan suojasäät tulevat yleistymään, mikä sulattaa lumia. Lisäksi on arvioitu, että talvella sekä sadepäivien lukumäärä että kerralla saatavan sateen määrä tulevat myös kasvamaan.

Lumen talvibetonoinnille aiheuttaman haitan suuruus riippuu siitä, kuinka usein ja missä työvaiheessa sataa lunta. Esimerkiksi betonoinnin aikana sattunut lumisade voi aiheuttaa muutoksia suunnitelmissa. Lumentulo aiheuttaa yleensä lisätöitä, sillä lumi sekä mahdollinen jää tulee poistaa rakenteista ennen valua. Lumi ja jää yhdessä lumisateen kanssa saattavat estää nostokoneiden käytön. Kylmällä säällä sattuva vesi- tai räntäsade aiheuttaa lumisateeseen verrattavan haitan.

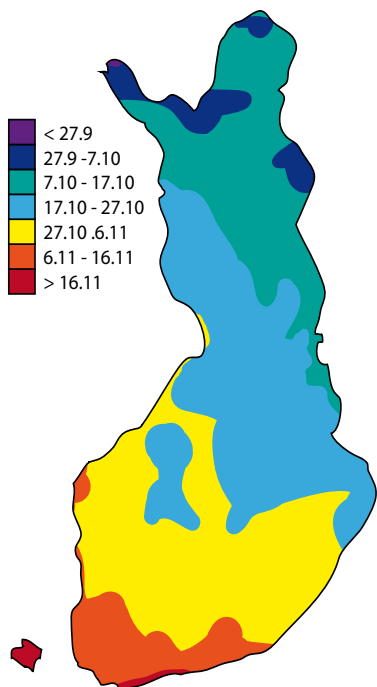
Ensisijaisesti rakenteet kannattaa suojata lumisateelta. Lumi ja jää tulee aina poistaa mekaanisesti siltä osin kuin se on mahdollista. Mekaanista veden poistoa varten rakennustyömaalla käytetään mm. vesi-imuria, uppopumppua, lehtipuhallinta ja kuivauslastoja. Lumen luontiin ja jään sulattamiseen tulee varata siihen sopiva kalusto.



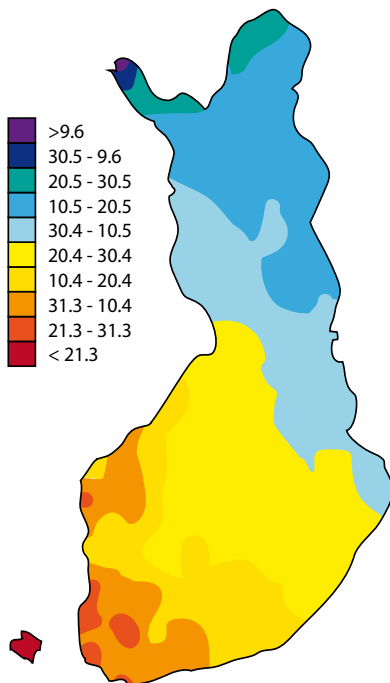
Kuva 12. Keskimääräinen vuosisade millimetreinä. Lunta sataa vuosittain vedeksi muutettuna noin 200...300 mm. Lähde: Ilmatieteen laitos, tilastot vuosilta 1971...2000.



Kuva 13. Lumipeitepäivien lukumäärä vuodessa keskimäärin. Lähde: Ilmatieteen laitos, tilastot vuosilta 1971...2000.



Kuva 14. Ensimmäisen ehjän lumipeitteen tulon ajankohta. Lähde: Ilmatieteen laitos, vertailukausi 1981...2010.



Kuva 15. Pysyvän lumipeitteen lähtemisen ajankohta. Lähde: Ilmatieteen laitos, vertailukausi 1981...2010.

Taulukko 10. Ensimmäisen ehjän ja pysyvän lumipeitteen ajankohdat. Lähde: Ilmatieteen laitos.

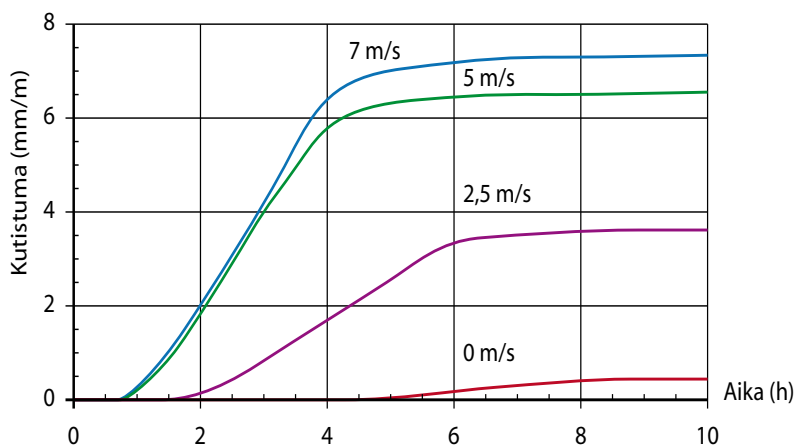
Paikkakunta	Varhaisin ensilumi	Lumen syvyys (cm)	Ensimmäinen ehjä lumipeite keskimäärin 1981...2010	Varhaisin pysyvä lumi	Lumen syvyys (cm)	Lumikauden alku keskimäärin 1981...2010	Myöhäisin pysyvän lumen alku	Lumen syvyys (cm)
Helsinki Kaisaniemi 1911 lähtien	29.9.1928	8	19.11.	1.11.1925	1	31.12.	2.3.2008	6
	3.10.1912	10		5.11.1998	5		22.2.1925	4
	11.10.1973	4		6.11.1921	16		19.2.1993	2
	25.10.1959	3		9.11.2002	9		7.2.1975	1
	25.10.1992	5		15.11.1965	2		5.2.1930	2
	25.10.2003	1		15.11.1973	3			
Jyväskylä 1925 lähtien (useita mittauspaikkoja)	19.9.1969	3	28.10.	11.10.1992	11	26.11.	28.1.1973	8
	25.9.1958	5		20.10.1927	5		24.1.1930	12
	26.9.1986	1		24.10.1915	5		19.1.2008	2
	27.9.1966	2		27.10.1941	1		11.1.2007	1
	28.9.1915	2		27.10.2002	3		6.1.1933	7
Sodankylä 1914 lähtien	8.9.1927	2	15.10.	3.10.1978	5	26.10.	15.12.1938	2
	13.9.1971	3		5.10.1966	11		29.11.1936	4
	18.9.1998	2		5.10.1968	2		21.11.1931	2
	20.9.1968	16		8.10.1992	1		20.11.1989	4
	23.9.1997	4		8.10.2009	17		20.11.1918	2

Tuuli

Syysmyrskyt haittaavat nosturilla työskentelyä keskimäärin 2...3 kertaa kuukaudessa. Kun merellä mitataan myrskylukemia, rannikolla ja usein myös sisämaassa puhalttaa vähintään navakasti (8...12 m/s). Sisämaassa tuulee harvoin kovaa (10 minuutin keskituulen nopeus vähintään 14 m/s). Ennusteiden mukaan tuulet tulevat puhaltamaan syksyllä ja talvella aavistuksen verran nykyistä navakammin.

Tuuli lisää veden haihtumista valmiin betonirakenteen pinnalta ja kasvattaa näin varhaisvaiheen kutistumaa (kuva 16).

Tuulen voimistuessa ulkoilman lämpötila aistitaan todellista kylmempänä. Taulukko 11 esittää tuulen vaikutuksen lämpötilan aistimiseen. Esimerkiksi talvella -10 °C :n lämpötilassa tuulen ollessa 13 m/s ihminen tuntee lämpötilan samana kuin -22 °C :n lämpötilan tyynessä säässä.



Kuva 16. Tuulen vaikutus suojaamattoman betonirakenteen kutistumaan (plastinen kutistuma). Lähde: Betonin valinta rakenteisiin - olosuhdehallinta. Rudus. Internet-julkaisu.

Taulukko 11. Pakkasen purevuus riippuu ilman lämpötilasta ja tuulen nopeudesta. Lähde: Ratu C8-0377, Talvityöt ja -kustannukset. 2010.

Tuulen nopeus m/s	Ilman lämpötila °C						
	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
2	-3	-8	-14	-20	-26	-32	-38
4	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41
7	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-45
10	-7	-14	-20	-27	-34	-40	-47
13	-8	-15	-22	-28	-35	-42	-48

	Erittäin kylmä: paleltumat todennäköisiä pitkäkhkön ulkona olon seurauksena.
	Paleltumisvaara: paleltumat mahdollisia 10 minuutin ulkona olon seurauksena

Valaistus

Työmaan valaistuksella on suuri vaikutus työturvallisuuteen ja työn laatuun. Työmaan sähkö- ja valaistussuunnitelman merkitys korostuu etenkin pimeällä talvikaudella. Talviaikaan Suomessa ja muuallakin Pohjois-Euroopassa on tulevaisuudessa entistä pilvisempää, joten maan pinnalle saadaan nykyistä vähemmän auringon säteilyä. Talvien harmautta korostaa vielä valoa heijastavan lumipeitteen käyminen yhä vähäisemmäksi.

Ulkopuolisen yleisvalaistuksen tulee antaa valoa työmaan jokaiseen kohtaan vähintään kahdelta suunnalta työturvallisuutta haittaavien varjojen estämiseksi. Valupaikalle tulee järjestää kunnollinen 2...3 valopisteen valaistus niin, että betonoivalla työkunnalla on selvä näkyvyys muotin pohjalle asti. Sisäpuolinen vakiovalaistus on oltava kulkureiteillä, varastoissa ja työtiloissa.



Kuva 17. Huolehditaan, että betonivalun alle ei jää lunta.

Työturvallisuus talviolosuhteissa

Talvella pimeys, kylmyys, liukkaus ja vaatetus kasvattavat vahinko- ja tapaturmariskiä. Lämpötilan alittaessa nk. pakkasrajan (paikkakunnasta riippuen $-15\dots-25\text{ }^{\circ}\text{C}$) rakennustyöt keskeytetään ulkona. Käyttämällä sääsuojaa ja lämmitystä voidaan olosuhteet luoda työlle edullisiksi.

Käytettäessä siirtokalustona pumppua on huomioitava riski puomin murtumiselle $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa.

Talvibetonointityön opastuksessa ja ohjauksessa on keskeistä tiedostaa riskit. Kun riskit ovat tiedossa, ne voidaan ottaa huomioon suunnittelussa sekä työn suorituksen eri vaiheissa.

Talvibetonoinnin työturvallisuuteen liittyviä tavanomaisia riskitekijöitä ovat

- putoamissuojauksen laiminlyönti (kaiteet, tarraimet)
- lumen aiheuttama muottipintojen liukkaus
- kulkuteiden liukkaus
- riittämätön valaistus
- laitteiden toimintahäiriöt
- maapohjan tiiveys betonikaluston alla
- raskaiden muottien huolimaton/puutteellinen pystytys lumen tai jään päälle.
- lumen alle jätetyt tavarat ja erityisesti liukkaat tavarat (muovit, vanerit)
- puutteellinen vaatetus (pukeutuminen talvisesti ei kesävaatetuksella töihin)
- puutteellinen suojavarustus (kypärä, lasit, hanskat mahdollisesti saappaat)
- työtä hankaloittava raskaampi vaatetus.

Talvibetonoinnin epäonnistumiset ovat tavallisesti seurausta betonin riittämättömästä lujuudenkehityksestä alhaisen kovettumislämpötilan seurauksena. Talvibetonoinnin tyypillisiä vaurioita on käsitelty tarkemmin luvussa 7 ”Talvibetonoinnin vauriot”.

4

Suojaustavat ja lämmitysmenetelmät

Mieti ja selvitä eri suojaustavat:

- suojapeitteet
- lämpösuojaus
- sääsuojat.

Mieti ja selvitä eri lämmintenvaihtoehdot:

- sähkö
- nestekaasu
- öljy
- kaukolämpö.

Suunnittele öljyn ja nestekaasun säilytys ja käyttö työmaalla: varastointimäärä, -paikka ja -tapa.

Ota tarvittaessa yhteys paikallisiin paloviranomaisiin ja selvitä tarvittavat toimenpiteet ja vaadittavat luvat.

Suojaustavat

Lämmitystavasta ja muottitekniikasta riippumatta talvibetonointi vaatii aina rakenteiden suojaamista. Suojauksen päätarkoituksena on varmistaa riittävä lujuudenkehitys muiden talvibetonointitoimenpiteiden kanssa. Suojauksella on myös muita tarkoituksia, kuten lumen ja jään kertymisen estäminen valun päälle. Suojaamalla vähennetään myös lumen puhdistus- ja sulatustöitä. Talvibetonoinnissa suojauksen osalta korostuu erityisesti lämpösuojaus.

Sääsuojaukseen kiinnitetään lumisateiden takia huomiota aina lokakuusta huhtikuulle. Sääsuojausta kannattaa kuitenkin harkita muulloinkin esim. syyskuussa vesisateiden takia. Maapohja voidaan joissakin tapauksissa suojata ennen kuin maapohjan jäätyy tai ennen kuin lumisateet alkavat.

Säältä voidaan suojautua valmiiden rakenteiden avulla tai väliaikaisilla suojilla. Valmiista rakenteista esimerkiksi rakennuksen vesikatto, tiiviit välipohjaholvit ja valmiit ulkoseinät sopivat maanvaraisten laattojen sekä pintabetonivalujen suojaksi. Väliaikaisia suojia ovat mm. sääsuojahallit ja erilaiset peitteet. Säältä suojaudutaan parhaiten käyttämällä useampaa eri suojausmenetelmää.

Suojausmenetelmät valitaan sen mukaan, miltä halutaan suojautua. Talvibetonoinnissa suojaudutaan tyypillisesti kylmältä, tuulelta sekä lumisateelta. Huomiota tulee kiinnittää erityisesti suojausten tiiviyyteen ja paikalla pysyvyyteen (kova tuuli, myrsky). Työtasot ja sääsuojien katokset tulee pitää lumettomina.

Työmaan sähköistys ja lämmitys sekä suojaus kannattaa suunnitella kokonaisuutena.

Sääsuojat

Sääsuoja on erikokoisia, -muotoisia ja eri tarkoituksiin. Sääsuojalla on tarkoitus suojata työntekijät, työkohteet ja rakennusmateriaalit sateelta, lumelta, jäältä, tuulelta, pakkaselta tai liialta auringonvalolta. Suoja edesauttaa myös työturvallisuutta. Suojan alle pystytään esimerkiksi järjestämään kunnollinen ja riittävä työvalaistus.

Sääsuojahalleja käytetään tyypillisesti kerrostalojen ja muiden isompien rakennuksien saneerausten yhteydessä sekä perustustavaiheessa olevissa uudiskohteissa. Sääsuojahalleja voidaan myös hyvän ennakkosuunnittelun avulla hyödyntää runkovaiheessa.

Sääsuojaa voi käyttää koko työmaan huputuksen sijasta pienemmissä työkohteissa, esimerkiksi pihakansissa tai vesikatoilla. Sääsuojan käyttäminen on kustannuskysymys, mutta myös laatuksymys. Sääsuojien suunnittelua ja käyttöä on käyty läpi taulukossa 12.



Kuva 18. Valut voidaan tehdä rauhassa lumipyryiltä sääsuojan alla.

Taulukko 12. Sääsuojien suunnittelu ja käyttö.

<p>Suunnittelu</p>	<p>Sääsuojien työmaakierron suunnittelua voidaan verrata betonimuottikaluston työmaakierron suunnitteluun. Huolellisen suunnittelun avulla minimoidaan tarvittavan kaluston määrä ja optimoidaan kaluston liikuttelu työmaalla.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Käyttö suunnitellaan rakennusosa- ja työvaihekohtaisesti. • Huomioidaan sääsuojien siirtelyyn ja kiinniankkuroimiseen liittyvät yksityiskohdat. Suojauskaluston ankkuroinnissa otetaan huomioon lumi- ja tuulikuormat. Katokset tulee pitää lumettomina. • Tuenta ja kiinnitys suunnitellaan valmistajan ohjeiden, sääolosuhteiden, vuodenajan ja työnaikaisen rasituksen mukaan.
<p>Mallin valinta</p>	<p>Sääsuojan mallin valintaan vaikuttavat</p> <ul style="list-style-type: none"> • vallitsevan ajankohdan lumi- ja tuulikuormitus • suojan käyttötarkoitus ja vuokra-aika • sääsuojarungon keveys ja asennusnopeus (kustannustehokkuus) • suojattavan kohteen muoto ja leveys • suojan kokonaispaino tai sen tukirakenteille aiheuttama kuormitus.
<p>Kustannukset</p>	<p>Sääsuojien käytöstä syntyvät kustannukset voidaan eritellä seuraavasti:</p> <ul style="list-style-type: none"> • pystytys, purkaminen ja kuljetus • vuokra • kunnossapito • rakennustelineiden vahvistamisesta aiheutuva lisähinta. <p>Sääsuojien käytön tuomia kustannussäästöjä talvirakentamisessa ovat talvilisätöiden ja talvityölisien vähentyminen. Kustannussäästöjä voidaan saada myös mm.</p> <ul style="list-style-type: none"> • rakennusaikataulun nopeutumisesta • pakkas- ja sadepäivien vaikutuksen vähentymisestä • työturvallisuuden parantumisesta, mm. liukastumisvaaran vähenemisestä • kuumabetonin käytön tai betonin lujuusluokan nostamistarpeen vähenemisestä • suojaamisen, kuivaamisen ja lämmittämisen vähentymisestä • laadun parantumisesta mm. kosteuden hallinnan suhteen. <p>Lyhytaikaisissa suojauksissa isojen suojahallien kustannukset voivat nousta korkeiksi.</p>
<p>Käyttö</p>	<p>Suojattava alue raivataan ja puhdistetaan. Runkorakenteiden alle tuleva maapohja tasataan ennen käyttöönottoa.</p> <p>Sääsuojat puhdistetaan lumesta ja jäästä säännöllisesti, sillä ne eivät kestä lumen rasituksia.</p> <p>Valuista ja LVI-töistä suojan sisäpinnalle syntyvän vesihöyryn ja jään estämiseksi kiinnitetään runkorakenteisiin toinen peite, jolloin kosteus kondensoituu peitteiden väliin. Runkoelementin ja peitteen väliin asennettavat laudat vähentävät lumi- ja jääpussien muodostumista. Ontelolaatta- ja seinäelementiasennuksen sekä valun yhteydessä voidaan sääsuojaan asentaa pyörästöt, jolloin sääsuojaa liikutetaan kiskoilla työkohteen mukana.</p>

Suojapeitteet

Suojapeitteitä käytetään työmaalla mm.

- väliaikaisina suojina sekä täydentämässä muita suojausmenetelmiä
- maan sulatukseen sekä perusmaan ja betonoinnin routasuojaukseen
- holvi- ja laattavalujen lämpösuojauksena.

Suojapeitteitä ovat rakennus-, julkisivu- ja erikoispeitteet. Talvibetonoinnissa käytetään tyypillisesti lämpöä eristäviä peitteitä. Suojapeitteiden hyviä puolia ovat edullisuus, monikäyttöisyys, liikuteltavuus sekä vedenpitävyys oikein käytettynä.

Keveiden peitteiden käytössä huomioidaan niiden kiinnittäminen pakoilleen. Peitteiden kiinnitys ja kiinnitysköysien kunto on tarkistettava työmaalla säännöllisesti. Mahdolliset repeytyneet peitteet on korjattava tai vaihdettava uusiin. Peitteen päälle kerrostunut lumi sekä muut peitettä rasittavat tekijät poistetaan peitteen päältä. Tällöin kannattaa huomioida, että jäätyneiden ja lumisten peitteiden taivuttelu voi rikkoo peitteen.



Kuva 19. Valu tulee suojata niin pian kuin mahdollista. Lämpöä eristävä peite asennetaan tiiviisti valua vasten ja tämän jälkeen rakenne suojataan vielä suojapeitteillä. Kuva: Pistesarja Oy, Heikki Hämäläinen.

Rakennuspeitteet

Rakennuspeitteet kestävät sään ja vuodenaikojen rasituksia. Ne läpäisevät huonosti auringon valoa.

Julkisivupeitteet

Julkisivupeitteet ovat ohuita ja kevyitä ja läpäisevät auringon valoa. Verkkokangaspeitteet läpäisevät myös ilmaa ja pölyä.

Erikoispeitteet

Erikoispeitteitä ovat esimerkiksi lämpö-, eriste- ja verkkovahvistetut peitteet.

Eristepeitteet

Eristepeitteet koostuvat kahdesta tiiviistä suojakankaasta, joiden välissä on ohut lämmöneristekerros. Eristepeitteiden lämpösuojausominaisuudet ovat paremmat kuin tavallisilla sääsuojapeitteillä.

Lämpösuojauksen tehtävänä on

- estää rakenteen jäähtyminen
- tasata rakenteen lämpötilaeroja
- vähentää lämmityksen tarvetta ja estää kosteuden haihtumisen.

Lämpösuojaus

Lämmöneristys valmistellaan ja suunnitellaan ennakkoon. Jos ajallisesti sekä rakenteellisesti on mahdollista, muotit lämpösuojataan kiinteästi ennen betonointia. Etukäteen tehtävällä suojuksella ja pienellä apulämmöllä valupinnat ja materiaalit pystytään pitämään riittävän lämpiminä ennen valun suoritusta.

Paljon käytettyjä lämpösuojaustapoja ovat mm. muottien lämpöeristys ja suojapeitteet. Ulkolämpötilan ollessa yli 0 °C riittää normaalisti suojapeite. Mikäli ulkolämpötila on alle 0 °C, käytetään muita lämmöneristysmateriaaleja, joiden yli vedetään suojapeite.

Suojaus laitetaan valun päälle mahdollisimman pian, mieluiten samaan aikaan valun etenemisen kanssa. Lämmöneristys asennetaan kiinni betonivaluun niin, että betonipintaa ei jää näkyviin.

Lämpösuojauksen suunnittelussa ja toteutuksessa otetaan huomioon seuraavat seikat:

- Tartuntojen kohdalla lämmöneristys tehdään erilliseristyksellä. Lämmöneristeiden rikkoutumisen estämiseksi teräkset taivutetaan tai niitä jatketaan kierremuhvijatkoksilla.
- Rakenteen reuna-alueille asennetaan kaksinkertainen lämmöneristys.

Taulukko 13. Eri lämmönsuojaustapojen soveltuvuus.

Lämmönsuojaustapa	Soveltuvuus
Muottien lämmöneristys	Pystyrakenteiden ja laattojen alapuoliseen eristämiseen etenkin suur- ja kasettimuotteja käytettäessä.
Suojapeite	Kaikkien rakenteiden suojaamiseen. Lämmitystilojen rajaamiseen esimerkiksi kuumailma- ja infrapunalämmitystä varten.

Suojauskaluston valinta

Hankesuunnittelussa päätetään, suojataanko rakennus kokonaan vai otetaanko hallittuja riskejä ja suojataan rakennuksen osia ja materiaaleja. Suojauksen suunnittelussa tulee huomioida, että eri rakennusosat vaativat omanlaisensa sääsuojausmenetelmän.

Työkokonaisuuden kustannuksista ja kestosta tehdään vertailulaskelmat suojauskalustolla ja tehtäessä työ ilman suojausta. Suojauskaluston käytön kannattavuutta arvioitaessa otetaan huomioon vuodenaika, sääolosuhteet, työkohte ja -suorite, kalustokustannukset ja laatuvaatimukset. Talviaikana selvitetään suojauskaluston lämmitystarve ja lämmitettävyyys.

Suojauskalusto ja sen käyttö on mitoitettava siten, että nostokaluston kapasiteetti riittää. Lisäksi on otettava huomioon kaluston kokoamisen, käytön ja varastoinnin tilantarve.

Taulukko 14. Suojauskaluston soveltuvuus. Lähde: Ratu 07-3022 Suojauskalusto. Sääsuojat, suojapeitteet, julkisivusuojat. 1992.

Käyttökohde	Sääsuojat	Suojapeitteet	Julkisivusuojat
Perustustyöt (antura, sokkeli, alapohja)	OK	x	-
Elementtityöt (ontelolaatta, seinäelementti)	OK	x	-
Betonointi (holvi, laatta, kansi)	OK	x	x
Kokonaissuojaus	x	-	OK
Työsuoja ja varasto	OK	x	-

OK soveltuu hyvin x soveltuu - ei sovellu

Mieti ja selvitä eri lämmitysmenetelmät:

- kuumailmalämmitys
- lankalämmitys
- lämmitettävät muotit
- kohdelämmitys: infrapunasäteilylämmitys
- rakenteen eristäminen ja lämmitys.

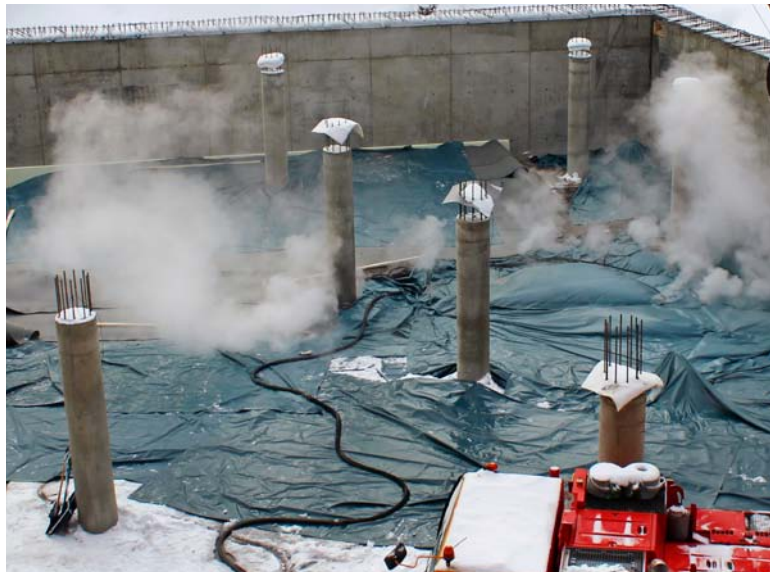
Ota huomioon myös kuumabetonin käyttömahdollisuus.

Lämmitysmenetelmän valinta

Lämmitysmenetelmien vaihtoehdot kartoitetaan ottamalla huomioon seuraavat tekijät:

- Mihin vuodenaikaan betonointi ajoittuu, ja mikä on tästä aiheutuva lämmitystarve?
- Mikä on rakennuksen koko ja muoto?
- Tullaanko lämmitysmenetelmää ja käytettävää energiamuotoa hyödyntämään myös rakennusrungon kuivatuksessa?
- Minkälaisia ovat betonoitavat rakenteet?
- Kuinka lämmitettävä tila on suljettavissa?
- Millä kalustolla betonointi tehdään?
- Kuinka nopeasti työ on tehtävä?

Valintapäätökseen vaikuttavat usein vertailulaskelmien lisäksi myös lämmityskaluston saatavuus, toimintavarmuus ja työmaan taidot käyttää ko. menetelmää. Työmaalla tulee olla vähintään suunniteltuna ja mielellään työmaalla valmiina oleva varalämmitysjärjestelmä.



Kuva 20. Suojapeitteellä voidaan estää lämmön karkaamista.

Kuumailmalämmitys

Kuumailmalämmityksessä lämmitetään ilmaa, joka vuorostaan lämmittää muuttia ja betonia. Jotta lämmityksen voi tehdä taloudellisesti kannattavasti, tulee lämmitettävä tila tiivistää huolellisesti sekä eristää ympäröivästä ilmasta.

Ilman lämmityksessä käytetään joko öljy-, kaasu-, sähkö- tai kuumavesikäyttöisiä kuumailmapuhaltimia. Lähes kaikissa näissä lämmittimissä lämmönkehitys perustuu palamiseen. Palamisessa syntyy aina palamiskaasuja ja -hiukkasia, jotka voivat olla myrkyllisiä. Kaasujen poistamiseksi lämmitettävään tilaan järjestetään tuuletus. Betonointikohteissa käytetään yleensä lämmitystehosta ja -tilasta riippuen kaasu- ja sähkökäyttöisiä lämmittimiä.

Hyvin suljetun valun alapuolisen tilan ja huolellisen betonipinnan lämpösuojauksen avulla kuumailmalämmitys riittää talvikauden holvivalujen lämmitykseen, vaikka vaatiikin aina usean päivän (3...4 vrk) lämmitysajan. Lämmitys toimii myös aiemmin valettujen betonirakenteiden lämmitysmuotona.

Kuumailmalämmitystä käytettäessä aikaisimmin valetun kylmän betonirakenteen ja valettavan betonirakenteen liittymäkohta lämmitetään lankalämmityksellä.

Kuumailmapuhaltimet pidetään pois päältä betonoinnin aikana. Lämmittimet laitetaan uudestaan päälle heti kun valu on saatu suojattua. Kuumailmalämmitys lisää halkeiluriskiä, joten ilman kosteutta seurataan. Ilma kuivuu lämmityksen takia, jolloin veden haihtuvuus paljaalta tuoreelta betonipinnalta on moninkertainen.

Kuumailmalämmitystä käytetään:

- vaakarakenteiden lämmityksessä
- tilapäisinä lämmittiminä erityiskohteissa muuttien purkamisen jälkeen.

Taulukko 15. Kuumailmalämmitys.

Hyötysuhde	Kuumailmalämmityksen todellinen hyötysuhde on noin 30 %:n luokkaa.
Lämmittimien teho-alue	Lämmittimien tehoalue on laaja. Pienimpien laitteiden tehot ovat 5...30 kW ja suurten jopa 150...3000 kW.
Energian tarve	150...500 kWh/betoni-m ³ . Betonin kovettumisaika 2...5 vrk. ¹⁾

¹⁾ Lähde: Ratu C8-0377 Talvityöt ja kustannukset. 2010.

Infrapunasäteilylämmitys soveltuu laaja-alaisen ja suhteellisen järeiden rakenteiden lämmitykseen.

Rakenteiden tulee olla hyvin lämpöeristettyjä ja suojattuja.

Infrapunalämmitystä voidaan käyttää myös mm.

- sääsuojien ja -hallien lämmityksessä
- liukuvalussa
- pintakäsittelyissä
- roudan sulatuksessa
- elementtiteollisuudessa.

Infrapunasäteilylämmitys

Infrapunasäteilylämmitys perustuu lämmön siirtämiseen säteilyllä, joka lämmittää muottia ja betonipintaa. Menetelmä on herkkä ilmavirtauksille.

Infrapunasäteilijät ovat joko kaasu-, öljy- tai sähkölämmittäjiä. Suurin osa työmaakäytössä olevista laitteistoista on nestekaasulämmittäjiä. Lämmityksessä on aina huomioitava kuumien säteilijöiden ja polttoaineen aiheuttama palovaara. Erityisesti nestekaasua käytettäessä huolehditaan viranomaismääräysten noudattamisesta. Kaasusäiliöitä ei saa sijoittaa maanpinnan tason alapuolelle eikä suljettuihin tiloihin.

Muottimateriaalien ja -rakenteiden on sovelluttava lämmitysmenetelmään, eivätkä tukirakenteet saa estää säteilyn etenemistä. Lämpötiloja ja lämpötilaeroja rakenteen eri kohdissa seurataan jatkuvasti. Mikäli lämmitettävä tila ei ole tiivis, lämpöä haihtuu ilmavirtausten mukana.

Taulukko 16. Infrapunasäteilylämmitys.

Säteilijöiden keskinäinen sijoitus	Säteilijät sijoitetaan niin, että ulkoilmaan rajoittuvat reunaosat saavat enemmän säteilyä kuin keskiosat. Säteilijöiden väli ei missään kohdassa saa olla suurempi kuin laitteiden kaksinkertainen etäisyys muottipinnasta.
Lämmittimien suora suuntaus	Säteily suunnataan suoraan betonipintaan, joka suojataan kosteuden liiallisen haihtumisen estämiseksi läpinäkyvällä muovikalvolla.
Lämmittimien epäsuora suuntaus	Säteily kohdistetaan muottipintaan ja säteilijät asetetaan halutun lämpötilan edellyttämälle etäisyydelle muottipinnasta.
Hyötysuhde	Säteilylämmityksessä säteilyenergia muuttuu lämmöksi vasta kohdetaan kiinteään aineeseen. Sen hyötysuhde on parempi verrattuna esim. ilmalämmitykseen, jossa lämpö siirtyy seuraavan ketjun mukaisesti: lämmitys-laite – ilma – rakenne. Hävikki säteilylämmityksen ketjussa lämmitys-laite – rakenne syntyy muottimateriaalin vaikutuksesta ja rakennetta ympäröivän tilan puutteellisesta suojauksesta.
Teho	Tasaisen lämpötilan aikaansaamiseksi käytetään mieluummin useita pienitehoisia kuin harvoja suuritehoisia säteilijöitä. Liian suurista tehoista voi aiheutua betonin halkeilua. Tehoa parantavat <ul style="list-style-type: none"> • hyvä muotin lämmönjohtavuus (esim. teräsmuotti) • ilmavirtausten sekä kylmän ja muiden rakennetta jäähdyttävien vaikutusten välttäminen. Säteilyn tehoa on voitava säätää. Osateho kytketään toimintaan jo ennen betonointia ja sitä käytetään betonoinnin aikana.
Energian tarve	90...180 kWh/betoni-m ³ . Betonin kovettumisaika 1...3 vrk. ¹⁾

¹⁾ Lähde: Ratu C8-0377 Talvityöt ja kustannukset. 2010.

Lankalämmitys

Lankalämmityksessä betonivalun sisään asennettava lämmityslanka tai -kaapeli lämmittää suoraan betonia. Lämmityslankojen kanssa käytetään muuntajia, jotka alentavat työmaan jakokeskuksen kolmivaihevirran suojajännitteeksi. Markkinoilla on myös suoraan verkkovirtaan kytkettäviä lämmityskaapeleita.

Lankalämmityksessä lämmitys voidaan kohdistaa tarkasti haluttuihin rakenteisiin ja rakenteiden osiin. Lämpö tuodaan rakenteeseen sisältäpäin, jolloin rakenteen lämpötila saadaan kohoamaan kohtuullisella energiamäärällä ilman, että lämmitetään turhaan muita rakenteita tai tiloja. Lämmitystä voidaan jatkaa vielä muottien purun jälkeenkin.



Kuva 21. BET-kaapeli asennettuna työmaalla. Lähde: Pistesarjat Oy, Heikki Hämäläinen.

Lankalämmityksen käyttökohteita ovat mm.

- anturat
- pilarit
- palkit
- seinien alaosat
- ulokkeet
- elementtien saumat ja kylmät reunat
- kylmää betonia, kalliota tai maata vasten valettavat rakenteet
- lattiavalualueiden reuna-alueet.

Lankalämmityksen avulla voidaan myös täydentää muita lämmitysjärjestelmiä esim. rakenteiden reuna-alueilla.

Lankalämmitys on tarkoitettu

- betonin nopeamman lujuudenkehityksen saavuttamiseen
- betonin lämpimänä pitoon
- valun jälkeiseen betonin kuivattamiseen.

Lankalämmitystä ei suositella

- avoimiin ja suojaamattomiin laajapintaisiin rakenteisiin
- massiivisiin rakenteisiin
- valmiin rakennuksen lämmittämiseen
- eristämättömiin teräsmuotteihin pakkasella
- rakenteisiin, joilta vaaditaan erityistä vedenpitävyyttä.

Lankalämmityksen lisäksi työ tulee suojata huolellisesti. Tarvittaessa käytetään lisäeristystä. Suojaamattomissa laajapintaisissa rakenteissa lämpötilaerot saattavat aiheuttaa halkeiluriskiä. Halkeiluriski on suuri etenkin ohuissa rakenteissa. Avoin betonin pinta luovuttaa lämpöenergiaa, kun taas rakenteen keskellä lämpötila nousee kaapelilämmityksen takia. Ongelmaa voidaan hallita betonin pintaan levitettävällä eristysmattolla. Halkeiluriskiä lisää myös liian nopea kuivuminen.

Lankalämmityksessä riskinä on langoituksen katkeaminen valun aikana. Lämmitys on suunniteltava niin, että lämmitystehot eivät jää liian pieniksi eivätkä lämpötilat nouse liian suuriksi (> 60 °C). Lämmityskaapeleiden ja -lankojen sijoituksessa erityishuomiota tulee kiinnittää rakenteen kylmimpiin kohtiin, kuten ulkonurkkiin, heikommin eristettyihin pintoihin ja kylmiä pintoja vasten oleviin rakenteisiin.

Lankalämmityksen suunnitteluun vaikuttaa betonin lämmitystarve. Lämmitystarpeeseen vaikuttavat mm.

- betonin tyyppi
- rakenneosan paksuus
- suojaus
- ulkolämpötila.

Lämmityskaapelit

Lämmityskaapeleiden etuna ovat helppo kuljetettavuus ja varastointi. Kaapelit asennetaan yleensä raudoitusta hyväksikäyttäen betonivalun sisään. Asennuksen työmäärä ja kesto riippuvat oleellisesti lämmitettävän rakennusosan/rakenteen geometriasta.

Yleisenä lämmityskaapelin asennusvälinä käytetään 100...250 mm riippuen betonivalun tarvitsemasta lisälämmitystehosta. Yleisenä ohjeena on, että lämmityskaapeliväli saa olla enintään kaksi kertaa rakenteen paksuus. Pienin taivutus säde on 35 mm ja minimi lämmityskaapeliväli 70 mm.

Taulukko 17. Lämmityskaapelit.

KytKentä	Lämmityskaapeli liitetään kaapelin toisesta päästä valovirtapitotulpalla verkkovirtaan (230 V).
Teho	Lämmityskaapelin tehot ovat yleensä noin 40 W/m. Mitä tiheämmin lankoja sijoitetaan, sitä suurempi lämmitysteho saadaan tuotua rakenteeseen.

Muuntajakäyttöinen lankalämmitys

Varsinaisena lämmityslankana käytetään halkaisijaltaan 2 mm:n muovipäällysteistä teräslankaa, k200...250. Muuntajakäyttöinen lankalämmitys soveltuu laajempiin valuihin langan edullisemman hankintahinnan ja säädettävyyden takia. Lankalämmityksen käyttö on vähentynyt sen vaatiman erikoisosaamisen sekä suuren työmäärän takia.

Esimerkki. Lankalämmityksen tehotarvekäyrästäön käyttö (kuva 22). Lähde: RIL 149-1995 Betonityöohjeet.

Tarkoituksena lämmittää eristysmatolla peitettyä lautamuotissa olevaa anturaa. Lasketaan sähköntehon tarve, kun

- ulkolämpötila $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$
- betonin alkulämpötila $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- lämpötila halutaan nostaa kuuden tunnin aikana $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen.

Siirtymät kuvan 22 tehotarvekäyrällä:

- Lähdetään siirtymään ulkolämpötilaa $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ vastaavasta pisteestä pystysuoraan ylös betonin alkulämpötilaa vastaavalle suoralle.
- Kohdasta $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ siirrytään vaakasuoraan oikealle rakenne- suojausyhdistelmää vastaavalle suoralle.
- Suoralta siirrytään pystysuoraan alas, kunnes leikataan haluttua lämpötilan laskua vastaavasta pisteestä vedetty vaakasuora. Tämän leikkauspisteen paikka sähkötehoi- vastolla ilmaisee todennäköisen tehotarpeen.
- Tarvittava lämpötilan nousunopeus on $+2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Saatua tehotarve on siis noin $2,5\text{ kW}/\text{betoni-m}^2$.

Muuntajakäyttöisen lankalämmityksen suunnittelun vaiheet ovat

- tarvittavan lämmitystehon määrittely
- kokonaislankamäärän laskeminen
- silmukan pituuden ja niiden määrän laskeminen
- elementtisaumojen lämmityksen mitoitus
- lankatehon säätämisen kovettumisen aikana.

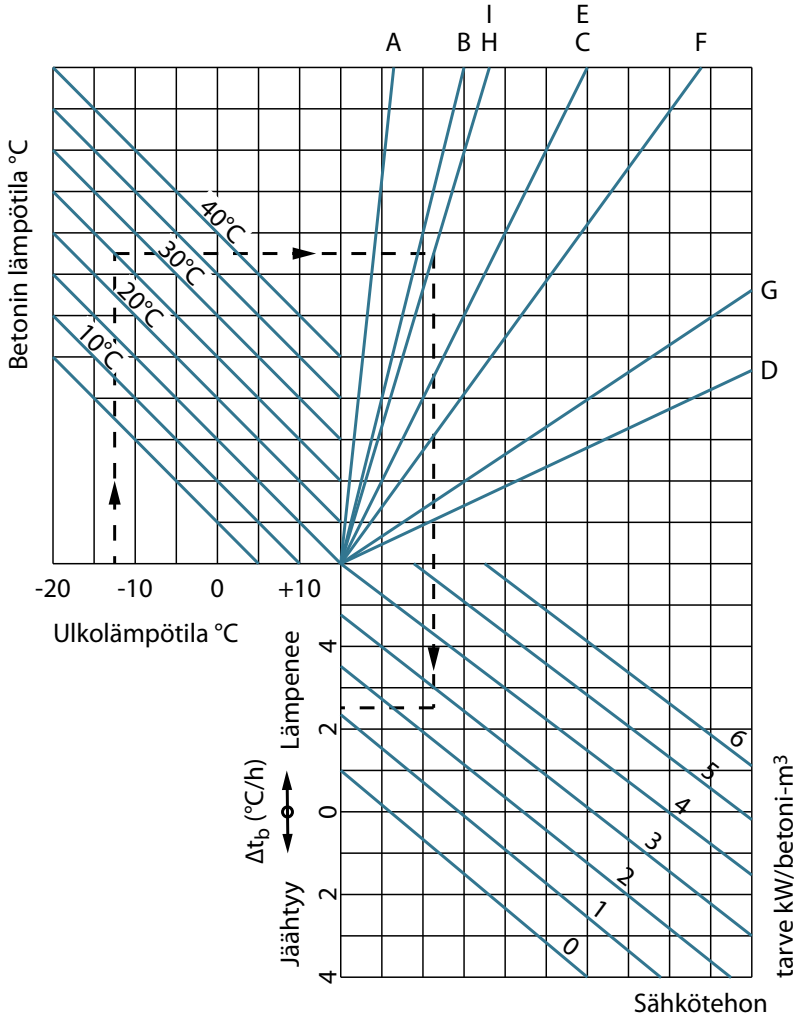
Tarvittava lämmitysteho voidaan määrittellä esimerkiksi kuvan 22 tehotarvekäyrästäön avulla.

Taulukko 18. Muuntajakäyttöinen lankalämmitys.

	Muuntajakäyttöinen lankalämmitys
KytKentä	Verkkovirta johdetaan työmaalla sähkölämmitysmuuntajaan, joka muuntaa verkkojännitteen 9...42 V:n suojajännitteeksi. Suojajännittevirta johdetaan runkokaapeleita pitkin lämmitettävän rakenteen sisään.
Teho	Lankalämmityksessä tarvittava teho on $1...6\text{ kW}/\text{m}^3$ ja energian tarve $50...100\text{ kWh}/\text{betoni-m}^3$. Suurin sallittu lankateho 2 mm:n teräslangalla on $120\text{ W}/\text{m}$, mutta lämmityksen suunnittelussa käytetään maksimiarvona $100\text{ W}/\text{m}$. Suojajännitettä muuttamalla voidaan lämmitysteho säätää halutun suuruiseksi.
Energian tarve	$60...100\text{ kWh}/\text{betoni-m}^3$. Betonin kovettumisaika $1...3\text{ vrk}$. ¹⁾

¹⁾ Lähde: Ratu C8-0377 Talvityöt ja kustannukset. 2010.

Rakenteen laatu ja lämpöeristys



Tunnus	Rakenne	Lämpöeristys
A	Suurmuottiseinä	Erittäin hyvä
B	"	Tyydyttävä
C	"	Vain vanerimuotti
D	"	Vain teräsmuotti
E	Palkisto	Mineraalivillamatto
D	"	ohut mineraalivillamatto
G	"	Muovikeltu
H	Pilari, erill. palkki	Lautamuotti
I	Antura, jalusta	Lautamuotti, päällä matto

Kuva 22. Lankalämmityksen tehontarvekäyrästä. Lähde: RIL 149-1995 Betonityöohjeet.

Lämmitettävät muotit

Muottilämmityksessä käytetään lämpöeristettyjä suurmuotteja, kuten pöytä- ja seinämuotteja. Muottipinnan ja lämmöneristeen väliin on asennettu vastuslankasilmukoita tai lämpövastuksia, joista lämpö siirtyy muottipinnan läpi betoniin. Pintalämpötilaa ohjataan termostaattilla.

Lämpötilan säätöä varten muoteissa on termostaatti- ja kello-ohjaus. Muottilämmityksessä voidaan lämmitys kytkeä osateholle jo ennen betonointia ja varmistaa täten muottien sulaminen ja lämpiäminen. Muottipinnan lämpötila ei kuitenkaan saa olla niin korkea, että betonin nopea kovettuminen pinnan lähellä aiheuttaa hilseilyä muottien purkuvaiheessa.

Pöytä- ja suurmuottilämmityksessä käytetään apuna myös lankalämmitystä. Lankalämmityksellä lisälämmitetään aikaisemmin valetun ja valettavan rakenteen yhtymäkohtaa.

Lämmitettävien muottien etuna on helppokäyttöisyys. Lämmitettävien muottien haittapuolena on, etteivät ne toimi lämmitysmuotona kohteissa, joissa käyttökertoja on vähän. Käytön edullisuus edellyttää suurta valukertamäärää samalle muotille.

Muottilämmitys soveltuu

- selkeisiin rakenteisiin, kun käyttökertoja on paljon
- seinien ja laattojen lämmitykseen.

Taulukko 19. Lämmitettävät muotit.

Kytkentä	Suur- ja pöytämuottien sähkölämmityksessä käytetään 9...14 V:n suoja-jännitettä tai 380 tai 220 V:n verkkojännitettä. Verkkojännitettä käytettäessä ei muuntajia tarvita. Tämä helpottaa asennustyötä ja pienentää osaltaan energianhukkaa. Muottien rakenne on molemmilla jänniteryhmillä täysin samanlainen.
Teho	Lämmitettävään muottiin menevä lämmitysteho riippuu jännitteestä ja silmukoiden vastuksesta. Lämmityslankojen keskinäisellä etäisyydellä voidaan vaikuttaa siihen, kuinka suureksi teho jollakin muotin alueella muodostuu. Yleensä näissä muoteissa teho neliometriä kohden on suunnilleen vakio koko muottipinnan alueella. Suurmuoteissa teho on molemmissa puoliskoissa 100...200 W/m ² eli 1,0...1,6 kW/betoni-m ³ . Näillä tehoilla päästään tavallisesti 2...3 vuorokauden muottien purkuaikoihin. Muotin puuosien ja kaapeleiden ylikuumenemisvaara estää suurten tehojen käyttön.
Energian tarve	50...100 kWh/betoni-m ³ . Betonin kovettumisaika 1...3 vrk. ¹⁾

¹⁾ Lähde: Ratu C8-0377 Talvityöt ja kustannukset. 2010.

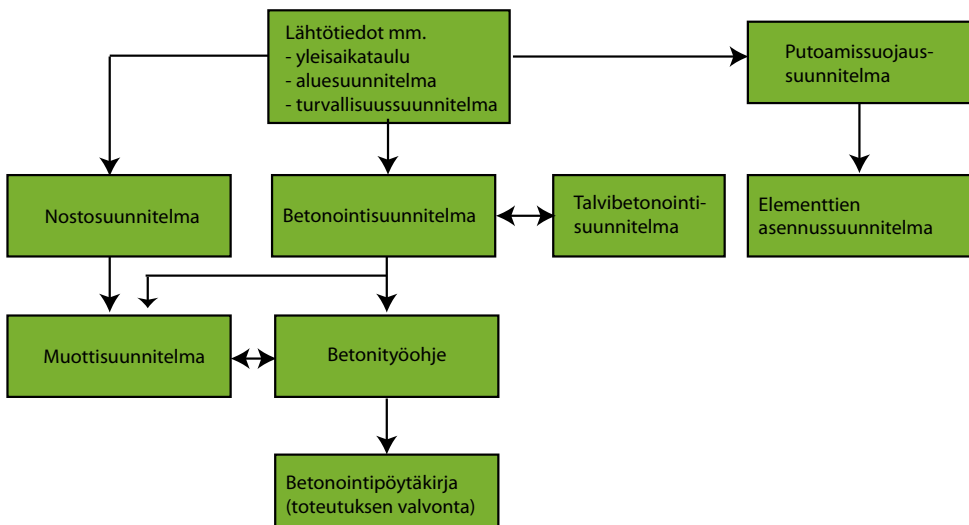
5

Työmaan betonointityö ja laadunvarmistus

Betonoinnin suunnitelmat

Viranomaisohjeet (RakMK B4) edellyttävät, että betonitoita varten tehdään betonityösuunnitelma, jota tarkennetaan ennen kutakin betonointia tarvittavilta osin.

- Betonointisuunnitelma tehdään ennen betonitöiden aloittamista.
- Työohjeistus tarkentaa betonointisuunnitelmaa.
- Suunnitelmien toteutumista seurataan betonoinnin yhteydessä pidettävällä betonointipöytäkirjalla, johon merkitään tehdyt toimenpiteet ja poikkeamat suunnitelmista.
- Jos on vähäinenkin mahdollisuus, että osa betonoinnista joudutaan suorittamaan kylmän sään vallitessa, on tehtävä talvibetonointisuunnitelma. Suunnitelma on laadittava hyvissä ajoin, jotta tarpeelliset laite- ja materiaalihankinnat voidaan suorittaa ennen sään kylmenemistä.
- Elementeistä laaditaan lisäksi elementtien asennussuunnitelma. Talvella kiinnitetään huomiota elementtien saumukseen (ks. luku 6 "Elementtien saumaus").



Kuva 23. Karkea kuvaus betonoinnin suunnitelmista.

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 betonointisuunnitelma, jota täydentävät lyhyiden aikavälien – viikkojen tai päivien – betonointikohdekohtaiset suunnitelmat.

Talvibetonointisuunnitelma

Kun betonirakentaminen tapahtuu talviaikana tai yleensä sellaisena ajankohtana, että sään muuttuminen kylmäksi on mahdollista, laaditaan betonityösuunnitelman teon yhteydessä yleissuunnitelma talvibetonointitoimenpiteistä (taulukko 20 ja luku 8 ”Talvibetonointisuunnitelma”).

Etenkin talvikautena on syytä panostaa betonointisuunnitelman laatimiseen yhteistyössä asianosaisten suunnittelijoiden ja betonitoimittajan kanssa. Yhteistyössä käydään läpi tavoitteet ja niiden saavuttamiseksi vaaditut toimenpiteet.

Rakennesuunnittelija

- huolehtii siitä, että suunnitelmissa ja asiakirjoissa on esitetty kaikki normeissa ja erikoisohjeissa materiaaleille ja lopputuotteelle asetetut vaatimukset
- vastaa siitä, että lopputulos annettujen vaatimusten mukaan toteutettuna vastaa sille asetettuja tavoitteita.

Taulukko 20. Talvibetonointisuunnitelmassa huomioitavat toimenpiteet.

Alue	Toimenpiteet
Työsisältö	<ul style="list-style-type: none"> • Selvitetään kohteen koko, rakenteiden vahvuudet ja rakenteelle asetetut vaatimukset. • Suunnitellaan työsaumojen sijoitus. • Tehdään alustava betonilaatujen valinta muottikiertovaatimusten perusteella (muotinpurkulujuuden saavuttaminen eri valuolosuhteissa lämmitys ja suojaus huomioiden). • Varaudutaan häiriöihin.
Muotit	<ul style="list-style-type: none"> • Suunnitellaan muottikierto ja sen yhteensopivuus työaikataulujen kanssa. • Tarkistetaan muottikaluston riittävyys suunniteltuun muottikiertoon nähden. • Määritetään betonin vaadittavat muotinpurkulujuudet rakenneosittain. • Suunnitellaan muottien tuenta ja purkujärjestys sekä rakenteiden tuenta muottien poiston jälkeen.
Suojaus ja lämmitys	<ul style="list-style-type: none"> • Vertaillaan lämmitys- ja suojausvaihtoehtoja ja niiden soveltuvuutta työkohteeseen. Otetaan huomioon työmäärän, energian kulutukset ja energian hinta. • Selvitetään rakenteiden, muottien sekä suojausten yhteensopivuus lämmityksen kanssa. • Varataan tarvittava määrä lämmitys- ja suojauskalustoa. Varaudutaan myös äkillisiin sääolosuhteiden muutoksiin ja konerikkoihin. • Suunnitellaan lämmitys ja lämpötilaseuranta.
Kalusto	<ul style="list-style-type: none"> • Selvitetään tarpeelliset laitteisto- ja tarvikkehankinnat.
Työntekijät	<ul style="list-style-type: none"> • Suunnitellaan henkilökunnan koulutus- ja opastustoimenpiteet ja niiden toteutus.

Betonityöohje

Tärkeintä on betonin riittävä lujuus muotinpurkua varten ja tätä kautta betonin lämpötilan seuraaminen.

Muotinpurkulujuuden määrittelee rakennesuunnittelija.

Betonoitavien osien lumen ja kylmyyden vaatimista toimenpiteistä sovitaan yhdessä seuraavien osapuolten kanssa:

- muottityöntekijät
- raudoittajat
- LVIS-urakoitsijat
- betonoinnintekijät
- lämmitysurakoitsija
- lämpötilan seuraajat
- valmisbetonitoimittaja.

Lisäksi muille urakoitsijoille tiedotetaan työjärjestelyistä.

Betonityöohje

Ennakkosuunnittelussa ja ennen betonitöiden aloittamista tulee hankkia rakennesuunnittelijalta ja betonitoimittajalta tiedot rakenteeseen soveltuvasta betonista, sen ominaisuuksista sekä kohteeseen sopivasta betonin siirtotavasta. Valmisbetonitoimittajan kanssa on syytä käydä läpi betonilaadut, valmisbetonin toimitusnopeus, valukalusto (ränni, pumppu) tai mahdollinen nostoastian käyttö. Huomioidaan betonin massan jäähtyminen.

Tarkastetaan, mikä on suunniteltu muottikierto ja milloin muottien purkulujuus saavutetaan. Vaaditun muottien purkulujuuden, käytettävän betonin massan lujuusluokan ja suunnitellun muottien purkuajankohdan avulla lasketaan tarvittava betonin kovettumislämpötila.

Lämmitys suunnitellaan siten, että lämmitysteho on riittävä betonin suunnitellun kovettumislämpötilan saavuttamiseksi. Lämpötilan tulee olla koko rakenteessa mahdollisimman tasaisesti jakautunut. Lisäksi mietitään lämmityksen suuntaus sekä lämmityslaitteiden määrä ottaen huomioon lämpöhäviöt betonoinnin aikana. Riittävän lämmitystehon ohella betonin kovettumislämpötilan saavuttaminen varmistetaan oikein asennettavalla kunnollisella lämpösuojauksella. Betonin suojaus tulee aloittaa jo valun yhteydessä.

Suunnitellaan betonin lämpötilan ja lujuudenkehityksen seuranta ja mittauslaitteiston sijainti yhdessä betonitoimittajan kanssa.

Taulukko 21. Talvibetonoinnin rakennekohtaisen suunnitteluvaiheen tärkeimmät toimenpiteet.

Tarkastetaan/ käydään läpi	<ul style="list-style-type: none">• betoniosan betonin vaadittava muotinpurkulujuus• suunniteltu muottikierto• työsauman paikka, tarvittaessa rakennesuunnittelijalta• muottien kunto, riittävyys ja tuenta• työkohteeseen sopivat betonilaadut yhdessä valmisbetonitoimittajan kanssa
Lasketaan	<ul style="list-style-type: none">• suunniteltua muotinpurkuajankohtaa vastaava betonin tarvittava kovettumislämpötila• betonin lämmitystarve
Suunnitellaan	<ul style="list-style-type: none">• betonoitavan rakenteen lämmitys, lämpösuojaus ja lämpötilaseuranta• suojaus- ja jälkiohitoimenpiteet sekä tarvittaessa rakenteen jäähtymistä hidastavat toimenpiteet• betonointijärjestys ja aikataulu• varautuminen häiriöihin ja olosuhteiden muuttumiselle
Varmistetaan	<ul style="list-style-type: none">• lämmityskaluston kunto ja määrä sekä niihin tarvittavat luvat• lämpösuojausten laatu ja määrä• riittävä suojaus ennen valua, valun aikana ja sen jälkeen

Tarkastetaan betonointipäivän sääennusteet. Varmistetaan, että suojaus- ja lämmityskalustoa on riittävästi ja perehdytään niiden oikeaan käyttötapaan. Huomioidaan, että muottien tulee olla puhtaat lumesta ja jäästä ennen valua. Valua vasten olevat kylmät rakenteet tulee esilämmittää. Varmistetaan, että betoni ei pääse jäätymään ennen kuin se on saavuttanut 5 MPa:n jäätymislujouden.

Varmistetaan, että betonin kuljetusauto pääsee aiottuun purkupaikkaan ja maapohja kestää kuorman. Betonointia varten kootaan tarvittava työkunta ja samalla arvioidaan valunopeus työkunnan koon mukaan.

Betonointipöytäkirja

Laadunvalvonta kohdistuu betonoinnin aikana lähinnä betonimassan ominaisuuksiin, työnsuorituksiin sekä muotteihin, raudoitukseen ja valettaviin rakenteisiin. Betonointityön laadunvalvonta-asiakirjana toimii betonointipöytäkirja. Lomakkeena voidaan käyttää esimerkiksi lomaketta by 401, joka toimii sekä tuotannon että laatusuunnittelun ja -dokumentoinnin apuvälineenä.

Betonointipöytäkirjaan kirjataan kattavat huomiot betonoinnin edetessä tai välittömästi sen päätyttyä mm. muottien, raudoituksen, betonin ominaisuuksien, betonoinnin sekä koekappaleiden ja jälkitöiden osalta.

Kirjattavia seikkoja ovat mm.

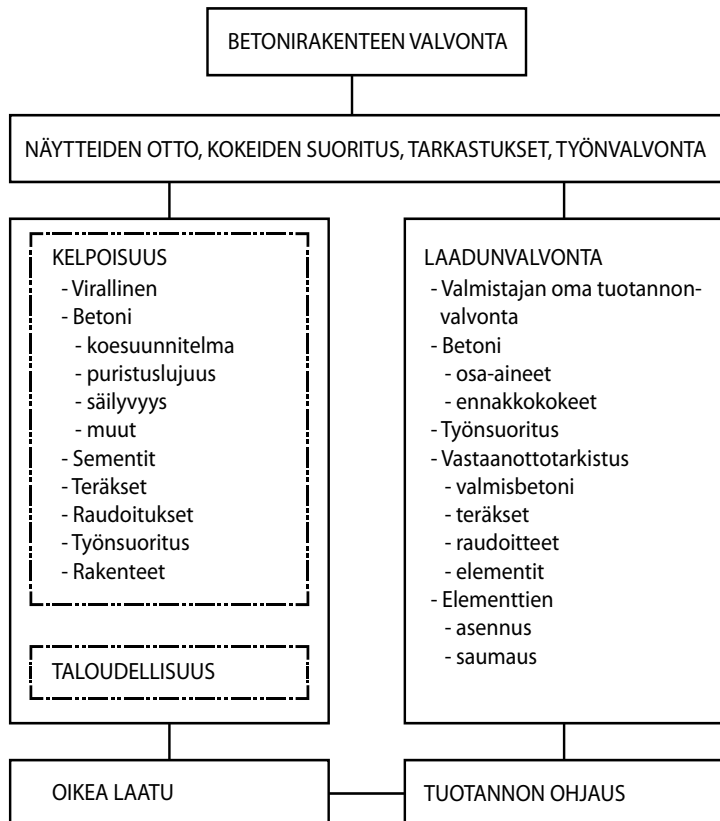
- kohteen perustiedot
- toimittaja-, valuryhmä- ja valvojatiedot
- testien, koevalujen ja varsinaisen betonoinnin suorittamisajankohdat
- ilman ja betonimassan lämpötilat valun alkaessa ja päättyessä
- käytetty kalusto
- lämpötilakehitysmittausten otokset
- jälkihoidon tarve ja siihen käytetyt aineet ja menetelmät
- arviot jäätymislujouden ja muottien purkulujouden saavuttamisesta.

Betoninormit sisältävät rakentamismääräyskokoelman betonirakentamishjeet ja betonirakenteiden suunnitteluohjeet.

Betonoinnin laadunvarmistus

Betonirakentamisen valvonta jaetaan kahteen eri osa-alueeseen (kuva 24). Virallinen osa on kelpoisuuden eli vaatimusten mukaisuuden toteaminen. Tässä määrävänä tekijänä ovat betoninormit. Toinen osa on laadunvalvonta, jolla tarkoitetaan betonin valmistajan, elementtitehtaan ja rakentajan suorittamaa oman tuotannon valvontaa ja laadunohjausta. Tässä luvussa käsitellään pääasiallisesti työmaalla tapahtuvaa laadunvarmistusta osana betonointityötä.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa B4 esitetään vaatimuksia betonin osa-aineiden ja työnsuorituksen laadunvalvonnasta ja kelpoisuuden toteamisesta lujuusluokkaan C50/60 asti. Julkaisussa by 50 esitetään lisäohjeet lujuusluokkaan C85/100 asti.



Kuva 24. Betonirakenteen valvonnan osat ja päämäärät. Muokattu lähteestä: by 201 Betonitekniikan oppikirja 2004.

Kalusto

Talvibetonointi edellyttää erityiskalustoa, jonka määrä riippuu kohteen laajuudesta, suunnitellusta muottikierron nopeudesta, käytettävästä betonista ja odotettavissa olevista lämpötiloista.

Tarvittava kalusto on varattava ajoissa, ja sen on oltava työmaalla suunniteltuna ajankohtana. Talviolosuhteisiin kannattaa varautua hyvissä ajoin. Talvibetonoinnin edellyttämää kalustoa on käyty läpi taulukossa 22.

Talvibetonoinnin edellyttämää tavanomaista kalustoa ovat

- lumen ja jään poisto- ja sulatuslaitteet
- tarvikkeet muottien ja raudoituksen suojaamisen
- mittarit lämpötilojen tarkkailuun
- valaistukseen tarvittavat laitteet
- sääsuojat
- tarvikkeet betonin peittämiseen, suojaamiseen ja lämmöneristämiseen
- lämmitykseen tarvittavat kalusto ja polttoaineet.

Taulukko 22. Talvibetonoinnin edellyttämää kalustoa.

Lämmityslaitteet	Lämmityslaitteiden valinnassa on otettava huomioon muottimateriaalin ja lämmitysmenetelmän yhteensopivuus. Betonin lämmityksen tapahtuessa erillisillä lämmittimillä muotin ulkopuolelta kannattaa muotti valita siten, että lämmityspuolella muottimateriaalin lämmönjohtavuus on mahdollisimman hyvä.
Muotit	Teräs- ja muovimuotteja käytettäessä lämmityksen vastainen puoli tulee eristää. Lämpöeristettyjä muotteja kannattaa käyttää kuuman betonin yhteydessä. Talviolosuhteissa kannattaa käyttää suuria muottiyksiköitä, koska tällöin saumoja ja kiinnitysosia on vähemmän.
Raudoitus	Talviolosuhteissa raudoituksena suositellaan käytettäväksi teollisesti valmistettuja raudotteita. Raudotteet saadaan asennettua nopeasti, eikä muottiin ehdi sataa lunta.
Suojaus	Suojapeitteitä tarvitaan raudoitettun valettavan alueen peittämiseen, valettun alueen peittämiseen ja suojaamiseen, jäähtymisen hidastamiseen muotinpurun jälkeen ja aukkojen sulkemiseen lämmityksen tapahtuessa alapuolelta. Betonin lämpösuojaukseen tarvitaan suojapeitteiden ohella myös lämpöä eristäviä peitteitä.
Muottien puhdistus	Muotit puhdistetaan lumesta ensisijaisesti mekaanisesti esim. harjaa, lapi-oita, kolaa sekä joissain tapauksissa lumilinkoja käyttäen. Loput lumet poistetaan lämmityksen ja kuivauksen avulla. Muottien lämmitys aloitetaan niin, että jää ja lumi ehtivät varmasti sulaa. Puhdistettaessa muotteja lumesta ja jäästä kiinnitetään erityistä huomiota pilari- ja seinämuottien alaosien sekä tiheästi raudoitettujen tai muuten hankalasti käsiteltävien kohtien puhdistamiseen.
Valaistus	Työmaalle ja valukohteisiin varataan riittävä määrä valaisimia.

Valmistelut muottityön yhteydessä:

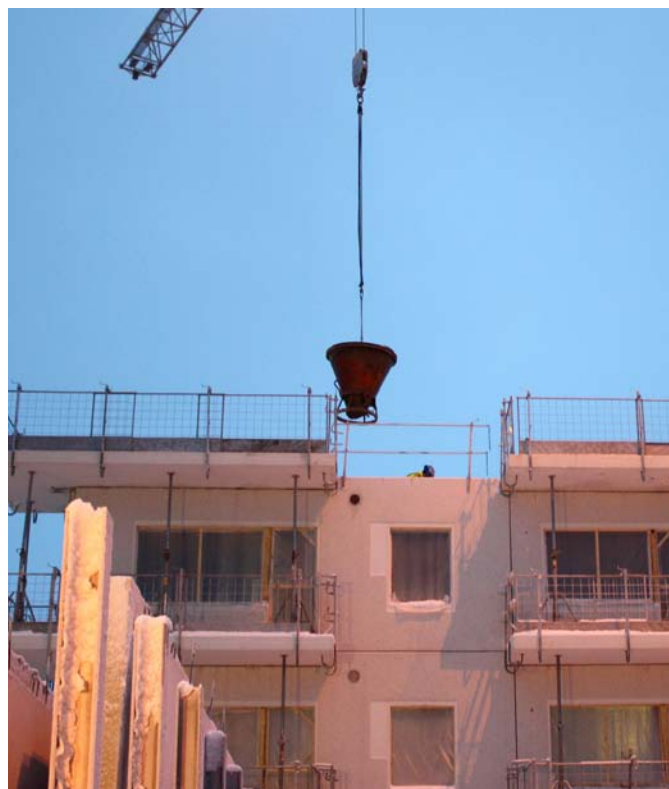
- lämpömittausvälineiden sijoittaminen sovittuihin kohtiin
- lankalämmityksen asennus ja toiminnan tarkastus
- lisälämmityskaapelien asennus tai muiden lisälämmittimien suuntaus kylmäsilta-kohtiin, ellei niissä ole jo vanhoja toimivia kaapeleita
- muottien lämpösuojaaminen lämmitystavan vaatimin osin; kylmäsilta-kohtien ja reuna-alueiden lisäsuojaus
- muottien alapuolisen tilan huolellinen suojaus (käytettäessä infrapunalämmitystä tai kuumailmalämmitystä)
- varalämmittimien ja huoltovälineistön varaus
- muottien suojaus lumisateelta ja vedeltä.

Muottityö

Selvitetään muottien tuenta. Monikerroksisessa rakennuksessa muotit tuetaan tavallisesti pystytuilla siten, että kuormitusten tasaamiseksi vähintään kaksi peräkkäistä kerrosta on tuettuna. Ennen alemman kerroksen muotinpurkua varmistetaan siitä, että betonin lujuus on riittävä.

Muottityön yhteydessä asennetaan lämpötilan mittausputket tai -anturit. Kylmille reuna-alueille sekä aiemmin valettujen rakenteiden liittymäalueille asennetaan lisälämmityslaitteet. Tämän jälkeen muotit lämpösuojataan tai muottien alapuolinen tila suojataan. Laitteiden rikkoutumisen varalta huolehditaan saataville varalämmittimet ja -kalusto sekä laitteiden huoltotarvikkeet.

Muotit tulee suojata sekä pitää puhtaana sateen, lumipyryn sekä pakkasen aikana. Muotteihin päässyt lumi ja jää tulee poistaa ennen valua. Muottityön yhteydessä tarkistetaan betonilaadun sopivuus yhteistyössä betonin toimittajan kanssa. Muotit ja ympäröivät rakenteet esilämmitetään.



Kuva 25. Massan jäähtyminen tulee huomioida myös nosto-astiavaluissa.

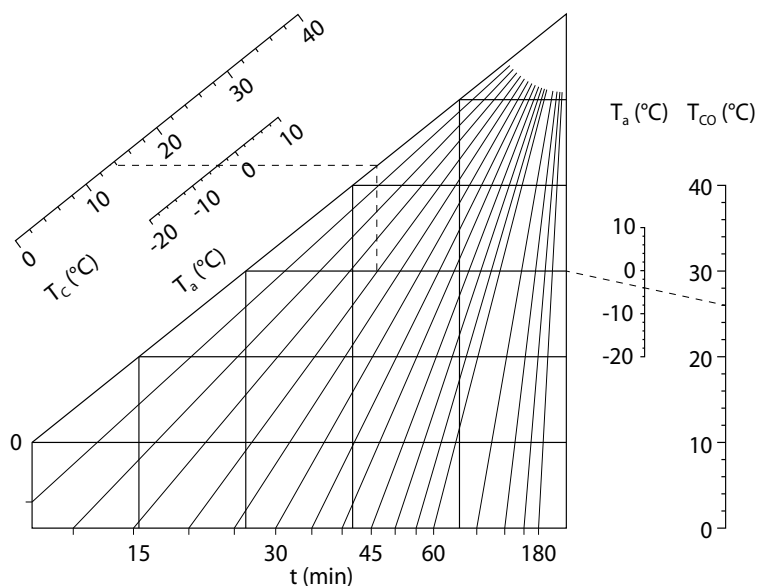
Betonin kuljetus ja siirrot

Kylmällä säällä on edullista, jos betonin kuljetukset ja siirrot ovat lyhyitä ja ripeitä sekä siirtoja kuljetuslaitteesta toiseen on mahdollisimman vähän. Pitkillä kuljetusmatkoilla ja vastaanottoastioissa on massa suojattava tai lämpöeristettävä.

Betonimassa jäähtyy pyörintäsäiliöautossa lyhyellä kuljetusmatkalla vain muutaman asteen, mutta purkuvaiheessa ja siirroissa lämpötilan lasku voi olla iso. Vaikka betonimassa siirrettäisiinkin betonitehtaalta muottiin ilman turhia viiveitä, lämpötilan lasku voi olla 5...7 °C. Hidas betonointi merkitsee suurempaa jäähtymistä.

Arvio jäähtymisestä on huomioitava betonia tilattaessa. Jäähtymistä voidaan arvioida esimerkiksi kuvan 26 avulla. Betonin lämpötila mitataan ennen betonoinnin alkua.

Kuljetusväylän työmaan portilta purkupaikalle tulee olla kantavuudeltaan ja leveydeltään käytettävän kuljetus- ja pumppukaluston vaatimusten mukainen. Varmistetaan, että tie ei ole liukas. Tiepohjan tulee kantaa kaluston paino. Roudan sulaminen tulee huomioida kantavuudessa.



- T_{co} massan lämpötila sekoittimessa (vastaanottoastiassa)
 T_c muottiin tiivistetyn betonin lämpötila
 T_a ulkoilman lämpötila
 t aika

Kuva 26. Betonimassan jäähtyminen nosturisiirron ja betonoinnin aikana. Lähde: by 201 Betonitekniikan oppikirja 2004.

Työmaalla tarkastetaan ja varmistetaan hyvissä ajoin ennen betonityön aloitusta

- betonityösuunnitelma
- sää- ja työskentelyolosuhteiden vaikutus kalustoon ja betonilaatuun
- resurssien saatavuus
- betonityöntekijöiden perehtyneisyys työhönsä
- kaluston kunto
- varakaluston käyttövalmius
- rakenteen ja muotin pultsaus ja lämmitys
- muottien ja valupintojen esilämmitys
- suojausten paikoillaanolo.

Toimenpiteet ennen betonointia

Muotit sekä betonin vastaanotto- ja siirtokalusto puhdistetaan ja tarvittaessa sulatetaan lumesta ja jäädästä. Betonointialusta sekä ympäröivät rakenteet sulatetaan ja esilämmitetään ennen betonointia. Myös muotit tulee esilämmittää. Erityisesti teräs- ja muovimuottien sekä betonisten kuorilaattojen lämpötilan tulee olla yli 0 °C.

Vastaanottotarkastukset

Betonimassan laadunvalvonta alkaa työmaalla betonin vastaanottotarkastuksella. Vastaanottaja tarkastaa kuormakirjasta toimituksen tilauksenmukaisuuden, kuten betonin lämpötilan, lujusluokan, toimituksen määrän, lisäainemerkinnät yms.

Kuormakirja on valmisbetonin tuoteseloste, ja se liitetään työmaan laatudokumentteihin. Mahdollisista virheistä ja puutteista tulee ilmoittaa heti betonitehtaalle. Toimituksen kuittaa vastaanotetuksi tilaaja tai tilaajan valtuuttama henkilö.

Vastaanotetun betonin ominaisuuksien säilymistä seurataan massan siirron ja käsittelyn aikana. Betonimassan tulisi pysyä tasalaatuisena aina muottiin asti.



Kuva 27. Jäätä ja lunta voidaan poistaa esimerkiksi höyryn avulla. Kuva: Pistesarjat. Heikki Hämäläinen.

Betonoinnin suoritus

Raudoitukset ja varaukset

Varotaan vaurioittamasta raudoituksia tai varauksia betonoinnin ja tiivistämisen aikana. Betonoinnin aikana seurataan muotin liikkeitä ja muodonmuutoksia.

Raudoituksen valvonnalla ja siihen liittyvillä korjauksilla varmistetaan, että betonoinnin päättyessä raudoitteiden asema ja betonipeitteen paksuus on oikea sekä niiden tartunta on täydellinen. Varmistetaan myös, että työn aikana asennettavat raudoitteet tulevat asennetuiksi.

Varmistetaan varausten, kiinnikkeiden ja asennusosien oikea sijainti sekä tarvittaessa tehdään korjauksia siihen ennen betonointia ja mahdollisesti myös sen jälkeen.

Betonointi

Betonointi pyritään tekemään ilman turhia taukoja. Betonimassan lämpötilaa seurataan koko ajan. Varotaan vaurioittamasta lämmityslankoja tai -kaapeleita sekä muuta lämmitys- tai suojauskalustoa. Suojaus laitetaan valun päälle mahdollisimman pian, mieluiten samaan aikaan valun etene- misen kanssa.

Huomioidaan valunaikaiset sääolosuhteet. Pumppukaluston käyttöraja on -15 °C. Tätä kylmemmässä pumppuauton puomiin voi tulla kylmäästä johtuva haurastumismurtuma.

Suojaus ja lämmitys heti valun jälkeen

Betonipinta suojataan heti valun jälkeen jäähtymiseltä ja nopeilta lämmönvaihteluilta sekä mekaanisilta kuormilta. Lämmityslaitteet kytketään suunnitellulle teholle heti valun päätyttyä.

Koekappaleet

Betonin laadunvalvonta tehdään normaalisti jo valmisbetonitehtaalla. Mikäli työmaalla tehdään koekappaleita, tulee ne tehdä ja säilyttää betoninormien mukaisesti. Mikäli tilaaja haluaa teettää omia tutkimuksiaan työmaalle toimitetuista betoneista, on suositeltavaa tilata koekappaleiden tekeminen valmisbetonin toimittajalta betonitilauksen yhteydessä.

Betonityönjohtaja

Betonityönjohtaja valvoo rakenteiden valmistuksen aikana, että muoteista ja niiden tukirakenteista, raudoitustöistä, betonitöistä, lämmityksestä ja suojauksesta, betonielementtien asennuksista ja saumauksista, jännittämistöistä ja mittatarkkuuksista annettuja ohjeita noudatetaan ja laaditaan asiaankuuluvat muistiinpanot.

Juuri ennen aloitusta tarkastetaan yhdessä betonoinnin toteuttajan kanssa

- sää- ja työskentelyolosuhteiden suunnitelmien mukaisuus
- työkohteen valmius
- että käytettävät telineet, kaiteet, koneet ja kalusto ovat tarkastettuja sekä turvallisia käyttää
- muottien lämpösuojautuminen lämmitystavan vaatimin osin; kylmäsihtakohtien ja reuna-alueiden lisäsuojaus
- betonin lämpötilan seuranta
- käytettävät lämmitysmenetelmät
- muottien puhtaus ja valupintojen lämpötila
- työmaan ja työkohteen siisteys.

Rakenteiden valmistusta valvottaessa tarkistetaan seuraavat seikat:

- muotit ja niiden tukirakenteet
- raudoitus (huom. betonipeitteen paksuus ja rakenteen tehollinen korkeus)
- betonointimenetelmät
- tiivistäminen
- jälkihoito (ei käytetä vettä, jos vaarana on jäätyminen).

Talviolosuhteissa jälkihoitossa

- varmistetaan, että suojaukset pysyvät paikallaan
- lämmitetään rakennetta suunnitelman mukaisesti
- seurataan betonin lämmönkehitystä.

Lämpötilat kirjataan betonointipöytäkirjaan. Lämpöastevuorokausien kehittymistä seurataan ja arvoja verrataan suunniteltuihin arvoihin.

Toimenpiteet muotin purkamisen aikana:

- Varmistetaan rakenteen riittävä lujuus.
- Huolehditaan suojauksesta.
- Varmistetaan tarvittaessa lujuus ainetta rikkomattomalla menetelmällä.
- Puretaan muotit ja huolehditaan jälkituennasta.
- Tehdään jatkuvan laatan kohdalla vaadittavat erikoistoimenpiteet.

Jälkihoito

Jälkihoito suoritetaan talvella riittävän tarkalla suojaamisella. Vettä ei käytetä, jos vaarana on jäätyminen. Jälkihoiton tarkoituksena on kosteuden haihtumisen estäminen ja lujuudenkehityksen turvaaminen. Veden ennenaikainen haihtuminen betonin pinnasta estetään kunnollisilla suojauksilla.

Betoni lujuuskehitys voi vaarantua liian alhaisen lämpötilan vuoksi. Alttiimpia kohtia vaurioille ovat reunakohdat, rakenteiden alaosat ja kohdat, joihin pääsee muodostumaan vetoa. Lämpötilan seurannassa sekä lämmityksessä ja suojauksessa tulee kiinnittää huomiota mainittuihin kohtiin.

Taulukossa 23 on esitetty, kuinka kauan jälkihoitoa tulee eri rasisusluokissa jatkaa.

Muottien purku

Varmistetaan betonin riittävä lujuus ennen muottien ja telien purkua. Betonin lujuus arvioidaan lämpötilamittausten perusteella. Tämä tehdään etenkin kylmäsilta kohdista ja tukialueilta. Epäselvissä tapauksissa lujuus varmistetaan ainetta rikkomattomalla menetelmällä. Betoni ei saa olla jäässä.

Kun lujuudesta on varmistuttu, muotit puretaan ja jälkituetaan suunnitelman mukaisesti. Jatkuvan laatan työsauman sijaitessa seinän kohdalla jätetään seinän viereinen muotti tukineen paikoilleen, kunnes viereinen laattakenttä on betonoitu ja saavuttanut purkulujuuden. Muottien purkamisen yhteydessä rakenne jälkituetaan, koska betonin lujuus ei ole yleensä riittävä kestämään rakennusaikaisia rasituksia. Tuet pidetään paikoillaan, kunnes betonin lujuus on kehittynyt kestämään rakenteen oman painon sekä rakenteelle tulevien kuormien aiheuttamat rasitukset.

Jälkijännitetyissä rakenteissa muottia ei saa purkaa ennen hyväksyttyä jännitystyötä. Jälkijännitetyissä rakenteissa betonin lujuuden tulee yleensä olla 80 % nimellislujuudesta ennen kuin jännitystyö voidaan tehdä. Jälkijännitetyt rakenteet kestävät jännittämisen jälkeen mitoituskuormat, jolloin jälkituenta ei välttämättä tarvita.

Taulukko 23. Jälkihoitoa jatketaan, kunnes rakenne saavuttaa vähintään tietyn osuuden nimellislujuudestaan.

Rasisusluokka	Osuus nimellislujuudesta
X0 ja XC1	60 %
XF2 ja XF4 sekä erityistä kulutuskestävyyttä vaativissa rakenteissa	80 %
Muut luokat	70 %

Jälkihoito muotin purun jälkeen

Huolehditaan, että rakenne ei pääse jäähtymään liian nopeasti ja estetään liian suurten sisäisten lämpötilaerojen muodostuminen. Pinnat lämpöeristetään ja suojataan tai tarvittaessa lämmitetään välittömästi muotin poistamisen jälkeen. Lämpötilaerot betonin kovettumisvaiheessa voivat aiheuttaa rakenteeseen halkeamia (ks. lämpötilamuutokset, luku 7 ”Talvibetonoinnin vauriot”).

Betonipinnan sopiva jälkihoitoaika on rakenteesta ja olosuhteista riippuen yleensä 3...14 vrk.



Kuva 28. Betonin yleisin siirtotapa on pumppu myös talvibetonoinnissa. Valmistaja ilmoittaa pakkasrajan. Kylmissä olosuhteissa pumppu voi rikkoutua.

Betonoinnin tulee täyttää kaikilta osiltaan suunnitelmassa ja asiakirjoissa esitetyt laatuvaatimukset, jotka koskevat

- betonin laatua
- betonointimenetelmää
- valunopeutta
- mittatarkkuutta
- tiivistystä, tasausta
- talviolosuhteisiin varautumista
- muottien kestävyyttä
- raudituksen ja varusten paikallapysyvyyttä
- jälkihoitoa, sääsuojasta.

Valmisbetonin kuormakijassa oleva FI-merkki kertoo valmistajan kuuluvan tuotesertifioinnin piiriin. Kuormakirja on tuoteseloste valmisbetonille.

Työnjälkeinen laadunvarmistus

Betonirakenteet tarkastetaan ennen niiden peittymistä muiden rakennusosien alle. Varmistetaan, että betonirakenne täyttää sille sopimusasiakirjoissa esitetyt vaatimukset pinnan laadun, rakenteen lujuuden ja mittatarkkuuden osalta. Tarkastuksesta laaditaan pöytäkirja.

Mahdolliset virheet ja puutteet suunnitelma-asiakirjoihin, sopimukseen ja hyvään rakennustapaan nähden kirjataan vastaanottotarkastuksessa. Kirjatut puutteet korjataan. Kohteessa pidetään jälkitarkastus, kun puutteet on korjattu.

Luovutus

Katselmusten tulokset, mittauspöytäkirjat, materiaalien toimitusasiakirjat ja muu kirjallinen materiaali kootaan työmaalla ylläpidettäviin laadunvalvonta-asiakirjoihin.

Valmistajan laadunvalvonta

Materiaalien valmistajat voivat virallistaa oman laadunvalvontansa tulokset tiettyjä materiaaleja tai tuotteita koskevilla erillisillä sopimuksilla, kuten tyyppihyväksynnällä ja keskitetyllä tarkastustoiminnalla.

Valmisbetonin laadunvalvonnan varmistus on ympäristöministeriön hyväksymän kolmannen osapuolen tarkastuksen piirissä (FI-merkki). Valmisbetoni ei ole CE-merkinnän piirissä, koska sille ei ole harmonisoitua tuotestandardia.

CE-merkintä tulee pakolliseksi 1.7.2013 kaikille niille rakennustuotteille, jotka saatetaan markkinoille ja joihin sovelletaan eurooppalaisia harmonisoituja tuotestandardeja. Rakennustuotteilla tarkoitetaan rakennuskohteen kiinteäksi osaksi tulevia tuotteita. Betonielementeillä noudatetaan CE-merkintää.

Valmisbetonin valmistuksen laadunvalvontaa koskevat asiakirjat säilytetään vähintään kolme vuotta. Muut laadunvalvonta-asiakirjat säilytetään vähintään kahden vuoden ajan rakennuksen käyttöönnotosta laskien.

6 Elementtien saumaus

Saumattavat elementit tulee aina lämmittää ennen saumavalua. Saamaa ja elementtejä lämmitetään myös betonoinnin jälkeen.

Mikäli käytössä ei ole sääsuojia tai elementtejä ei jostain syystä voida lämmittää, vaihtoehtona on käyttää lankalämmitystä tai pakkasbetonia.

Pakkasbetonia käytettäessä tulee muistaa, että pakkasbetoni ei yleensä ole säänkestävää. Pakkasbetonin lujuudenkehitys on myös hidasta. Käytännössä pakkasbetonin lujuudenkehitys lakkaa -10 °C:n jälkeen.

Elementtien asennussuunnitelma

Päätoteuttajan työnjohdon tehtävänä on huolehtia, että asennussuunnitelma laaditaan ja se löytyy kirjallisena työmaalta. Asennussuunnitelma laaditaan asennustyönjohdon ja rakennesuunnittelijan yhteistyönä. Elementtisuunnittelijalta tarvitaan mm. vaatimukset talvibetonoinnille, lämmitystavalle ja käytettäville materiaaleille.

Talvityön aiheuttamat keskeiset muutokset työhön ja sen suunnitteluun ovat

- sauman pitäminen puhtaana lumesta ja jäädästä tai lumen ja jään poistaminen ennen saumausta
- saumabetonin suojaus ja eristäminen
- saumabetonin lämmittäminen tai pakkasbetonin käyttöön siirtyminen
- saumojen lämpötilojen seuranta ja asennusaikaisen stabiiliteetin varmistaminen huolehtimalla saumojen riittävästä lujuudenkehittämisestä.

Ontelolaattojen saumavalu

Laatasto tai vähintään sen saumat suojataan välittömästi ontelolaattojen asentamisen jälkeen, mikäli lumisateen vaara on olemassa.

Alapuolisen tilan lämmitys aloitetaan vähintään saumausta edeltävänä päivänä. Suositeltavaa on aloittaa lämmitys 2...3 päivää ennen valua. Saumattavat elementit tulee aina lämmitellä ennen saumavalua. Mikäli elementit ovat kylmiä ennen saumausta, laskee saumavalussa käytetyn betonin lämpötila nopeasti ja lujuudenkehitys hidastuu tai jopa pysähtyy.

Saumoista tarkastetaan ennen valua, että niissä ei ole jäätä eikä lunta. Saumaus suoritetaan ripeästi ja sauma suojataan heti valun jälkeen.

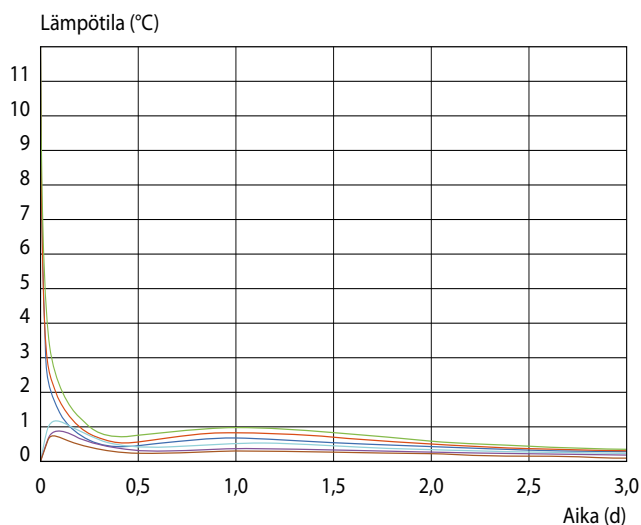
Sauma jäähtyy helposti valun jälkeen. Huolehditaan riittävästä lujuudenkehityksestä lämmityksen ja suojauksen avulla. Saumoissa käytetään tyypillisesti lankalämmitystä. Suojaus ehkäisee myös saumabetonin pinnan liian nopeaa kuivuamista.



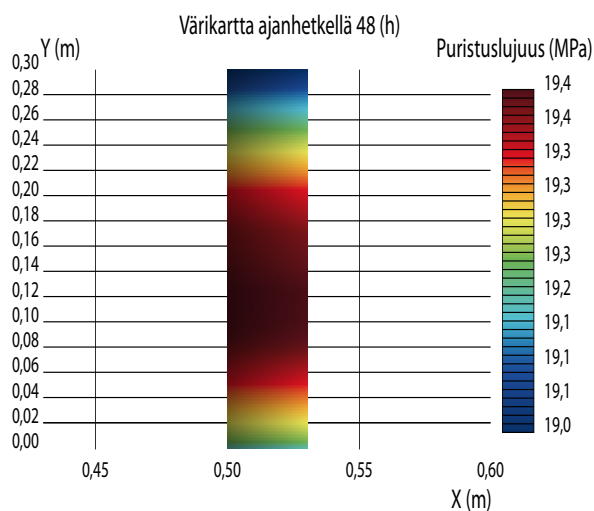
Kuva 29. Huolehditaan suojauksesta heti ontelolaattojen asennuksen jälkeen.

Esimerkki. Ontelolaattojen sauma. Lähde: Betonielementtien talvisaumasohje. 2011.

Ontelosauma on suojattu eristelevyllä. Saumassa ei ole lankalämmitystä. Lämpötila 0 °C, tuuli 3 m/s. Käytetty betoni: Pakkasbetoni C25/30 #8 S4.



Kuva 30. Lämpötila ontelolaattojen välisessä saumassa ajan funktiona. Saumamassan lämpötila putoaa hyvin nopeasti ympäröivän ulkoilman lämpötilaan Lähde: Betonielementtien talvisaumasohje. 2011.



Kuva 31. Ontelolaattojen välisen sauman lujuus 48 tuntia valusta. Y-akseli kuvaa ontelolaatan sauman korkeutta. Piirretty lähteestä: Betonielementtien talvisaumasohje. 2011.

Seinäelementtien saumavalut

Seinäelementin alapuolisen vaakasauman saumausmassa valetaan yleensä ennen elementin asennusta. Sauma voidaan tehdä myös erillisvaiheena tehtävänä jälkisaumauksena. Jälkisaumauksessa saumavaran tulee olla vähintään 20 mm. Ontelolaattojen alapuoliset vaakasaumat valetaan yleensä laattojen saumauksen yhteydessä.

Pystysuuntaiset seinäelementtien saumat valetaan yleensä joko ontelolaattojen saumauksen yhteydessä päältä tai pystysaumabetonointina ilman muotteja.

Talviolosuhteissa elementtiliitosten juotosvalujen onnistumiseksi tulee liitoskohtien olla puhtaat lumesta ja jäädystä sekä riittävän lämpimät. Saumojen puhdistus viimeistellään kaasuliekillä kuivattamalla. Kaasuliekin käyttö ei sovellu saumoihin, joissa on eristeenä esim. polyuretaania tai paisutettua polystyreenia (EPS).

Tarkastetaan saumamassan lämpötila ennen valua. Valu suoritetaan ripeästi. Liitoskohta suojataan eristematolla kovettumisen varmistamiseksi ja juotoksen jäätyminen estämiseksi. Sauman lämmitystä jatketaan välittömästi saumauksen jälkeen. Saumausmassan jäätyminen estämiseksi käytetään yleensä pakkasbetonia. Pakkasbetoni ei kuitenkaan ole säänkestävää.

Betonin lujuudenkehitystä seurataan lämpötilamittauksin tai muilla luotettavilla tavoilla. Betonin tulee saavuttaa jäätymlujuus, 5 MN/m², ennen jäätymistä.



Kuva 32. Huolehditaan, että kylmät pinnat lämmitetään ennen saumausta.

Pilarien ja palkkien juotosvalut

Holkki-liitoksien lämmitys

Pilarien holkki-liitokset lämmitetään helpoimmin tehtaalla holkkielementteihin asennettujen lämmityslankojen avulla. Lämmitys kytketään päälle riittävän ajoissa ennen valua, jotta holkki ehtii lämmitystä. Pilarin alapää lämmitetään joko siihen asennetuilla lämmityslangoilla tai säteilylämmityksellä.

Pilarijatkoksien lämmitys

Pilarijatkoksissa lämmitetään mahdollisuuksien mukaan pilarien ala- ja yläpäät niihin sijoitetuilla lämpölangoilla. Sauma lämmitetään ulkopuolelta lämmitysvastuksilla varustetuilla lämpömuoteilla tai ympäri kiedottavalla lämpömatolla.

Yksikerrospilarin ja palkin liitoksien lämmitys

Lämmitys toteutetaan asentamalla tehtaalla palkkiin lämmityslankasilmukoita, jotka sijoitetaan siten, että ne lämmittävät myös palkkia lävistävät reiät. Vastaavasti pilarin yläpäähän voidaan sijoittaa lämmityslankoja. Liitos suojataan esimerkiksi lämpömuoteilla tai lämpömatoilla.

Juotosvalu

Lämmitys on aloitettava riittävän ajoissa, jotta betonipinnat lämpenevät ja mahdollinen lumi tai jää sulaa pois. Lämpötilan seuranta varten saumoihin asennetaan termoelementtilankoja.

Tarkastetaan saumamassan lämpötila ennen valua. Valu suoritetaan ripeästi. Valun jälkeen liitos suojataan esimerkiksi eristysmatolla. Sauman lämmitystä jatketaan välittömästi saumauksen jälkeen. Seurataan betonin lujuudenkehitystä.

7 Talvibetonoinnin vauriot

Kylmällä säällä tapahtuva betonointi lisää työvirheiden riskiä. Taulukossa 24 on esitetty betonointivaiheittain tavallisia talvibetonointivirheitä, jotka heikentävät rakenteen laatua ja huonontavat sen säilyvyysominaisuuksia. Lisäksi luvussa on käyty läpi betonin halkeilua, betonin jääymistä sekä rakenteiden kaatumista ja sortumista.

Taulukko 24. Tyypillisiä talvibetonointivirheitä.

Laiminlyönti	Seuraus
MUOTIT	
Muotit tuetaan jäätyneen maan varaan. Muotit tehdään talvella ja valu vasta keväällä.	Lämmitettäessä/lämpötilan noustessa muottien perusta on sulanut ja alkanut painua. Rakenteeseen tulee painumia, jotka voivat olla suuria.
Muotteja ei ole puhdistettu lumesta, tai puhdistus ja sulatus on ollut puutteellista.	Pilarin ja seinän alapäässä voi olla suuria koloja ja onkaloita. Seinän tai pilarin alapää voi olla vain raudoituksen varassa.
Muotit puretaan jäisinä.	Betonin pinnan laatu ja tasaisuus kärsivät sementti-liiman irrotessa muotin mukana. Muottimateriaalia ja muottielementtejä särkyä irrotusvaiheessa.
VALU	
Perustan valu tapahtuu jäätyneen maan päälle.	Betonin lämpö sulattaa maan perustan alta. Seurauksena on perustan painumista ja alaosassa tapahtuvia murtumia.
LÄMMITYS	
Paikallinen yllämmitys, jolloin betonin pintaosat "paistuvat".	Pintaosat hilseilevät ja syntyy verkkohalkeilua sekä betonin säilyvyysominaisuudet huononevat. Korkea lämpötila aiheuttaa myös lujuuskatoa.
Lähtöpintoja ei ole lämmitetty riittävästi.	
SUOJAUS	
Lämpösuojaus on huono tai se ei pysy paikallaan.	Eryteisesti pintaosissa lämpötilat ovat alhaiset ja lujuudenkehitys hidasta. Paikoitellen betoni on päässyt jopa jäätymään.
Hidastelu peittämisessä, suojaamisessa ja lämmityksen aloittamisessa.	
BETONIN LÄMPÖTILAN JA LUJUUDENKEHITYKSEN SEURANTA	
Betoni jäätyy ennen jäätymislujuuden saavuttamista.	Lujuus jää aina nimellislujuuksi alemmaksi. Vähäinenkin jäätyminen aiheuttaa vaurioita.
Laitteviat ja alimitoitettu lämmitys, joita ei ole huomattu puutteellisen lämpötilaseurannan takia.	Muotteja purettaessa syntyy paikallisia pintaosien lohkeamia ja putoamisia sekä vaakarakenteiden taipumia.
Massan lämpötila on suunniteltua selvästi alhaisempi.	Betoni ei ole saavuttanut muotinpurkulujuuksi suunnitellussa ajassa.
Lujuuskehityksestä saadaan virheellinen käsitys, mistä syystä muotit puretaan ennen riittävää betonin lujuuden saavuttamista.	Rakenteisiin syntyy suuria muodonmuutoksia, halkeilua ja muita vaurioita.
Lämpötilojen seuranta ei ole jatkuvaa. Lämpötilojen mittauskohdat on valittu väärin.	Rakenteeseen syntyy suuria lämpötilaeroja, jolloin betoni halkeilee.

Betonin halkeilun syitä:

- veden erottuminen, josta on seurauksena betonin tilavuuden muutos
- veden haihtuminen avoimilta pinoilta
- veden siirtyminen aiemmin valettuun rakenteeseen
- lämpötilan muutokset, rakenteen jäähtyminen (rakennetta lämmitetään, rakenne jäähtyy, rakennetta lämmitetään).

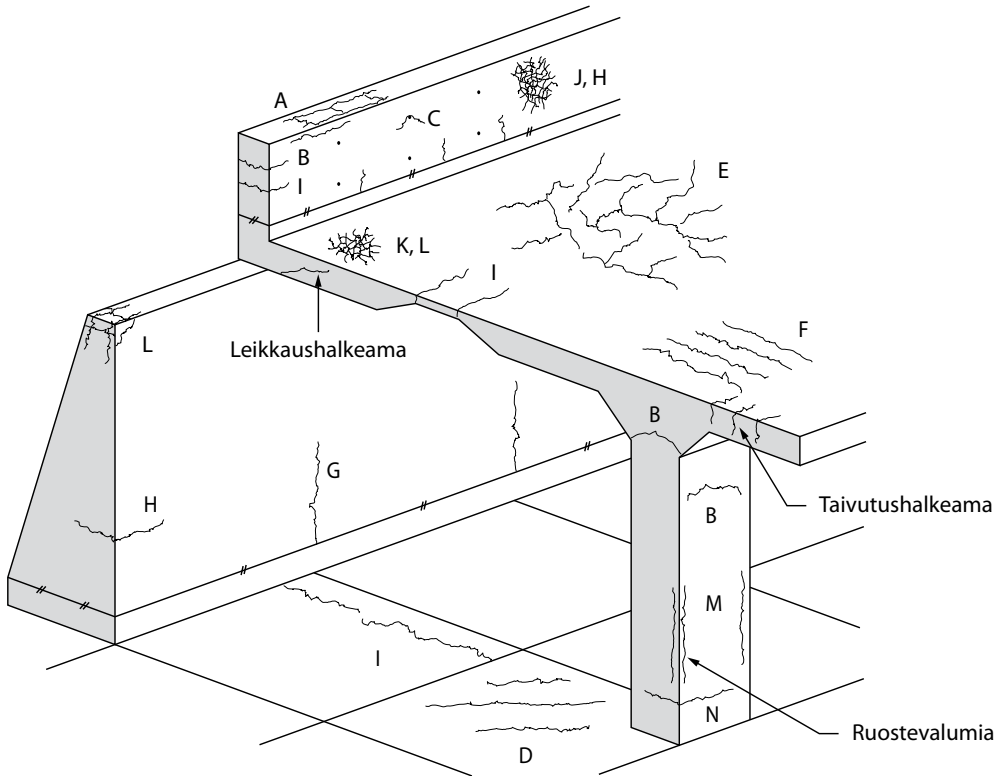
Betonin halkeilu

Talvibetonoinnissa halkeilun riskit ja niistä aiheutuvat haitat ovat suuria. Betonirakenteiden tyypillisiä halkeamia on esitetty kuvassa 33.

Betonin halkeilu tuoreena ja kovettumisen alussa (ensimmäinen vuorokausi)

Betoni ollessa vielä plastisessa vaiheessa vesi voi haihtua tai betonin tilavuus voi muuttua veden erottumisen takia. Vesi alkaa erottua erityisen paljon noin $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$:n tienoilla. Lattioissa veden erottuminen näkyy veden lammikoitumisena.

Kovettumisen alkuvaiheessa tapahtuva halkeilu on verkko- maista ja tiheää. Syynä on voimakas veden haihtuminen. Ensimmäisen vuorokauden aikana myös rakenteiden jäähtyminen voi aiheuttaa halkeilua. Halkeamaleveys on suuri, halkeamat menevät rakenteen läpi ja niitä on satunnaisesti. Ilmiö on yleinen maanvastaisissa lattioissa, kun valun suojaus on puutteellinen.



Kuva 33. Esimerkkejä betonirakenteiden tyypillisistä halkeamista. Halkeamien selitykset taulukossa 25 Lähde: by 201 Betonitekniikan oppikirja 2004.

Halkeilua voidaan vähentää tehokkaalla jälkihoidolla, jolla estetään veden haihtuminen. Veden erottuminen rakenteen avoimiin pintoihin estetään betonin oikealla koostumuksella ja/tai jälkitärytyksellä. Tärytettynäkin betonimassasta erottuu vettä pintaan.

Talvella, kun olosuhteet ovat viileät tai lämpötila on noin +10 °C,

- lattiavaluissa pyritään pitämään vähintään +15 °C:n lämpötila, jos vain mahdollista
- halkeilua tapahtuu erityisesti ohuissa rakenteissa.

Talvella

- suojataan valu heti, jotta haihtumista tai jäätymistä ei pääse tapahtumaan
- huolehditaan, että rakenteeseen ei synny suuria lämpötilaeroja
- suojataan tai lämmitetään rakennetta, kun muotteja puretaan.

Taulukko 25. Kuvassa 33 esitettyjen halkeamien selitykset. Lähde: by 201 Betonitekniiikan oppikirja 2004.

Halkeilun aiheuttaja	Kirjaintunnus kuvassa 33	Pääsyy	Toissijainen syy	Esiintymisaika-kohta
Plastinen painuma	A, B, C	Veden erottuminen	Nopea kuivuminen, liian myöhään aloitettu jälkihoito	0,5...4 h, kun T=20...30 °C, 4...8 h, kun T=7...20 °C
Plastinen kutistuma	D, E	Pinnan nopea kuivuminen	Hidas haihtuvan veden korvautuminen (tiivis massa), liian myöhään aloitettu jälkihoito	0,5...4 h, kun T=20...30 °C, 4...8 h, kun T=7...20 °C
	F	Lisäksi raudoitus yläpinnassa		
Hydrataatio-lämpö tai lämmitys	G	Rakennusosien välinen lämpötilaero	Rakenteen liian nopea jäähtyminen	1...3 d
	H	Rakennusosan sisäinen lämpötilaero		
Kuivumiskutistuminen	I	Iso vesi-sementtisuhde, huono jälkihoito, väärin suunniteltu rakenne (kuivumiskutistumisliikkeet estetty)	Huono tartunta työsaumassa	Viikko...useita kuukausia
Pintahalkeilu	J	Huono muotti	Suuri sementti- ja vesimäärä, huono jälkihoito	Yleensä 1...7 d, joskus myöhemmin
	K	Huono tai liian aikainen pinnan hierto		
Pakkasrapautuminen	L	Vesi, jäätyminen ja sulaminen	Liian vähän suojahuokosia, betoni vedellä kyllästynyt	Ensimmäiset talvet...useita vuosia
Raudoituksen ruostuminen	M	Liian pieni betonipeite	Liian huokoinen betoni	Useita vuosia
	N	Kloridit		

Plastisella kutistumalla tarkoitetaan sitä betonimassan kutistumista vaakatasossa, jonka veden haihtuminen betonipinnasta aiheuttaa muutaman tunnin sisällä valustaavoimilta pinnoilta.

Plastinen painuma

Plastinen painuma voi syntyä, kun kiviaines ja sementti eivät pääse vajoamaan alaspäin esimerkiksi raudoituksen kohdalla (kuva 34). Kohdalle voi syntyä plastisesta painumasta halkeama. Kylmissä olosuhteissa sementin sitoutumisaika on pidempi, mikä lisää veden erottumista ja plastista painumaa.

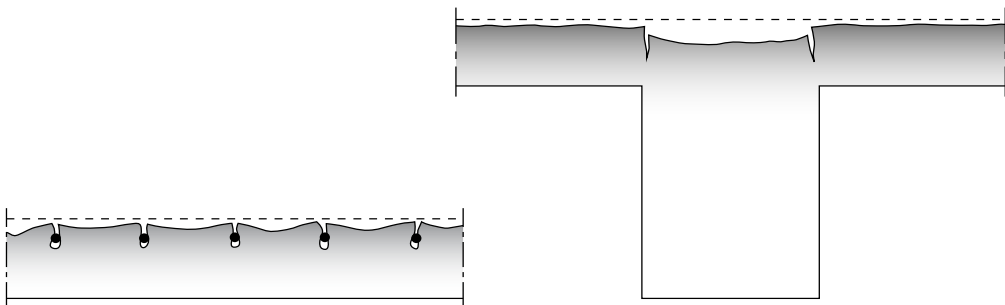
Plastinen kutistuma

Plastisen kutistuman syynä on betonipinnan liian nopea kuivuminen ennen massan sitoutumista. Veden haihtuminen betonin pinnasta imee betonimassan pieniä hiukkasia lähemmäksi toisiaan. Kun runkoainerakeet ja hiukkaset eivät pääse liikkumaan, syntyy pintaan vetojäännityksiä, joiden takia voi syntyä plastisen kutistuman aiheuttamia halkeamia.

Betonin halkeilu kovettumisen aikana ja myöhemmin (valusta yli yksi vrk)

Kovettuneeseen betoniin halkeamia voivat aiheuttaa veden haihtuminen rakenteesta, ympäristön suuret lämpötilamuutokset, lämpötilaerot rakenteen poikkileikkauksessa tai epätasainen kuormitus. Suuria lämpötilan muutoksia voi syntyä talvella, kun rakennetta lämmitetään, mutta lämmitys ei ole jatkuvaa ja rakenne pääsee välillä jäähtymään.

Kuivumiskutistumisesta ja lämpötilanmuutoksista syntyvät halkeamat ovat pitkiä ja sijaitsevat satunnaisesti rakenteessa. Halkeamien välimatka voi olla metrin tai enemmän. Halkeilu menee rakenteen läpi.



Kuva 34. Plastinen painuma ja sen aiheuttamia halkeamia laatan raudoituksen kohdilla sekä laatan ja palkin liittymäkohdassa. Lähde: by 201 Betonitekniiikan oppikirja 2004.

Kuivumiskutistuminen

Kutistuminen on 0,4...0,8 promillea. Kymmenen metrin matkalla kutistuma on siis 4...8 mm. Jos rakenteen muodonmuutos on estetty, esiintyy metrin matkalla neljä kappaletta noin 0,1...0,2 mm:n levyistä halkeamaa. Käytännössä betonin viruma pienentää halkeamaleveyttä ja vähentää halkeamien määrää.

Kuivumiskutistumista pystytään ehkäisemään sopivalla betonin koostumuksella, veden haihtumisen estämisellä ja rakenteen suunnittelulla kutistumista kestäväksi. Betonin koostumus valitaan siten, että sen vesimäärä on mahdollisimman pieni. Tärkein vaikuttava tekijä on runkoaineen maksimiraekoko, jonka tulee olla mahdollisimman suuri. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat sementtityyppi ja sementin määrä.

Veden haihtuminen rakenteesta estetään jälkihoidon avulla, jota jatketaan, kunnes betonin vetolujuus on kehittynyt tarpeeksi. Rakenne voidaan myös suunnitella siten, että se ottaa vastaan kutistumisesta aiheutuvia rasituksia ja jakaa halkeilua tasaisesti.

Lämpötilamuutokset

Lämpötilaerot betonin kovettumisvaiheessa voivat aiheuttaa rakenteeseen halkeamia. Halkeamat syntyvät, kun betoni jäähtymisen seurauksena kutistuu ja betonin vetolujuus ja muodonmuutoskyky ylittyvät. Tämä tapahtuu mm. kun muodonmuutokset estää toinen rakenneosa tai saman rakenneosan sisempi osa, jonka lämpötila ei laske yhtä nopeasti kuin pintaosan lämpötila. Talvivalussa rakenneosan pintalämpötila voi myös laskea liian nopeasti muottien liian aikaisen purkamisen tai lämpökäsittelyn jälkeen.

Rakenteen jäähtyminen aiheuttaa samantyyppistä halkeilua kuin kuivumiskutistuminen. Halkeilua voi syntyä myös heti kovettumisen alkuvaiheessa.

Kuormitukset

Rakenteeseen tulevat kuormitukset voivat aiheuttaa rakenteeseen halkeamia. Halkeamien määrää ja kokoa pystytään kuitenkin rajoittamaan suunnittelulla siten, että halkeilusta ei ole haittaa rakenteen toimivuudelle.

Kuivumiskutistumista tapahtuu, kun vesi haihtuu tai siirtyy kapillaarisesti kosteuseron takia aiemmin valettuun rakenteeseen.

Betonin jäätyminen

Betonin jäätyminen ennen jäätymislujouden saavuttamista aiheuttaa lujuskatoa (kuva 35). Lujuskadon suuruus riippuu betonin koostumuksesta sekä jäätymisajankohdasta ja -nopeudesta. Jäätyneen betonin loppulujuus tulee aina selvittää rakennekoekappaleilla.

Tuoreen betonin suojaaminen jäätymiseltä ja kovettumisen alkamisen varmistaminen ovat ensiarvoisen tärkeitä koko betonirakenteen toimivuuden kannalta. Betonia, joka on vaarassa jäätyä, ei milloinkaan saa jälkihoitaa vesikastelulla.

Jos jäätyminen tapahtuu ennen sementin sitoutumista, muodostuu betoniin jäälinsejä. Ne johtavat kasvaneeseen betonin huokoisuuteen, huonoon sementtikiven ja runkorakenteiden sekä betonin ja raudoituksen väliseen tartuntaan sekä betonin halkeiluun.

Jos betoni jäätyy sementin sitouduttua, syntyy betoniin halkeilua. Halkeilun määrä on sitä vähäisempi, mitä pitemmälle kovettuminen on ehtinyt edetä ennen jäätymistä.

Kun betoni on saavuttanut jäätymislujouden (5 MPa), jäätymisestä aiheutuva betonin vaurioitumisriski on pieni. Betoniin ei saa kuitenkaan päästä samanaikaisesti sen huokosia täyttävää kosteutta.

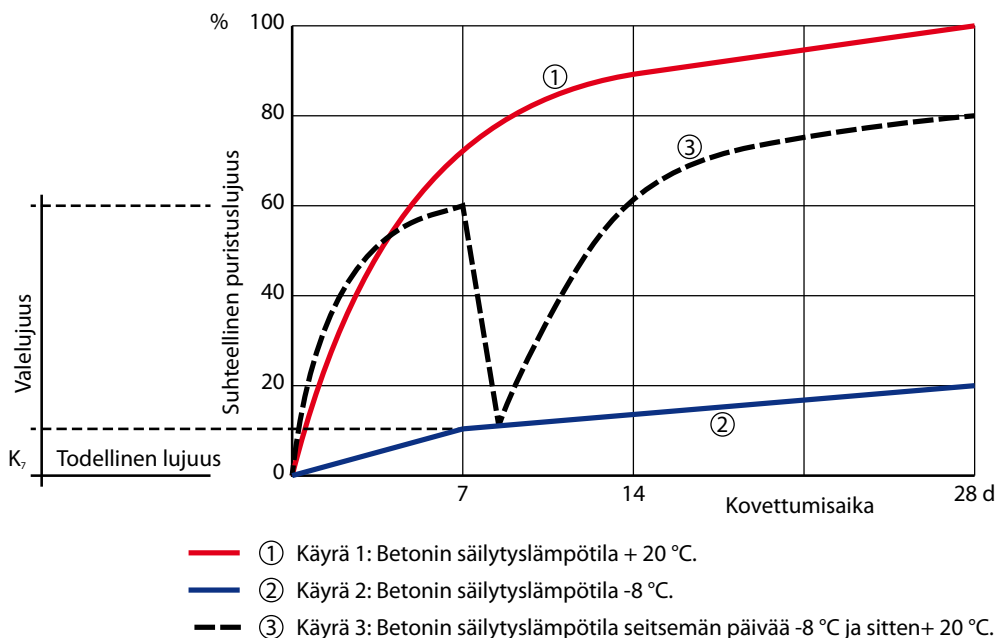
Käytännössä betonin jäätyminen laajoilta alueilta on erittäin harvinaista. Jäätymistä esiintyy yleensä reuna-alueilla ja pintaosissa. Jäätymisriski on suurin

- mitoiltaan pienissä valuisissa kuten saumoissa ja maata vasten valettavissa anturoissa
- kylmää pintaa vasten valettaessa.

Betonin lämpötilaa seuraamalla saadaan tietoa siitä, millaisessa lämpötilassa kovettuminen on tapahtunut ja mikä betonin lujuus kulloinkin on.

Kuvassa 35 on esitetty ohjeellinen kuvaus jäätyamisen vaikutuksesta betonin lujuudenkehitykseen. Kuvan 35 käyristä voidaan päätellä seuraavia asioita:

- Koko ajan pakkasessa (-8 °C) oleva betoni (käyrä 2) saavuttaa lujuuden 4 MPa. Betoni ei saavuta siis edes jäätymslujuutta.
- Kun betoni jäätyy, siihen syntyy valelujuutta, joka katoaa jään sulaessa. Valelujuus saattaa olla 10...20 MN/m². Lujuuskehitys näyttää alkuvaiheessa normaalilta.
- Mikäli betoni päästetään jäätymään ja tämän jälkeen sitä lähdetään lämmittämään, on betoni vaurioitunut pysyvästi. Kato loppulujuudesta on kokeen mukaan noin 20 %.



Kuva 35. Ohjeellinen kuvaus jäätyamisen vaikutuksesta betonin lujuudenkehitykseen. Tutkimuksessa käytetty betonia K20. Käyrän 2 betonin lämpötila on koko ajan -8 °C. Pakkasessa olevalle betonille ei kehity lujuutta juuri ollenkaan. Käyrän 3 betoni on ensin pidetty seitsemän päivää pakkasessa ja sulatettu sitten kokeen ajaksi. Käyrässä 3 on alussa veden jäätyamisen antamaa valelujuutta, joka häviää, kun jää sulaa. Lähde: by 201 Betonitekniikan oppikirja 2004.

Rakenteiden kaatuminen tai sortuminen

Pystyrakenteiden kaatuminen tai vaakarakenteiden sortuminen on erittäin harvinaista. Tällöin betoni on jäänyt varhaisessa vaiheessa rakenteen kantavuuden kannalta tärkeältä alueelta tai betonin lujuus on ollut tällä alueella lähes olematon.

Pystyrakenteiden muottienpurku

Pystyrakenteen betonin lujuuden on oltava vähintään 5 MPa muotinpurkuhetkellä. Riski rakenteen kaatumiselle on suuri, jos betonin lujuus pystyrakenteen (seinä, pilari) alaosassa on pienempi kuin 3 MPa. Riittämätön lujuus ilmenee muottia purettaessa betonipinnan, kulmien ja esimerkiksi sähkörasioiden irtoamisena.

Betonin lämpötilaa on seurattava ja lujuus laskettava rakenteen alaosasta. Kantavan rakenteen lujuudenkehityksen jatkuminen muotinpurkamisen jälkeen on varmistettava lämmityksellä.

Vaakarakenteiden muottienpurku

Tavallisen asuinrakennuksen laattarakenteen muotinpurkulujuus on tyypillisesti 15...21 MPa, ellei esimerkiksi muottijärjestelmän jälkituenta mahdollista pienempien lujuuksien hyväksymistä. Riittämätön lujuus aiheuttaa taipumia, jotka aiheuttavat halkeilua ja betonirakenteen säilyvyyden heikkenemistä.

Elementtisaumauksen riskit

Saumavalussa betonin lämpö siirtyy nopeasti massiivisiin kylmiin elementteihin ja sauma jäähtyy nopeasti sitä ympäröivään lämpötilaan. Saumojen ympäröivät rakenteet tulee lämmittää ja suojata.

Pakkasbetonia käytettäessä huomioidaan sen hidas lujuudenkehitys. Parhaimmillaan pakkasbetoni on lämpötiloissa +5...-5 °C. Pakkasbetonista tulee muistaa, että sen työstätävyyss aika on lyhyempi kuin tavallisella betonilla. Tyypillisiä elementtisaumauksen riskejä on esitetty taulukossa 26.

Taulukko 26. Elementtisaumaukset tyypillisimmät riskit.

Laiminlyönti	Suositteluvia tapoja
Suojaus ei ole onnistunut ja saumoissa on lunta.	Saumat puhdistetaan lumesta ja jäädästä. Ensimmäiseksi lumen poistamiseen käytetään paineilmaa, minkä jälkeen saumojen sulattamiseen ja kuivattamiseen käytetään kaasuliekkiä. Kaasuliekkiä ei voida käyttää saumoissa, joissa on muovisia sähköputkia, muovisia ontelolaatan suojatulppia tai lämmössä sulavia eristemateriaaleja.
Saumojen sulattamiseen käytetään höyryä.	Höyrytyksen ongelma on työn aikana muodostuva vesi, joka voi jäättyä saumaan ennen betonivalua ja estää saumabetonin kunnollisen tartunnan.
Valu tehdään vasten kylmiä elementtejä.	Saumojen ympäröivät rakenteet tulee lämmittää. Suojataan holvi lämpöeristeillä ja käytetään tilalämmitystä. Alapuolisen tilan lämmitys tulee aloittaa vähintään edellisenä päivänä, jolloin laatasto ehtii lämmittää ja lumi tai jää ehtii sulaa.
Ei huomioida pakkasbetonin hidasta lujuudenkehitystä.	Seinäelementtien alavaakasaumojen minimilujuus ennen seuraavan kerroksen asennusta on vähintään 5 MPa. Nopeassa asennuksessa pakkasbetonin lujuudenkehitys ei ehdi mukaan. Ympäröivät rakenteet tulee lämmittää ennen valua. Betonin lujuudenkehitys tulee varmistaa.

8 Talvibetonointi- suunnitelma

Tässä luvussa oleva talvibetonointisuunnitelmapohja on tarkoitettu työnjohtajan apuvälineeksi valmistauduttaessa betonointiin kylmän sään aikana. Pohja ei sisällä tarkkoja menetelmäkuvauksia. Elementtien saumavaluja on käsitelty sivulla 84.

Taulukossa 27 kerrotaan, mitä asioita talvibetonointisuunnitelmassa on hyvä käydä läpi. Taulukkoa voi käyttää muistilistana talvibetonoinnissa huomioon otettavista asioista.

Talvibetonointisuunnitelmassa oleellisinta on, että työ on hyvin suunniteltu alusta loppuun ja se on selvä sekä tekijöille että valvojille.

Taulukko 27. Talvibetonointisuunnitelmassa huomioitavia asioita.

Lähtötiedot	Selvitetään kohteen koko, rakenteiden vahvuudet, rakenteelle ja betonille asetetut vaatimukset, käytössä oleva muottikalusto, työsaumat sekä tehtäväkokonaisuudesta vastaavat henkilöt yhteystietoineen. Tarkistetaan betonointipäivän sääennuste ja varmistetaan, että valu pystytään suorittamaan kyseisenä päivänä. Suunnitellaan sääennusteiden perusteella suojaus ja lämmitys ennen valua, valun aikana ja valun jälkeen. Mietitään, mihin aikatauluun ja toteutustapaan pyritään. Arvioidaan liittyvien rakenteiden aiheuttamat kylmäsiilat. Valittava betonilaatu sekä toteutustapa vaikuttavat tavoitteisiin.
Muotit	Mietitään valukokonaisuuden kannalta sopivat muotit. Kylmällä säällä kannattaa valita muottijärjestelmä tai -materiaali, joka on eristävä tai jota voidaan lämmittää sähköisesti. Muuten muottia voidaan joutua lisäeristämään tai lämmittämään. Varmistetaan, että muottien tuenta on riittävä ja painumaton. Suojataan muotit ja rauditus lumisateen varalta. Ennen valua muotit, rauditus ja valualusta puhdistetaan lumesta, jäästä ja roskista. Valettavaa aluetta vasten olevat kylmät rakenteet sulatetaan lumesta ja jäästä sekä lämmitetään. Muotit esilämmitetään.
Suojaus	Vertaillaan suojausvaihtoehtoja ja niiden soveltuvuutta työkohteeseen. Betonipinnat suojataan jäätymistä vastaan niin, että betonin lujuudenkehitys on mahdollista. Betonin tulee saavuttaa jäätymlujuus (5 MPa) ennen kuin sen lämpötila laskee alle 0 °C:n. Suojausta kannattaa jatkaa valun jälkeen, mikäli halutaan saavuttaa nopeasti muotipurkulujuus/jälkijännituslujuus. Kiinnitetään huomiota suojausten kiinnityksiin ja paikallaan pysymiseen.
Lämmitys	Vertaillaan lämmitysvaihtoehtoja ja niiden soveltuvuutta työkohteeseen. Varmistetaan lämmityskaluston yhteensopivuus muottikaluston kanssa. Varaudutaan sääolosuhteiden muutoksiin ja kaluston rikkoutumiseen. Suunnitellaan lämpötilan seurannan kalusto ja antureiden sijainnit. Ennen betonointia varmistetaan, että työmaalla on suunniteltu määrä lämmittimiä ja suojauskalustoa sekä testataan kaluston toimivuus. Huolehditaan rakenteessa mahdollisesti olevien kylmäsiiltojen lämmityksestä. Huolehditaan, että lämpötila-anturit on asennettu niille suunniteltuihin paikkoihin.
Betonilaadun valinta	Käydään betonitoimittajan kanssa läpi kohteeseen sopivat betonivaihtoehdot. Vertaillaan vaihtoehtoja aikataulun ja kustannusten puitteissa. Betonilaadun valinnassa tulee ottaa huomioon kohteesta kirjatut rakenneominaisuudet, tavoitteet toteutukselle, olosuhteet, betonin lujuudenkehitys, suojaus ja lämmitys. Tarkastellaan eri vaihtoehtoja eri olosuhdelämpötiloilla ja betonilaaduilla.
Betonointi	Tuoreella betonilla tulee olla mahdollisimman hyvät kovettumisolosuhteet. Ennen valua kannattaa vielä miettiä, voiko olosuhteisiin vaikuttaa positiivisesti. Suoriteaan betonointi niin ripeästi kuin mahdollista. Suojaus aloitetaan valun yhteydessä. Varmistetaan suojien paikallapysyvyys ja lämmityskaluston toiminta. Jokaisesta valusta tehdään oma betonointipöytäkirja ja sen yhteyteen liitetään betonin kuormakirjat.
Lämpötilaseuranta	Mitataan tasaisin väliajoin rakenteiden lämpötilat. Varmistetaan, että lujuudenkehitys on suunnitellun mukainen. Suojausta ja lämmitystä jatketaan muotipurun jälkeen.

Kohdetiedot

Työkohde _____ pvm _____
Rakennusosa _____
Talvibetonointisuunnitelman tekijä _____

Yhteystiedot

Pääurakoitsija _____ Vastaava mestari _____
Suunnittelija _____ Betonimestari _____
Betonin toimittaja _____

Kokoukset

Talvibetonointisuunnittelukokous _____ pvm _____
Paikka _____
Paikalle _____
Aloituspalaveri _____ pvm _____
Paikka _____
Paikalle _____

Liitteet

	KYLLÄ	EI
Rakennekuvat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lujuuskäyrät	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muita liitteitä	_____	

Tavoitteet

Muotit

Muottienpurkulujuus _____ MPa Muottikiertotavoite _____ vrk

Lujuudet

Jäätymislujuus (> 5 MPa) saavutettava _____ vrk Lämpötila pidettävä _____ °C
Nimellislujuus saavutettava _____ vrk Nimellislujuus _____ MPa

Mitattavat lujuudet

Varhaislujuudet

1 vrk _____ MPa 2 vrk _____ MPa
7 vrk _____ MPa 14 vrk _____ MPa
Lujuus 28 vrk _____ MPa

Betonoitava rakenne

Valettava rakenne

Pituus _____ mm Leveys _____ mm Korkeus _____ mm
Rakennokuva on liitteenä: _____

Liittyvät rakenteet _____

Muotit

Muottimateriaalien valinta	KYLLÄ	EI
Muottijärjestelmä on eristävä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muottijärjestelmää voidaan lämmittää sähköllä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muottia täytyy lisäeristää	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kohteessa käytetään lisälämmittämiä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Valittu muottijärjestelmä		
Muotti 1 _____	Muotti 2 _____	
Muotti 3 _____	Muotti 4 _____	

Muustilista	KYLLÄ	EI
Muottien tarkastuksista ja toimivuudesta on vastuussa		
Muotit on tuettu siten, etteivät maaperän sulaminen ja kuormitus aiheuta painumista	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tarvitaanko lisätuentaa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tarvitaanko varatukia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muotit, raudoitus ja valualusta on puhdistettu lumesta, jäästä ja roskista	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Valun olosuhteet

Arvioidut valuolosuhteet	
Ulkolämpötila _____ °C	Tuuli, maksimi _____ m/s
Muut olosuhteet: sateisuus yms. _____	

Muuttuva lämpötila yön ja päivän välillä	
Päivä, maksimi _____ °C	Päivä, minimi _____ °C
Keskiarvolämpötila _____ °C	

Tarkistetut lämpötilat	
Ulkolämpötila _____ °C	Tuuli, maksimi _____ m/s
Päivä, maksimi _____ °C	Päivä, minimi _____ °C
Keskiarvolämpötila _____ °C	
Vastuu mittalaitteista ja mittauksista	
Muut olosuhdevaikutukset _____	

Suojaus

Valupinnan päälle levitettävä eristematto	
Tyyppi _____	
Vahvuus _____ mm	
Suojaus aloitetaan _____	Suojaus lopetetaan _____

Muottien sivujen suojaus	
Tyyppi _____	
Vahvuus _____ mm	
Suojaus aloitetaan _____	Suojaus lopetetaan _____

Liittyvien rakenteiden suojaus

Tyyppi _____

Vahvuus _____ mm

Suojaus aloitetaan _____

Suojaus lopetetaan _____

Muu suojaustoimenpide _____

Vastuu suojauksesta

Lämmitys

	KYLLÄ	EI
Rakenteen tarvittava lämmitysteho on laskettu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rakenteen tarvitsema lämmitysteho on	_____	_____
Rakenteessa käytetään lankalämmitystä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Teho/tiheys	_____	_____
Rakenteessa käytetään säteilylämmitystä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Teho/sijoitus	_____	_____
Rakenteessa käytetään sähkölämmitteisiä suur- ja pöytämuotteja	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Teho/sijoitus	_____	_____
Muu lämmitysmenetelmä	_____	_____
Vastuu lämmityksestä	_____	_____

Betonilaadun valinta

Valittava betonilaatu

Valittu betonilaatu _____

Rakenteen käyttöikä _____ vuotta

Rasitusluokat _____

Lujuuden arviointi

Muotinpurkulujuus

60 % _____ vrk

Muotinpurkulujuus _____ % _____ vrk

Punosten jännitys-

lujuus 80 % _____ vrk

Punosten

jännituslujuus _____ % _____ vrk

Lujuustiedot tarkistetaan suunnitelman aiemmasta kohdasta!

Lämpötilatiedot

Lämpötilatietojen ennusteet

Maksimilämpötila valun

jälkeen _____ °C

Minimilämpötila _____ °C

Rakenteen lämmönkehityksen seuranta

Loggerilla _____

Lämpömittarilla _____

Elementtien saumat

Talvibetonointisuunnitelman tekijä

Nimi _____ Päiväys _____

Liitteet

KYLLÄ

EI

Lämpötilakäyrät

Lujuuskäyrät

Tavoitteet

Nopea lujuudenkehitys

Betonimassan lämpötila valettuna > +10 °C

Hidas lujuudenkehitys

Betonimassan lämpötila valettuna +0...10 °C

Hyvin hidas lujuudenkehitys

Betonimassan lämpötila saattaa laskea < 0 °C

Muotinpurkulujuus/jälkihoitoaika 60 %
nimellisuudesta saavutettava

_____ vrk

Arvioidut valuolosuhteet

Ulkolämpötila _____ °C

Tuuli, maksimi _____ m/s

Muut olosuhteet: sateisuus yms.

Muuttuva lämpötila yön ja päivän välillä

Päivä, maksimi _____ °C

Päivä, minimi _____ °C

Keskiarvolämpötila _____ °C

Rakenne

Ontelosauman leveys _____ mm

Ontelosauman paksuus _____ mm

Ontelosten alapuolisen tilan lämpötila _____ °C

Ontelolaattojen lämpötila _____ °C

Suojaus

KYLLÄ

EI

Saumat suojataan eristelevyllä valun jälkeen

Suojauksesta vastaa _____

Lämmitys

Lämmitystapa, jolla saumaa lämmitetään
alapuolelta

Lämmitystä ylläpidetään/jatketaan

_____ vrk

Vastuu lämmityksestä _____

Betonilaatu

KYLLÄ

EI

Saumabetoni

Rapidsaumabetoni

Pakkasbetoni

Kuumabetoni

Rakenteen lämmönkehityksen seuranta

Loggerilla _____

Lämpömittarilla _____

Rakenteen lujuudenkehityksen seurannan toteutus

Kypsyyskäyrät _____

Ohjelmistolla _____

Mittauksesta vastaa _____

Hakemisto

B

betonin valinta	19–22
betonityönjohtaja	12–13, 59
betonityöohje	52–53
betonointi	59
betonointipöytäkirja	53
betonointisuunnitelma	51

C

CE-merkintä	62
-------------	----

E

elementtien asennussuunnitelma	63
elementtien saumaus	63–67, 84
elementtisaumauksen riskit	77
eurokoodi	6–8

F

FI-merkki	62
-----------	----

H

halkeilu	70–73
huokostin	23

I

infrapunasäteilylämmitys	44
itsetiivistävä betoni	22

J

jäätyminen	74–76
jäätymislujuus	17
jälkihoito	60, 61

K

kalusto	55
kiihdyttimet	23
koekappaleet	59
kuivumiskutistuminen	73–74
kuljetus	57
kuormakirja	58
kuormitukset	73
kuumabetoni	20–21
kuumailmalämmitys	43

L

laadunvalvonta	54, 58, 62
laadunvarmistus	54
betonointityö	54, 59–62
betonointityötä edeltävä	58
työnjälkeinen	62
lämmitys, betonin. <i>Ks.</i> betonin lämmitys	
lämmitysmenetelmän valinta	42
lämpösuojaus	40
lämpötila	
betonin lämpötilan seuranta	25–27
ulkolämpötila	29–30
vaikutus lujuudenkehitykseen	15–16
lämpötilamuutokset	73
lankalämmitys	45–48
lämmityskaapelit	46
muuntajakäyttöinen	47–48
lentotuhka	23
lisäaineet	23
lujuudenkehitys	14–27
hallinta	25–27
lisä- ja seosaineiden vaikutus	23
nopeuttaminen	24
lujuuden tarkasteluhetket	17–18
lujuusluokan nosto	24
lujuusluokat	6
lumiolot	31–32
luovutus	62

M

muotinpurkulujuus	18–19
muottien purku	76
muottilämmitys	49
muottityö	56, 58, 60

N

nimellislujuus	18
nopeasti kovettuva betoni	20
normaalisti kovettuva rakennebetoni	20
notkistimet	23

O

ontelolaattojen saumat	84
ontelolaattojen saumavalu	64–65

P

pakkasbetoni	22
pakkasenkestävä betoni	22
pakkasen purevuus	33
palkkien juotosvalut	67
pätevyudet	11–13
betonirakentamisen työnjohto	12
betonityönjohtaja	12–13
suunnittelija	11–12
pilarien juotosvalut	67
plastinen kutistuma	72
plastinen painuma	72

R

rakenneluokka	7, 11
rakenteiden kaatuminen	76
rasitusluokka	9–10
raudoitus	59

S

sääolot	28–33
sääsuojat	37–38
sadeolot	31–32
saumaus	63–67
ontelolaatat	64–65
palkit	67
pilarit	67
seinäelementit	66
talven aiheuttama muutokset	63
seinäelementtien saumavalu	66–67
seosaineet	23
seuraamusluokka	7, 8
siirrot	57
silika	23
sortuminen	76
suojapeitteet	39
suojauskaluston valinta	41
suojaustavat	36–41
Suomen ilmasto	28–33
Suomen rakentamis-	
määräyskokoelma	6–7, 50, 54
suunnittelu	6–10

T

talvibetonointisuunnitelma	51, 79
pohja	80–83
talviolosuhteet	28–33
toteutusluokka	8
tuuli	33
työturvallisuus	35

V

valaistus	34
valmisbetonin laadunvalvonta	62
varaukset	59
vastaanottotarkastus	58
vauriot	68–77

Y

yleissuunnitteluvaihe	28
-----------------------	----

Kirjallisuus

B4 Betonirakenteet, ohjeet 2005. Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2005.

by 50 Betoninormit 2012. Suomen Betoniyhdistys r.y. Lahti 2012. 251 s.

by 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. Seitsemäs painos. Suomen Betoniyhdistys r.y. Vantaa 2012. 570 s.

Ratu KI-6016 Rakennustöiden laatu RTL 2009. 9. uudistettu painos. Rakennustieto Oy. Tampere 2008. 319 s.

Ratu C8-0377 Talvityöt ja -kustannukset. Rakennustieto Oy. 2010. 14 s.

Ratu S-1232 Rakennustyömaan sääsuojaus. 2013. Rakennustieto Oy. 14 s.

Ratu 06-3023 Muottikaluston valinta ja käyttö, suunnitteluohje. Rakennustieto Oy. 1992. 14 s.

Ratu 07-3022 Suojauskalusto. Sääsuojat, suojapeitteet, julkisivusuojat. Rakennustieto Oy. 1992. 4 s.

Ratu 07-3031 Lankalämmityksen suunnitteluohje. 1995. 11 s.

RIL 149-1995 Betonityöohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. Helsinki 2002. 330 s.

Vuorinen, P. Talvibetonointi. Kestävä kivitalo -projekti. Suomen Betonitieto Oy. Lahti 1999. 27 s.

Vuorinen, P. Betonointi kylmissä olosuhteissa. Rakentajan kalenteri 2012. Rakennustuoteteollisuus RTT ry. s. 134-142.

Internet-julkaisut

Betonelementtien talvisaumaohje. Betoniteollisuus ry. 2001. [verkkojulkaisu] <<http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23673/Betonelementtien%20talvisaumaohje%202011.pdf>> [haettu 12.3.2013]

Hämäläinen, J. Pistesarjat Oy & Manninen, P. Rudus Oy. Betonin lämmittäminen talvivaluissa. [verkkojulkaisu] <<http://www.rudus.fi/Download/26982/Betonin%20l%C3%A4mmitt%C3%A4minen%20talvivaluissa.pdf>> [haettu 12.3.2013]

PST-BET-betoninkovetuskaapelin asennusohje. Pistesarjat Oy. [verkkojulkaisu] <<http://www.sahkonumerot.fi/8111523/doc/installationinstruction/>> [haettu 12.3.2013]

Rakentamismääräyskokoelman B-sarjan sisältö. Powerpointesitys. Tauno Hietanen. Rakennusteollisuus RT ry. 2010. [verkkojulkaisu] <<http://www.eurocodes.fi/Koulutus%20ja%20tapahtumat/2010%20seminaari/2%20Hietanen.pdf>> [haettu 12.3.2013]

Rakentamismääräykset ja eurokoodisuunnittelu. [verkkojulkaisu] <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=136425&lan=sv>> [haettu 12.3.2013]

Rudus Oy. Aineistot. [verkkojulkaisu] <<http://www.rudus.fi/aineistot/ohjeet>> [haettu 12.3.2013]

Työmaan aloituskokouksen valmisbetonin toimitussuunnitelma. Rakennustuoteteollisuus RTT ry, Valmisbetonijaos. [verkkojulkaisu] <<http://www.rudus.fi/Download/24288/Betonityomaahje.pdf>> [haettu 12.3.2013]

Vuorinen, P., Rydenfelt, V-P. & Kronlöf, A. Olosuhteiden vaikutus betonilattiatöiden onnistumiseen. <http://www.betoni.com/Download/21837/BL_2003_1_s48_51_a.pdf> [haettu 12.3.2013]

Ympäristöministeriön asetus Eurocode-standardien soveltamisesta talonrakentamisessa. 2007. [verkkojulkaisu] <http://www.finlex.fi/data/normit/34858-Eurocode_kansalliset_liitteet_36-41.pdf> [haettu 12.3.2013]