

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Yhdyskuntatekniikka

Opinnäytetyö

Pasi-Pekka Immonen

**Lämpökameran käyttö sillan erikoistarkastuksessa**

Työn ohjaaja Reijo Rasmus, Jarno Oravasaari  
Työn teettäjä Ins.tsto Jorma Huura Oy, Jouni Huura  
Tampere 2008

## TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

Yhdyskuntatekniikka

Immonen, Pasi-Pekka

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Helmikuu 2008

Hakusanat

Lämpökameran käyttö sillan erikoistarkastuksessa  
53 sivua + 61 liitesivua

Reijo Rasmus, Jarno Oravasaari

Ins.tsto Jorma Huura Oy, Jouni Huura

lämpökuvauus, vedeneristys, kosteus, silta

### TIIVISTELMÄ

Sillan korjaussuunnittelussa on ratkaisevaa tietoa siltakannen vedeneristykseen kunnosta. Erikoistarkastuksissa vedeneristykseen kuntoa arvioidaan näköhavainnoin ja betonin suhteellisen kosteuden mittauksin. Käytössä olevien tutkimusmenetelmien paikallisuus ja hitaus ovat aiheuttaneet paineen uusien tehokkaampien ja tarkempien tutkimusmenetelmien kehittämiseksi siltojen erikoistarkastuksiin.

Työn tarkoituksena on tutkia onko lämpökuvauksella mahdollista määrittää sillan vedeneristykseen kuntoa ja/tai vaurioiden laajuus. Työssä tarkastellaan kyseisen tekniikan teoriaa ja tutkitaan referenssikohteissa otettuja lämpökuvia. Teoriassa tekniikalla voitaisiin vedeneristykseen kuntoa arvioida todella kattavasti ja suhteellisen nopeasti.

Työssä on kuvattu todellisia kohteita ja tulkittu näitä lämpökuvia sekä verrattu niiden vastaavuutta muilla tavoilla mitattuihin rakenteiden kosteusarvoihin. Työssä on myös selvitetty eri olosuhteiden vaikutuksia kuvaustapahtumaan. Opinnäytetyössä on luotu edellytykset menetelmän soveltamiselle käytännössä ja kehittämiseksi jatkossa.

Tutkimuksessa saatuja tuloksia voidaan hyödyntää muissakin betonirakenteissa, joissa vedeneristykseen kunnolla on suuri merkitys rakenteen säilyvyyteen. Kohteita ovat pysäköintitalot, pihatasot, parvekerakenteet, vesitornit, maanvastaiset tukimuurit jne.

Tarvittavat taustatiedot ja taidot opinnäytetyön tekemiseen on hankittu työkokemuksen yhteydessä. Lisäksi työn aikana on perehdytty lämpökuvauksen teoriaan ja rakenteiden lämpötekniiseen käyttäytymiseen.

Tutkimusta pyritään viemään eteenpäin työn tekijän toimesta useissa kohteissa ja mikäli menetelmä osoittautuu luotettavaksi, voidaan se ottaa käyttöön varsinaisena tutkimusmenetelmänä.

TAMPERE POLYTECHNIC

Civil Engineering

Immonen, Pasi-Pekka

Using the Thermal Analysis in the Special Inspection of the Bridge

53 pages, 61 appendices

Engineering thesis

Thesis Supervisor

Reijo Rasmus, Jarno Oravasaari

Commissioning Company

Jorma Huura Consulting, Jouni Huura

February 2008

Keywords

Thermal imaging, waterproofing, dampness, bridge

## ABSTRACT

In the reparation project of a bridge it is crucial to know the condition of the superstructure's waterproofing. In special inspections the condition of the bridge slab's waterproofing is evaluated by visual observation and measuring the relative humidity of the concrete. The locality and slowness of the research methods have generated a pressure to come up with new, more efficient and accurate research methods for special inspections of bridges.

The goal of this study is to examine the possibility of determining the condition of a bridge's waterproofing and the extent of the damages by thermal imaging. In this study the theory of this technique is scrutinised and the IR-images (Infra-Red) taken in the references are examined. With this technique the condition of the waterproofing can be evaluated comprehensively and relatively fast.

In this study actual objects have been shot and these IR-images have been construed and their correlation to the humidity rates of other structures have been compared. Different conditions' influences to the shooting event have also been clarified. In this study the possibilities to apply this method to practical use and further development have been created.

## ALKUSANAT

Opinnäytetyö on kuvaus uuden tutkimusmenetelmän kehityksestä. Työ sai alkunsa siltatutkimuksen aikana, kun tehtyjen tutkimusten tuloksissa oli hieman ristiriitaisuuksia ja epävarmat tulokset jäivät askarruttamaan. Pian minulle syntyikin ajatus uuden tekniikan soveltamisesta tutkimuksessa. Tekniikka oli vielä silloin minulle täysin tuntematon, joten aiheeseen tutustuminen käynnistyi lähtötietojen keräämisellä.

Työ eteni eri teorioiden vertailulla ja lopulta keräämiäni tietojen perusteella huomasin ilokseni, että uusi sovellus oli syntynyt. Teoriavaiheen jälkeen suoritettiin maastossa käytännön kohdetutkimuksia. Käytännön tutkimukset suoritettiin kesän ja syksyn 2007 aikana. Kenttätutkimukset saatiin onnistuneesti päätökseen ja tulokset olivat juuri sellaisia kuin olin odottanutkin. Työn raportointi suoritettiin vuoden 2007 lopulla ja teksti viimeisteltiin vuoden 2008 alussa.

Tulevaisuudessa nähdään miten tekemäni tutkimus antaa vauhtia teorian jatkokehitykselle tai poikiiko siitä jopa uusia sovelluksia alalle. Itse olen tyytyväinen lopputuloksiin ja aion jatkaa sovelluksen kanssa työskentelyä. Uusi tekniikka sopii myös hyvin Ins.tsto Jorma Huura Oy:n referenssiksi, sillä yritys on toiminut 1970-luvulta asti korjausrakentamisen aktiivisena kehittäjänä. Tällä työllä yritys jatkaa edelleen työtänsä alan voimakkaiden kehittäjien kärkijoukossa.

Helmikuu 2008

Pasi-Pekka Immonen

## KÄSITTEITÄ

Sillan **päälysrakenne** tarkoittaa siltakanntta eli kansilaattaa. Päälysrakenne on rakennettu alusrakenteen varaan. Alusrakenteeseen kuuluvat sillan päissä **maatuet** ja **kehän jalat**. Kansilaattaa kannattelevat aukossa välituet, jotka koostuvat yleensä pilareista.

**Pintarakenteet** ovat siltakannella olevat rakennekerrokset. Pintarakenteisiin kuuluvat päällysteet ja vedeneristys. **Päällysteinä** käytetään tavallisimmin erilaatuisia asfalttikerroksia. Päällysteiden yhteispaksuus on noin 100 mm.

**Vedeneristys** on päällystekerrosten ja kansilaatan betonin välissä oleva vettä eristävä kerros. Vedeneristykseenä on aiemmin käytetty juutti- tai lasikangasta ja bitumia. Nykyisin käytetään tavallisimmin kumibitumikermiä, mastiksia tai polyuretaani-, akryyli- ja epoksipohjaisia vedeneristysmateriaaleja. /2/

**Juuttikangas ja bitumikermi** on tyypillinen vedeneristys vanhoissa silloissa. Vedeneristysmateriaali on bitumi ja juuttikangasta on käytetty tukikerroksena. Juuttikangaseristystä on käytetty monta vuosikymmentä, ja se on ollut perustana myöhemmille vedeneristyskermeille.

**Lasikangas ja bitumikermi** on käytetty usein vedeneristykseenä 1970–80-luvun siltakohdeissa. Aikaisemmin käytetty juuttikangas korvattiin lasikankaalla.

**Kumibitumikermi** on vedeneristystarkoituksiin käytettävä vettä läpäisemätön tuote, joka yksinään tai liitettynä toisiin samanlaisiin tai vastaaviin tuotteisiin muodostaa yhtenäisen vedeneristyskerroksen. Kermin tukikerroksena käytetään yleensä polyesteriä. Kermieristys on yleensä kaksikerroksinen ja se on paksuudeltaan 10 mm. /2/

**Kumibitumimastiksi** on kuumana levitettävä massa, jonka sideaine on kumibitumi, runkoaine hienorakeinen kiviaines ja täyteaine kalkkikivijauhe. Massaa levitetään kansilaatan yläpintaan tasainen kerros. /2/

**Polyuretaani-, akryyli- ja epoksipohjaiset** vedeneristysmassat ovat nestemäisessä olo- muodossa levitettäviä vedeneristysmateriaaleja, joilla tehdään saumaton vedeneristys. Kansilaatan yläpintaan levitetään 2–3 mm:n vahvuinen tasainen kerros. /2/

**EPDM-kumimatto** on matto, jota käytetään esimerkiksi ratasilloilla. Kumimatto on nopea asentaa vanhan rakenteen päälle. Ratatöissä korjaustyöt tehdään erittäin nopeasti ja sillan pintarakenteet sepeleineen ja raiteineen uusitaan yleensä yhdessä yössä.

### **Vedeneristyksen ja betonin vaurioituminen**

Vedeneristys vaurioituu ajan kuluessa siihen kohdistuvien rasitusten sekä suunnittelu- ja työvirheiden takia. Vedeneristysmateriaalit menettävät vanhetessaan osan ominaisuuksistaan ja jatkuvat ajoneuvokuormat yhdistettynä lämpötilojen radikaaliin vaihteluun aiheuttavat vaurioita vedeneristykseen. Kosteuden pääsy betoniin käynnistää vaurioitumismekanismejä, jotka johtavat hoitamattomina lopulta betonirakenteen tuhoutumiseen.

**Yleistarkastus** Suomen sillaston kunnan seurantaan varten sillalle tehtävä silmämääräinen tarkastus, jossa sillan yleiskunto käydään rakenneosittain läpi ja vauriot kirjataan. Suomen sillasto on jaettu alueisiin. Siltojen kunnan seuranta tehdään alueittain viiden vuoden välein toistuvilla tarkastuksilla. Yleistarkastuksissa havaitut rakenteiden vauriot tai turvallisuuspuutteet lisäävät sillan vauriopistesummaa (VPS) ja tietyn rajan ylittyessä tulee sillan erikoistarkastus ajankohtaiseksi. /1/

**Erikoistarkastuksessa** sillan kunto tutkitaan tarkasti. Tällöin keskitytään betonirakenteiden vaurioihin, sillan raudoituksen korroosiotilan, pintarakenteiden kunnan ja yleensä rakenteiden turvallisuuden määrittämiseen. Sillalla tehdään lukuisia tutkimuksia näytepo-rauksin, betonipeitemittauksin ja muilla menetelmillä. Erikoistarkastusta seuraa normaalisti korjaussuunnittelu, jossa betoni- ja muille rakenteille määritetään tutkimustulosten mukaan oikeat korjaustoimenpiteet.

**Kokonaisleveys** on sillan maksimileveys reunapalkkien ulkoreunoista mitattuna.

**Hyödyllinen leveys** on sillan kaiteiden välinen etäisyys.

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

KÄSITTEITÄ

SISÄLLYSLUETTELO.....	7
1 JOHDANTO.....	9
1.1 Työn toimeksiantaja, aihe ja aiheen valinta.....	9
1.2 Työn tavoitteet ja sisällön määrittely.....	10
1.3 Rajaus ja aiemmin tehdyt tutkimukset.....	10
2 LÄMPÖKAMERAKUVAUS.....	11
2.1 Kameran tekniikka.....	11
2.2 Infrapuna- ja lämpösäteily.....	12
2.3 Emissiivisyys.....	13
2.4 Laitteisto ja käyttökohteet.....	13
2.5 Markkinakatsaus.....	16
3 SILLAN VEDENERISTYS JA SEN KUNTO.....	17
3.1 Vedeneristyksen tarkoitus ja laatuvaatimukset.....	17
3.2 Vedeneristyksen vaurioituminen.....	17
3.3 Rakenteen kosteustekninen käyttäytyminen.....	17
4 VEDENERISTYKSEN KUNNON ARVIOINTIIN KÄYTETYT MENETELMÄT.....	19
4.1 Silmämääräinen arviointi.....	19
4.2 Betonin suhteellinen kosteus.....	19
4.3 Absoluuttinen kosteus.....	21
4.4 Pintakosteus.....	21
4.5 Pintarakenteiden avaukset.....	22
5 SOVELLUKSEN TEORIATAUSTA JA TEORIAN SIMULOINTI.....	23
5.1 Haihdunta ja tiivistyminen sekä pintalämpötila.....	23
5.2 Lämmönjohtavuudet ja lämpöresistanssi.....	24
5.3 Kuvaustilanteen simulointi.....	25
5.4 Simuloinnin yhteenveto.....	27
6 LÄMPÖKAMERAKUVAUKSEN SUORITUS.....	27
6.1 Alkuasetelma.....	27
6.2 Kuvauksen teoria ja virhearvio.....	28
6.3 Kamera-asetusten merkitys.....	29
6.4 Muut huomioitavat asiat.....	30

7	KENTTÄTUTKIMUKSET JA TULOKSET.....	32
7.1	Kohteiden valinta.....	32
7.2	Kenttätutkimus 1.....	32
7.2.1	Tutkimuksen lähtökohta.....	32
7.2.2	Sillan rakenne.....	32
7.2.3	Kosteusmittaus ja olosuhteet.....	33
7.2.4	Lämpökamerakuvaus ja tulokset.....	33
7.3	Kenttätutkimus 2.....	36
7.3.1	Tutkimuksen lähtökohta.....	36
7.3.2	Sillan rakenne.....	36
7.3.3	Kosteusmittaus, olosuhteet ja pintarakenteiden avaukset.....	37
7.3.4	Lämpökamerakuvaus ja tulokset.....	38
7.4	Kenttätutkimus 3.....	40
7.4.1	Rakenne.....	40
7.4.2	Kosteusmittaus, olosuhteet ja pintarakenteiden avaukset.....	41
7.4.3	Lämpökamerakuvaus ja tulokset.....	41
7.5	Kenttätutkimus 4.....	45
7.5.1	Kosteusmittaus, olosuhteet ja pintarakenteiden avaukset.....	46
7.5.2	Lämpökamerakuvaus ja tulokset.....	46
8	TULOSTEN TARKASTELU.....	49
8.1	Ohjelmisto.....	49
8.2	Mittaustulokset.....	49
8.3	Tulokset ja niiden vertailtavuus.....	50
8.4	Olosuhteet.....	50
9	YHTEENVETO.....	50
9.1	Johtopäätökset.....	50
9.2	Mahdollisuudet.....	51
9.3	Tulevaisuus.....	52
	LÄHDELUETTELO.....	53
LIITTEET	1 Lämpökuvausraportti, Parvekerakenteen lämpökamerakuvaus .....	(7 sivua)
	2 Lämpökuvausraportti, Storgårdin risteyssilta .....	(15 sivua)
	3 Lämpökuvausraportti, Pihlajamäen risteyssilta .....	(11 sivua)
	4 Lämpökuvausraportti, Finnån risteyssilta .....	(17 sivua)
	5 Lämpökuvausraportti, Helsingintien alikulkusilta.....	(11 sivua)



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn toimeksiantaja, aihe ja aiheen valinta

Opinnäytetyön aiheena on lämpökuvaustekniikan soveltaminen siltatutkimuksissa.

Työ käsittelee uuden tutkimusmenetelmän käyttömahdollisuuksia sillan vedeneristyksen kunnan tutkimiseksi. Opinnäytetyö tehtiin tamperelaiselle Insinööritoimisto Jorma Huura Oy:lle.

Insinööritoimisto Jorma Huura Oy erikoistui uranuurtajana 1970-luvun lopussa siltojen korjausrakentamiseen. Laajaa kokemusta ilmentää hankkeiden määrä, sillä yritys on vuodesta 1979 lähtien tehnyt noin 450 sillan erikoistarkastukset ja laatinut noin 350 sillankorjaussuunnitelmaa sekä tehnyt noin 200 rakennuksen kuntotutkimukset ja laatinut noin 200 asuin- ja teollisuusrakennuksen korjaussuunnitelmat. Muita korjauskohteita ovat olleet uimahallit, vesitornit, lentokentät sekä padot, kanavat ja muut vesistöjen rakenteet. Kohteiden laaja kirjo on antanut vankkaa kokemusta ja on avartanut näkemystä korjausrakentamisesta.

Yritys on vaikuttanut erittäin merkittävästi siihen, että siltojen korjaustoiminnalla on maassamme poikkeuksellisen hyvät toimintaedellytykset kansainvälisestikin verrattuna. Verraton esimerkki tästä ovat SILKO-ohjeet, joita yritys on laatinut vuodesta 1979 lähtien, jolloin yritys ideoi SILKO-ohjeiston sisällön ja laatimisorganisaation Tie- ja vesirakennushallituksen toimeksiannosta. SILKO-ohjeiden asiallisena sisältönä ovat siltakohteisiin yrityksen laatimat korjaussuunnitelmat, eli yritys on kehittänyt korjausrakentamista luovuttamalla kokemuksensa ja kehitystyönsä yleiseen käyttöön.

Teräsbetonisten siltojen korjaussuunnittelussa ehkä merkittävin tekijä korjaustoimien valinnassa on siltakannen eli päällysrakenteen vedeneristyksen kunto. Vedeneristyksen vuotoja selvitetään tutkimuksissa näköhavainnoin sekä betonin pintakosteus- ja suhteellisen kosteuden -mittauksin. Suhteellisen kosteuden mittaus antaa luotettavimman tuloksen, mutta ongelmana on mittauksen paikallisuus. Menetelmällä saadaan tulos vain yksittäisistä kohdista kansilaatasta (4–5 mittausta/kohde) ja teoriassa suurin osa rakenteesta jää arvailujen varaan. Lisäksi kosteuden mittaus on erittäin työläs ja hidas menetelmä. Betoniin porataan yksittäisiä reikiä, joista mittaus suoritetaan. Reiän kosteusarvon annetaan poraamisen jälkeen tasaantua useita tunteja ennen varsinaista mittausta.

Siltatutkimusten aikaa vievin ja silti kokonaisuutena epätarkin tutkimus on vedeneristyksen kunnan tutkiminen.

## 1.2 Työn tavoitteet ja sisällön määrittely

Opinnäytetyössä tutkitaan lämpökamerakuvauksen soveltumista sillan vedeneristyksen kunnan tutkimiseen. Tavoitteena on luoda uusi täydentävä tutkimusmenetelmä sillan erikoistarkastukseen ja lisätä näin erikoistarkastuksessa siltakohteesta saatujen tutkimustulosten varmuutta oikeiden korjaustoimenpiteiden perustaksi.

Työssä tutkitaan kosteuden esiintymistä ja käyttäytymistä betonirakenteessa sekä lämpökameran soveltuvuutta kosteuden aiheuttamien ilmiöiden todentamiseen. Tavoitteena työssä on todistaa, että lämpökameralla voidaan löytää kosteusvauriot betonirakenteesta, määrittää vaurioiden laajuus ja toisaalta osoittaa, että kosteus ei ole ongelma rakenteessa. Mikäli lämpökuvaus antaa johdonmukaisia tuloksia, luodaan jatkossa ohje tutkimuksen suorittamiselle, yksilöidään edellytykset todenmukaiselle mittaustilanteelle ja luodaan tulkitsemisohje tuloksille. Työssä tutkitaan vanhan teknologian soveltamista uuteen tutkimuskohteeseen. Lämpökuvaus menetelmänä on käytössä useissa sovelluksissa. Lämpökameratekniikka ainetta rikkomattomana menetelmänä soveltuu erinomaisesti useimpiin sovelluksiin rakennusteollisuudessa ja teollisuuden prosesseissa. Rakennusteollisuudessa menetelmää on käytetty lähinnä talorakenteiden yhteydessä.

Työssä käsitellään siltojen vedeneristyksen vesivuotojen toteamiseksi kehitettävän menetelmän tutkimusprosessia. Työssä perehdytään kosteuden fysikaalisiin ilmiöihin, menetelmän teoriaan ja lähtökohtiin sekä selvitetään käytännön tutkimuksen, onko menetelmä käyttökelpoinen. Referenssikohteissa saatujen tulosten perusteella tehdään analyysiraportit, joissa kyseisten kohteiden rakennekosteuksia verrataan lämpökuvauksella ja muilla mittaustavoilla saatuihin tuloksiin.

## 1.3 Rajaus ja aiemmin tehdyt tutkimukset

Työssä tutkitaan teräsbetonisten siltojen vedeneristyksen vaurioiden todentamista. Käytetyt esimerkkikohteet ovat tyypiltään laattasiltoja. Tutkimusta voidaan tietyn edellytyksin soveltaa myös muun tyyppisiin siltoihin, joissa teräsbetoninen kansilaatta on kuvattavissa alapuolelta. Puukantisten siltojen ja kivisiltojen tarkastuksiin tutkittua menetelmää ei voi soveltaa.

Lämpökuvausta on käytetty siltatutkimuksissa koerakennekohteessa vedeneristyksen kiinnittymisen tutkimiseen. Tutkimus on tehty 1990-luvun alkupuolella ja se käsitteli vedeneristyksen irtonaisten kohtien paikallistamista. Kuvaus suoritettiin rakennusaikaisena laadunvarmistustoimenpiteenä. /3/

Lämpökuvaukseen on tutkittu betonisten moottoriteiden ja betonisten siltakansien vaurio tutkimuksen yhteydessä vuonna 1992. Tutkimus on Yhdysvaltalainen. Tutkimus toteutettiin valmistamalla noin ½ neliömetrin kokoisia ohuita betonilaattoja, joiden sisään upotettu eri aineista valmistettuja kerroksia. Laattoja kuvattiin lämpökameralla eri olosuhteissa ja niiden käyttäytymistä arvioitiin. Tutkimukset toteutettiin laboratorioissa. Tutkimus käsittelee eri asiaa kuin tässä työssä tehdyt lämpökuvaukset. /16/

Lämpökuvauksen oppikirjassa Rakennuksen lämpökuvaukset /4/ käsittelee hieman betonirakenteiden ja rapattujen rakenteiden lämpökuvaukseen. Kirjassa käsittelee julkisivuelementtien vaurioiden paikantamista.

Lämpökameraa ja lämpökuvauksen käyttökohteita on tutkittu paljon talonrakennuksen ja prosessiteollisuuden yhteydessä. Opinnäytetyön tekijä on tehnyt laajan kirjallisuustutkimuksen ja haastatellut useiden tutkimuslaitosten ja laboratorioiden henkilökuntaa asiasta. Ainuttakaan aiempaa tutkimusta ei tämän työn aiheesta ole löytynyt. Siltarakenteiden yhteydessä lämpökuvaustekniikkaa ei ole juurikaan sovellettu.

## 2 LÄMPÖKAMERAKUVAUS

### 2.1 Kameran tekniikka

Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin. Se mittaa kuvauskohteen pinnasta luonnostaan lähtevää lämpösäteilyä. Lämpökameran ilmaisimien avulla muutetaan lämpösäteilyn voimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta lämpökuvaukseen muodostetaan digitaalisesti reaaliajassa. Lämpökameraa käytetään rakenteiden pintalämpötilajakaumien havainnollistamiseen. /5/ Jos rakenne on tasalämpöinen, on lämpökuvaukseen yksivärinen.

#### Ilmaisintyyppit

Matriisi-ilmaisimia (FPA) on kahden tyyppisiä:

- jäädytetyt
- jäädyttämättömät.

Jäädytettujen matriisien toimintalämpötila on noin -200 °C. Jäädytys toteutetaan tavallisesti heliumkiertopumpulla. Jäädyttämättömien matriisien pitempi vasteaika ei anna mahdollisuutta kuvata erittäin nopeita lämpöilmiöitä, kuten jäädytettujen matriisien kamerat. Jäädyttämättömät matriisi-kamerat tarjoavat mahdollisuuden ympärivuorokautiseen valvontaan, koska niissä ei ole jatkuvasti liikkuvia mekaanisia osia. Matriisi-ilmaisimissa jokaisella kuvapisteellä on oma ilmaisimensa. Ilmaisinkenno ei kuitenkaan toimi jäädyttämättömissä matriiseissa kuten videokamerassa CCD-kenno. Ilmaisimien perustuu kohteen lämpösäteilyn aiheuttaman ilmaisimen resistiiviseen muutokseen. /5/

Ilmaisimateriaalina käytetään samantyyppistä materiaalia, jota käytetään sähkövastusten valmistamisessa. Vanhemmissa, yhden jäädytetyn ilmaisimen kameroissa ilmaisimien on myös jäädytettävä lähes  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ :seen. Lämpökameran ilmaisimien on tässä tapauksessa tavallisesti alkuaineseosta, esim. HgCdTe:tä. Tämän tyyppisissä lämpökameroissa käytetään mekaanista juovaskannetta, joka "pyyhkii" mittaustarvikkeen pysty- ja vaakasuunnassa. Tänä päivänä jäädyttämättömien matriisi-ilmaisimien kamerat ovat yleisimmin käytössä. /5/ Tässä työssä käytetyssä kamerassa on jäädyttämätön matriisi-ilmaisimien.

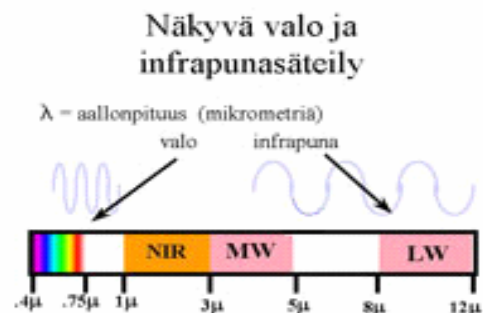
## Optiikka

Erilaisilla optiikoilla voidaan vaikuttaa lämpökameran näkymäalueeseen. Optiikkamateriaali on usein hiilipinnoitettua germaniumia, koska optisen kanavan pitää luonnollisesti läpäistä ja taittaa lämpösäteilyä, mitä tavallinen lasi ei tee. Lämpökameran erotuskyvyllä tarkoitetaan pienintä pinta-alan kokoa, jonka kuvausjärjestelmä pystyy erottamaan. Tähän voidaan vaikuttaa vaihtamalla optiikkaa. Lämpökameroihin ei tyypillisesti ole saatavissa optista zoomausta. Tämä johtuu optiikkamateriaalien kalleudesta, optisten pintojen vaikeasta lämpötilahallittavuudesta ja läpäisyprosentin oleellisesta heikentymisestä. /5/

Pienin eroteltava pinta voidaan laskea kertomalla mittaustarkkuus kameran geometrisella erottelukyvyllä. Geometrisen erottelukyvyn ilmaistaan yksittäisen pisteen mittauskulmana milliradiaaneissa. Geometrisen erottelukyvyn määrittelyn lähtökohta on luonnollisesti ilmaisimimatriisin yksittäisen ilmaisimen koko. Mittaustarkkuus riippuu erotuskyvyn lisäksi käytetyn lämpötila-alueen laajuudesta. Tavallisesti se on  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n luokkaa. /5/

## 2.2 Infrapuna- ja lämpösäteily

Infrapunasäteily on laaja käsite. Infrapuna on näkyvää valoa pitkäaaltoisempaa sähkömagneettista säteilyä. Lähinnä valon aluetta ilmenevää infrapunaa kutsutaan lähiinfrapunaksi (Near InfraRed=NIR). Lämpösäteily (MW, LW) on infrapunasäteilyä, jonka aallonpituus on lähi-infrapunaa pitempää. Säteilyä lähettää jokainen kappale, jonka lämpötila on yli absoluuttisen nollapisteen ( $-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). /5/



Kuva 1 Infrapuna-alue /5/

Lämpösäteily liikkuu valon nopeudella, kuten muukin sähkömagneettinen säteily. Säteilyn voimakkuus korreloi kappaleen todelliseen lämpötilaan. Täydellistä mustakappaletta eli täydellistä säteilijää lukuun ottamatta jokainen kappale myös heijastaa muista lähteistä tulevaa säteilyä. Kappaleen pintamateriaalirakenne määrittelee, kuinka suuri osa kappaleesta tulevasta säteilystä on sen itsensä lähettämää eli emittoimaa. Metalliset paljaat pinnat heijastavat enemmän ympäristön energiaa kuin itse lähettävät. Tästä johtuen kiiltäviä metalleja ei teoriassa voida mitata ollenkaan alle 100 °C:ssa. Käytännössä tietyin järjestelyin mittaus pystytään kuitenkin toteuttamaan. Joissakin erikoissovelluksissa hyödynnetään myös lähi-infrapunan alueella toimivia kameroita ilmaisemaan vettä. Veden absorptio on erittäin voimakasta lähi-infrapunan alueella, joten NIR-kuvassa vesi näkyy täysin mustana. /5/

### 2.3 Emissiivisyys

Kappaleen säteilemän energian osuus kappaleen kokonaisenergian määrästä ilmaistaan emissiivisyytenä. Se on desimaaliluku nollan ja ykkösen väliltä. Mitä suurempi emissiivisyys, sitä vähemmän kappale heijastaa ympäristön energiaa ja sitä enemmän kappale säteilee lämpöä. /5/

Ilmakehän vesihöyry ja hiilidioksidi absorboivat osan lämpösäteilystä lyhyillä infrapunan aallonpituuksilla. Tietyillä aallonpituuksilla lämpösäteily suodattuu lähes olemattomaksi. Lämpökamerat rakennetaan tämän johdosta ilmaisemaan ilmakehässä olevien "infrapunaikkunoiden" läpi. Käytännössä puhutaan lyhytaalto- ja pitkäaaltoalueesta. Keski-aaltoalue (Medium Wave, MW) on 3 - 5 µm, pitkäaaltoalue (Long Wave, LW) 8 - 12 µm. /5/

Eri aaltoalueilla lämpösäteily käyttäytyy huomattavan erilaisella tavalla. Kappaleiden emissiivisyys on yleensä pienempi keskiaaltoalueella. Emissiivisyys myös vaihtelee keskiaaltoisella mittauskaistalla selvästi enemmän. Lisäksi säteilyenergian erot ovat huomattavat. Alle 100 °C lämpötilassa lämpösäteilyenergiaa on huomattavasti enemmän pitkäaaltoalueella. Lämpökamerat kalibroidaan kuitenkin mittaamaan aallonpituuskaistasta riippumatta kohteen lämpötiloja oikein. /5/

### 2.4 Laitteisto ja käyttökohteet

#### Laitteisto

Lämpökameroita on kahta päätyyppiä: mittaavia ja ei-mittaavia. Mittaavilla lämpökameroilla on useita sovellusalueita. Niitä käytetään mm. kiinteistöjen kuntotarkastuksissa, teollisuuden ennakoivassa kunnossapidossa, lämpöprosessien tutkimuksissa ja lämpökorreloivien vikojen paikantamisessa. Ei-mittaavia lämpökameroita käytetään yleensä

etsintä- ja valvontalaitteina. Lämpökamerat toimivat valmiiksi spesifioidulla mittauskai-  
talla, joko lyhyt- tai pitkäaaltoisella infrapunakaistalla ja lämpötila-alueella, joka on noin -  
40...+1500 °C. Yleisimmin käytetään pitkäaaltokaistaa (n. 8 – 12 µm). /5/

Jotta lämpökameran mittaustulokset olisivat tarkkoja, käyttäjän täytyy määritellä kuva-  
uskohteen emissiivisyys ja ympäröivä taustasäteily eli taustan lämpötila. Yleisimpiä  
lämpökameran mittausominaisuuksia ovat määritellyn pisteen ja alueen lämpötilamitta-  
us. Toiminnolla saadaan tietyltä alueelta minimi-, maksimi- tai keskiarvolämpötila; läm-  
pötilan osa-alue tai "värihälytys" sekä vaaka- tai pystysuora profiili. Profiilikäyrä piirtää  
yksittäisen vaakasuoran mittaviivan kohdalta lämpötilakuvaajan. Lämpötilan erotuskyky  
on parhaimmillaan noin 0,02 °C. Erotuskykyä voidaan parantaa ns. kuvasummauksella,  
mutta tällöin menetetään kuvantamisnopeutta häiritsevästi. Kuva alkaa "häntiä". Läm-  
pökuvaukset voi tallentaa videolle, muistikortille tai kamerasisäiseen muistiin. /5/

Työ tehdään mittaavalla lämpökameralla Flir ThermaCam PM 695, jonka ominaistiedot  
ovat seuraavat:

- käsilämpökamera ja digitaalikamera samoissa kuorissa
- mittausherkkyys 0,08 °C
- käyttölämpötila -15...+50 °C
- mittausalue -40...+1500 °C
- digitaalinhoitumahdollisuus cd-videotallenteena



Kuva 2 ThermalCam /5/

## Lämpökuvauksen käyttökohteet /5/

Lämpökuvausta käytetään useisiin tarkoituksiin monissa eri käyttökohteissa. Tärkeimmät käyttökohteet ovat seuraavat:

### Kiinteistöjen lämpökuvaus

Lämpökamera on erinomainen tapa paljastaa vanhan rakennuksen korjaustarpeet ja uudisrakennuksen heikot kohdat. Ennen rakennuksen lämpövuotojen paljastaminen vaati rakenteiden purkamista ja hankalia mittauksia. Nykyään lämpökamera paljastaa vuotopaikat, kylmäsilat, eristepuutteet ja tiivistevuodot hienovaraisesti mutta tehokkaasti.

Käyttökohteita kiinteistöissä ovat

- lämpövuotokohdat rakenteissa
- lämpöeristyksen puutteet
- rakenteiden sijainti (esim. seinän runkorakenteet)
- asennusvirheet ovissa ja ikkunoissa
- lattialämmityskaapeleiden sijainti ja toiminta
- rakenteiden kosteusvauriot
- kaukolämpöverkon vuodot (ilmakuvaus).

### Teollisuuden prosessit

Lämpökuvausta on käytetty pitkään myös prosessiteollisuudessa prosessien kunnossapidon yhteydessä. Ongelmakohdat ilmenevät lämpökuvissa, joissa komponentin, laakerin tai sulakkeen ylikuumentuminen paljastaa ongelmakohdan. Käyttökohteita on seuraavasti:

- mekaanisten laitteiden tarkastukset, kuten pumput, vaihteistot, kytkimet, laakeroinnit, lämmönvaihtimet, paine-akut, kuljettimet, arkkileikkurinterät
- putkistojen ja säiliöiden tarkastukset, kuten putkistotukokset, putkistojen ahtaumat, putkivuotojen paikannus, säiliövuotojen paikannus
- hydraulikan tarkastukset, kuten hydraulisyylinterit, hydraulimoottorit, öljynlauhduttimet.
- sähkölaitteiden tarkastukset, kuten sähkökeskukset, sulaketaulut, liittimet ja liitokset, sähkömoottorit, muuntajat, elektroniikka.

Lämpökuvausmenetelmän etuina teollisuudessa on, että

- se soveltuu erinomaisesti ennakoivaan kunnossapitoon
- tarkastusmenetelmä on käynninaikainen
- tieto perustuu ainoastaan tosiasioihin
- vikakohdan paikannus aina tarkka

- se on rakenteita rikkomaton mittausmenetelmä
- menetelmä on kustannustehokas ja nopea.

## 2.5 Markkinakatsaus

**Infradex Oy** on johtava lämpökuvausjärjestelmien maahantuojaja ja lämpökuvauksen sekä infrapunatekniikan kouluttaja. Se on toiminut lämpökuvaus-järjestelmien asiantuntijana jo vuodesta 1980. Toimisto sijaitsee Vantaalla, Vaaralassa.

Lämpökamerainvestoinnin yksi tärkeimmistä osa-alueista on juuri asiantunteva koulutus. Yrityksen henkilökunta on erikoistunut tuottamaan asiakaskohtaisia lämpökuvausratkaisuja. /5/

Yritys edustaa Suomessa kaikkia FLIR ThermoCAM -malliston lämpökameroita. FLIR Systems on markkinoiden johtava mittaavien lämpökameroiden valmistaja. Yhtiöllä on tukenaan entisten AGEMA-, Inframetrics- ja Indigo Systems -kameravalmistajien yli 60 vuoden yhdistetty lämpökamera-asiantuntemus. AGEMA ja Inframetrics fuusioituivat FLIR Systemsiin vuonna 1998, Indigo Systems vuonna 2004. /5/

**Fluke Finland Oy:n** Ti-sarjan lämpökamerat tuovat infrapuna-lämpökuvauksen tehokkaat vianhaku- ja ennakointiominaisuudet teollisuuden kunnossapidon ammattilaisille. Kädessä pidettävän työkalun näytössä pintalämpötilat ilmaistaan eri värein, minkä perusteella käyttäjä voi helposti ja turvallisesti tunnistaa mahdolliset ongelmat.

Fluken tuotteisiin kuuluu laaja valikoima kädessä pidettäviä lämpökameroita. Vaihtoehtoja on edullisesta Fluke Ti20 -lämpökamerasta tarkkoihin Fluke IR FlexCam® -sarjan kameroihin, joilla saa alan suurimmat ja tarkimmat lämpökuvat. /6/

**Nokeval Oy** infrapunakamera MobIR M4 tuo aivan uuden ulottuvuuden kunnossapitoon. Kamera on uusinta infrapunatekniikkaa ja puristettu vieläpä taskukokoon, kuitenkin tinkimättä ominaisuuksista. Kameralla voi tallentaa vidoekuvaa tai ottaa otoksia mittauskohteista. Kameralla voi myös tallentaa ääntä, kertoa mistä kuvassa on kyse. Tallennettua kuvaa voi selata tarkkuusnäytössä. Kuvamateriaalin siirto tietokoneelle tapahtuu USB-kaapelilla. Kamerassa on jäähdyttämätön (160 x 120 pix) ilmaisimatriisi.

/7/



### **3 SILLAN VEDENERISTYS JA SEN KUNTO**

#### **3.1 Vedeneristyksen tarkoitus ja laatuvaatimukset**

Sillassa on päällysteiden alla vedeneristys. Vedeneristys on siltakannen betonin päällä oleva vesitiivis rakennekerros, joka estää päällystekerroksissa virtaavan veden pääsyn siltakannen betoniin. Vedeneristyksen tulee kestää sillalla esiintyvät ilmasto-olosuhteet, vedenpaineen ja liikenteen aiheuttamat rasitukset sekä lämpötilasta ja kutistumasta aiheutuvat rakenteiden muodonmuutokset. Eristyksen tulee kestää myös tiesuolojen, laimeiden happojen ja emästen vaikutuksia./2/ Vedeneristys on nykyään tavallisimmin kumibitumikermiä, mastiksia tai polyuretaania. Aikaisemmin vedeneristeenä on käytetty juutti- tai lasikangasta ja bitumia. Vedeneristyksen kunto ja tiiviys on tärkeä tekijä rakenteen säilyvyyden kannalta. Vedeneristysmateriaalin saumojen tiiviys on ensiarvoisen tärkeää. Saumojen tiiviys korostuu varsinkin kermieristyksissä, jotka kootaan kaistoista. Huonosti limitetyt tai liimatut saumat saattavat vuotaa. Käytetyissä massaeristyksissä eli mastiksi- ja polyuretaanieristyksissä rakenteeseen ei saumoja, sillä materiaali ruiskutetaan tai levitetään kerralla rakenteen pintaan. Eristyksen reunojen liittymät betoniin täytyy kuitenkin tehdä huolella. Betoniin päässyt kosteus ja sen mukana kulkeutuvat suolat ja muuta aineet vaurioittavat betonia ja edistävät raudoituksen korroosiota sekä muita vaurioitumismekanismeja. Kostean betonin jäätyminen aiheuttaa betoniin pakkasrapautumia.

#### **3.2 Vedeneristyksen vaurioituminen**

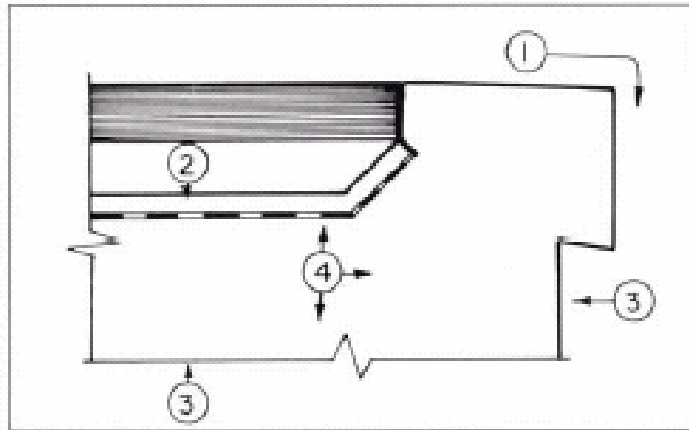
Vedeneristys vaurioituu ajan saatossa materiaalista riippuen kulumisen, ympäristöolosuhteiden tai rakennusvirheen takia. Vedeneristyksen vauriot ilmenevät vuotoina. Vuodot näkyvät pian betonipinnoilla kalkkihärmänä tai kalkkikertyminä. Vanhoissa vedeneristyksissä on juuttikangas usein mädäntynyttä ja bitumi on kovettunutta. Vedeneristyksissä, joissa on käytetty lasikangasta, on betonin alkalisuus hävittänyt lasikankaan. Kun tukikangas tuhoutuu tai bitumi kovettuu rakenteessa eristys menettää ominaisuutensa ja sen läpi alkaa suotautua kosteutta.

Jos yli kolmannes vedeneristyksen pinta-alasta on vaurioitunut ja vaurioita on kaikkialla sillassa, vedeneristys uusitaan kauttaaltaan. Muussa tapauksessa harkitaan paikkausmahdollisuutta. /8/

#### **3.3 Rakenteen kosteustekninen käyttäytyminen**

Kosteus on yksi merkittävimmistä rakenteiden ja rakennusaineiden toimintaan ja kestävyteen vaikuttavista tekijöistä. Valmiissa rakenteessa kosteus aiheuttaa säilyvyyteen vaikuttavia ongelmia. Siltarakenteita rasittavia kosteuslähteitä ovat sade- ja sulamis-

vesien lisäksi myös maaperän kosteus ja pohjavesi. Siltarakenteet on pyrittävä suojaamaan mahdollisimman hyvin kosteuden haitallisilta vaikutuksilta. Rakenneosittain vaurioita esiintyy eniten reunapalkeissa, kansilaatan yläpinnassa ja alusrakenteissa vedenpinnan vaikutusalueella. Siltakannen kosteuslähteitä ovat lähinnä sade- ja sulamisvedet 1, pintavesi 2, ilman kosteus 3 ja rakennekosteus 4. /8/



Kuva 3 Päällysrakenteen reunaan kohdistuvat kosteusrasitukset /8/

Kosteus siirtyy siltarakenteissa pääasiassa veden kapillaarisena virtauksena, mutta josain määrin esiintyy myös vesihöyryn siirtymistä diffuusiona. Kapillaarinen virtaus on kosteuden siirtymistä, joka aiheutuu veden pintajännityksen aiheuttamista kapillaarivoimista, joita kuvaava suure on huokosalipaine eli imu. Kun rakenteen kosteus on suuri, kosteus siirtyy pääasiassa kapillaarivoimien vaikutuksesta. Diffuusio aiheutuu siitä, että ilma sisältää eri määrän kosteutta rakenteen sisällä ja ulkopuolella, jolloin tämä kosteusero pyrkii tasaantumaan. Kun aineen kosteus on alhainen, kosteus siirtyy pääasiassa diffuusion vaikutuksesta. /8/

Sillan vedeneristyksessä lähdetään siitä, että veden kulkeutuminen paineen ja kapillaarisen virtauksen myötä estetään. Vedeneristys suunnitellaan samanaikaisesti sillan päällysteen kanssa, koska rakenteet muodostavat yhdessä sillan pintarakenteen. Vedeneristyksen pitää kestää kansilaatan muodonmuutokset ja liikkeet. /8/

Betoni pyrkii tasapainokosteuteen, joka riippuu ympäröivän ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. Normaaleissa ympäristöolosuhteissa olevan siltarakenteen suhteellinen kosteus on noin 85 %. Jos kansilaatan suhteellinen kosteus on yli 95 %, voidaan olla varmoja, että vedeneristys on vaurioitunut ja vesi suotautuu rakenteen läpi. /8/ Vaurioiden laajuutta on kuitenkin vaikea arvioida käytössä olevilla tutkimusmenetelmillä.

## 4 VEDENERISTYKSEN KUNNON ARVIOINTIIN KÄYTETYT MENETELMÄT

### 4.1 Silmämääräinen arviointi

Kansilaatan kosteus ja vedeneristyksen vauriot voidaan helposti todeta silmämääräisesti laatan alapinnasta betonipintaan kertyneestä kalkkihärmästä ja halkeamissa esiintyvistä kalkkipuikoista. Usein kuitenkin silmämääräisesti havaittavien merkkien ilmestyessä rakenteisiin on betonirakenne ollut jo pidempään rasituksen alaisena ja betoni on saattanut jotenkin vaurioitua johtuen kohonneesta kosteus- ja pakkasrasituksesta. Kalkkihärmä ja kalkkipuikot betonin pinnalla voivat myös olla jälkiä jostain aikaisemmasta ongelmatilanteesta, joka on mahdollisesti jo korjattu esimerkiksi pintarakenteiden uusimisella tai joka on voinut korjautua itsekseen, esimerkiksi rakenteiden painumisen takia sulkeutuneet halkeamat.

Selviä kosteusrasituksesta johtuvia vaurioita ovat pakkasvauriot, jotka ilmenevät betonipinnan verkkomaisena halkeiluna sekä betonin pakkasrapautumat, jotka ovat halkeilleen betonin rapautumista.

Ennen varsinaista korjaussuunnitteluvaihetta tehtävistä tutkimuksista on saatava yksiselitteiset tulokset, jotta voidaan varmistua kyseiselle rakenteelle valittavien korjaustoimien oikeellisuudesta. Erikoistarkastuksissa rakenteita tutkitaan usealla eri menetelmällä ja mikäli niistä saadaan samanlaiset tulokset, voidaan vasta tehdä luotettavia arvioita rakenteiden kunnosta.

### 4.2 Betonin suhteellinen kosteus

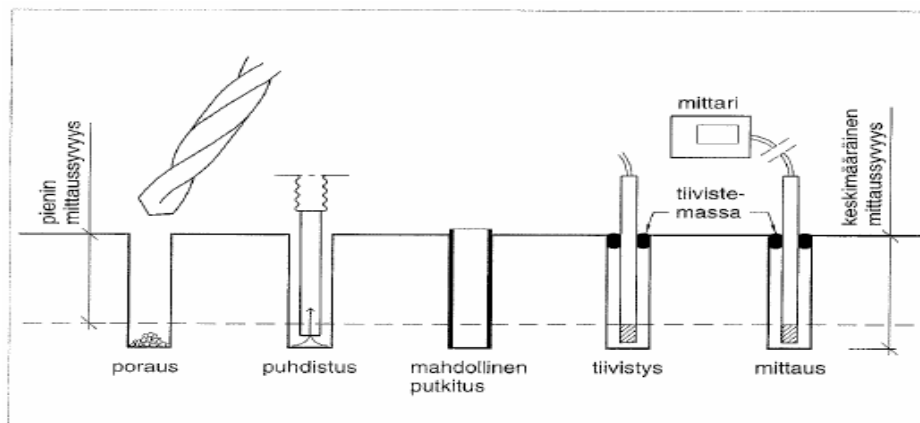
Betoniin sekoitetaan valmistuksen yhteydessä vettä noin 180 - 220 l/m<sup>3</sup>. Osa tästä vedestä reagoi sementin kanssa, osa jää betonihuokosrakenteeseen ja loppuosa kosteudesta kulkeutuu aikaa myöten pois rakenteesta, jolloin betoni saavuttaa tasapainokosteuden ympäristön kanssa. Betonin kosteus mukailee ilmankosteutta ja niinpä sisätiloissa oleva betoni on hyvin kuivaa verrattuna ulkorakenteisiin.

Betonin kosteus ilmoitetaan yleisimmin suhteellisena kosteutena. Betonin suhteellinen kosteus tarkoittaa betonin huokosissa olevan ilman suhteellista kosteutta betoniin poratusta reiästä mitattuna tasaantumisaajan jälkeen. /9/ Pora-anturi -mittaus on hyvin paikallinen mittaustapa, sillä anturit mittaavat vain sen porauskohdan kosteutta, johon mittari on asennettu. Teoriassa jo aivan mittauskohdan vieressä saattaa olla erilainen kohta betonissa ja kohdassa on suhteellinen kosteus jostain aivan muuta. Erikoistarkastuksessa porataan betonirakenteisiin muutamia (4–5 kpl) antureita kohtiin, jotka edustavat

kosteusrasitetun rakenteen ääripäitä. Erikoistarkastuksessa on tutkijan ammattitaidolla suuri merkitys, jotta tutkimuksissa saadaan objektiivinen tieto rakenteiden kunnosta.

Betonin suhteellisen kosteuden mittaus suoritetaan RT-ohjekortin 14-10675 mukaan seuraavasti (kuva 4):

- Mittareit ​​porataan tapauskohtaisesti määritettävään syvyyteen.
- Mittareit ​​puhdistetaan imurilla ja paineilmalla. Sitten reiät suljetaan ja tiivistetään.
- Tasapainokosteuden saavuttamiseksi tiivistetyn mittausreiän annetaan tasaantua vähintään 3 vuorokautta. Jos mittaus suoritetaan liian pian porauksen jälkeen, saadaan yleensä liian korkeita suhteellisen kosteuden arvoja.
- Mittaus suoritetaan avaamalla mittareikä, asentamalla mittausanturi mittaputkeen ja tiivistämällä se. Mittausanturin annetaan olla reiässä riittävän pitkän ajan, jotta kosteustasapaino anturin ja betonin välillä saavutetaan.
- Tasaantumisaian jälkeen mittaustulos luetaan anturiin liitetystä näyttölaitteesta. Näyttölaitte ilmoittaa sekä ilman suhteellisen kosteuden että lämpötilan. /9/



Kuva 4 Pora-anturi-mittaus RT-kortin mukaan /9/

Lämpötilalla on suuri vaikutus betonin suhteellista kosteutta mitattaessa. Porareikämitausta tehdessä betonirakenteen lämpötilan tulisi olla lähellä rakenteen käyttölämpötilaa (yleensä noin +20 °C). Jos lämpötila mittausta paikalla poikkeaa huomattavasti +20 °C:sta, saadaan luotettavampi mittaustulos näytepalamittausmenetelmällä. Tässä menetelmässä betonista irrotetaan halutulta syvyydeltä murusia, jotka laitetaan välittömästi koeputkeen. Koeputkeen laitetaan lisäksi mittausanturi ja se tiivistetään. Tämän jälkeen koeputken ja mittarin annetaan tasaantua vakio- $+20\text{ °C}$  ja ilman suhteellinen kosteus koeputkessa mitataan. /9/

Erikoistarkastuksissa suhteellisen kosteuden mittaukset pyritään tekemään yhden päivän aikana, jolloin RT-kortin mukaista tasaantumisaikaa ei pystytä tarkastuksen aikana toteuttamaan. Yhden päivän tarkastuksissa mitta-anturit porataan päällysrakenteeseen aamulla erikoistarkastuksen aluksi. Yleensä poraus tehdään nostolava-autosta, jolloin

kaikki rakenteet myös tarkastetaan silmämääräisesti. Antureiden asentaminen kestää siltakohteen koosta riippuen noin tunnin. Antureiden annetaan tasaantua vähintään kuusi tuntia rakenteessa. Tasaantumisaika pyritään pitämään tarkastuksissa melko vakiona tulosten vertailtavuuden takia. Useampipäiväisissä tarkastuksissa kosteusantureita pidetään rakenteessa pidempään. Tasaantumisaajan jälkeen siltapaikalla käydään jokaisen anturin luona uudelleen nostolava-autolla lukemassa tulokset. Tulosten lukeminen kestää noin puoli tuntia. Anturit irrotetaan samalla rakenteesta ja kohdat paikataan.

### Suhteellisen kosteuden mittaus betonin pinnasta

Betonin pinnasta voidaan myös mitata rakenteen suhteellista kosteutta. Mittalaitteen (kuva 5) pohjassa on antureita eli pieniä nastoja, jotka painetaan betonin pintaan. Mittalaitteen ominaistietojen mukaan laite mittaa betonin kosteutta noin 25 mm:n syvyydeltä betonista ja näyttää suhteellisen kosteuden arvon mitta-asteikolla.



Kuva 5 Betonin suhteellisen kosteuden mittari

## 4.3 Absoluuttinen kosteus

Betonin absoluuttinen kosteusmittaus tapahtuu irrottamalla siltapaikalla betonikappale rakenteesta ja punnitsemalla kappale. Tämän jälkeen näytettä kuivatetaan niin, että saadaan näytebetonin kuivapaino. Haihtunutta vesimäärää verrataan kappaleen tilavuuteen. Betonin pala on rakenteesta irrottamisen jälkeen säilytettävä ilmatiiviisti ja vaa'an, jolla punnitseminen tehdään, on oltava tarkka. Koekappaleen kuivattamiseen soveltuu ainoastaan tavallinen uuni. Mikroaaltouuni ei sovellu kuivattamiseen, sillä sitä käytettäessä betonin huokosvesi haihtuu, eikä betonin kuivapainoksi saada todellista arvoa. Mittaustapa on työläs, eikä sitä voida toteuttaa kokonaisuudessaan siltapaikalla, sillä käytössä ei ole uunia eikä riittävästi resursseja.

## 4.4 Pintakosteus

Betonin pintakosteutta mitataan betonin pinnasta. Mittalaite (kuva 5) antaa suhdelukuja, joita vertaillaan toisiinsa. Mittausarvoista pystytään suhteellisesti toteamaan kosteat

alueet rakenteesta. Pintakosteusmittareita käytetään pienten tilojen, kuten kylpyhuoneiden ja muiden kosteiden tilojen mittauksissa. Siltakansien kosteusmittauksiin mittaustapa on työläs, eikä sen avulla saada selville rakenteiden todellista kosteustasoa.

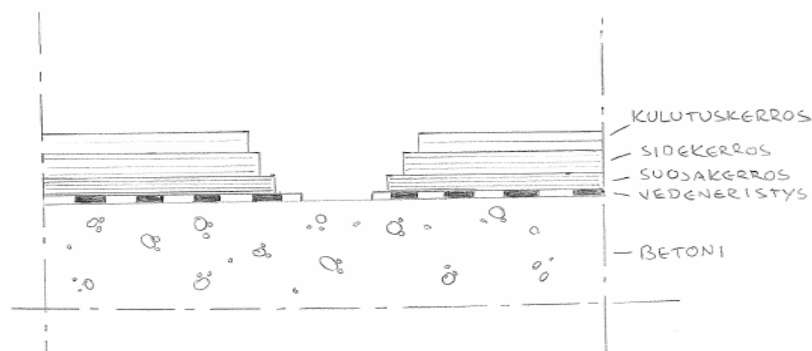


Kuva 6 Pintakosteusosoitin

#### 4.5 Pintarakenteiden avaukset

Siltatutkimuksiin kuuluu osana pintarakenteiden avaukset, joissa päällyste ja muut rakennekerrokset poistetaan vedeneristyksen päältä. Vedeneristys leikataan myös auki ja siitä otetaan näyte jatkotutkimuksiin. Avauksesta nähdään heti, onko kansilaatan yläpinta kuiva vai märkä. Avauksesta tarkistetaan kaikkien pintarakennekerrosten laatu ja kunto. Avauksessa selviää myös, onko rakennustyö toteutettu suunnitelmien mukaan, mikäli alkuperäiset suunnitelmat on käytettävissä vertailuun.

Avauksen perusteella voidaan päätellä paljon yleisesti vedeneristyksen kunnosta, sillä näytekohta on satunnaisesti valittu. Avauksessa pystytään yksiselitteisesti toteamaan, vuotaako sillan vedeneristys. Haittana on kuitenkin avauksen työläisyys ja sen paikallisuus. Paikallisuus on ongelma, koska avauskohdan satunnainen valinta saattaa osua kohtaan, jossa todellisia ongelmia ei olekaan. Tämä voi johtaa virhetulkintoihin ja pahimmillaan väärin valintoihin korjaussuunnittelun yhteydessä. Virhetulkintojen riskit minimoidaan käyttämällä useita eri tutkimusmenetelmiä.



Kuva 7 Pintarakennekerrokset, periaate

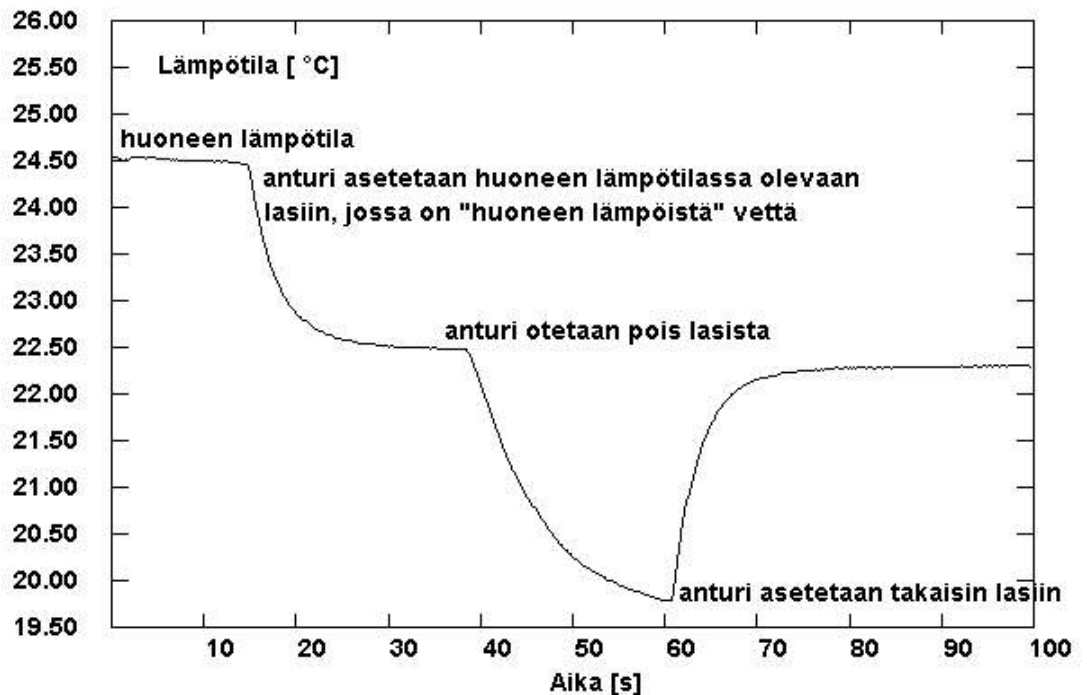
## 5 SOVELLUKSEN TEORIATAUSTA JA TEORIAN SIMULOINTI

### 5.1 Haihdunta ja tiivistyminen sekä pintalämpötila

#### Haihdunta

Haihdunnalla tarkoitetaan nestemäisessä muodossa olevan veden muuttumista vesihöyryksi. Haihdunta muodostaa tärkeän yhteyden haihduttavan pinnan energiataseen ja vesitaseen välille. Haihdunnassa kuluu runsaasti energiaa: yhden kilogramman suuruisen vesimäärän haihduttamiseen 10 °C lämpötilassa tarvitaan energiaa höyrystyslämmön verran, eli  $2,47 \cdot 10^6$  J. Haihtuminen vastustaa kostean pinnan lämpötilan koohamista. Vastaavasti veden tiivistymisellä on energiaa vapauttava eli pintaa lämmittävä vaikutus. /10/

Kuvassa 7 esitetään, että "huoneen lämpöisen" veden lämpötila on hivenen huoneen ilman lämpötilaa alhaisempi, koska vettä haihtuu koko ajan avoimesta astiasta. Haihtumiseen tarvittava energia on peräisin vedestä. Kun vesi luovuttaa energiaa haihtumiseen, sen lämpötila laskee. Kun lämpötila-anturi otetaan vedestä pois, lämpötila laskee jälleen. Vettä haihtuu nyt anturin pinnalta. Anturi luovuttaa haihtumiseen tarvittavan energian, jolloin anturin lämpötila laskee. /10/



Kuva 8 Haihdunta ja lämpötila /10/

### Tiivistyminen

Jos rakenteen kiinteällä pinnalla on jo valmiiksi pisaroita, tiivistyminen tapahtuu mieluiten tällaiselle pinnalle. Esimerkiksi kylpyhuoneessa lasi- ja kaakelipinnoille tiivistyneet pisarat kasvavat, kun tiivistyminen jatkuu ensimmäisten pisaroiden pinnalle. /10/ Betonin pinnalla ilmiö on sama, eli kosteisiin kohtiin tiivistyy herkemmin kosteutta kuin kuiviin kohtiin.

Haihduttava betonirakenne luovuttaa lämpöä, jolloin kosteat kohdat näkyvät muuta rakennetta viileämpinä kohtina. Vastaavasti ilmankosteuden tiivistyminen rakenteen kosteampiin kohtiin synnyttää lämpöä, jonka pitäisi myös näkyä lämpökameran kuvissa rakenteen lämpöeroina.

## 5.2 Lämmönjohtavuudet ja lämpöresistanssi

Lämmönjohtavuus kuvaa, miten hyvin jokin materiaali johtaa lämpöä. Mitä suurempi lämmönjohtavuuslukema on, sitä paremmin lämpö johtuu. Kosteus parantaa materiaalin lämmönjohtavuutta.

Rikkoutuneen vedeneristyksen alla siltakannella seisoo vesi. Vesi lammikoituu kannen alimpiin kohtiin, eikä pääse haihtumaan vedeneristyksen ja päällystekerroksien alta. Vesi imeytyy kohdasta betoniin ja kostea betoni johtaa lämpöä enemmän kuin muu betonirakenne. Betonin lämmönjohtavuus on  $0,1-0,15 \text{ W/(K}\cdot\text{m)}$ . Veden lämmönjohtavuus on  $0,6 \text{ W/(K}\cdot\text{m)}$ . Kuivan ja kostean betonipinnan lämpötilaerojen pitäisi näkyä lämpökamerakuvissa. /11/

Lämpöresistanssi eli *lämpövastus* (tunnus  $R_{th}$ ) kuvaa, miten paljon lämpötilaeroa tulee jossakin lämpöä johtavassa kohteessa, kun tietty lämpöteho vaikuttaa kohteen toisella puolella. Lämpöresistanssilla voidaan kuvata esim. jäähdytyslementin toiminnan tehokkuutta tai lämmön vuotamista jonkin eristerakenteen läpi. Mitä suurempi lämpöresistanssilukema on, sitä huonommin lämpö johtuu. /11/

### Ilmankosteus

Ilmassa olevan vesihöyryn paineen suhdetta kylläisen höyryn paineeseen samassa lämpötilassa sanotaan ilman suhteelliseksi kosteudeksi. Se ilmaistaan tavallisesti prosentteina. Veden haihtuminen on sitä nopeampaa, mitä kuivempaa ilma on eli mitä pienempi sen suhteellinen kosteus on. Ilman suhteellinen kosteus on keskimäärin suurimmillaan marras-joulukuussa (noin 90 %) ja pienimmillään touko-kesäkuussa (65 – 70 %) Suhteellinen kosteus vaihtelee alueittain varsin vähän kaikkina vuodenaikoina. /12/



### 5.3 Kuvaustilanteen simulointi

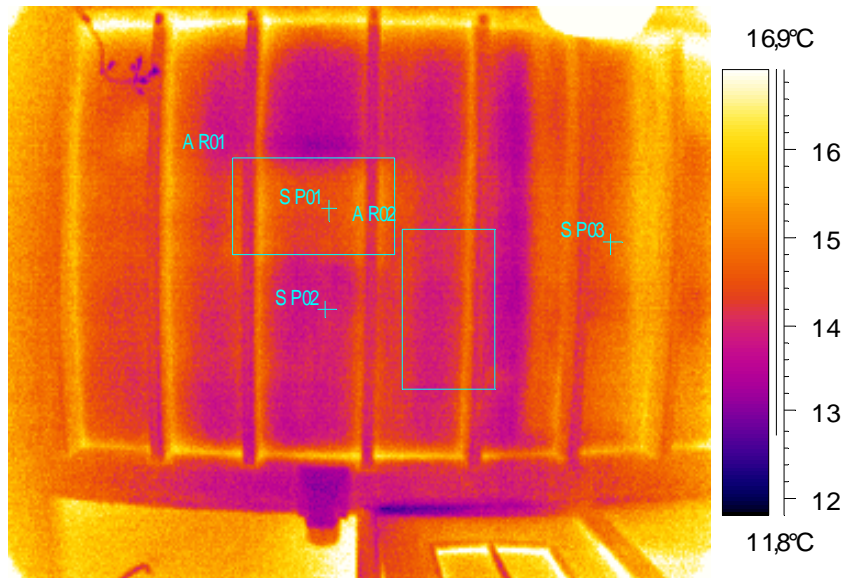
Ennen käytännön siltakuvauksia oli saatava varmuus, että teoria toimii käytännössä. Kuvaustilanteen simuloinnista on tehty erillinen raportti, joka on opinnäytetyön liitteenä. Seuraavassa on kuitenkin esitetty simuloinnin pääkohdat ja tulokset lyhyesti.

Tilannetta simuloitiin puurakenteisella parvekkeella, jossa oli kantavan rakenteen päällä vesivaneri ja sen päällä kermi. Kermin yläpinnasta kasteltiin noin puolen neliömetrin kokoinen alue lämpimällä vedellä ja kohtaan asetettiin kumimatto. Parvekkeelle asetettiin myös toinen kumimatto, jonka alustaa ei kasteltu. Rakenteen käyttäytymistä seurattiin lämpökuvauksella. Kuvaukset tehtiin parvekkeen alapuolelta.

Ensimmäinen kuvaus suoritettiin parvekkeen lämpötilan ollessa noin 12 °C. Lämpökuvassa seuraavalla sivulla (kuva 9) näkyy maton kokoinen ympäristöään lämpimämpi alue. Keltainen on kuvissa violettiä/sinistä lämpoisempi. Ulkoilma oli pilvinen ja poutainen. Mattojen kohdat on rajattu suorakaiteella.

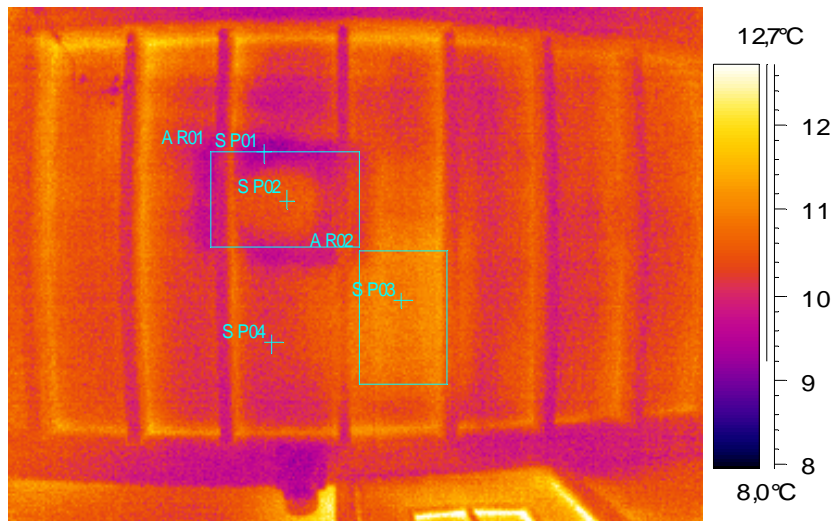
Kahden tunnin kuluttua suoritettiin toinen kuvaus. Kuvaus suoritettiin, kun kermin pinta alkoi hieman kuivua. Lämpökuvassa (kuva 10) näkyy alue, jonka reunoilta tapahtuu haihduntaa ja se viilentää rakennetta. Suhteellisella lämpötila-asteikolla väri keltainen tarkoittaa lämmintä ja violetti viileää. Ilman lämpötila oli kuvaushetkellä varjossa noin 14 °C.

Kuvausta jatkettiin noin tunnin välein ja lämpökuvissa näkyi voimakkaasti haihdunnan takia viilentynyt alue. Maton keskikohta erottuu lämpimämpänä, sillä sieltä ei haihdun-  
taa tapahdu. Rakenteen läpi näkyy (kuva 10) myös kuivan maton alue ympäristöään lämpimämpänä. Lämpökuvien alle seuraavalle sivulle on kerätty mittausasetukset, valitsevat olosuhdetiedot ja pistemittausten tulokset.



Emissiivisyys	0,95	SP01 14,5°C
Etäisyys kohteeseen	3,8 m	SP02 13,9°C
Ilman lämpötila	9,3°C	SP03 15,0°C
Suhteellinen kosteus	0,60	

Kuva 9 Lämmin vesi maton alla (ylempi suorakaide)



Emissiivisyys	0,95	SP01 9,3°C
Etäisyys kohteeseen	3,5 m	SP02 10,6°C
Ilman lämpötila	9,3 °C	SP03 11,0°C
Suhteellinen kosteus	0,60	SP04 10,4°C
L.kuva : maks	13,0°C	
L.kuva : min	8,9°C	

Kuva 10 Haihdunta maton reunoilta viilentää rakennetta

#### 5.4 Simuloinnin yhteenveto

Tulokset olivat täysin odotetun kaltaiset, ja niissä näkyi selvästi yläpinnan kostea kohta. Simuloinnissa haluttiin selvittää, erottaako rakenteen lävitse kohdat, jotka sitovat tai haihduttavat lämpöä eri lailla kuin muu rakenne.

Lämpötilan vaihtelu oli kokeessa erittäin selvärajaisista johtuen parvekerakenteen ohuudesta. Siltapaikalla teräsbetonisen laatan lämpötilan vaihtelut eivät ole käytännössä näin selviä, sillä rakenteen paksuuden kasvaessa tarkkuus todennäköisesti heikkenee. Tarkoituksena betonirakenteiden lämpökuvauksessa ei ole selvittää rakenteiden absoluuttisia kosteusarvoja, vaan vertailla rakenteen vuotokohtia ja eri alueiden kosteusrasituksen tasoa teoriassa kuiviin kohtiin rakenteessa.

Opinnäytetyössä tutkittava ilmiö liittyy rakennekosteuden ja lämmön haihtumiseen rakenteesta. Simuloinnissa kyse ei ollut kosteuden haihtumisesta rakenteesta sisältä, sillä vesivaneri on vesitiivis. Periaate on kuitenkin edellä kuvatun kaltainen. Kosteuden haihtuminen materiaalin pinnalta viilentää rakennetta merkittävästi.

## 6 LÄMPÖKAMERAKUVAUKSEN SUORITUS

### 6.1 Alkuasetelma

Siltapaikalla suoritetaan erikoistarkastus, jossa arvioidaan silmin havaittavat kosteusjäljet kansilaatan alapinnasta. Arvioiden perusteella tiettyihin laatan kohtiin porataan kosteusanturit. Kosteusanturit asennetaan rakenteeseen RT-kortin 'betonin suhteellisen kosteuden mittaus' (RT 14-10675) mukaan. Kosteusantureiden annetaan tasaantua vähintään 6 tuntia, jotta poraustilanteessa lämmennyt porareikä palautuisi rakenteen normaaliin lämpötilaan ja jotta kosteusprosentti tasaantuisi.

Lämpökuvaus aloitetaan lämpökameran asetusten määrittämisellä. Kameraan syötettävät parametrit annetaan lähtötiedoiksi kuvaukselle. Lähtötietoja ovat kohteelle ominaiset olosuhteet eli betonipinnan emissiivisyys, ilmankosteus ja kuvattavan kohteen etäisyys jne. Lähtötietoja käsitellään kappaleessa 6.3

Kamerassa käytetään laajakulmaobjektiveja, sillä kuvauskohteena ovat suhteellisen laajat pinnat eli kansilaatan alapinta.

## 6.2 Kuvauksen teoria ja virhearvio

Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin. Se mittaa kuvauskohteen pinnasta luonnostaan lähtevää lämpösäteilyä. Lämpökameran ilmaisimien muuttama kohteen lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta lämpökuvasta muodostetaan digitaalisesti reaaliajassa. Lämpökameraa käytetään ensisijaisesti pintalämpötilajakaumien havainnollistamiseen.

Lämpökamera erottaa rakenteen pinnasta jopa 0,05:n asteen erot. Kuvassa eri lämpötilat näkyvät väreinä. Suhteellinen väriasteikko on rautapalettia käyttäen seuraavanlainen:

- valkoinen on lämpöisin
- keltainen
- punainen
- violetti
- sininen
- musta on kylmin.

### Kuvaaminen siltakannen alta

Kansilaatan alapinnan kuvaaminen suoritetaan alittavalta tieltä. Kameran asentoa muutetaan kuvausten aikana ja vertailukelpoisia lämpökuvia pyritään saamaan eri kulmista ja etäisyyksiltä. Siltakannesta otetaan useita kuvia samoista kohdista, jotta varmistettaisiin kuvauksen objektiivisuus. Sillan alapuolelta kuvaaminen antaa vertailukelpoisia tuloksia, sillä rakenne on alapuolelta melko tasalämpöinen. Rakenteen koko on etu, sillä laajat yhtenäiset betonipinnat ovat useimmiten suojassa auringon valolta ja haitallisilta heijastuksilta. Ainoastaan rakenteen reunoilla, jossa ulkoilman taustavalo aiheuttaa suuren kontrastin, saattaa tuloksissa esiintyä epäselvyyksiä. Vaikeissa olosuhteissa on tutkijan ammattitaidolla suuri merkitys.

Työssä kuvauskohteina on käytetty maantiesilloja, joissa saavutettavuus ja ympäristöolosuhteet olivat melko helppoja ja stabiileja. Vesistöisillä veden pinnasta heijastuvat valonsäteet saattavat olla ongelma varsinkin kirkkaalla auringonpaisteella. Vesistöisiltä ei tutkittu tässä työssä.

### Sillan yläpuoli

Sillan päältä kuvaamista harkittiin ja muutamia koekuvauksia tehtiin tutkimuksen alkuvaiheessa. Vallitsevat olosuhteet oli kuitenkin vaikea hallita eikä tuloksista saatu vertailukelpoisia. Muuttuvat olosuhteet ja varsinkin valon määrä sekä heijastukset aiheuttivat paljon virhetekijöitä kuvaustilanteeseen.

Siltakannen yläpuolen lämpökuvausta on tutkittu VTT:ssa vedeneristyksen koerakennetutkimuksessa, joka käynnistettiin 1992. Tutkimuksessa käytettiin lämpökuvausta kermieristyksen päältä tehtävään vedeneristyksen tartunnan rakennusaikaiseen laadunvarmistukseen. Lämpökameralla todettiin voitavan nopeasti paikallistaa irti olevat eristyskohdat eristystä rikkomatta. Ne erottuivat kamerasilla hieman kiinni olevia kohtia lämpimämpinä, koska irti olevan kermin alla oleva ilma toimi lämmöneristyksenä. Lämpökameran avulla paikallistettuja, kamerasilla (kuvan perusteella) heikommin tarttuneilta näyttäneitä aluskermin kohtia leikattiin auki mattoveitsellä ja todettiin lähes aina kyseisen kermikohdan olleen irti alustasta. /3/

Sillan erikoistarkastus tehdään käytössä olevilla silloilla, joten lämpökuvauksella pitää suorittaa päällysteiden päältä. Työssä tehtyjen koekuvauksien perusteella virhetekijöitä oli liikaa luotettavien tulosten saamiseksi. Sillan päältä kuvaamista ei käytetty työssä.

### 6.3 Kamera-asetusten merkitys

Kamera-asetuksilla on suuri vaikutus lämpökuvauksen tulosten tarkkuuteen. Kamera-asetusten virhearviota on tutkinut Pentti Urho opinnäytetyössään Hämeen ammattikorkeakoulussa vuonna 2003. Opinnäytetyö on kokonaisuudessaan säilytyksessä Hämeen Ammattikorkeakoulun koulutusohjelmassa. Seuraavassa luvussa esitellään oleelliset tulokset kyseisestä tutkimuksesta.

#### Kuvauskulma

Lämpökamerakuvaus pyritään suorittamaan mahdollisimman suoraan tutkittavaa pintaa vastaan. Aina tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, vaan osa pinnoista joudutaan kuvaamaan vinosti.

Tutkimuksessa selvitettiin muun muassa, kuinka tulee huomioida normaalissa rakennuskuvauksessa kuvauskulma ja miten paljon kulma vaikuttaa tulosten tarkkuuteen. Tutkimuksessa on laadittu taulukko, jossa esitetään kuvauskulman vaikutus pintalämpötilan tarkkuuteen. Kuvauskulman vaikutus on esitetty taulukossa seuraavalla sivulla:

Taulukko 1 Kuvauskulma ja mittaustarkkuus /4/

Kulma [°]	Mittaustarkkuus [°C]
0	0
15	1
30	1
45	1
60	1,53
75	2,4

Kuvauskulman ollessa kuvattavan pinnan suhteen yli 45° alkavat mittaustulokseen vaikuttaa oleellisesti taustan heijastukset. Kuvattaessa rakennetta ulkona on kuvauskulma hyvä pitää alle 30 asteessa, koska avaruudesta ja mahdollisesti muista taustan tekijöistä aiheutuva heijastus muuttaa mittaustulosta. Mittaustulosten virhemahdollisuus kasvaa, kun kuvataan pintoja, joiden emissiivisyys on alhainen tai pinnassa on ns. tasoheijastuksia, kuten ikkunalasit. /4/

### **Mittausasetukset**

Tutkimuksessa selvitettiin myös asetusten vaikutusta mittaustuloksiin. Asetuksia ovat

- kuvattavan pinnan emissiivisyys
- kuvausetäisyys
- ympäristön lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus.

Asetusten vaikutusta mittaustulokseen tutkittiin pääasiassa ohjelmallisesti muutamilla tyypillisimpien rakennusmateriaalien lämpökuvilla.

Tulokset tukivat aiempia tutkimuksia. Valitulla pinnan emissiivisyydellä ja ympäristön eli taustan lämpötilalla on oleellinen merkitys mittaustulokseen. Lämpötilan merkitys korostuu varsinkin silloin, kun pinnan emissiivisyys on alhainen. Muiden tekijöiden – ilman lämpötilan ja kosteuden sekä kuvausetäisyyden – vaikutus mittaustulokseen on vähäisempi. Tutkimuksen pohjalta annetaan ohjeeksi, että aina kuvausta suoritettaessa on säädettävä kameran asetukset kohdalleen. Myös raportointiohjelmassa voidaan muuttaa ja tarkentaa asetustietoja jälkeenpäin./4/

### **Kamera-asetusten yhteenveto**

Edellä tutkittujen kamera-asetusten vaikutus on merkittävä tekijä tulosten oikeellisuuden kannalta. Siltojen lämpökuvauksissa on kuitenkin tärkeämpää saada absoluuttisen lämpötilan sijasta rakenteen eri osien suhteellisia lämpötiloja. Lämpötilaerot indikoivat kosteuden haihtumista rakenteesta. Tässä opinnäytetyössä tutkituissa kohteissa kuvaukset tehtiin useasta eri sijainnista kohteen lähistöltä ja kuvauskulmia vaihdeltiin, jotta minimoitaisiin kuvauskulman aiheuttamat virhemahdollisuudet.

## **6.4 Muut huomioitavat asiat**

### **Kalibrointi**

Mittalaitteiston tulee olla kalibroitu. Lämpökamera on kalibroitava kerran vuodessa. Kalibroinnin suorittaa kameran maahantuoja. /4/ Työssä käytetyt lämpökamera, kosteusanurit sekä muut kosteus- ja lämpötila-anturit ovat kalibroituja laitteistoille annettujen ohjeiden mukaisesti.

### **Emissiivisyys**

Kohteen emissiivisyyden arviointi on vaikeaa, mutta todennäköisesti paljaasta betonipinnasta ei heijastuksia synny. Työssä käytetään pääosin emissiivisyyskertoimia 0,94 ja 0,95. Kerroin on kuivalle betonille määritetty emissiivisyyskerroin. Joitakin kuvauksia tehtiin myös kertoimella 0,70, koska haluttiin tutkia emissiivisyyden vaikutusta kuvaustilanteessa. Emissiivisyyskerrointa muutettiin myös ThermaCam-raportointiohjelmassa. Materiaalien emissiivisyyskertoimet perustuvat infrapunasäteilyä käsittelevään kirjallisuuteen ja FLIR Systemsin suorittamiin mittauksiin /4/. Kerrointa 0,95 käytetään myös tavallisesti rakennusten rakenteiden lämpökuvauksissa.

### **Varjostavat asiat ja pilvisyys**

Mikäli siltakannta varjostaa osittain puusto tai jokin rakennelma, voivat kuvauksen tulokset vääristyä. Riskitilanteessa auringon lämpösäteily ei lämmitä tasaisesti kohdetta. Varjojen takia kansilaatan kylmä puoli saattaa erottua kuvissa. Sama ilmiö esiintyy myös pilvien varjostaessa rakennetta. Lämmön johtuminen rakenteessa on kuitenkin hyvin hidasta rakenteiden suuren koon takia, joten todennäköisesti auringon säteilyeroilla ei ole merkittävää vaikutusta rakenteen lämpötilaan. On huomattava, että pilvet liikkuvat ja maa pyörii, joten auringon lämpösäteilyä tulee päivässä keskimäärin saman verran joka puolelle rakennetta. Paras tilanne lämpökuvauksen kannalta olisi jos taivas olisi pilvessä ennen kuvausta ja kuvauksen aikana.

### **Ilmankosteus**

Kun ilman suhteellinen kosteus on korkea, haihtuminen on hidasta. Kun ilman vesihöyry on kylläistä, suhteellinen kosteus on 100 % ja haihtuminen lakkaa./10/ Mikäli ilman kosteus on korkealla tasolla, on haihtuminen hitaampaa. Tuolloin ei lämpökameran kuvissa välttämättä näy betonirakenteen pinnan lämpötilaerot kovinkaan selvästi.

### **Tuuli**

Tuulella on suuri vaikutus kosteuden haihtumiseen ja mitä kovempi ilmavirtaus on, sitä enemmän haihduntaa tapahtuu. Siltapaikoilla on tyypillisesti vähintään pieni ilmavirtaus ja sillan alla virtaus aina voimistuu. Tuulen vaikutusta ei huomioitu tutkimuksissa, sillä sen ajateltiin olevan miltei vakio referenssikohteiden kesken.

## 7 KENTTÄTUTKIMUKSET JA TULOKSET

### 7.1 Kohteiden valinta

Opinnäytetyön referenssikohteet valittiin pääosin Ins.tsto Jorma Huura Oy:n toimeksiantojen perusteella vuoden 2007 syyskaudella. Kohteet valittiin pääosin saavutettavuutensa vuoksi mukaan tutkimukseen, ja koska tutkimukset aloitettiin laattasilloilla, oli järkevää toistettavuuden kannalta tutkia likimain samantyyppisiä siltoja. Kenttätutkimuksia tehtiin kahdella erityyppisellä sillalla. Kenttätutkimuksia suoritettiin neljä kappaletta. Toimeksiannot kohteiden erikoistarkastuksista olivat tulleet ajankohtaisiksi siltojen kunnan seurannan perusteella.

### 7.2 Kenttätutkimus 1

#### 7.2.1 Tutkimuksen lähtökohta

Ensimmäisen kenttätutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ulkoisten tekijöiden vaikutusta kuvauksen tuloksiin. Tutkimus suoritettiin, jotta varmistuttaisiin kirjallisuudessa esitetyistä kamera-asetusten ja ympäristöolosuhteiden merkityksestä tuloksiin. Tutkimuskohteenä silta oli hyvä, sillä sillalle tehtiin samanaikaisesti myös muita tutkimuksia ja mahdollisuus useamman päivän seurantaan onnistui.

#### 7.2.2 Sillan rakenne

Silta on rakenteeltaan teräsbetoninen laattakehäsilta. Sillassa ei ole alus- ja päällysrakenteen liikuntasauvoja. Sillan keskellä on pituussuuntainen liikuntasauma. Sillan yltää moottoritie ja sillassa on kaksi puoliskoa. Sillan kansilaatan paksuutta ei selvitetty.



Kuva 11 Siltakohde pohjoisesta katsottuna



### 7.2.3 Kosteusmittaus ja olosuhteet

Betonin suhteellisen kosteuden mittauksia suoritettiin neljän päivän ajan. Mittaukset suoritettiin kolmena päivänä aamuin illoin ja lisäksi viimeisen päivän aamuna. Olosuhteet vaihtelivat merkittävästi tutkimusten aikana, joten edellytykset onnistuneelle tutkimukselle olivat ainakin olemassa. Betonin suhteellisen kosteuden ja ilman lämpötilojen mittaustulokset sekä kuvaus vallitsevasta säätilasta on kerätty seuraavaan taulukkoon.

Taulukko 2 Mittaustulokset sillan eteläreunasta lähtien (anturi 1)

pvm	anturi nro. klo	1.		2.		4.		Ulkoilma		Kuvaus
		RH %	T °C	RH %	T °C	RH %	T °C	RH %	T °C	
11.syys	10:00	95,2	11,1	95,2	9,9	91,4	10,5	59,4	13,3	aurinkoa
	17:30	92,6	13,6	93,5	11,4	89,3	12,3	57,0	14,5	aurinkoa
12.syys	10:00	93,6	12,2	93,7	11,1	89,2	11,8	89,4	14,1	pieni sade
	15:00	93,1	12,9	93,4	11,4	88,9	12,5	76,9	14,9	pilvipouta/tuulinen
13.syys	9:00	94,5	11,1	95,2	10,3	90,4	10,9	77,7	10,4	yöllä satanut
	16:00	92,9	11,9	94,4	10,9	89,4	11,5	70,3	11,3	vaihtelevaa, aurinko/sade
14.syys	8:30	95,0	9,1	96,7	8,3	91,9	8,4	91,6	2,1	kylmä yö, pouta

Ulkoilman lämpötila vaihteli kuvausten aikana välillä 2 °C–15 °C. Ilmankosteus vaihteli kuvausten aikana siltapaikalla RH 57–92 %.

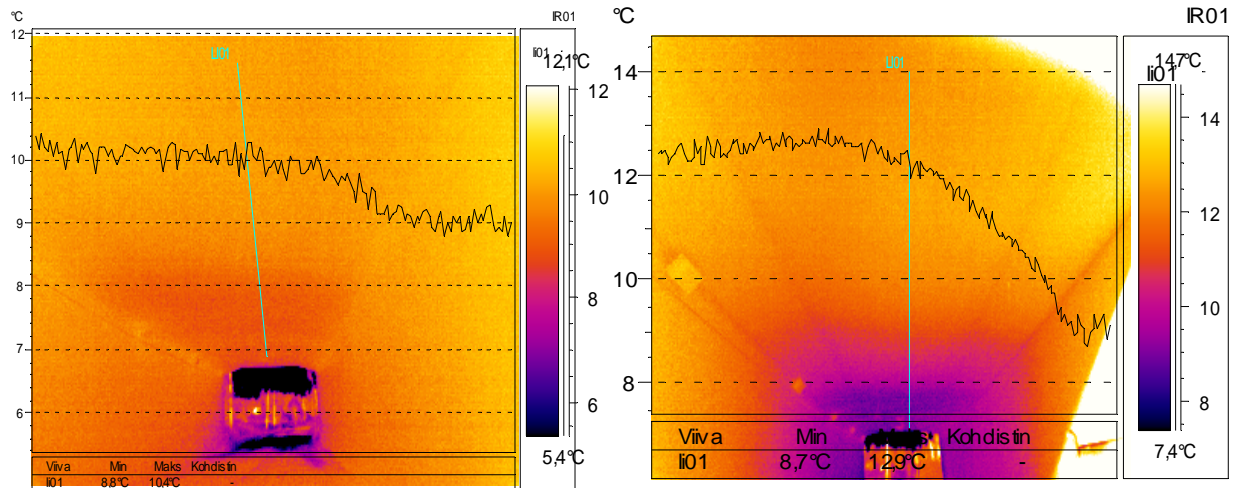
### 7.2.4 Lämpökamerakuvaus ja tulokset

Lämpökuvaukseen toteutettiin sillalla suunnilleen samoista kohdista rakennetta neljän päivän ajan. Kuvaus tehtiin sillan eteläisellä puoliskolla. Sillan puoliskot olivat keskenään samanlaiset. Kannen alapinta kuvattiin sekä lämpökameralla, että tavallisella digitaalikameralla.



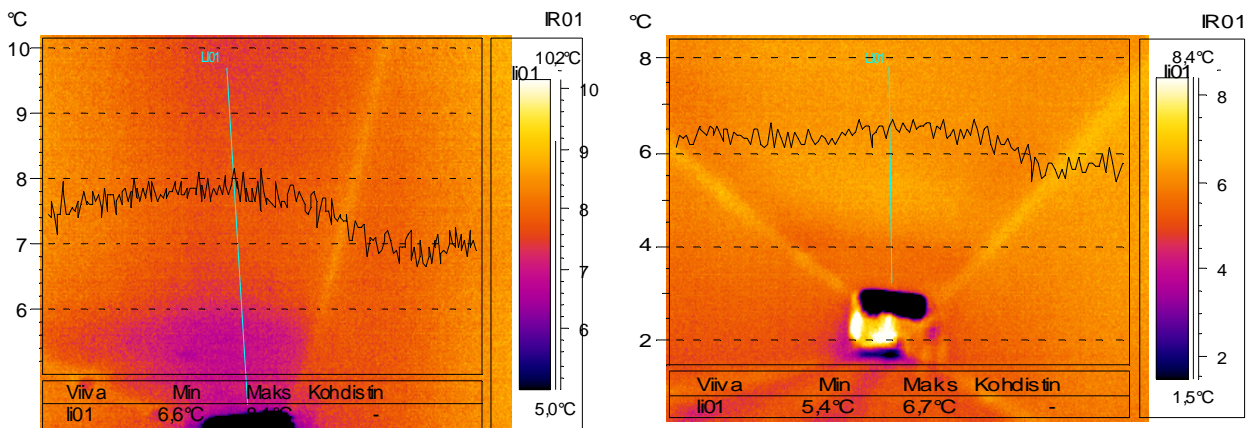
Kuva 12 Kohde etelästä katsottuna

Seuraavassa esitetään neljän kuvan kuvasarjassa eri päivien lämpökuvausten tulokset. Kuvaus on tehty kuvaamalla sillan eteläreunasta silta-aukosta pohjoiseen päin. Kuvissa erottuu sillan pohjoispuolisko eteläpuolisko hieman tummempana. Kuvissa olevat käyrät kuvaavat laatan lämpötilaa. Käyrän vasen reuna kuvaa sillan eteläreunaa. Tarkemmin tuloksia analysoidaan lämpökuvausraportissa. Lämpökuvien alla on kuvan ottopäivämäärä ja betonirakenteen lämpötila kullakin hetkellä. Lämpökuvien oikeassa reunassa näkyy suhteellinen lämpötila-asteikko, joka kertoo väreinä betonipinnan lämpötilan.



pvm 11.9; T = 13,6 °C

pvm 12.9; T = 12,9 °C

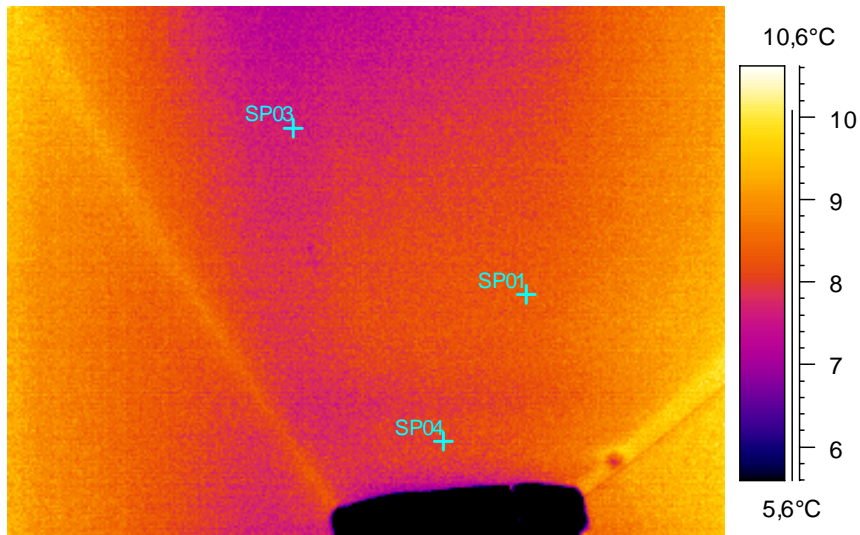


pvm 13.9; T = 11,1 °C

pvm 14.9; T = 9,1 °C

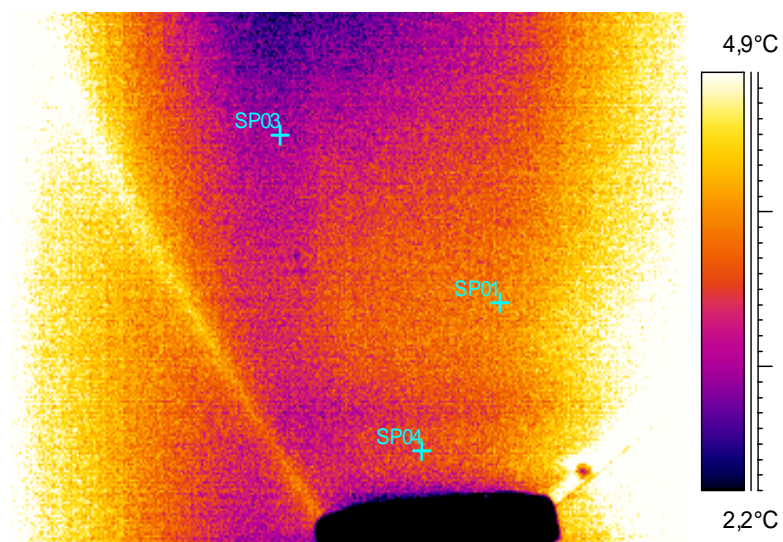
Kuva 13 Eri ajankohdan lämpökuvat samasta kohdasta siltaa

Seuraavissa lämpökuvissa on tehty kamera-asetusten muokkaaminen raportointiohjelmassa. Kuva on otettu sillan eteläreunasta, jossa havaittiin betonipinnassa selviä lämpötilaeroja. Kuvateksteissä on kuvan ottopäivämäärä ja kuvan alla ominaistiedot sekä pistemittausten lämpötilat mitattuna lämpökuvasta. Alemmassa kuvassa asetuksia on muutettu raportointiohjelmassa.



Emissiivisyys	0,94		
Etäisyys kohteeseen	10,0 m	L.kuva : maks	10,3 °C
Taustalämpötila	9,3 °C	SP01	8,5 °C
Ilman lämpötila	10,0 °C	SP03	7,3 °C
Suhteellinen kosteus	RH 75 %	SP04	8,0 °C

Kuva 14 Pvm 13.9.2007



Emissiivisyys	0,75		
Etäisyys kohteeseen	10,0 m	SP01	4,1 °C
Taustalämpötila	20,0 °C	SP03	2,6 °C
Ilman lämpötila	20,0 °C	SP04	3,5 °C
Suhteellinen kosteus	RH 30 %		

Kuva 15 Muokatut lähtöarvot

Tulokset olivat tehdyissä tutkimuksissa yllättävän yhdenmukaisia riippumatta vallitsevasta lämpötilasta, kosteudesta tai kuvausetäisyydestä. Aiemmin raportissa vertailtiin virhetekijöitä ja niiden vaikutusta, mutta tämän tutkimuksen perusteella niillä ei ole suurta merkitystä tulokseen. Lämpökuvissa näkyivät keskimäärin samat vauriokohtat huolimatta kuvausetäisyydestä, lämpötilasta, ilmankosteudesta tai mittausasetuksista.

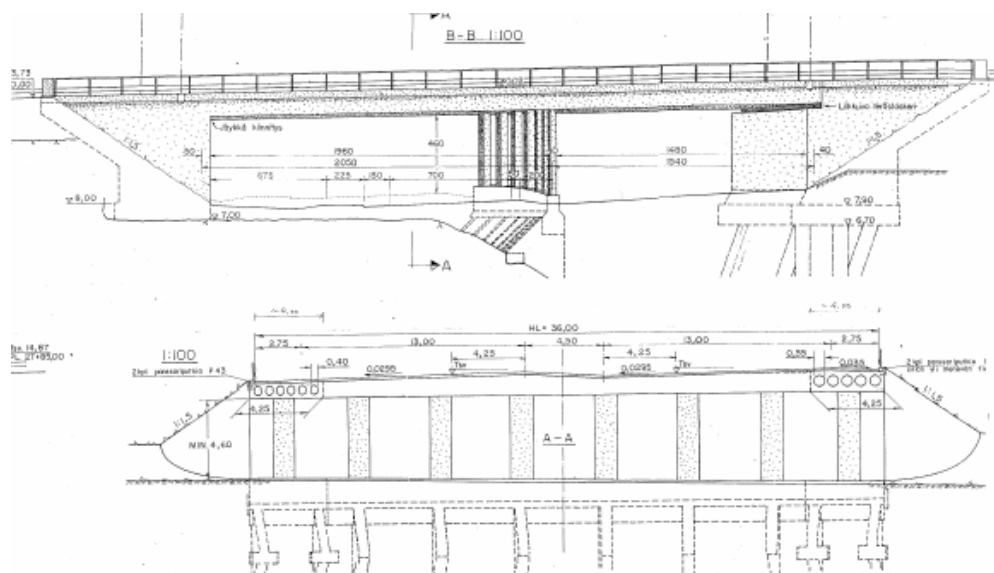
### 7.3 Kenttätutkimus 2

#### 7.3.1 Tutkimuksen lähtökohta

Tutkimuksessa siirryttiin seuraavaan vaiheeseen eli vaurioiden selvittämiseen erikoistarkastuksessa. Aiemmissä kuvauksissa oli saatu jo riittävä näyttö esitetyn teorian tueksi ja hankittu riittävä tietous menetelmästä lämpökuvauksen suorittamiseksi. Silta-kohteessa suoritettiin erikoistarkastus, jonka yhteydessä rakenteet myös kuvattiin lämpökameralla.

#### 7.3.2 Sillan rakenne

Silta on teräsbetoninen 2-aukkoinen laattasilta. Sillan jännemitat ovat 20,5 m + 15,4 m, hyödyllinen leveys on 36 m ja kansilaatan paksuus kohteessa on 0,9–1,1 m. Sillan reunoissa on jälkeinpäin tehdyt levennykset, jotka ovat ontelolaattarakenteita.



Kuva 16 Pihlajamäen risteyssillan sivukuva ja poikkileikkaus

### 7.3.3 Kosteusmittaus, olosuhteet ja pintarakenteiden avaukset

Siltakannen kosteusmittaukset suoritettiin päällysrakenteen länsipäässä sekä vanhalta että uudelta osalta. Välituesta mitattiin `kuivan´ betonin kosteusarvo. Mittaustulokset olivat

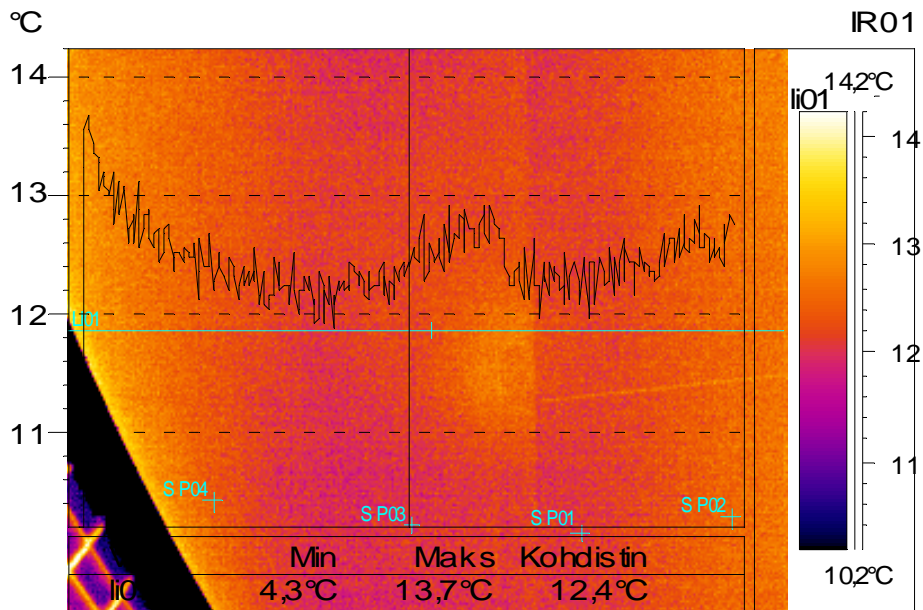
– kansilaatan alapinnassa vanhalla osalla	RH 94 %
– kansilaatan alapinnassa uudella osalla	RH 95 %
– välitukipilarissa	RH 86 %
– ulkoilmassa	RH 96 %.

Kosteusmittausten tulosten luenta ja ilmankosteuden mittaus suoritettiin illalla kello 21 jälkeen, jolloin ilmankosteus oli noussut jo korkeaksi. Betonirakenteen kosteusprosenttiin ei ilmankosteudella ole tässä tapauksessa kuitenkaan suurta merkitystä, sillä vaikka betonin kosteus tasaantuukin ympäröivän ilman kosteuteen, ei se tapahdu näin massiivisissa rakenteissa kovinkaan nopeasti. Kosteusprosentin korkea arvo johtuu todennäköisesti laatan kohonneesta kosteusrasituksesta eli se on selvä merkki vedeneristyksen vaurioista. Todellinen rakenteen `kuivan´ betonin suhteellinen kosteus on välitukipilarista mitattu RH 85 %.

Sillan kansilaatan kosteusrasitusta arvioitiin myös pintarakenteiden avauksilla, joita tehtiin kolmesta kohdasta sillalta. Avausten perusteella todettiin sillan vedeneristyksen olevan kermiä. Eristyksen paksuus oli 3–5 mm. Kermi murtui avauksissa helposti ja siihen tuli myös helposti sisäinen repeämä. Tehtyjen tutkimusten perusteella sillan vedeneristyksessä todettiin olevan vaurioita koko sillalla. /13/

### 7.3.4 Lämpökamerakuvaus ja tulokset

Siltakannen alapinta kuvattiin sekä lämpökameralla, että tavallisella digitaalikameralla. Seuraavassa on esitelty kuvasarjoja lämpökuvauksraportista. Tarkempi analyysi lämpökuvauksesta on kohteen lämpökuvauksraportissa, joka on liitteenä. Lämpökuvassa on poikittaisen mittalinjan kohdalta luotu käyrä, jolta näkee betonipinnan lämpötilan poikkeilkkauksessa. Liitteestä löytyvät kuvan pistelämpötilojen arvot (SP 01–04).



Kuva 17 Sillan eteläreunan rakenteen lämpökuva



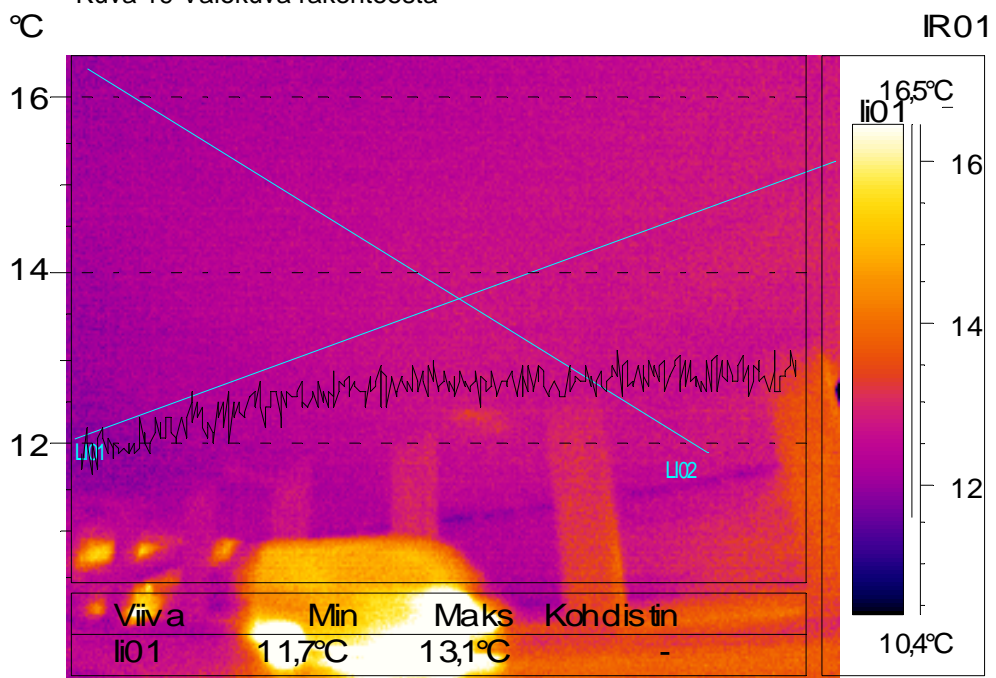
Kuva 18 Valokuva sillan eteläreunasta

Kohteessa havaittiin laatan alapinnalla paljon poikkisuuntaista halkeilua ja halkeamissa havaittiin kosteuden jättämiä jälkiä. Osassa halkeamista oli kuvaushetkellä kosteutta tai selvä vesivuoto. /13/

Seuraavissa kuvissa sillan kansilaatan alapinnasta on tutkittu lämpötilajakaumia lämpökäyrätyökalulla. Tarkemmin lämpökuvasta on käsitelty liitteenä olevassa lämpökuvauraportissa. Rakenteen lämpötila on lämpökäyrän mukaan koko rakenteessa melko tasainen. Vaihteluväli on noin 1 °C suuruisen.



Kuva 19 Valokuva rakenteesta



Kuva 20 Lämpökuvassa kansilaatan alapintaa

## Kuvauksen tulokset

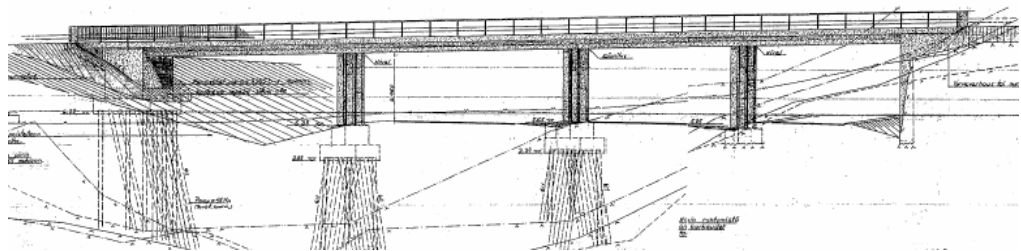
Lämpökuvauksen tulokset tukivat näköhavaintoja laatan tasalämpöisyyden suhteen, sillä kansilaatassa oli kauttaaltaan halkeilua ja vesivuotoja. Laatan pituussuuntaisissa saumoissa oli vuotoja. Yksittäisiä laajoja vuotokohtia betonissa tai kalkkihärmäisiä alueita ei laatan alapinnassa havaittu. /13/ Kosteusmittausten mukaan kuitenkin laatan betonin suhteellinen kosteus oli hyvin korkealla tasolla. Lämpökuvauksella ei pystytäkään määrittämään rakenteiden absoluuttisia kosteusarvoja, vaan ainoastaan rakenteiden kosteustasoja verrattuna toisiinsa. Rakenteista silmämääräisesti tehdyt havainnot ja yläpinnan avauksista tehdyt havainnot viittasivat myös samoihin vaurioihin rakenteissa. Sillan vedeneristyksessä on vaurioita kauttaaltaan.

Kuvauksella osoitettiin kuitenkin, että kuvan reunojenkin lämpötilat voidaan saada melko tarkasti kuvauskulman aiheuttamasta mahdollisesta virheestä huolimatta. Kuvauksessa käytettiin laajakulmaobjektiviä ja kaikki lämpötilakäyrästä mitatut lämpötilat ovat 1 °C sisällä.

## 7.4 Kenttätutkimus 3

### 7.4.1 Rakenne

Silta on teräsbetoninen neliaukkoinen laattasilta, jonka länsireunassa on reunauloke. Sillan kokonaisleveys on noin 16,0 m. Kansilaatan paksuus on 700 mm ja reunaulokkeen paksuus sisäreunassa 300 mm. Rakenteessa havaittiin silmämääräisesti arvioiden kohonnut kosteusrasitus ja sillan reunaosat olivat tummuneet selvästi. Kosteissa kohdissa betonissa havaittiin myös epäsäännöllistä halkeilua.



Kuva 21 Finnån risteysilta, sivukuva alkuperäisestä suunnitelmasta



#### 7.4.2 Kosteusmittaus, olosuhteet ja pintarakenteiden avaukset

Kansilaatan alapintaan sillan reunoihin porattiin betoniin kosteusanturit. Anturit asennettiin kansilaatan pohjoispään kulmiin ja pohjoisimman välituen viereen. Kosteusmittaukset tehtiin iltapäivällä kello 14 aikoihin. Kosteusmittausten tulokset olivat

– kansilaatan reunassa	RH-99 %
– hieman keskemällä laattaa	RH-96 %
– välitukipilarissa `kuiva piste`	RH 85 %
– ilmankosteus	RH 67 % /10/

Kannen pintarakenteen avattiin kahdesta kohdasta siltakannelta. Avaukset tehtiin ajoradan molemmista reunoista eli kansilaatan reunojen kohdalta.

#### 7.4.3 Lämpökamerakuvaus ja tulokset

Kohdista rakenne kuvattiin myös lämpökameralla. Lämpökamerakuvaus tehtiin illalla ja uusittiin puolen yön aikaan, jolloin ilmankosteus oli kohonnut selvästi. Ilmankosteutta ei mitattu yöllä. Kosteuden noustessa haihtuminen yleensä hidastuu, mutta kuitenkin laatan alapinnassa erottuvat selvästi lämpötilaerot.

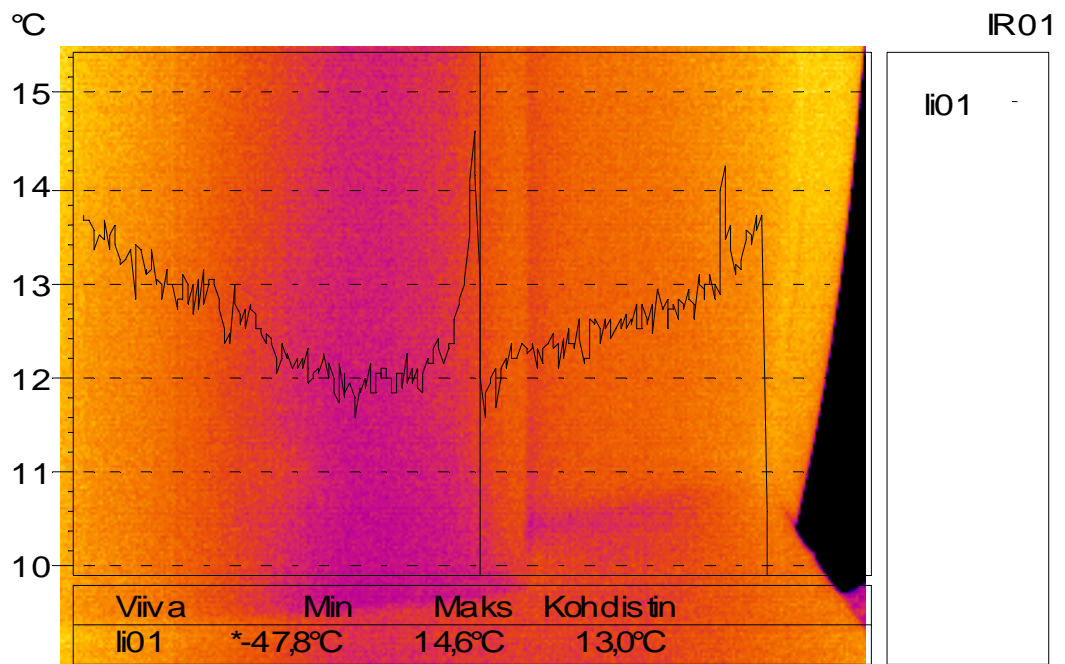
Lämpökamerakuvauksella pyrittiin selvittämään olivatko silmämääräisesti havaitut vauriot betonissa, todella aiheutuneet kosteudesta. Rakenteet kuvattiin alapuolelta sekä lämpökameralla että tavallisella digitaalikameralla.

Seuraaville sivuille on poimittu keskeisimpiä tuloksia lämpökuvausraportista. Tarkempi analyysi kuvauksesta on kohteen lämpökuvausraportissa, joka on opinnäytetyön liitteenä.

Kuvan rakenteessa havaittiin kansilaatan reunassa ja reunaulokkeen sisäreunassa betonipinnan tummumista. Rakenteessa oli myös paljon ohutta epäsäännöllistä halkeilua.



Kuva 22 Valokuva kansilaatan reunasta ja reunaulokkeesta sillan lounaiskulmassa



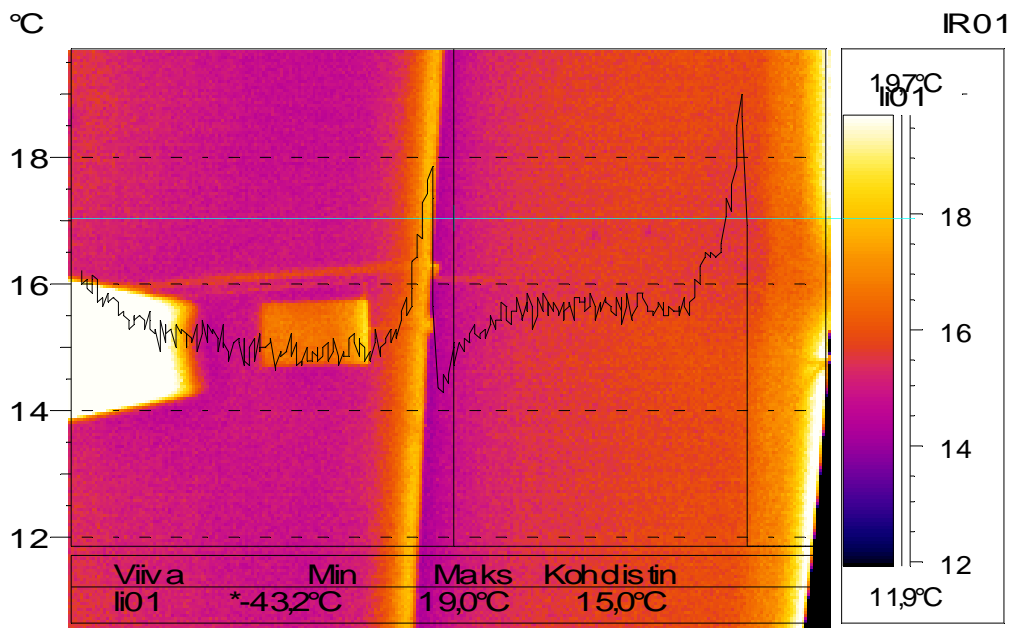
Kuva 23 Lämpökuvasta samasta kohdasta rakennetta

Lämpökäyrältä näkyy lämpötilan selvä aleneminen kansilaatan reunassa kohdassa, jossa silmämääräisesti havaittiin pahimmat kosteusjäljet. Reunaulokkeen alapinnassa lämpökäyrä käyttäytyy samoin ja rakenteesta tehdyt silmämääräiset havainnot olivat myös samanlaisia. Kuvassa ilmoitettu minimilämpötila on taivaan lämpötila aivan kuvan oikeasta reunasta.

Seuraavassa kuvasarjassa ovat valokuva ja lämpökuva sillan välituen kohdalta länsireunasta. Kansilaatan reunan betoni oli kostean näköistä ja kohdassa oli epäsäännöllistä halkeilua. Mielenkiintoinen yksityiskohta olivat reunaulokkeen halkeamat, joissa oli kalkkikertymiä.



Kuva 24 Valokuva betonirakenteesta



Kuva 25 Lämpökuva välituen kohdalta

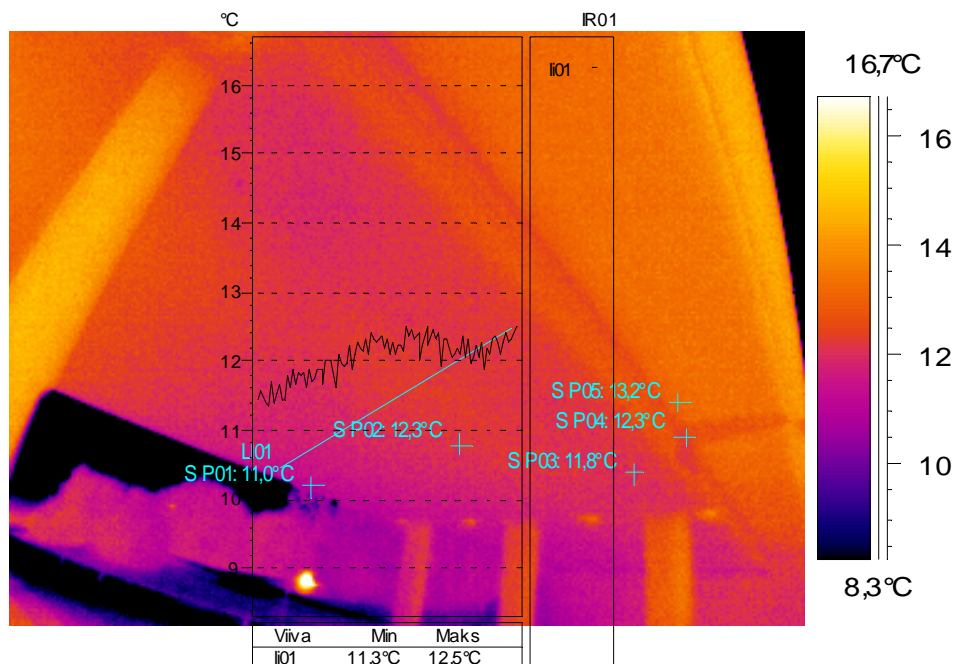
Kuvasta havaitaan sama ilmiö laatan ja reunaulokkeen alapinnassa kuin edellisissä kuvissa. Myös silmämääräiset havainnot betonipinnoista olivat samoja kuin edellä. Reunaulokkeen poikkisuuntaisissa halkeamissa ei lämpökuvan perusteella ole vuotoa, sillä betonipinnan väri ei muutu kohdassa. Halkeamat ovat vuotaneet joskus, mutta ve-

deneristys lienee sittemmin uusittu tai halkeamat ovat sulkeutuneet rakenteiden painumisen takia.

Seuraavassa esimerkki kuvauksesta, joka tehtiin hieman kauempaa, jolloin saatiin kokonaisvaltaisempi kuva rakenteen alapinnasta. Kauempaa kuvattaessa lämpökuvan tarkkuus kärsii hieman, mutta laajojen rakenteiden tai rakenneosien lämpötilaeroja ei pystytä vertailemaan kokonaisvaltaisesti pelkästään lähikuvista.



Kuva 26 Sillan kolme eteläisintä aukkoa



Kuva 27 Lämpökuvaa toiseksi eteläisimmästä aukosta



### 7.5.1 Kosteusmittaus, olosuhteet ja pintarakenteiden avaukset

Siltakannen betonin suhteellinen kosteus mitattiin neljästä kohdasta. Lisäksi välitukipilaariin asennettiin ns. kuivan pisteen kosteusmittaus.

Kosteusmittausten tulokset olivat

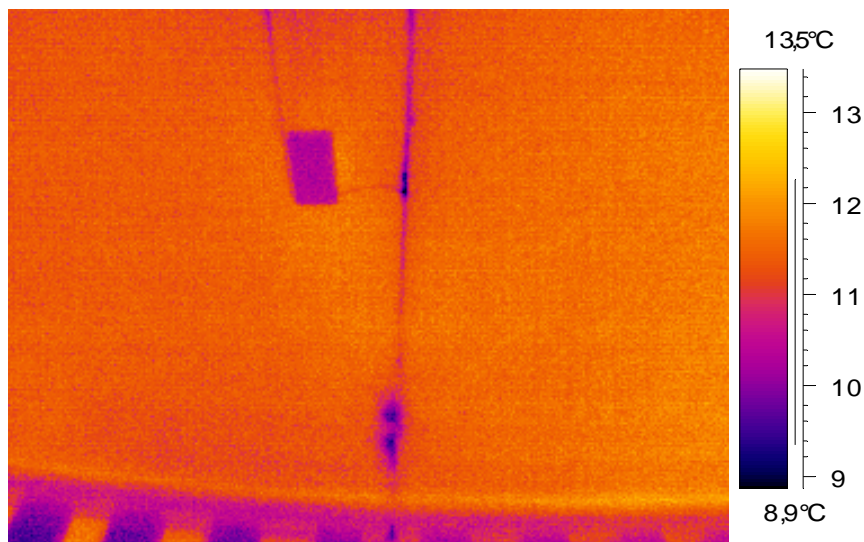
- sillan kansilaatan kulmissa RH 99 - 100 % (4 mittausta)
- välitukipilarissa `kuiva piste` RH 99 %
- ilmankosteus RH 66 % /11/

Sää oli tarkastuspäivänä pilvipoutainen. Ilman lämpötila oli noin 14°C.

Kannen pintarakenteet avattiin kahdesta kohtaa siltakantta.

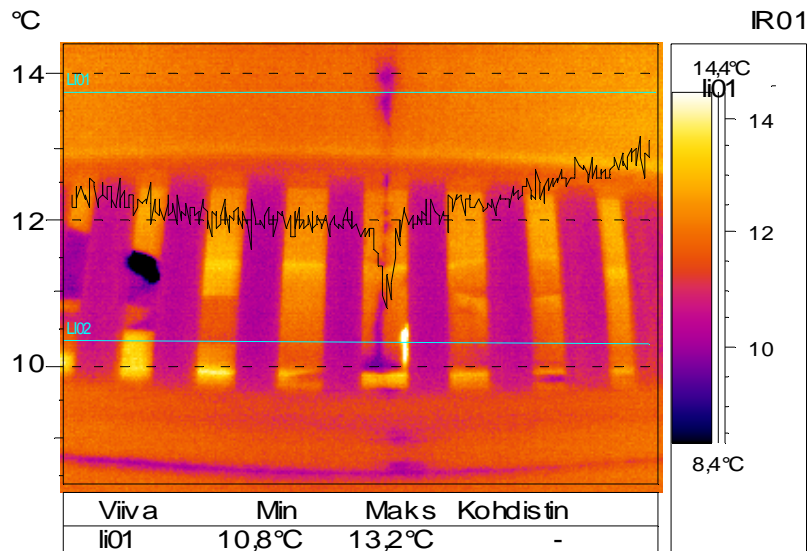
### 7.5.2 Lämpökamerakuvaus ja tulokset

Siltakannen alapinta havaittiin voimakasta pinnoitteen hilseilyä ja vesivuotoa. Betonirakenteisiin kohdistui laajamittainen kosteusrasitus. Lämpökamerakuvausta ei tästä syystä voitu käyttää laatan kosteuserojen mittaamiseen vaan kuvauksissa keskityttiin saumojen vuotojen paikallistamiseen. Rakenteita kuvattiin sekä lämpökameralla, että tavallisella digitaalikameralla. Lämpökuvien tuloksista tehtiin lämpökuvauksraportti, jonka tuloksia esitellään seuraavassa.



Kuva 29 Kansilaatan pituussuuntaisessa saumassa vuotokohtia

Kansilaatan alapinnassa ei havaittu lämpökamerakuvissa erityisiä vesivuotoja. Pituussuuntaisissa liikuntasaumoissa havaittiin useita vuotokohtia, jotka näkyvät kuvassa tummina alueina.



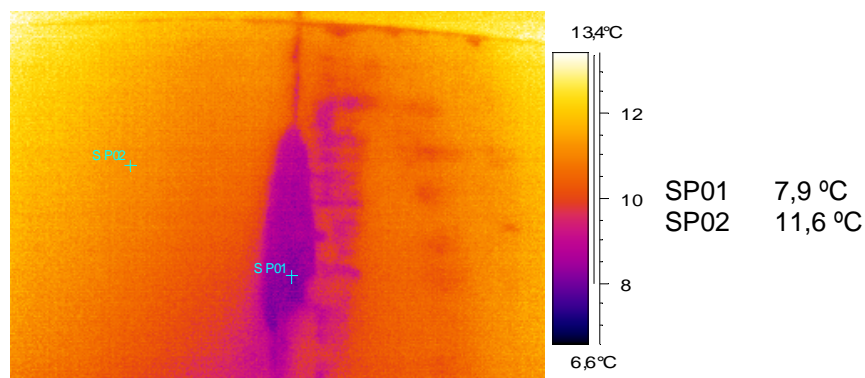
Kuva 30 Kansilaatan alapinta ja pituussuuntainen liikuntasäama



Kuva 31 Etumuurin pystysäama

Lämpökuvassa näkyy liikuntasäaman vuotokohtia ja kuvassa takana myös pohjoisen etumuurin pystysuuntaisen säaman vuodot. Kansilaatassa ei näy vuotoja, sillä rakenteen kosteusrasitus on tasainen joka puolella laattaa.

Välitukipilarit ovat kuvassa väriltään laattaa tummempia ja myös rakenteen lämpötilamittaus osoittaa pilarien olevan viileämpiä kuin kansilaatta. Yksi syy alhaisempaan lämpötilaan saattaa olla pilarin hoikkuus ja haihduttavan betonipinnan suuri määrä verrattuna siltäkannen paksuun rakenteeseen.

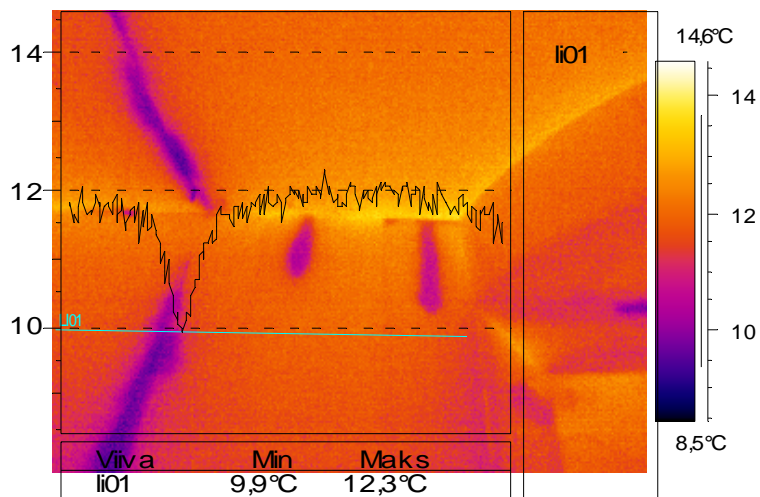


Kuva 32 Etumuurin säaman vuotokohta

Lämpökuvassa on eteläisen etumuurin yksi sauma, joka vuotaa. Saumassa oli tarkas-  
tushetkellä maatuen taustatäytöstä tihkunut vesi betonin pinnalla.



°C Kuva 33 Sauman vuotokohta lähempää kuvattuna IR01



Kuva 34 Alus- ja päällysrakenteen sauman, etumuurin pystysauman  
ja pituussuuntaisen sauman vuotoja



Kuva 35 Valokuva vuodoista, jossa erottuvat märät kohdat



## 8 TULOSTEN TARKASTELU

### 8.1 Ohjelmisto

Lämpökuvat tutkittiin ThermaCam Report -ohjelmalla ja siltakohteista tehtiin lämpökuvausraportit. Raportointiohjelmassa käytettiin eri työkaluja kuvien analysointiin. Kuvien ottohetkellä kamerassa käytössä olleet mittaustyökalut voidaan asettaa paikoilleen jälkikäteen ja mittaustyökaluja voi lisätä. Ohjelmisto sisältää myös kuvien kommentointiominaisuuden. Raporteissa lämpökuvia tutkittiin eri työkaluilla ja kuvista saatiin selviä ja johdonmukaisia tuloksia. Tulokset on esitetty kootusti seuraavassa taulukossa. Alkuperäiset lämpökuvausraportit ovat liitteenä.

### 8.2 Mittaustulokset

Tutkimustulokset eri silloista on yhdistetty alla olevaan taulukkoon.

Taulukko 3 Tutkimustulokset

Kohde	Rakenne-osa	Kosteusmittaus [%]	Rakenteen lämpötila [°C]	Rakenteen lämpökuvaus	Havainnot	Vedeneristys	Päätelmät vedeneristyksestä
Silta 1	Kansilaatan eteläreuna	93 – 95	9 – 14	Reunassa viileä alue	Betonipinnalla ei vuotoja	ei tutkittu	ei tutkittu
	Laatan keskeltä	93 – 97	8 – 11	Tasalämpöinen	Betonipinnalla ei vuotoja		
	Kansilaatan pohjoisreuna	89 – 92	8 – 13	Sauman lähellä viileä alue	Saumassa tumma betoni		
	Ulkoilma	57 – 92	2 – 15				
Silta 2	Kansilaatan alapinta	94 – 95	~13	Tasalämpöinen	Halkeamissa vuotojälkiä Saumat vuotavat	Kermi haperoa ja bitumi kovettunutta	Vedeneristyksessä vaurioita
	Välitukipilari	86	~13				
	Ulkoilma	96	~13				
Silta 3	Kansilaatan alapinta	Reuna 96 – 99 Keski 96	14 – 15 14	Ulkoreuna, ~1 °C alemmat lämpötilat	Ulkoreunassa Betonipinta tummunut	Jutekangas lahonnut Bitumi kovettunut	Vedeneristyksessä vaurioita
	Reunauloke			Sisäreuna, ~1 °C alemmat lämpötilat	Sisäreunassa betonipinta tummunut		
	Välitukipilari	85	15				
	Ulkoilma	67	18				
Silta 4	Kansilaatan alapinta	99 – 100 (4 mittausta)	13 – 15	Suhteellisen tasalämpöinen	Pinnoite hilseilyt pahoin	Jutekangas lahonnut Bitumi lasittunut	Vedeneristyksessä vaurioita
	Välitukipilari	99	~13	Viileämpi kuin kansilaatta			
	Ulkoilma	66	~14				
	Saumot			Saumojen ympäristöt viileämpiä	Saumoissa vuotojälkiä		

### 8.3 Tulokset ja niiden vertailtavuus

Tuloksista voidaan havaita betonipinnan lämpötilojen ja suhteellisen kosteusarvojen välinen vastaavuus. Silmämääräisesti siltapaikoilla tehdyt havainnot tukivat sekä mittaus-tuloksia että lämpökuvauksia. Tärkeässä osassa tutkimuksessa olivat myös pintaraken-teiden avaukset ja niistä tehdyt havainnot. Tässä työssä tutkituissa kohteissa eri mene-telmillä saatujen tulosten välillä havaittiin selvä yhteys.

Kaikki käytetyt menetelmät on esitelty tekstissä ja tulosten analysointi on tehty avoi-muus-periaatteella, jonka mukaan kuka tahansa asiaan perehtynyt henkilö voi saada samanlaiset tulokset vastaavista tutkimuksista.

### 8.4 Olosuhteet

Tehtyjen tutkimusten perusteella kuvaustilanteen olosuhteet tulee ottaa huomioon, mut-ta niiden vaikutus tuloksiin on kuitenkin tässä tapauksessa melko vähäinen. Tämä joh-tuu siitä, että tutkittavat kohteet ja betonipinnat ovat laajoja ja yleensä sillan alla on melko muuttumattomat olosuhteet. Kuvausetäisyys on ratkaiseva tekijä tulosten tark-kuuden kannalta, sillä kameran optiikan geometrinen erottelukyky asettaa rajoituksia kuvausetäisyyteen. Kuitenkin suuria siltakohteita tutkittaessa on syytä käyttää myös etäältä kohteesta otettuja kuvia, joista saa kokonaisvaltaisemman käsityksen kohteesta.

Suurten siltakohteiden laajoista betonipinnoista todennäköisesti saa yksiselitteisiä tu-loksia helpommin kuin pienissä kohteissa, johtuen juuri virhetekijöiden määrän suhtees-ta rakenteiden kokoon. Kuvausta suoritettaessa on kuitenkin tutkijan kokemuksella ja ammattitaidolla suuri merkitys kuvauksen onnistumiseen. Kuvaajan tulee rajata pois mahdollisimman monta virhetekijää ja kuvaus on tehtävä riittävän monesta eri kulmasta ja etäisyydeltä, jotta taattaisiin tutkimuksen objektiivisuus.

## 9 YHTEENVETO

### 9.1 Johtopäätökset

Lämpökamerakuvaus osoittautui yhdeksi potentiaaliseksi tutkimusmenetelmäksi siltojen erikoistarkastukseen. Opinnäytetyössä tutkittu menetelmä antaa lisätietoa sillan ve-deneristykseen vaurioiden laajuudesta ja vakavuudesta. Menetelmä on kaivattu lisäys sillan betonirakenteissa vaikuttavien kosteuden aiheuttamien vaurioitumismekanismien kartoitukseen.

Erikoistarkastuksissa mahdollisia vaurioita tutkitaan usealla eri menetelmällä ja jos kai-killalla menetelmillä saadaan yhdenmukaiset tulokset, voidaan tehdä päätelmiä rakentei-

den kunnosta. Oikeat tulokset ja niiden mukaiset korjaustoimet ovat korjauskustannusten kannalta ratkaisevia. Oikeat ja oikea-aikaiset korjaukset ovat myös sillan säilyvyyden ja kunnossapidon kannalta elintärkeitä. Tutkimusten mukaan lämpökamerakuvaus on käyttökelpoinen menetelmä lisäämään varmuutta vaurioiden arvioinnissa.

Lämpökuvauksen tulokset näkyvät parhaiten rakenteissa, joissa kohonnut kosteusrasitus on aiheuttanut jo hieman silmämääräisestikin havaittavia merkkejä betoniin. Tekniikka perustuu kosteuden haihtumiseen rakenteen pinnalta, joten kosteuden on täytytty jo hieman edetä rakenteessa. Kuitenkin kaikki yksittäiset pistemäiset vesivuodot voidaan havaita heti. Vaurioiden laajuus ja vuotokohtien sijainti pystytään toteamaan tarkasti. Vaurioiden ajankohdat pystytään myös arvioimaan lämpökameralla entistä paremmin, sillä jos betonipinnoissa havaitaan kalkkihärmää ja kalkkisia halkeamia, pystytään lämpökuvilla osoittamaan vuotavatko kohdat vai onko vaurion aiheuttaja poistettu jo aiemmin.

Tutkimusten mukaan kansilaatoissa, joiden betonipinta oli alapuolelta ehjä ja kuiva, ei lämpökuvauksella pystytty yksiselitteisesti paikantamaan vedeneristyksen vauriokohtia. Oletuksena oli kuvauksiin ryhdyttäessä, että kohteiden vedeneristys on vaurioitunut ainakin jossain määrin. Mahdollista tietenkin on, että kohteissa ei ollut vaurioita. Tällaisissa tilanteissa on tärkeää pystyä osoittamaan, että sillan vedeneristyksessä ei ole vaurioita. Juuri siihen lämpökamera soveltuu hyvin kuvauksen laajuuden ansiosta.

## 9.2 Mahdollisuudet

Referenssikohteet olivat teräsbetonisia siltoja, joissa kansilaatta ja muutkin rakenteet ovat verrattain paksuja. Kosteusvaurioiden havaitseminen perustuu näissä kohteissa kosteuden haihduntaan märältä betonipinnalta. Teräsbetonikantisten siltojen tarkastuksessa voisi mahdollisesti soveltaa myös lämpöresistanssiin perustuvaa teoriaa. Silta-kansi on tällaisissa kohteissa periaatteessa samanlainen kuin teräsbetonisilloissa, mutta se on paljon ohuempi, ja kantavana rakenteena toimivat teräspalkit. Teorian mukaan vesi tai kostea betoni vastustaa lämpötilanmuutosta enemmän kuin kuiva betoni. Ohuissa rakenteissa laatan yläpintaan lammikoituva vesi olisi todennäköisesti mahdollista havaita jo hyvissä ajoin ennen kuin kosteudesta johtuvia vaurioita ilmaantuu rakenteeseen. Teoriaa testattiin osittain parvekerakenteen simuloinnissa ja tulokset olivat oletusten mukaisia. Märät kohdat vastustivat lämpötilanmuutosta kuivaa rakennetta enemmän ja lämpötilaerot pystytään toteamaan rakenteen läpi.

Lämpökamerakuvauksella voidaan siltakannen vedeneristyksen kunto todeta aiempaa tarkemmin, jolloin olemassa olevat ja piilevät vuotokohtat havaitaan. Kosteusvaurioiden laajuuden havaitsemiseen lämpökamerakuvaus antaa kokonaisvaltaisen kuvan sil-

takohteesta. Tekniikalla voidaan tutkia myös entistä paremmin ahtaita tai ulottumattomissa olevia rakenteita.

Ajankäytön suhteen betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen käytettyjen antureiden vähentäminen tarkoittaa pienoista ajansäästöä erikoistarkastuksessa. Nostinta joudutaan usein viivyttämään siltapaikalla, jotta saadaan kuuden tunnin tasaantumisaika täyteen. Tutkittua menetelmää käyttämällä erikoistarkastukset eivät olisi enää yhtä riippuvaisia nostimesta ainakaan kosteusmittausten osalta. Sinänsä erikoistarkastuksen keston ei menetelmällä ole merkitystä, mutta tulosten varmuuteen sillä on suurikin merkitys. Lämpökuvauksen suorittaminen kestää käytännössä kokonaisuudessaan noin tunnin. Kosteusrasitusten arviointiin kuuluu ao. menetelmän käyttöönoton jälkeenkin joidakin suhteellisen kosteuden mittauksia ja pintarakenteiden avaukset.

Lämpökuvaus toteutettiin maantiesilloilla ja alikulkusillalla, jossa kuvausjärjestelyt olivat varsin helppoa suorittaa sillan alla olevalta tieltä. Vesistöisilloilla kuvauksen toteuttamiseen olisi vaadittu vene tai vastaava. Vesistöisilloilla olosuhteet on varmasti merkittävämmässä osassa kuin maantiesilloilla, sillä veden heijastusominaisuudet ovat huomattavasti voimakkaampia ja ne vaihtelevat jatkuvasti. Eräs ratkaisu sillan saavutettavuuteen ja vaihteleviin heijastuksiin olisi kenties kuvaaminen talvella jään päältä. Työssä ei tutkittu pakkasen vaikutusta kosteuden haihtumiseen rakenteesta ja ilmiön vaikutusta rakenteiden lämpötiloihin.

Lämpökuvausta voi esitetyillä periaatteilla varmastikin soveltaa myös muiden vedeneristettyjen rakenteiden tutkimiseen.

### 9.3 Tulevaisuus

Referenssikohteiden lisääntyessä menetelmän tulokset ja tuloksiin vaikuttavat olosuhteet tarkentuvat. Kokemusten lisääntyessä myös tutkijoiden ammattitaito tutkimuksen suorittamiseen lisääntyy ja samalla virhemahdollisuuksien määrä väistämättä vähenee. Luotettava lämpökameratutkimus edellyttää ammattitaitoista ja menetelmään perehtynyttä tutkijaa. Ideaalilanteessa onnistunut lämpökuvaus antaa luotettavan ja kokonaisvaltaisen kuvan kohteesta.

## LÄHDELUETTELO

- 1 Sillantarkastusohje TIEH 2000008-04, ISBN 951-803-195-9, Tiehallinto 2004
- 2 Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset, SYL 6, Kannen pintarakenteet, TIEH 2200037-v-05, ISBN 951-803-440-0, Tiehallinto 2005
- 3 Laukkanen Kyösti, Kermieristyskoerakenteiden kunto 2005 Tiehallinnon selvityksiä 1/2006, Helsinki 2006.
- 4 Paloniitty Sauli , Rakennusten lämpökuvaus, HAMK 2004, Hämeenlinna. s. 22–25
- 5 Infradex Oy [www-sivu]. [ viitattu 8.9.2007] Saatavissa: [www.infradex.com](http://www.infradex.com)
- 6 Fluke Oy [www-sivu]. [viitattu 28.12.2007] Saatavissa: [www.fluke.fi](http://www.fluke.fi)
- 7 Nokeval Oy [www-sivu]. [viitattu 28.12.2007] Saatavissa: [www.nokeval.fi](http://www.nokeval.fi)
- 8 TIEL 2230095 - SILKO 1.801. Vedeneristykset. Tampere 1993
- 9 Rakennustieto, RT 14-10675 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus, Oy, Rakennustietosäätiö 1998
- 10 *TkT Harri Koivusalo & TkT Teemu Kokkonen*, [sähköinen dokumentti] Hydrologiset osaprosessit [viitattu 10.9.2007] Saatavissa: [www.water.tkk.fi/wr/kurssit/verkkokirja/hydrologia2.html](http://www.water.tkk.fi/wr/kurssit/verkkokirja/hydrologia2.html)
- 11 Vapaa tietosanakirja wikipedia.org, [www-sivu]. [viitattu 20.10.2007] lämmönjohtavuus, kurssikirja
- 12 Ilmatieteenlaitos.fi/suomen ilmasto, [www-sivu]. [viitattu 20.10.2007]
- 13 Ins.tsto Jorma Huura Oy, Sillantarkastusselostus 28.12.2006, Pihlajamäen risteyssilta, Tampere 2006
- 14 Ins.tsto Jorma Huura Oy, Sillantarkastusselostus 28.12.2006, Finnån risteyssilta, Tampere 2007
- 15 Ins.tsto Jorma Huura Oy, Sillantarkastusselostus 15.11.2007, Helsingintien alikulkusilta, Tampere 2007
- 16 P. Durbin, N. Del Grande, Dual Band Infrared Imaging for Concrete Bridge Deck Inspection. CRC Press. New Jersey, USA1994



# PARVEKERAKENTTEEN LÄMPÖKAMERAKUVAUS

*Lämmönjohtavuus ja lämpöresistanssi*

PARVEKERAKENTEEN ALAPINTA

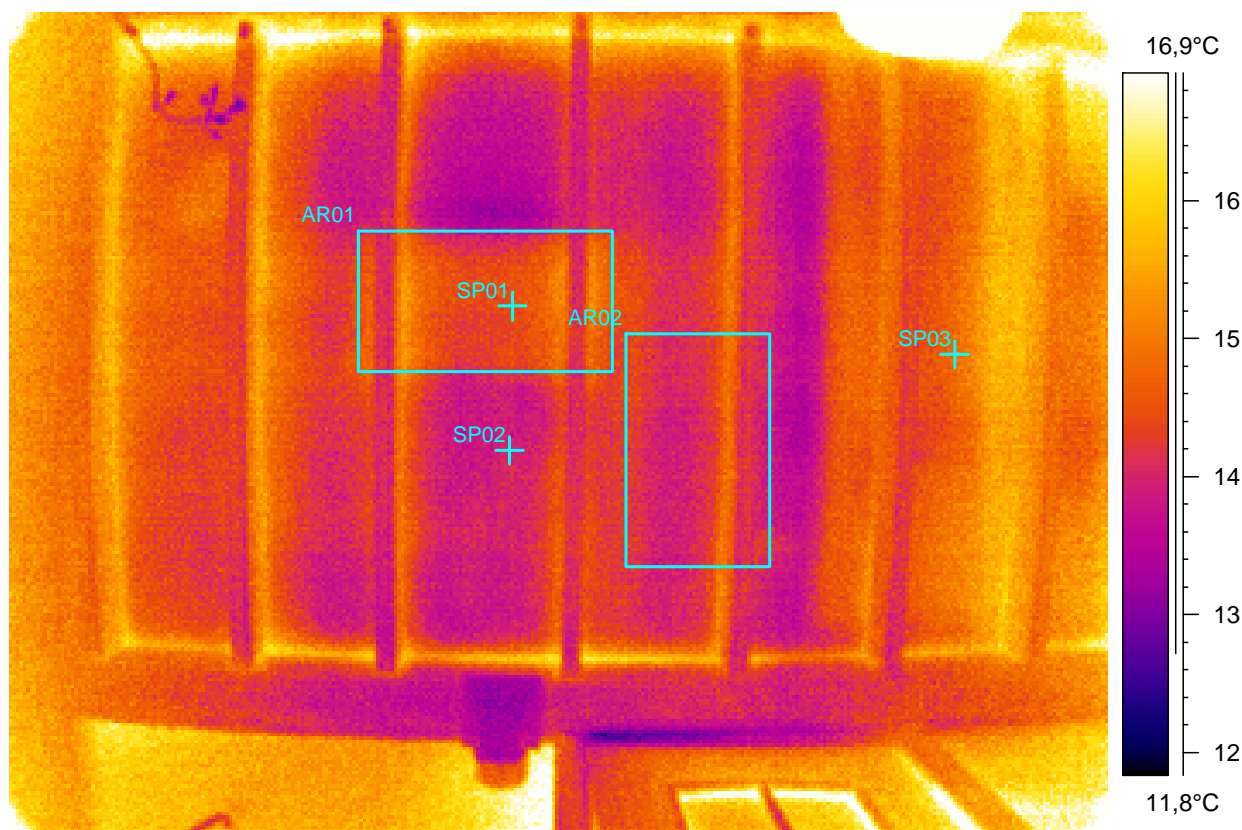
aika

pvm

H0904-22.img

19:56:39

4.9.2007



- Kantavan puurakenteen päällä vesivaneri, jonka päällä on kermieristys.
- Kermin päällä on puuritolat.
- Lähtötilanteessa on toinen puuritilä poistettu ja kuvassa näkyy lämpöero parvekkeen puoliskoilla (kuvan oikea reuna).
- Kermin päälle asetetaan kaksi samankokoista kumimattoa. Toisen maton alusta kasteltiin haalean lämpimällä vedellä.
- Kuvassa näkyy veden lämmittämä kohta.
- Matto, jonka alustaa ei kasteltu, ei näy kuvassa.

Kuvassa pistemittauksen perusteella lämpötila on lämpimällä puolella (SP03) +15 ja kylmällä puolella SP02 noin +12 astetta Celsiusta. Kostean maton (SP01) alla lämpötila on myös +15 astetta Celsiusta.

Suurakaiteen muotoiset alueet kuvaavat kohtia, joihin kumimatot asetettiin.

- Oheisessa taulukossa on mittausarvot ja -asetukset

Objektin parametri	Arvo
Etäisyys kohteeseen	3,8 m
Ilman lämpötila	9,3°C
Suhteellinen kosteus	0,60
Tunniste	Arvo
SP01	14,5°C
SP02	13,9°C
SP03	15,0°C

PARVEKERAKENTEEN ALAPINTA

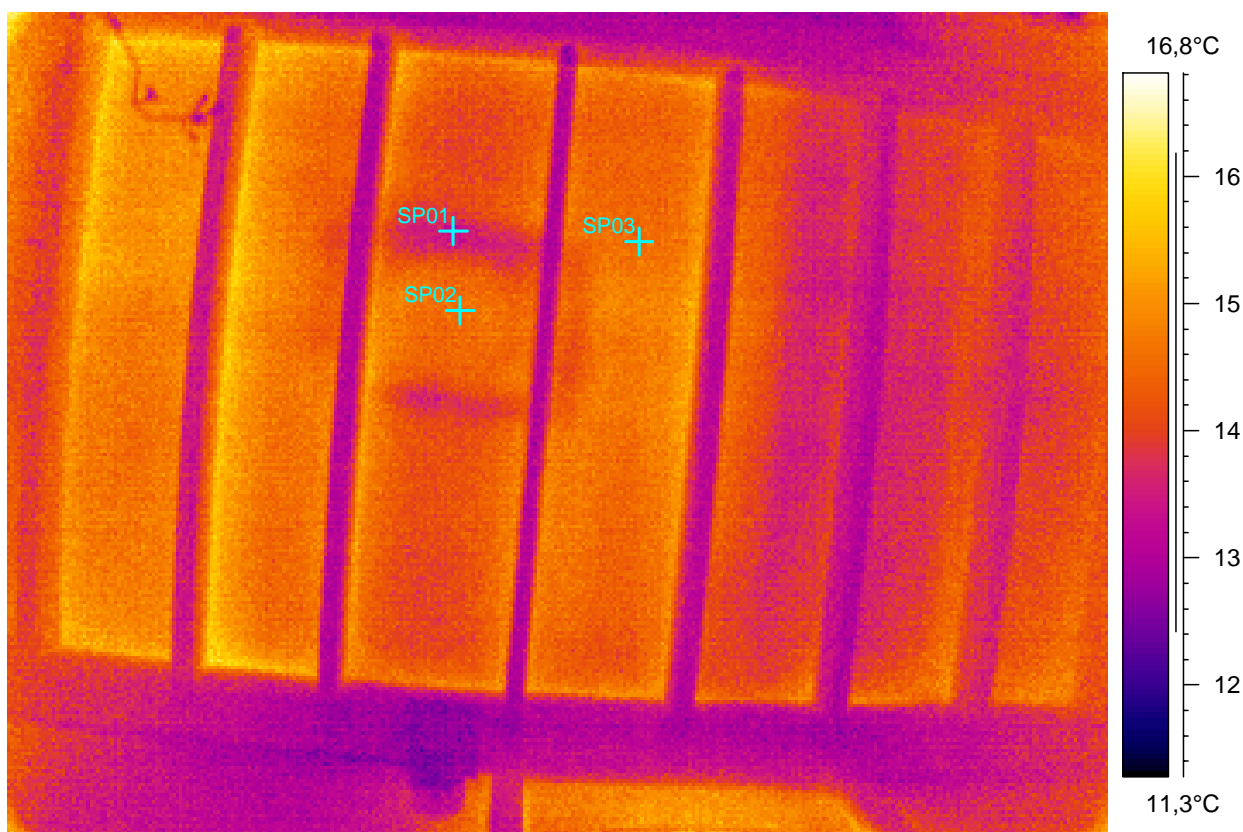
aika

pvm

**H0905-01.img**

18:24:45

5.9.2007



- Pistemittausten mukaan maton, jonka alusta on kasteltu, reunoilta haihtuu kosteutta. Ilmiö näkyy mittauksen SP01 arvossa.
- Matto, jonka alustaa ei kasteltu, ei erotu kuvassa.
- Kamera on hieman heilahtanut kuvatessa.
- Pistelämpötilojen arvot ovat taulukossa.

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	3,0 m
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	16,4°C
L.kuva : min	12,2°C
SP01	13,3°C
SP02	14,7°C
SP03	14,6°C



PARVEKERAKENTEEN ALAPINTA

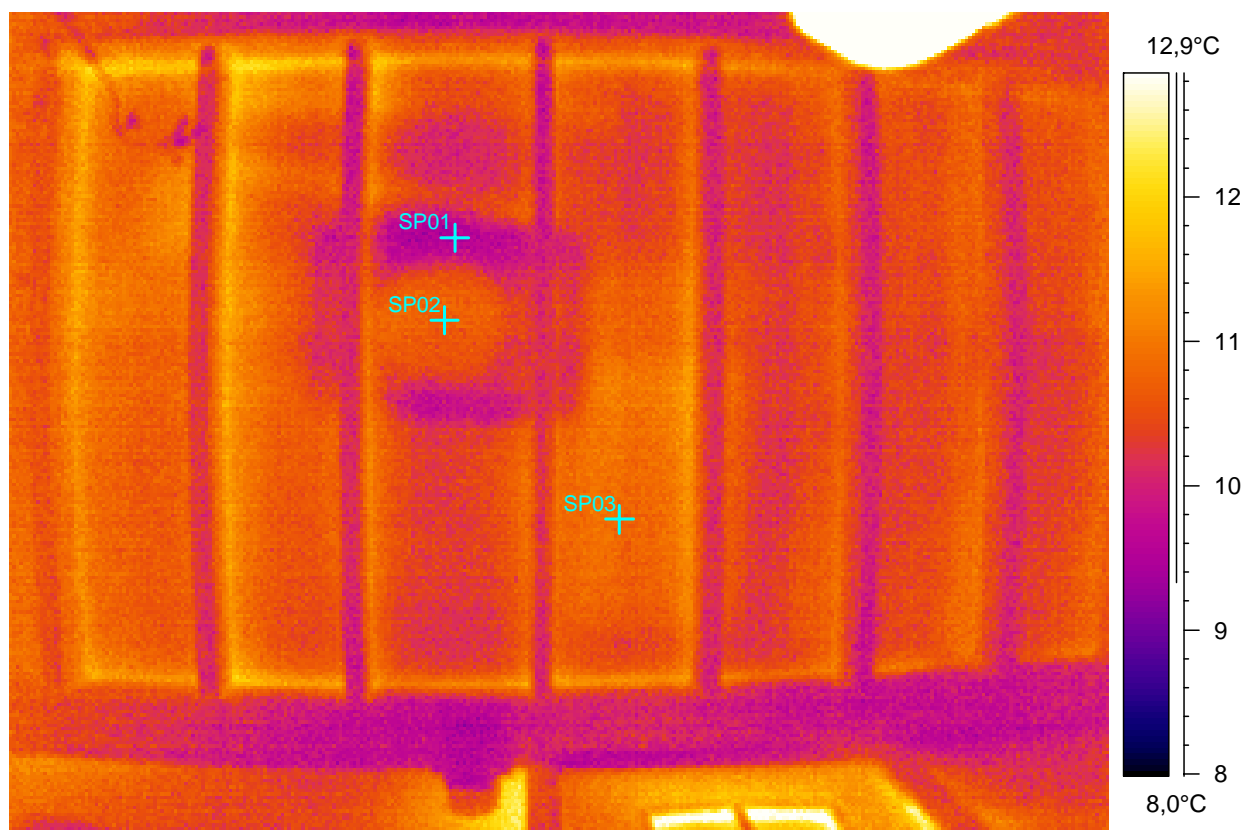
aika

pvm

**H0905-02.img**

19:31:24

5.9.2007



- Kuvaus suoritettiin noin tunnin kuluttua edellisestä, jotta varmistuttiin alustan kasteluun käytetyn veden lämpötilan tasaantumisesta ympäristön lämpötilaan.
- Pistemittausten mukaan kohdassa, josta vettä haihtuu, lämpötila on ympäristöään alempi SP01.
- Pistemittaus maton keskeltä osoittaa, että maton alla ei haihtumista tapahdu.
- Toisen maton kohta alkaa erottua ympäristöään lämpoisempänä alueena. Alueen keskellä on pistemittaus SP03.
- Pistelämpötilojen arvot ovat taulukossa.

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	3,0 m
Tunniste	Arvo
SP01	9,7°C
SP02	10,7°C
SP03	10,9°C

PARVEKERAKENTEEN ALAPINTA

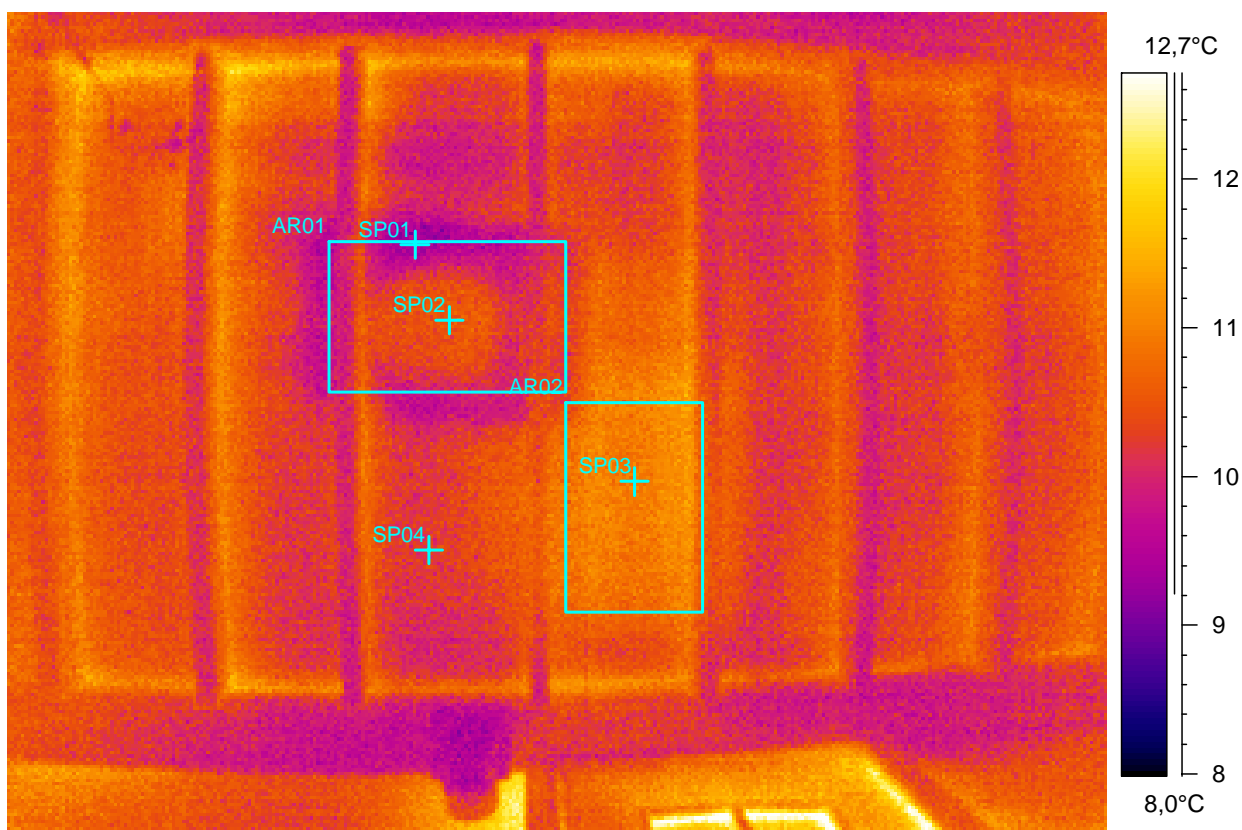
aika

pvm

**H0905-03.img**

19:54:09

5.9.2007



- Kuvaus suoritettiin noin puolen tunnin kuluttua edellisestä.
- Lämpökuva on edellisen kaltainen, mutta haihtuminen näkyy voimakkaammin kuvassa.
- Kuiva matto on selvästi näkyvissä vaaleampana alueena.
- Pistelämpötilojen arvot ovat taulukossa.

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	3,5 m
Ilman lämpötila	9,3°C
Suhteellinen kosteus	0,60
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	13,0°C
L.kuva : min	8,9°C
SP01	9,3°C
SP02	10,6°C
SP03	11,0°C
SP04	10,4°C
AR01 : maks	10,9°C
AR01 : min	9,1°C
AR01 : maks-min	1,8°C
AR01 : keskiarvo	10,2°C
AR02 : maks	11,5°C
AR02 : min	10,0°C
AR02 : maks-min	1,5°C
AR02 : keskiarvo	11,0°C

PARVEKERAKENTEEN ALAPINTA

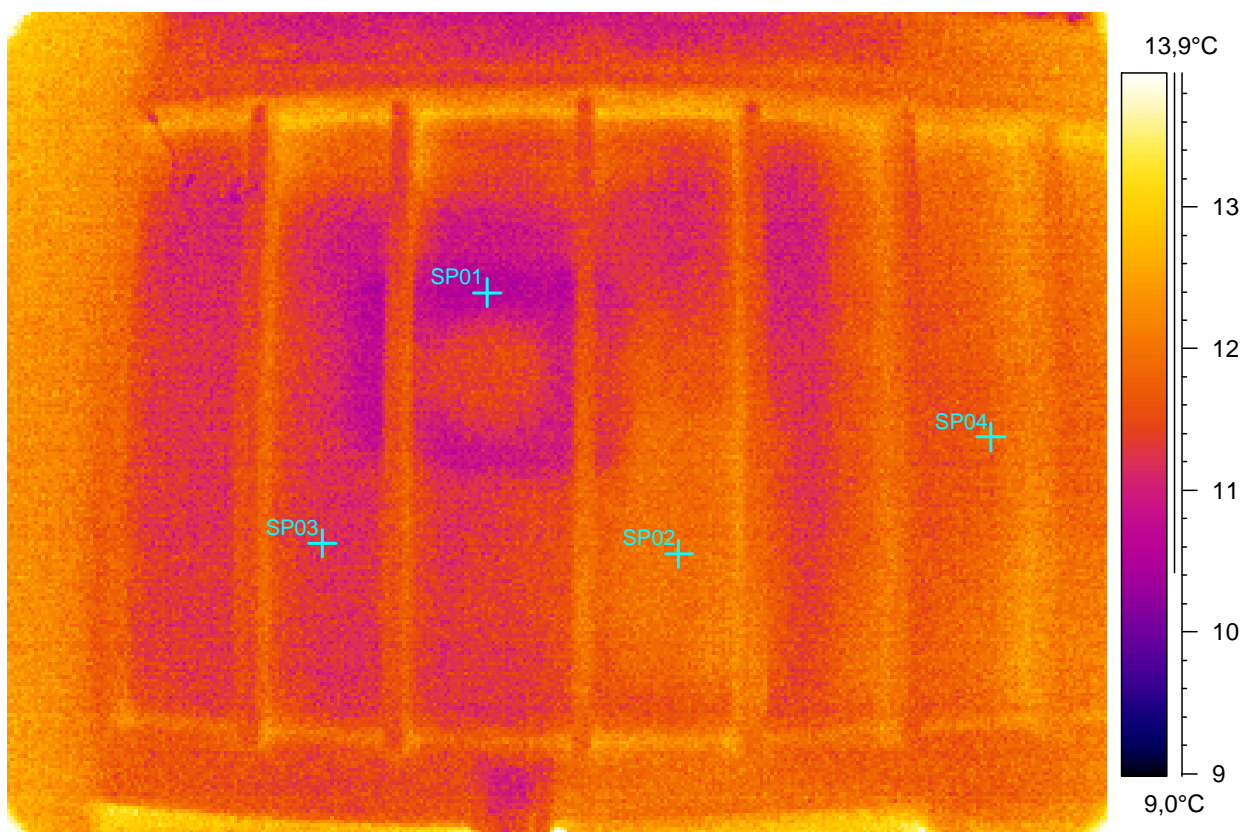
aika

pvm

**H0905-05.img**

21:25:24

5.9.2007



- Kuvaus tehtiin vielä noin 1,5 tunnin kuluttua.
- Lämpökuvassa näkyy molemmat matot ja haihtumisen aiheuttama lämpötilan aleneminen.
- Kostean maton keskellä on lämpöinen kohta. Kuivan maton kohta (SP2) näkyy samoin kuin parvekkeen puolisko, josta ei poistettu puuritiä yläpinnasta (kuvan oikea reuna).

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	3,0 m
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	15,0°C
L.kuva : min	10,3°C
SP01	10,3°C
SP02	11,9°C
SP03	11,4°C
SP04	11,9°C



## Yhteenveto

Puurakenteisella parvekerakenteella tehdyn lämpökuvauksen perusteella voidaan olettaa, että opinnäytetyössä esitetty ilmiö lämmönjohtavuudesta, lämpöresistanssista sekä kosteuden haihtumisesta ja haihdunnan aiheuttamasta lämpötilan alenemisesta voidaan todeta lämpökamerakuvauksella.



# **STORGÅRDIN RISTEYSSILTA, Espoo SILLAN LÄMPÖKUVAUS**

**10 - 14.9.2007**

Lämpökuvaus suoritettiin laitteistolla ThermaCAM, FLIR Systems AB.

Storgårdin risteysilta

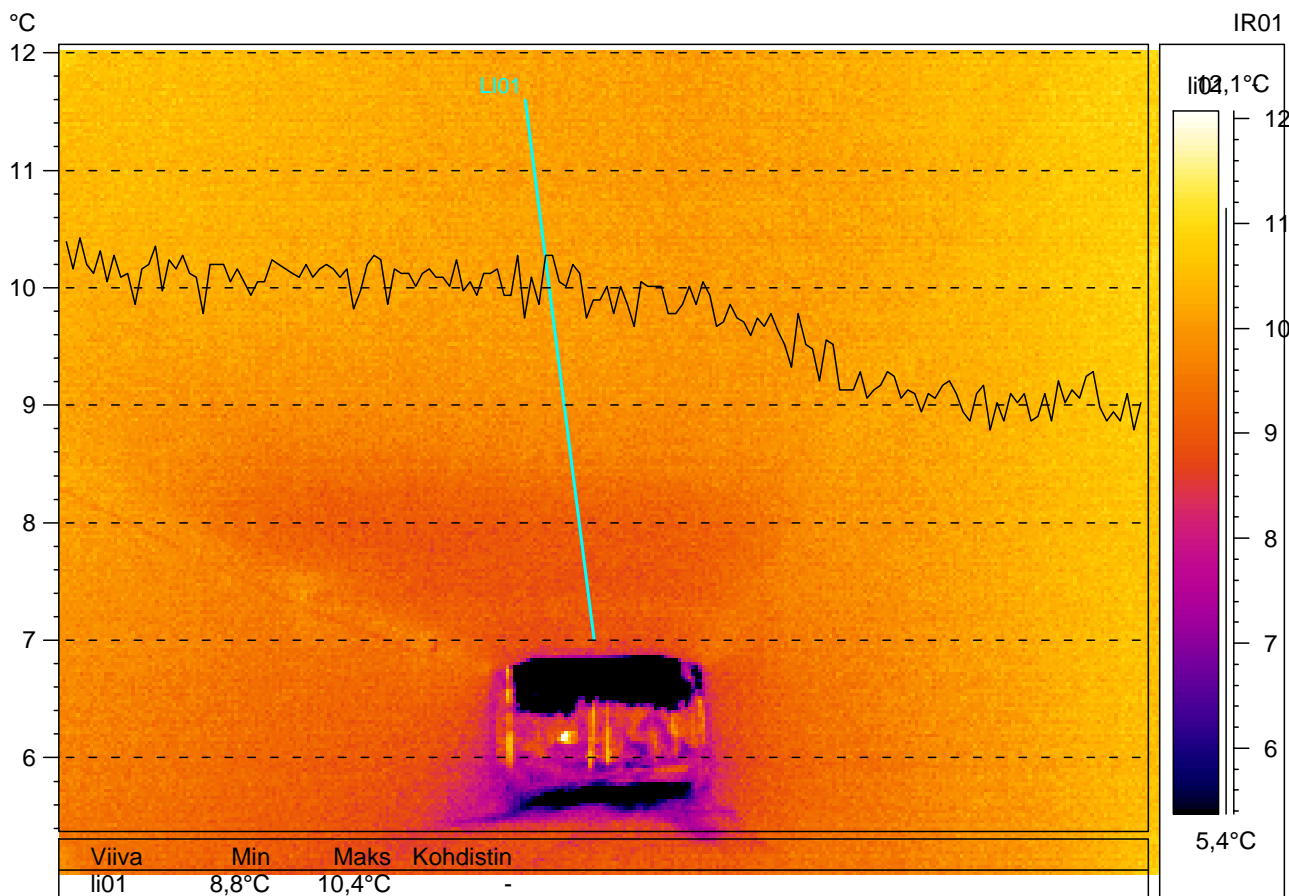
aika

pvm

H0910-05.img

18:25:42

10.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- kuvaus pohjoiseen sillan eteläiseltä puoliskolta

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	10,0 m
Tunniste	Arvo
LI01 : maks	10,4°C
LI01 : min	8,8°C
LI01 : maks-min	1,6°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan alapinnassa ei havaittu erityisiä vuotokohtia tai kohonneen kosteusrasituksen aiheuttamia jälkiä

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Kansilaatan alapinnalla ei näy vuotokohtia tai kosteita alueita.
- sillan puoliskot laatan osalla erottuvat sillan pohjoispuolen ollessa eteläistä laattaa viileämpi.
- Lämpötilakäyrän mukaan sillan eri puoliskoilla on eroja lämpötiloissa.
- Käyrästä vasen reuna kuvaa kameraa lähempänä olevaa reunaa laatasta

Storgårdin risteysilta

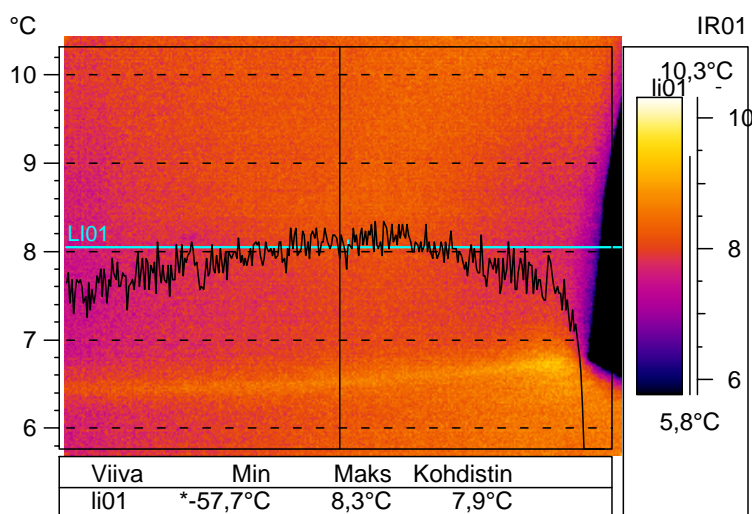
aika

pvm

**H0911-01.img**

9:38:47

11.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- laatan itäpään viiste
- sillan eteläreuna

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	3,0 m
Taustalämpötila	10,5°C
Ilman lämpötila	13,3°C
Suhteellinen kosteus	0,59

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Laatan alapinnassa ei havaittu merkkejä vuodoista tai kohonneesta kosteusrasituksesta.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Lämpökuvassa on kuvan reunoilla viileämmät kohdat. Toinen kohdista on kansilaatan reunassa viisteessä ja toinen sisempänä viisteessä.
- Yleensäkin viiste erottuu hieman tummempana laatasta.
- Profiilikäyrän mukaan lämpötila laskee kuvan reunoja lähestyttäessä.
- Reunojen viileämmät kohdat saattavat johtua kuvakulman aiheuttamasta virheestä, sillä kuvan vasemman reunan viileämpi betonipinta jatkuu myös kehän jalassa.
- Toisaalta seuraavassa lämpökuvassa, joka on otettu ao. kuvan vierestä, on havaittavissa viileämpi kohta juuri myös viisteessä.
- Kohdasta tehdyn betonin suhteellisen kosteuden mittaus antoi tulokseksi RH 91,4 %. Lämpötilan ollessa noin 11°C. Ilmankosteus oli RH 59 %

Storgårdin risteysilta

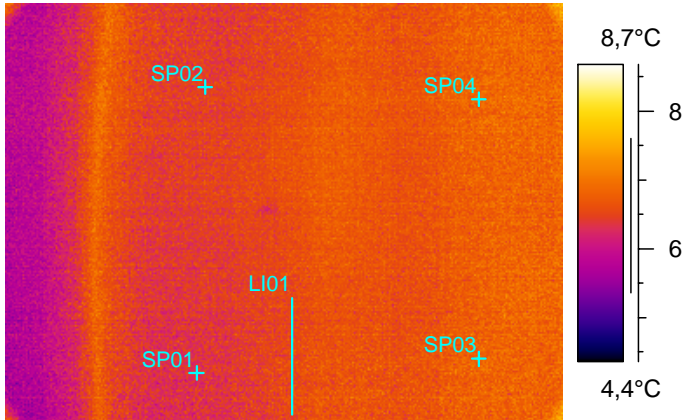
aika

pvm

**H0911-02.img**

9:40:31

11.9.2007

**Kansilaatan viiste ja laatta**

- sillan itäpäätä
- noin kolme metriä eteläreunasta
- kehän jalka vasemmassa reunassa
- KUVA POIKKISUUNTAAN
- alareunassa on etelä

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	3,0 m
Taustalämpötila	9,9°C
Ilman lämpötila	13,3°C
Suhteellinen kosteus	0,59
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	8,1°C
L.kuva : min	5,2°C
SP01	6,4°C
SP02	6,4°C
SP03	7,1°C
SP04	7,1°C
LI01 : maks	7,1°C
LI01 : min	6,2°C
LI01 : maks-min	0,9°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Laatassa kuvan kohdassa ei havaittu vuotoja tai kosteita kohtia.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Kuvan vasemmassa reunassa on tummimpana pystysuora kehän jalka. Kehän jalan oikealla puolella on kansilaatan viiste, jota jatkuu kuvaan piirrettyyn viivaan saakka.
- Kuvan perusteella viisteen alareunassa alle metrin matkalla on hieman viileämpi kohta, joka menee kuvan alareunasta yläreunaan.
- Rakenteen kosteusmittauksen tulos oli 95,2 % Ilman lämpötila ja kosteus on ilmoitettu oheisessa taulukossa.
- Taulukkoon on merkitty pistelämpötilat ja niiden erotus.



Storgårdin risteysilta

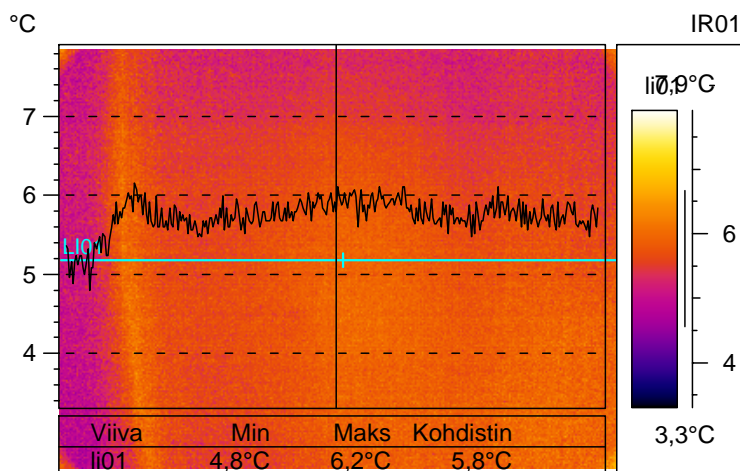
aika

pvm

**H0911-03.img**

9:41:25

11.9.2007

**Kansilaatan viiste ja laatta**

- sillan itäpäätä
- noin kuusi metriä eteläreunasta
- kehän jalka kuvan vasemmassa reunassa
- KUVA POIKKISUUNTAAN
- alareuna on etelään

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	3,0 m
Taustalämpötila	9,9°C
Ilman lämpötila	13,3°C
Suhteellinen kosteus	0,59
<b>Tunniste</b>	<b>Arvo</b>
L.kuva : maks	7,0°C
L.kuva : min	4,4°C
LI01 : maks	6,2°C
LI01 : min	4,8°C
LI01 : maks-min	1,4°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Laatussa kuvan kohdassa ei havaittu vuotoja tai kosteita kohtia.
- Kohdasta tehdyt kosteus- ja lämpötilamittaukset hylättiin anturin rikkoutumisen takia.

Storgårdin risteysilta

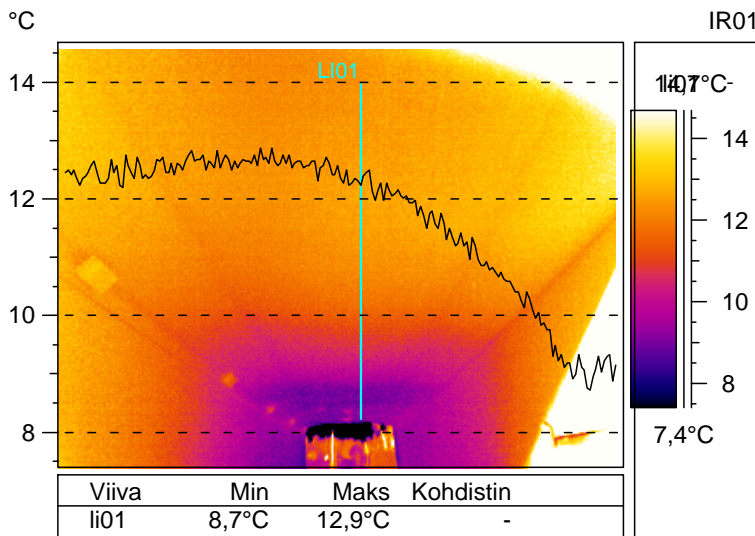
Time

Date

**H0911-07.img**

17:50:15

11.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- kuva pohjoiseen sillan eteläiseltä puoliskolta
- UUSINTAKUVAUS

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	10,0 m
Taustalämpötila	13,6°C
Ilman lämpötila	14,5°C
Suhteellinen kosteus	0,57
Tunniste	Arvo
LI01 : maks	12,9°C
LI01 : min	8,7°C
LI01 : maks-min	4,1°C

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Kuvassa pohjoispuoli on selvästi eteläistä viileämpi.
- Tulos on samankaltainen aiemman kuvauksen kanssa.
- Lämpötila ero ei luultavasti ole yhtä voimakas kuin kuvasta voi nähdä. - Tulosta saattaa vääristää voimakas auringonpaiste sillan eteläreunaan.
- Lämpötilakäyrän mukaan rakenteen lämpötila alenee huomattavasti sillan pohjoisreunaa lähestyttäessä.
- Käyrän vasen reuna kuvaa sillan lähempänä olevaa reunaa.
- Olosuhdetiedot ja käyrän lämpötilat on koottu taulukkoon.
- Sillan pohjoiselta puoliskolta ei mitattu betonin suhteellista kosteutta.

Storgårdin risteysilta

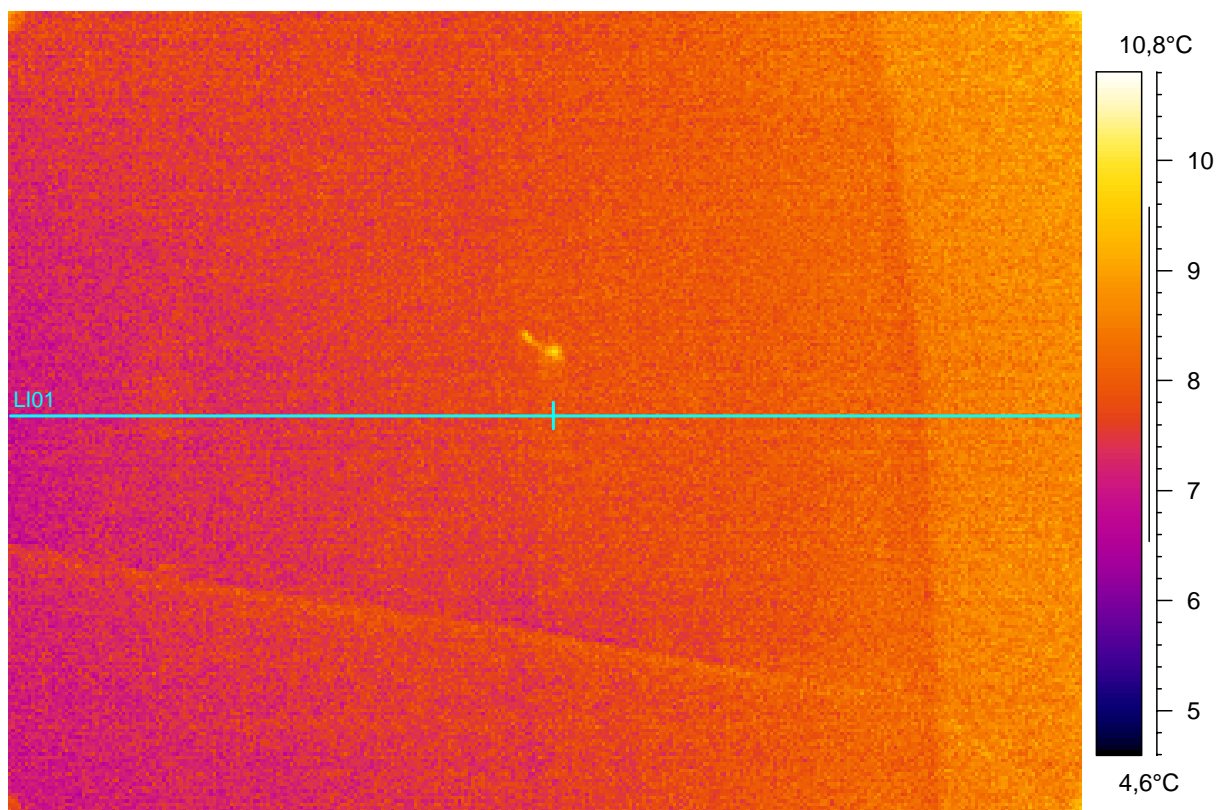
aika

pvm

**H0911-10.img**

17:54:34

11.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- sillan pituussuuntainen keskisauma
- aukon itäpää
- kehän jalka kuvan oikeassa reunassa
- kosteusanturi kuvan keskellä

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,70
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Taustalämpötila	13,6°C
Ilman lämpötila	14,5°C
Suhteellinen kosteus	0,57
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	10,0°C
L.kuva : min	6,4°C
LI01 : maks	9,1°C
LI01 : min	6,8°C
LI01 : maks/min	2,3°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Laatassa ei havaittu jälkiä kosteudesta kuin pituussuuntaisen sauman läheisyydessä

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Kuvassa on havaittavissa hieman viileämpi betonipinta sauman ympäristössä (kuvan vasen reuna)
- Vapaata vettä ei kuitenkaan betonipinnalla ole.
- Kuvassa kokeiltiin emissiivisyyskerrointa 0,70
- Tulos on samankaltainen kuin emisiivisyyskertoimella 0,95

Storgårdin risteysilta

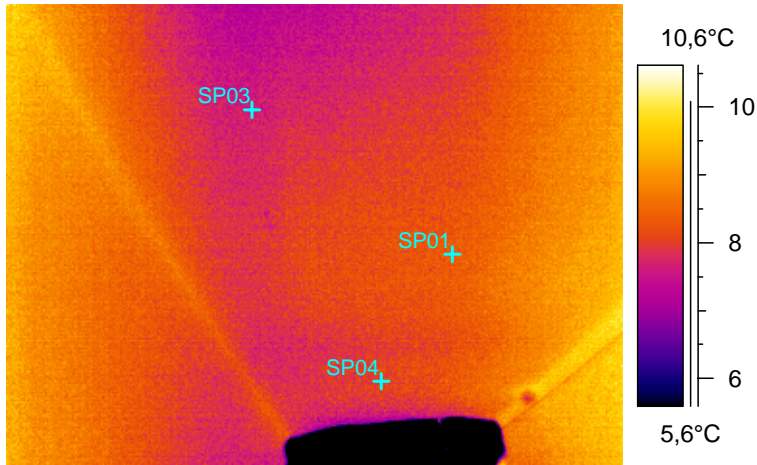
aika

pvm

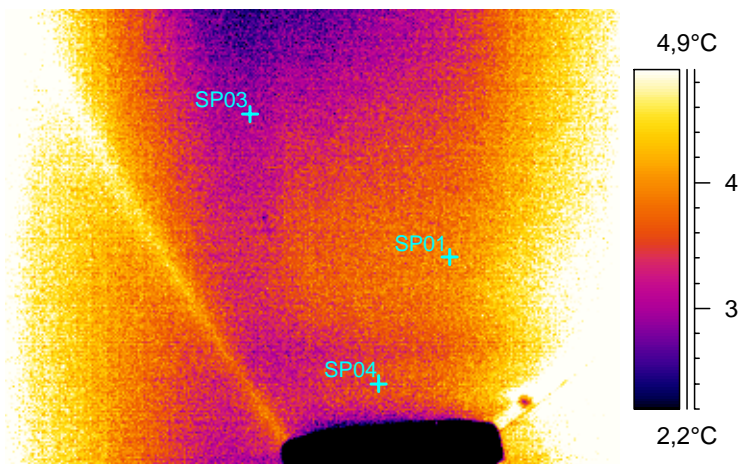
**H0913-02.img**

8:51:39

13.9.2007



Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	10,0 m
Taustalämpötila	9,3°C
Ilman lämpötila	10,0°C
Suhteellinen kosteus	0,75
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	10,3°C
SP01	8,5°C
SP03	7,3°C
SP04	8,0°C



Objektin	Arvo
Emissiivisyys	0,75
Etäisyys	10,0 m
Taustalämpötila	20,0°C
Ilman lämpötila	20,0°C
Suhteellinen	0,30
Tunniste	Arvo
SP01	4,1°C
SP03	2,6°C
SP04	3,5°C

### Kansilaatan alapinta

- sillan eteläinen puolisko

#### LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:

- Kuvassa kansilaatan betonipinnan lämpötilaeroja.
- Laatan itäpään viisteessä ja laatan eteläreunassa on ympäristöään viileämmät kohdat.
- Ylempi kuva on alkuperäinen ja alempaa on muokattu raporttiohjelmalla
- Taulukossa on muutettu olosuhdetietoja radikaalisti ja lämpökuvan lämpötilarajoja. Kuitenkin tulos kuvassa on sama.
- Taulukossa mitattuja pistelämpötiloja.

Storgårdin risteysilta

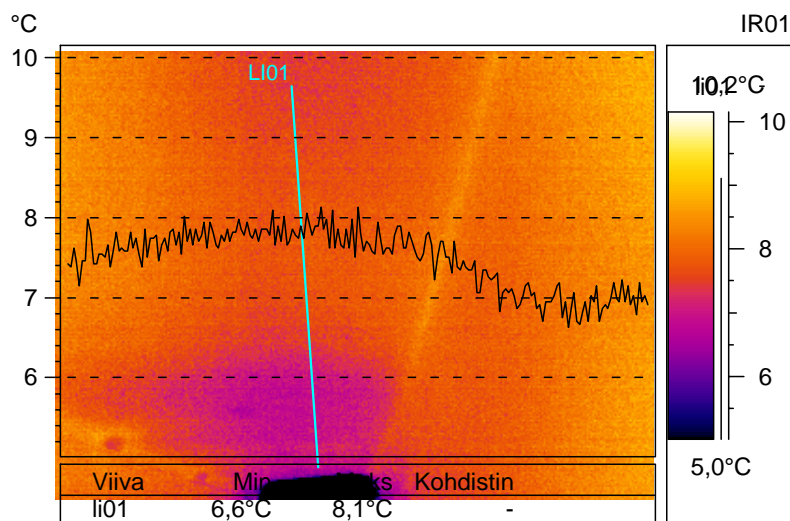
aika

pvm

**H0913-04.img**

8:53:09

13.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- sillan pohjoispuolisko
- UUSINTAKUVAUS

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	10,0 m
Taustalämpötila	10,5°C
Ilman lämpötila	10,4°C
Suhteellinen kosteus	0,78
Tunniste	Arvo
LI01 : maks	8,1°C
LI01 : min	6,6°C
LI01 : maks-min	1,5°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Sillan kansilaatassa ei havaittu vuotoja tai kosteita alueita, paitsi pituussuuntaisen keskisauman läheisyydessä. Betonipinta oli koko matkalla aavistuksen ympäristöään tummempi.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Kuvassa sillan pohjoispuolisko on väriltään vaaleampi kuin eteläinen. Rajapinta kulkee pituussuuntaisen sauman kohdalla.
- Lämpötilakäyrän mukaan pohjoispuoli on viileämpi kuin eteläpuoli.
- Kuvan yläreunassa näkyy pieni viileämpi alue.
- Käyrän vasen reuna kuvaa sillan lähempänä olevaa reunaa.
- Taulukossa on ilmoitettu vallitsevat olosuhteet.
- Edellisenä yönä oli satanut.
- Uusintakuvaus antoi samankaltaisen tuloksen kuin aikaisempi kuvaus.

Storgårdin risteysilta

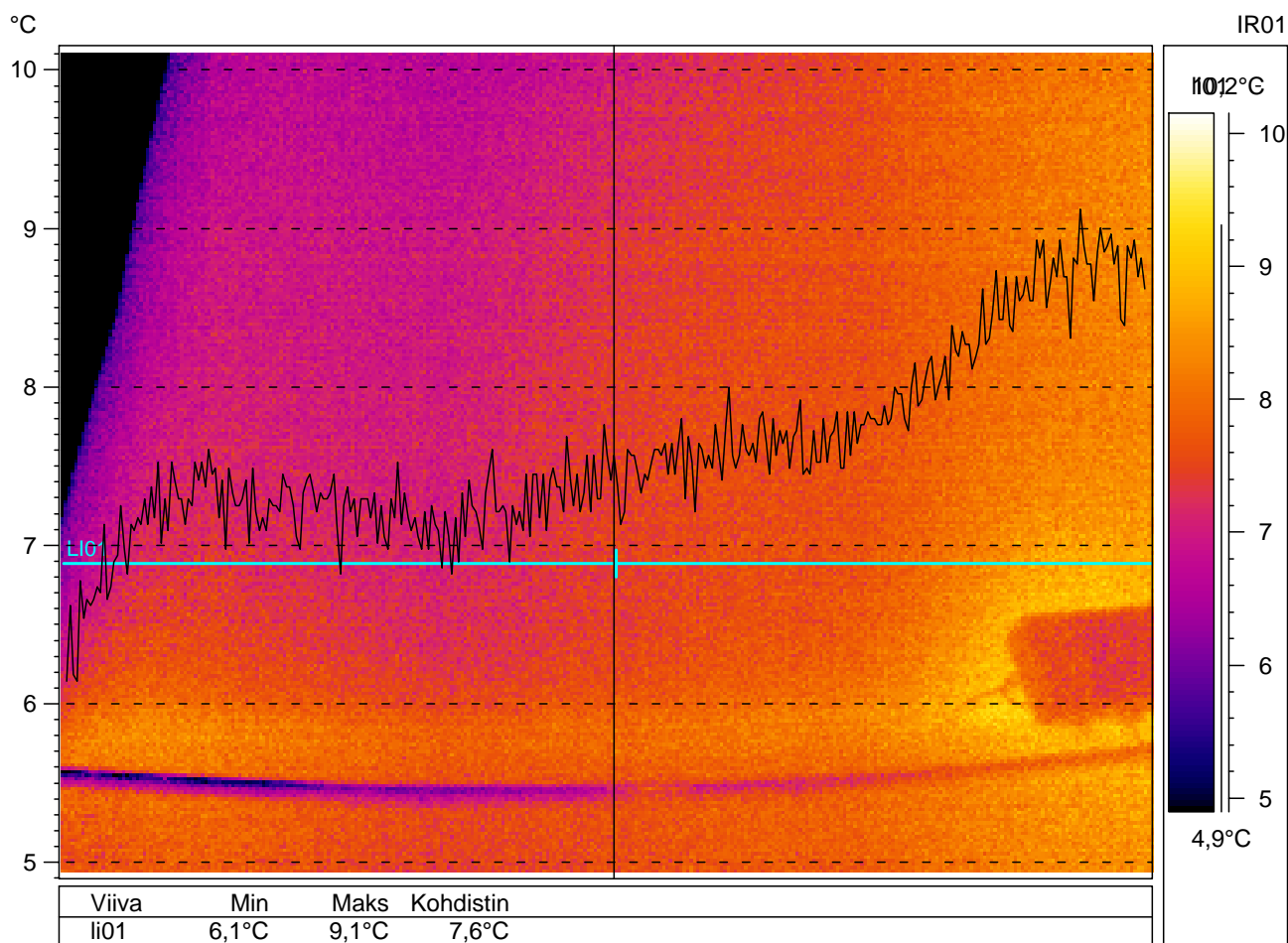
aika

pvm

**H0913-06.img**

8:55:40

13.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- sillan lounaiskulma
- laatan viiste ja kehän jalan sauma

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	3,0 m
Taustalämpötila	11,1°C
Ilman lämpötila	10,4°C
Suhteellinen kosteus	0,78
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	9,5°C
LI01 : maks	9,1°C
LI01 : maks-min	3,0°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Laatan alapinnassa ei havaittu vuotoja tai kosteita alueita.
- Edellisenä yönä oli satanut.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Lämpötila laatan alapinnalla nousee keskeemmälle mentäessä niin, että kansilaatan reuna on huomattavasti viileämpi kuin laatta muualla.
- Ero voi johtua yöllä reunan viilentymisestä tai valaisimen (kuvan oikea reuna) lämmittävästä vaikutuksesta.

Storgårdin risteysilta

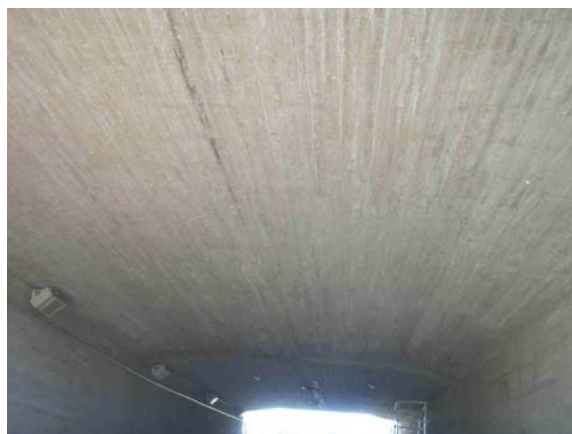
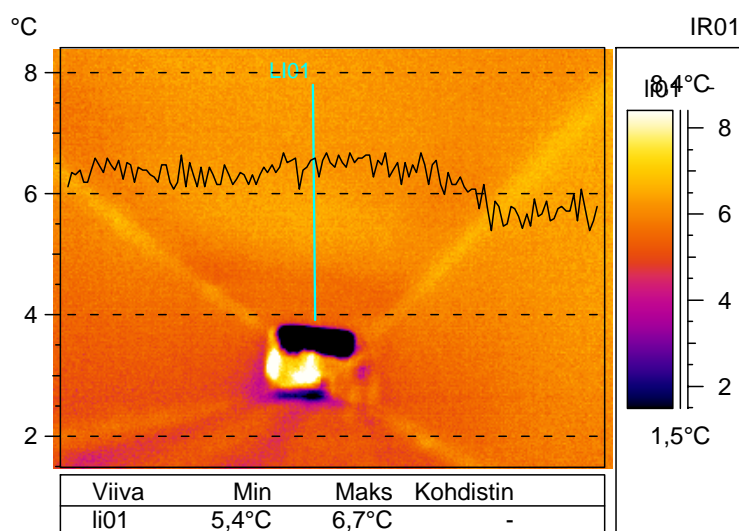
aika

pvm

**H0914-05.img**

11:11:05

14.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- kuva pohjoiseen sillan eteläiseltä puoliskolta
- UUSINTAKUVAUS 2

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	10,0 m
Taustalämpötila	9,1°C
Ilman lämpötila	2,1°C
Suhteellinen kosteus	0,92
Tunniste	Arvo
LI01 : maks	6,7°C
LI01 : min	5,4°C
LI01 : maks-min	1,3°C

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Sillan pohjoispuolisko erottuu kuvassa hieman viileämpänä.
  - Olosuhdetiedot ja käyrän lämpötilat on esitetty oheisessa taulukossa.
  - Kuva vastaa aiemmin samasta kohdasta otettuja kuvia. Erona on, että lämpötilaerot eivät näy yhtä selvästi. Tämä saattaa johtua viileästä yöstä edellä.
- Käyrän vasen reuna kuvaa sillan lähempänä olevaa reunaa.

Storgårdin risteysilta

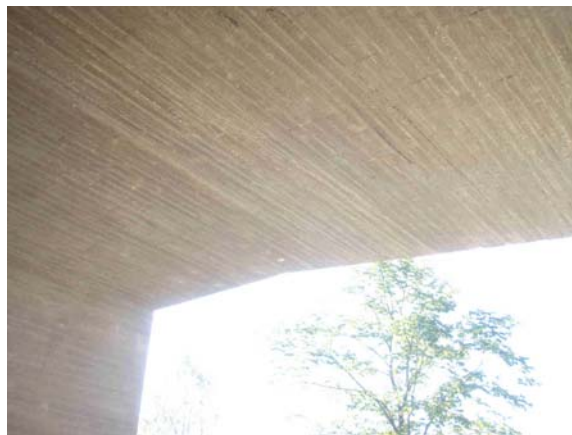
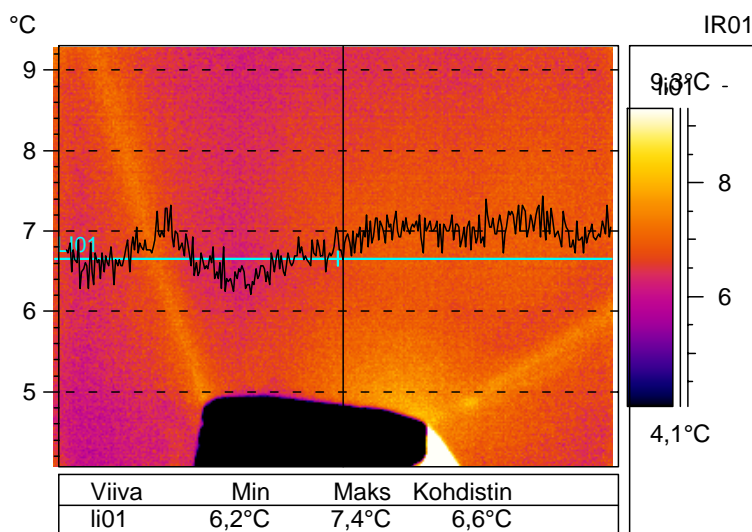
aika

pvm

**H0914-06.img**

11:12:43

14.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- sillan eteläreuna
- sillan kaakkoiskulma

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	5,0 m
Taustalämpötila	9,1°C
Ilman lämpötila	2,1°C
Suhteellinen kosteus	0,92
Tunniste	Arvo
LI01 : maks	7,4°C
LI01 : min	6,2°C
LI01 : maks-min	1,2°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan alapinnassa ei havaittu vuotoja tai kosteita kohtia.
- Edellinen yö on ollut kylmä. Taulukossa aamun arvo (klo 8:30)

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Kansilaatan alapinnan lämpötila on itäpään viisteessä ympäristöään alempi.
- Yksittäisiä vesivuotoja ei kuvassa näy.
- Olosuhdetiedot on esitetty oheisessa taulukossa.



Storgårdin risteysilta

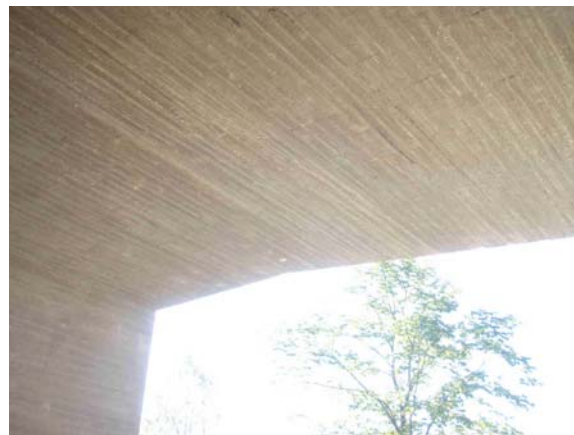
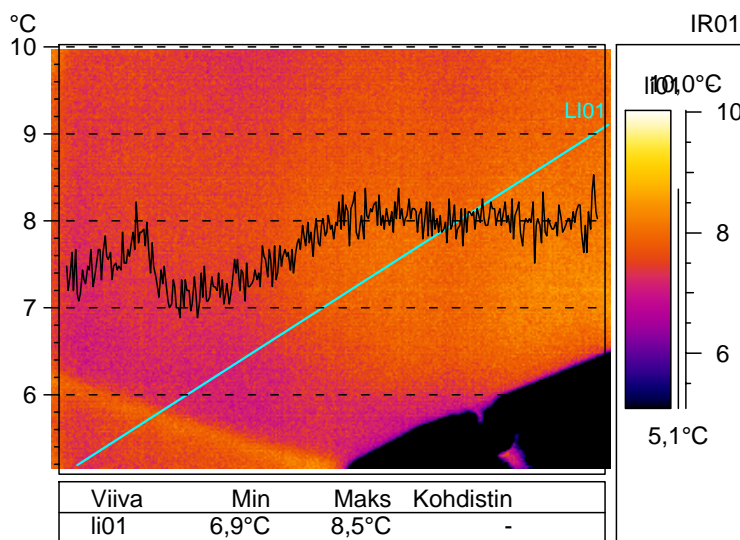
aika

pvm

**H0914-07.img**

11:13:42

14.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- sillan eteläreuna
- sillan kaakkoiskulma
- UUSINTAKUVAUS

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Taustalämpötila	8,4°C
Ilman lämpötila	2,1°C
Suhteellinen kosteus	0,92
Tunniste	Arvo
LI01 : maks	8,5°C
LI01 : min	6,9°C
LI01 : maks-min	1,6°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan alapinnassa ei havaittu vuotoja tai kosteita kohtia.
- Edellinen yö on ollut kylmä. Taulukossa aamun arvo (klo 8:30).
- Aiemman kuvan viisteen lämpötilaero haluttiin varmistaa toisella kuvakulmalla

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Viisteen osuus näkyy viileämpänä kuvassa.
- Profiilikäyrä on tehty sinisen vinon viivan kohdalta.
- Kuvan tulos on samankaltainen kuin edellä.

Storgårdin risteysilta

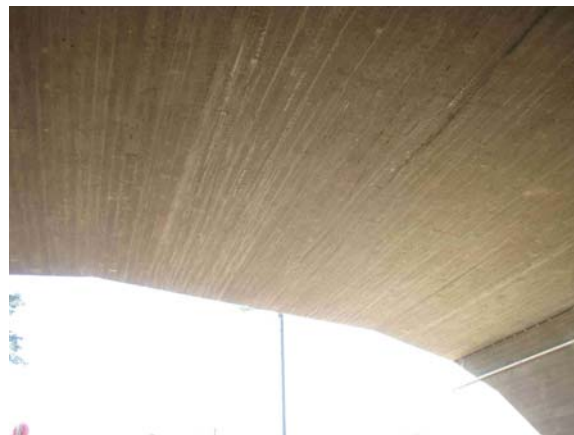
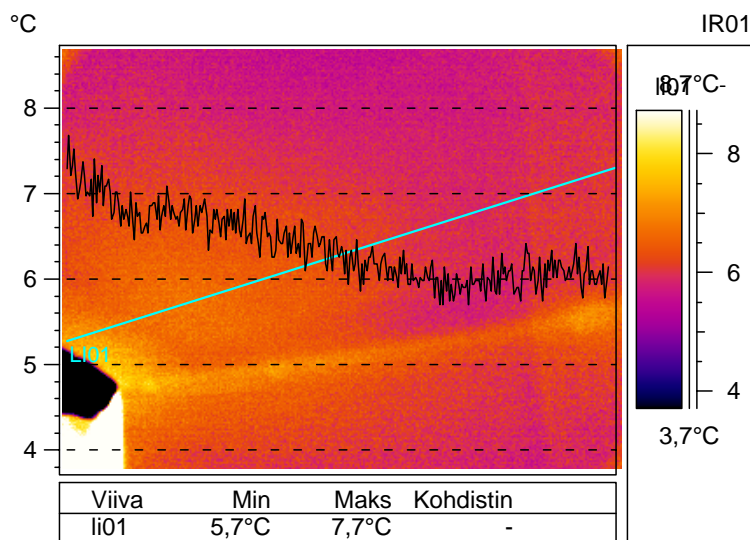
aika

pvm

**H0914-10.img**

11:25:06

14.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- sillan lounaiskulma

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Taustalämpötila	10,0°C
Ilman lämpötila	10,0°C
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	20,5°C
LI01 : maks	7,7°C
LI01 : min	5,7°C
LI01 : maks-min	2,0°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan alapinnassa ei havaittu vuotoja tai kosteita kohtia.
- Edellinen yö oli kylmä.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Kansilaatan lämpötila laskee sillan keskelle mentäessä.
- Laatan eteläreunaa on aurinko lämmittänyt.
- Olosuhdetiedot ovat arvioituja, sillä viimeiset mittaukset tehtiin saman aamuna.



## YHTEENVETO

Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää käytännössä ympäristö-olosuhteiden vaikutuksia kuvausten tuloksiin. Tutkimuksen aikana onnistuttiin tekemään useita kuvauksia vaihtelevissa olosuhteissa ja tutkimaan tulosten eroja. Seuraavassa taulukossa on mitatut kansilaatan kosteus- ja lämpötila-arvot sekä muuttuvat ympäristöolosuhteet tutkimuksen ajalta.

pvm	anturi nro.	1.		2.		4.		Ilma		Kuvaus
		RH [%]	T [oC]	RH [%]	T [oC]	RH [%]	T [oC]	RH [%]	T [oC]	
11.9	10:00	95,2	11,1	92,2	9,9	91,4	10,5	59,4	13,3	aurinkoa
	17:30	92,6	13,6	93,5	11,4	89,3	12,3	57,0	14,5	aurinkoa
12.9	10:00	93,6	12,2	93,7	11,1	89,2	11,8	89,4	14,1	pieni sade
	15:00	93,1	12,9	93,4	11,4	88,9	12,5	76,9	14,9	pilvipouta
13.9	9:00	94,5	11,1	95,2	10,3	90,4	10,9	77,7	10,4	yöllä sade
	16:00	92,9	11,9	94,4	10,9	89,4	11,5	70,3	11,3	vaihteleva
14.9	8:30	95,0	9,1	96,7	8,3	91,9	8,4	91,6	2,1	kylmä yö, pouta



# **Pihlajamäen risteyssilta, Helsinki SILLAN LÄMPÖKUVAUS**

**26.9.2007**

Lämpökuvaus tehtiin laitteistolla ThermaCAM, FLIR Systems AB.

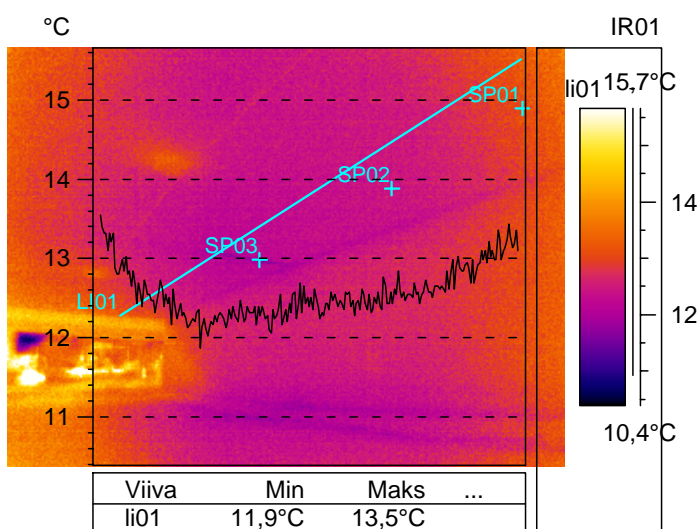
Pihlajamäen risteysilta

aika

pvm

14:05:06

26.9.2007

**H0926-01.img****Kansilaatan alapinta**

- päällysrakenteen länsipää
- kansilaatan eteläreuna
- kehän jalka
- keskisauma

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	10,0 m
Tunniste	Arvo
SP01	13,2°C
SP02	12,2°C
SP03	11,7°C
LI01 : maks	13,5°C
LI01 : min	11,9°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan alapinnalla oli paljon tummunutta halkeilua.
- Kansilaatan alapinnassa kuvan keskeltä tehdyn betonin suhteellisen kosteuden mittaustulos oli RH 94,2 %.
- Tulos oli koholla verrattuna välitukipilarista mitattuun "kuivan" betonin arvoon RH 85,7 %.
- Rakenteen lämpötila oli noin 13 astetta Celsiusta

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Lämpökuvaa on tulkittu luomalla profiilikäyrä lämpötiloista rakenteen pinnalta. Käyrä on kuvassa sinisellä piirretty mittalinjan kohdalta
- Kuvassa näkyy sillan pituussuuntainen sauma, jonka läheisyydessä havaittiin kosteutta. Kuvassa on pistelämpötiloja, jotka osoittavat, että sauman läheisyydessä lämpötila on alempi.
- Kuvassa erottuu myös alus- ja päällysrakenteen sauma, jossa on myös hieman kosteutta
- Laatan alapinnassa erottuvat valaisimet.
- Laajoja vuotokohtia kansilaatassa ei kuvan perusteella ole .

Pihlajamäen risteysilta

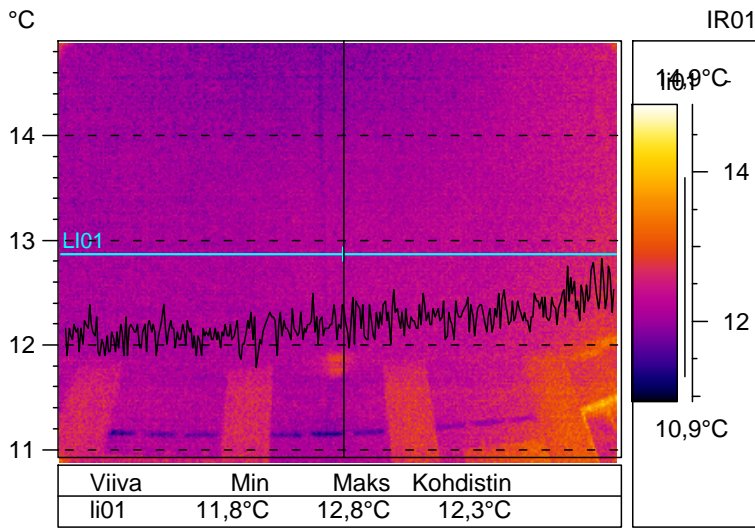
aika

pvm

**H0926-02.img**

14:08:23

26.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- keskisauma
- läntisin aukko
- laatan betonissa on poikkisuuntaista halkeilua

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Taustalämpötila	9,3°C
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	14,2°C
L.kuva : min	11,0°C
LI01 : maks	12,8°C
LI01 : min	11,8°C
LI01 : maks-min	1,0°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Keskisaumassa havaittiin lievää vuotoa koko läntisessä aukossa ja sauma vuosi pahoin aivan sillan länsipäässä.
- Kansilaatassa havaittiin paljon poikkisuuntaista halkeilua. Osassa laatan halkeamista oli kosteutta tai selvä vesivuoto.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Profiilikäyrä on kuvassa sinisellä piirretyn mittalinjan kohdalta
- Profiilikäyrän mukaan betonipinnan lämpötila ei muutu merkittävästi rakenteessa huolimatta kuvauskulman muuttumisesta.
- Kuvassa näkyy sillan pituussuuntainen sauma, jonka läheisyydessä havaittiin kosteutta. Käyrän mukaan saumasta ei ole merkittäviä vuotoja laatan alapintaan.
- Lämpökuvassa näkyy poikkisuuntaiset halkeamat ympäristöään tummenpina, joten niissä on kosteutta.

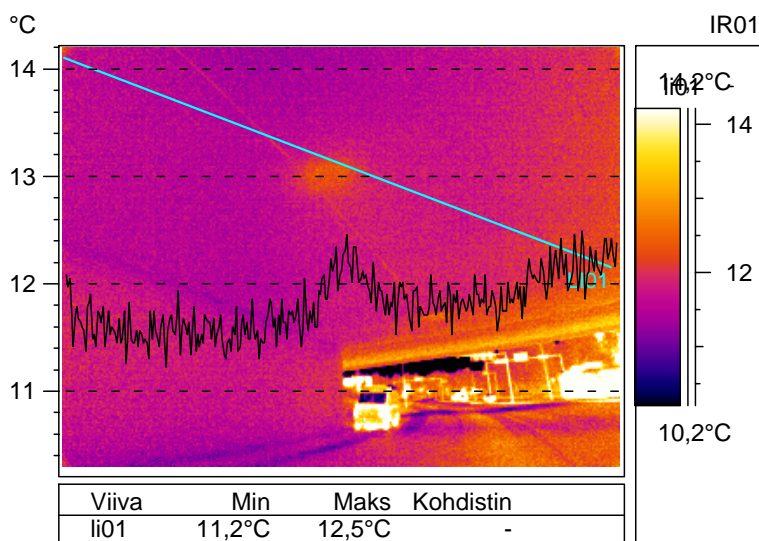
Pihlajamäen risteysilta

aika

pvm

14:10:29

26.9.2007

**H0926-03.img****Kansilaatan alapinta**

- läntinen aukko
- läntinen etumuuri
- kuva pohjoiseen päin

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Taustalämpötila	9,3°C
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	30,3°C
L.kuva : min	4,7°C
LI01 : maks	12,5°C
LI01 : min	11,2°C
LI01 : maks-min	1,3°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatassa havaittiin paljon poikkisuuntaista halkeilua. Osassa laatan halkeamista oli kosteutta tai selvä vesivuoto.
- Kansilaatassa ei havaittu kalkkihärmäisiä alueita.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Profiilikäyrä kuvaa lämpötiloja sillan poikkisuuntaisen mittalinjan kohdalta
- Profiilikäyrän mukaan betonipinnan lämpötila ei muutu merkittävästi poikkileikkauksessa.
- Laatan alapinnassa olevan valaisimen kohdalla lämpötila nousee.
- Laatussa ei ole vuotokohtia kuvan alueella.

Pihlajamäen risteysilta

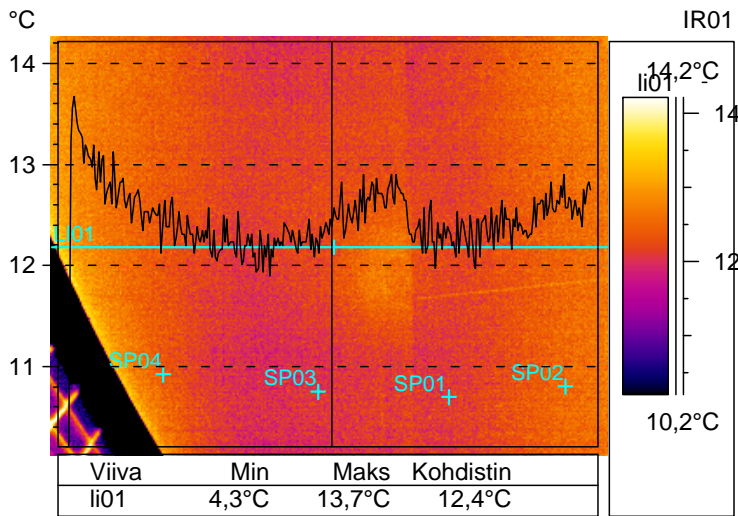
aika

pvm

**H0926-04.img**

14:11:56

26.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- eteläreunan uusi osa
- läntinen aukko
- vanhan ja uuden rakenteen välinen sauma
- levennysosa on rakenteeltaan ontelolaatta

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Taustalämpötila	9,3°C
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	14,8°C
SP01	11,9°C
SP03	11,7°C
SP04	12,6°C
SP02	12,2°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Levennysosalla havaittiin sillan poikkisuuntaista halkeilua.
- Halkeilu keskittyy aukkojen keskelle.
- Halkeilussa oli kosteuden aiheuttamia jälkiä.
- Rakenteiden välisessä saumassa ei havaittu kuvan alueella vuotoja.
- Levennysosalla ei havaittu betonissa vuotokohtia.
- Betonin suhteellinen kosteus oli uudella osalla läntisessä aukossa 95,1%.
- Ilman lämpötila oli mittaushetkellä noin 13 astetta Celsiusta.
- Vuotojälki on tippuputken ympärillä aivan kuvan vasemmassa reunassa.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Lämpökuvaa tulkittiin lämpötilakäyrän ja pistelämpötilojen avulla.
- Vanhan osan reunassa betonin lämpötila on alempi, joten siellä on hieman kosteutta.
- Uuden osan keskellä kulkee sillan pituussuuntaan viileämpi alue.
- Laatan alapinnan valaisin erottuu lämpöisenä kohtana.
- Lämpökuvassa ei näy selviä vuotokohtia eikä halkeamat erotu rakenteesta. Myöskään reunan tippuputki ei erotu, joten vapaata vettä ei ole kuvassa.
- Mitatut pistelämpötilat on esitetty oheisessa taulukossa.



Pihlajamäen risteyssilta

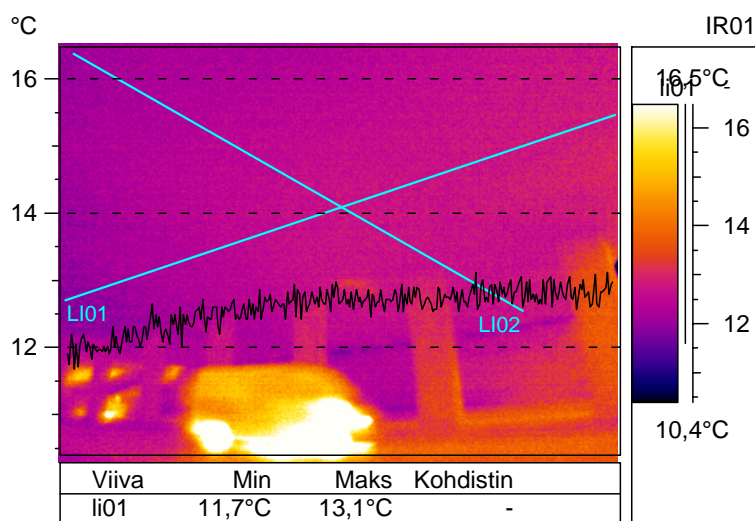
aika

pvm

**H0926-05.img**

14:14:22

26.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- laatan vanha osa
- läntinen aukko
- kuva itään päin

-

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Taustalämpötila	9,3°C
Tunniste	Arvo
LI01 : maks	13,1°C
LI01 : min	11,7°C
LI01 : maks-min	1,4°C
LI02 : maks	13,1°C
LI02 : min	11,8°C
LI02 : maks-min	1,3°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan alapinnalla havaittiin paikoin vuotavaa halkeilua.
- Kansilaatan alapinnalla ei ole kalkkihärmäisiä alueita eikä laajoja vuotokohtia.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Lämpökuvaa on analysoitu kahdella mittalinjalla, jotka on sijoitettu risteämään kuvan keskellä.
- Mittalinjojen lämpötila-arvot on esitetty ao. taulukossa.
- Mittalinjojen minimi- ja maksimilämpötilojen erotus on 1,3 astetta Celsiusta
- Erotus on vain noin puolet kuvakulman aiheuttamasta mahdollisesta maksimivirheestä (2,4 astetta Celsiusta).
- Laatan alapinnalla ei ole yksittäisiä vuotokohtia.

Pihlajamäen risteysilta

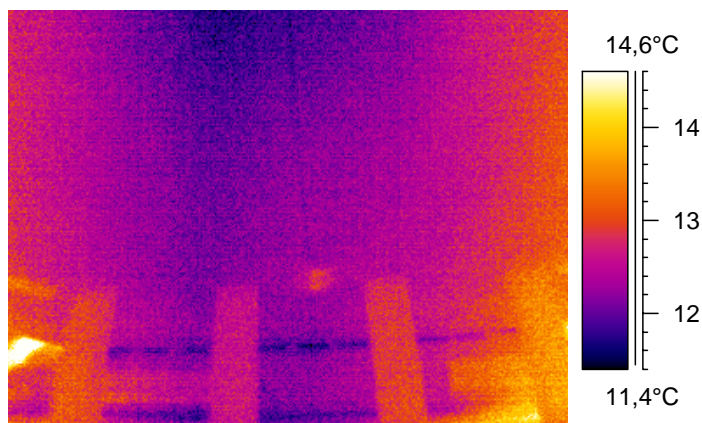
aika

pvm

**H0926-06.img**

14:15:45

26.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- laatan vanha osa
- keskisauma
- kuva itään päin
- uusintakuvaus

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Taustalämpötila	9,3°C
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	16,3°C
L.kuva : min	11,3°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan alapinnalla havaittiin paikoin vuotavaa halkeilua.
- Keskisauman vieressä on valokuvassa kaksi vuotokohtaa.
- Keskisaumassa havaittiin vuotoa koko läntisessä aukossa ja sauma vuosi pahoin aivan sillan länsipäässä (kuvassa itäpäätä).

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Kansilaatan alapinnan lämpötila on keskisauman läheisyydessä ympäristöään alempi.
- Valokuvan vuotokohdat eivät erotu yksittäisinä vaan lämpökuvassa näkyy iso viileä alue.
- Edellisessä kuvassa samasta kohdasta betonipinnan lämpötila pysyi miltei samana.

Pihlajamäen risteysilta

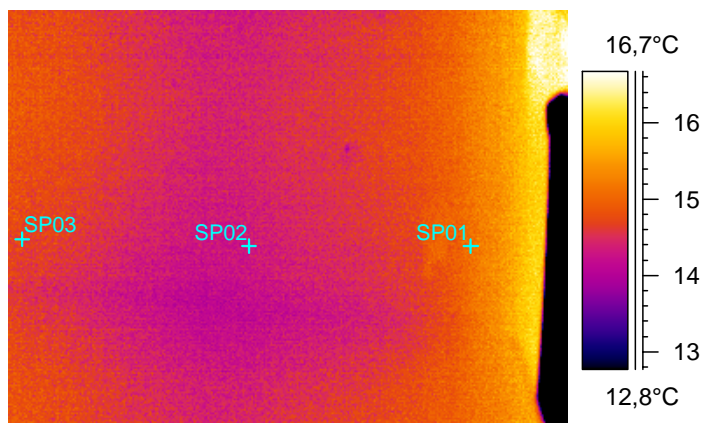
aika

pvm

**H0926-07.img**

14:32:29

26.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- laatan luoteiskulma
- tippuputkilinja
- kehän jalka

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Taustalämpötila	10,0°C
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	17,0°C
L.kuva : min	0,4°C
SP01	15,1°C
SP02	14,3°C
SP03	14,6°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Useimmissa tippuputkissa oli ulkopuolista vuotoa.
- Useat tippuputket ovat liian lyhyet ja ne uittavat vettä laatan alapintaan.
- Laatan alapinnassa oli poikkisuuntaista halkeilua.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Laatan alapinnalla noin metrin etäisyydellä on ympäristöään viileämpi alue.
- Kehän jalan betonipinta on myös hieman viileämpi samalta etäisyydeltä.
- Alus- ja päällysrakenteen sauma näkyy kuvassa viileänä alueena.
- Tippuputki näkyy hieman viileämpänä pisteenä.
- Pistelämpötilat on koottu taulukkoon.

Pihlajamäen risteyssilta

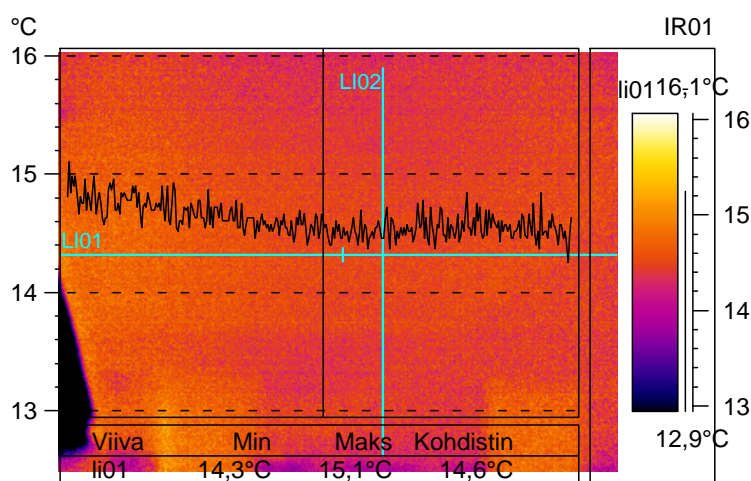
aika

pvm

**H0926-08.img**

14:33:42

26.9.2007

**Kansilaatan alapinta**

- sillan pohjoisreuna
- läntinen aukko
- kuva itään päin
- pituussuuntainen sauma

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	10,0 m
Taustalämpötila	10,0°C
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	15,5°C
LI01 : maks	15,1°C
LI01 : min	14,3°C
LI01 : maks-min	0,9°C
LI02 : maks	14,8°C
LI02 : min	14,2°C
LI02 : maks-min	0,6°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan uusilla osilla on poikkisuuntaista halkeilua 0,2 metrin välein.
- Halkeamien leveys on 0,2 mm.
- Halkeilu keskittyy aukkojen keskiosille.
- Halkeamissa oli kosteuden jättämiä jälkiä.
- Pituussuuntaisessa saumassa ei havaittu vuotokohtia.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Kuvassa ei näy erityisiä vuotokohtia.
- Rakenteen alapinta on melko tasalämpöinen.
- Halkeamissa ei ole kosteutta.
- Saumassa ei ole kosteutta.
- Risteävien mittalinjojen maksimi- ja minimilämpötilojen erotus on enimmillään 0,9 astetta Celsiusta ja lämpökäyrä osoittaa rakenteen tasalämpöisyyden

# MITTAUSTULOKSET

Lämpökuvista saatiin seuraavat tulokset:

KUVA 1.

- Vanhan osan pituussuuntaisen sauman läheisyydessä havaittiin kosteutta ja lämpökuvan pistelämpötilat sauman läheisyydessä ovat alempia.
- Laajoja vuotokohtia ei ole kansilaatassa kuvan perusteella.

KUVA 2.

- Pituussuuntaisen sauman läheisyydessä havaittiin kosteutta.
- Merkittäviä vuotoja ei saumassa ollut laatan alapintaan.
- Poikkisuuntaisissa halkeamissa on kuvan mukaan kosteutta.

KUVA 3.

- Profiilikäyrän mukaan betonipinnan lämpötila ei muutu merkittävästi poikkileikkauksessa.
- Laatassa ei ole vuotokohtia kuvan alueella.

KUVA 4.

- Vanhan osan reunassa on hieman kosteutta.
- Lämpökuvassa ei näy selviä vuotokohtia eivätkä halkeamat erotu rakenteesta.
- Tippuputken vuoto ei erotu, joten vapaata vettä ei ole kuvaushetkellä.

KUVA 5.

- Mittalinjojen minimi- ja maksimilämpötilojen erotus on 1,3 astetta Celsiusta
- Laatan alapinnalla ei ole yksittäisiä vuotokohtia.

KUVA 6.

- Kansilaatan alapinnan lämpötila on keskisauman läheisyydessä ympäristöä alempi.
- Laatan alapinnassa ei ole yksittäisiä vuotokohtia.

KUVA 7.

- Laatan alapinnalla noin metrin etäisyydellä on ympäristöään viileämpi alue.
- Alus- ja päällysrakenteen sauma näkyy viileänä alueena, joten siellä on kosteutta.
- Tippuputki näkyy hieman viileämpänä pisteenä.

KUVA 8.

- Kuvassa laatta on melko tasalämpöinen eikä siinä näy erityisiä vuotokohtia.

Kosteusmittaukset:

Kansilaatan alapinta	RH 94 - 95 %
Välitukipilari	RH 86 %
Ulkoilma	RH 96 %

Lämpötilat: [°C]

13,1 - 13,3
13,4
12,5

# YHTEENVETO

- Sillalla suoritettun lämpökuvauksen perusteella voidaan sanoa, että kansilaatassa ei ole merkittäviä yksittäisiä vuotokohtia. Kansilaatan betonin kosteus on kuitenkin yleisesti korkealla tasolla, joten vedeneristyksen läpi suotautuu kosteutta.
- Kansilaatan alapinnassa on paljon poikkisuuntaista tai epäsäännöllistä vuotavaa halkeilua.
- Sillan pituussuuntaiset saumat vuotavat yleisesti hieman ja paikoin pahoin.
- Tippuputkissa on jälkiä ulkopuolisista vuodoista.



# **FINNÅN RISTEYSSILTA, Espoo**

## **SILLAN LÄMPÖKUVAUS**

**25.9.2007**

Lämpökuvaus suoritettiin sillan erikoistarkastuksen yhteydessä.  
Kuvaus tehtiin laitteistolla ThermaCAM, FLIR Systems AB.

Kansilaatan alapinta

aika

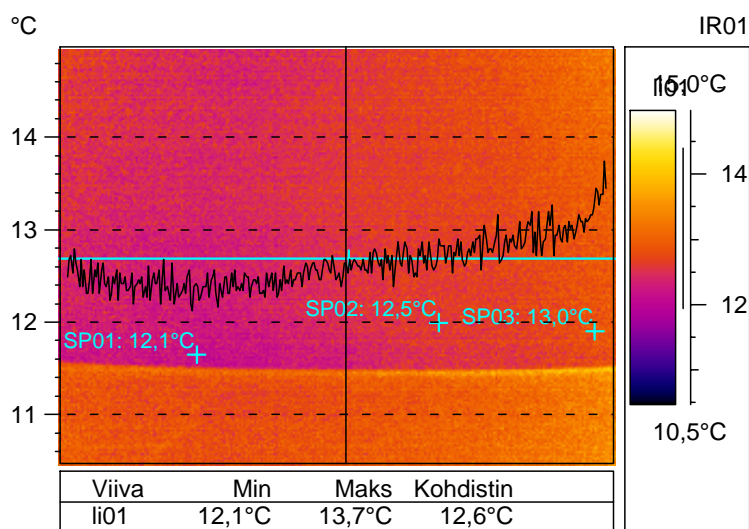
pvm

**H0925-02.img**

18:21:38

25.9.2007

Sillan eteläpää

**Kansilaatan alapinta**

- päällysrakenteen eteläpää
- maatuon etumuuri
- laatan keskikohta
- kaapelin suojaputki

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Taustalämpötila	9,3°C
Vertailulämpötila	*
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	14,8°C
L.kuva : min	11,8°C
SP01	12,1°C
SP02	12,5°C
SP03	13,0°C
LI01 : maks	13,7°C
LI01 : min	12,1°C
LI01 : maks-min	1,6°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan eteläpäässä lähellä etumuuria havaittiin kosteuden aiheuttamaa tummentumaa laatan betonissa.
- Valokuvassa havaittavissa vasemmassa reunassa hieman tummempaa betonipinta.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Lämpökuvaa on tulkittu luomalla käyrä lämpötiloista rakenteen pinnalta. Käyrä on kuvassa sinisellä piirretyn mittalinjan kohdalta
- Lämpöikäyrä näyttää lämpötilan laskun kuvassa vasenta reunaa lähestyessä.
- Kuvaan on lisätty myös pistelämpötiloja. Ne laskevat etumuuria lähestyttäessä. Arvot ovat oheisessa taulukossa.



Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta

aika

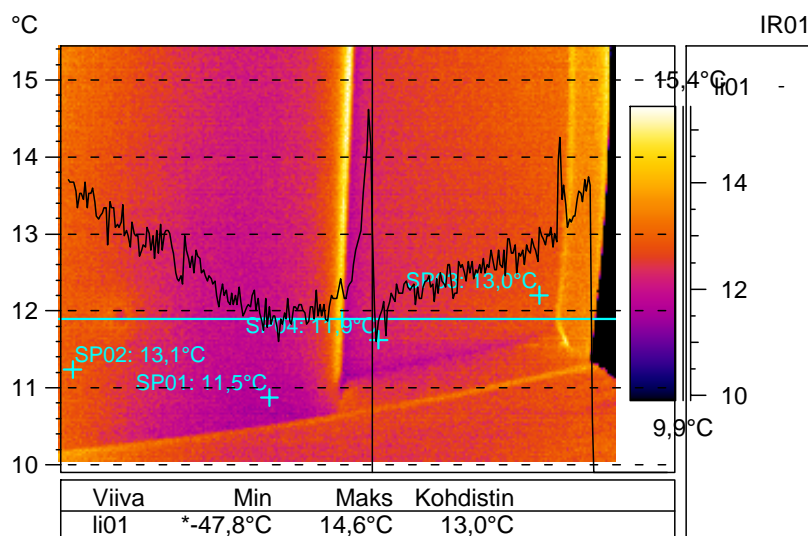
pvm

**H0925-03.img**

18:22:51

25.9.2007

Sillan länsireuna



Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Ilman lämpötilä	9,3°C
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	15,7°C
SP01	11,5°C
SP02	13,1°C
SP03	13,0°C
SP04	11,9°C
LI01 : maks	14,6°C

**Kansilaatan / reunaulokkeen alapinta**

- päällysrakenteen eteläpää
- maatuen etumuur
- valaistuskapeli etumuurissa

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinnalla havaittiin kosteuden aiheuttamaa tummentumaa laatan betonissa kansilaatan eteläpäässä.
- Kansilaatan alapinta oli reunoista tummunut ja betonipinnassa havaittiin verkkomaista/epäsäännöllistä halkeilua.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Lämpökäyrällä havaitaan lämpötilan selvä lasku kostean näköiseksi tulkitun laatan reunan kohdalla.
- Tarkastuksessa havaittiin myös reunaulokkeessa kosteuden aiheuttamia jälkiä ja vaurioita betonipinnalla.

Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta

aika

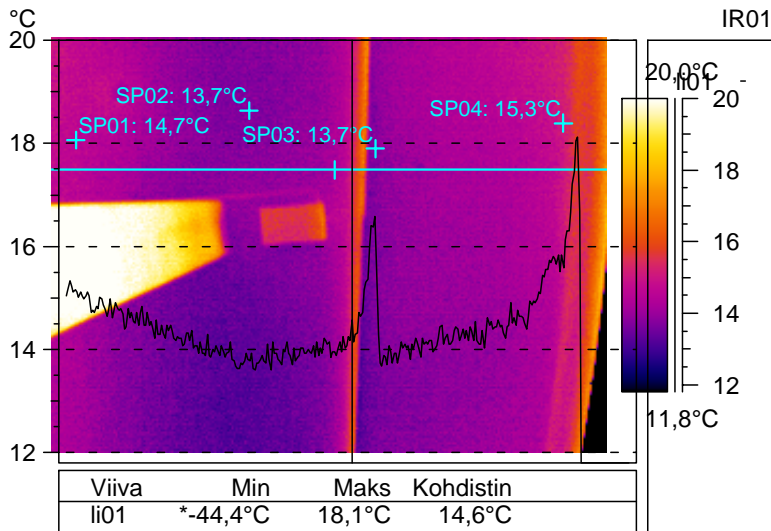
pvm

**H0925-04.img**

18:24:57

25.9.2007

Sillan länsireuna

**Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta**

- sillan länsireuna
- eteläisin välituki
- syöksytorvi
- valaisin ja valaistuskaapeli

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Ilman lämpötila	9,3°C
<b>Tunniste</b>	<b>Arvo</b>
L.kuva : maks	20,9°C
SP01	14,7°C
SP02	13,7°C
SP03	13,7°C
SP04	15,3°C
LI01 : maks	18,1°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan alapinta oli reunoista tummunut ja betonipinnassa havaittiin paikoin verkkomaista halkeilua. Tummentumaa oli koko sillan matkalla.
- Reunaulokkeessa on kakkiset halkeamat välituen molemmin puolin.

**LÄMPÖKUVAN ANALYSOINTI:**

- Lämpökäyrätyökalu osoittaa betonipinnan olevan viilein juuri kosteaksi tulkitusta kohdasta.
- Halkeamat eivät tarkastushetkellä vuotaneet, koska betonipinnan lämpötila kohdassa ei muutu.
- Kuvissa näkyvä laatikko on valaisin.
- Vaalea pinta kuvan vasemmassa reunassa on välitukipilarin sivupinta.
- Pistelämpötilat on koottu taulukkoon.

Kansilaatan alapinta

aika

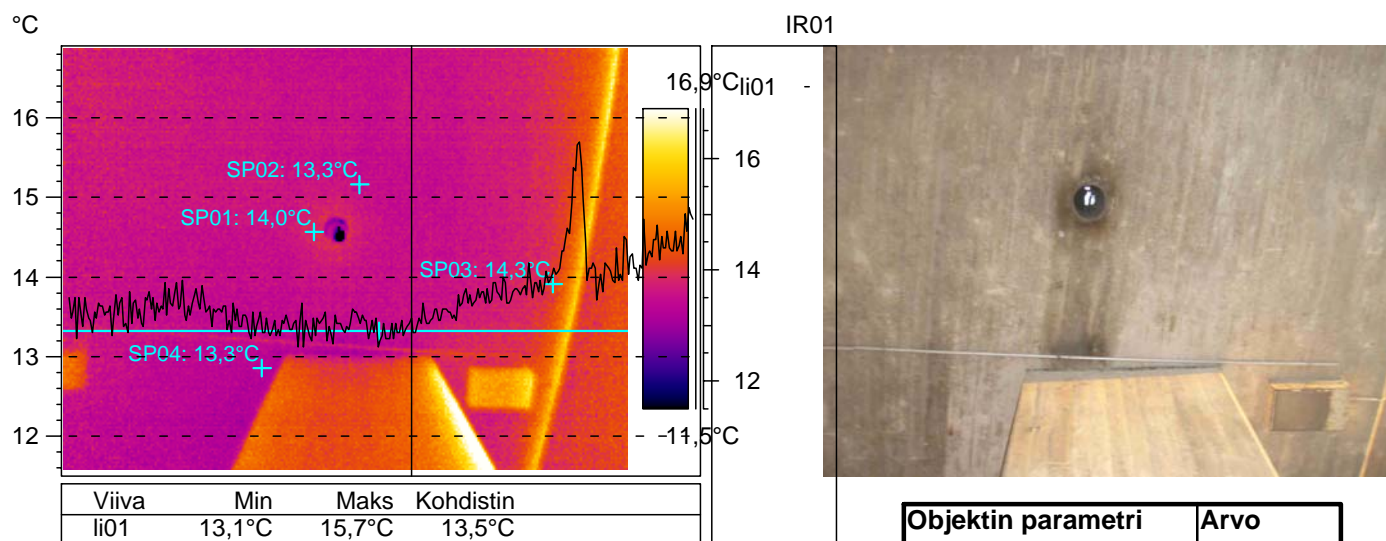
pvm

**H0925-05.img**

18:26:16

25.9.2007

Kansilaatan länsireuna

**Kansilaatan alapinta**

- laatan länsireuna
- eteläisin välituki
- syöksytorvi
- valaisin ja valaistuskaapeli

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan reunoilla havaittiin betonipinnan tummentumaa.
- Syöksytorven ympärillä ja välitukipilarin vieressä betonipinta oli tummentunut.

**LÄMPÖKUVAN ANALYSOINTI:**

- Lämpökäyrän mukaan laatan lämpötila on alimmillaan kohdassa, jossa laatan alapinta on tummin.
- Syöksytorven ympärillä lämpötila on korkeampi kuin kauempana rakenteessa. Tämä johtunee ulkoilman lämmittävästä vaikutuksesta. (+18`C). Syöksytorven ympärystä on kuiva, sillä sadetta ei ole ollut hetkeen ollut.
- Lämpökuvaan on merkitty pistelämpötiloja. Pistelämpötilat ovat melko tasaiset, paitsi laatan reunan arvo, joka johtunee auringon lämmöstä.
- Pistelämpötilat on koottu oheiseen taulukkoon.

Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta

aika

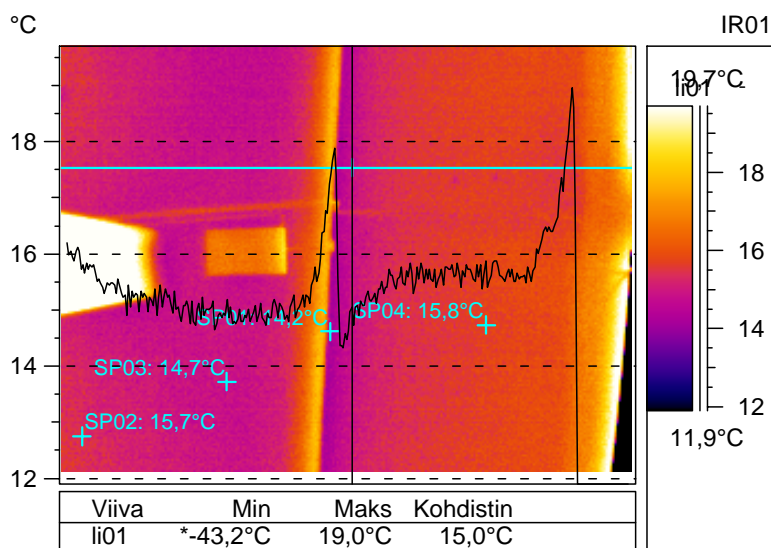
pvm

**H0925-06.img**

18:27:24

25.9.2007

Sillan länsireuna



Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Ilman lämpötila	9,3°C
Suhteellinen kosteus	0,60
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	24,6°C
SP01	14,2°C
SP02	15,7°C
SP03	14,7°C
SP04	15,8°C
LI01 : maks	19,0°C

**Kansilaatan / reunaulokkeen alapinta**

- sillan länsireuna
- keskimäinen välituki
- valaisin ja valaistuskaapelit

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta oli tummentunut.
- Betonipinnoilla havaittiin myös epäsäännöllistä halkeilua.
- Reunaulokkeessa oli kolme pitkää ja kolme lyhyttä halkeamaa.
- Halkeamissa oli kalkkipuikkoja.

**LÄMPÖKUVAN ANALYSOINTI:**

- Lämpökäyrä osoittaa todetun kosteuden viilentävän kansilaatan reunaosia yleisesti silta-aukoissa.
- Halkeamissa ei ole kosteutta, koska betonin lämpötila pysyy samana niiden kohdalla.
- Pistelämpötilat on koottu oheiseen taulukkoon.

Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta

aika

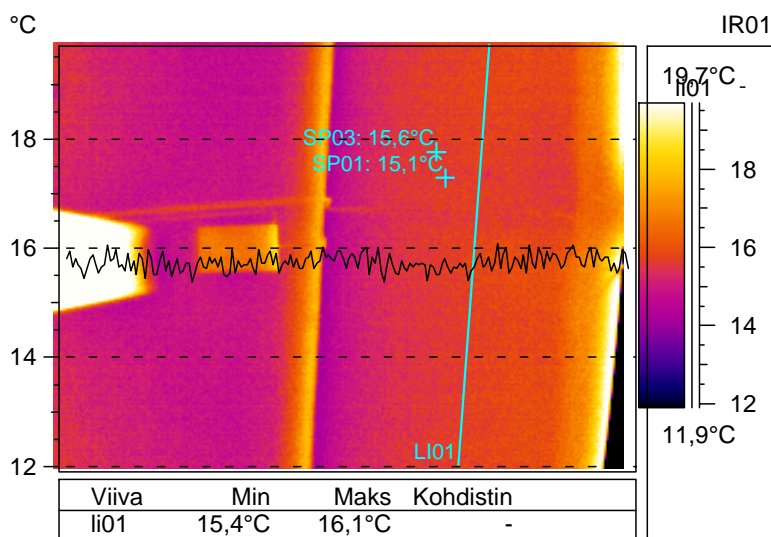
pvm

\*

18:27:24

25.9.2007

Sillan länsireuna

**Kansilaatan / reunaulokkeen alapinta**

- sillan länsireuna
- keskimäinen välituki
- valaisin ja valaistuskaapelit
- ulokkeen halkeamat

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Ilman lämpötila	9,3°C
Suhteellinen kosteus	0,60
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	24,6°C
SP01	15,1°C
SP03	15,6°C
LI01 : maks	16,1°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kohta on sama kuin edellä. Tutkitaan halkeamat
- Reunaulokkeessa oli kolme pitkää ja kolme lyhyttä halkeamaa.
- Halkeamissa oli kalkkipuikkoja.

**LÄMPÖKUVAN ANALYSOINTI:**

- Mittaviiva on tehty sillan pituussuuntaan.
- Lämpökäyrä osoittaa ettei halkeamissa ei ole kosteutta, koska betonin lämpötila pysyy samana niiden kohdalla.
- Ulokkeessa näkyy kaksi pistettä halkeamien välissä hieman viileämpinä.
- Taulukossa ovat mitatut pistelämpötilat kohdasta ja ympäristöstä (SP01 & SP03).

Kansilaatan alapinta

aika

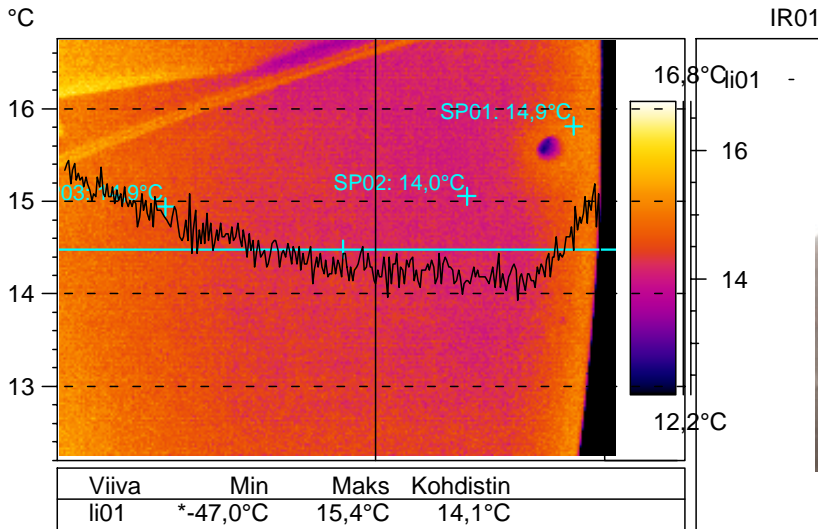
pvm

**H0925-07.img**

18:29:41

25.9.2007

Itäreuna

**Kansilaatan alapinta**

- sillan itäreuna
- syöksytorvi

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Ilman lämpötila	9,3°C
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	17,0°C
SP01	14,9°C
SP02	14,0°C
SP03	14,9°C
LI01 : maks	15,4°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan reunaosissa havaittiin tummentunut alue.
- Tummentumaa oli laatan alapinnassa koko sillan pituudelta.
- Betonissa havaittiin myös epäsäännöllistä halkeilua.
- Laatan alapinnasta oli sementtiliima irronnut paikoitellen.
- Betonin suhteellisen kosteusmittauksen tulos oli laatan itäreunassa RH 96,2 %

**LÄMPÖKUVAN ANALYSOINTI:**

- Kansilaatan alapinta oli kuvauksen perusteella tummentuneesta kohdasta viileämpi kuin muualta.
- Syöksytorven ympäristä ei lämpökuvan mukaan ole viileämpi, vaikka valokuvassa se näyttää tummuneelta.
- Kohdat, joista sementtiliima on irronnut, eivät erotu erityisesti lämpökuvasta.

Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta

aika

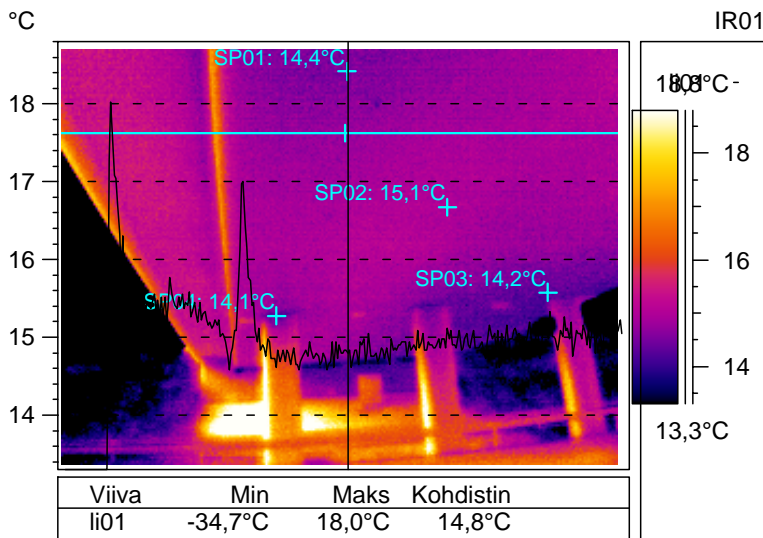
pvm

**H0925-08.img**

18:31:35

25.9.2007

Sillan pohjoispää

**Kansilaatan / reunaulokkeen alapinta**

- sillan pohjoispää
- pohjoinen välituki

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	20,8°C
SP01	14,4°C
SP02	15,1°C
SP03	14,2°C
SP04	14,1°C
LI01 : maks	18,0°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan reunat olivat tummempia kuin keskikohta.
- Reunaulokkeen sisäreuna oli tummunut.
- Betonin suhteellisen kosteusmittauksen tulos oli pohjoisimmassa aukossa laatan länsireunassa eli kuvan vasemmassa reunassa RH 95,7 %.
- Kosteusarvo on koholla verrattuna välitukipilarista mitattuun "kuivan" betonin arvoon RH 85 %.
- Mitattu ilmankosteus on 67 % ja lämpötila noin 15,0 °C.

**LÄMPÖKUVAN ANALYSOINTI:**

- Kansilaatan reunaosat ovat keskiosia viileämmät.
- Reunauloke on sisäreunasta viileämpi kuin ulkoreunasta.
- Välitukipilarien ympäristö on laatussa viileämpi.
- Aurinko on lämmittänyt laatan sivupintaa ja reunapalkkia.
- Pistelämpötilat on koottu taulukkoon.

Kansilaatan ja reunaulukkeen alapinta

aika

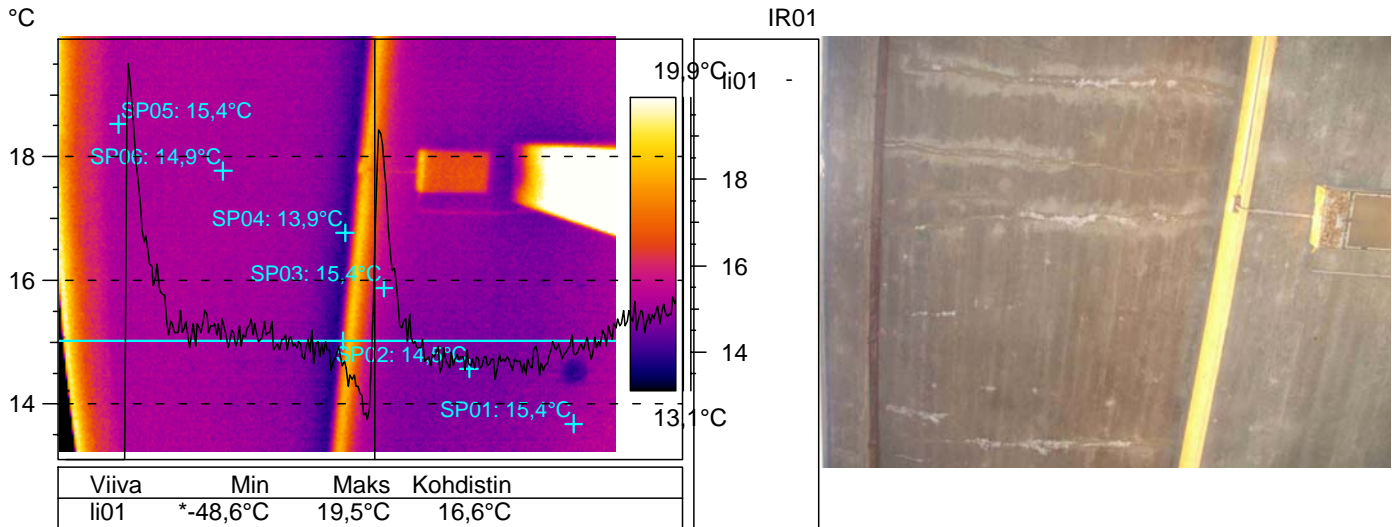
pvm

**H0925-09.img**

18:32:46

25.9.2007

Sillan länsireuna

**Kansilaatan ja reunaulukkeen alapinta**

- sillan länsireuna
- pohjoisimman välituen kohdalta

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	23,8°C
SP01	15,4°C
SP02	14,5°C
SP03	15,4°C
SP04	13,9°C
SP05	15,4°C
SP06	14,9°C
LI01 : maks	19,5°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan reunaosilla on betonipinnan tummentumaa.
- Reunaulukkeen betonipinnassa oli tummentumaa.
- Rakenteissa havaittiin myös verkkomaista halkeilua.
- Reunaulukkeessa oli 10 kpl halkeamia välituen läheisyydessä.
- Halkeamissa oli kalkkipuikkoja, joten ne ovat ainakin joskus vuotaneet.

**LÄMPÖKUVAN ANALYSOINTI:**

- Kansilaatan lämpötila on alempi reunaosilla.
- Reunaulukkeen lämpötila laskee sisäreunaa lähestyttäessä.
- Halkeamat eivät erotu rakenteesta, joten kuvaushetkellä halkeamat ovat kuivia.
- Aurinko on lämmittänyt laatan sivupintaa ja reunapalkkia.
- Pistelämpötilat on koottu oheiseen taulukkoon.



Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta

aika

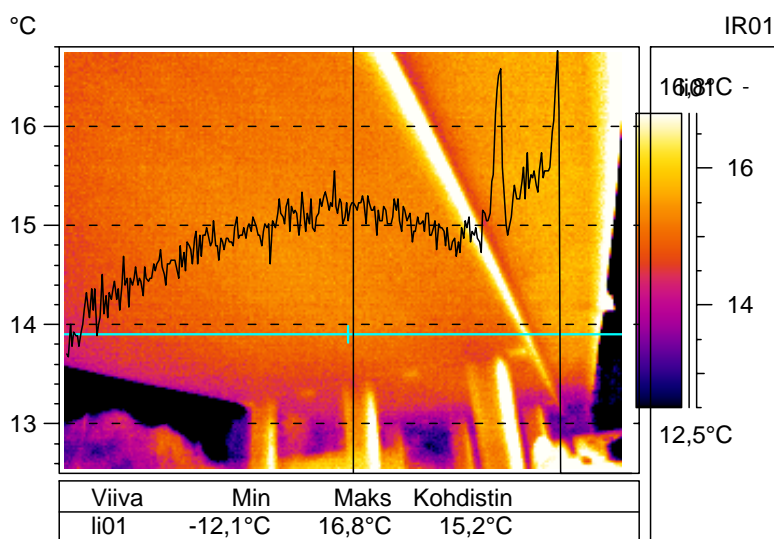
pvm

**H0925-11.img**

18:36:21

25.9.2007

Sillan länsireuna



**Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta**  
- sillan eteläpää

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
<b>Tunniste</b>	<b>Arvo</b>
L.kuva : maks	25,2°C
LI01 : maks	16,8°C

**LÄMPÖKUVAN ANALYSOINTI:**

- Kansilaatan reunaosien viileämpi betonipinta näkyy profiilikäyrässä.
- Kansilaatan alapinnan reunoja lähestyttäessä rakenteen lämpötila laskee.
- Lämpötilaero laatan alapinnalla on noin 1 astetta Celsiusta.

Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta

aika

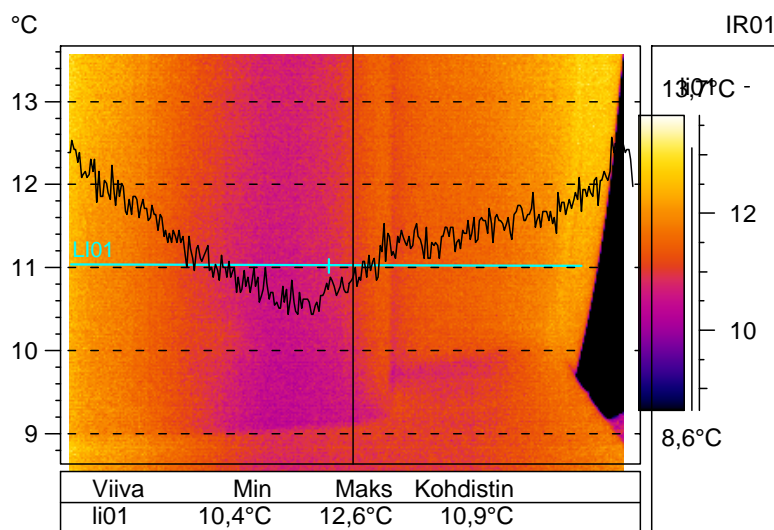
pvm

**H0925-18.img**

23:47:54

25.9.2007

Sillan länsireuna

**Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta**

- päällysrakenteen eteläpää
- maatuen etumuur
- UUSINTAKUVAUS

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	13,3°C
LI01 : maks	12,6°C
LI01 : maks-min	2,1°C

**LÄMPÖKUVAN ANALYSOINTI:**

- Uusintakuvaus tehtiin aiemmin mitatusta kohdasta. Kuvaus toteutettiin kello noin 23:48.
- Ulkoilman lämpötila laski ja samalla ilman kosteusprosentti nousi.
- Lämpökuvassa on sama trendi kuin aiemmin, mutta lämpötilaerot näkyvät selvemmin.
- Toisaalta kosteaan betonipintaan helpommin tapahtuva tiivistyminen sitoo lämpöä, joten lämpötilaeron ei pitäisi olla näin selvä.
- Kuvaus uusittiin kohdassa, jotta tutkimuksen objektiivisuus varmistettaisiin.

Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta

aika

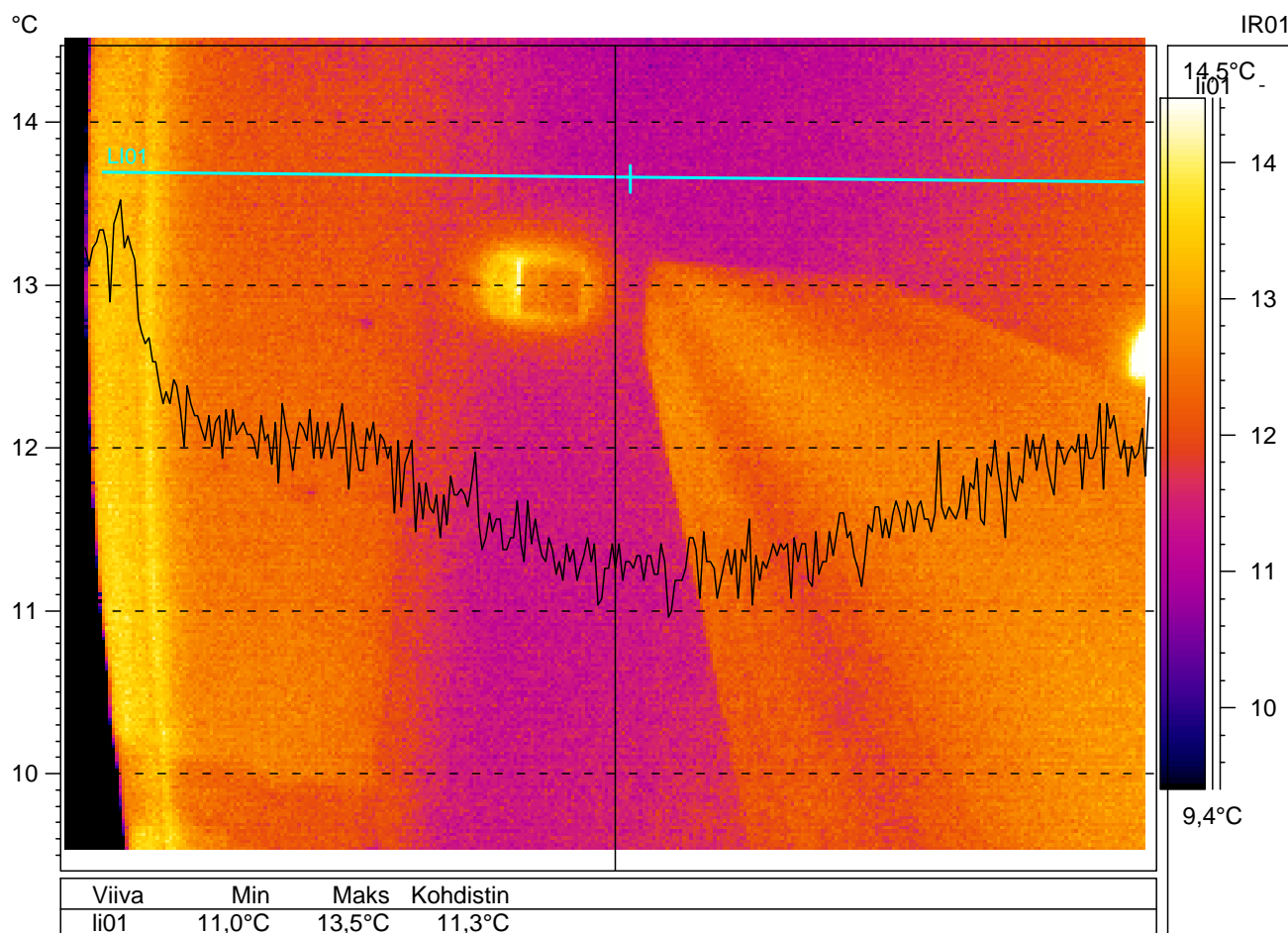
pvm

**H0925-19.img**

23:49:20

25.9.2007

Sillan länsireuna

**Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta**

- sillan länsireuna
- eteläinen välituki
- UUSINTAKUVAUS

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
<b>Tunniste</b>	<b>Arvo</b>
L.kuva : maks	15,4°C
LI01 : maks	13,5°C
LI01 : maks-min	2,6°C

**LÄMPÖKUVAN ANALYSOINTI:**

- Uusintakuvaus suoritettiin kello 23:49
- Kansilaatan reunan kostea kohta näkyy viileämpänä samoin kuin aiemmin otetussa kuvassa.
- Kuvan vasemmassa alakulmassa reunaulokkeessa näkyy valuma näyteporauksesta.

Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta

aika

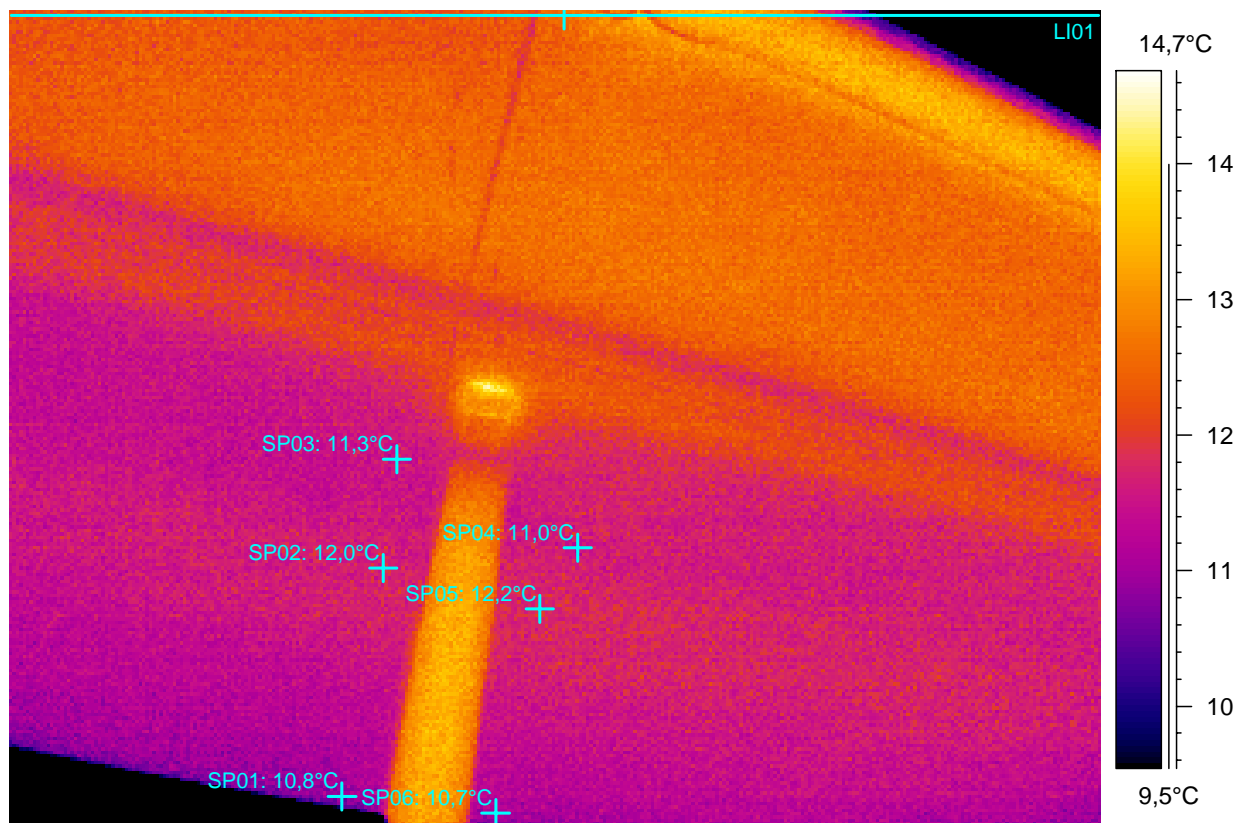
pvm

**H0925-24.img**

23:55:25

25.9.2007

Sillan länsireuna

**Kansilaatan alapinta**

- keskimmäisen välituen kohdalla.
- UUSINTAKUVAUS

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Suhteellinen kosteus	0,67
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	14,5°C
SP01	10,8°C
SP02	12,0°C
SP03	11,3°C
SP04	11,0°C
SP05	12,2°C
SP06	10,7°C
LI01 : maks	13,6°C

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Pistemittauksen mukaan kansilaatan reunaosat ovat keskikohtaa viileämpiä.
- Betonin suhteellisen kosteusmittauksen tulos oli välitukipilarien vasemmalla puolella laatan itäreunassa RH 98,8 % ja länsireunassa RH 96,9 %.
- Välitukipilarista mitattu kuivan betonin kosteusarvo oli RH 85 %

Kansilaatan alapinta

aika

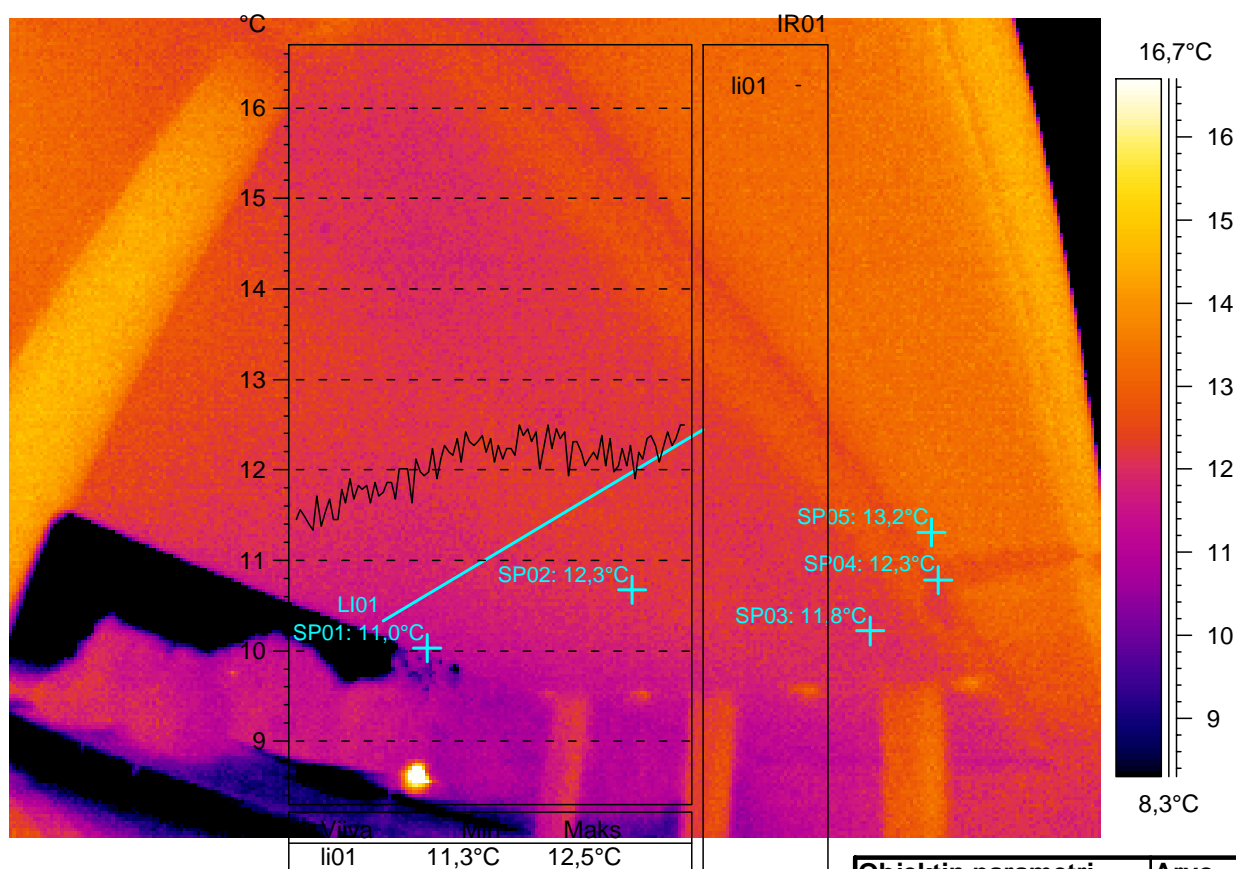
pvm

**H0925-26.img**

23:57:25

25.9.2007

Sillan länsireuna

**Kansilaatan alapinta**

- sillan länsireuna
- päällysrakenteen eteläpää
- 2. aukko etelästä
- UUSINTAKUVAUS

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
<b>Tunniste</b>	<b>Arvo</b>
L.kuva : maks	26,4°C
SP01	11,0°C
SP02	12,3°C
SP03	11,8°C
SP04	12,3°C
SP05	13,2°C
LI01 : maks	12,5°C
LI01 : min	11,3°C
LI01 : maks-min	1,2°C

**LÄMPÖKUVAN ANALYSOINTI:**

- Pistemittauksen mukaan lämpötila on alempi kansilaatan reunaosilla. Sama ilmiö on havaittavissa koko aukossa.
- Reunaulokkeen alapinnassa on näyteporauksessa käytetyn veden valumajälki. Kohta näkyy ympäristöään viileämpänä.
- Lämpötilakäyrän arvot ovat taulukossa.
- Pistelämpötilat on koottu taulukkoon.

Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta

aika

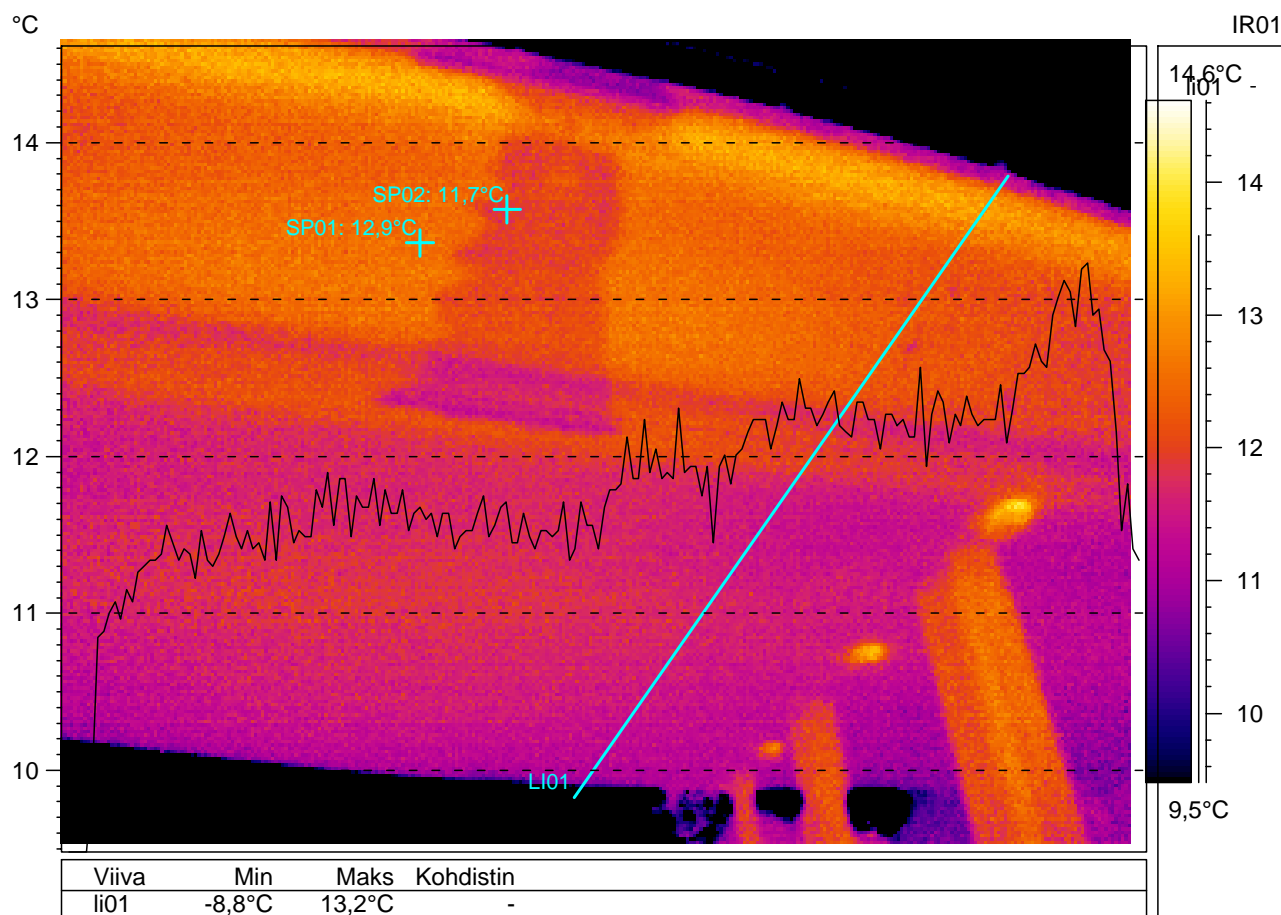
pvm

**H0925-27.img**

23:58:32

25.9.2007

Sillan länsireuna



**Kansilaatan ja reunaulokkeen alapinta**  
- 2. aukko etelästä

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,94
Etäisyys kohteeseen	4,0 m
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	14,1°C
SP01	12,9°C
SP02	11,7°C
LI01 : maks	13,2°C

**LÄMPÖKUVAN ANALYSOINTI:**

- Lämpökäyrä on sillan poikisuunnassa.
- Lämpökäyrä näyttää rakenteen lämpötilan kuvan vinon linjan kohdalta.
- Kansilaatan reunaosilla lämpötila on alempi kuin keskellä.
- Kansilaatan alapinnan lämpötila on sama kuin aiemmin otetuissa kuvissa.
- Reunaulokkeessa näkyy porauksessa käytetyn veden valumajälki.
- Pistemittausten lämpötilat on koottu oheiseen taulukkoon.



## Mittaustulokset

Kansilaatan betonin lämpötilamittaustuloksia taulukoitiin seuraavasti:

Kuva nro.	Uloke ulkoreuna	Uloke sisäreuna	Laatta ulkoreuna	Laatta keskeltä
Kuva 1.				
Kuva 2.	13,0	11,9	11,5	13,1
Kuva 3.	15,3	13,7	13,7	14,7
Kuva 4.			13,3	13,3
Kuva 5.	15,0	14,2	14,7	15,7
Kuva 6.			14,0	14,9
Kuva 7.			14,1; 14,2	15,1
Kuva 8.	15,4	13,9	14,5	15,4

RH-mittaukset: Kansilaatan reunaosissa 96 - 99 %, (4 mittaus)  
 Välitukipilarin "kuiva piste" 85 % (1 mittaus)

Tutkittujen rakenteiden pintalämpötilat ovat taulukon mukaan reunaulokkeen sisäreunassa ja kansilaatan ulkoreunassa alhaisempia kuin muualla rakenteessa. Lämpötilaero kostean ja 'kuivan' betonin välillä on noin 1,5 astetta Celsiusta. Taulukko on laadittu pistelämpötiloja indikoivien lämpökäyrien mukaan.

Samoissa rakenneosissa havaittiin myös silmämääräisesti kosteuden aiheuttamia jälkiä.

Tutkimuksen perusteella sillan vedeneristys vuotaa kansilaatan reunaosilla molemmilla puolilla siltaa ja yleisesti sillan koko pituudelta. Alkuperäisisten suunnitelmien mukaan siltakannen yläpinnan alimmat kohdat sijaitsevat kansilaatan reunoilla.



# Helsingintien alikulkusilta, Järvenpää LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI

*28.8.2007*

Lämpökuvaus tehtiin laitteistolla ThermaCAM FLIR Systems AB.



Helsingintien aks, Järvenpää

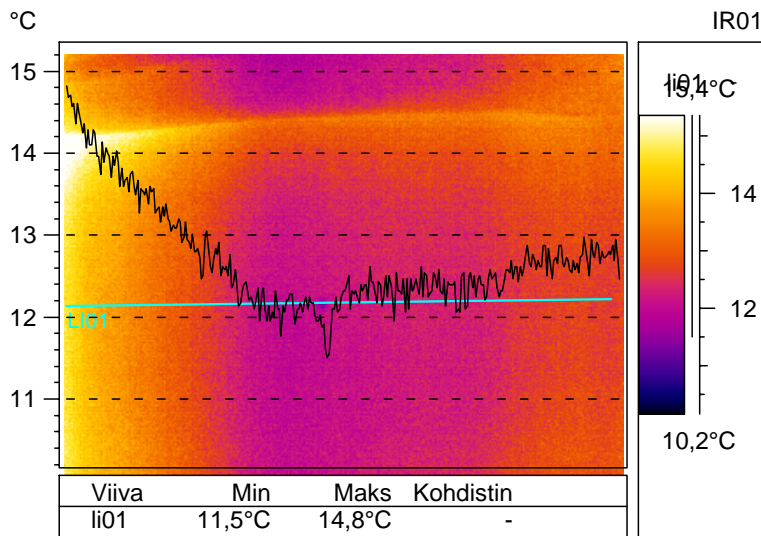
Aika

pvm

**H0828-01.img**

17:51:28

28.8.2007

**Maatuen etumuuri**

- eteläinen maatuki
- alus- ja päällysrakenteen sauma
- rakenteissa on pinnoite hilseillyt pahoin kosteuden takia

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	3,0 m
Taustalämpötila	20,8°C
Vertailulämpötila	*
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	16,3°C
L.kuva : min	11,2°C
LI01 : maks	14,8°C
LI01 : min	11,5°C
LI01 : maks-min	3,3°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Etumuurien betonipinnat oli pinnoitettu edellisen korjauksen yhteydessä.
- Korjauksesta on aikaa 10 vuotta.
- Pinnoite on hilseillyt rakenteessa pahoin.
- Hilseily johtuu rakenteen läpi suotautuvasta kosteudesta.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Lämpökuvan keskellä näkyy viileämpi alue violetin värisenä.
- Profiilikäyrän piikki alaspäin on yhden pistemäisen vuotokohdan päällä.
- Kuvan yläreunassa näkyy kansilaattaa.
- Alus- ja päällysrakenteen saumassa ei ole kuvan alueella vuotokohtia.
- Lämpökuvan reunojen lämpötilaero kuvan keskusta verrattaessa saattaa johtua kuvakulman aiheuttamasta virheestä.
- Olosuhdetiedot ja rakenteen lämpötilat käyrältä on ao. taulukossa.

Helsingintien aks, Järvenpää

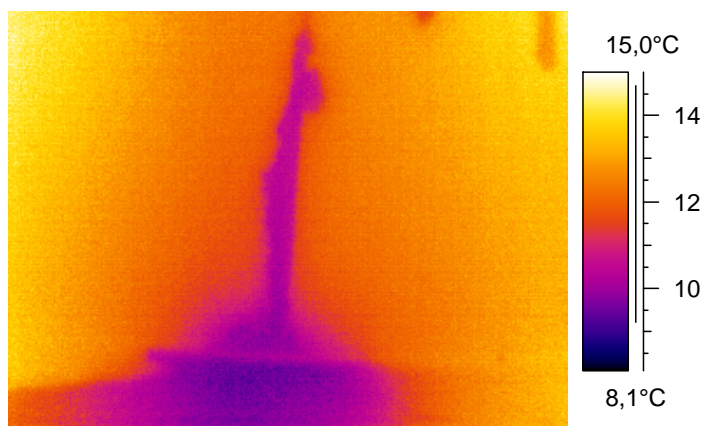
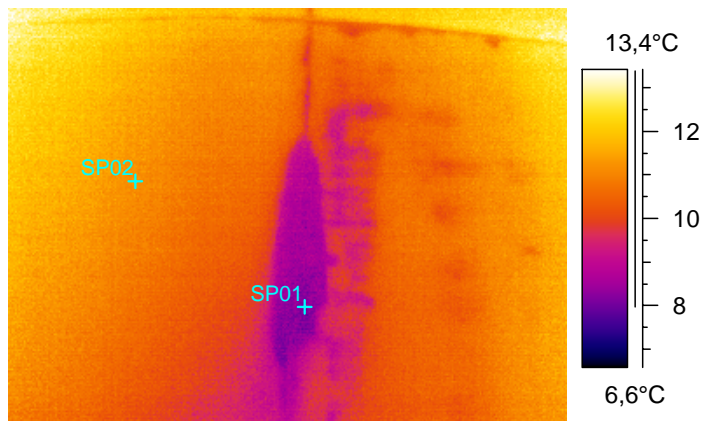
Aika

pvm

**H0828-08.img**

17:58:20

28.8.2007

**Maatuen etumuuri**

- eteläinen maatuki
- liikuntasauman vuoto

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	1,0 m
Taustalämpötila	14,5°C
Ilman lämpötila	14,0°C
Suhteellinen kosteus	0,66
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	13,5°C
L.kuva : min	7,7°C
SP01	7,9°C
SP02	11,6°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Etumuurien liikuntasaumoissa on vuotoja.
- Betonipintojen pinnoite oli hilseillyt voimakkaasti.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Liikuntasauman vuotokohtadassa märän betonipinnan lämpötila on laskenut huomattavasti kosteuden haihtumisen takia.
- Alemmassa lämpökuvan on alareunassa on vesi lätäköitynyt jalkakäytävän päällysteelle.
- Olosuhdetiedot ja pistelämpötilat on oheisessa taulukossa.

Helsingintien aks, Järvenpää

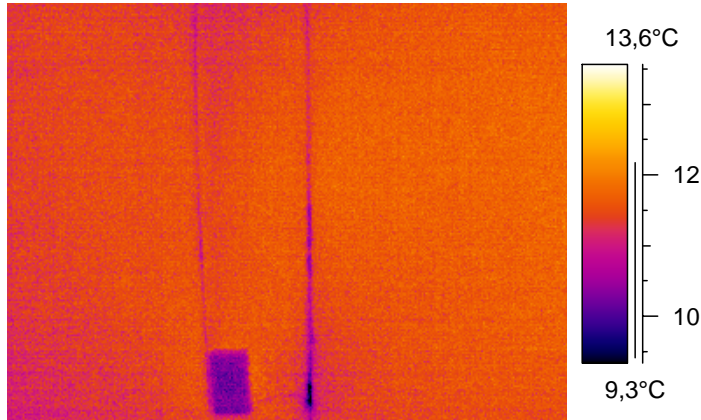
Aika

pvm

**H0828-12.img**

17:59:44

28.8.2007

**Kansilaatan alapinta**

- pituussuuntainen liikuntasäama
- kansilaatta on jaettu kolmella pituussuuntaisella säamalla neljään osaan

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	2,5 m
Taustalämpötila	14,0°C
Ilman lämpötila	13,0°C
Suhteellinen kosteus	0,66
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	12,3°C
L.kuva : min	8,9°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Laatan saumoissa on insuliittilevyt, joista osa on irronnut ja roikkuu saumoista.
- Saumoissa on paikoin vuotoja.
- Saumoissa oli paikoin kalkkipuikkoja.
- Laajoja vuotavia saumoja ei laatan osalla havaittu.
- Laatasta tehdyt suhteellisen kosteuden mittaustulokset olivat kaikki (4 kpl) RH 99 - 100 %.
- Sillan vedeneristysenä oli jutekangas ja bitumi. Avauksissa (2 kpl). vedeneristys oli kovettunut/huonokuntoinen.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Kuvan alareunassa on yksittäinen viileämpi kohta. Se voi olla saumasta roikkuva insuliittilevy.
- Varsinaista vesivuotoa ei saumassa kuvan perusteella ole
- Sauman vieressä tummana erottuva kohta on valaisin ja siitä lähtevä johto sauman suuntaisesti.
- Valaisin ei kuvan perusteella ole ollut päällä, sillä se on viileä.
- Olosuhdetiedot on kerätty oheiseen taulukkoon.

Helsingintien aks, Järvenpää

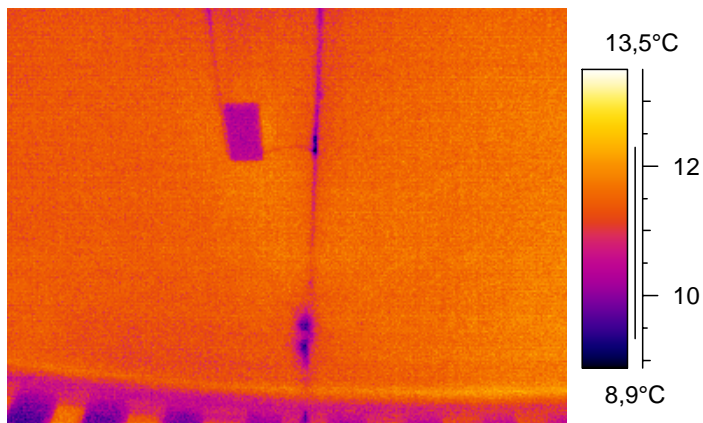
Aika

pvm

**H0828-14.img**

18:00:07

28.8.2007

**Kansilaatan alapinta**

- pituussuuntainen sauma
- kuvan alareunassa näkyy välitukipilareita

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	2,5 m
Taustalämpötila	14,0°C
Ilman lämpötila	13,0°C
Suhteellinen kosteus	0,66
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	12,5°C
L.kuva : min	8,9°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Laatan saumoissa on insuliittilevyt, joista osa on irronnut ja roikkuu saumoista.
- Saumoissa on paikoin vuotoja.
- Saumoissa oli paikoin kalkkipuikkoja
- Kansilaatassa oli erittäin korkea kosteusrasitus kauttaaltaan. Sillan vedeneristys oli tehdyissä avauksissa huonokuntoinen.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Kuvassa näkyy saumassa kaksi selvästi ympäristöään viileämpää kohtaa.
- Toinen kohta (kuvassa alempana) on todennäköisesti vuoto, sillä sen muoto on epämääräinen. Ylempänä näkyvä pieni tumma kohta on todennäköisesti saumasta irronnut insuliittilevy.
- Sauman vasemmalla puolella on laatan alapinnan valaisin.
- Olosuhdetiedot on oheisessa taulukossa.

Helsingintien aks, Järvenpää

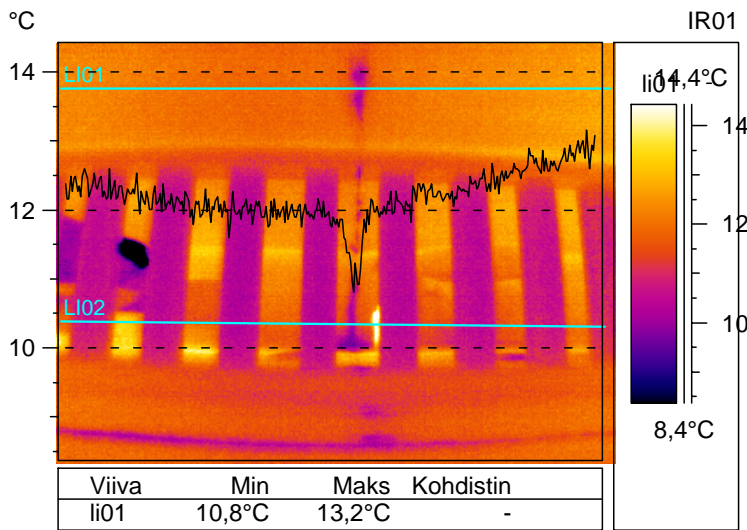
Aika

pvm

**H0828-17.img**

18:00:59

28.8.2007

**Kansilaatan alapinta / sauma**

- pituussuuntainen liikuntasauva
- läntisin sauma
- kuva pohjoiseen etumuriin päin
- taustalla vuotava sauma

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Taustalämpötila	14,5°C
Ilman lämpötila	14,0°C
Suhteellinen kosteus	0,66
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	17,0°C
LI01 : maks	13,2°C
LI01 : min	10,8°C
LI01 : maks-min	2,3°C
LI02 : maks	15,3°C
LI02 : min	10,0°C
LI02 : maks-min	5,3°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Kansilaatan alapinnassa oli kauttaaltaan kosteuden aiheuttamaa pinnoitteen hilseilyä. Betonin suhteellisen kosteus oli laatassa RH 99 - 101 % (4 mittausta). Olosuhteet on koottu oheiseen taulukkoon.
- Pintarakenteiden avauksessa vedeneristys oli huonokuntoinen.
- Vaurioiden, havaintojen ja mittausten mukaan laatan vedeneristys vuotaa.
- Sauman reunoilla havaittiin kosteusjälkiä vuodoista.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Kuvassa saumat näkyvät ympäristöään viileämpinä. Kohdan pistelämpötilat on oheisessa taulukossa.
- Kuvassa laatan betonin korkea kosteusprosentti ei erotu, sillä rakenteet ovat tasaisesti hyvin kosteita. Teoriassakin ainoastaan laatan halkeilu ja vuodot saattaisivat näkyä kuvassa.
- Pohjoisen etumuurin vuoto näkyy kuvissa ja arvoissa LI02.
- Pilarin vieressä näkyy ihminen lämpöisenä.

Helsingintien aks, Järvenpää

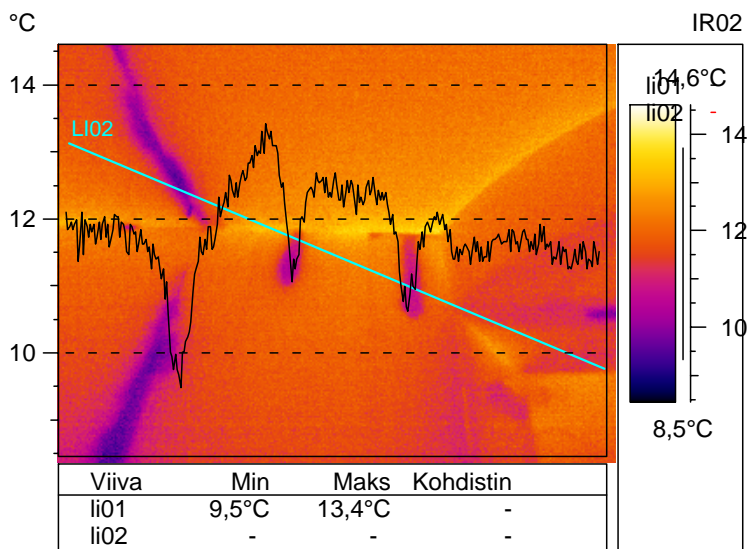
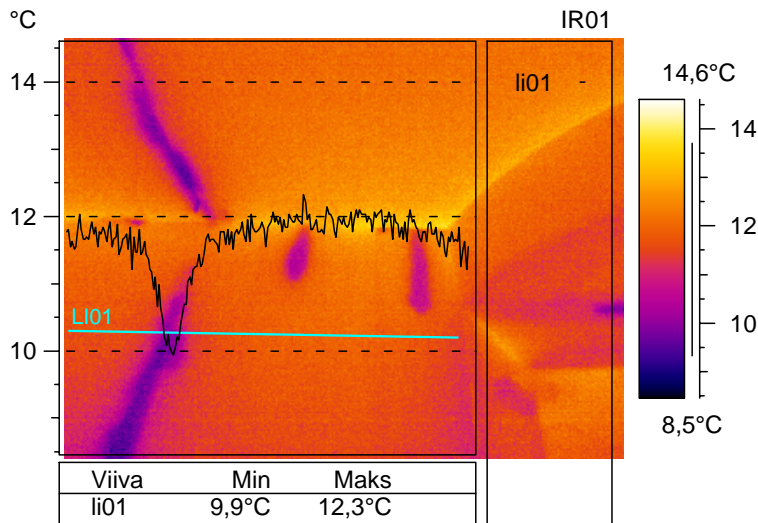
Aika

pvm

**H0828-21.img**

18:03:40

28.8.2007



Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	3,0 m
Taustalämpötila	14,5°C
Ilman lämpötila	14,0°C
Suhteellinen kosteus	0,66
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	13,9°C
L.kuva : min	9,1°C
LI01 : maks	12,3°C
LI01 : min	9,9°C
LI01 : maks-min	2,4°C

Objektin	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys	3,0 m
Taustalämpötila	14,5°C
Ilman lämpötila	14,0°C
Suhteellinen kosteus	0,66
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	13,9°C
L.kuva : min	9,1°C
LI02 : maks	13,4°C
LI02 : min	9,5°C
LI02 : maks-min	3,9°C

**Maatuen etumuuri**

- pohjoinen etumuuri
- pituussuuntainen sauma
- alus- ja päällysrakenteen sauma

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Saumoissa on tuoreita vuotojälkiä.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Laatan alapinnalla tai etumuurissa ei erotu erityisiä kosteita alueita, sillä mittausten ja havaintojen mukaan ne ovat kauttaaltaan täysin märät.
- Saumoista on tuoreita vuotoja betonipinnoille.
- Ylemmän kuvan mittaustulokset ovat vasemmanpuoleisessa taulukossa.

Helsingintien aks, Järvenpää

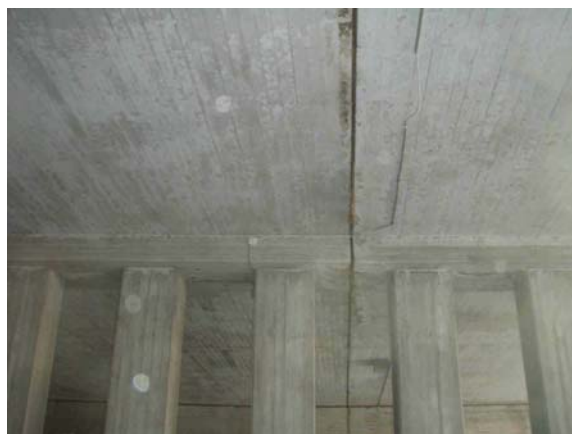
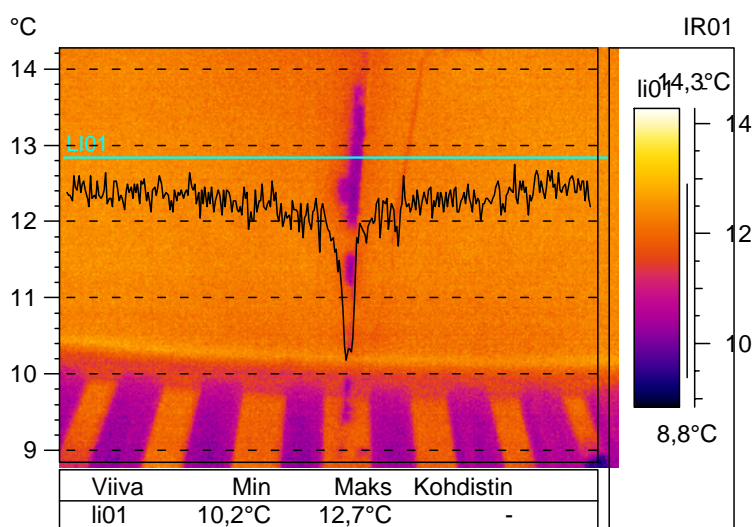
Aika

pvm

**H0828-22.img**

18:04:08

28.8.2007

**Kansilaatan alapinta**

- laatan pituussuuntainen sauma
- kuvan alareunassa välitukipilareja

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	6,0 m
Taustalämpötila	14,0°C
Ilman lämpötila	14,0°C
Suhteellinen kosteus	0,66
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	13,0°C
L.kuva : min	9,1°C
LI01 : maks	12,7°C
LI01 : min	10,2°C
LI01 : maks-min	2,6°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Laatan alapinnassa on kauttaaltaan pinnoite hilseillyt.
- Halkeamia tai vuotoja ei laatan betonissa havaittu.
- Liikunta- ja työsaumat vuotavat yleisesti.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Laatan alapinnassa ei ole erityisiä vuotokohtia.
- Liikunta- ja työsaumat vuotavat lämpökuvan perusteella.
- Olosuhdetiedot ja rakenteen lämpötilat ovat oheisessa taulukossa.

Helsingintien aks, Järvenpää

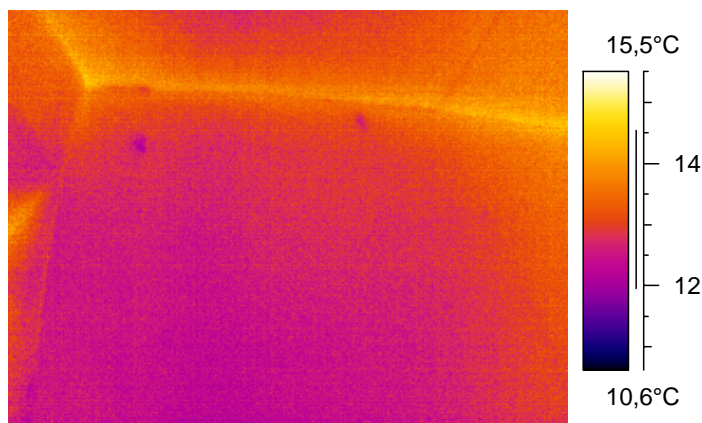
Aika

pvm

**H0828-23.img**

18:05:30

28.8.2007

**Maatuen etumuuri**

- pohjoinen etumuuri
- portaikon itäpuoli

Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	3,0 m
Taustalämpötila	13,0°C
Ilman lämpötila	14,0°C
Suhteellinen kosteus	0,66
Tunniste	Arvo
L.kuva : maks	14,7°C
L.kuva : min	11,9°C

**SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT:**

- Portaikon itäpuolella pystysaumassa oli yksi pistemäinen tummentunut kohta
- Alus- ja päällysrakenteen saumassa oli hieman betonipinnan tummentumaa.

**LÄMPÖKUVAN ANALYYSI:**

- Pistemäiset vuotokohdat ovat viileämpiä kuin muu betoni, mutta lämpötilaero ei ole suuri, joten voimakasta vuotoa ei kohdista ole. (ao. taulukko)
- Alus- ja päällysrakenteen sauman kosteat kohdat erottuvat kuvasta, mutta varsinaisia vuotoja ei ainakaan kuvaushetkellä ollut.
- Etumuurin betonipinta on kuvassa suhteellisen tasalämpöinen.
- Lämpökuvaa on hieman epätarkka.
- Olosuhdetiedot ovat oheisessa taulukossa





## Mittaustulokset

Lämpökuvista saatiin seuraavat tulokset:

KUVA 1.

- Betonipinnan lämpötila on melko tasainen kuvan aluella eikä erityisiä vuotoja näy. Betonipinnan pinnoitteen voimakas hilseily indikoi kuitenkin tasaista kohonnutta kosteusrasitusta.

KUVA 2.

- Etumuurien saumoissa on vuotoja ja lämpökuvissa vuodot näkyvät kostean betonipinnan alentuneena lämpötilana

KUVA 3.

- Pituussuuntaisessa saumassa ei näy laajoja vuotoja.  
- Kuitenkin yleisesti laatan betonissa on erittäin korkea suhteellinen kosteus.

KUVA 4.

- Kuvassa näkyi saumassa kaksi selvästi ympäristöään viileämpää kohtaa. Muuten saumasta ei ole vuotoa.  
- Toinen kohta on todennäköisesti vuoto, sillä sen muoto on epämääräinen. Ylempänä näkyvä pieni tumma kohta on todennäköisesti saumasta irronnut insuliittilevy.

KUVA 5.

- Kuvassa saumat näkyvät ympäristöään viileämpinä.  
- Kuvassa laatan betonin korkea kosteusprosentti ei erotu, sillä rakenteet ovat tasaisesti hyvin kosteita.  
- Pohjoisen etumuurin liikuntasauvan vuoto näkyy kuvassa.

Kuva 6.

- Laatan alapinnalla tai etumuurissa ei erotu erityisiä kosteita alueita, sillä mittausten ja havaintojen mukaan ne ovat kauttaaltaan täysin märät.  
- Pituussuuntaisesta, alus- ja päällysrakenteen sekä etumuurin pystysaumasta on vesivuotoja betonipinnoille.

**KUVA 7.**

- Laatan alapinnassa on kauttaaltaan kohonnut kosteusrasitus.
- Liikunta- ja työsaumat vuotavat.

**KUVA 8.**

- Etumuurin pistemäiset vuotokohdat ovat viileämpiä kuin muu betoni, mutta lämpötilaero ei ole suuri, joten voimakasta vuotoa ei kohdista ole.
- Alus- ja päällysrakenteen sauman kosteat kohdat erottaa kuvasta, mutta varsinaisia vuotoja ei ainakaan kuvaushetkellä ollut.
- Etumuurin betonipinta on kuvassa suhteellisen tasalämpöinen.
- Pinnoitteen voimakkaasta hilseilystä päätellen kosteusrasitus on koholla.

## Yhteenveto

Tehdyn lämpökuvauksen perusteella sillan rakenteiden saumat vuotavat lähes joka rakenteessa ainakin jonkin verran. Tehtyjen tutkimusten perusteella kansilaatan betonin suhteellinen kosteus on voimakkaasti koholla kauttaaltaan sillan rakenteissa. Kansilaatasta tulee kosteus läpi kannen vedeneristyksen huonon kunnon takia. Maatukien etumuureihin pääsee kosteutta taustapuolen puutteellisen kosteuseristyksen takia. Muuten betonipinnoissa ei havaittu yksittäisiä voimakkaita vuotokohtia.

Lämpökuvauksella saatiin loogisia ja muiden tutkimusmenetelmien kanssa vertailukelpoisia tuloksia.