



Juho Tyni

PINTABETONILATTIAN KUSTANNUKSET JA LAATU ERI BE- TONIMASSOILLA

PINTABETONILATTIAN KUSTANNUKSET JA LAATU ERI BE- TONIMASSOILLA

Juho Tyni
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka, talo- ja korjausrakentaminen

Tekijä: Juho Tyni

Opinnäytetyön nimi: Pintabetonilattian kustannukset ja laatu eri betonimassoilla

Työn ohjaaja: Hannu Kääriäinen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2012 Sivumäärä: 57 + 16 liitettä

Tässä opinnäytetyössä vertailtiin pintabetonilattian kustannuksia erilaisilla betonimassoilla. Lisäksi tutkittiin betonilaadun vaikutusta lattiapinnan lopulliseen laatuun. Maanvastaisissa lattioissa kokeiltiin reunavahvistusta nurkkakäyritysmien ehkäisemiseksi. Myös pintalattioiden kuivumista seurattiin ja betonimassan laadun mahdollista vaikutusta kuivumisaikaan vertailtiin. Laboratoriossa tehtiin samoilla betonimassoilla kutistuman vertailumittaukset. Työn tilaajana oli oululainen rakennusliike Hartela-Forum Oy. Tutkimuskohteena toimi kolmikerroksinen kerrostalo Oulun Toppilansaassa.

Pintabetonilattian kustannuksiin otettiin mukaan kaikki vaikuttavat tekijät työmenekki mukaan luettuna. Kuivumisen seuranta varten betonin suhteellista kosteutta mitattiin porareikämenetelmällä. Tutkimuksessa olivat mukava pintabetonilattiat itsetiivistyvällä eli IT-betonilla, nopeammin päällystettävällä NP-betonilla ja normaalilla K30-betonilla valettuina. Maanvastaiset koelattiat valettiin normaalilla K30-betonimassalla.

K30-betonilla tuli ensimmäisessä vertailussa edullisin pintalattia. Toisessa koelattian arvioinnissa kustannukset olivat jokaisen betonilaadun osalta erittäin lähellä toisiaan. Sen sijaan pinnan laadussa oli havaittavissa jo selvempiä eroja. K30- ja NP-betonilla valetut pintalattiat olivat laadultaan melko virheettömiä, mutta IT-betonilla valetut lattiat halkeilivat paikoin huolellisesta jälkihoidosta huolimatta. Ennen toista valua suoritettu alustan kastelu sekä entistäkin huolellisempi vedon torjunta vähensivät IT-lattioiden halkeilua. Pintalattioiden kuivumisajassa ei tullut esille selkeitä eroja eri betonilaatujen välillä.

Maanvastaisissa lattioissa nurkkien ja reunojen käyritykset lievenivät ja tasoituivat jonkin verran reunavahvistuksen ansiosta. Kohoumaa kuitenkin esiintyi edelleen, joten reunavahvistusten tekeminen ei ole valmis ratkaisu kyseiseen ilmiöön. Laboratoriossa tehtyjen kutistumamittausten perusteella IT-betoni kutistui jonkin verran kahta muuta betonilaatua enemmän ja vähiten kutistui NP-betoni.

Asiasanat:

Itsetiivistyvä betoni, pintabetonilattiat, betonilattian laatu, kustannukset

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building and Renovation

Author: Juho Tyni

Title of thesis: Price and Quality of Concrete Floors Produced by Different Types of Concrete

Supervisor: Hannu Kääriäinen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2012 Pages: 57 + 16 appendices

In this diploma work the price and quality of concrete floor produced from different types of concrete were compared. The drying of floors was also followed and in laboratory tests the contraction of concrete was measured. The study was commissioned by Hartela-Forum Ltd and the study object was a block of flats in Toppilansaari in Oulu. The house was just under construction. The idea of the study arised from the goal to get surface concrete floors of high quality without extra work.

There were concrete, transportation, pumping of concrete, moderating-work and after-work included in the costs of concrete floors. The relative humidity was measured with Vaisala HMP 44-sensors from drill holes. Surface floors were made from ordinary concrete, faster drying concrete and self-compacting concrete.

Two sets of concrete floors were made of each type of concrete. In the first comparison the cheapest floors were made from ordinary concrete. The price was about the same in the second comparison with ordinary and self-compacting concrete. The biggest differences between concretes came out with the quality of surface: self-compacting concrete floors were clearly the poorest. There were some crevices in every floor in spite of the careful after-work. There were no clear differences between the drying times. The contraction of self-compacting concrete was a bit bigger than the others.

Self-compacting concrete was clearly more expensive than for example ordinary concrete. If the volume of used concrete increases the price becomes a bit cheaper. The knowhow about working methods also increases and that is why the competitiveness of self-compacting concrete will get better.

Keywords:

Self-compacting concrete, surface-concrete floors, quality of concrete floors, outlay

KÄSITTEITÄ

Betonin kutistuma

Kutistuminen on betonin kuivumiseen ja sementin reaktioihin liittyvä luonnollinen ilmiö. Suurin kutistumisen syy on betonin kuivuminen. Kutistuminen on voimakkainta ennen betonin sitoutumista. Kutistuman suuruus ilmoitetaan usein mm/m eli promilleina ja sen suuruus on normaalisti 0,4–0,8 mm/m. (Betonin muodonmuutokset. 2001, 13.)

Betonin suhteellinen kosteus

Betonin suhteellinen kosteus on betonin huokosissa olevan ilman suhteellinen kosteus. Se kuvaa betonissa olevan liikkumiskykyisen veden määrää. (Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. 2010.)

Itsetiivistyvä betoni (ITB)

IT-betoni on betonia, joka tiivistyy painovoiman vaikutuksesta ja täyttää muotin kokonaan säilyttäen homogeenisuutensa ilman lisätiivistämistä. Sideaineen määrä on normaaliin betoniin verrattuna suurempi. Tiivistyvyys saadaan aikaan käyttämällä lisäsiemenainetta ja tehokkaita notkistimia. (Itsetiivistyvän betonin lisäohjeet. 2004, 235.)

Kosteus

Kosteus on kemiallisesti sitoutumatonta vettä kaasumaisessa, nestemäisessä tai kiinteässä muodossa.

NP-betoni

Nopeammin päällystettävä betoni on runkoaineekseltaan normaalia lattiabetonia hienompaa ja sen sementtimäärä on suurempi. Se on huokostettua, minkä johdosta

betoniin jää enemmän ilmahuokosia. Niiden ansiosta kuivuminen etenee nopeammin. (Resepti Rudus Oy. 2011.)

Pintabetonilattia

Pintabetonilattia on ohut, yleensä 30–80 mm paksu betonivalu. Se valetaan joko paikalla valetun massiivisen betonirakenteen tai asuintalokohteessa usein ontelolaataston päälle. (Pintabetonilattiat ja uivat lattiat. 2011.)

Suhteellinen kosteus RH

(Relative humidity) Luku ilmaisee ilmassa olevan vesihöyrynpaineen suhteen kyllästyspaineeseen kyseisessä lämpötilassa. Se ilmaistaan prosentteina (%). (Merikallio 2009, 10.)

Vesi-sementtisuhte

Suhde ilmaisee betonimassan sisältämän vesimäärän ja sementin painon suhteen. Vesimäärään lasketaan mukaan myös kiiviaineksessa oleva kosteus.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	9
2 VERTAILUSSA MUKANA OLEVAT BETONILAADUT	11
3 BETONILATTIAT	14
4 BETONILATTIAN LAATUKRITEERIT	15
4.1 Tasaisuus	15
Tasaisuuden mittaaminen ja määrittäminen	16
4.2 Muut lattiapinnan laatutekijät	19
5 BETONILATTIOIDEN KUIVUMINEN JA KOSTEUDEN MITTAAMINEN	20
5.1 Betonin kuivuminen	20
5.2 Betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät	22
5.3 Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen porareikämenetelmällä	23
5.4 Mittaussyvyyksien ja –pisteiden valinta	26
6 BETONIN KUTISTUMINEN	28
6.1 Kutistumista aiheuttavat tekijät	28
6.2 Varhaisen ja myöhäisen vaiheen kutistuma	28
6.3 Kutistumisen suuruuteen vaikuttavat tekijät	29
7 LATTIOILLE SUORITETUT TUTKIMUKSET JA VERTAILUT	30
7.1 Pintabetonilattioiden kustannus- ja laatuvertailu	30
7.2 Pintalattioiden viimeistelyn kustannukset	31
7.3 Pintalattioiden kuivumisen seuranta	32
7.4 Maanvastaisten lattioiden nurkkakäyristymien vähentäminen	32
7.5 Kuivumisen seuranta pintalattioita kuvaavilla ”pienlaatoilla”	34
7.6 Lattioissa käytettyjen betonilaatujen kutistuman mittaaminen	35
8 TULOKSET	37
8.1 Pintabetonilattioiden kustannukset	37
8.2 Lattian tasaisuus ja laatu	39
8.3 Lattioiden kuivuminen	42
8.4 Maanvastaisen laatan nurkkien ja reunojen kohoaminen	48
8.5 Pintalattioita kuvaavien vertailulaattojen kosteuslukemat	49
8.6 Palkkien kutistuma	50

9 POHDINTA	52
LÄHTEET	55
LIITTEET	57

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus selvittää, millä betonilaadulla saadaan valettua pintabetonilattiat mahdollisimman edullisella kokonaiskustannuksella neliometriä kohden. Pintalattioita valetaan itsetiivistävällä (IT-)betonilla, K30-lattiabetonilla sekä nopeammin päällystettävällä (NP-)betonilla. Kahdessa maanvastaisessa lattiassa kokeillaan reunavahvistusta nurkkakäyristymien vähentämiseksi ja ne valetaan normaalilla K30-lujuusluokan betonimassalla.

Tutkimuskohde on kolmikerroksinen, 33 huoneistoa käsittävä, vapaarahoitteinen asuintalokohde, jonka asunnot vaihtelevat 32 m²:n yksiöistä 69,5 m²:n kolmioihin. Kuvassa 1 näkyy tutkimuskohde As. Oy Oulun Merilinja, joka valmistui lokakuussa 2011. Valtaosa asunnoista on kaksioita. Kohde sijaitsee Oulussa Toppilansaaren kaupunginosassa, osoitteessa Mesaanitie 6.

Tilaaajan toiveiden mukaisesti huomiota kiinnitetään erityisesti lattiapintojen lopulliseen tasaisuuteen ja laatuun. Näille asioille annetaan erityistä painoarvoa siitä syystä, että heidän kokemustensa mukaan työmailla ilmenee jatkuvasti haasteita saada lopulliset lattiapinnat kerralla riittävän tasaiseksi pinnoitusta varten. Myös kuivumisen seuranta otetaan työhön mukaan. Näin päästään vertailemaan eri betonilaaduilla valettujen lattioiden kuivumisnopeutta. Jokaisesta koevaluerästä otetaan yksi asunto mukaan kuivumisen seurantaan.

Lattiapintojen lopullista tasaisuutta tutkitaan käymällä kaikki vertailussa mukana olevat asunnot linjaraudan ja mittausvälineiden kanssa läpi. Näin päästään epätasaisimmat kohdat mittaamalla vertailemaan sitä, millä betonilaadulla lattiapinnat ovat suorimpia valun jäljiltä.

Työn tilaaja on oululainen rakennusliike Hartela-Forum Oy. Heidän kokemustensa mukaan lattioiden valut ovat vuodesta toiseen haasteiden paikka juuri riittävän tasaisuuden saavuttamiseksi ilman merkittäviä jälkitasoitustöitä. Lattia-valut tulevat vastaan käytännössä jokaisessa työkohteessa, joten edellä kuvatulle tutkimukselle tuntui olevan tilausta.



KUVA 1. Tutkimuskohde As. Oy Oulun Merilinja

2 VERTAILUSSA MUKANA OLEVAT BETONILAADUT

Pintalattioita valettiin normaalin, lujuusluokaltaan K30:n betonin lisäksi myös nopeammin päällystettävällä ja itsetiivistyvällä betonimassalla. NP- ja IT-betoneilla on varsinkin lisäaineiden ja runkoaineen koostumuksen osalta muutamia selkeitä eroja normaaliin betonimassaan verrattuna.

Normaali lattiabetoni on lujuusluokaltaan K30 eli sen puristuslujuus on 30 MN/m². Runkoaineen maksimirakoko on 16 mm ja runkoaineen eli betonimassan kiviaineksen hienoainespitoisuus on 58,8 %. Hienoainekseksi luetaan 2 mm:n seulan läpi menevä runkoaines. Betonin notkeusluokka on S2. Notkeusluokittelun suorittaminen on kerrottu IT-betonin ominaisuuksien jälkeen. Runkoaineksesta 15 % on 8–16 mm:n sepeliä, kun kahdessa muussa betonilaadussa kyseistä sepeliä ei ole mukana lainkaan. Vesi-sementtisuhde on 0,64. (Resepti Rudus Oy. 2011.)

Nopeammin päällystettävä lattiabetoni on myös lujuusluokaltaan K30 ja notkeusluokaltaan S2 eli normaalin betonimassan tapaista. Se on yleensä jonkin verran vaikeampaa työstettävää normaaliin betoniin verrattuna. Runkoaineen maksimirakoko on 8 mm ja hienoainespitoisuus on 69 %, joka on noin 10 % suurempi kuin normaalissa lattiabetonissa. Vesi-sementtisuhde on 0,49 eli sementin määrä on normaaliin betonimassaan verrattuna suhteellisesti suurempi. (Resepti Rudus Oy. 2011.)

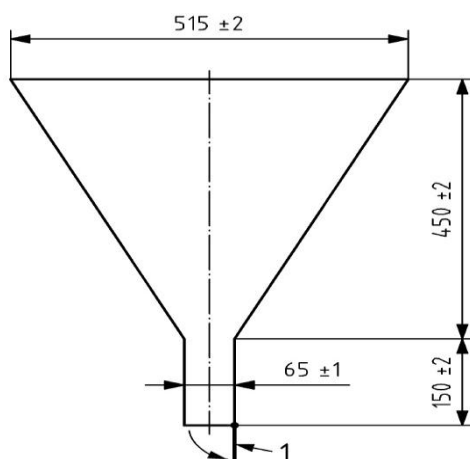
Itsetiivistyvä lattiabetoni on lujuusluokaltaan K40 ja notkeusluokaltaan S4. Betonin juoksevuudessa on selvä ero muihin laatuihin verrattuna. Vesi-sementtisuhde on 0,58 eli normaaliin betoniin verrattuna sideaineen osuus on suurempi. Suuremmalla sideaineen osuudella saadaan osaltaan haluttuja ominaisuuksia ja samalla betonista kehittyy lujempaa kuin kahdesta muusta vertailun betonilaadusta. Mukana on myös notkistinta juoksevuuden aikaansaamiseksi. Maksimirakoko on 8 mm ja runkoaineen hienoainespitoisuus on 71,2 %. (Resepti Rudus Oy. 2011.)

Eräillä SFS-EN-standardien mukaisilla tuoreen IT-betonin testausta koskevilla kokeilla voidaan IT-betonin ominaisuuksia luokitella. Testeillä voidaan ylipään-

sä tarkistaa, onko betoni ominaisuuksiensa puolesta IT-betonia. Alla olevien testausten osalta vaatimukset nimenomaan poikkeavat normaalisti valettavasta betonista. (Itsetiivistyvän betonin lisäohjeet. 2004, 237.)

Standardin SFS-EN 12350-8 mukaisella painuma-leviämäkokeella suoritetaan IT-betonin notkeusluokittelu. Kokeessa halkaisijaltaan 210 mm:n kartio, jonka tilavuus on 10 litraa, täytetään betonimassalla kartion ollessa tasaisen ja puhtaan pohjalevyn päällä. Kartio nostetaan nopeasti pois ja betoni saa vapaasti levitä alustalle. Heti leviämisen pysähtyttyä mitataan leviämisen halkaisija. (Tuoreen betonin testaus, painuma-leviämä. 2010.) Tämän halkaisijan (550–850 mm) perusteella IT-betoni luokitellaan kolmeen notkeusluokkaan SF1-SF3. Testissä voidaan myös mitata aika, jolloin leviämä saavuttaa halkaisijaltaan 500 mm:n ympyrän. Tämän T_{500} -ajan perusteella tehdään viskositeetti- eli juoksevuusluokitus luokkiin VS1-VS3. (Itsetiivistyvän betonin lisäohjeet. 2004, 237.)

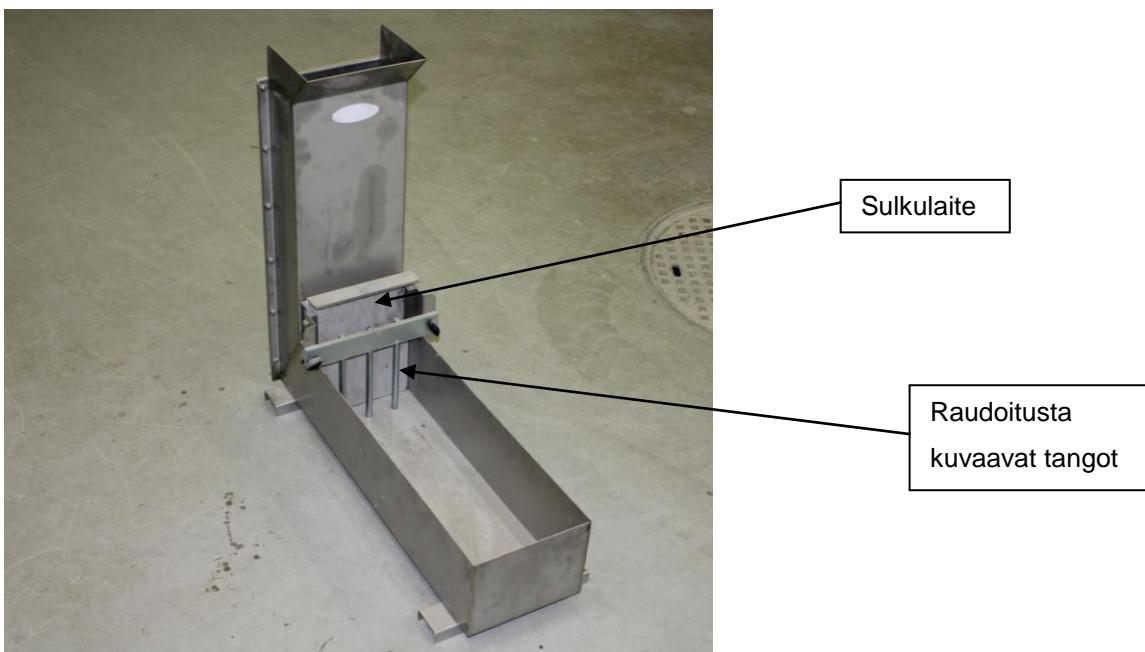
Viskositeettiluokitus voidaan tehdä myös standardin SFS-EN 12350-9 mukaisella V-suppilokokeella. Kokeessa kuvan 2 mukainen suppilo täytetään betonilla ja mitataan pohjaluukun avaamisesta alkaen tyhjentymiseen kuluva aika. Tyhjentymisajan perusteella tehdään jako viskositeettiluokkiin VF1 ja VF2. Jos testissä virtaus pysähtyy kasaantumisen takia, koe uusitaan vastaavalla tavalla. Jos sama tapahtuu uudestaan, betonilla ei ole itsetiivistyvältä betonilta edellytettävää viskositeettia ja täyttökkyä. Tällöin betonimassa ei ole IT-betonia.



KUVA 2. IT-betonin viskositeettiluokan määrittämiseksi tehtävän V-suppilokokeen suppilo (Tuoreen betonin testaus, V-suppilokoe. 2010)

Tuoreen betonin testaukseen käytetään yleisesti myös standardin SFS-EN 12350-10 mukaista niin sanottua L-laatikkokoea. Aikaisemmin tuoreen betonin testausta tehtiin lähinnä vain leviämäkokeella ja alla esitetyllä L-laatikkokokeella. Koetta käytetään arvioitaessa itsetiivistyvän betonimassan kykyä virrata ahtaiden paikkojen, esimerkiksi raudoitustankojen välien läpi kasaantumatta. (Tuoreen betonin testaus, L-laatikkokoe. 2010.)

Kokeessa kuvan 3 mukainen laatikko puhdistetaan ja kostutetaan välittömästi ennen testiä ja kaksiosaisen laatikon korkeampi osa täytetään betonilla. Pinta tasataan laatikon yläpinnan tasalle ja betonia ei tiivistetä. Betoni annetaan seisoa minuutin ajan. Sen jälkeen sulkulaite avataan jatkuvalla tasaisella liikkeellä, jotta betoni pääsee virtaamaan vaakasuoraan osaan raudoitusta kuvaavien tankojen väleistä. Tankojen vapaa väli on tässä kolmen tangon versiossa 41 mm. Kun virtaus on pysähtynyt, mitataan betonipinnan korkeuden väheneminen millimetrin tarkkuudella pystysuoran osan sulkulaitteen puolelta kolmesta kohdasta. Tästä saadaan betonipinnan keskimääräinen korkeus H_1 . Samalla tavalla määritellään betonipinnan keskimääräinen korkeus H_2 laatikon vaakasuoran osan ulommassa päässä. Näistä korkeuden arvoista saadaan läpäisykykyosuus PL kaavalla H_2/H_1 . Testituloksissa PL:n arvo ilmoitetaan 0,05:n tarkkuuteen pyöristettynä. (Tuoreen betonin testaus, L-laatikkokoe. 2010.)



KUVA 3. L-laatikkokokeen suorittamiseen käytettävä laatikko

3 BETONILATTIAT

Pintabetonilattialla tarkoitetaan ohutta, tavallisesti 30–80 mm paksua betoni-valua. Se valetaan yleensä joko paikalla valetun massiivisen betonirakenteen tai elementtirakenteen päälle. Elementtirakenne on asuintalokohteissa yleensä ontelolaatoista koottu välipohja. Varsinkin ontelolaattojen päälle tuleva pintalaatta tehdään yleensä raudoittamattomana. Pintalaatta voidaan tehdä tarvittaessa myös raudoitettuna, jolloin paksuuden tulee olla 50–80 mm. (Pintabetonilattiat ja uivat lattiat. 2011.)

Pintabetonilattia voidaan tehdä myös alustastaan irti olevana, niin sanottuna uivana lattiana. Tällöin alla olevan massiivisen rakenteen päälle asennetaan ensin eriste ja pintalaatta valetaan eristeen päälle. Ratkaisua käytetään silloin, kun lattiarakenteelta vaaditaan erityisen hyvää äänen tai askeläänän eristystä. (Pintabetonilattiat ja uivat lattiat. 2011.)

Asuintalokohteessa ensimmäisen kerroksen lattiat ovat yleensä **maanvastaisia betonilattioita**. Maanvastaisessa lattiassa perusmaan päällä on huolellisesti tiivistetty, kapillaarista vedennousua riittävästi estävä murskekerros. Tämän päällä ovat eristekerrokset ja eristeen päällä betonivalu. Laatan paksuus on yleensä 80–120 mm ja se raudoitetaan keskeisellä verkolla. Laatta jätetään valettaessa irti perusmuurista, jotta se pääsee kuivumisen edistyessä vapaasti kutistumaan. (Alapohja. 2011.)

4 BETONILATTIAN LAATUKRITEERIT

4.1 Tasaisuus

Betonilattian tasaisuus on käytännössä tärkein laatukriteeri varsinkin, kun kyseessä on asuintalo. Pinnan tasaisuudella on eniten merkitystä silloin, kun pintamateriaaliksi asennetaan esimerkiksi laminaattia tai lautaparkettia. Lattiapäällysteiden asennuksen onnistumiseksi tasaisuudelle asetetaan usein korkeat vaatimukset. Tasaisuutta tarkasteltaessa arvosteluperusteina ovat lattian hammastus, aaltoilu ja kaltevuusvirheet. Tasaisuutta verrataan vaakasuoraan tasoon, kun kyseessä on vaakasuoraksi tarkoitettu lattia. (Tasaisuus. 2002, 4.)

Tasaisuusvaatimukset on esitetty taulukossa 1 vaativuusluokittain sekä tasaisuuspoikkeaman että hammastuksen osalta. Taulukossa 1 ja kuvassa 3 esitetty tasaisuuden määrittelymenetelmä on jo korvattu uudemmallalla menetelmällä. Tässä opinnäytetyössä suoritettujen lattiapinnan mittaukset on suoritettu tätä **vanhempaa** menetelmää käyttäen. Kuvan 4 jälkeen on esitetty RT-kortin 14-11039 mukainen, elokuussa 2011 voimaan tullut tasaisuuden mittausmenetelmä.

TAULUKKO 1. Suurimmat sallitut tasaisuuspoikkeamat vaativuusluokittain (Tasaisuus. 2002, 4)

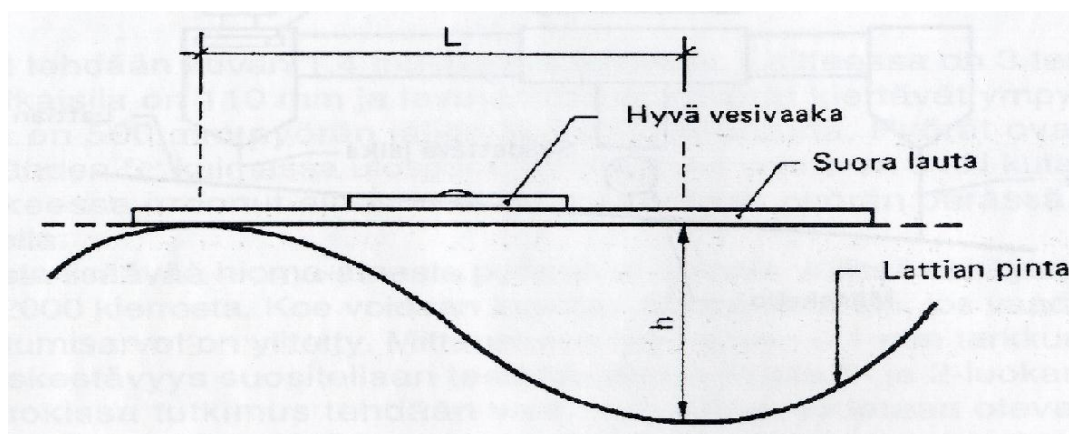
Tasaisuuspoikkeama	Mittausluokka L [mm]	Suurin sallittu poikkeama [mm]			
		A ₀	A	B	C
Hammastus		0	0	1	1
Poikkeama vaaka- suorasta tai nimellis- kaltevuudesta (katso kuvat 1.1 ja 1.2)	enintään 200	1	2	3	4
	enintään 700	2	4	6	8
	enintään 2000	4	7	10	14
	enintään 7000	7	10	14	20
	yli 7000	10	14	20	28

Tasaisuuspoikkeamat eivät saa missään lattian kohdassa ylittää taulukon arvoja lukuun ottamatta erikseen määriteltäviä käytöltään toisarvoisia alueita. Tällaisina voidaan esimerkiksi teollisuus- ja varastotiloissa pitää seinistä ja pilareista 300 mm:n etäisyydelle ulottuvaa lattiapinnan osaa. Kyseiset kohdat saavat olla tasaisuudeltaan yhtä luokkaa muuta vaativuustasoa huonompia, ellei muuta ole sovittu. Asuin- ja toimistotilojen osalta ei sovelleta tällaisia helpotuksia. (Tasaisuus. 2002, 4.)

Tasaisuuden mittaaminen ja määrittäminen

Lattiapinnan tasaisuutta mitataan linjalaudan ja tarkan vesivaakan avulla. Ensin lattiasta tai sen osasta etsitään linjalaudan avulla epätasaisin kohta, johon mitaus kohdistetaan. Sen jälkeen mitaus suoritetaan vähintään kahdesta toisiaan vastaan kohtisuorasta linjasta. Mittaus on ulotettava myös saumojen yli. Tulos ilmoitetaan 1 mm:n tarkkuudella ja se pyöristetään lähimpään täyteen millimetriin. (Tasaisuus. 2002, 4.)

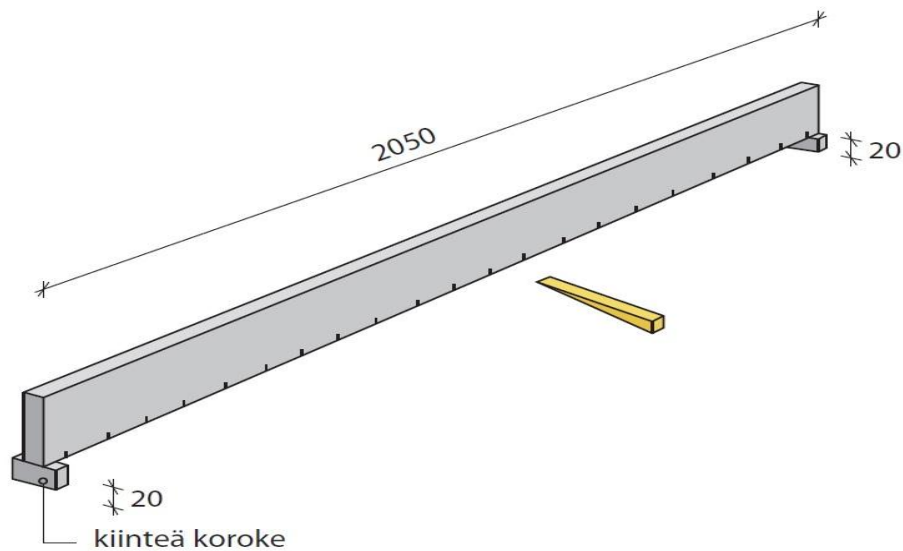
Kuvassa 4 on havainnollistettu tasaisuuspoikkeaman mitaus ja poikkeaman määräytyminen vaakasuoraksi tarkoitetulla lattialla. Menetelmä on niin sanottu vanhempi menetelmä.



KUVA 4. Tasaisuuspoikkeaman määräytyminen. L on mittauspituus, h on tasaisuuspoikkeama mittauspituudella L (Tasaisuus. 2002, 5)

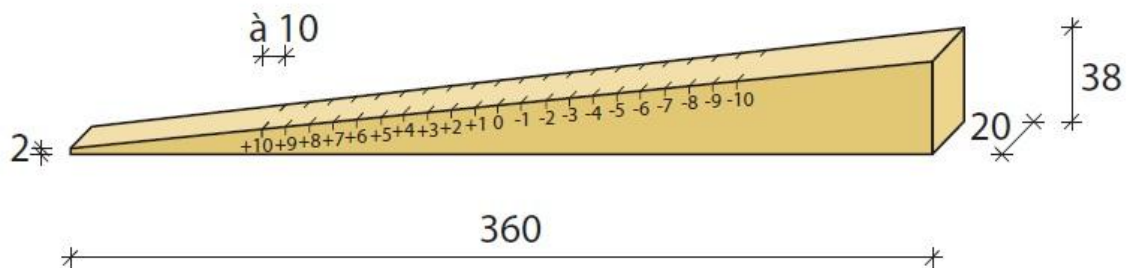
Seuraavana esiteltävä menetelmä on niin sanottu Mittalauta ja kiila -menetelmä. Se on tarkoitettu rakennusten pintakerrosten valmiiden pintojen tai pinnoitteiden alustojen tasaisuuden mittaamiseen uudisrakentamisessa. Menetelmällä tehtävään tasaisuuden tarkasteluun piiriin kuuluvat satunnaiset mittavirheet, joiden syinä ovat rakennusaineiden fysikaaliset ominaisuudet tai työmenetelmistä tai työsuorituksesta aiheutuneet epätarkkuudet. (Tasaisuuden mitaus. 2011.)

Mittalauta on alumiinista valmistettu lauta, jonka päissä on kiinteät korokkeet. Siitä pyritään tekemään kevyt käsittelyn helpottamiseksi. Mittalauta näkyy kuvassa 5.



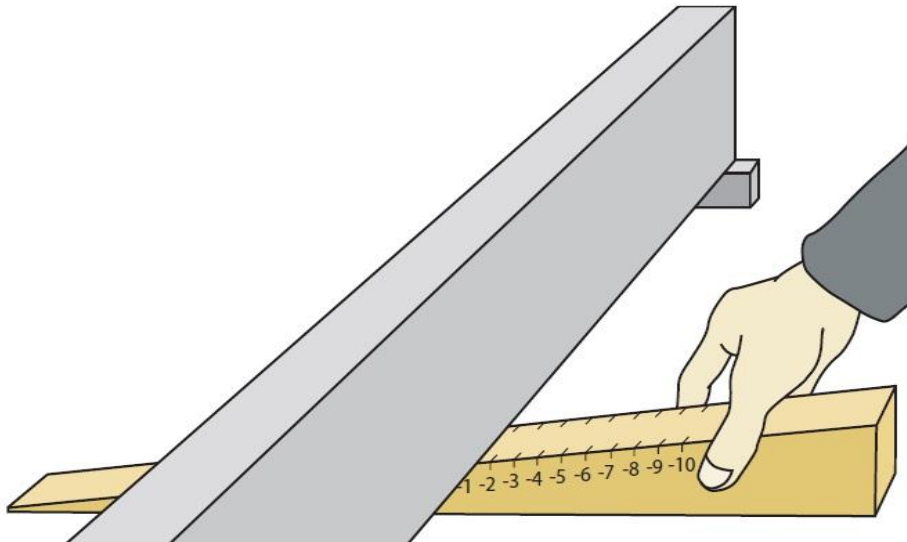
KUVA 5. Mittalauta (Tasaisuuden mittaus. 2011)

Mittauksia varten käytettävä kiila on kuvan 6 mukainen, toisesta päästä 2 mm ja toisesta 38 mm korkea kappale. Sen voi valmistaa vaikkapa kovasta puusta ja päällystää kontaktimuovilla.



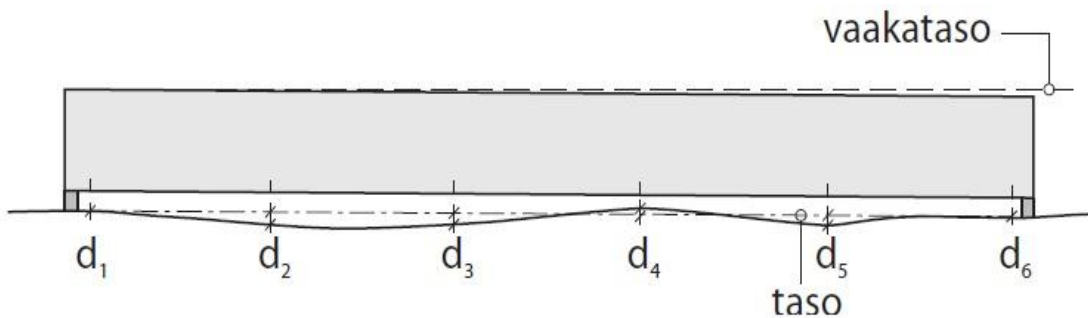
KUVA 6. Kiila (Tasaisuuden mittaus. 2011)

Mittauksessa käytetään mittalautaa ja kiilaa. Mittalauta asetetaan lattiapinnalle korokkeiden varaan ja kiila työnnetään lattiapinnan ja laudan väliin tarkasteltaviin kohtiin, jolloin poikkeaman voi lukea kiilan asteikolta. Kuvassa 7 on esitetty mittaustapahtuma. Mittaus voidaan tehdä toleranssin ylittävien poikkeamien löytämiseksi koko pinnan osalta valituilta mittalinjoilta. (Tasaisuuden mittaus. 2011.)



KUVA 7. Tasaisuuspoikkeaman mittaus (Tasaisuuden mittaus. 2011)

Tällä menetelmällä mitataan ainoastaan lattiapinnan tasaisuutta. Se ei siis sovellu lattian vaakasuoruuden tai nimelliskaltevuuden mittaamiseen. Asia näkyy selvemmin kuvassa 8.



KUVA 8. Poikkeama d_1 – d_6 (Tasaisuuden mittaus. 2011)

Päällystettä varten valmiille, jo tasoitetulle lattiapinnalle on olemassa omat tasaisuusvaatimuksensa. Lattian tasaisuuden mukaan tehdään jaottelu luokkaan 1 ja luokkaan 2. Suurimmat sallitut lattiapinnan poikkeamat ovat 2000 mm:n mittauspituudella luokassa 1 ± 3 mm ja luokassa 2 ± 4 mm. Hammastusta ei sallita kummassakaan luokassa yhtään millimetriä. Vaativa eli luokan 1 mukainen tasaisuus edellytetään silloin, kun päällyste edellyttää alustaltaan erityisen

hyvää tasaisuutta. Tällainen päällyste on esimerkiksi parketti. Tavanomainen eli luokan 2 mukainen tasaisuus vaaditaan esimerkiksi tavallisen mattopäällysteen alle. Joillakin erikoisemmilla lattiapäällysteillä voi olla edellä olevaa tiukempiakin vaatimuksia, jolloin ne on otettava määrääviksi rajoiksi. (Valmis pintabetoni, ta-soitettu lattia.1998, 109.) Lattiapinnan tasaisuuden toleransseja ja niiden mit-taamista on käsitelty myös julkaisussa BY47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2007, sivulla 74.

4.2 Muut lattiapinnan laatutekijät

Muita betonilattian laatukriteerejä ovat esimerkiksi kulutuskestävyys, kemial-linen kestävyys, säänkestävyys ja vesitiiviys. Myös pintabetonilaatan tartunta alustaan on yksi laatutekijä ja se on tasaisuuden jälkeen tärkein tekijä asuinta-lokohteessa. Asuintaloissa lattiaan kohdistuvat kuormat ovat vain murto-osa esimerkiksi teollisuusrakennusten lattioihin verrattuna, joten lujuusominaisuudet eivät nouse merkittäviksi tekijöiksi. (Tasaisuus. 2002, 12.)

Tartunta alustaan voidaan mitata yksinkertaisen vetokokeen avulla, ja se on mahdollista suorittaa työmaalla. Koe suoritetaan poraamalla halkaisijaltaan yleensä 50 mm:n lieriöporalla pintalaatan läpi ja ulottamalla poraus myös 10–30 mm alusbetoniin. Lieriö vedetään irti alustasta ja vetoon tarvittavaa voimaa mit-taamalla saadaan selville tartunta alustaan. Tarpeen mukaan myös muut lie-riöporan halkaisijat tulevat kysymykseen. (Tasaisuus. 2002, 9.)

5 BETONILATTIOIDEN KUIVUMINEN JA KOSTEUDEN MITTAAMINEN

Betonilattia sisältää aina kosteutta, josta pääosa on peräisin betonimassan valmistamiseen käytetystä vedestä. Osa siitä voi olla peräisin myös rakenteiden rakennusaikaisesta kastumisesta, jonka voivat aiheuttaa vaikkapa vesisateet. Betonin valmistuksen yhteydessä käytetystä vedestä läheskään kaikki ei sitoudu kemiallisesti veden ja sementin välisessä reaktiossa. ”Ylimääräistä” vettä joudutaan lisäämään betonin työstettävyyden saavuttamiseksi ja se pitää saada betonista pois ennen lattian pinnoittamista. Betonin pitää siis kuivua riittävästi ennen päällystystyöhön ryhtymistä. (Merikallio 2009, 11–12.)

5.1 Betonin kuivuminen

Betonin kovettumisprosessissa vesi muodostaa sementin kanssa sementtilliiman, joka sitoo runkoainepartikkelit toisiinsa. Tätä kovettumisreaktiota kutsutaan hydrataatioksi ja siinä betoniin sitoutuu kemiallisesti vettä. Tämä vesi ei normaaleissa olosuhteissa pysty poistumaan betonista. Tämä kemiallinen sitoutuminen alkaa muutaman tunnin kuluessa betonimassan sekoittamisesta ja se tapahtuu pitkän ajan kuluessa ollen alussa nopeinta. Normaaleilla sementtilaaduilla suurin osa sitoutumisreaktiosta tapahtuu ensimmäisten 15 vuorokauden kuluessa. (Merikallio–Niemi–Komonen 2007, 20.)

Normaalin lattiabetonin vesi-sementtisuhde on 0,6–0,8 ja tällainen betonimassa sisältää valmistusvaiheessa vettä noin 180–200 l/m³. Tästä seosvesimäärästä sitoutuu kemiallisesti kovettumisreaktion yhteydessä vain noin 50–70 l/m³ ja tätä vesimäärän vähenemistä kutsutaan sitoutumiskuivumiseksi. (Merikallio–Niemi–Komonen 2007, 20.)

Betoniin jää siis tämän sitoutuvan veden lisäksi paljon fysikaalisesti sitoutunutta vettä. Fysikaalisesti sitoutunut vesi on vapaata, haihtumiskykyistä vettä, joka pystyy liikkumaan betonin huokosrakenteessa toisin kuin kemiallisesti sitoutunut vesi. (Merikallio 2009, 14.) Tämä vapaa vesi sitoutuu fysikaalisesti betonin huokosrakenteeseen siten, että betonin pyrkiessä tasapainokosteuteen ympäristön kanssa osa vedestä poistuu ympäristöön. Kuivumista eli veden poistumista

huokosista tapahtuu jatkuvasti, kunnes betonin huokosten ja ympäröivän ilmatilan suhteellinen kosteus on sama. Tätä tilaa kutsutaan hygroskooppiseksi tasapainoksi. (Merikallio–Niemi–Komonen 2007, 20.)

Valuvaiheessa betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on 100 %. Betonin kovettuessa osa sen valmistamiseen käytettävästä vedestä sitoutuu kemiallisesti. Tämän seurauksena betonin RH päättyy 90–98 %:n välille betonilaadusta riippuen. Betonirakenteen pitää kuitenkin kuivua tästä edelleen ja niinpä osan fysikaalisesti sitoutuneesta vedestä on poistuttava betonin huokosista. (Merikallio–Niemi–Komonen 2007, 20.)

Betonin huokosten suhteellinen kosteus on yleensä suurempi kuin ympäröivän ilman suhteellinen kosteus. Fysiikan perusilmiöihin kuuluu, että kosteuserot pyrkivät tasoittumaan, ja näin ollen kuivuminen on mahdollista. Betonin ja ilman rajapinnan kautta siirtyy vettä ilmaan haihtumalla ja tämän tilalle siirtyy vettä kosteammasta betonin osasta. Tämä kosteuden siirtyminen tapahtuu joko diffuusion tai kapillaarisen imun avulla ja molemmat vaikuttavat yleensä yhtä aikaa. Edellä kuvattua prosessia kutsutaan joko siirtymiskuivumiseksi tai haihtumiskuivumiseksi. (Merikallio 2002, 33–34.)

Betoni kykenee huokoisena materiaalina sekä luovuttamaan kosteutta ympäristöön että vastaanottamaan sitä. Merkittävin tekijä on kuitenkin betonin kyky imeä vettä, ja se onkin syytä ottaa huomioon etenkin työmaaolosuhteissa. Saiteiden vaikutuksesta tai muutoin märkien työvaiheiden yhteydessä betoni voi päästä imemään itseensä merkittäviä määriä vettä. Betonilaadulla on myös vaikutusta vedenimukykyyn. Vesi-sideainesuhteen pienentyessä betonista tulee tiiviimpää, jolloin kyky imeä vettä heikkenee. (Merikallio 2002, 33–34.)

Betonin kuivuminen tasapainokosteuteen ympäristön kanssa voi kestää rakenteesta riippuen jopa vuosia, mutta rakennusaikana tätä tilaa ei tarvitse saavuttaa. Suhteellisen kosteuden raja-arvoja on lähinnä rakenteille, jotka päällystetään tai pinnoitetaan kosteuserkällä materiaalilla. Näissäkin tilanteissa suhteellisen kosteuden vaatimisarvo on yleensä 80–90 %. (Merikallio 2002, 33–34.) Suhteellisen kosteuden raja-arvoja pintamateriaalikohtaisesti on esitetty muun muassa julkaisussa BY 47 Betonirakentamisen laatuohjeet, 2007. Esimerkkinä

mainittakoon laminaatti, jonka alle asennetaan vesihöyryntiivis alusmateriaali. Tällöin alusbetonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvot ovat 10–30 mm:n syvyydeltä mitattuna 75 % ja arviointisyvyydellä 85 %.

5.2 Betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät

Betonin ominaisuuksilla, rakenneratkaisulla ja ympäristön olosuhteilla on merkittävä vaikutus siihen, miten nopeasti tai hitaasti betoni kuivuu. Rakenneratkaisulla on vaikutusta siihen, kuinka pitkän matkan kosteus joutuu siirtymään päästäkseen betonin pinnalle. Rakenteen paksuuden kasvaessa myös siirtymismatka kasvaa ja kuivuminen hidastuu. Betonin pinnan pitäminen puhtaana ja paljaana mahdollistaa osaltaan tehokkaan kosteuden haihtumisen. Jos betoni valetaan liittolevyrakenteena metallilevyn päälle tai vaikkapa tiiviin eristeen päälle, kuivuminen on mahdollista vain yhteen suuntaan. Sillä on kuivumisprosessiin selvä hidastava vaikutus. (Merikallio 2002, 33–34.)

Ulkoisilla olosuhteilla, kuten lämpötilalla, suhteellisella kosteudella ja ilmavirroilla on merkittävä vaikutus betonin pinnalla olevan kosteuden haihtumisnopeuteen. Kun pinnalla oleva kosteus haihtuu, rakenteen sisällä oleva kosteus pääsee siirtymään pinnalle ja kuivuminen etenee. Lämmöllä on selvä kuivumista nopeuttava vaikutus. Betonin huokosrakenteessa vesihöyryn osapaine kasvaa lämpötilan noustessa ja kosteutta siirtävät voimat kasvavat. Kosteus siis poistuu betonista sitä nopeammin mitä lämpimämpää se on. Betonirakenteen riittävän nopea kuivuminen edellyttääkin usein vähintään +20 °C:n lämpötilaa. (Merikallio 2002, 35–37.)

Betonia kuivatettaessa tärkeintä on saada itse betonin lämpötila nousemaan. Myös ilman lämmittäminen auttaa, sillä sen suhteellinen kosteus laskee lämpötilan noustessa. Optimaalinen ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on noin 50 %. Betonin kuivuminen alkaa edistyä siinä vaiheessa, kun lisäkosteuden pääsy siihen on estetty ja rakenteen ympäröimä ilma on riittävän kuivaa. Työmaolosuhteissa varsinkin lattioiden kuivuminen alkaa käytännössä sen jälkeen, kun vesikatto ja ikkunat ovat paikallaan ja rakennuksen lämmitys on aloitettu. Vuodenajallakin on oma vaikutuksensa kuivumisolosuhteisiin. Ulkoilma on huomattavasti kuivempaa vaikkapa keväällä kuin kuuman ja kostean heinäkuun

aikana, joten riittävään kuivumiseen vaadittava aika voi vaihdella selvästi vallitsevan vuodenaajan mukaan. (Merikallio 2002, 35–37.)

Betonin ominaisuudet vaikuttavat myös siihen, miten paljon betonista pitää haihtua vettä tietyn kosteustilan saavuttamiseksi. Kapillaarihuokokset muodostavat alkuvaiheessa yhtenäisen verkoston, jolloin betonin läpäisevyys ja haihtumiskuivumisen osuus on merkittävä. Sementin hydratoituessa kapillaarihuokokset pienenevät, betonista tulee tiiviimpää ja veden siirtyminen hidastuu. Mitä alhaisempi vesi-sideainesuhde on, sitä nopeammin kapillaarinen verkosto katkeaa ja haihtumiskuivuminen vähenee. Haihdutettavaksi jäävän vapaan veden määrä on tällaisessa betonissa kuitenkin pienempi, koska sementtimäärä on suurempi. Tämä tavallaan kompensoi hitaamman haihtumisen aiheuttamaa kuivumisajan pidennystä. (Merikallio 2002, 35–37.)

5.3 Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen porareikämenetelmällä

Betonin suhteellisen kosteuden mittaus suoritetaan siihen tarkoitetuilla mittaantureilla ja lukulaitteella. Tämän tutkimuksen mittaukset suoritettiin Vaisala HMP 44 –antureilla ja Vaisala HMI 41 –lukulaitteella. Kyseiset laitteet näkyvät kuvassa 10. Antureiden tarkkuus tunnettuun vertailukosteuteen nähden on rakennekosteusmittauksiin käytettävillä laitteilla yleensä ± 2 –3 prosenttiyksikköä. (Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. 2010.)

Betonin suhteellinen kosteus mitataan yleensä betoniin poratusta reiästä, jossa kosteuden annetaan porauksen jälkeen tasoittua ympäröivän betonin kanssa. Porareikämittaus on tarkimmillaan $+15$ – $+25$ °C:n lämpötilassa ja olosuhteiden ollessa muutenkin mahdollisimman lähellä rakennuksen normaaleja käyttöolosuhteita. (Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. 2010.) Reikä porataan sille syvyydelle, josta suhteellisen kosteuden arvo halutaan saada selville. Tässä tapauksessa kyse on päällystettävyyssmittauksista: halutaan tietää, milloin suhteellinen kosteus on niin matalalla tasolla, että lattiat voidaan päällystää ilman kosteusvaurion riskiä. Näissä mittauksissa rakenneratkaisu, kuten rakenteen paksuus ja eri kerrokset, vaikuttavat valittuihin mittaussyvyyksiin. (Merikallio 2002, 13.)

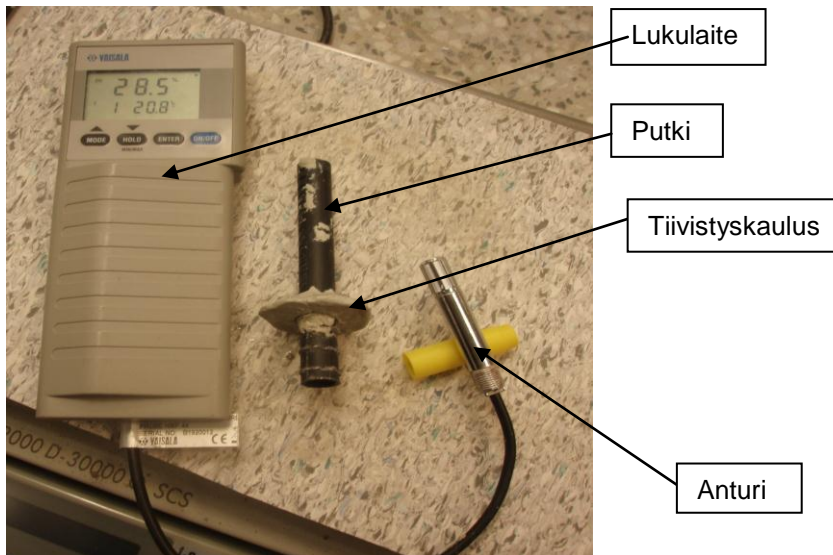
Reiät porataan lattiaan kuivamenetelmällä ja niiden halkaisijan tulee olla vähintään muutaman millimetrin mittapään halkaisijaa suurempi. Useimmat mittapäätyypit, kuten tässäkin käytetyt Vaisala HMP –anturit, edellyttävät $\varnothing 16$ mm:n reikää. Porauksen jälkeen reikä pitää puhdistaa pölystä huolellisesti joko imurilla tai paineilmalla. Pölyinen reikä vääristää saatuja lukemia yleensä ylöspäin. (Merikallio 2002, 13.)

Porauksen ja puhdistamisen jälkeen reikä pitää tiivistää. Tämän työn kaltaisissa päällystettävyyssmittauksissa tulos halutaan tietyltä syvyydeltä. Tällöin reikä tulee tiivistää sekä sivuilta että päältä käyttämällä reiässä putkea. Tulokseksi saadaan tällöin reiän pohjalla eli halutulla syvyydellä vallitseva kosteus. Putki voi olla laitevalmistajan kyseiseen tarkoitukseen suosittelemaa putkea tai tavallista sähköputkea. Mittausputken yläpää tulee tiivistää huolellisesti esimerkiksi joustavalla Mal-kit–massalla. Myös mittausputken ja betonin rajapintaan on hyvä asentaa kitistä tehty ”kaulus”, joka näkyy myös kuvissa 9 ja 10. Kuvassa 9 anturit ovat mittausasennossa. (Merikallio 2002, 14.)



KUVA 9. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä

Tämän tutkimuksen mittauksissa käytetyt laitteet eli Vaisala HMP 44 –anturi ja Vaisala HMI 41 –lukulaite näkyvät kuvassa 10. Kuvassa on myös porareikään asennettava putki sekä putken ja betonin rajapinnan tiivistävä kaulus.



KUVA 10. Vaisala HMI 41 –suhteellisen kosteuden lukulaite, jossa paikoillaan Vaisala HMP 44 –anturi

Ennen mittapään asentamista porareian olosuhteiden tulee antaa tasaantua vähintään kolme vuorokautta porauksen jälkeen. Betoni lämpenee porauksen seurauksena ja kosteustasapaino betonin huokosissa häiriintyy, joten tasapainokosteuden saavuttaminen vie aikaa. Anturi voidaan myös asentaa reikään heti porauksen ja muiden edellä mainittujen toimenpiteiden jälkeen ja jättää tasaantumaan. Yleisemmin anturi asennetaan reikään kuitenkin vasta mittauspäivänä. (Merikallio 2002, 14.)

Anturi on laitettava reikään välittömästi sen avaamisen jälkeen ja putken yläpää tiivistettävä huolellisesti. Anturin tulee antaa olla reiässä ennen lukemien ottamista niin kauan, että kosteustasapaino anturin ja betonin välillä saavutetaan riittävän tarkasti. Vaisalan antureita käytettäessä aika on käytännössä vähintään yksi tunti. Tasaantuminen on yleensä sitä hitaampaa, mitä kuivempaa tai mitä tiiviimpää tutkittava betoni on. Tilanteen niin salliessa antureiden kannattaa siis antaa olla putkessa vaikkapa kahdesta kolmeen tuntia ennen tulosten ottamista. (Merikallio 2002, 14.)

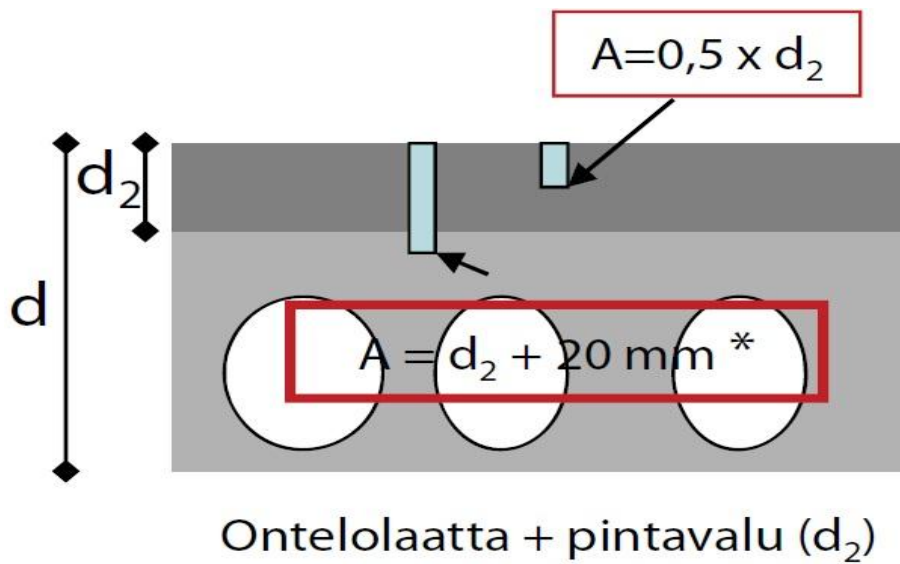
Riittävän tasaantumisen jälkeen mitta-anturi liitetään näyttölaitteeseen ja mittaus tulokset luetaan. Laite ilmoittaa sekä suhteellisen kosteuden (RH) että lämpötilan (T) arvon ja molemmat lukemat otetaan ylös mittauspöytäkirjaan. Jokaisen

anturin kalibrointikertoimet tulee olla tallennettuna näyttölaitteeseen, jolloin saadaan suoraan valmiita lukemia. Mittapään antamat lukemat voidaan myös korjata laskennallisesti kalibrointikertoimilla. Jos kertoimet on tallennettu valmiiksi näyttölaitteeseen, kosteusarvoja luettaessa näyttölaitteesta tulee olla valittuna oikean mittapään kertoimet. (Merikallio 2002, 14.)

5.4 Mittaussyvyyksien ja -pisteiden valinta

Työmaalla tehtävissä päällystettävyyssmittauksissa yksi mittauspiste koostuu yleensä aina useammasta reiästä. Jokaisessa mittauspisteessä tulee olla niin sanotulla arvostelusyvyydellä vähintään kaksi saman syvyistä reikää, joiden etäisyys toisistaan on 100–300 mm. Arvostelusyvyydellä tarkoitetaan sitä kohtaa rakenteesta, jossa kosteusraja-arvo pitää alittaa ennen päällystystöiden aloittamista. Sen määrää pääasiassa rakenteen paksuus. Arvostelusyvytydet perustuvat siihen olettamukseen, että päällystämisen jälkeen kosteus nousee tiiviin päällysteen alla enintään kyseiseen raja-arvoon, joka vallitsi arvostelusyvyydellä. Arvostelusyvytyden lisäksi kosteus tulee mitata rakenteen pintaosista 20–30 mm:n syvyydeltä. (Merikallio 2002, 22.)

Rakennerratkaisu oli tämän tutkimuksen kaikissa mittauspisteissä sama: ontelolaatta ja sen päällä pintabetonivalu, jotka näkyvät myös kuvassa 11. Tässä tilanteessa rakenteen pintaosien kosteus mitattiin syvyydeltä, joka on 0,5x pinta-valun paksuus. Syvyys oli 30 mm ja reikiä oli yksi. Toinen syvyys on 20 mm pinta-laatan ja ontelolaatan rajapinnan alapuolella, mutta ei kuitenkaan yli 70 mm:n syvyydeltä. Mittaukset tehtiin juuri 70 mm:n syvyydeltä ja mittausrreikiä oli pääsääntöisesti kaksi. (Merikallio 2002, 26.) Mittauspisteiden paikat valittiin siten, että jokaisesta tutkimuksessa mukana olleesta valuerästä otettiin mukaan yksi mittauspiste.



KUVA 11. Suhteellisen kosteuden mittaussyvytydet (A) rakenneratkaisun ollessa kuvan mukainen (Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen. 2010)

6 BETONIN KUTISTUMINEN

Betonin kutistuminen on sen kuivumiseen ja sementin reaktioihin liittyvä luonnollinen ominaisuus. Sitä ei pystytä kokonaan poistamaan, mutta sen vähentämiseksi on olemassa monia keinoja. Liiallisen kutistuman seurauksena betonirakenne voi halkeilla ja taipua. Se voi myös vaurioittaa rakennetta vaikkapa mitatarkkuuden, ulkonäön tai säilyvyyden kannalta. Kutistumista ja sen myötä mahdollisia vaurioita voi tapahtua jo betonin ollessa muutaman tunnin ikäistä tai sitten vasta useiden viikkojen jälkeen valutapahtumasta. (Betonin kutistuma. 2011.)

6.1 Kutistumista aiheuttavat tekijät

Suurin betonin kutistumisen syy on kuivuminen. Veden poistuessa betonin tilavuus pienenee, mikä aiheuttaa väistämättä kutistumista. Veden ja sementin reagoitessa syntyy sementtikiveä eli sementtipastaa. Sen tilavuus on pienempi kuin reaktion lähtöaineiden, joten kutistumista tapahtuu lisää. Betoni kuivuu tämän reaktion seurauksena sisäänpäin. Betonin sementtigelissä oleva kemiallisesti sitoutumaton vesi liikkuu ja aiheuttaa tilavuudenmuutoksia. (Betonin muodonmuutokset. 2001, 12–13.) Betoni voi näin ollen kuivua ja kutistua veden haihtumatta. Tästä ”sisäisestä kuivumisesta” johtuvaa kutistumaa kutsutaan autogeeniseksi kutistumaksi. Haihtumisesta johtuvaa kutistumaa nimitetään kuivumiskutistumaksi. Näiden kahden ilmiön lisäksi myös lämpötilan aleneminen ja betonin mahdollinen karbonatisoituminen lisäävät kutistumaa. (Betonin kutistuma. 2011.)

6.2 Varhaisen ja myöhäisen vaiheen kutistuma

Kutistuminen tapahtuu kahdessa eri vaiheessa: varhaisvaiheessa ja myöhäisvaiheessa. Varhaisvaihe kestää valutapahtumasta ensimmäisen vuorokauden loppuun ja sen suuruus on jopa kymmenkertainen myöhäisvaiheeseen verrattuna. Kutistuminen on voimakkainta ennen betonin sitoutumista. Vaihetta, jossa kutistumista tapahtuu eniten, kutsutaan myös **plastiseksi kutistumaksi**. Myöhäisvaiheen kutistuma eli **pitkäaikaiskutistuma** jatkuu yhden vuorokauden iästä eteenpäin ja voi kestää jopa vuosia. Suurin osa tästä kutistumasta tapahtuu

kuitenkin ensimmäisten kuukausien aikana. Pitkäaikaiskutistumaa tarkastellaan tyypillisesti normeissa ja muussa kirjallisuudessa ja se otetaan huomioon jo rakenteiden suunnittelussa. Materiaalivalintojen ja työmaatekniikan avulla voidaan sitä vastoin **varhaiskutistumaa** pienentää merkittävästi. (Betonin kutistuma. 2011.)

Varhaisen vaiheen kutistuma on luokkaa 0–7 mm/m ja se riippuu pääasiassa veden haihtumisesta betonin pinnalta ja betonin sitoutumisajasta. Tätä ilmiötä tunnetaan paljon huonommin kuin pitkäaikaiskutistumaa. Pitkäaikaiskutistuma on ymmärretty ”normaaliksi” kutistumaksi ja se on suuruusluokaltaan yleensä 0,4–0,6 mm/m. Se aiheuttaa ongelmia vain osalle rakenteista. Ilmiö otetaan huomioon jo suunnitteluvaiheessa laittamalla liikuntasaumot ja kutistumaraudoitukset sopiviin paikkoihin. (Betonin kutistuma. 2011.)

Kutistuminen alkaa rakenteen pintakerroksista ja tätä muodonmuutosta vastustavat rakenteen sisäosat. Tällöin syntyy helposti halkeamia etenkin paksuissa rakenteissa, koska tässä vaiheessa betonin vetolujuus on vielä alhainen. Tämän vuoksi kutistumisen alkamista siirretään betonin jälkihoidolla, jotta betoni ehtii saavuttaa riittävän lujuuden halkeamia vastaan. Kutistumista voidaan vähentää myös raudoituksella. (Betonin muodonmuutokset. 2001, 15.)

6.3 Kutistumisen suuruuteen vaikuttavat tekijät

Varhaisen vaiheen kutistumaa voidaan merkittävästi pienentää välittömästi valun yhteydessä aloitettavalla jälkihoidolla eli estämällä veden liiallinen haihtuminen tuoreelta betonipinnalta. Betonin koostumuksella on vaikutusta kutistuman suuruuteen; pienentämällä vesi-sementtisuhdetta kutistuma jää pienemmäksi. Massiivisempi rakenne kutistuu ohuempaa vähemmän, koska vesi ei pääse siitä niin helposti poistumaan ja kutistuma jää tätä kautta pienemmäksi. Samoin kutistuminen vähenee, jos runkoaineen yhteismäärä kasvaa. Hienojen runkoainesten osuuden lisääminen sitä vastoin lisää kutistumaa samoin kuin betonimassan suurempi notkeus. Myös ympäristön olosuhteilla on tietyissä tilanteissa oleellinen vaikutus kutistuman suuruuteen. Betonin ollessa esimerkiksi veden alla se ei kutistu lainkaan. (Betonin muodonmuutokset. 2001, 13.)

7 LATTIOILLE SUORITETUT TUTKIMUKSET JA VERTAILUT

Opinnäytetyön tutkimuskohde oli kolmikerroksinen Oulussa Toppilansaassa sijaitseva kerrostalo, joka valmistui lokakuussa 2011. Tutkimuksista ja laskelmista eniten painotettiin pintabetonilattioiden lopullista laatua ja kustannuksia. Lattioiden kuivumista oli myös mahdollista seurata, joten se otettiin mukaan tutkimuksiin. Betonin kutistumista mitattiin laboratorio-olosuhteissa. Maanvastaisen lattioiden nurkkakäyritymien vähentämiseksi etsittiin myös keinoja, mutta niiden painoarvo ei edellisiin verrattuna ollut aivan yhtä suuri.

7.1 Pintabetonilattioiden kustannus- ja laatuvertailu

Tämän opinnäytetyön tutkimuksissa mukana olleita pintabetonilattioita valettiin kaksi valuerää kaikilla kolmella betonimassalaadulla. Valupinta-alat olivat noin 110–130 m² kerrallaan pitäen pääasiassa sisällään kolmen huoneiston lattiat. K30–betonilla ja NP–betonilla valettaessa liippaus- ja hiertotyötä oli suorittamassa kaksi aliurakoitsijan edustajaa ja IT–valuissa betonimassaa oli levittämässä kaksi Hartela-Forumia omaa työntekijää.

Toisella IT–betonilla suoritettulla valukerralla valualusta kasteltiin vedellä edellisenä iltapäivänä ja vähän myös valupäivän aamuna. Muilla valukerroilla alustan kastelua ei suoritettu. K30– ja NP–betoneilla valettaessa jälkihoitoaine levitettiin betonipinnan hierron yhteydessä. Jälkihoitoaine muodostaa betonin pintaan ohuen kalvon, joka estää kosteuden haihtumista tuoreelta pinnalta. IT–betonilla valettaessa aine levitettiin vastaavasti pinnan viimeisen tasoittelun yhteydessä. Seuraavana aamuna IT–lattioille levitettiin toinen kerros jälkihoitoainetta.

Kustannustekijöiksi mukaan otettiin betonimassa, betonin pumppaus, valu- ja liippaustyö, valun jälkihoito sekä lattian viimeistelytasointi. IT–lattioita koskeva ylimääräinen valmistelutyö, kuten korkonaulojen asennus ja läpivientien tiivistäminen, ovat myös mukana kustannuksissa. Kaikki vertailussa mukana olleet lattiat käytiin suoran linjaraudan avulla läpi tasaisuuspoikkeamien löytämiseksi ja esiintymistäajuuden määrittämiseksi. Tämä suoritettiin aina päivän tai kahden kuluttua valutapahtumasta. Poikkeamien (kuoppa tai patti) lukumäärä ja poik-

keaman suuruus kirjattiin ylös, jotta päästiin vertailemaan mahdollisia lattioiden tasaisuuseroja.

Myöhemmin, kun lattiat olivat kuivuneet päällystettävään kuntoon, havainnoitiin lattioissa mahdollisesti esiintyvää halkeilua ja halkeamien suuruutta. Pienillä halkeamilla ei käytännössä ole merkitystä parketin tai laminaatin alla, mutta muovimaton alla selvemmillä halkeamilla voi olla haitallinen vaikutus. Mahdollinen kutistumisen aiheuttama käyritymä tapahtuu kuitenkin helposti juuri halkeaman reunassa.

7.2 Pintalattioiden viimeistelyn kustannukset

Pintalattioita joudutaan yleensä aina jonkin verran oikomaan ja tasoittamaan ennen lattian pintamateriaalin asentamista: kuoppakohtia täytetään ohuella tasoitemassalla ja kohoumia hiotaan tasaiseksi. Liippaustyön ja ennen kaikkea hiertotyön jälki ei usein yksinkertaisesti ole riittävän tasaista. Tämä on juuri tavallaan **täysin ylimääräinen kustannuserä**.

Lattioiden hionta- ja tasoitustyön suoritti kokenut kirvesmies. Viimeistelyyn kuluneiden työajan ja tasoitemassan menekit laskettiin. Tämä kuluerä otettiin mukaan valmiin pintalattian kustannuksiin. Kuvassa 12 näkyy tasoitettua, K30-betonilla valettua, melko virheetöntä pintalattiaa. Ainoastaan vasemmassa alakulmassa näkyy muutama hiushalkeama.



KUVA 12. Pintalattian epätasaisuudet on tasoitettu lattiatasoitteella

7.3 Pintalattioiden kuivumisen seuranta

Työmaalla seurattiin pintalattioiden kuivumista mittaamalla betonin suhteellista kosteutta porareikämenetelmällä. Mittauspisteitä oli kaikilla kolmella betonilaudalla valetuissa lattioissa kahdessa paikassa. Yksi porareikä oli porattu 30 mm:n syvyydelle mittaamaan pintakosteutta ja pääasiassa kaksi reikää 70 mm:n syvyydelle eli **arvostelusyvyydelle**. Kosteusmittausohjeen mukaan arvostelusyvyydellä pitäisi olla aina kaksi rinnakkaista reikää. Näin ei kuitenkaan ollut aivan jokaisessa mittauspisteessä mittausvälineiden rajallisen määrän vuoksi. Kahden 70 mm:n syvyydellä olevan mittausreiän pisteissä tulokseksi otettiin kahden tuloksen keskiarvo.

7.4 Maanvastaisten lattioiden nurkkakäyritysten vähentäminen

Maanvastainen lattia on alustaltaan ja kuivumiseltaan verrattavissa kelluvaan pintalattiaan. Maanvaraisissa lattioissa ongelmaksi muodostuu usein laatan käyrityminen kuivumisen aikana reunoista ja ennen kaikkea nurkista. Tämä johtuu laatan kuivumisesta ainoastaan ylöspäin. Käyritystä vähentävät laa-

tan paksuuden kasvattaminen ja notkistettujen betonilaatujen käyttö. (Pintabetonilattiat ja uivat lattiat. 2011.) Ongelmaa esiintyy varsinkin asuintalokohteissa, joissa maanvastainen laatta on paksuudeltaan vain noin 70–100 mm. Ontelolaatan tai karkean, paikalla valetun lattian päälle valettu pintalaatta tarttuu alustaansa tiukasti kiinni ja kuivumista tapahtuu myös alaspäin ontelolaattaan. Tämän johdosta käyristymää ei samalla tavalla esiinny. Samanlaista tartuntaa alustaan ei maanvaraisella laatalle ole sen ollessa eristeen päällä.

Maanvaraisissa lattioissa kokeiltiin **reunavahvistuksen** käyttöä, jotta saataisiin reunojen ja nurkkien nousua vähennettyä kuivumisen aikana. Reunavahvistusta kokeiltiin kahdessa asunnossa, jotka molemmat olivat noin 45 m²:n kaksioita talon ensimmäisessä kerroksessa. Toisessa asunnossa jätettiin nurkista kolmion muotoiselta alueelta päällimmäinen lattiaeriste pois, kuten kuvassa 13 näkyy.



KUVA 13. Maanvastaisen lattialaatan nurkkavahvistus

Toisessa kokeiluasunnossa ylimmäinen eristekerros jätettiin pois ympäriinsä noin 300 mm:n levyiseltä reuna-alueelta. Molemmissa asunnoissa alimman

eristekerroksen alle lisättiin vastaavasti ylimääräinen eristekerros. Alle lisätty eriste laitettiin lisäksi leveämmälle alueelle kuin ainoastaan tarkasti reunavahvistuksen kohdalle ja näin eristävyys säilyi vähintään yhtä hyvänä kuin normaalissa tilanteessa.

Edellä mainittujen toimenpiteiden seurauksena kyseisiin kohtiin tuli 50 mm paksu betonilaatta, niin sanottu reunavahvistus. Toiseen asuntoon, jossa reunavahvistus jatkuu ympäriinsä, asennettiin lisäksi 8 mm:n paksuisesta harjateräksestä yhtenäinen kehärauta. Korokkeiden avulla se nostettiin eristeestä 20–30 mm irti. Kuvassa 14 näkyy lattian ympäri kiertävä reunavahvistus ja ylimääräinen harjateräs.



KUVA 14. Maanvastaisen lattian ympäri kiertävä reunavahvistus

Kehärauta

7.5 Kuivumisen seuranta pintalattioita kuvaavilla ”pienlaatoilla”

Kohteessa tehtävien pintalattioiden valujen yhteydessä samoista massoista valettiin Oulun seudun Ammattikorkeakoulun rakentamistekniikan laboratorioon vertailulaatat. Samassa laboratoriossa suoritettiin myös kutistumamittaukset. Kuvassa 15 näkyy vertailulaattojen alusta ja muotti. Olosuhteet pyrittiin luomaan mahdollisimman pitkälle oikeaa pintavalua vastaaviksi: laatat valettiin ontelolattian päälle ja kuivuminen sivulle päin estettiin laittamalla vesieriste laattoja ra-

jaaviin vaneriseiniin. Näin tilanne on mahdollisimman lähellä ”jatkuvan” lattialaatan tilannetta. Laatoista mitattiin suhteellista kosteutta poranreikämenetelmällä.



KUVA 15. Ontelolaatan päälle rakennettu muotti pintalattioita kuvaaville pienlaatoille

7.6 Lattioissa käytettyjen betonilaatujen kutistuman mittaaminen

Lattioissa käytetyille betonilaaduille suoritettiin kutistumamittaus laboratoriossa. Mittausta varten jokaisella betonilaadulla valettiin kolme 100x100x500 mm:n kokoista palkkia, jotka näkyvät kuvassa 16. Kappaleiden päätypintojen keski-kohtaan valettiin korroosionkestävää materiaalia olevat mittatapit.



KUVA 16. Kutistumamittauspalkit laboratoriossa

Kokeessa palkkien muotit puretaan kappaleiden ollessa yhden vuorokauden ikäisiä ja ne siirretään huoneen lämpöiseen vesisäilytykseen. 7 vuorokauden ikäisinä ne laitetaan ilmasäilytykseen, jonka suhteellinen kosteus on noin 40 %. Pituuden mittaus suoritetaan viikon välein alla olevassa kuvassa 17 näkyvällä mittakellolla. 1. ja 8. viikon mittaustulosten erotusten keskiarvo lasketaan mm/m ja se ilmaisee betonin kutistuman promilleina. (Betonin kutistuminen. 1985.)



KUVA 17. Palkki laboratoriossa mittapöydällä, jossa tarkka mittakello

Kutistuman suuruudella ei ole kovin suurta merkitystä pienehköissä lattioissa. Kutistumaa päätettiin kuitenkin muiden vertailujen ohella mitata ja etenkin IT–betonin ja K30–betonin kutistumien mahdolliset erot kiinnostivat.

8 TULOKSET

Tässä luvussa on laskettu, havainnollistettu ja käyty läpi muun muassa pintalattioiden kustannusvertailun, laatuvertailun ja kuivumisen seurannan tuloksia. Pintalattioiden kustannukset on havainnollistettu taulukon avulla. Myös tasaisuuspoikkeamien esiintymistä on selvennetty laskennan ja taulukon avulla. Kosteusmittausten ja kutistumamittausten tuloksista on laadittu käyrät vertailun helpottamiseksi.

8.1 Pintabetonilattioiden kustannukset

Pintalattioiden kustannusten eri parametrit huomioitiin mahdollisimman tarkasti ja kustannukset €/ m² valmista pintalattiaa laskettiin. Lattiapinnan viimeistelyyn kuluneeksi työajaksi laskettiin nimenomaan pinnan viimeistelytasoitukseen ja hiontaan kulunut aika. Tarkempi erittely lattiapinnan viimeistelykustannusten muodostumisesta on liitteessä 2. Asuntojen vessat, pesuhuoneet ja saunat on jätetty laskelmien ulkopuolelle, koska niitä ei valettu IT-betonilla. Taulukossa 2 IT-betonin kohdalla olevat betonin levityksen työmenekit tulevat Hartela-Forumien omien työntekijöiden suorittamasta IT-betonin levityksestä ja tasoittamisesta. Viimeistely ennen valua on myös nimenomaan IT-betonia koskeva työvaihe. Kaikki läpiviennit ja muut reiät on tiivistettävä huolellisesti, jotta helposti juokseva betonimassa ei pääse karkaamaan vaikkapa ontelolaattojen sisään.

Taulukosta 2 kustannukset selviävät koevaluerittäin. Betonimassan ja pumppauksen kustannusten muodostuminen ilmenee tarkemmin liitteestä 1. Pintalattian paksuudeksi oletettiin tasaisesti 60 mm, jotta betonimassan menekin vaihtelu ei vääristäisi kustannusvertailua. Jälkihoidon kustannuksissa on huomioitu IT-valuille suoritettu ylimääräinen jälkihoito. Taulukossa 2 sekä liitteissä 1 ja 2 näkyvät hinnat sisältävät arvonlisäveron 23 %. Taulukon 2 yläreunassa **K30-1** tarkoittaa K30-betonilla valettuja ensimmäisen koe-erän lattioita ja muut valuerää koskevat merkinnät tulkitaan samalla tavalla.

TAULUKKO 2. Valmiin pintalattian kustannukset ja niiden muodostuminen

Valuerä:	K30-1	NP-1	IT-1	K30-2	NP-2	IT-2
pinta-ala yht. m ² :	112,4	127,5	116,2	112,4	119,6	110
betonimassa+ pumppaus, €:	1099,40	1571,50	1720,10	1253,50	1370,10	1504,50
liippaustyö, €: (4,3 €/m ²)	483,30	548,30	-	483,30	514,30	-
betonin levi- tys, €: (43 €/h)	-	-	172	-	-	129
Jälkihoito, €:	68,60	77,80	113,40	68,60	73,00	107,40
viimeistely ennen valua, €:	-	-	86	-	-	86
Lattiapinnan viimeistely, €:	337,60	354,00	386,50	455,80	520,80	411,40
yht. €: €/ lattia-m ² :	1988,90 17,70	2551,60 20,00	2478,00 21,30	2261,20 20,10	2478,20 20,70	2238,30 20,30

Kuten taulukosta 2 nähdään, ensimmäisessä valuerässä itsetiivistyvällä betonilla valettu lattia oli 3,6 € neliömetriltä kalliimpi kuin normaalilla K30–betonilla valettu. NP–betonilla valettu sijoittui suurin piirtein näiden puoleen väliin. Toisessa koe-erässä NP–betonilla valettu oli kallein ja K30–betonilla valettu niukasti edullisin. Varsinkin toisessa koe-erässä kustannukset olivat erittäin lähellä toisiaan, joten tämän vertailun perusteella millään betonilaadulla valettu pintalattia ei ainakaan hintansa puolesta eroa merkittävästi toisista.

8.2 Lattian tasaisuus ja laatu

Vertailussa mukana olleiden lattioiden tasaisuuspoikkeamat laskettiin yhteen. Jokaisen poikkeaman vakavuus eli poikkeaman tasaisuusluokka määriteltiin. Se siis ilmaisee, mihin vaativuusluokkaan lattia poikkeaman kohdalta kuuluu. Normaalisti lattiasta etsitään vain epätasaisin kohta ja se mitataan, kuten luvussa 4.1 kerrotaan.

Tässä tutkimuksessa laskettiin lisäksi tasaisuuspoikkeamien lukumäärät sekä niin sanottu **taajuus** tasaisuuspoikkeamille, jotta olisi mahdollisimman helppoa vertailla mahdollisia eroja lattioiden välillä. Taulukossa 3 näkyvät luokkiin A₀ ja A kuuluvat poikkeamat sataa lattianeliometriä kohden. Lattiat olivat sen verran laadukkaita, että B- tai C-luokan poikkeamia ei esiintynyt lainkaan. Tasaisuuspoikkeamia oli K30-lattioissa yhteensä 17 kpl, NP-lattioissa 21 kpl ja IT-lattioissa 13 kpl.

TAULUKKO 3. Tasaisuuspoikkeamien esiintymistaajuus vertailun lattioissa

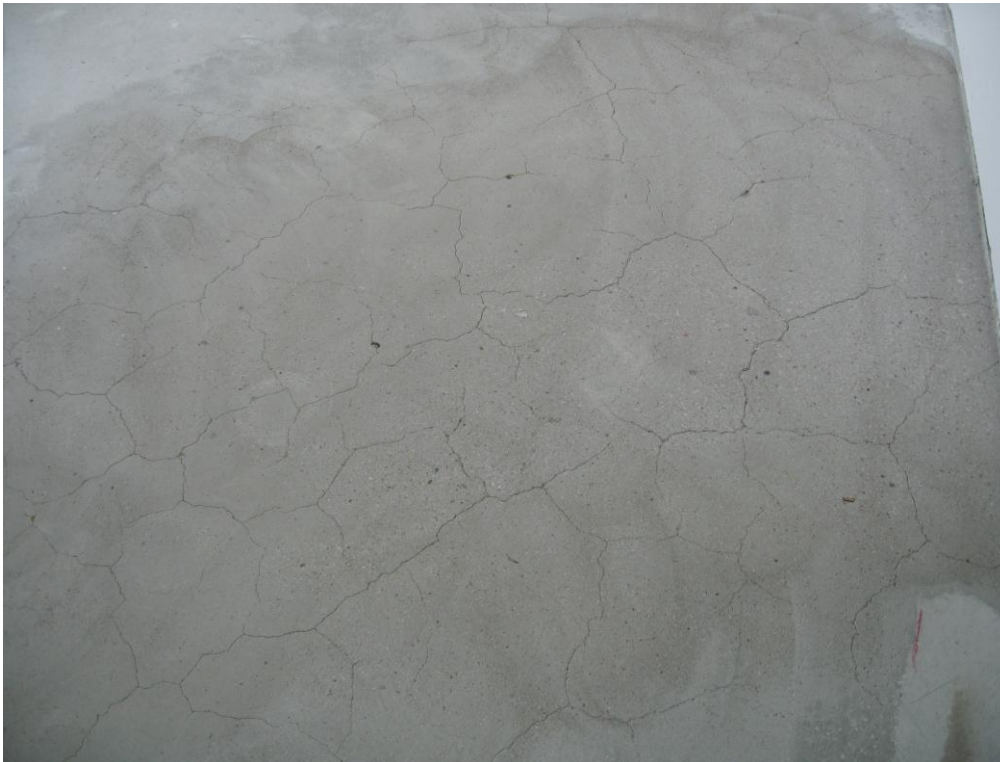
Betonilaatu:	A ₀ - luokan poik- keamia/100 m ² :	A-luokan poik- keamia/100m ² :	Pinta-ala yht. m ² :
K30	7,1	0,4	225
NP	7,3	1,2	247
IT	5,8	-	226

Tämän vertailun ja myös työmaalla saadun tuntuman perusteella nopeammin päällystettävällä betonimassalla tulivat epätasaisimmat lattiat. Tasaisinta pinta oli IT-betonilla valetuissa lattioissa. NP-lattioiden ero K30-betonilla valettuihin oli melko olematon, joskin siinä esiintyi muutama vakavampi heitto. Kokonaisuutena lattiat olivat kuitenkin pinnan tasaisuuden osalta varsin laadukkaita, koska edes vaativuusluokan B arvoisia pinnan poikkeamia ei esiintynyt.

Lattioiden **pinnan laadussa** oli sen sijaan havaittavissa selkeitä eroja eri betonimassojen välillä. Normaalilla K30–betonilla ja NP–betonilla valetut lattiapinnat olivat pääasiassa todella hyviä. Havaittavissa oli K30–lattiaissa ainoastaan muutamia yksittäisiä halkeamia ja nekin olivat yleensä pieniä. NP–lattiaissa oli muutamassa kohdassa ristikuviossa hiushalkeamia ja lisäksi yksittäisiä selvemmin havaittavia halkeamia. Kyseiset lattiat olivat kuitenkin yleisvaikutelmaltaan todella onnistuneita ja laadukkaita.

IT–betonilla valetut lattiat eivät yltäneet pinnan laadun osalta kahden muun betonilaadun tasolle varsinkaan ensimmäisessä valuerässä. Lattiaissa oli kauttaaltaan hiushalkeamia ruudukonomaisessa kuviossa, noin 300 mm:n jaolla. Kuvassa 18 on ensimmäisen valun IT–pintalattiaa. Myös selvempiä halkeamia oli jokaisessa lattiassa useampia.

Toisessa valuerässä työnaikainen vedontorjunta ja muut toimenpiteet tehtiin vielä huolellisemmin kuin ensimmäisellä kerralla ja myös valualusta kasteltiin ennalta. Nämä asiat saattoivat osaltaan vaikuttaa siihen, että toisen valuerän lattiat olivat jonkin verran parempia.



KUVA 18. Ensimmäisen valuerän IT–lattian ruudukonomaista halkeilua

Paikoin toisen valuerän IT-lattiat olivat jopa täysin halkeamattomia, kuten kuvassa 19 näkyy. Niissäkin esiintyi kuitenkin hiushalkeilua useassa kohdassa ja myös yksittäisiä selvemmin havaittavia halkeamia esiintyi melkein jokaisessa IT-lattiassa.



KUVA 19. Toisen valuerän hyvälaatuista IT-pintalattiaa

Molemmassa itsetiivistyvällä betonilla suoritetuissa valuissa jälkihoitoaine levitettiin välittömästi betonimassan levityksen ja lopullisen tasoittelun yhteydessä. IT-betonin sitoutuminen käynnistyy normaaliin betoniin verrattuna myöhemmin, noin 5–7 tunnin kuluttua levityksestä. Tästä syystä toinen jälkihoitoaineen levitys suoritettiin vasta seuraavana aamuna. Kyseisen toimenpiteen suorittaminen esimerkiksi myöhään samana iltana olisi voinut vähentää veden haihtumista ja varhaisen vaiheen kutistumista. Tämän vuoksi halkeilu olisi voinut olla vähäisempää.

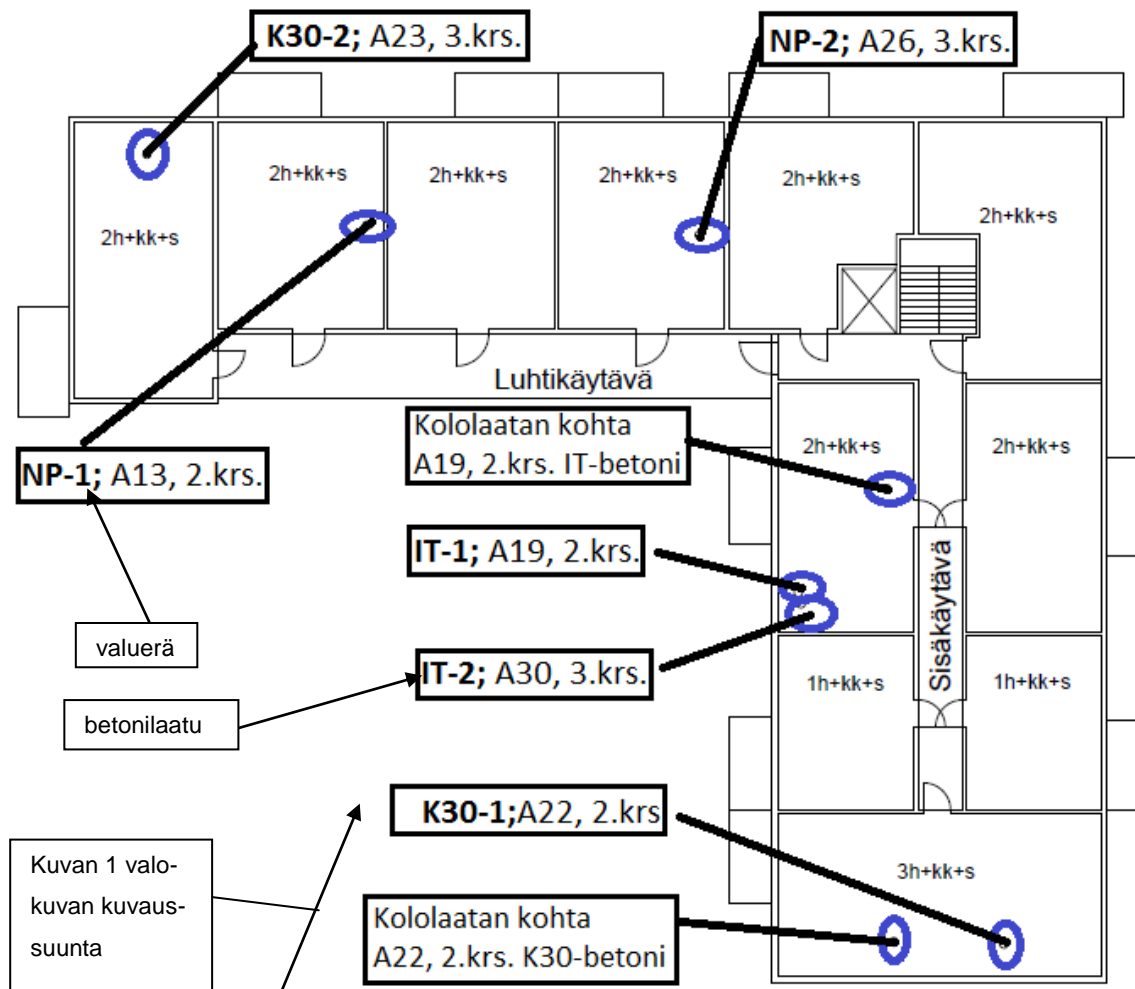
Halkeilusta huolimatta pintalattia oli hyvä alusta tässä tapauksessa laminaatin alle. Laatan ollessa tiukasti kiinni raakavalun tai ontelolaatan pinnassa eivät laatan reunat pääse halkeaman vierestä nousemaan kuivumisen myötä. Koska IT-lattioille ei suoritettu valun jälkeistä sementtiliiman hiontaa, ne käytiin hioma-

koneella läpi viimeistelytasoituksen yhteydessä. Samalla tasoittuivat myös mahdolliset pienet epätasaisuudet halkeamien yhteydestä.

8.3 Lattioiden kuivuminen

Pintalattioiden kosteuksia ja kuivumisnopeuden mahdollisia eroja seurattiin mitaamalla suhteellisia kosteuksia porareikämenetelmällä 11–12 viikon ajan valuaikakohdasta eteenpäin. Pintalattioiden osalta seurantapistettä oli kuusi ja lisäksi kahdessa pisteessä kosteuksia mitattiin kololaatan kohdalta. Kololaatalla tarkoitetaan tässä yhteydessä saunan ja pesuhuoneen kohdalla olevaa ontelolaatan ohuempaa kohtaa. Näissä kohdissa ontelolaatassa on yläpuolelta katsottuna kolo, johon saadaan asennettua viemäriputket, lattiakaivot ja märkätilojen lattioiden kallistukset. Betonia kololaatan kohtiin tulee normaalia paksumpi kerros, noin 120–150 mm.

Kuvassa 20 kosteuksien seurantapistet on merkitty talon suurpiirteiseen pohjakuvaan. Talon kaikki kerrokset ovat pohjaratkaisun osalta samanlaisia lukuun ottamatta ensimmäisen kerroksen luhtikäytävän päätyasuntoa. Tämän vuoksi pisteet on merkitty samaan kuvaan ja tarkennukseksi on merkitty sijaintikerros sekä huoneiston numero. Pintalattiapisteiden kohdalle on merkitty valuerä, esimerkiksi **K30–1**. Tällöin kyseessä on K30–betonilla valettu ensimmäisen koeerän lattia.

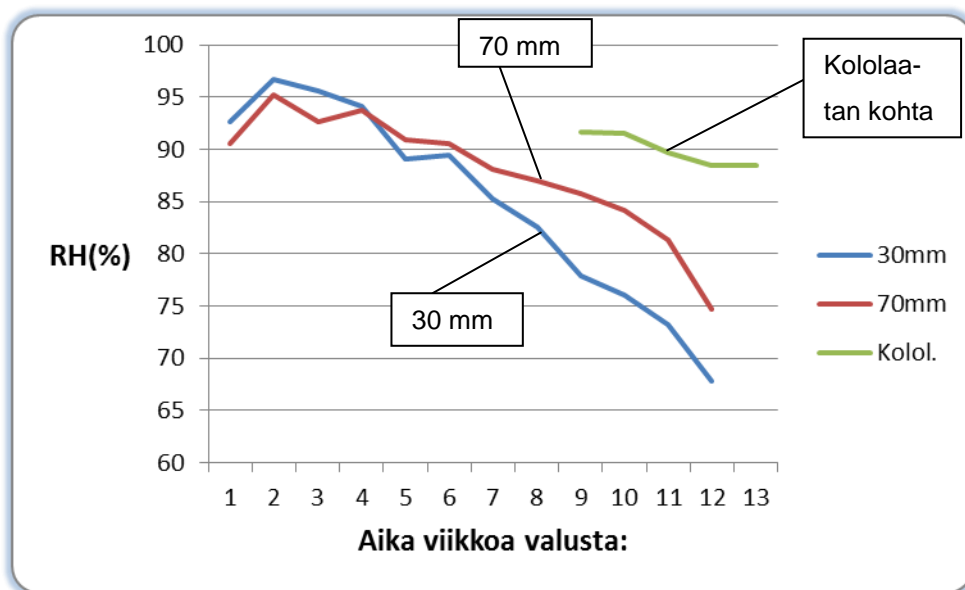


KUVA 20. Kaaviokuva kosteusmittauspisteiden sijainnista As. Oy Oulun Merilinjassa

Kuvissa 21–26 näkyvät betonin suhteelliset kosteudet seurantapisteittäin. Vertailtaessa eri betonilaaduilla valettuja asuntoja keskenään tulee ottaa huomioon, että sisäkäytävällä 2. ja 3. kerroksessa oli käynnissä **kuivatus koko heinäkuun ajan**. Koneellista kuivatusta oli pakko käyttää, jotta varmistettiin lattioiden pinnoitustöiden aloitus lomakuukauden jälkeen.

Kuivatus ei tietenkään ollut kaikilta osin hyvä asia kosteuksien seurannan kannalta. Lattioiden lämpötilat nousivat kuivatuksen piirissä sen verran korkealle, että suhteellisen kosteuden lukemien luotettavuus oli ajoittain vähän kyseenalainen. Tuloksia verrattaessa luotettavinta on vertailla luhtikäytävän asuntoja keskenään ja kuivatuksen piirissä olleita sisäkäytävän asuntoja keskenään.

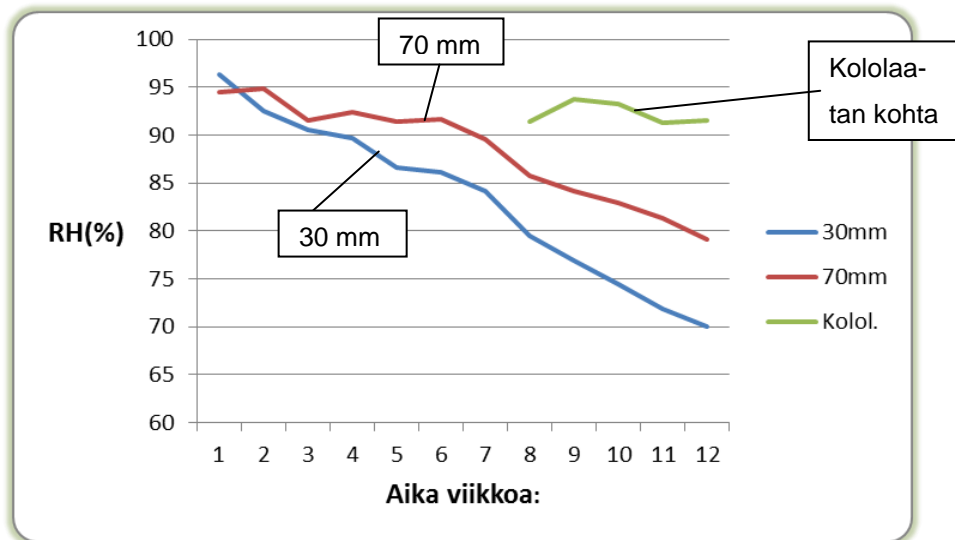
Kuvassa 21 näkyy K30–betonilla valetun asunnon A22 pintalattian kuivuminen. Pintalattian kosteuskokemat, lämpötilat ja mittauspäivämäärät selviävät tarkemmin liitteestä 9. Kuivumisprosessin loppupuolella mitattiin lukemia myös kololaatan kohdalta 70 mm:n syvyydeltä. Kuvaajassa kyseiset lukemat näkyvät vihreänä käyränä. Sekä kyseisen asunnon A22 että asunnon A19 kololaattojen kohtien kosteuskokemat ovat tarkemmin liitteessä 10. Lattia näyttää kuivuneen 12 viikon aikana molempien lukemien osalta vähän kuivemmaksi kuin saman sisäkäytävän varrella olevan IT–betonilla valetun asunnon A19 lattia.



KUVA 21. Asunnon A22 pintalattian kuivuminen, K30–betoni

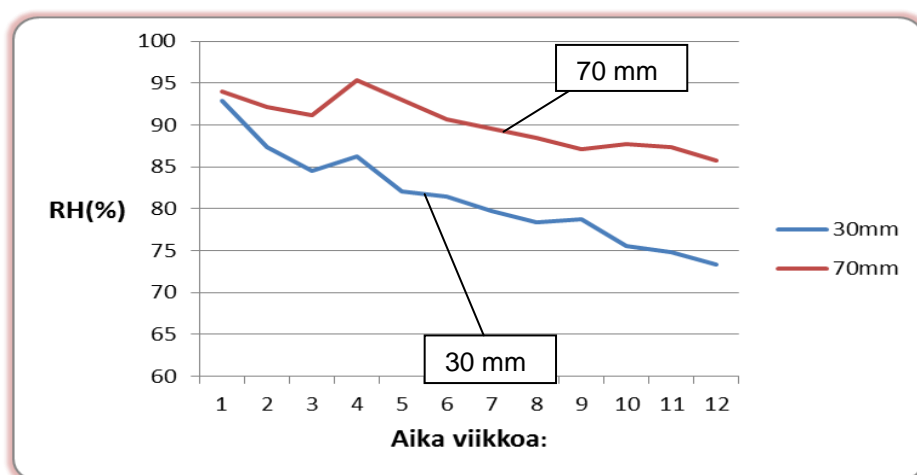
Asunnossa A19 mitattiin asunnon A22 tapaan kosteutta myös kololaatan kohdalta. Tässä tilanteessa kololaatta oli valettu jo valmiiksi täyteen K30–betonilla ja sen päälle tuli normaali pintalattia. Kololaatan betoni jäi siis IT–pintalattian alle.

Kuvassa 22 näkyvät asunnon A19 pintalattian kuivuminen ja kololaatan kohdan lukemat 70 mm:n syvyydeltä mitattuna. Kololaatan kohdalla RH:n arvo pysyi yllättävän korkealla, yli 90 %:ssa. Itsetiivistyvä betoni onkin normaaliin verrattuna tiiviimpää, joten IT–pintalattian alle jäävän kololaatan kuivuminen voi sen vuoksi olla normaalia hitaampaa. Pintalattian suhteellisen kosteuden lukemat ja niitä vastaavat lämpötilat ovat tarkemmin liitteessä 11.



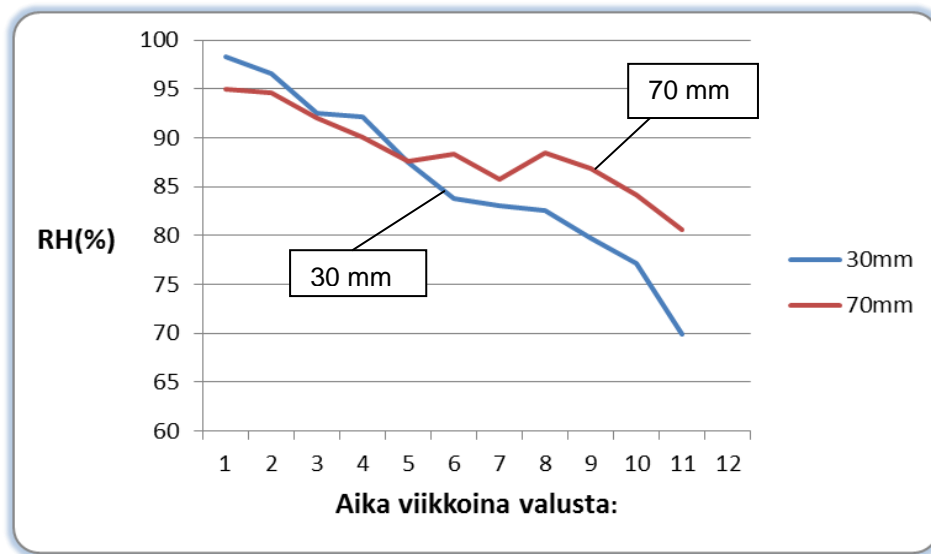
KUVA 22. Asunnon A19 pintalattian kuivuminen, IT-betoni

Asunto A13 on luhtikäytävällä, joten sen kuivumista pystyy parhaiten vertaamaan luhtikäytävällä olevaan normaalilla K30-betonilla valettuun asuntoon A23. Tässä tilanteessa näyttää, että asunto A23 on kuivunut jopa vähän nopeammin, vaikka se on valettu normaalilla betonilla. NP-betonilla ei siis tämän perusteella saavuteta mitään etua kuivumisen suhteen normaaliin betoniin verrattuna. 11 viikon kuluttua valusta NP-lattian kosteus arvostelusyvytydellä on ollut noin 86 % ja K30-lattiassa noin 81 %. Kuvassa 23 näkyy asunnon A13 pintalattian kuivuminen. Kosteuslukemat ja niitä vastaavat lämpötilat näkyvät tarkemmin liitteessä 9.



KUVA 23. Asunnon A13 pintalattian kuivuminen, NP-betoni

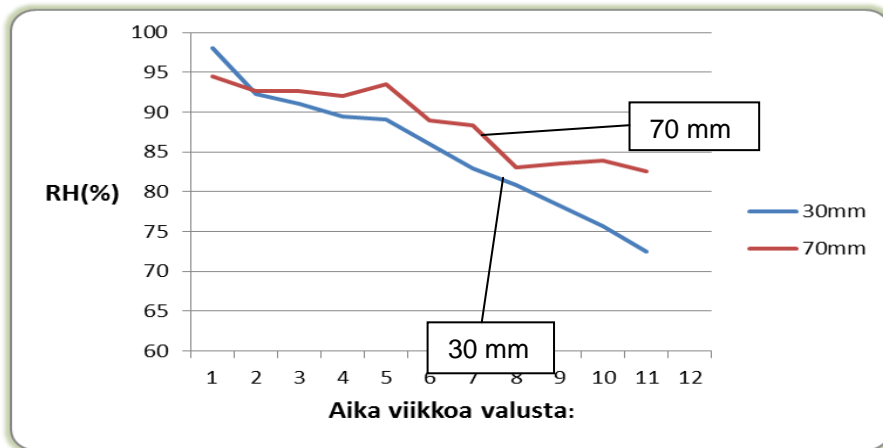
Asunnossa A23 pintalattian kosteuskokemat laskivat yllättävän nopeasti. Kyseessä on kolmannessa kerroksessa luhtikäytävän päässä oleva asunto. Arvostelusyvyydellä RH laski 11 viikon aikana lähelle 80 %:a, joka on vain aavistuksen verran korkeampi lukema kuin NP-asunnossa A26. Pintakosteus päätyi sitä vastoin muutaman prosentin verran matalammalle kuin NP-asunnossa A26. Kuvassa 24 näkyy suhteellisen kosteuden aleneminen tarkastelujakson aikana. Suhteellisen kosteuden lukemat ja lämpötilat ilmenevät tarkemmin liitteestä 11.



KUVA 24. Asunnon A23 pintalattian kuivuminen, K30–betoni

IT–betonilla valettu asunto A30 on kolmannessa kerroksessa sisäkäytävällä. Sen suhteellisen kosteuden lukemia on luotettavinta vertailla asuntoon A22, joka on myös sisäkäytävällä. Pintakosteus 30 mm:n syvyydellä on laskenut melko suoraviivaisesti, mutta syvempi lukema heittelee enemmän päätyen noin 82,5 %:iin. Liitteessä 12 näkyvät suhteelliset kosteudet, lämpötilat ja mittauspäivämäärät. Asunnon A30 kuivuminen on esitetty kuvassa 25.

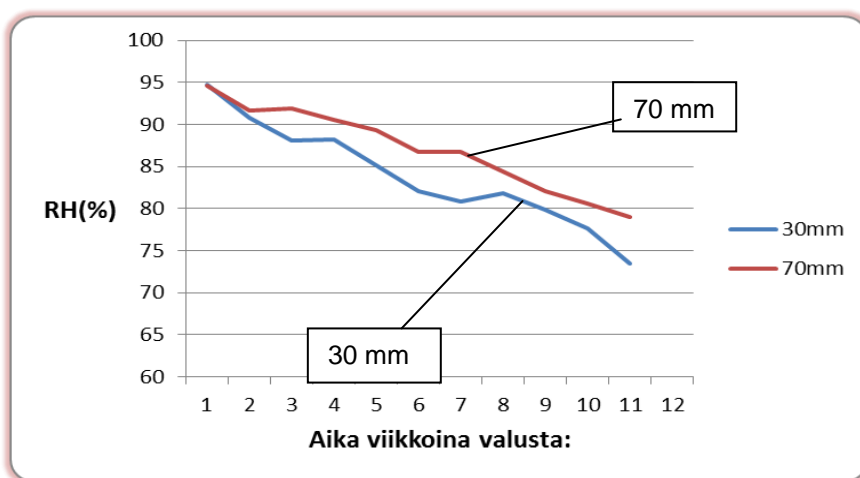
Kosteuskokema mittausjakson lopussa on samaa luokkaa kuin A22:n arvostelusyvyuden kosteus 11 viikon jälkeen. Myös toinen IT–betonilla valettu asunto alemmassa kerroksessa näyttää kuivuneen melko tarkasti samaan tahtiin. Ainakin näiden tulosten pohjalta IT–betonilla ja normaalilla K30–betonilla valetut lattiat kuivuvat suurin piirtein samassa ajassa.



KUVA 25. Asunnon A30 pintalattian kuivuminen, IT-betoni

Asunto A26 on kolmannessa kerroksessa luhtikäytävän varrella ja se valettiin nopeammin päällystettävällä betonimassalla. Kuivuminen oli melko tasaista koko tarkastelujakson ajan ja arvostelusyvyuden kosteus päättyi noin 79 %:iin yhdentoista viikon aikana. Lähinnä verrattavissa olevassa A23:ssa RH päättyi samassa ajassa noin 81 %:iin.

NP-betonilla valettu lattia kuivui siis vähän nopeammin, mutta ero ei ole mitenkään merkittävän suuri. Päinvastoin K30-betonilla valettu lattia kuivui pinnan osalta hieman kuivemmaksi. Suhteelliset kosteudet ja betonin lämpötilat päivämäärittäin ovat liitteessä 12. Kuvasta 26 selviää tarkemmin suhteellisen kosteuden lukemien kehitys tarkasteluaikana.



KUVA 26. Asunnon A26 pintalattian kuivuminen, NP-betoni

8.4 Maanvastaisen laatan nurkkien ja reunojen kohoaminen

Kuivumisen aiheuttamaa lattialaatan nurkkien ja reunojen nousua mitattiin suorran linjaraudan ja vesivaa`an avulla kuvan 27 mukaisesti. Asunnossa A4, jossa oli pelkät nurkkien vahvistukset, suurin reunan kohouma oli 6 mm kahden metrin matkalla. Muilta osin parvekeseinällä nousu oli noin 4 mm.



KUVA 27. Maanvastaisen lattian nurkkien kohouman mittaus linjaraudalla, vesivaa`alla ja mittakorokkeella

Ympäriinsä reunavahvistetussa asunnon A5 lattiassa ei havaittu varsinaista nurkkien nousua. Toisessa nurkassa ja kahdessa kohdassa reuna-aluetta noin 1,5 m:n matkalla laatan reuna oli noin 3 mm koholla, kun mittaus suoritettiin kahden metrin mittaisella linjaraudalla.

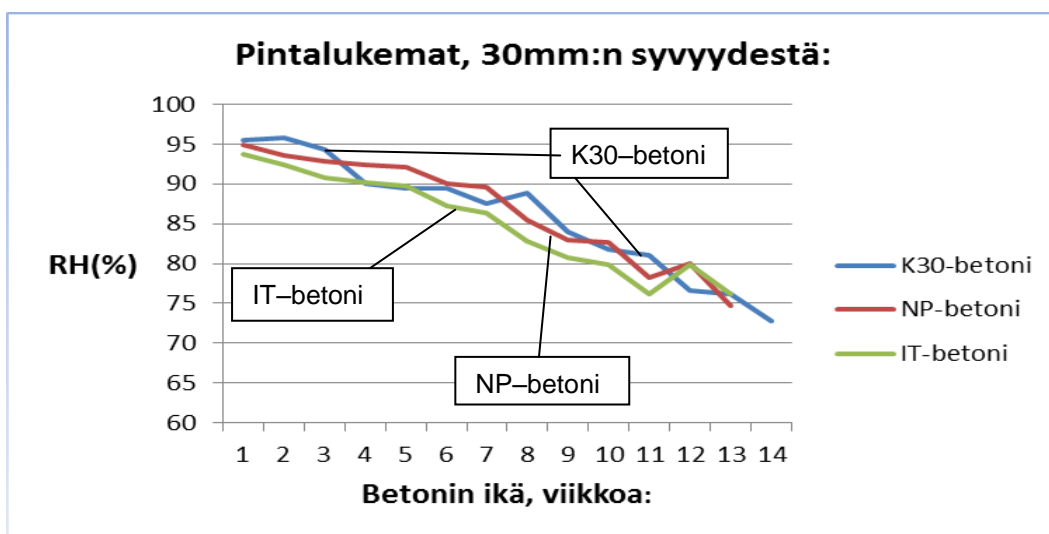
Tästä päätellen käyritymä oli ainakin jonkin verran vähäisempää ja tasaisempaa ympäriinsä rakennetun reunavahvistusten ansiosta. Asunnosta A6, jonka lattia tehtiin normaalilla tavalla, mitattiin myös vertailun vuoksi mahdollisia reunojen nousuja. Sielläkin kaksi nurkkaa ja reunat kahdesta kohdasta noin 1,5 m:n matkalta olivat noin 2–3 mm koholla kahden metrin mittaisella linjaraudalla mitattuna.

Tulosten pohjalta ei voida vielä luotettavasti todeta, onko reunavahvistuksella olennaista vaikutusta nurkkien käyritysten vähentämiseksi. Kohoamista siis tapahtui paikoin 3 mm myös ympäriinsä reunavahvistetussa asunnossa, joten ongelmaa reunavahvistus ei välttämättä ainakaan kokonaan poista. Sekin on tietysti hyvä asia, jos reunavahvistus edes vähentää ja lieventää kohoumia. Mahdollinen lattian viimeistelytasoitus on olennaisesti helpompi tehdä, jos nurkkien ja reunojen kohoumat vähenisivät reunavahvistuksen ansiosta keskimäärin vaikkapa 2 mm.

Osa mitatuista kohoumista voi myös olla lattian liippaustyön jäljiltä jääneitä tasoituspoikkeamia. Tämän olisi periaatteessa voinut eliminoida tutkimalla ja mittaamalla lattiat ensimmäisen kerran vaikka valua seuraavana päivänä. Koeeränä kaksi asuntoa on toki melko suppea, joten tarkemman vertailun tekemiseksi pitäisi rakentaa useampia asuntoja reunavahvistettuna ja mitata ne. Vertailuksi pitäisi myös mitata useampia normaalisti valettuja lattioita.

8.5 Pintalattioita kuvaavien vertailulaattojen kosteuslukemat

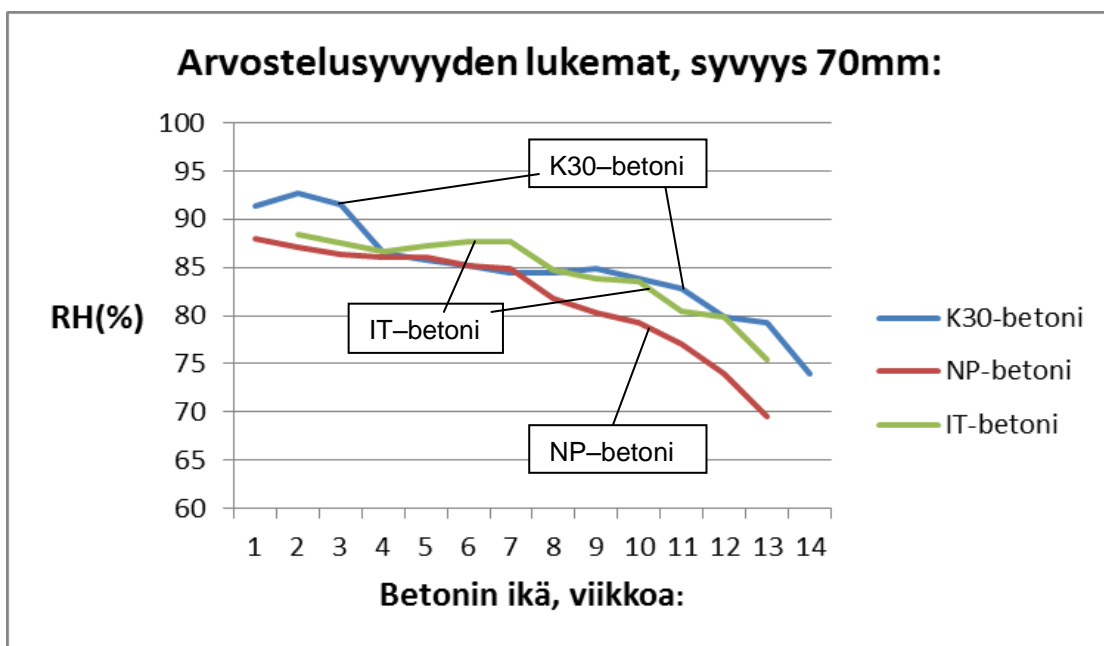
Laboratoriossa olleiden pintalattioiden vertailulaattojen kuivumista seurattiin myös säännöllisesti. Mittaukset suoritettiin samalla porareikämenetelmällä kuin työmaalla ja mittaussyvyudet olivat myös samat. Pintalukemat 30 mm:n syvyydeltä ovat kuvassa 28. Kuivuminen on tapahtunut pinnan osalta niin tasaisesti, että mikään kolmesta betonilaadusta ei näytä selvästi erottuvan muista.



KUVA 28. Laboratoriossa olleiden vertailulaattojen kosteudet, 30 mm:n syvyys

Vertailulaatoista 70 mm:n syvyydeltä mitatuissa kosteuksissa ilmeni eroavuuk-sia. NP–betonilla valettu laatta kuivui nopeimmin. 13 viikon jälkeen RH oli las-kenut vähän alle 70 %:iin, kun vastaava lukema oli IT–betonin osalta 75 % ja K30–betonin osalta noin 79 %. Kuvasta 29 ilmenee tarkemmin kuivuminen ar-vostelusyvyydellä. Tulos oli odotusten mukainen, sillä nopeammin päällystettä-vä betoni pitäisikin kuivua vähän muita nopeammin.

Työmaalla mitattuihin tuloksiin voivat myös vaikuttaa asunnon sijaintikerros ja epätasaiset lämpöolosuhteet. Työmaan mittauksilla NP–betonin nopeampaa kuivumista ei kyetty merkittävästi osoittamaan, joten edellä kuvatun kaltaisilla tekijöillä saattoi olla merkitystä. Laboratoriossa mitatut tulokset voidaan olettaa melko luotettaviksi, koska olosuhteet olivat jokaisella koelaatalla hyvin pitkälle samat.

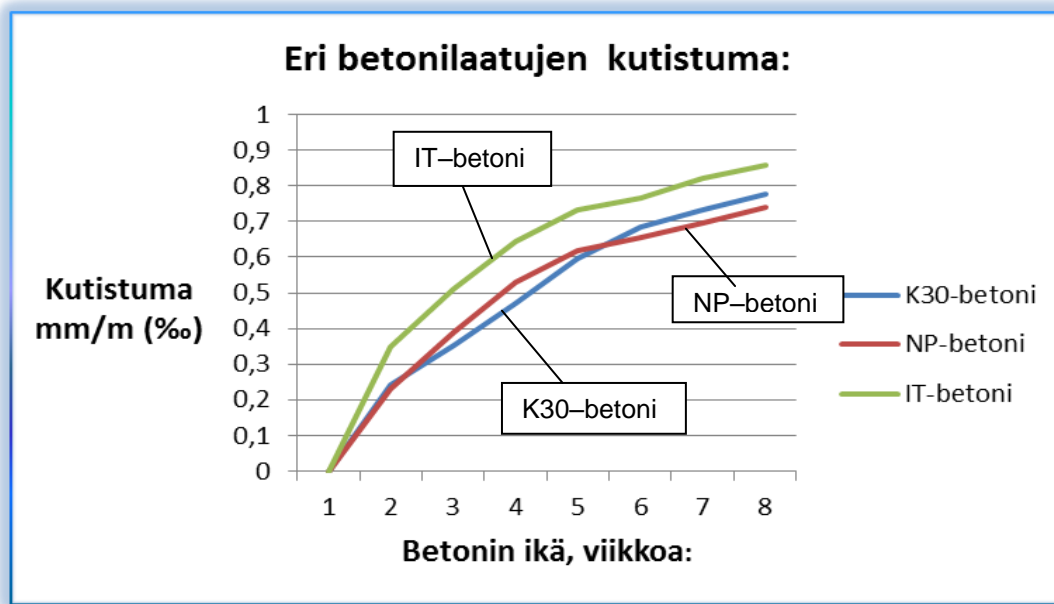


KUVA 29. Laboratoriossa olleiden vertailulaattojen kosteudet, 70 mm:n syvyys

8.6 Palkkien kutistuma

Koekappaleita oli jokaisella betonilaadulla kolme ja taulukon arvot ovat kolmen samalla betonilaadulla valetun palkin kutistumien keskiarvoja. Kuvan 30 käyrät osoittavat kutistumien kehityksen. Eniten kutistui virallisella kahdeksan viikon koeajalla IT–betoni 0,86 %. Ero vähiten kutistuneeseen NP–betoniin oli

kuitenkin vain 0,12 ‰. Kutistumamittausten tulokset eri betonilaaduilta ovat tarkemmin liitteissä 14–16.



KUVA 30. Eri betonilaatujen kutistumat kolmen koekappaleen keskiarvona

Mittausten mukaan lopulliset kutistumat olivat vähän suurempia verrattuna oppikirjoissa esitettyihin lukemiin normaalista kutistuman suuruudesta. Koekappaleiden tavallista suuremman kutistuman saattaa aiheuttaa niiden kuivuminen kuivemmaksi kuin vaikkapa talon lattiarakenteissa olevan betonin.

9 POHDINTA

Opinnäytetyön tärkeimpänä tavoitteena oli selvittää, millä betonilaadulla saadaan valettua edullisimmat ja laadukkaimmat pintabetonilattiat. Pintalattioiden kuivumisen seuranta oli myös tutkimuksissa mukana. Kaikilla kolmella betonilaadulla valettiin kaksi koe-erää pintalattioita ja jokaisesta koe-erästä oli yksi asunto mukana kuivumisen seurannassa. Täysin uutena ideana kokeiltiin reunavahvistuksen rakentamista maanvaraiseen lattiaan nurkkakäyritymien vähentämiseksi.

Kuten jo pintalattioiden kustannustaulukkoa katsottaessa todettiin, itsetiivistyvässä betonilla valetun lattian kustannukset olivat toisessa vertailuerässä jo muiden kanssa käytännössä samat. Tulokseen saattoi vaikuttaa ainakin ensimmäisestä IT-valusta saatu kokemus, jonka vuoksi ainakin massan levitys ja tasoitus sujuivat paremmin ja myös pinnasta tuli vähän tasaisempi. Hintasuhteisiin vaikuttavat tietysti jonkin verran myös NP- ja K30-betoneilla valettujen lattioiden pumppaus- ja tasoitustyön sujuminen ja monet muutkin osatekijät.

Myös liippaustyön jälki voi ainakin jonkin verran vaihdella monen osatekijän vaikutuksesta, ja sitä kautta lattioiden viimeistelyn työmenekki vaihtelee. Hiertotyö voidaan ajoittaa mahdollisimman sopivaan aikaan, jos työn tekijöillä ei ole turhan montaa työkohdetta työn alla samanaikaisesti. Liian varhaisessa vaiheessa aloitettu hiertotyö tuottaa varmasti jonkin verran heikomman lopputuloksen.

IT-betonilla on hyvät mahdollisuudet tulla täysin kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi pintalattioiden valussa. Jos käyttö yleistyy, tietotaito siihen liittyvästä työmaatekniikasta kasvaa, työ sujuu entistä nopeammin ja työn jälki tulee myös parantumaan. Oletuksena oli, että IT-betonilla valetuista lattioista tulee lähes täydellisen tasaisia. Näin ei nyt kuitenkaan käynyt, sillä pintaan jäi muutamia tasaisuuspoikkeamia. Havaintojen mukaan pintaan jäi epätasainen kohta helpommin, jos betonimassaa tuli liian ohut kerros, vain noin 30–40 mm. Tällöin pinta ei niin hyvin asettunut vaakatasoon massan heiluttelusta huolimatta. Tämän kaltaiset epäkohdat on mahdollista saada kuntoon kokemuksen karttuessa.

Suurin IT–betonin laajempaa käyttöä rajoittava tekijä on vielä tällä hetkellä sen kallis hinta. Perinteistä K30–lattiabetonia saa alle puolella hinnalla IT–betoniin verrattuna. Suuret ostomäärät ovat voineet myös vaikuttaa normaalin lattiabetonin hintaan alentaen sitä hieman, joten hintaero voi osaltaan vaikuttaa myös sen vuoksi näin suurelta. Myös IT–betonin hintaa saadaan varmasti neuvoteltua hieman alemmaksi, jos sen ostomäärät kasvavat.

Nopeammin päällystettävällä betonimassalla valettu lattia oli ensimmäisessä erässä noin euron neliömetriltä IT–lattiaa edullisempi ja toisessa vähän kalliimpi. Nopeamman kuivumisen aikaansaavat toimenpiteet tekevät massasta sitkeämpää työstää, mutta ainakin näissä lattioissa liippaustyön suorittajilla ei ollut ongelmia betonin työstämisessä. Pinnan laatu ja tasaisuus olivat myös K30–betonin luokkaa, joten NP–betoni vaikutti tämän vertailun perusteella täysin toimivalta vaihtoehdolta. Tässä tutkimuksessa suoritettua kuivumisen seurannan perusteella ei saatu juurikaan eroja näkyviin nopeammin päällystettävän betonin nopeammasta kuivumisesta. Yhdessä lattiassa se kuivui nopeammin, mutta ero ei ollut mitenkään merkittävä. Näiden tutkimusten perusteella NP–betonilla ei saavuteta mitään olennaista etua pinalattioissa normaaliin betoniin verrattuna.

Itsetiivistyvän betonin käytön myötä lisääntyvät myös omien työntekijöiden tehtävät: pinalattioiden osalta aliurakoitsijan suorittama liippaustyöpanos jää pois ja sen korvaa omien työntekijöiden suorittama betonin levitys– ja tasoitustyö. Tämä siis osaltaan vähentää riippuvuutta ulkopuolisista urakoitsijoista. Itsetiivistävällä betonilla on mahdollista valaa huomattavasti suurempia pinta-aloja yhdellä valukerralla perinteiseen betoniin verrattuna. Asuintalokohteessa tämä voisi tarkoittaa 10–20 asuntoa työpäivän aikana asuntojen koosta riippuen. Tämän myötä työmaan tehokkuutta saadaan parannettua. Käytön järkevyyteen ja mielekkyyteen vaikuttaa toki myös työmaan tilanne. Kiireen vallitessa työ on järkevää teettää aliurakoitsijalla, mutta aikataulun salliessa voi työn suorittaminen omin voimin olla järkevä vaihtoehto.

Kuten jo tuloksia tarkasteltaessa todettiin, suhteellisen kosteuden mittaaminen työmaalla on useiden ulkopuolisten tekijöiden vaikutuksille altis, erityistä tarkkuutta vaativa toimenpide. Tämän opinnäytetyön mittauksille lisähaastetta toi yritys saada selville eri betonilaatujen mahdolliset kuivumisnopeuden erot.

Työmaalla suoritetuilla mittauksilla ei kyetty selkeästi osoittamaan nopeammin päällystettävän betonin nopeampaa kuivumista, mutta laboratoriossa olleiden koelattojen osalta ero tuli esille.

Pienetkin asiat voivat työmaamittauksissa aiheuttaa tuloksiin virhettä, kun mahdolliset erot ovat prosentteina melko pieniä. Toisen mittauspisteen erilainen sijainti huoneistossa suhteessa seiniin, ikkunaan tai oviaukkoon voi jo riittää kääntämään tuloksen päinvastaiseksi. Asia kyllä tiedostettiin, ja niinpä mittauspisteiksi valittiin olosuhteiltaan mahdollisimman samantyyppiset paikat.

Maanvastaisen betonilaatan reunavahvistus oli mielenkiintoinen kokeilu, ja idea siitä syntyi tämän opinnäytetyön tutkimuksia suunniteltaessa ja rajattaessa. Se ei ollut painotukseltaan tämän työn tärkeimpiä, ja senkin vuoksi koelattioita valettiin vain kaksi. Kokeilu oli ainakin päänavaus ongelman ratkaisujen etsimiseen ja kehittämiseen. Rakentamisessakin etsitään jatkuvasti parempia työmenetelmiä ja ratkaisuja erilaisiin epäkohtiin, ja tämä on pieni esimerkki siitä kehitystyöstä.

Työmaalla toteutettu vertailututkimus herätti kiinnostusta ja ajatuksia kiitettävästi myös työntekijöiden keskuudessa. Varsinkin itsetiivistyvä betonimassa herätti mielenkiintoa, koska kaikki eivät olleet kyseistä betonia ehkä koskaan aiemmin nähneetkään. IT-betonilla suoritettava pintalattioiden valu on myös fyysiseltä kuormittavuudeltaan varsin kevyt työsuorite verrattaessa sitä vaikkapa seinien valamiseen. Myös tasoitustyötä suorittaneiden työntekijöiden keskuudessa positiivisena asiana nähtiin se, että tulevaisuudessa mahdollisesti yhä suurempi osa pintalattioista saataisiin valettua IT-betonilla rakennusliikkeen omien työntekijöiden toimesta.

LÄHTEET

Alapohja. 2011. Saatavissa:

<http://www.betoni.com/fi/betoniopas/betonirakennusmateriaalina/betoninkäyttökohdeet/alapohja>. Hakupäivä 15.11.2011.

Betonin kutistuma. 2011. Saatavissa:

<http://www.betoni.com/default.aspx?intObjectID=7074&intStart=60>. Hakupäivä 12.12.2011.

Betonin kutistuminen. 1985. Suomen Betoniyhdistys r.y. BY22. Betoninormien edellyttämiä käyttöselosteita koskevat ohjeet.

Betonin muodonmuutokset. 2001. Suomen Betoniyhdistys r.y. BY 202. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, osa-1. Jyväskylä: Suomen Betonitieto Oy.

Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen. 2010. RT 14-10984. Rakennustieto Oy.

Itsetiivistyvän betonin lisäohjeet. 2004. Suomen betoniyhdistys r.y. BY 50. Betoninormit 2004, liite 6. Jyväskylä: Suomen Betonitieto Oy.

Merikallio, Tarja – Niemi, Sami – Komonen, Juha 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Merikallio, Tarja 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Jyväskylä: Suomen Betonitieto Oy.

Merikallio, Tarja 2009. Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa, väitöskirja. Espoo: TKK Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos.

Pintabetonilattiat ja uivat lattiat. 2011. Saatavissa:

<http://www.betoni.com/betoniopas/betonirakennusmateriaalina/betoninkäyttökohdeet/pintabetonilattiatjauivatlattiat>. Hakupäivä 10.11.2011.

Resepti Rudus Oy. 2011. Rudus Oy Oulun betoniasema, Soramäentie 31. Betonimassan resepti.

Tasaisuuden mittaus. 2011. RT 14-11039. Rakennustieto Oy.

Tasaisuus. 2002. Betonilattiat 2002. Suomen betoniyhdistys BY 45-Suomen betonilattiyhdistys BLY 7. Jyväskylä: Suomen Betonitieto Oy.

Tuoreen betonin testaus, L-laatikkokoe. 2010. Suomen Standardisoimisliitto SFS. SFS-EN 12350-10. Osa 10: itsetiivistyvä betoni. Hakupäivä 17.01.2012.

Tuoreen betonin testaus, painuma-leviämä. 2010. Suomen Standardisoimisliitto SFS. SFS-EN 12350-8. Osa 8: itsetiivistyvä betoni. Hakupäivä 17.01.2012.

Tuoreen betonin testaus, V-suppilokoe. 2010. Suomen Standardisoimisliitto SFS. SFS-EN 12350-9. Osa 9: itsetiivistyvä betoni. Hakupäivä 17.01.2012.

Valmis pintabetoni, tasoitettu lattia.1998. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset, Sisä-RYL 2000. Hämeenlinna: Rakennustieto Oy.

LIITTEET

- Liite 1. Betonimassan ja pumppauksen kustannusten muodostuminen
- Liite 2. Pintalattioiden tasoitusviimeistelyn kustannukset
- Liite 3. Merilinjan asunnon A22 kosteudenmittauspisteet
- Liite 4. Merilinjan asunnon A19 kosteudenmittauspisteet
- Liite 5. Merilinjan asunnon A13 kosteudenmittauspisteet
- Liite 6. Merilinjan asunnon A30 kosteudenmittauspisteet
- Liite 7. Merilinjan asunnon A26 kosteudenmittauspisteet
- Liite 8. Merilinjan asunnon A23 kosteudenmittauspisteet
- Liite 9. Asuntojen A22 ja A13 suhteelliset kosteudet ja mittauslämpötilat
- Liite 10. Asuntojen A19 ja A22 kololaatan kohtien suhteelliset kosteudet
- Liite 11. Asuntojen A19 ja A23 suhteelliset kosteudet ja mittauslämpötilat
- Liite 12. Asuntojen A26 ja A30 suhteelliset kosteudet ja mittauslämpötilat
- Liite 13. Vertailulaattojen suhteelliset kosteudet ja lämpötilat
- Liite 14. K30–betonin kutistumamittausten tulokset
- Liite 15. NP–betonin kutistumamittausten tulokset
- Liite 16. IT–betonin kutistumamittausten tulokset

Betonimassan kustannukset valuerittäin:

$$K30-1: 112,4 \text{ m}^2 \cdot 0,06 \text{ m} = \mathbf{6,74 \text{ m}^3} \cdot 68,30 \text{ €/m}^3 = \underline{460,40 \text{ €}}$$

$$NP-1: 127,5 \text{ m}^2 \cdot 0,06 \text{ m} = \mathbf{7,65 \text{ m}^3} \cdot 104,90 \text{ €/m}^3 = \underline{802,50 \text{ €}}$$

$$IT-1: 116,2 \text{ m}^2 \cdot 0,06 \text{ m} = \mathbf{6,97 \text{ m}^3} \cdot 145,80 \text{ €/m}^3 = \underline{1016,20 \text{ €}}$$

$$K30-2: 112,4 \text{ m}^2 \cdot 0,06 \text{ m} = \mathbf{6,74 \text{ m}^3} \cdot 68,30 \text{ €/m}^3 = \underline{460,40 \text{ €}}$$

$$NP-2: 119,6 \text{ m}^2 \cdot 0,06 \text{ m} = \mathbf{7,17 \text{ m}^3} \cdot 104,90 \text{ €/m}^3 = \underline{752,10 \text{ €}}$$

$$IT-2: 110 \text{ m}^2 \cdot 0,06 \text{ m} = \mathbf{6,6 \text{ m}^3} \cdot 145,80 \text{ €/m}^3 = \underline{962,30 \text{ €}}$$

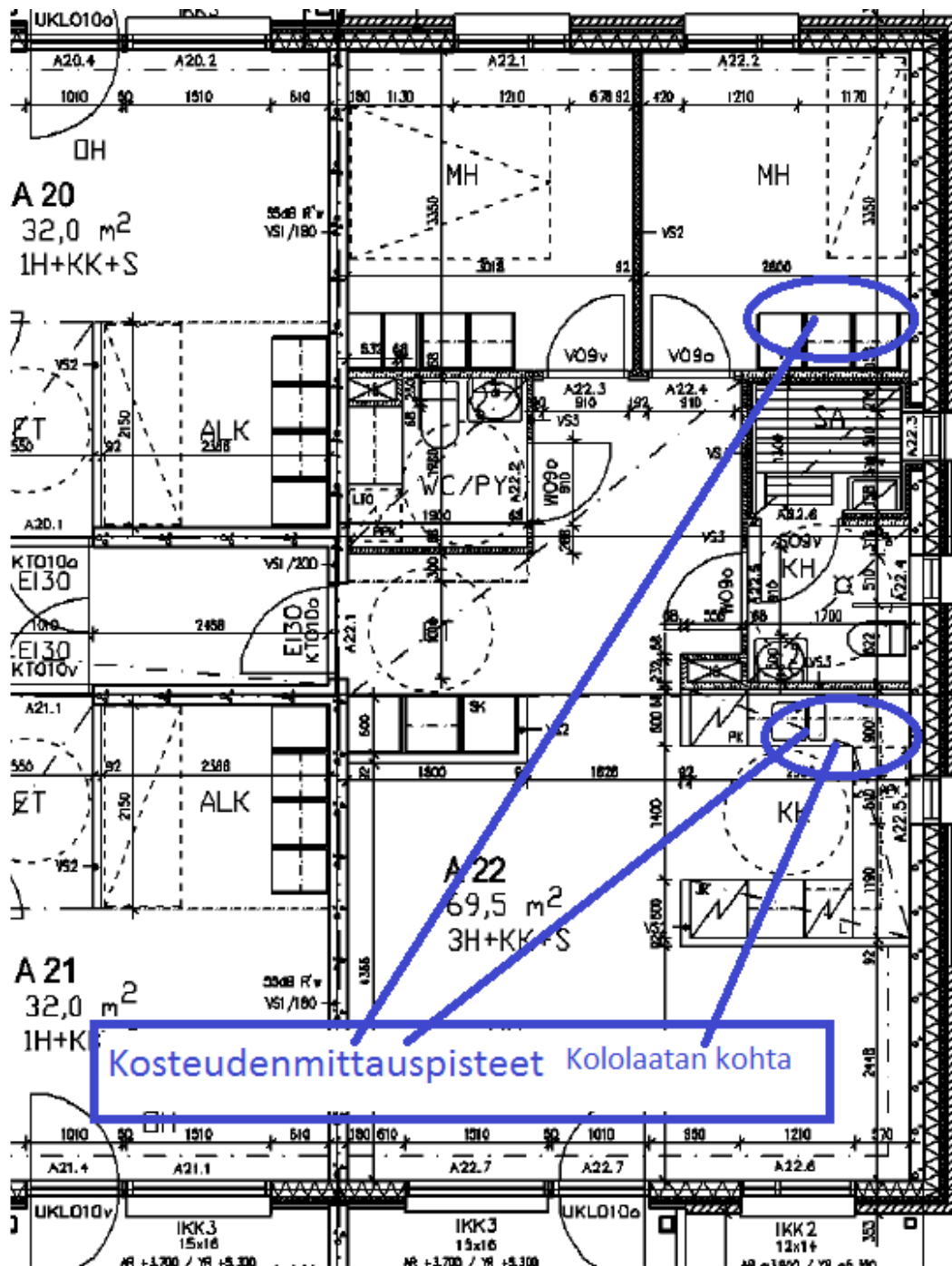
TAULUKKO 4. Kuljetuksen ja pumppauksen kustannukset valuerittäin.

Valuerä:	K30-1	NP-1	IT-1	K30-2	NP-2	IT-2
Kuljetus, €:	173,20 ⁽¹⁾	173,20	173,20	173,20	173,20	173,20
Palv. aika, yksikköä:	106	189	160	208	82	80
Palv. ajan korvaus, €: (1,51€/yks.)	160,00	285,40	241,60	314,10	123,80	120,80
Pumppaus, €: (9,2€/m ³)	62,00	70,40	64,10	62,00	66,00	60,70
Pumppaus, h:	3,25	3,2	3,0	3,25	3,4	2,5
Pumppaus, €: (75 €/h)	243,75	240,00	225,00	243,80	255,00	187,50
Yhteensä €:	639,00	769,00	703,90	793,10	618,00	542,20

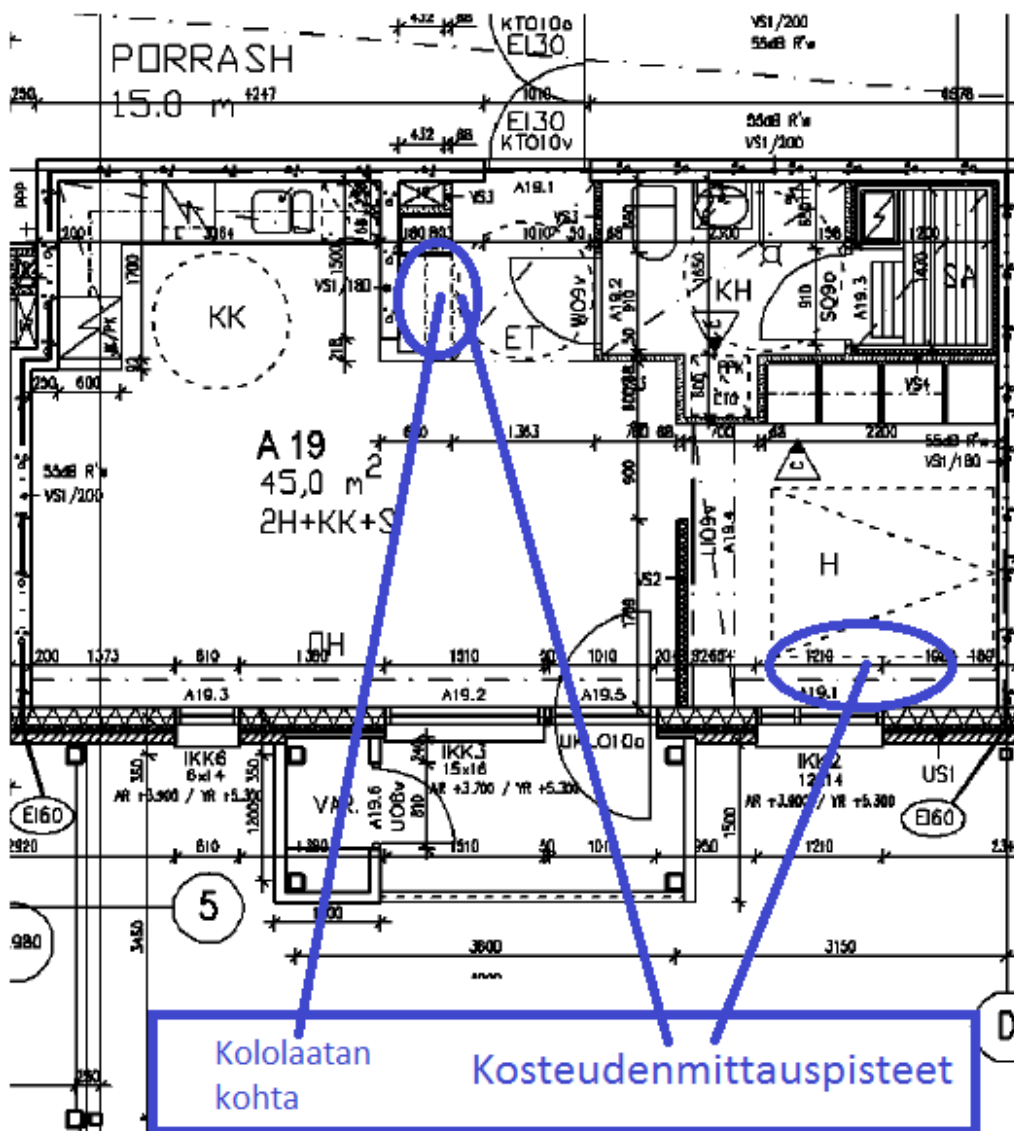
(1. kuljetus 5 m³:n sekoitussäiliö 86,60 €/kerta sis.alv, kaksi kuormaa/valuerä.

TAULUKKO 5. Pintalattioiden tasoitusviimeistelyn kustannukset. Hinnat sisältävät arvonlisäveron 23 %.

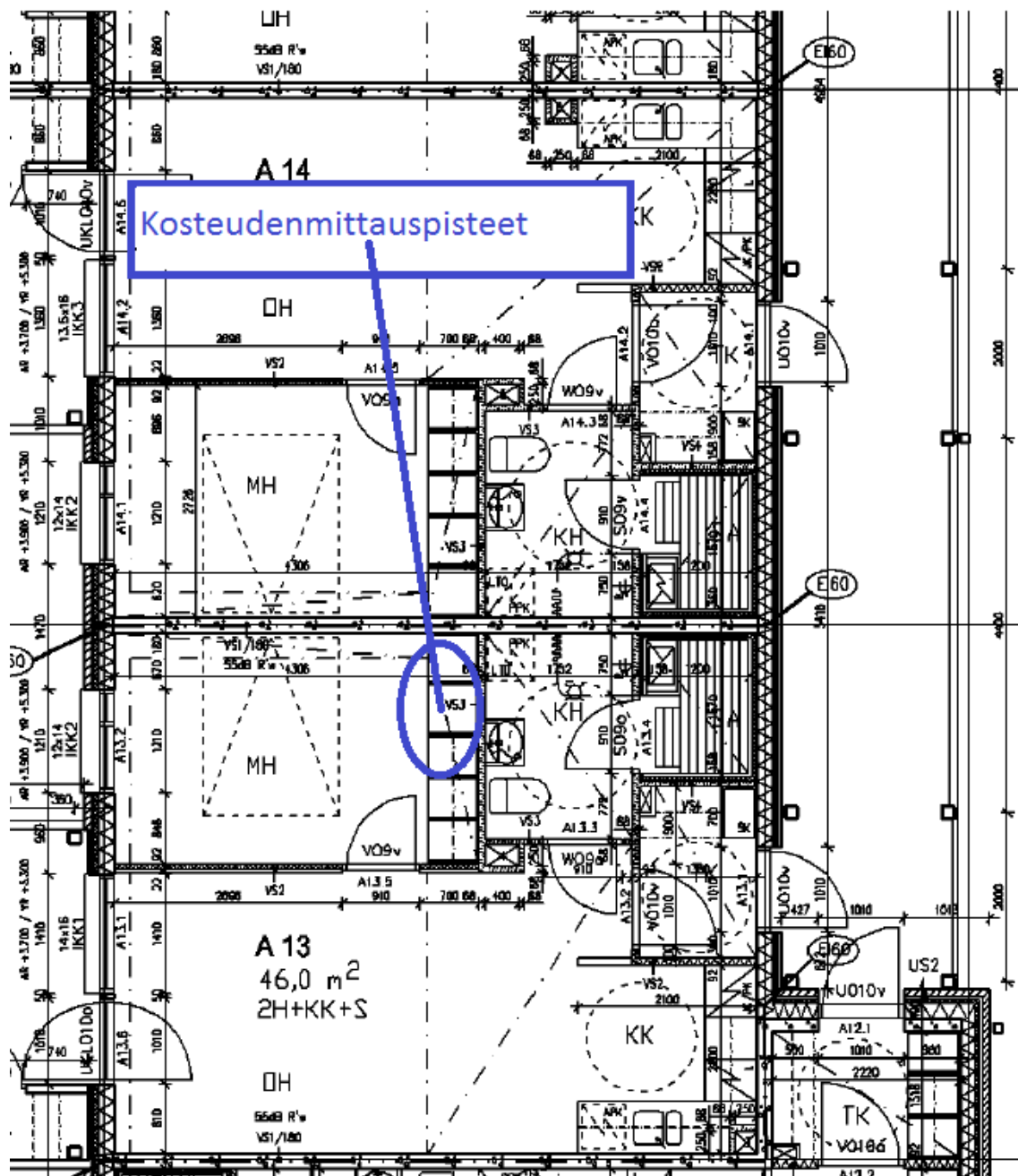
Valuerä:	K30-1	NP-1	IT-1	K30-2	NP-2	IT-2
yht. m ² :	112,4	127,5	116,2	112,4	119,6	110,0
tasoitemenekki, kpl. säkkiä:	2,25	1,5	1	2,25	1,25	0,75
viimeistelytyö, (h)	6,75	7,5	8,5	9,5	11,5	9,2
viim.kustannus€, (43€/h)	290,30	322,50	365,50	408,50	494,50	395,60
tasoitekustan- nus, €:	47,30	31,50	21,00	47,30	26,30	15,80
yht. €	<u>337,60</u>	<u>354,00</u>	<u>386,50</u>	<u>455,80</u>	<u>520,80</u>	<u>411,40</u>
€/m ² :	3,0	2,8	3,3	4,1	4,4	3,7



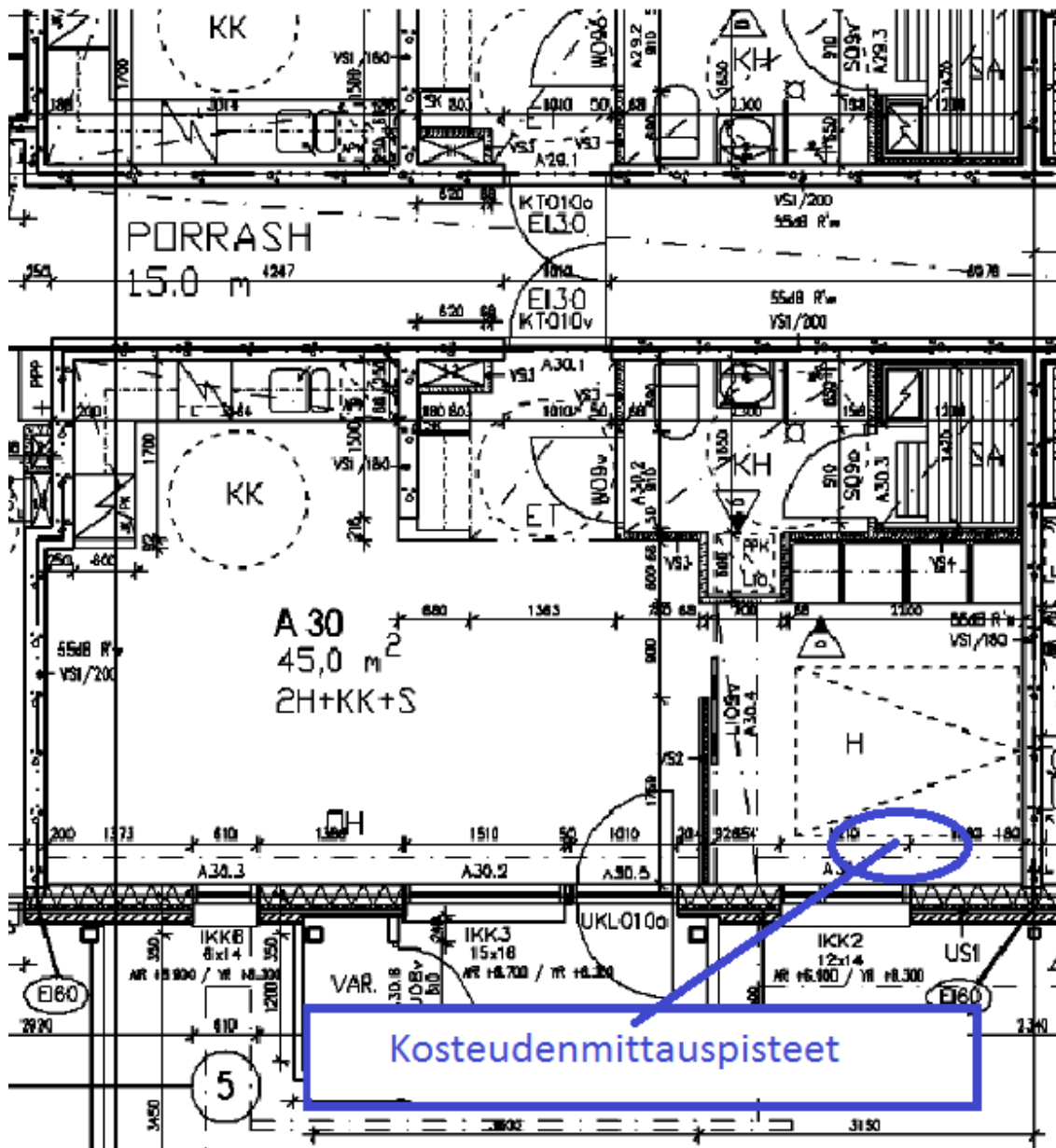
KUVA 31. Kosteudenmittauspisteet asunnossa A22 toisessa kerroksessa sisäkäytävän päädyssä, K30-betoni.



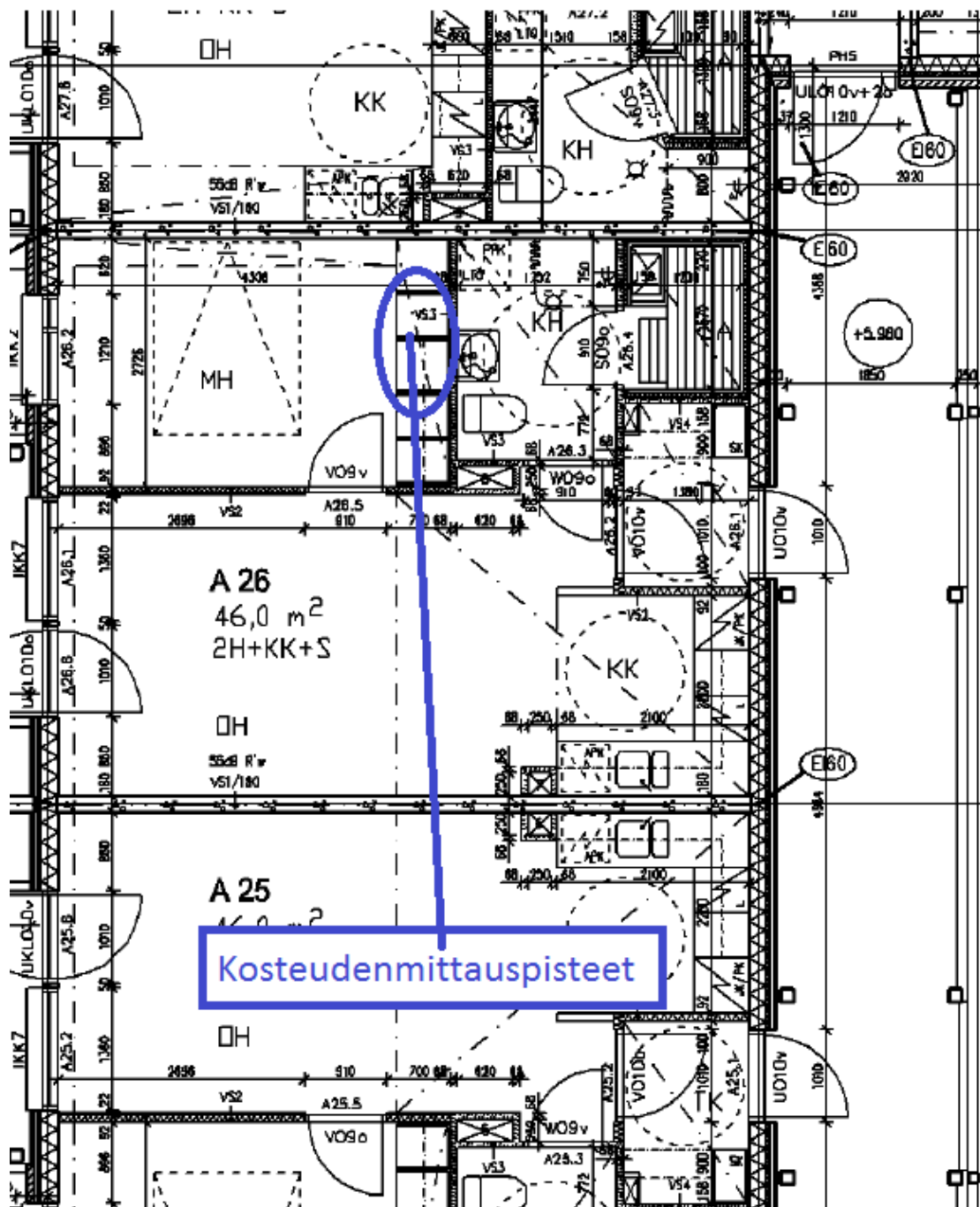
KUVA 32. Kosteudenmittauspisteet asunnossa A19 toisen kerroksen sisäkätävän varrella, IT-betoni.



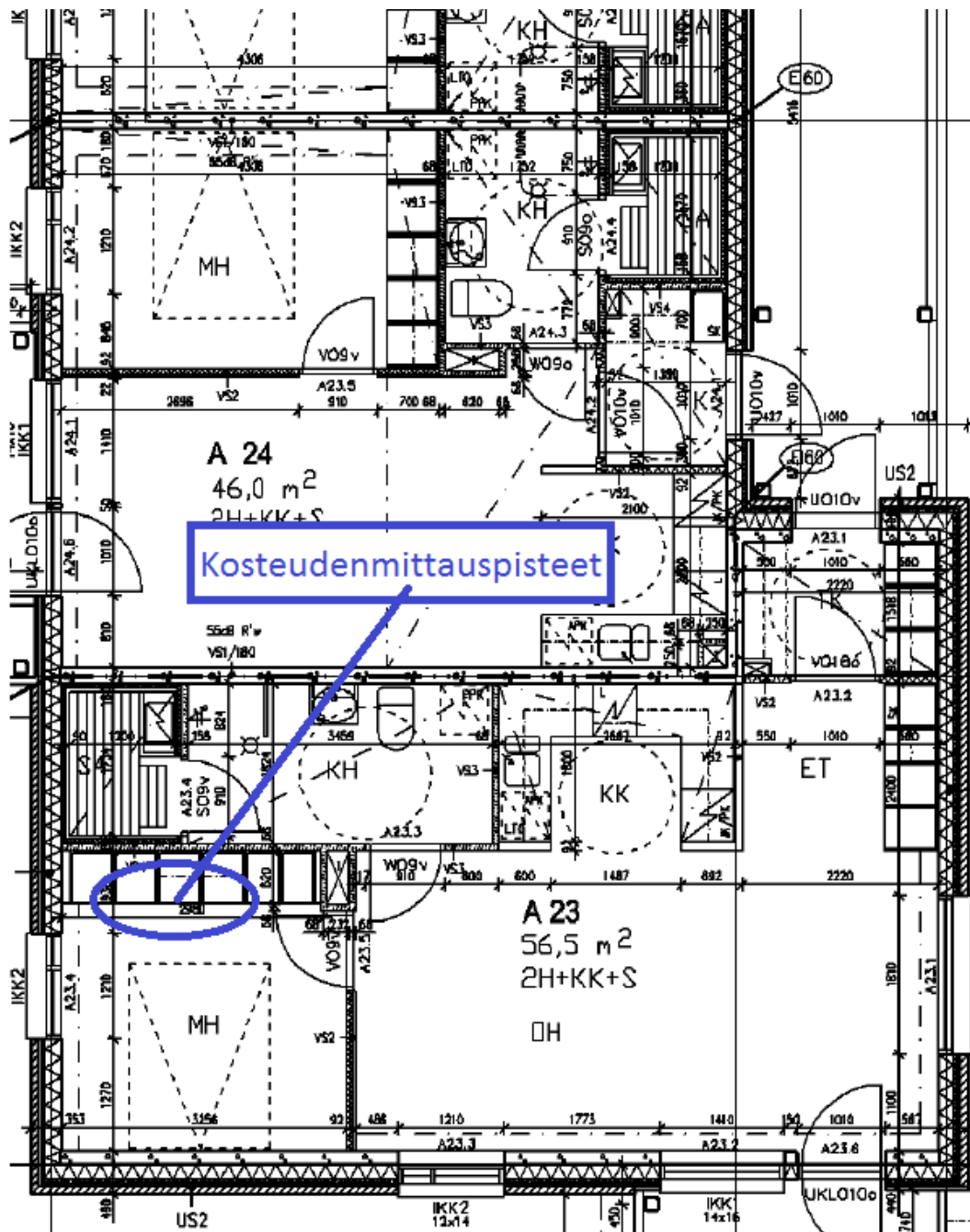
KUVA 33. Kosteudenmittauspisteet asunnossa A13 toisessa kerroksessa luhtikäytävän varrella, NP-betoni.



KUVA 34. Kosteudenmittauspisteet asunnossa A30 kolmannessa kerroksessa sisäkävävän varrella, IT-betoni.



KUVA 35. Kosteudenmittauspisteet asunnossa A26 kolmannessa kerroksessa luhtikäytävän varrella, NP-betoni.



KUVA 36. Kosteudenmittauspisteet asunnossa A23 kolmannessa kerroksessa luhtisiiven päädysssä, K30–betoni.

TAULUKKO 6. K30–betonilla valetun asunnon A22 ja NP–betonilla valetun asunnon A13 suhteellisen kosteuden lukemat ja lämpötilat mittauspisteissä.

<u>A22</u> PVM.	30 mm syvyys	70 mm syvyys	Lämpötila °C	<u>A13</u> PVM.	30 mm syvyys	70 mm syvyys	Lämpötila °C
14.05	92,7	90,6	7,3	18.05	92,9	94,0	9,8
18.05	96,7	95,2	9,5	24.05	87,3	92,2	13,0
23.05	95,6	92,6	11,1	31.05	84,5	91,2	11,8
01.06	94,1	93,8	13,1	10.06	86,3	95,4	23,0
08.06	89,1	90,9	15,9	16.06	82,1	93,0	18,7
14.06	89,4	90,5	17,3	20.06	81,4	90,7	20,5
20.06	85,3	88,1	20,5	29.06	79,7	89,6	23,8
29.06	82,5	87,0	22,0	08.07	78,4	88,5	25,7
08.07	77,9	85,7	26,5	14.07	78,7	87,1	26,5
14.07	76,1	84,2	36,6	18.07	75,6	87,7	26,8
18.07	73,2	81,3	37,3	28.07	74,8	87,4	27,3
28.07	67,8	74,7	38,9	05.08	73,3	85,8	24,5

Lattian lämpötilojen korkeuden (huomattavasti yli +25 °C) vuoksi suhteellisen kosteuden arvot eivät ole välttämättä täysin luotettavia!

TAULUKKO 7. Asuntojen A19(IT–betoni) ja A22(K30–betoni) kololaattojen kohtien suhteellisen kosteuden lukemat ja mittauslämpötilat.

PVM.	A19		°C	A22		°C
	30 mm, %	70 mm, %		30 mm %	70 mm %	
07.07	77,0	91,4	28,2	82,6	91,6	33,0
14.07	79,2	93,7	30,6	79,2	91,5	37,5
20.07	72,7	93,2	30,6	77,9	89,7	37,5
28.07	70,2	91,3	32,4	75,1	88,5	39,4
02.08	71,5	92,8	27,4	75,6	88,8	32,5
04.08	73,2	91,5	24,8	74,6	88,4	27,0

Lattian lämpötilojen korkeuden (huomattavasti yli +25 °C) vuoksi suhteellisen kosteuden arvot eivät ole välttämättä täysin luotettavia!

TAULUKKO 8. Asuntojen A19(IT–betoni) ja A23(K30–betoni) suhteellisen kosteuden lukemat ja lämpötilat mittauspisteissä.

<u>A19</u> PVM.	30 mm syvyys	70 mm syvyys	Lämpötila °C	<u>A23</u> PVM.	30 mm syvyys	70 mm syvyys	Lämpötila °C
19.05	96,3	94,5	8,3	27.05	98,3	95,0	12,5
24.05	92,5	94,8	12,4	01.06	96,6	94,6	14,5
31.05	90,6	91,5	11,0	08.06	92,5	92,0	19,0
10.06	89,7	92,4	11,2	14.06	92,2	90,1	17,2
16.06	86,6	91,4	16,6	21.06	87,5	87,6	16,6
20.06	86,1	91,7	20,9	29.06	83,8	88,3	22,6
29.06	84,1	89,6	17,5	08.07	83,1	85,8	26,2
08.07	79,5	85,7	21,2	14.07	82,6	88,5	22,5
14.07	76,9	84,2	25,2	18.07	79,7	86,9	24,8
18.07	74,4	82,9	29,1	28.07	77,1	84,2	27,2
28.07	71,9	81,3	33,4	05.08	69,6	80,6	24,5
05.08	70,0	79,1	26,0				

Lattian lämpötilojen korkeuden vuoksi suhteellisen kosteuden arvot eivät ole välttämättä täysin luotettavia!

TAULUKKO 9. Asuntojen A26(NP–betoni) ja A30(IT–betoni) suhteellisen kosteuden lukemat ja lämpötilat mittauspisteissä.

<u>A26</u> PVM.	30mm syvyys	70mm syvyys	Lämpötila °C	<u>A30</u> PVM.	30mm syvyys	70mm syvyys	Lämpötila °C
25.05	94,7	94,6	12,1	27.05	98,1	94,5	10,2
31.05	90,8	91,7	14,6	01.06	92,3	92,6	14,2
08.06	88,1	91,9	18,8	08.06	91,0	92,7	17,7
14.06	88,2	90,5	16,0	14.06	89,5	92,0	17,4
20.06	85,1	89,3	18,2	21.06	89,1	93,5	20,1
29.06	82,1	86,8	21,8	29.06	86,0	89,0	23,0
08.07	80,8	86,7	25,5	08.07	82,9	88,3	28,6
14.07	81,8	84,4	25,1	14.07	80,8	83,0	29,4
18.07	79,9	82,1	26,4	18.07	78,3	83,6	30,8
28.07	77,7	80,6	27,0	28.07	75,7	83,9	32,0
05.08	73,5	79,0	23,5	05.08	72,5	82,5	24,5

Lattian lämpötilojen korkeuden vuoksi suhteellisen kosteuden arvot eivät ole välttämättä täysin luotettavia!

TAULUKKO 10. Laboratorioon eri betonilaaduilla valettujen vertailulaattojen suhteelliset kosteudet prosentteina ja lämpötilat. Lämpötiloille on kirjattu vain yhden arvot, koska ne olivat jokaisessa laatussa hyvin lähellä toisiaan.

PVM.	K30- betoni		NP- betoni		IT- betoni		°C
	30mm syvyys	70mm syvyys	30mm syvyys	70mm syvyys	30mm syvyys	70mm syvyys	
12.05	95,5	91,3					19,5
19.05	95,8	92,7	94,9	87,9	93,7		19,7
25.05	94,3	91,5	93,6	87,1	92,4	88,4	19,8
01.06	90,1	86,5	92,9	86,4	90,8	87,6	19,8
09.06	89,5	85,7	92,4	86,1	90,2	86,7	19,7
16.06	89,4	85,2	92,1	86,0	89,8	87,3	19,7
21.06	87,6	84,4	90,1	85,1	87,2	87,7	19,9
29.06	88,9	84,4	89,6	84,8	86,3	87,7	20,0
07.07	84,0	84,9	85,5	81,8	82,8	84,7	24,2
13.07	81,8	83,9	82,9	80,3	80,8	83,9	22,5
21.07	81,0	82,8	82,6	79,2	79,9	83,6	21,1
27.07	76,6	79,8	78,3	77,1	76,2	80,5	24,0
04.08	76,2	79,2	80,0	73,9	79,8	79,9	22,7
09.08	72,8	74,0	74,7	69,5	76,1	75,4	21,3

TAULUKKO 11. K30–betonilla valettujen kutistumamittauspalkkien mittauslu-
kemat ja pituuden muutokset ϵ . Palkit valettiin 05.05.2011.

Mittaus- PVM.	Palkki 1/4		Palkki 1/5		Palkki 1/6	
	Mittakellon lukema mm:	ϵ mm/m:	Mittakellon lukema mm:	ϵ mm/m:	Mittakellon lukema mm:	ϵ mm/m:
12.05	4.180		2.990		2.905	
19.05	4.052	0,256	2.867	0,246	2.795	0,220
26.05	4.003	0,354	2.807	0,366	2.735	0,340
01.06	3.970	0,420	2.745	0,490	2.657	0,496
08.06	3.892	0,576	2.679	0,622	2.610	0,590
16.06	3,840	0,680	2.642	0,696	2.564	0,682
21.06	3.818	0,724	2.615	0,750	2.545	0,720
30.06	3.810	0,740	2.598	0,784	2.504	0,802

TAULUKKO 12. NP–betonilla valettujen kutistumamittauspalkkien mittausluke-
mat ja pituuden muutokset ϵ . Palkit valettiin 12.05.2011.

Mittaus- PVM.	Palkki 2/4		Palkki 2/5		Palkki 2/6	
	Mittakellon lukema mm:	ϵ mm/m:	Mittakellon lukema mm:	ϵ mm/m:	Mittakellon lukema mm:	ϵ mm/m:
19.05	4.035		4.206		3.040	
26.05	3.881	0,308	4.106	0,200	2.946	0,188
01.06	3.814	0,442	4.008	0,396	2.876	0,328
08.06	3.741	0,588	3.941	0,530	2.807	0,466
16.06	3.691	0,688	3.898	0,616	2.765	0,550
21.06	3.672	0,726	3.879	0,654	2.748	0,584
30.06	3.650	0,77	3.86	0,692	2.725	0,630
08.07	3.629	0,812	3.835	0,742	2.705	0,670

TAULUKKO 13. IT–betonilla valettujen kutistumamittauspalkkien mittauslukemat ja pituuden muutokset ϵ . Palkit valettiin 13.05.2011.

Mittaus-PVM.	Palkki 3/4		Palkki 3/5		Palkki 3/6	
	Mittakellon lukema mm:	ϵ mm/m:	Mittakellon lukema mm:	ϵ mm/m:	Mittakellon lukema mm:	ϵ mm/m:
19.05	4.118		3.328		3.185	
26.05	3.997	0,242	3.206	0,244	2.905	0,560
01.06	3.930	0,376	3.111	0,434	2.824	0,722
08.06	3.866	0,504	3.040	0,576	2.761	0,848
16.06	3.825	0,586	2.992	0,672	2.716	0,938
21.06	3.812	0,612	2.972	0,712	2.697	0,976
30.06	3.784	0,668	2.948	0,760	2.668	1,034
08.07	3.770	0,696	2.925	0,806	2.648	1,074

