

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma / Korjausrakentaminen ja rakennustuotanto

Sini Saxberg

PAIKALLA VALETTAVIEN BETONIRAKENTEIDEN TYÖMAAOHJEISTUS

Opinnäytetyö 2011

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

SAXBERG, SINI

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Maaliskuu 2011

Avainsanat

Paikallavalettavien betonirakenteiden työmaaohjeistus

35 sivua + 10 liitesivua

Sirpa Laakso

YIT Rakennus Oy

betonityöt, työmaa, betonointi, betoni, työmaaohjeistus

Betoni raaka-aineena vaatii paljon valmistajiltaan ja käsittelijöiltään. Eri rakenteet vaativat eri työmenetelmiä käyttökohteen, sijainnin ja rakenteen mukaan. Betonia työstettäessä betonia pitää *ymmärtää*. Tässä opinnäytetyössä perehdytään paikallavalettavien betonirakenteiden työskentelymenetelmiin, huomioitaviin asioihin ja yleisohjeisiin, joista raottuu betonin syvin olemus.

Onnistunut betonointi normaaleissa olosuhteissa vaatii perusteellista ennakkosuunnittelua, valmistautumista ja huolellista toteutusta. Työmaaolosuhteissa on kyettävä ennakoimaan mahdolliset vastoinkäymiset ja odottamattomat yllätykset. Ongelmien tapahtuessa pitää pystyä reagoimaan ja tekemään pikaisia päätöksiä betonin lyhyen työstettävyyden takia. Betonia valettaessa ei voida aina seurata ohjekirjaa. Pelkästään ongelmattoman betonoinnin toteuttaminen vaatii paljon suunnittelua ja ennakkojärjestelyä. Jo betonoidun rakenteen korjaamiskustannukset ovat hyvin kalliit, kun taas hyvin muotitettu, valettu ja jälkihoidettu betonipinta kelpaa pinnoittamattomanakin toimistotaloihin.

Betonirakenteita tehtäessä joudutaan usein tekemään kompromisseja, ja tämä opinnäytetyö auttaa pääsemään lähemmäksi käytännön betonointia ja tukemaan tulevia työmaatehtäviä.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

SAXBERG, SINI

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

March 2011

Keywords

Guideline to concreting structures in a construction site

35 pages + 10 pages of appendices

Sirpa Laakso

YIT Rakennus Oy

concreting, worksite, concrete,

This bachelor's thesis explores the work methods related to concreting concrete structures at a worksite and the notable facts and instructions. Concrete as a material requires a great amount of planning ahead from the workers and different structures require different methods because of their demanding nature. Instructions and examples in this bachelor's thesis were taken from a wide selection of literature, materials by assorted range of professionals in the concrete industry and from personal experience and discussions with construction professionals.

When working concrete in construction site environment one might find themselves in surprising situations in which one has to apply his accumulated knowledge. A single set of instructions is not enough to understand the effect of different environments on concrete, but with a clear and comprehensive variety of instructions one can avoid the common mishaps associated with worksite concreting. Even a standard concreting requires plenty of planning ahead and organizing.

In construction business, one cannot always rely on "The Manual" but one's own knowledge and applying it in creative ways will help you survive the majority of the concrete work. This bachelor's thesis will provide support and reference for construction professionals, both young and old, when they are in need of written material and clear instructions to complement their practical learning.

ALKUSANAT

Kiitos opastuksesta ja kärsivällisyydestä Kymenlaakson ammattikorkeakoulun opettajille ja YIT Rakennuksen ohjaajille, sekä kannustaville työtovereille.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

1	JOHDANTO	7
1.1	Työn tarkoitus	7
1.2	Aiheen raja	7
2	YIT RAKENNUS OY	8
3	PERUSTIETOA BETONISTA	9
3.1	Raaka-aineet	9
3.1.1	Kiviaines	9
3.1.2	Vesi	9
3.1.3	Sementti	10
3.2	Rakennebetonit	10
3.3	Lujuuskehitys	11
3.4	Rakenneluokat	12
4	PAIKALLA VALETTAVIEN BETONIRAKENTEIDEN TYÖMAAOHJEISTUS	13
4.1	Betonityö	13
4.1.1	Betonointiin valmistautuminen ja betonointisuunnitelma	13
4.1.2	Betonimassan valinta	13
4.1.3	Valunopeus	15
4.1.4	Valmistelevat työtehtävät	16
4.1.5	Muottiin laskeminen betonipumpulla ja valunopeus	17
4.1.6	Tiivistäminen	19
4.1.7	Jälkihoito	21
4.2	Rakenteet	23
4.2.1	Pilarit ja seinärakenteet	23
4.2.2	Laatat ja palkistot	25
4.2.3	Vesitiiviit rakenteet	27
4.3	Talvibetonointi	27
4.3.1	Talvibetonointiin valmistautuminen	28

4.3.2	Betonointi talviolosuhteissa	28
4.3.3	Lämpösuojaus ja lämmittäminen	29
4.3.4	Lujuuden kehitys	30
5.	TARKASTELU JA PÄÄTELMÄT	33
	LÄHTEET	34
	LIITTEET	
	Liite 1. Betonointipöytäkirja	
	Liite 2. Betonointiin valmistautuminen –ohjekortti	
	Liite 3. Betonin laskeminen muottiin –ohjekortti	
	Liite 4. Tiivistys sauvatäryttimellä –ohjekortti	
	Liite 5. Laatat ja palkistot –ohjekortti	
	Liite 6. Pilarit ja seinärakenteet –ohjekortti	
	Liite 7. Vesitiiviit rakenteet –ohjekortti	
	Liite 8. Jälkihoito –ohjekortti	
	Liite 9. Talvibetonointi –ohjekortti	

1 JOHDANTO

1.1 Työn tarkoitus

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää YIT Rakennus Oyj:n ohjekortistoa. Ohjekortistoon kootaan työohjeita eri työvaiheista, joita voi käyttää helposti yrityksen yhteisestä tietokannasta niin työmaa- kuin toimisto-olosuhteissa. Työohjeistuksen tarkoitus on olla laskennan tukena ja vähentää suunnitteluun kuluvaa aikaa sekä työ- ja laatu- virheitä. Vähäinen taustatyö, puutteellinen suunnittelu ja huono perehdytys työtehtävään tekevät mistä tahansa työvaiheesta virhealttiin.

Opinnäytetyössäni teen työmaaolosuhteissa tapahtuvaan rakennebetonointiin ohjeistusta, jonka avulla voidaan saavuttaa rakenteellisesti ja esteettisesti halutut ominaisuudet betonoinnissa ilman korjauksia. Betonirakenteiden korjaaminen on aikaa vievää ja kallista, joten betonirakenteen valun on onnistuttava ensimmäisellä yrittämällä.

1.2 Aiheen rajaus

Rakenteita betonoitaessa tulee huomioida yksityiskohdat niin betonirakenteesta, betonin oikeista ominaisuuksista sekä valmistuksesta raudoituksen tiheyteen, muottiin ja sääolosuhteisiin. Erityisen haasteen opinnäytetyölle asetti aiheen laajuus ja hankala rajaus.

Paikallavalettavien betonirakenteiden työmaaohjeistuksen aluerajaukseksi sovittiin yleisimmin käytössä olevat työskentelymenetelmät, -välineet ja rakenteet, joihin pystytään vaikuttamaan työmaalla tehtävillä päätöksillä ja toteutuksella betonityövaiheessa sekä rakennusmiesten työpanoksella. Työohjeissa syvennytään vain *mekaaniseen suoritukseen*. Toisena rajaavana tekijänä olivat työharjoittelussa saadut henkilökohtaiset kokemukset opinnäytetyön tueksi. Näiden kriteerien pohjalta ohjekortit tehtiin aiheista ”Betonointiin valmistautuminen”, ”Betonin laskeminen muottiin”, ”Tiivistäminen”, ”Jälkihoito”, ”Laatat ja palkistot”, ”Seinät ja pilarit”, ”Vesitiiviit rakenteet” ja ”Talvibetonointi”. Opinnäytetyössä käytetään kuvitteellisia tilanteita, joissa valmisbetoni tulee betonitehtaalta, betoni pumpataan pumppuautolla tai betonimassa lasketaan ränniäutolla, ja rakenteiden muotit ja raudoitukset ovat oletettavasti kunnossa sekä oikein mitoitettu ilman erityisiä vaikeuksia.

2 YIT RAKENNUS OY

YIT Oyj on kansainvälinen yritys, jonka toiminnan lähtökohta on rakentaa, kehittää ja ylläpitää hyvää elinympäristöä. YIT Oyj toimii Pohjoismaiden lisäksi Venäjällä, Baltian maissa ja Keski-Euroopassa. YIT Oyj:n toiminta kattaa niin kiinteistö- rakennus- kuin teollisuudenpalveluita yksityishenkilöille, yrityksille ja julkisyhteisöille. Yritys työllistää noin 23 500 henkilöä 14 eri maassa. Liikevaihto on noin 3,5 miljardia euroa. (9.)

YIT Rakennus Oy pitää sisällään asunto-, talo-, korjaus- ja toimitilarakentamisen, vesi- ja ympäristötekniikan sekä infrapalvelut. Opinnäytetyö on tehty infrapalveluiden rakentamistekniselle osastolle. Rakentamisteknisellä osastolla paikallavalurakentamisella on suuri merkitys ainutlaatuisten kohteiden takia. (9.)

Toimiala	Tarjonta	Toiminta-alue	Asiakkaat
Kiinteistö- ja teollisuuspalvelut 	Kiinteistötökniset palvelut <ul style="list-style-type: none"> Talctekniset ratkaisut Kiinteistöjen talctekniset huollot ja korjaukset Energiansäästö- ja asiantuntijapalvelut Teollisuuden palvelut <ul style="list-style-type: none"> Teknisten järjestelmien ja prosessien projektitoimitukset teollisuudelle Teollisuuden kunnossapito Energiansäästöpalvelut 		Kiinteistötökniset palvelut <ul style="list-style-type: none"> Rakennuttajat ja rakennusliikkeet Kiinteistösjoitattajat ja kiinteistöjen omistajat Kiinteistöpalveluyritykset ja isännöitsijät Julkisyhteisöt Teollisuuden yritykset Teollisuuden palvelut <ul style="list-style-type: none"> Energia-, metsä-, metalli-, prosessi-, elintarvike- ja meriteollisuus
Suomen rakentamispalvelut 	<ul style="list-style-type: none"> Asunnot ja alueet Toimitilanhankkeet Maa- ja vesirakentaminen 		<ul style="list-style-type: none"> Kotitaloudet Kiinteistösjoitattajat ja kiinteistöjen omistajat Toimitilojen käyttäjät Rakennuttajat ja rakennusliikkeet Julkisyhteisöt
Kansainväliset rakentamispalvelut 	<ul style="list-style-type: none"> Asunnot ja alueet Toimitilanhankkeet 		<ul style="list-style-type: none"> Kotitaloudet Kiinteistösjoitattajat ja kiinteistöjen omistajat Toimitilojen käyttäjät

Kuva 1 YIT Rakennuksen toimialat (9.)

3 PERUSTIETOA BETONISTA

Betoni on keinotekoinen kivi. Betonista saa pitkäikäisiä, kestäviä ja muotoiltuja rakenteita. Betoni valmistetaan runkoaineesta, sideaineesta ja vedestä, toisin sanoen sementistä, kiviaineesta ja vedestä. Raaka-aineet suhteutetaan oikeisiin määriin, jotta saavutetaan halutut lujuusominaisuudet. Seokseen voidaan lisätä lisäaineita eri ominaisuuksien parantamiseksi. (1, 8.)

3.1 Raaka-aineet

3.1.1 Kiviaines

Runkoaineena toimii useimmiten kiviaines. Runkoaineena voidaan käyttää mitä tahansa materiaalia, joka on riittävän lujaa, edullista eikä osallistu sementin kemialliseen reaktioon. Suomessa käytetään luonnonkiveä tai kevytsoraa. Betonimassasta noin 65 – 80 % on runkoainetta. (1, 8.)

Kiviaineen käyttöön soveltuvuus määritellään rakeisuuden ja raekoon perusteella. Rakeisuus kertoo runkoaineen painosuhteiden jakautumisen. Raekoko määrittää kiviaineen rakeisuuden ylä- ja alarajat. Sopivan kiviaineen valinta riippuu paljon myös betonin käyttötarkoituksesta; se mikä käy juotosbetoniin, ei todennäköisesti käy lattiabetoniin. Betonin valmistajien tulee huolehtia kiviaineen hyväksynnästä. (1, 8.)

Kiviaineen on oltava puhdasta kiveä ilman orgaanisia aineita, jotka heikentävät betonin ominaisuuksia. Vesi-sementtisuhteessa on otettava huomioon kiven ominaisuus sitoa itseensä kosteutta. (1, 8.)

3.1.2 Vesi

Betonimassassa käytetyn veden tulee olla vesijohtovettä tai juotavaksi kelpaavaa luonnonvettä. Vedessä ei saa olla humusta, sokereita, öljyjä eikä saasteita. Epäpuhtaudet heikentävät betonin ominaisuuksia. (8.)

3.1.3 Sementti

Sideaineena betonissa toimii sementti. Sementin pääraaka-aine on kalkkikivi. Sementti on usein ratkaiseva osa-aine betonissa, koska se luo runkoaineen välille sementtiliiman. Sementti reagoi veden kanssa ja muodostaa sementtiliiman ja kovettuu sementtikiveksi. Sementtilaatu ja lisäaineet määrittävät betonin ominaisuudet. Vesisementtisuhde vaikuttaa betonin lujuuteen ja lujuuskehitykseen. Vesisementtisuhteen saa laskettua veden määrän paino-osina jaettuna sementtimäärään paino-osin, toisin sanoen veden paino suhteessa sementin painoon. Mitä pienempi suhde on, sitä parempi puristuslujuus betonilla on. Sementti vaikuttaa niin betonin kovettumisnopeuteen, sitoutumisaikaan, kemialliseen kestävyYTEEN kuin lämmönkehitykseen. (1, 8)

Sementti luokitellaan sementtistandardin mukaan 5 eri päälajiin koostumuksen perusteella: portlandsementtiin (CEM I), portlandseossementtiin (CEM II), maasuonikuonasementtiin (CEM III), pozzolaseimenttiin (CEM IV) ja seossementtiin (CEM V). Päälajit jaetaan vielä eri sementtilajeihin käytetyn seosaineen ja seosaineen perusteella. Yleisimmin käytetyt rakennusementit ovat yleissementti, rapidsementti, pikasementti, SR-sementti ja valkosementti. (1, 8.)

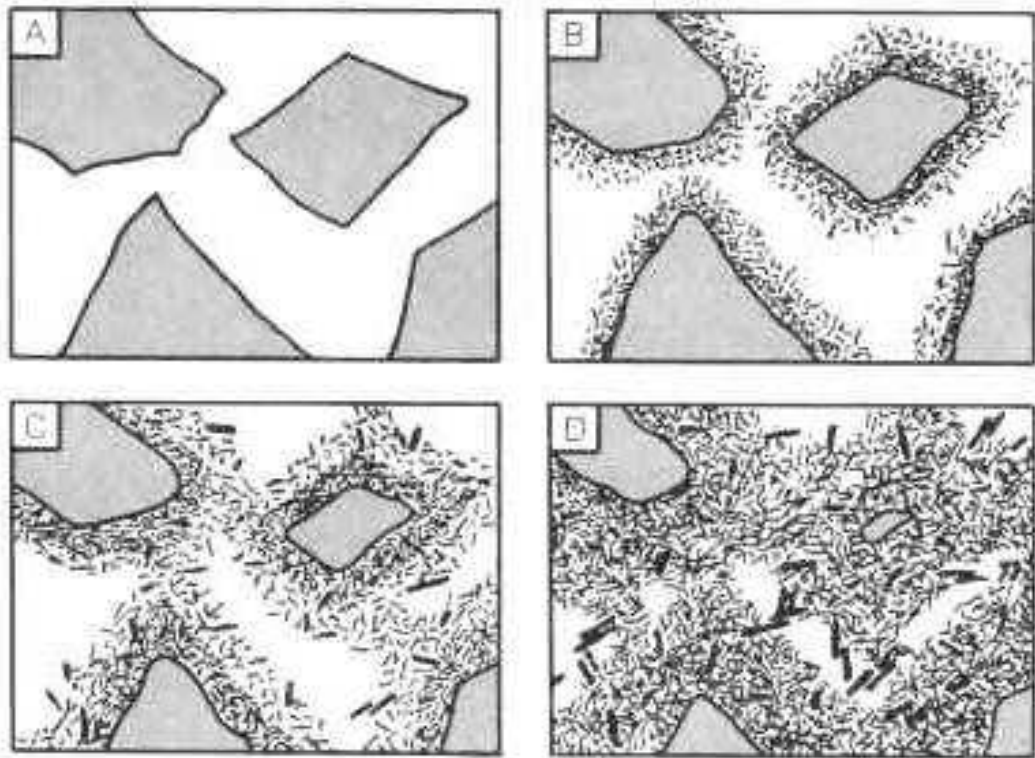
3.2 Rakennebetonit

Yleisimmin käytetyt rakennebetonit ovat normaalisti kovettuva rakennebetoni, nopeasti kovettuva rakennebetoni, hitaasti kovettuva rakennebetoni, seosaineeton rakennebetoni, säänkestävää rakennebetoni, P-lukubetoni ja sulfaatinkestävä rakennebetoni.

Normaalisti kovettuva rakennebetoni on perusbetonia. Se soveltuu kuiviin sisätilojen rakenteisiin, joille ei ole erikoisvaatimuksia. Nopeasti kovettuvaa betonia kannattaa käyttää rakenteissa, joissa tarvitaan nopeaa sitoutumista ja varhaislujuudenkehitystä, esimerkiksi talvibetonoinnissa ja nopeaa muottipurkua vaativissa kohteissa. Hitaasti kovettuva betoni sopii taas kohteisiin, joissa tarvitaan pidempi työstöaika, alhaisempi lämmöntuotto ja hitaampi lujuudenkehitys. Säänkestävä rakennebetoni kestää toistuvaa jäätymistä huokoisuuden takia, mutta vaatii varhaisjälkihoitoa ja säänkestöominaisuudet muuttuvat helposti notkistaessa tai pitkällä työstöajalla. P-lukubetoni sopii toistuvasti jäätyviin rakenteisiin, joihin kohdistuu suolarasituksesta johtuvaa korroosiota. Sulfaatinkestävää massaa käytetään kemiallisesti aggressiivisissa olosuhteissa, kuten teollisuuden tuotantolaitoksissa ja jäteveden puhdistamoissa. (1, 3, 8.)

3.3 Lujuuskehitys

Betonin lopulliseen lujuuteen päästään alkusitoutumisajan, sitoutumisen ja kovettumisen kautta. Alkusitoutumisaika ja sitoutuminen alkavat heti sementin reagoiessa veden kanssa. *Betoni pitää työstää sitoutumisajan puitteissa*, ennen kuin sementtiliima alkaa jähmettyä. Sitoutuminen jatkuu kunnes massa kiinteytyy ja alkaa kovettumaan. Kovettuminen jatkuu niin kauan kun vettä on käytettävissä hydratoitumiseen. Sitoutumisaika riippuu sementin kemiallisesta koostumuksesta ja hienoudesta. Kuvassa 1 on käsitelty sideaineen reagointia ja sementtiliiman kehitystä. (1, 8.)



Kuva 2 Sementin sitoutuminen ja kovettuminen asteittain (Betonitekniikan oppikirja 2004, 8)

- A. Sementtahiukkasia veden ympäröiminä, ei reagointia.
- B. Hydrataatio alkaa ja sementti reagoi veden kanssa, kyse on minuuteista.
- C. Sitoutuminen alkaa kun reaktiotuotteet ovat kiinni toisissaan, tilanne muutaman tunnin päästä sementin ja veden reagoinnista.

D. Hydrataatio jatkuu niin kauan kuin reagoimatonta sementtiä ja vapaata vettä riittää. Kovettuminen voi kestää kuukausia.

Sementtien alkusitoutumisrajat ovat standardien SFS-EN 196-3 mukaan lujuusluokan 52,5 sementissä vähintään 45 minuuttia, lujuusluokan 42,5 sementissä vähintään 60 minuuttia ja lujuusluokan 32,5 sementissä vähintään 75 minuuttia. Lämpötila vaikuttaa sitoutumiseen ja sääntönä voidaan pitää, että kun lämpötila nousee 10 astetta, reaktionopeus puolittuu. (4.)

3.4 Rakenneluokat

Betonirakentaminen jaetaan rakenneluokkiin rakenteiden vaatimuksien perusteella. Vaativammissa rakenteissa edellytetään, että työnjohdolla on tarvittavat pätevyudet valvoa betonointia. Taulukossa 1 on määritelty rakenneluokat rakenteiden vaatimusten ja ominaisuuksien mukaan. 1. luokka on vaativin luokka ja siihen kuuluvat muun muassa jännitetyt rakenteet ja vaativimmat silta- ja siilorakenteet. 1. luokan rakenteita betonoitaessa paikalla tulee olla 1. luokan betonointityönjohtaja. 2. luokka on yleisin rakenneluokka, joka edellyttää 2. luokan betonointityönjohtajan läsnäolon. 3. luokkaan kuuluvat pienet kohteet, esimerkiksi pientalot. 3. luokan betonirakenteissa erillisiä pätevyysä ei tarvita. (1.)

Taulukko 1 Rakenneluokat (4.)

RAKENNELUOKKATAULUKKO (Suomen rakentamismääräyskokoelma B4 Betonirakenteet)		Rakenneluokka
Betonirakenne	Rakenteet ja rakenneosat, joiden suunnittelun katsotaan vaativan erityistä pätevyyttä	1
	Rakenteet ja rakenneosat, joiden valmistaminen niiden rakenteellisen toiminnan valmistamiseksi edellyttää erityistä huolellisuutta	
	Jännitetyt rakenteet	
	Tavanomaisesta poikkeavat suuret tai monikerroksiset elementtirakenteet	
	Rakenteet, joiden suunnittelussa laskelmissa käytetty betonin lujuusluokka on korkeampi kuin K40	
	Muut vaativat betonirakenteet	
	Tavanomaiset rakenteet, joiden suunnittelussa laskelmissa käytetty betonin lujuusluokka on korkeintaan K40	2
Rakenteet, joiden suunnittelussa laskelmissa käytetty betonin lujuusluokka on korkeintaan K20	3	

4 PAIKALLA VALETTAVIEN BETONIRAKENTEIDEN TYÖMAAOHJEISTUS

4.1 Betonityö

Betonointi on paikallavalettavien rakenteiden kannalta tärkein työvaihe. Hyvä ennakkosuunnittelu edistää työn etenemistä. Työntekijöiden osaaminen ja kouluttaminen sekä työskentelyohjeiden noudattaminen vähentävät laatuvirheitä ja korjauskustannuksia.

4.1.1 Betonointiin valmistautuminen ja betonointisuunnitelma

Betonirakenteet ovat pysyviä ja niiden korjaaminen on hankalaa ja kallista, joten betonoinnin tulee onnistua kerralla. Betonointiin valmistaudutaan tekemällä betonointisuunnitelma, valitsemalla oikea massa työtapaan nähden ja suorittamalla betonointia valmistelevat työt. (1.)

Hyvään betonirakentamiseen kuuluu ennakkosuunnittelu. Suunnittelulla vaikutetaan suoraan betonoinnin tekniseen suoritukseen ja taloudellisiin kuluihin, sekä minimoidaan riskit ja virheet. (6.)

Ennen betonointia on tutustuttava suunnitelmiin ja rakennepiirustuksiin, otettava selvää rakenteelle määrätyistä lujuusvaatimuksista ja muista betonille asetetuista erikoisominaisuuksista. Tarvittava kalusto hankitaan ja tarkastetaan, sekä työntekijät perehdytetään oikeaan työskentelytapaan. Rakenteelle määrätään sopiva nousunopeus rakenteen, välineiden ja työkunnan mukaan. (1, 6, 10.)

Betonointiin tulee valmistautua tekemällä betonityösuunnitelma, jossa kerrotaan organisaatio, kohdetiedot, betonille ja laadulle asetetut vaatimukset, työskentelytavat ja erityispiirteet. Betonisuunnitelma voi olla kohdekohtainen, tai rakennekohtainen. Jos rakenne on vaatimukseltaan 1. tai 2. luokan kohde, on betonoitavasta rakenteesta tehtävä betonointipöytäkirja, joista on esimerkkinä liite 1. (10.)

4.1.2 Betonimassan valinta

Betonimassa valitaan sen perusteella, että betonointi voidaan suorittaa käytännöllisin betonointimenetelmin ja täyttää sille asetetut lujuus- ja ominaisuusvaatimukset. Ra-

kennesuunnittelija määrää lujuus-, rakenne- ja rasitusluokan, suojaavan betonipeitteen paksuuden, toleranssit ja pintaluokat. (4.)

Betonilaadun kykyä pysyä tasalaatuisena kutsutaan *koossapysyvyydeksi*. Koossapysyvyys korostuu kuljetustilanteissa ja betonointitöissä. Betonimassa saattaa kuljetuksen tai betonoinnin aikana erottua, toisin sanoen karkea kiviaines painuu pohjaan ja vesi nousee pintaan. Erottumisen välttämiseksi on valittava riittävän jäykkä massa, oikea runkoaineen karkeus ja tarvittavat lisäaineet. Betonitehdas vahtii massojen koossapysyvyyttä. (1.)

Notkeuden valintaan vaikuttavat raudoituksen tiheys, betonointi- ja tiivistysmenetelmät. Notkeus määritellään painuman mukaan ja vaihtelee notkeasta jäykkään massaan. Notkeutta säädellään erilaisin lisäainein, esimerkiksi notkistimin. Taulukossa 2 on määritelty notkeudet uusien notkeusluokkien mukaan. (1, 5.)

Taulukko 2 Betonin notkeusluokat (5.)

Notkeus	Notkeusluokka	Painuma
Nesteytetty	S4	160 - 210 mm
Vetelä	S3	100 -150 mm
Notkea	S2	50 - 90 mm
Jäykkä	S1	10 - 40 mm

Betonimassa tulee tiivistää. Tiivistetty betoni täyttää muotit nurkkiaan myöten ja raudoitteiden ympärille. Betonin tiivistyvyyteen vaikuttavat notkeus, kiviaineksen rakeisuus ja rakenne. Betonimassaa saa myös itsestään tiivistyvänä, jolloin massaa ei tarvitse täryttää erikseen. Tiivistämisestä lisää edempänä. (1.)

Maksimiraekoko valitaan rakenteen mukaan mahdollisimman suureksi halkeilun estämiseksi. Valettaessa kalliota tai työsaumaa vasten voidaan ensimmäinen kuorma ottaa aloitusmassalla. Se on hienorakeisempaa betonimassaa, jonka vesi-sementtisuhde on pienempi kuin varsinaisessa betonoinnissa käytettävä massa. Tämä helpottaa saumakohdan tiivistystä ja tartuntaa sekä ehkäisee betonipumpun letkun tukkeutumista. Taulukossa 3 kuvataan maksimiraekoot eri rakenteiden, kuitenkin pitäen mielessä, että maksimiraekoissa on tapauskohtaisesti otettava huomioon esimerkiksi raudoituksen tiheys. (13.)

Taulukko 3 Runkoaineen maksimiraekoko (4.)

RUNKOAIINEEN MAKSIMIRAEKOKO- TAULUKKO		Runkoaineen suurin raekoko mm						
		4	8	12	16	20	25	32
Rakennusosa	Perustusanturat							X
	Perusmuurit							X
	Seinät							X 1)
	Pilarit							X 1)
	Palkit							X
	Ala-, väli- ja yläpohjaholvit							X
	Litto- ja kuorilaatat							X
	Rakenteen tiheästi raudoitettut alueet				X	(x)		
	Maanvaraiset laatat (paksuus > 120 mm)							X
	Maanvaraiset laatat (paksuus 80...120 mm)				(x)	X	X	
	Kelluvat betonilattiat			(x)	X	(x)		
	Pintabetonivalut (paksuus 60...80 mm)			(x)	X	(x)		
	Pintabetonivalut (paksuus 50...60 mm)			X	(x)			
	Pintabetonivalut (paksuus 45...50 mm)		(x)	X				
	Pintabetonivalut (paksuus < 45 mm)		X					
Elementtien saumaukset	X							

1) Seinien ja pilarien alaosaan suositellaan valettavaksi noin 200 mm kerros betonia, jonka maksimiraekoko on 8 mm.

Betonille on asetettu rakennesuunnitelmissa myös lujuusluokka. Lujuusluokat määräytyvät betonin puristuskestävyyden mitoituslujuuden mukaan. Lujuusluokkaa voidaan kasvattaa, jolloin saavutetaan nopeampi lujuuskehitys. Tämä on eduksi ainakin talvi-betonoinnissa ja jos muotti pitää purkaa nopeassa aikataulussa. (4, 8.)

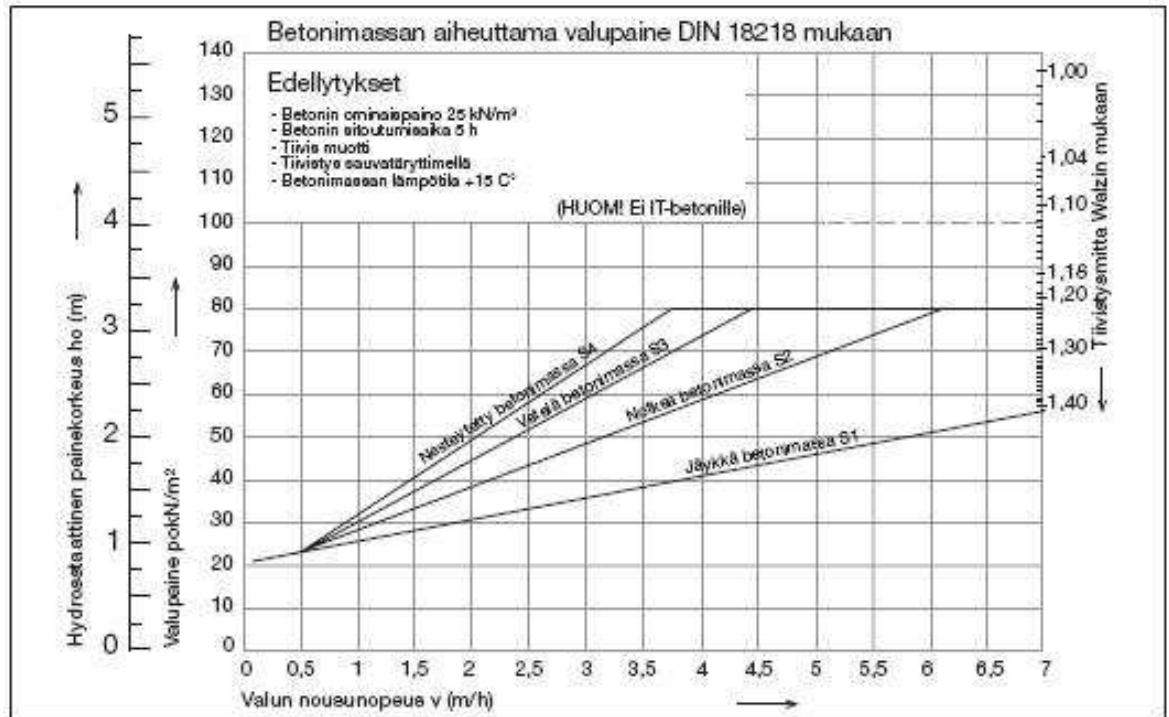
Betonointiin pyritään valitsemaan ominaisuuksiltaan oikea massa virheiden välttämiseksi ja työstettävyyden helpottamiseksi. Kuivumiskutistuvuus minimoidaan tarpeeksi jäykällä massalla ja pintahalkeilua voidaan vähentää pienellä vesisementtisuhteella ja sopivalla täryttämällä. (1, 4, 8, 13.)

4.1.3 Valunopeus

Valunopeuden määrittävät tiivistyskapasiteetti ja muottipaineet. Betonin valunopeuden ollessa liian pieni, betoni ehtii sitoutumaan. Valunopeuden ollessa liian suuri, muottipaineet aiheuttavat muodonmuutoksia, tiivistystyötä ei ehditä toteuttaa, rakenteisiin syntyy painumia ja vesi erottuu betonista suuriksi huokosiksi. Korkeissa rakenteissa siis ei voi välttämättä käyttää täyttä betonipumpun siirtotehoa muottipaineiden takia. Muottipaine vaihtelee riippuen massan notkeudesta, käytetystä sementistä ja li-

sääineistä. Alla olevassa taulukossa 4 on esitetty muottipaineita suhteessa valun nousunopeuteen RIL 149-1995 Betonointityöohjeiden mukaan. (1, 4, 8, 13.)

Taulukko 4 Muottipaineen suhde betonoinnin nousunopeuteen (7.)



Taulukossa 4 käytetty betoni on tehty portlandsementistä ja massa on notkeaa. Notkeammalla massalla betonoitaessa on korkeampi muottipaine, mutta jäykkä massa vaatii enemmän tiivistystä.

4.1.4 Valmistelevat työtehtävät

Muotti on putsattava ylimääräisestä vedestä ja lumesta, koska vesisementtisuhteen kasvaessa betonin laatu heikkenee. Lauta- ja puutavaramuotit kastellaan ennen valua, jotta puu ei ime itseensä liikaa hydratoitumiseen tarkoitettua vettä. Muottielementtejä tai suurmuotteja käytettäessä ne öljytään muottiöljyllä ennen muotin tuplausta. Raudotteet eivät saa öljyyntyä! (11, 13.)

Betonointiin tarvittavien välineiden kunto tarkistetaan: sauvatäryttimet toimivat, tiivistyskapasiteetti on riittävä sekä pinnan tasausvälineet ja hiertovälineet on puhdistettu.

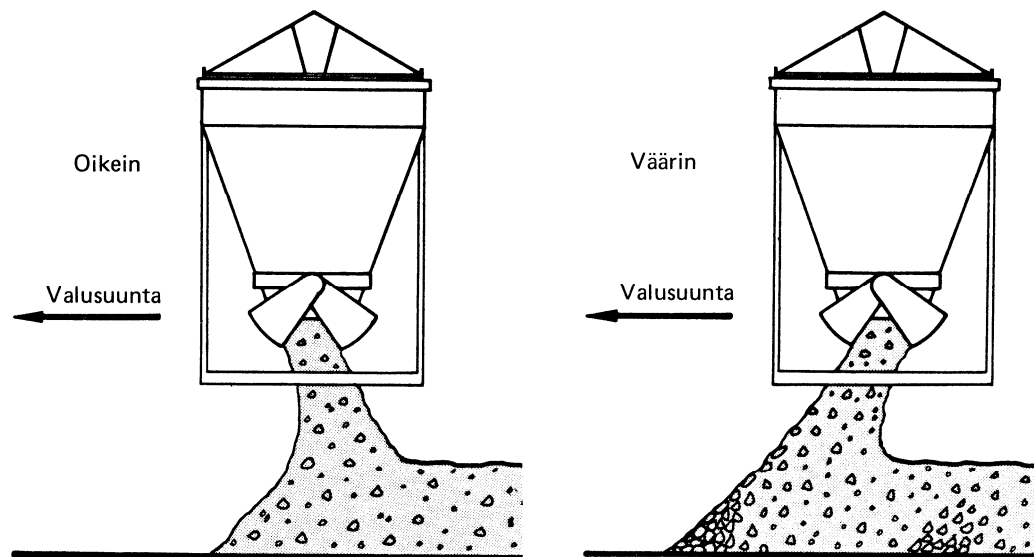
(6.)

Betonipumpun paikka pitää suunnitella valmiiksi ja siistiä. Maaperän pitää olla kantava niin pumpun tukijalkojen kohdilta kuin ajoradaltaan. Betoniautojen on päästävä esteettä pumpun perään, sekä tulee ottaa huomioon, että täydessä kuormassa oleva betoniauto ei välttämättä pääse jyrkkiä mäkiä ylös. Mahdolliset kääntö- tai peruutuspaikat on hyvä ilmoittaa tehtaalle jo toimitusta tilattaessa. (6.)

Kulun betonointipaikalle on oltava esteetön ja turvallinen, sekä tarvittavat kaiteet ja telineet on ehdottomasti asetettu paikalleen. Varsinkin seinä- ja holvivaluissa tehtävä jo muotitus- ja rauditusvaiheessa kunnolliset kaiteet. Jos kaiteiden ja työtasojen asentaminen ei ole mahdollista, mutta putoamisvaara on olemassa, on työ suoritettava turvavaljaat päällä. *Työturvallisuudesta ei saa joustaa.* (5, 11.)

4.1.5 Muottiin laskeminen betonipumpulla ja valunopeus

Betonimassa lasketaan muottiin tasalaatuisina ja ohuina kerroksina. Betonimassa tulee liittää saumattomasti muotissa jo olevaan tuoreeseen betonimassaan täryttämällä. (1.)



Kuva 3 Betonointirintama (8.)

Betonimassan vapaa pudotuskorkeus letkusta muotin pohjalle tai edelliseen betonikerrokseen on pidettävä mahdollisimman pienenä erottumisen välttämiseksi. Betonimassa ei saa iskeytyä muotin seiniin ja raudoitukseen. Pudotuskorkeus saa olla enintään yhdestä metristä puoleentoista metriä. Pystysuorissa valuissa käytetään valusukkaa tai

-suppiloa. Pudotussuunnan on oltava pystysuora. Jos pystysuora pudotussuunta ei ole mahdollinen, suunnataan massan valurintamaa vastaan. Mikäli rakenteessa on betonointia haittaavia varauksia, pitää huolehtia, että betoni saadaan varauksen ympärille kunnolla. Tämä onnistuu muun muassa valuaukoilla tai betonoimalla ainoastaan varauksen toiselta puolelta, kunnes betoni on täyttänyt varauksen alustan ja tulee toiselta sivulta ulos. (1, 8, 13.)

Betonimassa tulee laskea suoraan lopulliselle paikalleen, eikä betonimassaa saa siirtää sauvatäryttimellä. Betoni tulee laskea muottiin valusuuntaa vastaan, kuten kuvassa 3 näkyy. Betonin laskemisjärjestys muottiin tulee suunnitella ennalta ja suunnitelmaa tulee noudattaa. (8.)

Betonikerroksen valukorkeudelle on annettu seuraavat suositukset; vesitiiviissä ja puhtasvalupinnoissa kerroksen valukorkeus saa olla enintään 0,3 metriä kierroksella ja normaaleilla rakenteilla enintään 0,5 metriä kierroksella. Kuvassa 4 betonoidaan vesitiivistä rakennetta, jonka sallittu nousunopeus oli enintään 0,3 metriä kierroksella. Laajoissa alueissa nousunopeus ei saa olla hitaampi kuin 0,1 metriä tunnissa, jotta edellinen kerros ei ehdi jähmettyä. (1, 8, 13.)



Kuva 4 Vesitiiviin rakenteen betonointi (12.)

Valutauot eivät saa venyä niin pitkiksi että edellinen betonikerros ehtii kovettua, ennen toisen kerroksen tiivistämistä. Normaaleissa betoneissa tämä on noin kahdesta

tunnista enintään kolmeen tuntiin. Ulkolämpötila vaikuttaa valutaukoihin. Mitä lämpimämpi ilma on, sitä lyhyemmiksi valutauot muodostuvat. Kesällä on syytä harkita hidastimien käyttöä. (13.)

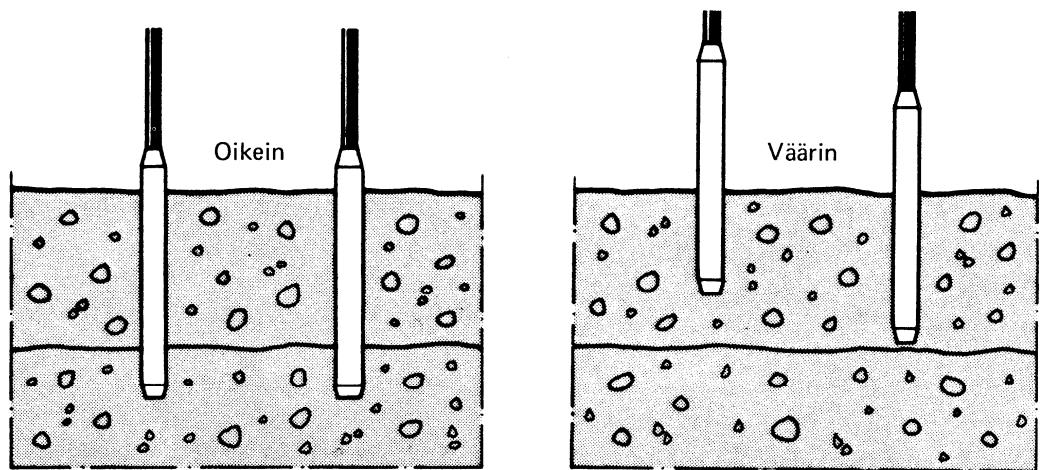
4.1.6 Tiivistäminen

Tiivistämisellä tarkoitetaan sananmukaisesti betonimassan tiivistämistä muottiinsa. Tiivistäminen perustuu betonin ominaisuuteen muuttua juoksevaksi täryttäessä tai sekoittaessa. Tiivistämisen tarkoituksena on poistaa ylimääräinen ilma betonimassasta, täyttää muotti nurkkiaan myöten, tiivistää runkoainerakeet kiinni toisiinsa sekä ympäröidä raudoitteet ja raudoitteiden välit. Tiivistäminen parantaa lujuuden lisäksi säänkestävyyttä ja vaikuttaa ulkonäköön. (13.)

Betonimassan tärytykseen on kehitelty erilaisia täryttimiä, mutta työmaaohjeistuksessa huomioidaan ainoastaan yleisesti käytetty sauvatärytin. Se on laajimmin erilaisiin työtehtäviin ja rakenteisiin sopiva tiivistysväline, joka on helposti ja laajalti saatavilla. Sauvatäryttimen käytetyimmät koot ovat 40 mm:n ja 60 mm:n välillä. (8.)

Sauvatäryttimen käytännön työssä saavutettu tiivistysteho riippuu täryttimen halkaisijasta ja tehosta. Yleisesti käytetty 50 mm halkaisijaltaan oleva tärytin sopii useimpiin seinä-, laatta- ja palkistovaluihin, jos olosuhteet eivät ole poikkeuksellisen ahtaat. Kyseisellä täryttimellä saavutetaan keskimäärin tiivistysteho 3 m³/h. (13.)

Betonoitava alue käydään järjestelmällisesti läpi sauvatäryttimellä. Paras tiivistysteho saadaan, kun sauvatärytin upotetaan betonimassaan *pystyasennossa* omalla painollaan. Sauvan tulee ulottua jo valettuun ja tärytettyyn kerrokseen 100 mm:sta 200 mm:iin, kuten Betonitekniikan oppikirjan kuvassa 5 ilmenee. Pystysuoraan upotetulla sauvalla on paras tiivistysteho, joka ulottuu pystysuunnassa 300 mm:sta 1 000 mm:n alueelle ja vaakasuunnassa 200 mm:sta 600 mm:n alueelle. (1, 8, 13.)



Kuva 5 Tiivistyksen ulottuminen edelliseen valukerrokseen (8.)

Tiheästi raudoitettut kohdat ja nurkat tulee tiivistää erityisellä huolella ilmataskujen varalta. Sauvatärytin tulee ulottaa tarpeeksi syväälle edelliseen valukerrokseen, jottei tule näkyviä sauvoja. Kuvassa 6 on esimerkki kansilaatan ensimmäisen valukerroksen tärytyksestä, jossa on tiheä raudoitus. Sauvatäryttimen osumista raudoitukseen on vältettävä. (13.)

Sauvatärytintä ei saa vetää pinnalla tai poikittaissuunnassa. Tärytys on suoritettava tarpeeksi kaukana betonoitavasta rintamasta, kuitenkin vähintään 1 500 mm:n päässä. (1.)

Tärytyssauva vedetään hitaasti pois massasta, jotta sauvan aiheuttama kolo ehtii sulkeutua. Poistonopeus riippuu massan notkeudesta ja vaihtelee 5 sekunnista 20 sekuntiin, mutta perusmassalle nopeus on noin 40 mm sekunnissa (8 sekuntia 300 mm paksulle kerrokselle). Ohjesääntönä voidaan kuitenkin pitää, että massa vedetään pois hitaammin, kuin se on sinne omalla painollaan uponnut. (13.)

Sauvatäryttimen tärytysväli saa olla maksimissaan kahdeksankertainen suhteessa sauvan läpimittaan. Tämä tarkoittaa, että sauvatiivistimen tärytysväli on 400 mm:n ja 600 mm:n välillä. Pistojen tärytysaika vaihtelee 5 sekunnista jopa 30 sekuntiin, massan notkeuden, muotin ja raudoituksen mukaan. Betonimassaa tarkkaillaan ja kun ilmakuplien nousu ja massan liike ovat loppuneet ja betonin pinta alkanut kostua, on tiivistysaika ollut riittävä. Nesteytettyä massaa käytettäessä tiivistystiheys voidaan jättää puoleen. Notkea ja nesteytetty betonimassa erottuvat herkästi, joten niiden tiivistämisessä on oltava varovainen. (1, 8, 13.)



Kuva 6 Paksun holvilaatan jälkitiivistäminen (12.)

Jälkitiivistyksellä tarkoitetaan jo tiivistetyn betonikerroksen tärytystä uudelleen. Kuvasssa 6 jälkitiivistetään paksun holvilaatan ensimmäistä valukerrosta. Jälkitiivistäminen edistää erottuneen veden ja ilmahuokosten poistumista. Jälkitiivistyksellä saadaan seinävaluissa kerrokset tiivistettyä toisiinsa ja siistit saumat valukerrosten välille. Jälkitiivistys tehdään ennen betonin sitoutumista. (13.)

4.1.7 Jälkihoito

Jälkihoidolla vaikutetaan betonirakenteen pintaosien lujuuteen, tiiviyyteen, kulutuskestävyyteen, pakkasenkestävyyteen ja raudotteiden korroosiosuojaukseen. Jälkihoitoa on kahdenlaista, estetään kosteuden haihtuminen rakenteesta tai tuodaan lisäkosteutta rakenteeseen. (8, 11, 13.)

Jälkihoidon tarve riippuu ulkoilman lämpötilasta, rakenteelle asetetuista vaatimuksista, muista sääolosuhteista ja betonin lujuusluokasta. Lämpimissä olosuhteissa betonin suojaus saatetaan joutua aloittamaan heti betonoinnin loputtua plastisen kutistumis-

halkeilun estämiseksi. Jälkihoidolla ei kuitenkaan voida estää kuivumiskutistumista, mutta pitkällä jälkihoidolla vetolujuuden kehitys auttaa ottamaan kutistuman aiheuttamat jännitykset helpommin vastaan. Tuuli ja ilmankosteus vaikuttavat betonointiin lämpötilan lisäksi. Tuuli jouduttaa lämmönsiirtymistä ja kosteuden haihtumista, kun taas ilman kosteuden ollessa suuri haihtuminen on vähäisempää. (11, 13.)

Jälkihoidon tulee kestää vähintään 3 vuorokautta, mutta pakkaselle alttiita tai muita erityisen rasituksen alaisia rakenteita tulee hoitaa vähintään 7 vuorokautta. (11, 13.)

Muotti itsessään toimii kosteuden haihtumista estävänä jälkihoitona, mutta avoimet pinnat on jälkihoidettava. Jälkihoitona voidaan levittää jälkihoitoaine betonipinnalle, tai perinteisesti kastellaan betonoitu rakenne vedellä ja kastelun lisäksi peitetään rakenne. Betonin vesikastelulla tarjotaan betonin kovettumiselle riittävästi vettä hydratoitumiseen, joten kastelua tulee suosia. Talviolosuhteisiin kastelu ei sovi lämpötilaerojen takia. Kastelu hidastaa betonin kuivumista, joten se ei ole suositeltava pinnoitettaville betonirakenteille. Plastista kutistumishalkeilua estetään levittämällä heti betonoinnin jälkeen muovikalvo, -peite, varhaisjälkihoitoaine tai jälkihoitoaine betonipinnalle heti kun mahdollista. Plastinen halkeama syntyy, kun pinnalta haihtuu vettä, eikä saa enää korvaavaa vettä muusta betonista. Vesikastelu plastiseen halkeiluun on kyseenalaista, koska plastista halkeilua ehkäisevä jälkihoito tulisi tehdä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, kastelulla voidaan pilata tuore betonipinta. (8, 11, 13.)



Kuva 7 Kosteuden tiivistyminen muovikalvon pintaan (12.)

Muovikalvo levitetään betonipinnalle heti, kun se kestää kävelyn tai jo valun aikana jos mahdollista. Saumakohdat teipataan tai muuten on pyrittävä tekemään niistä mahdollisimman tuulitiiviit. Muovikalvo auttaa myös sateeseen, joka voi pilata tuoreen hierretyn pinnan. Kuvassa 7 voi huomata, kuinka betonista vapautuva kosteus on tiivistynyt jälkihoidoksi laitetun muovikalvon pintaan. Jälkihoitoaineiden periaatteena on tehdä betonin pintaan kosteutta läpäisemätön kerros. Varhaisjälkihoitoaine voidaan lisätä betonipintaan heti tasauksen jälkeen, ennen hierontaa. Varsinainen vahamainen jälkihoitoaine levitetään pintaan vasta hierron jälkeen, jotta kalvo jää tiiviiksi. Jälkihoitoaineiden levitys tapahtuu pääasiassa joko ruiskuilla tai teloilla. Jälkihoitoaineiden tehokkuus riippuu paljolti kerrospaksuudesta, levitystavasta ja käytettävästä jälkihoitoaineesta, joten kahden jälkihoitomenetelmän käyttäminen päällekkäin voi olla järkevää. Pinnoitettavien rakenteiden kohdalla kannattaa tarkastaa, joudutaanko jälkihoitoaine poistamaan ennen pinnoitusta. (4, 11.)

4.2 Rakenteet

Eri rakenteissa on omat erikoispiirteensä, jotka tulee huomioida kun aletaan suunnittelemaan betonointia. Laatoissa ja holveissa betonoidaan laajaa pintaa, joka on kosketuksissa ilmaan, kun taas seinä- ja pilarivaluissa rakenne on usein kapea ja korkea. Jokaisessa rakenteessa kuitenkin huomioidaan yleiset betonointiin ja tiivistykseen annetut ohjeet.

4.2.1 Pilarit ja seinärakenteet

Pilari- ja seinärakenteet pyritään betonoimaan ja tiivistämään ylhäältä. Korkeissa rakenteissa pumppuauton letkun päähän on laitettava betonointisukka tai -putki, jotta massan putoamismatka jäisi lyhyeksi ja letkun pää pääsee ongelmitta raudoituksen ohitse. Kuvassa 8 näkyy yli 4 metriä korkean seinän betonointi, jossa käytettiin 3m pitkää metallista valuputkea. Pelkkä valuletku voi jäädä raudoitukseen kiinni liitoskohdistaan. (13.)

Betonimassan maksimiraekoko on 16 mm:n ja 32 mm:n välillä, raudoituksen tiheyden mukaan. Työsaumavalut on hyvä aloittaa betonimassalla, jonka raekoko on pienempi ja massa notkeampi. Tällä tavoin saadaan liitoskohdat tiiviiksi ja siisteiksi. (4, 13.)

Betonimassaa nostetaan kerroksittaisissa erissä. Kerroksen nousukorkeus saa olla enintään 300 mm, mielellään 250 mm:n kerroksessa. Vesitiiviille rakenteille on vielä omat ehtonsa. Betonipumppua käytettäessä tasaiset nousukerrokset ja massan jakaminen voivat tuottaa ongelmia pumpun suuren tehon takia, erityisesti kapeissa seinissä. (13.)

Sauvatäryttimen käyttö kaltevilla rakenteissa ei yleensä riitä, vaan muottitärytin joudutaan ottamaan avuksi. Sauvatäryttimen koko valitaan rakenteen paksuuden, tiivistyskapasiteetin ja raudoituksen tiheyden perusteella. Ahtaissa ja pitkissä seinävaluissa kannattaa varautua pienempien sauvatäryttimien käyttöön ja näin ollen suurempaan mies- ja kalustokapasiteettiin tiivistämisessä. (4, 13.)

Joskus ylhäältä betonointi ja tiivistäminen eivät onnistu olosuhteiden pakosta, esimerkiksi liian tiheän raudoituksen, varausten tai tilan puutteen takia. Näissä tapauksissa voidaan jättää muottiin valu- ja tärytysaukkoja 1–1,5 m:n välein, joista voidaan hoitaa betonimassan laskeminen muottiin ja tiivistäminen. Aukkoihin tulee tehdä etukäteen sopivat tulpat, jotta betonointityö ei häiriinny ja keskeydy vuotojen takia. (13.)



Kuva 8 Valuputken vaativa seinävalu (14.)

4.2.2 Laatat ja palkistot

Paksut ja tiheästi raudoitettut laatat betonoidaan notkealla massalla. Maata vasten olevat ohuet laatat betonoidaan mielellään jäykemmällä massalla. Laattaa betonoitaessa edetään suorakaiteen muotoinen alue kerrallaan kulmasta kulmaan. Betonointi aloitetaan kauimmaisesta nurkasta ja edetään tulosuuntaan päin. (13.)

Betonilaatat on tärytettävä tarpeeksi kaukana betonointirintamasta, jotta tiivistys on luotettava. Sopiva etäisyys riippuu betonointitehosta ja massan sitoutumisajasta, mutta kuitenkin vähintään 1 500 mm:n etäisyydeltä betonointirintamasta. Tiivistäessä on huomioitava erityisesti alimpien terästen ja muotin välinen tila. (13.)

Ohuet laatat voidaan valaa yhtenä kerroksena. Jos betonilaatan paksuus ylittää valukerroksen paksuuden, betonoidaan ensin noin 300 mm:n kerros, ja kun betonointi on edennyt 5 metristä 10 metriin, lasketaan loppukerros täyteen. Kuvassa 9 on paksun kansilaatan betonoinnissa laskettu ensimmäisen valukerroksen betoni.



Kuva 9 Paksun holvilaatan betonointi (12.)

Paksuja ja laajoja laattoja betonoitaessa riittävä betonointiteho on varmistettava. Laattaa voi joutua työstämään useampana valurintamana, ja resurssit on mitoitettava sen mukaan. Tämä voi tarkoittaa useampaa valuryhmää, pumppuautoa ja kalustoa. (13.)

Jos laatan tai palkiston betonoiminen suoritetaan seinä ja pilarivalujen yhteydessä. Tässä välissä on pidettävä noin 2 tunnin tauko, jotta betonin painuminen ei aiheuta halkeamia rakenteissa, erityisesti seinän ja holvin kulmassa. (13.)

Valmis pinta voidaan joko jättää työsaumapinnaksi, tasatuksi tai hiertää puu- tai teräshierrolla. Kuvassa 10 käytetään ns. helikopteria teräshiertoon. Rakennesuunnittelija määrittää pinnalle vaatimukset, mutta normaalisti näkyvät pinnat hierretään teräshierrolla. Jos pinnalle on määrätty jyrkkiä kaatoja, voidaan betonointi lopettaa työsaumaan ja tehdä kaadot pintavaluna myöhemmin. (13.)



Kuva 10 Koneellinen hierto betonipinnalle (12.)

4.2.3 Vesitiiviit rakenteet

Vesitiiviin rakenteen on pystyttävä vastustamaan toispuoleisen vedenpaineen vaikutuksesta tapahtuvan veden kulkeutumisen rakenteen läpi. Muotti pitää puhdistaa erityisen huolella, ja työsaumassa voi olla syytä käyttää bentoniittinauhaa tai injektointiletkeä, tai molempia. (13.)

Vedenpitävässä betonimassassa vesisementtisuhteen on oltava pienempi kuin 0,6. Vesitiiviin rakenteen betonimassa pitää betonoida ja tiivistää erityisen huolellisesti, jotta vesi ei pääse rakenteen läpi. Massan tulee olla helposti tiivistyvää, mutta mahdollisimman jäykkää. Massa voidaan notkistaa työstettävyyden helpottamiseksi, joskin lisäaineita ja niiden vaikutusta on seurattava huolella. Maksimirakoon on hyvä olla vähintään 32 mm, jotta vältetään kutistumishalkeamilta. Betonin notkeutta ja raekokoa voidaan vaihdella rakenteen sitä edellyttäessä. Ahtaisiin ja tiheästi raudoitettuihin kohtiin on syytä valita notkeampi ja hienorakeisempi betonikuorma. Jälkihoidolla estetään kuivumishalkeamat. (1, 13.)

Vesitiiviin rakenteen paksuuden ylittäessä 0,3 metriä kerrospaksuus ei saa ylittää 0,25 metriä kierroksella. Nousunopeus ei saa olla suurempi kuin 0,5 metriä tunnissa. Betoni tärytetään huolella rakenteen paksuuteen ja raudoituksen tiheyteen sopivilla sauvatäryttimillä. Valukerrokset on tärytettävä järjestelmällisesti ja riittävän syvältä, jotta edellinen kerros tiivistyy toiseen kertaan, eli jälkitiivistetään uuteen kerrokseen kiinni. Raudoitusta tai jo sitoutumaan alkanutta betonia ei saa täryttää. (13.)

4.3 Talvibetonointi

Talvibetonoinnin pääperiaate on, että betonia ei saa päästää jäätymään.

Talvibetonointina käsitetään kaikki betonointi vuorokauden keskilämpötila ollessa alle +5 °C. Lämpötila vaikuttaa ratkaisevasti betonin lujuuskehitykseen. Talvibetonoinnissa sementin ja veden kemiallinen reaktio, sementin hydrataatio, hidastuu. Reaktio tarvitsee tietyn minimilämpötilan jatkuakseen ja pysähtyy lämpötilan laskiessa alle 0°C. (1, 8.)

Talvibetonoinnissa on syytä varautua aikataulumuutoksiin. Talvibetonoinnissa tarvitaan ylimääräisiä työvaiheita, kuten sulatus, lämmittäminen ja suojaaminen. Työskentely pakkasessa on jo itsessään hankalampaa, muotit päästään purkamaan myöhemmin ja huonot sääolosuhteet voivat pysäyttää työskentelyn kokonaan. (8.)

4.3.1 Talvibetonointiin valmistautuminen

Talvibetonointiin pitää varautua hyvissä ajoin, jotta talvi ei pääse yllättämään. Talvibetonointiin on varattava runsaasti ylimääräistä kalustoa; lämmityslaitteita ja – aineita, tarvikkeet betonin peittämiseen, suojaamiseen ja lämmöneristämiseen, tarvikkeet muottien ja raudoituksen suojaamiseen, mittareita ja mahdollisia lisämuotteja muotinkierron hidastuessa. (8.)

Talvibetonointia valmistellaan puhdistamalla muotti, raudoitus ja muut pinnat lumesta ja jäästä. Rakenne on hyvä suojata jo muotitus- ja raudoitusvaiheessa, jolloin säästetään ylimääräisiltä lumitöiltä. Muotit sulatetaan (esim. vesihöyryllä) juuri ennen betonoinnin alkamista jotta raudoitus ja muotti ovat varmasti kuivat ja sulat. Pinnat tulee lämmittää etukäteen, jotta betonimassa ei jäädy. Rakenne on muistettava lämmittää myös alapuolelta. Massa ei saa päästä jäähtymään liikaa kuljetuksen aikana ja se on suojattava. Betonitehtaan ja työmaan välillä on oltava hyvä kommunikointi, jotta betonimassa saadaan mahdollisimman nopeasti työmaalle ja lämmitettyyn muottiin. (8.)

4.3.2 Betonointi talviolosuhteissa

Talvibetonoinnissa betonimassan runkoaine ja vesi lämmitetään, sekä runkoaineen seassa oleva jää sulatetaan. Betonoitaessa voidaan käyttää kuuma- ja pakkasbetonia. Kuumabetoni on lämmitetty +30 asteesta + 50 asteeseen. Kuumabetonin sitoutuminen ja lujuudenkehitys ovat nopeammat kuin normaalissa betonimassassa. Talvibetonoinnissa voidaan harkita myös nopeasti kovettuvan betonin käyttöä tai lujuusluokan nostamista. Betonin lujuusluokan nostaminen vaikuttaa betonin lujuuskehitykseen.

Talvibetonoinnissa pitää työskennellä rivakasti, ilman taukoja, jotta massa ei pääse jäähtymään. Betonirakenteet tulee suojata heti, jopa betonoinnin edetessä, ja lämmitystä tulee jatkaa kunnes betoni on saavuttanut jäätymlujuutensa. Ennakoinnilla ja suotuisalla rakenteella pystytään suunnittelemaa helposti lämmitettävät olosuhteet, kuten kuvassa 11. Suojaamisella ei estetä ainoastaan jäätymistä, vaan myös kosteuden

haihtumista, lämpötilaeroja ja energiahukkaa. Suojaaminen ja eristäminen voidaan tehdä lämpöeristämällä muotit, lämpösuojalaatikoilla ja –matoilla tai suojapeitteillä. (15.)



Kuva 11 Lämmitetty allassuojaus (12.)

4.3.3 Lämpösuojaus ja lämmittäminen

Eristäminen ja suojaaminen estävät ilmavirtojen vaikutuksesta tapahtuvan lämmön haihtumisen, ja näin ollen tiivis koko rakenteen peittävä suojaus vaikuttaa jo paljon. Olosuhteiden sen salliessa erilaiset peitein rakennetut katokset ja tunnelit, joihin on asennettu lämmityskalustoa, lämmittävät rakenneosaa tehokkaasti. Kuvassa 11 on suojattuja allasrakenteita, joissa on lämmittimet peitteiden alla. (4, 8.)

Lämmitysvaihtoehtoja ovat höyry- ja kuumailmalämmitys, lankalämmitys, sähkölämmitys(lämmitettävät muotit), suojamatot, eristepeitteet ja säteilylämmitys. Perinteisin ja edullisin vaihtoehto on tehdä suojapeitteestä rakenne, jonka alle pistää joko ilmalämmittimen tai säteilylämmittimen. Suojapeitteitä käytettäessä paremman tuloksen saa, kun käyttää kahta suojapeitettä päällekkäin, jättäen 10 cm ilmakerroksen väliin. Taulukossa 5 esitetään eri rakenteille suositeltavat lämmityslaitteet; säteilylämmittin ja kuumailmapuhallin ovat joka rakenteeseen soveltuvat lämmitystavat. (4, 8.)

Taulukko 5 Muottilämmittimet (4.)

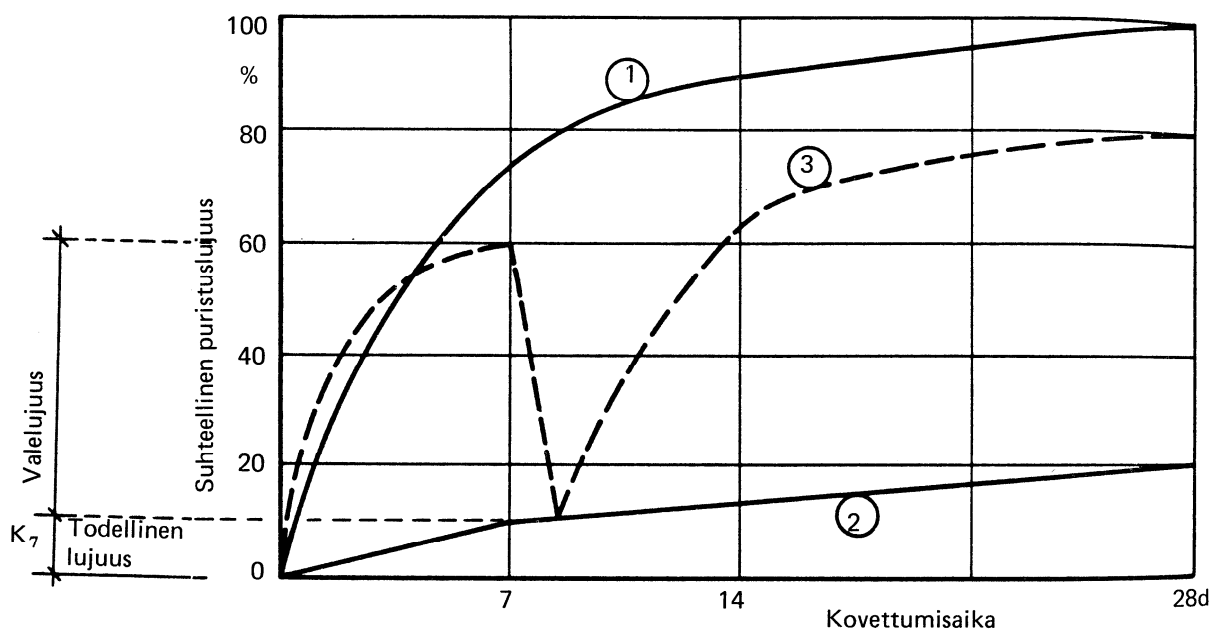
MUOTTILÄMMITYKSEN VALINTATAULUKKO		Muottilämmitystapa				
		Säteilylämmitys	Kuumailmäaläm.	Lankalämmitys	Sähkölämmitetty muotti	Kuumabetoni
Rakennusosa	Ruiskubetonoidut rakennusosat ja pinnat	X	X			
	Perustusanturat	X	X	X		X
	Perusmuurit	X	X	X		X
	Seinät	X	(x)	X	X	X
	Pilarit	X	(x)	X		X
	Palkit	X	(x)	X		X
	Ala-, väli- ja yläpohjaholvit	X	X	X		X
	Liitto- ja kuorilaatat	X	X	X		X
	Maanvaraiset laatat	X	X	X		X
	Pintabetonivalut	X	X			

Suojauksessa ja lämmöneristyksessä on erityisesti huomioitava kylmäsilat, pystyrakenteiden lämmöneristys ja pystyrakenteiden alareunan lujuuskehitys. (8, 15.)

4.3.4 Lujuuden kehitys

Betonoinnin päätyttyä on massan lämpötilan oltava vähintään +5 °C. Vesi laajenee jäätyessään noin 9 % jäätyvässä betonissa. Jos betoni jäätyessään ei ole saavuttanut tarvittavaa jäätymislujuutta, 5 MN/m³, betoni voi vaurioitua. Kovettuva betoni ei kestä jäätyksen aiheuttamaa sisäistä painetta. Vaurioitumisaste riippuu siitä kuinka paljon pakkasen puolelle rakenteen lämpötila tippuu. Jäätyneet betoni voi myös aiheuttaa niin sanottua valelujuutta, joka altistaa työmaan vakaville riskeille. Taulukossa 6 näkyy betonin jäätyksen vaikutus puristuslujuuteen. Taulukosta voi päätellä, että kantavassa rakenteessa jäätyminen ja lujuuden väärä tulkinta voivat olla kohtalokkaita. (15.)

Taulukko 6 Jäätymisen vaikutus K20 betoniin (8.)



Käyrässä 1 betonin säilytyslämpötila on $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Käyrässä 2 säilytyslämpö on $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Käyrässä 3 betonin säilytyslämpötila on ollut ensimmäiset 7 päivää $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sen jälkeen $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

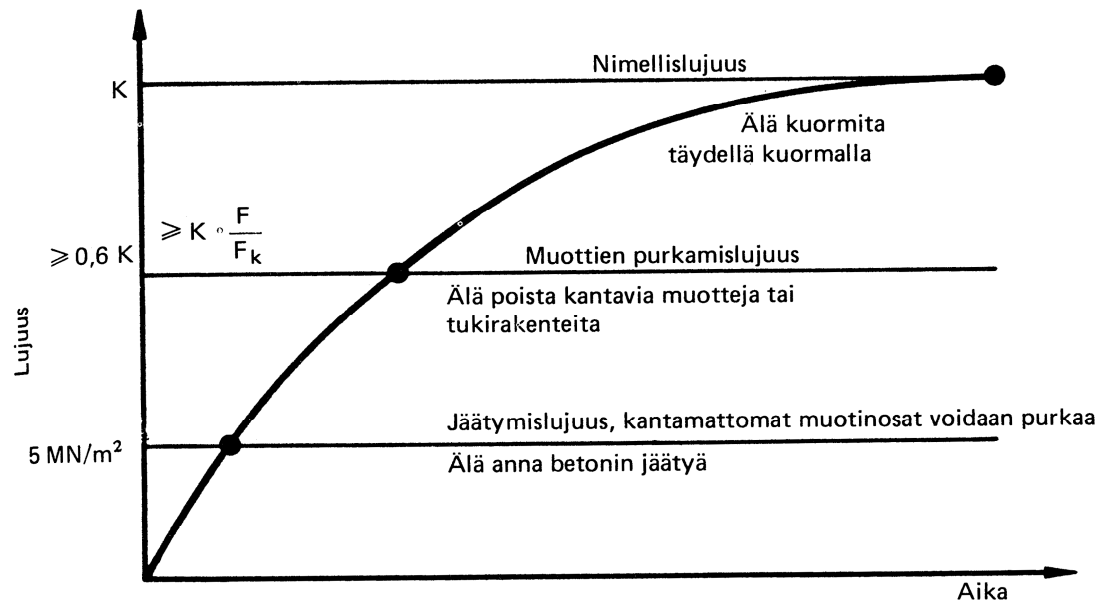
Lämpötilamittaukset kertovat lujuuskehityksestä betonin lämpötilojen ja aikalämpötilanfunktion avulla. Betonityömaaoheissa (4.)

Muotipurkulujuuden saavuttamiseen kuluva aika arvioidaan seuraamalla betonirakenteen lämpötilaa useassa kohdassa betonin kovettumisen aikana ja laskemalla betonin kypsyyssikä astetunneista ($^{\circ}\text{C h}$).

Käytännössä tämä tarkoittaa, että betoniin upotetaan valun aikana anturoita, joiden avulla mitataan lämpötiloja ja betonin lujuuskehitystä.

Betonitekniiikan oppikirjan mukaan talvibetonoinnissa on kolme lujuuden tarkistushetkeä; jäätymislajuuden saavuttaminen, muottien purkamislajuuden saavuttaminen ja nimellislujuuden saavuttaminen. Taulukossa 7 näkyvät lujuudet ajan kuvaajana. Näihin perehtyminen on oleellista ennen lämmityksen lopettamista tai muottien purkua. (8.)

Taulukko 7 Betonin kovettumisen vaiheet talvibetonoinnissa (8.)



Kun purkamislujuus on saavutettu, voidaan rakenteiden muotit purkaa pois. Betoni jatkaa kovettumistaan aina siihen asti, kun on saavuttanut nimellislujuutensa.

5. TARKASTELU JA PÄÄTELMÄT

Toteamus ”kaikki vaikuttaa kaikkeen” pitää paikkansa betonirakentamisessa.

Betonointi on yksinkertaisimmillaan haastavaa. Rakenteiden pysyvyys ja pitkäikä tekevät yksittäisistä virheistä suuria ja kalliita. Käynnissä olevien valujen keskeytys harvoin tulee kyseeseen, ja ongelmille on löydettävä ratkaisu.

Työmaaolosuhteissa valmistaudutaan muuttuviin olosuhteisiin, hankaliin tilanteisiin ja hektisiin valutilanteisiin. Betonirakentaminen vaatii paljon valmistelua, jotta jokainen asia tulee huomioitua: resurssit, sääolosuhteet, ympäristö ja tietenkin betonoitava kohde. Itsestä ja omasta työpanoksesta riippumattomiin ongelmiin on löydettävä ratkaisut.

Opinnäytetyön teoriaosuus näkyy suoraan ohjekortistossa. Ohjekortistossa käytettiin selkeitä, lyhyitä ja ytimekkäitä neuvoja ja ohjeita, miten betonointi voidaan suorittaa käytännössä. Ohjeet auttavat eniten sellaisia työntekijöitä, jotka eivät ole aikaisemmin olleen tekemisissä betonin kanssa ja suorittavat betonointia itse työmaalla.

Tärkeintä betonirakentamisessa on perinpohjainen valmistautuminen.

LÄHTEET

1. Uusitalo, Ihanamäki, Rajala ja Vallin 1987. Betonityöt: by 205. Suomen Betoniyhdistys r.y. ja Rakentajain Kustannus Oy 1980.
2. Hänninen, Reino 1987. Paikko-projekti: paikallavalun kehittäminen koerakennuskohteessa. Helsinki.
3. Betoni.com. 2010. Betonityypit ja oikean betonin valinta.
<http://www.betoni.com/fi/Paikallavalurakentaminen/Betonityypit+ja+oikean+betonin+valinta/>. Helmikuu 2010.
4. Työmaan aloituskokouksen valmisbetonin toimitussuunnitelma, Rakennustuoteteollisuus RTT ry, Valmisbetonijaos
<http://www.rudus.fi/download.aspx?intFileID=468&intLinkedFromObjectID=9441>. Helmikuu 2010.
5. Betoni.com. 2010. Uudet betoninormit BY 50 .
<http://www.betoni.com/download.aspx?intFileID=576&intLinkedFromObjectID=6747>. Helmikuu 2010.
6. Betoni.com. Paikallavalurakentaminen – Betonointisuunnitelma.
<http://www.betoni.com/fi/Paikallavalurakentaminen/Betonity%C3%B6t/Betonointisuunnitelma/>. Helmikuu 2010.
7. Manto. Manto - rakennustelineen käyttöohjeet.
http://ramirent.edita.fi/download/file/6812/Kayttoohje_Manto_2006.pdf. Helmikuu 2010.
8. Suomen Betoniyhdistys r.y. Betonitekniiikan oppikirja 2004 - BY 201. 2005. Suomen Betonitieto Oy
9. Kuva YIT Rakennuksen toimialoista.
http://ir2.flife.de/data/yit/igb/index.php?anzahl=18&bericht_id=1000002&lang=FIN Helmikuu 2010.

10. YIT Oyj:n kuva ja logopankki
http://www.yit.fi/palvelut/yritysinformaatio/media/kuvat_ja_logot. Helmikuu 2011.
11. Betoni.com: Jälkihoito
<http://www.betoni.com/fi/Paikallavalurakentaminen/Betonty%C3%B6t/J%C3%A4lkihoito/>. Helmikuu 2010.
12. Kuvia, Vesa Helkiö, YIT Rakennus.
13. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto Ril R.Y. 1995. RIL 149-1995 Betonityöohjeet. 2002.
14. Kuvia, Sini Saxberg. 2009-2011.
15. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL r.y. 2004. Ril 131-2004 Betoninormit Ja Mitoitustaulukot. 2004.



YIT RAKENNUS OY
INFRAPALVELUT

BETONOINTISUUNNITELMA
JA PÖYTÄKIRJA

Rakennuskohde	Työnumero	Rakennusluvan nro		
XX	X	X		
Osoite	Puhelinnumero			
XX XX	X			
Betonointityönjohtaja	Betonilaborantti			
XX No 0	XX			
BETONOITAVA RAKENNE				
PERUSTIEDOT BETONISTA	a) kovettunut betoni	Lujuus- ja rakenneluokka K-XX Muut ominaisuudet Rasitusluokka -----	Pakkasenkestävyys	Vedenpitävyys
	b) betoni massa	Notkeus 2 S Lisäaineet ja annostus	Suurin raekoko 16 mm	Sementti CEM I 42,5 SR
		Muut tiedot		
BETONITYÖT	SUUNNITELMA	PÖYTÄKIRJA		
Betonoitava osa				
Betonimäärä m ³				
Betonointinopeus m ³ / h				
Betonoinnin alkaminen ja päättyminen klo	Alkaa	Päättyy	Alkoi	Päättyi
Betonin notkeus (painuma, sVB, MO, leviämä)				
Ilman lämpötila / Betonimassan lämpötila °C	Ilma 12	Betonimassa 18	Ilma	Betonimassa
Jälkihoito, betonin lämpötilan seuranta sekä betonin lujuuskehityksen arviointi	Jälkihoitoaine ruiskutetaan hierron jälkeen		Jälkihoitoaine ruiskutetaan hierron jälkeen	
Muottien purku (lujuus, ikä)	1 vrk		1 vrk	
Erikoismenetelmät, lämpökäsittely jne.	Pumppuvalu		Pumppuvalu	
Koekappaleet (tunnukset, näytteenottoapaikat)	Ei oteta		Ei oteta	
Häiriöt, varautuminen / toimenpiteet	Vara-asema ja varapumppu Marttila		Ei häiriöitä	
Tarkastukset	Muotit Kunnossa Korjattava Korjattu pvm. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		Rauditus Kunnossa Korjattava Korjattu pvm. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Muut tiedot, liitteet				
Päiväys	Betonointityönjohtajan allekirjoitus XXX			

BETONOINTIIN VALMISTAUTUMINEN

Tutustu rakennekuviin, työselostukseen ja muihin betonointiin liittyviin dokumentteihin.

Tee betonityösuunnitelma tai betonipöytäkirja.

- valitse oikea betonimassa, laske betonimenekki, suunnittele nousunopeus ja kuormavälit
- tee varaus pumppuautosta ja betonista
- valitse tarvittava miehitys ja aikatauluta työ
- hanki tarvittava kalusto.

Betonimassan valintaan vaikuttavat sille asetetut lujuus- ja ominaisuusvaatimukset. Notkeuden ja maksimiraekoon valintaan vaikuttavat

- raudoituksen tiheys
- betonointimenetelmä ja purkutapa
- tiivistysmenetelmät
- kutistumishalkeilun ehkäiseminen
- betonoitava rakenne.

Massan notkeus valitaan nesteytetyn betonin (S4) ja jäykän betonin (S1) välillä rakenteesta riippuen.

Halkeilun välttämiseksi valitaan maksimiraekoko mahdollisimman suureksi, massan notkeus mahdollisimman jäykäksi ja pieni vesi-sementtisuhte.

Valmistele työmaa betonointia varten

- Betonipumpulle on kantava purkupaikka, johon betoniautot pääsevät peruuttamaan.
- Muotti puhdistetaan, sekä vesi ja jää poistetaan. Lauta- tai puumuotti kastellaan vedellä.
- Sauvatäryttimet vedetään paikoilleen ja niiden toiminta tarkastetaan, sekä pinnan tasaus- ja hiertovälineet viedään kohteeseen.
- Valutelineet ja kaiteet rakennetaan muotin ympärille, tarvittaessa käytetään turvavaljaita.

BETONIN LASKEMINEN MUOTTIIN

- Betonimassa lasketaan muottiin tasalaatuisina kerroksina.
- Betoni liitetään saumattomasti edelliseen betonikerrokseen.
- Betonin vapaa pudotuskorkeus saa olla enintään 1,5 metriä.
- Betonimassa lasketaan muottiinsa pystysuunnassa, mutta tilanteen vaatiessa valurintamaa vastaan.
- Pystysuorissa valuissa (esim. seinä) käytetään valusukkaa tai suppiloa.
- Varauksien ympäristöt on betonoitava huolella. Jos varauksissa ei ole valuaukkoa, varauksien ympärykset valetaan ensin toiselta puolelta, jolloin nähdään betonin täyttävän varauksen alaosa.
- Betonin laskemisjärjestys suunnitellaan ennalta ja suunnitelmaa tulee noudattaa.
- Betoni pitää laskea suoraan paikalleen, eikä sitä saa siirtää.
- Betonikerroksien paksuudelle on enintään 0,5 metriä kierroksella, vesitiiviissä rakenteissa 0,3 metriä kierroksella.
- Valutaukojen pituus ei saa venyä niin pitkäksi, että edellinen betonikerros ehtii kovettua. Nousunopeuden tulee olla vähintään 0,1 metriä tunnissa.
- Normaaleissa betoneissa kovettuminen tapahtuu kahdesta tunnista kolmeen tuntiin. Lämmin sää nopeuttaa kovettumista.

TIIVISTYS SAUVATÄRYTTIMELLÄ

Tiivistämisen tarkoituksena on poistaa ylimääräinen ilma betonimassasta, täyttää muotti nurkkiaan myöten, tiivistää runkoainerakeet kiinni toisiinsa sekä ympäröidä raudoitteet ja raudoitteiden välit. Tiivistäminen parantaa lujuuden lisäksi säänkestävyyttä ja vaikuttaa ulkonäköön.

- Sauvatäryttimen saavutettu tiivistysteho riippuu täryttimen halkaisijasta ja tehosta. Yleisesti käytetty 50 mm halkaisijaltaan oleva tärytin sopii useimpiin seinä-, laatta- ja palkistovaluihin, jos olosuhteet eivät ole poikkeuksellisen ahtaat. Kyseisellä täryttimellä saavutetaan keskimäärin tiivistysteho $3 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Betonoitava alue käydään järjestelmällisesti läpi sauvatäryttimellä. Paras tiivistysteho saadaan, kun sauvatärytin upotetaan betonimassaan *pystyasennossa* omalla painollaan.
- Sauvatäryttimen tärytysväli saa olla maksimissaan kahdeksankertainen suhteessa sauvan läpimittaan. Tämä tarkoittaa, että sauvatiivistimen tärytysväli on 400 mm:n ja 600 mm:n välillä.
- Pystysuoraan upotetulla sauvalla on paras tiivistysteho, joka ulottuu pystysuunnassa 300 mm:sta 1 000 mm:n alueelle ja vaakasuunnassa 200 mm:sta 600 mm:n alueelle.
- Sauvan tulee ulottua jo valettuun ja tärytettyyn kerrokseen 100 mm:sta 200 mm:iin, jolloin jälkitiivistämisellä saadaan siistit saumat valukerrosten välille.
- Tiheästi raudoitettut kohdat ja nurkat tulee tiivistää erityisellä huolella ilmataskujen varalta.
- Sauvatäryttimen osumista raudoitukseen on vältettävä.
- Sauvatärytintä ei saa vetää pinnalla tai poikittaissuunnassa. Tärytys on suoritettava tarpeeksi kaukana betonoitavasta rintamasta, vähintään 1 500 mm:n päässä.
- Pistojen tärytysaika vaihtelee 5 sekunnista jopa 30 sekuntiin, massan notkeuden, muotin ja raudoituksen mukaan. Betonimassaa tarkkaillaan ja kun ilmakuplien nousu ja massan liike ovat loppuneet ja betonin pinta alkanut kostua, on tiivistysaika ollut riittävä. Notkea ja nesteytetty betonimassa erottuvat herkästi, joten niiden tiivistämisessä on oltava varovainen.
- Tärytyssauva vedetään hitaasti pois massasta, jotta sauvan aiheuttama kolo ehtii sulkeutua. Poistonopeus riippuu massan notkeudesta ja vaihtelee 5 sekunnista 20 sekuntiin, mutta perusmassalle nopeus on noin 40 mm sekunnissa (8 sekuntia 300 mm paksulle kerrokselle). *Tärytin vedetään pois hitaammin, kuin se on sinne omalla painollaan uponnut.*

LAATAT JA PALKISTOT

Eri rakenteissa on omat erikoispiirteensä, jotka tulee huomioida kun aletaan suunnitella betonointia. Jokaisessa rakenteessa on huomioitava yleiset betonointiin ja tiivistykseen annetut ohjeet.

- Paksut ja tiheästi raudoitettut laatat betonoidaan notkealla massalla. Maata vasten olevat ohuet laatat betonoidaan jäykemmällä massalla.
- Laattaa betonoitaessa edetään suorakaiteen muotoinen alue kerrallaan kulmasta kulmaan.
- Betonointi aloitetaan kauimmaisesta nurkasta ja edetään tulosuuntaan päin.
- Betonilaatat on tärytettävä tarpeeksi kaukana betonointirintamasta, jotta tiivistys on luotettava. Sopiva etäisyys riippuu betonointitehosta ja massan sitoutumisajasta, mutta kuitenkin vähintään 1 500 mm:n etäisyydeltä betonointirintamasta.
- Tiivistäessä on huomioitava erityisesti alimpien terästen ja muotin välinen tila.
- Ohuet laatat voidaan valaa yhtenä kerroksena. Jos betonilaatan paksuus ylittää valukerroksen paksuuden, betonoidaan ensin noin 300 mm:n kerros, ja kun betonointi on edennyt 5 metristä 10 metriin, lasketaan loppukerros täyteen.
- Paksua tai laajaa laattaa valettaessa voidaan joutua työskentelemään useampana rintamana ja resurssit on mitoitettava sen mukaan. Tämä voi tarkoittaa useampaa valuryhmää, pumppuautoa ja kalustoa.
- Jos laatan tai palkiston betonoiminen suoritetaan seinä- tai pilarivalujen yhteydessä. Tässä välissä on pidettävä noin 2 tunnin tauko, jotta betonin painuminen ei aiheuta halkeamia rakenteissa, erityisesti seinän ja holvin kulmassa.
- Valmis pinta voidaan joko jättää työsaumapinnaksi, tasatuksi tai hiertää puu- tai teräshierrolla. Rakennesuunnittelija määrittää pinnalle vaatimukset, mutta normaalisti näkyvät pinnat hierretään teräshierrolla. Jos pinnalle on määrätty jyrkkiä kaatoja, voidaan betonointi lopettaa työsaumaan ja tehdä kaadot pintavaluna myöhemmin.

PILARI- JA SEINÄRAKENTEET

Eri rakenteissa on omat erikoispiirteensä, jotka tulee huomioida kun aletaan suunnitella betonointia. Jokaisessa rakenteessa kuitenkin huomioidaan yleiset betonointiin ja tiivistykseen annetut ohjeet.

- Pilari- ja seinärakenteet pyritään betonoimaan ja tiivistämään ylhäältä.
- Korkeissa rakenteissa pumppuauton letkun päähän on laitettava betonointisukka tai -putki, jotta massan putoamismatka jäisi lyhyeksi ja letkun pää pääsee ongelmitta raudoituksen ohitse.
- Betonimassan maksimiraekoko on 16 mm:n ja 32 mm:n välillä, raudoituksen tiheyden mukaan.
- Työsaumavalut on hyvä aloittaa betonimassalla, jonka raekoko on pieni ja massa notkea. Tällä tavoin saadaan liitoskohdat tiiviiksi ja siisteiksi.
- Betonimassaa nostetaan kerroksittain. Kerroksen nousukorkeus saa olla enintään 300 mm, mielellään 250 mm:n kerroksessa.
- Sauvatäryttimen koko valitaan rakenteen paksuuden, tiivistyskapasiteetin ja raudoituksen tiheyden perusteella. Ahtaissa ja pitkissä seinävaluissa kannattaa varautua pienempien sauvatäryttimien käyttöön ja näin ollen suurempaan mies- ja kalustokapasiteettiin tiivistämisessä.
- Joskus ylhäältä betonointi ja tiivistäminen eivät onnistu olosuhteiden pakosta, esimerkiksi liian tiheään raudoituksen, varausten tai tilan puutteen takia. Näissä tapauksissa voidaan jättää muottiin valu- ja tärytysaukkoja 1–1,5 m:n välein, joista voidaan hoitaa betonimassan laskeminen muottiin ja tiivistäminen. Aukkoihin tulee tehdä etukäteen sopivat tulpat, jotta betonointityö ei häiriinny ja keskeydy vuotojen takia.

VESITIIVIIT RAKENTEET

Eri rakenteissa on omat erikoispiirteensä, jotka tulee huomioida kun aletaan suunnitella betonointia. Jokaisessa rakenteessa on huomioitava yleiset betonointiin ja tiivistykseen annetut ohjeet.

Vesitiiviin rakenteen on pystyttävä vastustamaan toispuoleisen vedenpaineen vaikutuksesta tapahtuvan veden kulkeutumisen rakenteen läpi.

- Muotti pitää puhdistaa erityisen huolella, ja työsaumassa voi olla syytä käyttää bentoniittinauhaa ja injektointilettoa.
- Vesitiiviin rakenteen betonimassa pitää betonoida ja tiivistää erityisen huolellisesti, jotta vesi ei pääse rakenteen läpi. Massan tulee olla helposti tiivistyvää, mutta mahdollisimman jäykkää. Massa voidaan notkistaa työstettävyyden helpottamiseksi, joskin lisäaineita ja niiden vaikutusta on seurattava huolella.
- Maksimiraekoon on hyvä olla vähintään 32 mm, jotta vältetään kutistumishalkeamilta.
- Betonin notkeutta ja raekokoa voidaan vaihdella rakenteen sitä edellyttäessä. Ahtaisiin ja tiheästi raudoitettuihin kohtiin on syytä valita notkeampi ja hienorakeisempi betonikuorma.
- Jälkihoidolla vähennetään kuivumishalkeilua.
- Vesitiiviin rakenteen paksuuden ylittäessä 0,3 metriä kerrospaksuus ei saa ylittää 0,25 metriä kierroksella.
- Nousunopeus ei saa olla suurempi kuin 0,5 metriä tunnissa.
- Betoni tärytetään huolella rakenteen paksuuteen ja raudoituksen tiheyteen sopivilla sauvatäryttimillä. Valukerrokset on tärytettävä järjestelmällisesti ja riittävän syvältä, jotta edellinen kerros tiivistyy toiseen kertaan, eli jälkitiivistetään uuteen kerrokseen kiinni.
- Raudoitusta tai jo sitoutumaan alkanutta betonia ei saa täryttää.

JÄLKIHOITO

Jälkihoitoa on kahdenlaista, estetään kosteuden haihtuminen rakenteesta tai tuodaan lisäkosteutta rakenteeseen. Jälkihoidon tarve riippuu ulkoilman lämpötilasta, rakenteelle asetetuista vaatimuksista, muista sääolosuhteista ja betonin lujuusluokasta.

Olosuhteista riippuen suojaus saatetaan joutua aloittamaan jo betonoinnin aikana tai heti loputtua plastisen halkeilun estämiseksi. Plastista halkeilua estetään levittämällä betonoinnin jälkeen muovikalvo, -peite, varhaisjälkihoitoaine tai jälkihoitoaine betonipinnalle heti kun mahdollista.

Betonipintoja voidaan jälkihoitaa seuraavin menetelmin:

- Suojataan avoimet pinnat. Muovikalvo levitetään betonipinnalle heti, kun se kestää kävelyn tai jo valun aikana jos mahdollista. Saumakohtat teipataan tai muuten on pyrittävä tekemään niistä mahdollisimman tuulitiiviit. Muovikalvo auttaa myös sateeseen, joka voi pilata tuoreen hierretyn pinnan. Myös muotin paikalleen jättäminen suojaaa betonin pintaa veden haihtumiselta.
- Perinteisesti kastellaan betonoitu rakenne vedellä ja kastelun lisäksi peitetään rakenne. Betonin vesikastelulla tarjotaan betonin kovettumiselle riittävästi vettä, joten kastelua tulee suosia. Talviolosuhteisiin kastelu ei sovi lämpötilaerojen takia. Kastelu hidastaa betonin kuivumista, joten se ei ole suositeltava pinnoitettaville betonirakenteille.

Jälkihoitona voidaan levittää jälkihoitoaine betonipinnalle.

- Jälkihoitoaineiden periaatteena on tehdä betonin pintaan kosteutta läpäisemätön kerros.
- Varhaisjälkihoitoaine voidaan lisätä betonipintaan heti tasauksen jälkeen, ennen hiertoa.
- Varsinainen vahamainen jälkihoitoaine levitetään pintaan vasta hierron jälkeen, jotta kalvo jää tiiviiksi.
- Jälkihoitoaineiden levitys tapahtuu pääasiassa joko ruiskuilla tai teloilla.
- Jälkihoitoaineiden tehokkuus riippuu paljolti kerrospaksuudesta, levitystavasta ja käytettävästä jälkihoitoaineesta, joten kahden jälkihoitomenetelmän käyttäminen päällekkäin voi olla järkevää.
- Pinnoitettavien rakenteiden kohdalla kannattaa tarkastaa, joudutaanko jälkihoitoaine poistamaan ennen pinnoitusta.

Jälkihoidon tulee kestää vähintään *3 vuorokautta*, mutta pakkaselle alttiita tai muita erityisen rasituksen alaisia rakenteita tulee hoitaa vähintään *7 vuorokautta*.

TALVIBETONOINTI

Talvibetonoinnin periaate on, että betonia ei saa päästää jäätymään.

Talvibetonoinnista puhutaan kun vuorokauden keskilämpötilan ollessa alle +5 °C.

Talvibetonointiin on valmistauduttava varaamalla ylimääräistä kalustoa; lämmityslaitteita ja – aineita, tarvikkeet betonin peittämiseen, suojaamiseen ja lämmöneristämiseen, tarvikkeet muottien ja raudoituksen suojaamiseen, mittareita ja mahdollisia lisämuotteja muottikierron hidastuessa.

- Talvibetonointia valmistellaan puhdistamalla muotti, raudoitus ja muut pinnat lumesta ja jäästä. Rakenne on hyvä suojata jo muotitus- ja raudoitusvaiheessa, jolloin säästytään ylimääräisiltä lumitöiltä.
- Muotit sulatetaan (esim. vesihöyryllä) juuri ennen betonoinnin alkamista jotta raudoitus ja muotti ovat varmasti kuivat ja sulat. Pinnat tulee lämmittää etukäteen, jotta betonimassa ei jäädy. Rakenne on muistettava lämmittää myös alapuolelta.
- Massa ei saa päästä jäähtymään liikaa kuljetuksen aikana ja se on suojattava. Betonitehtaan ja työmaan välillä on oltava hyvä kommunikointi, jotta betonimassa saadaan mahdollisimman nopeasti työmaalle ja lämmitettyyn muottiin.

Betonointi talviolosuhteissa

- Talvibetonoinnissa betonimassan runkoaine ja vesi lämmitetään, sekä runkoaineen seassa oleva jää sulatetaan. Betonoitaessa voidaan käyttää kuuma- ja pakkasbetonia. Kuumabetoni on lämmitetty +30 asteesta + 50 asteeseen. Kuumabetonin sitoutuminen ja lujuudenkehitys ovat nopeammat kuin normaalissa betonimassassa. Talvibetonoinnissa voidaan harkita myös nopeasti kovettuvan betonin käyttöä tai lujuusluokan nostamista. Betonin lujuusluokan nostaminen vaikuttaa betonin lujuuskehitykseen.
- Talvibetonoinnissa pitää työskennellä rivakasti, ilman taukoja, jotta massa ei pääse jäähtymään. Betonirakenteet tulee suojata heti, jopa betonoinnin edetessä, ja lämmitystä tulee jatkaa kunnes betoni on saavuttanut jäätymislujuutensa. Suojaamisella estetään myös kosteuden haihtumista, lämpötilaeroja ja energiahukkaa.

Lämpösuojaus ja lämmittäminen

- Eristäminen ja suojaaminen estävät ilmavirtojen vaikutuksesta tapahtuvan lämmön haihtumisen, ja näin ollen tiivis koko rakenteen peittävä suojaus vaikuttaa jo paljon. Olosuhteiden sen salliessa erilaiset peittein rakennetut katokset ja tunnelit, joihin on asennettu lämmityskalustoa, lämmittävät rakennneosaa tehokkaasti.

- Lämmitysvaihtoehtoja ovat
 - o höyry- ja kuumailmalämmitys
 - o lankalämmitys
 - o sähkölämmitys(lämmitettävät muotit)
 - o suojamatot
 - o eristepeitteet
 - o säteilylämmitys.
- Perinteisin ja edullisin vaihtoehto on tehdä suojapeitteestä rakenne, jonka alle pistää joko ilmalämmittimen tai säteilylämmittimen. Suojapeitteitä käytettäessä paremman tuloksen saa, kun käyttää kahta suojapeitettä päällekkäin, jättäen 10 cm ilmakerroksen väliin.
- Suojauksessa ja lämmöneristyksessä on erityisesti huomioitava kylmäsiilat, pystyrakenteiden lämmöneristys ja pystyrakenteiden alareunan lujuuskehitys.

Lujuuden kehitys

Betonoinnin päätyttyä massan lämpötilan on oltava vähintään +5 °C. Kovettuva betoni ei kestä jäätyksen aiheuttamaa sisäistä painetta. Jäätynyt betoni voi myös aiheuttaa niin sanottua valelujuutta, joka altistaa työmaan vakaville riskeille.

Lämpötilamittaukset kertovat lujuuskehityksestä betonin lämpötilojen ja aikalämpötilanfunktion avulla. Käytännössä tämä tarkoittaa, että betoniin upotetaan valun aikana anturoita, joiden avulla mitataan lämpötiloja ja betonin lujuuskehitystä.

Talvibetonoinnissa on kolme lujuuden tarkistushetkeä; jäätymislujuuden saavuttaminen, muottien purkamislujuuden saavuttaminen ja nimellislujuuden saavuttaminen.

Kun purkamislujuus on saavutettu, voidaan rakenteiden muotit purkaa pois. Betoni jatkaa kovettumistaan aina siihen asti, kun on saavuttanut nimellislujuutensa.