



(Oulu: Kasarmintien ylikulkusilta 10.2.06)

Kahden sillan kansilaattojen RH-seurantamittaukset

Tilaaaja: Tiehallinto
Valtion ydinjätehuoltorahasto
Ratahallintokeskus
Helsingin kaupungin rakennusvirasto
Espoon kaupunki
Tampereen kaupunki
Turun kaupunki

Tilaja	Tiehallinto, Siltatekniikka PL 33 00521 HELSINKI Valtion ydinjätehuoltorahasto Kauppa- ja teollisuusministeriö PL 32 00023 VALTIONEUVOSTO Ratahallintokeskus PL 185 00101 HELSINKI Helsingin kaupungin rakennusvirasto PL 1515 00099 HELSINGIN KAUPUNKI Espoon kaupunki, Tekninen keskus PL 41 02070 ESPOO Tampereen kaupunki, katu- ja vihertuotanto Viinikankatu 42 33800 TAMPERE Turun kaupunki Ympäristö- ja kaavoitusvirasto / Suunnittelutoimisto Linnankatu 31 20100 TURKU
Tilaus	Sop.nro OT9500-4/178/2000/20/85, 9.2.2006, TIEH Päätös ad 7/2004/SAF, 10.3.2006 / VYR Tilausnro 266011, 10.2.2006 / RHK Tilausnumero 4580013397/27.2.2006 / Hki Dnro 998/241/2006, 20.2.2006 / Espoo Päätöspöytäkirja Ote Dno YPA: 1019/07/2006, 1.2.2006 / Tre Päätöspöytäkirja 15.3.2006, 3892-2006 (065) / Turku
Yhteyshenkilö VTT:ssä	VTT Tutkija Liisa Salparanta Lämpömiehenkuja 2, Espoo PL 1000, 02044 VTT Puh. 040 722 6913, Faksi 020 722 7054 Sähköposti: liisa.salparanta@vtt.fi
Tehtävä	Kahden sillan kansilaattojen RH-seurantamittaukset

Tiivistelmä

Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan seurantamittauksia varten rakenteilla oleviin siltoihin valettiin vuosina 1995–1998 ruotsalaisvalmisteisia kosteusantureita. Antureita asennettiin yhteensä 7 siltaan ja niillä on suoritettu mittauksia vuosina 1995–2001. Tavoitteena on tuolloin ollut selvittää betonisiltakansien suhteellisen kosteuden ja lämpötilan muutoksia käyttäen uusinta mittaustekniikkaa.

Nyt tavoitteena oli selvittää vieläkö anturit toimivat ja onko kosteustasossa tapahtunut muutosta edellisestä seurantamittauksesta. Mittaukset tehtiin kahdelle sillalle: Oulussa Kasarmintien yli kulkevalle jalankulkusillalle ja Espoossa Gräsanojalla Kehä II:n sillalle, jonka alittaa Merituulentie. Mittausten kesto oli noin puoli vuotta sisältäen vuoden kylmimmän ja lämpimimmän jakson.

Mittausten perusteella kaikki kosteusanturit toimivat ja tulokset olivat johdonmukaisia. Ainoastaan yksi lämpötilamittauksissa käytetty termopari ei toiminut Espoossa, syy tähän ei selvinnyt. Espoossa olevalla sillalla ei ollut tapahtunut havaittavaa muutosta kosteustasossa seurantamittauksien välillä vuosina 2001–2006. Sillassa on mastiksieristys. Oulusta oli käytettävissä kattavampi mittaushistoria ja sen perusteella oli havaittavissa kannen kuivuneen kermin alta vuoden 1998 mittausten jälkeen. Kannen alapinnan ja reunan havaittiin olevan tavanomaista kosteampi. Mittausjakson aikana oli myös selvästi havaittavissa kannen alapinnan kuivumista. Kannen alapinnan ja reunan tavallista korkeammat kosteustasot ovat selitettävissä poikkeuksellisen kosteilla edellisikesällä. Mittauskauden kesä oli puolestaan poikkeuksellisen lämmin ja kuiva.

ABSTRACT

Relative humidity and temperature monitoring equipment were installed from 1995 to 1998 on new concrete bridges using Swedish-made humidity sensors. Sensors were installed in a total of 7 bridges and had measurements done from 1995 to 2001. The aim of the original research was to monitor changes of relative humidity and temperature in concrete bridge deck using current technology.

The aim of the current research was to find out if the humidity sensors are working properly and if the humidity rates have change. The measurements have been done on two bridges: the footbridge which straddles Kasarmintie in Oulu and the bridge which straddles Merituulentie in Grasanaja, Espoo. The running time of the measuring was about half a year and it included the year's coldest and warmest periods.

On account of the measurements, all of the humidity sensors are working and the results were logical. Only one of the temperature measurements in Espoo using a thermocouple did not work, for an unknown reason. The humidity rate has not had appreciable changes from the year 2001 to 2006 in Espoo. The Espoo bridge had mastic and Oulu bridge had membrane as water proofing. The Oulu measuring history showed larger variations and therefore drying of the bridge deck's upper surface was noticed after the 1998 measurements. It was noticed that the deck's underside surface and deck's edge were wetter than normal. During the measuring season the deck's underside was also drying at some points. The unusually high humidity levels can be explained by the exceptionally wet summer last year, whereas this summer was exceptional warm and dry.

Kahden sillan kansilaattojen RH-seurantamittaukset

1	JOHDANTO.....	5
2	MITTAUSMENETELMÄT JA SEURANTAKOHEET.....	5
2.1	Rakenteiden kosteus- ja lämpötilaseuranta.....	5
2.1.1	Yleistä.....	5
2.1.2	Loggeri.....	5
2.1.3	Anturin toiminta.....	6
2.1.4	Anturin rakenne.....	6
2.2	Ympäröivän ulkoilman kosteus- ja lämpötilaseuranta.....	7
2.3	Gräsanojan risteyssilta, Espoo.....	7
2.3.1	Sijainti.....	7
2.3.2	Sillan rakennustyöt.....	8
2.3.3	Rakenteissa olevat anturit.....	8
2.3.4	Aiemmin tehtyjen kosteus- ja lämpötilamittausten tulokset.....	9
2.4	Kasarmintien ylikulkusilta, Oulu.....	10
2.4.1	Sijainti.....	10
2.4.2	Sillan rakennustyöt.....	10
2.4.3	Rakenteissa olevat anturit.....	10
2.4.4	Aiemmin tehtyjen kosteus- ja lämpötilamittausten tulokset.....	11
3	TULOKSET.....	14
3.1	Gräsanojan risteyssilta, Espoo.....	14
3.2	Kasarmintien ylikulkusilta, Oulu.....	16
4	TULOSTEN TARKASTELU.....	19
4.1	Gräsanojan risteyssillalla voittunut termopari.....	19
4.2	Oulun ja Espoon tulosten vertailu keskenään.....	19
4.3	Tulosten vertailu aiempiin mittaustuloksiin.....	20
4.3.1	Gräsanojan silta.....	20
4.3.2	Kasarmintien silta.....	20
5	YHTEENVETO.....	21
	LÄHTEET.....	22

1 Johdanto

Tässä tutkimuksessa selvitettiin toimivatko vuosina 1996–1998 betonisiltoihin asennetut MS-anturit ja jos toimivat, mikä on siltojen nykyinen kosteustilanne ja miten se on muuttunut edellisestä mittauksesta. Tutkimuksessa tehtiin seurantamittaus kahdelle betonisillalle, jotka sijaitsevat Oulussa ja Espoossa. Mittaukset tehtiin Espoossa Gräsanojan risteyssillalla S 40 (Silta 2, Kehä II) ja Oulussa Kasarmintien ylikulkusillalla.

Silloilla tehtiin noin puolen vuoden mittainen jatkuva kosteus- ja lämpötilamittaus, käyttäen rakenteissa valmiina olevia antureita. Samanaikaisesti rakenteiden mittausten kanssa mitattiin ilman kosteus ja lämpötila ulkoilmasta rakenteen vierestä. Kummassakin kohteessa pyrittiin tekemään mittaukset vuoden lämpimimpänä ja kylmimpänä kautena.

2 Mittausmenetelmät ja seurantakohteet

2.1 Rakenteiden kosteus- ja lämpötilaseuranta

2.1.1 Yleistä

Rakenteisiin on ennen betonivalua asennettu ruotsalaisvalmisteiset MS-sensorit. Anturi mittaa kosteutta ja lämpötilaa. Sensoreita käytetään ja myydään Ruotsissa vielä tänäkin päivänä. FuktCom AB-niminen yritys myy ja valmistaa anturia. Anturin (Sahlen sensor, MS 102) hinta on nykyisin noin 93€ (FuktCom AB).



Kuva 1. Betonin sisään valettava MS-sensori metalliverkolla suojattuna (Väyrynen, R. 2000).

2.1.2 Loggeri

Anturien mittauksessa käytetty loggeri on Grantin valmistama (Kuva 2). Loggerilla voidaan mitata kerralla kahta MS-sensoria. Kussakin MS-sensorissa on kaksi johtoa lämpötila- ja kosteusmittausta varten, joten loggerissa tarvitaan kahdeksan kanavaa. Loggerilla voidaan mitata lämpötila välillä -40 ja +85°C ja resistanssi välillä 0 ja 25M Ω , mikä vastaa noin RH 100–75%.



Kuva 2. Kaksi mittauksissa käytettyä loggeria ja datakaapeli.

Loggerin muistikapasiteetti on 32000 (BetongDatorn Handbok 1995), eli kun kaikki kanavat ovat käytössä, saadaan 8000 mittauskertaa jokaiselle mittaussuurelle. Mittaustaajuus on mahdollista ohjelmoida halutuksi välillä 1-99 min. Tässä selvityksessä tehdyissä mittauksissa käytetyllä 90 min mittaustaajuudella voidaan siis muistikapasiteetin puolesta mitata 500 päivää. Mittaustaajuus vaikuttaa virran kulutukseen, mikä haluttiin minimoida.

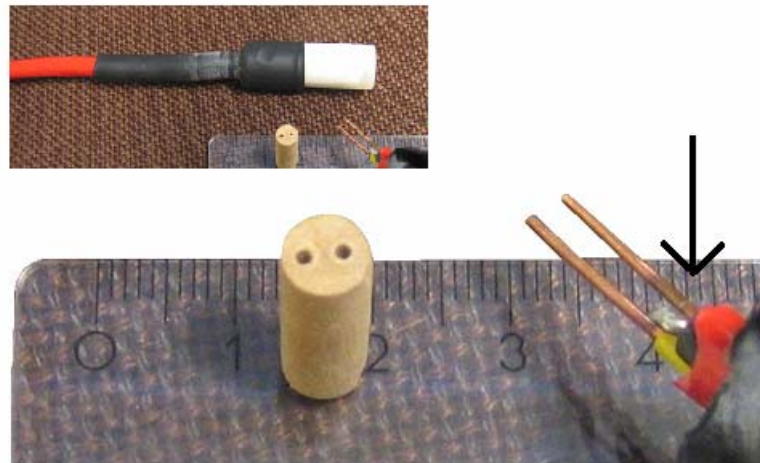
Loggeri saa virran kuudesta 1,5 V paristosta (AA). BetongDatorn käsikirjan mukaan paristot riittävät noin neljän kuukauden mittaukseen normaalikäytössä. Kylmässä pattereiden toiminta heikkenee, mikä lisää toimintaepävarmuutta. Jos loggerin virransaanti keskeytyy, laitteen muisti nollautuu. Virran saannin varmistamiseksi loggereihin rakennettiin lisävirtalähteet ja käytettiin hyvin pakkasta kestävää paristotyyppiä (Duracell Ultra M3). Ladattavien akkujen käyttö olisi mielekästä, mutta niiden pakkasenkesto ei ole tietyvästi yhtä hyvä kuin paristojen.

2.1.3 Anturin toiminta

Anturi mittaa lämpötilaa termoparilla (kupari-konstantaani) ja kosteus saadaan pienestä puupalasesta resistanssia mittaamalla. Puupalan resistanssi muuttuu lämpötilan ja puun kosteuspitoisuuden funktiona. Kun nämä riippuvuudet tunnetaan, saadaan puun resistanssin ja lämpötilan perusteella laskettua puun kosteuspitoisuus. Puun sorptiokäyrien avulla saadaan puun kosteuspitoisuus muutettua edelleen suhteelliseksi kosteudeksi. Valmistaja ilmoittaa anturin tarkkuudeksi $RH \pm 2$ prosenttiyksikköä (Paroll, H. 2001). Laskenta tapahtuu tietokoneohjelmalla BetongDatorn. Samaa ohjelmaa käytetään myös mittauslogoerin ohjaamisessa; tietojen purussa ja loggerin käynnistämässä. Ohjelmassa käytettyjä laskentakaavoja ei ole julkaistu.

2.1.4 Anturin rakenne

Anturissa on pieni puupala, jonka resistanssia mitataan (Kuva 3). Puupalan ympärillä on vesihöyryä läpäisevä suojakuori (Kuva 3, valkoinen osa). Valmistajan antaman tiedon mukaan MS-sensorin reagointiaika on lyhyempi kuin materiaalin, jonka mittaukseen se on kehitetty.



Kuva 3. Ylhäällä on MS-sensori valkoisessa vesihöyryä läpäisevässä suojassa. Alhaalla suoja on aukaistu ja puupala irrotettu elektrodeista. Nuoli osoittaa lämpötilamittauksissa käytetyn termoparin päätä, puun resistanssinmittauselektrodien tyvessä.

2.2 Ympäröivän ulkoilman kosteus- ja lämpötilaseuranta

Ulkoilman olosuhteet (suhteellinen kosteus ja lämpötila) mitattiin samanaikaisesti rakenteista tehtävän mittauksen kanssa sillalla olevien mittauslaatikoiden läheisyydestä. Mittaukset tehtiin Tinytag Plus-minidataloggereilla (Kuva 4, Liite 1: Loggerin tekniset tiedot). Mittausloggeri mittasi ja tallensi mittaus-tulokset 90 min välein. Loggerit oli suojattu metallisella suojalla, joka oli pohjasta avoin.



Kuva 4. Ulkoilman olosuhteiden mittauksessa käytetty loggeri (Gemini Data Loggers, 2006).

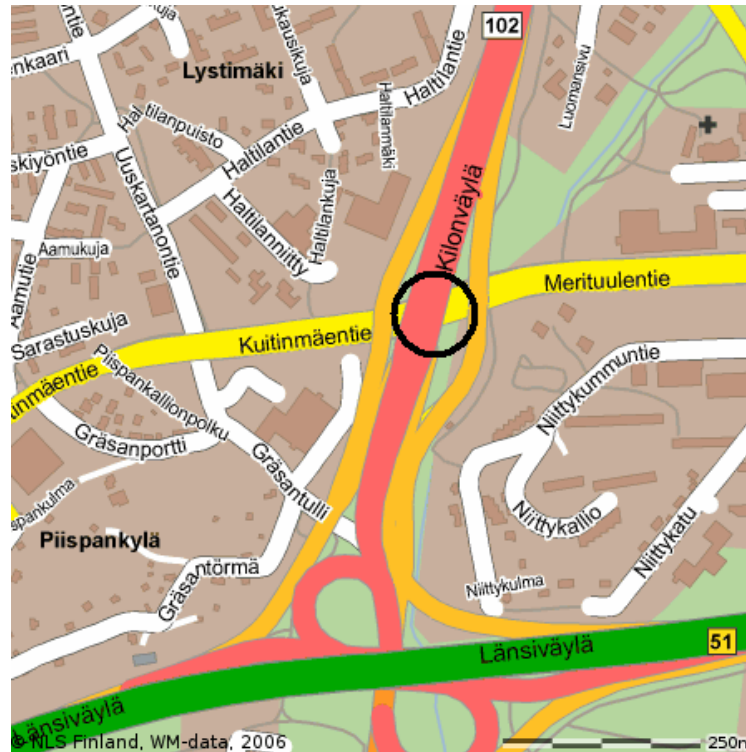
Loggerissa on kapasitiivinen suhteellisen kosteuden anturi. RH-anturin reagointiaika on noin 10 s ja tarkkuus ± 3 % -yksikköä (25°C , RH 90 %). Mittausalue on 0-100 % RH. (Gemini Data Loggers, 2006)

2.3 Gräsanojan risteyssilta, Espoo

2.3.1 Sijainti

Gräsanojan risteyssilta S 40 (silta 2) on osa Kilonväylää 102 (Kehä II) ja ylittää Kuitinmäentien (nimi vaihtuu Merituulentieksi sillan itäpuolella). Mittauslaatikko sijaitsee pääväylän (102) pohjoiseen päin menevällä tiellä, tien vasemman puoleisimmalla kaistalla. Mittauslaatikko sijaitsee siis erittäin liiken-

nöidyllä väylällä hankalassa paikassa, jossa kaistan sulkeminen on välttämätöntä mittalaitteiden asennuksen ja mittaustiedon purun ajaksi (Liikenteenohjaussuunnitelma: Liite 2).



Kuva 5. Mittaussillan sijainti on merkitty karttaan mustalla ympyrällä.

2.3.2 Sillan rakennustyöt

- Siltakannen betonointi on tehty 20.5.1998.
- Kannen eristystyöt (lämpötilamittausten perusteella) noin 12.6.1998.
 - Kumibitumimastiksi (55 kg/m^2), päälle suoja-asfaltti (AB 6/50) ja lopuksi asfaltti (AB 16/70)

2.3.3 Rakenteissa olevat anturit

Ennen valua (20.5.1998) raudoitukseen on asennettu neljä MS-sensoria.

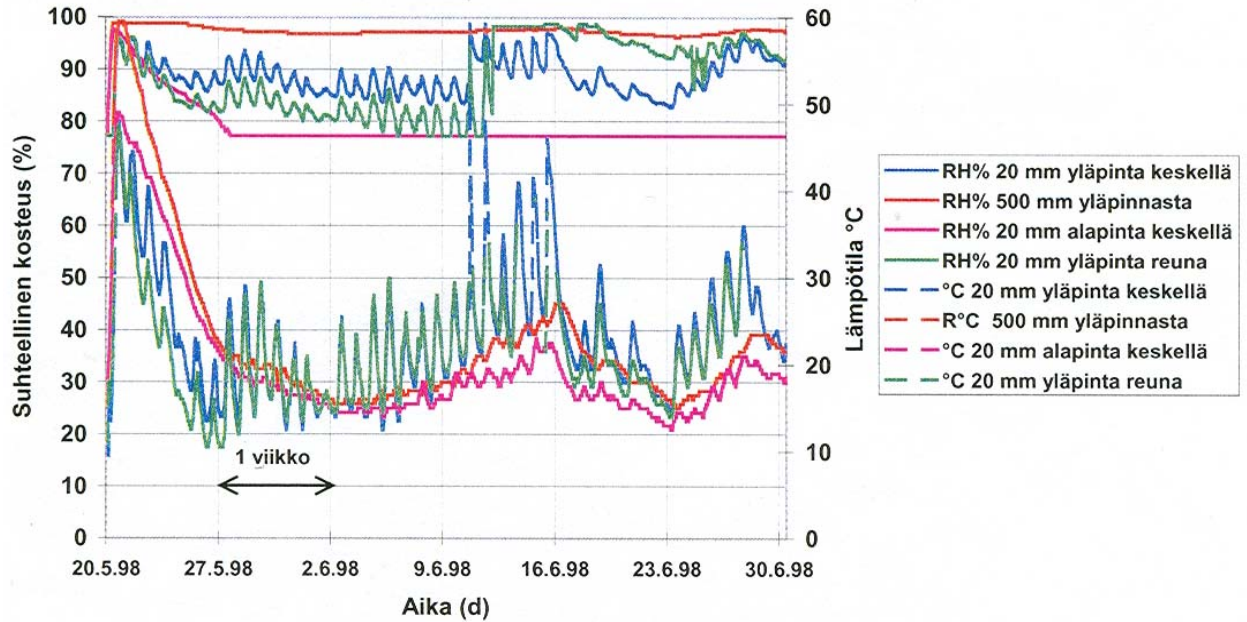
1. Reunapalkista 7,23m (palkin sisäreunasta), kannen yläpinnasta 20mm syvyydelle
2. Reunapalkista 7,23m (palkin sisäreunasta), kannen yläpinnasta 500mm syvyydelle
3. Reunapalkista 7,34m (palkin sisäreunasta), kannen alapinnasta 20mm syvyydelle
4. Reunapalkki 0,27m (palkin ulkoreunasta), palkin yläpinnasta 20mm syvyydelle



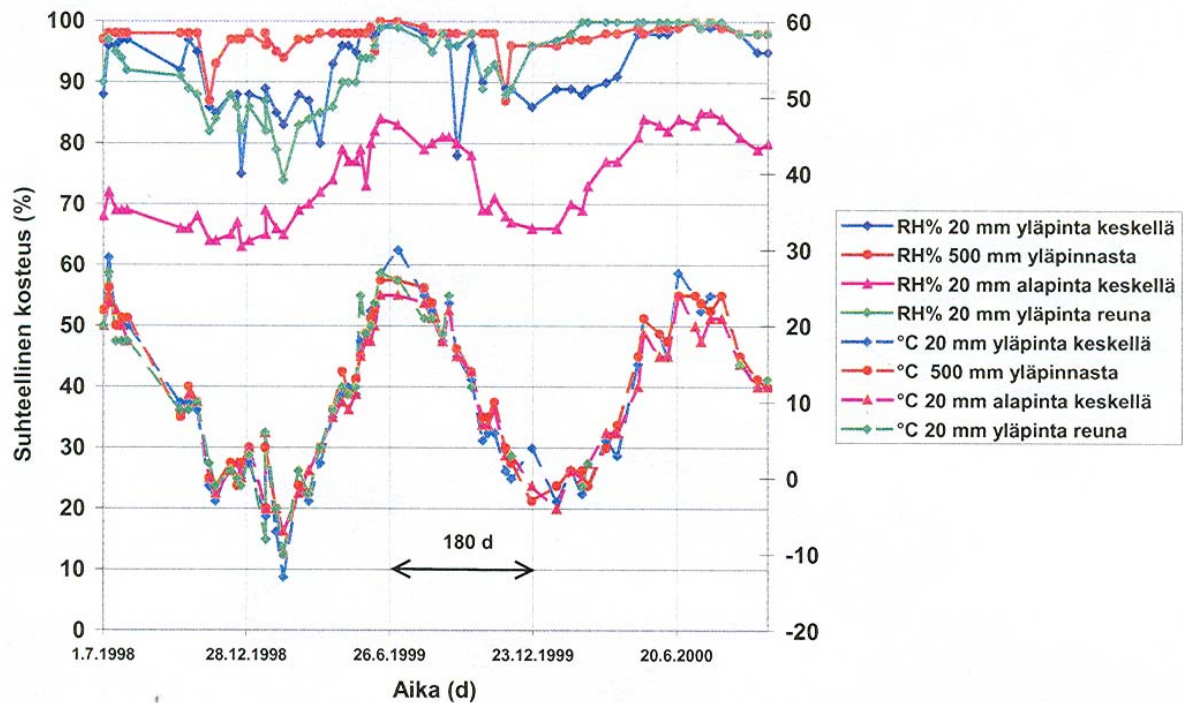
Kuva 6. Antureiden sijainti sillan poikkileikkauksessa.

2.3.4 Aiemmin tehtyjen kosteus- ja lämpötilamittausten tulokset

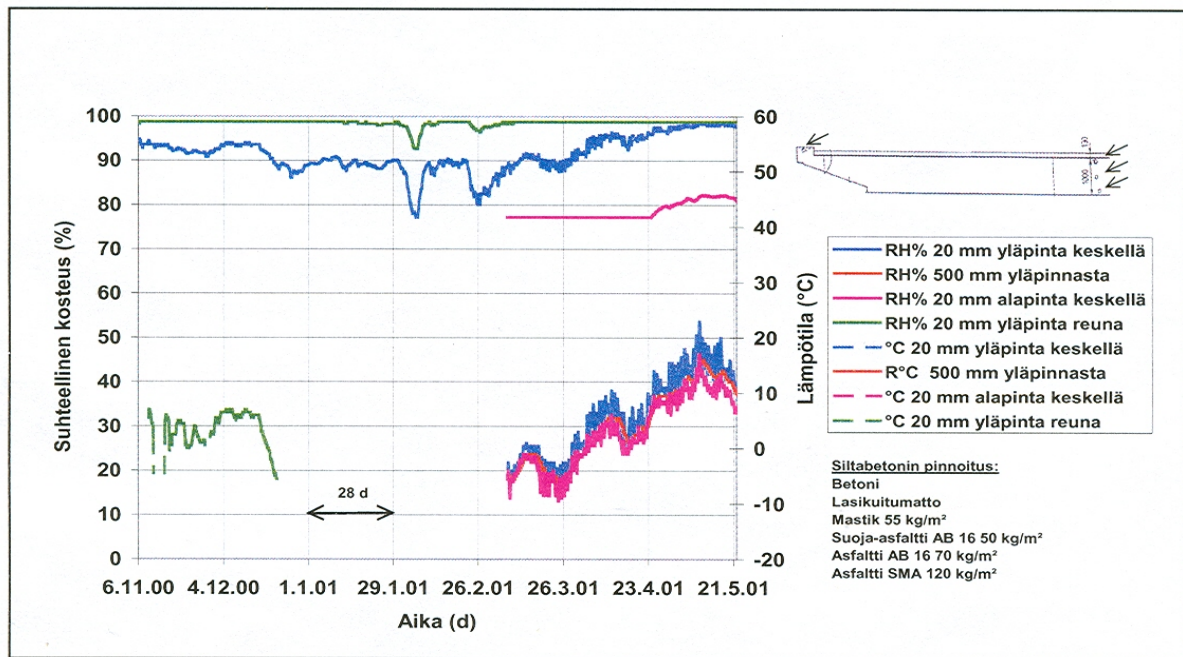
Osa aiemmin saatujen kosteus- ja lämpötilamuutosten tuloksista esitetään kuvissa 7 - 9.



Kuva 7. Mittaustulokset Gräsanojan risteyssillalta (20.5.1998 - 1.7.1998) (Paroll, H. 2001).



Kuva 8. Mittaustulokset Gräsanojan risteyssillalta (1.7.1998 - 12.10.2000) (Paroll, H. 2001).



Kuva 9. Mittaustulokset Gräsanojan risteyssillalta (6.11.2000 - 21.5.2001) (Paroll, H. 2001).

2.4 Kasarmintien ylikulkusilta, Oulu

2.4.1 Sijainti

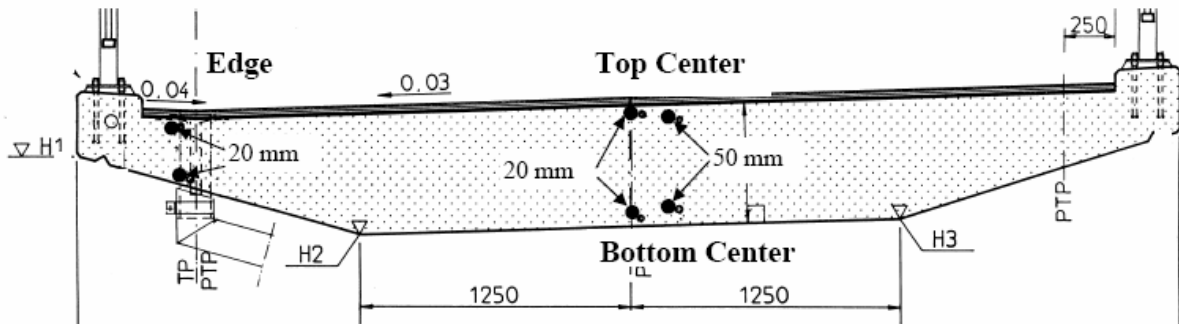
Kevyenliikenteen silta Kasarmintien yli sijaitsee Oulussa kulkien 4-tien kyljessä heti Oulunjoen eteläpuolella. Sillan itäpuolella sijaitsee Oulun Vesi, jonka postiosoite on Kasarmintie 29.

2.4.2 Sillan rakennustyöt

Kannen betonointi on tehty 17.4.1997, jolloin on myös asennettu rakenteissa olevat mittausanturit. Kermien epäonnistunut asennus tapahtui 30.5.1997 - 2.6.1997. Kupliva kermi poistettiin 9.7.1997 ja uusi kaksinkertainen epoksihartsipinnoite (Ergoflex Dur 500 S) asennettiin 9.7.1997 ennen varsinaista eristystä 10.7.1997, jolloin asennettiin kaksinkertainen kermi. Silloisten MS-sensorilla tehtyjen mittaustulosten mukaan (Kuva 12) betonin suhteellinen kosteus on ollut huomattavan korkea eristystyön aikana.

2.4.3 Rakenteissa olevat anturit

Siltakanteen on asennettu 17.4.1997 kuusi MS-sensoria. Kaksi anturia on asennettu reunapalkin viereen 20 mm:n syvyydelle ylä- ja alapinnoista. Loput neljä anturia sijaitsevat kannen keskiosassa molemmilla ylä- ja alapinnoilla kaksi anturia 20 ja 50mm etäisyydellä pinnasta (Kuva 10).

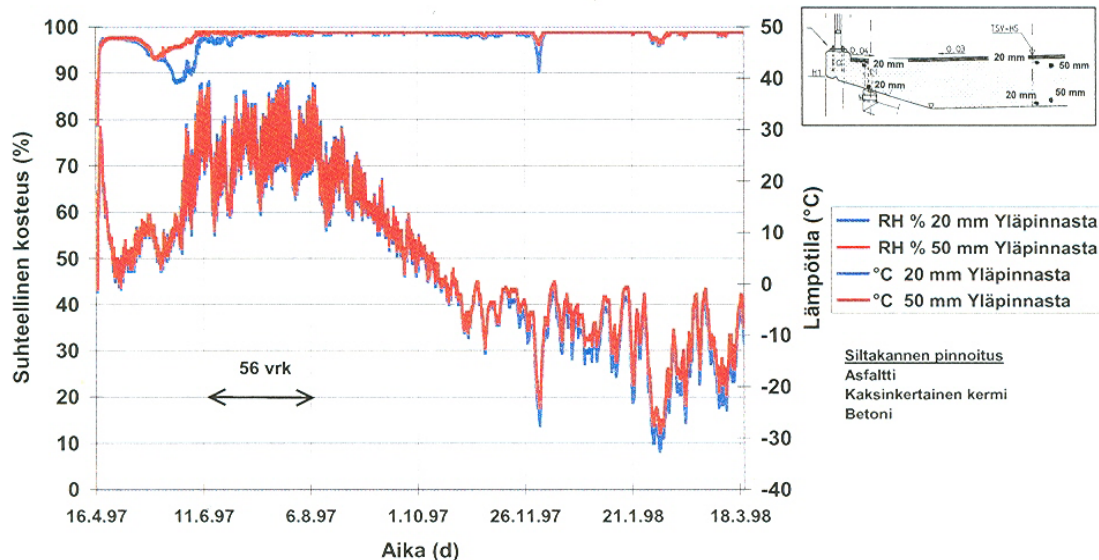


Kuva 10. MS-sensoreiden sijainti Kasarmintien ylikulkusillan poikkileikkaus kuvassa (Paroll, H. & Nykänen, E, 1999)

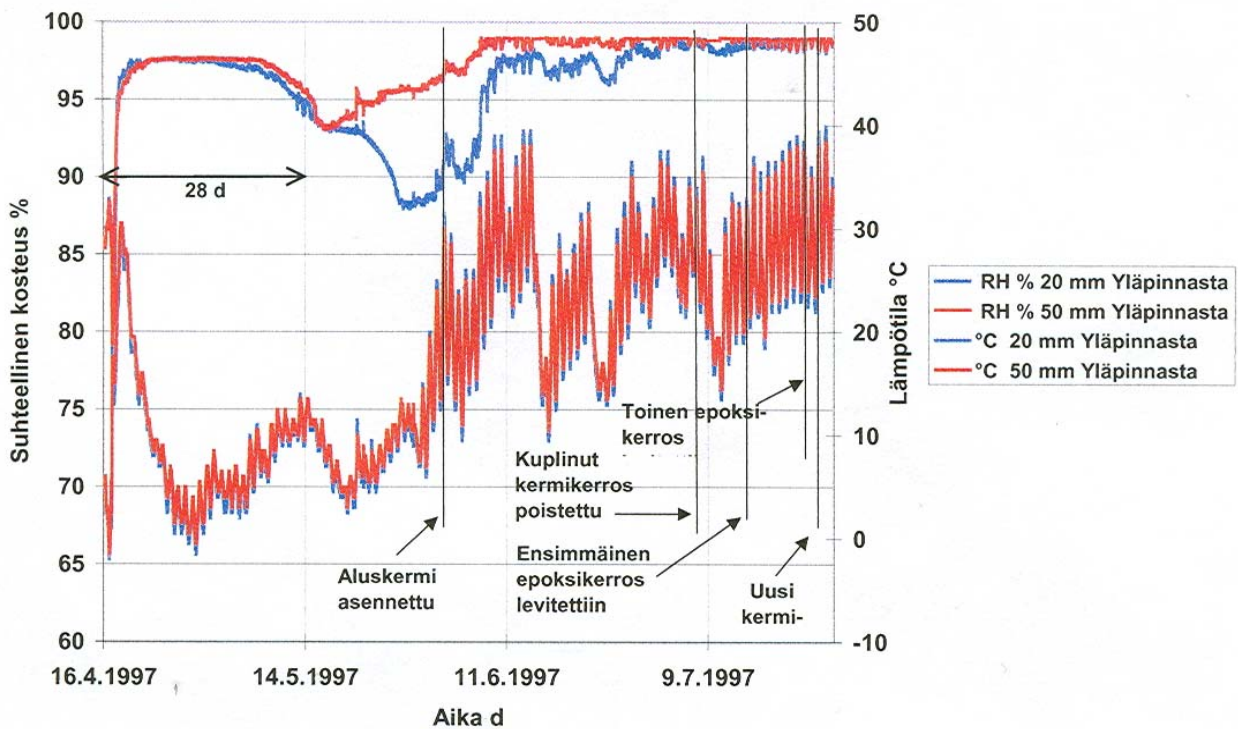
Sillalla on tehty kosteusmittauksia myös Vaisalan HMP 44-antureilla, AHEAD Hygrotemp II-antureilla, sekä otettu materiaalinäytteitä kosteuspitoisuuden määrittämistä varten (Väyrynen, R. 2000). Nämä mittaukset on suoritettu 21.–23.5.97 välisenä aikana sillan kannen yläpinnasta, eivätkä anturit tai mittausreiät ole enää käytettävissä.

2.4.4 Aiemmin tehtyjen kosteus- ja lämpötilamittausten tulokset

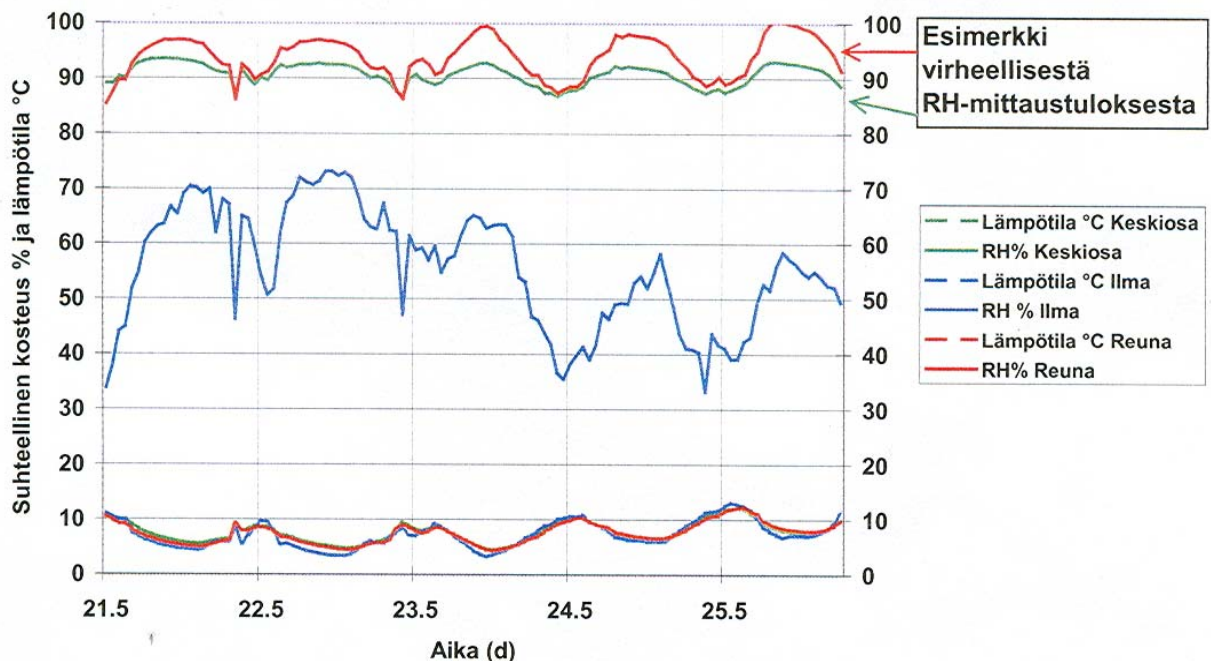
Osa aiemmin saatujen kosteus- ja lämpötilamuutosten tuloksista esitetään kuvissa 11 - 16.



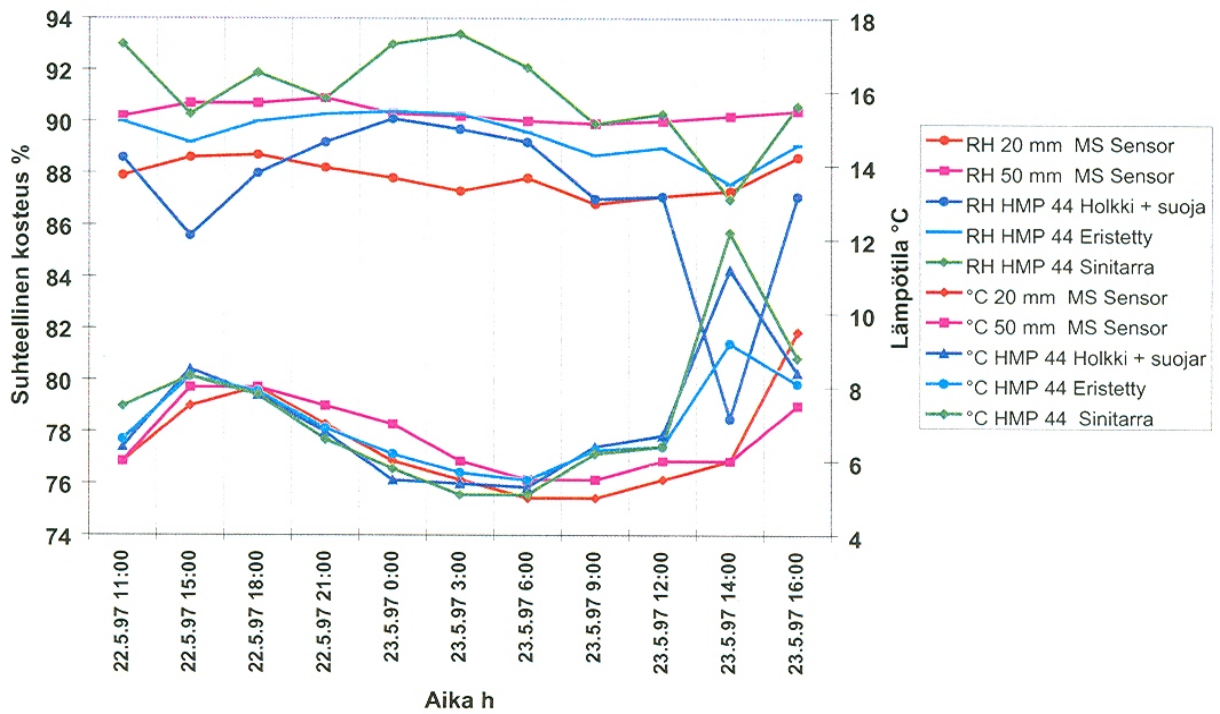
Kuva 11. Mittaustulokset (16.4.1997 - 18.3.1998) Kasarmintien sillan siltakannen keskiosan yläpinnasta (Paroll, H. 2001).



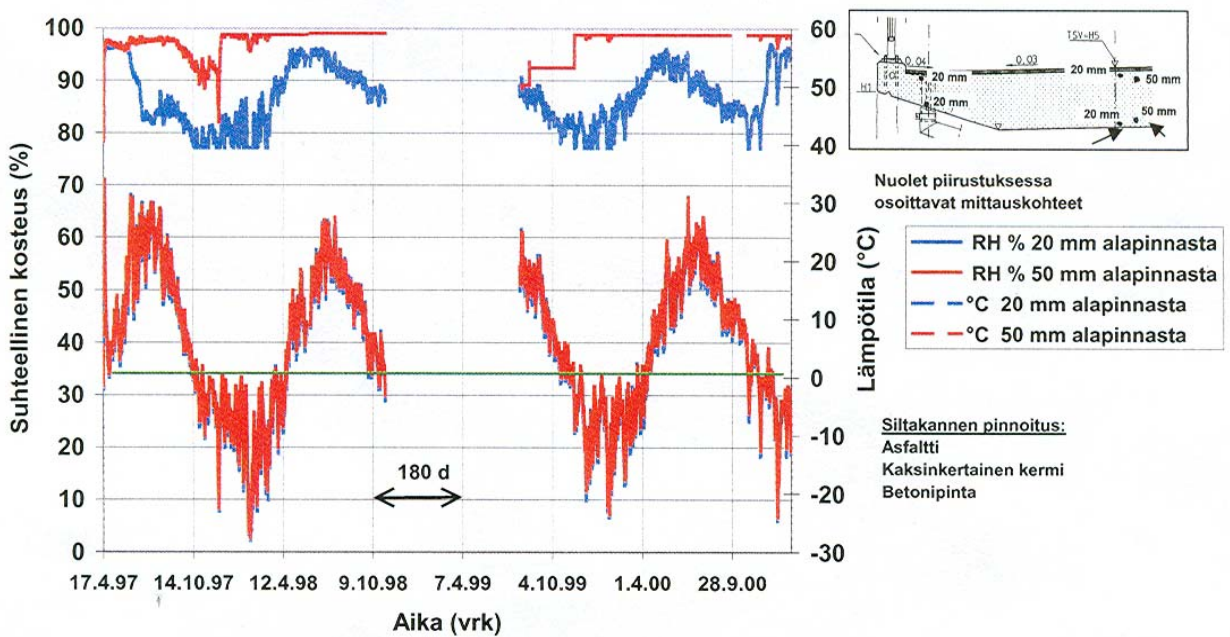
Kuva 12. Osa edellisestä kuvasta, mittaustulokset kuplimisen aikana (14.5.1997 - 25.6.1997) (Paroll, H. 2001). Kuvassa on viivalla merkitty kermin asentamisajankohta. Sen jälkeen kuvassa näkyy voimakas lämpötilan nousu ja vastaavasti betonin huokosilman RH:n nousu, mikä aiheutti kermin kuplimisen.



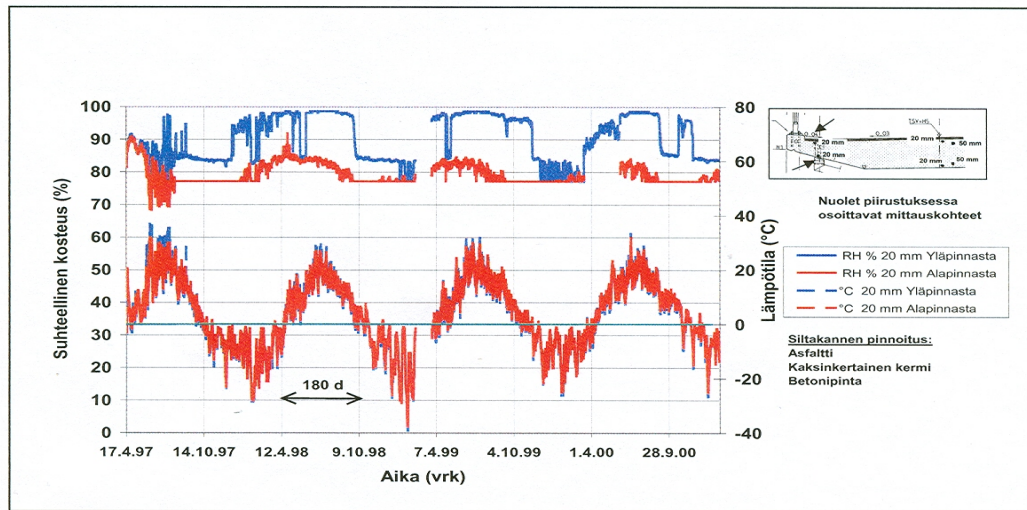
Kuva 13. Kapasitiivisella AHEAD Hygrotemp II-anturilla saadut virheelliset betonin huokosilman RH-mittaustulokset (21.5.1997 - 26.5.1997) (Paroll, H. 2001). Betonin RH ei seurannut lämpötilaa.



Kuva 14. Vaisalan HMP 44-antureilla tehdyt kertamittaukset eri eristyksillä ja vastaavat MS-sensorien tulokset (Paroll, H. 2001).



Kuva 15. Mittaustulokset keskeltä siltakannta kannen alapinnasta (17.4.1997 - 24.1.2001) (Paroll, H. 2001).

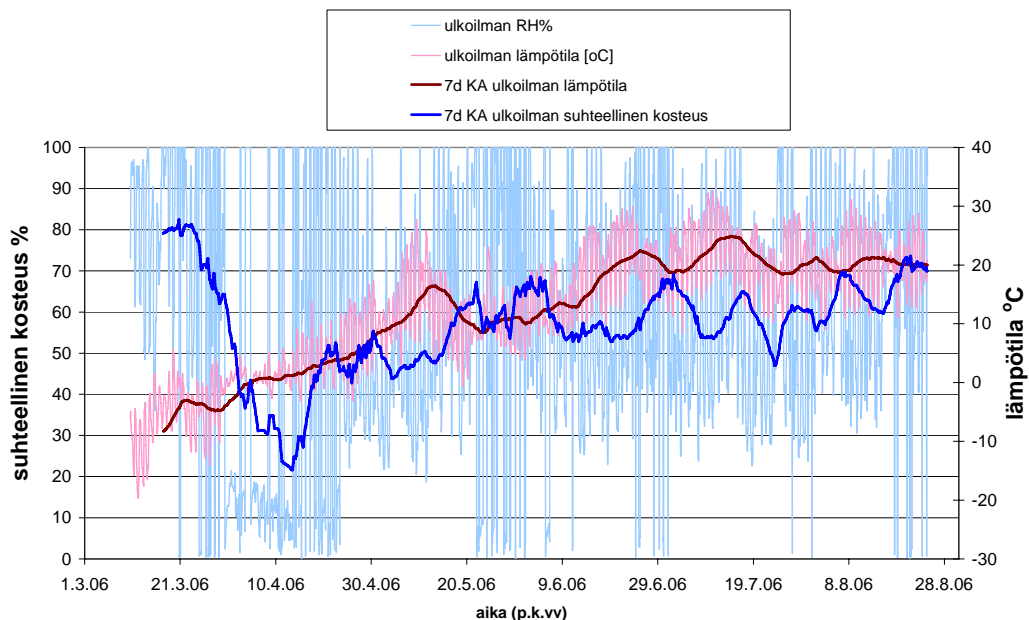


Kuva 16. Mittaustulokset siltakannen reunasta kannen ylä- ja alapinnasta (17.4.1997 - 24.1.2001) (Paroll, H. 2001).

3 Tulokset

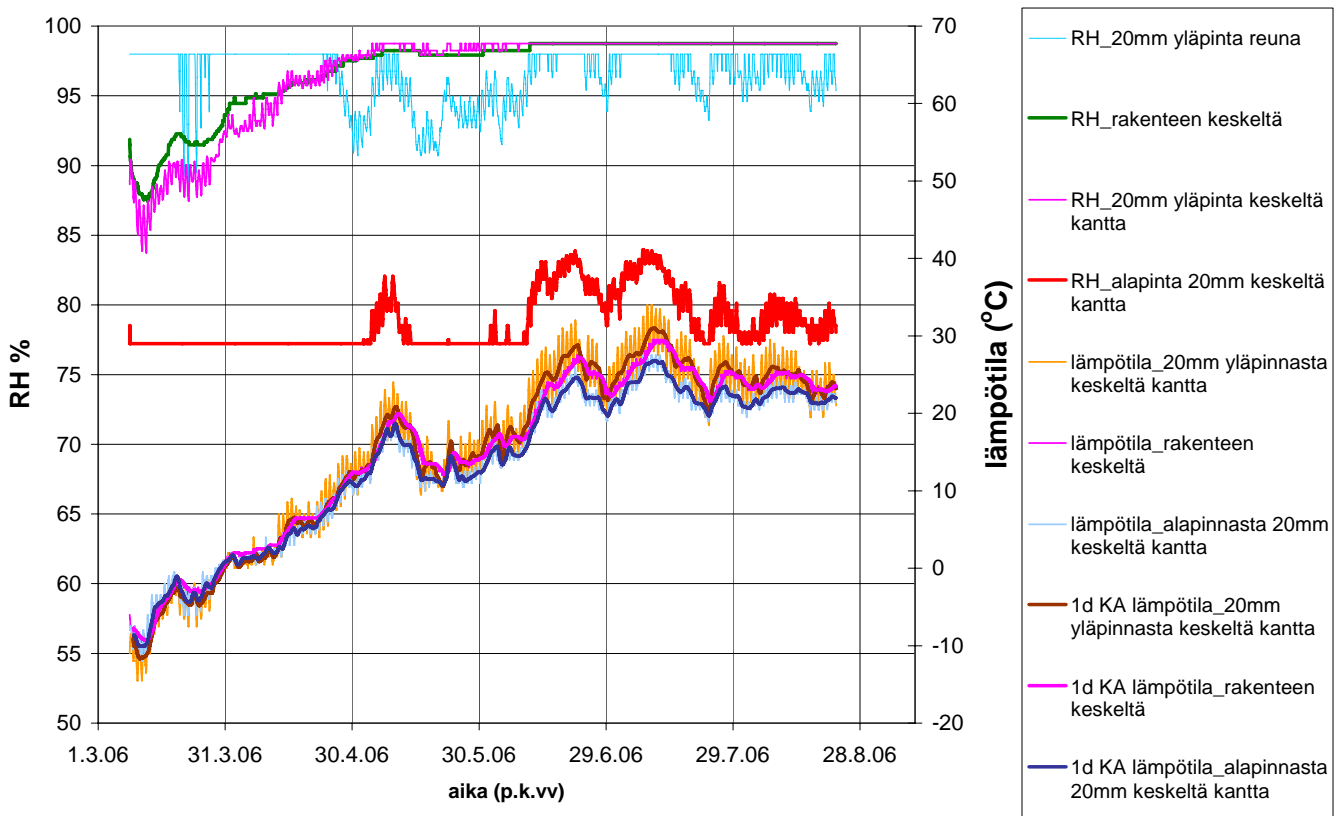
3.1 Gräsanojan risteyssilta, Espoo

Sillalla suoritettiin mittaukset 8.3.06–22.8.06 välisenä aikana. Ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus kyseisenä aikana (Kuva 17)



Kuva 17. Kehä 2 sillalta mitatut ulkoilman olosuhdetiedot. Kuvassa tummalla paksulla viivalla (7d KA) on kuvattu viikon trendiä, arvot ovat viikon keskiarvolukemia.

Kuvasta (Kuva 17) nähdään, että mittauskauden alin mitattu lämpötila $-19,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ oli 10.3.06 ja korkein lämpötila $+32,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ oli 8.7.06.



Kuva 18. Sillasta MS- sensoreilla mitatut suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvot. Lämpötiloista on piirretty myös vuorokauden trendit (1d KA).

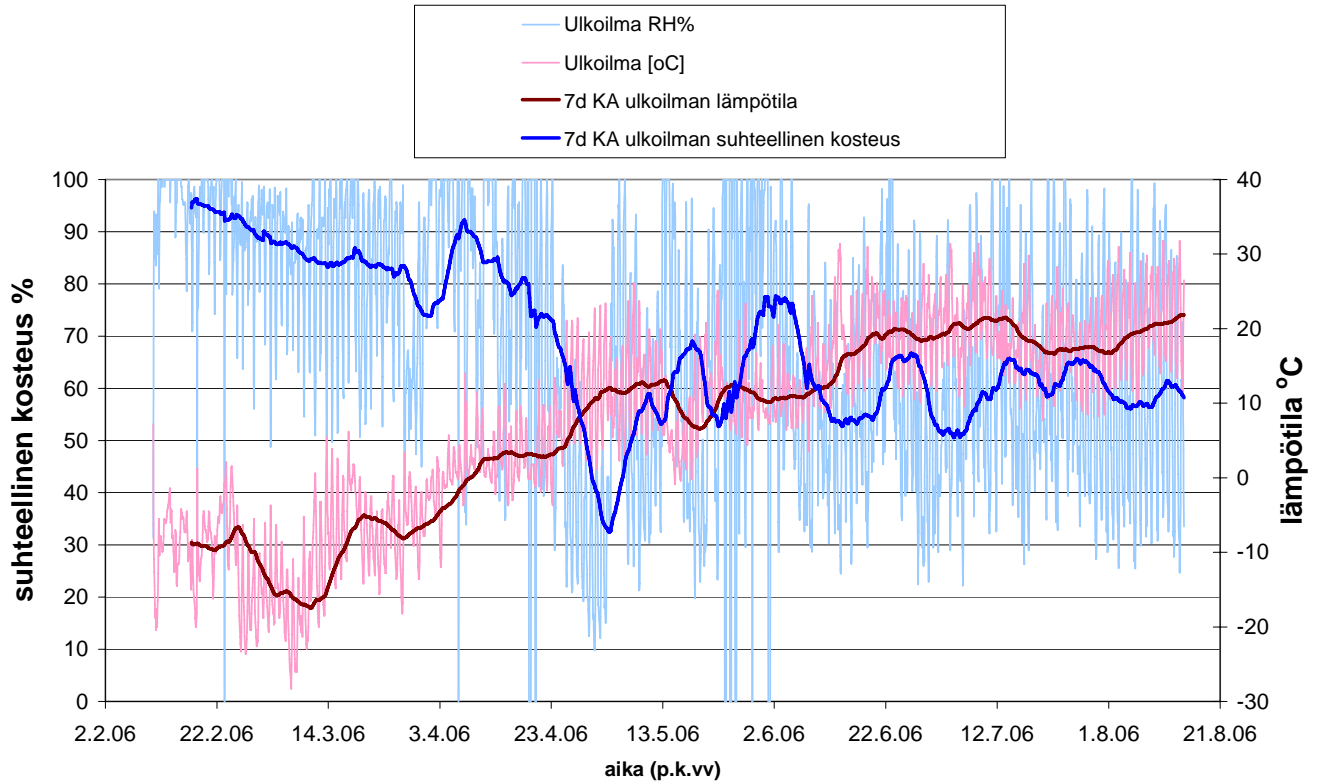
Kuvaan (Kuva 18) on koottu kaikki rakenteesta tehdyt RH % -mittaukset, tämä mahdollistaa arvojen vertailun. Kuvasta nähdään, että kannen alapinnasta on saatu muita merkittävästi alhaisempia RH-arvoja. Kannen alapinnassa RH on kesällä heilahdellut 80 %:n molemmin puolin lämpötilan ollessa noin 20 °C, alimmillaan RH on ollut talvella ja keväällä alle 77 % (käytetty mittalaite ei pysty mittaamaan alhaisempia arvoja).

Kannen keskeltä mastiksin alapuolelta 20 mm syvyydeltä ja 500 mm syvyydeltä on saatu hyvin lähellä toisiaan olevia mittaustuloksia, jotka poikkeavat toisistaan vain lähinnä siinä, että pinnan lämpötilavaihtelut ovat suuremmat ja reagoivat nopeammin ulkolämpötilan muutoksiin. Keskellä kantta suhteellinen kosteus oli talvella alhaisimmillaan noin 85 % lämpötilan ollessa tällöin noin -12 °C. Keväällä (1.4–1.6.06), kun lämpötila nousi voimakkaasti, seurasivat RH-lukemat lämpötilaa. Toukokuun alussa RH-arvot näyttivät jo kannen keskellä noin 100 RH % ja pysyivät korkealla mittaussjakson loppuun saakka (22.8.06).

Kannen reunassa 20 mm yläpinnasta olevan anturin lämpötilamittaukset eivät onnistuneet. Syytä tähän ei ole tiedossa. Saman anturin suhteellisen kosteuden mittaustuloksia voidaan tästä syystä pitää korkeintaan suuntaa antavina. Suhteellisen kosteuden arvot seuraavat kesällä kuitenkin lämpötilaa, mikä viittaa anturin toimivan oikein. Anturin mukaan reunan yläpinnassa 20 mm syvyydellä suhteellinen kosteus on ollut noin 90 ja 100 % välissä.

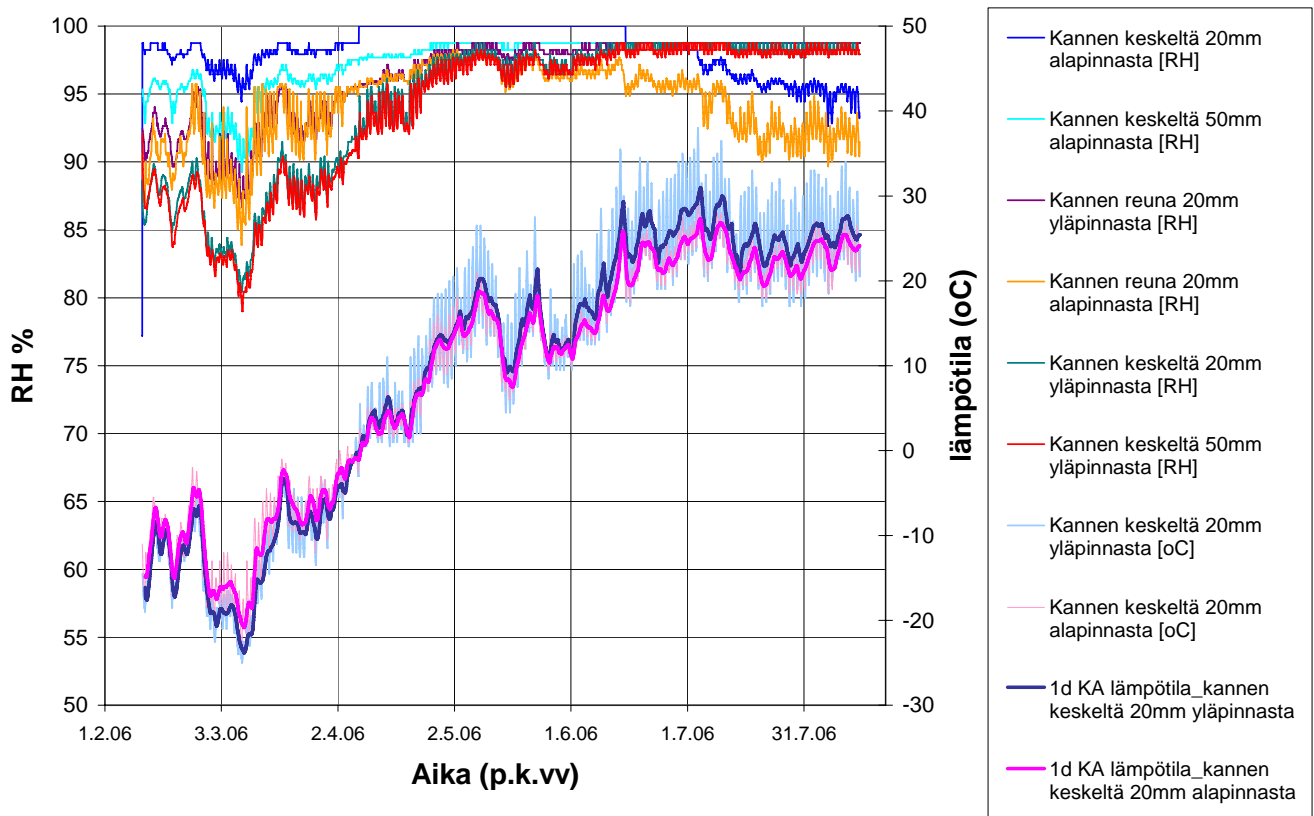
3.2 Kasarmintien ylikulkusilta, Oulu

Sillalla suoritettiin mittaukset 10.2.06–14.8.06 välisenä aikana. Ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus kyseisenä aikana (Kuva 19).



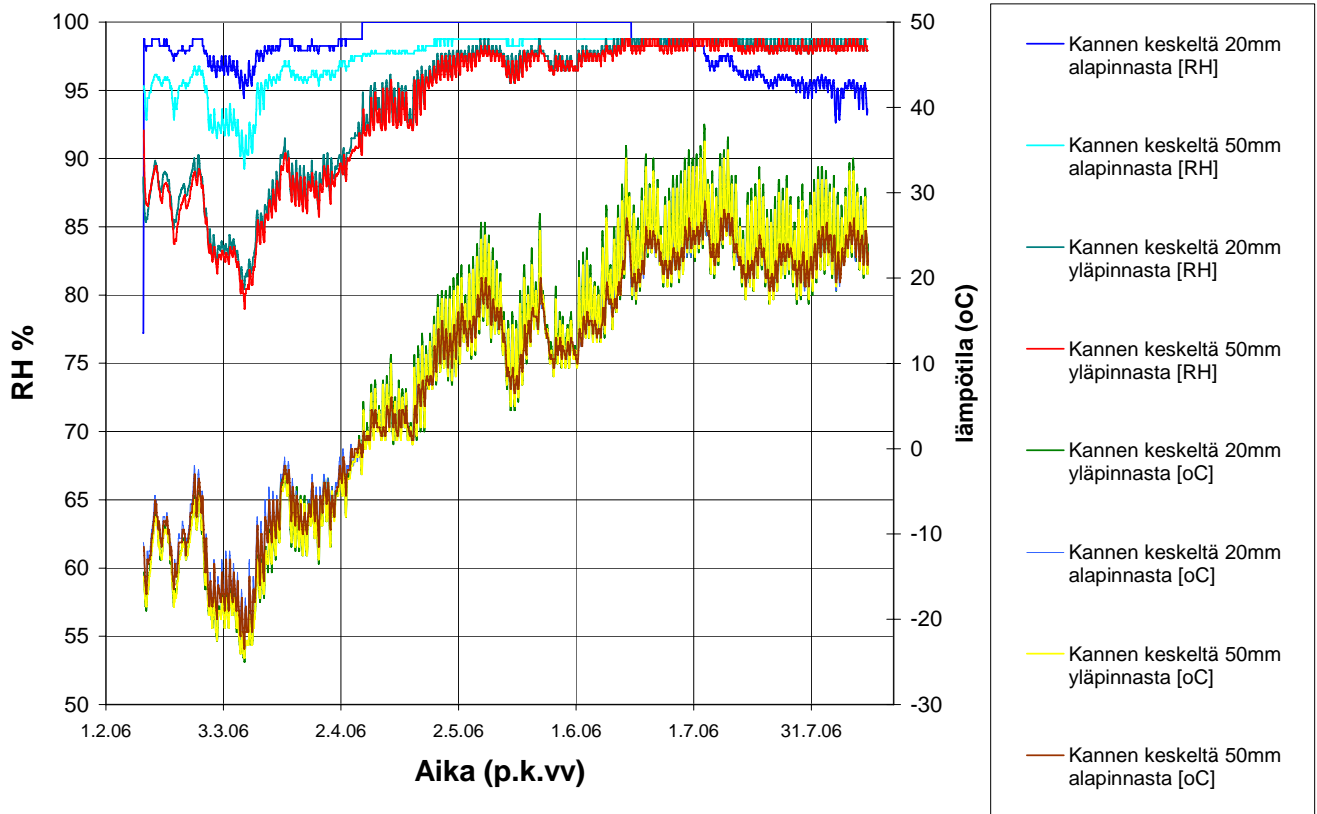
Kuva 19. Kasarmintien ylikulkusillan ulkoilman olosuhdetiedot. Kuvassa tummalla paksulla viivalla (7d KA) on kuvattu trendiä, arvot ovat viikon keskiarvolukemia.

Kuvasta (Kuva 19) nähdään että mittauskauden alin mitattu lämpötila $-28,3\text{ °C}$ oli 7.3.06 ja korkein lämpötila $+31,8\text{ °C}$ oli 10.8.06.

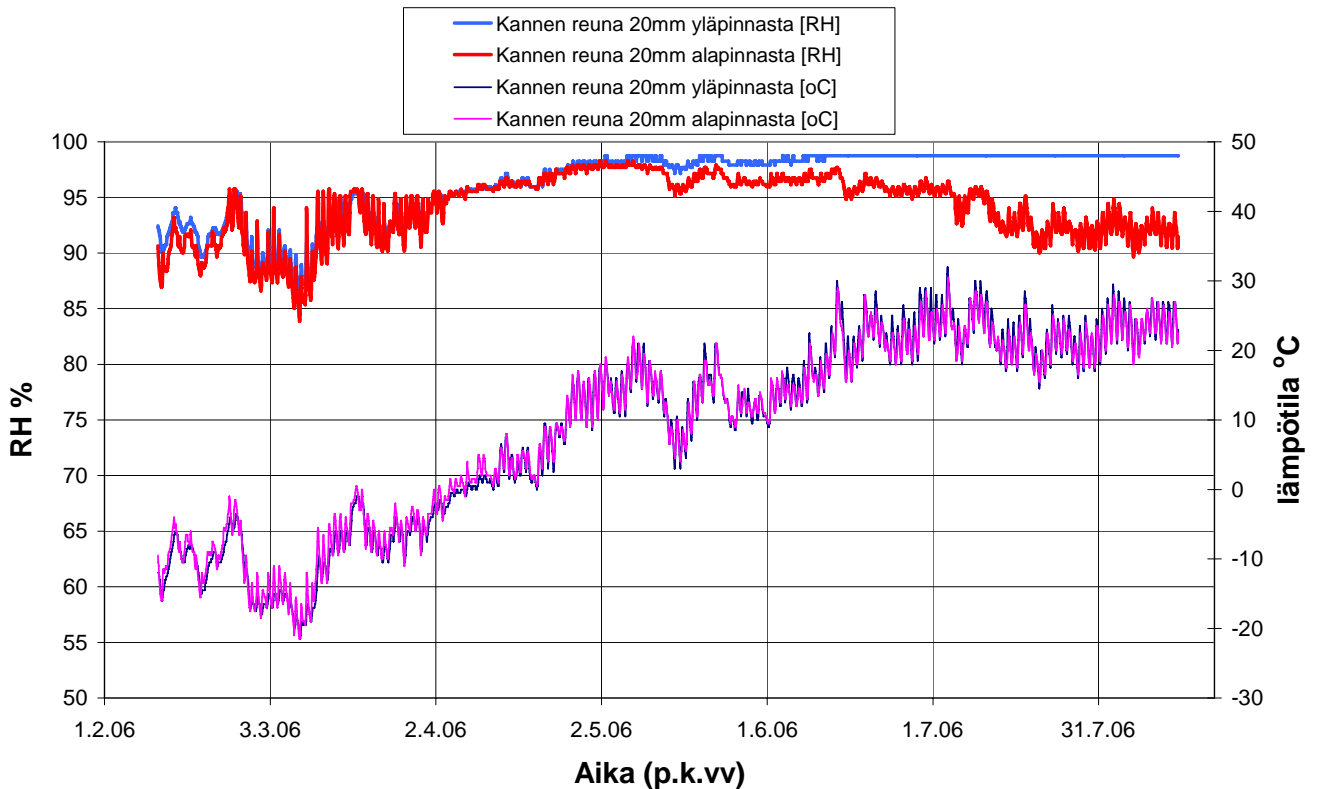


Kuva 20. Kasarmintien ylikulkusillasta MS- sensoreilla mitatut suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvot. Lämpötiloista on kuvassa esitetty vain minimi (kannen alapinta) ja maksimi-arvot (kannen yläpinta) sekä piirretty vuorokauden trendit (1d KA).

Kuvaan (Kuva 20) on koottu kaikki rakenteesta tehdyt RH % mittaukset, tämä mahdollistaa arvojen vertailun. Kuvasta nähdään, että kevättalvella (1.2.–1.4.06) RH % on alhaisin (noin 85–90 RH % ja lämpötila noin -15 – +3 °C) kannen keskellä kermin alapuolella. Samaan aikaan kannen reunasta on mitattu noin 5 RH prosenttiyksikköä korkeampia arvoja ja keskeltä kantta kannen alapinnasta noin 10 RH prosenttiyksikköä korkeampia arvoja. Keväällä (1.4–1.6.06) kun lämpötila nousi voimakkaasti, seurasivat RH-lukemat lämpötilaa. Toukokuun alussa RH-arvot näyttivät jo kaikissa mittauspisteissä noin 100 RH % ja pysyivät korkealla mittausjakson loppuun saakka (14.8.06), lukuun ottamatta kannen alapintaa. Kannen alapinnassa 20 mm syvyydellä RH-arvot kääntyivät laskuun kesäkuun alussa, kannen reunassa noin kaksi viikkoa kannen keskiosaa nopeammin. Mittausjakson lopussa kannen keskellä 20 mm syvyydellä suhteellinen kosteus oli noin 95 % ja lämpötila noin +23 °C ja kannen reunassa samalla syvyydellä suhteellinen kosteus oli noin kolme prosenttiyksikköä alhaisempi, kuin kannen keskellä ja lämpötila noin kaksi astetta reunaa alhaisempi. Kuvissa (Kuva 21 ja Kuva 22) on vielä piirretty kannen keskeltä ja kannen reunasta saadut kaikki mittaustulokset omiin kuviin.



Kuva 21. Kannen keskeltä tehdyt mittaukset.



Kuva 22. Kannen reunasta tehdyt mittaukset.

4 Tulosten tarkastelu

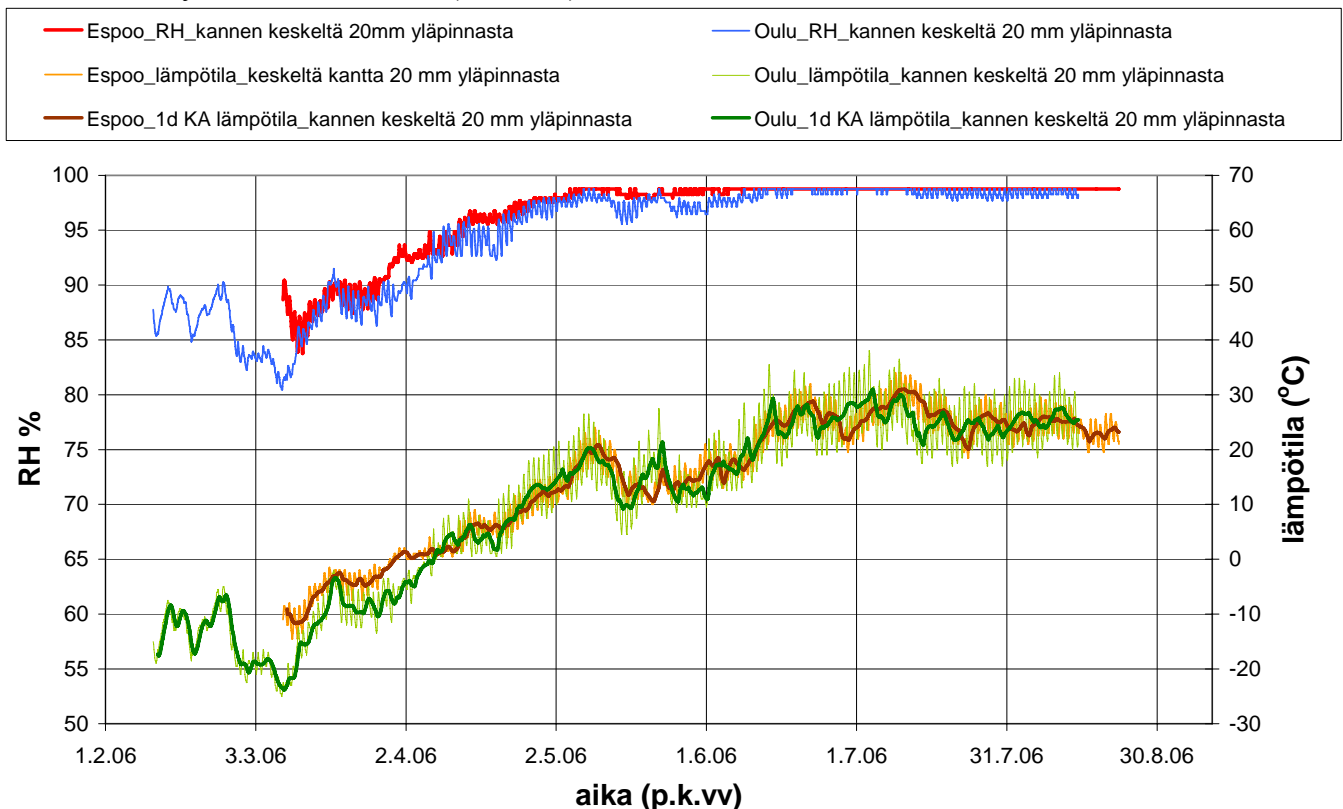
4.1 Gräsanojan risteysillalla vioittunut termopari

Mittaukset onnistuivat yhtä MS-sensorin lämpötilamittausta lukuun ottamatta, eikä vian syytä tiedetä. Puuttuvat lämpötilatiedot eivät sinänsä ole iso menetys, koska ne voitiin korvata lähes vastaavilla arvoilla ”20 mm yläpinta keskeltä” ja laskea näillä MS-sensorin vastusarvoista suhteellinen kosteus. Kannen reunassa 20 mm pinnassa olevan MS-sensorin suhteellisen kosteuden arvot ovat tämän johdosta riittävän tarkkoja ja käyttökelpoisia, mutta anturin RH-tuloksiin tulee suhtautua varauksella, koska termoparin pää ja RH-anturi sijaitsevat samassa kotelossa ja vaurio voi olla pelkää termoparia laajempi. Mainittakoon kuitenkin, että lämpötilalla ja suhteellisella kosteudella on omat kaapelinsa, joten vaurio voi olla vain toisessakin.

4.2 Oulun ja Espoon tulosten vertailu keskenään

Siltakannen yläpinta keskellä kantta

Molemmissa silloissa oli keskellä kantta vesieristyksen alla 20 mm syvyydellä anturit, joiden mittaus-tulokset ovat hyvin lähellä toisiaan (Kuva 23).



Kuva 23. Keskeltä kantta vesieristyksen alapuolelta mitatut suhteelliset kosteudet ja lämpötilat Oulussa ja Espoossa.

Kuvasta (Kuva 23) nähdään, että Oulun ja Espoon siltojen vesieristyksen alla oli hyvin samankaltaiset olosuhteet. Vaikka suhteellinen kosteus laskee vesieristyksen alla talvella, niin se ei johdu rakenteen kuivumisesta. Suhteellinen kosteus seuraa kuvassa lämpötilaa, koska betonin tasapainokosteuskäyrät ovat lämpötilariippuvia.

Siltakannen alapinta

Kesellä kantta kannen alapinnassa 20 mm syvyydellä tuloksissa Oulun ja Espoon välillä oli merkittävä ero. Espoossa alapinta oli merkittävästi kuivempi, suhteellinen kosteus oli noin 80 % ja vaihtelu ± 3 prosenttiyksikköä $+20$ °C lämpötilassa. Oulussa samassa lämpötilassa suhteellinen kosteus oli 96,5 % ja vaihtelu $\pm 3,5$ prosenttiyksikköä. Kuvasta (Kuva 20) voidaan päätellä, että Oulussa oleva silta kuivuu alapinnastaan kannen reunasta ja keskeltä kantta 20 mm syvyydeltä. Kannen alapinnan voidaan päätellä kuivuvan, koska suhteellisessa kosteudessa on laskeva trendi, eikä vastaavaa trendiä voida havaita samalla lämpötilalla. Samanlaista selvää kuivumista ei voida havaita Espoon sillalla.

4.3 Tulosten vertailu aiempiin mittaustuloksiin

4.3.1 Gräsanojan silta

Siltakannen yläpinta keskellä kantta

Aiemmat seurantamittaukset on tehty valun jälkeen (20.5.98) ja sen kesto oli noin 6 vko (1.7.98) sekä 6.11.00 lähtien mittauksen keston ollen noin 6,5 kk (21.5.01). Vuosien 2001 ja 2006 alkuvuoden mittaustulokset ovat samankaltaisia (Kuva 9 ja Kuva 18). Molempina ajankohtina suhteellinen kosteus on ollut noin 90 % lämpötilan ollessa noin -5 °C ja lämpötilan noustessa suhteellinen kosteus on noussut 100 %:iin.

Siltakannen puoliväli keskellä kantta

Aiempi seurantamittaus on tehty valun jälkeen (20.5.98) ja sen kesto oli noin 6 vko (1.7.98), vuosina 2000 ja 2001 tehdyissä mittauksissa kannen keskiosa ei ollut mukana. Valun jälkeen kannen keskiosassa on ollut koko 6 vko:n mittausjakson ajan suhteellinen kosteus lähes 100 % (Kuva 7). Nyt tehdyissä mittauksissa suhteellinen kosteus kannen keskellä oli keväällä (noin -5 °C) noin 90 % ja lämpötilan noustessa noin $+13$ °C:een suhteellinen kosteus saavuttaa 100 % ja pysyy siellä mittausjakson loppuun (Kuva 18).

Siltakannen alapinta keskellä kantta

Aiemmat seurantamittaukset on tehty valun jälkeen (20.5.98) ja sen kesto oli noin 6 vko (1.7.98) sekä 6.11.00 lähtien mittauksen keston ollen noin 6,5 kk (21.5.01). Vuosien 2001 ja 2006 alkuvuoden mittaustulokset ovat samankaltaisia (Kuva 9 ja Kuva 18). Molempina ajankohtina suhteellinen kosteus on ollut alle mittauskapasiteetin alarajan 77 RH %. Lämpötilan noustessa noin $+15$ °C:een suhteellinen kosteus nousee noin 80 %:iin. Havaittavaa muutosta ei ole siis tapahtunut viiden vuoden aikana.

Siltakannen reunan yläpinta

Aiemmat seurantamittaukset on tehty valun jälkeen (20.5.98) ja sen kesto oli noin 6 vko (1.7.98) sekä 6.11.00 lähtien mittauksen keston ollen noin 6,5 kk (21.5.01). Aikaisemmissa mittauksissa suhteellinen kosteus on ollut noin 100 % (Kuva 9). Nyt tehdyissä mittauksissa suhteellinen kosteus vaihteli enemmän, ollen kuitenkin korkea (keskimäärin noin 95 %) koko mittausjakson ajan (Kuva 18).

4.3.2 Kasarmintien silta

Siltakannen yläpinta keskellä kantta

Aiempi seurantamittaus on tehty valun jälkeen (16.4.97) ja sen kesto oli noin 11kk (18.3.98). Seurantajakson aikana suhteellinen kosteus nousee pinnoittamisen jälkeen 100 %:iin ja pysyy siellä koko seurantajakson ajan (Kuva 11). Suhteellinen kosteus ei siis laske kermin alla vaikka lämpötila laskee. Noin kahdeksan vuoden jälkeen tehdyissä mittauksissa (10.2.06–14.8.06) suhteellinen kosteus laski kermin alla noin 85 %:iin lämpötilan laskiessa ja suhteellinen kosteus vakiintui 100 %:iin vasta rakenteen

keskilämpötilan vakiintuessa yli +20 °C. Tämän perusteella voidaan päätellä rakenteen kuivuneen (kosteuspitoisuuden laskeneen) kermin alla mittausjaksojen välissä.

Siltakannen alapinta keskellä kantta

Aiempi seurantamittaus on tehty valun jälkeen (17.4.97) ja sen kesto oli noin 3 v 9 kk (24.1.01). Seurantajakson aikana suhteellinen kosteus 50 mm syvyydellä kannen alapinnasta nousee valun jälkeen 100 %:iin ja pysyy siellä koko seurantajakson ajan (Kuva 15). Sen sijaan 20 mm syvyydellä suhteellinen kosteus vaihtelee talven 80 %:sta kesän 95 %:iin. Nyt tehdyissä mittauksissa (10.2.06–14.8.06) suhteellinen kosteus oli 50 mm syvyydellä alimmillaan talvella noin 90 % ja lämpötilan kohotessa se nousi 100 %:iin pysyen siellä mittausjakson loppuun. Lähempänä pintaa, 20 mm syvyydellä, suhteellinen kosteus on talvella ja keväällä muutaman prosenttiyksikön korkeampi, seuraillen 50 mm syvyydellä olevan anturin arvoja. Kesällä pinnassa, 20 mm syvyydellä, oleva anturi näyttää alenevaa suhteellisen kosteuden trendiä, joten rakenne kuivuu. Syy pinnasta saatuihin korkeampiin suhteellisen kosteuden arvoihin, kuin aikaisempana mittausjaksona, voi olla poikkeuksellisen kosteassa edellisessä kesässä. Rakenne on päässyt kastumaan pinnasta ja nyt se kuivuu. Toinen syy on, että rakenne kuivuu alapinnan kautta, eli rakenteen sisältä kulkeutuu kosteutta rakenteen alapintaa kohden.

Siltakannen reunan ala ja yläpinta

Aiempi seurantamittaus on tehty valun jälkeen (17.4.97) ja sen kesto oli noin 3 v 9 kk (24.1.01). Seurantajakson aikana suhteellinen kosteus yläpinnassa on vaihdellut talven noin 85 %:sta kesän noin 100 %:iin. Alapinnassa suhteellinen kosteus on talvella ollut alle mittauskapasiteetin alarajan 77 %:n (noin 70 %) ja kesällä 85 % (Kuva 16). Nyt tehdyissä mittauksissa (10.2.06–14.8.06) suhteellinen kosteus oli ala- ja yläpinnassa talvella noin 90 % ja ilman lämmitessä suhteellinen kosteus nousi noin 100 %:iin. Talvella 2006 yläpinnan suhteellinen kosteus oli siis noin viisi prosenttiyksikköä tavanomaista korkeampi. Yläpinnan suhteellinen kosteus pysyi noin 100 %:ssa toukokuusta mittausjakson loppuun. Alapinnassa suhteellinen kosteus oli talvella arviolta noin 20 prosenttiyksikköä aiempia mittauksia korkeammalla, mutta lähti laskemaan touko-kesäkuussa. Lämpötilan edelleen noustessa tai pysyessä korkealla, suhteellisen kosteuden lasku tarkoittaa rakenteen kuivumista.

5 Yhteenveto

- Silloilla toimivat MS-sensorit toimivat yhtä termoparia lukuun ottamatta. Syynä voi olla valussa tapahtunut varomattomuus, koska Gräsanojan sillalla ongelmia on esiintynyt aieminkin (Paroll, H. 2006). Anturit ovat toimineet rakenteessa jo lähes 10 vuotta.
- Oulussa kermin ja Espoossa mastiksin alla olosuhteet ovat mittauksen perusteella hyvin samankaltaiset.
- Mastiksin alla oleva paineentasausverkko ei ole lisännyt kosteusvaihteluita eikä nopeuttanut kuivumista laatan yläpinnassa. Kermin alla kosteusvaihtelut ovat suuremmat ja kannen yläpinta on kuivunut nopeammin kuin mastiksin alla.
- Mittaustulosten perusteella kummankin sillan vedeneriste on ehjä. Luotettavammin eheyden voi selvittää kloridipitoisuusmittauksin.

Espoo:

- Siltakannen ylä- tai alapinnassa ei ole tapahtunut huomattavaa muutosta vuosien 2001 ja 2006 välissä.

Oulu:

- Kermin alla on tapahtunut selvää kuivumista mittausjaksojen välissä.

- Kannen keskellä alapinnan suhteellinen kosteus 20 mm syvyydellä oli noin 20 %-yksikköä aikaisempia mittauksia korkeampi, mutta lähti kesällä kuivumaan. Mittausjakson aikana kuivumista tapahtui arviolta noin 5 RH %-yksikköä.
- Kannen reunan yläpinnan suhteellinen kosteus oli noin 5 %-yksikköä aikaisempia mittauksia korkeampi
- Kannen reunan alapinnan suhteellinen kosteus oli noin 20 %-yksikköä tavanomaista korkeampi, mutta lähti kesällä kuivumaan. Mittausjakson aikana kuivumista tapahtui arviolta noin 8 RH %-yksikköä.
- Aikaisempaa mittausjaksoa korkeampi pinnan suhteellinen kosteus saattaa olla seurausta poikkeuksellisen kosteasta edellisestä kesästä. Rakenteen pinta on kastunut ja nyt se kuivuu. Lisäksi rakenne kuivuu alapinnan kautta eli rakenteen sisältä kulkeutuu kosteutta rakenteen alapintaa kohden.

Lähteet

BetongDatorn för Windows Handbok, 1995

FuktCom AB, 2006, Kosteusmittauslaitteita myyvän ja valmistavan yrityksen kotisivut: www.fuktcom.se (25.4.2006)

Gemini Data Loggers, 2006, Kosteusmittaus loggereita valmistavan yrityksen kotisivut: www.gemindataloggers.com, (25.4.2006)

Paroll, H. & Nykänen, E. 1999, Measurement of relative humidity and temperature in new concrete vs. laboratory samples, Proceedings, Nordic Concrete Research Meeting, Reykjavik, Island, 1999.

Paroll, H. 2001. Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaaminen uusilla betonisilloilla. Espoo: VTT Tutkimusselostus Nro RTE4235/01.

Paroll, H. 2006. Keskustelut.

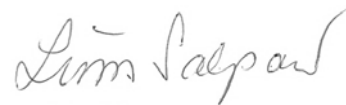
Vaisala Oy, 2006, Mittauslaitteita myyvän ja valmistavan yrityksen kotisivut: www.vaisala.fi, (25.4.2006)

Väyrynen, R. 2000. Suhteellisen kosteuden mittaus uusissa betonisilloissa. Oulu: Oulun seudun ammatti-korkeakoulu, Opinnäytetyö.

Espoo, 26.3.2007



Anna Kronlöf
Erikoistutkija



Liisa Salparanta
Tutkija

LIITTEET

Liite 1: Ulkoilman olosuhteiden mittauksissa käytetty loggeri
Liite 2: Liikenteenohjaussuunnitelma

JAKELU

Tilaaaja	Alkuperäinen
VTT/Arkisto	Alkuperäinen

Liite 1: Ulkoilman olosuhteiden mittauksissa käytetty loggeri

Gemini Data Sheet

Tinytag Plus Range H/ Relative Humidity TGP-1500

 Issue 8: 27th February 2003
E&OE


Mechanical Data

Case Style : IP68 Style

Case Dimensions

 Height : 34mm / 1.34"
Width : 57mm / 2.25"
Depth : 80mm / 3.15"
Weight : 110g / 3.9 oz.

Features

Memory Size : 32k (Non-volatile)
No. of Readings : app. 16000 / channel
Resolution : 8 bit
Trigger Start : Magnetic reed switch
Delayed Start : Relative / Actual up to 45 days
Stop Options : When Full After n Readings Never (Wrap around)
Reading Types : Actual, Min, Max.
Logging Interval : 1 sec to 10 days
Offload : While stopped or when logging in minute multiples
Alarms : 2 fully Programmable
Functional Range : -20°C → +85°C / -4°F → +185°F
IP Rating : IP68 Waterproof (See special notes)
Battery Life : Up to 4 years

Notes:

Battery replacement is recommended every 2 years. It may be replaced with Saft 3.6V 1/2AA Lithium cells. Stop the unit logging before replacing the battery. Functional Range describes the limits to which the datalogger may be subjected, **not** the range over which it will record.

Sensor Details

Sensor 1: Temperature Range H
Range : -30 → 50°C / -22 → 122°F
Sensor Type : 10k NTC Thermistor (Encapsulated)
Sensor location : Internally Mounted
Response Time : 20 min to 90% (air)
Sensor accuracy : ± 0.2°C / ± 0.36°F From 0°C to 50°C / 32°F to 122°F
Resolution : 0.25°C at 0°C / 0.45°F at 32°F

Sensor 2: Relative Humidity
Range : 0 → 100% RH
Sensor Type : Capacitive
Sensor Accuracy : ±3% at 25°C / 77°F
Sensor Location : On side of unit
Temp. Dependency : Low
Response Time : 10 sec to 90% (Non-condensing)
Resolution : Better than 0.5% RH

Approvals

This equipment complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions: (1) this device may not cause any harmful interference, and (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

This product is manufactured by Gemini Data Loggers (UK) Ltd to BS EN ISO 9001:2000 (Certificate No. 6134), and is CE approved to EN50081 part 1:1992 and EN50082 part 1 and 2:1992/95 with any standard leads or probes supplied.



NAMAS traceable calibration certificates are available on individual units.

Special Notes

When using the units at low temperatures, condensation may form. Before opening the case, allow the units to reach room temperature. The IP68 rating **does not** include the RH sensor, is only valid to a depth of 50ft (15m) and only when the connector cap is securely fitted. The RH sensor has excellent long-term performance and can be wetted without damage, however accuracy will be temporarily impaired and it should be allowed up to 30 minutes to recover.

The sensor will resist small amounts of the following chemicals: Formaldehyde, Ammonia, Carbon Monoxide, Sulfur Dioxide, Ethylene Oxide, Hydrogen Chloride, Hydrogen Fluoride, Hydrogen Peroxide, Nitrogen Dioxide, Methyl Chloride, Chlorine, Freon, Methanol, Ethanol, Isopropanol and ozone. It also offers resistance to ultraviolet rays.

Salt solutions may cause permanent damage as crystals forming within the porous layers affect moisture levels there.

The sensor may be cleaned with de-ionised water or pure isopropanol, but **not with abrasive detergents**, as scratches or residue will affect the accuracy.

Interface Information and Related Products

To use your Tiny Data Logger you will require:

Tinytag interface cable (CAB-0007), PC with GLM for Windows™ (SW-0009) or Easyview for Windows 95™ (SW-0500).

Further Related Products:

ACS-6000 Trigger Start Magnet
SER-9530 Tinytag Plus/ I.S. Service Kit including battery, seal and silica gel pack.
TGP-1510 Tinytag Plus Temperature Range H internal / Range G for Standard Probe. 2 channel temperature logger

Gemini Data Loggers Pty
Australia

Gemini Data Loggers UK Ltd
UK

Gemini Data Loggers Inc
USA

<http://www.gemindataloggers.com>

e-mail: sales@gemindataloggers.com

Liite 2: Liikenteenohjaussuunnitelma

