



ITSETIIVISTYVIEN BETONILATTIOIDEN TYÖOHJE

Rami Muotka
2012
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

ITSETIIVISTYVIEN BETONILATTIOIDEN TYÖOHJE

Rami Muotka
Opinnäytetyö
21.3.2012
Rakentamisen koulutusohjelma, ylempi amk
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Rakentamisen koulutusohjelma, ylempi amk	Opinnäytetyö	60	+	3
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
Rakennetekniikka	10/2009 - 3/2012			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
Surasi Oy	Rami Muotka			
Työn nimi				
Itsetiivistyvien pintabetonilattioiden työohje				
Avainsanat				
ITB, kutistuminen, betonin kuivuminen, pintabetonilattiat				

Kehittämistehtävän tavoitteena oli kartoittaa itsetiivistyvän betonin eli ITB:n laajamittaista käyttöönottoa pintabetonilattioissa rakennusliikkeen kannalta ja tuottaa kokemusperäistä tietoa ITB:n eri ominaisuuksista.

YIT Rakennus Oy on ensimmäisten rakennusliikkeiden joukossa havainnut itsetiivistyvän betonin mahdollisuudet tehostaa rakennusprosessia. YIT teki Oulun virastotalossa pintabetonilattioita itsetiivistyvällä betonilla noin 3 000 m². YIT Rakennus Oy haki itsetiivistyvän betonin käytöllä taloudellisia säästöjä, parempilaatuista lopputuotetta ja työskentelyolosuhteiden ja työturvallisuuden parantumista.

Itsetiivistyvän betonin työ- ja materiaalikustannukset ovat 1,0 €/m² edullisemmat kuin normaalia lattiabetonia käytettäessä. Kun tähän lisätään itsetiivistyvän betonin käytöstä saatavat muut hyödyt, parempilaatuiset lattiat, rakentamisen nopeutuminen ja työskentelyolosuhteiden paraneminen, voidaan itsetiivistyvän betonin käyttöä pitää taloudellisempänä kuin normaalin lattiabetonin käyttöä. Raudoitusverkkojen korvaamista muovikuidulla pintalattioissa voidaan pitää aina kilpailukykyisenä vaihtoehtona, niin hinnallisesti kuin laadullisesti.

ITB:lla ja muovikuidulla tehdyistä lattioista tuli tasaiset ja niissä on kulutuksen kestävä pinta. ITB:lla ja muovikuidulla päästään halkeamien suhteen parempaan lopputulokseen kuin käytettäessä normaalia lattiabetonia ja raudoitusverkkoja. ITB:lla on erinomaiset tartuntaominaisuudet alusrakenteeseen. Kuivumiseltaan ITB ei poikkea normaaleista lattiabetoneista.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	5
2	ITSETIIVISTYVÄN BETONIN OSA-AINEIDEN.....	7
	LAATUVAATIMUKSET	7
	2.1 Isetiivistyvän betonin osa-aineiden suhteutus ja laadun varmistus.....	7
	betoniasemalla.....	7
	2.2 Kiviainekset.....	9
	2.3 Sementti	9
	2.4 Lisäaineet	9
3	ITSETIIVISTYVÄN BETONIMASSAN OMINAISUUDET.....	11
	3.1 ITB -massan muokkautumisominaisuuksien koemenetelmät.....	11
	3.2 ITB:n materiaaliominaisuudet.....	12
	3.3 ITB:n ajasta riippuvat muodonmuutosominaisuudet	13
4	ITSETIIVISTYVÄN BETONOINNIN KÄYTÖN SUUNNITTELUN VAIHEET ..	17
	4.1 Aloituskokous	19
	4.2 Betonointityösuunnitelma	19
	4.3 Laadun valvonta ja dokumentointi.....	21
5	PINTABETONILATTIAT	23
	5.1 Betonilattian luokitusjärjestelmä.....	23
	5.2 Betonilattian laatutekijät	24
	5.3 Betonilattioiden perustyypit	26
	5.4 Yleisimmät ongelmat betonilattioissa	26
	5.5 Betonilattioiden työmenetelmät	29
6	BETONIN KUIVUMINEN	32
	6.1 Betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät.....	33
	6.2 Betonirakenteiden kosteusmittaus.....	34
7	OULUN VIRASTOTALON PINTABETONILATTIAT.....	37
	7.1 Oulun virastotalon betonipintalattiat ja itsetiivistyvän betonin käytöllä haetut tavoitteet.....	37
	7.2 Aloituskokous	39
	7.3 Raudoituksen korvaaminen muovikuidulla.....	40
	7.4 Oulun virastotalon pintabetonilattioiden valmistelevat työt ja betonointi	41
8	ITSETIIVISTYVÄN JA NORMAALIN LATTIABETONIN KUSTANNUS- JA LAATUVERTAILU	46
	8.1 Kustannusvertailu.....	46
	8.2 Muovikuidun ja raudoitusverkkojen kustannus vertailu	48
	8.3 Laatuvertailu	49
9	YHTEENVETO	54
10	POHDINTA	57
	LÄHDELUETTELO.....	58

LÄHTEET

LIITTEET

Liite 1. Betonityösuunnitelma

Liite 2. Pintabetonilattioiden kustannuslaskelmat

Liite 3. Betonirakenteiden kuivuminen

1 JOHDANTO

Itsetiivistyvä betoni on suurin kehitys betoniteknikassa vuosikymmeniin. Itsetiivistyvä betoni on Suomessa vielä melko uusi rakennusmateriaali, mutta kiinnostus sitä kohtaan sen poikkeuksellisten ominaisuuksien johdosta on suuri.

Itsetiivistyvä betoni eli ITB on nimitys betoneille, joilla on kyky täyttää muotit ja ympäröidä raudoitus ilman tärytystä tai muuta mekaanista tiivistystä. ITB poikkeaa nimenomaan muokkautuvuudeltaan tavanomaisista betoneista. Kovettuneena ITB toimii kuin tavallinen betoni. ITB on erikoisbetoni, joka oikein käytettynä lunastaa hienosti siihen ladatut suuret odotukset. Se on kuitenkin herkkä materiaali, joka työmaaolosuhteissa vaatii hyvän laadunvalvonnan ja valuun perehtyneet tekijät.

Vuonna 2004 valmistunut kansallinen itsetiivistyvän betonin käyttöä, ominaisuuksia ja valmistusta koskeva tutkimus (1) antoi varmuuden ja vapauden käyttää itsetiivistyvää betonia silloin, kun se urakoitsijalle parhaiten sopii. Vaikka itsetiivistyvä betoni on valmis tuotantokäyttöön, riittää kehittämistä kuitenkin edelleen. Itsetiivistyvä betoni poikkeaa tietyiltä osin tavanomaisesti tiivistettävästä betonista. Tämän vuoksi itsetiivistyvää betonia ei voida käyttää kaikilta osin betoninormien mukaisesti. Itsetiivistyvän betonin ominaisuuksien mittaamiseen on pitänyt kehittää yksinomaan siihen soveltuvia mittaamenetelmiä. Yhteisiä yleisesti hyväksyttäviä laadunvalvontaohjeita ei ole. Tämä on olennaisesti hidastanut itsetiivistyvän betonin laajamittaista käyttöönottoa.

YIT Rakennus Oy eli YIT on ensimmäisten rakennusliikkeiden joukossa havainnut itsetiivistyvän betonin mahdollisuudet tehostaa rakennusprosessia. Pintabetonilattioiden vaikutus rakennusprosessiin on merkittävä, koska betonin kuivuminen päällystettävään kosteuteen vaatii pitkän ajan. YIT teki Oulun virastotalossa pintabetonilattioita itsetiivistyvällä betonilla noin 3 000 m². YIT haki itsetiivistyvän betonin käytöllä taloudellisia säästöjä, parempilaatuista lopputuotetta sekä työskentelyolosuhteiden ja työturvallisuuden parantumista.

Tämän YAMK:n kehitystehtävän tavoitteena oli tuottaa Oulun virastotalon pintabetonilattioista kokemusperäistä tietoa ITB:n eri ominaisuuksista. Itsetiivistyvällä betonil-

la tehdyistä pintabetonilattioista tehtiin kustannus- ja laatuvertailu. Lisäksi selvitettiin ITB:n ominaisuuksia, kutistumaa, halkeilua, tartuntaa, kulutuksen kestävyyttä ja kosteusteknistä toimintaa. Erityisen tarkasti selvitettiin, miten raudoituksen vaihtamisella muovikuituihin voidaan hallita kutistumaa ja halkeilua.

Itsetiivistyvä betoni muuttaa betonirakentamisen kustannusrakennetta. Taloudellista hyötyä rakennusliike saa itsetiivistyvän betonin käytöstä työvoiman tarpeen vähenemisen ja työn nopeutumisen kautta. Lisäksi saadaan parempilaatuisia rakenteita. Itsetiivistyvä betoni asettaa käytettävälle raaka-aineille sekä laadunvalvonnalle erityisvaatimuksia. Nämä nostavat itsetiivistyvän betonin hintaa. Tutkimuksessa kartoitettiin myös tekijöitä, joiden taloudellinen vaikutus ei ole välitön tai se on vaikeasti arvioitavissa.

Laatuvertailu suoritettiin betonilattiat By 45 -ohjeen määrittelemien laatutekijöiden perusteella (2). Laatutekijöillä on tärkeä merkitys lattian kestävyydelle, käytölle ja ulkonäölle. Laatutekijät ovat sovitulla tavalla mitattavissa valmiista lattiasta.

Kehitystehtävässä käydään läpi työmaalla tehtävä betonoinnin suunnitteluprosessi. Koska tiivistäminen jää pois työmaalta ja siirtyy kokonaan betonin valmistajan vastuulle, muuttuu itsetiivistyvän betonin käytön myötä betonin valmistajan ja urakoitsijan välinen vastuunjako. Kehitystehtävässä määritetään, kuka vastaa itse tiivistyvän betonin laadusta, kuka antaa valuluvan ja kuka vastaa rakenteesta.

2 ITSETIIVISTYVÄN BETONIN OSA-AINEIDEN LAATUVAATIMUKSET

2.1 Itsetiivistyvän betonin osa-aineiden suhteutus ja laadun varmistus betoniasemalla

Itsetiivistyvän betonin kehittäjät Okamura ja Ozawa havaitsivat, että kun betonin laastiosuuden (<# 5 mm) tilavuusosuutta kasvatettiin karkean kiviaineksen osuuden kustannuksella ja notkistimina käytettiin tehokkaita kolmannen sukupolven polykarboksylaattipohjaisia tehonotkistimia, tuoreen betonin muokkautuvuusominaisuudet muutuivat sellaisiksi, että betonia ei tarvinnut tiivistää (1, s. 16).

Itsetiivistyvän betonin valmistuksessa kokemuksella, huolellisuudella ja tarkkuudella on suuri merkitys. Erityistä huomiota on kiinnitettävä annostelutarkkuuteen, järjestykseen, sekoitusaikaan ja notkeuden hallintaan. Etenkin kiviainesten kosteuspitoisuudet täytyy olla tarkasti ja oikein määritelty, jotta voidaan valmistaa laadukasta ITB:a. Tämä tapahtuu betoniasemalla määrittämällä kokonaisvesimäärä ensimmäisestä betonikuormasta, jolla on päästy haluttuun notkeuteen. Jatkossa vesimäärä pidetään vakiona. Betoniasemilla ei useinkaan ole kiviainessiiloja pelkästään ITB:a varten. Kun siiloja joudutaan täyttämään, pitää kiviaineksen kosteuspitoisuus määrittää uudestaan, jotta ITB:n kokonaisvesimäärä ei muutu halutusta. (1, s. 8–9.)

Itsetiivistyvän betonin valmistaminen kestää pitempään kuin tiivistettävän betonimassan valmistaminen. Itsetiivistyvää betonia pitää sekoittaa normaalisti tiivistettävää betonia kauemmin, jotta tehonotkistamista saadaan kaikki hyöty irti. Jos itsetiivistyvää betonia on sekoitettu liian vähän aikaa, saattaa itsetiivistyvä betoni notkistua vielä kuljetuksen aikana. Tällöin itsetiivistyvä betoni on työmaalla ylinotkeaa ja saattaa erottua voimakkaasti. (1, s. 8–9.)

ITB:a käytettäessä laadunvalvonta ja laadunvarmistus ovat paljon tärkeämmässä roolissa kuin tiivistettävää betonia käytettäessä. Itsetiivistyvän betonimassan ominaisuuksia ei voida työmaalla säätää, jos massa ei toimi vaaditulla tavalla.

Itsetiivistyvyyden lisäksi itsetiivistyvältä betonilta vaaditaan samoja ominaisuuksia kuin tiivistettävältäkin betonilta. Itsetiivistyvän betonimassan pitää olla niin muokkautuvaa, että sillä saavutetaan vaadittavat ominaisuudet ilman mekaanista tiivistämistä. Muokkautuvuuden osalta itsetiivistyvistä betonimassasta mitataan kolmea perusominaisuutta. Perusominaisuudet ovat valuvuus, läpäisykyky ja erottumattomuus.

- Valuvuus on itsetiivistyvän betonimassan kyky valua muottiin ja täyttää se yksinomaan painovoiman vaikutuksesta.
- Läpäisykyky on itsetiivistyvän betonimassan kyky ohittaa esteet kuten raudoitustangot ja varaukset siten, että runkoaine ei kiilaudu paikallisesti näihin kohtiin ja estä massan vapaata valumista.
- erottumattomuus kuvaa massan kykyä pysyä koostumukseltaan homogeenisena kuljetuksen ja valun aikana sekä valun jälkeen muotissa. (1, s. 28.)

Liian suuri valuvuus ei ole koskaan eduksi massalle, koska silloin erottumisen vaara kasvaa ja massan valmistuskustannukset nousevat. Lähtökohtana on, että massan valuvuus pidetään mahdollisimman pienenä, jos tähän ei ole estettä (korkea pintalaatuvaatimus). Läpäisykyky on erittäin tärkeä ominaisuus tiheästi raudoitetuissa rakenteissa, mutta vaakarakenteissa, joissa ei ole paljon raudoitusta, se ei ole olennainen ominaisuus. (1, s. 29.)

Itsetiivistyvä betoni voi erota kahdella eri tavalla. Veden erottumisella tarkoitetaan veden nousua betonimassan pintaan ja raskaampien osa-aineiden painumista alaspäin. Läpäisykykyyn liittyvällä erottautumisella eli kiviaineksen erottumisella tarkoitetaan karkeiden rakeiden erottumista sementtiliimasta. (1, s. 25.)

Laadukkaan ITB:n valmistus edellyttää hyviä raaka-aineita, tarkkaa osa-aineiden annostelua sekä riittävää kokemusta. ITB:n muokkautumisominaisuuksiin vaikuttavat ratkaisevasti vesi-sementtisuhde, tehonotkistimen määrä sekä hienokiviaineksen määrä ja laatu.

2.2 Kiviainekset

ITB:n tilavuudesta 60–80 % on kiviainesta, joten sillä on keskeinen merkitys sekä tuoreen että kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Kiviaineksena käytetään yleisimmin luonnonkiviainesta joko sellaisenaan tai nykyisin yhä useammin murskattuna. Itsetiivistyvän betonin valmistuksessa hienon kiviaineksen osuus on ratkaiseva. Sopivan hienon rakeisuuden saavuttamiseksi luonnonfilleri ei ole riittävän hienojakoista, joten yleisesti käytetään lisähienoaineksena joko lentotuhkaa, masuunikuonaa tai kalkkifilleriä, joiden hienoudet ovat lähes sementin kokoluokkaa. Käytettävän kiviaineksen vesipitoisuus voi vaihdella paljon. Etenkin hienon kiviaineksen kosteudenvaihtelulla on suuri merkitys itsetiivistyvän betonin laadun tasaisuudelle. Tämän takia kiviaineksen kosteuspitoisuutta pitää seurata koko ajan eikä vain satunnaisluontoisesti. (3, s. 19.)

Myös kiviainesrakeiden muoto vaikuttaa ITB:n työstettävyyteen. Vaihdettaessa karkea- tai hienokiviaines luonnonkiviaineksesta murskatuksi kiviainekseksi voidaan betonin pastaosuutta joutua kasvattamaan varsin paljon riittävien työstettävyyssominaisuuksien kuten valuvuuden ja läpäisykyvyn saavuttamiseksi. (3, s.10.)

2.3 Sementti

Itsetiivistyvää betonia käytettäessä voidaan käyttää samoja sementtilaatuja kuin normaali- betonien valmistuksessa. Erilaatuiset sementit vaikuttavat kuitenkin itsetiivistyvän betonin muokkautumisominaisuuksiin hyvin paljon. Yleisesti ottaen mitä hieno jakoisempaa sementti on, sitä nopeammin hydradaatio ja lujuuden kehitys alkavat. Sementin määrä vaikuttaa myös hydradaatiossa sitoutuvan veden määrään. Sementtimäärät vaihtelevat 280–420 kg:n välillä betonikuutiossa. (1, s. 25.)

2.4 Lisäaineet

Itsetiivistyvän betonin kanssa käytettävät lisäaineet ovat joko tuoreen betonimassan tai kovettuneen betonin ominaisuuksien muuttamiseksi massaan lisättäviä aineita, joiden määrä suhteessa sementin määrään on pieni. Itsetiivistyvän betonin valmistamisessa käytetään tehonotkistimia, koska ITB-massoilla on pieni vesi-sementtisuhde. Tehonotkistimilla voidaan pienentää massan vesimäärää ja saada tiiviimpiä rakenteita. Tehonot-

kistimien vaikutusaika on 1–1,5 tuntia, jonka takia logistiikan betoniasemalta työmaalle ja betonoinnin työmaalla on sujuttava ilman katkoja.

Huokoistinlisäainetta käytetään itsetiivistyvissä betonimassoissa, jos rakenne tarvitsee pakkasenkestävyyttä. Huokoistinlisäaineet muodostavat betoniin hienojakoisia ilmakuplia, jotka leviävät tasaisesti betoniin. Huokoistimen käyttö parantaa betonimassan muokkautuvuutta, lisää sen notkeutta ja koossapysyvyyttä, vähentää osa-aineiden erottumista sekä vähentää tarvittavan vedenmäärää. (3, s. 26).

3 ITSETIIVISTYVÄN BETONIMASSAN OMINAISUUDET

Itsetiivistyvältä betonilta vaaditaan itsetiivistyvyyden lisäksi samoja ominaisuuksia kuin tiivistettävältä betonilta. Tällaisia ominaisuuksia ovat lujuus-, säilyvyys- ja ulkonäkö-ominaisuudet. Betonimassan kannalta tämä tarkoittaa muokkautuvuutta ja työstettävyyttä koko betonoinnin ajan.

Itsetiivistyvän betonin muokkautuvuuden määrittely poikkeaa täysin tavanomaisesti tiivistettävän massan notkeusluokittelusta. Itsetiivistyvän betonin muokkautuvuusominaisuudet voidaan todeta vain erikoismenetelmin, koska itsetiivistyvä betoni ylittää normien luokittelun. Massassa, jossa on hyvä muokkautuvuus, täytyy silti määritellä erikseen jokainen muokkautuvuusominaisuus. (1, s. 29.)

3.1 ITB-massan muokkautumisominaisuuksien koemenetelmät

Itsetiivistyvän betonimassan valuominaisuuksien mittaaminen on olennainen osa laadun valvontaa. Massan ominaisuudet määräävät sen, miten valu sujuu ja myös minkälaiset ovat kovettuneen betonin lujuus- ja säilyvyysominaisuudet. Yhden ominaisuuden mittaaminen ei anna kokonaiskuvaa massan laadusta, koska työstettävyysominaisuuksiakin on useita. Lisäksi itsetiivistyvillä massoilla ei ole standardoituja ja hyväksytyjä testausmenetelmiä. Massoja on kehitetty erilaisiin mittausmenetelmiin perustuen. Yleensä valmistajalla on paras tieto siitä, millaiset kriteerit hänen valmistamansa betoni täyttää rakennuskohteessa.

Muokkautuvuusominaisuuksien mukaiset yleisimmät ja käytännössä soveltuviksi todetut menetelmät ovat

- valuvuus: painuma-leviämä ja T_{500} -aika
- läpäisykyky: L-laatikko ja V-suppilo
- erottumattomuus: arviointi tai silmämääräinen luokittelu, painuma-leviämä. (1, s. 31.)

Näistä yleisimmin betoniasemalla ja työmaalla käytettävä mittauskoe on painuma-leviämäkoe. Kokeella mitataan pääasiallisesti valuvuutta. Kokeessa mitataan massalla täytetyn kartiomuotin leviämä sen jälkeen, kun muotti on nostettu pois. Yleensä aluslevyyn on merkitty halkaisijaltaan 500 mm:n kohta, josta mitataan T_{500} -aika. T_{500} -aika on aika, joka tarvitaan massan leviämiseen halkaisijaltaan 500 mm:n leveydelle. T_{500} -aika kuvaa lähinnä massan viskositeettiä. Lisäksi painuma-leviämä kokeella voidaan mitata erottumista. (1, s. 31.)

Työmaalla tehtävät mittaukset ovat välttämättömiä ITB-massoille, koska niiden työstettävyysaika on lyhyt. Tehtaalla hyvin toiminut massa voi kuljetuksen jälkeen olla epästabiilia. Painuma-leviämäkoe on helppo suorittaa myös työmaalla. Työmaalla vastaanottavan betonityönjohtajan on arvioitava vähintään silmämääräisesti, onko massassa erottumista ja ovatko työstettävyysominaisuudet sovitulla tasolla.

3.2 ITB:n materiaaliominaisuudet

VTT on tutkinut viimeistä tekniikkaa olevassa julkaisussa itsetiivistyvien betoneiden materiaaliominaisuuksia (4). Selvityksessä on tarkasteltu kunkin materiaaliominaisuuden yleistä suhdetta betonimassan ja erityisesti ITB-tyyppisten massojen koostumukseen.

Selvityksessä on käsitelty aluksi ITB:n mikrorakennetta, joka yleensä hieman poikkeaa normaalin betonin mikrorakenteesta. Tutkimuksessa on selvitetty ITB-massojen mekaanisia ominaisuuksia, erityisesti puristuslujuutta. Tässä lopputyössä tarkastellaan tarkemmin VTT:n tekemän tutkimuksen osaa, joka koskee itsetiivistyvien betonien mekaanisia muodonmuutosominaisuuksia, kutistumaa ja halkeilua. Kutistumasta on tarkasteltu varhais- eli plastisen vaiheen kutistumaa sekä pitkän aikavälin kuivumiskutistumaa ja halkeilutaipumista. Nämä muodonmuutoskyvyn ominaisuudet ovat ratkaisevassa asemassa pyrittäessä hyvälaatuisiin pintabetonilattioihin. (4, s. 2.)

Itsetiivistyväbetoni ei ole yksi betonityyppi, vaan itsetiivistyvät betonit voivat olla koostumukseltaan hyvinkin erilaisia, jolloin myös niiden keskinäiset materiaaliominaisuudet poikkeavat vastaavasti toisistaan. Itsetiivistyvien betonien ominaisuuksien vaikuttavina

tekijöinä voivat olla erityisesti käytettävät seosaineet, pastan suuri osuus betoneissa ja käytettävät erityiset lisäaineet. Eroja erilaisten ITB:ien välille aiheuttavat

- käytettävät hienoaineet
- käytettävä sementti
- käytettävä tehonotkistin
- mahdollinen käytettävä viskositeettia lisäävä aine
- eri osa- ja lisäaineiden osuudet massassa
- massan valmistus, kuljetus ja valu. (4, s. 4.)

Itsetiivistyvän betonin ja yleensäkin betonin materiaaliominaisuuksiin vaikuttaa sen mikrorakenne. Mikrorakenne voi eri syistä muodostua ITB:lla tavallisesta betonista osin poikkeavaksi. Joissakin ruotsalaisissa tutkimuksissa on tultu siihen yleistulokseen, että ITB:n mikrorakenne on tietyillä vesi-sementtisuhteella tiiviimpi kuin tavanomaisen betonin mikrorakenne. Tiiviyttä lisää erityisesti kiviaineksen ja pastan välisen rajapinnan eli transitiovyöhykkeen normaalia suurempi tiiviys. Tämä edellyttää, että massan koostumus on stabiili. Transitiovyöhykkeen tiiviys vaikuttaa betonin lujuuteen ja säilyvyysominaisuuksiin. Betonia kuormitettaessa halkeamat saavat yleensä alkunsa kiviaineksen ja pastan rajapinnoilta. (4, s. 3.)

3.3 ITB:n ajasta riippuvat muodonmuutosominaisuudet

Varhaisvaiheen kutistumaksi voidaan katsoa kutistumaa, joka tapahtuu ensimmäisen vuorokauden kuluessa betonin valmistuksesta. Tänä aikana betoni sitoutuu ja sen lujuuden kehitys alkaa. Plastiseksi kutistumaksi kutsutaan yleisesti kutistumaa, joka tapahtuu ennen betonin sitoutumista. Pinnan hierron jälkeisellä kutistumalla on yleensä merkitystä halkeilun muodostumisen kannalta. Plastinen kutistuminen aiheutuu betonimassassa erilaisia partikkeleita ympäröivän vesikerroksen ohenemisesta. Kun veden haihtuminen betonin pinnalta ylittää vedenerottumisen, kutistuminen alkaa. Kutistuminen alkaa alipaineen vaikutuksesta, joka kehittyy huokosveteen betonin pintaosan kuivuessa. Tämä alipaine on suhteessa kutistuman suuruuteen. (4, s. 15.)

Plastisen ja varhaisvaiheen kutistuman suuruuteen vaikuttavat betonin koostumus sekä ympäristöolosuhteet ja työtavat. Alla luetellaan yleiset varhaisvaiheen kutistumaan vaikuttavat betonin materiaaliomaisuudet:

- Suuri kiviaineksen raekoko pienentää kutistumaa, koska kiviaines itsessään ei kutistu.
- Plastinen kutistuma on sitä suurempi, mitä suurempi massan sementtimäärä on ja mitä pienempi sen vesi-sementtisuhte on.
- Jos hieno kiviaines pienentää vedenerottumista olennaisesti, kasvaa plastisen kutistuman riski.
- Jos betonissa käytettävät materiaalit hidastavat lujuudenkehitystä, on betoni kauemmin alttiina kuivumiselle ja siten plastiselle kutistumiselle, jolloin varhaisvaiheen kutistuman riski kasvaa.
- Useat notkistimet hidastavat sitoutumista ja lujuudenkehitystä, mikä lisää varhaisvaiheen kutistuma-aikaa. Ne vähentävät myös vedenerottumista dispergoidessaan sementti- ja muut pienet partikkelit tehokkaasti, jolloin kuivumisen ja varhaisvaiheen kutistuman riski kasvaa tätä kautta.
- Vedenerottumisen ollessa pieni ei erottuva vesi juurikaan toimi jälkihoitona, mikä lisää plastista kutistumaa, jos jälkihoitoa ei aloiteta tehokkaana riittävän ajoissa.
- Lisäaineet voivat vaikuttaa varhaisvaiheen kutistumiseen lähinnä vaikuttaessaan sitoutumisnopeuteen ja vedenerottumiseen.
- Huokoistimet alentavat veden pintajännitystä ja huokosveden alipainetta, jolloin plastinen kutistuma pienenee. (4. s. 13–14.)

Edellisen perusteella ITB:n tyypillinen koostumus on monelta osin sellainen, että plastisen ja varhaisvaiheen kutistuman sekä vastaavien kutistumahalkeamien riski on normaalia suurempi.

VTT:n viimeistä tekniikkaa olevassa julkaisussa on esitetty kokeellisia tuloksia koostumukseltaan, kuten vesimäärältään, erilaisten itsetiivistyvien betonien ($W/C = 0,27-0,60$) varhaisvaiheen kutistumasta ja halkeilusta. Tutkimus on tehty, koska oletettavaa oli, että pienen vedenerottumisen vuoksi betonien pinta kuivuu nopeasti ja siihen muodostuu halkeamia. Tämän lisäksi tutkimuksessa betonit altistettiin ilmajäähdytykseen. Lähes kaikissa Suomessa talviaikana tehtävissä pintalattiabetonoinnissa

betonien pinta altistuu ilmavirtauksille, koska tilojen lämmittämisessä yleisesti käytössä olevat lämmittimet puhaltavat voimakkaita iltavirtauksia lämmitettäviin tiloihin.

Tutkimustuloksiin perustuvana yhteenvetona on esitetty seuraavaa:

- Varhaisvaiheen kutistuman suuruus oli merkittävä heti ilmakeivatuksen alkamisen jälkeen, jolloin betonin ikä oli 3–4 h.
- Halkeamia ilmestyi 3–4 h:n iässä, mutta ajankohta vaihteli sen mukaan, mikä oli sementtityyppi, vesimäärä ja vesi-sementtisuhde.
- Halkeamien syntyminen päättyi 4–8 h:n iässä ja myös niiden kasvu oli tämän jälkeen erittäin vähäistä.
- Varhaisvaiheen kutistumaan vaikuttavista tekijöistä määräävin oli vesi-sementtisuhde. Toissijaisesti vaikuttivat lisäaineet, vesimäärä ja sementtityyppi. (4. s. 15–16.)

Edelliseen tutkimuksen perusteella olisi tutkimuksen tarvetta selvittää koostumukseltaan erilaisten itseivistyvien betonien plastisen kutistuman suuruus tyyppillisissä käytännön olosuhteissa, etenkin talviaikana tehtävissä pintalattiabetonoinneissa, jossa tilaa pitää lämmitellä. Samassa yhteydessä tulisi tutkia massojen kuivumiskutistuman suuruus sekä halkeilutaipumus varhaisessa ja myöhemmässä vaiheessa. Lisäksi käytännön kokemusten perusteella tulisi selvittää minkälaisia, jälkihoitovaatimuksia ITB -massat tarvitsevat käytännön olosuhteissa.

Kuivumiskutistumaan vaikuttavat oleellisesti kiviaineksen laatu ja ennen kaikkea sen määrä. Kiviaines toimii kutistumaa estävänä komponenttina, kun kutistuvana komponenttina on betonin pastaosuus. Kiviaineksen määrän kasvaessa sekä sen kutistumaa estävä vaikutus voimistuu että kutistuvan pastan määrä pienenee. Kutistuman on todettu pienenevän 18 %, kun kiviaineksen määrää on kasvatettu 65 %:sta 70 %:iin. (4, s. 18.)

Lattiabetoneissa suuntaus pienempään maksimirakokoon sekä sementti- ja hienoainesmäärän ja vesimäärän kasvu ovat lisänneet kutistumista ja myös halkeilua. Tyypillisen ITB:n koostumus on kutistumista edistävä ja halkeiluriskiä kasvattava.

ITB:ssa käytettävät lisäaineet lisäävät hieman pitkäaikaiskutistumaa. Kutistuma lisääntyy, kun seosaineen käyttö tekee huokosrakenteen hienommaksi. Tehonotkistinta käytettäessä kutistumaa pienentää se, että vesi-sementtisuhdetta voidaan pienentää. Notkistimet saattavat myös lisätä kutistumaa, koska ne tiivistävät mikrorakennetta. Suurilla lisäaineannostuksilla kutistuman on todettu kasvavan, vaikka vesimäärää on voitu pienentää. (4, s. 18–19.)

Oleellista kutistumisessa on se, kuinka paljon se aiheuttaa betoniin halkeilua. Kutistuman suuruus on vain yksi tekijä, joka vaikuttaa siihen, syntyykö betoniin halkeamia.

Betonin halkeilun vähentämisessä on kysymys materiaalitekniikan kannalta betonin yleisestä muodonmuutoskyvystä. ITB:ssa kutistuma voi olla normaalia suurempi, mutta toisaalta ITB:n suurempi muodonmuutoskyky, pienempi kimmomoduuli, suurempi viiruma ja suurempi vetolujuus taas voivat pienentää halkeamien syntymisen riskiä. Oleellisesti vaikuttavat myös ulkoiset olosuhteet, kuten jälkihoito. ITB -massojen halkeilua ei ole tutkittu, vaikka kutistumista onkin tutkittu. ITB:n halkeilutaipumuksesta käyttökohteessa onkin vaikea sanoa mitään yleisesti pätevää. Oleellisesti halkeiluun vaikuttava tekijä on kuitenkin kutistuman suuruus. (4, s. 23–24.)

4 ITSETIIVISTYVÄN BETONOINNIN KÄYTÖN SUUNNITTELUN VAIHEET

Itsetiivistyvän betonin suunnitteluprosessi esitellään YIT:n käytänteiden, betoniyhdistyksen ohjeistuksen (2) ja kehitystehtävän tekijän oman käytännön mukaan.

Rakennesuunnittelija määrittää rakenteen lujuusluokan ja muut vaadittavat ominaisuudet. Työmaa voi valita betonilaadun, jolla betonointi suoritetaan. Betonilaatuja on lukuisia ja niiden ominaisuuserot voivat vaihdella paljonkin. Työmaan näkökulmasta betonin valinnassa keskeisellä sijalla ovat tuotantotekniset seikat ja taloudellisuus. Betonitöitä työmaalla suunnittelevilta henkilöiltä vaaditaan betonin valinnassa tärkeimpien betonin ominaisuuksiin vaikuttavien tekijöiden tuntemista. Betonin ominaisuuksiin vaikuttavat koostumuksen lisäksi säilytysolosuhteet (lämpötila ja kosteus). Säilytysolosuhteista lämpötila on keskeinen, koska se riippuu eteenkin talviaikana työmaan toimenpiteistä.

Betonirakenteen valmistaminen itsetiivistyvistä betonista on lähes poikkeuksetta vaativa työsuoritus ja siksi työn toteutus on suunniteltava tarkoin etukäteen. Itsetiivistyvää betonointia on pidettävä erikoisbetonointina ja betonityösuunnitelmalla on tärkeä merkitys työn onnistumiselle. Lähtökohtana on, että aina etukäteen tutustutaan itsetiivistyvällä betonilla tehtävään kohteeseen ja pidetään aloituskokous, jossa selvitetään betonoinnin kannalta keskeiset kohdat. Käytettäessä itsetiivistyvää betonia on betonointia pidettävä 1-luokan betonirakenteena. Tämä asettaa tiukempia vaatimuksia betonin valmistajalle ja työmaalle. Itsetiivistyvän betonin suhteuttajalla ja työmaan betonityönjohtajalla tulisi olla 1-luokan betonityönjohtajan pätevyys ja riittävästi ITB:sta hankittua käytännönkokemusta.

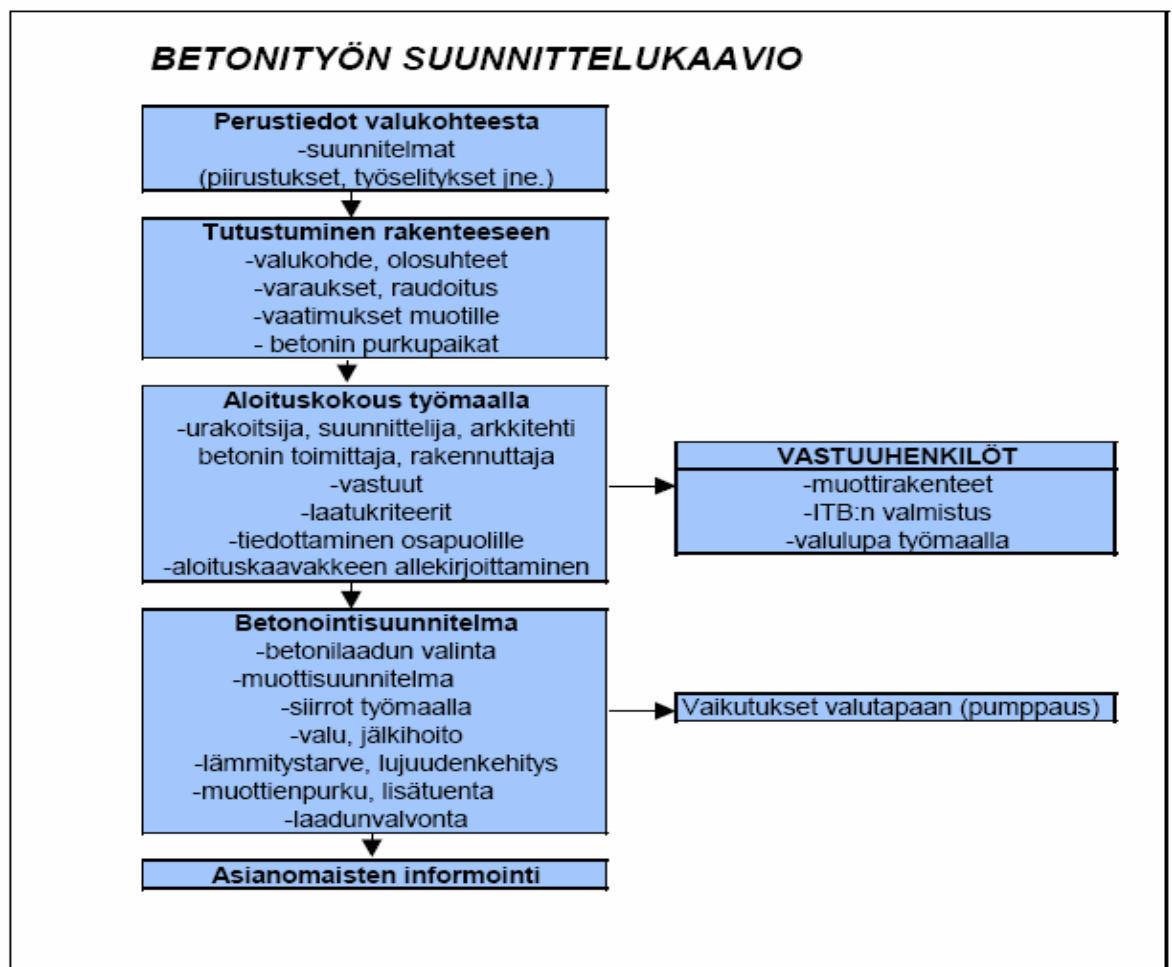
Betonointisuunnitelma on osa betonityösuunnitelmaa. Betonointisuunnitelma laaditaan asiakirjojen pohjalta betonointityöohjeeksi. Suunnittelija vastaa siitä, että suunnitelmissa on esitetty kaikki materiaaleille ja lopputuotteelle esitetyt vaatimukset. Betonointisuunnitelman tavoitteena on kerätä keskeiset tavoitteet ja niiden saavuttamiseksi tarvittavat toimenpiteet yhteen laatuasiakirjaan.

Betonointityösuunnitelman laadinnasta vastaa työmaan vastaava betonityönjohtaja. Hänen on pystyttävä arvioimaan laadittuja suunnitelmia ja piirustuksia, jotta hän osaa vaa-

tia tarkennuksia käytännön toteutus ja taloudellisuus huomioiden laadittuihin suunnitelma-asiakirjoihin. Betonityösuunnitelman laajuus ja tarkkuus riippuvat kohteen vaikeusasteesta.

Urakoitsijat käyttävät erilaisia laatusuunnitelmia. Laatusuunnitelmassa kerrotaan betonitoista laadittavat laatuasiakirjat. Aina dokumentoitavia laatuasiakirjoja ovat aloituskouksessa tehdyn aloituskaavakkeen lisäksi itsetiivistyvästabetonoinnista tehtävä betonityösuunnitelma ja ITB:n valmistukseen liittyvät kuormakirjat sekä urakoitsijan laadunvarmistuspöytäkirjat. Urakoitsijan laadunvalvonnan asiakirjoja ovat mittaus- ja betonointipöytäkirjat.

Kuvassa 1 on esitelty tiivistystyesti betonoinnin suunnittelun kulku.



KUVA 1. Betonoinnin suunnittelun kulku käytettäessä itsetiivistyvää betonia (5, s. 22)

4.1 Aloituskokous

Aloituskokouksessa käydään läpi aloituskavakkeen avulla kaikki itsetiivistyvän betonoinnin olennaiset kohdat. Aloituspalaverin tarkoituksena on varmistaa, että osapuolilla on yhdenmukainen käsitys rakenteen laatuvaatimuksista sekä niiden saavuttamiseen tarvittavista materiaalivalinnoista ja työmenetelmistä. Ennen aloituskokouksen alkua tutustutaan huolella työmaahan ja betonoitaviin rakenteisiin. Työmaalla selvitetään purkutapa ja -paikka. Lisäksi varmistetaan jatkossa esteetön pääsy kyseisiin paikkoihin. Aloituskokouksessa tulisi olla paikalla suunnittelijan, rakennustyön valvojan, vastaavan betonityönjohtajan sekä betonin toimittajan edustaja. Aloituskokouksessa käydään läpi rakenteiden vaatimukset, mitat, raudoitukset ja varaukset. Rakenteiden vaatimuksista läpi käytäviä asioita ovat lujuus, rasitusluokat ja käyttöikätaavoitteet. Aloituskokouksessa sovitaan kohteen toteutustavasta ja samalla sovitaan menetelmät ja laatuksiteerit, joita arvostelussa käytetään.

Aloituskokouksessa käydään läpi vastuuden jako. Vastuuhenkilöiden valinnalla varmistetaan se, että itsetiivistyvän betonoinnin kriittisiin kohtiin otetaan kantaa ja oikeat asiat tulevat tarkemmin harkittua. Vastuut voi betonitoissa jakaa kolmeen eri kohtaan: kuka vastaa itsetiivistyvän betonin laadusta, kuka antaa valuluvan massalle ja kuka vastaa rakenteesta. Yleensä itsetiivistyvän betonin laadusta vastaa betonin toimittaja. Betonointiluvan antaja ottaa vastuun rakenteeseen valettavan betonimassan laadusta. Yleensä työmaalla ei tehdä kokeita, joilla testataan massan ominaisuuksia, vaan massan ominaisuuksia seurataan silmämääräisesti ja betoniasemalle ollaan yhteydessä, jos massaa pitää säätää. Tällöin massan säätö tehdään seuraavaan kuormaan. Massan toimittaja vastaa pääsääntöisesti valuluvasta, koska työmaalle tuleva betoniauto on saanut valuluvan. Valetuista rakenteista vastaa urakoitsija. Tämä on luonnollista, koska urakoitsija toteuttaa valun aloituskokouksessa sovitulla tavalla.

4.2 Betonointityösuunnitelma

Työmaan vastaava betonityönjohtaja vastaa betonityösuunnitelman laatimisesta. Itsetiivistyvän betonoinnin toteutus on suunniteltava tarkkaan ja siksi työmaan betonityönjohtajan on aina tehtävä betonityösuunnitelma. Suunnitelmassa on huomioitava itsetiivistyvän betonin erityisominaisuudet (herkkyys, hitaampi valmistus ja työmaamittaukset).

Betonityönjohtajan on myös osattava arvioita laadittuja suunnitelma asiakirjoja ja piirustuksia, jotta hän osaa vaatia niihin tarkennuksia ja lisäselvityksiä. Betonityönjohtajan tulee pystyä ratkaisemaan työjärjestys- ja aikatauluasiat siten, että valmiin betonirakenteen laatu on vaaditun luokituksen mukainen. Lähtötietojen pohjalta betonityönjohtaja voi määrittellä tarvittavat itsetiivistyvän betonin erityisominaisuudet.

Betonityösuunnitelman laajuus riippuu betonoitavan rakenteen vaikeusasteesta. Yksinkertaisimmillaan täytetään betonointipöytäkirja ja käydään läpi betonointityö työkunnan kanssa. Vaativissa betonirakenteissa tulee raudoitus-, muotti- ja betonointitöiden betonityösuunnitelmasta tehdä tarkka kirjallinen dokumentointi ja käydä se kohta kohdalta läpi betonitöihin osallistuvien kanssa. Vaativa rakenteita ovat kaikki 1. lk:n rakenteet ja itsetiivistyvällä betonilla toteutettavat rakenteet. Betonityösuunnitelmaan on kerätty pienempiä betonointitöihin liittyviä suunnitelmia, kuten betonointi-, aikataulu-, raudoitus-, muotti-, jälkihoito- ja telinesuunnitelma. Lisäksi betonityösuunnitelmasta täytyy löytyä tiedot betonin valinnasta ja betonointiaikataulusta, henkilöresursseista, massan siirrosta, mahdollisista talvitöistä aiheutuvat toimenpiteet ja häiriöihin varautuminen (riskikartoitus).

Betonointisuunnitelmasta selviävät betonointia edeltävät toimenpiteet sekä betonoinnin toteutus ja sen jälkeiset toimenpiteet. Betonointisuunnitelmasta selviävät pidettävät muottien- ja raudoitteiden tarkastukset ja muut katselmukset. Betonointisuunnitelmassa määritetään betonin siirtotapa ja purkupaikat. ITB-massoja käytettäessä ei tiivistyskalustoa tarvitse huomioida. Betonisuunnitelmasta selviävät betonilaatujen valintaan vaikuttavat tekijät, kuten rasitusluokat, käyttöikä, suurin raekoko, notkeudet jne.

Raudoitussuunnitelmasta käy selville raudoitteiden asentaminen ja mahdollinen käsittely työmaalla. Raudoitussuunnitelmassa selviävät käytettävät välikkeet ja vaaditut suojaetäisyydet.

Muottisuunnitelmassa on tärkeää olla käytettävistä muoteista naamakuva, josta näkyvät kiinnikkeiden ja käytettävien telineiden paikat. Muottisuunnitelmassa selvitetään muottien käsittely työmaalla, esimerkiksi nostovälineistö. Seinämuoteista on tärkeää selvittää, miten muotti tuetaan.

Aikataulusuunnitelmasta näkyy töiden järjestely ja limitys muiden työvaiheiden kanssa. Aikataulusuunnitelma on paras laatia jänämuodossa, jolloin siitä selviää nopeasti, että risteämiä muiden työvaiheiden kanssa ei tule. Aikataulusuunnitelmasta näkyy kokonaistyöaika ja työajat työvaiheittain. Näiden perusteella betonityönjohtaja osaa varata oikean määrän resursseja kyseiseen työvaiheeseen ja rytmittää sen.

Jälkihoitosuunnitelma tehdään erikseen, koska sillä varmistetaan betonien optimaaliset säilyvyysolosuhteet. Työmailla jätetään monesti huomioimatta betonin jälkihoito, koska siitä ei ole erillistä selvää suunnitelmaa. Tässä aiheutuu turhia kustannuksia urakoitsijalle. Jälkihoitosuunnitelmasta pitäisi kertoa ainakin seuraavat asiat:

- milloin betoni on saavuttanut lujuuden, että muotit voidaan purkaa
- miten valetut pinnat suojataan
- miten lujuuden kehitys varmistetaan
- minkälaiset ovat betonin säilyvyysolosuhteet.

Telinesuunnitelmaan kuuluvat

- tuki- ja työtelineiden käyttöohje
- rakennesuunnitelma eli tarvittavat laskelmat, piirustukset ja ohjeet telineiden turvallisesta käytöstä)
- käyttösuunnitelma eli tarvittavat piirustukset ja ohjeet työtelineen turvallisesta sijoituksesta työmaalla ja sen muuhun työympäristöön soveltuvuudesta
- kohteen tiedot ja työmaan erityispiirteet.

4.3 Laadun valvonta ja dokumentointi

Jotta päästäisiin haluttuun lopputulokseen, laaditaan betonitöiden eri vaiheista riskikartoitus, jossa selvitetään työvaiheeseen sisältyvät riskit, ne voivat liittyä esimerkiksi

- rakenteen laatuun
- seuraavaan työvaiheeseen
- työnaikaiseen toimintaan
- aikatauluun ja kustannuksiin.

Riskikartoituksessa sovitaan toimenpiteistä, vastuista ja tarkastuksista havaittujen riskien suhteen. Riskikartoitus tehdään suunnitelmakatselmuksen ja aloituspalaverien yhtey-

dessä. Betonointiin liittyviä tarkastuksia tekevät viranomaiset, rakennuttaja ja työnsuorittaja omasta työstään. Tarkastukset ovat mallityöntarkastuksia, joilla varmistetaan menetelmän soveltuvuus, työvaiheen tarkistuksia, joilla toteutetaan seuraavan vaiheen aloitusvalmius, tai hyväksymistarkastuksia. Tarkastuksista ja niiden dokumentoinnista sovi-
taan työn alussa.

Betonitöihin liittyviä tarkastuksia ovat

- suunnitelmatarkastukset
- muottitarkastukset
- telinetarkastukset
- raudoitustarkastukset
- valun aikaiset mittaukset
- kovettumisen aikaiset mittaukset
- betonipintojen tarkastus.

5 PINTABETONILATTIAT

Lattiat ovat yleensä rakennuksen näkyvämpiä ja rasitetuimpia rakenteita, joiden tulee kestää rakennusaikaiset sekä rakennuksen käytöstä aiheutuvat rasitukset vaurioitumatta. Betonilattialla tarkoitetaan yleensä laattarakenteen ylintä betonikerrosta. Betonilattiat voidaan jakaa rakenteellisen toimintatavan mukaan maanvaraisiin betonilattioihin, pintabetonilattioihin ja kantavan rakenteen päälle tehtäviin kelluviin betonilattioihin. Pinta-betonilattiat voivat olla joko raudoittamattomia tai raudoitettuja, alustaansa kiinnitettyjä tai alustastaan irti laakeroituja. (2, s. 15.)

Korkealaatuisen betonilattian saavuttaminen edellyttää lattian huolellista suunnittelua, optimaaliset valuolosuhteet, tasalaatuisen alustan, virheettömiä työsuorituksia, oikeaa betonilaatua, oikean työmenetelmän, huolellista jälkihoitoa, riittävää kovettumisaikaa ennen lattian kuormittamista ja yhteistyötä suunnittelijan sekä työmaan betonintoimittajan välillä.

5.1 Betonilattian luokitusjärjestelmä

Laatuluokitusjärjestelmään on otettu yleiset laatutekijät, joilla on tärkeä merkitys lattian kestävyydelle ja jotka ovat sovitulla tavalla mitattavissa valmiista lattiasta. Näitä laatutekijöitä ovat tasaisuus, kulutuksenkestävyys sekä muut laatutekijät, jotka ilmoitetaan betonin lujuusluokan vastaavina numeroarvoina. Tasaisuus ilmoitetaan kirjaimin A₀, A, B ja C, joista A₀ on vaativin. Kulutuksenkestävyys ilmoitetaan numeroin 1, 2, 3 ja 4, joista luokka 1 on vaativin. Muihin laatutekijöihin luetaan betonin lujuuden ohella kiinnitetyn lattian pintabetonin tartunta alustaan, paksuusvaihtelut ja raudoituksen sijainnin vaihtelut. Luokitusperusteiden mukaisesti lattian luokka ilmoitetaan kirjain-numeronyhdistelmänä esimerkiksi A – 2 – 35. Ensimmäinen kirjain ilmoittaa tasaisuusvaatimuksen, ensimmäinen numero kulutuskestävyyden ja toinen numero betonin lujuusluokan. (2, s. 1.)

5.2 Betonilattian laatutekijät

Tasaisuus

Tasaisuuden arvosteluperusteina käytetään lattian hammastusta, aaltoilua ja kaltevuusvirheitä. Tasaisuutta verrataan vaakasuoraan tasoon tai, jos lattia on kalteva, nimelliskaltevuuteen. Tasaisuus mitataan vesivaa'alla ja linjalaudalla. Tasaisuusvaatimuksen saavuttamista, on hyvä seurata koko työn ajan. Ennen työn luovuttamista tehdään vastaanottomittaus sekä työntekijän että vastaanottajan edustajan läsnä olleessa, ellei kumpikin osapuoli pidä toimenpidettä tarpeettomana. Mittaus tehdään kahdesta toisiaan vastaan kohtisuorasta linjasta. Mittaus on ulotettava myös saumojen yli. Tasaisuuspoikkeamat eivät saa missään lattian kohdassa ylittää taulukossa 1 olevia arvoja. (2, s. 4.)

TAULUKKO 1. Suurimmat sallitut mittapoikkeamat (2, s. 4)

Tasaisuuspoikkeama	Mittausluokka L [mm]	Suurin sallittu poikkeama [mm]			
		A ₀	A	B	C
Hammastus		0	0	1	1
Poikkeama vaakasuorasta tai nimelliskaltevuudesta	enintään 200	1	2	3	4
	enintään 700	2	4	6	8
	enintään 2000	4	7	10	14
	enintään 7000	7	10	14	20
	yli 7000	10	14	20	28

Kulutuksenkestävyys

Kulumisella tarkoitetaan luokitusohjeissa testauslaitteen teräspyörien aiheuttamaa kulumista puhtaalla betonipinnalla, jota ei ole käsitelty millään lailla. Betonilattian sallittu kuluminen mitataan betonilattioiden kulutuksenkestävyyden mittauslaitteella, jossa on kolme teräspyörää, joiden halkaisija on 110 mm ja leveys 50 mm. Pyörät kiertävät ympyrää, jonka halkaisija on 500 mm pyörän keskeltä mitattuna. Kokeessa irronnut aines imetään pois yhden pyörän perässä liikkuvalla suulakkeella. Kulutuksenkestävyysskoet tehdään 3 kuukauden kuluttua lattian valusta, jos betonin kypsyyssikä on vähintään 50 d. (2, s. 7.) Lattian kulutuksenkestävyys riippuu erityisesti betonilattian pinnan ominaisuuksista, joihin vaikuttavat betonin koostumus, hiertoajankohta, hiertomenetelmä ja jälkihoito.

Muut laatutekijät

Muut laatutekijät ilmoitetaan betonin lujuusluokan vastaavina numeroarvoina 60, 50, 40 ja 30, joista 60 on vaativin. Lattiabetonin lujuus arvostellaan Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisin normi- ja rakennekokein. (2, s. 8.)

Tartuntalujuudella tarkoitetaan pintabetonilattian ja alusbetonin välisen sauman kohdistuoraa vetolujuutta. Tartuntalujuuden pitää olla vähintään BY 45 -ohjeen luvun 1 taulukon 1.5 mukainen. Lisäksi lattian tulee osoittaa olevan kauttaaltaan kiinnittynyt alustaansa koputuskokein. Lattiaa koputettaessa alustaansa kiinnittymätön lattia kopahtaa ontosti. Tällaista kutsutaan kopolattiaksi.

Paksuuspoikkeamalla tarkoitetaan laatan paksuuden vaihteluita nimellispaksuuteen verrattuna. Mittaustulosten keskiarvon on oltava vähintään nimellispaksuuden suuruinen. (2, s. 9.) Jos elementtivalipohja on tehty ontelolaatoista, joissa on pitkä jänneväli ja sen mukainen esijännitys, ei käytännössä päästä mitenkään paksuuspoikkeaman toleransseihin. Laatan paksuusvaihteluita seurataan jatkuvalla työnaikaisella valvonnalla. Valmiista laatasta paksuus saadaan selville poraamalla lattiaan pieniä reikiä, joista paksuus mitataan

Keskeisellä raudoituksen sijainnin vaihtelulla tarkoitetaan lattialaatoissa raudoituksen sijainnin poikkeamia korkeussuunnassa laatan todellisen paksuuden keskipisteeseen nähden. Lisäksi raudoituksen sijaintia määriteltessä pitää ottaa huomioon, että ympäristöluokitukseen perustuva betonipeitteen tulee olla riittävä. Valmiista lattiasta raudoituksen sijainti saadaan selville mittaamalla se laatan läpi poratusta lieriöstä tai likimääräisesti sähkömagneettisella peitepaksuusmittarilla. (2, s. 11.)

Luokittelemattomat laatutekijät

Betonin kohtuullisen kuivamisnopeuden takaamiseksi on kuivuminen otettava huomioon lattian suunnittelussa ja toteuttamisessa. Kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat alusta, betonointimenetelmät, betonimassa, jälkihoitotapa sekä kuivumisolosuhteet. Kuivumisolosuhteet ovat työmaan kannalta tärkeimmät, koska juuri niihin voidaan vaikuttaa työmaalla tehokkaasti. (2, s. 12.)

Kemiallinen kestävyys on otettava huomioon kohteissa, joissa esiintyy betonille vaarallisia aineita. Tyypillisiä kohteita ovat teurastamot ja kemian tuotantolaitokset.

Ulkona oleville rakenteille tulee asettaa pakkasenkestävyysvaatimus. Tyypillisiä kohteita ovat lastauslaiturit ja pysäköintitalot. Muita mahdollisia betonilattialle asetettuja laatuvaatimuksia ovat

- vesitiiviys
- karheus
- sähkönjohtajuus
- ulkonäkö.

5.3 Betonilattioiden perustyyppit

Betonilattialla tarkoitetaan laattarakenteen ylintä betonikerrosta, joka toimii rasituksen alaisena kulutuspinntana joko sellaisenaan tai pinnoitettuna. Lattiarakenteen suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota siihen, ettei lattiaan pääse syntymän pakkovoimia, vaan se on irrotettu siihen liittyvistä rakenteista. Betonilattiat jaetaan rakenteellisen toimintatapansa mukaan seuraaviin perustyyppihin.

1. Maanvarainen laatta sora-alustalla, jossa ei ole tiivistä pinnoitetta.
2. Lämpöeristetty maanvarainen laatta sora-alustalla, jossa on tiivis pinnoite.
3. Tartuntapintabetonilattia, joka on paikalla valetun tai kantavan laatan tai elementtirakenteen päällä.
4. Kelluva lattia, joka on kantavan laattarakenteen päällä. (2, s. 15.)

Tässä lopputyössä keskitytään tutkimaan kohdan 3 lattiatyyppiä. Oulun virastotalossa käytetyt pintabetonilattiat ovat alustaansa kiinnitettyjä ja raudoitettuja.

5.4 Yleisimmät ongelmat betonilattioissa

Diplomi-insinöörien Pirjo Tepposen ja Pekka Vuorisen tutkimuksessa on selvitetty yleisimmät ongelmat pintalattioissa (6). Tähän on kerätty tutkimuksen keskeisimmät tutkimustulokset. Betonilattian tekeminen on aina vaativa suoritus, jossa kaikkien osapuolten on ymmärrettävä valmiin lopputuloksen laatu. Jotta betonilattiasta tulee tilaajan vaa-

timusten mukainen, on betonilattian toteuttamiseen osallistuvien osapuolten ymmärrettävä myös muiden osapuolten ratkaisujen vaikutus halutulle valmiille lattialle. Tämä suunnittelijan, lattiantekijän ja pääurakoitsijan välinen yhteistyö, jossa kaikilla on omat tavoitteensa aiheuttaa monesti ongelmia. Lattiantekijä haluaa tuotantomenetelmän ja betonilaadun, joka on mahdollisimman nopea ja helppo työstää. Suunnittelija haluaa halkeilemattoman, nopeasti kuivuvan, isolla raekoolla olevan betonimassan, jossa pinta kestää hyvin kulutusta. Tilaajan on luotava sellaiset olosuhteet, jossa on optimaaliset olosuhteet betonilattian toteuttamiseen.

Ongelmia kiinnitetyissä pintabetonilattioissa

Pintabetonilattioista suunnitellaan nykyään erittäin ohuita. Tämän takia maksimirakeko valitaan mahdollisimman pieneksi. Tällainen betonimassa sisältää runsaasti vettä. Lattiantekijän kannalta ne ovat mieluisia massoja, koska niiden työstettävyyden on hyvä. Näillä betonimassoilla tehtyjen pintabetonilattioiden kulutuksenkestävyys on huono ja ne halkeavat helposti. Notkeiden ja runsaasti vettä sisältävien massojen käyttöä perustellaan vaikeilla massan siirroilla ja ohuilla pintalattioilla, joita ei jäykemmällä betoneilla pystytä valamaan ja oikaisemaan haluttuun tasaisuuteen.

Urakoiden aikataulut ovat yleensä sellaisia, että pintalattiatyöt sijoittuvat kevät-talvelle. Tämä asettaa pääurakoitsijalle haasteita saada optimaaliset valu- ja jälkihoito-olosuhteet. Yleinen ongelma on, että valualusta on kylmä ja valutila lämmitetty. Ohuen pintalattian jäähtyminen on nopeaa, vedenerottuminen voimakasta ja veden haihtuminen pinnasta voimakasta, jolloin vain pintakerros valusta lähtee sitoutumaan toivottuna aikana. Tartuntalujuus ei ole vielä kehittynyt, kun pintaosissa tapahtuu jo kutistumista. Tällöin plastisen halkeilun vaara on suuri. Jos valualusta on huonosti puhdistettu, jää tartunta alustaan heikoksi ja kiinnitetystä pintalattiasta tulee irrotettu lattia eli kopolattia. Kopolattia halkeilee helposti ja halkeilun kohdalla reunat käyristyvät ylöspäin. Kun pintabetonilattia irtoaa alustastaan isommalta alalta, voi siihen muodostua kutistumaa pitemmältä matkalta ja silloin myös halkeilun vaara on suuri.

Ongelmia kelluvissa betonilattioissa

Kelluva lattia ei saa olla kosketuksissa kovaan ympäröivään rakennusosaan, jotta se toimii ääniteknisesti oikein. Kelluva lattia on rakentajille haastava. Eristyskerroksen on kestävä rakentamisen rasitukset koko rakentamisen ajan ehjänä.

Kiinnitettyihin pintalattioihin verrattuna kelluvat lattiat tehdään paljon myöhäisemmässä vaiheessa. Ohuen rakennekerroksen tulisi kuivua mahdollisimman nopeasti pinnoituskosteuteen. Kelluva rakenne pääsee kuivumaan vain yhteen suuntaan, mikä hidastaa kuivumista.

Koska kelluva lattia ei ole kiinni alustassaan, on betonin ylä- ja alapinnan eriaikaisesta kuivumisesta ja kutistumisesta johtuva käyristyminen huomattavasti suurempaa kuin kiinnitetyissä lattioissa. Käyristymisen suuruus riippuu betonilaadusta, jälki-hoidosta sekä vallitsevista ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. Mitä suuremmat vesi- ja hienoainesmäärät betonissa ovat ja mitä huonompi jälkihoito, sitä suurempi on käyristyminen.

Suuntaus liian ohuisiin betonilaattoihin korostuu kelluvissa lattioissa. Laatan tulisi olla vähintään 70 mm, jotta vähintään 12 mm:n maksimiraekoolle, raudoitukselle ja työnsuoritukselle jäisi riittävästi tilaa. Raudoitusverkon keskeisen sijainnin ja hyvän, riittävän tiheän verkon tuennan merkitys korostuu ohuissa kelluvissa betonilaatoissa.

Ongelmia maanvaraisissa laatoissa

Maanvaraisissa laatoissa ongelmia aiheuttaa se, että ne eivät toimi rakenteellisesti oikein. Laatan kutistumaa estävät rakenteet aiheuttavat laatan sisään kutistumisen estymisestä jännityksen. Kun jännitys ylittää betoninvetolujuuden, lattiaan tulee halkeama.

Valuolosuhteiden saaminen edullisiksi on hankalaa. Välipohjiin verrattuna laattaa ei voi lämmittää alapuolelta minkä takia valualusta on kylmä. Tilat ovat monesti korkeita, jolloin ne on vaikea saada tarpeeksi lämpimiksi ja vetoisuus estettyä.

Maanvaraisissa laatoissa on suurin kulutuksenkestävyysvaatimus. Usein valittu materiaalien tai toteutustavan ratkaisu ei ole ollut realistinen lattiaan kohdistuvaan kulutukseen nähden. Kuivumisolosuhteilla ja jälkihoidolla on myös vaikutusta kulutuskestävyyteen.

5.5 Betonilattioiden työmenetelmät

Tehotiivistysmenetelmässä jäykkä betonimassa tiivistetään tehokkaasti. Betonilattioiden tehotiivistys on vanha ja tunnettu menetelmä. Jäykkää massaa käytettäessä plastiset painumat sekä kutistumat jäävät pienemmiksi kuin notkeammalla betonimassalla. Tämä johtuu pienestä vesi-sementtisuhteesta. Pinnasta tulee tasaisempi ja sen tasaisuus säilyy paremmin. Jäykkää massaa käytettäessä pinnan hierto voidaan aloittaa nopeammin kuin notkeita massoja käytettäessä. Pinnan kulutuskestävyys on hyvä, koska karkean kivaiuksen määrä voi olla suuri, eikä hienoaines erotu pintaan paksuksi kerrokseksi. Lattian tiivistyksessä voidaan käyttää tärypalkkeja ja hierontokoneita. Tärypalkkeista on kehitelty erilaisia sovellutuksia kuten ristikkotärypalkki, uivat tärypalkit, rullat ja pintatäryttimet. Uusinta teknologiaa ovat laserohjatut betonipinnan oikaisukoneet, jotka suorittavat kaikki betonin käsittelyyn tarvittavat toimenpiteet. Tehotiivistettyjen lattioiden jälkihoidoksi ruiskutetaan heti pinnan tasauksen jälkeen jälkihoitoaine. (2, s. 105–106.)

Imubetonointimenetelmä esitellään betoniyhdistyksen By 45:n (2) mukaan. Imubetonointia on Suomessa käytetty yli 30 vuotta. Imubetonin käytössä massa on helposti työstettävää ja tiivistettävää, mutta lopputuloksena on luja ja kulutuksen kestävä lattia. Imubetonoinnissa poistetaan imukäsittelyn avulla vesi, jota on tarvittu massan levityksen, tiivistyksen ja pinnan tasaisuuden aikaansaamiseksi. Imubetonissa betonilattiasta tulee tiivis ja luja, koska betonin vesi-sementtisuhte tippuu käsittelyn ansiosta kovettuvalla betonille edulliseen tasoon. Imubetoni sopii suuriin kohteisiin, jotka ovat pinta-alaltaan laaja-alaisia ja muodoltaan suoraviivaisia, ja tiloihin, joissa on vähän pilareita, läpivientejä tai muita esteitä imumattojen levityksen esteinä. Imukäsittely sopii maanvaraisille laatoille, pintabetonilattioille tai massiivisille kantaville laatoille.

Imukäsittelyllä betonista poistetaan vettä 20–25 % alkuperäisestä vesimäärästä. Eniten vettä vähenee laatan yläpinnasta ja poistuva veden määrä vähenee mentäessä syvemmälle laatan sisälle. Imuajan nyrkkisääntönä on 1,5 minuuttia betonikerroksen paksuuden

jokaista senttimetriä kohden. Imukäsittelyllä poistettava vesi on suunniteltava etukäteen lattian lujoustavoitteiden ja betonin koostumuksen perusteella. Imukäsittelyssä tarvittava paine-ero aikaansaadaan imumaton avulla, joka koostuu päällysmatosta, suodatin-kankaasta sekä näiden väliin tulen veden ja alipaineen välittävästä verkosta ja ritilästä. Paine-ero 70–90 kN/m² saadaan aikaan pumpulla. Imetty vesi kerätään pumpussa olevaan säiliöön. Imetyn vesimäärän tarkkailu on tärkeä laadunvarmistuksen kannalta. Liian vähän imetty lattia ei saavuta haluttua lujutta ja liikaa imetyssä lattiassa halkeiluriski kasvaa eikä vettä jää tarpeeksi betonin hydradaatioreaktioihin.

Imukäsittely voidaan aloittaa ohuilla alle 150 mm:n laatoilla heti pinnan tasauksen jälkeen. Massiivisilla laatoilla käsittelyyn ei ole yleispäteviä ohjeita, vaan ne on käsiteltävä tapauskohtaisesti. Pintojen hierto voidaan aloittaa heti imemisen jälkeen. Hierto suoritetaan koneellisesti paitsi pilarien ja läpivientien kohta käsin hiertäen. Pinta tulee hiertää vähintään kaksi kertaa muistaen, että mitä useampia kertoja hierretään, sen lujempi siitä tulee.

Imubetonoinnissa voidaan saada seuraavia hyötyjä:

- Imubetonin lujuus on parhaillaan juuri siellä, missä sitä eniten tarvitaankin eli pinnassa.
- Imukäsittely vähentää lattian kutistumishalkeilua ja halkeiluriskiä sekä vähentää vedenerottumisesta aiheutuvia riskejä.
- Imukäsittely nopeuttaa hierron aloitusta ja varhaislujuuden kehitystä.
- Imubetonointi nopeuttaa betonilattian kuivumista, kuivatuksen tarvetta ja pinnoittaminen voidaan aloittaa aikaisemmin.
- Imukäsittely parantaa betonikerroksen tartuntaa alusbetoniin.

Imubetonointiin liittyvät haitat ja riskit:

- Imeminen on lisätyövaihe, joka nostaa kustannuksia.
- Läpivientien ja pilarien läheisyydessä imeminen voi jäädä puutteelliseksi, minkä vuoksi lattian ominaisuudet vaihtelevat eri paikoissa.
- Imumattojen peseminen talvella, koska se vaatii lämpimän tilan.

Imubetonoinnissa saatu laadun paraneminen on riippuvainen betonimassan imettävyydessä. Imukäsittelyn onnistumiseen vaikuttaa pääasiassa massan hienoainemäärä, läm-

pötilä, sementin tyyppi sekä massan valmistuksesta imuun kulunut aika. Pumpattavan betonin ominaisuudet ovat täysin erilaiset kuin hyvin imettävän massan. Tämän takia suunniteltaessa massan siirtoa on pumppaaminen vasta viimeinen käytettävissä oleva siirtämistapa.

Imetyn betonilattian jälkihoito tulee aloittaa välittömästi viimeisen hierron yhteydessä ruiskuttamalla pintaan jälkihoitoaine. Seuraavana päivänä betonin pintaan levitetään muovikalvo.

Tässä lopputyössä tutkitut pintabetonilattiat on tehty **lisäaineella notkistetun massan menetelmällä** ja sen edut ja haitat on kattavasti kerrottu aikaisemmissa luvuissa. Menetelmän etuja ovat massan helppo käsiteltävyys ja soveltuvuus niin sokkeloisten kuin laajojen pinta-alojen tekemiseen. Massan työstettävyys pysyy hyvänä, vaikka vesi-sementtisuhde onkin pieni, jolloin lattioiden kulutuksenkestävyydestä tulee hyvä.

Työsaavutukset ovat tällä menetelmällä myös betonointimenetelmistä ylivoimaisesti suurimmat. Tartuntaominaisuudet ovat myös paremmat kuin muissa menetelmissä. Työmaalla menetelmä on helpoin eikä vaadi samanlaista ammattiosaamista kuin muut menetelmät.

Notkistetun massan valmistaminen vaatii tarkkuutta ja taitoa. Notkistamalla tehty massa on paljon herkempää laadun vaihteluille kuin muilla menetelmillä betonoitavat massat. Notkistimien vaikutusajat ovat lyhyitä, mikä asettaa kuljetuslogistiikalle ja betonoinnin suoritukselle tarkempaa suunnittelua ja sujuvuutta. Hyvin notkistetuilla massoilla pinnan oikaiseminen riittää ja jälkihoito voidaan aloittaa suoraan tasaamisen jälkeen ruiskuttamalla jälkihoitoaine suoraan pintaan.

6 BETONIN KUIVUMINEN

Betonin valmistamisessa käytetyn kosteuden (veden) pitää poistua osittain betonista, ennen kuin betonirakennetta voidaan päällystää jollakin materiaalilla. Se, kuinka paljon kosteutta betonista pitää poistua, riippuu käytettävästä pinnoitusmateriaalista. Osa betonin valmistamisessa käytetystä vedestä muodostaa sementin kanssa sementtiliiman, joka sitoo runkoainepartikkelit toisiinsa betonin kovettuessa. Tämä kemiallisesti sitoutunut vesi ei pysty poistumaan betonista. Kovettuneeseen betoniin jää kokonaisvesimäärästä noin 20 %. (7, s. 33.)

Koska vain osa vedestä sitoutuu hydradaatioreaktiossa, on betonissa vielä paljon haihtumiskykyistä vettä. Tämä vesi sitoutuu betonin huokosrakenteeseen siten, että betonin pyrkiessä tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa osa vedestä poistuu ympäristöön. Kosteuden poistumista tapahtuu niin kauan, että betonin huokosrakenteen ja ympäröivän ilmatilan suhteellinen kosteus on yhtä suuri. (7, s. 33.)

Haihtumisen seurauksena betonin pintakerroksen kosteus pienenee. Haihtumisolosuhteet määräävät, kuinka nopeasti pintakerroksen kosteus pienenee. Kun pinnan kosteus pienenee, niin rakenteen sisältä siirtyy kosteutta pintaan päin. Kun kosteutta rakenteen sisältä siirtyy pintaan vähemmän, kuin pinnalta haihtuu, pinta kuivuu. (7, s. 33.)

Kuivumisen siirtyessä syvemmälle rakenteeseen kuivumista tapahtuu kapilaarisierityksen ja diffuusion avulla. Kapilaarisen siirtymisen edellytyksenä on yhtenäinen vedellä täyttynyt huokosverkosto. Hydradaation edetessä huokosverkko katkeaa, jolloin siirtyminen betonissa tapahtuu diffuusion avulla. Kosteuden siirtyminen diffuusiolla perustuu huokoisen materiaalin eri osissa oleviin eri osapaineisiin. Kosteus siirtyy isommasta osapaineesta pienempään. Kun betonirakenteen pinnan huokosista haihtuu kosteutta ilmaan, sen seurauksena diffusoituu syvemmältä rakenteesta vesihöyryä rakenteen pintaan. Diffuusiolla siirtyy huomattavasti pienempiä vesimääriä kuin kapilaarisen siirtymisen avulla. (7, s. 34.)

6.1 Betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät

Betonin kuivumiseen vaikuttavat asiat voidaan jakaa kolmeen ryhmään: betonin ominaisuudet, rakenneratkaisut ja ympäristöolosuhteet. Edellä mainituilla seikoilla on merkittävä vaikutus betonin kuivumiseen. Betonin lyhyt kuivumisaika vaatii, että kaikki kolme vaatimusta ovat kunnossa. Rakennesuunnittelija määrittää rakenneratkaisun, joka vaikuttaa siihen, kuinka pitkän matkan kosteus joutuu siirtymään betonissa päästäkseen haihtumaan ympäröivään tilaan. Lisäksi kuivuminen hidastuu oleellisesti, jos kuivuminen on mahdollista vain yhteen suuntaan. Betonilaatan kuivumisaika kasvaa noin nelinkertaiseksi, jos laatta pääsee kuivumaan vain yhteen suuntaan. (7, s. 35.)

Ympäristöolosuhteet ovat rakennusurakoitsijoiden kannalta kaikkein tärkeimmät, koska niihin urakoitsijat voivat vaikuttaa työmaalla. Olosuhteiden merkitys betonin kuivumisen kannalta on merkittävä. Maksimaalisten kuivumisolosuhteiden saaminen eteenkin talvisaikaan on hankala haaste urakoitsijoille. Maksimaaliset olosuhteet voidaan kyllä saavuttaa, mutta niistä betonin kuivumisen nopeutumisen kautta saatu hyöty ei ole yhtä iso kuin taloudellinen panostus. Ympäristöolosuhteet muodostuvat ympäristön lämpötilasta, suhteellisesta kosteuspitoisuudesta ja hallitusta ilman vaihtuvuudesta.

Mitä alhaisempi ympäröivän tilan suhteellinen kosteus on, sitä suurempi on rakenteen sisäosan ja pinnan kosteusero ja myös kosteutta siirtävä voima. Betonin kuivumisen kannalta optimaalinen ilman suhteellinen kosteus on 40–60 %. (7, s. 35.)

Lämpötilalla on olennainen vaikutus betonin kuivumiseen. Betonin lämpötilan laskiessa pienenee betonin huokosrakenteen vesihöyryn osapaine ja kosteutta siirtävät voimat pienenevät. Optimaalisena lämpötilana betonin kuivumisen kannalta pidetään + 20:tä astetta. (7, s. 35.)

Vaikka talviaikaan tiloja lämmitetään, käy monesti niin, että betoni jäähtyy. Tämä johtuu siitä, että valualusta on kylmä ja lämmittimet lämmittävät vain ilmaa. Tämä auttaa betonin kuivumista laskemalla ympäröivän ilman suhteellista kosteutta. Tässä on kuitenkin vaara, että betonilaatta kuivuu pinnasta liian nopeaa ja tämä johtaa hallitsemattomiin halkeiluihin.

Betonin erikoisominaisuuksilla voidaan vaikuttaa ratkaisevasti siihen, miten nopeasti betonirakenne kuivuu. Betonin lujuus ei vaikuta merkittävästi kuivatusaikaan. Vaikka korkeamman lujuuden betoneissa on pienempi rakennekosteuden määrä, sen poistuminen betonista hidastuu, koska betoni on tiiviimpään.

Maksimiraekoon merkitys betonin kuivumiseen on huomattava. Kun maksimiraekokoa kasvatetaan, nopeutuu betonin kuivuminen huomattavasti. Nykyään melkein kaikki lattiabetonit pumpataan. Tämä on aiheuttanut suuntauksen pienen raekoon massoihin, jotka vaativat pitkän kuivumisajan.

VTT on tutkimuksessaan Betonin rakennuskosteuden hallinta ja kuivatuksen nopeuttaminen huomannut betonin huokoistamisen nopeuttavan merkittävästi betonin kuivumisnopeutta (8, s. 5). Betonin huokoistaminen heikentää betonin lujuutta, jonka vuoksi huokoistettu lattiabetoni soveltuu lattioihin, joilta ei vaadita kulutuksenkestävyyttä.

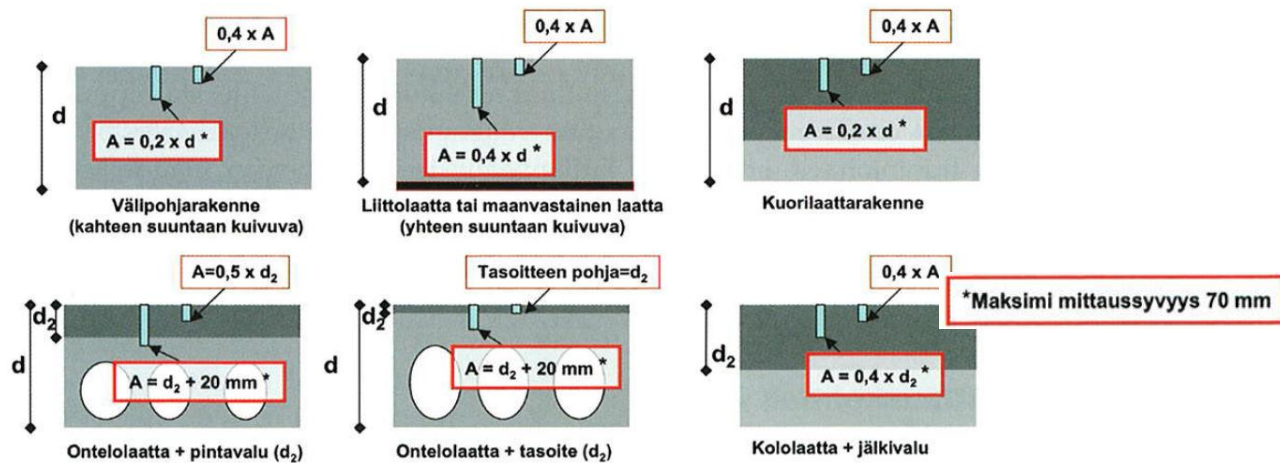
6.2 Betonirakenteiden kosteusmittaus

Betonirakenteiden kosteusmittaus on esitetty YIT:n sisäisten laatuohjeiden mukaisesti. Betonirakenteiden kosteusmittauksia tehdään yleensä niistä betonirakenteista, jotka päällystetään. Ennen päällystys- tai pinnoitustyöhön ryhtymistä on betonin suhteellisen kosteuden oltava alle vaaditun pinnoitus materiaalin raja-arvon. Kuten edellisessä luvussa todettiin, betonin kuivuminen johtuu monesta eri tekijästä. Tämän takia betonin riittävästä kuivumisesta ei voida varmistua kuin mittaamalla betonirakenteen kosteus. Koska betonin kosteusmittaus on vaativa toimenpide, jonka pohjalta tehdään suuria taloudellisia päätöksiä, on kosteusmittaus varmintä jättää kosteusmittauksiin erikoistuneelle henkilölle, joka analysoi myös saadut tulokset.

Betonirakenteen kosteus on mitattava hyvissä ajoin ennen päällystystyön aloitusta, jotta jäisi aikaa tarvittaville kuivatustoimenpiteille aikataulua häiritsemättä. Kosteusmittaukset suoritetaan betonin ilmahuokosten suhteellista kosteutta mittaavilla antureilla. Mittaukset tulee aloittaa viimeistään 3–4 viikkoa ennen päällystysajankohtaa. Jos betonin luonnollinen kuivumiskehitys ei ole riittävä, kuivumista voidaan nopeuttaa koneellisesti. Mikäli suhteellinen kosteus ei kuivatustoimenpiteistä huolimatta ole saavuttanut pääl-

lystemateriaalille vaadittavia raja-arvoja, sovitaan päällystysajankohdan lykkäämisestä ja kuivatustoimenpiteitä jatketaan.

Kuvassa 2 on esitetty arviointisyvyys (A), joka on rakenneratkaisusta ja rakenteen paksuudesta riippuvainen mittaussyvyys, jossa päällystemateriaalin edellyttämä kriittinen suhteellisen kosteuden arvo (RH %) on alitettava. Maksimimittaussyvyys on 70 mm. Lisäksi mittaus tehdään betonirakenteen pinnassa 10–30 mm:n syvyydellä, missä 0,4 x A, missä suhteellisen kosteuden arvon tulee olla alle 75 % RH.



KUVA 2. Suhteellisen kosteuden mittaussyvyvydet (YIT:n laatuohjeet)

Ennen mittauksiin ryhtymistä keskeytetään lämmitykseen perustuva betonin kuivattaminen ja annetaan betonin tasaantua noin +20 °C:n lämpötilassa pari vuorokautta. Betonin lämpötila laskee huomattavasti suhteellista kosteutta nopeammin tasapainoarvoonsa. Jos mittaus suoritetaan liian aikaisessa vaiheessa, mittaustulos voi olla liian korkea suhteessa vallitsevaan lämpötilaan.

Mittaus aloitetaan poraamalla kaksi rinnakkaista reikää arviointisyvyydelle (A) ja yksi reikä lähemmäs pintaa 1–3 cm:n syvyydelle. Porauksessa käytettävä terä valitaan asennettavan putken ulkohalkaisijan mukaan. Reiät puhdistetaan porausjätteestä imurilla. Puhdistamaton porareikä antaa liian korkeita suhteellisen kosteuden arvoja. Reiät tiivistetään sivuilta reiän pohjaan ulottuvalla putkella. Lisäksi tiivistetään putken ja betonin rajapinta sekä putken yläpää ilma- ja kosteustiiviisti esim. mal-kitillä ja kumitulpilla.

Tiiviisti suljetun mittausreiän annetaan tasaantua vähintään kolme vuorokautta ennen mittausta. Pääsääntönä on, että alle viikon ikäisistä mittausrei'istä saadaan todellisuutta korkeampia suhteellisen kosteuden arvoja.

Kosteusanturit tulee säilyttää ja kuljettaa työmaalle välttämättä suuria lämpötilavaihteluita. Antureiden annetaan tasaantua mittausolosuhteiden lämpötilaan ennen reikään asennusta. Kalibroitu kosteusanturi asetetaan mittausreikään. Reikä tiivistetään mahdollisimman lähelle mittauspäättä. Anturin annetaan olla mittausreiässä vähintään 60 min ennen mittauksen aloittamista. Liian lyhyt tasaantumisaika antaa liian alhaisia suhteellisen kosteuden arvoja.

Mittausreiässä olevaan anturiin kytketään näyttölaite ja tehdään tarvittavat laiteasetukset. Mittaustulokset (suhteellinen kosteus ja lämpötila) luetaan, kun näyttölaitteen näytön lukema on vakiintunut.

Mittaustulokset merkitään kosteusmittauspöytäkirjaan, joka arkistoidaan työmaasiakirjojen yhteyteen.

Vaikka betonin suhteellisen kosteuden menetelmä on yleisesti käytössä, ovat sillä saatavat tulokset kuitenkin suuntaa antavia. Betonin suhteellisen kosteuden mittaukseen vaikuttavia tekijöitä ovat seuraavat:

- Kalibroimaton mittapää. Kalibrointi tulee tehdä vuoden välein.
- Lämpötilan muuttuminen mittaamisen aikana.
- Mittapää ei ole saavuttanut kosteustasapainoa betonin kanssa.
- Virheellinen mittaussyvyys.
- Mittareian puutteellinen puhdistus ja tiivistys.
- Vääränlaisen tiivistysaineen käyttö mittaasputken tiivistämiseen voi aiheuttaa liuotinhöyryjä, jotka vaikuttavat tulokseen.
- 1 °C:n lämpötilaero mittapään ja mitattavan rakenteen välillä voi aiheuttaa 5 %:n virheen suhteellisessa kosteuspitoisuudessa.
- Mittauslämpötilan tulee olla +15–25 °C:n välillä.

7 OULUN VIRASTOTALON PINTABETONILATTIAT

7.1 Oulun virastotalon betonipintalattiat ja itsetiivistyvän betonin käytöllä haetut tavoitteet

Vuonna 2009 valmistuneen Oulun virastotalon betonilattioista alimmaisena 2. kellarikerroksen lattiatyypiksi oli maanvarainen 200 mm paksu betonilaatta. 1. kellarikerroksen välipohja oli 400 mm:n kantava betonilaatta, jonka päälle tuli valettava 80 mm paksu pintabetonilattia. Koska 1. kellarikerroksen välipohjalaatta on 400 mm paksu, kestää sen kuivuminen vuosia. Tämä vaikuttaa myös välipohjalaatan päälle valetun pintabetonilattian kosteustekniseen toimintaan. 1. kellarikerroksen lattian pintamateriaaliksi oli määrätty muovimatto. Tämä muutettiin akryylibetoniksi, koska rakenteen suhteellista kosteutta ei ollut mahdollista saada kuivaksi rakennusaikataulun puitteissa. 1. kerroksessa on uiva mosaiikkikivilattia, joka asennettiin maankostean betonin päälle. 2.–4. kerroksissa on 265 mm:n ontelolaatat, joiden päälle valettiin 80 mm:n pintabetonilaatta. Tässä lopputyössä tutkitaan erityisen tarkasti 2.–4. kerroksen ontelolaattojen päälle itsetiivistyvällä betonilla tehtyjä pintalattioita. Tämä välipohjarakenne on yleisesti käytössä rakentamisessa ja kokemuksesta tietoa itsetiivistyvistä betonista kyseisissä rakenteissa ei ole vielä saatavilla. Pintalattiabetonin vaihdolla normaalista lattiabetonista itsetiivistyväksi betoniksi haettiin taloudellisia säästöjä, tehostettua rakennusprosessia ja parempia laadusta lopputuotetta.

Oulun virastotalon rakennusaikataulu oli tehty erittäin tiukaksi. Suurin ongelma pääura-koitsijan kannalta oli pintabetonilattioiden kuivuminen päällystettävään kosteuteen. Koska ilmat olivat sateisia ja ilman kosteuspitoisuus oli koko ajan lähes 100 %, kuivui-ivat rakenteet erittäin hitaasti. Itsetiivistyvällä betonilla saatiin pintalattiat valettua monta viikkoa etuajassa verrattuna alkuperäiseen rakennusaikatauluun, jolloin pintabetonilattioille jäi mahdollisimman paljon aikaa kuivua vaadittavaan pinnoituskosteuteen. Kun ylimmän kerroksen yläpuoliset katto-ontelolaatat oli asetettu paikoilleen ja saumat-
tu, valettiin samalla viikolla viimeiset pintabetonilattiat. Rakennuksen runko ja pintalattiat tulivat valmiiksi samaan aikaan.

Itsetiivistyvän betonin käytön edut ja taloudellisuus joudutaan arvioimaan pitkälti tapauskohtaisesti. Oulun virastotalon tilaratkaisussa oli vähän väliseiniä, jolloin kerrokset oli helppo betonoida kerralla. Kerroksissa oli paljon isoja ikkunoita, joista tuli luonnon valoa runsaasti kerroksiin. Tämä asetti pintabetonilattialle korkeat laatuvaatimukset. Itsetiivistyvä betoni soveltui erityisen hyvin tähän kohteeseen ja siitä saatava taloudellinen hyöty oli suuri.

Useat selvätkin edut liittyvät tekijöihin, joiden taloudellinen vaikutus ei ole välitön tai se on vaikeasti arvioitavissa. Monesti tämä hyöty ei tule rakennusliikkeiden johdon tietoon tai siitä saatavaa hyötyä ei osata mitata siellä. On tekijöitä, jotka eivät välittömästi vaikuta pintabetonilattian hintaan, mutta ovat oleellisia hyötyjä eteenkin työmaata johtavien henkilöiden kannalta. Tällaisia tekijöitä ovat

- työmaan johtamisen hallinta
- vaakavaluissa alueet voidaan valita vapaammin
- työsaumojen väheneminen
- rakennusajan lyheneminen
- paraneva työympäristö ja työturvallisuus
- jälkitöiden väheneminen ja parempi laatu.

Koska itsetiivistyneissä betoneissa on paljon hienoa kiviainesta, ovat plastisen vaiheen kutistumat monesti ongelmallisia. Oulun virastotalon pintabetonilattioihin määrätty raudoitus korvattiin muovikuiduilla, jotta voitaisiin paremmin hallita plastisen vaiheen kutistumishalkeilua. Kuitujen lisääminen betonimassaan kasvattaa massan sitkeyttä. Tätä kompensoitiin lisäämällä massan notkeutta, jotta työstettävyys ominaisuudet pysyisivät vaaditulla tasolla. Tämä varmistettiin valamalla Lohja Rudus Oy:n betoniasemalla 4 * 4 m:n kokoinen koelaatta, josta todettiin massan työstettävyys ja laatuominaisuudet.

Itsetiivistyvällä betonilla tehdyistä pintabetonilattioista kerättiin tietoa myös niiden kuumumisesta, kutistumisesta, halkeilemisesta, tartunnasta alusrakenteeseen ja pinnoitteen tartunnasta pintabetonilattiaan.

7.2 Aloituskokous

Oulun virastotalon ITB -lattiaita koskevassa aloituskokouksessa olivat paikalla betonitoimittaja Hannu Timonen-Nissi Lohja Rudus Oy:lta, rakennustyönvalvoja Aaro Kempainen ISS Proko Oy:stä, vastaava mestari Tuomo Majava ja vastaava betonityönjohtaja Rami Muotka YIT:stä. Aloituskokouksessa käytiin läpi aloituskäytännön avulla kaikki ITB -betonoinnin olennaiset kohdat. Tällä varmistettiin, että osapuolilla on yhdenmukainen käsitys rakenteen laatuvaatimuksista sekä niiden saavuttamiseen tarvittavista työmenetelmistä ja materiaalivalinnoista.

Ennen aloituskokousta Rami Muotka oli perehdyttänyt Hannu Timonen-Nissin ja Aaro Kempaisen työmaahan ja betonoitavaan alueeseen. Työmaakerroksen aikana oli selvitetty massan siirtoon, purkuun, purkupaikkojen alustoihin, valuolosuhteisiin ja työturvallisuuteen liittyvät asiat. Kerroksen aikana päätettiin, että betonimassa siirretään pumppaamalla. Betonin pumppauspaikka oli Torikatu 10 ja virastotalon välissä, josta pystyttiin betonoimaan koko kerros ilman pumppuauton siirtoa ja aiheutettiin mahdollisimman vähän haittaa työmaan tavara- ja henkilöliikenteelle.

Aloituskokouksessa Rami Muotka esitti pintabetonilattian raudoituksen korvaamista muovikuiduilla. Vaihdamalla rauditus muovikuituun haettiin taloudellisia etuja ja betonin plastisen vaiheen kutistumahalkeilun parempaa hallintaa. Rakennesuunnittelija hyväksyi raudoituksen vaihtamisen kuituihin, edellyttäen, että lattiasta tulee yhtä hyvä kuin raudoitettu betonilattiasta. Sovittiin, että Hannu Timonen-Nissi toimittaa rakennelaskelmat kuitubetonista. Tarkemmin vaihdosta kuitubetoniin ja siitä haetuista hyödyistä kerrotaan seuraavassa luvussa 7.3. Rami Muotkan laatimasta betonointisuunnitelmasta saatiin kaikki muut tarvittavat lähtötiedot, joiden pohjalta voidaan määrittellä itsetiivistyvän betonin laatu ja erityisominaisuudet. Betonointisuunnitelmaa ei esitetä tässä lopputyössä, vaan sen pohjalta laadittu tarkennettu betonityösuunnitelma neljännen kerroksen pintalattiabetonoinnista, joka on liitteessä 1.

7.3 Raudoituksen korvaaminen muovikuidulla

Oulun virastotalo oli pintalattioiltaan erityisen haastava kohde. Oulun virastotalossa on runsaasti ikkunapinta-alaa kerroksissa ja lattian pintamateriaalina on 3 mm paksu kumimatto. Koska kerrokseen tulee paljon luonnonvaloa ja kerroksissa on vähän väliseiniä, näkyvät muovimaton alla olevat halkeamat ja laatuvirheet erityisen hyvin valmiin muovimaton päältä. Halkeamat on korjattava ennen lattian pinnoittamista. Halkeamien korjaaminen jälkikäteen on kallista ja työlästä.

ITB:n tyypillinen koostumus on runsaan hienon kiviaineksen vuoksi monelta osin sellainen, että plastisen vaiheen kutistuma sekä vastaavien kutistumahalkeamien riski on normaalia suurempi. Vaihtamalla rauditusverkot kuituihin haettiin sitä, että pystyttäisiin paremmin hallitsemaan plastista kutistumaa ja halkeilua. Kuidut ehkäisevät tehokkaasti halkeamien syntymistä. Kuidut parantavat betonin vetolujuutta, jolloin ensimmäisen halkeaman syntymiseen tarvitaan suurempia voimia. Raudoituksen vaihtaminen kuituihin vaikuttaa betonimassan ja kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Kuidut tekevät betonimassasta sitkeämpää, mikä huonontaa työstettävyyttä. Työstettävyyttä parannettiin lisäämällä massan notkeutta. Kuidut tekevät massasta koossapysyvämpää, mikä mahdollistaa notkeuden nostamisen. Jakautuessaan homogeenisesti kuidut parantavat betonimassan muodonmuutosominaisuuksia. Muodonmuutosominaisuuksista paranevat veto-, taivutusveto- ja leikkauslujuus. Kuitulattioissa paranee iskunkestävyys, joka on tärkeä ominaisuus lattioissa. Lisäksi kuitubetonimassa tarttuu alustaansa paremmin kuin betonimassa, jossa raudoitteena on verkkorauditus.

Oulun virastotalon 2.–4. kerroksen pintabetonilattioissa on kantava betonialusta ja rakenteen kuituja rasittavat ainoastaan betonin kutistumasta aiheutuvat voimat. Kun pintalattian tartunta alustaan on hyvä, pääsee laatta kutistumaan ainoastaan yläpinnastaan. Kuitujen jakaantuessa tasaisesti betonimassaan on myös laatan yläosassa tehokkaasti betonin kutistumaa hallitsevia kuituja ottamassa vastaan betonin kutistumajännityksiä.

Oulun virastotalo sijaitsee aivan Oulun ydinkeskustassa. Oulun virastotalon työmaalla piti kuljetuslogistiikka suunnitella tarkoin, koska rakennustyömaalla oli materiaalien varastointipaikkoja hyvin rajallisesti. Raudoituksen tullessa suoraan betonimassan mukana jää rauditusverkkojen määrälaskenta, tilaaminen, varastointi, siirto kohteeseen ja

asennus pois kokonaan. Tämä helpottaa resurssien kohdistamista ja lyhentää työaikaa. Näiden taloudellisten ja laadullisten tekijöiden perusteella päätettiin korvata pintabetonilattioihin määrätty raudoitus kuiduilla.

Kuitujen valinnassa päätyttiin muovikuituun, koska teräskuidun poistaminen valun pinnasta on työlästä. Jos teräskuitu jää pystyyn valussa, joudutaan se piikkaamaan irti valusta. Muovikuidun jäädessä esiin valusta se voidaan polttaa nestekaasupolttimella eli kosaanilla helposti pois. Muovikuituja voi olla runsaastikin pystyssä käytettäessä itsetiivistyvää betonimassaa, koska notkeissa massoissa voi esiintyä erottumisongelmaa, jolloin muovikuidut nousevat kevyinä rakenteen pintaan.

7.4 Oulun virastotalon pintabetonilattioiden valmistelevat työt ja betonointi

Neljännän kerroksen pintalattian valupäiväksi suunniteltiin 21.4.2008. Valupäivä oli perjantai, jolloin pintabetonilattia saa kovettua rauhassa viikonlopun ajan. Vastaava betonityönjohtaja Rami Muotka päätti, että pintabetonilattiaa ei peitetä muovilla seuraavana päivänä, koska pintabetonilattian päälle ruiskutetaan heti telauksen jälkeen esijälkihoitoaine, joka estää liiallisen kosteuden haihtumisen. Esivalmistelutyöt aloitettiin edellisellä viikolla, jolloin betoniasemalle ilmoitettiin valupäivä ja varattiin tarvittava kalusto. Aliurakoitsijoille ilmoitettiin työmaakokouksessa, että maanantaina aloitetaan neljännän kerroksen pintabetonilattian valmistelutyöt. Aliurakoitsijat veloitettiin vieämään ylimääräinen tavara pois kerroksesta ja mahdollisuuksien mukaan keskittämään työt muihin kerroksiin. Aliurakoitsijat olivat tottuneet tähän toimintatapaan alemmissä kerroksissa, eikä siirtyminen tuottanut ongelmia aliurakoitsijoiden toiminnalle.

Maanantaina valmistelutyöt aloitettiin tyhjentämällä neljäs kerros tavaroista ja roskista. Lasijulkisivuseiniltä poistettiin holvin reunakaiteet, jotka olivat valettavalla alueella. Lasijulkisivuseinille tehtiin lankuista ja rakennusmuovista väliaikainen seinä, jolla estettiin kerroksessa hallitsemattomat ilmavirtaukset. Porrashuoneisiin johtaviin aukkoihin asennettiin väliaikaiset ovet. Maanantaina saatiin kerros tyhjennettyä tavaroista ja väliaikaiset seinät tehtyä valmiiksi. Työryhmän koko tavaroiden järjestelyssä ja siivouksessa oli kaksi rakennusmiestä ja muoviseinän tekemisessä yksi kirvesmies, jota siivoavat rakennusmiehet tarvittaessa auttoivat.

Tiistaina imuroitiin ontelolaattojen päältä kaikki irtoroskat pois. Imurointi on tärkeä työvaihe, koska mahdollisesti jäävät roskat huonontavat pintabetonilattian tartuntaa ontelolaatan pintaan. Imurointi saatiin valmiiksi keskiviikkona puoleenpäivään mennessä.

Seuraava työvaihe oli solumuovinauhan laittaminen pintabetonilattian ja yhtyvien seinien rajapintoihin. Rakennuksen runko tuli teräspilareista joiden ympärille ei laitettu irrottavaa solumuovinauhaa. Solumuovinauhan laitossa on tärkeää, että nauha tulee suoraan jolloin se jää tulevan lattialistan alle. Solumuovinauhan paksuus on 6 mm ja puisen lattialista koko 12 * 42 mm. Lista peittää hyvin solumuovinauhan, kun se on oikein asennettu. Solumuovinauhat saatiin paikoilleen keskiviikon aikana.

Torstai aloitettiin rakentamalla kaikki varaukset pitäviksi ja laitettiin reunatopparit oviaukkoihin. Varauksia olivat esim. sähkökeskukseen nousevat hyllyt. Varauksiin leikattiin styroksista sopivat täyttöpalat, jotta betonimassa ei pääse varausten kohtaan. Lämminvesipatteriputket kierrettiin Arma lex -solukuminauhalla, jolloin putket eivät tule pintabetonilattiaan kiinni ja johda ääntä muihin kerroksiin.

Mittamies jakoi valettavan alueen 2 m * 2 m olevaan ruudukkoon korkonauloilla. Korkonauloina toimivat 110 * 8 mm:n pikanaulat. Korkonaulat asennettiin 2 mm alle valmiin pinnan. Korkonaulat helpottavat pintabetonilattian valua huomattavasti. On tärkeää maalata punaisella maalilla ympyrä korkonaulan ympärille, jolloin kerroksessa liikkuvat henkilöt huomaavat ne eivätkä kompastu niihin tai potkaise korkonauloja väärään korkoon. Korkonaulojen asentaminen kesti 3 tuntia. Kun korkonaulat oli laitettu valmiiksi, rakennusmiehet laittoivat neljä Betoksin kuumailmapuhallinta porrashuoneiden oviaukkoihin. Puhaltimet laitettiin puhaltamaan ja tehostamaan ilman liikettä kerroksessa.

Kun valetaan koko kerros kerralla, on tarkoin mietittävä, mistä betoninpumpunletku otetaan sisälle kerrokseen. Betoninpumppausletku kannattaa ottaa sisälle porrashuoneesta tai paikasta, johon valun lopettaminen käy luontevasti, ilman valmiin lattianpinnan ylitse kulkemista. Tässä kohteessa ei ollut mahdollista järjestää valun lopettamista niin, että poistuminen tapahtuisi luonnollista poistumistietä pitkin, vaan kerroksesta poistuminen vaati erikoisjärjestelyjä. Betoninpumppausletku otettiin ikkunasta sisälle ja rakennettiin linja kerroksen läpi niin, että betoninpumppausautoa ei tarvitse siirtää. Kun kerroksen pintabetonilattia on valmis, tapahtuu poistuminen samasta ikkunasta saksila-

vanostimella. Saksilavanostin ajettiin valmiiksi yläasentoon ja rakennettiin kaiteellinen kulkusilta kerroksesta nostimeen. Saksilavanostin tarkistettiin ja laadittiin tarkastuspöytäkirja.

Tämän jälkeen suoritettiin viimeistely imurointi ja laitettiin valmiiksi primerointi- ja jälkihoitovälineet. Jälkihoitoaine laimennettiin valmiiksi painekäyttöiseen ruiskuun ja varmistettiin ruiskun toimivuus. Vararuisku tuotiin valmiiksi kerrokseen.

Perjantaiamuna primeroitiin valualueen pohja. Tällä varmistettiin pintalattian ja ontelo-laattaan välinen tartunta. Kun lattia oli primeroitu, rakennustyönvalvoja Aaro Kemppainen ja vastaava betonityönjohtaja Rami Muotka tarkastivat valettavan alueen pohjan puhtauden, varaukset, lisäraudoituksen ja lämpötilan kiertämällä valualueen läpi. Tarkastuksesta laadittiin tarkastuspöytäkirja, joka toimi valulupana.

Kello 7.30 tuli betonipumppuauto työmaalle. Betonipumppuautonkuljettaja pystytti betonipumppuauton ennalta sovittuun paikkaan. Kello 7.45 suoritettiin betonipumppuauton pystytystarkastus, josta laadittiin pystytyspöytäkirja. Betonin pumppausletkut otettiin ikkunasta sisälle ja rakennettiin pumppauslinja valmiiksi. Kello 7.55 aloitettiin pintabetonilattian valaminen. Työmaalla ei itsetiivistyvälle betonimassalle suoritettu koikeita, vaan vastaava betonityönjohtaja tarkisti silmämääräisesti, että massa oli työstettävyydeltään sovitun mukaista eikä massassa ollut tapahtunut erottumista. Valunopeudeksi oli sovittu 10 m^3 tunnissa eli betoniautoja tuli puolen tunnin välein tuoden työmaalle 5 m^3 betonimassaa kerralla. Tunnissa tuli noin 125 m^2 valmista pintabetonilattiaa. Tämä kertoo mihin työsaavutuksiin itsetiivistyvällä betonilla voidaan päästä. Yhdessä työpäivässä voidaan suotuisissa olosuhteissa betonoida noin $1\,500 \text{ m}^2$ pintabetonilattiaa, joka on 8-kertainen verrattuna normaaliin betoniin.

Betonityöryhmässä toimi kaksi rakennusammattimiestä. Toinen rakennusammattimiehistä toimi massanlaskijana ja toinen tasasi massan pinnan suulalla ristiin telaamalla ja levittäen ensijälkihoitoaineen valmiille pinnalle.

Pintalattian valaminen sujui ilman ongelmia. Massassa ei ollut työstettävyyseroja kuormien välillä. Viimeinen kuorma tuli työmaalle kello 12.20 ja kello 12.45 neljännen kerroksen pintalattia oli valettu ja jälkihoidettu. Poistuminen kerroksesta tapahtui ennalta

suunnitellusti saksilavanostimella ilman ongelmia. Lopuksi kuitattiin betoninpumppaus. Betoninpumppausauton kuljettaja luovutti betoniautojen kuormakirjat ja betonin pumppauspöytäkirjan arkistointia varten.

Pintabetonilattiassa käytettiin varhaisjälkihoitoa, joka toteutettiin levittämällä jälkihoitoaine heti ristiin telaamisen jälkeen pinalattian päälle. Menetelmän tarkoituksena on muodostaa pinalattian pinnalle vettä läpäisemätön kalvo, joka estää tehokkaasti plastista kutistumishalkeilua. Jälkihoitoaineen valkoinen väri helpotti jälkihoitoaineen riittävää annostelua. Tässä rakennuskohteessa ympäristöolosuhteet olivat erityisen vaativat, koska ilman suhteellinen kosteus oli alhainen, huonetilaa lämmitettiin ja ilmavirtauksia tehostettiin kuumailmapuhaltimilla. Lisäksi tehonotkistettu massa on sellainen betonityyppi, joka vaatii varhaisjälkihoitoa. Jälkihoidolla varmistettiin, ettei pinalattian pinta kuivu liian nopeasti, saavutetaan rakenteellinen lujuus sisäisiä rasituksia vastaan ja lattiapinnasta tulee kestävä.

Pintabetonilattia sai kovettua rauhassa viikonlopun yli. Maanantaina tarkastettiin minkä verran lattioissa plastista kutistumishalkeilua. Lattioissa oli pientä ja verkkomaista halkeilua. Verkkomaista halkeilua oli erityisesti lämmittimien edessä, joissa betonin pinnan lämpötila on korkeampi kuin muussa tilassa ja ilmavirtaukset ovat voimakkaita. Lämmittimien sijoitteluun kannattaa jatkossa kiinnittää suurempaa huomiota.

Kahden viikon kuluttua valusta hiottiin betoniliima pois pintabetonilattian pinnasta. Pintahionnan jälkeen hienokiviaines tuli näkyviin. Sementtiliimakerroksen alla oli kova ja tiivis pinta. Hionnan yhteydessä imuroitiin irronnut aines pois ja poltettiin valussa pystyyn jääneet muovikuidut. Lisäksi tarkistettiin laattaan tulleet halkeamat ja niiden leveydet. Neljännen kerroksen lattiassa oli vähän kutistumishalkeilua ja halkeamaleveydet olivat pieniä. Muovikuitu oli toiminut hyvin itsetasaavan massan kanssa pitäen varhaisvaiheen ja pitkäaikaiskutistumisen vähäisenä.

Ennen pintakäsittelyn aloittamista paikataan lattiassa olevat kolot ja halkeamat täytettävä Ardex ep 2000 -epoksilla, joka on lujuusominaisuuksiltaan lujempaa kuin käytettävä pintakäsittelyaine. Vähäiset isommat ja syvemmät halkeamat avattiin kulmahiomakoneella halkeaman suuntaisesti. Avauksen jälkeen halkeamat imuroitiin huolellisesti ja paikattiin Ardex ep 2000:lla. Ardex ep 2000 -epoksissa on hyvin alhainen viskositeetti,

joten sillä on hyvä tunkeutumiskyky kapeisiin halkeamiin. Epoksin levittämisessä hyvä ”apuväline” on paperimuki, jonka reuna on puristettu teräväksi. Hiushalkeamille, jotka eivät olleet syviä ja isoja, ei tehty mitään, koska ne korjaantuvat muovimaton alle levitettävällä lattiatasoitteella.

8 ITSETIIIVISTYVÄN JA NORMAALIN LATTIABETONIN KUSTANNUS- JA LAATUVERTAILU

8.1 Kustannusvertailu

Pintabetonilattioiden kustannukset syntyvät resurssien käytöstä ja niiden hinnoista. Resursseja ovat tehty työ, tarvittavat materiaalit, energia ja pääoma. Tämä kustannusvertailu perustuu materiaali- ja työmenekkeihin sekä niiden yksikköhintoihin. Itsetiivistyvän betonin käytön taloudellinen arviointi joudutaan aina tekemään tapauskohtaisesti. Tässä tutkimuksessa saadut laskelmat ovat suuntaa antavia ja niiden muuttaminen toisiin rakennuskohteisiin vaatii tekijältä kykyä arvioida kohteiden erilaisuuden vaikutusta kustannuksiin.

Oulun virastotalon työmaalla itsetiivistyvistä betonista saatiin huomattava taloudellinen hyöty, koska rakennusaikataulu oli erittäin tiukka. Lisäksi työmaan työnjohto pystyi rytmittämään omien ja aliurakoitsijoiden toiminnan paremmin, koska pintalattiat saatiin valettua monta viikkoa etuajassa ja koko kerros valmiiksi yhdellä valukerralla.

Itsetiivistyvää betonia käytettäessä materiaali- ja laadunvalvontakustannukset ovat suuremmat kuin normaalia betonia käytettäessä. Itsetiivistyvässä betonissa hienoaines- ja tehonotkistinmäärät ovat tavallista suurempia. Nämä tekijät nostavat itsetiivistyvän betonin materiaalikustannuksia. Itsetiivistyvän betonin valmistus asettaa lisävaatimuksia betonin osa-aineiden kuten kiviaineksen ja erityisesti sen kosteuspitoisuuden ja rakeisuuden laadunvalvonnalle. Verrattuna tiivistettävään betoniin itsetiivistyvän betonin työstettävyyssominaisuudet saavat vaihdella selvästi rajoitetummin. Itsetiivistyvän betonin tekeminen kestää kauemmin valmistuslaitoksessa kuin normaalibetonin tekeminen. Nämä tekijät nostavat itsetiivistyvän betonin laadunvalvonnan kustannuksia.

Säästöjä itsetiivistyvän betonin käytössä saadaan betonoinnissa ja jälkitöissä. Betonointi nopeutuu ja valamiseen tarvitaan vähemmän resursseja käytettäessä itsetiivistyvää betonia. Itsetiivistyvää betonia käyttämällä saadaan selviä etuja, joiden taloudellinen vaikutus ei ole välitön tai se on vaikeasti arvioitavassa. Näitä ovat paraneva työympäristö sekä rakenteiden laatuun ja säilyvyyteen liittyvät tekijät. Valualueet voidaan suunnitella vapaammin ja työsaumojen määrää vähentää. Käytettäessä normaalia betonia olisi ker-

ros (630 m²) betonoitu kolmessa osassa, jolloin työsaumoja olisi jouduttu tekemään 36 metriä. Itsetiivistyvällä betonilla ja muovikuidulla tehdyt lattiat halkeilivat vähemmän kuin normaalibetonilla tehdyt lattiat. Tämä vähensi jälkitöiden kustannuksia.

Käytettäessä itsetiivistyvää betonia valuaika lyhenee. Pintabetonilattioita betonoidessa kustannukset syntyvät betonimassan ja sen siirtoon liittyvistä kustannuksista. Kustannuksia syntyy betonipumppuauton vuokrasta, betoniautojen purkukorvauksista ja työnjohdon ja valumiesten palkoista. Lisäksi työmaan johto joutuu suunnittelemaan betonipumppaus- ja betoniautojen purut niin, että siitä ei aiheudu vaaraa työmaalla oleville. Yleinen käytäntö on, että siellä missä betonia pumpataan, ei ole muuta toimintaa. Oulun virastotalon työmaalla huomioitavia seikkoja olivat pihakivetyksen teko, lasijulkisivun asennus ja ulkoseinien kolmikerrosrappaus. Kun betonoitiin kerralla koko kerroksen pintalattiat, oli aliurakoitsijoiden töiden limittäminen huomattavasti helpompaa.

Käytettäessä itsetiivistyvää betonia saatiin edeltävät työvaiheet tehtyä kerralla valmiiksi ja näin vältettiin turhia toistuvia työvaiheita. Esimerkiksi tavaroita ei tarvinnut siirtää pois valettavalta alueelta ja sitten takaisin valetun lattian päälle. Valualusta saatiin tehtyä valmiiksi ja vältyttiin työsaumojen tekemiseltä.

Normaalibetonia käytettäessä kustannukset syntyvät massan siirrosta, aliurakalla tehtävästä massan tasoituksesta sekä pinnan hierrosta ja työnjohdon valvonnasta.

Yksityiskohtaiset kustannuserittelyt on esitetty liitteessä 2. Laskelmissa on betonin raudoituksena käytetty muovikuitua. Itsetiivistyvää betonia käytettäessä betonin materiaali- ja siirtokustannukset olivat 12,81 €/m² ja työkustannukset 1,21 €/m², yhteensä 14,02 €/m². Kustannuksissa ALV on 0 %.

Normaalibetonimassaa käytettäessä betonin materiaali- ja siirtokustannukset olivat 11,29 €/m² ja työkustannukset 3,59 €/m², yhteensä 14,88 €/m². Kustannuksissa ALV on 0 %.

Betonintyyppistä riippumatta betonin materiaali- ja siirtokustannukset ovat hyvin lähellä toisiaan. Itsetiivistyvän betonimassan korkeampi hinta tasoittuu, koska betonointiin käytettävä aika lyhenee, jolloin kustannussäästöjä syntyy betonipumppuauton vuokrasta ja

betoniautojen purkukorvauksista. Työkustannukset ovat kolminkertaiset käytettäessä normaalia betonimassaa.

Käytettäessä itsetiivistyvää betonia ovat työ- ja materiaalikustannukset 1 €/m^2 edullisemmat kuin normaalibetonimassaa käytettäessä. Kun otetaan huomioon itsetiivistyvän betonin käytöstä saatavat muut taloudelliset säästöt, jälkitöiden ja rakentamisen nopeutuminen ja töiden helpompi rytmittäminen, voidaan itsetiivistyvän betonin käyttöä pitää taloudellisempänä kuin normaalin lattiabetonin.

8.2 Muovikuidun ja rauditusverkkojen kustannusvertailu

Tarkempi kustannusvertailu suoritettiin raudituksen vaihtamisesta muovikuituihin. Tavoitteet rauditusverkkojen vaihtamisesta muovikuituihin on esitetty kattavasti luvussa 7.3 Raudituksen korvaaminen muovikuidulla.

Tavanomaisia rauditusverkkoja käytettäessä kustannuksia aiheuttavat rauditusverkkojen ja niihin liittyvien tarvikkeiden määrälaskenta, tilaaminen, varastointi, siirrot varastopaikkaan ja varastopaikasta kohteeseen, asennus ja valvonta. Näistä kustannuksista rauditusverkkojen määrälaskenta, tilaaminen, varastointi ja siirrot ovat välillisiä kustannuksia, jotka eivät näy suoraan betonilattioiden kustannuksissa. Oulun virastotalon työmaalla piti kuljetuslogistiikka suunnitella tarkoin, koska rakennustyömaalla oli materiaalien varastointipaikkoja hyvin rajallisesti. Rauditusmateriaalien välivarastoinnin jäädessä pois jäi tilaa muiden tavaroiden varastointiin. Tämä oli suuri hyöty työmaata johtaville henkilöille.

Seikkoja joista saatiin säästöjä, mutta joiden arvioiminen on vaikeaa tai vaikutukset eivät ole välillisiä, ovat rakennusajan lyhentyminen, parempi laatu lattioissa (vähemmän jälkitöitä) ja resurssien helpompi kohdistaminen. Liitteessä 2 on eriteltyä muovikuidun ja rauditusverkkojen kustannusvertailu. Rauditusverkkoja käytettäessä kustannukset muodostuvat materiaalikustannuksista $4,30 \text{ €/m}^2$ ja työkustannuksista $0,65 \text{ €/m}^2$, yhteensä $4,95 \text{ €/m}^2$.

Muovikuidun PM 50/100 tullessa betonimassan joukossa siitä ei ole muita kustannuksia kuin betonin toimittajan materiaalikustannus 38,00 €/m³. Muutettaessa tämä kustannukseksi lattianeliötä kohti kustannukset ovat 2,71 €/m² (ALV 0 %).

Verkkoraudoituksen käyttö on kaksi kertaa kalliimpaa pintalattioissa kuin muovikuidun käyttäminen. Koska lisäksi kuitujen käyttö nopeuttaa rakentamista, vähentää halkeilusta johtuvia korjaustöitä ja helpottaa työmaalla resurssien kohdistamista, voidaan muovikuidun käyttöä pitää aina kilpailukykyisenä vaihtoehtona perinteisiin rauditusverkoihin verrattuna.

8.3 Laatuvertailu

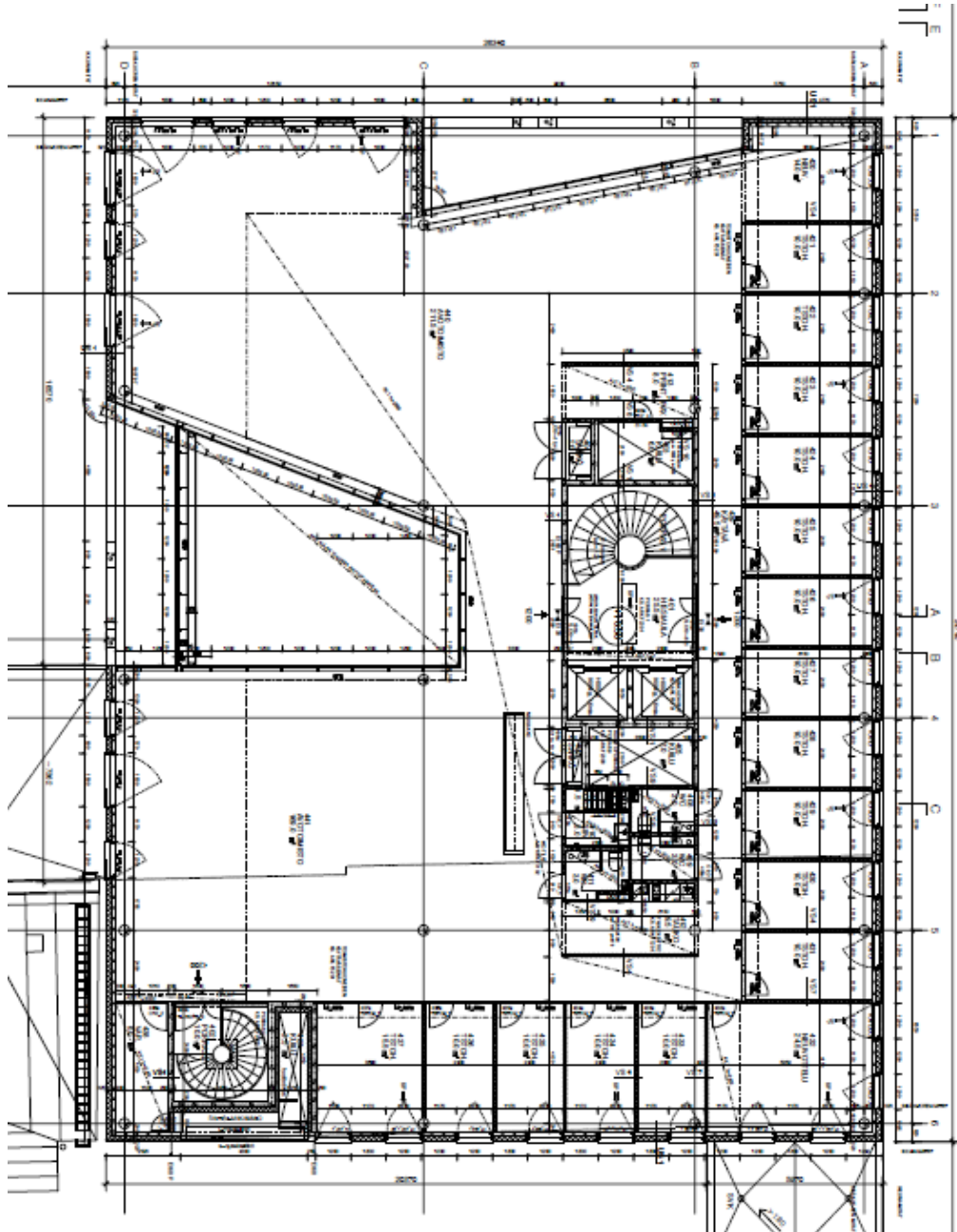
Laatuvertailu suoritettiin Betonilattiat BY 45:n betonilattialle määrittelemien laatutekijöiden perusteella, jotka on tarkemmin käyty läpi luvussa 5.1 Betonilattian laatutekijät. Laatutekijöillä on tärkeä merkitys lattian kestävyydelle, käytölle ja ulkonäölle. Laatutekijät ovat sovitulla tavalla mitattavissa valmiista lattiasta.

Oulun virastotalon pintabetonilattiat olivat erityisen haastavia. Haastavia lattioista tekivät saumattomuus, laaja-alaisuus, epäedulliset säilymisolosuhteet ja runsas luonnon valo kerroksissa. Epäedulliset säilymisolosuhteisesta tekivät tilojen lämmitystä johtuvat voimakkaat ilmavirtaukset, lasiseinien paikalla olevista muoviseinistä johtuvat hallitsemattomat ilmavuodot ja puhallettavan ulkoilman suuri kosteuskuormitus.

Tasaisuuden arvosteluperusteina on käytetty lattian aaltoilua ja kaltevuusvirheitä. Hammastusta ei arvioita, koska koko kerroksen lattiat valettiin yhdellä kertaa. Pinnan karheutta ei huomioida, mutta pinnassa näkyvien aineiden jakautuminen huomioidaan. Arviointi suoritettiin ennen ja jälkeen pintahiontaa, jossa sementtiliima on poistettu, jolloin hieno runkoaines tulee näkyviin.

Tasaisuus ei missään kohdassa ylittänyt betonilattialle asetettuja tasaisuusvaatimuksia. Tasaisuus eroja ei myöskään ollut pilarien, seinien ja muiden läpivientien läheisyydessä. Neljännen kerroksen pintabetonilattia jaettiin 2 m * 2 m oleviin ruutuihin ja ruutujen korkeusasemat tarkemmitattiin tasolaserilla. Kaikki mittapisteet olivat 7 mm:n sisällä toisistaan. Lopputulosta voidaan pitää erittäin hyvänä, koska kerroksen pisimmän sivun

mitta on 34 740 mm. Kuvassa 3 on esitetty Oulun virastotalon neljännen kerroksen pohjaratkaisu.



KUVA 3. Oulun virastotalon neljännen kerroksen pohjakuva

Betonilattioiden pinnoissa ei ollut kirjavuutta. Massa oli pysynyt hyvin kasassa ja erotavuutta ei ollut havaittavissa. Muovikuidut olivat jakaantuneet massaan homogeenisesti.

Tartunta alusbetoniin itsetiivistyvällä betonilla oli erittäin hyvä. Kaikki valetut lattiat käytiin läpi kepillä koputtaen ja hakien alustastaan irronneita kohtia. Irronneita eli kopolattioita ei löytynyt yhdestäkään valetusta lattiasta.

Pintahiotun lattian ja lattiatasoitteen välinen tartunta selvitettiin mattomiesten kokemusten perusteella, eikä tartunnan pitävyydessä ilmennyt ongelmia.

Pintabetonilattiat olivat haastavia varhaisvaiheen kutistuman vuoksi. Plastiselle kutistumiselle pintabetonilattian alistivat ITB:n materiaaliominaisuudet (suuri määrä hienokiviainesta, suuri tehonotkistimen määrä ja alhainen vesi-sementti suhde). Pintalattiat tehtiin kevättälvella, jolloin ympäristöolosuhteet ovat myös sellaiset, jotka mahdollistavat suuren varhaisvaiheen kutistuman. Betonoitavia tiloja lämmitettiin kuumailma puhaltimien avulla. Tämä aiheutti pintabetonilattioille tuulirasituksen ja alensi tilan suhteellista kosteutta, mikä lisää varhaisvaiheen kutistumisen riskiä. Varhaisvaiheen kutistuman riskiä pienentäviä tekijöitä olivat raudoituksen vaihtaminen muovikuituun sekä varhaisjälkihoidon aloittaminen heti betonipinnan oikaisun yhteydessä sumuttamalla betonipinnalle tuoteohjeiden mukaisesti riittävästi varhaisjälkihoitoainetta. Muovikuidut jakautuvat betonimassaan homogeenisesti, minkä takia se kestää paremmin kutistumisesta aiheutuvia voimia kuin verkkoraudoitus. Kuituja on myös pinnassa ottamassa vastaan kutistumisesta aiheutuvia voimia. Varhaisjälkihoitoaineen tarkoitus on estää veden liian nopea haihtuminen betonin pinnalta. Varhaisjälkihoitoaineen levittäminen on erityisen tärkeä ilmavirtauksille altistuvilla itsetiivistyville lattiamassoille, joissa vedenerottuminen on muutenkin hyvin vähäistä. Betonoitavissa tiloissa oli hyvä noin +15 asteen lämpötilaolosuhde betonin alkuvaiheen kovettumiselle.

Oulun virastotalon pintabetonilattioissa esiintyi odotettua vähemmän plastista kutistumishalkeilua. Poikkeuksena olivat puhaltimien edessä olevat alueet (noin 1,5 metriä puhaltimesta), joissa oli pinnan verkkomaista halkeilua. Tämä johtui kohtien normaalia korkeammasta lämpötilasta ja voimakkaista ilmavirtauksista. Jatkossa puhaltimet tulee sijoittaa irti lattiasta noin metrin korkeuteen.

Erottumista pintalattioissa ei havaittu, joten plastista kutistumishalkeilua ei voida selittää sillä. Kokonaiskutistumaa tarkastellessa huomattiin halkeamien olevan kooltaan pieniä eivätkä ne olleet syviä. Taloudellisesti näiden halkeamien korjaaminen on edul-

lista verrattuna suurempiin halkeamiin, jotka vaativat aina halkeaman avaamisen kulumahiontakonetta käyttäen.

Muovikuitu ja itsetiivistyvä betoni oli toiminut hyvin yhdessä estäen plastisen kutistumishalkeilun. Itsetiivistyvällä betonilla ja muovikuidulla päästään halkeamien suhteen parempaan lopputulokseen kuin käytettäessä normaalilattiabetonia ja rauditusverkkoja. Liian pitkälle vietyjä johtopäätöksiä itsetiivistyvän betonin ja muovikuidun vaikutuksesta varhaisvaiheen kutistumaan ei voida tehdä, koska monet edellä mainitut tekijät vaikuttavat varhaisvaiheen kutistumaan, mutta tässä kohteessa, näillä rakenneratkaisuilla ja näissä ympäristöolosuhteissa ne toimivat yhdessä erittäin hyvin.

Kulutuksen kestävyydeltään Oulun virastotalon pintalattioiden pinta oli tiivis ja kova. Tämän silmämääräisen havainnon vahvistukseksi Lohja Rudus Oy:n tekemissä puristuslujuuskokeissa saatiin yli 50 MPa:n lujuuksia, joista voi päätellä, että lattioissa ei ole vain kova ja tiivis pinta vaan rakenne on kokonaisuudessa luja.

Tutkimuksessa selvitettiin, miten itsetiivistyvällä betonimassalla tehdyt pintalattiat kuivuvat työmaavaiheen aikana. Pintalattioiden kuivumisen mittauspisteet olivat 20 mm pintabetonin alapuolella eli ontelolaatassa sekä 40 mm pintabetonilattian pinnasta. Pintalattiat saavuttivat pinnoituskosteuden 85 % 14 viikon kuluttua valusta. Kahtena ensimmäisenä viikkona valusta kuivumista ei tapahtunut, koska lattian pinnalla oli jälkihoitoaineella tehty yhtenäinen kalvo. Oletettu pinnoituskosteuteen kestävä kuivumisaika laskettiin By 1021 -laskentaohjelmalla, jonka tulokset ovat liitteessä 3. Ohjelma laskee kuivumisaika-arvion käyttämällä lähteessä 2 sivulla 51 olevista peruskuivumiskäyrästä, laskentakaavoja ja kerrointaulukkoa. Oletettu kuivumisaika 85 %:n pinnoituskosteuteen By 1021 -laskentaohjelmalla oli itsetiivistyvää massaa käyttäen 16 viikkoa. Laskentakaava kuivumiselle on peruskuivumisaika * ontelolaatan kosteus * pintalaatan paksuus * pintalaatan v/s * kastumisaika * kuivumisolosuhteet.

Laskennassa on käytetty seuraavia lähtötietoja: peruskuivumisaika 15 viikkoa, ontelolaatan kosteus > 95 %, pintalaatan paksuus 80 mm, pintalaatan v/s 0,5, pintavalu kosteudessa 2 viikkoa ja kuivumisolosuhteet +15 astetta ja RH 50 %. Taulukossa 2 on laskettu käsin kuivumisaika arvio kyseiselle rakenteelle yllä vallitsevissa olosuhteissa.

TAULUKKO 2. Pintabetonilattian kuivumisaika arvio

Kuivumisaika arvio

Peruskuivumisaika	15 viikkoa
Ontelolaatan kosteus	1,5
Pintalaatan paksuus	1,3
Pintalaatan v/s	0,6
Kastumisaika	1
Säilymisolosuhteet	0,9
yhteensä	15,8 viikkoa

Todellinen kuivuminen hieman laskettua kuivumista nopeammin johtuu lämmityksen aiheuttamasta ilmavirtauksesta, joka on kuljettanut ilmavuotojen kautta kostean ilman pihalle. Lisäksi itsetiivistyvän betonin v/s oli 0,45 ja kerrointaulukossa, jota laskentaohjelma käyttää, pienin arvo oli 0,50.

Itsetiivistyvän massan kosteustekninen toiminta kuivumisvaiheessa ei poikkea normaaleista lattiamassoista. Kuivuminen päällystyskosteuteen kestää yhtä kauan kuin normaalilla lattiamassalla.. Vaikka itsetiivistyvillä massoilla on alhainen vesi-sementtisuhte, vaikuttavat pintabetonilattian kuivumiseen merkittävästi rakenteiden kastuminen ja kuivumisolosuhteet, jotka ovat samat määrittävät riippumatta käytettävästä massasta. Tämän takia kuivumisajoissa ei ole suurta eroa.

Pintalattioiden kuivumisesta ei voida vetää liian tarkkoja ja pitkälle vedettyjä johtopäätöksiä, koska eri työmaakohteissa ovat erilaiset ympäristöolosuhteet. Lisäksi on huomioitava, onko kosteuden mittauspiste ontelolaatan kannaksen vai sauman kohdalla ja mitkä ovat mittauslaitteiden virhemarginaalit.

9 YHTEENVETO

Tämän kehitystehtävän tavoitteena oli analysoida itsetiivistyvällä betonilla toteutetut Oulun virastotalon pintabetonilattiat ja tuottaa kokemuseräistä tietoa itsetiivistyvän betonin eri ominaisuuksista. Tavoitteena oli kartoittaa itsetiivistyvän betonin käyttöön-ottoa pintalattioissa rakennusliikkeen kannalta. Pintabetonilattioista tehtiin kustannus- ja laatuvertailu. Lisäksi selvitettiin itsetiivistyvän betonin ominaisuuksia, kutistumaa, halkeilua, tartuntaa, kulutuksen kestävyyttä ja kosteusteknistä toimintaa. Erityisen tarkasti selvitettiin, miten raudoituksen vaihtamisella muovikuituihin voidaan hallita kutistumaa ja halkeilua.

Itsetiivistyvän ja normaalin lattiabetonin materiaali- ja siirtokustannukset ovat hyvin lähellä toisiaan. Itsetiivistyvän betonimassan korkeampi hinta tasoittuu, koska betonointiin käytettävä aika lyhenee, jolloin kustannussäästöjä syntyy betonipumppuauton vuok-
rasta ja betoniautojen purkukorvauksista. Työkustannukset ovat kolminkertaiset käytet-
täessä normaalia betonimassaa.

Käytettäessä itsetiivistyvää betonia ovat työ- ja materiaalikustannukset 1 €/m^2 edullisemmat kuin normaalibetonimassaa käytettäessä. Sen lisäksi itsetiivistyvän betonin käytöstä saatavat muut taloudelliset säästöt vähäisempien jälkitöiden, rakentumisen nopeutumisen ja töiden helpommasta rytmittämisestä, voidaan itsetiivistyvän betonin käyttöä pitää taloudellisempänä kuin normaalilattiabetonin.

Raudoitusverkkojen vaihtamisella kuituraudoitukseen haettiin kustannustehokkuutta ja parempaa hallintaa plastisen kutistuman suhteen. Muovikuidun käyttö pintabetonilattian raudoitteena on puolet edullisempää kuin perinteisen verkkoraudoituksen käyttäminen. Koska lisäksi kuitujen käyttö nopeuttaa rakentamista, auttaa hallitsemaan kutistumisesta johtuvaa halkeilua ja helpottaa työmaalla resurssien kohdistamista, voidaan muovikuidun käyttöä pitää aina kilpailukykyisenä vaihtoehtona normaaliraudoitusverkoihin verrattuna.

Itsetiivistyvällä betonimassalla tehtyjen lattioiden laatuvertailu suoritettiin betonilattiat BY 45 -ohjeen perusteella. Itsetiivistyvällä betonilla tehdyt lattiat olivat tasaisia. Tasaisuus ei missään kohdassa ylittänyt pintabetonilattialle asetettuja vaatimuksia.

Betonoidessa erityisestä huomiota tulee kiinnittää ajankohtaan, jossa betoniauton tyhjenemisen takia valu keskeytyy. Tällöin valun reuna voi vajota pitkältikin matkalta.

Betonilattioissa ei ollut kirjavuutta ja massa oli pysynyt hyvin kasassa. Muovikuidut olivat jakaantuneet homogeenisesti massaan.

Tartunta alusbetoniin itsetiivistyvällä massalla oli erittäin hyvä. Kaikki valetut lattiat käytiin läpi kepillä koputtaen ja hakien alustastaan irronneita kohtia. Irronneita eli kopolattioita ei löytynyt yhdestäkään valetusta lattiasta. Pintahiotun lattian ja lattiatasoitteen välinen tartunta selvitettiin mattomiesten kokemusten perusteella, eikä siellä ilmennyt mitään ongelmia tartunnan pitävyydessä.

Tulevaisuudessa olisi tarpeen selvittää itsetiivistyvän massan pinalujuus kokein. Pinalujuus voidaan määrittää vetämällä irti pintaan liimattu teräsnappula, jonka läpimitta on 50 mm. Kun vetokoe tehdään pintakäsitetyle betonille, on murtumisen tapahduttava betonissa eikä tasoitteen ja betonin rajapinnassa. Kokeen tuloksille on olemassa yleisesti hyväksytyt tulokset.

Vaikka ITB:n materiaaliominaisuudet ja ympäristöolosuhteet olivat alttiit kutistumalle ja halkeilulle, saatiin muovikuiduilla ja heti valun jälkeen aloitetulla varhaisjälkihoidolla lattiat, jotka kestivät erittäin hyvin kutistumisesta aiheutuvia voimia. Varhaisjälkihoidoaineen levittäminen on erityisen tärkeä ilman virtauksille altistuville itsetiivistyville lattiamassoille, joissa vedenerottuminen on muutenkin hyvin vähäistä.

Oulun virastotalon pintabetonilattioissa esiintyi odotettua vähemmän plastista kutistumishalkeilua. Poikkeuksena olivat puhaltimien edessä olevat alueet (noin 1,5 metriä puhaltimesta), joissa oli pinnan verkkomaista halkeilua. Tämä johtui kohtien normaalia korkeammasta lämpötilasta ja voimakkaista ilmavirtauksista. Jatkossa puhaltimet tulee sijoittaa irti lattiasta noin metrin korkeuteen. Erottumista pintalattioissa ei havaittu, joten plastista kutistumishalkeilua ei voida selittää sillä. Kokonaiskutistumaa tarkastellessa huomattiin halkeamien olevan kooltaan pieniä eivätkä ne olleet syviä.

Muovikuiduilla raudoitettu betonimassa oli toiminut hyvin ja estänyt plastisen kutistushalkeilun. Itsetiivistyvällä betonilla ja muovikuidulla päästään halkeamien suhteen parempaan lopputulokseen kuin käytettäessä normaalilattiabetonia ja rauditusverkkoja. Liian pitkälle vietyjä päätelmiä itsetiivistyvän betonin ja muovikuidun vaikutuksesta varhaisvaiheen kutistumaan ei voida tehdä, koska monet edellä mainitut tekijät vaikuttavat varhaisvaiheen halkeiluun, mutta tässä kohteessa näillä rakenneratkaisuilla ja näissä ympäristöolosuhteissa ne toimivat yhdessä erittäin hyvin.

Tulevaisuudessa olisi hyvä tarkastella halkeilujen määrää käytettäessä itsetiivistyvää lattiabetonia ja normaalia lattiabetonia raudoitettuna muovikuidulla. Vertailun luotettavuuden vuoksi tämä täytyy tehdä samassa rakennuskohteessa, jotta rakenteet ja ympäristöolosuhteet olisivat mahdollisimman lähellä toisiaan. Vertailu muissa rakennuskohdeissa tehtyihin pintabetonilattioihin on epäluotettavaa, koska lattioiden rakenteet (lattan paksuus ja muovikuidut) ja ympäristöolosuhteet, kuten veto, suhteellinen kosteus ja valuajankohta, ovat erilaiset ja näiden mahdollista vaikutusta on vaikea arvioida.

Oulun virastotalon betonilattioiden pinta oli tiivis ja kova. Tämän silmämääräisen havainnon vahvistukseksi Lohja Rudus Oy:n tekemissä puristuslujuuskokeissa saatiin yli 50 MPa:n lujuuksia, joista voi analysoida, että lattioissa ei ole vain kova ja tiivis pinta vaan rakenne on kokonaisuudessa luja. Tällaiset lattiat kestävät hyvin kulutusta.

Itsetiivistyvän massan kosteustekninen toiminta kuivumisen osalta ei poikkea normaaleista lattiamassoista. Kuivuminen päällystyskosteuteen kestää yhtä kauan kuin normaallilla lattiamassalla. Välipohjarakenteen kuivumiseen vaikuttavat merkittävästi rakenteiden kastuminen ja kuivumisolosuhteet. Vaikka itsetiivistyvillä massoilla on alhainen vesi-sementtisuhde, määrittävät yllämainitut seikat pitkälle rakenteen kuivumisnopeuden, jotka ovat samat riippumatta käytettävästä massasta. Vaikka itsetiivistyvällä betonilla on pienempi vesi-sementtisuhde, eli niistä poistuva veden määrä on pienempi, on niistä poistuvan kosteuden poistuminen hitaampaa rakenteen tiiviiden takia.

Pintalattioiden kuivumisesta ei voida vetää liian tarkkoja ja pitkälle vedettyjä johtopäätöksiä, koska eri työmaakohteissa ovat erilaiset ympäristöolosuhteet. Lisäksi on huomioitava, onko mittauspiste ontelolaatan kannaksen vai sauman kohdalta ja mitkä ovat mittauslaitteiden virhemarginaalit.

10 POHDINTA

Vaikka tässä tutkimuksessa kävivät kiistatta selville itsetiivistyvän betonin käytön puolesta puhuvat niin taloudelliset kuin laadullisetkin tekijät, on itsetiivistyvällä betonilla vielä pitkä matka pääasialliseksi betonilattiamateriaaliksi.

Vaikka itsetiivistyvä betoni on valmis tuotantokäyttöön, riittää siinä vielä kehittämistä edelleen. Erityisesti ITB:n herkkyyden hallinta vaatii betonintoimittajilta sekä materiaalien että valmistuslaitteiston kehitystyötä. Tavoitteena on entistä helpommin käsiteltävä, laadultaan parempi ja edullisempi betoni. Itsetiivistyvä betoni ei voi olla jatkossa erikoistuote, jolla on erikoishinta, vaan normaalituote siinä suhteessa, että sitä pystytään valmistamaan rutiiniluontoisesti. Se ei saa vaatia liikaa ylimääräistä kontrollia eikä lisätä liikaa valmistusprosessin kustannuksia. Mahdollinen tarkempi laadunvalvonta pitää pystyä automatisoimaan.

Itsetiivistyvän betonin käyttö asettaa tekijöille työmaalle erikoisvaatimuksia esim. muottitekniikassa ja valutavoissa. Vaativa materiaali vaatii myös vaativat ja ammattitaitoiset tekijät. Vaarana tässä on, että itsetiivistyvän betonin käyttö jää harvojen sen ominaisuuksien tuntevien henkilöiden tuotteeksi. Tulevaisuus näyttää, laajeneeko tämä tietämys.

LÄHDELUETTELO

1. Betonikeskus Ry. 2004. Itb itsetiivistyvä betoni. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.
2. Suomen betoniyhdistys ry. 2002. Betonilattiat 2002 By 45/bly7. Helsinki: Suomen betonitieto Oy.
3. SILKO-projektin betonityöryhmä. 2007. Siltojen korjaus: Betonirakenteet. http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1201_2007.pdf.
Hakupäivä 15.5.2010
4. Kuosa, H. 2001. Itsetiivistyvä betoni state-of-the-art osa 1 materiaaliominaisuudet. Helsinki: VTT:n rakennus ja yhdyskuntatekniikka.
5. Anttila, V.– Knaapinen, K.– Orjala, K.– Kukko, H.– Pitkänen, P. & Kovanen, T. 2004. Opas itsetiivistyvän paikalla valubetonin valmistukseen ja käyttöön. Hakupäivä 15.5.2010
http://www.betoni.com/files/files/TY%C3%96HJE_kokonaan_v7.pdf.
6. Tepponen, P. &– Vuorinen P. 2010. Betonilattiat – mistä ongelmat johtuvat. Hakupäivä 24.6.2010
www.betoni.com/download.aspx?intFileID=566&intLinkedFromObjectID=7264
7. Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Helsinki: Suomenbetonitieto Oy.
8. VTT:n tutkimusraportti 547. Orantie, K. 1988. Betonin rakennuskosteuden hallinta ja kuivatukseen nopeuttaminen. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

1. Yleistä

Tämä betonityösuunnitelma koskee Oulun virastotalon neljännen kerroksen pintalattioiden betonointia.

1.1 Rakenne

pintabetonilaatta jonka paksuus on 80 mm:ä ja raudoitus 150 #8, joka korvataan muovikuidulla. Muovikuitua on 5 kg/m³. Valettavia pintalattioita neljännessä kerroksessa on 620 m².

1.2 Määrät

1.2.1 Pintabetonilaatta 43,0 m³

1.3 Noudatettavat ohjeet, määräykset ja suunnitelmat

Lait ja asetukset

RakMK

Betoninormit BY 50

Rakennesuunnitelmat

Runko RYL 2000

BY 40 Betonipinnat

BY 47B betonirakentamisen laatuohjeet 2007

2.1 Betonimassa

Normaalisti kovettuva itsetiivistyvä betoni K35-1, notkeus S4, max. raekoko 8 mm:ä. Koekuutiot ja leviämiskokeet tehdään betoniasemalla BY 50 mukaisesti. Massasta on tehty 4 m * 4 m kokoinen koelaatta betoniasemalla.

Betonivalu alkaa perjantaina 21.4.2008 kello 8.00. Valun arvioitu valmistuminen on noin kello 13.00. Rakennustyönvalvoja ja vastaava betonityönjohtaja tarkistavat valetavan alueen pohjan puhtauden, varaukset, lisäraudoituksen ja lämpötilan ennen valun aloittamista kiertämällä valualueen läpi. Tarkastuksesta laaditaan tarkastuspöytäkirja.

4 Henkilökunta

1 lk:n betonityönjohtaja: Rami Muotka

Työryhmä: 2 * RAM

5 Kalusto

Pintabetonilattia:

- Muottina toimivat ulko- ja väliseinät, joista pintabetonilaatta erotetaan 6 mm:ä paksulla solumuovikaistalla. Lasiseinän kohdalle on hitsattu 60 mm:ä korkea ja 5 mm:ä paksu lattarauta joka on asennettu valmiin lattiapinnan korkoon.
- Betonin siirto pumpulla.
- Pinnan tiiviys tehdään 1200 mm:ä leveällä alumiinisella suulalla.
- Jälkihoito hoitoaine levitetään ruiskulla.

6 Työnsuorituksen kuvaus

Valualue jaetaan 2 m:ä * 2 m:ä ruutuihin korkonauloin. Korkonauloina toimivat 8*110 mm:n pikanaulat. Mittamies asettaa korkonaulat paikoilleen. Pintabetonilattia erotetaan ulko- ja väliseinistä 6 mm:ä paksulla solumuovinauhalla. Valualueelta imuroidaan kaikki irtoaines pois ja pohja primeroidaan ennen valua. Ilman vaihtuvuuteen ja lämmitykseen sijoitetaan neljä Betoksin 9 KW kuumailmapuhallinta. Betoni siirretään kerrokseen pumpulla. Betoninpumppausletku otetaan sisään neljännen kerrokseen Torikatu 10 puoleisesta reunimmaisesta ikkunasta. Saman ikkunan alle ajetaan saksilavanostin, joka toimii poistumistienä, kun kerroksen lattia on valmis. Nostin ajetaan ennen valutyön aloitusta ylös ja se on ainoastaan lattiabetonimiesten käytössä. Tarkastusten ja valuluvan saannin jälkeen valetaan kerroksen pintabetonilaatta kerralla valmiiksi.

Valunopeus on 8 – 10 m³/h. Valun yhteydessä tarkkaillaan betonimassan notkeutta ja erottuvuutta. Pintabetonilattia tasataan ja tiivistetään kahteen kertaan siulalla ristiin vetäen. Heti tasauksen jälkeen betonipinnalle ruiskutetaan jälkihoitoaine (Semptu Oy).

7 Erikoissuunnitelmat

Neljännessä kerroksessa ei tehdä mitään muita töitä valun aikana. Betonityön johtaja ilmoittaa asiasta työmaa kokouksessa viikkoa ennen valupäivää kaikille urakoitsijoille.

8 Varasuunnitelma

8.1 varakalusto

Betonitehtaalla on varapumppu saatavilla tunnin kuluttua.

Betonitehtaalla on vara paikka, josta saadaan betonimassaa tunnin kuluttua tehtaan seisauttamisesta.

8.2 Työmaan huolto ja viestiyhteydet

Työmaan yhteyshenkilöluettelo liitteenä

Oulussa 10.4.2008

Rami Muotka

Vastaavabetonityönjohtaja

PINTABETONILATTIOIDEN KUSTANNUSLASKELMAT

4 kerroksen pin-
tabetonilattia
630 m³

	MÄÄRÄ	YKS	€/yks	yhteensä
Materiaali:				
norm. Sitoutuva betoni K30 S2, #8	45	M3	70	3150
Runkoaineen lämmityslisä	45	M3	6,25	281,25
Muovikuitu PM 50/100	45	M3	38	1710
Kuljetus 10 km	9	KRM	58,47	526,23
Palveluaikakorvaus	240	YKS	1,16	278,4
Pumppaus:				
Betonipumpun vuokra:	12	H	60	720
Pumppaus korvaus:	45	M3	7,5	337,5
työsauma materiaalit	36	jm	3	108
Materiaalikustannukset				7111,38
työkustannukset				
betonityönjohtaja	3	H	36	108
Työsauman teko ja purku	8	H	32,8	262,4
Tasaus/hierto Aliurakka 3,0€/m ²	630	M2	3	1890
Työkustannukset				2260,40
Kokonaiskustannus				<u>9371,78</u>
Materiaalikustannukset/m ² (ALV 0) %			11,29 €/m ²	
työkustannukset/m ² (ALV 0) %			3,59 €/m ²	
<u>kokonaiskustannuksetkustannukset/m² (ALV 0) %</u>			<u>14,88</u> €/m ²	
<u>kokonaiskustannuksetkustannukset/m² (ALV 22) %</u>			<u>18,15</u> €/m ²	

PINTABETONILATTIOIDEN KUSTANNUSLASKELMAT LIITE 2/2

4kerroksen pin-
tabetonilattia
630 m³

	MÄÄRÄ	YKS	€/m ³	yhteensä
Materiaali:				
Itsetiivistyvä betoni K-35 #8 s4	45	M3	105,73	4757,85
Runkoaineen lämmityslisä	45	M3	6,25	281,25
Muovikuitu PM 50/100	45	M3	38	1710
Kuljetus 10 km	9	KRM	58,47	526,23
Palveluaikakorvaus	85	YKS	1,16	98,6
Pumppaus:				
Betonipumpun vuokra:	6	H	60	360
Pumppaus korvaus:	45	M3	7,5	337,5
Materiaalikustannus				<u>8071,43</u>
työkustannukset:				
Betonityönjohtaja	3	H	36	108
Lattianbetonoijat	16	H	32,8	524,8
Korkonaulojen asennus	4	H	32,8	131,2
työkustannukset:				<u>764</u>
Kokonaiskustannus				<u>8835,43</u>
Materiaalikustannukset/m ² (ALV 0) %			12,81	€/m ²
työkustannukset/m ² (ALV 0) %			1,21	€/m ²
<u>kokonaiskustannuksetkustannukset/m² (ALV 0) %</u>			<u>14,02</u>	€/m ²
<u>kokonaiskustannuksetkustannukset/m² (ALV 22) %</u>			<u>17,11</u>	€/m ²

RAUDOITUSVERKKOJEN JA MUOVIKUIDUNKUSTANNUS LASKELMA

	MÄÄRÄ	YKS	€/yks	yhteensä
Muovikuitu PM 50/100	45	M3	38	<u>1710</u> (ALV 0 %)

Raudoitusverkot:

Raudoitusverkko 6-150 mm	693	M2	3,23	2238,39
Välikekorppu	1890	3 kpl/m2	0,2	378
sidelanka	1	nippu	10	10

materiaalikustannukset **2626,39**

Määrälaskenta ja tilaaminen	1,5	h	36	54
siirrot	3	h	19,8	59,4
verkkojen asennus	20	h	19,8	396
valvonta	2	h	36	72

Työkustannukset **581,4**

YHT **3207,79** (ALV 0 %)

Muovikuitu:

Kokonaiskustannukset/m2 (ALV 0 %) **2,71** €/m2
Kokonaiskustannukset/m2 (ALV 22 %) **3,31** €/m2

Raudoitusverkot:

työkustannukset/m2 (ALV 0 %) 0,92 €/m2
materiaalikustannukset (ALV 0 %) 4,17 €/m2
kokonaiskustannus (ALV 0 %) **5,09** €/m2
kokonaiskustannus (ALV22 %) **6,21** €/m3

LIITE3/1

Betonirakenteiden kuivuminen

"Tarja Merikallio. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Betonikeskus 2002."

Kohde: **Oulun virastotalo**

Ontelolaatta + pintabetonivalu

Kun olet ensin valinnut haluamasi rakennetyypin sivun alareunan taulukoista, syötä sitten arvot tavoitekosteudelle, vesi-sideainesuhteelle ja pintabetonin paksuudelle. Valitse lisäksi ontelolaatan kosteus, kastumisaika sekä kuivumisolosuhteista kosteus ja lämpötila. Kuivumisaika ilmoitetaan viikkoina. Kuivumisajan lasketaan alkavan siitä kun rakenne ei enää saa lisäkosteutta. Jos jälkihoito tehdään kastelemalla, lasketaan aika kastelun lopettamisen jälkeen. Jos jälkihoito tehdään peittämällä, lasketaan aika valusta.

	Syöttöarvot	Raja-arvo	Peruskuivumisaika
Tavoitekosteus	85,0 %	"80-100"	15,0
Vesi-sideainesuhde:	0,50	"0,5-0,7"	Kerroin 0,60
Pintabetonin paksuus	80,0 mm	"30-80"	Kerroin 1,30

Ontelolaatan kosteus

< 90 %

90 - 95 %

> 95 %

Kastumisaika

Kuivassa

Kosteassa yli 2 viikkoa

Kastunut yli 2 viikkoa

Kuivumisolosuhteet

Kosteus

35 %

50 %

60 %

70 %

80 %

Lämpötila

10 C

15 C

20 C

25 C

30 C

Kuivumisaika viikkoina: **17,6**

BY1021

(7, s. 51)

BETONIRAKENTEIDEN KUIVUMINEN

LIITE3/2

Laskentakaava:



Kertoimet:

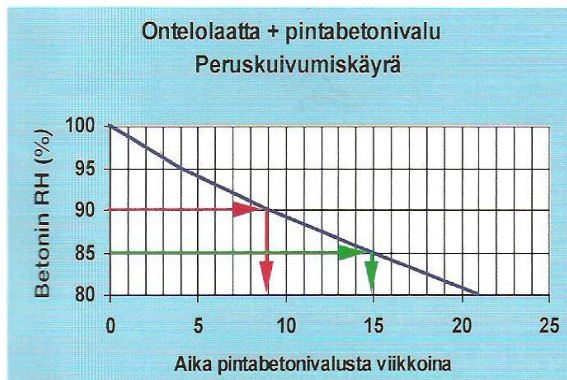
LIITE3/2

Ontelolaatan kosteus (RH%) ennen pintavalua	Kerroin	Pintabetoni-valun paksuus (mm)	Kerroin
Alle 90 %	0,5	30	0,7
90-95 %	1	50	1,0
yli 95 %	1,5	80	1,3

Vesisideaine-suhde (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,8
0,5	0,6

Kastuminen	Pintabetonin vesisideainesuhde		
	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,2	1,3	1,5

RH (%)	Olosuhteet			
	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9



(7, s. 51)