



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

TALVELLA VALETTAVAN
JÄLKIJÄNNITETYN BETONIHOLVIN
LAADUNVARMISTUS

Markus Lehtivuori

Tekniikka
2017

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Markus Lehtivuori
Opinnäytetyön nimi	Talvella valettavan jälkijännitetyn betoniholvin laadunvarmistus
Vuosi	2017
Kieli	Suomi
Sivumäärä	39 + 2 liitettä
Ohjaaja	Marja Naaranoja

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää talvella valettavan jälkijännitetyn betoniholvin laadunvarmistusta sen eri vaiheissa. Opinnäytetyössä tehdään tehtäväsuunnitelma jälkijännitetyjä rakenteita varten. Tehtäväsuunnitelman sisältö koostuu jälkijännitetyn betoniholvin eri työvaiheista aina esivalmisteluista valmiiseen työhön. Työssä tutkitaan myös talven asettamia haasteita sekä niiden torjuntaa eri työvaiheiden ja työturvallisuuden näkökulmasta.

Seurasin jälkijännitetyn betoniholvin työvaiheita Peab:n työmaalla Espoon Marinkalliossa. Havainnoin työmaalla työkohteen eri työvaiheita sekä niiden tuomia haasteita, ja analysoin keräämääni tietoa. Teoriaosuus on koottu alan kirjallisuudesta sekä haastatteleamalla kohteen työnjohtajia.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin luotua työkohteesta tehtäväsuunnitelma. Tehtäväsuunnitelmasta saadaan työnjohtajalle erinomainen työkalu, jonka avulla on helpompaa hallita kokonaisuutta työvaiheineen sekä tunnistaa niiden ongelmakohdat ja riskit. Tehtäväsuunnitelma otettiin käyttöön työmaalla, joten opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin.

ABSTRACT

Author	Lehtivuori Markus
Title	Post Tensioned Concrete Constructions Quality in Winter Conditons
Year	2017
Language	Finnish
Pages	39 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Marja Naaranoja

The purpose of this thesis was to improve the quality post-tensioned concrete structures in winter conditions. A task plan was made for post-tensioned concrete structures. The task plan consists of post-tensioned concrete construction work from start to finish. This thesis also includes the challenges that winter creates for concreting and how to solve them.

The information about the challenges and preparation work was gathered at a Peab construction site which is located at Marinkallio in Espoo. Information was also gathered by interviewing the task manager and studying construction industry literature.

The task plan was created as the result of this thesis. The task plan serves as a good tool for the person in charge. With the help of the task plan it is easier to control the concreting and various work phases and recognize the including challenges. This task plan is in use at the Peab construction site so the objectives set for this thesis were fulfilled.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO	6
2 TYÖKOHTEEEN JA VAIHEEN KUVAUS	7
3 JÄLKIJÄNNITETTY BETONI	9
3.1 Yleiset piirteet	9
3.2 Työmaalla huomioitavaa	11
4 TALVIBETONOINTI	15
4.1 Talviolosuhteiden vaikutus	15
4.1.1 Betonin jäätymislujuus	15
4.1.2 Lämpötilan vaikutus betonin lujuuskehitykseen	16
4.1.3 Muottien purkaminen	19
4.2 Lämmitysmenetelmät	20
4.2.1 Lankalämmitys	20
4.2.2 Muottilämmitys	21
4.2.3 Infrapunasäteilylämmitys	22
4.2.4 Kuumailmalämmitys	23
4.2.5 Pakkas- ja kuumabetoni	24
5 TYÖTURVALLISUUS	26
5.1 TR-mittaus	26
5.2 Perehdytys	27
5.3 Putoamissuojaus	28
5.4 Muut vaarat	28
5.5 Liikenne	29
6 TEHTÄVÄSUUNNITELMAN SISÄLTÖ	31
6.1 Aloitusedellytykset	31
6.2 Työn sisältö ja lopputila	31
6.3 Työvaiheiden laadunvarmistus	32
7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	35
LÄHTEET	37
LIITTEET	38

KUVA-JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Arkkitehtikuva kiinteistöstä. (Anttila & Rusanen Oy)	7
Kuva 2. Jännepunosten passiivipäät kiinnitettynä. (Markus Lehtivuori)	12
Kuva 3. Jännepunostuksen aktiivipäät kiinnitettynä. (Markus Lehtivuori)	13
Kuva 4. Jännitystunkki (Markus Lehtivuori)	13
Kuva 5. 260mm paksun välipohjan lujuudenkehitys laatan keskiosassa eri ympäristön lämpötiloissa. Betonimassa K30 #16 mm S3./3/ 18	
Kuva 6. 300mm paksun paikallavaluholvin lujuudenkehitys, kun ilman lämpötila on -5 °C, muottivaneri 22mm./3/	18
Kuva 7. Anturamuottiin asennetut lämmityskaapelit (Markus Lehtivuori)	21
Kuva 8. Suurmuotti /3/	22
Kuva 9. Kaasusäteilijä (Markus Lehtivuori)	23
Kuva 10. Hallipuhallin (Markus Lehtivuori)	24
Kuva 11. Congrid sovelluksen tarjoama TR-mittaus (www.Congrid.fi)	27
Kuva 12. Holvin putoamissuojaus (Markus Lehtivuori)	28
Kuva 13. Varokkeet (Markus Lehtivuori)	29
Kuva 14. Heatmobil (Markus Lehtivuori)	34
Kuva 15. Jännityspöytäkirja (Peab)	40
Kuva 16. Jännityspöytäkirja (Peab)	41
Kuva 17. Jännityspöytäkirja (Peab)	42
Kuva 18. Jännityspöytäkirja (Peab)	43
Kuva 19. Jännityspöytäkirja (Peab)	44
Kuva 20. Lämpötilan seuranta (Peab)	45
Kuva 21. Lämpötilan seuranta (Peab)	46
Taulukko 1. Betonipeitteen vähimmäisarvo eri rasitusluokissa/1/	11

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää talvella valettavan jälkijännitetyn holvin laadunvarmistusta sen eri vaiheissa. Työssä tutustutaan erityisesti talvirakentamisen tuottamiin haasteisiin, niiden oikeanlaiseen ennakointiin sekä torjuntaan. Työssä ei käsitellä tehtäväsuunnittelun teoriaa.

Jälkijännitystyötä valmisteluineen ja eri työvaiheineen seurataan Peab Oy:n työmaalla Marinkalliossa Espoossa. Tietoa kerätään myös haastattelujen avulla. Tuloksena opinnäytetyöstä tehdään kohteeseen tehtäväsuunnitelma talvirakentamisen näkökulmasta. Tehtäväsuunnitelmasta saadaan työnjohtajalle erinomainen työkalu, minkä avulla on helpompi hallita kokonaisuutta työvaiheineen ja tunnistaa niiden ongelmakohdat ja riskit. Tämän pohjalta osataan suunnitella ja ennakoida paremmin myös eri työvaiheiden työturvallisuutta.

2 TYÖKOHTTEEN JA VAIHEEN KUVAUS

Kohde jossa opinnäytetyö tehdään, on Peab Oy:n pääurakoima kerrostalotyömaa, jonka rakenteina ovat piste- ja lamellitalo Espoon Marinkalliossa. (Kuva 1.) Kohde-teen laajuus ja käyttö käsittää yhteensä 6 porrashuonetta sekä 191 asuntoa, joista lamellitalojen taakse rakennetaan autohallin kansi, jonka valu on jaettu viiteen eri lohkoon.



Kuva 1. Arkkitehtikuva kiinteistöstä. Kuva: Anttila & Rusanen Oy.

LOHKO 1 (8A)	532m ² / 236m ³
LOHKO 2 (8B)	495m ² / 220m ³
LOHKO 3 (6A)	487m ² / 217m ³
LOHKO 4 (6B)	536m ² / 238m ³
LOHKO 5 (4A)	457m ² / 203m ³

Työkohteen vastuuhenkilöinä toimivat:

Vastaava työnjohtaja:	Markku Kuikka Peab Oy
1.lk:n betonityönjohtaja	Petri Salonen Peab Oy
2.lk:n betonityönjohtaja	Jari Sihvonen Peab Oy
Työmaan valvoja:	Janne Lahdentausta VVO
Pääsuunnittelija:	Jesse Anttila Arkkitehdit Anttila & Rusanen oy
Rakenteiden pääsuunnittelija:	Timo Luostarinen Teknokolmio Oy
Rakennesuunnittelija:	Ilkka Andersson Teknokolmio Oy
Kannen raudoitus ja punostus:	Janne Hanka Sweco rakennetekniikka
Urakoitsija:	Jussi Kälkäinen Me-Perustukset Oy
Jännitystyöt:	Lemminkäinen infra Oy

Holvi valetaan viidessä eri osassa. Holvin laudoitus aloitetaan Marinkallio 8B:n päästä ja se loppuu 4A:han. Ensimmäinen valualueen valu on viikolla 9 ja jännitys viikolla 10. Toisen valualueen valu on viikolla 12 ja jännitys viikolla 13. Kolmas valualue valetaan viikolla 15 ja jännitetään viikolla 16. Neljäs valetaan viikolla 17 ja jännitetään viikolla 18. Viides valetaan viikolla 21 ja jännitetään viikolla 22. Työt etenevät seuraavassa järjestyksessä. Kun valualueen muottityöt on saatu päätökseen, siirtyvät raudoittajat raudoittamaan holvin pohjaraudoitusta. Holvin alapinnan raudoituksen jälkeen asennetaan holville jännepunokset. Kun punokset ovat paikallaan, raudoitetaan holvin yläpinta ja valmistaudutaan holvin valamiseen. Kun jännityslupa on saatu, aloitetaan kohteen jännitystyöt.

3 JÄLKIJÄNNITETTY BETONI

Jännitetyt rakenteet ovat 1-luokan rakenteita. Työtä johtaa ja valvoo 1-luokan betonityönjohtaja, joka tuntee käytettävän jännemenetelmän.

3.1 Yleiset piirteet

Koska jänteiden sijainnin sallitut mittapoikkeamat ovat 1-luokan mukaiset, on ne asennettava tarkasti. Erityistä tarkkuutta vaaditaan ankkureiden asennuksessa, koska suurimmat jännityshuiput syntyvät niiden läheisyyteen. Jännemenetelmän käyttöselosteessa on ohjeet ankkureiden reunaetäisyyksistä ja keskinäisistä väleistä sekä ankkureiden vaatimasta lisäraudoituksesta. Jännitystyöt alkavat, kun tiedetään että betonin on saavuttanut suunnitelmissa olevan jännittämislajuuden. Ennen jännittämistä tarkastetaan kuitenkin, ettei rakenteessa ole betonointi virheitä. /1,s.556/

Rakenteiden jännittäminen pohjautuu vuosia sitten keksittyyn oivallukseen. Vastaavia oivalluksia ovat aikoinaan olleet muun muassa jousipyssy, kellonjousi ja muut jousen käyttötarkoitukset, joissa hyödynnetään jännitysenergiasta syntyviä ominaisuuksia. Rakennustekniikassa käytetään jännittämistä kivi-, tiili-, puu- ja teräsrakenteissa, mutta eniten sitä hyödynnetään betonirakenteissa. /1,s.548/

Rakenteiden jännittämisen tarkoituksena on muun muassa

- Vähentää ja poistaa vetolujuuden aiheuttamia rajoituksia ja haittoja
- Hyödyntää betonin puristuslujuutta
- Mahdollistaa pitkien jänneväljen käyttö/1,s.556/.

”Jännitetty betonirakenne on rakenne, johon on ennen rakenteen käyttöönottoa jännitetyllä raudoituksella pantu vaikuttamaan puristavia voimia edullisen jännitys- ja muodonmuutostilan aikaansaamiseksi.” /1, s. 548/

Betonia voidaan jännittää ainakin kolmella eri jännemenetelmällä: tartunnaton jänne, ankkurijännebetoni ja tartuntajännebetoni.

Tartunnatonta jännettä kutsutaan rasvajänneeksi ja se on jälkijännitettävä rakenne. Tässä jännitysmenetelmässä jänteet on suojattu rasvakerroksella ja muoviputkella. Muoviputket kuitenkin poistetaan ennen valua ja betonin kovettuttua jännitetään ja

ankkuroidaan. Kitka jää tällä menetelmällä pieneksi rasvakerroksen ansiosta ja se suojaa jänteitä myös korroosiolta. /1,s.551/

Myös ankkurijänne on jälkijännitettävä rakenne. Ankkurijännebetonissa valetta-vaan rakenteeseen on varattu kanavat jänteitä varten esimerkiksi suojaputkien avulla. Kun betoni on saavuttanut tarvittavan lujuuskehityksen, jännitetään ja ankkuroidaan kanavissa olevat jänteet. Ankkurijännemenetelmä on suosittu muun muassa siltoja rakennettaessa. /1,s.550–551/

Tartuntajännebetoni poikkeaa kahdesta edellisestä menetelmästä siinä osin, että se jännitetään ennen valua muotissa tai valualustalla ja ankkuroidaan alustan päissä oleviin kiinnityksiin. Tätä menetelmää kutsutaan esijännittämiseksi. Kun betoni on saavuttanut riittävän, suunnittelijan antaman lujuuden, jänteet vapautetaan irti kiinnityksistä. /1,s.549/

Jännemenetelmän käyttöseloste sisältää tietoja muun muassa

- Jänteiden poikkileikkausmitoista, teräslaadusta ja jännevoimista
- suojaputkista
- jänteiden tukemistavoista ja jatkoksista
- ankkureiden rakenteista, materiaaleista ja toimintaperiaatteista
- ankkureiden sijoittamisesta, etäisyyksistä, suojaamisesta ja raudoituksesta
- jännittämisestä ja injektoinnista. /1,s.551/

Edullinen jännitystila tarjoaa mahdollisuuden säästää materiaalikustannuksissa. Tavalliseen teräsbetonirakenteeseen verrattuna voi betonimenekki olla 15–30% ja teräsmenekki 60–80% pienempi.

Muita jännebetonirakenteiden etuja ovat:

- Rakenne saa hyvän korroosiosuojan jos se on jännitetty halkeilemattomaksi
- Jännitetyn rakenteen muodonmuutokset ovat pienempiä kuin jännittämättömien sekä muodonmuutokset myös palautuvat hyvin
- Koska teräsjännitykset pysyvät lähes vakiona, kestää rakenne hyvin vaihtelevia kuormia eli rakenteen väsytyslujuus on hyvä./1,s.557/

”Jänneteräksiltä vaaditaan suurta lujuutta, koska terästen kimmomoduuli on likimain vakio, saadaan korkean lujuuden omaavilla teräksillä suuret venymät. Tällöin suurempi osa raudoituksen jännityksestä on myös jäljellä betonin kutistumisen ja viruman jälkeen. Jänneteräokset ovat yleensä kylmämuokattuja tai nuorrutettuja teräksiä. Tavallisimmat lujuusluokat ovat 1570/1770 N/mm² ja 1630/1860 N/mm². Luvuista ensimmäinen osoittaa myötörajan ja jälkimmäinen murtolujuuden” /1s.552/

Tavallisimpia jänneterästuotteita ovat:

- punokset (sileästä tai kuvioidusta langasta)
- punoksista punotut vaijerit
- harjakierretangot /1s.553/

3.2 Työmaalla huomioitavaa

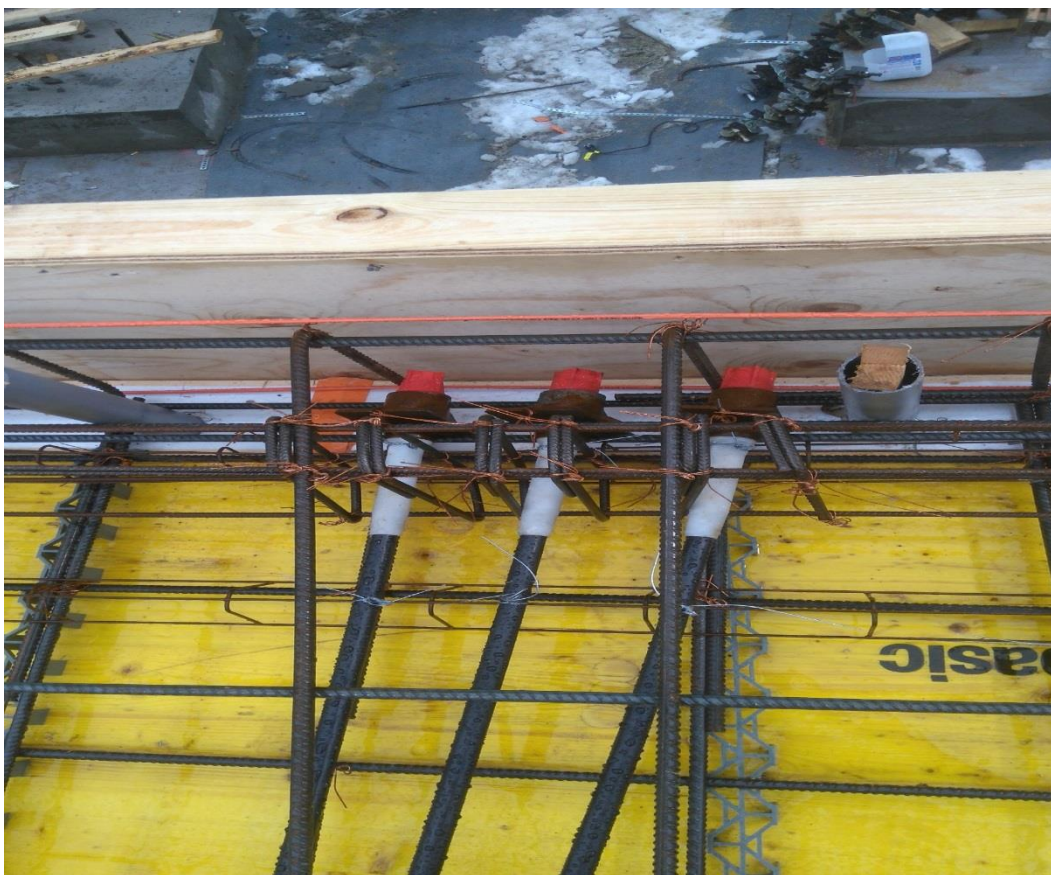
Tässä kohteessa käytetään tartunnatonta eli rasvajännitettä. Yleensäkin työmaalla ei pystytä käyttämään tartuntajännebetonimenetelmää, koska työmaalla ei pystytä asentamaan ankkureita, joita vasten jännitys tehdään ennen valua.

Kuvien yhteen sopiminen on hyvä tarkistaa ajoissa, koska punoistuksista ja holvin raudoituksesta ovat erilliset kuvat. Erityistä tarkkaavaisuutta pitää olla rakenteen päissä mihin ankkurit tulevat. Päihin pitää mahtua rakenteen raudat, jännitysteräokset, ankkurit raudoituksineen sekä Ainoastaan rakennesuunnittelija voi hyväksyä muutokset piirustuksissa. Laatan päihin tulee mahtua rakenteen raudat, jännitysteräokset ja ankkurit raudoituksineen sekä betoninormien (Taulukko 1.) määrittelemä minimisuojabetonikerros.

Jännityssuunnat ja järjestys on hyvä käydä läpi jännittäjien kanssa ennen työn aloitusta, jotta jännityksen aikana välttyttäisiin haitallisten jännitystilojen syntymiseltä. Yhden jänneen voima saa poiketa enintään 5 % ja jänneiden yhteenlaskettu voima 3 % suunnitellusta./1 s.556/

Taulukko 1. Betonipeitteen vähimmäisarvo eri rasisluokissa.

Betonipeitteen vähimmäisarvo eri rasisluokissa (by 65, taulukko 2.3)				
rasisluokka	50 vuoden käyttöiällä		100 vuoden käyttöiällä	
	betoniteräs	jänneteräs	betoniteräs	jänneteräs
X0	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm
XC1	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm
XC2	20 mm	30 mm	25 mm	35 mm
XC3, XC4	25 mm	35 mm	30 mm	40 mm
XS1, XD1	30 mm	40 mm	35 mm	45 mm
XS2, XD2	35 mm	45 mm	40 mm	50 mm
XS3, XD3	40 mm	50 mm	45 mm	55 mm



Kuva 2. Jännepunosten passiivipäät kiinnitettyinä kuvassa.

Jänteet lukitaan paikoilleen ankkureita hyväksikäyttäen, kun jännittäminen on tehty. Aktiiviankkuri (Kuva 3) sijoitetaan jänteen päähän, josta se jännitetään. Toisella puolella sijaitsee passiiviankkuri. (Kuva 2)



Kuva 3. Jännepunosten aktiivipäät kiinnitettyinä kuvassa.



Kuva 4. Jännitystunkki

Jännittäminen tapahtuu hydraulisella tunkilla. (Kuva 4.) Jännityskalustoon kuuluu myös mittauslaite, jolla mitataan jänteen voima ja venymä. Kalustoa ei saa käyttää

kalibroimatta. Työmaalla rakennetaan jännitystyöntekijöille työtaso, jotta jännitys voidaan suorittaa. /1s.556

4 TALVIBETONOINTI

Betonointi kylmänä vuodenaikana on rakentajalle haastavampaa kuin lämpimänä vuodenaikana. Talvirakentaminen lisää työmenekkiä ja rakennusmateriaalien kulu- tusta sekä viivästyttää rakentamista. Talvella koneiden ja kaluston tarve sekä ener- giankulutus ovat suurempia kuin muina vuodenaikoina.

Betonointia alle +5 C:n lämpötilassa kutsutaan talvibetonoinniksi. Betonin sitoutu- mis- sekä kovettumisreaktiot hidastuvat kylmän sään ansioista ja vastabetonoitu- neet rakenteet voivat vaurioitua pakkasesta. Talviolosuhteissa betonoinnin onnistu- minen ja rakenteiden suunnitelmien mukainen kovettuminen varmistetaan tilantee- seen hyväksi havaittuja menetelmiä käyttäen. /2 s.710/

4.1 Talviolosuhteiden vaikutus

Talviolosuhteet otetaan huomioon jo muottien ja raudoitusten yhteydessä. Betoni- normien mukaan betonimassan lämpötilan on betonoitaessa oltava vähintään +5 °C. Massan lämpötilaa valittaessa on otettava huomioon sen lämpötilan alenemiseen vaikuttavat tekijät. Massan lämpötilan alenemiseen vaikuttavat kuljetus, betonointi ja muut lämpökäsittelyvaiheet. Yli 40 °C:n lämmitetyn massan katsotaan tulleen lämpökäsitellyksi, mikä alentaa betonin loppulujuutta. /2 s.710/

Jos muottiin ja raudoitteisiin on päässyt lunta, ne tulee aina puhdistaa ennen beto- nointia. Muotteihin jäänyt lumi ja jää estävät betonimassan pääsyn kokonaan muot- tiin ja terästen ympärillä oleva jää heikentää betonin tartuntaa teräksiin. Sulatukseen käytetään usein höyrytystekniikkaa. Betonimassan omaa lämpöä ei sulatuksen voi käyttää, koska se alentaa betonin lämpötilaa ja sen vesi-sementtisuhde nou- see/2.s.710/.

4.1.1 Betonin jäätymislujuus

Betoni koostuu aina osaltaan myös vedestä. Vesi laajenee 9 % jäätyessään, joten veden jäätyminen aiheuttaa betonirakenteen sisällä rasi- tusta, jotka sen tulisi kestää rikkoutumatta.

Kovettuvan betonin lujuuden tulee olla ennen jäätymistä niin suuri, että kestää veden jäätymisestä aiheutuvat sisäiset rasitukset. Tästä vähimmäislujuudesta käytetään nimeä jäätymislujuus. Jäätymislujuus on kaikilla lujuusluokilla 5MN/m^2 . Jäätymislujuus on se raja, jonka alapuolella betonin jäätyessä sen rakenne ei kestä siihen kohdistuvaa rasitusta. Tällöin betonirakenteen loppulujuus jää vajaaksi ja muutkin ominaisuudet kärsivät.

Ennen kuin betoni on saavuttanut muottien purkulujuuden, sitä ei päästetä jäätymään. Muiden työvaiheiden eteneminen voi aiheuttaa kovettuvan betonin lämpimänä pitämisen vaikeaksi, jolloin se voi jäätyä. Jäätymistä ei kuitenkaan missään olosuhteissa saa tapahtua ennen kuin betoni on saavuttanut jäätymislujuuden./1 s.344–345/

4.1.2 Lämpötilan vaikutus betonin lujuuskehitykseen

Sitoutumisaika ja hydrataatioreaktioiden nopeus riippuvat pitkälti betonin lämpötilasta. Kun betonin lämpötila nousee, sen sitoutumisaika lyhenee ja hydrataatioreaktion nopeus kasvaa. On todettu, että $10\text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilan nousu kiihdyttää kovettumisreaktion noin kaksinkertaiseksi lämpötilan ollessa lähellä huoneen lämpötilaa. Hydrataatioreaktiota ei kuitenkaan voida kiihdyttää rajattomasti lämpötilaa nostamalla. Käytännön suosituksena voidaan pitää, että yli $50\text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötiloja ei kannattaisi käyttää.

Betonin lujuus todetaan yleensä betonissa olevien lämpötilamittarien avulla. Mittaukseen käytetään perinteisiä lämpötilamittareita, joilla mittaaminen tapahtuu betoniin asetetuista putkista tai elektronisilla mittareilla betoniin asennettujen antureiden avulla. Mittaamisessa otetaan huomioon mittausajankohta ja mittapisteen sijainti. Mittapistet on sijoitettava niin, että saadaan mahdollisimman tarkka kuva betonin lämpötiloista sen kylmissäkin osissa. Lujuuden kehityksen seurantaan on myös kehitetty tietokoneohjelmia. Ohjelma arvioi betonin lujuuden betonin valulämpötilan, betonoitavan kohteen mittojen ja suojauksen sekä ulkoisen sään perusteella.

Koostumukseltaan määrätyn betonin lujuutta voidaan arvioida kovettumislämpötilaan ja aikaan perustuvien kypsyysastelaskelmien ja käyrien avulla. Sama kypsyysaste antaa saman lujuuden.

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

$$N = k (T+10 \text{ °C}) * t \quad (1)$$

Missä T on betonin lämpötila aikana t (°C)

t on kovettumisaika (d)

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

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

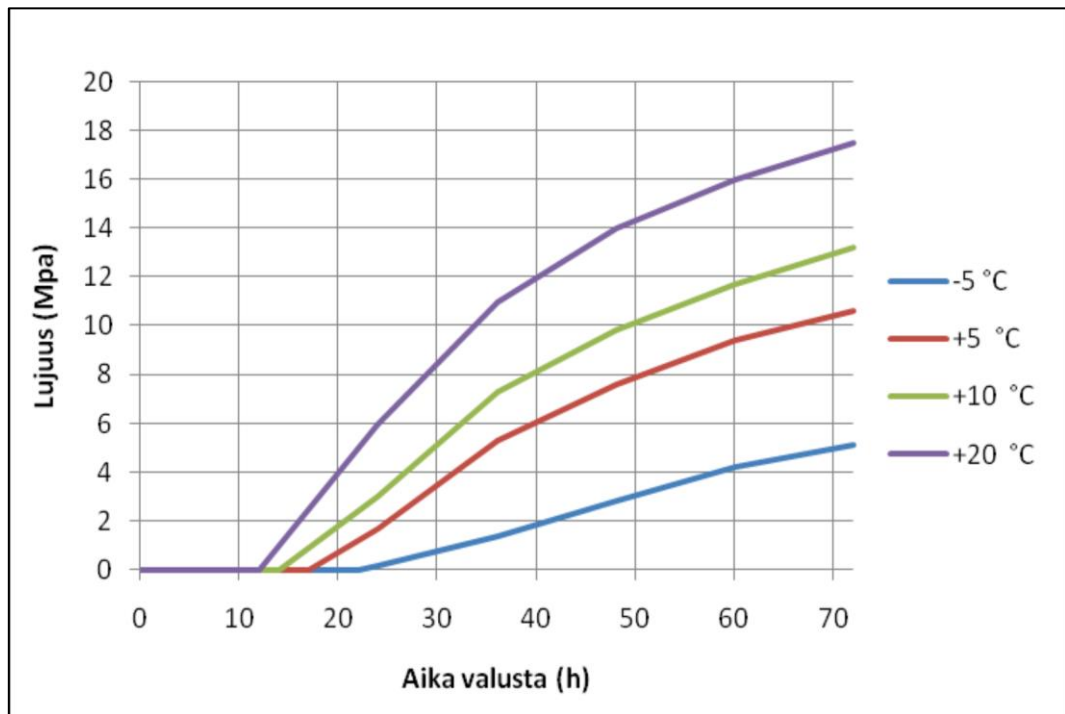
$$k = 0 \text{ kun } T < -10 \text{ °C}$$

Nykäsen menetelmä on kuitenkin karkea ja vanhentunut. Tulokset ovat yleensä vain suuntaa antavia ja korkeissa lämpötiloissa paikkaansa pitämättömiä. Menetelmässä käytetään vanhoja kypsyyskäyriä, jotka ovat jo vanhentuneet. Ne antavat liian pieniä alkulujuuksia, sillä nykyiset suomalaiset sementit ovat lujuudenkehityksen alussa vanhoja sementtejä huomattavasti nopeampia.

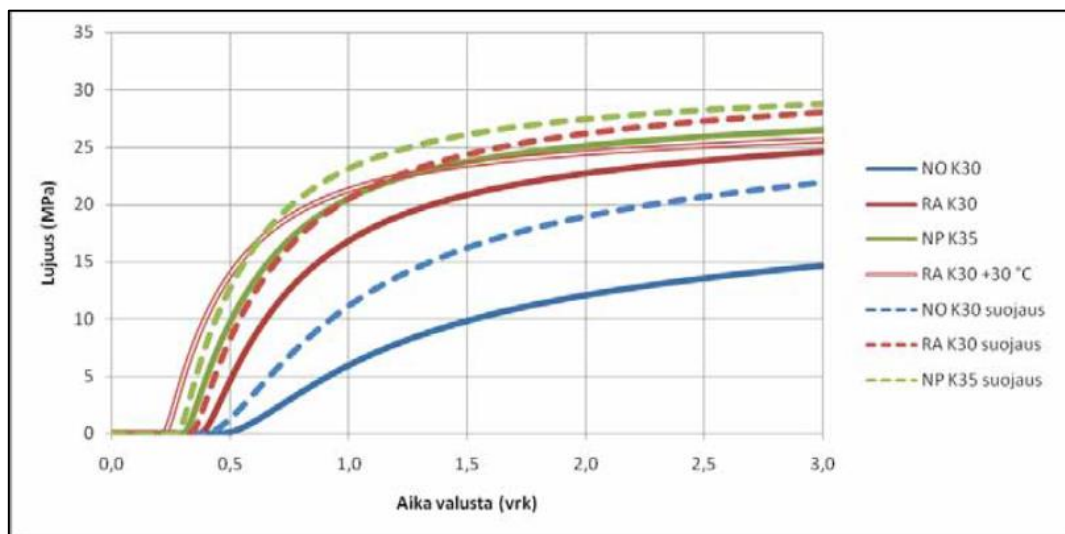
Tarkempi ja luotettavampi kypsyysiän laskenta kaava on Sadgroven kaava. Tällä kaavalla pystytään vaihtelevissa lämpötiloissa oleva betoni muuttua vastaamaan kypsyysikää +20 °C:n lämpötilassa (t_{20}).

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

Missä T , on lämpötila (°C), jossa betoni on ajan t (d); nämä lämpötila-aikajaksot summataan yhteen. Tulos saadaan suoraan, jos betonin kovettumisvaiheen lämpötila on kokoajan vakio. Jos lämpötila vaihtelee, pitää jokainen eri lämpötila laskea kyseisellä kaavalla ja summata kaavan antamat tulokset yhteen./1 s.350–352/



Kuva 5. 260mm paksun välipohjan lujuudenkehitys laatan keskiosassa eri ympäristön lämpötiloissa. Betonimassa K30 #16 mm S3./3/



Kuva 6. 300mm paksun paikallavaluholvin lujuudenkehitys, kun ilman lämpötila on -5 °C, muottivaneri 22mm./3/

4.1.3 Muottien purkaminen

Muotit ja tukirakenteet voidaan purkaa siinä vaiheessa, kun todetaan betonin saavuttaneen sen purkamislujuus. Purkamislujuus voidaan määrittellä siten, että betonirakenne on kovettunut siinä määrin, että sen rakenne kestää sille tulevat rasitukset ja rakenteen muodonmuutokset pysyvät sallituissa rajoissa.

Purkamislujuuden mittavuus riippuu

- rakenteen toimintatavasta ja betonin nimellislajuudesta
- muottien tukemismenetelmästä sekä varatukien hyödyntämisestä
- muottien purkamishetken ja sen jälkeen aiheutuvasta rakennetta rasittavasta kuormituksesta suhteessa suunnittelukuormitukseen.

Muotit puretaan työmaalla tehdyn purkusuunnitelman mukaan, jossa on lueteltuna muottien purkamisjärjestys ja tarvittaessa rakenteen varatuenta. Muotteja purkaessa rakenteeseen kohdistuu haitallisia taipumia ja näitä pyritään ehkäisemään muottien purkamisen yhteydessä asennetuilla varatuennoilta. Jäätynyttä muottia purettaessa purkaminen rikkoo herkästi sekä muotin, että betonin pinnan. Tästä syystä muotit pitäisi aina pyrkiä purkamaan yli 0 °C.

Betonin nimellislajuudeksi sanotaan sitä betonin lujuusluokkaa, jonka mukaan rakenne on suunniteltu. Muottien purkamiseen ja muihin työvaiheisiin liittyy yleensä myös lämmityksen keskeytyminen. Jokainen keskeytys vaikuttaa betonin nimellislajuuden saavuttamiseen, joten on syytä valvoa tarkasti, että rakenteilla on nimellislajuus ennen kuin käyttöönotto aiheuttaa niille täyden kuormituksen.

Kantavien tukirakenteiden muotit voidaan purkaa, kun betonin on saavuttanut vähintään 60 % sen nimellislajuudesta, ellei kohteen piirustuksissa toisin mainita tai erillisselvitystä tehdä. Lujuuden arvo määräytyy purkamishetkellä olevien kuormitusten perusteella kaavasta (3).

$$K_m \geq (K \times F) \div F_k \quad (3)$$

Missä K_m on keskilujuus purkamishetkellä

K on nimellislajuus

F on työn aikainen kuormitus

F_k on suunnittelukuorma (ominaiskuorma)

”Viranomaisohjeiden mukaan on muottien purkamislujuuden arvon aina oltava vähintään 60 % nimellislujuudesta ” eli

$$K_m \geq 0,6K / 1 \text{ s.348-349/}$$

4.2 Lämmitysmenetelmät

Betonimassan lämmitys tulee suunnitella niin, että lämpötila on mahdollisimman tasainen koko rakenteessa. Kylmien rakennusosien ja reuna-alueiden lämmitykseen ja suojaamiseen pitää kiinnittää erityistä huomiota. Lämmitysmenetelmiä ovat:

- lankalämmitys
- muottilämmitys
- infrapunasäteilylämmitys sekä
- kuumailmalämmitys
- lisäksi voidaan käyttää kuumabetonia tai pakkasbetonia /2s.710/

4.2.1 Lankalämmitys

Lankalämmityksessä betonivalun sisään asennettava lämmityslanka tai- kaapeli lämmittää suoraan betonia. Lämmityslankojen kanssa käytetään muuntajia, jotka alentavat työmaanjakokeskuksen kolmivaihevirran suojajännitteeksi/4 s.45/. Lämmityskaapeli liitetään lämmityskaapelin toisesta päästä valovirtapistotulpalla verkovirtaan (230V). Lankalämmityksessä kaapeli toimii valujen sisällä vastuskaapelina. Käytön aikana vastuslangan sisäosa lämpiää noin 200 °C asteeseen. Kaapelin pinnalla oleva eristekerros suojaa lämmityskaapelin sisäosaa ja alentaa lämpötilan lämmityskaapelin eristeen pinnalla noin 60 °C asteeseen. Kaapelit asennetaan betonivaluun(Kuva 7) sen raudoitusta hyväksikäyttäen.

Lankalämmitys soveltuu hyvin muun muassa pilareiden, anturoiden, palkkien, ulokkeiden ja lattiavalualueen reuna-alueiden lämmitykseen. Betonin kaapelilämmitystä ei suositella avoimiin, suojaamattomiin laajapintaisiin rakenteisiin. Suojaamattomissa laajapintaisissa rakenteissa lämpötilaerot saattavat aiheuttaa halkeiluriskin etenkin ohuissa rakenteissa.

Lämmityskaapelin etuna on, että kaapelien avulla pystytään kohdistamaan lämmitys tarkasti haluttuihin rakenteisiin ja sen osiin. Muottikierto nopeutuu, kun betoni

saadaan saavuttamaan haluttu lujuus nopeammin. Koska lämpö tuodaan rakenteeseen sen sisältä, niin lämpötila saadaan kohoamaan kohtuullisella energiamäärällä ilman, että lämmitetään muita rakenteita tai tiloja. Kaapelit on myös nopea ja helppo asentaa ja sen voivat tehdä omat työntekijät./3/



Kuva 7. Anturamuottiin asennetut lämmityskaapelit.

4.2.2 Muottilämmitys

Muottilämmityksessä käytetään lämpöeristettyjä suurmuotteja, kuten pöytä- ja seinämuotteja. Näissä lämpö siirtyy muottipinnan läpi betoniin muottipinnan ja eristeen väliin asennettujen vastuslankasilmukoiden tai lämpövastuksien avulla. Pintalämpötilaa ohjataan termostaattilla.

Muottilämmityksessä muottien sulattaminen ja lämmitys on mahdollista tehdä kytkemällä lämmitys osateholle jo ennen betonointia. Tarkkaavaisuutta tilanne kuitenkin vaatii, koska muottipinnan lämpötila ei saa olla niin korkea, että betonin nopea kovettuminen pinnan lähellä aiheuttaa hilseilyä muotin purkuvaiheessa.

Pöytä- ja suurmuottilämmityksessä käytetään apuna myös lankalämmitystä.

Lämmitettävien muottien etuja ovat sen helppokäyttöisyys ja varmatoimivuus. Haittapuolena pidetään sen käyttökelpoisuutta. Lämmitettävät muotit eivät nimittäin toimi lämmitysmuotoina kohteissa, joissa käyttökertoja on vähän, joten käytön kustannustehokkuus edellyttää suurta valukertamäärää samalle muotille./4 s.49/



Kuva 8. Suurmuotti

4.2.3 Infrapunasäteilylämmitys

Infrapunasäteilylämmitys perustuu lämmön siirtämiseen säteilyllä, joka lämmittää muottia ja betonipintaa. Infrapunasäteilijät ovat joko kaasu-, öljy- tai sähkölämmitteisiä. Infrapunasäteilylämmitys soveltuu laaja-alaisten ja suhteellisen massiivisten rakenteiden lämmitykseen. Rakenteiden tulee olla hyvin lämpöeristettyjä ja suojattuja. Lämmityksessä on aina otettava huomioon kuumien säteilijöiden ja polttoaineen aiheuttama palovaara. Esimerkiksi lautamuotille säteilijä ei sovellu, koska lämpötilan noustessa yli 80 °C asteen voi muotti syttyä palamaan.

Erityisesti nestekaasua käytettäessä pitää huolehtia viranomaisten määräysten noudattamisesta. Kaasusäiliötä ei saa sijoittaa maanpinnan tason alapuolelle, suljettuihin tiloihin eikä säiliön viereen saa varastoida mitään 20 metrin säteellä.

Infrapunalämmitystä voidaan käyttää myös muun muassa:

- Sääsuojien- ja hallien lämmityksessä
- liukuvalussa
- pintakäsittelyissä
- roudan sulatuksessa
- elementtiteollisuudessa/4 s.44/

Infrapunasäteilylämmittimien (Kuva 9.) etuina voidaan pitää niiden hyvää suunnattavuutta ja oikeanlaisella käytöllä siitä saadaan edullinen ja tehokas lämmitysvaihtoehto.



Kuva 9. Kaasusäteilijä

4.2.4 Kuumailmalämmitys

Kuumailmalämmityksessä lämmitetään ilmaa, joka lämmittää näin ollen sitä ympäröivää tilaa ja pintoja. Erityistä huomiota tarvitaan tilan tiivistämiseen ja eristämiseen ympäröivästä ilmasta, jolloin lämmitys pystytään toteuttamaan kustannustehokkaasti.

Ilman lämmityksessä käytetään joko öljy-, kaasu-, sähkö- tai kuumavesikäyttöisiä kuumailmapuhaltimia (kuva.10). Koska suurin osa näistä tuottaa palamisreaktionsaan palamiskaasuja ja -hiukkasia, jotka ovat myrkyllisiä, pitää kaasujen poistamiseksi tilaan järjestää kunnollinen tuuletus.

Kuumailmalämmitystä käytetään pääosin vaakarakenteiden lämmityksessä, joh-
tuen lämpimän ilman kohoamisesta ylöspäin sekä tilapäisinä lämmittiminä erityis-
kohteissa muottien purkamisen jälkeen./4 s.43/



Kuva 10. Hallipuhallin

4.2.5 Pakkas- ja kuumabetoni

Toisin kuin suurin osa muista betonilaaduista, pakkasbetoni ei vaurioidu jäätyes-
sään ennen jäätymislujuuden saavuttamista. Pakkasbetonin lujuudenkehitys hidas-
tuu pienellä pakkasella, mutta se ei pysähdy vasta kuin -10 °C asteessa.

Pakkasbetonia käytetään pääosin elementtien saumavaluissa. Pakkasbetonia ei suo-
sitella kohteisiin, joissa on suolarasitusta tai rakenne edellyttää säänkestävyyttä.
Pakkasbetonia ei saa käyttää XF-rasitusluokan rakenteissa. /4 s.22/

Kuumabetoni on betoniasemalla lämmitetty normaalisti toimitettavaa betonia kuumemmaksi. Näin saadaan nopeutettua betonin lujuudenkehitystä ja pienennetään työmaalla tapahtuvaa lämmitystarvetta.

Kuumabetonin nopean lujuuskehityksen sekä sementin reaktion kiihdytyksen saa aikaan sen lämpötila, joka on korkeimmillaan heti sen alkuvaiheessa. Massan haluttu lämpötila saadaan aikaan betonivalmistajan tehtaalla, jossa valmistaja antaa automatiikalle massan halutun lämpötilan. Automatiikka laskee runkoaineen tarvitseman lämpömäärän lämpöyhtälöiden avulla, kun kuuman veden ja sementin lämpötilat ovat tiedossa.

Työmaalla kuumabetonia käytettäessä on ennakosuunnittelu tärkeää, jotta kuuma-betonin ominaisuuksista saadaan maksimaalinen hyöty irti. Tärkeintä on estää betonin lämpötilan alentuminen, jotta betonin lujuudenkehitys ei kärsi. Esimerkiksi valun lämpösuojaus on hyvä suunnitella etukäteen. Rakenteisiin, joissa on kylmä-siltoja, on hyvä tehdä lisälämmityssuunnitelma.

Kuumabetonin huonoina puolina voidaan mainita seuraavia asioita:

- Kuumabetonin työstettävyyensaika on lyhytaikaisempi kuin normaalilämpöisellä betonilla johtuen sen korkean lämpötilan aiheuttamasta jäykistymisestä
- Ei sovellu massiivisten rakenteiden valuun
- Kuuma betonin lämpöenergian täysi hyödyntäminen vaatii paljon ennakosuunnittelua ja virheettömiä työvaiheita /1 s.372–377/

5 TYÖTURVALLISUUS

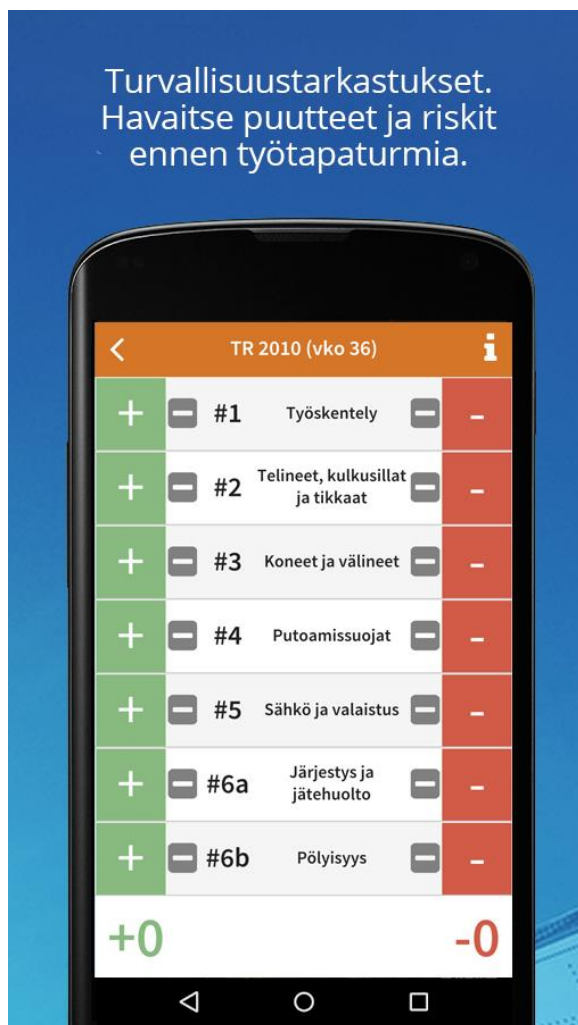
Työmaalla työturvallisuus on tärkein asia ja siihen kiinnitetään paljon huomiota. Työtaturmien ehkäisy vaikuttaa positiivisesti työmaan tulokseen ja työntekijöiden hyvinvointiin. Kun työympäristö on turvallinen, saadaan työtkin tehtyä hyvin, laadukkaasti ja tehokkaasti. Työmaan henkilökohtaisiin turvallisuusvaatteisiin kuuluu kypärä, turvakengät, huomiovaatetus sekä silmäsuojaimet. Riippuen työn luonteesta myös viiltosuojahanskat sekä kuulosuojaimet kuuluvat työntekijän varusteisiin.

Tällä työmaalla kypärä, lasit, huomiovaatetus ja kengät on oltava koko ajan päällä. Lisäksi jokaisella työmaalla työskentelevällä tulee olla veronumerollinen henkilötunniste ja voimassa oleva työturvallisuuskortti. Tulityöluvat myöntää erikseen työmaalla Peabin työnjohto.

5.1 TR-mittaus

Peabin työmaalla Espoon Marinkalliossa yksi työnjohtaja tekee joka viikko työmaalla Työturvallisuus ja Riskien hallinta -mittauksen. Työmaalla on käytössä tabletti, jossa ohjelma nimeltä Congrid tarjoaa TR-mittauspalvelun. Työnjohtaja kiertää koko työmaan ja merkitsee Tablettiin oikein/väärin merkintöjä. Ohjelmassa on jaoteltuna työmaan turvallisuuteen liittyvät asiat. (Kuva 11) Ohjelma laskee automaattisesti mittaustuloksen, joka lasketaan kaavalla

$$\text{TR-taso} = \frac{\text{OIKEIN (KPL)}}{\text{OIKEIN + VÄÄRIN (KPL)}} \times 100 = \text{___ \%}$$



Kuva 11. Congrid-sovelluksen tarjoama TR-mittaus.

Mittauksen tulos laitetaan urakoitsijoiden kuitattavaksi omien vastualueiden virheiden mukaan. Tulos laitetaan myös ilmoitustaululle kaikkien nähtäväksi ja käsitellään viikko- ja aliurakoitsijapalaverissa. Tällä työmaalla pyrimme saamaan mitaustulokseksi vähintään 92 %.

5.2 Perehdytys

Jokainen työmaan uusi työntekijä perehdytetään työmaahan ennen töiden aloittamista. Perehdytyksen suorittaa Peabin työnjohto. Perehdytyksessä käydään läpi työmaan tilat, työturvallisuus eri työvaiheissa sekä työmaan käytännöt. Perehdytykseen saapuva työntekijä saa myös työvaihekohtaisen ohjeistuksen työturvallisuuden näkökulmasta. Peabilla on käytössä oma perehdytysmateriaali, joka käydään läpi perehdytettäessä uutta työntekijää.

5.3 Putoamissuojaus

Korkealla työskennellessä on putoamisen ja horjahtamisen vaara aina suuri. Näin ollen eri työvaiheille tehdään yleensä oma työturvallisuussuunnitelmansa. Putoamissuojaus toteutetaan oikeanlaisilla työtasoilla, suojakaiteilla (kuva 12), aukkosuojilla sekä suojaverkoilla. Putoamissuojausten kuntoa tarkkaillaan työmaalla päivittäin ja niistä tehdään merkintä joka viikkoiseen tr-mittaukseen. Turvalajaita käytetään esimerkiksi holvilla, kun asennetaan turvakaiteita tai siinä tapauksessa, kun työvaiheeseen ei ole mahdollista saada asennettua asianmukaisia putoamissuojauksia. Valjaiden tulee olla kiinnitettynä kelautuvaan tarraimen tai vaimentimeen ja säätötarraimen, jotka ovat luotettavasti kiinnitettynä kiinteään rakenteeseen. Jos työmaalla havaitsee putoamissuojauksissa puutteita, on siitä ilmoitettava heti työjohtolle. Jokainen on vastuussa omasta ja muiden työturvallisuudesta./5 s.39–40/



Kuva 12. Holvin putoamissuojaus

5.4 Muut vaarat

Talvella tulee kiinnittää huomiota kulkuväylien, tasojen, rakenteiden ja telineiden liukkauteen. Näiden hiekoitus ja lumenpoisto on elintärkeää ja niistä on hyvä pitää

erikseen myös oma palaverinsa työmaalla työskentelevien kanssa. Palaverissa on hyvä käsitellä eri riskitekijöitä ja sopia vastuualueita eri työryhmien kesken.

Opinnäytetyössä käsiteltävän holvin liukkaus torjuttiin puhdistamalla holvi lumesta aina ennen töiden aloitusta sekä sinne johtavat kulkuväylät hiekoitettiin.

Kohteen betonointityössä riskinä ovat valmisbetonin tai muotti öljyn silmiin meneminen. Pilareiden pystyteräksiin asennettiin varokkeet, jotka estävät kehon lävistymisen (kuva 13).



Kuva 13. Varokkeet

5.5 Liikenne

Jos työmaa alueen ajoväylillä sijaitsee esimerkiksi paineviemäreitä tai muita, jotka vaativat yläpuolelle vahvistuksia, on niiden kestäminen liikenteen näkökulmasta varmistettava. Purkupaikkojen tulee olla tarpeeksi tilavia ja esimerkiksi aluesuunnitelmaan piirrettyjä. Tällä työmaalla paineviemärit on merkattu aluesuunnitelmaan

ja niiden yläpuolelle on asennettu teräs sillat. Holvia betonoitaessa, on ulkona yksi työnjohtaja ohjaamassa liikennettä ja vastaamassa, että kaikki menee sovitun mukaisesti. Koska holvin betonointi on kriittinen työvaihe, on betonitehtaalle lähetetty muutama työpäivä ennen, autojen ajoreitit ja purkupaikat sekaannusten välttämiseksi.

6 TEHTÄVÄSUUNNITELMAN SISÄLTÖ

Työmaan lisätiedot tarkistetaan. Niissä tulee ainakin olla työmaan toimintasuunnitelma, tavoitearvio, riskikartoitus, laadunvarmistusmatriisi, alustava jännityssuunnitelma, rakennussuunnitelmat sekä muottitöitä, raudoituksia ja valmisbetonia koskevat sopimukset.

6.1 Aloitusedellytykset

Kohteen betonointitöistä pidetään aloituspalaveri, jossa käydään läpi työvaiheen laatuvaatimukset, vastuualueet, aikataulut, suunnitelmat, työturvallisuus sekä epäselvät asiat.

Jännitys- ja raudoitussuunnitelmat laaditaan suunnittelijan rakennesuunnitelmien pohjalta. Maanrakennustöiden loppuun saattaminen edeltä, jotta saadaan riittävästi tilaa urakoitsija muottikalustolle. Länsiväylän puoleisen maanpainesinän vierustäyttö metrin korkeuteen tulee olla tehtynä, jotta saadaan tehtyä lipan muottityöt. Muotti tehdään tältä osin samalla noin metrin leveämmäksi, niin pääsemme hyödyntämään tätä jännitystöiden telineenä. Elementtiseinien yläpinnan ja laatan väliin tulevat laakerit tulee olla asennettuna ennen raudoitustöitä. Jännitys- ja raudoitussuunnitelmat tulee olla toimitettuna suunnittelijalta. Muottityö- ja betonointisuunnitelmat tulee olla toimitettuna urakoitsijalta kannen osalta. Lämmityksen suunnittelun kannen osalta hoitaa pääurakoitsija.

6.2 Työn sisältö ja lopputila

Tarkistetaan työn sisältö:

- Perustusten muottityöt, raudoittaminen ja valu. Seinäelementtien asennus, pysty-sauma- ja juurivalut.
- Holvin muottityöt, alapinnan raudoitus, jännitettävien punosten levitys, yläpinnan raudoitus, kannen betonointi ja jännitys.
- Työturvaverkkojen asennus yläpinnan raudoituksen jälkeen yläpinnan raudoituksen väliselle alueelle.
- Autokannen valu on erottaminen viiteen eri valualueeseen liikuntasaumoin.
- Betonin lujuuden tarkkailu ennen kannen jännitystöitä (kovettumisolosuhteet/jälkihoito).
- Jännitystöiden sisältö.

- Muottien purku sekä niiden tuennan varmistaminen
- Betonin lujuudenkehityksen seuranta ennen jännitystöiden aloittamista.

Todetaan mikä pitää olla lopputila: autokannen perustukset valettu, seinäelementit asennettu, juuri- ja pystysaumavalut tehty, autokansi on valettu ja jännitystyö suoritettu hyväksytysti. Maanvarainen laatta on valettu ja jälkihoito on tehty.

6.3 Työvaiheiden laadunvarmistus

Työvaiheiden laadun varmistukseen kuuluu betonin laadun varmistus, työryhmäkoon määrittäminen, aikataulut ja työvaiheiden kuvaus.

- Betonin laadunvarmistus: Lujuuden kehityksen seurannasta vastaa Peab Oy/Mbr. Koekuutiot puristetaan 5 vuorokauden ikäisinä. Kun seurannan perusteella betoni on saavuttanut jännityslujuuden, niin jännitystyö voidaan aloittaa. Betonin lujuus C35/45-1, rasitusluokka XC1, betonin rae-
koko 32mm, suunnittelukäyttöikä 100v sekä notkeus S3.
- Työryhmät
 - Perustukset 3RAM
 - Elementtiasennus ja juurivalu 3RAM
 - Kannen muottityöt 3RAM + raudoitus 2-4Ram
 - Kannen valu 6RAM
 - Jännitystyöt 2RAM
- Työvaiheiden aikataulut
- Pilarin kohdalla teräksien ja jänteiden mahtuminen: Oikea työjärjestys pilarin kohdalla ja hakojen asennus oikeassa vaiheessa
- Pilarin kohdalla punosten sijoittaminen korkeussuunnassa: Oikeat pukkikotot ja huolellinen työote
- Holvin päädyissä vaijeriryhmien tarkka sijoitus leveys- ja korkeussuunnassa: Huomioidaan elementin/laatan välinen 60mm pystyvaraus vaijerikoppin asennuksessa

- Materiaali siirrot: Betoni siirretään kohteeseen kahta pumppua käyttäen. Koska alue on suuri, on betonitehtaan kanssa pidetty betoniautojen saapumisesta erillinen palaveri ja sovittu niistä selkeä aikataulu. Tehtaalle ilmoitetaan viimeistään kahta työpäivää ennen valua, pumppujen ja betoniautojen reitit ja purkupaikat.
- Tuentasuunnitelma: Tuentasuunnitelmasta poiketen holvitukien alla käytetään 50x125 lankkuja ja kolmijalkojen alla 200x200x15 vanerilappuja sepe-lipohjasta johtuen.
- Valun aikaisen painumisen estäminen: Terästuet asennetaan sepelin päälle joten jokaisen terästuen alla tulee olla tarkoituksen mukaiset koolaukset ja vanerilaput. Ennen betonoinnin aloitusta tarkastetaan, että jokainen holvituki on kiristetty ja holvin alapinnan korko on oikea. Valun jälkeisenä päivänä tarkastetaan, että jokainen holvituki on kiristetty ja holvin alapinnan korko on oikea.
- Valun aikaisen sivuttaisen siirtymän estäminen: Vapaan reunan suuntaan reivataan käyttötarkoituksen mukaisin ketunraudoin puutavaralla. Muilla sivuilla elementtitukia ei poisteta ennen kuin holvi on betonoitu.
- Lujuuskehityksen seuranta: Lujuudenkehitystä seurataan lämpöantureilla, joista tehdään väliluku 3 päivän kuluttua betonoinnista. Tehtaalta tilataan erillinen logger-järjestelmä. Valuun asennetaan myös muutama oma lämpöanturi
- Tiivistyskaluston tehokkuus on riittävä valunopeuteen nähden. Betoni tiivistetään huolellisesti ja järjestelmällisesti täryttäen siten, että massa tiivistyy kauttaaltaan ja jokainen uusi massakerros sekoittuu hyvin aikaisemmin valettuun massaan. Laatan päissä käytetään sirompia täryttimiä johtuen siellä olevasta tiheästä raudoituksesta.
- Jälkihoito: Hierron jälkeen laatan pintaan sirotetaan jälkihoitoaine. Kun laatan pinta kestää, rakenne suojataan muovipeitteellä ja pidetään kosteana vähintään 7vrk. Valu suojataan pakkasmatolla heti kun se on mahdollista.
- Työnaikainen suojaus: Työnaikainen suojaus toteutetaan lainapeittein säiden niin vaatiessa. Tarvittaessa höyrytetään muotit ja raudoitteet.

- Kannen alapuolen ja reuna-alueiden lämmitys: Hallin aukinaiseen päähän ja lipan reunalle asennetaan sääsuojaus. Kannen alapuoli lämmitetään heatmobililla(kuva 14.) ja reuna-alueet langoitetaan kovetuskaapeleilla 200mm välein.



Kuva 14. Heatmobil

- Muottien purkaminen: Jännityslujuus on 67 % suunnittelulujuudesta. Jännityksen jälkeen muotit puretaan.
- Työturvallisuus: Holville asennetaan suojakaiteet, tikkaat ja kulkusillat määräyksien mukaisesti. Mahdolliset aukot toisella holvialueella peitetään ja lumet poistetaan liukkauden torjumiseksi.
- Työmaan liikenne on suunniteltu niin, ettei työmaan muu logistiikka häiritse betoniautojen ja pumppujen ajoa. Betoniautojen ja pumppujen ajoreiteistä tehdään erillinen kartta, johon merkitään pesupaikat ja kulkusuunnat.

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Talviolosuhteet tuovat mukanaan paljon riskejä betonoinnin ja työturvallisuuden näkökulmista. Työt tulee suunnitella alusta loppuun huolellisesti, jotta haluttuun lopputulokseen päästään onnistuneesti. Kun talvella valettavan betoniholvin käyttöikä suunnitellaan pitkäksi, pieniinkään virheisiin ei ole varaa. Jokainen työvaihe ja työsuoritus tulee käydä tarkkaan lävitse ja riskit on kartoitettava huolellisesti. Esimerkkinä voidaan pitää holvin valua, joka täytyy suorittaa alusta loppuun keskeytyksittä. Valu saatiin onnistumaan, mihin merkittävästi mielestäni vaikutti betonautojen ajoreittien ja aikataulutuksen perusteellinen suunnittelu. Lisäksi aliurakoitsijat hoitivat valutyöt asiaankuuluvalla ja vaadittavalla ammattitaidoilla.

Jälkijännitetyn betoniholvin tekeminen on työlästä, ja tekijöiden on tunnettava työtavat ja menetelmät hyvin. Suurimpina haasteina talvella valettavan jälkijännitetyn betoniholvin laadunvarmistuksessa ovat lämmityksen järjestäminen ja sen onnistuminen. Holvin paksuus vaihteli 280 millimetrin ja 560 millimetrin välillä, joten lämmitys oli suunniteltava tarkkaan lämpötilaerojen välttämiseksi. Holvin keskiosan lämmitys saatiin onnistumaan Heatmobililla hyvin, mutta se edellytti herkeämätöntä tarkkaavaisuutta reuna-alueiden lankojen sijoittamisessa. Yksi tärkeimmistä laadunvarmistusmenetelmistä oli holvin lämpötilan seuraus sen eri puolilla. Seurauksen avulla saimme tarkan ja yksityiskohtaisen kuvan betonin lujuuskehityksestä ja näin ollen jännitystyöt voitiin aloittaa /6/. Peab Sihvonen 2017/.

Holvin muottipinta ja raudat täytyi pystyä pitämään sulana jäästä sekä lumesta. Holvi puhdistettiin lumesta joko höyryttämällä tai lehtipuhaltimella puhaltamalla. Talviaikana valun pinta oli tärkeää suojata lämmön haihtumisen estämiseksi sekä laatan pinnan ja pohjan lämpötilojen kohoamisen hillitsemiseksi. Valun jälkeen holvi peitettiin pakkasmatoilla ja lainapeitteillä /6/ Peab Sihvonen 2017/.

Jälkijännitetyn rakenteen suurimmaksi hyödyiksi todettiin pienempi rautamäärä, työmäärä ja aikataulu. Koska rautamäärä oli pienempi kuin normaalien teräksien kanssa, taloudellisia hyötyjä saavutettiin. Nopea työnteko ja pienempi työmäärä edesauttoivat yleisaikataulussa pysymistä. /6/ Peab Sihvonen 2017/.

Tärkein johtopäätökseni on, että työturvallisuusasioihin on syytä perehtyä tarkkaan ja huolellisesti. Talviaikana rakennustyömailla piilee sellaisia vaaroja, joista ei kesäaikana tarvitse kantaa huolta. Tästä syystä pidimme työmaalla työntekijöiden kanssa erillisen työturvallisuuspalaverin, jossa käsiteltiin liukkaita ja sen torjuntaa. Kun työmaa jaettiin lohkoihin ja vastuutettiin järjestelmällisesti, välttyttiin turhilta kaatumisilta ja sairauslomilta. Työturvallisuuden kehittämiseksi tehdyt panokset poikivat sekä taloudellisia että laadullisia hyötyjä.

Tämä opinnäytetyöprojekti on kasvattanut omaa ammattiosaamistani sekä ammatillista itsetuntoani. Haastava aihe oli lopulta palkitseva. Työn edetessä oli hienoa huomata kuinka teoria konkretisoitui käytännöksi. Lopuksi haluan kiittää Peabin Marinkallion työnjohtoa kaikesta saamastani tuesta ja ohjaamisesta tätä opinnäytetyötä tehdessä.

LÄHTEET

/1/Mannonen, R.2004. Betonitekniikan oppikirja. Helsinki. Suomen Betonitieto Oy

/2/ Koskenvesa, A.2013. Rakennustieto. Talvirakentaminen. Viitattu 10.4.2017. www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK99s697.pdf

/3/Hämäläinen. J., Manninen. P.2011. Betonin lämmittäminen talvivaluissa. Helsinki. Betoniyhdistys Ry, Rudus Oy. Viitattu 10.4.2017 www.rudus.fi/Download/23944/Betonin%20lämmittäminen%20talvivaluissa.pdf

/4/ Sahlstedt, S., Koskenvesa, A., Lindberg. R., Kivimäki. C., Palolahti. T., Lahtinen. M.2013 Talvibetonointi. Helsinki. Betoniteollisuus

/5/ Ratu KI-6027 Rakennushankkeen työturvallisuus

/6/Sihvonen, J. 2017. Työnjohtaja. Peab Oy. Haastattelu 20.4.2017.

LITTEET

Liite1.Valu 1 Jännityspöytäkirja

JÄNNITYSKAAPELEIDEN YHTEENVETO		Sivu <u> 1 </u>
<p>SWECO RAKENNETEKNIikka OY ILMALANPORTTI 2 00240 HELSINKI PUH 0207 393 300</p>		
<p>TYÖNUMERO 22702991</p>		
KOHDE	<p>AS OY ESPOON MARINKALLIO 4,6,8 MARINKALLIO 4,6,8 02320 Espoo</p>	
JÄNNEMENETELMÄ:	<p>MK4 Tarttumattomat jänteet Jännepunos SFS 1265-3-Y-1860-S-7-15.7-R1</p>	
KAAPELITYYPPI:	<p>F 15,7 mm Y1860 S7 1640/1860</p>	
	<p>Ap = 150 mm² Lukitusliukuma 6 mm</p>	
	<p>ALKUJÄNNITYS Po = 0 kN - LOPULLINEN JÄNNITYS Po = 215 kN C25/30, LAATAN PUNOKSET</p>	
	<p>Venymät on laskettu esikristisvoimasta P = 0 kN Listassa ilmoitetut venymäarvot ovat lukitusliukuman jälkeisiä arvoja.</p>	
JÄNTEIDEN LKM:	<p>101 kpl</p>	
ANKKURIT:	<p>PASSIIVI (P) / AKTIIVI (A) / JATKOS (C) 202 kpl</p>	
TEHOKAS PITUUS YHTEENSÄ:	<p>2300,2 m</p>	
KATKAISUPITUUS YHTEENSÄ:	<p>2350,7 m</p>	

Kuva 15. Jännityspöytäkirja

SWECO RAKENNETEKNIikka OY				SIVU		2				
ILMALANPORTTI 2				TYÖ		22702991				
00240 HELSINKI				TILAUS						
PUH 0207 393 300										
AS OY ESPOON MARINKALLIO 4,6,8				V E N Y M Ä T (mm)						
JÄLKIJÄNNITETTY LAATTA				LASKETTU		MITATTU 0%		MITATTU 100%		
KAAP NRO	VÄRI	ANKKUL- RIT	JANTEEN PITUUS(m)	SL IDEAL		Flank		Flank		KOK SL
				Max	Min	d	Nmm*	d	Nmm*	
1		A / P	19,7 / 20,2	135 155	115	257	401	144	✓	
2		A / P	19,7 / 20,2	135 155	115	249	389	140	✓	
3		A / P	19,9 / 20,4	136 156	116	246	398	142	✓	
4		A / P	19,9 / 20,4	136 156	116	247	395	148	✓	
5		A / P	19,9 / 20,4	136 156	116	240	385	145	✓	
6		A / P	19,9 / 20,4	136 156	116	260	400	140	✓	
7		A / P	19,9 / 20,4	136 156	116	246	395	149	✓	
8		A / P	19,9 / 20,4	136 156	116	254	399	142	✓	
9		A / P	19,9 / 20,4	136 156	116	260	405	145	✓	
10		A / P	19,9 / 20,4	136 156	116	244	395	149	✓	
11		A / P	19,9 / 20,4	136 156	116	247	393	146	✓	
12		A / P	19,7 / 20,2	134 154	114	260	400	140	✓	
13		A / P	19,7 / 20,2	134 154	114	240	391	141	✓	
14		A / P	19,7 / 20,2	134 154	114	252	394	141	✓	
15		A / P	19,7 / 20,2	134 154	114	242	400	148	✓	
16		A / P	19,7 / 20,2	134 154	114	250	403	147	✓	
17		A / P	19,7 / 20,2	134 154	114	262	403	138	✓	
18		A / P	19,5 / 20,0	134 154	114	249	398	147	✓	
19		A / P	19,5 / 20,0	134 154	114	246	395	149	✓	
20		A / P	19,5 / 20,0	134 154	114	248	395	140	✓	
21		A / P	19,5 / 20,0	134 154	114	246	395	149	✓	
22		A / P	19,5 / 20,0	134 154	114	248	395	147	✓	
23		A / P	19,5 / 20,0	134 154	114	246	398	142	✓	
24		A / P	19,5 / 20,0	134 154	114	246	395	149	✓	
25		A / P	19,5 / 20,0	134 154	114	248	397	142	✓	
26		A / P	19,5 / 20,0	134 154	114	248	396	148	✓	
27		A / P	19,5 / 20,0	134 154	114	257	398	141	✓	
28		A / P	19,5 / 20,0	134 154	114	246	399	143	✓	
29		A / P	19,5 / 20,0	134 154	114	244	393	136	✓	

Kuva 16. Jännityspöytäkirja

SWECO RAKENNETEKNIikka OY
ILMALANPORTTI 2
00240 HELSINKI
PUH 0207 393 300

SIVU 3
TYÖ 22702991
TILAUS

AS OY ESPOON MARINKALLIO 4,6,8
JÄLKIJÄNNITETTY LAATTA

KAAP. NRO	VARI-KOODI	ANKKURIT	JANTEEN PITUUS(m)	LASKETTU		MITATTU 0%		MITATTU 100%		HOK
				ØL	IDEAL	Funkk	KN	Funkk	KN	
				134						
				154	114	257	397	140		
30		A / P	19,5 / 20,0	154	114	257	397	140		
				134						
				154	114	257	400	141		
31		A / P	19,5 / 20,0	154	114	257	400	141		
				134						
				154	114	242	390	137		
32		A / P	19,5 / 20,0	154	114	242	390	137		
				134						
				154	114	260	404	144		
33		A / P	19,5 / 20,0	154	114	260	404	144		
				134						
				154	114	264	405	144		
34		A / P	19,5 / 20,0	154	114	264	405	144		
				134						
				154	114	279	412	138		
35		A / P	19,5 / 20,0	154	114	279	412	138		
				134						
				154	114	251	399	148		
36		A / P	19,5 / 20,0	154	114	251	399	148		
				134						
				154	114	253	400	145		
37		A / P	19,5 / 20,0	154	114	253	400	145		
				134						
				154	114	252	396	144		
38		A / P	19,5 / 20,0	154	114	252	396	144		
				134						
				154	114	256	396	146		
39		A / P	19,5 / 20,0	154	114	256	396	146		
				134						
				154	114	257	398	143		
40		A / P	19,5 / 20,0	154	114	257	398	143		
				134						
				154	114	257	390	142		
41		A / P	19,5 / 20,0	154	114	257	390	142		
				134						
				154	114	256	395	139		
42		A / P	19,5 / 20,0	154	114	256	395	139		
				134						
				154	114	254	390	139		
43		A / P	19,5 / 20,0	154	114	254	390	139		
				134						
				154	114	255	390	138		
44		A / P	19,5 / 20,0	154	114	255	390	138		
				134						
				154	114	247	385	138		
45		A / P	19,5 / 20,0	154	114	247	385	138		
				134						
				154	114	249	390	144		
46		A / P	19,5 / 20,0	154	114	249	390	144		
				134						
				154	114	247	384	138		
47		A / P	19,5 / 20,0	154	114	247	384	138		
				134						
				154	114	252	396	144		
48		A / P	19,5 / 20,0	154	114	252	396	144		
				134						
				154	114	246	388	142		
49		A / P	19,5 / 20,0	154	114	246	388	142		
				134						
				154	114	243	386	140		
50		A / P	19,5 / 20,0	154	114	243	386	140		
				134						
				154	114	244	384	140		
51		A / P	19,5 / 20,0	154	114	244	384	140		
				134						
				154	114	246	390	144		
52		A / P	19,5 / 20,0	154	114	246	390	144		
				134						
				154	114	245	397	142		
53		A / P	19,5 / 20,0	154	114	245	397	142		
				134						
				154	114	244	395	141		
54		A / P	19,5 / 20,0	154	114	244	395	141		
				134						
				154	114	244	390	149		
55		A / P	19,5 / 20,0	154	114	244	390	149		
				134						
				154	114	249	395	146		
56		A / P	19,5 / 20,0	154	114	249	395	146		
				134						
				154	114	243	392	149		
57		A / P	19,5 / 20,0	154	114	243	392	149		
				134						
				154	114	246	394	148		
58		A / P	19,5 / 20,0	154	114	246	394	148		

Kuva 17. Jännityspöytäkirja

SWECO RAKENNETEKNIikka OY				SIVU		4				
ILMALANPORTTI 2				TYÖ		22702991				
00240 HELSINKI				TILAUS						
PUH 0207 393 300										
AS OY ESPOON MARINKALLIO 4,6,8				V E N Y M Ä T (mm)				dL = (delta L)		
JÄLKJÄNNITETTY LAATTA				LASKETTU		MITATTU 0%		MITATTU 100%		
KAAP. NRO	VÄRI- KOODI	ANKKU- RIT	JÄNTEEN PITUUS(m)	dL IDEAL		Fluksi MN		Fluksi MN		KOK dL
				Max	Mn	S	N/mm²	S	N/mm²	
59		A / P	19,5 / 20,0	134	114	257	398	141		
60		A / P	19,5 / 20,0	134	114	257	400	143		
61		A / P	19,5 / 20,0	134	114	259	400	141		
62		A / P	19,5 / 20,0	134	114	255	401	146		
63		A / P	19,5 / 20,0	134	114	258	395	140		
64		A / P	19,5 / 20,0	134	114	255	400	145		
65		A / P	19,5 / 20,0	134	114	258	401	143		
66		A / P	19,5 / 20,0	134	114	252	390	138		
67		A / P	19,5 / 20,0	134	114	254	398	144		
68		A / P	19,5 / 20,0	134	114	252	395	143		
69		A / P	19,5 / 20,0	134	114	258	397	141		
70		A / P	19,5 / 20,0	134	114	258	395	140		
71		A / P	19,5 / 20,0	134	114	257	398	143		
101		A / P	31,4 / 31,9	203	173	315	535	220		
102		A / P	31,4 / 31,9	203	173	300	525	225		
103		A / P	31,4 / 31,9	203	173	324	545	221		
104		A / P	31,4 / 31,9	203	173	312	537	225		
105		A / P	31,4 / 31,9	203	173	311	533	222		
106		A / P	31,4 / 31,9	203	173	295	525	220		
107		A / P	31,4 / 31,9	203	173	320	545	225		
108		A / P	31,4 / 31,9	203	173	306	525	219		
109		A / P	31,4 / 31,9	203	173	322	545	223		
110		A / P	31,4 / 31,9	203	173	300	523	223		
111		A / P	31,4 / 31,9	203	173	421	645	224		
112		A / P	31,4 / 31,9	203	173	387	613	226		
113		A / P	31,4 / 31,9	203	173	393	615	222		
114		A / P	31,4 / 31,9	203	173	395	600	224		
115		A / P	31,4 / 31,9	203	173	359	522	219		
201		A / P	29,3 / 29,8	190	162	310	521	211		

Kuva 18. Jännityspöytäkirja

SWECO RAKENNETEKNIikka OY				SRU		5				
ILMALANPORTTI 2				TYO		22702991				
00240 HELSINKI				TILAU						
PUH 0207 393 300										
AS OY ESPOON MARINKALLIO 4,6,8				V E N Y M Ä T (mm)						
JÄLKIJÄNNITETTY LAATTA				LASKETTU		MITATTU 0%		MITATTU 100%		KOK dL
KAAP NRD	VARI- KODDI	ANKKU- RIT	JÄNTEEN PITUUS(m)	dL Max	IDEAL Min	Fluukk S	kN N/mm ²	Fluukk S	kN N/mm ²	
202		A / P	29,3 / 29,8	190 219	162	391	506	204		
203		A / P	29,3 / 29,8	190 219	162	320	523	203		
204		A / P	29,3 / 29,8	190 219	162	317	523	206		
205		A / P	29,3 / 29,8	190 219	162	318	519	201		
206		A / P	29,3 / 29,8	190 219	162	345	514	199		
207		A / P	29,3 / 29,8	190 219	162	333	510	207		
208		A / P	29,3 / 29,8	190 219	162	341	510	202		
209		A / P	29,3 / 29,8	190 219	162	346	522	206		
210		A / P	29,3 / 29,8	190 219	162	344	510	199		
211		A / P	29,3 / 29,8	190 219	162	345	532	207		
212		A / P	29,3 / 29,8	190 219	162	333	507	204		
213		A / P	29,3 / 29,8	190 219	162	370	525	205		
214		A / P	29,3 / 29,8	190 219	162	360	525	205		
215		A / P	29,3 / 29,8	190 219	162	365	507	202		

Kuva 19. Jännityspöytäkirja

Liite 2 Lämpötilan seuranta

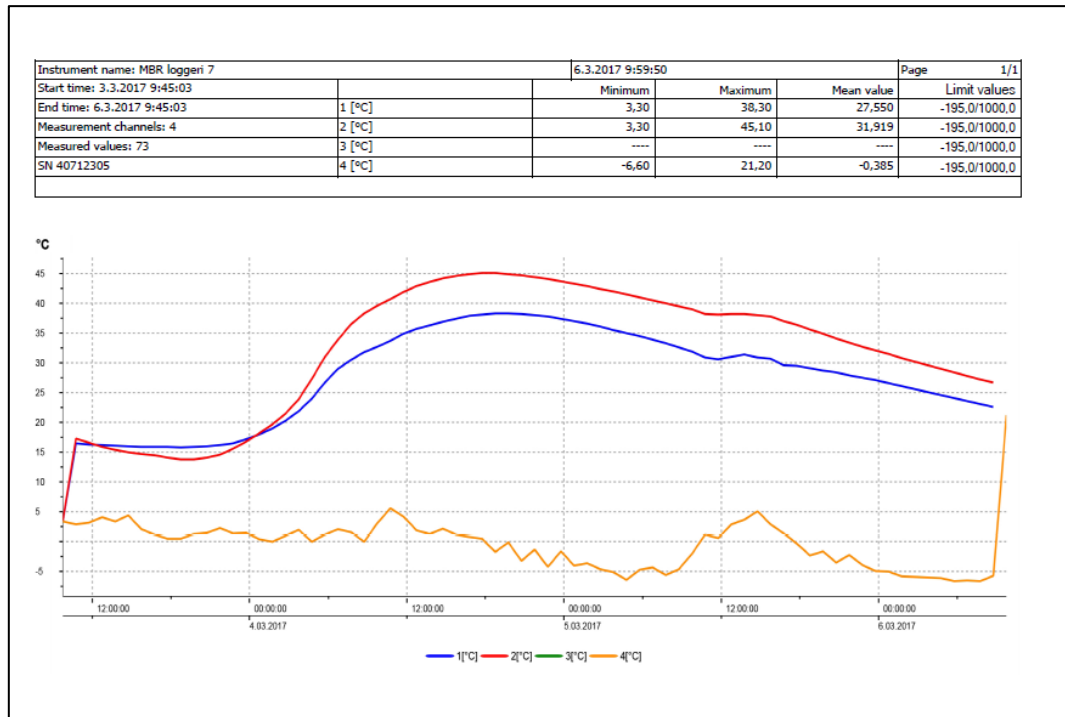
CUSTOMER Peab Oy			STRUCTURE Holvi						
SITE Marinkallio			CONCRETE C35/45 32 S3						
CONTACT									
TYPE		Rapid							
STRENGTH		C35/45							
MEASUREMENTS			AGE		MATURITY				
DATE	TIME	T (°C)	h	d	T_{ka}	t_{issä}	t₂₀	K	K%
3.3.2017	16:00	16,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0
4.3.2017	2:00	19,0	10,0	0,4	17,5	0,36	0,4	5,0	11
4.3.2017	19:00	38,0	27,0	1,1	28,5	1,08	1,4	25,8	57
6.3.2017	9:00	23,0	65,0	2,7	30,5	2,64	4,1	37,2	83

This table is aid for estimating maturity and strength of concrete.

The customer has the responsibility for the operations on site.

(t ₂₀)	MPa
4,1	37,2

Kuva 20. Lämpötilan seuranta



Kuva 21. Lämpötilan seuranta