

Kai Mettälä

Automaattinen kosteuden mittausjärjestelmä

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Tekniikan yksikkö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Kai Mettälä

Työn nimi: Automaattinen kosteuden mittausjärjestelmä

Ohjaaja: Heikki Palomäki

Vuosi: 2014

Sivumäärä: 37

Liitteiden lukumäärä: 2

Työn tarkoituksena oli tutkia ja suunnitella vesivahinkoja ja kosteusvaurioita ennaltaehkäisevä kiinteä automaattinen kosteusmittausjärjestelmä asuintilojen kosteisiin tiloihin. Tavoitteena oli suunnitella järjestelmä, jolla rakenteisiin tunkeutuva kosteus voitaisiin havaita jo hyvissä ajoin, sekä ennalta ehkäistä kosteusvauriot useamman vuoden ajalta betonirakenteista.

Työssä tutkittiin kosteuden mittaamista ilman erillistä kosteuden mittausanturia. Työssä mitattiin eri materiaaleista valmistettuja johtimia, kuten alumiini- sekä kuparijohtimia ja ruostumattomia teräslankoja. Tarkoituksena oli löytää luotettavin sekä kestävin vaihtoehto betonirakenteisiin. Johtimista mitattiin kapasitiivisuutta sekä resistanssia, riippuen johdin tyypistä. Lisäksi mitattiin kosteuden vaikutusta niihin valussa.

Avainsanat: vesivahinko, kosteusvaurio, kosteusmittausjärjestelmä, johdin, anturi.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Technology

Specialisation: Electricity Automation

Author: Kai Mettälä

Title of thesis: Automatic moisture measuring system

Supervisor: Heikki Palomäki

Year: 2014

Number of pages: 37

Number of appendices: 2

The objective of the project is to design a fixed preemptive moisture measurement system for wet spaces in residential facilities, which would measure and detect moisture and water damages automatically. The aim is to design the most effective system with which you can detect moisture that is starting to penetrate into the structures, as well as to prevent any moisture damages for a number of years.

The aim was to measure humidity without moisture sensors. The measurements were taken from the wires made of different materials, such as aluminum, copper and stainless steel. The aim was to find the most reliable and durable alternative for concrete structures. The capacitance and resistance were measured from the wires, depending on the cable type. Also Moisture's effect on the casting was measured.

Keywords: water damage, water damage, moisture measurement system, wire, a sensor,

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 Johdanto.....	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoite	8
1.3 Työn rakenne	9
2 Kosteus rakenteissa.....	10
2.1 Kosteus	10
2.2 Kosteuden liikkuminen materiaalissa	10
2.3 Kapilaarinen siirtyminen	10
2.4 Kosteus betonissa.....	11
2.5 Kuivumisen merkitys	14
3 Mittaustavat.....	15
3.1 Sisäilman mittaus	15
3.2 Pintakosteusmittaus.....	15
3.3 Mittaukset tuuletustiloissa	16
3.4 Rakenteiden sisältä mittaaminen	16
4 Mittauksessa käytettävät laitteet	18
4.1 LC-oskillaattorit	18
4.2 Clapp-oskillaattori.....	18
4.3 Mikrokontrolleri.....	19
4.4 Johtimet ja johdinmateriaalit.....	20
5 Mittauspisteiden sijoittelu	24
5.1 Mittauspisteet.....	25
5.1.1 Yksittäinen mittausjohdin	25
5.1.2 Useampi mittausjohdin.....	27

6	Yhteenveto ja pohdinta	29
6.1	Valaminen	29
6.2	Johtimissa käytetyt eristemateriaalit.....	30
6.3	Mittausarvojen tarkkailu	30
6.4	Pohdintaa.....	30
6.5	Mittausyksikön sijoitus.....	31
7	Mittaustulokset	32
8	Mittaustulosten tarkastelu	33
	LÄHTEET	36
	LIITTEET	38

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Kapilaari-ilmiö (Kettunen [Viitattu 15.3.2014]).	11
Kuvio 2. Lämpötilan vaikutus betonin kuivumiseen (Reditalot [Viitattu 11.4.2014]).	12
Kuvio 3. Paksuuden vaikutus betonin kuivumiseen (Reditalot [Viitattu 11.4.2014]).	13
Kuvio 4. Olosuhteiden vaikutus kuivumiseen (Reditalot [Viitattu 11.4.2014]).	14
Kuvio 5. Suhteellinen kosteus rekenteissa (Sisäilmayhdistys 2008).	17
Kuvio 6. Clapp-oskilaattorin periaatekuva (Poroilo 1980, 47).	19
Kuvio 7. Esimerkki mikrokontrollerista (Mikrokontrolleri [Viitattu 4.4.2014]).	20
Kuvio 8. Yksisäikeinen kytkentäjohdin	22
Kuvio 9. Monisäikeinen kytkentäjohdin	22
Kuvio 10. Hienosäikeinen kytkentäjohdin.	22
Kuvio 11. Johdinmateriaalien ominaisresistanssit ja lämpötilakertoimet (Harraste-elektronikka [Viitattu 14.4.2104]).	23
Kuvio 12. Mittauspisteen sijoituskuva betonissa (Vinha [viitattu 14.3.2012]).	24
Kuvio 13. Mittauspisteiden sijoituskuva sivulta (Kosteus rakentamisessa [viitattu 14.4.2014]).	25
Kuvio 14. Yksittäisen mittausjohtimen kaapelointikuva	27
Kuvio 15. Useamman mittauspisteen kaapelointikuva	28
Kuvio 16. Mittauslaite Hameg HM8118 LCR-Bridge	32
Kuvio 17. Esimerkkimittaus	32

Käytetyt termit ja lyhenteet

Permittiivisyys	Fysikaalinen suure, jolla kuvataan väliaineen vaikutusta siihen kohdistuvaan sähkökenttään (Heiniö & Buchert, 1969, 110).
Dielektrinen vakio	Kutsutaan myös suhteelliseksi permittiivisyydeksi, joka kertoo tyhjiön permittiivisyyden suhteessa väliaineen permittiivisyyteen (Heiniö & Buchert 1969, 110).
Kalibrointi	Toimenpide, jolla mittauslaitteen suureiden ja standardiarvojen välinen yhteys määritetään.
Kapilaari-ilmiö	Huokosalipaineen vaikutuksesta materiaaliin imeytyy vettä, materiaali on suorassa kosketuksessa veteen tai se on kosketuksissa toiseen kapilaarialueeseen, kuten maaperä (Kettunen [Viitattu 15.3.2014]).
Kapasitanssi	Suure F (faradi), jossa latautuneen sähkövarauksen ja virtapiirissä olevien komponenttien välinen potentiaaliero suhde määritellään (Mäkelä ym. 2005, 119).
Resistanssi	Suure R , jolla määritellään virranvastustuskykyä virtapiirissä (Mäkelä ym. 2005, 120).

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Nykyään asuinrakennusten pesuhuoneissa ja kosteissa tiloissa tapahtuu yhä useammin vesivahinkoja, jotka huomataan vasta liian myöhään. Työn tarkoituksena on suunnitella kestävä ja luotettava automaattinen kosteusmittausjärjestelmä asuinrakennusten kosteisiin tiloihin. Rakenteisiin tunkeutuva kosteus tulisi havaita jo hyvissä ajoin, jotta vauriot olisivat helpompi ennalta ehkäistä. Kosteuden tunkeutumista rakenteisiin suojataan rakenteellisilla aineksilla, kuten kosteussuojauksella ja vesieristystuotteilla, jotka voivat myös pettää ajan myötä. Kuitenkaan varmuutta ja tietoa rakenteisiin tunkeutuvasta vedestä ja kosteudesta ei ole, joten automaattinen kosteudenmittausjärjestelmä on ennalta ehkäisemässä suurempien vahinkojen syntymistä. Jos kosteus kuitenkin tunkeutuu rakenteisiin, voidaan se helposti havaita mikrotietokoneessa hälytyksen antamaa tietoa tarkkailemalla.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena oli suunnitella automaattinen kosteuden mittausjärjestelmä, jolla rakenteisiin tunkeutuvaa kosteutta voitaisiin tarkkailla vuosien mittaan. Työssä tutkitaan parempaa vaihtoehtoa nykyisille järjestelmille, jotka ovat hyvin kalliita. Asentaessa kosteuden mittausjärjestelmään on hyvin vaikea sanoa, ovatko anturit oikein asennettuja, ja voidaanko luottaa niiden toimintaan vielä betonin valamisen jälkeen. Pesuhuoneen lattiassa käytettävässä betonissa on runsaasti vettä, ja vesi voi helposti vahingoittaa kosteusantureita, antureiden vaihtaminen on melko mahdotonta betonivalun kuivuttua.

Työssäni tarkkaillaan kosteuden mittausta ilman kosteusantureita. Kosteutta havainnoidaan permittiivisyyttä tarkkailemalla tai antamalla sähköimpulssia mikrotietokoneeseen, nämä kertovat kosteusmuutoksista kapasitanssi- tai resistanssiarvojen muutoksella. Kosteutta tarkkailevat kaapelit antavat sähköimpulssia mikrotietokoneeseen ja tämä antaa hälytyksen kosteusmuutoksista. Tarkkailupisteet tulisi

sijoittaa lattiassa 20 – 50 mm syvyyteen ja seinästä 30 – 60 mm, sekä lattiakaivojen läheisyyteen tai ympärille.

1.3 Työn rakenne

Johdannossa kerrotaan työstä ja sen tavoitteesta. Toisessa luvussa havainnoidaan kosteuden vaikutusta rakenteissa ja miten kosteus rakenteissa siirtyy. Eri materiaalit vaikuttavat kosteuden siirtymiseen, joten on tiedettävä millaista materiaaleja mitataan. Kolmannessa luvussa kerrotaan erilaisista mittaustavoista ja millaisia erilaisia vaihtoehtoja kosteutta mitattaessa on käytettävissä. Kosteutta mitattaessa erilaiset vaihtoehdot ovat erittäin tärkeitä, jotta mittaus olisi mahdollisimman luotettava. Mittausta tehtäessä on tiedettävä, missä ajankohdassa ja miten mittaus tapahtuu. Neljännessä luvussa kerrotaan tärkeimmät mittauksessa käytettävät komponentit ja miten itse mittaus suoritetaan. Viidennessä luvussa esitetään pelkistetysti kahta erilaista vaihtoehtoa mittauksen johdottamiseen pesuhuoneessa. Kuudennessa luvussa esitetään johdinten valamisesta betoniin, johtimissa käytetyistä materiaaleista työssä, mittausrvojen tarkastelusta, pohdintaa asennuksesta, sekä kerrotaan mittaussyksikön sijoituksesta. Lopussa kerrotaan mittalaitteesta ja mittaustulosten tarkasteluista.

2 Kosteus rakenteissa

2.1 Kosteus

Materiaalissa kosteusmäärä ilmoitetaan kuivan ja kostean aineen massan välisenä suhteena RH (relative humidity) on prosentuaalinen lukuarvo suhteelliselle kosteudelle aineen kuivapainosta, joten mittaustulokset suhteellisessa kosteudessa ilmoitetaan RH%-arvona. RH-arvo ilmoittaa aineen absoluuttisen kosteuden ja vesihöyryn kylläisen kosteuden suhteena tietyllä lämpötilalla (Siikanen 1996, 55).

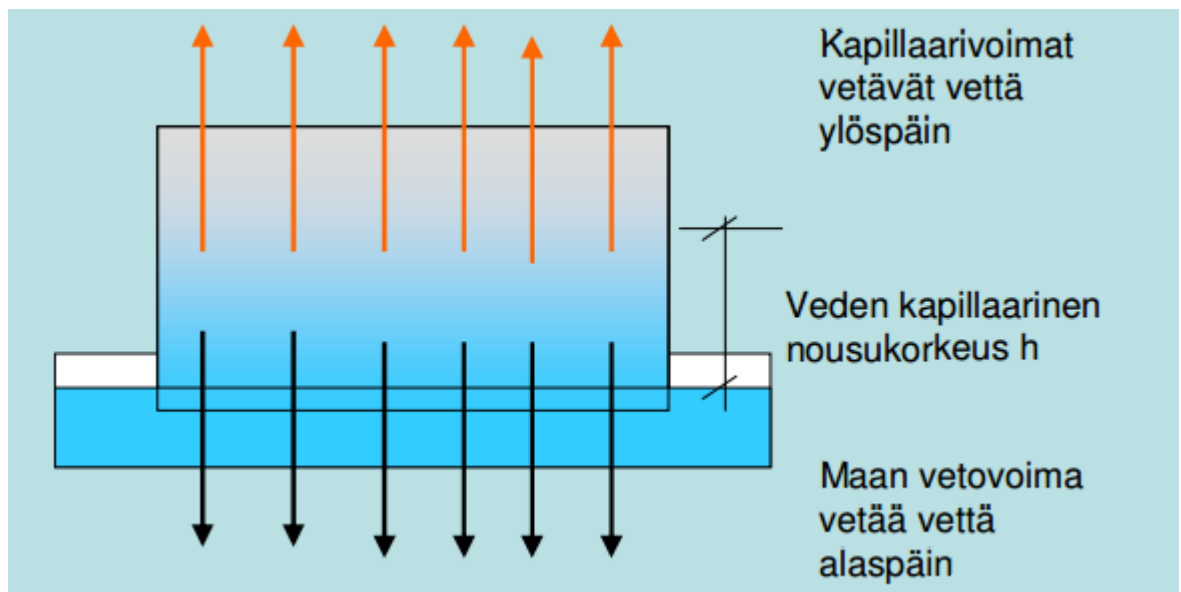
2.2 Kosteuden liikkuminen materiaalissa

Ulkoiset voimat vaikuttavat kosteuden liikkumiseen materiaalissa ja ne voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään. Kosteuden kulkeutumista materiaaliin kutsutaan absorptioksi, jossa kosteus siirtyy materiaaliin vedestä, ilmasta tai toisesta kosteasta aineesta. Kosteuden kulkeutumista materiaalissa kutsutaan sorptioksi ja kosteuden kulkeutumista materiaalista kutsutaan desorptioksi. Desorptiossa materiaalin kuivussa kosteus siirtyy ympäristöön. Materiaaleilla on kyky luovuttaa ja sitoa kosteutta, jota kutsutaan kosteuskapasiteetiksi. Huokoinen materiaali pystyy luovuttamaan kosteutta tai sitomaan kosteutta. Kosteus asettuu tasapainotilaan materiaalissa ympäristön mukaan, tällöin sitä kutsutaan hygroskooppiseksi tasapainokosteudeksi. Se vaihtelee eri materiaaleilla. Betonissa tähän voi kulua vuosia. Jos hygroskooppisuus ilmassa on RH 100 %, tällöin aine ylittää kriittisen kosteuspitoisuuden ja siirtyminen tapahtuu nesteenä. Näin aine on siirtynyt kapilaariselle alueelle eikä ole huokosissa vesihöyrynä vaan vetenä (Siikanen 1996, 61; Björkholz 1997, 59 – 63).

2.3 Kapilaarinen siirtyminen

Vesi siirtyy rakenteisiin painovoiman vaikutuksesta, mutta kapilaari-ilmiössä veden painovoimaisella siirtymisellä on painovoiman kanssa harvoin merkitystä, sillä kapilaarivoimat ovat usein suurempia kuin painovoima. Veden siirtyminen karkeara-

keisissa aineissa johtuu painovoimasta eikä kapillaarisuudesta. Veden painovoimaista siirtymistä esiintyy usein saumoissa ja halkeamissa. Kapilaari-ilmiössä materiaalin huokosalipaine vaikuttaa jokaiseen suuntaan, joten kosteuden on mahdollista siirtyä materiaalissa joka suuntaan. Jos huokosalipaine ja painovoima ovat tasapainossa, saavutetaan kapillaarinen kosteustasapaino (Kettunen [Viitattu 15.3.2014]).



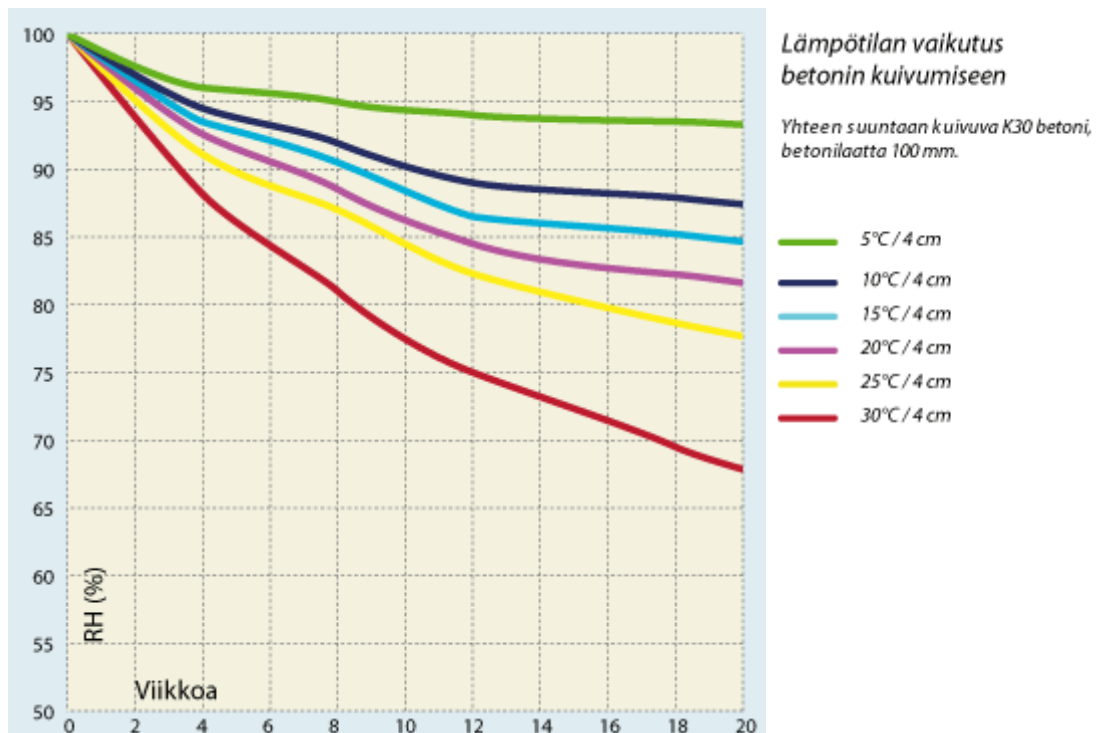
Kuvio 1. Kapilaari-ilmiö (Kettunen [Viitattu 15.3.2014]).

Kapilaari-ilmiössä vesi liikkuu materiaalissa pienissä huokosissa. Materiaalin ollessa kosketuksissa pitkään veden kanssa, syntyy kapilaari kyllästyminen. Kapillaarisessa kyllästyemisessä materiaalin huokokset ovat täynnä vettä (Björkholz 1997, 53 – 57).

2.4 Kosteus betonissa

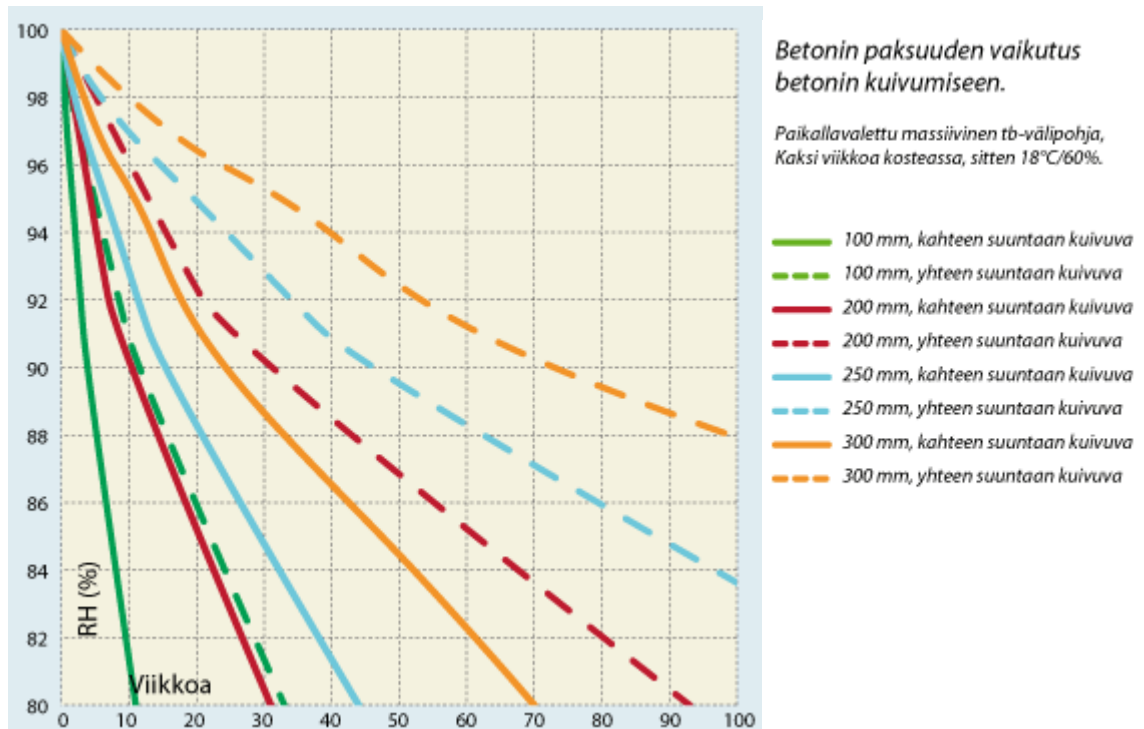
Juuri valetussa betonissa suhteellinen huokosten ilmatilassa kosteus on 100 %. Valmistusvaiheessa betonimassassa on vettä noin 180 l/m³, joten kuivuminen tapahtuu erittäin hitaasti. Koska rakennuksen suhteellinen ilmankosteus on pienempi, kuin kosteus betonin huokosissa, seurauksena on betonin kuivuminen. Suurin

osa vedestä poistuu betonista haihtumalla ja osa vedestä sitoutuu betoniin kemiallisesti. Betonin kuivuminen voi kestää useita vuosia, mutta rakennusvaiheessa sen ei tarvitse saavuttaa tasapainokosteutta (kuvio 2). Kuivumisvaatimuksia on noudatettava, jos betoni päällystetään kosteusherkillä materiaaleilla, mutta silloinkin suhteellisen kosteuden arvo noin 80 %. Alussa betonivalun alkaa kuivua pinnasta haihtumalla, joten sisäosissa oleva kosteus alkaa siirtyä kapilaarialueelta pintaa kohti. Pian betonin pintaosat tavoittelevat tasapainokosteuteen ympäristön kanssa ja kuivuminen etenee syvemmälle valussa. Kuivuminen hidastuu merkittävästi mitä syvemmälle valua kuivuminen siirtyy, koska betonin huokosissa vesi liikkuu vesihöyrynä. Betonin kuivumisen nopeuttamiseksi se tarvitsee lämpöä. Lämpötilan noustessa vesihöyryn paine kasvaa ja vesi poistuu rakenteista nopeammin. 20 celsiusasteen lämpötilannousu nopeuttaa betonin kuivumista jopa puolella, mutta 20 celsiusastetta on useimmiten betonin kuivumiseen vaadittava lämpötila (Merikallio 2002, 11 – 13, 33 – 37; Lindberg 2002, 7; Reditalot [Viitattu 11.4.2014]).



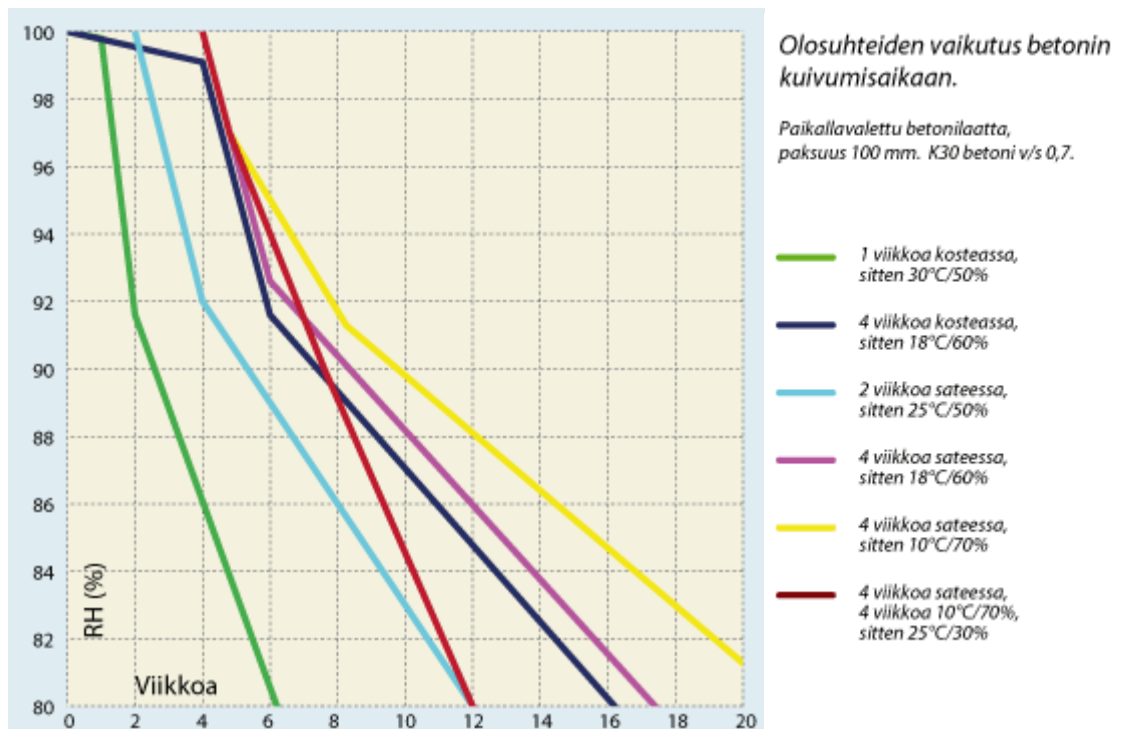
Kuvio 2. Lämpötilan vaikutus betonin kuivumiseen (Reditalot [Viitattu 11.4.2014]).

Betonin kuivumiseen vaikuttaa myös raekoko, joista yleisimpinä käytetään K30–40. Mitä suurempi raekoko on, sitä lyhyempi on betonin kuivumisaika. Olosuhteiden ollessa optimaaliset betoni voi kuivua yhden senttimetrin viikossa (kuvio 3). Betonikerroksen toisessa pinnassa saattaa olla vesihöyryä läpäisemätön ainekerros, tällöin betoni kuivuu vain yhteen suuntaan ja kuivumisaika kolminkertaistuu kahteen suuntaan kuivuvaan betoniin verrattuna (Merikallio 2002, 35 – 36; Lindberg 2002, 5; Reditalot [Viitattu 11.4.2014]).



Kuvio 3. Paksuuden vaikutus betonin kuivumiseen (Reditalot [Viitattu 11.4.2014]).

Betonin kuivumiseen vaikuttaa suuresti ympäröivän ilman suhteellinen kosteuspi-toisuus. Tavoitearvo suhteelliselle kosteudelle on RH 45 – 50 % (kuvio 4). Jos suhteellinen kosteus on alle edellä mainittujen arvojen, betonin kuivuminen ei merkittävästi vaikuta kuivumiseen. Talvella sisäilman lämmittäminen laskee si-säilman suhteellisen kosteuden helposti tarvittavalle RH 50 % -tasolle, kun taas kesällä tila on pidettävä mahdollisimman ilmatiiviinä, ettei ulkoa vuoda kosteaa ilmaa valettavaan tilaan. Kuivuminen alkaa vasta, kun lämpötila on tarpeeksi kor-kea tai tila on ilmatiivis (Merikallio 2002, 33 – 37; Lindberg 2002, 6; Reditalot [Vii-tattu 11.4.2014]).



Kuvio 4. Olosuhteiden vaikutus kuivumiseen (Reditalot [Viitattu 11.4.2014]).

2.5 Kuivumisen merkitys

Kuivumisella ja kosteuden siirtymisellä on suuri merkitys työssä, jotta tiedetään milloin kosteusarvot ovat suurimmillaan ja milloin suhteellinen kosteus normaalisti tietyissä olosuhteissa lähestyy RH 80 % -tasoa tai matalampi. Jos tiedetään miten kosteus rakenteissa liikkuu, on tällöin mahdollista asentaa mittausjohtimet siten, että saadaan luotettavia mittaustuloksia. Mittausjohtimien asentamisessa tulee huomioida valun syvyys ja millaiset materiaalit valettavaa kohdetta ympäröivät. Kaikissa betonityypeissä on erilaiset kuivumisajat ja kuivumiseen vaikuttavat lämpötila-arvot vaihtelevat.

3 Mittaustavat

Kosteusmittaukset voidaan jakaa neljään eri ryhmään:

- sisäilman mittaaminen
- pintamittaaminen eli kosteuden havaitseminen
- tuuletustilojen mittaaminen
- rakenteiden sisältä mittaaminen.

3.1 Sisäilman mittaus

Sisäilman kosteuteen vaikuttavat sisä- ja ulkoilman lämpötila sekä ilmankosteus. Sisäilman kosteus muuttuu myös vuodenaikojen mukaan. Kesällä vesihöyrypitoisuus voi alle 1 g/m^3 , kun vastaavasti taas kesäaikaan vastaava vesihöyrypitoisuus on lähellä 14 g/m^3 . Suhteellisen kosteuden keskiarvot muuttuvat kesällä välillä 60..80 % sekä talvella välillä 80...90 %. Sisäilman vesihöyrypitoisuus on arviolta $1 - 4 \text{ g/m}^3$ suurempi kuin ulkoilman vesihöyrypitoisuus. Mittauksia joudutaan tekemään useamman päivän ajalta, koska ilmankosteus saattaa muuttua muutamassa tunnissa paljonkin. Mittauksella yritetäänkin saada varmuus sisäilman laadusta tilan käyttäjille. Laitteet tulee kalibroida usein, jotta mittaukset olisivat mahdollisimman tarkkoja. Sisäilman kosteutta mitattaessa mittauslaitteet rasittuvat huomattavasti vähemmän kuin rakenteiden sisältä mitattaessa, siksi kalibroinnin tarkastusväli on rakenteiden sisältä mitattaessa tiheämpää (Sisäilmayhdistys [Viitattu 10.3.2014]; Björkholz 1997, 48 – 49).

3.2 Pintakosteusmittaus

Pesuhuoneissa pintakosteusmittaus on suuntaa antava ja hyvin epäluotettava menetelmä. Kuitenkin se voidaan suorittaa alustavana toimenpiteenä vesivahinkotapauksia kartoittaessa. Kuitenkaan varmuutta kosteuden tunkeutumisesta rakenteisiin ei näin voida saada. Mittauksissa tutkitaan sähkönjohtavuutta sekä dielektri-

syyttä. Pintakosteusmittaus ei kuitenkaan ilmaise, miten syvällä kosteus on. Mittausvälineitä löytyy erilaisia eri materiaaleille, ne eivät kuitenkaan välttämättä ilmaise rakenteissa olevaa kosteutta (Sisäilmayhdistys [Viitattu 10.3.2014]).

3.3 Mittaukset tuuletustiloissa

Tuuletustilojen mittauksen tavoitteena on selvittää, ovatko tuuletustilojen kosteuspitoisuudet haitallisen korkeat rakenteiden vaurioittamiseksi. Tuuletustilojen kosteusmittaukset tehdään rakenteiden pinnalta tai tuuletustilan ilmasta. Vähiten tuulettusta saavat alueet sekä poistoilmakanavan ilmavirrasta mitattava kosteus ovat tärkeimpiä mittausalueita. Tuuletustilan jatkuvalla mitaamisella saadaan tarkempia ja luotettavampia mittaustuloksia. Rakenteiden pinnoilta mitatusta kosteudesta voidaan huomata tuuletustilan kosteuden muutokset tietyltä aikaväliltä (Sisäilmayhdistys [Viitattu 10.3.2014]).

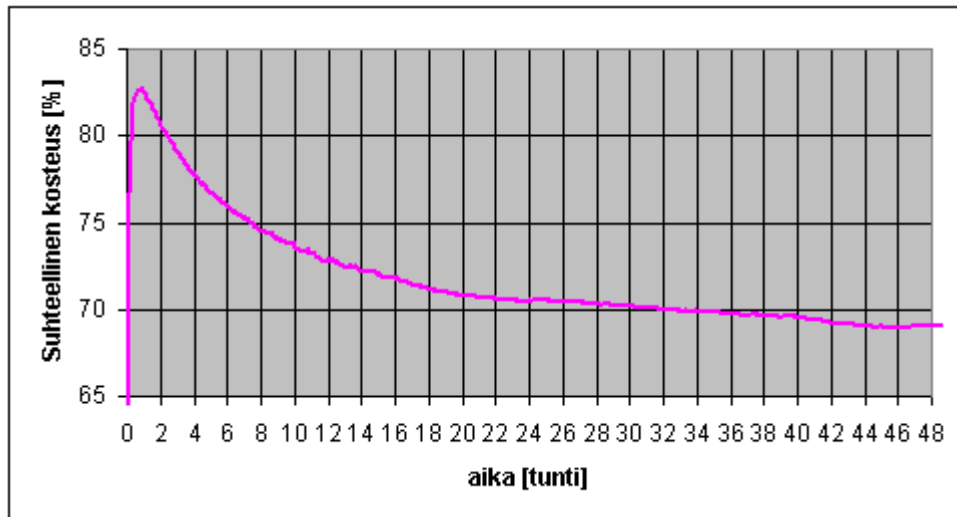
3.4 Rakenteiden sisältä mitaaminen

Kosteutta voidaan mitata rakenteista seuraavasti

- mitaamalla kosteus suhteellisesti
- mitaamalla kosteuspitoisuus materiaalista.

Suhteellisessa kosteusmittauksessa kosteusanturilla mitataan huokosilman kosteuspitoisuus rakenteesta ja verrataan kosteustasapainotilaa ilmassa olevaan suhteelliseen kosteuteen. Kun materiaalista mitataan kosteuspitoisuus, otetaan näytepala, josta määritellään kosteussisältö kuivaamalla näytepala tai punnituskuivausmenetelmällä. Suhteellista kosteutta mitattaessa samaa porausreikää ei voida hyödyntää useampaan kertaan. Syynä tähän on kosteusjakauma rakenteissa, mikä muuttuu pitkään tulpattuna olevalla porausreiällä. Tarkasteltava mittausreikä tulee putkittaa 16 mm:n muoviputkella, jonka tulee ulottua reiän pohjaan asti, jotta haluttu mittauslukema saadaan oikealta syvyydeltä. Mittausreiän lämpötilan tulee olla +15 ja +25 asteen välillä, jotta mittaustulokset olisivat vertailukelpoisia. Mittausputken pää tulee tiivistää ilmatiiviiksi, jotta mittaus olisi mahdollisimman

tarkka mitattaessa muutaman vuorokauden kuluttua (kuvio 5). Porauksen aiheuttama kosteusmuutos väärentää mittaustuloksia, joten mittaukset tulee suorittaa vasta 48 tunnin kuluttua porauksesta (Sisäilmäyhdistys [Viitattu 10.3.2014]).



Kuvio 5. Suhteellinen kosteus rekenteissa (Sisäilmäyhdistys 2008).

4 Mittauksessa käytettävät laitteet

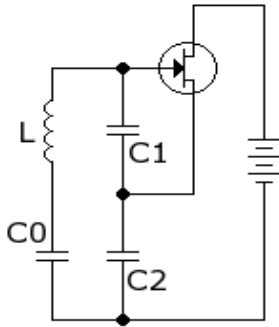
4.1 LC-oskillaattorit

LC-oskillaattori voidaan kutsua myös värähtelypiiriksi. LC-oskillaattori toimii kelan magneettikentän ja kondensaattorin sähkökentän välillä edestakaisen energia aiheuttamalla värähtelyllä. Värähtely on sinimuotoista, sen taajuus riippuu kondensaattorin kapasitanssista C ja kelan induktanssista L . Oskillaattori tarvitsee aina erillisen virtalähteen, jolla piiriin saadaan syötettyä lisää energiaa värähtelemällä (Poroilo 1980, 47).

Oskillaattorit ovat halpa ja yksinkertainen vaihtoehto mitattaessa kosteuden muutoksia. Yksinkertaisessa yhden johtimen mittauksessa, josta kerrotaan myöhemmin, oskillaattori on yksi parhaimmista vaihtoehtoista rakentaessa mittaussyksikköä. Oskillaattori on yksi monista vaihtoehtoista, joita voidaan hyödyntää mitattaessa kapasitanssi- sekä resistanssiarvojen muutoksia. Oskillaattoreita käytetään esimerkiksi metallinpaljastimissa. Niissä käämit on kytketty oskillaattoriin ja metallin osuessa käämin kohdalle, oskillaattorin kelan ja kondensaattoreiden arvot muuttuvat niin, että oskillaattori antaa hälytysäänen. Samoin kosteutta mitattaessa oskillaattori antaa hälytyksen tietyn resistanssi- tai kapasitanssiarvon ylittäessä.

4.2 Clapp-oskillaattori

Clapp-oskillaattori on mahdollista rakentaa transistoreita käyttämällä, sekä positiivista takaisinkytkennän verkkoa hyödyntäen. Clapp-oskillaattorissa käytetään kolmea kondensaattoria ja yhtä kelaa (kuvio 6). Jännitteenjaon muodostavat kondensaattori $C1$ ja kondensaattori $C2$, jolla määritetään takaisinkytkentäjännite transistorin tuloon. Clapp-oskillaattori on kuin Colpitts-oskillaattori, johon kondensaattori on kytkettynä sarjaan kelan kanssa (Clapp-oskillaattori [Viitattu 4.4.2104]).



Kuvio 6. Clapp-oskilaattorin periaatekuva (Poroilo 1980, 47).

Kondensaattorit C1 ja C2 muodostavat jännitteen jakajan, joka määrittää palautteen määrää jännitteen transistorin tuloon. Virtapiirin värähtelytaajuus f_0 saadaan laskettua hyödyntäen (Kaava 1), jossa käytetään FET- transistoria (Clapp-oskillaattori [Viitattu 4.4.2104]).

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L} \left(\frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)} \quad (1)$$

4.3 Mikrokontrolleri

Mikrokontrolleri on pieni mikropiiri, jossa on prosessori sekä muisti ja liityntälohkoja. Mikrokontrollereita käytetään hyvinkin yksinkertaisista monimutkaisiin elektronikkalaitteisiin. Mikrokontrolleri (kuvio 7) tarvitsee virtalähteen toimiakseen ja sitä voidaan kutsua pieneksi tietokoneeksi. Se on helppo ja edullinen valmistaa, mikä taas laskee laitteen hintaa. Mikrokontrolleri on helppo ohjelmoida jälkikäteen ja mahdollistaa pienien laitteiden valmistuksen (Mikrokontrolleri [Viitattu 4.4.2014]).



Kuvio 7. Esimerkki mikrokontrollerista (Mikrokontrolleri [Viitattu 4.4.2014]).

Normaali mikroprosessori käsittelee ainoastaan binääristä tietoa ja tarvitsee ulkoisen muistin toimiakseen. Silloin, jos tiedonmäärä ja tiedonnopeudet ovat suuria, prosessori on täydellinen valinta. Mikrokontrollerissa itsessään on prosessori, keskuslaskentayksikkö ja muita ominaisuuksia, jotka riippuvat mikrokontrollerin tyypistä (Honkanen [Viitattu 4.4.2014]).

Mikrokontrolleriin saadaan tallennettua kosteuden muutosarvoista halutut tiedot sekä tietyt hälytysrajat on mahdollista asettaa valamisen ja kuivumisen ajaksi. Tätä ei voida oskillaattorilla tehdä niin helposti. Mikrokontrolleriin saadaan tallennettua helposti paljon eri resistanssi- ja kosteusarvoja sekä erilaisia kaavoja, jotka luotettavasti helpottavat mittauksia. Mikrokontrollerit ovat myös halpoja komponentteja, niitä käytettäessä voidaan hyödyntää helposti useampaakin mittausjohdinta.

4.4 Johtimet ja johdinmateriaalit

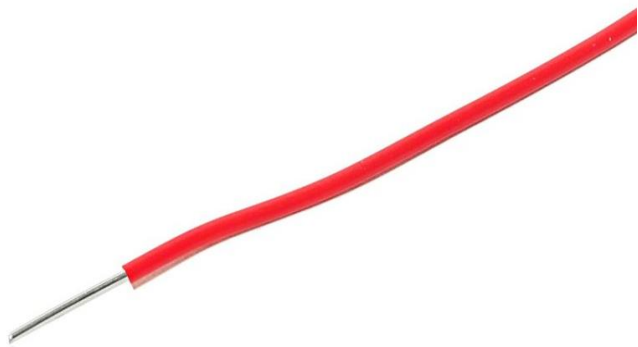
Yleisimmät johtimet on valmistettu kuparista ja alumiinista. Kuitenkin kuparin hinta on kasvussa, joten alumiinijohtimien käyttö on yleistymässä enimmäkseen määrin. Alumiini hapettuu helposti kosteuden vaikutuksesta ja teräs taas ruostuu korroosion johdosta, joten mittauksien tarkkuus heittelee vuosien mittaan betonivalus-

sa. Muita johdinmateriaaleja (kuvio 11) on mahdollista käyttää ja niiden ominaisuudet vaihtelevat suuresti.

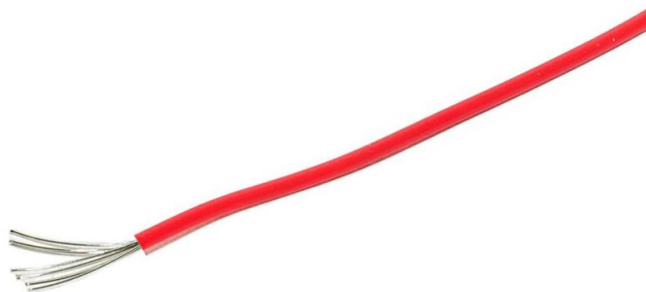
Johtimet jaetaan yksisäikeisiksi, monisäikeisiksi tai hienosäikeisiksi. Johtimen eristyksenä käytetään kumia tai muovia, mutta vanhoissa kaapeleissa johtimissa käytettiin öljyllä imeytettyä paperia. Työssä käytettävällä kaapelilla ei ole merkitystä kuin asennusvaiheessa, koska kaapelin tulee olla helposti asennettavaa ja sen on pysyttävä betonivalun sisällä. Mutta hieno- ja monisäikeinen kytkentä johdin ovat helpompia taivuteltavia jäykkään yksisäikeiseen kytkentäjohtimeen verrattuna.

Työssä johtimen eristykseen etsittiin erilaisia vaihtoehtoja perinteisten vaihtoehtojen rinnalle. Johtimet eristetään erilaisilla teippi- ja paperivalmisteilla, joista kosteuden muutoksesta tapahtuvaa kapasitanssin tai resistiivisyys oli helposti havaittavissa. Johtimen eristys ei saa olla vesitiivis, koska mittausta olisi täten mahdoton suorittaa. Työssä käytettävät virta- ja jännitearvot ovat todella pienet $0.5 < \text{mA} / 5 \text{ VDC}$, joten johtimen ympärillä oleva eriste ei kuumene tai pala (Harraste elektronikka [Viitattu 14.4.2104]).

Ruostumattoman teräslangan resistiivisyys on $0.5 - 1.1 \text{ W/mm}^2/\text{m}$ välillä, riippuen ruostumattoman teräksen tyypistä. Erityyppisiä ruostumattomia teräksiä on esimerkiksi ferriittinen-, austeniittis-ferriittinen-, austeniittinen-, martensiittinen- sekä hiilliteräs, joten terästen ominaisuudet vaihtelevat melko paljon. Tämä eristää johtimen johtavuutta.



Kuvio 8. Yksisäikeinen kytkentäjohdin



Kuvio 9. Monisäikeinen kytkentäjohdin



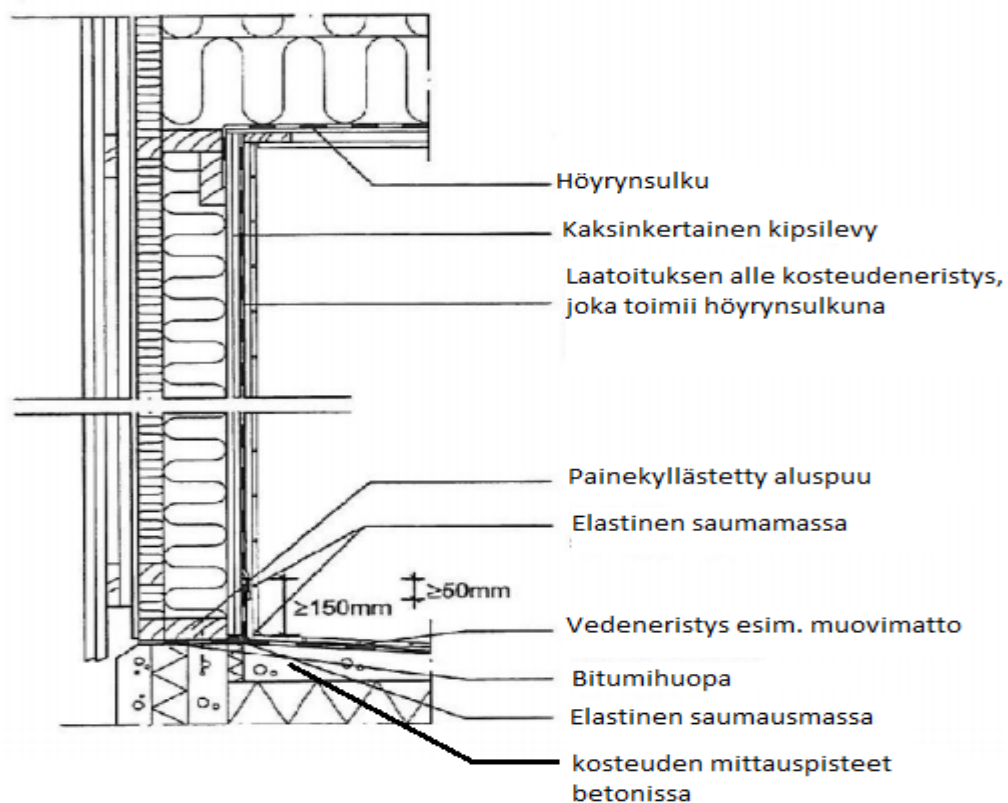
Kuvio 10. Hienosäikeinen kytkentäjohdin

Johtimen materiaali	Materiaalin resistiivisyys	Lämpötila kerroin	
Hopea	0,016	0,0038	●
Kupari	0,0175	0,0039	●
Kulta	0,022	0,004	●
Alumiini	0,028	0,0036	●
Sinkki	0,06	0,0042	●
Messinki	0,07	0,0015	●
Rauta	0,1	0,005	●
Platina	0,106	0,004	●
Tina	0,11	0,0046	●
Lyijy	0,208	0,004	●
Konstantaani	0,5	0,00003	●
Krominikkeli	1,1	0,0	●

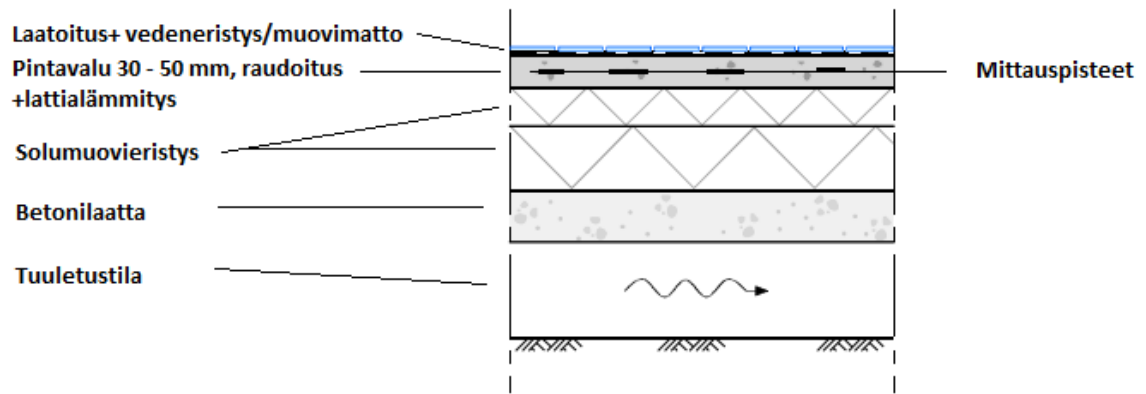
Kuvio 11. Johdinmateriaalien ominaisresistanssit ja lämpötilakertoimet (Harraste elektroniikka [Viitattu 14.4.2104]).

5 Mittauspisteiden sijoittelu

Työssä mittauspisteet sijoitetaan 20 – 50 mm:n syvyyteen valun yläpinnasta, kuten porausmittausmenetelmässäkin. Mittauspisteiden sijoittelussa tulee muistaa sijoittaa ne rakenteissa seinän ja lattiasauman läheisyyteen, koska kosteus siirtyy rakenteissa kapillaariselle alueelle tunkeutuen vedeneristyksen läpi betonivaluun. Betonin pinnassa mittauspisteet eivät anna oikeita mittausarvoja ja antavat epäluotettavaa tietoa betoniin tunkeutuvasta kosteudesta. Mittauspisteet huomaavat betonin sisällä tapahtuvat kosteusmuutokset, eikä porausmittausmenetelmää tarvitse suorittaa. Porausmittausjärjestelmä rikkoo rakennekerrokset, joten kiinteästi asennettavat mittauspisteet ovat tässä tapauksessa suotuisampia. (kuvio 8) Pesuhuoneen poikkileikkauksuvasta (kuvio 8) nähdään, minne mittausjohdin tulisi sijoittaa.



Kuvio 12. Mittauspisteen sijoituskuva betonissa (Vinha [viitattu 14.3.2012]).



Kuvio 13. Mittauspisteiden sijoituskuva sivulta (Kosteus rakentamisessa [viitattu 14.4.2014]).

5.1 Mittauspisteet

Työssä ei käytetä erillisiä kosteusantureita, joten mittauspisteiden sijoittelussa on monia mahdollisuuksia. Työssä voidaan käyttää sekä yhtä tai useampaa mittausjohdinta, riippuen mitattavasta alueesta.

5.1.1 Yksittäinen mittausjohdin

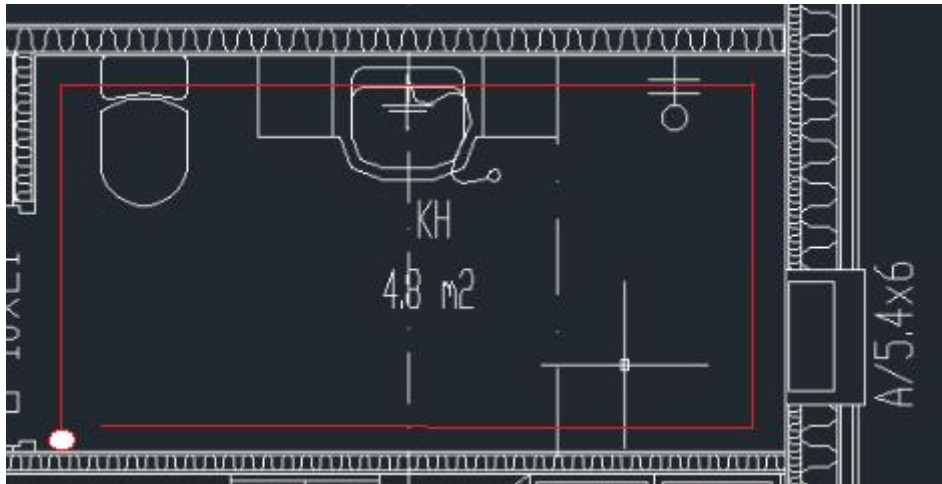
Yksi ainoa paljasjohdin tai erityisellä materiaalilla päällystetty mittausjohdin voidaan asentaa kuvio 14 mukaisesti pesuhuoneen seinien läheisyyteen, sekä mahdollisesti lattiakaivojen ympärille. Johtimesta mitataan joko johtimen kapasitanssia tai resistanssia riippuen johdinmateriaalista, näin nähdään miten kosteus johtimeen vaikuttaa. Johtimessa tapahtuvat resistanssi- tai kapasitanssiarvot kertovat, missä kohtaa kosteus on rakenteisiin tunkeutunut.

On kuitenkin tiedettävä miten pitkä ja mitä materiaalia johdin on. Mikrokontrolleriin ohjelmoidaan materiaalin kosteusarvot, joissa sen täytyisi kuivassa valussa pysyä. Yhtä mittausjohdinta käytettäessä mikrokontrollerista ja mikropiiristä tulee hyvin yksinkertainen ja helppo rakentaa käyttämällä Clapp-oskilaattoria. Kuitenkin yhtä mittausjohdinta käytettäessä kosteuden mittaaminen on epätarkempaa kuin useampaa johdinta käytettäessä.

Jos mittausjohtimen arvot muuttuvat kosteuden muutoksesta, on oleellista tietää, missä kohdin rakenteita kosteus on mitattu. Johtimen kapasitanssi- ja resistanssi-muutokset tulisi mitata 100 – 200 mm:n välein, jotta taulukosta voitaisiin tarkkailla mittaustuloksen muutosta kosteuden tunkeutuessa rakenteisiin. Mittausjohdinta asentaessa täytyy muistaa, miten paksu valu pesuhuoneeseen tulee. Johdinta asentaessa voidaan käyttää seinän pystykoolausta hyväksi, jos se on mahdollista. Kuitenkaan mittausjohdin ei saa koskea puuta, koska kosteus puussa saattaa aiheuttaa mittausarvojen heittelyä. Puussa oleva kosteus ei käyttäydy samantapaisesti kuin betonissa oleva kosteus. Puun kosteusarvot muuttuvat todella nopeasti. Johtimen ei tarvitse olla kuin 20 – 50 mm etäisyydellä koolauksesta. Kuitenkin johtimen poikkipinta-alat voivat vaihdella ja näin asentaminen vaikeutuu.

Yksisäikeiset johtimet ovat huomattavasti jäykempiä asentaa kuin monisäikeiset johtimet. Yksisäikeinen johdin on todella jäykkää taivutella, ja se jää helpolla haluttuun asentoon esimerkiksi kulmiin taittaessa. Monisäikeinen johdin on helpompi muotoilla haluttuun paikkaan, mutta kiinnittäessä sitä seinän pystykoolaukseen, joka ovat asennettu enintään 600 mm välein, saattaa se hyvin helposti tehdä muutamien senttimetrin heittoja korkeussuunnassa eli jäädä mutkalle tai roikkumaan. Jos tämä on mahdotonta, tulisi siis johtimet kiinnittää muovinauloilla raudoitukseen. Koolauspuihin kiinnitetty johdin tulisi siis kiinnittää mahdollisimman hyvin kiinnityskohdista, kuin myös kaapelin kireys on hyvä tarkastaa. Näin johdin saadaan mahdollisimman tasaisesti asennettua valunpintaan nähden.

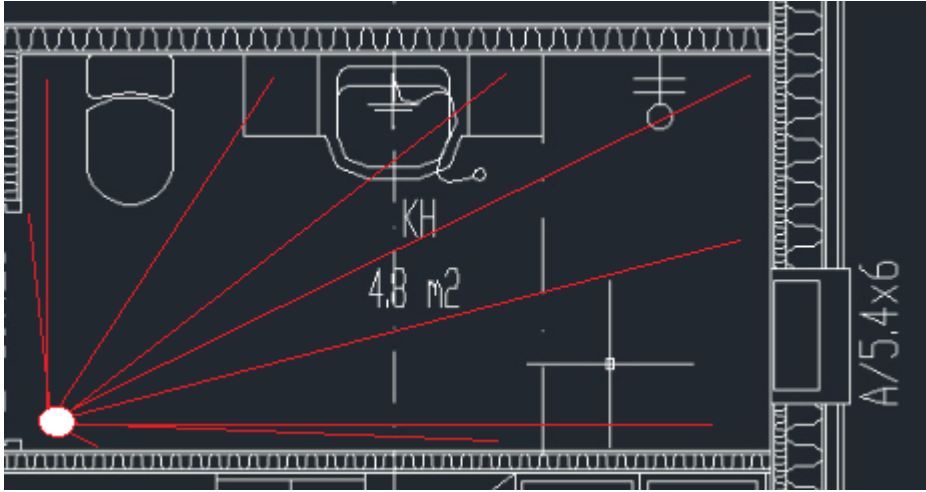
Valamisen jälkeen, jos johdin jostain kohdin jää valunpinnalle näkyviin, tulee sitä varovasti painella valupinnan alapuolelle. Jos kaapeli vahingossa jääkin valupinnan yläpuolelle niin että se on silmämääräisesti havaittavissa, tulisi kyseiseen kohtaan asentaa pikavaluainetta. Näin saadaan mahdolliset kaapelivauriot sekä mitausvirheet poissuljettua, kun asennus on tehty oikein.



Kuvio 14. Yksittäisen mittausjohtimen kaapelointikuva

5.1.2 Useampi mittausjohdin

Useampaa mittausjohdinta käytettäessä mittauspisteet on eroteltu ja kosteuden muutokset ovat helposti havaittavissa tietyssä mittauspisteessä (kuvio 15). Useampaa mittauspistettä käytettäessä tulee johtimen olla suojattuna lähelle mittauspistettä. Johtimista kuoritaan ainoastaan 10 – 20 mm johdineristettä (kuvio 8). Paljaalle johtimelle eristeeksi voidaan laittaa kosteutta läpäisevää materiaalia, jotta johdin mittaa kosteusmuutoksen. Kuitenkaan kuoritun johtimen päähän ei välttämättä tarvitse asentaa mitään kosteutta läpäisevää ainetta, riippuen johtimen materiaalista. Betonivalussa käytettävä vesi vahingoittaa useimpia metallityyppejä, joko hapettamalla tai ruostuttamalla, mutta ruostumaton teräslanka ei valussa vuosien mittaan hapetu eikä ruostu. Helpointa useamman mittausjohtimen asennuksessa olisi vetää ne betonin vahvistukseen käytettävän raudoitusverkon alapuolelta. Jos kaapelointi tapahtuu raudoituksen päällä, saattaa vaarana olla, että mahdollisesti käytettävä lattialämmityskaapeli tai vesijohtoputki vahingoittaa mittausjohtimen eristyksen, ja näin mittausjohdin antaa väärää tietoa mikrokontrollerille. Tässäkin tapauksessa tärkeintä on tietää, miten paksu valu pesuhuoneeseen tulee. Kun valun paksuus tiedetään, näin mittauspisteet voidaan asentaa oikealle korkeudelle.



Kuvio 15. Useamman mittauspisteen kaapelointikuva

6 Yhteenveto ja pohdinta

6.1 Valaminen

Työssä tarkasteltiin betonivaluun sijoitettujen johdinten kapasitanssi- sekä resistanssimuutoksia eri betonivalun kosteusvaiheissa seitsemän vuorokauden aikana. Tilanne vastaisi suurelta osin pesuhuoneen lattiavalua. Täydellisen mittauksen suorittaminen oli kuitenkin mahdotonta, koska pesuhuoneen lattian valaminen olisi tullut liian kalliiksi. Työssä yritettiin demonstroida vastaavaa tilaa, vaikkakin pienemmässä mittasuhteessa.

Työssä valettiin noin 70 mm:n betonivalu muoviasiaan, jonne upotettiin 30 – 40 mm:n syvyyteen kuparijohtimia sekä ruostumattomia teräslankoja. Johtimet eivät olleet kosketuksissa betonivalussa olevaan vahvistusraudoitukseen, mikä tapahtuu useimmiten pesuhuoneissa raudoitusverkolla. Kaikkien mittausjohtimien pituudet olivat 200 mm, jotta mittausarvot olisivat helposti vertailtavissa alku- ja loppupisteessä. Johtimet tulivat noin viisi senttimetriä ulos valupinnasta.

Jos johdin oli päällystetty materiaalilla, paljas johdin ei ollut suorassa kosketuksessa valuun, vaan johtimen valupinnassa käytettiin varmuuden vuoksi kutistesukkaa. Mittausjohdinten asennuksessa täytyy olla tarkkana, etteivät mittausjohtimet kosketa valussa käytettävään teräsverkkoon. Lattiavaluun asennettava vahvistusraudoitus liitetään vertailupisteeksi mittausjohtimelle, yhtä johdinta käytettäessä. Mittaus tapahtuu betonivalussa olevan raudoituksen sekä mittausjohtimen vertailuarvoja hyödyntäen. Pelkkää mittausjohdinta mitattaessa, ilman että betonin vahvistusraudoitus ei ole vertailukohteena, on mahdotonta saada minkäänlaisia tuloksia kosteusmuutoksien antamasta kapasitanssi- tai resistanssiarvoista.

Raudoituksesta johdotetaan erillinen kuparijohdin mikropiirille, joka toimii mittausjohdinten vertailukohteena. Kuitenkin spiraalille asennettavat kaksi johdinta, joiden välissä on jokin kosteutta imevä materiaali, eivät tarvitse erillistä maadoitusjohdinta betonin raudoituksesta vertailupisteeksi, vaan ne toimivat toistensa vertailupisteinä. Tällainen vaihtoehto on helpoin ja yksinkertaisin suorittaa, mutta mahdolli-

nen kosketus betonirauhoitukseen on myös vaarana. Tällöin mittausarvot saattavat näyttää täysin väärää tulosta kosteutta mitattaessa.

6.2 Johtimissa käytetyt eristemateriaalit

Päällysteinä johtimissa käytettävät materiaalit olivat kutistesukka, puuvillakangas, huokoinen paperi, sekä puuvillakangasta ja huokoinen paperi. Ne toimivat ikään kuin johtimen eristeenä. Mittaukset suoritettiin myös johtimet paljaaksi kuorittuna-kin sekä kuparijohdinta että teräslankaa mitattaessa. Erilaiset muovi- ja kumiyhdisteet eristivät johtimet niin, ettei mittausarvojen muutoksia tapahdu.

6.3 Mittausarvojen tarkkailu

Valussa johtimista otettiin mittausarvot 8 tunnin välein, jotta huomattaisiin, miten mittaustulokset muuttuvat. Valu kuivui tietenkin joka suunnasta, joten mittaustulokset eivät ole täysin verrannollisia pesuhuoneeseen valettavaan betoniin. Kuitenkin astian alapuolella oleva, hiukan huoneenlämpöä kylmempi alusta hidasti kuivumista. Tämä oli huomattavissa niin johdinmateriaalissa. Kupari tunnetusti muuttuu kosteuden ja ilmakehän kosteuden vaikutuksesta, joten ruostumattomat materiaalit ovat todella luotettavia vaihtoehtoja. Kuparin mittausarvot pysyivät kutakuinkin odotetuissa mittausarvoissa. Ruostumattomassa teräslangassa muutokset olivat myös melko pieniä.

6.4 Pohdintaa

Mikrokontrollerilla saadaan säädettyä haluttu mittausarvojen suhde. Sillä tarkoitetaan, minkälaisien arvojen sisällä johtimien antamien arvojen tulisi pysyä. Täytyy huomioida, että mittauksesta saadut muutosarvot ovat todella pieniä. Parhaimpana työssä käytettävä vaihtoehtona oli ruostumaton teräslanka paras, vaikkakin kuparin sähkönjohtavuus on parempi ja luotettavampi.

Ruostumattoman teräksen kestävyys on erinomainen sekä suorassa kosketuksessa veteen että ilmankosteudessa. Sen muotoilu on helppoa ja se on myös melko kestävä, joten valamisen aikana betonin paino ei vahingoita sitä painollaan. Valamisvaiheessa johtimet saattavat vahingoittua tai poiketa, joten hyvä kiinnitys pystyrunkoihin on väistämätöntä. Yhden tai useamman johtimen asennuksessa on hyvät ja huonot puolensa, mutta tutkimuksessa tuli ilmi, että yhtä johdinta käytettäessä asennus helpottuu sekä mikrokontrollerin tekeminen yksinkertaistuu paljon. Useampaa mittausjohdinta käytettäessä asennus monimutkaistuu ja mittausjohdinten asennuskorkeutta on vaikeampi löytää, koska pesuhuoneen lattian kaadot voivat muuttua lattiakaivoa kohden. Johtimessa ei välttämättä tarvitse erillistä eristystä, kuten paperia, koska johdin itsestään toimii mittausanturina. Se on kosketuksissa kosteuteen samalla tavalla, mutta paljas johdin ei sido itseensä kosteutta. Paras tulos saadaan pyörittämällä kaksi mittausjohdinta spiraalille toistensa ympärille ja niiden väliin asennetaan eriste, esim. paperi tai kangas. Ne imevät kosteutta itseensä helposti. Johtimet ovat hyvin lähellä toisiaan, joten kosteusmuutokset ovat melko tarkkoja.

6.5 Mittausyksikön sijoitus

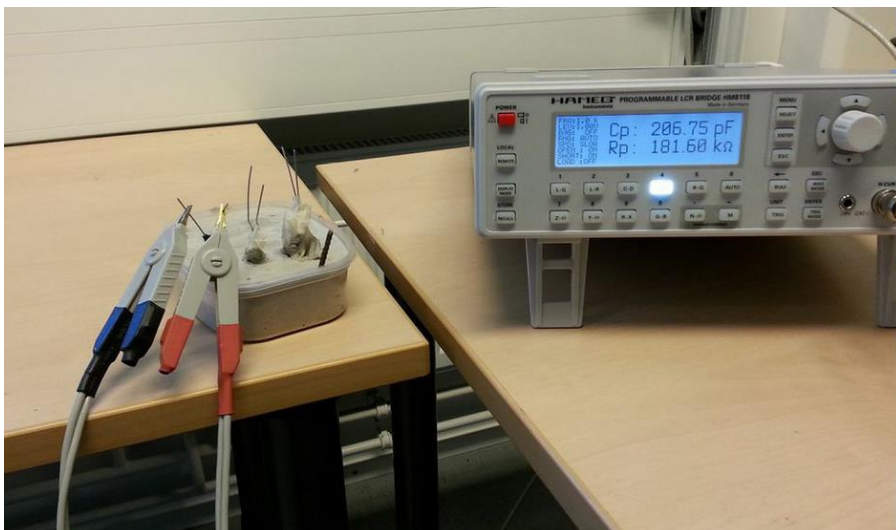
Mittausyksikkö tulisi sijoittaa pesuhuoneen ulkopuolelle, ettei se olisi kosteuden kanssa tekemisissä. Seinän sisällä johdin tulisi putkittaa kuten lattiatermostaatti. Näin johdin ei aiheuttaisi missään vaiheessa paloriskiä, jos vaikka virtapiikki iskisi siihen salamoinnista johtuen. Syöttönä mikropiirille voidaan käyttää vikavirtasuojakytkimen takana olevaa lattialämmitystermostaatin syöttöä.

7 Mittaustulokset

Mittaukset suoritettiin Hameg HM8118 LCR-Bridge -mittalaitetta käyttäen. Mittauksessa käytettiin 1 – 200 kHz:n taajuutta, joka lisää mittauksen luotettavuutta ja mittaustulosten heittely on tällöin pienempää. Mittaustulokset muuttuvat huomattavasti, mitä laajempaa taajuusarvoa mittauksessa käytetään.



Kuvio 16. Mittauslaite Hameg HM8118 LCR-Bridge



Kuvio 17. Esimerkkimittaus

8 Mittaustulosten tarkastelu

Mittauksesta tuli ilmi, että yleisesti käytettävät kupari- ja alumiinivalmisteiset johtimet johtavat erittäin hyvin sähköä valussa. Päämääräisesti työssä kuitenkin keskityttiin ruostumattomaan teräslankaan, joka ei vuosien varrella hapetu tai ruostu valussa.

Työssä mitattiin eri johdinten kapasitanssi- ja resistanssiarvoja, eristemateriaalista riippuen. Eri johdinten poikkipinta-alat vaikuttivat suuresti mittaustuloksiin. Yleisesti ottaen johtimet olivat 0.5 – 0.75 mm² poikkipinta-alaltaan. Mittauksessa käytettiin 200 mm:n mittaisia johtimia, jotta mittauservot olisivat helposti rinnastettavissa muiden johdinten arvoihin. Arvot muuttuivat suhteessa 1,5 mm²:n johtimilla, joilla asennus olisi helpompaa suorittaa pesuhuoneissa. Paksumpi johdin on kestävämpää ja helpompaa muotoilla. Mitattujen arvojen tarkkuus heittelee melko paljon, koska mitatut arvot ovat todella pieniä.

Yksittäisen johtimen ja tukirauoituksen välisessä mittauksessa resistanssi- sekä kapasitanssiarvot heittelivät todella paljon, oli kyseessä sitten kupari- tai teräsjohtin. Mittaustulokset olivat melko epäluotettavia, joten kyseisellä mittaumenetelmällä kosteutta ei voida rakenteista mitata (liite 1). Jos pienessä valuastiassa arvot heittelevät näin suuresti, on pesuhuoneen valusta todennäköisesti mahdotonta saada luotettavaa tulosta.

Spiraalille pyöritetyt johtimet antoivat todella luotettavia arvoja (liite 2). Kuparia tarkastellessa lähtöarvot olivat kaikkia eristysmateriaaleja hyödyntäen todella suuret, jopa mikrofaraadeja. Jo toisella mittauskerralla arvot olivat nanofaraadeja, joten muutokset olivat todella suuria. Pienillä taajuuksilla kapasitanssiarvojen muutokset olivat helposti havaittavissa jopa kuudennen mittauskerran jälkeenkin, mutta arvot muuttuivat todella pieniksi loppuilla mittauskerroilla. Yli 50 kHz:n taajuudella mitattaessa kapasitanssiarvot muuttuivat todella pieniksi jopa jo kolmannen mittauskerran jälkeen. Johdin, jossa eristysmateriaalina toimi paksu huokoinen, paperi antoi suurimmat kapasitanssiarvot. Resistanssiarvot kasvoivat todella tasaisesti ja loppuarvot olivat todella suuria, jopa kilo-ohmeja. Paksun paperin resistanssiarvot olivat taas vastaavasti pienimmät, mutta arvot pysyivät melko lähellä toisiaan materiaalista riippumatta.

Ruostumattoman teräksen kapasitanssia mitattaessa oli huomattavissa samantyylistä mittausrvojen hajontaa kuin kuparissakin. Alkuarvot olivat mikrofaradeja, mutta jo toisella mittauskerralla arvot olivat nanofaradien luokkaa. Pienillä taajuuksilla mitattaessa mittausrvojen muutokset olivat helposti havaittavissa jopa seitsemänteen mittauskertaan saakka. Väliaineina käytetyt kangas ja paksu paperi antoivat yhtä suuria kapasitanssiarvoja. Resistanssia mitattaessa kankaalla oli suurimmat resistanssiarvot taajuudesta riippumatta.

Loppuarviointina voidaan sanoa, että mittausrvot ruostumattomassa teräksessä sekä kuparijohtimissa pysyivät halutuissa arvoissa. Työ on mahdollista suorittaa kumpaakin johdinmateriaalia hyödyntäen, mutta ruostumaton teräslanka kestää betonivalussa useita vuosia ilman, että korroosio pääsisi vaikuttamaan mittaustuloksiin. Johdinten välisenä eristysmateriaalina tulisi käyttää kangasta, joka antoi näissä mittauksissa suurimmat arvot, sekä kapasitanssiarvoissa että resistanssiarvoissa. Kangas siis imee itseensä parhaiten kosteutta eikä luovuta sitä kovin nopeasti.

Betonivaluastiat kostutettiin kuivumisen jälkeen uudelleen pienellä määrää vettä. Arvot muuttuivat jopa kuusi tuntia kostutuksen jälkeen melkein lähtöarvojen tasolle. Tästä on huomattavissa, että kosteudenmittaus spiraalille pyörityillä johtimilla on todella tehokas mittausmenetelmä. Tulevaisuutta ajatellen tämän tyyppiset kosteuden mittausjärjestelmät ovat paljon tehokkaampia ja yksinkertaisempia kuin anturit, joilla kosteutta mitataan.

Tulevaisuudessa mittauksia tulisi tehdä paljon enemmän ja eristemateriaalien kokeiluun tulisi käyttää enemmän aikaa. Johdinten väliin ei välttämättä tarvitse asentaa erillistä eristettä, vaan johtimissa itsessään voisi olla kangas tai paperi valmiiksi eristeenä. Erilaisia eristemateriaaleja tulisi kokeilla ja vertailla, jotta paras mahdollinen materiaali löytyisi mittauksiin. Mittaukset voitaisiin myös suorittaa siten, että betonin tukiraudoituksen ympärille asennetaan kangaseristeisiä johtimia ja niiden arvoja mittailtaisiin tai koko lattiaan kiertää yksi johdin, jonka ympärille kierretään mittauspisteissä kangaseristetyt johtimet.

Mittauksia voidaan tehdä myös keittiössä, jossa astianpesukone tekee usein vesivahinkoja. Mittauksia kannattaa tehdä myös muissa tiloissa, esim. kodinhoitohuo-

ne, sauna, kellari, tuulikaappi, eteinen tai missä tahansa valetuissa tiloissa. Kosteudelle altistuvat rakenteet on mahdollista mitata samalla tavalla, kunhan mittaus tapahtuu valussa. Lasittamattomat parvekkeet tai terassin oven edusta ovat myös kosteudelle alttiita kohteita, joten niidenkin kosteutta olisi hyvä mitata. Kerrostoissa tämän tyylliset kosteuden mittausjärjestelmät olisi helppo toteuttaa, Kerrostoja rakentaessa käytetään suuria ontelolaattoja. Ontelolaattojen päälle huonekohdaisesti valetaan 50 – 100 mm:n valu ja valussa käytetään tukiraudoitusta. Kerrostalossa koko huoneistoa voitaisiin mitata yhtäaikaisesti ja näin kosteusvauriot huomattaisiin hyvin nopeasti.

LÄHTEET

- Björkholz, D. 1997. Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto oy.
- Clapp-oskillaattori. Ei päiväystä. Clapp oscillator. [www-lähde]. [Viitattu 4.4.2104]. Saatavissa: http://www.electronicsonline.com/Projects/Electronics/Oscillator_and_Vibrator/clapp_oscillator.shtml
- Harraste elektroniikka. Ei päiväystä. Johtimien poikkipinta-alat ja resistanssit. [www-lähde]. [Viitattu 14.4.2104]. Saatavissa: <http://koti.mbnet.fi/~huhtama/ele/index.php?si=ml18.sis>
- Heiniö, S. & Buchert, B. 1969. Tekniikan käsikirja, osa 3. Sähkötekniikka. 8. painos. Jyväskylä: Gummerus.
- Honkanen, H. Ei päiväystä. Mikrokontrolleri. [www-lähde]. [viitattu 4.4.2014]. Saatavissa: http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/TVMonitor_MIKROKONTROLLERIT.pdf
- Kettunen, A-V., Ei päiväystä. Rakenteiden lämpö- ja kosteustekniikan perusteita. [www-lähde]. Betoniyhdistys. Vahanen oy. 22-34. [Viitattu 15.3.2014]. Saatavissa: http://www.betoniyhdistys.fi/index.php?_E_VIA_WYSIWYG_FILE=1536&name=file
- Lindberg, R., Wahlman, J., Suonketo, J. & Paukku, E. 2002. Kosteusvirta – tutkimus. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Julkaisu 119. Tampere.
- Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Jyväskylä: Betonikeskus ry.
- Mikrokontrolleri. Ei päiväystä. Mikrokontrolleri [www-lähde]. [Viitattu 4.4.2104]. Saatavissa: http://www.tme.eu/fi/katalog/nxp-8051-mikrokontrollerit_100584/
- Mäkelä. M., Soininen. L., Tuomola. S. & Öistämö. J. 2010. Tekniikan kaavasto. 8.painos. Tampere: AMK-kustannus oy.
- Poroilo. O. 1980. Elektroniikkarakentelijan kirja. Helsinki: Otava.
- Reditalot. Ei päiväystä. Betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät. [www-lähde]. Redi-yhtiöt oy. [Viitattu 11.4.2014]. Saatavissa:

<http://www.reditalot.fi/tempo/default.asp?sivu=betonin%20kuivumiseen%20vaikuttavat%20tekij%E4t>

Siikanen, U. 1996. Rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto Oy

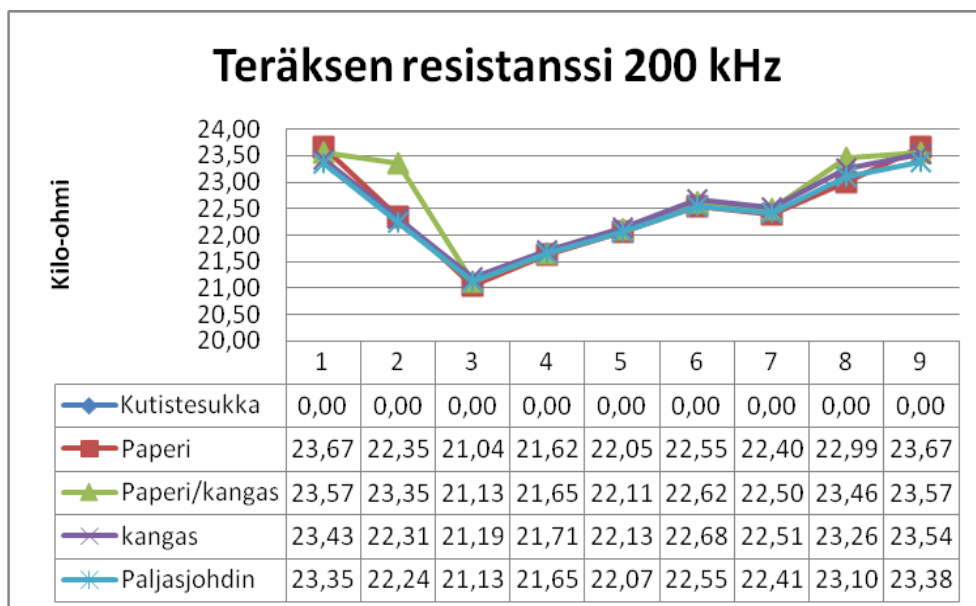
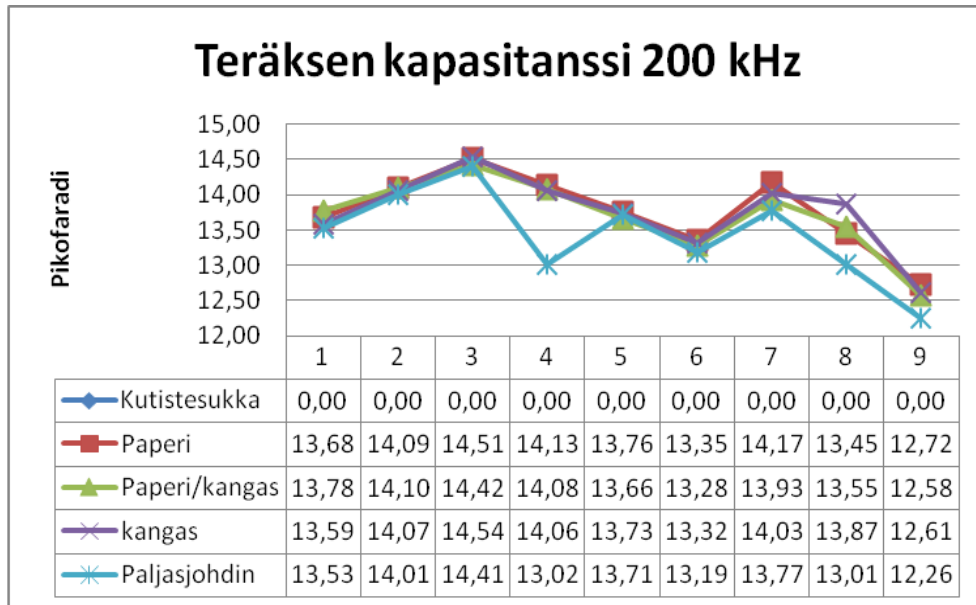
Sisäilmayhdistys. 2008. Kosteusmittaukset. [www-lähde]. Espoo: sisäilmayhdistys. [Viitattu 10.3.2014]. Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/ongelmien-tutkiminen/rakennustekniset-tutkimukset/kosteusmittaukset/>

Vinha. J. 14.3.2012. Kosteus rakentamisessa. [www-lähde]. Tampereen teknillinen yliopisto. [viitattu 14.4.2014] Saatavissa: [http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/B92452E33B2BC582C22579CA004A530E/\\$file/Lahti_Kosteus%20rakentamisessa%20Juha%20Vinha_140312.pdf](http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/B92452E33B2BC582C22579CA004A530E/$file/Lahti_Kosteus%20rakentamisessa%20Juha%20Vinha_140312.pdf)

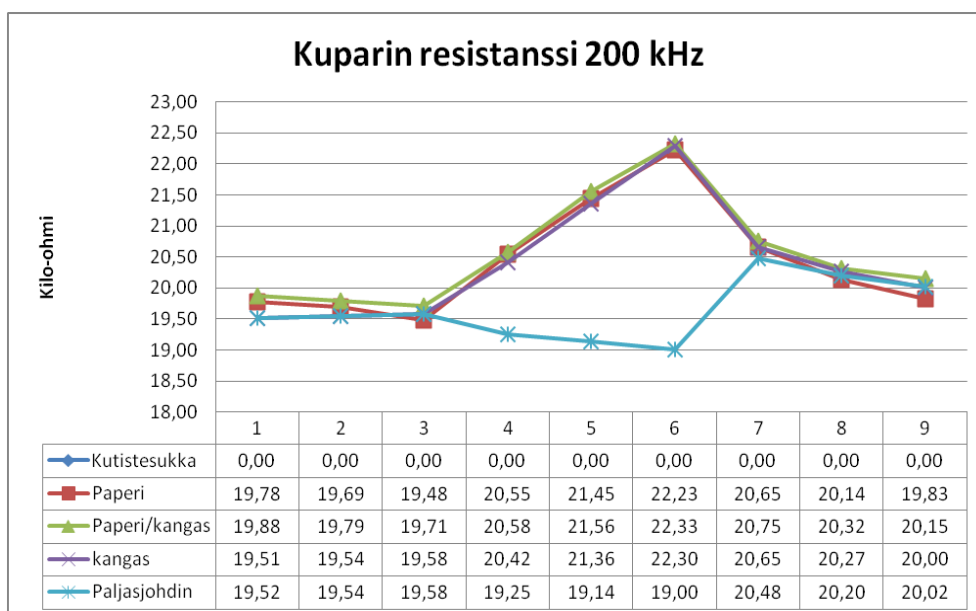
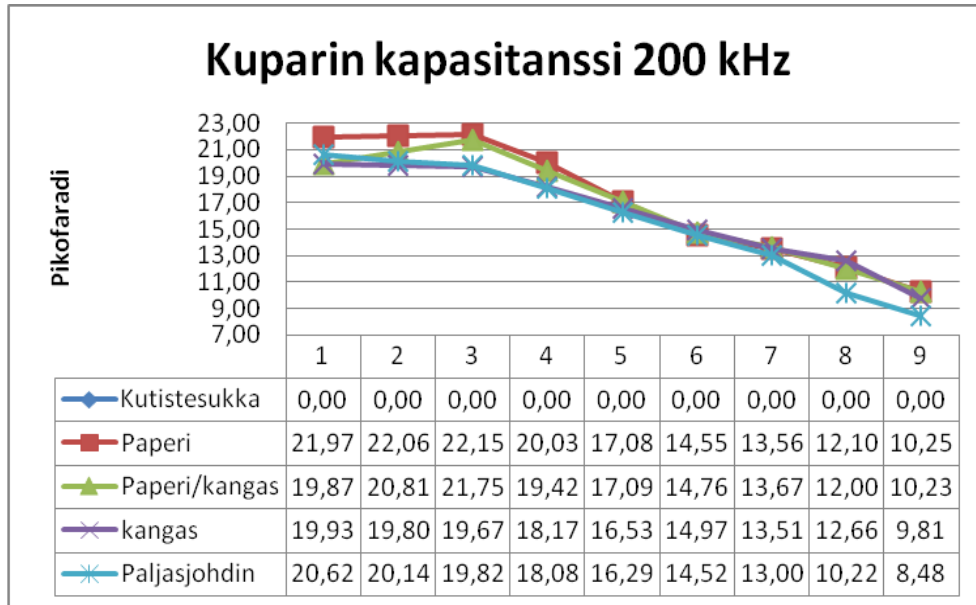
LIITTEET

LIITE 1 Yksittäisten johdinten mittaukset tukiraudoitusta vasten

Tässä mitataan teräksen arvoja betonivalussa tukiraudoitusta vasten.

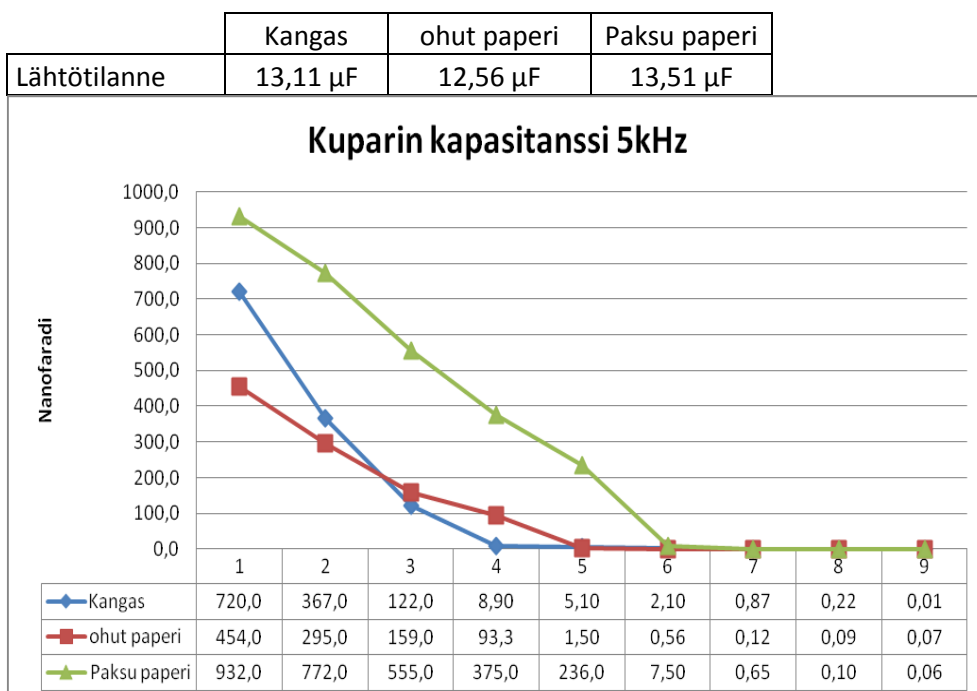
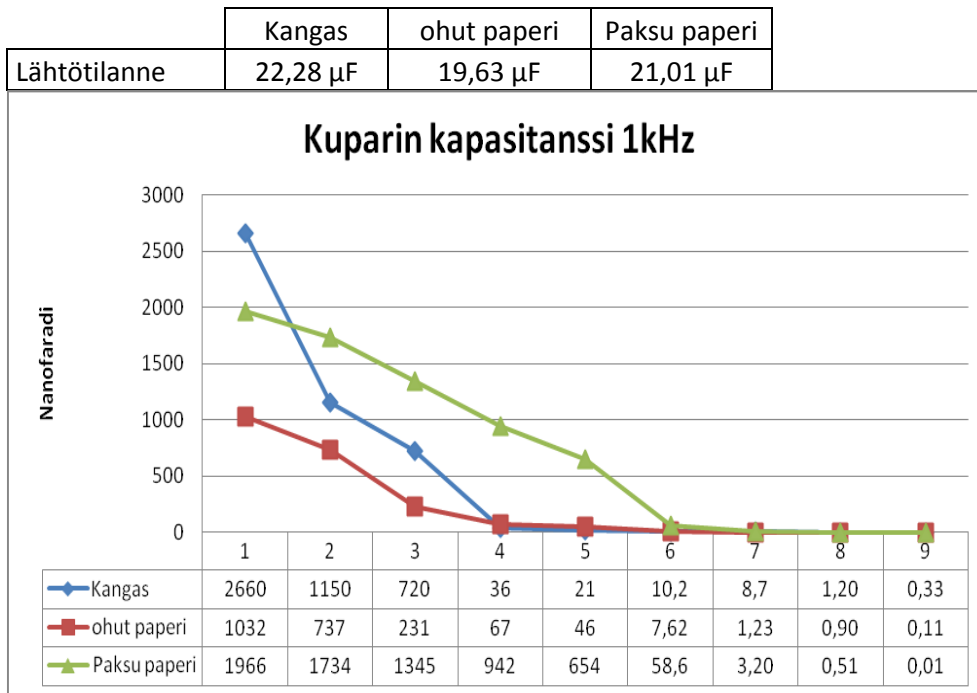


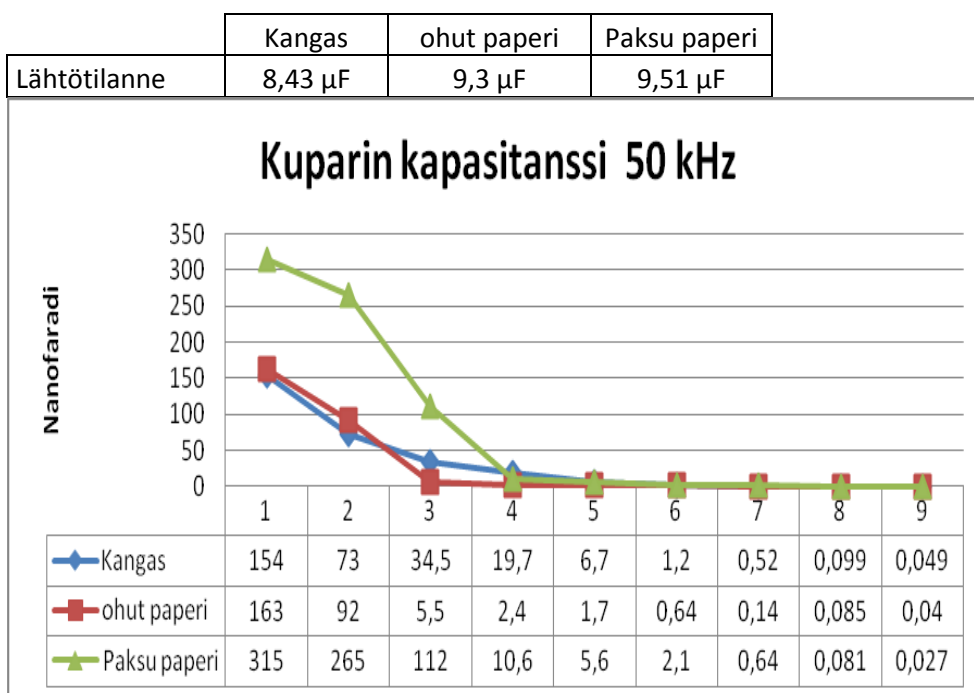
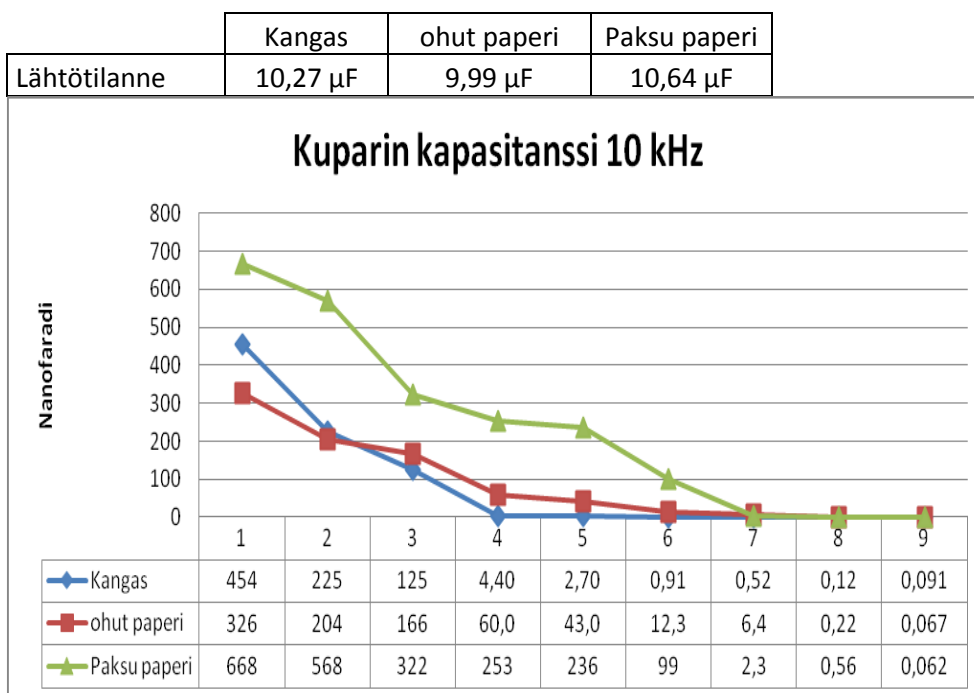
Tässä mitataan kuparin arvoja betonivalussa tukirauhoitusta vasten.

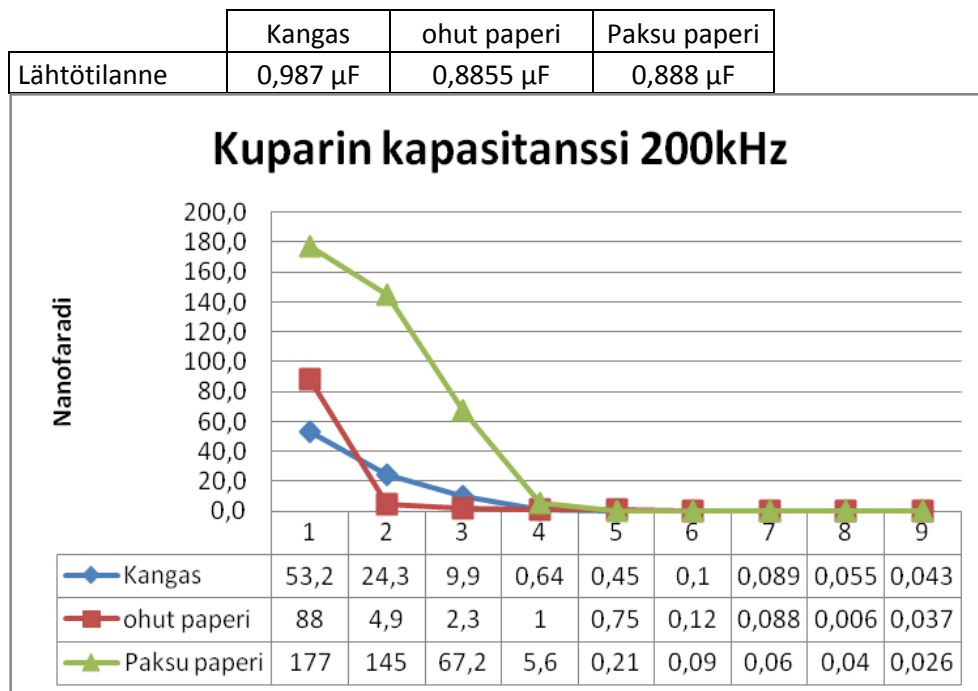
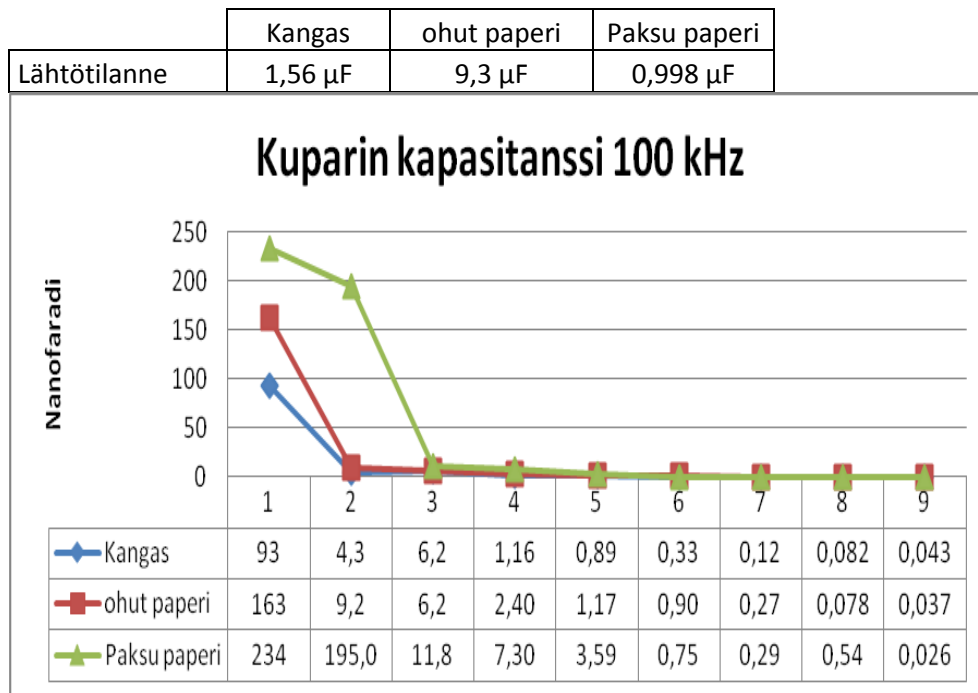


Liite 2 Spiraalille kierrettyjen johdinten arvot

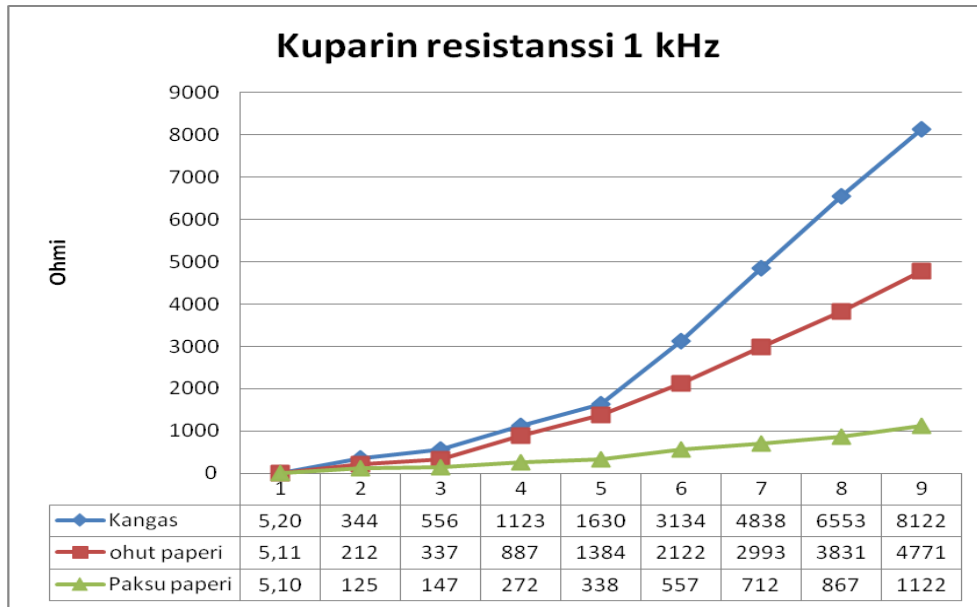
Kuparin kapasitanssiarvot 1 – 200 kHz:n.



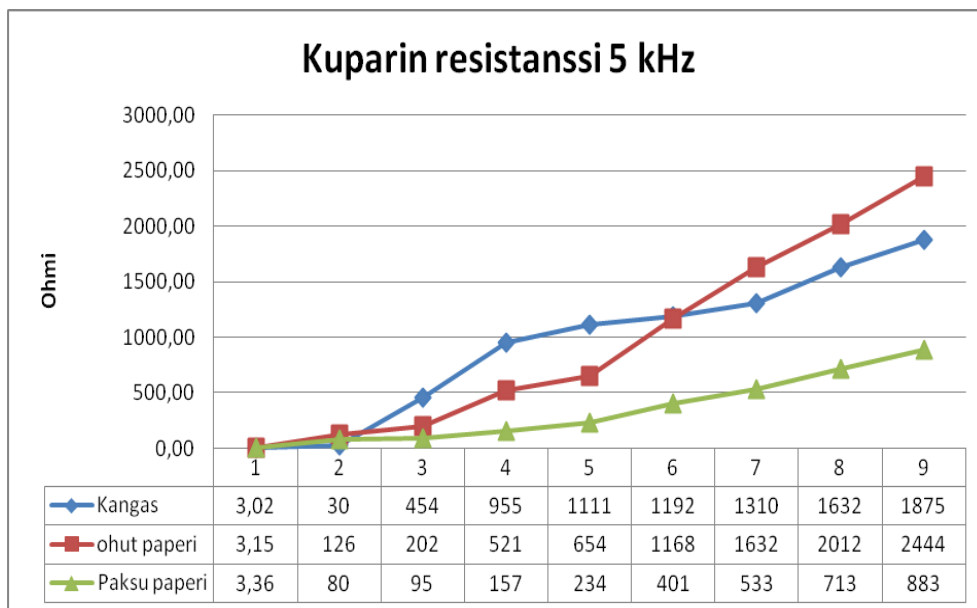




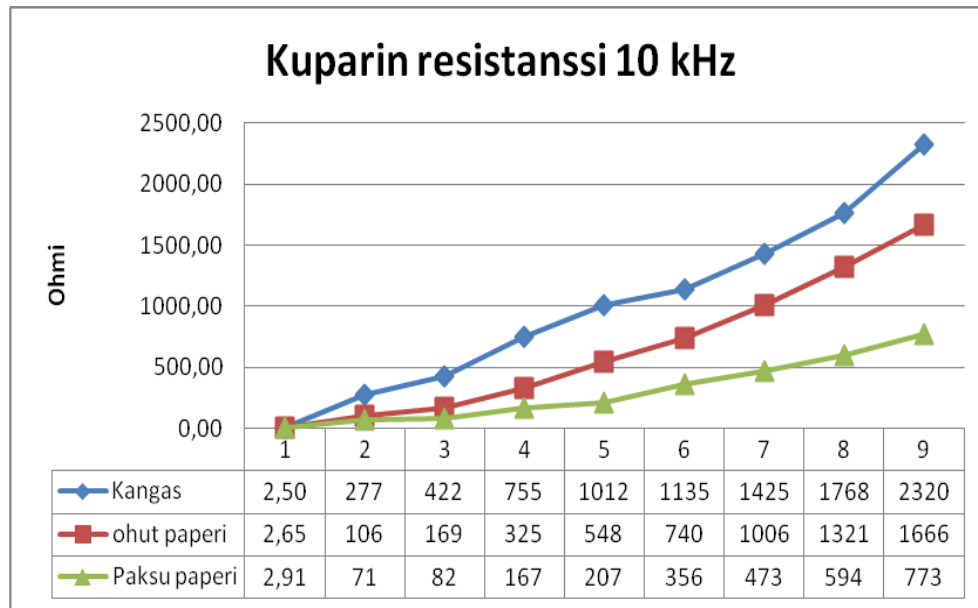
Kuparin resistanssiarvot 1 – 200 kHz:n.



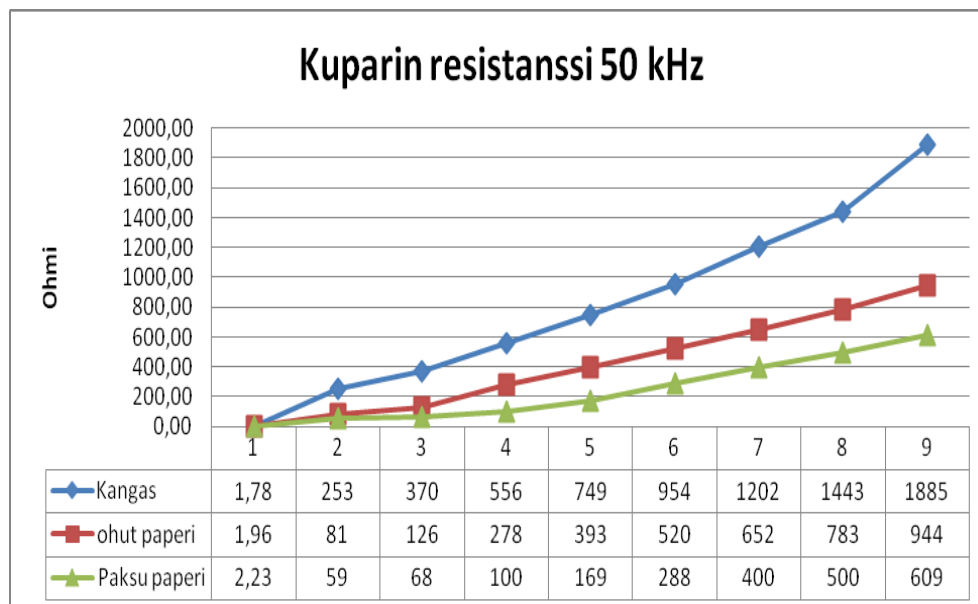
	Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
Lopputilanne	136,5 kΩ	643,3 kΩ	306,5 kΩ



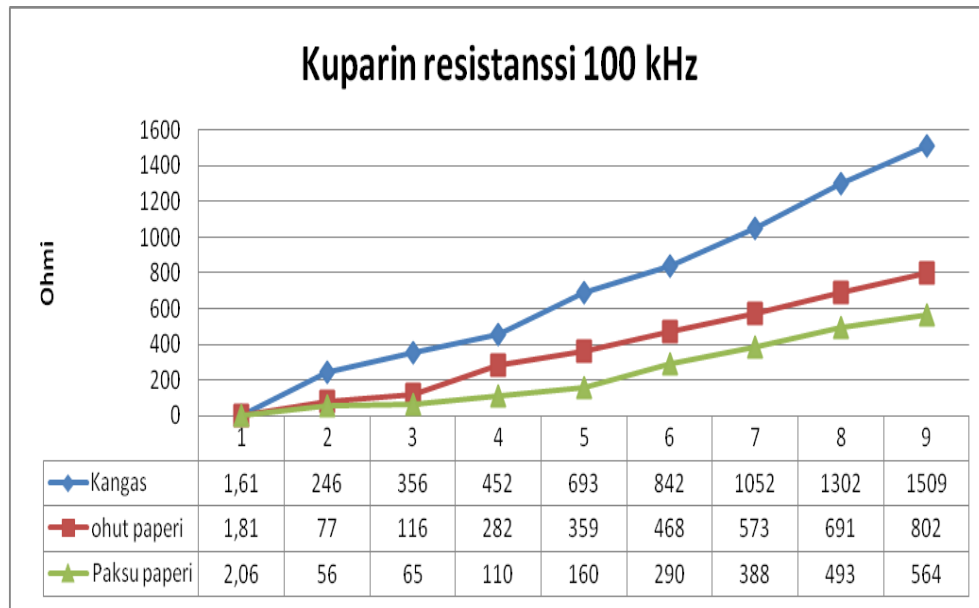
	Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
Lopputilanne	105,8 kΩ	526,3 kΩ	240,8 kΩ



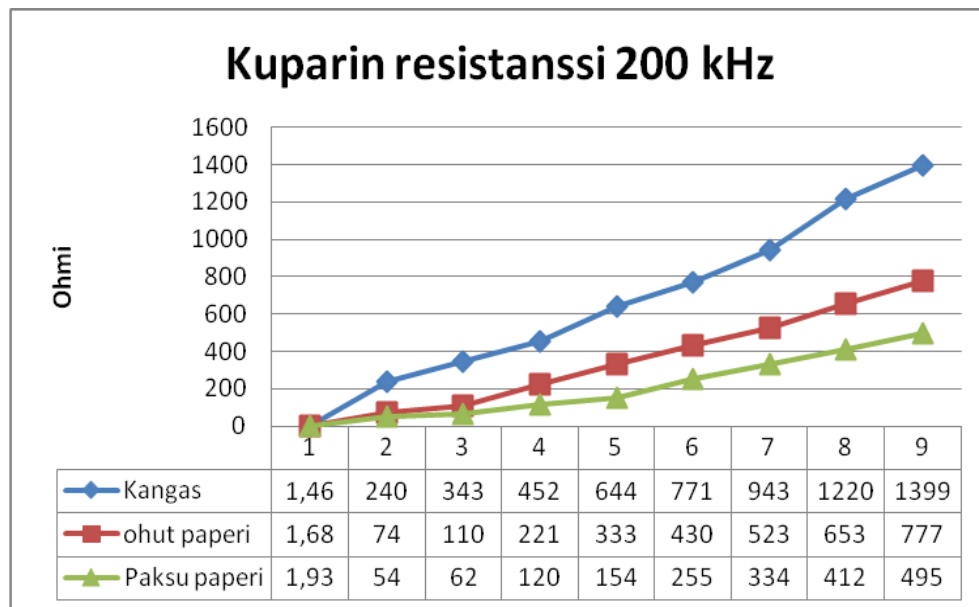
	Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
Lopputilanne	92,17 kΩ	429,8 kΩ	208,0 kΩ



	Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
Lopputilanne	57,94 kΩ	173,6 kΩ	131,6 kΩ

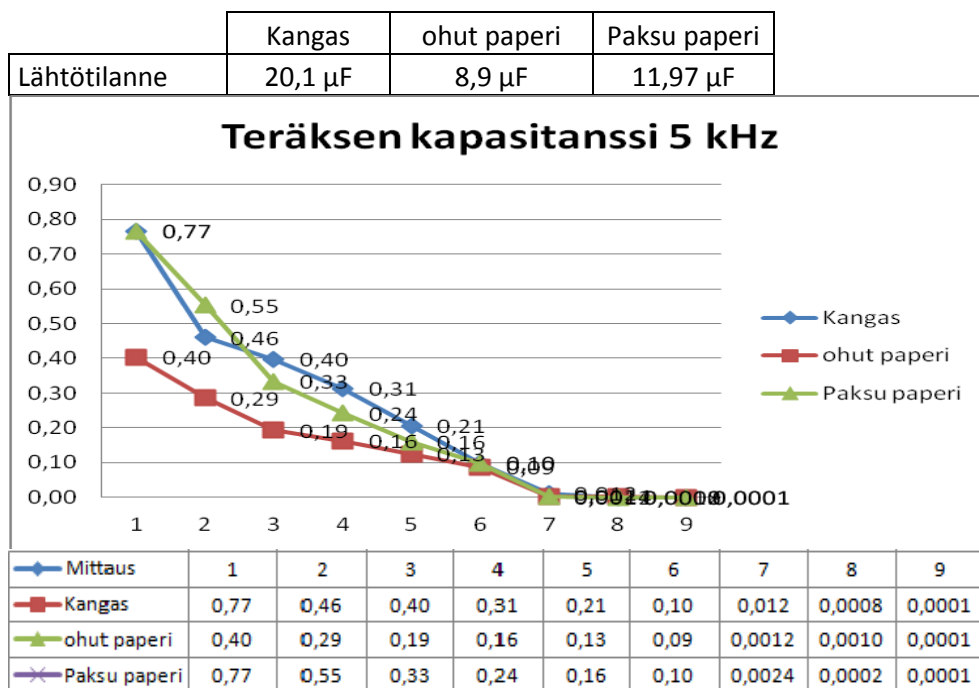
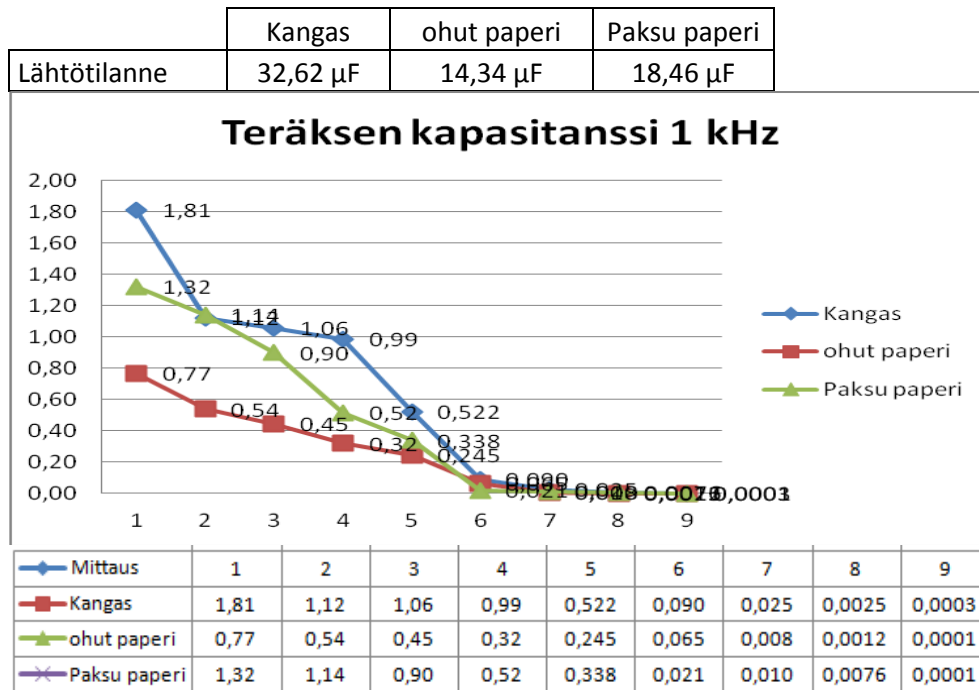


	Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
Lopputilanne	41305 k Ω	101,4 k Ω	100,5 k Ω

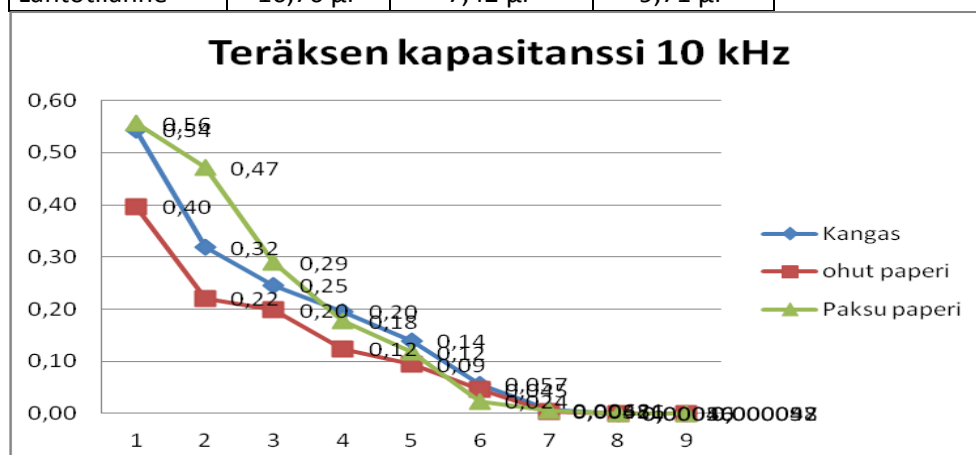


	Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
Lopputilanne	33,24 k Ω	$\infty \Omega$	$\infty \Omega$

Teräksen kapasitanssiarvot 1 – 200 kHz:n.

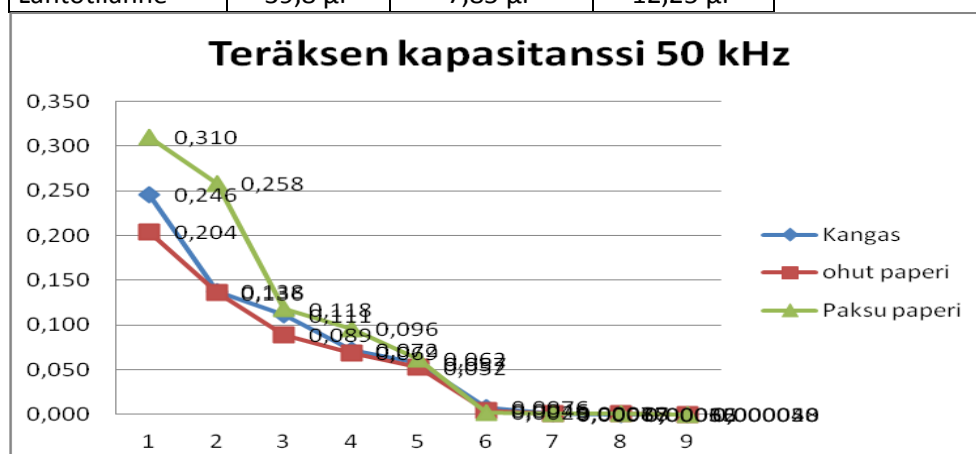


	Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
Lähtötilanne	16,76 μ F	7,42 μ F	9,71 μ F



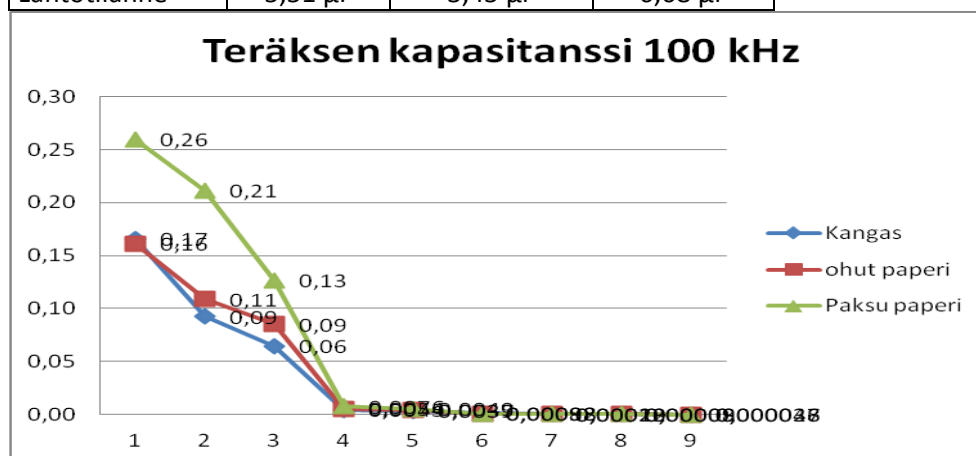
Mittaus	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kangas	0,54	0,32	0,25	0,20	0,14	0,057	0,00681	0,00046	0,000092
ohut paperi	0,40	0,22	0,20	0,12	0,09	0,045	0,00321	0,00020	0,000057
Paksu paperi	0,56	0,47	0,29	0,18	0,12	0,024	0,00456	0,00056	0,000048

	Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
Lähtötilanne	39,8 μ F	7,85 μ F	12,25 μ F



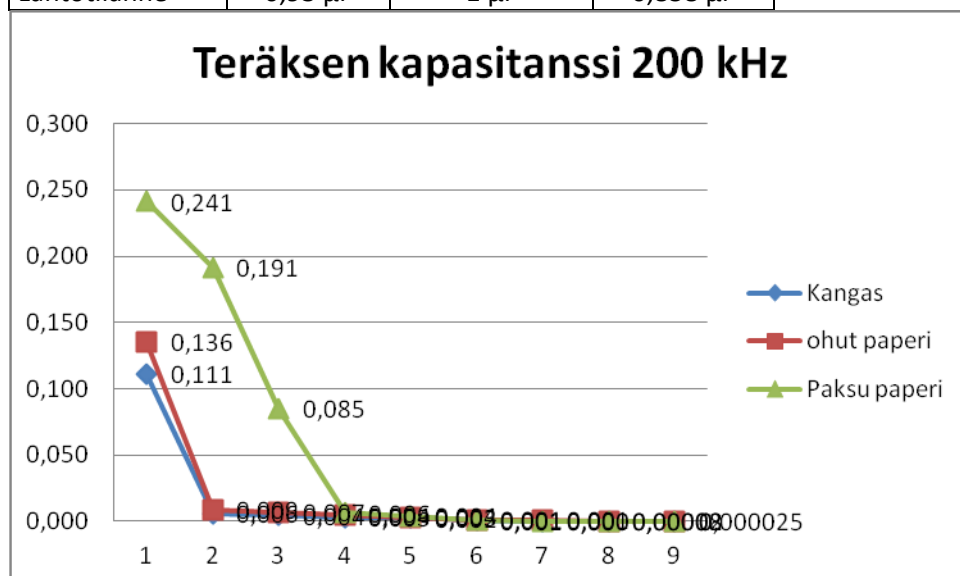
Mittaus	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kangas	0,246	0,138	0,111	0,072	0,057	0,0076	0,00067	0,00032	0,000050
ohut paperi	0,204	0,136	0,089	0,069	0,052	0,0046	0,00087	0,00065	0,000040
Paksu paperi	0,310	0,258	0,118	0,096	0,062	0,0025	0,00078	0,00056	0,000028

	Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
Lähtötilanne	5,51 μ F	3,45 μ F	6,68 μ F



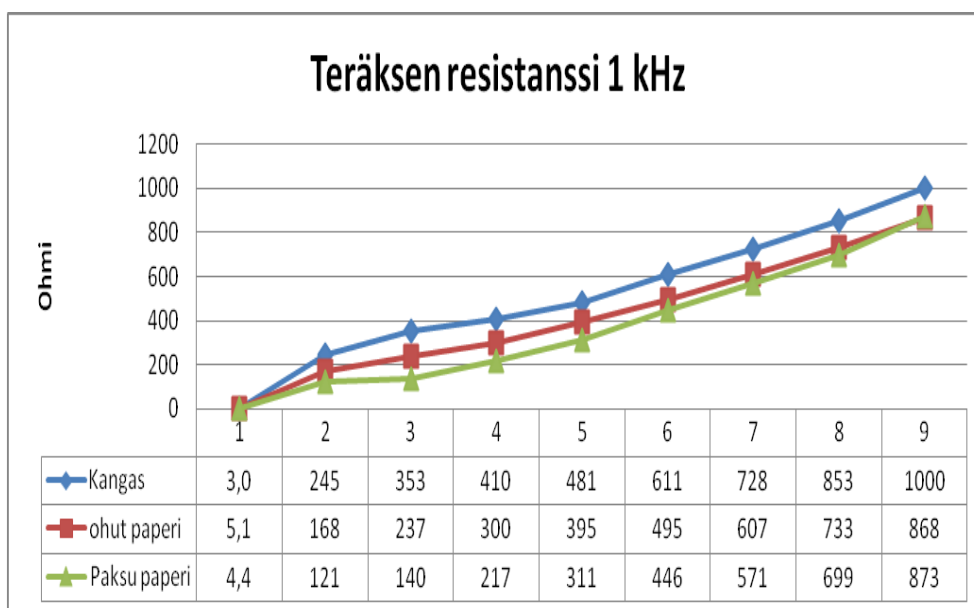
Mittaus	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kangas	0,17	0,09	0,06	0,0045	0,0037	0,00098	0,00020	0,00009	0,000048
ohut paperi	0,16	0,11	0,09	0,0054	0,0039	0,00088	0,00023	0,00009	0,000037
Paksu paperi	0,26	0,21	0,03	0,0076	0,0049	0,00092	0,00012	0,00008	0,000026

	Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
Lähtötilanne	0,93 μ F	1 μ F	0,858 μ F

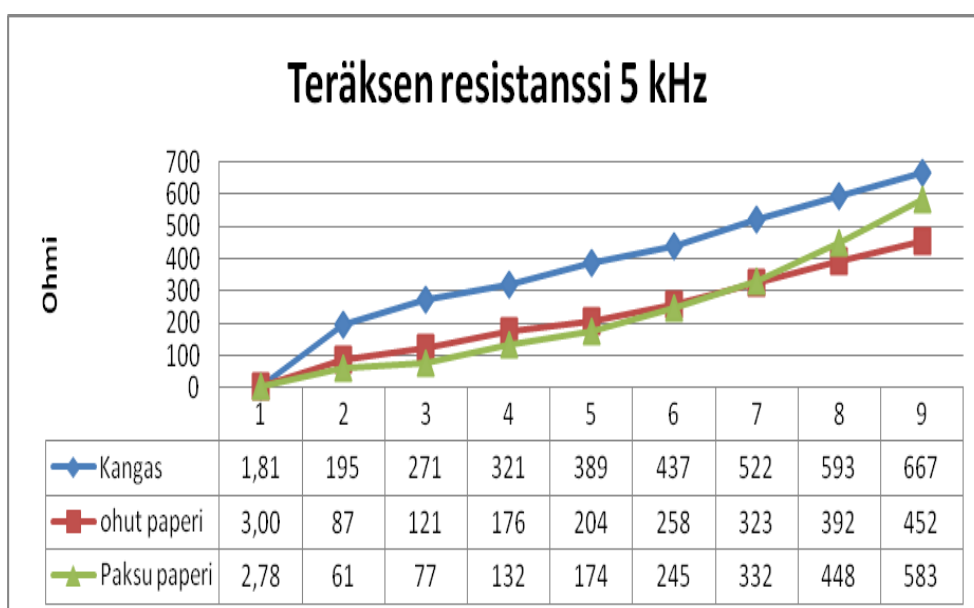


Mittaus	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kangas	0,111	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001	0,000	0,00008	0,000025
ohut paperi	0,136	0,009	0,007	0,004	0,003	0,001	0,001	0,00003	0
Paksu paperi	0,241	0,191	0,085	0,006	0,004	0,001	0,000	0,00002	0

Teräksen resistanssiarvot 1 – 200 kHz:n.

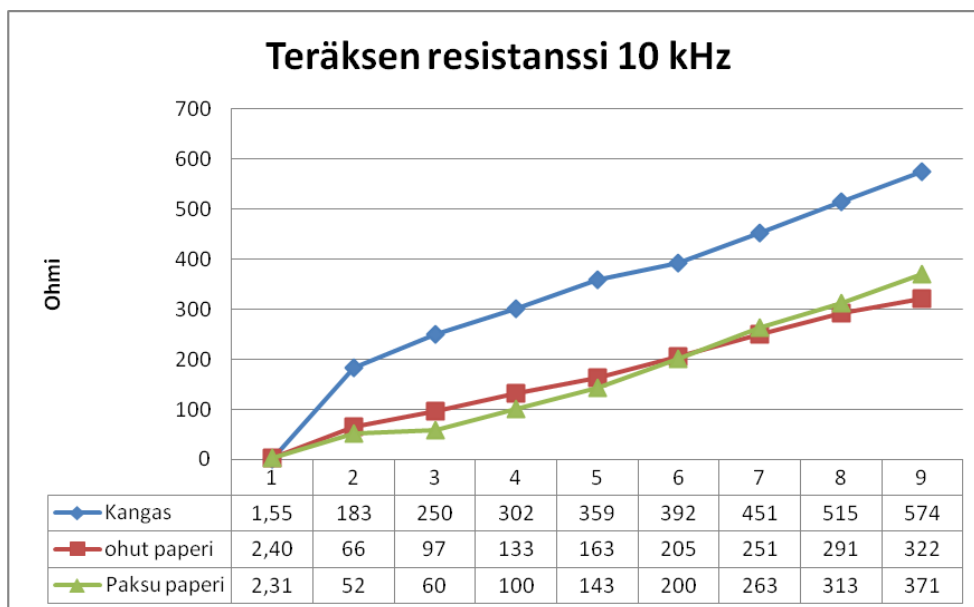


	Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
Lopputilanne	22,27 kΩ	19,67 kΩ	61,54 kΩ

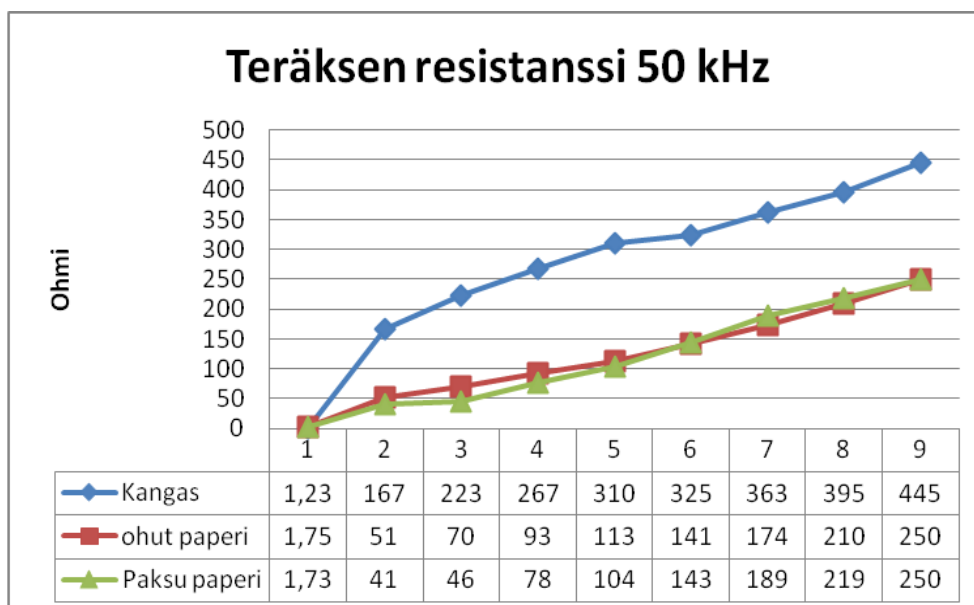


Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
--------	-------------	--------------

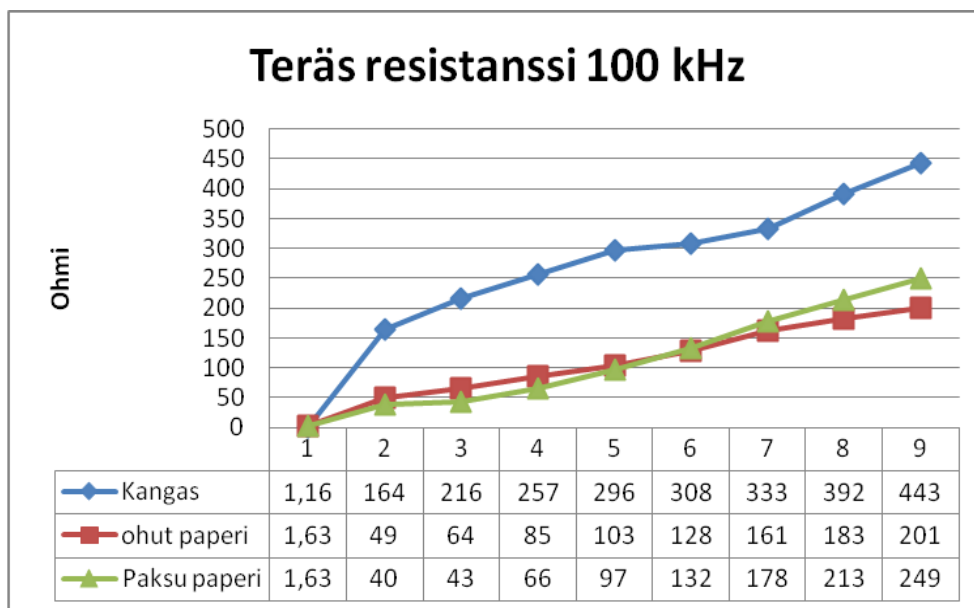
Lopputilanne	17,14 kΩ	10,61 kΩ	37,29 kΩ
--------------	----------	----------	----------



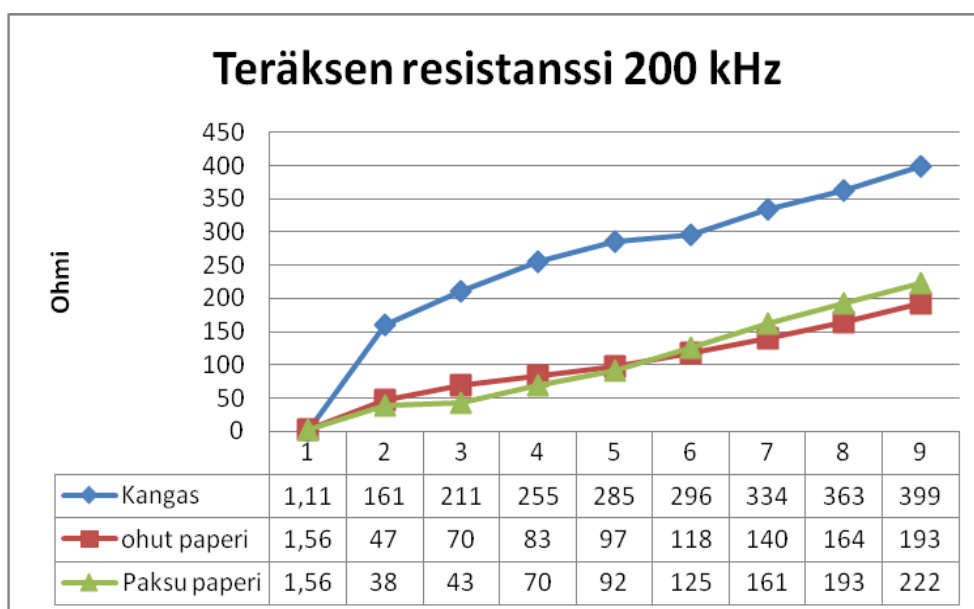
	Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
Lopputilanne	15,88 kΩ	8,14 kΩ	33,32 kΩ



	Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
Lopputilanne	13,48 kΩ	7,14 kΩ	26,97 kΩ



	Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
Lopputilanne	12,18 kΩ	6,72 kΩ	24,82 kΩ



	Kangas	ohut paperi	Paksu paperi
Lopputilanne	10,44 kΩ	6,22 kΩ	21,31 kΩ