

Saku Kumpula

Elementtien saumabetonointi ja jälkityöt

Opinnäytetyö

Kevät 2020

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Tuotantotekniikka

Tekijä: Saku Kumpula

Työn nimi: Elementtien saumabetonointi ja jälkityöt

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2020 Sivumäärä: 53 Liitteiden lukumäärä:1

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia jälkitöitä ja saumavaluja, sekä tuottaa saumabetonin laskentaan Excel-laskentaohjelma. Laskentaohjelmalla on mahdollista laskea ontelo- ja massiivilaatastion saumabetonin määrää. Laskentaohjelma jää yrityksen käyttöön, eikä sitä julkaista. Työn lopputulosta hyödynnetään seuraavissa vastaavanlaisissa monikerros rakentamisen projekteissa. Kohteena työssä oli Ruukki Building Systems Oy:n Platinan työmaa Göteborgissa Ruotsissa. Kohteeseen asennettiin noin 1200 betonipilaria, 1000 m² betonielementtiseinää, joten jälkitöihin kului aikaa paljon. Saumattavaa laatastoa oli noin 60 000 m².

Avainsanat: laatasto, betonointi, jälkityö, lujuudenkehitys, betoni

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Production Engineering

Author: Saku Kumpula

Title of thesis: Joint casts of concrete elements and supplementary works

Supervisor: Jorma Tuomisto

Year: 2020 Number of pages:53 Number of appendices:1

The purpose of the thesis was to research vertical and horizontal joint casts of concrete elements and the supplementary works. An excel-based calculation program which would enable the calculation of the amount of joint concrete needed in hollow core slabs and massive slabs was also produced. The calculation program would not be published as it would remain in the use of the company. The result of the thesis is going to be used in similar future projects. In the thesis, Ruukki Building Systems Oy's Platinan construction site was used as an example. The construction site was located in Gothenburg, Sweden. At the site, 1200 concrete columns and 1000 m² wall elements were installed so therefore also the supplementary works had a significant role in the project. Altogether, the concreting area was about 60 000 m².

Keywords: slab area, concreting, supplementary work, strength development, concrete

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO.....	8
2 HOTELLI- JA TOIMISTORAKENNUS PLATINA.....	9
3 BETONI.....	11
3.1 ITB Itsetiivistyvä betoni.....	11
3.2 Normaalisti kovettuva rakennebetoni.....	13
3.3 Nopeasti kovettuva betoni.....	13
3.4 Kuumabetoni.....	13
3.5 Pakkasbetoni.....	14
3.6 Talvibetonointi.....	16
3.7 Lujuudenkehityksen nopeuttaminen.....	17
3.8 Lujuudenkehityksen arviointi.....	19
3.9 Valmisbetonin tilaus ja vastaanotto.....	23
4 SAUMABETONOINTI.....	25
4.1 Ontelo- ja massiivilaattojen saumabetonointi.....	25
4.2 Seinäelementtien saumabetonointi.....	25
5 JÄLKITYÖT.....	28
5.1 Betonipilarit.....	28
5.2 Muotit.....	29
5.2.1 Teräs.....	30
5.2.2 Puu.....	30
5.2.3 Vaneri.....	31
5.3 Betonipinnan vaaleuteen vaikuttavat tekijät.....	32
5.4 Seinäelementit.....	34
5.4.1 Paikkaukset ilman muottia.....	34
5.4.2 Paikkaukset muottia käyttäen.....	35

5.5 Ontelolaatat.....	35
6 TYÖNJOHTAJIEN PÄTEVYYDET	37
6.1 Betonielementtien asennustyönjohtaja.....	38
6.1.1 Koulutus	38
6.1.2 Työkokemus.....	39
6.2 Betonirakenteiden työnjohtaja.....	40
6.2.1 Koulutus	41
6.2.2 Työkokemus.....	42
6.3 Valmisbetonityönjohtaja	43
6.3.1 Koulutus	44
6.3.2 Työkokemus.....	44
7 KÄYTÄNNÖN MENETELMÄT	45
7.1 Muottien valinta pilarien alusvalamiseen.....	45
7.2 Saumabetoni.....	46
7.3 Alusvalumassa.....	46
7.4 Jälkitöihin käytettävä menetelmä	47
8 YHTEENVETO.....	50
LÄHTEET	51
LIITTEET	53

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Platinan työmaa rakennettuna 14 tasolle. 8.4.2020.....	10
Kuva 2. Platinan työmaa. 8.4.2020.	10
Kuvio 3. Pakkasbetonin lujuudenkehitys eri lämpötiloissa.	16
Kuvio 4. Betonin kovettumisen vaiheet kylmissä olosuhteissa.....	17
Kuvio 5. Betonin lujuudenkehitykseen vaikuttavia ja betonille mahdollisesti vaurioita aiheuttavia tekijöitä, jotka betonin jälkihoidossa tulee ottaa huomioon...	19
Kuvio 6. Esimerkki kypsyyden kehittymisen arvioinnista Sadgroven menetelmää käyttäen.	20
Kuvio 7. Normaalisti kovettuvaa sementtiä käytettäessä betonin suhteellinen lujuudenkehitys kypsyyksiän funktiona.	20
Kuvio 8. Nopeasti kovettuvaa sementtiä käytettäessä betonin suhteellinen lujuudenkehitys kypsyyksiän funktiona.	21
Kuvio 9. Lujuudenkehitysnopeus eri menetelmillä.	22
Kuvio 10. TPSB Talvipystysaumabetonin lujuudenkehitys C30/37 (K40).	27
Kuvio 11. Pilarimuottien periaatepiirustus.	45
Kuvio 12. Ruotsissa käytettäviä betoneita	49
Taulukko 1. Itsetiivistyvän betonin painuma-leviämäluokat.....	12
Taulukko 2. Betonin lujuusluokitusta vastaavat lujuudet eri koekappaleilla.	18
Taulukko 3. TJB Talvijyotosbetonin lujuudenkehitys.....	29
Taulukko 4. Muottivanerien keskimääräiset käyttökerrat ja valutulos.....	32

Taulukko 5. Sementtien vaaleusaste.	33
Taulukko 6. Betonipinnan väriä säätelevien tekijöiden vaikutus värimuutoksiin....	33
Taulukko 7. Betonielementtien asennustyönjohtajan tutkinto- ja opintovaatimukset pätevyysluokittain.....	39
Taulukko 8. Betonielementtien asennustyönjohtajan työkokemusvaatimukset pätevyysluokittain.....	40
Taulukko 9. Betonirakenteiden työnjohtajan tutkinto- ja opintovaatimukset pätevyysluokittain.....	42
Taulukko 10. Betonirakenteiden työnjohtajan työkokemusvaatimukset pätevyys luokittain.....	43

Käytetyt termit ja lyhenteet

Alusvalu	Pilarien alapään liitoksen juottaminen betonimassalla.
ITB	Itsetiivistyvä betoni, joka tiivistyy oman painonsa avulla ilman tärytystä.
Jälkityö	Elementtiasennuksen jälkeiset työt, esimerkiksi liitosten paikkaukset.
Jäätymislujuus	Puristuslujuus, joka kovettumisen alkuvaiheessa olevan betonin on saavutettava, jotta se kestäisi vahingoittumatta jäätymisen vaikutukset.
Laatasto	Useista ontelo- ja/tai massiivilaatoista muodostuva alue.
Lujuusluokka	Tietyn nimellislajuuden omaavan betonin merkintä.
Nimellislujuus	Rakenteen suunnittelun perustaksi valittu betonilaatua kuvaava puristuslujuus.
Tekla	Tekla Structures -tietomallinnusohjelmisto.
Varaus	Elementtiin tehty reikä tai aukko työmaa-asennuksia varten.

1 JOHDANTO

Tässä työssä perehdytään betonielementtirunkoisen (pilari, palkki) rakennuksen jälkitöihin ja rakenteiden vaaka- ja pystysaumavaluihin. Työssä käytetään esimerkkituotteena hotelli- ja toimistorakennus Platinan työmaata Ruotsin Göteborgissa.

Rakennuksen runko koostuu betonipilareista, WQ-palkeista sekä ontelo- ja massiivilaatoista. Rakennuksen pohjapinta-ala on noin 7 000 m² ja kerroksia on 18 kappaletta. Saumattavaa laatastoa oli noin 60 000 m² ja jälkityötä vaativat noin 1 200 betonipilaria ja 1 000 m² seinäelementtiä.

Työssä huomioidaan sääolosuhteet sekä jälkitöiden aloitusaika suhteessa runkotyöhön. Tässä kohteessa pintojen laadussa ja värissä pyrittiin jäljittämään betonielementtien tasoa. Jälkityöt tulee aloittaa mahdollisimman nopeasti, jotta kerrokset valmistuvat ennen muiden urakoitsijoiden aloittamista. Kun jälkitöitä tehdään runkovaiheessa, käytettävien materiaalien tulee olla vuodenaikaan sopivia.

Saumabetonin laskemiseen on tähän asti käytetty kerrointa. Aiemmin työnjohtajan piti laskea valettavan alueen koko neliömetreinä, jonka jälkeen neliömetrit kerrottiin kertoimella. Tämä tapa ei huomionnut laattojen tyyppiä (ontelo tai massiivi), ontelolaattojen tyyppiä, reunapalkin määrää eikä varauksien kokoa tai määrää.

Opinnäytetyöhön sisältyy laskentaohjelma, jolla pystytään laskemaan betonimassan määrä ontelo- tai massiivikentälle tai niiden yhdistelmälle. Laskentaohjelman myötä saumamassan määrittäminen nopeutuu sekä tarkentuu. Ohjelma erittelee kaikki laattatyytit ja laskee betonimäärän näiden mukaan. Ohjelma huomioi myös reunapalkin määrän. Laskentaohjelma ei tule julkiseksi, sillä se jää opinnäytetyön toimeksiantajan käyttöön. Opinnäytetyön kappaleissa 3–6 on teoriaosuus ja kappaleissa 7 haetaan eri työvaiheisiin parhaiten soveltuvat menetelmät.

2 HOTELLI- JA TOIMISTORAKENNUS PLATINA

Rakennuksen pohjapinta-ala on noin 7 000 m² ja kerroksia on yhteensä 18. Rakennus jaettiin kolmeen lohkokon: A, B ja C. A-lohko rakennettiin ensin tasolle 14, minkä jälkeen B- ja C-lohkojen rakentaminen aloitettiin alhaalta samanaikaisesti. Kun kaikki lohkot oli rakennettu 14. tasoon, lohkoja ryhdyttiin rakentamaan yhdenaikaisesti aina 19. tasolle saakka. Rakennuksen pinta-ala pieneni huomattavasti tason 16 jälkeen, eikä tason 19 pinta-ala ollut enää kuin 320 m².

Rakennuksessa on neljä paikallavalettua kuilua, joihin rakennus jäykistetään. Kaikkiin kuiluihin asennettiin portaat. Lisäksi rakennuksessa on kaksi teräsrakenteista porraskuilua.

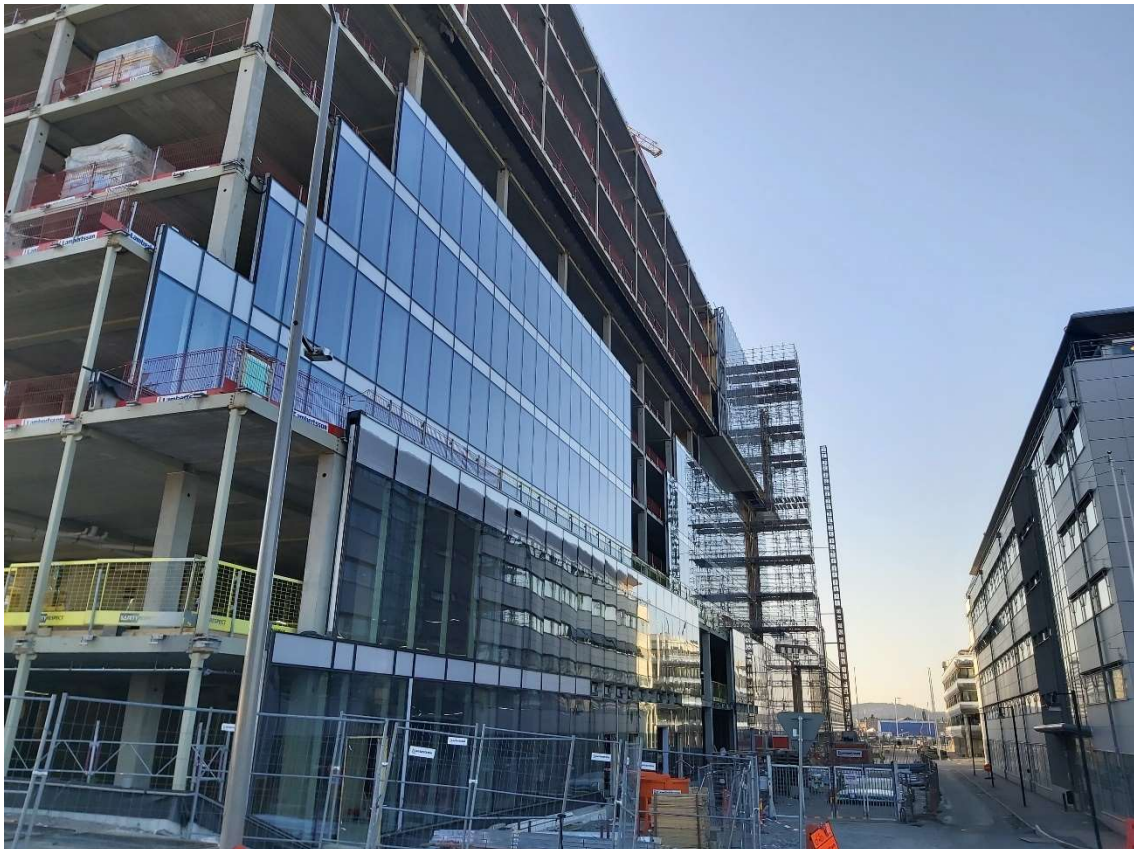
Kun A-lohkoa rakennettiin, työmaalla oli yhteensä viisi torninosturia, joista kolmea käytettiin A-lohkon rakentamiseen. A-lohkon valmistuttua myös paikallavaletut kuilut olivat valmiita. Tämän jälkeen torninosturit purettiin työmaalta, ja kolme uutta torninosturia asennettiin paikallavalu kuilujen päälle. B- ja C-lohkoja rakennettiin mobiilinosturilla, kunnes uudet torninosturit asennettiin.

Rakennus perustettiin heikosti kantavalle maaperälle. Lyöntipaalujen keskimääräinen pituus oli yli 60 metriä, eivätkä ne silti saavuttaneet kalliota. Rakennuksen pohjalaatta on metrin paksuinen.

Rakennuksen runko koostui betonipilareista, WQ-palkeista sekä ontelo- ja massiivilaatoista. Tasoilla 4–8 on hotelleja, ja näihin kerrokseen asennettiin paljon massiivilaattoja. Massiivilaattojen päälle taas asennettiin kylpyhuonemoduulit.



Kuva 1. Platinan työmaa rakennettuna 14 tasolle. 8.4.2020.



Kuva 2. Platinan työmaa. 8.4.2020.

3 BETONI

3.1 ITB Itsetiivistyvä betoni

IT-betonit eli itsetiivistyvät betonit ovat erittäin notkeita sekä hyvin valuvia ja leviäviä betoneita, jotka tiivistyvät erottumatta oman painonsa avulla ilman täryttämistä. IT-betoneilla voidaan valaa sekä pysty- että vaakarakenteita. Betonin tiivistyvyys saadaan aikaan lisäämällä hienoja ainesosia ja tehokkaita notkistimia. Ahtaiden rakenteiden valu helpottuu ja nopeutuu, koska tärytystä ei tarvita. (Betonitekniikan oppikirja by201 2018, 346.)

Kun verrataan ITB:llä tehtävää betonointia normaaliin betonointiin, merkittävimmät erot koskevat

- betonointinopeutta
- vinojen pintojen valamista
- muotin lujutta ja tiiviyttä
- betonin purkukohtien valintaa
- laatuvaatimuksia ja niiden mittaamista sekä
- vastuiden jakaantumista. (ITB 2004, 92.)

ITB lisää huomattavasti painevalun käyttömahdollisuuksia. Nestemäisenä itsetiivistyvä betoni soveltuu hyvin vaikeidenkin kohteiden painevaluun. Erityisesti vaikeiden kohteiden valu helpottuu, koska ITB:a ei tarvitse täryttää ja sitä voidaan valuttaa. Kun valetaan normaalilla betonilla, vaikeat kohteet tarvitsevat erityisjärjestelyjä. Myös valujen onnistunut suorittaminen on usein hankalaa. (ITB 2004, 93.)

Itsetiivistyvän betonin aiheuttama muottipaine on suuri. Lujuuden lisäksi muottien mitoituksessa tulee huomioida niiden muodonmuutokset. Muotin on oltava myös tiivis, sillä jos ITB lähtee purkautumaan muotissa olevasta raosta, sitä on mahdoton pysäyttää. Korkealaatuiset betonipinnat vaativat myös tiivistä muottia. (ITB 2004, 93.)

Isot kallistukset ja vinot pinnat eivät onnistu itsetiivistyvällä betonilla sen suuren notkeuden vuoksi. Yleissääntö on, että kaltevat pinnat on muotitettava, ja ainoastaan pienet kallistukset voidaan saada onnistumaan. (ITB 2004, 93.)

Itsetiivistyvien betonien käyttökohteita ovat muun muassa

- puhtasvalupinnat
- painevalut, joissa betoni pumpataan muotin alapäässä olevan liittymän kautta muottiin
- vaikeasti valettavat rakenteet, joissa on ahtaat ja monimuotoiset muotit
- mantteloinnit, esimerkiksi pilari- tai palkkirakenteiden ympärille
- muut korjausrakentamisen betonoinnit
- tiheästi raudoitetut rakenteet
- pintalattiabetonoinnit. (Betonitekniiikan oppikirja by201 2018, 346.)

Taulukko 1. Itsetiivistyvän betonin painuma-leviämäluokat. (Betonitekniiikan oppikirja by201 2018, 347.)

Luokka	Painuma-leviämä [mm]
SF1	550...650
SF2	660...750
SF3	760...850
Luokitus ei sovellu betonille, jonka kiviaineksen # \geq 40 mm	

Notkeusluokka SF1 soveltuu

- paaluihin ja perustuksiin
- raudoittamattomiin tai vähän raudoitettuihin betonirakenteisiin, jotka valetaan ylhäältä päin vapaana pudotuksena, kuten asuinrakennusten lattiat
- injektointipumpun avulla suoritettavaan betonointiin, kuten tunneleiden vuorauksiin.

Notkeusluokka SF2 soveltuu useisiin tavallisiin käyttökohteisiin, kuten seiniin ja pilareihin.

Notkeusluokassa SF3 käytetään yleensä pientä kiviaineksen maksimiraekokoa (alle 16 mm) ja sitä käytetään

- muodoltaan mutkikkaissa rakenteissa
- täytettäessä yläpuolella olevan muotin alle (vastamuotti)
- pystysuuntaisissa käyttökohteissa hyvin tiheästi raudoitetuissa rakenteissa. (Betonitekniikan oppikirja by201 2018, 347.)

Taulukossa 1 on esitetty itsetiivistyvän betonin painuma-leviämäluokat. Painuma-leviämäkoe on menetelmä, jolla mitataan itsetiivistyvän betonin valuvuutta ja erotumistaipumusta. (Betonitekniikan oppikirja by201 2018, 347.)

3.2 Normaalisti kovettuva rakennebetoni

Normaalisti kovettuva rakennebetoni on perusbetonilaatu ilman erikoisbetonien erikoisominaisuuksia. Se soveltuu käytettäväksi, jos säänkestävyyttä tai muita erityisominaisuuksia ei vaadita. Talvibetonoinnissa käytetään normaalisti kovettuvaa betonia, kun suojaus ja lämmitys ovat tehokkaita, eikä kovia pakkasia ole odotettavissa. Tyypillisiä rakenteita ovat muun muassa holvit, perustukset, paksut seinät ja massiiviset pilarit, joissa ei ole säänkestävyysvaatimuksia. Saumauksiin, lattioihin ja muihin vastaaviin erikoisrakenteisiin suositellaan erikoislaatuja, jotka soveltuvat niihin paremmin. (Talvibetonointi 2013, 20.)

3.3 Nopeasti kovettuva betoni

Nopeasti kovettuvat betonit kehittävät kovettuessaan runsaasti lämpöä, mikä nostaa vastabetonoidun rakenteen lämpötilaa. Ne saavuttavat nimellislujouden seitsemän vuorokauden iässä kovettuessaan 20 °C lämpötilassa. Talviolosuhteissa riittävän korkea lämpötila nopeuttaa betonin lujudenkehitystä ja muotinpurkulujuden saavuttamista. (Talvibetonointi 2013, 21.)

3.4 Kuumabetoni

Kuumabetonilla tarkoitetaan betonia, joka on valmisbetoniasemalla lämmitetty haluttuun lämpötilaan, tavallisesti 25–35 °C. Normaalin betonimassan lämpötila on

noin 20 °C betonin lähtiessä tehtaalta. Massan lämpötila jäähtyy noin 1–3 °C sääolosuhteista ja kuljetusmatkasta riippuen. (Talvibetonointi 2013, 22.)

Korkea lämpötila lyhentää työstettävyyss aikaa mutta nopeuttaa massan sitoutumista. Kuumabetonin käyttö nopeuttaa erityisesti ensimmäisten tuntien lujuudenkehitystä ja sitoutumista. (Talvibetonointi 2013, 22.)

Kuumabetonin loppulujuustaso alenee, jos rakenteen lämpötila ylittää 50 °C. Lujuudenkehityksen ja valuominaisuuksien kannalta kuumabetonin optimilämpötila on noin 35 °C. Lujuuskadon suuruutta ja haittoja voidaan vähentää, mutta mikäli betonin lämpötila nostetaan korkeaksi, lujuuskatoa ei pystytä täysin välttämään. (Talvibetonointi 2013, 22.)

Kuumabetonin korkea lämpötila hyödynnetään parhaiten nopealla valutyöllä, eristepeitteellä ja lämpöeristetyillä muoteilla. Lämmöneristys on tärkeää suojata myös reuna-alueilla, joissa lämmön haihtuminen on normaalisti vaikeinta. Kuumabetonia ei suositella massiivisiin rakenteisiin eikä säänkestäviin rakenteisiin, sillä lämpötilan nousu voi olla rajua. (Talvibetonointi 2013, 23.)

Kun betonimassan toimituslämpötilaa ja betonilaatua valitaan, kannattaa turvautua betonitoimittajan laskentapalveluun. Betonitoimittajan laskennan avulla voidaan valita nopeammin kovettuva betonilaatu tai oikea lämpötila muun muassa rakenteen paksuuden, sääolosuhteiden, muotin eristyksen, kylmäsiltojen sekä lämmityksen mukaan. (Talvibetonointi 2013, 23.)

3.5 Pakkasbetoni

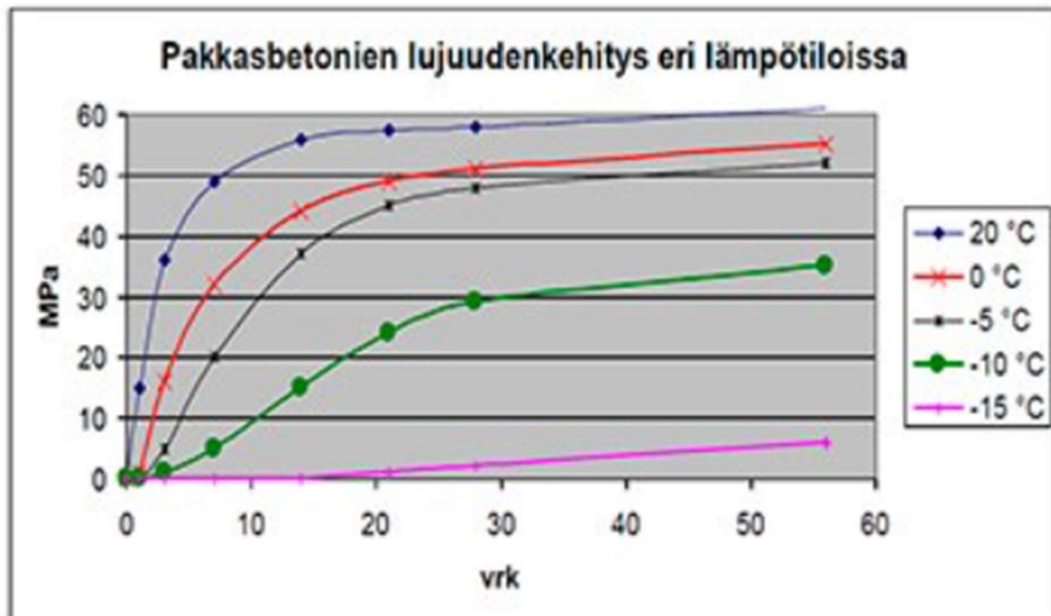
Pakkasessa kovettuvaa betonia eli pakkasbetonia on saatavissa kuivasekoitteina ja valmisbetonina. Yleisimmät käyttökohteet pakkasbetonia käytettäessä ovat betonielementtien saumaukset ja muut pienet valut, joiden lämmittäminen on vaikea toteuttaa. Pakkasbetonien veden jäätymispisteen alentamiseen käytetään lisäaineita, joilla betonissa olevan veden jäätymisen ainakin osittain estetään, eikä jäätymisen aiheuta tarkoitettussa käyttölämpötilassa betoniin vaurioita. Lisäksi betoneissa yleensä käytetään sitoutumista ja kovettumista kiihdyttäviä lisäaineita. (Betonirakenteiden työmaatoteutus by71 2019, 229.)

Pakkasbetonia voidaan käyttää valuihin, kun ilman lämpötila on nolasta kymmeneen pakkasastetta. Tätä kylmemmässä lämpötilassa ei pakkasbetonissa enää käytännössä tapahdu lujuudenkehitystä. Vaarana on myös betonin jäätyminen ja vauriot, ellei jäätymislujuutta ole saavutettu. 5 MPa jäätymislujuuden saavuttamiseen kuluu pakkasbetonilla -15 °C :n lämpötilassa 2–28 vuorokautta lujuusluokasta ja pakkasbetonityypistä riippuen. Kuviossa 3 on esitetty pakkasbetonien lujuudenkehitys eri lämpötiloissa. (Betonirakenteiden työmaatoteutus by71 2019, 229.)

Kun käytetään pakkasbetoneja, betonin jälkihoito, betonointi ja kuljetus toteutetaan kuten normaalibetoneillakin. Erityistä huomiota on kuitenkin kiinnitettävä elementtien saumoihin ja varmistettava, ettei niissä ole lunta ja jäätä. Joillakin pakkasbetoneilla on normaalibetoneita lyhyempi työstettävyyss aika jäätymistä alentavan lisäaineen lujuudenkehitystä kiihdyttävän sivuvaikutuksen vuoksi. Tämä tulee huomioida työn suunnittelussa. (Betonirakenteiden työmaatoteutus by71 2019, 229.)

Pakkasbetonien jälkihoidossa on erityisesti huomioitava veden haihtumisen estäminen, sillä lujuudenkehitys kylmässä on hidasta. Jos pakkasbetoni kuivuu liian nopeasti, betonin pintaan saattaa muodostua suolahärmettä. Eristysmatto tai muovikalvo sopii hyvin haihtumisen estämiseen. (Betonirakenteiden työmaatoteutus by71 2019, 229.)

Pakkasbetonin käyttöä suositellaan vain rasitusluokkien X0 ja XC1-XC4 rakenteissa. Suurin osa rakennusten saumoista ovat kuitenkin sisätiloissa. Ne kuuluvat rasitusluokkaan X0. Pakkasbetoni ei ole sama asia kuin pakkasenkestävä betoni. (Betonirakenteiden työmaatoteutus by71 2019, 229.)



Kuvio 3. Pakkasbetonin lujuudenkehitys eri lämpötiloissa. (Rudus [viitattu 28.2.2020].)

3.6 Talvibetonointi

Suomessa betonoinnin kannalta kylmä kausi kestää 7–8 kuukautta. Tuolloin vuorokauden keskilämpötila voi olla alle 5 °C. Tavallisen betonin lujuudenkehitys laskee huomattavasti, kun lämpötila laskee alle 5 °C ja se jäätyy alle 0 °C lämpötilassa. (Elementtisuunnittelu 2010, betonielementtien talvisaumausohje.)

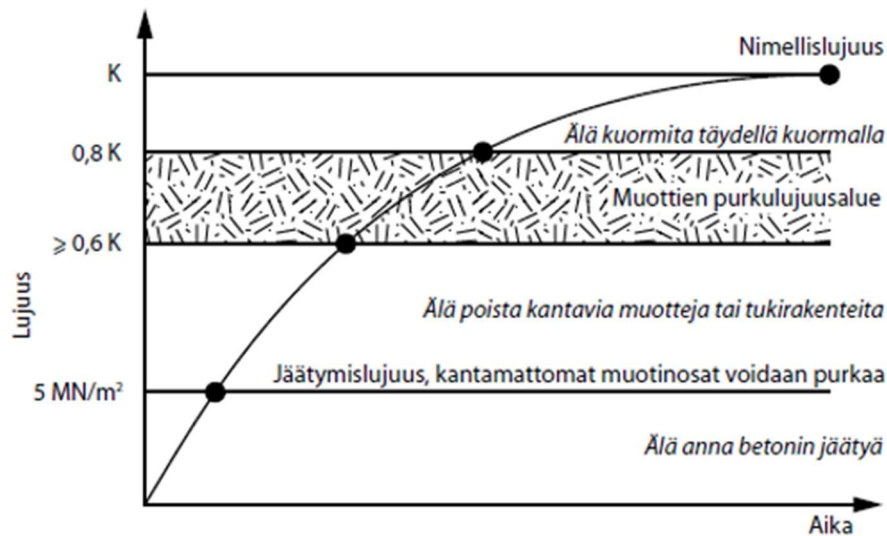
Talvisaumausohjeita tulee noudattaa silloin, kun lämpötila voi ennusteiden mukaan laskea 5 °C alapuolelle tai elementtien lämpötila saumaushetkellä on alle 5 °C betonin hitaan lujuudenkehityksen, ja lämpötilojen ennustamiseen liittyvän epävarmuuden vuoksi. (Elementtisuunnittelu 2010, betonielementtien talvisaumausohje.)

Talvityön aiheuttamat keskeiset muutokset työhön ja sen suunnitteluun ovat

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

(Elementtisuunnittelu 2010, betonielementtien talvisaumausohje.)

Saumabetonin lujuudenkehitys on varmistettava kaikissa olosuhteissa vähintään niin kauan, kunnes betoni on saavuttanut jäätymslujuuden 5 MPa. Jäätyminen voidaan estää lämmityksellä tai käyttämällä betonissa jäätyminen estäviä lisäaineita, jotka alentavat veden jäätympistettä, estävät betonia vahingoittavan jään syntymisen, ja mahdollistavat lujuudenkehittymisen pakkasessa. (Elementtisuunnittelu 2010, betonielementtien talvisaumausohje.)



Kuvio 4. Betonin kovettumisen vaiheet kylmissä olosuhteissa. (Betonitekniiikan oppikirja by201 2018, 494.)

3.7 Lujuudenkehityksen nopeuttaminen

Talvibetonoinnin yhteydessä betonin lujuudenkehitystä nopeutetaan seuraavin menetelmin

- eristetään tai suojataan valu tehokkaasti pakkaselta
- lämmitetään valettua rakennetta
- nostetaan betonimassan lämpötilaa
- käytetään nopeasti kovettuvaa betonia
- korotetaan lujuusluokkaa eli nostetaan betonin suhteituslujuutta
- lämmitetään liittyvät rakenteet (kylmäsiltojen poisto)
- käytetään edellä mainittujen yhdistelmiä. Betonin lujuusluokitusta vastaavat lujuudet eri koekappaleilla. (Betonitekniiikan oppikirja by201 2018, 86.)

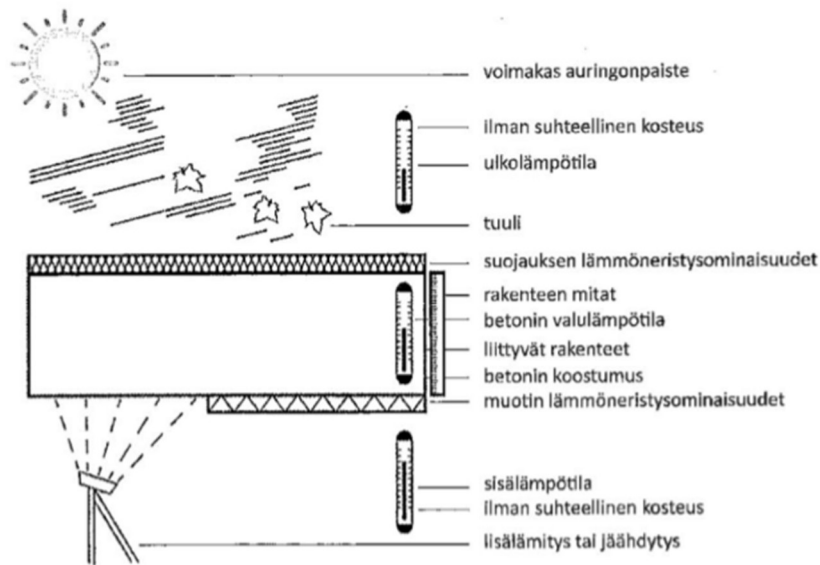
Taulukko 2. Betonin lujuusluokitusta vastaavat lujuudet eri koekappaleilla. (Betoni-tekniikan oppikirja by201 2018, 86.)

	Lujuusluokka	lieriöllä määrätty ominaislujuus (C) $f_{ck,cyl}$ [MN/m ²]	Alin 150 mm:n kuutiolla määrätty ominaislujuus (K) $f_{ck,cube}$ [MN/m ²]	Alin 100mm:n kuutiolla määrätty ominaislujuus $f_{ck,cube}$ [MN/m ²]
NORMAALILUJUUSBETONIT	C8/10	8	10	8,2
	C12/15	12	15	15,5
	C16/20	16	20	20,6
	C20/25	20	25	25,8
	C25/30	25	30	30,9
	C30/37	30	37	38,1
	C35/45	35	45	46,4
	C40/50	40	50	51,5
	C45/55	45	55	56,6
	C50/60	50	60	61,8
KORKEALUJUUSBETONIT	C55/67	55	67	69,0
	C60/75	60	75	77,2
	C70/85	70	85	87,6
	C80/95	80	95	97,8
	C90/105	90	105	108,2
	C100/115	100	115	118,5

Ympäristön lämpötila ja tuulen voimakkuus vaikuttavat huomattavasti betonin lämpötilaan ja lujuudenkehitykseen. Betonin sitoutuminen hidastuu nopeasti lämpötilan laskiessa. (Elementtisuunnittelu 2010, betonielementtien talvisaumausohje.)

Lujuudenkehitys laskee huomattavasti, kun betonin lämpötila laskee 10 °C. Viiden asteen lämpötilassa betonin lujuudenkehitys on jo niin hidasta, ettei sitä voida useimmissa käytännön tapauksissa hyväksyä. Hitaan lujuudenkehittymisen lisäksi myös betonin pinta altistuu halkeiluriskille, sillä kovettumattomasta betonista haihtuu ympäristöön runsaasti vettä. (Elementtisuunnittelu 2010, betonielementtien talvisaumausohje.)

Kun betoni saavuttaa riittävän lujuuden, se pystyy paremmin vastaanottamaan kuistumisesta aiheutuvia vetojännityksiä. (Elementtisuunnittelu 2010, betonielementtien talvisaumausohje.)



Kuvio 5. Betonin lujuudenkehitykseen vaikuttavia ja betonille mahdollisesti vaurioita aiheuttavia tekijöitä, jotka betonin jälkihoidossa tulee ottaa huomioon. (Betonitekniiikan oppikirja by201 2018, 342.)

Sideainekoostumuksen lisäksi on hyvä huomioida notkistuksen vaikutus betonin ominaisuuksiin eri valulämpötiloissa. Notkistin hidastaa betonin sitoutumisen alkamisajankohtaa ja tämä ominaisuus korostuu lämpötilan laskiessa. (Elementtisuunnittelu 2010, betonielementtien talvisaumausohje.)

Sama ilmiö pätee kaikkiin markkinoilla oleviin notkistimiin. Betonin sitoutumisen alkamisajankohta viivästyy useita tunteja kylmässä ilmassa. Sitoutumisen alkaessa betonin lujittuminen etenee kuitenkin nopeammin kuin notkistamattomassa massassa. (Elementtisuunnittelu 2010, betonielementtien talvisaumausohje.)

3.8 Lujuudenkehityksen arviointi

Betonin lujuudenkehityksen arvioimiseen normaali- ja talviolosuhteissa käytetään Suomessa yleisesti Sadgroven menetelmää. (Betonitekniiikan oppikirja by201 2004, 352.)

$$t_{20} = ((T + 16 \text{ °C})/36 \text{ °C})^2 * t \quad (1)$$

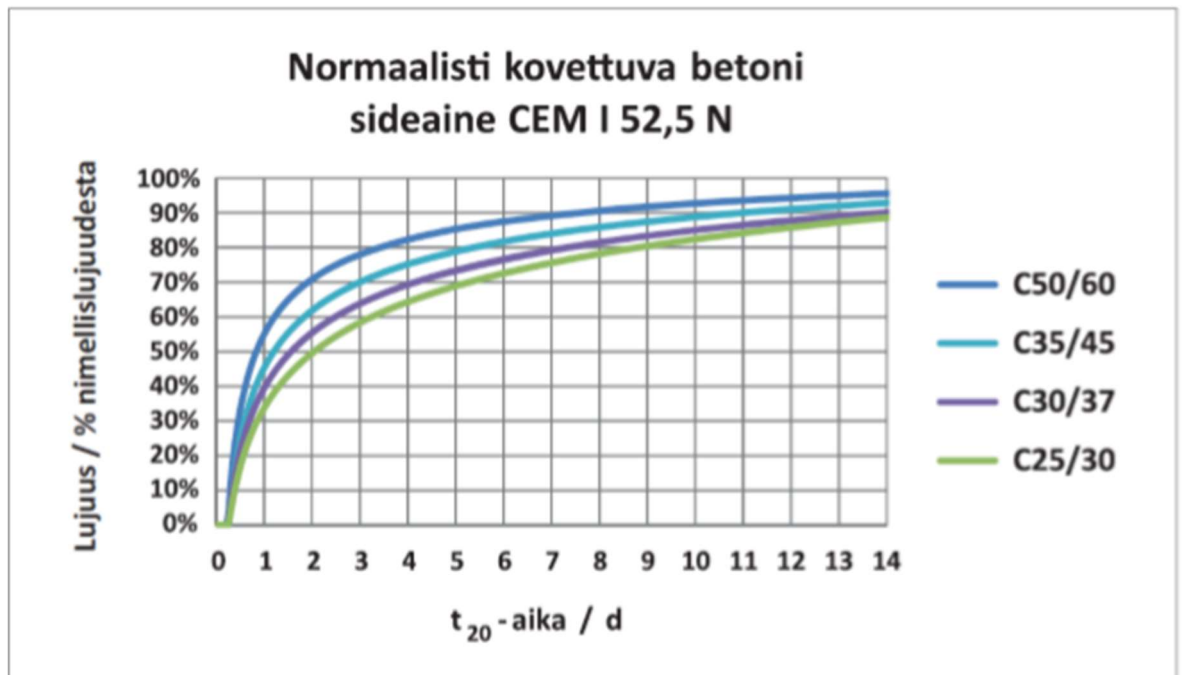
missä T on betonin lämpötila aikana t [°C]

t on kovettumisaika [d]

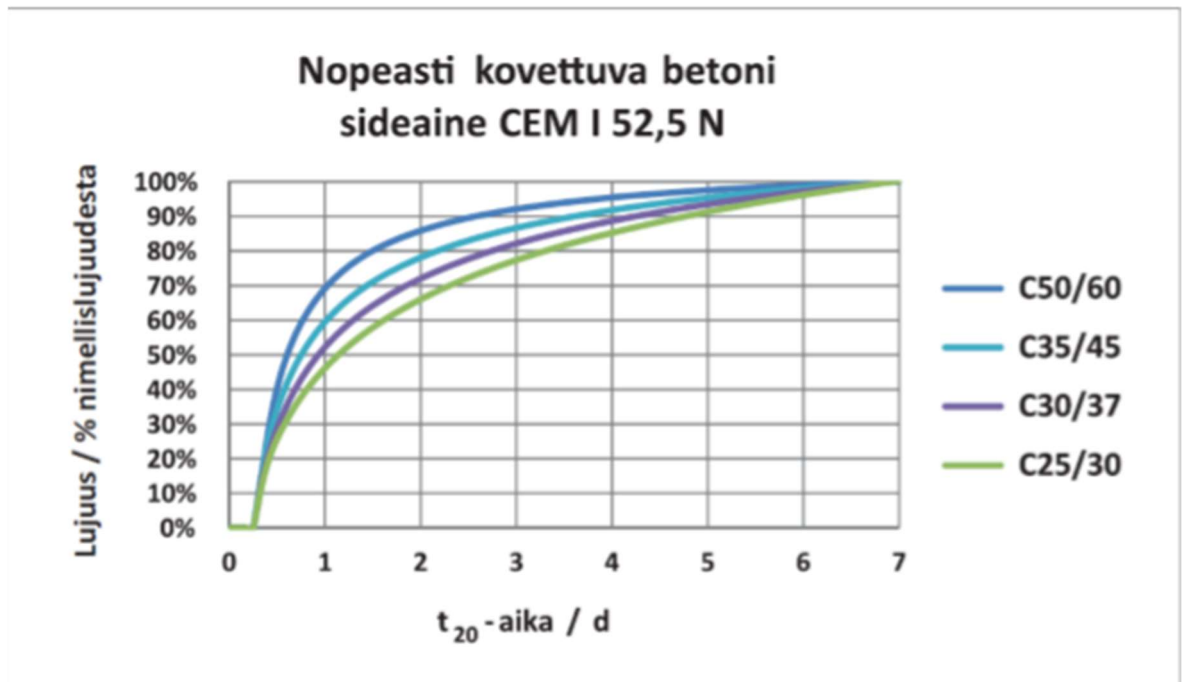
t_{20} on betonin kypsyysikä [d].

Mittaus		Kovettumis-				Kypsyysikä	
t	T	jakso	aika	aika	ka. T	$t_{20} = ((T + 16)/36)^2 * t$	
[d]	°C	[d]	[h]	[d]	[°C]	Δt_{20}	$\sum t_{20}$
						[d]	[d]
0	17						
0,25	20	0-0,25	6	0,25	18,5	0,23	0,2
1	25	0,25-1	18	0,75	22,5	0,86	1,1
2	20	1-2	24	1	22,5	1,14	2,2
3	10	2-3	24	1	15	0,74	3,0
4	8	3-4	24	1	9	0,48	3,5
5	7	4-5	24	1	7,5	0,43	3,9
7	5	5-7	48	2	6	0,75	4,6
14	5	7-14	168	7	5	2,38	7,0
21	5	14-21	168	7	5	2,38	9,4
28	5	21-28	168	7	5	2,38	11,8

Kuvio 6. Esimerkki kypsyden kehittymisen arvioinnista Sadgroven menetelmää käyttäen.



Kuvio 7. Normaalisti kovettavaa sementtiä käytettäessä betonin suhteellinen lujuudenkehitys kypsyysikänsä funktiona. (Betoninormit by 65 2016, 75.)



Kuvio 8. Nopeasti kovettuvaa sementtiä käytettäessä betonin suhteellinen lujuudenkehitys kypsyysikänsä funktiona. (Betoninormit by 65 2016, 75.)

Jos betonin lämpötila on pysynyt lähes samana koko kovettumisen ajan, kypsyysikä voidaan laskea suoraan kaavasta. Yleisessä tapauksessa kuitenkin betonin lämpötila vaihtelee lujuudenkehityksen aikana. Tällöin kypsyysikä lasketaan ajanjaksoissa, jolloin lämpötila on pysynyt lähes vakiona. Esimerkki kuviossa 4.

Klassinen menetelmä, eli niin sanottu Nykäsen kypsyysastelaskelma, jossa lasketaan kovettuvan betonin lämpöastevuorokausisumma kaavasta

$$N = \sum k (T + 10^{\circ}\text{C}) * t \quad (2)$$

missä T = betonin lämpötila aikana t [$^{\circ}\text{C}$]

t = kovettumisaika [d]

$k = 1$ kun $+50^{\circ}\text{C} \geq T \geq 0^{\circ}\text{C}$

$k = 0,4$ kun $0^{\circ}\text{C} > T \geq -10^{\circ}\text{C}$

$k = 0$ kun $T < -10^{\circ}\text{C}$.

Tämä menetelmä ei anna oikeita tuloksia erityisesti korkeissa lämpötiloissa. Menetelmään kuuluvat vanhat kypsyysastekäyrät, joita on saatavissa talvibetonointia käsittelevässä kirjallisuudessa, ovat vanhentuneet. Ne antavat pieniä alkulujuuksia,

sillä nykyiset suomalaiset sementit ovat lujuudenkehityksen alussa vanhoja sementtejä huomattavasti nopeampia. (Betonitekniikan oppikirja by 201 2004, 353.)

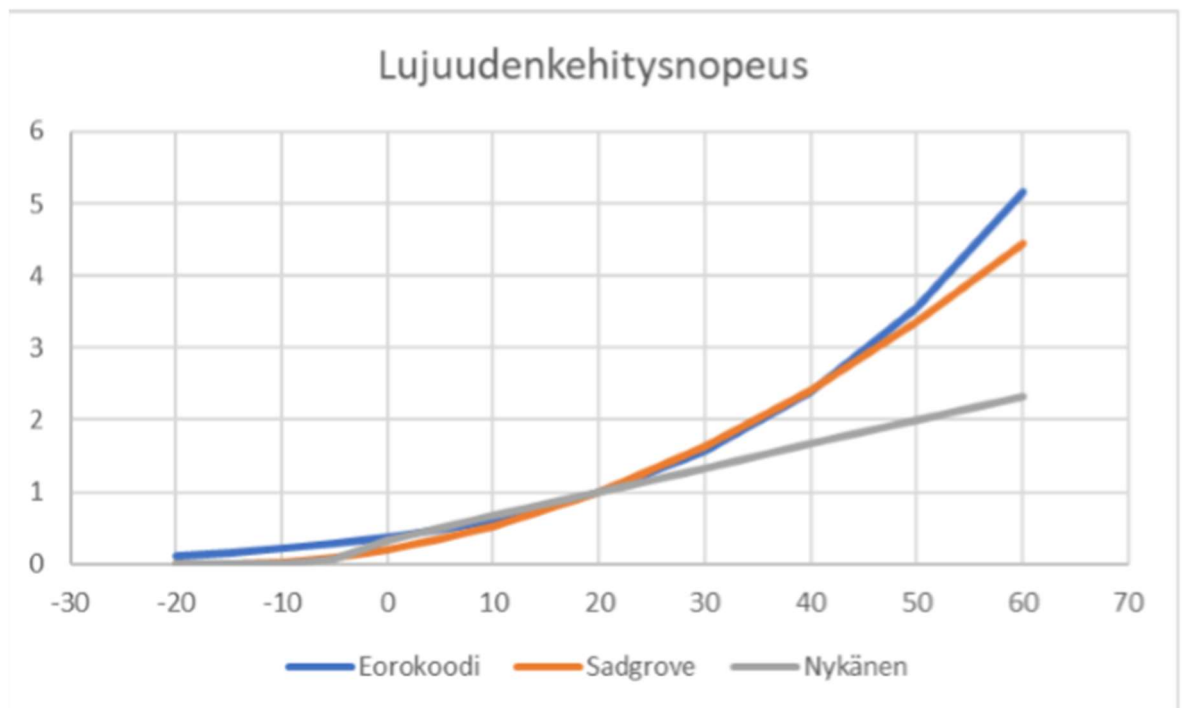
Eurokoodin malli. (Eurokoodi 1992-1-1, kaava B.10.)

$$t_T = \sum_{i=1}^n e - \left(\frac{4000}{273+T(\Delta t_i)} - 13,65 \right) * \Delta t_i \quad (3)$$

missä t_T on lämpötilakorjattu betonin ikä, joka korvaa suureen t vastaavissa yhtälöissä

$T(\Delta t_i)$ on lämpötila aikavälillä Δt_i [°C]

Δt_i on aika vuorokausina, jonka betoni on lämpötilassa T .



Kuvio 9. Lujuudenkehitysnopeus eri menetelmillä. (Betoniyhdistys, betonilaborantti- ja myllärikurssi, 2020.)

Kuviossa 7 on esitetty lujuudenkehitysnopeuksia eri laskentatavoilla. Kuviosta huomataan, että Nykäsen menetelmällä lujuudenkehitysnopeus on varsin hidas verrattuna muihin menetelmiin, johtuen että menetelmä on vanha ja lujuudenkehitys perustuu vanhoihin sementtilaatuihin. Sadgroven ja eurokoodin menetelmissä lujuudenkehitysnopeudet ovat hyvin lähellä toisiaan. Sadgroven menetelmä on yleisimmin

käytetty. Eurokoodin menetelmä on näistä uusin. (Betonitekniikan oppikirja by 201 2004, 353.)

3.9 Valmisbetonin tilaus ja vastaanotto

Tilattaessa valmisbetonia työmaalle, on otettava huomioon, että

- tilauksia otetaan vastaan vain valmistus- ja toimituskapasiteettia vastaava määrä
- varmat tilaukset ovat aina etusijalla toimitusjärjestystä määritettäessä
- toimitukset tapahtuvat sovittuun aikaan ja vastaavat tilausta määrittelyt saadaan otettua ylös
- matkapuhelimia käytettäessä on varmistuttava, että betonitilaus on saatu oikein vastaanotettua. (Betonitekniikan oppikirja by201 2004, 305.)

Tilausta tehtäessä valmisbetonitehtaalle ilmoitettavat asiat ovat

- tilaajan nimi, osoite ja puhelinnumero
- työmaan tarkka osoite, puhelinnumero ja yhteyshenkilö
- betonimäärä [m³]
- betonin laatu
 - lujuusluokka
 - maksimiraekoko
 - notkeus
 - rasitusluokka
- valukohde, erikoisvaatimukset
- toimituksen alkamisaika
- purkausaika
- purkaustapa, joita ovat vastaanottosäiliö, astia, muotti, pumppu, kärry tai jokin muu tapa
- valukohde, erikoisvaatimukset
- toimitusnopeus m³/h ja tiedossa olevat tauot
- toimituskalusto, joita ovat sekoitussäiliöauto, allasauto tai jokin muu
- laskutusosoite. (Betonitekniikan oppikirja by201 2004, 306.)

Työmaalla betonin laadunvalvonta alkaa betonin vastaanottotarkastuksella. Rakennusteollisuuden Keskusliitto ry:n Rakennustuoteteollisuus RTT ry:n valmisbetonin toimitusmääräyksissä todetaan toimituksen vastaanottotarkastuksesta ja valvonnasta seuraavaa: "Vastaanottaja tarkistaa rahtikirjasta toimituksen tilauksenmukaisuuden, kuten betonin lujuusluokan, toimituksen määrän, lisäainemerkinnät jne. Virheistä ja puutteista on heti ilmoitettava betonitehtaalle. Toimituksen kuittaa vastaanotetuksi tilaaja tai tilaajan valtuuttama henkilö." (Betoniteknikan oppikirja by201 2004, 306.)

4 SAUMABETONOINTI

4.1 Ontelo- ja massiivilaattojen saumabetonointi

Saumattavan alueen tulee olla puhdas ja vapaa saumaustyölle. Holville ei saa varastoida suuria tai painavia tavaraeriä työn ajaksi. Holvilla olevat esineet on sijoitettava laataston päälle siten, että laatan saumat ovat vapaina pumppaukselle, ja valaja pääsee näkemään sauman täyttymisen. (Elementtisuunnittelu 2010).

Ennen saumaustyön aloittamista tehdään tarvittavat muotti- ja tukelaidoitukset ja varmistetaan että ontelolaattojen päissä sekä varauksien kohdissa on valutulpat. Elementtitehdas toimittaa ylimääräisiä valutulppia pyynnöstä työmaalle ilmaiseksi. Ennen saumaustyötä varmistetaan, että saumateräkset ja mahdolliset läpivientikapaleet on asennettu valmiiksi. Valettavien saumojen ja varauksien tulee olla puhtaita roskista, lumesta ja jäästä. Laataston saumaus tehdään aina ennen sen kuormittamista. (Elementtisuunnittelu 2010).

Saumojen täyttöjärjestys suunnitellaan etukäteen siten, ettei valuletkuja jouduta vetämään jo saumatun alueen yli, ettei laatasto likaannu. Jos laataston saumaus tehdään normaalilla betonilla, tulee saumat aina tiivistää huolellisesti tärysauvalla. Jos saumat pumpataan IT-betonilla, ei erillistä tiivistystä tarvita. (Elementtisuunnittelu 2010).

Jos laatastolle tulee pintavalu, saumat jätetään noin 20 mm vajaaksi pintabetonin tartunnan parantamiseksi. Jos laatastolle tulee pintatasoite, saumat pumpataan täyteen ja niiden pinnat tasataan lastalla. (Elementtisuunnittelu 2010).

4.2 Seinäelementtien saumabetonointi

Kun käytetään notkeaa juotosbetonia, elementtisaumojen muotit tehdään tiiviiksi, jotta juotossassa ei pääse purkautumaan saumasta valun aikana. Muotit tuetaan runkoon kiilaamalla tai kiinnittämällä muotit elementteihin. (Ratu 0392. 2012, 11.)

Juotossaumat valetaan täyteen kaatamalla massa suoraan valuastiasta tai pumpaamalla betonipumpulla notkistettua betonia valumuottiin. Notkistettua betonia ei tarvitse täryttää. Kun käytetään normaalibetonia, betoni sullotaan saumaan ja tiivistetään täryttämällä tai sauvatäryttimellä. Juotoksista syntyneet betoniroiskeet ja valumat poistetaan välittömästi juotostyön jälkeen. (Ratu 0392. 2012, 11.)

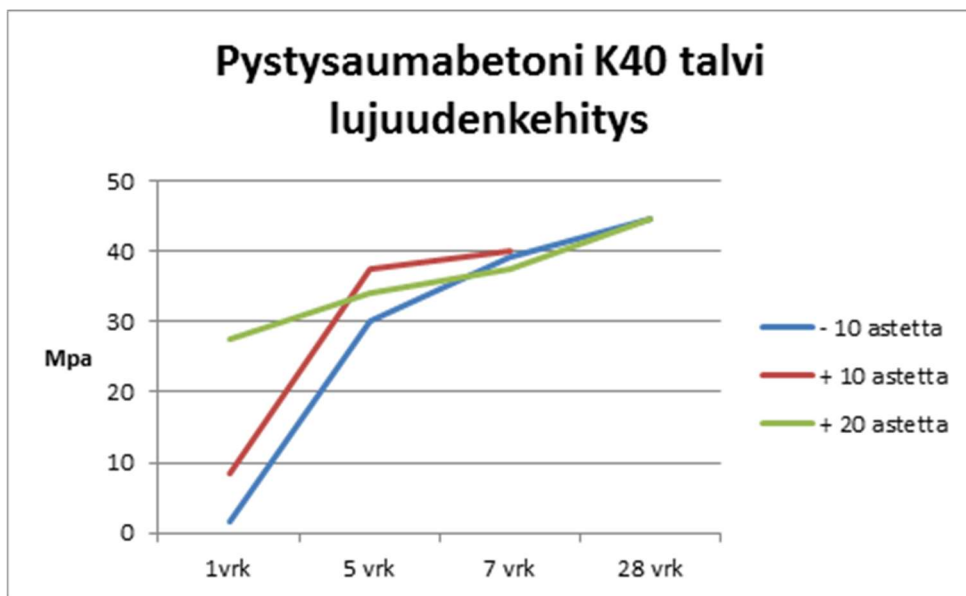
Talviolosuhteissa elementtiliitosten, hitsaustyön ja juotosvalujen onnistumiseksi tulee liitoskohtien olla puhtaat jäädästä ja lumesta sekä riittävän lämpimät. Talviolosuhteissa juotusmassan lujuusluokka valitaan suunnitelmissa vaadittavaa luokkaa suuremmaksi. Betonimassan lämpötila tulee olla yli 5 °C. (Ratu 0392. 2012, 11.)

Kun käytetään normaalibetonointia, juotosbetoni lämmitetään tai juotoksissa käytetään pakkas- tai kuumabetonia jäätyksen estämiseksi. Liitoskohta suojataan eristysmatolla kovettumisen varmistamiseksi ja juotoksen jäätyksen estämiseksi. Sauvalujen lämmityksessä käytetään joko säteily- tai lankalämmitystä. (Ratu 0392. 2012, 12.)

Betonin lujuudenkehitystä seurataan lämpötilamittauksilla tai muilla luotettavilla tavoilla. Betonin lujuudenkehitys on varmistettava kaikissa olosuhteissa vähintään niin kauan, kunnes betoni on saavuttanut jäätymislujuuden 5 MPa. (Ratu 0392. 2012, 12.)

Pystysaumauksiin käytetään betonimassana esimerkiksi Fescon pystysaumabetoni PSB ja talviolosuhteissa Fescon talvipystysaumabetoni TPSB, jolla voidaan työskennellä aina -15 °C lämpötilaan asti. (Fescon [Viitattu 5.4.2020].)

Kun betonimassaa valitaan, rakenteen tulee täyttää suunniteltu lujuus. Valmistajan käyttöohjeita tulee noudattaa, kun betonia käytetään.



Kuvio 10. TPSB Talvipystysaumabetonin lujuudenkehitys C30/37 (K40). (Fescon [Viitattu 5.4.2020].)

5 JÄLKITYÖT

Jos elementtejä joudutaan valmistus-, varastointi-, kuljetus- tai asennusvaurioiden vuoksi paikkaamaan, korjattu kohta täyttää elementeille suunnitelma-asiakirjoissa määrätyt laatuvaatimukset. Näkyviin jäävissä betonipinnoissa paikkaus ei erotu haitallisesti ympäröivästä pinnasta. Korjaustapa on hyväksyttävä tilaajalla ennen korjaustyöhön ryhtymistä. Elementtien ja niiden pintojen korjaamiseen liittyviä ohjeita on annettu muun muassa julkaisussa by 40. (Runko RYL 2010, 157).

5.1 Betonipilarit

Betonipilareissa jälkitöitä vaativat useat kohdat, joita ovat

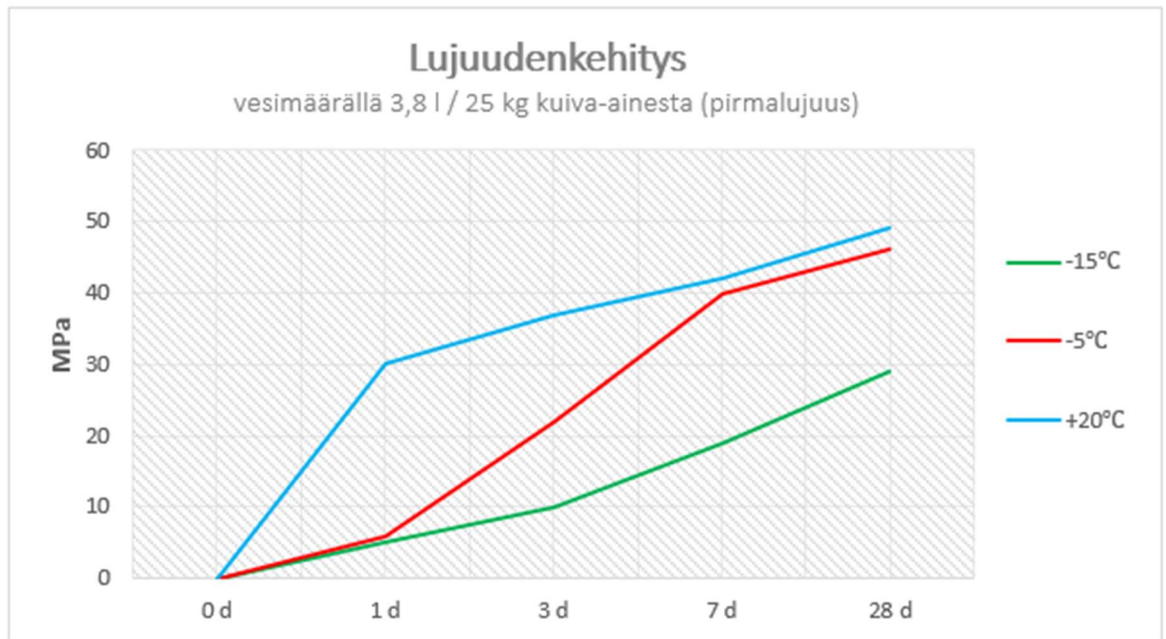
- alusvalu
- alapään liitosvaraukset
- vinotukien kiinnityksien varaukset
- pilarin nostoreikä
- mahdolliset asentamisesta tai kuljetuksesta aiheutuneet kolhut.

Betonialusta kastellaan ennen juotosbetonointia. Kastelu tulee aloittaa riittävän aikaisin, esimerkiksi 12 tuntia ennen juotosbetonointia, jotta juotosbetonista ei enää valamisen aikana imeydy kosteutta alusbetoniin. Alustaan imeytymätön vesi poistetaan ennen betonointia harjaamalla tai paineilmalla. Alustan pinnan tulee olla vedestä himmeä, ei kiiltävä, kun betonointi aloitetaan. (Rakennustieto 2012.)

Juotokset valetaan täyteen kaatamalla valuastialla valumuottiin notkistettua betonia. Jos käytetään normaalibetonia, betoni sullotaan saumaan. Juotoksista aiheutuneet betoniroiskeet ja valumat puhdistetaan välittömästi juotoksen yhteydessä ennen niiden kovettumista. (Rakennustieto 2012.)

Juotoksissa käytetään betonimassana esimerkiksi Fescon juotosbetoni 600/3 ja talviolosuhteissa Fescon TJB, jolla voidaan työskennellä aina -15 °C lämpötilaan asti. Molemmat tuotteet paisuvat enintään 5 prosenttia. Kun betonimassaa valitaan, rakenteen tulee täyttää suunniteltu lujuus. Kun betonia käytetään, valmistajan käyttöohjeita tulee noudattaa. (Fescon [Viitattu 5.4.2020].)

Taulukko 3. TJB Talvijuotosbetonin lujuudenkehitys. (Fescon [Viitattu 5.4.2020].)



5.2 Muotit

Muotit voidaan ryhmitellä monin tavoin, kuten pääasiallisen muottimateriaalin, käyttökertojen lukumäärän, muottiyksikön koon, rakenneosan, rakennuskohteen tai tuentasuunnan mukaan. (Betoniteknikan oppikirja by201 2018, 226.)

Koska alusvalumuoteissa käyttökertojen lukumäärä on suuri, työn nopeuttamisen ja lopputuloksen laadun kannalta teräsmuotit ovat hyvä ratkaisu tavanomaisten lautamuottien sijaan. Teräsmuottien tulee olla sellaiset, joilla pystyy alusvalamaan eri kokoisia pilareita ilman muotin muokkausta. (Betonirakenteiden työmaatoteutus by71 2019, 78.)

Muotin rakenne ja pintamateriaali vaikuttavat ratkaisevasti laadukkaan betonipinnan aikaansaamiseen. Betonipinnassa näkyy työn huolellisuuden jälki ja käytetty muottimateriaali. Muotin pintamateriaalin valinnassa on otettava huomioon muottien käyttökertamäärät ja betonipinnalle asetetut vaatimukset. (Betonirakenteiden työmaatoteutus by71 2019, 78.)

Yleisimpiä muottien materiaaleja ovat

- puulevyt, vaneri

- sahatavara
- valuun jäävät muotit
- lasikuitu, muovi
- teräs
- muottikankaat
- kumi ja elastiset materiaalit. (Betonirakenteiden työmaatoteutus by71 2019, 78.)

5.2.1 Teräs

Teräsmuoteilla voidaan toteuttaa suuria ja yhtenäisiä sileitä betonipintoja. Teräsmuotteja on vaikea muunnella, joten ne soveltuvat parhaiten toistuvien rakenteiden valmistamiseen. Teräsmuottien käyttökertamäärä on suuri, mutta nekin vaativat hyvää huoltoa. Teräsmuottien tyypillisiä vaurioita ovat ruoste ja erilaiset käsittelyvauriot, kuten painaumat, kolot, hiontavirheet ja hitsausjäljet. (Betonirakenteiden työmaatoteutus by71 2019, 79.)

Kun valetaan pystysuoraa teräsmuottia vasten, on käytettävä valusukkaa, huolellista tiivistystä ja ohuita valukerroksia, sillä tiivis muotti lisää huokosten määrää betonipinnoissa. Teräsmuotissa on aina käytettävä muotiniirrotusainetta. (Betonirakenteiden työmaatoteutus by71 2019, 79.)

5.2.2 Puu

Puu on perinteinen muottimateriaali, jota voidaan käyttää sekä muottipintana että tukirakenteissa. Betonipinta saa ulkonäkönsä puulajin ja sahaustekniikan perusteella. Sileämpi pinta saadaan aikaan muotoon höylätystä tai hiekkapuhalletusta puutavarasta. Pintojen laatuun vaikuttaa myös se, onko puutavara pontattua vai ei. (Betonirakenteiden työmaatoteutus by71 2019, 79.)

Lautamuotit on aina kasteltava hyvin, sillä kastelu tiivistää muotin ja vähentää samalla betonin tarttumista muotin pintaan. Myös betonipinnan väri vaihtelua voidaan tasoittaa huolellisella kastelulla. Oksien kohdat ovat väriltään yleensä tummempia,

sillä ne imevät enemmän kosteutta ja jättävät siten tummemman kohdan. Tummuuseroja voidaan myös tasoittaa käyttämällä muottiöljyä. Jälkitöitä lisäävien betonipurseiden ja valuhaavojen määrää voidaan vähentää merkittävästi käyttämällä pontattuja lautoja. (Betonirakenteiden työmaatoteutus by71 2019, 79.)

5.2.3 Vaneri

Erilaiset puulevyt ovat muottipintamateriaaleista yleisimpiä. Betonipinnan sileyden ja muottien käyttökertojen lisäämiseksi ne yleensä pinnoitetaan. Käyttökertojen lukumäärä riippuu betonipinnalle asetetuista vaatimuksista ja käytön huolellisuudesta. Puupohjaisten muottilevyjen pinta on herkkä kolhuille sekä erilaista kiinnityksistä ja varauksista aiheutuville vaurioille. Öljyämätön ja pinnoittamaton puu sitoo betonista kosteutta niin paljon, että betonin hydratoituminen muottipinnan lähellä saattaa pysähtyä. Seurauksena on pölyävä ja lujuudeltaan heikko betonipinta. (Betonirakenteiden työmaatoteutus by71 2019, 79.)

Vaneri on muotin pintamateriaaleista yleisin. Vaneria käytetään joko pinnoittamattomana tai eri tavoin pinnoitettuna. Pinnoittamaton vaneri sitoo betonimassasta ilmaa ja vettä, jotka vähentävät huokosten syntymistä. Pinnoittamattoman kuusivanerin syykuvio näkyy betonin pinnassa, ja oksien pihka saattaa värjätä betonin pintaa. (Betonirakenteiden työmaatoteutus by71 2019, 79.)

Vanerin pinnoitteena käytetään fenolihartsifilmiä tai lasikuitua eri vahvuuksina – yleisimmin 120–400 g/m². Filmipintaisella vanerilla voidaan valaa ilman muotininrotusainetta 1–2 kertaa, mutta tämä vähentää materiaalin käyttökertoja. Erilaisia muovipinnoitteita käytetään myös vanerin pinnoitteina. Kun pinnoille ei aseteta erityisvaatimuksia, koivuvanerilla voi päästä 50–100 käyttökertaan. (Betonirakenteiden työmaatoteutus by71 2019, 79.)

Taulukko 4. Muottivanerien keskimääräiset käyttökerrat ja valutulos. (Paikallavale-
tut betonipinnat, [28.2.2020].)

Muottivanerityyppi	Valutulos	Käyttökerrat
Pinnoittamattomat		
koivupintaiset (esim. Wisa-Twin, Wisa-Koivu)	erittäin hyvä, huokoseton	hyvä tulos 1–2 kertaa/puoli tydyttävä tulos 2–3 kertaa/ puoli
kuusipintaiset (esim. Wisa-Kuusi)	tydyttävä, viilun syykuvio näkyy betonissa ja oksien pihka saattaa värjätä betonia	2–3 kertaa/puoli
Pinnoitetut		
kuusivaneri, filmipintainen	tydyttävä, viilun syykuvio saattaa näkyä betonissa, betonipinnassa pieniä huokosia	10 valukertaa
sekavaneri, filmipintainen (esim. Wisa-Form Twin, Mirror ja Combi)	hyvä, sileä pinta, jossa pieniä huokosia	15–40 valukertaa laadusta riippuen (Twin→Combi)
koivuvaneri, filmipintainen (esim. Wisa-Form Koivu, Wisa-Form Super)	hyvä, sileä pinta, jossa pieniä huokosia	60–100 valukertaa laadusta riippuen (Koivu→Super)
viirapintainen filmivaneri (esim. Wisa-Form Wire)	hyvä, karkea mattapinta, josta ei erota pieniä huokoisuutta	10–20 valukertaa

5.3 Betonipinnan vaaleuteen vaikuttavat tekijät

Betonipintojen vaaleuteen vaikuttavat monet eri tekijät. Muottipinnan laatu, sideainetyyppi, pinnan puhtaus sekä hienon kiviaineksen väri vaikuttavat eniten. Myös vesi-sideainesuhde vaikuttaa pinnan vaaleuteen merkittävästi: mitä pienempi vesi-sideainesuhde on, sitä tummempi betonin pinta on. (Betonitekniikan oppikirja by201 2004, 563.)

Pienen vesi-sideainesuhteen takia korkealujuusbetoni on usein erityisen tummapintainen. Mitä isompi vesi-sideainesuhde on, sitä vaaleasävyisempi betonipinta puolestaan on. Jos betoni sisältä paljon vettä, sen pintaan voi muodostua kalkkia, kun vesi haihtuu betonista. Betonipinta vaaleenee selvästi, mutta samalla siitä saattaa tulla laikukasta. Eri sideainetyyppien vaaleusvaihtelu on esitetty taulukossa 5. (Betonitekniikan oppikirja by201 2004, 563.)

Taulukko 5. Sementtien vaaleusaste (0 vastaa täysin mustaa ja 100 täysin valkoista väriä, ISO 2470). (Betonitekniiikan oppikirja by201 2004, 563.)

Sideaine	Vaaleusaste
Valkosementti	75...80
Erillisjauhettu masuunikuona	42...46
Nopeasti kovettuva Portlandsementti	25...33
Portlandsementti	24...30

Muotin tiiviys vaikuttaa myös huomattavasti betonipinnan värisävyyyn. Mitä tiiviimpi muotti (teräs), sitä vaaleampi sitä vasten valettu betonipinta on. Mitä enemmän muottimateriaali (muottikangas tai sahattu lauta) imee vettä betonimassasta, sitä tummempi betonipinnasta tulee. Ilmiö perustuu siihen, että betonipinnan vesi-sementtisuhde pienenee ja näin ollen väri tummuu. Betonipinnan kastelu vähentää betonin tummuutta. (Betonitekniiikan oppikirja by201 2004, 563.)

Taulukko 6. Betonipinnan väriä säätelevien tekijöiden vaikutus värimuutoksiin. (Paikallavaletut betonipinnat, [28.2.2020].)

Vaaleampi		Betonin väri		Tummempi
valkoinen	←	portlandsementti	→	muut tyypit
korkea	←	vesisementtisuhde	→	matala
vähemmän	←	hienoainesmäärä <0,25 mm	→	enemmän
kuusi	←	puulaji	→	mänty
teräs, muottivaneri	←	muottipintamateriaali	→	sahatavara
korkea	←	puisen muottipinnan kosteus	→	alhainen
kovempi	←	puisen muottipinnan kovuus	→	pehmeämpi
		auringon kellastama muottipinta	→	
ohuempi	←	muotiniirrotusainekerroksen paksuus	→	paksumpi
		veden vuotaminen muotin läpi	→	
pienempi	←	muottipaine	→	korkeampi
		isoja runkoainerakeita pinnan lähellä	→	
pitkä	←	tärytysaika ¹⁾	→	lyhyt
	←	betonin jälkitärytys		
hidas	←	betonin kuivumisnopeus	→	nopea
täydellisempi	←	sementin hydratoituminen	→	epätäydellisempi
suurempi	←	betonin kapillaarihuokosten määrä	→	pienempi
	←	kalkkihärme		
		kovettumislämpötila	→	alhaisempi
100 % ja < 70 %	←	kovettumiskosteuspitoisuus	→	80–90 %

¹⁾ sauvatärytys pystyrakenteissa

5.4 Seinäelementit

Sementtipohjaisilla paikkausaineilla paikattavia kohtia esikastellaan huolellisesti sumuttamalla vettä paikattaviin kohtiin vähintään kolme kertaa päivässä. Esikastelu aloitetaan paikkausta edeltävänä päivänä. Esikastelua ei tehdä käytettäessä polymeeripohjaista paikkauslaastia. (Ratu 0406, 2012.)

Käytettävän betonilaastin suurin raekoko saa olla enintään kolmasosa paikkauskerroksen paksuudesta. Sekoitukseen käytetään puhdasta vettä sekä puhtaita astioita. Sekoituksessa käytetään matalakierroksista porakonevispilää, ja osa-aineet sekoitetaan keskenään valmistajan ohjeiden mukaisesti. Valmiiksi annosteltuja pakkauksia käytetään mahdollisuuksien mukaan. Paikkauslaastia sekoitetaan vain työstettyvuorajan aikana käytettävä määrä. (Ratu 0406, 2012.)

Paikattavan kohdan tulee olla tumma kosteudesta. Sementtipohjaisella paikkauslaastilla paikattaviin kohtiin levitetään sementtipohjainen tartuntalaastikerros voimakkaasti ristiin harjaten. Polymeeripohjaisella paikkauslaastilla paikattavan betonipinnan tulee olla puhdas ja kuiva. Tartuntapintaan sivellään valmistajan ohjeiden mukainen tartunta-aine. (Ratu 0406, 2012.)

5.4.1 Paikkaukset ilman muottia

Pienet kolot täytetään paikkauslaastilla käyttämällä apuna esimerkiksi lastaa. Pysytynnojen paikkaus aloitetaan alareunasta. Täyttökerrokseen ei saa jäädä esimerkiksi onkaloita, suuria huokosia tai koloja. Suurissa täyttöpaikkauksissa kosteutettuun, paikattavaan kohtaan lyödään niin kutsutut kynnet täyttöä edeltävänä päivänä tartunnan varmistamiseksi. (Ratu 0406, 2012.)

Ensimmäinen täyttökerros jätetään pinnaltaan karkeaksi ja kerroksen annetaan sitoutua 2–4 tuntia. Seuraavat täyttökerrokset tehdään ”märkänä märälle” -periaatteella. (Ratu 0406, 2012.)

Paikan pinta viimeistellään leikkaamalla ylimääräinen laasti pois laudalla, lastalla tai tasaamalla pintasiemenellä. Jos alkuperäistä muottilaudoitusta mukailten halutaan

vastaava kuvio, se tehdään painamalla paikkauskohtaa kevyesti lautamuotilla. Tuoretta paikkaa ei hierretä. (Ratu 0406, 2012.)

5.4.2 Paikkaukset muottia käyttäen

Ennen paikkausta muotteja ja betonipintoja kostutetaan siten, että pinnat ovat kosteat, mutta eivät liian märät. Muotti ankkuroidaan piikatun kolon takaseinämään esimerkiksi kiila- tai lyöntiankkureilla. Jos paikattavan kolon korkeus on < 800 mm, muotti jaetaan osiin siten, että täyttö voidaan tehdä 250–300 millimetrin kerroksina.

Muottien sovitukset on tarkastettava ennen työn aloittamista. Leveän kolon muottiin voidaan asentaa työn aikana kiripuita, jotka poistetaan työn aikana. Paikka tiivistetään tärysauvalla. Tärysauva pidetään mahdollisimman pystysuorassa tärytyksen aikana. Tärytysaika on noin 6–7 min/m.

Tiivistys on riittävä, kun pinta on tasoittunut, eikä ilmakuplia enää nouse pintaan. Kun paikkauslaasti on sitoutunut riittävästi, muotit voidaan purkaa. Puretut muotit puhdistetaan välittömästi purun jälkeen ja ne käytetään tarvittaessa uudelleen.

Kun paikkaus on sitoutunut riittävästi muottien purkamisen jälkeen, paikkaus tasataan valmiin pinnan tasoon. Tasausta tehdään esimerkiksi piikkaamalla ylhäältä alaspäin. Pinta hiotaan tai hierretään vastaamaan pinnan laatuvaatimuksia.

Puuhjurit kiinnitetään paikattavan rakenteen alapintaan muovitulpparuuveilla tai kiila-ankkureilla tarvittavan paikkauskerroksen mukaan. Elementin päälle levitetään valumaton paikkauslaasti. Elementin reunoissa voidaan käyttää kehikkoa paikan paksuuden mukaan paikkauslaastin määrän arvioimiseksi. Muottielementti kiinnitetään paikoilleen ruuveilla ohjureihin joka kulmasta. (Ratu 0406, 2012.)

5.5 Ontelolaatat

Jos laatastolle on tulossa pintavalu, saumat jätetään noin 20 millimetriä vajaaksi pintabetonin tartunnan parantamiseksi. Jos laatastolle tulee pintatasoite, saumat pumpataan täyteen ja niiden pinnat tasataan lastalla. Jos saumat jäävät vajaiksi,

pintatasoitteen tapauksessa saumat pitää täyttää jälkitöinä. (Elementtien asennus 2010.)

6 TYÖNJOHTAJIEN PÄTEVYYDET

Betonirakenteiden työnjohtajan pätevyys perustuu maankäyttö- ja rakennuslakiin sekä sitä täydentävään lakiin. Täydentävä laki; ympäristöministeriön ohje rakentamisen työnjohtotehtävien vaativuusluokista ja työnjohtajien kelpoisuudesta YM4/601/2015. Jos rakennuslupaa edellyttävä rakennustyö tai jokin sen osa on vaativa, lain 122 a §:n mukaan rakennusvalvontaviranomainen voi rakennusluvassa, aloituskokouksessa tai erityisestä syystä rakennustyön aikana määrätä, että rakennustyössä on oltava myös muiden erityisalojen työnjohtajia. Betonirakenteiden työnjohtajan pätevyyttä voidaan hyödyntää myös hankkeissa, joissa ei sovelleta maankäyttö- ja rakennuslakia. Tällaisia ovat esimerkiksi silta- ja infrarakennushankkeet. (L 17.01.2014/122)

Rakennustyön johtotehtävien vaativuusluokat ympäristö- ja rakennuslain 122 b §:n mukaan ovat

- vähäinen
- tavanomainen
- vaativa
- poikkeuksellisen vaativa. (L 17.01.2014/122)

Poikkeuksellisen vaativassa työnjohtotehtävässä työnjohtajan kelpoisuusvaatimuksena on kyseiseen tehtävään soveltuva, rakentamisen tai tekniikan alalla suoritettu korkeakoulututkinto tai aiempi sitä vastaava tutkinto sekä lisäksi riittävä kokemus ja hyvä perehtyneisyys kyseisen alan vaativissa työnjohtotehtävissä. (L 17.01.2014/122)

Vaativassa työnjohtotehtävässä kyseiseen tehtävään soveltuvalla henkilöllä on oltava rakentamisen tai tekniikan alalla suoritettu korkeakoulututkinto, aiempi ammattillisen korkea-asteen tutkinto tai sitä vastaava tutkinto. Myös aiempi teknikon tai sitä vastaava tutkinto hyväksytään. Kun otetaan huomioon rakennuskohteen laatu ja tehtävän vaativuus, tehtävään soveltuvalla henkilöllä tulee myös olla riittävä kokemus ja perehtyneisyys kyseisen alan työnjohtotehtävissä. (L 17.01.2014/122)

Tavanomaiseen työnjohtotehtävään soveltuu henkilö, jolla on rakentamisen tai tekniikan alalla suoritettu ammattikorkeakoulututkinto tai aiempi ammattillisen korkea-

asteen tutkinto tai sitä vastaava tutkinto. Myös aiempi teknikon tai sitä vastaava tutkinto tai muuten osoitetut vastaavat tiedot hyväksytään. Kun otetaan huomioon rakennuskohteen laatu ja tehtävän vaativuus, tehtävään soveltuvalla henkilöllä tulee olla riittävä kokemus rakennusalalla. (L 17.01.2014/122)

Vähäisessä työnjohtotehtävässä voi toimia henkilö, jolla ei ole edellä mainittua tutkintoa, mutta jolla muutoin voidaan katsoa olevan tehtävään tarvittavat edellytykset. (L 17.01.2014/122)

Alle on koottu kolme FISE:n pätevyyttä betonirakenteisiin liittyen. Betonielementtien asennustyönjohtaja sekä betonirakenteiden työnjohtaja ovat rakennuslakiin perustuvia pätevyksiä. Valmisbetonityönjohtaja on tarvelähtöinen pätevyys. Kaikki pätevydet ovat voimassa 7 vuotta, jonka jälkeen ne ovat uusittavissa kevennetyllä menettelyllä. (FISE [Viitattu 16.3.2020].)

6.1 Betonielementtien asennustyönjohtaja

Pätevyysluokkia ovat

- tavanomainen
- vaativa
- poikkeuksellisen vaativa. (FISE [Viitattu 16.3.2020], betonielementtien asennustyönjohtaja.)

6.1.1 Koulutus

Koulutusvaatimus koostuu tutkinnosta, opinnoista ja pätevyyskoulutuksesta. Vaadittava tutkinto on maankäyttö- ja rakennuslain 122 c §:n Työnjohtajan ja erityisalan työnjohtajan kelpoisuusvaatimukset mukainen. Opintovaatimukset ovat Ympäristöministeriön ohjeen YM4/601/2015 ja FISE:n siihen tekemien lisämääritysten mukaisia. (FISE [Viitattu 16.3.2020], betonielementtien asennustyönjohtaja.)

Opinnot voivat sisältää sekä tutkinnossa että sitä täydentävissä koulutuksissa suoritettuja opintoja. Tutkinto- ja opintovaatimukset ovat esitetty taulukossa 7. (FISE [Viitattu 16.3.2020], betonielementtien asennustyönjohtaja.)

Taulukko 7. Betonielementtien asennustyönjohtajan tutkinto- ja opintovaatimukset pätevyysluokittain. (FISE [Viitattu 16.3.2020], betonielementtien asennustyönjohtaja.)

LUOKKA	TUTKINTO	OPINNOT
Tavanomainen	Kyseiseen työnjohtotehtävään soveltuva, rakentamisen tai tekniikan alalla suoritettu ammattikorkeakoulututkinto tai vastaava aiempi tutkinto, joka on vähintään tekniikan tasoinen taikka on hankkinut muuten osoitetut vastaavat tiedot.	Kyseistä työnjohtotehtävää käsittelevät opintosuoritukset.
Vaativa	Kyseiseen työnjohtotehtävään soveltuva, rakentamisen tai tekniikan alalla suoritettu korkeakoulututkinto tai vastaava aiempi tutkinto, joka on vähintään tekniikan tutkinnon tasoinen.	Kyseistä työnjohtotehtävää käsittelevät opintosuoritukset sisältäen: <ul style="list-style-type: none"> • rakenteiden mekaniikkaa (väh. 7 op) • betonirakentamista ja betonirakenteita (väh. 5 op)
Poikkeuksellisen vaativa	Kyseiseen työnjohtotehtävään soveltuva, rakentamisen tai tekniikan alalla suoritettu korkeakoulututkinto tai vastaava aiempi tutkinto, joka on vähintään insinöörin tutkinnon tasoinen.	Kyseistä työnjohtotehtävää käsittelevät opintosuoritukset sisältäen: <ul style="list-style-type: none"> • rakenteiden mekaniikkaa (väh. 7 op) • betonirakentamista ja betonirakenteita (väh. 5 op)

6.1.2 Työkokemus

Betonirakenteiden asennustyönjohtajan pätevytyymiseen vaadittava työkokemus vastaa maankäyttö- ja rakennuslain 122 c §:ssä Työnjohtajan ja erityisalan työnjohtajan kelpoisuusvaatimukset esitettyjä työkokemusvaatimuksia. Työnjohtokokemuksen arvioinnin lähtökohtana on Ympäristöministeriön ohje YM4/601/2015. Työkokemusvaatimukset ovat esitetty taulukossa 8. (FISE [Viitattu 16.3.2020], betonielementtien asennustyönjohtaja.)

Taulukko 8. Betonielementtien asennustyönjohtajan työkokemusvaatimukset pätevyysluokittain. (FISE [Viitattu 16.3.2020], betonielementtien asennustyönjohtaja.)

LUOKKA	TYÖKOKEMUS
Tavanomainen	<p>Riittävä kokemus rakennusalalla rakennuskohteen laatu ja tehtävän vaativuus huomioon ottaen.</p> <p>1 vuoden kokemus työnjohtotehtävistä sisältäen betonielementtirakennekohteita.</p>
Vaativa	<p>Riittävä kokemus ja perehtyneisyys kyseisen alan työnjohtotehtävissä rakennuskohteen laatu ja tehtävän vaativuus huomioon ottaen.</p> <p>Vähintään 3 vuoden kokemus betonirakenteiden työjohtotehtävistä, jonka on sisällettävä vähintään 2 vuotta betonielementtien asentamisen työnjohtotehtäviä ja vähintään 1 vuosi betonityönjohtotehtäviä vaativassa luokassa. 1 vuosi voidaan korvata tavanomaisen tai vaativan luokan teräs- tai puurakenteiden työnjohtokokemuksella.</p>
Poikkeuksellisen vaativa	<p>Riittävä kokemus ja hyvä perehtyneisyys kyseisen alan vaativista työnjohtotehtävistä.</p> <p>Vähintään 5 vuoden kokemus betonielementtien asentamisen työjohtotehtävistä, jonka on sisällettävä vähintään 2 vuotta vaativan luokan kohteita, jotka ovat lähellä poikkeuksellisen vaativan luokan tasoa. 2 vuotta voidaan korvata vaativan tai poikkeuksellisen vaativan luokan teräs- tai puurakenteiden työnjohtokokemuksella.</p>

6.2 Betonirakenteiden työnjohtaja

Betonirakenteiden työnjohtajan pätevyys perustuu maankäyttö- ja rakennuslakiin sekä sitä täydentävään ympäristöministeriön ohjeeseen. Ympäristöministeriön ohje rakentamisen työnjohtotehtävien vaativuusluokista ja työnjohtajien kelpoisuudesta YM4/601/2015. Lain 122 a §:n mukaan, jos rakennuslupaa edellyttävä rakennustyö tai osa siitä on vaativaa, rakennusvalvontaviranomainen voi määrätä, että rakennustyössä on oltava ko. erityisalan työnjohtaja. (FISE [Viitattu 16.3.2020], Betonirakenteiden työnjohtaja.)

Betonirakenteiden työnjohtajan pätevyyttä voidaan hyödyntää myös hankkeissa, joissa ei sovelleta maankäyttö- ja rakennuslakia. Tällaisia ovat esimerkiksi silta- ja infrarakennushankkeet. (FISE [Viitattu 16.3.2020], Betonirakenteiden työnjohtaja.)

Pätevyysluokkia ovat

- tavanomainen
- vaativa
- poikkeuksellisen vaativa. (FISE [Viitattu 16.3.2020], Betonirakenteiden työnjohtaja.)

6.2.1 Koulutus

Koulutusvaatimus koostuu tutkinnosta ja opinnoista. Vaadittava tutkinto on maankäyttö- ja rakennuslain 122 c §:n Työnjohtajan ja erityisalan työnjohtajan kelpoisuusvaatimukset mukainen. Opintovaatimukset ovat Ympäristöministeriön ohjeen YM4/601/2015 ja FISE:n siihen tekemien lisämääritysten mukaisia. Opinnot voivat sisältää sekä tutkinnossa että sitä täydentävissä koulutuksissa suoritettuja opintoja. Tutkinto- ja opintovaatimukset ovat esitetty taulukossa 9. (FISE [Viitattu 16.3.2020].)

Taulukko 9. Betonirakenteiden työnjohtajan tutkinto- ja opintovaatimukset pätevyysluokittain. (FISE [Viitattu 16.3.2020], Betonirakenteiden työnjohtaja.)

LUOKKA	TUTKINTO	OPINNOT
Tavanomainen	Kyseiseen työnjohtotehtävään soveltuva, rakentamisen tai tekniikan alalla suoritettu ammattikorkeakoulututkinto tai vastaava aiempi tutkinto, joka on vähintään tekniikon tasoinen. Taikka on hankinnut muuten osoitetut vastaavat tiedot.	Kyseistä työnjohtotehtävää käsittelevät opintosuoritukset, joiden yhteismäärä on vähintään 50 op: <ul style="list-style-type: none"> • opinnot rakennustekniikassa sisältäen rakenteiden mekaniikkaa (väh. 4 op), betonirakentamista ja betoniteknologiaa (väh. 7 op), rakennusfysiikkaa (väh. 3 op) • rakentamisen työmaa- ja tuotantotekniikassa (väh. 8 op) • projektinhallinnassa ja -johtamisessa, aikataulusuunnittelussa sekä hanketaloudessa (väh. 8 op)
Vaativa	Kyseiseen työnjohtotehtävään soveltuva, rakentamisen tai tekniikan alalla suoritettu korkeakoulututkinto tai vastaava aiempi tutkinto, joka on vähintään tekniikon tutkinnon tasoinen.	Kyseistä työnjohtotehtävää käsittelevät opintosuoritukset, joiden yhteismäärä on vähintään 60 op: <ul style="list-style-type: none"> • opinnot rakennustekniikassa sisältäen rakenteiden mekaniikkaa (väh. 7 op), betonirakentamista ja betoniteknologiaa (väh. 10 op), rakennusfysiikkaa (väh. 3 op) • rakentamisen työmaa- ja tuotantotekniikassa (väh. 10 op) • projektinhallinnassa ja -johtamisessa, aikataulusuunnittelussa sekä hanketaloudessa (väh. 10 op)
Poikkeuksellisen vaativa	Kyseiseen työnjohtotehtävään soveltuva, rakentamisen tai tekniikan alalla suoritettu korkeakoulututkinto tai vastaava aiempi tutkinto, joka on vähintään insinöörin tutkinnon tasoinen.	Kyseistä työnjohtotehtävää käsittelevät opintosuoritukset, joiden yhteismäärä on vähintään 70 op: <ul style="list-style-type: none"> • opinnot rakennustekniikassa sisältäen rakenteiden mekaniikkaa (väh. 10 op), betonirakentamista ja betoniteknologiaa (väh. 15 op), rakennusfysiikkaa (väh. 3 op) • rakentamisen työmaa- ja tuotantotekniikassa (väh. 12 op) • projektinhallinnassa ja -johtamisessa, aikataulusuunnittelussa sekä hanketaloudessa (väh. 12 op)

6.2.2 Työkokemus

Betonirakenteiden työnjohtajan pätevytyymiseen vaadittava työkokemus vastaa maankäyttö- ja rakennuslain 122 c §:ssä Työnjohtajan ja erityisalan työnjohtajan kelpoisuusvaatimukset esitettyjä työkokemusvaatimuksia. Työnjohtokokemuksen arvioinnin lähtökohtana on Ympäristöministeriön ohje YM4/601/2015. Työkokemusvaatimukset ovat esitetty taulukossa 10. (FISE [Viitattu 16.3.2020], Betonirakenteiden työnjohtaja.)

Taulukko 10. Betonirakenteiden työnjohtajan työkokemusvaatimukset pätevyys luokittain. (FISE [Viitattu 16.3.2020], Betonirakenteiden työnjohtaja.)

LUOKKA	TYÖKOKEMUS
Tavanomainen	Riittävä kokemus rakennusalalla rakennuskohteen laatu ja tehtävän vaativuus huomioon ottaen. 1 vuoden kokemus työnjohtotehtävistä sisältäen betonirakennekohteita.
Vaativa	Riittävä kokemus ja perehtyneisyys kyseisen alan työnjohtotehtävissä rakennuskohteen laatu ja tehtävän vaativuus huomioon ottaen. Vähintään 3 vuoden kokemus betonirakenteiden työnjohtotehtävistä, josta 1 vuosi vaativassa luokassa. Valmisbetonilaitoksessa kertyneestä työnjohtokokemuksesta otetaan huomioon enintään 1 vuosi. Betonirakenteita koskevasta tutkimus-, kehitys- ja opetustyöstä, rakentamisen valvomisesta tai rakennuttamisesta kertynyt työkokemus otetaan huomioon soveltuvin osin.
Poikkeuksellisen vaativa	Riittävä kokemus ja hyvä perehtyneisyys kyseisen alan vaativista työnjohtotehtävistä. Vähintään 5 vuoden kokemus vähintään vaativista betonirakenteiden työnjohtotehtävistä sisältäen kohteita, jotka ovat lähellä poikkeuksellisen vaativan luokan tasoa. Valmisbetonilaitoksessa kertyneestä työnjohtokokemuksesta otetaan huomioon enintään 1 vuosi. Betonirakenteita koskevassa tutkimus-, kehitys- ja opetustyöstä, rakentamisen valvomisesta tai rakennuttamisesta kertynyt työkokemus otetaan huomioon soveltuvin osin.

6.3 Valmisbetonityönjohtaja

Valmisbetonityönjohtaja on alan tarvelähtöinen pätevyys. Valmisbetonityönjohtaja vastaa joko työmaalle kuljetettavan tai elementtien valmistukseen käytettävän betonin valmistuksesta, betonille asetettujen laatuvaatimusten saavuttamisesta ja tarvittaessa valmisbetonin käyttäjän tarvitsemista tiedoista. Pätevyys vastaa esimerkiksi Inspecta Sertifiointi Oy:n tuoteryhmäohjeessa TR14 vaadittua pätevyyttä. (FISE [Viitattu 16.3.2020], valmisbetonityönjohtaja.)

6.3.1 Koulutus

Tutkintona edellytetään kyseiseen työnjohtotehtävään soveltuvaa rakentamisen alalla tai muun soveltuvan tekniikan alalla suoritettua tutkinto, joka on vähintään rakennusmestari (AMK), insinööri (AMK) tai vastaava aiempi insinöörin tai teknikon tutkinto. Tutkinnon ja täydentävien opintojen tulee sisältää vähintään 15 op betoni-rakentamisesta ja –teknologiaa. (FISE [Viitattu 16.3.2020], valmisbetonityönjohtaja.)

6.3.2 Työkokemus

Valmisbetonityönjohtajalta edellytetään vähintään 2 vuoden monipuolista työkokemusta betonin valmistuksesta tutkinnon suorittamisen jälkeen. Työkokemukseen lasketaan mukaan viimeisen 7 vuoden työtehtävät. Työmaalla tai elementtitehtaalla betonitöiden johtamisesta hankitusta työkokemuksesta voidaan ottaa huomioon enintään puolet. Kokemusta valmisbetonin valmistuksesta ja laadunvalvonnasta edellytetään yhteensä vähintään yksi vuosi. (FISE [Viitattu 16.3.2020], valmisbetonityönjohtaja.)

7 KÄYTÄNNÖN MENETELMÄT

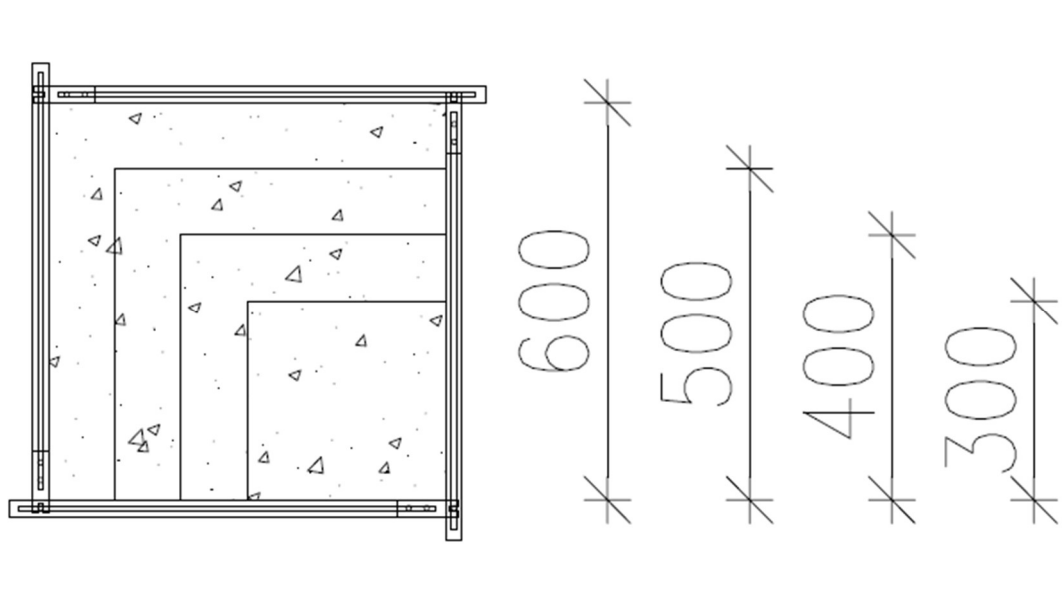
7.1 Muottien valinta pilarien alusvalamiseen

Rakennuksissa, joissa on paljon pilarien alusvaluja, käytettävä muottikalusto tulee valita kustannuksien, pinnan laadun sekä muotittamiseen käytettävän ajan perusteella.

Teräsmuotin etuna on pinnan laatu ja muotittamiseen kuluva aika, mutta se on kustannuksissa lautamuottia kalliimpi. Teräsmuoteilla pinnasta tulee sileää, tasalaatuinen ja pinnaltaan vaalea. Kun teräsmuotilla valetaan, riskinä on, että pinnasta tulee huokoinen. Tämä johtuu siitä, että materiaali ei ime betonista vettä eikä ilmaa. Alusvalut ovat kuitenkin korkeudeltaan todella matalia valuja, joten pinnan huokoistumista tuskin tapahtuu.

Teräsmuoteilla käyttökertojen lukumäärä on suuri, joten hyvin suunnitelluilla ja valmistetuilla muoteilla pystytään valamaan koko rakennuksen pilarit. Esimerkkinä Platinan kohde, jossa on noin 1200 pilaria. Jos muotteja valmistetaan 22 pilaria kohden, muoteille käyttökertamääräksi tulee vähintään 55 käyttökertaa.

Teräsmuotit tulee suunnitella siten, että niillä pystytään valamaan erikokoisia pilareita. Kuviossa 10 on periaate muorin muunneltavuudesta.



Kuvio 11. Pilarimuottien periaatepiirustus.

Teräsmuottien huonoja puolia ovat niiden kalleus, muunneltavuus korkeussuunnassa ja mahdollinen ruostuminen. Vaikka pilarien muotittamiseen käytettäisiin teräsmuotteja, voi olla, että kaikkia pilareita ei pysty valamaan teräsmuoteilla alustan korkeuseroista johtuen. Työmaan onkin hyvä varautua myös esimerkiksi vanerilla. Teräsmuottien käytettävyyttä tulee varmistaa tapauskohtaisesti.

7.2 Saumabetoni

Kun saumabetonia valitaan, tulee huomioida lämpötila, betonin notkeus ja kerroksien kuormittaminen. Erityisesti talviolosuhteissa betonin lujuudenkehitystä tulee tarkkailla.

Saumavalujen lujuudenkehitystä pystyy arvioimaan sauman lämpötilan ja lujuudenkehityskäyrästä avulla tai Finnsementin lujuuslaskurin avulla. Saumavaluja tehtäessä alle 5 °C lämpötilassa tulee aina käyttää talvibetonilaatuja. Kuumabetonin käyttö saumavaluissa ei ole mahdollista talviaikaan, sillä rakenne on massiivinen ja vaikeasti eristettävissä. Tämän vuoksi saumamassa jäähtyy erittäin nopeasti, ja betoni jäätyy ennen jäätymislujuutta 5 MPa.

Betonin lujuusluokan korottaminen ja nopeasti kovettuvan sementin käyttö ovat lujuudenkehityksen nopeuttamiseen helpoimpia keinoja työmaalla. Saumoihin on mahdollista asentaa lämmityskaapelit.

Ontelolaattojen saumoissa kaapelia kuluu todella paljon, mikä myös maksaa paljon. Esimerkiksi 85 metrin kaapelikela maksaa noin 100 euroa. Kaapelien asennuksessa sauma täytyy pumpata ensin puoleenväliin. Tämän jälkeen kaapeli asennetaan saumaan, joka taas valetaan täyteen. Betonin nimellislujuus tulee olla vähintään 60 % ennen tukirakenteiden purkamista, ellei suunnitelmissa mainita muuta.

7.3 Alusvalumassa

Alusvalumassa täytyy olla notkeaa omanpainon avulla tiivistyvää, jolloin valujen täryttäminen jää pois. Myös muottien tulee olla tiiviitä notkean betonin vuoksi.

Kun käytetään notkeita betoneja, muotti voidaan täyttää yhdeltä sivulta. Juotosmassan on hyvä olla paisuvaa. Kun käytetään paisuvaa massaa, se täytyy kaataa muottiin mahdollisimman nopeasti sekoittamisen jälkeen, jolloin sen paisuminen saadaan hyödynnettyä parhaiten. Betoni paisuu 3–8% riippuen paisuttimen annostusmäärästä.

Juotoksissa käytetään betonimassana esimerkiksi Fescon juotosbetoni 600/3 ja talviolosuhteissa Fescon TJB, jolla voidaan työskennellä aina -15 °C lämpötilaan asti. Molemmat tuotteet paisuvat enintään 5 prosenttia.

Ruotsissa pilarien juotoksiin soveltuu esimerkiksi Bemix A3, A3 FF tai Standard. Kaikki edellä mainitut betonit paisuvat enintään 4 prosenttia. Bemix:n FF tuotteilla voidaan työskennellä -10 °C lämpötilaan asti. Kun betonimassaa valitaan, rakenteen tulee täyttää suunniteltu lujuus. Kun betonia käytetään, valmistajan käyttöohjeita tulee noudattaa.

7.4 Jälkitöihin käytettävä menetelmä

Betonielementtirakentamisessa jälkitöiden osuus on suuri ja aikaa vievä työ. Kohteessa, jossa on paljon jälkitöitä, työ on tärkeää aloittaa mahdollisimman nopeasti, jotta kerrokset valmistuvat ennen kuin muut urakoitsijat aloittavat työt kerroksissa. Jälkitöiden aloittaminen kannattaa ajoittaa siten, että työtä tekee oma ryhmä, joka ei kerkeä saavuttamaan rungon asennusta. Täten rungon valmistuttua jälkityöryhmä saavuttaa työt hieman runkoryhmän jälkeen. Kun jälkitöitä tekee oma ryhmä kerros kerrallaan aina valmiiksi saakka, työ on tehokasta ja toistuvaa.

Pilareissa paikattavia kohteita ovat

- alapään liitosvaraukset
- vinotukien kiinnityksien varaukset
- pilarin nostoreikä
- mahdolliset asentamisesta aiheutuneet kolhut.

Alapään liitosvaraukset ja nostoreikä ovat pilareissa suurimmat paikkaustyöt. Niissä käytettävän massan raekokona voidaan käyttää karkeampaa massaa, joka on työstettävyydeltään mukavampi.

Pintaan voi vielä erikseen levittää hienomman tasoitusmassan. Siitä saadaan tasainen ja vaalea käyttämällä pinnassa raekooltaan hienompaa tasoitusmassaa. Laasteja käyttämällä pilarien alapää tulla paikata noin 50 millimetrin kerroksissa, mikä tarkoittaa noin kolmea täyttökertaa. Käytännön esimerkki: paikkaustöissä kierretään 12 pilaria kerralla täyttämällä aina 50 millimetrin kerroksia. Näin kerrokset ehtivät sitoutua. Kolmen täyttökerran jälkeen pinta jätetään hieman vajaaksi ja karheaksi, minkä jälkeen se viimeistellään hienommalla massalla.

Viimeisen karkean täyttökerran jälkeen pinnan tulee antaa kuivua mahdollisimman pitkään ennen viimeistelykerroksen levittämistä. Työpäivän lopuksi kastellaan seuraavan päivän paikattavat elementit, ja aamulla pinnat kostutetaan mattapintaisiksi. Ennen pilarien alapään liitosten paikkaamista peruspulttien riittävä momentti tulee varmistaa.

Pilarien vinotukien kiinnitysten kohdat ovat melko pieniä varauksia, joten siihen soveltuu raekooltaan pieni massa. Nämä kohdat voi paikata samanaikaisesti pilarien alapään viimeistelykerrokseen käytettävällä massalla. Karkeampana massana voidaan käyttää esimerkiksi Fescon korjauslaasti KL (raekoko 1,2 tai 3,0 mm) ja hienompana massana Fescon ylitasoituslaasti YTL (raekoko 0,6 mm).

Ruotsissa paikkauksissa käytetään esimerkiksi Bemix R50 tai Bemix Elementfogbruk ja pinnassa Betongspackel.

Tuote	Puristuslujuus (28vrk) [MPa]		Raekoko [mm]	Paisuus [%]	Alin käyttölämpötila [°C]	Suositeltu valuvahvuus [mm]	Paukkuskoko [kg]	Vesimäärä /25kg [l]	Valmista massaa l/25kg	Rasitusluokat
	+20 °C	-10 °C								
A3	>70	-	4	0 - 4	+5	20 - 100	25	2,9	12,5	XC4/XS3/XD3/ XF4/XA1
A3 FF	>60	>30	4	0 - 4	-10	20 - 150	25	2,9	12,5	XC4/XS3/XD3/ XF4/XA1
STANDARD	>80	-	4	0 - 4	+5	20 - 70	25	3,5	12,5	XC4/XS3/XD3/ XF4/XA1
P3	>60	-	4	0	+5	20 - 150	25	3,25	12,5	XC4/XS2/XD2/ XF1/XA1
FIN	>70	-	1	0	+5	5 - 40	25	4	12,5	XC4/XS3/XD3/ XF4/XA1
S3	>60	-	4	0	+5	20 - 150	25	3,4	12,5	XC4/XS3/XD3/ XF4/XA1
Elementfogbruk	>50	-	4	0	+5	20 - 150	25 / 1000	3,15 - 3,35	12,5	XC4/XF3/XA1
Elementfogbruk FF	>50	>20	4	0	-10	20 - 100	25 / 1000	3,7	12,5	XC4/XF1/XA1
F4	>40	-	1	0	+5	5 - 50	25 / 1000	4	12,5	XC4/XF3/XA1
F4FF	>40	>20	1	0	-10	5 - 50	25 / 1000	4	12,5	XC4/XF3/XA1
High Tech 310	>70	-	1	0 - 1	+5	5 - 40	25	3,75	12,5	XC4/XS3/XD3/ XF4/XA1
High Tech 310 FF	>50	>25	1	0	-10	5 - 40	25	3,75	12,5	XC4/XS3/XD3/ XF3/XA1
R50	>45	-	-	0	+5	5 - 50	25	4,4	12,5	XC4/XF3
Betongspackel	>10	-	-	0	+5	max 15	25	5,5 - 6,5	13,75	-

Kuvio 12. Ruotsissa käytettäviä betoneita. (Bemix [Viitattu 12.3.2020].)

Seinäelementtien paikkauksissa voi käyttää samaa menetelmää riippuen paikattavien varauksien syvyydestä. Tällä menetelmällä työhön tarvitaan vähintään kahta eri massaa. Lisäksi työhön tulee varata riittävä määrä astioita sekä erilaisia tasoituslastoja.

Vesireikien poraus kannattaa tehdä runkoasennuksen aikana, jotta elementeissä oleva kosteus saadaan poistumaan, ja rakenteet pääsevät kuivamaan mahdollisimman pitkään. Jos vesireikien poraus jätetään jälkityöryhmälle, voi olla, että jossain vaiheessa kylmät olosuhteet pilaavat työn rytmitystä.

8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia elementtien saumavaluja ja jälkitöitä. Elementtien saumauksiin ja jälkitöihin tutkittiin erilaisia materiaalivevaihtoehtoja, ja lopuksi työmaalle valittiin parhaiten soveltuvat menetelmät. Työssä käytiin läpi myös talvibetonointi ja lujuudenkehitys, joka on olennainen asia tasojen kuormituksen ja tukirakenteiden purkua ajatellen. Rakennuksen runkojärjestelmästä riippuen työmaalla vallitsevat olosuhteet tulee ottaa huomioon materiaalivalinnoissa.

Opinnäytetyö sisälsi saumabetonin laskentatyökalun, jolla pystytään laskemaan betonimassan määrä ontelo- tai massiivikentälle tai niiden yhdistelmälle. Laskentaohjelman haasteena oli löytää oikea tapa betonimassan laskentaan. Ohjelmasta oli tarkoitus saada mahdollisimman yksinkertainen, minkä vuoksi käyttäjän syöttämien tietojen määrää pyrittiin vähentämään. Laskentaohjelman toimintaperiaate pohjautui Platinan 3D-malliin ja laattoihin.

Ohjelmaa kannattaisi jatkossa kehittää siten, että Teklan työkalut ja ominaisuudet muokataan paremmin tähän käyttötarkoitukseen, koska se helpottaa ohjelman käyttöä ja myös tarkentaa lopputulosta. Lisäksi ohjelmaan voisi lisätä mahdollisuuden laskea esimerkiksi kuorilaattojen saumabetonin määrää.

Laskentaohjelmaa olisi myös hyvä kehittää siten, että sillä pystyttäisiin laskemaan saumabetonin määrä eri maissa, kuten Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Eri maiden välillä valmistetaan eri laattatyyppejä, joten niiden eroavuudet tulee huomioida. Laskentaohjelman tarkkuutta oli tarkoitus verrata käytännön tilanteeseen, mutta sitä ei pystytty tekemään tähän opinnäytetyöhön, joten vertailu jää myöhemmäksi.

LÄHTEET

- Bemix. Ei päiväystä. Produkt. [Verkkosivu]. [Viitattu 12.3.2020]. Saatavana: <https://www.bemix.se/produkt-kategori/bruk/expanderbruk/>
- Betonirakenteiden työmaatoteutus: by 71 RIL 149-2019. 2019. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- Betonitekniiikan oppikirja 2004/by201. 2004. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.
- Betonitekniiikan oppikirja 2018/by201. 2018. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.
- Elementtien asennus. 2010. [Verkkosivu]. Betoniteollisuus Ry. [Viitattu 22.1.2020]. Saatavana: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/elementtien-asennus>
- Fescon. Ei päiväystä. Tuotteet. [Verkkosivu]. [Viitattu 5.4.2020]. Saatavana: <https://www.fescon.fi/tuotteet/kuivabetonit-ja-sementtilaastit/465/talvipystysaumabetoni-tpsb-k40>
- FISE. Ei päiväystä. Työnjohtajat. [Verkkosivu]. [Viitattu 16.3.2020]. Saatavana: <https://fise.fi/patevyysspalvelu/hae-patevyytta/tyonjohtajat/betonirakenteiden-arakentamisesta-vastaava-tyonjohtaja/>
- ITB itsetiivistyväbetoni 2004. Helsinki: Betonikeskus ry, Suomen Betonitieto Oy.
- Johansson, K. & Mannonen, R. 2016. Betoninormit 2016 by 65. Helsinki: Suomen betoniyhdistys ry.
- L 17.01.2014/41
- Rakennustieto. Ei päiväystä. Paikallavaletut betonipinnat. [Verkkosivu]. [Viitattu 28.2.2020]. Saatavana: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK030401.pdf>
- Rakennustieto Oy. 2010. RunkoRYL 2010. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS.
- Rakennustieto. 2012. Ratu 0392. Väli- ja ulkoseinäelementtityö. [Verkkosivu]. Helsinki: [Viitattu 27.2.2020]. Saatavana: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%200392> Vaatii käyttöluvan.
- Rakennustieto. 2012. Ratu 0406. Piikkaus, paikkaus, timanttiporaus ja –sahaus. [Verkkosivu]. Helsinki: [Viitattu 10.3.2020]. Saatavana: https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%200406?external_system=Juha&page=10 Vaatii käyttöluvan.

Rakennustieto. 2012. Ratu 0391. Pilari- ja palkkielementtityö. [Verkkosivu]. Helsinki: [Viitattu 28.2.2020]. Saatavana: https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%200391?external_system=Juha&page=20 Vaatii käyttöluvan.

Rudus Oy. Ei päiväystä. Pakkasbetoni. [Verkkosivu]. [Viitattu 28.3.2020]. Saatavana: https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKewi6sLfw_fPnAhWRmlsKHVt-fAIAQFjAAegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.rudus.fi%2FDownload%2F23826%2FPakkasbetoni.pdf&usg=AOvVaw0e3KmolCz4CjI0PIAqz8nd

Strängbetong. 2015. [Verkkosivu]. Elementtvärsnitt. [Viitattu 13.3.2020]. Saatavana: https://strangbetong.se/wp-content/uploads/2016/01/SE-HDF00-101_4G-2015-11-19.pdf

SFS-EN 1992-2 + A1 + AC Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 2: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Talvibetonointi. 2013. Helsinki: Betoniteollisuus ry, Mittaviiva Oy.

LIITTEET

Liite 1. Saumabetonin laskentaohjelma.