

Kai-Markus Hirvonen

Lattialämmitys, vianetsintä
ja
korjausmenetelmä

Opinnäytetyö
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 7.5.2015
Tekijä(t) Kai-Markus Hirvonen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikan koulutusohjelma
Nimeke Lattialämmitys, vianetsintä ja korjausmenetelmä	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, millaisilla keinoilla vikaantunut lämmityskaapeli pystyt- täisiin paikantamaan sekä korjaamaan. Työssä käsiteltiin lattialämmityskaapeleita, lämmityksen mitoit- tamista, vikatilanteita, vianpaikannuslaitteita sekä lämmityskaapelin korjaaminen.</p> <p>Työn tavoitteena oli tutustua ja oppia käyttämään erilaisia vianpaikannuslaitteita sekä saada selville vi- kapaikka yksityisen perheen omakotitalon lattialämmityksestä, vianpaikannuslaitteiden avulla.</p> <p>Työn tuloksena vikapaikka saatiin löydettyä sekä syntyi kokonaisuus, josta löytyy tietoa lattialämmitys- ratkaisuista, mitoituksesta, vioista sekä vianpaikannuslaitteista ja kaapelin korjauksesta.</p>	
Asiasanat (avainsanat) Lattialämmitys, vianetsintä, lämpökamera, kaapelinhakulaite	
Sivumäärä 40	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä)	
Ohjaavan opettajan nimi Hannu Honkanen	Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin Ammattikorkeakoulu

DESCRIPTION

	Date of the master's thesis 7.5.2015
Author(s) Kai-Markus Hirvonen	Degree programme and option Electrical engineering
Name of the master's thesis Underfloor heating, troubleshooting and repair method.	
Abstract The purpose of this thesis was to investigate, what kind of methods could locate fault from underfloor heating cable and how to fix it. The thesis dealt with underfloor heating cables, heating dimensioning, fault situations, fault location equipment as well as repair of the heating cable. The goal was to get to know and learn to use a variety of fault location devices, as well as to find out the fault place for private family detached house from underfloor heating. As a result of the study the fault was found. The thesis also resulted in a set of instructions about Underfloor heating solutions, dimensioning, faults and fault location devices and cable repair.	
Subject headings, (keywords) Underfloor heating, troubleshooting, thermal camera, cable locator	
Pages 40	Language Finnish
Remarks, notes on appendices	
Tutor Hannu Honkanen	Master's thesis assigned by Mikkeli University of Applied Sciences

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	HISTORIA	1
3	LATTIALÄMMITYS	1
4	KAAPELITYYPIT	2
4.1	Vakiovastuskaapeli	2
4.2	Kiinteämetrittehoinen kaapeli	2
4.3	Itsesäätyvä kaapeli	3
4.4	Enston lattialämmityskaapelit	3
5	LATTIALÄMMITYKSEN SUUNNITTELU	6
5.1	Lämmityskaapelin valinta	6
5.2	Lämmityskaapelin mitoitus	6
6	LÄMMÖNTARPEEN LASKEMINEN	8
6.1	Mitoituslämpötilat	8
6.2	Huonekohtaisen tehontarpeen laskeminen	10
6.2.1	Johtumislämpöhäviöt	10
6.2.2	Vuotoilman lämmitystehon määrittäminen	11
6.2.3	Ilmanvaihdon lämmitystehon määrittäminen	12
7	MITTAUKSET	13
7.1	Lämmityskaapelin eristysresistanssi	14
7.2	Eristysresistanssimittaus, vaippavuoto	15
7.3	Lämmityskaapelin resistanssi	15
8	VIAT	16
8.1	Oikosulku	17
8.2	Katkos	17
8.3	Eristysvika	17
8.4	Huono kosketus	17
8.5	Kytkenävirhe	18
9	LÄMMITYSKAAPELEIDEN ELINIKÄÄ LYHENTÄVIÄ TEKIJÖITÄ	18
9.1	Vääränlainen käyttö	18
9.2	Mitoitus ja suunnitteluvirheet	18

9.3	Asennusvirheet	19
10	VIAN PAIKANTAMINEN	19
10.1	Kaapelinhakulaite Fluke 2042	20
10.1.1	Lähetin	21
10.1.2	Vastaanotin	22
10.2	Lämpökamera Fluke TiR32	24
10.2.1	Lämpötilamittaukset	26
10.3	Kaapelinhakulaite Pasar Amprobe AT2004	27
10.4	Kaapelivikojen mittauslaite Seba Dynatronic Kabellux 3T	29
11	KAAPELIN KORJAUS	33
12	ESIMERKKIKOHDE	34
13	POHDINTA	36
	LÄHTEET	37

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää erilaisia sähköisiä lattialämmityskaapeliratkaisuja, lämmityksen mitoitusta ja sitä, kuinka vikaantunut kohta lattialämmityksessä pystyttäisiin paikantamaan. Työssä perehdyn Enston valmistamiin lämmityskaapeleihin sekä erilaisiin vianetsintälaitteisiin, joilla pyrittiin havaitsemaan vikapaikka kohteessa.

Vian paikantamiseen oli käytettävissä seuraavat kaapelinhakulaitteet: Fluke 2042 ja Amprobe Pasar AT-2004, Fluke TiR32 -lämpökamera sekä Seba Dynatronic Kabellux 3T -mittauslaite. Työn tavoitteena on tutustua ja oppia käyttämään erilaisia vianpaikannukseen käytettäviä laitteita sekä löytää vikapaikka kohteesta. Valitsin työn aihekseni, koska se vaikutti mielenkiintoiselta ja käytännönläheiseltä.

2 HISTORIA

1970-luvun alussa Suomessa toteutettiin ensimmäiset lattialämmitysratkaisut lämmityskaapeleilla. Lattialämmitystä käytettiin pääasiassa sellaisissa tiloissa, joissa lattia- materiaali aiheutti kylmän lattiapinnan tunteen, kuten kylpyhuoneissa. [1.]

1990-luvun aikana vesikiertoisen lattialämmityksen yleistymisen myötä on lattialämmityksestä muodostunut pääasiallinen lämmönjakotapa. Yleistymiseen ovat vaikuttaneet laatta ja kivilattioiden lisääntyminen sisustuksessa sekä säätö- ja ohjausjärjestelmien kehitys ja sähkön uusi kaksoistariffihinnoittelu. [1.]

3 LATTIALÄMMITYS

Lattialämmityksellä tarkoitetaan huonekohtaista sähkölämmityksen muotoa, joka koetaan miellyttävänä arjenlisäyksenä. Lattialämmitys sopii kaikille, koska kuumia pintoja ei ole näkyvissä tai koskettavissa. Se on myös edullinen ja antaa miellyttävän lämpötilajakauman poistaen myös lattiavedon tunteen. [1.]

Lattialämmityksessä lämpö siirtyy huonetilaan perustuen konvektioon ja lämpösäteilyyn. Lattialämmityksessä lämmitysteho jakautuu koko lattian pinta-alalle, joten lämpöä luovuttava pinta on suuri sekä lämpötilan ei tarvitse olla kuin muutamia asteita korkeampi kuin huonelämpötila. Tästä johtuen lattialämmityksessä ei esiinny suurta ilmankiertoa ja lämmitystapa soveltuu hyvin allergisille ihmisille. [1.]

Lattialämmitys sopii useampiin lattia- ja materiaalirakenteisiin niin itsenäisenä lämmitysratkaisuna kuin useamman lämmitysratkaisun yhdistelmänä. Lämmitysmenetelmä voidaan toteuttaa varaavana, osittain varaavana tai jatkuvatoimimisena. Lattialämmityksen ansiosta ja hyvän ilman vaihdon avulla voidaan välttyä kosteusvaurioiden riskeiltä määrissä tiloissa. [1.]

4 KAAPELITYYPIT

Lattialämmityskaapelit luokitellaan kolmeen päätyyppiin toiminnallisten ominaisuuksien perusteella. Tyyppejä ovat vakiovastus-, kiinteämetritehoiset ja itsesäätyvät kaapelit. Jokaisessa ryhmässä on erilaiset teho- ja materiaalivaihtoehdot. [2, s.255.]

4.1 Vakiovastuskaapeli

Vakiovastuskaapelin metrivastus on vakio, joten mitä pidempi lämmityskaapeli on kyseessä, sitä pienempi on kokonaisteho ja kaapelin metriteho. Kaapelin toimintalämpötilaan vaikuttavat myös ympäristön lämpötila ja kaapelin mahdollisuudet luovuttaa lämpöä ympäristöönsä. Vakiovastuskaapelin tyyppi, metrivastus ja pituus valitaan valmistajan ohjeiden ja vaaditun tehon tarpeen mukaan. Kaapeli kytketään 230 tai 400 voltin jännitteeseen. Yleisimmät vakiovastuskaapeleissa käytetyt tehot ovat 12–25 W/m. [2, s.255.]

4.2 Kiinteämetritehoinen kaapeli

Kiinteämetritehoisen kaapelin sydämenä on kaksi eristettyä kuparijohdinta, joiden ympärille on spiraalimaisesti kiedottu vastuslanka. Kaapelin metriteho muodostuu vakioksi siten, että vastuslanka liitetään metrin välein vuorotellen kuparijohtimiin.

Liitäntäkohdat tuntuvat kaapelissa ohuemmilta. Asennuksessa kaapelin alkupäästä otetaan n. 80 cm ja loppupäästä n. 20cm, jotta kaapeliin saadaan ”kylmä osuus”. [2, s.256.]

Kiinteämetrittehoinen kaapeli valitaan ja mitoitetaan eri metritehovaihtoehtoista 10–30 W/m ottaen huomioon asennettava ympäristö. Kaapelin rakenne rajoittaa sen asennuspituutta. Kaapeliasennuksessa minimi on yksi lämpenevä metri ja maksimi metritehoilla 30 W/m 75 m, 20 W/m 90 m ja 10 W/m on 120 m. Kiinteämetrittehoinen kaapeli kytketään aina 230 V jännitteeseen. [2, s.256.]

4.3 Itsesäätyvä kaapeli

Itsesäätyvä kaapeli koostuu kahdesta tai useammasta johtimesta, ja niiden välissä on puolijohtava massa. Massan lämmitessä sen ominaisresistanssi kasvaa ja lämpöteho pienenee. Vastaavasti lämpötilan laskiessa massan resistanssi pienenee ja lämpöteho alkaa kasvamaan. Kaapeliin kohdistuvan virran suuruus riippuu siitä lämpötilasta, missä kaapeli on. Itsesäätyvä lämmityskaapeli yrittää pitää lämpötilansa vakiona vaikuttavasta ympäristön lämpötilasta tai erilaisista lämmönluovutustilanteista riippumatta. Sama kaapeli voi kulkea erilaisissa lattiaratkaisuissa, jolloin kaapeliin muodostuu erikokoisia metritehoja. Tyypillisiä asennuskohteita ovat pienet tilat, kuten wc, jossa halutaan mukavuuslämmitys, sekä erilaisten putkistojen sulana pidossa. Itsesäätyvä kaapeli saa risteillä itsensä kanssa toisin kuin vakio ja kiinteämetrittehoiset kaapelit. [2, s.257.]

4.4 Enston lattialämmityskaapelit

Lattialämmityskaapeleita on saatavilla monilta eri valmistajilta. Työssä perehdytään Enston valmistamiin kaapeleihin. Valikoimasta löytyvät Tassu- ja Tassu S lämmityskaapelisarjat. Molempien sarjan kaapelit ovat huoltovapaita pitkäikäisiin lattialämmitysratkaisuihin. Tassu (20 W/m) kaapelia käytetään pääsääntöisesti uusissa betonirakenteisissa lattioissa (kuva 1). Kaapeli soveltuu osittain varaavaan ja jatkuvatoimiseen lattialämmitykseen. Tassu S (10 W/m) kaapelia käytetään yleisesti saneerauskohteissa ja puurakenteisissa lattioissa, sekä uudisrakennuksen asennuskohteissa, jos tehontarve ei ole kovin suuri. Tassu S lämmityskaapelia käytetään jatkuvatoimisena. [3, s.21; 4.]



KUVA 1. Tassu lämmityskaapeli [3, s.21]

Enstolta on saatavissa myös ohuet lattialämmityskaapelit ja -matot saneerauskohteisiin. ThinMat- ja ThinKit-sarjalaiset ovat helppoja ja nopeita asennettaviksi suoraan vanhan lattian päälle.

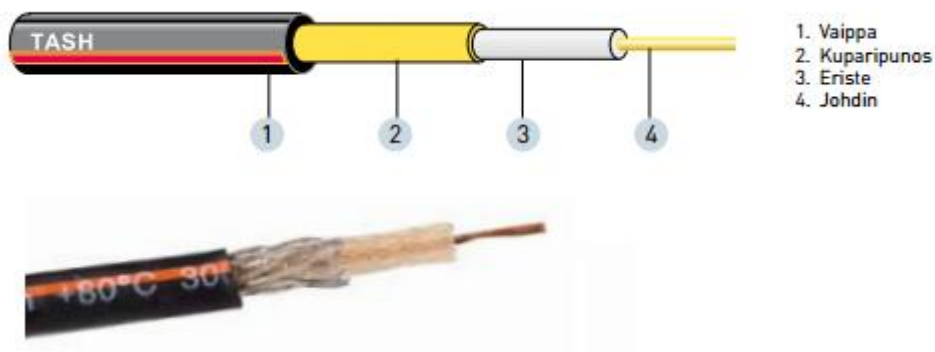
ThinKit-lämpökaapeli on suunniteltu käytettäväksi pienissä ja sokkeloisissa tiloissa. Lämmityskaapeli on muodoltaan pyöreä eikä se kierry asennettaessa. Kaapeli on halkaisijaltaan vain 4,2 mm. Pienestä paksuudesta johtuen tulee mahdolliseksi vain pieni korotus lattiaan saneeraus tai uudiskohteen yhteydessä. ThinKit-kaapeli tulee aina asentaa palamattoman materiaalin päälle. Kaapelin päälle tulee vain ohut tasoituslaasti. Lämmityskaapelin laskettu teho on 60–150 W/m² ja teholtaan alle 80 W/m² käytetään vain matalaenergiataloihin. [3, s.21; 4.]

ThinMat-lämpökaapelimatto (kuva 2) on mahdollista asentaa puisten lattiapintojen päälle kuten lastulevyn ja vanerin. Lämpökaapelimattoa on saatavilla kahdessa eri teholuokassa 100 W/m² ja 160 W/m². Pienempitehoinen matto soveltuu useampiin käyttökohteisiin, ja isompitehoinen matto on tarkoitettu alueille, missä on heikommin eristettyjä rakenteita ja tiloja, sekä lattiamateriaalina toimivat betoni, klinkkeri tai kivi. ThinMat 160 W/m² -lattialämmitysmatto ei ole käyttökelpoinen puisille pintamateriaaleille. ThinMat-lattialämmityskaapelin paksuus on 3,4 mm, ja se on helppo asentaa, kaapelin koko alan peittävän tiukasti kiinnittyvän liimapintaisen verkon ansiosta. Kaapelimatto ei siten lähde nousemaan valun aikana. Matto on vakioleveydeltään 48 cm ja asennus on peitettävä tasoituslaastilla. Molemmat tuotteet ovat ohuita ja siksi lattian korkeus jää mahdollisimman pieneksi. Tuotteet ovat kustannuksiltaan halpoja. [3, s.21; 4.]



KUVA 2. ThinMat-lämpökaapelimatto [3, s.21]

Ennen uudempien lattialämmityskaapeleiden tulemista markkinoille vanhoissa kohteissa käytettiin Tash-tyyppistä lämmityskaapelia. Tash-vakiovastuskaapeli on yksijohtiminen lämmityskaapeli eli kaapeli muodostaa asennuksessa lenkin ja molemmat kaapelin liitospäät tuodaan kylmäkaapelin kytkentärasiaan lattiassa (kuva 3). Kytkentärasiasta kaapeli jatkuu termostaatille MMJ 3*1,5S johdolla. Tash-kaapeli soveltuu erimuotoisiin asennuskohteisiin myös suurille alueille. Nykyään Tash-vakiovastuskaapeleita käytetään ulkoalueiden, putkien ja säiliöiden sulana pitoon. Kaapelin ulkovaippa on kestävä HFFR-materiaalia. Maksimikuormituksena 30 W/m betonissa, 25 W/m hiekassa ja 20 W/m putken pinnalla. Tash-kaapeleita on saatavilla 0,1 – 10 ohm/m tehoisina. [9, s.3-5; 10.]



KUVA 3. Tash-kaapelin rakenne [9, s.3-5]

5 LATTIALÄMMITYKSEN SUUNNITTELU

Lähtökohtana lattialämmityksen suunnittelussa on riittävä lämmitysteho kylminä vuodenaikoina. Jatkuvatoimisessa lattialämmityksessä lattialämmityskaapelin teho on oltava suurempi kuin 1,2 kertaa lasketun tilan lämpöhäviöt. Osittain varaavassa lattialämmityksessä lattialämmityskaapelin teho on oltava suurempi kuin 1,4 kertaa lasketun tilan lämpöhäviöt. [3, s.22.]

Lattialämmityksen pinnanlämpötila on oltava miellyttävä sitä käytettäessä. Lattiapinnan on tunnettava sopivalta vuodenajasta riippumatta. Asennettavan kohteen tasainen lämpötila saadaan oikealla kaapelin asennusetäisyydellä, joka on 10–30 cm riippuen kaapelin tehosta. [3, s.22.]

Suunnittelussa on myös huomioitava se, että lattialämpötila ei saa vahingoittaa lattiamateriaaleja. Oikein valituilla lattiamateriaaleilla on siis iso merkitys lopputulokseen sekä lattiamateriaalille oikean lämpötilan valitseminen on tärkeää. Lattiarakenteista riippuva reagointi-aika erilaisiin lämmitystarpeisiin pitää olla riittävän nopeaa. [3, s.22.]

5.1 Lämmityskaapelin valinta

Lattialämmityskaapelin valinta tapahtuu lattiamateriaalien ja rakenteiden mukaan. Ominaisuudet määrittävät kaapelin tyypin, tehon sekä asennustavan kohteessa. Kohteen mukaisesti kaapeli mitoitetaan ja varmistetaan sopivaksi valintataulukon avulla. Lattialämmitys kaapelin valintaan voivat vaikuttaa myös kaapelin asennussyvyys, lattiapinnoite ja useamman kaapelin välinen etäisyys. [3, s.22.]

5.2 Lämmityskaapelin mitoitus

Lattialämmityskaapeleiden mitoitukseen on saatavilla erilaisia ohjelmia ja taulukoita. Lämmityskaapelin asennusväli voidaan laskea kaavalla 1. [3, s.22.]

$$Asennusväli = \frac{Pinta-ala/m^2}{kaapelin\ pituus/m} \quad (1)$$

Lattialämmityksen neliöteho pystytään laskemaan seuraavalla kaavalla 2. Kaavassa Yksikkö W / m^2 kertoo, kuinka paljon kaapeli luovuttaa lämmitystehoaan neliömetrin alueelle.

$$Neliöteho = \frac{\text{Kaapelin teho}/W}{\text{Lattian pinta-ala}/m^2} \quad (2)$$

Esimerkkilaskuna selvitetään Tassu 9-kaapelin asennusväli ja saavutettu neliöteho, jos lattian pinta-ala on $8 m^2$. Lämmityskaapelin pituus on 40 m ja teho 900 W.

$$Asennusväli = \frac{8 m^2}{40 m} = 0,2m$$

$$Neliöteho = \frac{900 W}{8 m^2} = 112,5 W/m^2$$

Kyseinen kaapeli antaa siten esimerkkitilanteessa $112,5 W/m^2$ lämmitystehon yhden neliömetrin alueelle. Enstolta on saatavissa myös taulukoita, joissa kaapelin asennusvälien etäisyydet on laskettu valmiiksi. Taulukossa 1 on yleiset neliötehot ja asennusvälit Tassu-kaapelille. [3, s.22.]

TAULUKKO 1. Tassu 20 W/m –kaapelin asennusvälit [3, s.22]

Tassu (20 W/m)	
Minimi taivutussäde 40 mm	
Neliöteho (W/m ²)	Asennusväli (cm)
60	33
70	29
80	25
90	22
100	20
110	18
120	17
130	15
140	14
150	13

6 LÄMMÖNTARPEEN LASKEMINEN

Rakennukseen kohdistuva lämmitystehon tarve riippuu ilmanvaihdosta, ilmavuodoista ja rakenteisiin kohdistuvista johtumislämpöhäviöistä. Suunnittelun ja rakennuksen lämmitysjärjestelmän perustana toimivat kohteen koko, rakenteet, ilmanvaihtojärjestelmä sekä sijainnista huomioitava lämmitystehontarpeen määrittäminen. Mitoituksen ei tulisi perustua kokemukseräisiin arvioihin. Vuodesta 2000 alkaen rakennuksiin kohdistuvat lämmöneristysvaatimukset ovat tiukentuneet paljon, joten on aloitettu rakentamaan uudenlaisia rakennuksia, joissa on entistä pienempi lämmitystehon tarve. [13, s.2.]

Liian suureksi mitoitettu lämmitysteho lisää laite- ja käyttökustannuksia. Alimitoitettu lämmitysteho ei riitä kattamaan tilan lämmitystarvetta vuoden ympäri. Tilan todelliseen lämmitystehon tarpeeseen vaikuttavat lattialämmityksen laite-, sijoitus ja ohjausvalinnat. Taulukossa 2 on määrättyt lämmönläpäisykerroimet eri rakennusosille. [13, s.2.]

TAULUKKO 2. Lämmönläpäisykerroin muutokset [13, s.2]

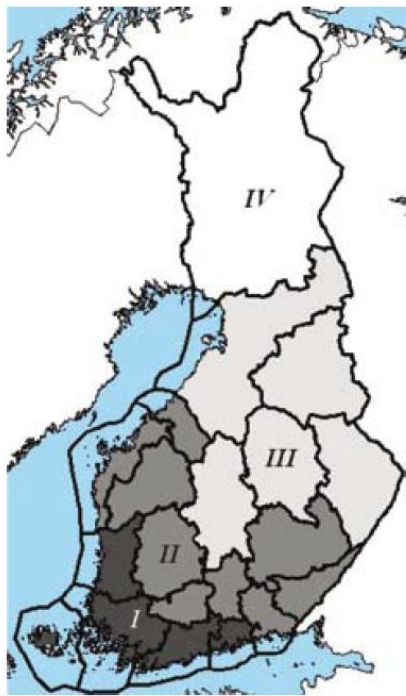
	Normitalo C3/1985	Normitalo C3/2003	Normitalo C3/2007
Lattia,maavarainen	0,36	0,25	0,24
Lattia,ryömintätila	0,22	0,2	0,19
Ulkoseinä	0,28	0,25	0,24
Yläpohja	0,22	0,16	0,15
Ikkuna	2,1	1,4	1,4
Ovi	2,1 (0,7)	1,4	1,4

6.1 Mitoituslämpötilat

Rakennukset tulisi suunnitella ja rakentaa siten, että sisätiloissa olisi viihtyisä lämpötila oleskella käyttöajasta riippumatta ilman, että energiaa käytettäisiin liiallisesti.

Mitoitus sisälämpötilaa T_s , käytetään suunnitteluarvona yleisesti sisälämpötilaa 21 °C huonelämpötilan lämmityskautena. Tarpeen mukaan huonelämpötila voidaan suunnitella poikkeavaksi ohjearvosta. Hyväksyttävänä poikkeamana on yhden asteen heitto kumpaankin suuntaan suunnitteluarvosta huoneen keskellä 1.1 metrin korkeudessa. Ohjearvot sisälämpötiloille asuinrakennuksissa ovat: huoneet joissa asutaan, oleskelaan tai työskennellään $+21\text{ °C}$, wc, sauna ja pesuhuoneet $+22\text{ °C}$, vaatteiden kuivaus-tila $+24\text{ °C}$. Varastoissa yms. puoliksi lämpimissä tiloissa $+5\text{--}17\text{ °C}$. [13, s.2.]

Mitoitusulkolämpötilaa $T_{u,mit}$, käytetään lämpöhäviöiden selvittämiseen, kun ulkona on kylmimmät lämpötilat. Lämmitystehoa laskettaessa, ulkolämpötilana on käytettävä mitoitettua ulkoilman lämpötilaa, joka määräytyy paikkakunnan mukaan. Kuvan 4 mukaisesti Suomi on jaettu neljään lämpötilavyöhykealueeseen. Mitoitettavat ulkoilman lämpötilat alueittain ovat: alue yksi -26 °C , kaksi -29 °C , kolme -32 °C ja alue neljä -38 °C . [13, s.2.]



KUVA 4. Lämpötilavyöhykkeet [13, s.2]

Lämpöhäviötä laskettaessa alapohjista tulee ottaa huomioon se, että ulkolämpötila muuttuu lattianrakenteen mukaisesti. Jokaisella vyöhykealueella on oma vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila $T_{u,keski}$. Alueella yksi lämpötila on $+5\text{ °C}$, alueella

kaksi +4 °C, alueella kolme +2 °C ja alueella neljä 0 °C. Kyseisiä lämpötila-arvoja tarvitaan, kun lasketaan erilaisia lämpöhäviöitä alapohjista. Taulukossa 3 on nähtävissä lämpötilan määrittäminen alapohjaan liittyen. [13, s.3.]

TAULUKKO 3. Alapohjan mitoitus lämpötila [13, s.3]

Lattiarakenne	Mitoittava ulkolämpötila
Maavarainen lattia	Vuoden keskilämpötilaan lisätään kaksi astetta $T_{u,keski} +2 \text{ °C}$
Ryömintätilalla varustettu lattia, tuuletusaukkoja on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta	Vuoden keskilämpötilasta vähennetään kaksi astetta $T_{u,keski} -2 \text{ °C}$
Ryömintätilalla varustettu lattia, lämmönjohtuminen alapohjasta tapahtuu pääasiassa ulkoilmaan	Mitoitusulkolämpötila ($T_{u,mit}$)

6.2 Huonekohtaisen tehontarpeen laskeminen

Lämmitystehontarve rakennuksessa lasketaan usein huonekohtaisesti. Tätä kautta saadaan selville huoneeseen tarvittava lämmitysteho, minkä perusteella pystytään valitsemaan huoneeseen sopivat lämmityslaitteet. Mitoituksen lähtötiedoiksi tarvitaan rakennuspiirustukset, joista selviää eri rakenteiden pinta-alat, rakennekuvista selviävät lämmönläpäisykertoimet, mitoituslämpötilat sijainnin mukaan, rakennuksen ilmastointijärjestelmän tiedot sekä tiiveyskerroin, jos rakennus on normaalia tiiviimpi. Lämpöhäviöiden lisäksi lasketaan myös ominaislämpöhäviöitä H , joita käytetään energiankulutuksen laskemisessa. [13, s.3.]

6.2.1 Johtumislämpöhäviöt

Johtumislämpöhäviöt saavat alkunsa lämpötilaeroista, jotka tapahtuvat rakenteiden ulko- ja sisäpuolen välillä. On otettava huomioon, että vaipan johtumislämpöhäviöt joudutaan laskemaan huonekohtaisesti. Tämän lisäksi huomioitavaa on lämmön matka lämpimästä tilasta kylmään. [13, s.3.]

Rakenteisiin kohdistuvat ominaislämpöhäviöt H_{rakenne} pystytään laskemaan lämmönläpäisykertoimen ja eri rakenteiden pinta-alan avulla käyttäen kaavaa 3.

$$H_{rakenne} = A_{rakenne} * U_{rakenne} \quad (3)$$

Kun kerrotaan rakenteeseen vaikuttava ominaislämpöhäviö kyseisellä lämpötilaerolla, joka vaikuttaa rakenteen ylitse, saadaan laskettua rakenteen läpi vaikuttava johtumishäviö Φ_{joht} käyttäen kaavaa 4.

$$\Phi_{joht} = \sum H_{rakenne} * \Delta T = H_{lattia} (T_s - T_{u,mit,maa}) + H_{katto} (T_s - T_{u,mit,katto}) + H_{seinä} (T_s - T_{u,mit}) + H_{ikkuna} (T_s - T_{u,mit}) + H_{ovi} (T_s - T_{u,mit}) \quad (4)$$

jossa $H_{rakenne}$ on ominaislämpöhäviö, yksikkö W/K,

$A_{rakenne}$ on rakennusosan pinta-ala, yksikkö m^2 ,

$U_{rakenne}$ on rakenteen lämmönläpäisykerroin, yksikkö $W/(m^2K)$,

T_s on sisäilman lämpötila, yksikkö $^{\circ}C$,

$T_{u,mit,maa}$ on maan lämpötila lattiarakenteen alla, yksikkö $^{\circ}C$,

$T_{u,mit,katto}$ on mitoitettava ulkolämpötila, yksikkö $^{\circ}C$,

$T_{u,mit}$ on mitoitettava ulkolämpötila, yksikkö $^{\circ}C$.

6.2.2 Vuotoilman lämmitystehon määrittäminen

Vuotoilmavirrat kiinteistöissä johtuvat tuulen ja lämpötilaerojen aiheuttamasta paine-erosta. Ilmavirran $n_{vuotoilma}$ suuruus riippuu rakennuksen vaipan ilmanpitävyydestä, rakennuksen korkeudesta ja sijainnista sekä ilmanvaihtojärjestelmästä. Ilmavuotoja ei yleensä huomioida maanalaisissa tiloissa ja rakennuksen keskellä sijaitsevilla tiloilla. Jos rakennuksen ilmanpitävyyttä ei tiedetä, laskemisessa käytetään arvoa $n_{vuotoilma} = 0,16$ 1/h. Vuotoilmavirta pystytään laskemaan kaavalla 5. [13, s.4.]

$$q_{v,vuotoilma} = n_{vuotoilma} V/3600 \quad (5)$$

jossa $n_{vuotoilma}$ on 0,16 1/h,

V on rakennuksen tilavuus, yksikkö m^3 ,

3600 on kerroin.

Vuotoilmavirrasta aiheutuva ominaislämpöhäviö pystytään laskemaan kaavalla 6.

$$H_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} \quad (6)$$

jossa ρ_i on ilman tiheys 1,2 yksikkönä kg/m^3 ,

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti 1000 yksikkönä $\text{Ws}/(\text{kgK})$,

$q_{v,vuotoilma}$ on vuotoilmavirta, yksikkö m^3/s .

Vuotoilmavirrasta tapahtuva lämmitystehon tarve pystytään laskemaan kaavalla 7.

$$\Phi_{vuoto} = H_{vuotoilma} (T_s - T_{u,mit}) \quad (7)$$

jossa $H_{vuotoilma}$ on ominaislämpöhäviö, yksikkö W/K ,

T_s on sisäilman lämpötila, yksikkö $^{\circ}\text{C}$,

$T_{u,mit}$ on mitoitettava ulkolämpötila, yksikkö $^{\circ}\text{C}$.

6.2.3 Ilmanvaihdon lämmitystehon määrittäminen

Rakennuksessa vaikuttavan ilmanvaihdon lämmityksen vaatima teho Φ_{iv} lasketaan ilmanvaihdon ilmavirran avulla. Ilmanvaihdon ilmavirtaa $q_{v,poisto}$ käytetään yleisesti laskemisessa käytöntarpeen ja sisäilmastontavoitteiden mukaisesti suunniteltua käyttöajan normaalia ilmavirtaa. Jos ilmavirtaa ei tiedetä, on mahdollista käyttää keskimääräistä ominaisilmavirtaa, joka on rakennuksissa joissa asutaan 0,35–0,50 $(\text{dm}^3/\text{s})\text{m}^2$ ja toimistotiloissa 2 $(\text{dm}^3/\text{s})\text{m}^2$. Ominaislämpöhäviö ilmanvaihdossa pystytään laskemaan kaavalla 8. [13, s.4.]

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} (1 - \eta_{p,mit}) \quad (8)$$

jossa H_{iv} on Ominaislämpöhäviö, yksikkö W/K ,

ρ_i on ilman tiheys 1,2 yksikkönä kg/m^3 ,

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti 1000 yksikkönä $\text{Ws}/(\text{kgK})$,

$q_{v,poisto}$ on poistoilmavirta, yksikkö m^3/s ,

$\eta_{p,mit}$ on talteen otettavan lämmön poistoilman lämpötilasuhde.

Ilmanvaihdon vaatima lämmitysteho pystytään laskemaan kaavalla 9.

$$\Phi_{iv} = H_{iv} (T_s - T_{u,mit}) \quad (9)$$

jossa H_{iv} on Ominaislämpöhäviö, yksikkö W/K,

T_s on sisäilman lämpötila, yksikkö °C,

$T_{u,mit}$ on mitoitettava ulkolämpötila °C.

Talteen otettavan lämmön poistoilman lämpötilasuhde $\eta_{p,mit}$ lasketaan kaavalla 10.

$$\eta_{p,mit} = (T_s - T_{jäte,mit}) / (T_s - T_{u,mit}) \quad (10)$$

jossa T_s on sisäilman lämpötila, yksikkö °C,

$T_{jäte,mit}$ on asuinrakennuksen tiloissa + 5 °C,

$T_{u,mit}$ on mitoitettava ulkolämpötila, yksikkö °C. [13, s.5.]

7 MITTAUKSET

Eristysresistanssimittauksella varmistetaan, että asennuksen tai kohteen jännitteiset osat ovat riittävän eristettyjä maasta. Eristysresistanssi on mitattava kaikkialta kohteesta, jotta se voidaan todeta turvalliseksi. Eristysresistanssimittaus olisi hyvä suorittaa ensimmäisenä, joka helpottaa muita mittauksia tehdessä, koska nolla ja maadoitusjohdin eivät ole yhdessä. [5.]

Mittaus suoritetaan eristysresistanssimittarilla, ennen laitteiston käyttöönottoa jännitteettömässä tilassa. Käyttökojeiden ei tarvitse olla kytkettyinä verkkoon. Mittaus tehdään tasavirralla ja testattavan mittarin on kyettävä syöttämään 1 mA:n virta koejännitteellä, jotta mittaus olisi luotettava. [5.]

Pienemmissä sähköasennuksissa eristysresistanssi mitataan koko asennuksesta. Jos mittaustulos on liian pieni eikä saavuta määrättyä arvoa, on mittaus tehtävä ryhmäjohtokohtaisesti. Suuremmissa asennuksissa mittaus tehdään yleensä keskuskohtaisesti.

Ryhmäkohtainen mittaus pitää aina suorittaa, kun lähdössä on esim. kontaktori, joka ohjaa laitetta sekä pienoisjännitteisissä ja suojaerotetuissa piireissä. Mikäli eristysresistanssimittauksessa ei saavuteta vaadittua eristysresistanssia, on selvítettävä, mistä ongelma johtuu. Yleisiä syitä mittauksen epäonnistumiseen ovat huono liitos, eristysvika kaapelissa ja sähkölaitteiden vuotovirrat. Taulukossa 4 ovat eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot. [5.]

TAULUKKO 4. Eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot

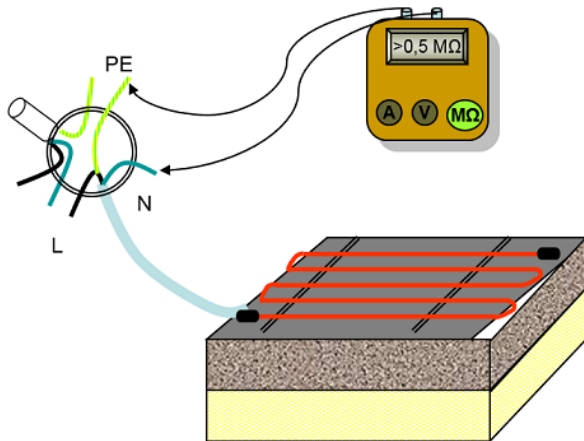
Eristysresistanssi pienimmät sallitut arvot		
Virtapiirin nimellijännite (V)	Koejännite DC (V)	Eristysresistanssi (MΩ)
SELF, PELF	250	> 0,25
< 500	500	> 0,5
> 500	1000	> 1,0

Eristysresistanssimittauksen tarkoitus on:

- tarkistaa jännitteisten osien eristystilan maata vasten
- varmistaa että nolla ja maadoitusjohdin ole kytketty yhteen asennuksessa
- tarkistaa, ettei SELV-, PELV- ja FELV suojaerotettu piiri ole yhteydessä muihin piireihin
- tarkistaa, että vikavirtasuojatulla piirillä ei ole yhteyttä muihin piireihin
- varmistaa, ettei asennuksen jälkeen eristystila ole laskenut (esim. lämmityskaapelit) [5.]

7.1 Lämmityskaapelin eristysresistanssi

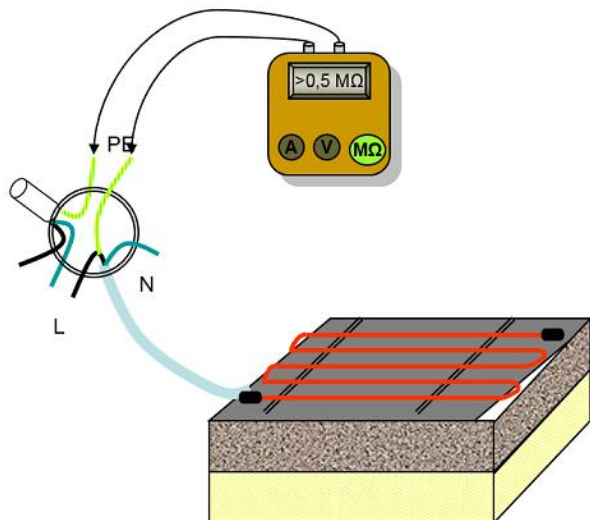
Lämmityskaapelin eristysresistanssia mitattaessa kohde tehdään jännitteettömäksi, jonka jälkeen irrotetaan lattialämmityksen syöttö termostaatin koerasiassa. Oikeantyyppisellä mittarilla mitataan lämmityskaapelin vaihe johtimen ja suojavaipan PE väliltä sekä nolla johtimen ja PE:n väliltä (kuva 5). Mittaus pitäisi suorittaa ennen asennusta ja valun jälkeen, jotta voidaan todeta kaapelin toimivuus. Tulokset on merkittävä mittauspöytäkirjaan, jotta kaapelille määrätty takuu olisi voimassa. [5.]



KUVA 5. Eristysresistanssimittaus [5]

7.2 Eristysresistanssimittaus, vaippavuoto

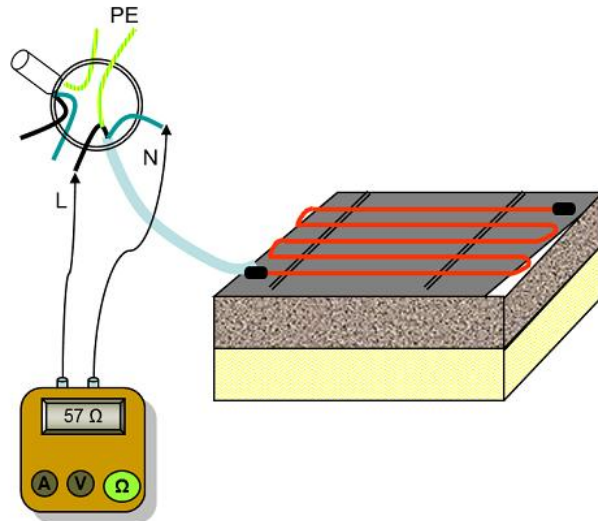
Lämmityskaapelin vaippavuotoa mitattaessa mitattava kohde saatetaan turvalliseksi mittausta varten, kuten eristysresistanssin kohdalla. Mittaus tapahtuu kuvan 6 mukaisesti sähköverkon syöttävän maadoitusjohdon ja lämmityskaapelin suojavaipan PE väliltä. [5.]



KUVA 6. Vaippavuodon mittaaminen [5]

7.3 Lämmityskaapelin resistanssi

Lattialämmityskaapelin silmukkaresistanssia mitattaessa kohde tehdään ensin jännitteettömäksi ja irrotetaan lämmityskaapelin johdot termostaatista. Resistanssi mitataan lämmityskaapelin nolla ja vaihejohtimen väliltä (kuva 7). Mitatun arvon tulisi vastata valmistajan ilmoittamaa kaapelin ominaisresistanssia. Mittaustuloksen ollessa pienempi kaapelissa todennäköisesti on vaurio. [5.]



KUVA 7. Resistanssimittaus [5]

8 VIAT

Sähkölaitteissa ja asennuksissa esiintyviä tyypillisiä vikoja ovat:

- oikosulku
- katkos
- eristysvika
- huono kosketus
- kytkentävirhe.

Kukin vika ilmenee häiriönä kohteessa. Asentajan tehtävänä on etsiä ja havaita mahdollinen vikatilanne ja korjata se. Vian selvittämiseen apuna käytetään vianetsintälaitteita, kuten erilaisia mittareita, lämpökameraa ja kaapelinhakulaitteita ja tutkia. Laitteen valinta riippuu siitä, millainen asennuskohde ja vikatilanne on kyseessä. [6, s.89.]

8.1 Oikosulku

Oikosulku tapahtuu, kun vaihejohdin joutuu kosketuksiin nollan, maadoituksen tai toisen virrallisen johtimen kanssa. Oikosulku syntyy johtimien suorasta kosketuksesta, kosteudesta tai epäsuorasta johtumisesta. Vahinkoja pyritään estämään sulakkeella tai muun laisella kuormitusta valvovalla laitteella. Oikosulkutilanteessa sulake palaa nopeasti tai kuormituslaite laukeaa. Oikosulku ilmenee palaneena sulakkeena, komponenttina, kitkeränä hajuna tai palovauriona komponenteissa. [6, s.89.]

8.2 Katkos

Katkos ilmenee siten, että asennus/laitteisto toimii osittain, pätkimällä tai kokonaan toiminnon pysähtymisenä. Katkoksen yhteydessä sulake tai vikavirtasuojalaite laukeaa. Katkoksen tunnusmerkkinä yleensä on, että jännite tai signaali lähtee laitteistoon, mutta ei saavu perille. Katkoksen syitä ovat liian suuri vetorasitus kaapelissa, vanheneminen, hapettuminen, huono liitos ja ylijännitteen tai virran aiheuttama vika. [6, s.94.]

8.3 Eristysvika

Eristysvika on vastaavanlainen vika kuin oikosulku. Eristysvika aiheutuu esim. kaapelin eristyksen vaurioitumisesta, kosteudesta, lämpötilasta tai likaantumisen vuoksi. Vikatilanteessa laite ottaa nimellisvirtaansa suuremman virran, joten laite ja sulake ylikuormittuvat. Pitkään vaikuttanut eristysvika ikäännyttää komponentteja ja vähentää toiminnan luotettavuutta. Asennuksen takana oleva sulake lämpenee ja palaa ajoittain tai laukeaa. Rungon ja vaiheen välillä tapahtuva eristysvika voi aiheuttaa hengenvaaran tai epämiellyttäviä sähköiskuja. [6, s.93.]

8.4 Huono kosketus

Huonon kosketuksen syynä voivat olla löysä liitos elektroniikassa tai liittimissä, liittimien ja kytkentäpintojen likaantuminen tai hapettuminen. Vika saattaa ilmetä laitteen toimimisena katkoittain ja satunnaisesti. Laite voi kuormittaa syötettävää virtapiiriä vikatilanteessa ja polttaa sulaketta epäsäännöllisesti. [6, s.96.]

8.5 KytKentävirhe

KytKentävirheen aiheuttama vika selviää yleensä heti asennuksen yhteydessä jos laitteisto/asennus ei toimi oikein. Virhe voi johtua kiireestä tai kytKentävirheestä. Lattia-lämmityskaapelin asennuksessa harvemmin kuitenkin näin pääsee tapahtumaan. [6, s.96.]

9 LÄMMITYSKAAPELEIDEN ELINIKÄÄ LYHENTÄVIÄ TEKIJÖITÄ

9.1 Vääränlainen käyttö

Käyttövirheitä tapahtuu ihmisen toimesta, saatetaan asentaa lattiaan uusi pintamateriaali, eikä ajatella, mitä lämmitysjärjestelmälle voi aiheutua. Vääränlaisen käytön huomaaminen ja yksilöiminen on vaikeaa, koska pitäisi tietää mitä kyseisessä kohteessa on tehty. Lämmityksen tehoon ja vikaantumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat esim. lattialämmitysalueelle tehdyt huonetilojen muutokset, jälkeensä asennettu eristävä pinta lattiassa, kiinteästi asennettavien kalusteiden asennus jälkikäteen sekä termostaatti on säädettyä täydelle teholle ja lattialämmitys on pitkiä aikoja päällä. [11, s.3.]

9.2 Mitoitus ja suunnitteluvirheet

Mitoitukseen ja suunnitteluun perustuvat virheet ovat vaikeasti havaittavissa, mutta yleensä kohteessa asuva huomaa sen, jos lattialämmitys ei toimi oikealla tavalla. Mitoituksen selvittämiseen pitäisi löytyä alkuperäiset rakennus- sekä sähköpiirustukset, jotta pystyttäisiin tarkistamaan mahdolliset suunnitteluvirheet. Yleisimpiä mitoitukseen ja suunnitteluun liittyviä virheitä ovat lämmitystehon alimitoitus, väärän tyyppinen kaapeli ja termostaatin sijoitus. Lämmitysteho on alimitoitettu kohteen tarpeeseen nähden, josta johtuen huonoimmassa tilanteessa lämmitys on jatkuvasti pidettävä päällä pitkiäkin ajanjaksoja. Kohteeseen valittu vääränlainen kaapeli ja termostaatti tilaan nähden. Termostaattiin saattaa kohdistua muita lämpölähteitä, joista voi olla haittaa. Lattialämmityksen termostaatti on sijoitettu väärään paikkaan käyttötarkoituksen kan-

nalta. Pienissä tiloissa kuten tuulikaappi on kaapelin lämmitysteho mitoitettu väärin pinta-alaan nähden johtuen korkeista lämpöhäviöistä. [11, s.3.]

9.3 Asennusvirheet

Asennusvirheet ovat yleisin syy lämmityskaapelin vaurioitumiseen. Asennusvirheiden selvittäminen voi olla vaikeaa, jos asennuksista ei ole otettu kuvia. On yleistä, että asennettavasta kohteesta puuttuvat mittauspöytäkirjat, joista selviäisi kaapelin tyyppitiedot, vastusarvot sekä eristysresistanssia, kun kaapeli on asennettu. Olisi siis tärkeää pitää kyseiset tiedot tallessa, jotta jälkikäteen vian selvittäminen olisi helpompaa. Tunnusomaisia asennusvirheitä:

- Kaapeli on kiristetty liian kireälle tai väärin, josta seurauksena vaippavaurio.
- Kaapelin asennusväli on liian pieni tai kaapelit risteilevät.
- Lämmityskaapeli on asennettu eristeen päälle tai eristeaineeseen.
- Valunaikana lattialämmityskaapeli on vaurioitunut.
- Lämmityskaapeli on kosketuksissa johtavan materiaalin kanssa, kuten vesijoh-tojen.
- Kohteeseen asennettu termostaatti ei sovellu käyttötarkoitukseen tai se on väärin kytketty.
- Kaapeli on unohtunut kytkeä verkkoon.

Myös rakenteissa tapahtuvat muutokset, kuten levyrakenteisten lattioiden liikkuminen ja betonirakenteisen rakennekatkokset, voivat aiheuttaa lämmityskaapeleihin vikoja vuosien kuluessa. [11, s.3.]

10 VIAN PAIKANTAMINEN

Vian paikantamiseen lämmityskaapelissa tarvitaan erilaisia mittauskalustoa, kuten eristysresistanssimittari, kaapelinhakulaitteita ja lämpökameraa. Vian havaitsemiseen käytetään myös suuria virtoja. Vuonna 1970- ja 1980 luvulla vikoja yritettiin paikantaa suurilla jännitteillä, syöksyaaltopulsseilla vikakohdan läpilyöntipaikan havaitsemiseksi. On todennäköistä, että lämmityskaapelin käyttöikä lyhenee, kun aletaan etsi-

mään vikaa ja paikannetaan se, varsinkin jos käytetään havaitsemiseen korkeita jännite- ja virtakuormia. [11, s.4.]

Opinnäytetyön aikana testasin kahta erilaista suurjännitelähdettä, kun laitteilla syötettiin kaapeliin virtaa, niin läpilyöntikohtaan tuli valokaari. Lyhyellä kaapelipituudella tekniikka toimi. Isommassa mittakaavassa vikapaikan pystyisi havaitsemaan lämpökameran ja äänen perusteella.

Lämpökameralla voidaan havaita vika lämmityskaapelissa, kun sitä syötetään pienellä lämmitysteholla, esimerkiksi kuumimpana kohtana näkyessään oleva viallinen lämmityskaapelin pääteliitos [17].

10.1 Kaapelinhakulaite Fluke 2042

Fluke 2042 -kaapelinhakulaite koostuu lähettimestä ja vastaanottimesta. Lähetin tuottaa signaalin, joka muodostuu moduloidusta virrasta ja seurauksena johtimen ympärille syntyy sähkömagneettinen kenttä. Tästä johdinta ympäröivästä sähkömagneettisesta kentästä muodostuu jännite vastaanottimen magneettikeloihin. [7, s.4.]

Kaapelinhakulaitteessa on automaattinen ja manuaalinen tila. Vastaanotin toimii molemmissa tiloissa kolmella magneettikelalla. Jännite indusoituu vastaanottimen kelaan. Vastaanotin vahvistaa ja muuttaa indusoituneen jännitteen alkuperäiseksi signaaliksi ja näyttää sen näyttönsä avulla. Tämän takia lähettimen on oltava koko ajan liitettynä mittaushakulaiteeseen, jotta saavutetaan suljettu piiri. [7, s.4.]

Kaapelinhakulaitteella pystytään paikallistamaan seinissä olevat johdot, kaapelit maan alta, sulakkeet ja virtapiirit, erilaisten johtojen katkokset sekä oikosulkukohdat. Mahdollista on myös havaita metallisia vesi- ja lämmitysjohtoja sekä katkokset ja oikosulut lattialämmitysputkistoista. [7, s.4.]

Kaapelinhakulaitetta testattiin maakaapelin pätkällä, johon tehtiin keinotekoisesti vikakohta. Testattavan kaapeli laitettiin puupalojen väliin ja mitattiin aluetta. Hakulaite löysi vikapaikan ja laitteen signaali meni nolllaksi kohdassa, josta kaapeli oli poikki.

10.1.1 Lähetin

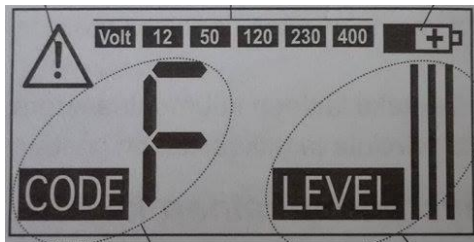
Kappaleessa käydään läpi lähettimen näyttö ja liitännät. Kuvassa 7 on kaapelihakulaitteen lähetin.



KUVA 8. Lähetin

- Laitteen yläpäässä vasemmalla on +-liitäntä
- Laitteen yläpäässä oikealla on maadoitusliitäntä
- LC-näyttöpaneeli
- Lähetystaso-painike
- Käynnistys- ja sammutuspainike
- Takapuolella paristokotelo [7, s.7.]

Kuvassa 9 on kaapelinhakulaitteen lähettimen näyttö tarkemmin sekä selitykset kuvakkeille.



KUVA 9. Lähettimen näyttö [7, s.8]

- Vasemmassa ylänurkassa vieraanjännitteen näyttö
- Vakioasetus ”code F” siirrettävä lähetyskoodi
- Keskellä ylhäällä vieraan jännitteen tunnistus
- Oikeassa ylänurkassa heikon pariston varoitus
- Oikealla lähetystason näyttö, ”level”(I, II ja III) [7, s.8.]

10.1.2 Vastaanotin

Kuvassa 10 on kaapelinhakulaite Fluke 2042 -vastaanottimen rakenne, valintapainikkeiden toiminnot käydään läpi.



KUVA 10. Vastaanotin

- Ylimpänä tunnistimen pää
- Tunnistimen alapuolella on taskulamppu
- LC-näyttö
- Vihreä painike on virran kytkentä ja sammutus painike, samasta painikkeesta saa myös näytön taustavalon päälle ja pois
- Vihreän painikkeen alapuolella on äänihälytyspainike, sillä voidaan kytkeä hälytys päälle ja pois päältä
- Keskellä oleva, ylin painike, on UAC-painike, jolla voidaan vaihtaa kaapelinhakutila verkkojännitteen tunnistustilaan
- Keskellä olevalla isoimmalla painikkeella pystytään manuaalisesti säätämään herkkyyttä alas ja ylöspäin
- Oikealla ylimmäisestä painikkeesta saadaan päälle taskulamppu. Taskulamppu kytkeytyy automaattisesti pois päältä, noin minuutin kuluttua
- Oikealla alhaalla on valintatilan vaihtopainike [7, s.8.]

Kuvassa 11 on vastaanottimen näyttö, käydään läpi tarkemmin näyttöpaneelin merkinnät. Kaikki merkit eivät pala samaan aikaan, vaan merkkivalot riippuvat mittauksesta ja valitusta tilasta.



KUVA 11. Vastaanottimen näyttö

Vasemmalta oikealle alanurkasta alkaen vastaanottimen symbolit ja merkit:

- LC-näytön valaistuksen symboli

- Äänihälytyksen poiskytkentä
- Man teksti palaa, kun on asetettu käsikäyttö päälle
- Toiseksi alin rivi, lähettimen lähetyškoodi ja pariston tila
- UAC symboli näyttää verkkojännitteen
- Lähettimen lähettämän signaalitason näyttö ”(LEVEL I, II ja III)”
- Signaalivoimakkuus automaatti ja käsikäytössä
- Signal-teksti palaa, kun automaattitila on käytössä
- Sense-teksti palaa käsikäytöllä
- Tiimalasi on herkkyysäädön graafinen lisänäyttö käsikäytössä
- Tiimalasin yläpuolella vastaanottimen pariston varoitusvalo
- Tiimalasia ympäröi Signaalivoimakkuuden pylväsnäyttö [7, s.10.]

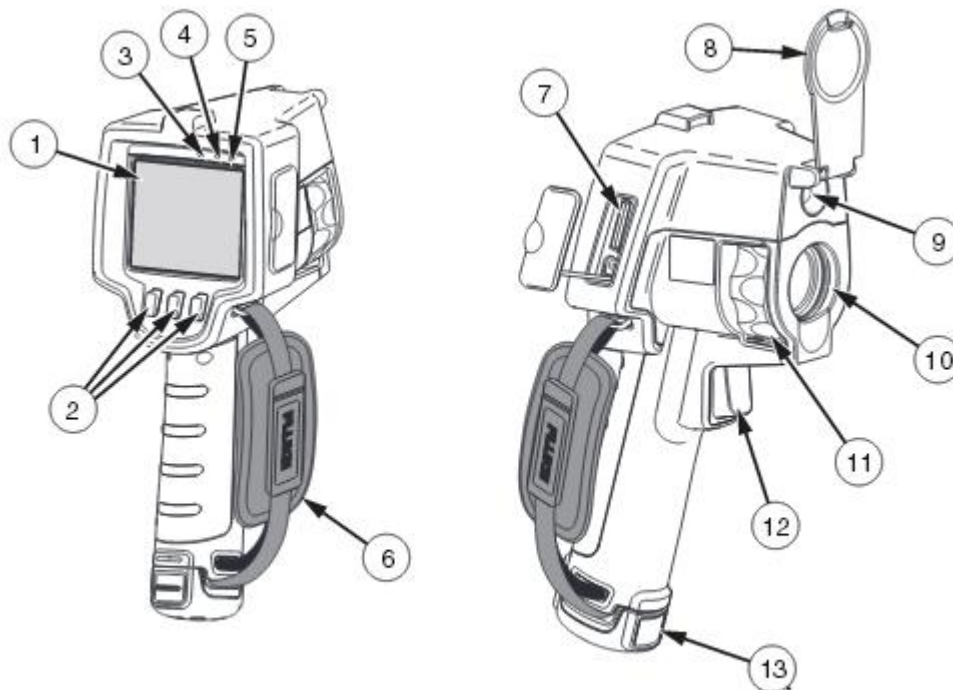
10.2 Lämpökamera Fluke TiR32

Fluken TiR32 -lämpökamera on kädessä pidettävää mallia, jota käytetään pääasiassa ehkäisevään ja ennakoivaan huoltoon, erilaisten laitteiden vianmäärityksiin, rakennusten kunto- ja korjaustarkastuksissa sekä energiansäästötarkastuksissa. Sähkökunnossapidon kannalta lämpökamera on oivallinen laite, koska sillä pystytään havaitsemaan nopeasti vialliset ja ylikuumenevat liitokset sekä kaapelit keskuksissa. [8, s.1.]

Kyseisen mallin lämpötilan mittausalue alkaa -20 °C:sta ja päättyy +150 °C:een. Kamerassa on valittavana erilaisia väripaletteja, joilla pystytään helpommin havaitsemaan mitattavan kohteen eri lämpötilat. TiR32 -mallissa on Fluken oma IR-fusion tekniikka, joka mahdollistaa sen, että visuaalinen kuva voidaan näyttää, yhdistää ja tallentaa lämpökuvan kanssa. Lämpökuvat ja visuaaliset kuvat on mahdollista esittää siten samalla kertaa yhtenä lämpökuvana. Molemmat kuvat on nähtävissä lämpökameran näytöltä. Kamera tallentaa kuvat muistikortille, josta ne voidaan siirtää lisätutkittavaksi tietokoneelle. Laitteen mukana tulee SmartView-ohjelmisto, joka mahdollistaa kuvien tarkemman analysoinnin ja raporttien tekemisen otetuista kuvista. [8, s.1.]

Lämpökameran virtalähteenä toimivat ladattavat litium-ioniakut. Yhdellä akulla on mahdollista käyttää kameraa jatkuvasti yli neljä tuntia. Lämpökameran toiminnoissa on mahdollista ääninauhitus, jonka avulla voidaan lisätä kuviin huomautuksia. Lämpökamerassa on myös emissiivisyyden korjaus, läpäisykorjaus, heijastuneen tausta-

lämpötilan kompensointi sekä useita helppokäyttöisiä toimintoja. [8, s.1.] Kuvassa 11 on lämpökameran TiR32 toiminnot, säätimet ja rakenne.



KUVA 12. Fluke-lämpökamera [8, s.6]

1. Lämpökameran nestekidenäyttö
2. Ohjauspainikkeet
3. Kaiutin
4. Mikrofoni
5. Automaattisesti toimiva taustavalon tunnistin
6. Hihna
7. Muistikortin lokero
8. Objektinsuojus
9. Visuaalinen kamera
10. Infrapunaobjektiivi
11. Tarkennussäädin
12. Kameran laukaisin
13. Akku

10.2.1 Lämpötilamittaukset

Ennen mittauksen aloittamista on tärkeää antaa lämpökameran lämmitä. Lämpökamera vaatii tietynlaisen lämpiämisaajan, jotta saadaan tarkin mahdollinen kuvanlaatu ja lämpötilan mittaus. Useimmilla malleilla lämpenemisaika on n. 3–5 minuuttia, toki riippuen ympäristön olosuhteista. Erittäin tarkkoja mittaustuloksia varten, jotka ovat merkitseviä käyttötarkoitukselle, olisi vähintään odotettava 10 minuuttia. [8, s.25.]

Infrapunaenergiaa heijastuu kaikista esineistä. Pääasiassa energiasäteilyn määrä johtuu kahdesta tekijästä: esineen pinnan emissiivisyydestä ja esineen pintalämpötilasta. Lämpökamera tunnistaa infrapunaenergian esineestä ja hyödyntää kyseistä tietoa esineen lämpötilan arvioinnissa. Useat mitattavat materiaalit, kuten esim. kangas, vesi, puu, iho sekä maalattu metalli säteilevät energiaa erittäin tehokkaasti. Paljon energiaa säteilevistä materiaaleista on mahdollista saada erittäin tarkat mittaustulokset. [8, s.25.]

Korkeaa emissiivisyyttä esiintyy niissä pinnoissa, jotka säteilevät energiaa tehokkaasti, emissiivisyystekijäksi arvioidaan 95 % (tai 0,95). Tätä arviota voidaan käyttää useimmissa tarkoituksissa, mutta yksinkertaistaminen ei toimi kiiltävissä pinnoissa eikä myöskään metallille, jonka pintaa ei ole maalattu. Materiaalit, jotka eivät säteile energiaa tehokkaasti, luokitellaan alhaiseksi emissiivisyyden omaaviksi. Mitattaessa materiaaleja, joilla on alhainen emissiivisyys, olisi tärkeää korjata kerroin oikeaksi, jotta saataisiin mahdollisimman tarkka mittaustulos. Helpoimpana korjaustapana on asettaa lämpökamera sopivaan emissiivisyysarvoon, jonka seurauksena lämpökamera laskee automaattisesti korjatun pintalämpötilan. [8, s.25.]

Pinnat, joiden emissiivisyysarvo on enintään 0,60, on vaikeaa saada tarkkaa lämpötilaa mitattua ilman huomattavaa virhettä. Tässä tapauksessa ei vaikuta, se kuinka hyvin lämpökamera pystyy säätämään emissiivisyyttä lämpötilamittauksissa. Kun halutaan saada tarkin mittaustulos, paras tapa on säätää tai parantaa pinnan emissiivisyyttä. [8, s.25.]

10.3 Kaapelinhakulaite Pasar Amprobe AT2004

Pasar Amprobe AT2004 koostuu lähettimestä ja vastaanottimesta. Laitteella pystytään havaitsemaan kaapeliviati, kuten oikosulut, eristeviati sekä löytämään jännitteettömät johdot ja sulakkeet sekä piilossa olevat kaapelit. Pääosin laitetta käytetään siis katkokkien etsimiseen. Laitteella pystytään havaitsemaan myös metalliputket. T2200 - lähettimen toiminta perustuu siihen, että sillä syötetään signaalia johtimeen ja signaali kulkee kaapelin loppupäähän tai katkokseen tai kohtaan, josta se ei enää pääse eteenpäin. R2000-vastaanottimella (kuva 13.) voidaan havaita kaapelin kulkureitti ja mahdollinen katkos tai vaurioitunut kohta, kun signaalia ei enää saada kaapelista. [14, s. 6-11.]



KUVA 13. R2000-vastaanotin

Vastaanottimen ylhäällä kärjessä on kaksi tunnistinta sähkömagneettinen ja sähköstaattinen. Tunnistimilla pystytään vastaanottamaan taajuutta 32.768 Khz. Alapuolen ledipaneeli näyttää signaalin voimakkuuden asteikolla 1-10.

Herkkyyttä säädetään hienosäätörullalla, laite myös käynnistyy siitä. OPEN/SHORT-kytkimellä valitaan mittaustapa avonaisille johtimille tai johtimille, jotka muodosta täydellisen piirin. Jos signaalia ei havaita, herkkyyttä säädetään RANGE-kytkimestä, valittavissa on tasot x1, x10 tai x100. Patterin merkkivalo ilmoittaa patterin tilan, laite toimii 9 voltin paristolla. [14, s. 6-11.]

Kuvassa 14 on T2200-lähetin. Ylhäällä lähettimessä on turvasulake ja sen alla baananiliittimet syötölle ja maadoitukselle. MODE-kytkimellä valitaan jänniteasetus, joka vastaa kaapelin impedanssia. Punainen merkkivalo osoittaa laitteen olevan käynnissä. Lähetin käynnistetään on/off-kytkimellä. Lähetin toimii 9V paristolla, kuten vastaanotinkin. [14, s. 6-11.]



KUVA 14. T2200-lähetin

10.4 Kaapelivikojen mittauslaite Seba Dynatronic Kabellux 3T

Kabellux 3T on digitaalinen mittalaite kaapelivikojen havaitsemiseen ja paikantamiseen. Mittarin mittaus toiminta perustuu pulssin heijastusmenetelmään eli mittalaite tuottaa ja lähettää pulssin, joka heijastuu takaisinpäin jokaisesta kaapelin impedanssin epäkohdista tai kaapelin loppupäästä. Mittalaitteessa on transienttinauhuri, johon mitaustulokset tallentuvat ja LCD-näyttö, jossa mittaus näkyy reaaliaikaisesti. Mittalaitteessa on ladattava akku, jolla pystytään käyttämään mittaria yhtäjaksoisesti yli neljä tuntia. [16, s.1.]

Kabellux 3T -mittarissa on valittavissa seuraavat mitta-alueet: 100, 300, 1000, 3000 ja 10000 m. Kaapeliin syötettävä etenemisnopeuskerroin $v/2$ tulee myös valita, valinta-alue on 50–150 m/ μ s. Eri kaapelityypeille on annettu omat etenemisnopeuskertoimet. Tärkeää on asettaa kaapelille mahdollisemman tarkasti oikea etenemisnopeuskerroin, jotta vikapaikan etäisyyden mittaus onnistuisi. Sähkö- ja ohjauskaapeleille etenemisnopeuskerroin on 70–91, puhelinkaapeleille 98–115 ja antennikaapeleilla 119–137 m/ μ s. Esimerkiksi maahan asennetulle PEX-kaapelille oikea etenemisnopeuskerroin on 82 m/ μ s. [16, s.2-10.]

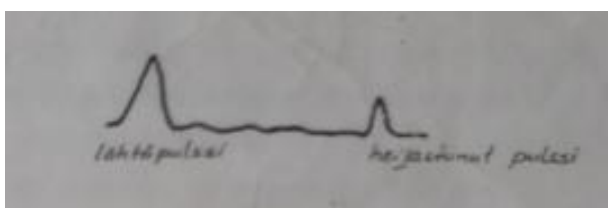
Mittalaitteessa on kolme mittausvaihtoehtoa: normaali, eroavaisuus ja ylikuulumismittaus. Mittaus voidaan tallentaa ja verrata sitä uuteen reaaliaikaiseen mittaukseen. Näytöstä (kuva 15) on nähtävissä heijastunut pulssi, valittu etenemisnopeus, mittaustila ja mittausalue. Kohdistimien välinen etäisyys on metreinä. [16, s.2-4.]



KUVA 15. Seba-Dynatronic Kabellux 3T -mittauslaite

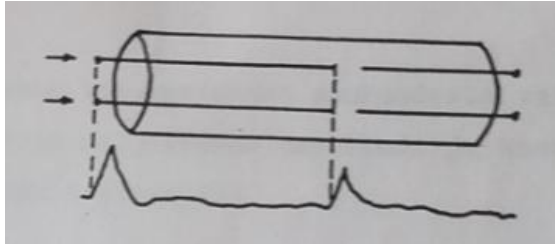
Mittalaitteessa vasemmalla on maadoitusliitin, kahden johdon mittausliitinpaikat, impedanssin sovitus-säädin (COMP) ja vahvistuksen säätö (GAIN). Laitteen käynnistys-painikkeesta saadaan myös näytön taustavalo kytkettyä päälle. Mittaustilan vaihtopainikkeella näyttöön avautuu alavalikko, josta pystytään vaihtamaan mittaustila sekä nähtävissä on myös akunkesto. Mittausalueen säätöpainikkeella voidaan vaihtaa etäisyys. Tallennuspainikkeesta avautuu alavalikko, jossa mittausta pystytään tallentamaan ja hakemaan aikaisemmin tallennettuja mittauksia. Etenemisnopeuskertoimenpainike, jolla voidaan muuttaa kaapelille sopiva arvo. Zoomauspainikkeella suurennetaan ja loitonnutetaan kuvaajaa. Asetuspainikkeella valitaan tietty alue mitattavasta alueesta. Kaikissa alavalikoissa liikutaan nuolinäppäimillä ja syöttö/aloitus painikkeella valittu valinta otetaan käyttöön. Samalla painikkeella suoritetaan myös uusi mittaus. [16, s.3-4.]

Kaapeliin syötetyn pulssin heijastumisesta selviää vian laatu. Tärkeintä vikapaikan havaitsemisen kannalta olisi huomioida ensimmäinen merkittävä heijastuma. Kuvassa 16 on nähtävissä, millaiselle pulssi näyttää mittalaitteen näytöllä.



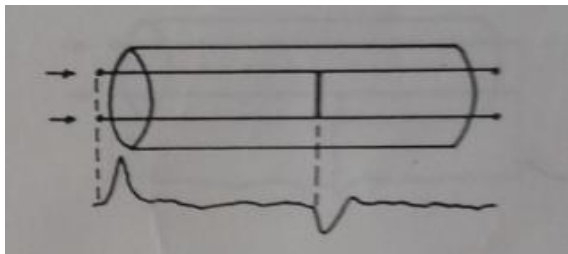
KUVA 16. Pulssikäyrä [16, s.4]

Katkoksesta aiheutuva vika ilmenee positiivisena heijastumana eli heijastunut pulssi on ylöspäin (kuva 17). Katkoksen ollessa vain yhdessä johtimessa heijastuman huippu näkyy pienempänä, joten se saattaa olla vaikeammin havaittavissa. Jos kaapelissa on katkos, ei pystytä kuvaajasta näkemään loppupään heijastusta. [16, s.13.]



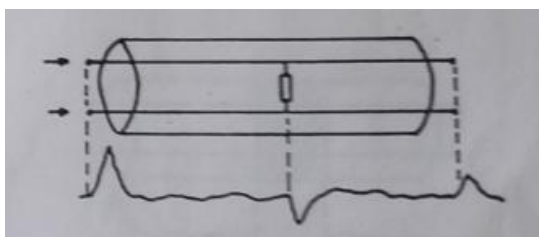
KUVA 17. Kaapelissa katkos [16, s.13]

Oikosulusta kahden johtimen välillä aiheutuva vika ilmenee negatiivisena heijastumana, eli heijastunut pulssi osoittaa alaspäin (kuva 18). Kyseisen vian ollessa kyseessä ei pystytä näkemään kaapelin loppupäästä heijastusta. [16, s.14.]



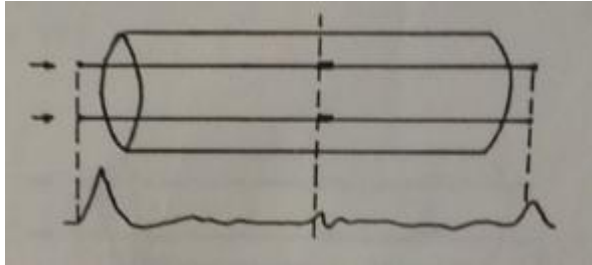
KUVA 18. Kaapelissa oikosulku [16, s.14]

Pieniohminen vika kahden johtimen välillä ilmenee negatiivisena heijastumana. Vian ohmimäärästä riippuen heijastuman huipun koko muuttuu (kuva 19). Kaapelin loppupäästä tuleva heijastus voi mahdollisesti näkyä näytössä. [16, s.14.]



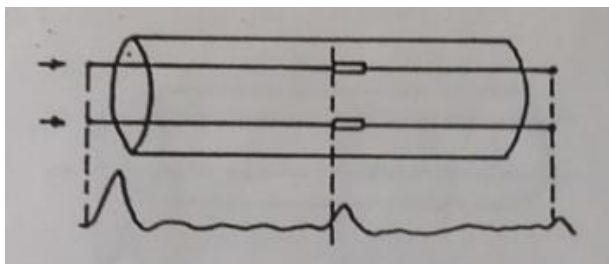
KUVA 19. Kaapelissa pieniohminen vika [16. s.15]

Laitteella pystytään havaitsemaan myös kaapelin jatkos. Kyseinen heijastuma näkyy näytössä positiivisena pulssina, jonka perässä on heti negatiivinen pulssi (kuva 20). Kuvaajan muoto johtuu siitä, että kaapelin impedanssit eroavat toisistaan. [16, s.16.]



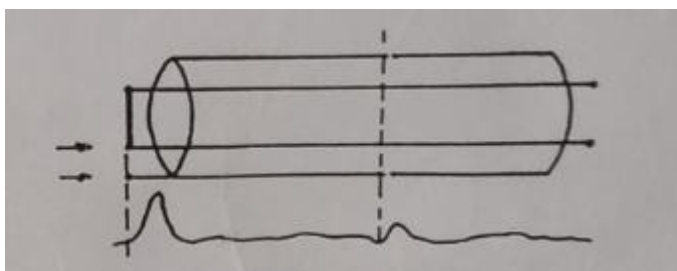
KUVA 20. Kaapelin jatkoskohta [16, s.16]

Jatkoksen kohdalla voi ilmetä myös suuriohminen sarjavika. Heijastus näkyy samantyyppisenä kuin katkoksen kohdalla eli positiivisena (kuva 21). Heijastuneen pulssin huipun koko riippuu vastusarvosta vian kohdalla. [16, s.16]



KUVA 21. Sarjavika kaapelin jatkoksessa [16, s.16]

Kaapelin vaipan ollessa avoin kuvaaja on kuvan 22 mukainen. Vaippavika syntyy, jos kaapelijatkos on tehty huolimattomasti tai kaapelin vaippa on vaurioitunut ja jäänyt paljaaksi. Vika pystytään mittaamaan oikosuljettujen johtimien ja vaipan väliltä. [16, s.18.]



KUVA 22. Kaapelin avonainen vaippa [16, s.18]

11 KAAPELIN KORJAUS

Vian löytyessä lattialämmitysasennuksesta lattia aukaistaan vikakohtalta tarpeeksi suurelta alalta, jotta korjaaminen on mahdollista. Lämmityskaapeli voidaan korjata kutiste- tai valumuovijatkoksella. Jatkoksissa on helppo käyttää kaapelinvalmistajan toimittamia valmiita pakkauksia. Pakkaukset sisältävät asennusohjeet. Helpoin tapa on hankkia jatkopakkaus, josta löytyvät valmiit kytkentäpäät. Lämmityskaapelit, joissa on kaksi tai useampi johdin, päätetään rasiassa tai kutistettavalla tuppipäätteellä. Lämmityskaapelin päätte tehdään samoilla periaatteilla kuin jatkos, oli kyseessä sitten rasiaan tai kutistemuoviin tehtävä päättäminen. [12, s.178.]

Rasiassa tehtävä kytkentä aloitetaan tuomalla syöttökaapelin ja lämmityskaapelin pääomien aukkojen kautta rasiaan, ei samasta reiästä. Lämmityskaapelin lämpiävät kytkentäpäät tulisi jättää mahdollisimman lyhyiksi sekä pyrkiä välttämään johtimien koskettamista toisiinsa. Johtimien kytkentä tehdään kytkentärenkaassa tai vastaavanlaisessa ruuviliittimessä, kyseisessä liitoksessa ei pitäisi käyttää huppuliittimiä. Rasia tulee tiivistää ennen valumuovinlaittoa sähköteipillä tai vastaavanlaisella kitillä, jottei valumuovia päätyisi syöttö tai lämmityskaapelin sisään. Tiivistämisen jälkeen rasia täytetään valumuovilla, jolla vältetään veden kondensoituminen ja liiallinen rasian lämpeneminen. Valumuovin kuivuttua rasia tarkastetaan. Jos rasia on jäänyt vajaaksi tai liittimien kytkentäruuvit ovat näkyvissä, se tulee täyttää uudelleen. Rasian täyttämällä vältetään, se ettei kosteutta pääse syntymään tai epäpuhtauksista johtuvaa läpilyöntiä, jos liittimien kytkentäruuvit olisivat jääneet näkyviin. [12, s.178.]

Lämmityskaapeli voidaan jatkaa liitospakkausta käyttäen. Pakettiin sisältyvät iso kutistesukka pituudeltaan n.16 cm, puristettava maadoitusliitin $2,5 \text{ mm}^2$ ja eristetyt jatkoliittimet $1,5 \text{ mm}^2$ ja $2,5 \text{ mm}^2$. Lämmityskaapelin liitos tehdään samalla tavalla kylmäkaapeliin kuin lämmityskaapeliin. Kaksijohtimisen lämmityskaapelin liittäminen aloitetaan kuorimalla kummastakin kaapelista n. 8 cm ulkovaippaa siten, että lämmityskaapelin suojaunos pyöritetään johtimeksi ja katkaistaan n. 1 cm pituiseksi. Tässä vaiheessa olisi hyvä pujottaa kutistesukka kaapeliin ja samalla katkaistaan kummastakin kaapelista johtimet erimittaisiksi, jotta liitoskohdat eivät olisi samassa kohdassa.

Vastusjohtimista kuoritaan n. 6 millimetriä ja liittimet laitetaan paikoilleen ja puristetaan. Maadoitusliitin puristetaan toisesta päästä suojapunokseen. Kylmäkaapelin maadoitusjohdin katkaistaan sopivan pituiseksi ja kuoritaan n. 6 mm ja liitetään suojapunoksen liittimeen puristamalla. Samalla voidaan liittää kylmäkaapelin nolla ja vaihe vastusjohtimiin puristamalla. Liitokset kutistetaan kuumailmapuhaltimella. PVC-teipillä teipataan koko liitoskohta ja kutistesukka vedetään päälle sekä kutistetaan huolellisesti kuumailmapuhaltimella. [15.] Kuvassa 23 on löydetty vikapaikka ja korjattu lattialämmityskaapeli kutistejatkoksella.



KUVA 23. jatkos [17]

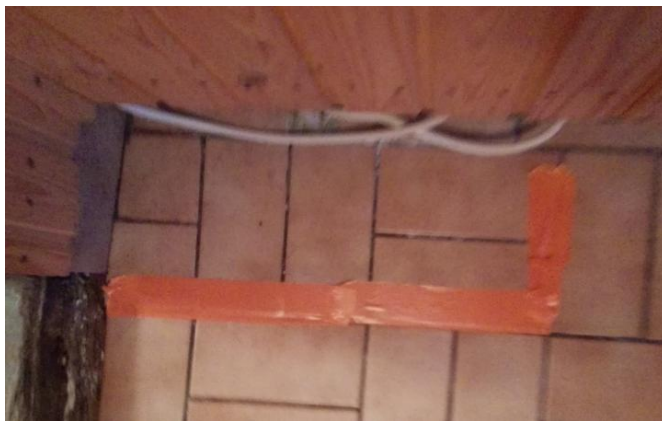
Korjaamisen jälkeen tulisi tehdä silmämääräinen tarkastus sekä mitata eristysvastus ja lämmityskaapelin silmukkaresistanssi, jotta kaapelin toimintakunto varmistetaan. Tiedot mittauksista ja korjauksesta tulee merkata ylös mittauspöytäkirjaan, jotta pystyttäisiin tulevaisuudessa havaitsemaan, mitä kaapelille on tehty. [15.]

12 ESIMERKKIKOHDE

Lattialämmityksen vianetsinnän esimerkkikohteena oli omakotitalon saunan ja kylpyhuonetilojen lattialämmityskaapelin vian paikantaminen. Lattialämmitys oli aikaisemmin polttanut sulaketta ja myös termostaatissa näkyi selkeästi, että jokin oli vialla. Kaapelin resistanssiarvot näyttivät erikokoisille, joten lämmityskaapeli oli vioittunut tai rikkoutunut jostakin kohdasta. Oletettavasti lattiassa olisi yksijohtiminen Tash 0,82 ohm/m -vakiovastuskaapeli, ainakin talon iän perusteella.

Aluksi vikaa selvitettiin Fluken 2042 -kaapelinhakulaitteella. Mitattaessa kaapelinhakulaitteella lähettimen johdot kytkettiin lattialämmityskaapelin vaihe tai nollajohtimeen ja toinen johdin tulevaan maadoitukseen. Kaapelinhakulaitteella pystyi havaitsemaan kaapelin kokolattian alueelta lattialämmityskaapelin alkupäähän asti, kun lähetin oli kytketty nollajohtimeen. Vaihejohtinta vasten mitattaessa signaali loppui lähelle kaapelin alkupäätä. On mahdollista, että laite saattoi ottaa häiriötä raudoitusverkosta ja vikapaikaksi määräytyi siten iso alue. Vikapaikaksi Flukella määritettiin karkeasti n. 40 x 40 cm alue lattiassa.

Amprobe Pasar AT-2004 -kaapelinhakulaitteella mitattaessa vikapaikan etsintä oli suhteellisen nopeaa. Laitteesta valittiin parhaimmat asetukset tehokkainta signaalia varten ja mittalaite kytkettiin ensin nollajohtimeen, kuten Flukessa. Näin pystyi havaitsemaan signaalin kokolattian alueelta. Vaihejohtimeen syöttäessä signaali pysähtyikin alkupäähän ja aluetta saatiin rajattua nopeasti lattia-alasta pienemmäksi. Vastaanotinta edestakaisin liikuttamalla huomasi selkeästi, kuinka signaalintaso laski. Päädyimme tulokseen, että todennäköisesti vikapaikka olisi kylmäkaapelin ja lattialämmityskaapelin liitoskohdassa, ei kaukana kaapelin alkupäädästä. Kuvassa 22 on nähtävissä vian paikannettu alue, jonka jälkeen signaali tippuu dramaattisesti. Lattia tulee piikata auki vikakohdasta ja tehdä kaapelijatkos.



KUVA 24. Vikakohdan alue [Hirvonen, 2015]

13 POHDINTA

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen, koska minulla ei ollut aikaisempaa kokemusta lattialämmityksen vianetsimisestä. Uusiin mittalaitteisiin tutustuminen ja testaaminen ja niiden käytön opetteleminen oli opettavaista. Mittalaitteet saattavat heijastaa signaalia, joten mittaustulos voi olla hieman epäluotettava, siksi olisi tärkeää, että vika saataisiin paikannettua useammalla laitteella samaan kohtaan. Paras mittaustulos saavutettiin Amproben kaapelinhakulaitteella ja vikapaikka saatiin rajattua pienelle alueelle, tähän tulokseen olen tyytyväinen.

Mielestäni onnistuin opinnäytetyössäni. Saavutin itselleni asetetut tavoitteet sekä opin paljon uutta lattialämmityksestä ja mitoituksesta tiedonhaun yhteydessä. Vianetsintälaitteista ei löytynyt paljoa materiaalia, joten aiheesta oli hieman vaikeaa kirjoittaa. Olen tyytyväinen saavutettuun työtulokseeni, jonka sain aikaiseksi ja varmasti talon omistajakin, ettei tarvitse koko lattiaa purkaa.

LÄHTEET

1. Harsia, Pirkko 2015. Lattialämmitys. WWW-dokumentti.
<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/0505015/1119948180490/1119952735385/1119958909384/1119961653611.html>. Ei päivitystietoja. Luettu 20.1.2015.
2. Sähköasennusopas. 2001. Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry. Espoo: Painokurki Oy.
3. Lattialämmitys, miellyttävää ja tasaista lämpöä. 2015. Ensto Finland Oy. PDF-dokumentti. http://www.ensto.com/download/13212_sahkolammitysratkaisut.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 25.1.2015.
4. Lattialämmitysratkaisut EFH. 2015. Ensto Finland Oy. WWW-dokumentti.
http://products.ensto.com/catalog/16676/Lattialammitysratkaisut_EFH_FIN1.html. Ei päivitystietoja. Luettu 26.1.2015.
5. Harsia, Pirkko 2015. Eristysresistanssimittaus. WWW-dokumentti.
<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030503/1134129294081/1134132211537/1134133739307/1134133840901.html>. Ei päivitystietoja. Luettu 31.1.2015.
6. Heinonkoski, Risto 2004. Kone-automaation kunnossapito. Helsinki: Opetushallitus.
7. Fluke 2042 Cable locator Käyttöohje. Fluke Corporation. 2005.
8. Fluke TiR32 Thermal imager Käyttöohje. Fluke Corporation. 2009.
9. Sulanapitoratkaisut. 2015. Ensto Finland Oy. PDF-dokumentti.
http://www.ensto.com/instancedata/prime_product_julkaisu/ensto/embeds/enstowwwsstructure/13213_Sulanapitoratkaisut.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 22.2.2015.
10. Sulanapitoratkaisut EFP. 2015. Ensto Finland Oy. WWW-dokumentti.
http://products.ensto.com/catalog/16713/Tash-yksijohtimiset%20lämpökaapelit_FIN1.html. Ei päivitystietoja. Luettu 23.2.2015.
11. ST 97.65 2005. Sähköjärjestelmien kuntotutkimus. Lämmityskaapelit.
12. Sähköasennukset 2. 2013. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Helsinki: Painokurki Oy
13. ST 55.01 2008. Sähkölämmityksen mitoitus.
14. Pasar Amprobe Advanced wire tracer AT-2004 Käyttöohje. Amprobe instrument 1993.

15. Sileduo-lämpökaapelin liitos kylmäkaapeliin. 2015. Sileka. WWW-dokumentti.
http://www.sileka.fi/sileka/index.php?option=com_content&view=article&id=27:sileduo-liitos&catid=9&Itemid=108. Ei päivitystietoja. Luettu 20.4.2015.

16. Seba Dynatronic Kabellux 3T Käyttöohje. Seba suomi Oy. 1990.

17. Lattialämmitys kuntoon. 2015. Antin Apu & Tipteck. WWW-dokumentti.
<http://www.antinapu.fi/lattialammitys.html>. Ei päivitystietoja. Luettu 30.2.2015.