

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka, Lappeenranta
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infra- ja kalliorakentaminen

Jari Paajanen

Sillan kannen muotoiluvalut Sandwich- menetelmällä

Opinnäytetyö 2012

Tiivistelmä

Jari Paajanen

Sillan kannen muotoiluvalut Sandwich-menetelmällä, 22 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka, Lappeenranta

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Infra- ja kalliorakentaminen

Opinnäytetyö 2012

Ohjaajat: lehtori Vesa Inkilä, Saimaan ammattikorkeakoulu

toimitusjohtaja Ville Vanamo, Suomen Rakennelujitus Oy

Siltojen korjauksia tehtäessä joudutaan yleensä uusimaan myös sillan kansien vesieristeet. Niiden alta löytyy usein rapautunutta ja kloridisoitunutta betonia, joka joudutaan piikkaamaan tai jyrsimään ja päälle tekemään muotoiluvalu. Yleensä muotoiluvalun paksuus on alle 50 mm, mutta on myös kohteita, joissa muotoiluvalun paksuudeksi tulee jopa yli 150 mm. Opinnäytetyössä tutkittiin sillan kannen kerroksellista korjausmenetelmää ja sen toimivuutta sillan kansien paksuissa muotoiluvaluissa. Sandwich-menetelmässä valetaan Suomen Rakennelujitus Oy:n erittäin tiivis Silko-hyväksytty SRL 60/6/RH itsestivistävä betonimassa valmisbetoniaseman P-lukubetonilla tehdyn tasausvalun päälle.

Opinnäytetyöhön liittyvät testaukset ja kokeet tehtiin Suomen Rakennelujitus Oy:n laboratoriossa Joutsenossa. Tutkittavia kohteita olivat betonien kosteuskäyttäytyminen sekä eri rakennekerrosten väliset tartuntavetolujuudet. Kosteusmittauksissa käytettiin kuivatus-punnitus-menetelmää absoluuttisen kosteuden määrittämiseen sekä Tramex-pintakosteusmittaria koelaatan pintakosteuksien seurantaan ennen epoksiivistystä.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin kuva betonien kosteuskäyttäytymisestä epoksiivistyksen jälkeen. Tartuntavetolujuudet eri rakennekerrosten välillä täyttivät InfraRYL 2006:n vaatimukset. Kokeet jatkuvat menetelmän kehittämiseksi ja tuomiseksi käyttöön työmaille.

Asiasanat: muotoiluvalu, absoluuttinen kosteus, betonin kuivuminen

Abstract

Jari Paajanen

Sandwich-Casting in Bridge Deck Repairs 22 pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology, Civil and Construction Engineering

Bachelor's Thesis 2012

Instructors: Mr. Vesa Inkilä, Senior lecturer, Saimaa University of Applied Sciences; Mr. Ville Vanamo, Managing Director, Suomen Rakennelujitus Oy

When making repairs to bridges the water insulation of the bridge deck usually has to be renovated. The concrete of the bridge deck above the water insulation is often crumpled and it must be removed by water chiselling or milling and after that make a repair cast. Usually the repair cast thickness is less than 50 mm, but there are also sites where the thickness of repair cast comes up to more than 150 mm. This thesis studied the bridge deck layered repair method and its effectiveness in thick bridge deck design in the casting. In the Sandwich method a very tight SILKO approved SRL 60/6/RH self-compacting concrete is cast on top of the evening cast.

Testing was carried out in Suomen Rakennelujitus Oy laboratory in Joutseno. The thesis studied concretes' moisture behavior and the different structural layers' tensile strength. Moisture measurement used the drying-weighing method for the absolute humidity to determine the den, as well as the surface moisture measurement Tramex-meter follow up the test plate before epoxy insulation.

The result of this thesis was the image of concrete moisture behavior after epoxy insulation. The tensile strength of the structure between the layers met InfraRYL 2006 requirements. Experiments are continuing to develop the method in order to bring it into use at the sites.

Keywords: repair cast, absolute humidity, the hardening of concrete

Sisältö

1 Johdanto	5
1.1 Työn taustaa.....	6
1.2 Työn tavoite ja rajaus.....	6
2 Vedeneristysalustan kunnostus	7
2.1 Yleistä.....	7
2.2 Laatuvaatimukset.....	8
2.3 Kansilaatan pinnan piikkaus tai jysintä	8
2.4 Kansilaatan yläpinnan muotoiluvalu.....	9
3 Tutkimustyö.....	10
3.1 Aikataulu ja suunnitelman laadinta	10
3.2 Koekappaleen teko	11
3.3 Tasausvalu P-lukubetonilla	12
3.4 Muotoiluvalu SRL 60/6/RH IT-betonilla	13
3.5 Epoksitiivistys	14
3.6 Kosteuden ja tartuntavetolujuuksien seuraaminen	15
4 Testaustyö	15
4.1 Kosteuden määrittäminen	16
4.2 Tartuntavetolujuus	16
4.3 Puristuslujuus	19
5 Pääteelmät.....	20
Kuvat.....	21
Lähteet.....	22

1 Johdanto

Sillan kansilaatan yläpintaa joudutaan korjaamaan ohuella betonivalulla, jos yläpinta on kansilaatan valussa jäänyt epätasaiseksi tai vedeneristyksen kaltevuus ei ole riittävä vedenpoiston kannalta. Tällöin vaurioitunut betoni joudutaan poistamaan ja korvaamaan uudella pintabetonilla. Poistettavan vaurioituneen betonin alla oleva hyväkuntoinen betoni muodostaa pintavalulle alustan. Tätä kyseistä sillan kannen pintabetonointia kutsutaan tässä opinnäytetyössä muotoiluvaluksi. Muotoiluvalu on tyypillinen päällevalu, jossa aikaisemmin valettu ja kutistunut alusta estää päällevalun kutistumista. (1.)

Muotoiluvalujen paksuus vaihtelee kohteittain. SILKO-ohjeen 2.240 mukaan valun paksuuden on oltava vähintään 20 mm:n suuruinen. Muotoiluvalun pinta-ala vaihtelee pienialaisista paikkauksista aina koko sillan kannen kattaviin valuihin. Tässä työssä tutkitaan kerroksellisen korjausmenetelmän (myöhemmin Sandwich-menetelmä) toimivuutta muotoiluvalun paksuuden kasvaessa aina yli 150 mm paksuuteen. Tällaisia korjattavia siltoja Suomessa on paljon.

Sandwich-menetelmässä suuret valupaksuudet oikaisuvaletaan P-lukubetonilla, jonka päälle valetaan yhtenäinen noin 20 mm paksu kerros erittäin tiivistä ja nopeasti kuivuvaa SRL 60/6/RH (2.) itsetiivistyvää betonia (myöhemmin IT-betoni). Tämä nopeuttaa muotoiluvalun eristystöiden aloittamista. Menetelmän hyviä puolia ovat myös kustannussäästöt verrattuna siihen, että koko muotoiluvalu tehtäisiin SRL 60/6/RH IT-betonilla. Toimiessaan menetelmä mahdollistaisi tuotteen käytön kohteissa, joissa muotoiluvalu on paksu, tai jopa uudiskohteissa, nopeuttaen sillan kannen vesieristettävyyttä.

Betonin P-luvulla kuvataan pakkasenkestävyyttä. Siltarakenteet jaotellaan pakkasenkestävyysluokkiin P20, P30, P50 ja P70. Betonin pakkasen kestävyys on sitä parempi mitä suurempi pakkasenkestävyytluku on (3.).

1.1 Työn taustaa

Tämä insinööri työ tehdään Suomen Rakennelujitus Oy:lle. Yritys on vuonna 1990 perustettu korjaus-, lujitus-, tiivistys- ja injektointitöihin erikoistunut yhtiö. Toiminta-ajatuksena yrityksellä on valmistaa ja kehittää teknisesti ja taloudellisesti asiakkaan kannalta kilpailukykyisiä ratkaisuja edellä mainittuihin töihin. (4.)

Yhteistyössä yrityksen edustajien kanssa kävimme pohtimaan, kuinka saavuttaisimme toimivan ratkaisun paksujen muotoiluvalujen suorittamiseen yhdistämällä valmisbetoniasemien P-lukubetonin sekä Suomen Rakennelujitus Oy:n SILKO-hyväksytyn SRL 60/6/RH IT-betonin hyvät ominaisuudet.

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan normaalin P-lukubetonin ja SRL 60/6/RH IT-betonin toimivuutta paksuja muotoiluvaluja toteuttaessa. Tärkeimpänä opinnäytetyössä tutkitaan betonien kosteuskäyttäytymistä ennen ja jälkeen vesieristyksen. Betonimassoissa valetaan vertailukoekuutiot, joiden tuloksia verrataan koelaatasta saatuihin absoluuttisiin kosteuksiin. Lisäksi koelaatasta mitataan pintakosteuksia ennen epoksitiivistystä.

Tutkittavia asioita ovat P-lukubetonin tartuntavetolujuudet pohjalaattaan, P-lukubetonin ja SRL 60/6/RH IT-betonin keskinäinen tartuntavetolujuus, sekä epoksitiivistyksen tartuntavetolujuus pintavaluun. Pohjalaatta vesipiikataan vastaavasti kuten sillankannetkin. Betonien välistä tartuntavetolujuutta tutkitaan painepesemällä P-lukubetonilla suoritettu valu erilaisilla suuttimilla ja paineilla vuorokauden jälkeen valusta.

Tulen käsittelemään tehdyn tutkimusprosessin kulkua sekä arviomaan tutkimukseen liittyviä epätarkkuustekijöitä. Tutkittavien betonien suhteitustietoja, runkoaineiden rakeisuuksia eikä käytettyjen lisäaineiden tuotenimikkeitä tulla julkaisemaan tässä opinnäytetyössä.

Opinnäytetyötä rajataan siten, että siinä ei käsitellä kuumana tehtävien pintarakenteiden kuten kermieristyksen ja asfaltoinnin asennuksen vaikutusta epoksin kiinnipysyvyyteen. Myös pitkän ajan kosteusvaikutus sekä mahdollinen pakkasrapautuminen jätetään tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Opinnäytetyössä ei käsitellä myöskään saatuja tuloksia eikä niitä analysoida.

2 Vedeneristysalustan kunnostus

2.1 Yleistä

Uuden sillan kansilaatan yläpinnassa oleva vaurio on korjattava ennen vedeneristyksen tekoa. Myöhemmin syntyvät vauriot korjataan yleensä sillan peruskorjauksen yhteydessä, jos kannen pintarakenteet uusitaan. Vesivuodoista aiheutuu monenlaisia seurauksia. Niitä syntyy muun muassa suolaisen veden suotautuessa rakenteen sisään. Tämän takia korjaus on ajoitettava niin, ettei seurausvaurioista aiheudu tarpeettomia lisäkustannuksia.

Jos eristysalusta ei täytä vaatimuksia, syntyy seuraavia vaurioita:

- Jos alusta on liian kostea, kosteus höyrystyy aurinkoisella säällä tai kuumaa eristysainetta tai päällystettä levitettäessä, jolloin eristykseen syntyy höyrykuplia ja pintarakenne vaurioituu.
- Jos kansilaatan pinta on epätasainen, vedeneristys rikkoutuu eristystyön tai käytön aikaisten kuormien vaikutuksesta. Vedeneristyksen huono tartunta alustaan pahentaa tilannetta. Pintaan jäänyt jälkihoitoaine, pöly, öljy ja muut epäpuhtaudet heikentävät myös tartuntaa.
- Jos eristysalustassa ei ole riittävästi viettokaltevuutta, vedeneristyksen päällä seisova vesi rikkoo jäätyessään eristyksen.
- Jos eristysalustassa on liikaa klorideja, vedeneristys rikkoutuu raudoituksen korroosion ja betonin rapautumisen seurauksena. (5.)

2.2 Laatuvaatimukset

Vedeneristyksen alustan kunnostus tehdään suunnittelijan laatiman korjaussuunnitelman ja urakoitsijan laatiman työ- ja laatusuunnitelman mukaan, jotka tilaaja tarkastaa.

Olosuhteiden on oltava valittujen korjausaineiden vaatimusten mukaiset. Rakenteen lämpötilan on oltava kovettumisen ajan vähintään +5 °C. Eristettävän pinnan lämpötilan on oltava epoksiivistystä tehtäessä 3 °C ilman kastepistelämpötilan yläpuolella. Jos ulkoilman olosuhteet eivät ole vaatimusten mukaisia, käytetään sääsuojaa.

Muotoiluvaluun käytettävän betonin puristuslujuuden on oltava vähintään K35 ja pakkasenkestävyysluokan P30. Valun paksuuden on oltava vähintään 20 mm. Muotoiluvalun ja paikkauksen tartuntalujuuden alustaansa ja yläpinnan vetolujuuden on oltava vähintään 1,5 N/mm². Epoksiivistykseen (kosteussulku) tartuntalujuuden vähintään 1,0 N/mm² ja keskimäärin 1,5 N/mm². Eristysalustan kunnostustyöstä on pidettävä pöytäkirjaa. Vedeneristyksen alustan viettokaltevuu- den on oltava suunnitelman mukainen ja vähintään 1 %, ja vähintään 2 %, jos eristysalustaa joudutaan muotoilemaan. (5.)

2.3 Kansilaatan pinnan piikkaus tai jyrshintä

Kannen pintarakenteet puretaan asfalttipäällysteen uusimisoheeseen SILKO 2.814 mukaan. Työvälineet on valittava siten, ettei eristysalustaan tule vaurioita. Kansilaatan piikkausraja määritetään kloridipitoisuus- ja vetolujuusmittausten perusteella. Kansilaatan yläpinnan raudoituksen betonipeite mitataan. Se määrää muun muassa jyrshintä käytön, koska raudoitusta ei saa vaurioittaa. Kansilaatan pinnan purkamiseen sopivia menetelmiä ovat suositeltavuusjärjestyksessä:

- vesipiikkaus
- jysintä
- rajausta timanttisahalla ja betonin poisto piikkausvasaralla.

Vesipiikkaus ja jysintä aloitetaan mallityöllä. Vesipiikkausta varten määritetään paine, vesimäärä ja suutin. Jysintää varten määritetään jysintäsyvyys ja terä. Jos työmenetelmää joudutaan muuttamaan, tehdään uusi mallityö, jonka tilaaja hyväksyy. Pienet kohteet piikataan kevyellä tai keskiraskaalla piikkausvasaralla siten, että irtonaista tai rapautunutta betonia ei jää rakenteeseen. Piikatun pinnan pitää olla karkea. Piikattava osa rajataan yleensä suoraviivaiseksi käsihiomakoneen katkaisulaikalla tai urajysimellä tehtävän uran avulla. (5.)

2.4 Kansilaatan yläpinnan muotoiluvalu

Jos riittävien viettokaltevuuksien saamiseksi tai muista syistä on tehtävä muotoiluvalu, se tehdään koostumukseltaan ja rakeisuudeltaan sopivalla betonilla. Muotoiluvalun betonin puristuslujuus ja tarvittaessa muotoiluvalun tartunta alustaan tutkitaan ennakkokokeilla korjaussuunnitelmassa esitetyllä tavalla.

Muotoiluvalu tehdään yleensä sillan puolisko kerrallaan. Valusauman pitää olla pystysuora ja irtonainen kiviaines on harjattava pinnasta pois. Sillan reunat ja tippuputkien suppilot on muotoiltava niistä annettujen ohjeiden mukaan. Betonimassa tiivistetään tärypalkilla.

Jos valun paksuus on 100–150 mm, riittää kaksoistärypalkin teho tiivistämään jäykänkin betonin tiiviiksi. Sauvatärytystä ennen tärypalkilla ajoa suositellaan yleisesti betonikerroksen paksuuden ollessa yli 100 mm. Sauvatärytystä suositellaan käytettäväksi myös ohuempien betonikerrosten tiivistämiseen reuna-alueilla, joissa tärypalkin tiivistysteho on rajoitettu. Ohjurien jäljet täytetään ja tiivistetään välittömästi. Pinta hierretään heti, kun vedenerottuminen on päättynyt ja pinta kuivuu. (5.)

3 Tutkimustyö

3.1 Aikataulu ja suunnitelman laadinta

Ensimmäinen tehtävä oli työn suunnittelu. Suunniteltava oli, miten testaukset toteutetaan ja millä aikataululla. Työvaiheiden ajoitus mietittiin siten, että ne vastaisivat työmaalla tapahtuvia tilanteita.

Aikataulu:

1. päivä: valu P-lukubetonilla
2. päivä: pestään laatasta sementtiliima pois 3 eri suuttimella. Ohjurien asennus
3. päivä: valu SRL 60/6/RH IT-betonilla
4. päivä: jälkihoito
5. päivä: jälkihoito
6. päivä: IT- betonin tartuntavetokokeet erilaisille pohjille+ kosteuden määrittäminen betoneista Tramexilla (pintakosteus) , sekä uunissa (absoluuttinen kosteus). Hiekkapuhallus ja 1.epoksitiivistys
7. päivä: epoksitiivistyksen toinen kerros
8. päivä: epoksitiivistyksen tartuntavetokokeet, sekä absoluuttisen kosteuden määrittäminen valusta

Tämän jälkeen seurataan vetolujuuksien ja puristuslujuuksien kehitystä sekä kosteuden muutosta epoksitiivistyksen alla eri valukerroksissa.

3.2 Koekappaleen teko

Sillan kannen pienoismalliksi valittiin vanha betonielementti ja siitä leikattu koelaatta. Koelaatan koko oli 2 m x 2 m ja paksuus 35 cm. Koelaatta vesipiikattiin, kuten sillan kannetkin. Tämän jälkeen laatta pestiin ja rakennettiin reunamuotit (kuva 1). Koelaatta asetettiin 2,5 % kaltevuuteen ja muotti rakennettiin siten, että toisessa päässä valupaksuudeksi tuli 50 mm ja toiseen päähän 150 mm. Ennen valua koelaatan vesipiikatusta pinnasta määritettiin vetolujuudet.



Kuva 1 Koelaatan reunamuotti.

3.3 Tasausvalu P-lukubetonilla

Tasausvaluun tilattiin valmisbetoniaseman betoni Rudukselta. Betonin lujuusluokka oli K35 ja pakkasenkestävyysluokka P30. Nämä täyttävät Silko-ohjeiden muotoiluvaluun asetetut vaatimukset betonille. Betonin absoluuttinen kosteus oli 10,7 % ja sen vesi-sementtisuhde oli 0,45. Laboratoriossa mitattu ilmamäärä oli 8,2 %. Koekuutioita valmistettiin 12 kappaletta. Valupinta viimeisteltiin tärypalkilla (kuva 2) ja tämän jälkeen se peitettiin muovilla.



Kuva 2 Tasausvalun viimeistely tärypalkilla.

Seuraavana päivänä tasausvalun pinta korkeapainepestiin, jotta sementtiliima saataisiin irti ja näin luotua erilaisia karheusasteita pintavalun tartunnaksi. Tämän jälkeen muottia korotettiin vielä 20 mm, joka toimi samalla valun ohjurina. Tämä vastasi samaa kuin työmaalla kannelle asetettaisiin erilliset ohjuriputket. Putket toimivat valun yläpinnan korkoina ja tärypalkin ohjureina.

3.4 Muotoiluvalu SRL 60/6/RH IT-betonilla

Koe jatkui IT-betonivalulla. Betoni tehtiin paikanpäällä omalla tasosekoittajalla. Betonille tehtiin tuoreen massan kokeet (ilmamäärä 5 % ja pieni leviämä 150 mm) sekä valettiin koekuutiot jatkokokeita ja laadunvarmistusta varten. Pinta hierrettiin käsin puuhiertopinnalle (kuva 3). Tämän jälkeen betonin annettiin sioutua viikonlopun yli.



Kuva 3 Koelaatta muotoiluvalun ja hierron jälkeen.

3.5 Epoksiivistys

Epoksiivistystä käytetään uusissa ja korjattavissa silloissa siltakansilla suojaamaan rakennetta suolarasitukselta ja estämään alustasta päin vesihöyryn paineen aiheuttaman kuplimisen kermien ja asfaltin alla.

Ennen epoksiivistystä seurattiin koelaatan kuivumista sekä pintakosteutta Tramex-mittarilla että absoluuttisia kosteuksia eri kerroksissa eristyshehkellä. Kolmantena päivänä valusta koelaatta hiekkapuhallettiin, jotta betonin kiviaines saatiin näkyville, ja epoksiivistettiin.

Epoksiivistys suoritettiin Polyment Ergoflex Dur 500s kaksikomponenttiepoksilla (kuva 4). Epoksiivistys suoritettiin myöhään iltapäivästä, kuten se tehtäisiin työmaallakin laskevaan lämpöön, jolloin ilman ja kosteuden virta on alaspäin rakenteessa. Alusta pohjustettiin epoksilla, tämän jälkeen sen päälle levitettiin täyspeitto kvartsihiekkää. Epoksin kuivuttua irtohiekkä poistettiin paineilmalla ja päälle levitettiin uusi kerros epoksia. Seuraavana päivänä levitettiin viimeinen kerros epoksia ohjeaikojen mukaisesti.



Kuva 4 Epoksiivistystyksen teko.

3.6 Kosteuden ja tartuntavetolujuuksien seuraaminen

Betonin kosteuskäyttäytymistä alettiin seurata heti epoksiivistyksen jälkeen. Näytteitä otettiin ennen epoksiivistystä sekä 1, 7, 14, 28 että 56 vuorokauden jälkeen epoksiivistyksestä. Samalla seurattiin tartuntavetolujuuksien kehitystä. Absoluuttisen kosteuden seurannassa näytteet kuivatettiin uunissa (kuva 5).



Kuva 5 Murskattu betoninäyte kuivatettiin uunissa 105 °C:ssa.

4 Testaustyö

Testausmenetelmien valintaan vaikuttivat käytettävissä olevat testausmenetelmät. Koska testausten tavoitteena ei ollut saada virallisia ja lopullisia vaan ainoastaan suuntaa antavia tuloksia, käytettiin testaamiseen mittalaitteita, joista kaikki eivät olleet kalibroituja. Kaikkien testausten teettäminen hyväksytyssä tutkimuslaitoksessa olisi ollut liian hidasta ja kallista. (6.)

4.1 Kosteuden määrittäminen

InfraRyl 2006 mukaan betonisen eristysalustan pintakerroksen kosteus mitataan absoluuttisena kosteutena (kuivatus-punnitus-menetelmä VTT-2650) (7). Siinä näyte punnitaan märkänä ja kuivatetaan uunissa 105 °C:ssa vuorokausi ja sen jälkeen punnitaan uudestaan kuivapaino, jonka jälkeen saadaan laskettua absoluuttinen kosteus (kaava 1). Absoluuttinen kosteus ilmoitetaan painoprosenttina kuivapainosta. (8.)

$$(\text{kosteus } p - \%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (\text{kaava 1})$$

jossa m_1 on betoninäytteen paino ennen kuivatusta ja m_2 kuivatetun betonin paino.

Kosteuden määrittämisessä käytettiin koelaatasta porattuja koekappaleita absoluuttisen kosteuden määrittämiseen uunissa sekä pintakosteuden määrittämiseen Tramex-kosteusmittaria. Lisäksi koekuutiot olivat muoveihin käärittyinä, jotta niistä ei pääsisi haihtumaan kosteutta, koska niistä otettiin vertailutuloksia koelaattaan nähden. Koelaatasta porattiin timanttiporalla näytteet halutusta kerroksesta. Saadut kappaleet murennettiin pieniksi palasiksi, näytteen paino mitattiin ja näyte laitettiin uuniin kuivumaan. Koekuutioista määritettiin ensin puristuslujuudet. Tämän jälkeen koekuutio murennettiin pieniksi palasiksi, näytteen paino mitattiin ja näyte laitettiin uuniin kuivumaan. Kun näytteet olivat olleet vuorokauden uunissa, painot mitattiin uudelleen ja saatiin erotukseksi, kuinka paljon betonissa oli ollut vettä ja pystyttiin laskemaan absoluuttinen kosteus.

4.2 Tartuntavetolujuus

Betonin tartuntavetolujuutta tutkittiin valamalla uusi betonikerros vesipiikatun koelaatan päälle. Sen jälkeen, kun koelaatta oli epoksiivistetty, tutkittiin myös epoksin tartuntavetolujuutta pintabetoniin. Betonin vetolujuutta mitattiin pohjalaatasta ennen ainuttakaan valua, ennen epoksiivistystä sekä sen jälkeen 1, 7,

14, 28 ja 56 vuorokauden päästä. Samalla saatiin näytteet absoluuttisen kosteuden määrittämiseksi.

Kokeen kuvaus:

- Porauskohdan betonipinnasta poistettiin sementtiliima hiomalla. Myöhemmissä vetokokeissa epoksia ei hiottu.
- Koelaattaan porattiin timanttikoralla haluttuun syvyyteen saakka siten, että porattu lieriö jäi pohjastaan kiinni.
- Irtonainen hienoaines poistettiin koekappaleen pinnasta ja porauksen synnyttämistä urista.
- Vetolaitteen kiinnityslevy liimattiin standardin SFS 5446 mukaisella liimalla kuivattuun betonipintaan ja annettiin kuivua 20–30 minuuttia.
- Vetolaite kiinnitettiin kiinnityslevyyn ja tuettiin betonipintaa vasten siten, että porattuun lieriöön kohdistui kohtisuora veto alustaansa nähden.
- Koekappale vedettiin tasaisesti kasvavalla kuormalla irti alustastaan.
- Luettiin koekappaleeseen kohdistunut suurin kuormitus eli murtokuorma irtoamishetkellä vetokelaitteen näytöltä.

Kokeen jälkeen mitatut betonin kuormitusarvot muutettiin betonin tartuntalujuudeksi standardin SFS 5446 mukaisella kaavalla 2:

$$f_{ctb} = \frac{F}{A}, \quad (\text{kaava 2})$$

jossa f_{ctb} on tartuntalujuus [N/mm^2]

F on murtolujuus [N]

A on koekappaleen tartunta pinta-ala aluslaattaan [mm^2]

Kuvassa 6 on betonin tartuntavetolujuuden mittaamiseen käytettävä vetolaite. Laite asetettiin testattavan koekappaleen yläpuolelle, jonka jälkeen laitteesta kohdistuva veto saatiin säädettävien jalkojen avulla kohdistettua kohtisuoraan koekappaleeseen nähden.



Kuva 6 Tartuntavetolaite.

Vetolaitteen ollessa kohtisuorassa alustaansa nähden varmistettiin sen kiinnitys koekappaleeseen liimattuun teräksiseen välikappaleeseen. Tämän jälkeen kierrettiin tasaisesti laitteen oikeassa reunassa sijaitsevasta kammesta, joka välitti vetovoiman kohtisuoraan koekappaleeseen. Betonin murtumisen jälkeen saatu tulos luettiin laitteen vasemmassa reunassa sijaitsevalta näytöltä, jonka perusteella laskettiin tartuntalujuus (kaava 2).

4.3 Puristuslujuus

Puristuslujuutta mitattiin opinnäytetyössä laadunvarmennuksena, tartuntalujuuden ja puristuslujuuden vertailemiseksi, sekä havainnollistamaan kiivainta hydrataation vaihetta. Puristuslujuutta mitattiin työssä normikoekuutioiden 100 x 100 x 100 mm avulla standardin SFS-EN 12390-3 mukaisesti Suomen Rakennelujitus Oy:n laboratoriossa koekappalepuristimella. Puristuslujuus mitattiin 1, 2, 3, 7, 14, 28 ja 56 vuorokauden ikäisistä koekuutioista.

Kokeen kuvaus:

- Kaikki testauskoneen pinnat pyyhittiin puhtaiksi ja mahdollinen irrallinen kiviaines tai muu vieras aines poistettiin koekappaleen kuormituslevyjä vasten tulevilta pinnoilta.
- Koekappaleiden pinnat puhdistettiin ennen kuin ne asetettiin puristimeen.
- Koekuution ja testauskoneen väliin asetettiin tarvittavat korokelevyt.
- Koekappale keskitettiin puristimen alakuormituslevylle siten, että kuorma kohdistui kohtisuorasti valusuuntaa vastaan. Puristimen kuormituksen tuli jakautua tasaisesti koko kuutiolle.
- Koekappaleet kuormitettiin murtoon saakka.
- Luettiin koekuution murtolujuus puristimen ruudulta [kN].

5 Päätelmät

Betonien kosteuksia tutkiessani sain selville, miten kosteus muuttuu koelaatassa epoksiivistyksen jälkeen. InfraRYL:n mukaiset tartuntavetolujuuden arvot saavutettiin molempien tutkittujen rakennekerrosten välillä. P-lukubetonin ja SRL 60/6/RH IT-betonin keskinäinen tartuntavetolujuuden kehitys oli hidasta, mutta täytti vaatimukset epoksiivistyshetkellä.

Betonien puristuslujuuden kehitys oli kiivainta samaan aikaan, kun betoni kuivui eniten eli sementin hydrataatio oli voimakkainta. SRL 60/6/RH IT-betonin puristuslujuuden kehitys jatkui viimeisiin mittauksiin asti. Vertailukoekuutiot olivat käärittyinä muoveihin. On kuitenkin mahdollista, että koekuutiot ovat saaneet kosteutta ympäristöstä, mikä selittäisi puristuslujuuden kasvun mittausten loppuun asti.

Opinnäytetyöhön liittyvien kokeiden jälkeen koelaatta siirrettiin ulkosäilytykseen ja testausta jatketaan keväällä. On tärkeää, että tutkimus antoi suuntaa antavia ja todenmukaisia tuloksia. Tuloksia voidaan pitää vertailukelpoisina ja niitä voidaan käyttää jatkotutkimuksissa.

Tutkimuksen aikana löytyi kehitettäviä kohteita sekä asioita, joita pitää testata enemmän tai toisella tavalla. Opinnäytetyön suurimmat hankaluudet olivat työn rajaaminen niin, ettei käsiteltävästä tietomäärästä tule liian valtaisa ja testi paisu liian mittavaksi käytössä oleviin resursseihin nähden.

Kuvat

Kuva 1 Koelaatan reunamuotti, s. 11

Kuva 2 Tasausvalun viimeistely tärypalkilla, s. 12

Kuva 3 Koelaatta muotoiluvalun ja hierron jälkeen, s. 13

Kuva 4 Epoksitiivistyksen teko, s. 14

Kuva 5 Murskattu betoninäyte kuivatettiin uunissa 105 °C:ssa, s. 15

Kuva 6 Tartuntavetolaite, s. 18

Lähteet

1. *Muotovaluselostus* [verkkodokumentti, PDF]. VTT, Tiehallinto 2.3.2006, http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/muotoiluvaluselostus_2006.pdf, viitattu 28.6.2011
2. SRL60/6/RH, http://www.rakennelujitus.fi/wp/wp-content/uploads/2011/06/SRL-60_6_RH-Rakennelujitus.pdf , viitattu 2.1.2012
3. P-lukumenettely, http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/p-luku_2006v.pdf , viitattu 19.1.2012
4. Suomen Rakennelujitus Oy, www.rakennelujitus.fi
5. Silko 2.240, http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio2/s2240_2007.pdf, viitattu 3.7.2011
6. Vanamo 2009, Itsetiivistyvän, maksimiraekooltaan 16 mm korjausbetonin kehittäminen, opinnäytetyö Saimaan ammattikorkeakoulu
7. InfraRYL 2006 osa 3: Sillat ja rakennustekniset osat
8. Vedeneristysmittaus, http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/sillanvedeneristysmittaus_2009.pdf , viitattu 2.1.2012
9. SFS 5446 Betonin tartuntalujuus
10. SFS-EN 12390-3 Kovettuneen betonin testaus. osa 3: koekappaleiden puristuslujuus