

Opinnäytetyö (AMK)

Tekniikan insinööri | LVI-tekniikka

2019

Petri Salmi

VESIKIERTOISEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN HÄIRIÖIDEN PAIKANTAMINEN

– Lämpökuvauksen hyöty

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikan insinööri | LVI-Tekniikka

2019 | 51 sivua, 3 liitesivua

Ohjaaja: Juha Leimu, yliopettaja (Turku AMK)

Petri Salmi

VESIKIERTOISEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN HÄIRIÖIDEN PAIKANTAMINEN

- Lämpökuvauksen hyöty

Asumismukavuuden sekä viihtyvyyden kannalta sisälämpötilalla on hyvin suuri merkitys. Lämmitysjärjestelmän optimaalisella toiminnalla on tämän lisäksi myös suuri taloudellinen merkitys. Epäpuhtaudet lämmitysverkostoissa aiheuttavat epätasaista lämmönjakoa ja siten ylimääräistä energiankulutusta. Lisäksi myös vuodot, tukokset, ääniongelmia sekä muut kiertohäiriöt saattavat aiheuttaa ongelmia. Hyvin usein syynä epäpuhtauksiin on korrosio, eteenkin teräsputkilla toteutetuissa lämmitysjärjestelmissä.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan erilaisia vesikiertoisissa patteri- ja lattialämmitysverkostoissa esiintyviä ongelmia sekä niiden ilmenemistä ja paikantamista. Ongelmien paikantaminen on usein paljon aikaa vievää ja hankalaa. Työssä haluttiin selvittää, voidaanko ongelmakohtien paikannusta helpottaa ja erityisesti nopeuttaa, ja tähän tarkoitukseen ratkaisua haetaan lämpökuvauksesta.

Opinnäytetyössä käydään aluksi läpi patteri- ja lattialämmitysjärjestelmät, niissä ilmenevät ongelmat sekä ongelmakohtien paikantaminen verkostoissa. Työssä annetaan myös perustietoa lämpökuvauksen teoriasta ja lämpökamerasta. Lopuksi tutkitaan lämpökameran soveltuvuutta sekä ennen kaikkea hyödyllisyyttä ongelmakohtien paikantamisessa vesikiertoisissa patteri- ja lattialämmitysjärjestelmissä.

ASIASANAT:

Lämmitysverkosto, lämmitysjärjestelmä, patterilämmitys, lattialämmitys, korrosio, lämpökuvauksen

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

HVAC Engineering

2019 | 51 pages, 3 pages in appendices

Instructor: Juha Leimu, Principal Lecturer (Turku University of Applied Sciences)

Petri Salmi

LOCATING FAULTS IN A HYDRONIC HEATING SYSTEM

- The benefits of thermal imaging

Indoor air temperature is crucial to amenity and the comfort of living. In addition, the optimal operation of a heating system has major financial significance. Impurities in heating networks result in irregular heat distribution, therefore leading to excessive energy consumption. Leaks, blockages, sound issues and other rotational faults may also cause problems. Impurities are often caused by corrosion, particularly in heating systems implemented with steel pipes.

This study explored the problems occurring in different hydronic radiator and underfloor heating systems, and how these emerge and can be located. Locating the problem is often a time-consuming and difficult task. The aim of this study was to determine whether it was possible to make the task of locating the problem areas easier and particularly faster. A solution was sought for this purpose through thermal imaging.

The first section of this study presents different radiator and underfloor heating systems, the problems that occur in these, and locating problem areas in the networks. Basic information about the theory of thermal imaging and thermographic cameras is also provided. Finally, the study examines the suitability and, above all, usefulness, of thermographic cameras for locating problem areas in hydronic radiator and underfloor heating systems.

KEYWORDS:

Heating network, heating system, radiator heating, underfloor heating, corrosion, thermal imaging

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 VESIKIERTOINEN LÄMMITYSVERKOSTO	7
2.1 Vesikiertoinen patteriverkosto	7
2.2 Lattialämmitysjärjestelmä	11
2.3 Lämpötilan säätö	15
3 KIERTOPIIRIN ONGELMAT	17
3.1 Ilma verkostossa ja korroosio	18
3.2 Kerrostumat ja sakka	22
3.3 Ääni ongelmat	24
3.4 Ongelmista kustannuksia	25
4 ONGELMAKOHTIEN PAIKANTAMINEN	27
4.1 Ilma	27
4.2 Vuodot	28
4.3 Tukokset	29
4.4 Puuttuvat tai puutteelliset eristykset	30
4.5 Muita ongelmia	31
5 LÄMPÖKAMERA JA LÄMPÖKUVAUS	33
5.1 Lämpökuvauksen teoriaa, lämpösäteily ja infrapuna	33
5.2 Emissiivisyys	33
5.3 Lämpökamera	37
5.4 Erottelukyky, väripaletit ja lämpötila-asteikko	38
6 LÄMPÖKUVAUS ONGELMIEN PAIKANTAMISESSA	41
6.1 Tukosten havaitseminen	41
6.2 Ilman näkyminen	42
6.3 Vuodon näkyminen	43
6.4 Lattialämmityksen häiriöt	44
6.5 Eristeet	46
6.6 Kosteusvauriot ja muut kohteet	47
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	49

LIITTEET

- Liite 1. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot eri sisäilmastoluokissa.
- Liite 2. Patteriverkoston kytkennät.
- Liite 3. Lattialämmityksen asennusperiaatteet.

1 JOHDANTO

Asumismukavuuden sekä viihtyvyyden kannalta sisälämpötilalla on erittäin suuri merkitys. Kun havaitaan esimerkiksi pattereita, jotka eivät lämpene, halutaan ongelma mahdollisimman nopeasti korjata. Patterin kylmyyteen voi olla useampiakin syitä, esimerkiksi patterissa saattaa olla ilmaa tai korroosiokaasuja tai tuleva vesi saattaa olla jäähtynyt liikaa eristämättömässä putkessa. Riittämätön veden kierto saattaa olla myös syynä ja se voi johtua esimerkiksi tukkeutuneesta tai jumittuneesta patteriventtiilistä, tukoksesta putkessa tai itse patterissa. Näiden verkoston ongelmien paikantaminen on usein aikaa vievää tai joissakin tapauksissa hyvin hankalaa. Korjaavana toimenpiteenä on usein muutettu verkoston säätökäyrää jyrkemmäksi ja yritetty näin saada ongelmatilat lämpimäksi.

Energiansäästö on tänä päivänä paljon esillä oleva aihe. Lämmitysverkoston epätasapaino, kiertohäiriöt ja myös kerrostumat verkostossa aiheuttavat epätasaista lämmönjakautumista lämmitettävissä tiloissa ja sen seurauksena turhaa energiankulutusta ja ylimääräisiä energiakustannuksia. Esimerkiksi kaukolämmössä olevan kiinteistön lämmitysverkosto kuluttaa valtaosan kiinteistön kaukolämmön kokonaiskulutuksesta. Siksi on myös taloudellisestikin hyvin kannattavaa varmistua lämmitysverkoston optimaalisesta toiminnasta. Jo pienetkin parannukset lämmitysverkoston hyötysuhteessa saattavat tuoda merkittävän säästön energiakustannuksissa.

Rakennusten ilmatiiviyden tai ilmavuotojen havaitsemiseen käytetään paljon lämpökameraa kuten myös eriste- tai tiivistysvikojen tai puutteiden havaitsemiseen. Lämpökameran avulla voidaan myös hyvin havaita verkoston vuotoja, paikantaa tukoksia ja muita kierron ongelmia. Lämpökameran mahdollisuudet ovat hyvin laajat talotekniikkaa tarkasteltaessa.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan lämpökameran käyttöä lämmitysverkostojen tutkimisessa ja työ on rajattu koskemaan vain kiinteistöjen patteri- ja lattialämmitysverkostoja sekä ongelmien paikantamista niissä. Tavoitteena opinnäytetyössä on selvittää, voidaanko lämpökameralla helpottaa ja nopeuttaa ongelmien paikannusta verrattuna muihin keinoihin ja saada nopeudesta kustannustehokkuutta lämmitysverkostojen ongelmien tutkimiseen ja selvittämiseen.

2 VESIKIERTOINEN LÄMMITYSVERKOSTO

2.1 Vesikiertoinen patteriverkosto

Vesikiertoisen lämmitysverkoston muodostavat lämmönlähde, lämmönsiirtoverkosto, sen varusteet sekä tietenkin lämmönlvovuttimet. Verkoston runko muodostuu putkistosta, joka yleisimmin on terästä, mutta myös muovi-, komposiitti- ja kupariputkia voidaan käyttää. (Seppänen 2001, 119). Vesikiertoisen patterilämmitysjärjestelmän lämmöntuottotavoiksi sopivat monet eri tavat, esimerkkinä öljylämmitys, kaukolämmitys, lämpöpumppulämmitys, lämmitys kiinteällä polttoaineella sekä sähkölämmitys. Vesikiertoisen patterilämmityksen lämmöntuottotavan vaihtaminen on melko vaivatonta. Vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä käytetään matalia vedenlämpötiloja, jolloin saadaan energiahäviöt pieniksi ja lämmönlvovuttimien pintalämpötilat eivät ole polttavan kuumia. (LVI 12-10343 2002, 1).

Vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän verkoston tarkoituksena on viedä jokaiseen tilaan sen lämmöntarpeen vaatima lämpöteho. Tarvittava lämpöteho muodostuu lämmöntarvelaskelmien perusteella. Kokonaistehoon sisältyvät verkoston johtumislämpöhäviöt, rakennuksen ilmavuodot sekä myöskin ilmanvaihto. Huonekohtaisen veden massavirta määräytyy tarvittavan lämpötehon sekä lämmönlvovuttimen lämpötilaeron avulla. (Seppänen 2001, 119.) Tarvittava veden massavirta saadaan laskettua kaavasta 1:

$$q_m = \frac{\phi}{c_p(T_m - T_p)} \quad (1)$$

missä ϕ = lämpöteho, c_p = veden ominaislämpökapasiteetti, T_m = menoveden lämpötila, T_p = paluueden lämpötila ja q_m = veden massavirta.

Meno- ja paluueden lämpötilaero on siis ratkaisevassa osassa veden massavirran ja myöskin putkien mitoituksen kannalta. Mitä suurempi on lämpötilaero, sitä pienemmäksi tulevat vesivirta ja putket. (Seppänen 2001, 120).

Vesikiertoisen patterilämmityksen lämmönjakotapoja ovat yksiputki- ja kaksiputkijärjestelmä sekä käännetty paluuputkijärjestelmä. Näitä järjestelmiä voidaan lisäksi yhdistää, esimerkiksi niin, että runkoputkisto on toteutettu kaksiputkijärjestelmänä ja patteripiirit on toteutettu yksiputki- tai käännettyllä paluuputkijärjestelmällä. (LVI 12-10343 2002, 2).

Lämmitysverkoston mitoituslämpötilat meno- ja paluuedelle tulee valita aina lämmönlähteen sekä käytetyn lämmönjakotavan mukaan. Taulukossa 1 on esitetty LVI-kortin 12-10343 eri lämmönlähteille ja lämmönjakotavoille suositeltavia mitoituslämpötiloja. Huomioitavaa on, että kaukolämmityksen mitoituslämpötilojen arvot ovat enimmäislämpötiloja. Tavoitteena mitoitukselle on mahdollisimman alhaiset lämpötilat sekä suuri lämpötilaero. (LVI 12-10343 2002, 2)

Taulukko 1. Mitoituslämpötiloja eri lämmönjakotavoille. (LVI 12-10343 2002, 2)

Lämmönlähde	Lämmönjakotapa	Meno/paluveden lämpötila °C
Öljylämmitys	kaksiputkijärjestelmä	70/40
	yksiputkijärjestelmä	60/50
Kaukolämmitys	kaksiputkijärjestelmä	70/40**
	yksiputkijärjestelmä	60/50
Varaava lämmitys	kaksiputkijärjestelmä	60/40
	yksiputkijärjestelmä	60/50
Lämpöpumppulämmitys	kaksiputkijärjestelmä	60/40
	yksiputkijärjestelmä	60/50

*) matalalämpöjärjestelmissä

***) lämpötilat ovat enimmäislämpötiloja.

Lämpöpatterien perustyytit, jotka ovat nimetty patterityypille tunnusomaisen lämmönluovutustavan perusteella:

- **Radiaattorit** ovat levypattereita, joissa lämpöä luovuttava pinta on samaa suuruusluokkaa kuin sisäpuolinen vesipinta-ala. Lämpöä luovuttavaa pintaa voidaan kasvattaa lisäksi konvektiolevyillä. Säteilylämmönsiirto merkittävä.
- **Konvektorit** ovat pattereita, joiden lämpöä luovuttava ulkopinnan ala on merkittävästi sisäpuolista vesipinta-alaa suurempi. Konvektiolämmönsiirto merkittävä.
- **Putkipatterit** valmistetaan kupari- tai teräsputkista. Putkipattereiden lämmönluovutusta voidaan tehostaa suurentamalla lämpöä luovuttavaa pinta-alaa esimerkiksi konvektiolevyillä. Kupariputki-alumiinilevyypattereita käytetään esimerkiksi pesu- ja wc-tiloissa sekä muissa kosteissa tiloissa.
- **Erikoispatterit** ovat erilaisiin sisustusratkaisuihin suunniteltuja pattereita tai pattereita, joilla lämmitetään huoneilman lisäksi myös ilmanvaihdon vaatimaa korvausilmaa. (Kutsutaan myös ulkoilmaradiaattoriksi).

Ruostumattomasta teräksestä sekä haponkestävästä teräksestä valmistettuja pattereita käytetään hyvin kosteissa sekä lisäksi syövyttävissä olosuhteissa. (LVI 12-10343).

Patterin menoputkeen asennetaan yleensä esisäädettävä patteriventtiili ja paluuputkeen taas asennetaan sulkuliitin. Edellä mainittujen lisäksi patterit varustetaan ilmausruuvilla. Venttiileinä pattereissa käytetään lähes poikkeuksetta termostaattisia patteriventtiileitä tai vaihtoehtoisesti sähköisellä säädöllä toimivia patteriventtiileitä. (LVI 12-10343 2002, 7). Patterien luovuttama lämpöteho perustuu yllämpöön. Kaksiputkijärjestelmänä toteutetussa järjestelmässä patterit valitaan taulukoista, joista saadaan patterin lämmönluovutusteho tietyllä yllämpötilalla ΔT , kaava 2.

$$\Delta t_{in} = \frac{t_m - t_p}{\ln \frac{t_m - t_h}{t_p - t_h}} \quad (2)$$

Jossa

ΔT_{in} = Logaritminen yllämpötila, °C.

T_m = Verkoston menoveden lämpötila, °C.

T_p = Verkoston paluueden lämpötila °C.

T_h = Huone lämpötila, °C.

Mikäli lämpötila on poikkeava patterin valmistajan taulukoissa ilmoittamasta, voidaan tarvittavat tehoarvot laskea valmistajien ilmoittamien laskentamallien avulla tai suuntaa antavasti LVI-kortin 12-10343 sivun 5 antamalla kaavalla 3.

$$\Phi_2 = \Phi_1 \times \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)^{1,3} \quad (3)$$

Jossa

Φ_2 = Uusi teho arvolla ΔT_2

Φ_1 = Tunnettu teho arvolla ΔT_1

Yksiputkijärjestelmänä toteutetussa järjestelmässä patterit jaetaan joko yhteen tai useampaan kiertopiiriin. Menoveden lämpötila kuitenkin alenee aina piirin loppupäätä kohden, joten patterimitoituksessa on otettava huomioon edellä mainittu menoveden lämpötilan aleneminen. Jotta patterien koot saadaan pysymään kohtuullisina, pitää

verkoston meno- ja paluuveden lämpötilaero olla mahdollisimman pieni. Suosituksena lämpötilaerolle pidetään 10...15 °C eroa. Tämän jälkeen voidaan laskea kiertopiirin kokonaisteho ja tarvittava vesivirta.

Jokaisen verkoston patterin keskimääräinen yllilämpötila, eli patterin keskilämpötilan ja huonelämpötilan välinen erotus, Δt_k voidaan laskea LVI kortin LVI12-10343 antamalla kaavalla 4.

$$\Delta t_k = t_m - \frac{\Phi}{2\omega q_v c_{p_v} \rho_v} - t_h \quad (4)$$

jossa

Δt_k = patterin keskimääräinen yllilämpötila, °C

t_m = patterille tulevan veden lämpötila, °C

Φ = patterin teho, W

ω = venttiilin jakosuhte (patterissa kulkevan vesivirran suhde kokonaisvesivirtaan)

q_v = kiertopiirin vesivirta, dm³/s

c_{p_v} = veden ominaislämpökapasiteetti 4,2 kJ/kg°C

ρ_v = veden tiheys 1000 kg/m³

t_h = huonelämpötila, °C.

Keskimääräisten yllilämpötilojen Δt_k perusteella muunnetaan kaikkien patterien tehot vastaamaan keskimääräistä yllilämpötila-arvoa Δt (esimerkiksi $\Delta t = 50$ °C, patterien mitoitusaulukoissa käytetyn yllilämpötilan mukaan). Muunnoskerroin k lasketaan LVI kortin 12-10343 antamalla kaavalla 5.

$$k = \left(\frac{\Delta t_k}{50} \right)^{1,3} \quad (5)$$

Jossa

k = muunnoskerroin

Δt_k = patterin keskimääräinen yllilämpötila, °C

1,3 = lämmönluovutuseksponentti (tarkennettava aina patterityypin mukaan).

Jokaisen patterin teho jaetaan annetulla muunnoskerroimella, ja näin saadaan lämpötilaerolla $\Delta t = 50$ °C niin sanotut normeeratut tehot. Jokainen patteri valitaan näiden

tehojen mukaisesti valmistajan antamista patterinvalintataulukoista, joissa $\Delta t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Normeerattu teho $\Phi\Delta t$ lasketaan LVI-kortin 12-10343 mukaan kaavalla 6.

$$\Phi\Delta t = \frac{\Phi}{k} \quad (6)$$

Jossa

$\Phi\Delta t$ = patterin normeerattu teho, W

Φ = patterin laskettu teho, W

k = muunnoskerroin, kaava 5.

(LVI 12-10343, 2002.)

2.2 Lattialämmitysjärjestelmä

Lattialämmitystä sanotaan usein myös säteilylämmitykseksi, koska säteilylämmönsiirron osuus kokonaislämmönsiirrosta on siinä melko suuri. Lattialämmityksessä sen osuus on Seppäsen mukaan 50- 60% ja Danfossin mukaan jopa 70% (Danfoss 2011). Todellinen osuus lienee näiden välillä. Lattialämmityksen etuna verrattaessa patterilämmitykseen on, ettei siinä ole lainkaan näkyvillä olevia lämmönluovuttimia, joiden sijoittamisessa saattaa olla joskus haasteita. Koska lattialämmityksessä lämmönsiirtopinnan pinta-ala on suuri, sen pinnan lämpötilan ei tarvitse olla niin korkea kuin pienempi pinta-alaisissa lämmityspattereissa. (Seppänen 2001, 182.) Koska lattialämmityksessä ei tarvita suurta menoveden lämpötilaa edellä mainitusta syystä, on se energiaystävällinen ja hyvä ratkaisu myös esimerkiksi maalämpö- ja ilmavesilämpöpumppujärjestelmille. Lattialämmityksen teho perustuu myös yllämpöön.

Vesikiertoinen lattialämmitys on nykyaikainen ja suosittu tapa luoda miellyttävä sisäilmasto. Mikäli kiinteistön lämmitysjärjestelmä koostuu sekä lattia- että patterilämmityksestä, on lattialämmitysjärjestelmään asennettava erilliset pumppu- ja sekoitusryhmät kummallekin järjestelmälle. Lattialämmityspiirien putket asennetaan oikeaoppisesti siten, että lämmityspiirin menoputki on asennettu ulkoseinän suuntaisesti. Näin siksi, että lattian jäähtyminen on yleensä suurinta ulkoseinien läheisyydessä. Tällä pyritään saamaan koko lattian lämmönluovutus optimaaliseksi. Putkisto pitäisi aina pyrkiä

asentamaan niin sanottuna spiraaliputkituksena, eli lämpimin ja kylmin putki kulkevat vierekkäin. Tällä pyritään varmistamaan tasainen lämpötila koko lämmitettävän lattian alueella. Putkiston on oltava happidiffuusiosuojattua muovia, jotta happea ei pääse järjestelmään putken läpi.

Mahdollisimman hyvän lämmönluovutuksen varmistamiseksi, veden virtauksen putkessa tulee olla turbulენტista. Liian pieni virtaus, joka voi johtua pumpun liian pienistä kierroksista tai vastaavasti liian suuresta putkesta, tekee virtauksesta laminaarisen. Silloin lämmönluovutus on aina heikompaa ja veden lämpötilaa joudutaan nostamaan, jolloin lattian lämmön tasaisuus ei ole optimaalista (Nereus 2019). Veden virtauksen tärkeys korostuu etenkin pidemmissä piireissä, joissa lämpö riittää, jos vesivirtaa jää vajaksi suunnitellusta. Pesutilojen lattialämmitys on usein toteutettu erillään muista lämmityksistä, koska siellä halutaan lämmitystä silloinkin, kun muualla ei sitä tarvita.

Taulukko 2. Lattialämmityksen ohjeellisia suositus-, vähimmäis- ja enimmäisarvoja. (LVI 13-10261 1996, 4)

	Suositus-arvo	Vähimmäis-arvo	Enimmäisarvo
Menoveden lämpötila, °C	35...50 ¹⁾	25...30 ¹⁾	50 ¹⁾
Meno/paluuveden lämpötilaero, °C	5...10 ¹⁾		
Lattian pintalämpötila, °C	25...27 ²⁾	23 ²⁾	30 ²⁾
Putkien asennusväli, mm	150...200	50	300
Yhden lattialämmityspiirin painehäviö, kPa	15...20		
Asennussyvyys, mm	40	30	70
Kiertoveden virtausnopeus			
• muoviputki, m/s	0,3	0,1	1,0
• kupariputki, m/s	0,3	0,1	0,8
Maanvaraisen betonilaatan eristyspaksuus (polystyreeni), mm	100 ³⁾		

¹⁾ Riippuu lattiarakenteesta.

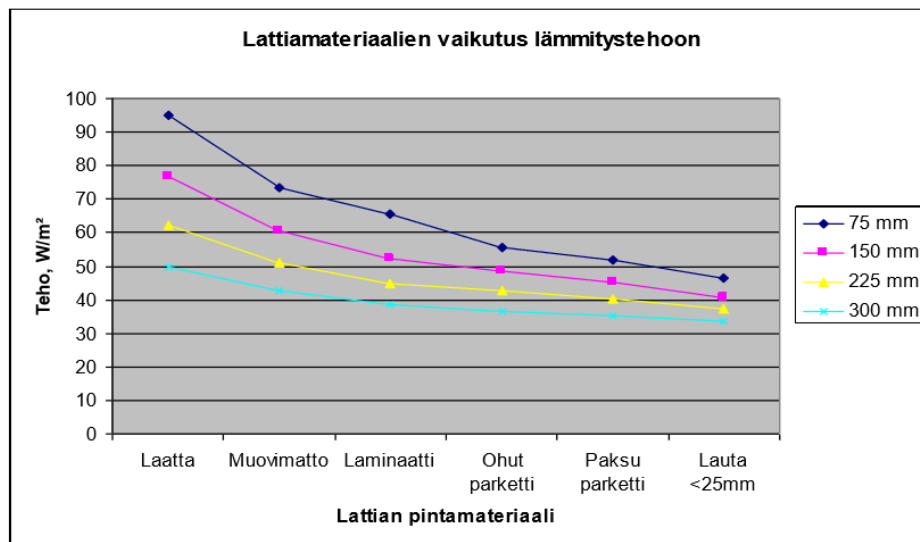
²⁾ Laskennallinen raja-arvo, riippuu lattianpäällysteestä, huonetilan käyttötarkoituksesta ja keskimääräisistä lämpöhäviöistä.

- tiloissa, joissa säännöllisesti työskennellään seisten, lattian pintalämpötila on $\leq +25$ °C
- asuinhuoneiden lattian pintalämpötila on $\leq +26...+27$ °C
- kylpyhuoneissa, WC:ssä, uimahalleissa ja tiloissa, joita käytetään harvoin, lattian pintalämpötila on $\leq +30$ °C
- varastoissa, autotalleissa yms. tiloissa lattian pintalämpötilana voidaan käyttää vähimmäisarvoa $+23$ °C, jos lämpötehotarve sen sallii.

³⁾ Ulommalla reuna-alueella eristyspaksuus on 150 mm, muualla 100 mm.

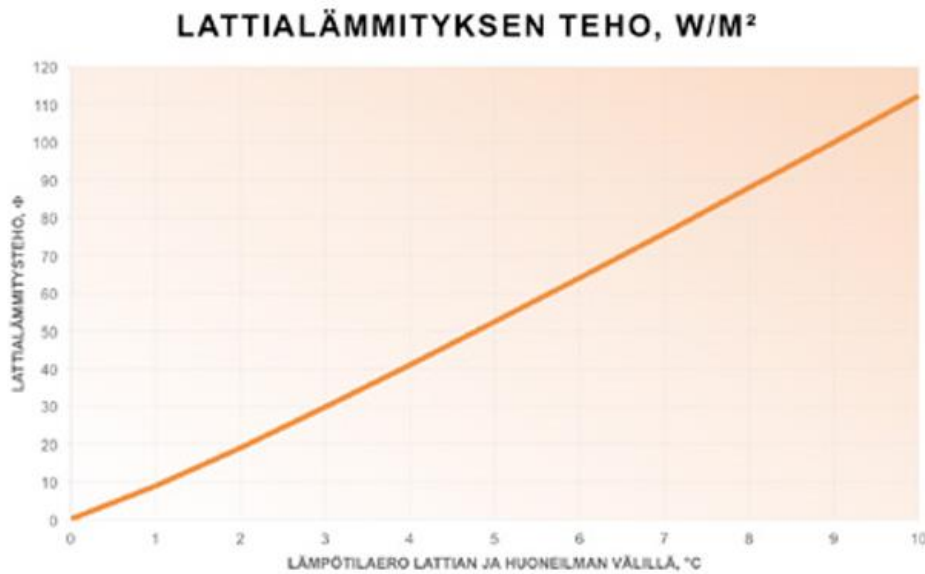
Normaalin uudisrakennuksen tehontarve lattialämmitykselle on noin 40-60W/m², jolloin lattian pintalämpötila on noin 24-25°C huonelämpötilan ollessa 20-21°C. Asumisen viihtyvyys asettaa kuitenkin rajat lämmitykselle.

Huomioitavaa on myöskin lattiamateriaalit. Lattialämmitykseen sopivat lähes kaikki materiaalit, joiden lämmönläpäisykerroin R_{λ} on enintään 0,15 m²K/W (=Watti Kelviniä neliometriä kohti). Nereuksen mukaan käytännössä ainoa sopimaton materiaali on lattialankku, jonka paksuus on yli 23mm. Puupäälysteisten lattioiden, kuten parketin ja lankun lämpötila ei saa nousta yli +27°C materiaalin liiallisen kuivumisen vuoksi. Parketti ja lauttalattioiden maksimiteho on noin 75 W/m². Laattalattiassa voidaan käyttää tehona noin 100 W/m². (Nereus 2018).



Kuva 1. Materiaalin vaikutus tehoon. Sisälämpötila +20°C ja veden lämpötila noin +35°C. (Nereus 2018.)

Lattialämmityksen teho on käytännössä suoraan verrannollinen lattian pintalämpötilan ja huonelämpötilan väliseen lämpötilaeroon. Teho voidaan myös laskea Uponorin antamalla kaavalla 7. Kuvassa 2 on havainnollistettu lattialämmityksen teho eri lämpötilaeroilla (Uponor 2018).



Kuva 2. Lattialämmityksen teho eri lämpötilaeroilla. (Uponor 2018).

$$\phi = 8,92 * (t_l - t_s)^{1,1} \quad (7)$$

Jossa

ϕ = lattialämmitysteho, W/m²

t_l = lattialämmitettävän alueen keskimääräinen pintalämpötila, °C

t_s = huoneilman keskimääräinen lämpötila, °C

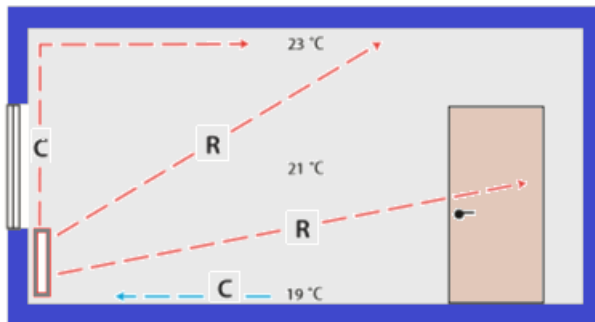
(Uponor 2018).

Danfossin kertoo, että huoneen koettu lämpötila syntyy kahdesta eri tekijästä:

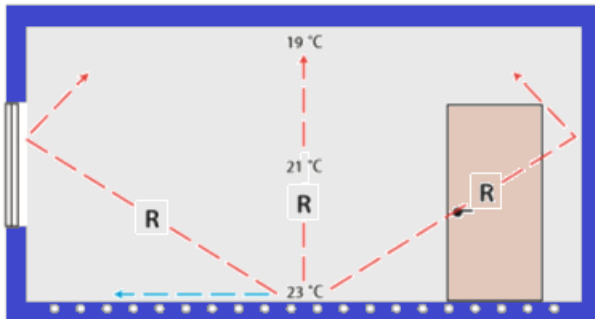
- Ilman lämpötilasta.
- Ympäristön säteilystä, eli huoneen lämmityselementtien lämpösäteilystä.

Danfossin mukaan saattaa olla eduksi, että lämpösäteily muodostaa valta osan kokonaislämpötilasta eli niin sanotusta operatiivisesta lämpötilasta. Mikäli suurin osa operatiivisesta lämpötilasta muodostuu ilman lämpötilasta, voi huoneilmassa tapahtua paljon konvektiota eli ilman sekoittumista. Tästä saattaa seurauksena olla, mikäli ilman sekoittuminen on runsasta, että siihen on mahdollista muodostua jonkinlaisia pyörteitä, jolloin ilmassa oleva pölypitoisuus saattaa kasvaa ja siten ilmanlaatu heiketä. Konvektion sekä lämpösäteilyn käyttäytymistä lattialämmitys- ja patterilämmitysjärjestelmissä kuvataan

kuvilla 3 ja 4. Radiaattoreilla toteutetussa lämmitysjärjestelmässä ilman lämpötilan tai konvektion osuus on noin 70 % operatiivisesta lämpötilasta. Tämä on perusteltua, jos huomioidaan, että lämmityspatterien lämpöä luovuttava pinta-ala on suhteellisen pieni verrattuna lämmitettävän huoneen kokoon. Lattialämmitys taas tuottaa lämpöä hyvin suurella pinta-alalla, mistä seuraa, että lämpö jakautuu koko huoneeseen tasaisemmin. Lämmityssuhde onkin päinvastainen patterilämmitykseen verrattaessa, Danfossin mukaan jopa 70 % operatiivisesta lämpötilasta muodostuu lämpösäteilystä (Danfoss 2011, 5).



Kuva 3. Lämpöpatterit 70% konvektiosta ja 30% lämpösäteilystä (Danfoss 2011).



Kuva 4. Lattialämmitys 30% konvektiosta ja 70% lämpösäteilystä (Danfoss 2011).

2.3 Lämpötilan säätö

Yksinkertaistettuna huonelämpötila säätyy siten, että säätöautomaatiikka mittaa ulkolämpötilan, lämmitysverkoston menolämpötilan ja mahdollisesti huonelämpötilan. Automaatiikkaan on valittu säätökäyrä, joka on aina kiinteistökohtainen. Käyrällä on erilaisia ulkolämpötiloja vastaavat menoveden lämpötilat. Moottoritoiminen venttiili sekoittaa lämmönlähteeltä tulevaan kuumaan veteen patteriverkostosta palaavaa jäähtyneenpää vettä ja niin verkostoon menee sopiva, ulkolämpötilaa vastaava menovesi. Huonekohtainen

lämpötilansäätö toteutetaan yleensä termostaattisten patteriventtiilien avulla. Huoneeseen tulee ihmisistä, auringosta ja erilaisista sähkölaitteista lämpöä, tällöin puhutaan niin sanotusta ilmaislämmöstä. Tällöin termostaattinen patteriventtiili pienentää veden virtausta patteriin tai sulkee sen kokonaan. (Harju & Matilainen 2001, 32.) Huomion arvoista on, kun patterin vesivirtaa pienennetään, patterissa virtaava vesi kerrostuu niin, että ainoastaan patterin yläosa on lämmin. Kun termostaattinen patteriventtiili sulkee patterin vesivirran kokonaan, jäähtyy patteri huoneilman lämpötilaan. Tällöin patteri saattaa tuntua kädellä kokeiltaessa jopa kylmältä, vaikka kaikki on kuitenkin kunnossa. (Harju & Matilainen 2001, 54.)

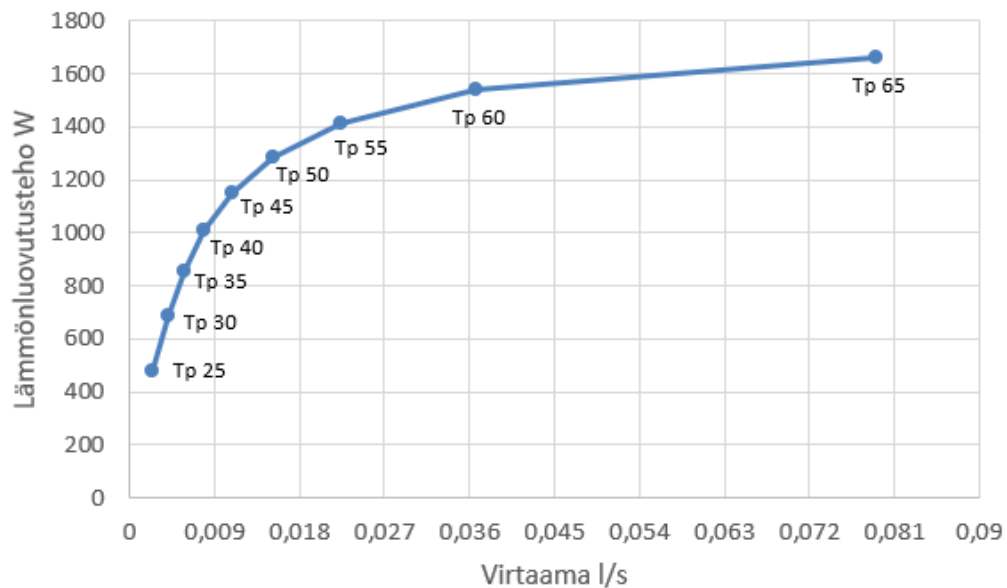
Vesikiertoisten lattialämmityksen huonelämpötilaa ohjataan yleensä huonekohtaisella termostaatilla. Termostaatti on siis lämpötilarajoin, joka alkaa kuristaa jakotukilla olevan toimilaitteen avulla lattialämmityspiirin vedenkiertoa, mikäli huoneen lämpötila nousee termostaattiin asetetun arvon yläpuolelle. Termostaatteja on 230V tai 24V jännitteillä toimivia langallisia sekä täysin langattomiakin malleja. Myös lattia-anturilla varustettuja termostaatteja on markkinoilla, tällöin mitataan lattian lämpötilaa. Huonetermostaatit ohjaavat paluujakotukilla olevaa toimilaitetta, joka avaa tai sulkee venttiilin tarvittaessa. Toimilaitteet toimivat usein vahapatruunalla, joka laajenee tai kutistuu termostaatin ohjajana.

3 KIERTOPIIRIN ONGELMAT

Patteriverkoston säätäminen tasapainoon siten, että pattereiden lämmönluovutusteho vastaisi huoneen lämmöntarvetta on tärkeä toimenpide myöskin lämmityslaitoksen energiatehokkuuden kannalta. Säätäminen on välttämätön toimenpide, sillä patterien mitoitus suunnitteluvaiheessa on käytännössä epätarkka, myöskään rakenteiden eristys ei joka tapauksessa vastaa laskelmissa käytettyä. Kun lämmitysjärjestelmän perussäätö on jäänyt huolimattomasti tai jopa kokonaan tekemättä jostakin syystä, on siitä seurauksena verkoston epätasapaino. Tämän seurauksena on usein menoveden lämpötilaa kasvatettu muutaman kylmän huoneen perusteella ja seurauksena muut huoneet voivat lämmentä liikaa, jolloin hukataan turhaan energiaa. Oikein ja hyvin tasapainotetulla lämmitysjärjestelmällä voidaan päästä merkittäviin lämmitysenergian säästöihin. (Seppänen 2001, 172.)

Perussäädön eli tasapainotuksen tarkoituksena on jakaa lämmitysjärjestelmän vesivirrat oikein. Uusissa ja käyttöönotettavissa kiinteistöissä lämmitysverkostojen virtaamat säädetään, kun lämmitysverkosto on asennettu valmiiksi ja käyttökuntoon (LVI 19-10399, 4). Vaikka lämmitysverkosto olisikin huolellisesti ja tarkasti tasapainotettu, saattaa vastaan tulla ajan mittaan ongelmia. Patterin kylmyyteen voi olla useampiakin syitä, esimerkiksi patterissa on ilmaa tai korroosiokaasuja tai tuleva vesi on jäähtynyt liikaa eristämättömässä putkessa. Riittämätön veden kierto voi olla myös syynä. Se ilmenee usein suurena lämpötilaerona meno- ja tuloputkissa. Riittämätön kierto voi johtua esimerkiksi tukkeutuneesta tai jumittuneesta venttiilistä, putkesta tai patterista. Joskus syynä saattaa olla myös järjestelmän paisuntasäiliö, josta on vastapaine kadonnut. Myöskään varoventtiilin vuotaminen ei ole harvinaista. Kun verkostoon joudutaan lisäämään usein vettä, on siihen reagoitava ja syy selvitettävä.

Koska patterien lämmönluovutustehoon vaikuttaa veden- ja huonelämpötilojen lisäksi veden virtaus, vaikuttavat kiertohäiriöt suoraan lämmitystehoon. Toisin sanoen patterin lämmitysteho kasvaa, jos veden lämpötila tai veden virtaus kasvaa. Kuvassa 5, on esitetty miten vesivirran muutos vaikuttaa lämmönluovutustehoon sekä paluuveden lämpötilaan, kun menoveden ja huoneen lämpötilat ovat vakioita. Kuvasta voidaan havaita miten veden virtauksen pieneneminen, esimerkiksi likapartikkeleiden vaikutuksesta, alentaa lämmönluovutustehoa patterissa sekä paluuveden lämpötilaa.



Kuva 5. Veden virtaaman vaikutus patterin lämmönluovutustehoön sekä paluveden lämpötilaan. $T_m = +70^\circ\text{C}$ ja $T_h = 21^\circ\text{C}$.

3.1 Ilma verkostossa ja korrosio

Korrosio, erityisesti teräsputkella toteutetuissa lämmitysverkostossa, voi aiheuttaa ongelmia verkoston toiminnalle. Seurauksena saattaa olla veden kierron heikkeneminen, pattereiden epätasainen lämpeneminen, vuotoja tai putkistossa olevien toimilaitteiden jumiutumista. Kaikki tämä johtaa ylimääräiseen energian kulutukseen ja kustannusten nousuun. Verkoston pitäisi aina olla täysin suljettu piiri, jossa vesi kiertää lämmönlähteeltä lämmönluovuttimille ja takaisin lämmitettäväksi. Jos lämmityspiiri on täysin suljettu, asettuu veden happipitoisuus aina lähes nollassa. Käytännössä lämmityspiirit eivät aina ole täysin suljettuja kuten usein oletetaan. Suurin syy lämmitysverkostojen korrosio-ongelmille on verkostoon päässyt ilma ja sen sisältämä happi. Syitä sen pääsulle verkostoon voi olla monia. Happea pääsee verkostoon aina kun verkostoa joudutaan täyttämään tai esimerkiksi huoltotoimenpiteiden yhteydessä, johtuen lisäävässä vedessä olevasta hapesta. Ilmaa on mahdollista päästä lämmitysverkostoon myös diffuusioitumalla happidiffuusiosuojaamattomien muovisten putkien sekä osien ja tiivisteiden kautta. Myös verkostossa olevien liitosten sekä myöskin pumpun kautta on mahdollista ilman päästä verkostoon. Ilma koostuu pääosin typestä (78%) ja hapesta (21%). Typpi inertinä kaasuna jää yleensä lämmitysverkostoon aiheuttaen veden kiertohäiriöitä.

Eteenkin automaattisten ilmapoistimien puuttuessa, typpi kerääntyy pattereihin ja se on poistettava patterin omasta ilmausruvista. Happi vedessä poistuu järjestelmässä käytännössä sähkökemiallisessa korroosioprosessissa. Hapesta johtuvaa korroosiota kutsutaan yleisesti happikorroosioksi ja se syntyy, kun happipitoinen vesi on kosketuksissa paljaan teräksen kanssa. Korroosio voi olla laadultaan yleistä eli tasaista korroosiota tai materiaaliin kuoppia aiheuttavaa korroosiota. Happikorroosiossa teräksestä muodostuu rauta(II)hydroksidia eli ferrohydroksidia. Lämpötilan noustessa muodostunut ferrohydroksidi alkaa hapettumaan ja muodostaa erilaisia rautaoksideja. 50°C ylittävässä lämpötilassa ferrohydroksidi alkaa myös hajaantua ja sen seurauksena muodostamaan magnetiittiä. Magnetiitti periaatteessa voi suojata terästä, mutta kertyessään järjestelmään, se kuitenkin aiheuttaa lämmitysjärjestelmän toimintakunnon heikkenemistä. (Lämmönhuolto 2019.)

Seostamaton teräs eli niin sanottu hiiliteräs, sisältää rautaa ja 0,05 - 0,25% hiiltä sekä pieniä määriä mangaania, piitä, kromia ja kuparia sekä lisäksi epäpuhtautena fosforia ja myös rikkiä. Hiiliteräksellä on kohtuullisen hyvät mekaaniset ominaisuudet mutta sen huonon korroosiokestävyyden vuoksi sitä ei kuitenkaan voida käyttää paljaana kosteissa happipitoisissa olosuhteissa. (Suomen LVI-liitto 2013.)

Vesijohtovesi sisältää aina happea riittävän määrän teräksen korroosion muodostumiseen, jos järjestelmä ei ole täysin suljettu tai jos happea ei ole poistettu verkostossa kiertävästä vedestä. Teräsputkitusta kuitenkin käytetään niin sanotusti paljaana, ilman pinnoitteita vesikiertoisissa lämmitysjärjestelmissä, koska suljetun lämmitysverkoston vesi on yleensä riittävän niukkahappista. (Suomen LVI-liitto 2013). Vaikka verkoston putkisto olisikin muuta materiaalia kuin terästä, ovat radiaattorit usein teräslevyistä valmistettuja.

Happikorroosiota esiintyy aina siellä, missä happipitoinen vesi on kosketuksessa paljaaseen teräkseen. Niin sanotussa happikorroosiossa teräs liukenee muodostaen rautahydroksidia:



Rauta (II)-hydroksidi kykenee siis hapen vaikutuksesta hapettumaan edelleen erilaisiksi rautaoksideiksi, jotka rautahydroksidin kanssa muodostavat niin sanotun ruosteen. Kuten aiemmin todettiin, yli 50 °C lämpötilassa alkaa rauta (II)-hydroksidi hajaantua myös magnetiitiksi Fe_3O_4 (ns. Schikorrin reaktio). Happikorroosionopeus alkaa aina

kasvamaan lämpötilan kasvaessa ja sitä edistää myös veden suolapitoisuus. (Suomen LVI-liitto 2013.)

Happikorrosio voi olla tasaista niin sanottua yleistä korroosiota. Hyvin useasti happikorrosio on kuitenkin teräväreunaista kuoppakorroosiota, joka tuhoaa materiaalin melko nopeasti. Myös niin sanotut happivarjostumat, jotka tarkoittavat hapen puuttumista, tai ympäristön happipitoisuuserot, esimerkiksi raoissa ja sakkakerrostumien alla, aiheuttavat hyvin usein korroosiota teräsputkistoissa. Näissä tapauksissa käytetään nimityksiä piilokorroosio ja rakokorroosio. (Energiateollisuus 2007). Selvitettäessä verkoston kuntoa, on röntgenkuvaus ainoa järkevä tapa havaita verkoston sisäpuolisen korroosion tilanne.

Suomen LVI-liiton mukaan teräksisen lämmitysverkoston korroosion kannalta riskittömänä vedenlisäyksenä pidetään 5 % suljetun verkoston vesitilavuudesta vuodessa, mikä vastaa 20 vuoden vedenvaihtoväliä. Lisäksi Suomen LVI-liiton mukaan vedenvaihto voidaan tehdä jopa 5 vuoden välein ilman vaaraa korroosiovaurioista. Sakkaa saattaa lämmitysverkostoihin muodostua kuitenkin aina vähän myös normaaleissa lämmitysverkostoissa. Niukkahappisissa vesissä, korroosion seurauksena muodostuva sakka on yleensä mustan väristä ja melko hienojakoista. Korroosiotuotteet, joista osa on magneettisia, ovat yleisin syy veden kiertohäiriöihin lämmitysverkostoissa. Hienojakoinen sakka voi asettua pumpun tai venttiilien sisäpuolisille pinnoille ja aiheuttaa toimintahäiriöitä kohdissa, joissa magneettisakka tarttuu teräsosiin. Kerrostumien muodostuminen hitaan virtauksen alueille saattavat johtaa virtauksen tehon vähenemiseen ja jopa täydelliseen verkoston tukkeutumiseen. Usein punaruskea tai ruskea vesi järjestelmässä sekä kerrostumat, kertovat runsashappisista olosuhteista lämmitysverkostoissa. (Suomen LVI-liitto 2013.)

Ongelmaksi muodostuvaa sakkaa esiintyy lähinnä verkostoissa, joissa on tavallisia muoviputkia, tai happea on päässyt verkostoon vuotavien tiivisteiden kautta tai alipaineisten osien ilmavuodoissa. Verkostoissa, joissa on happea läpi päästäviä muoviputkia, happipitoisuus voi vaihdella verkoston eri osissa. Muoviputkien ja kumiletkujen käyttäminen niin kutsuttuina joustavina liittiminä, lisäsi happidiffuusion aiheuttamia ongelmia erityisesti 90-luvulla. Tästä tuloksena oli sakan muodostumista lämmitysverkostoihin mutta ilmeisesti hyvin harvoin teräspatterien tai -putkien puhkisyöpymisiä. (Suomen LVI-liitto 2013.)

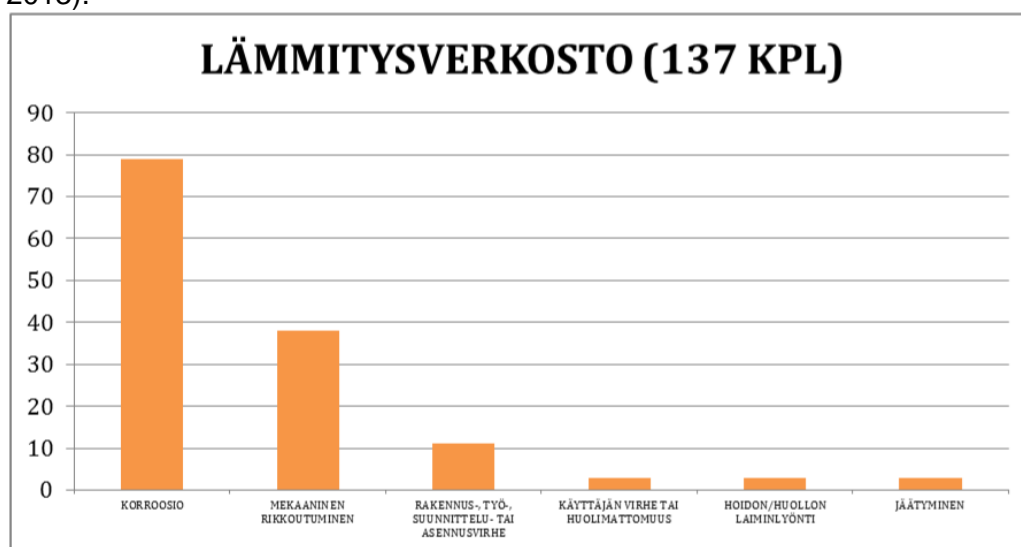
Korroosion kehitystä seurataan esimerkiksi teollisuuden lämmitysprosesseissa erilaisin keinoin. Seuranta voidaan suorittaa sekä ainetta rikkomattomilla, eli NDT menetelmillä (Non-Destructive Testing) ja suorilla korroosionopeutta mittaavilla laitteilla. NDT-menetelmiä voivat olla lämmitysputkien tarkastelussa esimerkiksi silmämääräinen tarkastus, ultraäänitarkastus ja röntgentarkastus. Suoria korroosionopeutta mittaavia menetelmiä ovat esimerkiksi potentiaalimittaus, painohäviömittaus ja galvaanisen virran mittaus.

Korroosiotuotteiden irtoaminen saattaa johtaa tukoksiin tai venttiilien toimimattomuuteen verkostossa tai aiheuttaa muita likaantumisreaktioita estäen esimerkiksi lämmönvaihtimen optimaalisen toiminnan. Tämä on suurin syy kiertohäiriöihin lämmitysverkostoissa.

Raudan oksidit voivat toimia pienissä määrin kelvollisena korroosionsuojana teräsputkistossa. Verkoston ruostuvien metallien sisäpinnoille muodostuva oksidikerros suojaa siis niitä korroosiolta passivoimalla (suojaavaa reaktiotuotekerroksen muodostumista kutsutaan passivoitumiseksi). Vaikka muodostunut oksidikerros suojaa siis verkostoa, on se mekaaniselta kestoaltaan hyvinkin heikkoa, jolloin sitä irtoaa kiertävän veden sekaan. Tätä kerrosainesta kertyy pattereihin sekä muualle verkostoon irtonaisena kiintoaineena. Tästä verkostoon kertyvästä irtoaineista käytetään nimenä rautasakka, ruostesakka tai magnetiittisakka. (Lämmönhuolto PRO 2019.)

Finanssialan keskusliiton tekemän vuotovahinkoselvitys 2013 mukaan lämmitysverkostojen vuotovahingoista 58% on johtunut korroosiosta ja 28% mekaanisesta rikkoutumisesta. Korroosion vaikutuksesta vuotaneet putkiston osat olivat pääasiassa putki tai johto ja patteri. (Taulukot 3 ja 4.)

Taulukko 3. Tilaston mukaan yleisin vuotojen syy on korroosion aiheuttama. (Finanssiala 2013).



Taulukko 4. Lämmitysverkostoissa yleisimmin vuotaneet osat. (Finanssiala 2013).



3.2 Kerrostumat ja sakka

Riippuen useista seikoista, saattaa ongelmia esiintyä jopa melko uusissakin lämmitysjärjestelmissä. Epäpuhtaudet lämmitysverkostossa häiritsevät veden vapaata kiertoa ja siten myös tehokasta lämpöenergian välittymistä. Esisäädettävissä patteriventtiileissä veden virtausaukko on hyvin pieni. Hyvin pienikin määrä veden mukana liikkuvia epäpuhtauksia voi riittää tukkimaan venttiiliin tai hidastamaan veden virtausta. Yleensä suurin osa irtonaisesta sakasta ja muista epäpuhtauksista, kertyy patterien alaosiin sekä paikkoihin, joissa veden virtaus on verkostossa hitainta. Kerrostumia saattaa muodostua myös verkoston putkiin ja pahimmissa tapauksissa putken kerrostumat on kuten kuvassa 6. Lämmönvaihdin on termostaattisten venttiilien jälkeen verkoston ahtain paikka. Kerrostumat lämmönvaihtimen lämmönsiirtopinnoilla heikentävät lämpöenergian siirtymistä ensiöpuolelta toisiopuolelle. Irtoaineet aiheuttavat toimilaittehäiriöitä, jotka korostuvat mitä epäpuhtauksille herkempi lämmitysmuoto on käytössä. Epäpuhtauden johtavat pahimmillaan siihen, että osa pattereista lämmittää huomattavasti heikommin kuin toiset ja näin ollen verkosto on epätasapainossa eikä lämmitä optimaalisesti. (Lämmönhuolto 2019.)



Kuva 6. Kerrostumaa ja sakkapartikkeleita. (Lämmönhuolto 2019).

Putkistoon kertynyt lika saattaa siis aiheuttaa veden virtaushäiriöitä ja tämä pääsääntöisesti johtaa häiriöihin koko järjestelmän toiminnassa. Erityisesti lattialämmitysjärjestelmät ovat hyvin alttiita järjestelmän epäpuhtauksille. Lämmitysverkoston pumppuun kertynyt lika voi aiheuttaa kulumista pumpussa. Kulumisen seurauksena pumppu ei välttämättä toimi enää optimaalisesti, eikä siten koko lämmitysjärjestelmä.

Jos patteriverkostoon on kerääntynyt tai muodostunut häiritseviä määriä epäpuhtauksia, on koko verkosto puhdistettava. Verkosto voidaan puhdistaa huuhtelemalla tai asentamalla verkostoon automaattinen lianerotin. Lianerotin toiminta perustuu siihen, että virtaavan veden mukana kulkevat epäpuhtaudet kulkeutuvat erottimeen, joka voidaan tarpeen vaatiessa tyhjentää. Huuhtelupuhdistusta varten voidaan huuhtelulaitteisto kytkeä esimerkiksi lämmitysverkostoon kiertovesipumpun tilalle. Huuhtelussa hyödynnetään niin sanottua kavitaatioilmiötä sekä veden suurta virtausnopeutta. Kavitaatiossa vesi alkaa kiehua alipaineen vuoksi ja aiheuttaa kuplia, jotka irrottavat kerrostumia putkien sisäpinnoilta ja suuri vesivirta huuhtelee sakan verkostosta. Joissakin tapauksissa puhdistus on tehty niin, että patterit on irrotettu ja huuhdeltu esimerkiksi ulkona. Tämän tavan huonona puolena on se, että itse putkisto jää huuhtelematta epäpuhtauksista. Markkinoilla on tarjolla myös erilaisia kemikaaleja, joiden väitetään estävän korroosion ja korroosiotuotteiden syntymistä, näihin lienee hyvä suhtautua jokseenkin kriittisesti.

Yksi vaihtoehto on täyttää verkosto hapettomalla vedellä. Tämä on ehkä tehokkain keino ehkäistä korroosiota verkostossa. Tänä päivänä on tarjolla lämmitysjärjestelmiin vettä, josta on saatu poistettua jopa 99% siihen liuenneista happikaasuista sekä typestä. Tämä tietysti edellyttää täysin tiivistä verkostoa. Verkoston tiiviys pystytään varmistamaan esimerkiksi paineistamalla koko verkosto paineilmalla, kun kaikki venttiilit on asennettu

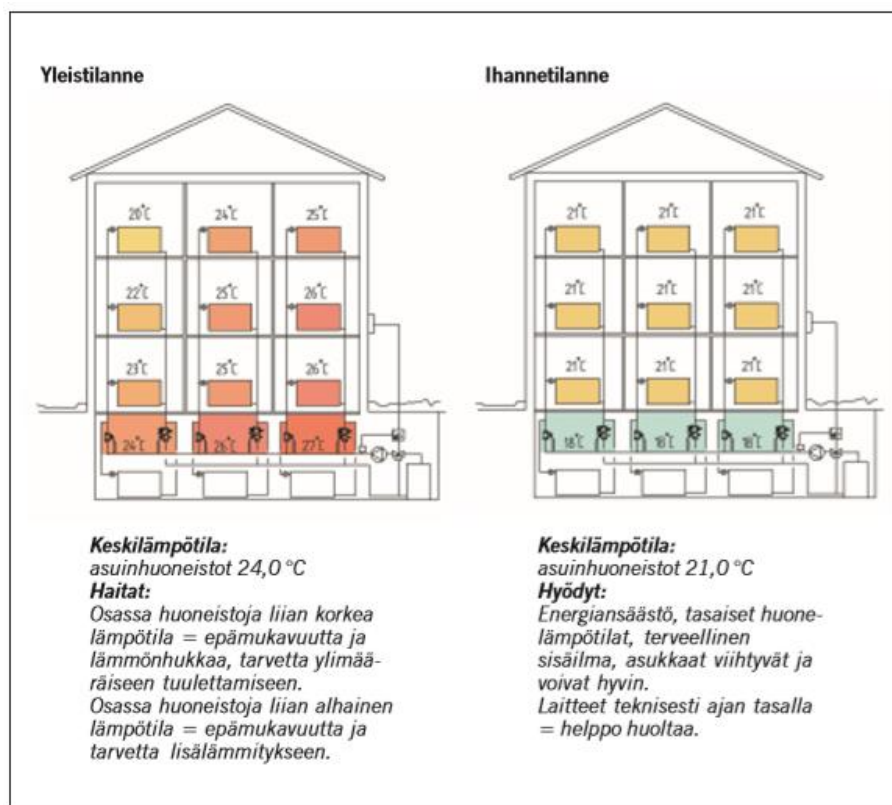
paikoilleen. Koestuspaine ei saa kuitenkaan nousta niin korkeaksi, että verkoston heikoimmat osat eivät kestä sitä. Lisäksi paisuntasäiliö on hyvä sulkea pois verkostosta paineilmatäytön ajaksi.

3.3 Ääni ongelmat

Ääniongelmat saattavat tulla esiin erityisesti asuinrakennuksissa. Äänen lähteitä tai syitä voi olla useita. Ääniongelmien yleisimmät syyt ovat liian suuri veden virtausnopeus, verkostossa oleva ilma sekä suurentuva paine-ero verkostossa. Ääntä saattaa siirtyä, erityisesti vanhemmissa rakennuksissa, huoneistosta toiseen pattereita ja putkia pitkin. Näissä ongelmissa syy on hyvin usein verkostossa, jota ei ole tasapainotettu ja siksi virtausnopeudet ovat liian suuria. Tämä saattaa aiheuttaa ääntä muun muassa pattereissa. Suureen virtausnopeuteen voi olla syynä myös liian suuri pumppu verkostossa. Yhtenä ratkaisuna pumpusta johtuviin ääniongelmiiin on vaihtaa pumppu taajuusmuuttajalla ohjattuun pumppuun, näin pumpun kiertonopeus vaihtelee sen mukaan, kuinka paljon termostaattisia patteriventtiileitä on auki. Virtausnopeudet on syytä huomioida verkostossa. Joissakin tapauksissa saattaa myös pumpun käyntiääni kulkeutua teräsputkia pitkin aiheuttaen häiritsevää ääntä, eteenkin pumpun laakerien ollessa elinkaarensa lopussa. Yleisenä syynä ääniongelmiiin on myös edellä mainittu ilma, tästä päästään usein eroon, kun verkostosta on saatu ilma poistettua. Ilmaa voi pattereihin päästä myös kalvopaisunta-astian kalvon rikkoonnuttua. Tällöin kalvopaisunta-astian kaasua pääsee verkostoon ja kulkeutuu yleensä ylimpiin pattereihin. Patterin termostaatin sulkiessa virtausaukon venttiilissä, kasvaa paine-ero venttiilin yli ja riskinä on äänien muodostuminen eteenkin, kun virtausaukko on lähes kiinni. Ääni saattaa kuulua kohinana ja joissakin tapauksissa myös erilaisina viheltävinä ääninä. Ongelmaksi saattaa muodostua myös putkitusten läpiviennit, jotka heikentävät huoneiden välisiä äänieristyksiä. Väärin tai huonosti toteutettu putkiston kannakointi, voi olla myös syynä ääniongelmiiin. Verkoston putkitus sekä myös radiaattorit laajenevat tai supistuvat verkoston lämpötilan seurauksena. Ääni voi siis kuulua myös putkiston jännitteistä ja useasti johtuu siitä, että putkisto pääsee liikkumaan pidikkeissään. Liikkumisesta aiheutuva värähtely voi aiheuttaa pahimmillaan myös putken rikkoutumista ja siten vesivuotoa. Muoviputkituksella ei ääniä synny tai ääni kulje putkien mukana kuten metallisilla putkistoilla, joissa syntyneet äänet voivat kulkeutua hyvinkin kaukaa.

3.4 Ongelmista kustannuksia

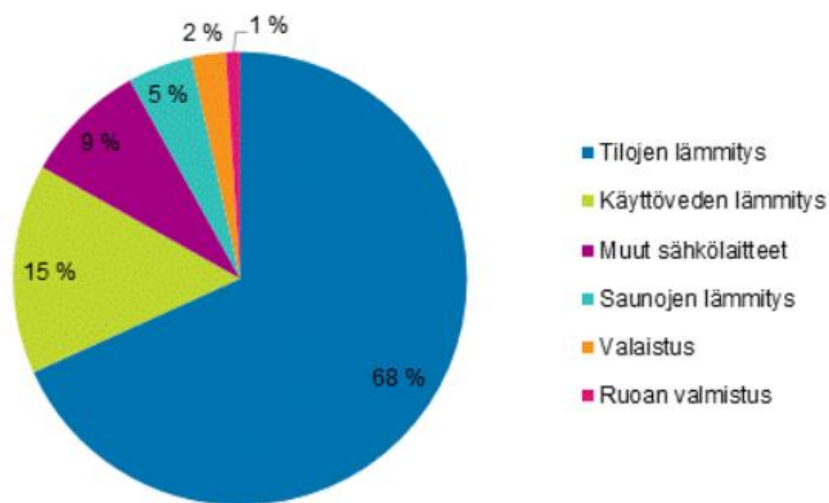
Lämmitysverkoston epätasapaino aiheuttaa aina turhaa kulutusta ja siksi lämmitysverkoston perussäädön tulee olla kunnossa. Tällä tarkoitetaan, että jokaisessa lämmitysverkoston linjasäätöventtiilissä sekä patterissa kiertää juuri se määrä vettä kuin on tarkoitus ja lämmön jakaantuminen on tasaista kaikissa tiloissa. Toisin sanoen, perussäädön ollessa kunnossa, toimii verkosto kuten sen on suunniteltu toimivan ja kaikissa lämmitettävissä tiloissa on tasainen lämpötila. (kuva 7). Motivan arvion mukaan oikein tehdyllä perussäädöllä voidaan saavuttaa jopa 10-15% säästö energiankulutuksessa. Se, saavutetaanko tällä viihtyvyyden parantumisen lisäksi myös säästöjä kustannuksissa, on täysin riippuvainen tilojen lämmitysolosuhteiden lähtötilanteesta. (Motiva 2019).



Kuva 7. Lämmitysverkoston perussäätö tuo säästöä. (Motiva 2019).

Motivan mukaan 1°C yliämpötila aiheuttaa noin 5% kasvun rakennuksen lämmityskustannuksissa. (Motiva 2019).

Epätasapaino ja kiertohäiriöt verkostossa aiheuttavat yleensä epätasaista lämmönjakautumista lämmitettävissä tiloissa ja siksi ylimääräistä energiankulutusta. Tilastokeskuksen julkaiseman tiedon mukaan asumisen energiankulutuksista jopa 68% kuluu tilojen lämmittämiseen (SVT 2019, kuva 8). Hyvien asumisolosuhteiden ja viihtyvyyden lisäksi, on energian kulutuksen vuoksi kannattavaa varmistua lämmitysverkoston optimaalisesta toiminnasta. Jopa pienetkin parannukset lämmitysverkoston hyötysuhteessa saattavat tuoda merkittävän säästön energiakustannuksissa.



Kuva 8. Asumisen energiankulutus 2017 (SVT 2019).

Lämmitysverkoston ja siihen liittyvien laitteiden hyvällä kunnolla sekä oikeanlaisilla säädöillä, voidaan vaikuttaa lämmitysenergiankulutukseen merkittävästi. Oikeanlaisilla huolto- ja säätötoimenpiteillä voidaan lämmityslaitteisto pitää sellaisessa kunnossa, että se toimii aina energiatehokkaasti.

4 ONGELMAKOHTIEN PAIKANTAMINEN

4.1 Ilma

Verkostoon pääsee aina happea ja typpeä, kun verkostoa täytetään normaalilla vesijohdovedellä. Kun verkoston vesi lämpenee, osa kaasuista erkanee ja muodostaa kuplia, jotka kulkeutuvat lähes poikkeuksetta verkoston ylimpiin kohtiin ja ylimpiin pattereihin sekä myös ylhäällä oleviin putkimutkiin muodostaen niin sanottuja ilmapusseja. Kertyneet kaasut tulee saada poistettua verkostosta, koska se heikentää aina poikkeuksetta lämmitysjärjestelmän tehokkuutta, vaikka lämmönlähteeltä lähtevän menoveden lämpötila olisikin säätökäyrän mukainen. LVI-kortissa 20-10348 *Putkistojen asennus* esitetään vaatimukset manuaaliselle ilmanpoistolle lämmitysverkostosta. (Korkala 2018, 103-105). Putkilinjoissa käytetään usein automaattisia ilmanpoistimia, joiden toiminta on kuitenkin mekaanista. Hyvin usein näiden ”ilmakellojen” toiminta perustuu niiden sisällä olevaan uimuriin, joka nousee tai laskee. Uimuri nousee veden paineesta ja pitää päällä olevan ilmapoistoreiän suljettuna. Kun järjestelmään on kerääntynyt ilmaa, kulkeutuu se oikeaan kohtaan, eli verkoston ylimpään paikkaan asennettuun ilmanpoistimeen ja ilmapaine painaa uimuria alaspäin, jolloin ilma pääsee poistumaan yläosan ilmapoistoreiästä. Ilmapoistoreiästä pystytään myös tarvittaessa painamaan käsin uimuria alaspäin. Ilmaa on mahdollista poistaa verkostosta myös paikallisesti patterien tai lattialämmitysjärjestelmien jakotukkien ilmanpoistimien kautta.

Mikäli lämmitysjärjestelmissä on asennettuina vielä 1980- ja 1990- luvuilla useasti käytettyjä niin sanottuja joustavia liittimiä, tulee nämä kyseiset liittimet vaihtaa kiinteiksi putkiksi. Vanhanaikaisia joustavia liittimiä käytettiin aikanaan äänien eristämisen vuoksi. Ne kuitenkin päästävät happea läpi lämmitysverkostoon, ja näin putkiston sekä venttiilien sisäpuolinen korrosio lisääntyy ja siten koko verkoston elinkaari lyhenee. (Korkala 2018, 119).

Ilma patterissa ilmenee yleensä lorinana, suhinana tai vastaavana äänenä ja siten, ettei patteri lämpene kuten sen kuuluisi lämmitä. Patterin ilmaaminen ei kuitenkaan ole aina niin yksinkertaista. Ilmaamista aloittaessa pitää olla varmistunut siitä, ettei patterissa ole alipainetta, jolloin avattaessa ilmausruuvia, imee patteri sen takia vain lisää ilmaa sisään. Alipaine saattaa muodostua verkostoon, kun verkoston paine ja lämpötila ovat alhaisia. Kun ilmaaminen aloitetaan, on hyvä nostaa verkoston lämpötilaa ja odottaa, kunnes

lämmin vesi virtaa koko verkostossa. Ilmausruuvia aloitetaan avaamaan hyvin varovasti. Kun ilma on poistunut patterista, tulee ilmausruuvista enää vain vettä. Ilmaamisessa on hyvä tiedostaa, että ulos tuleva vesi saattaa olla kuumaa. Jos ilmattavia pattereita on useampi kuin yksi, on hyvä ensimmäisen patterin ilmaamisen jälkeen tarkastaa verkoston paine ja täyttää verkostoa tarvittaessa paineen nostamiseksi. Kun pattereissa on ilmaamisen tarvetta, tulee aloittaa myös toimenpiteet sen selvittämiseksi, mistä ilma verkostoon on päässyt, onko verkostossa esimerkiksi vuoto.

4.2 Vuodot

Lämmityspatterien elinkaareen vaikuttavat oleellisesti lämmitysverkoston kiertovedessä olevat aineet. Esimerkiksi lämmitysveden runsas happipitoisuus, kuten aiemmin on todettu, lyhentää teräspatterien elinkaarta. Vettä ei siis voi lisätä verkostoon jatkuvasti, vaan on etsittävä syy veden lisäämistarpeelle ja korjattava ongelma. Myös verkoston ulkopuolinen korroosio vaikuttaa elinkaaren pituuteen. Esimerkiksi patterilämmityksen alkuaikoina 1910-1960-luvuilla, asennettiin yleisesti vielä tavallisia teräksisiä pattereita kylpyhuoneisiin sekä muihin kosteisiin tiloihin, tiedostamatta kosteuden vaikutusta teräspatterin elinkaareen. Nykypäivän kylpyhuonepatterit on poikkeuksetta tehty kestävimistä materiaaleista. (Korkala 2018, 137.)

Verkoston vuoto voi pahimmillaan, jatkuessaan pitkään, aiheuttaa hyvin pahoja kosteusvaurioita. Esimerkiksi vuotava patterin kytkentäputki voi jatkaa pitkän aikaa vuotamistaan ja vesi kulkeutua lattian pintamateriaalin alle aiheuttaen vakavia kosteusvaurioita. Vuotokohtien paikantaminen voi olla joskus hyvin haasteellista. Silmämääräisellä tarkastelulla ei aina kyetä havaitsemaan vuotavia kohtia. Yleensä suurempien vuotojen etsintä on työtä, jossa tarvitaan hyvin kalliita erikoislaitteita ja erikoisosaamista. Vuotoja paikannetaan esimerkiksi ääniprofiloinnilla erilaisilla kuuntelulaitteilla sekä kosteusmittauksin. Esimerkiksi kuunnellaan putken ääniä kahdella elektronisella mikrofoniin, jotka ovat asennettu putken näkyviin osiin. Nämä mittaavat vuotavan kohdan siitä lähtevän äänen saapumisen aikaeron mukaan. Maanpinnan alla piilossa olevien putkien vuodosta johtuvia ääniä voidaan yrittää paikantaa myös niin sanotulla maamikrofonilla.

Lisää haasteita vuotokohtien paikantamiselle voi tuoda se, että putkitukset on asennettu rakenteiden sisään. Lämmitysverkoston putkistot asennettiin pääsääntöisesti 1980-luvulle saakka rakenteiden sisään esimerkiksi pintalaattaan eristetilaan tai erilaisiin koteoituihin rakenteisiin. Silloin vuodon paikantaminen myös silmämääräisesti on täysin

mahdotonta ennen kuin vuotava vesi on aiheuttavat näkyviä vaurioita rakenteissa. Tämänkaltaisten vuotokohtien paikantaminen tarkoittaa hyvin usein rakenteiden purkamista. Useissa tapauksissa havaittaessa rakenteiden sisällä vuotoja, saattaa olla kannattavampaa tyhjentää verkosto ja rakentaa kokonaan uusi putkitus toteutettuna pinta-asennuksena. Tilastojen mukaan eniten havaittuja vuotoja lämmitysverkostoiden osalta on vanhoissa betonirakenteen sisällä lattiassa sijaitsevilla teräsputkissa, jotka ovat altistuneet pidemmän aikaa ulkopuoliselle kosteudelle ja putki on syöpyntynyt ulkoapäin puhki, korroosion seurauksena. (LVV Kuntotutkimusopas 2013, 20.)

Yhtenä syynä verkoston tyhjenemiselle saattaa olla myös rikkoutunut kalvopaisunta-astia. Kalvon rikkoutuminen ilmenee useasti siten, että varoventtiilistä pääsee vettä ulos verkostosta. Tämä johtuu siitä, että lämmitysverkoston paine on ensiksi laskenut ja ajan kuluessa on verkostoon lisätty vettä paineen nostamiseksi, jolloin paisunta-astia on täytynyt eikä se enää pysty vastaanottamaan lämmitysveden laajenemista. Pumppujen vuotaminen on myös mahdollista ja myös melko yleistä. Tämänkaltaiset vuodot verkostossa ovat kohtuullisen helposti silmällä havaittavissa.

4.3 Tukokset

Verkoston asennus- ja myös korjaustoimenpiteiden jälkiseurauksena lämmitysverkostoon on mahdollista päästä esimerkiksi hitsauksen seurauksena epäpuhtauksia ja likapartikkeleita. Suurimpana verkostojen epäpuhtauksien aiheuttajana on kuitenkin korrosio ja sen seurauksena verkoston syöpyneistä putkista ja pattereista irronneet rautasakat sekä muut korroosiotuotteet. Nämä epäpuhtaudet irtoavat putkien sisäpinnoilta ja kulkeutuvat virtauksen mukana veden kiertoon ja aiheuttavat epätasaisen lämmönjaon ja virtaushäiriöiden lisäksi joskus jopa tukoksia verkostoon. Yleisimmin tukoksia lämmitysverkostoissa on patteriventtiilien hyvin ahtaissa virtausaukoissa sekä pattereiden alaosissa, jossa ne estävät veden vapaan kierron koko patterissa. Patteriventtiilin jumiutuminen esimerkiksi kesän jäljiltä, ei ole harvinaista ja useasti se saadaan liikkumaan kääntämällä säädinosaa edestakaisin tai koputtelemalla kevyesti venttiiliä. Lian kertyminen pattereissa aiheuttaa lämmönsiirron heikkenemistä ja johtaa täten koko lämmitysjärjestelmän tehon putoamiseen. Kun verkostossa havaitaan epäpuhtauksista johtuvia tukoksia, on koko verkosto saatava puhtaaksi ja varmistuttava, ettei venttiilien virtausaukoissa tai muualla ole vapaata lämmitysveden virtausta häiritseviä epäpuhtauksia tai vastavaa. Tukosten paikantaminen lämmitysverkostossa voi olla joissakin tapauksissa hyvin

paljon aikaa vievää. Patteriventtiin tai itse patterin tukkeutuminen näkyy yleensä suurena lämpötilaerona meno- ja paluuputkien välillä mutta kummassa se on, saattaa olla hankalaa todeta. Kun tukos on muualla verkostossa, on verkostoa pahimmillaan käytävä järjestelmällisesti läpi ja yritettävä paikantaa kohta, missä lämpö katkeaa. Haasteellisuus korostuu eteenkin vanhoissa järjestelmissä, joissa putkituksia voi olla erilaisissa kotelointirakenteissa tai muualla rakenteen sisällä.

4.4 Puuttuvat tai puutteelliset eristykset

Lämmitysputkien oikeanlainen eristäminen on tärkeää, jotta lämpöhukka saadaan mahdollisimman pieneksi. Voidaan sanoa, että oikeanlainen eristys säästää lämmityksen kustannuksia. Puutteellisesti tai jopa kokonaan eristämättä jätetyt lämmitysverkoston putken voivat pahimmillaan johtaa siihen, ettei lämmönluovuttimille saada riittävän kuumaa vettä. Tällainen voi tulla kyseeseen esimerkiksi kylmässä kulkevissa putkiosuukissa. Toisena huomiona voidaan mainita suuremmat kiinteistöt, näissä voi putkikoot olla paikoin hyvinkin suuria ja siten lämmönluovutuspinnatkin ovat hyvin suuria. Kun eristeet puuttuvat tai ovat huonot, lämmitetään putkilla tiloja, joihin ei kyseistä lämpötehoa ole lainkaan edes suunniteltu ja siksi hukataan turhaan energiaa. Lämmitysputkien taloudelliset eristyspaksuudet on esitetty LVI-kortiston kortissa LVI 12-10343. Kyseisen kortin mukaan eristämättä jätetään mm. seuraavat putkiston osat, laitteet ja varusteet:

- Seinällä näkyvissä oleva enintään DN20 kokoiset lämmitysverkoston nousuputket.
- Samassa huonetilassa olevat patterin kytkentäputket sekä patterin alla olevat jakoputket.
- Tyhjennysputket, ilmanpoistimien ja painemittareiden kytkentäputket.
- Lämmityksen säätöventtiilit.

LVI 12-10343 mukaan lämpimissä tiloissa kulkevien putkien, joiden halkaisija on enintään 22mm, eristyspaksuus on sarjan 22 mukainen (putken $\varnothing=10-49\text{mm}$, eristeen paksuus 30mm). Lämmittämättömissä tiloissa (alusta, ullakko, autohalli) kaikkien putkien eristyspaksuus on sarjan 25 mukainen (putken $\varnothing=10-49\text{mm}$, eristeen paksuus 60mm).

Taulukko 5. Putkien eristyspaksuudet sarjoituksen sekä putkikokojen mukaan.

Putken halkaisija du mm	Sarja 21	Sarja 22	sarja 23	Sarja 24	Sarja 25	Sarja 26
	Eristeen paksuus					
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10...49	20	30	40	50	60	80
50...89	30	40	50	60	80	100
90...169	40	50	60	80	100	120
170...324	50	60	80	100	120	140
325...714	60	80	100	120	140	160

Sarjoituksen tarkoitus on pitää eristävyys samana, vaikka putkikoko kasvaessa tai pienentyessä. Siksi eristyksen paksuus kasvaa aina putkikoon kasvaessa saman sarjan sisällä.

4.5 Muita ongelmia

Kun havaitaan ettei lämmintä vettä saada pattereille tai lattialämmityksen jakotukille, voi mahdollisina syinä olla esimerkiksi toimimaton pumppu tai moottoriventtiili, jonka tarkoituksena on sekoittaa oikeanlämpöistä vettä verkostoon. Sekoitusventtiilin pysyessä kiinni, ei verkostoon saada lämmintä vettä. Mahdollista on myös se, että järjestelmän säätöjärjestelmä on mennyt rikki. Kyseinen järjestelmä voi yksinkertaisuudessaan muodostua kahdesta lämpötilaa mittaavasta toimielimestä ja automatiikan ohjaamasta moottoritoimisesta sekoitusventtiilistä. Toinen lämpötilan mitta-antureista mittaa ulkoilman lämpötilaa ja toinen verkoston menoveden lämpötilaa säätöventtiilin jälkeen ja antaa lämpötilatiedon säätöautomatiikalle, joka ohjaa säätöventtiiliä moottorin avulla sekoittaen oikean lämpöistä vettä verkostoon. (Warmia 2016). Tällöin puhutaan ulkolämpötilaohjauksesta.

Toisena vaihtoehtona on niin sanottu huonelämpötilaohjattu järjestelmä. Tässä tapauksessa huonetiloissa olevilta lämpötilan mitta-antureilta saadaan tieto vallitsevasta huonelämpötilasta, jonka mukaan verkoston piirien lämpötilaa ohjataan. Huonetermostaattien oikeasta kytkennästä on syytä varmistua tarvittaessa, mutta huomioitavaa on, että kytkentöjen tekeminen on sähköalan ammattihenkilöiden työtä, jos termostaattit toimivat 230V jännitteellä. (Warmia 2016). Joissakin järjestelmissä on lisäksi kellokytkin, jolla ohjataan esimerkiksi yö- ja poissaololämpötilojen pudotuksia.

Säätöautomaatiossa ongelmia saattaa tuoda esimerkiksi se, ettei joltain lämpötila-anturilta ei tule oikeaa tai lainkaan lämpötilatietoa eikä lämmönsäätö näin toimi. Säätöautomaation ongelmissa on selvittämiseen saatava apua hyvin usein säätölaiteasiantuntijalta.

Lattialämmitysjärjestelmissä kylmyyteen syynä saattaa olla myös verkoston liian pieni esipaine tai se, että järjestelmään on päässyt ilmaa. Tämä saattaa johtua vuodosta mutta yleisimpänä vikana on ongelma automaattisen ilmanpoistimen toiminnassa. Aiheuttajana voi olla myös se, että pumppu on alimitoitettu tai jäänyt liian pienelle teholle. Mahdollista on myös, että lämmitysverkoston pumppuun kerääntynyt lika aiheuttaa tehottomuutta vedenkierrossa ja kokonaan pysähtynyt pumppu tietenkin lopettaa koko järjestelmän toiminnan.

5 LÄMPÖKAMERA JA LÄMPÖKUVAUS

5.1 Lämpökuvauksen teoriaa, lämpösäteily ja infrapuna

Infrapuna on sähkömagneettistasäteilyä, joka on pitkäaaltoisempaa kuin näkyvä valo. Kaikki materiaalit, jotka ovat lämpötilaltaan yli absoluuttisen nollapisteen ($-273,15^{\circ}\text{C}$), lähettävät lämpösäteilyä eli infrapunasäteilyä. Lämpösäteilyn, kuten kaiken muunkin sähkömagneettisen säteilyn, voimakkuus riippuu aina kappaleen todellisesta lämpötilasta.

Sähkömagneettinen säteily jakaantuu aallonpituuksien mukaisiin osa-alueisiin eli kaistoihin. Säteilylajit muodostavat sähkömagneettisen spektrin. Infrapunakaistalla säteily on pitkäaaltoisempaa kuin näkyvä valo. Kaista jakaantuu vielä Lähi-infrapunaan (near infrared), keski-infrapunaan (middle infrared) ja pitkäaaltoiseen infrapunaan (Long wave infrared). Opinnäytetyössä käytetyt lämpökamerat vastaanottavat pitkäaaltoista infrapuna. Ne mittaavat säteilyn voimakkuuden ja muuntavat sen lämpötilajakauman mukaiseen kuvaan.

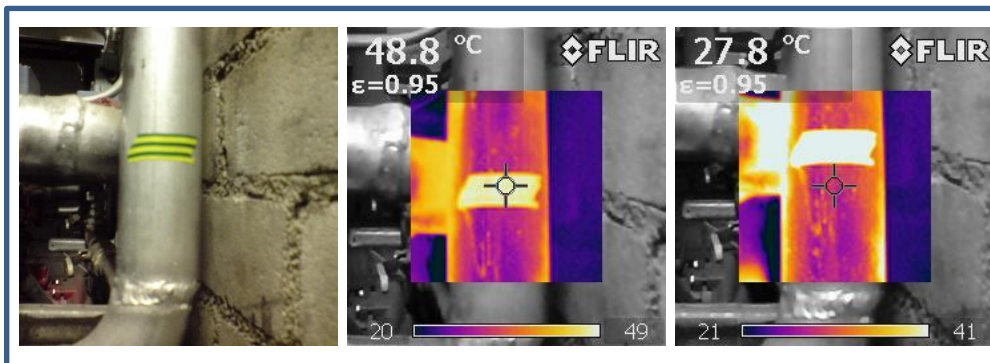
Täydellistä mustaa kappaletta (Täydellinen säteilijä) lukuun ottamatta, jokainen kappale heijastaa aina muista lähteistä tulevaa säteilyä. Kappaleen pintamateriaalirakenne määrittää kuitenkin sen, miten paljon kappaleesta tulevasta säteilystä on sen itsensä lähettämää. Metalliset paljaat pinnat heijastavat ympäristön energiaa huomattavasti enemmän, kuin itse lähettävät. Tästä syystä kiiltäväpintaisia metalleja ei voida, etenkään matalissa lämpötiloissa, mitata lainkaan. Matalalla lämpötilalla tarkoitetaan tässä tapauksessa alle 100°C lämpötiloja. (Harju 2014, 68.)

5.2 Emissiivisyys

Säteilevän energian osuus kokonaisenergian määrästä ilmaistaan emissiivisyytenä (Emissiokerroin, emissiviteetti). Sen arvo on aina jotain nollan ja yhden välillä. Blackbodyn eli täydellisen mustan kappaleen, joka absorboi kaiken säteilyn itseensä, emissiokerroin on 1,0 ja täydellisen heijastimen emissiokerroin on 0,0. Mitä suurempi on emissiokerroin, sitä huonommin se heijastaa ympäristönsä energiaa ja sitä enemmän se säteilee lämpöä. Emissiokerroin siis kuvaa sitä, kuinka suuren osan kokonaissäteilyyn verrattuna kappale itse säteilee. Emissiokertoimella 0.80 omaa lämpötilaa on 80% ja 20% säteilystä tulee jostain muualta, esimerkiksi heijastumalla.

Esimerkkinä kappale, jonka emissiokerroin on 0.20, lämpötila 100°C ja ympäristön lämpötila 20°C; Infrapunalämpömittarin osoittama lämpötila on 36°C! ($0,2 \cdot 100^\circ\text{C} + 0,8 \cdot 20^\circ\text{C}$). Toinen kappale, jonka emissiokerroin on 0.95, lämpötila 100°C ja ympäristön lämpötila 20°C; Infrapunalämpömittarin näyttämä on 96°C. ($0,95 \cdot 100^\circ\text{C} + 0,05 \cdot 20^\circ\text{C}$). Emissiivisyys on siis materiaalin ominaisuus ja hyvin tärkeä ymmärtää lämpökameran käytössä. Eri lähteistä on saatavana runsaasti valmiiksi laadittuja emissiivisyysarvoja ja -taulukoita, mutta näitä voidaan kuitenkin pitää vain ohjeellisina. Mikäli emissiokerroin on alle 0.6 ovat mittaukset hyvin epäluotettavia, vaikka kameran emissiokerroin olisikin asetettu oikeaksi. Lähes poikkeuksetta orgaanisilla aineilla (ei metalleilla) emissiokerroin on korkea, luokkaa 0.8 - 0.98. (Hietanen 2018).

Mitattaessa esimerkiksi kirkkaasta putken pinnasta, on mittauskohtaan asetettava jotain, vaikka pala sähköteippiä, jolla saadaan emissiokerrointa kasvatettua (Kuva 9).



Kuva 9. Emissiivisyyden vaikutus. Lämpötila mitattuna teipistä sekä putken pinnasta.

Taulukko 6. Esimerkkejä materiaalien emissiokertoimista.

Materiaali	Emissiokerroin	Materiaali	Emissiokerroin
Ihmisen iho	0,98	Kupari (Hapettunut)	0,68
Vesi	0,98	Alumiini (Kiillotettu)	0,5
Sähköteippi	0,95	Kupari (Kiillotettu)	0,2
Tiili	0,95	Kulta	0,02
Paperi	0,9		
Maali	0,9		
Betoni	0,9		

Huomion arvoista kuvattaessa onkin se, onko lämpökameralla mitattu arvo kohteen oma lämpötila vai onko kyseessä ainakin osittain, myös ulkopuolista lämpösäteilyä. Mitattaessa tätä, suhdetta korjataan muuttamalla kohteen emissiokerrointa ja asettamalla oikea ympäristön lämpötila. Jotta mittaustulosta vääristävät tekijät saataisiin poistettua, on pystyttävä määrittämään kohteen oikea emissiokerroin. (Hietanen, M. 2018.)

Emissiokerroin on mahdollista selvittää mittaamalla. Tämä tapahtuu esimerkiksi siten, että lisätään kiiltävään kohteeseen niin sanottu vertailupiste, jolla on suuri emissiokerroin, esimerkiksi sähköteipin pala ja mitataan lämpötila tästä pisteestä. Seuraavaksi mitataan lämpötila itse kohteesta ja säädetään kamerasta emissiokerrointa, kunnes näyttämä on sama kuin vertailupisteestä saatu lämpötila. Näin saadaan selville kohteen tai materiaalin emissiokerroin. Kuvauskulma vaikuttaa myös emissiokerroimeen. Emissio alkaa muuttua, kun kuvauskulma ylittää 60°. Kuvauskulman tulisi olla 15-45°. (Hietanen, M. 2018.)

Todellisuudessa täydellisiä säteilijöitä, heijastimia tai läpäisijöitä ei ole olemassa. Silti täydellinen mustakappale on tärkeä lämpökuvauksen teoriassa. Kirchhoffin (Gustav Robert Kirchhoff, 1824-1887) lain mukaan kappale lähettää saman määrän säteilyä kuin se absorboi. Emissiokerroin siis kuvaa kappaleen kykyä säteillä suhteessa täydelliseen säteilijään, kuten aiemmin on kerrottu. Lämpökamera käyttää emissiokerrointa hyväksi lämpötilan määrittämiseen. Kirchhoffin lain mukaan kappaleen emissiivisyys ja absorptiosuhde ovat yhtä suuret kaikissa lämpötiloissa ja kaikilla aallonpituuksilla kappaleen materiaalista huolimatta.

Emissiivisyys $\epsilon = \alpha$ absorptio (Tietyllä aallonpituudella tai kaistanleveydellä). Matemaattisesti voidaan esittää säteilytehojen suhteesta:

$$\epsilon = \frac{\theta_{obj}}{\theta_{bb}} \quad (8)$$

Jossa ϵ = Pinnan emissiokerroin, θ_{obj} = Kohteen säteilyteho ja θ_{bb} = Mustankappaleen säteilyteho.

Kaikki kappaleet, joiden lämpötila on siis yli absoluuttisen nollapisteen, emittoivat eli lähettävät lämpösäteilyä. Säteilyn voimakkuus on riippuvainen pintalämpötilasta. Kuvattavan kohteen emittoiman säteilyn lisäksi kohde voi siis myös heijastaa sekä päästää läpi ympäristönsä säteilyä.

- Absorptiosuhde α_λ = Kohteeseen absorboitunut säteily jaettuna kohteeseen tulleella säteilyllä.
- Heijastussuhde ρ_λ = Kohteen heijastama säteily jaettuna kohteeseen tulleella säteilyllä.
- Läpäisyysuhde τ_λ = Kohteen läpi siirtyvä säteily jaettuna kohteeseen tulleella säteilyllä.

Koska näiden kolmen tekijän summan on aina vastattava kunkin aallonpituuden kokonaismäärää, saadaan:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1 \quad (9)$$

Läpinäkymättömien materiaalien kanssa $\tau_\lambda = 0$, jolloin relaatio pelkistyy:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

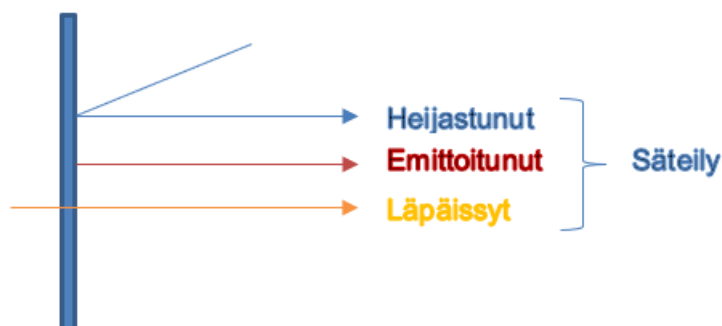
(Infradex 2019).

Kirchhoffin lain mukaisesti:

$$\theta = \theta\alpha + \theta\rho + \theta\tau \quad (10)$$

Jossa

θ = säteilyn teho, α = Kohteen lähettämä säteily, ρ = Heijastunut säteily ja τ = Siirtynyt säteily.



Kuva 10. Lämpökameran mittaama IR-säteily. (Petri Salmi).

5.3 Lämpökamera

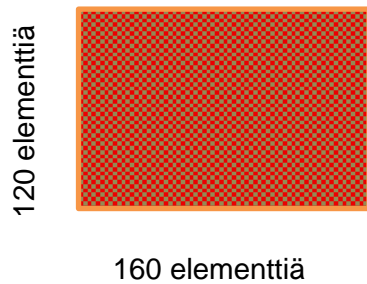
Lämpökameroiden käyttö erilaisissa sovelluksissa on yleistynyt viime vuosina hurjaa vauhtia ainetta rikkomattomana tutkimusmenetelmänä, eli NDT-menetelmänä (Non-Destructive testing). Tämän on mahdollistanut lämpökameroiden hintojen laskeminen, investointina se ei ole enää suuri, vaan laitteita saa jopa muutaman sadan euron hintaan. Lämpökamerat ovat ottaneet suuria kehitysskeleitä viimevuosien aikana ja perusmallit ovatkin nykyään hyvin kompaktin kokoisia, kevyitä ja ne on saatu hyvinkin käyttäjäystävällisiksi. Suuren kehityksen lämpökameroissa on mahdollistanut hyvin rahoitettu sotilasteknologia, lämpökamerat ovatkin tärkein osa erilaisia taistelukuluston tähtäinjärjestelmiä. Lämpökameroita on olemassa kahta erilaista tyyppiä, mittaavia ja ei mittaavia. Mittaavia lämpökameroita käytetään monissa erilaisissa tarkoituksissa, esimerkiksi kiinteistöjen- ja teollisuuden kuvauksissa tai lämpöprosessien tarkasteluissa. Ei-mittaavia kameroita taas käytetään esimerkiksi valvontalaitteina tai vaikkapa kadonneiden etsinnöissä apuvälineenä. (Infradex 2018.)

Nykyaikaiset lämpökamerat käyttävät perinteisistä pyrometreistä poiketen yhden ilmaimen sijasta ilmaisimatriisia (FPA, Focal Plane Array). Matriisi-ilmaisimia on lisäksi kahden tyyppisiä: jäähdytettyjä ja jäähdyttämättömiä. Lämpökamerat toimivat valmiiksi spesifioituilla mittauskaistoilla, jotka ovat lyhyt- tai pitkäaaltoinen infrapunakaista. Ensimmäisenä tarkoituksena on etsiä lämpötilaeroja, vaikkakin myös todellinen lämpötila-arvo on usein kiinnostava tieto. Nykyaikainen lämpökamera ja sitä tukeva ohjelmisto antavat mahdollisuuden käyttää lämpökameraa esimerkiksi säännöllisin väliajoin suoritettavaan kunnonvalvontaan. Lämpökamerat täydentävät ja tehostavat huomattavasti perinteistä kunnonvalvontaa. (Weckström 2005, 55.)

Lämpökamera on yksinkertaisesti lämpösäteilyn vastaanotin. Se mittaa kohteen pinnasta lähtevää lämpösäteilyä ja sen voimakkuutta sekä muodostaa sen lämpötilajakauman mukaiseksi kuvaksi. Huomion arvoista on, että infrapunälämpötilamittauksissa mitataan aina kohteen pintalämpötiloja. Peruskamerat kykenevät erottamaan noin 0.1°C eroon lämpötiloissa. Yleisesti peruslämpökameroiden mittaustarkkuus on $\pm 2^\circ\text{C}$ tai $\pm 2\%$. Tärkein asia mittaustulosten tarkkuudessa on, että käyttäjä osaa määritellä kuvattavan kohteen emissiokertoimen sekä ympäristön taustasäteilyn eli taustalämpötilan. (Hieta-
nen, M. 2018.)

5.4 Erottelukyky, väripaletit ja lämpötila-asteikko

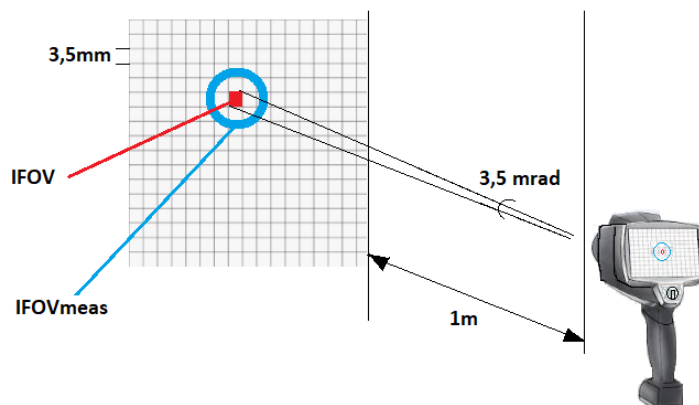
Pikselierottelukyky kertoo miten lämpökameran optiikka aukeaa. Optiikka vaikuttaa, kuvausetäisyydestä riippuen, yhden pikselin kokoon. (Kuva 11).



Kuva 11. Resoluutio. Ilmaisimen koko ilmaisee mittapisteiden määrän. Kuvan resoluutio on $120 \times 160 = 19200$ px (pikseliä).

Erottelukykyä on kahdenlaista (Kuva 12):

- Spatiaalinen erottelukyky IFOV (Instantaneous field of view) on pienin yksityiskohta, joka voidaan nähdä. Ilmoitetaan yksikössä mRad (milli radiaani). Esim. lämpökamerassa IFOV= 3,5mRad eli pienin yksityiskohta, joka voidaan nähdä 1m päästä on $3,5\text{mm} \times 3,5\text{mm} = 12,3\text{mm}^2$ kokoinen.
- Mittauserottelukyky IFOVmeasurement on pienin yksityiskohta, joka voidaan mitata.



Kuva 12. IFOV ja IFOVmeasurement. (Petri Salmi).

Tärkeä ominaisuus lämpökamerassa on myös NETD (Noise Equivalent Temperature Difference) eli lämpöherkkyys tai erotteluherkkyys. Sillä ilmaistaan, mikä on pienin lämpötilaero, joka voidaan kyseisellä kameralla mitata tai näyttää kuvassa, eli matriisi-ilmaisimen kyky mitata lämpötilamuutosta. Tämä ilmoitetaan millikelvineinä, esimerkiksi 100mK (= 0,1°C).

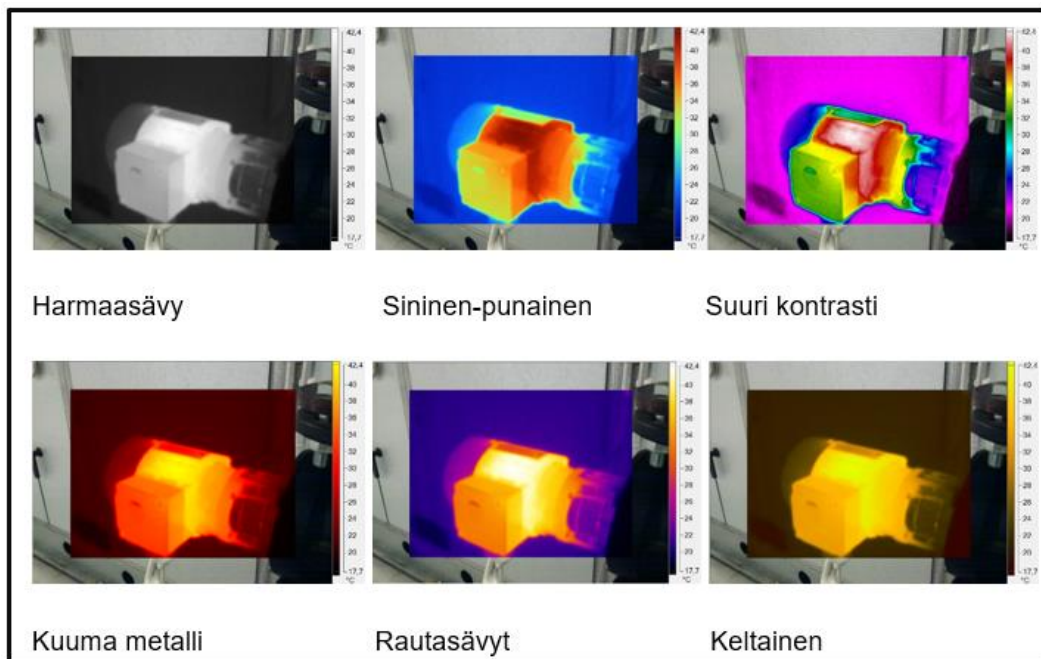
Jotta lämpökameralla voidaan luotettavasti kuvata, on ympäristön sekä kamerasisäisen lämpötilan oltava tasapainossa. Siksi on hyvä ympäristön lämpötilan muuttuessa antaa kamerasisäisen lämpötilan tasoittua ennen kuvaamista. Tasaantumiseen riittää yleensä noin kymmenen minuuttia. Mikäli lämpötilojen muutos on pieni, vain muutama aste, osaa lämpökamera yleensä kalibroida itsensä automaattisesti.

Lämpökuvauksista suoritettaessa, tulisi pyrkiä pääsemään mahdollisimman lähelle kuvattavaa kohdetta. Tällä saadaan esimerkiksi kamerasisäisen optiikan asettamia rajoituksia pienennettyä. Lisäksi kuvattaessa mahdollisimman läheltä kohdetta, saadaan pienennettyä kuvausala ja näin pienennettyä esimerkiksi taustan näkyvyyttä kuvassa. (M.Hietanen 2018).

Kuvattaessa kohdetta, jossa lämpötilojen erot ovat pieniä, vaaditaan hieman säätöjä kamerassa. Lämpötila-alue tulisi arvioida mahdollisimman tarkasti ja säätää kamerasisäisen lämpötila-alue oikein. Kuvaajan on hyvä tiedostaa, että pienikin lämpötilaero voi olla merkittävä, jos esimerkiksi kuormitus on alhainen. Tämä korostuu sähkölaitteistojen lämpökuvauksissa.

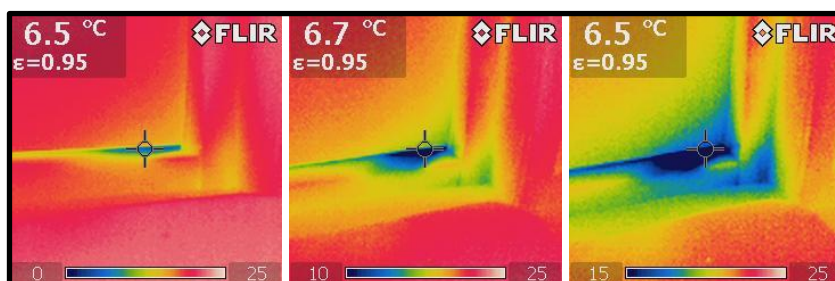
Oikean väripaletin käyttäminen lämpökuvissa helpottaa huomattavasti ongelmakohtien löytämistä. Tämä korostuu erityisesti, kun kuvattavan kohteen ja ympäristön lämpötilaero on pieni. Tällöin on hyvin vaikea erottaa kohteen emittoimaa lämpötilaa kuvausympäristön lämpötilasta johtuvasta säteilystä. Tärkeä toimenpide kuvattaessa pienillä lämpötilaeroilla on myös se, että kameraan on asetettu oikea lämpötila-asteikko. Kamerat osaavat asettaa lämpötila-asteikon myös automaattisesti, mutta tällöin se asettaa lämpötila-asteikon kuvan kylmimmästä pisteestä kuumimpaan pisteeseen. Lämpötila-alueen ollessa hyvin laaja, tulee haasteita kohteissa, joissa tarkastellaan pieniä lämpötilaeroja. Kun lämpötila-alue on asetettu oikein, saadaan valittu väripaletti koko laajuudessaan käyttöön. Oikeanlaisella väripaletilla kyetään selkeämmin erottamaan lämpötilaerot kuvattavasta kohteesta, mikä helpottaa kuvan tulkitsemista. Esimerkiksi Fluken SmartView analysointi ohjelmiston kanssa, väripaletteja ja lämpötila-asteikkoa voi vaihdella jälkikäteen kuvia tarkasteltaessa (Kuva 13).

Lämpökuvaus onnistuu parhaiten silloin, kun kuvausta päästään suorittamaan mahdollisimman suoraan tutkittavaa pintaa vastaan. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista, ja silloin joudutaan kuvaamaan vinosta suunnasta kohdetta. Jos kuvauskulma on kuvattavan kohteen pinnan kanssa kohtisuorasta yli 45°, alkavat taustan heijastukset vaikuttamaan mittaustulokseen. Tämä sääntö toimii erityisesti sisätiloissa kuvattaessa. (Palo-
niitty & Kauppinen 2011, 20.) Myös kohtisuoraan kuvattaessa on muistettava huomioida esimerkiksi kuvaajasta itsestä lähtevä lämpösäteily, joka heijastuu esimerkiksi matalan emissiokertoimen omaavista seinistä.



Kuva 13. Esimerkkejä erilaisista väripaleteista. (Petri Salmi).

Lämpötilaskaalan valinnalla ei ole mitään vaikutusta itse mitattuihin tuloksiin, ainoastaan sillä saadaan kuvassa näkymään lämpötilaerot selvemmin ja havainnollisemmin. Esimerkkinä kuva 14.

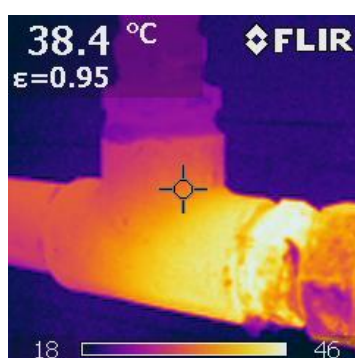


Kuva 14. Lämpötilaskaalalla ei ole merkitystä mittaustulokseen. Kuvassa oven tiivisteiden rikkoutumisesta johtuva ilmavuoto lämpötila-asteikoilla 0-25°C, 10-25°C ja 15-25°C. (Petri Salmi).

6 LÄMPÖKUVAUS ONGELMIEN PAIKANTAMISESSA

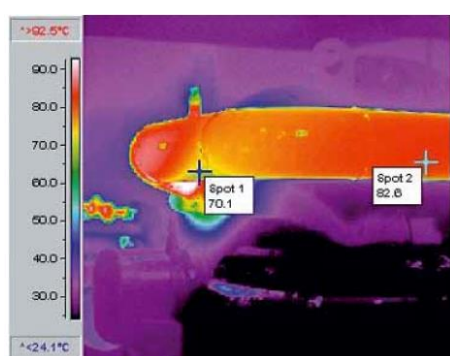
6.1 Tukosten havaitseminen

Tukoksien havaitseminen putkistossa on lämpökuvaamalla helppo paikantaa. Useissa tapauksissa, kun tukoskohtaa paikannetaan, joudutaan kuitenkin lämmitysputken eristyksen poistamaan. Kierron estävä vika voi myös olla myös toimimaton toimilaite, esimerkiksi moottoriventtiili. Kuvassa 15 näkyvään haaraan ei kuuma vesi päässyt johtuen rikkoutuneesta venttiilimoottorista, joka piti venttiilin suljettuna.



Kuva 15. Tukos haarautuvassa putkessa.

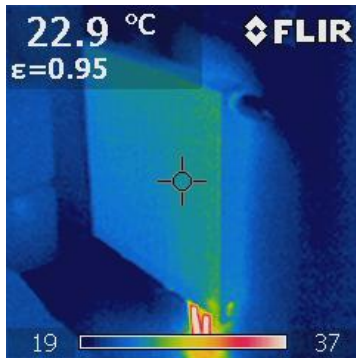
Lämpökuvassa (Kuva 16) havaitaan selkeästi putkessa oleva tukos. Lämpötila putkessa on ennen tukosta 82,6°C ja tukoksen jälkeinen lämpötila on 70,1°C.



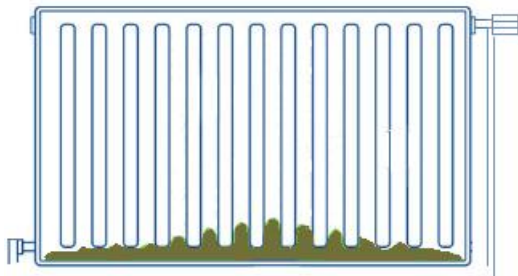
Kuva 16. Putkitukos. (Opetushallitus 2019).

Lämmitysveden virtauksen mukana liikkuvat siellä mahdollisesti olevat korroosiotuotteet, kuten aiemmin on todettu. Nämä partikkelin tukkivat hyvin helposti esimerkiksi patteritermostaatin virtausaukon, eikä lämmitysvesi pääse kiertämään patterissa. Venttiilin

tukkeutuminen tai patterin sisään kerääntynyt rautasakka näkyvät lämpökuvassa. Venttiilissä se näkyy sillä, ettei lämmin vesi jatka venttiilin jälkeen (kuva 17). Kyseessä on yksiputkijärjestelmällä toteutettu verkosto, ja siksi myös patterista lähtevä putki näkyy lämpöisenä. Kuvattaessa patteria, näkyy sinne kerääntynyt sakka tummina alueina, jotka estävät virtauksen patterin sisällä. Esimerkkikuva 18, sakkaa patterin alaosassa, joka estää veden normaalin kierron patterissa.



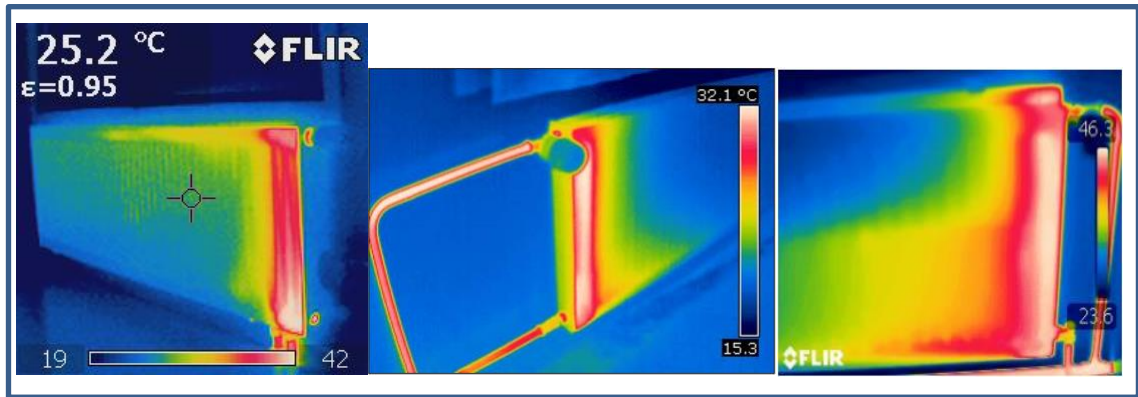
Kuva 17. Patteriventtiili tukossa.



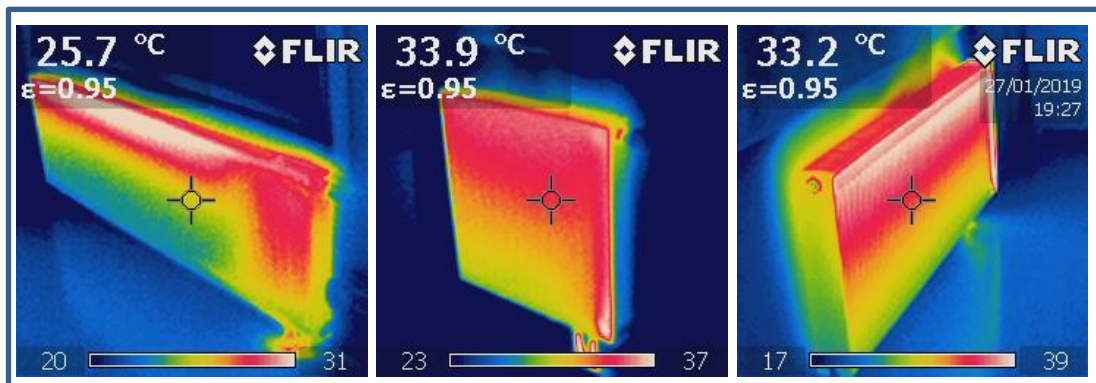
Kuva 18. Sakkaa patterissa.

6.2 Ilman näkyminen

Ilman tai korroosiokaasujen kerääntyminen patteriin estää oikeanlaisen vedenkierron patterissa eikä patteri lämpene kuten sen kuuluu (Kuva 19). Ilma on poistettava patterista, jotta vesi virtaa koko patterissa ja lämmönluovutus on tasaista (Kuva 20). Lämpökameralla on helppoa ja ennen kaikkea nopeaa tarkastaa tilojen lämmityspatterit ja havaita niiden toiminta.



Kuva 19. Ilman vuoksi vesi kierrä patterissa oikein.



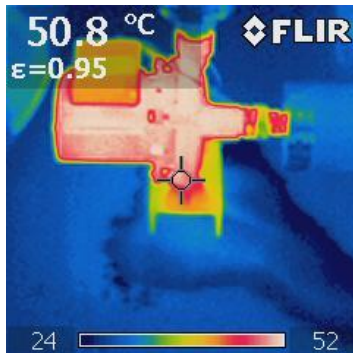
Kuva 20. Ilmaamisen jälkeen lämmin vesi kiertää koko patterissa.

6.3 Vuodon näkyminen

Lämpökuvauus on helppo ja nopea keino tarkastella verkostoa huomattaessa, että verkostossa on vuoto. Kaukolämpöverkkojen vuotojen paikantamisessa käytetään usein apuna lämpökameraa. Lämpökuvasta on helppo havaita vuotokohtia ja lämpökuvauksista tehdäänkin jopa ilmasta käsin helikopterista. Pumppujen kuvaamisella pystytään nopeasti havaitsemaan vuodot (kuva 21) sekä myös pumpun moottorin laakerien kunto.

Vuodosta johtuva poikkeama lämpötiloissa on yleisimmin havaittavissa lämpökameralla silloin, kun vuotava neste on ympäristön kanssa eri lämpöistä eikä rakenne vuodon ympärillä eristä liikaa (kuva 22). Vuotoja putkista paikannettaessa on tärkeää antaa rakenteen jäähtyä tai tasoittua ympäristön lämpötilan kanssa, jonka jälkeen rakennetta aloitetaan lämmittämään ja tilannetta seurataan lämpökameralla. (Paloniitty & Paloniitty & Haimilahti 2016, 85.)

Lämmitysverkoston pienet vuodot saattavat olla erittäin haasteellisia havaita paljaalla silmällä. Pitkään jatkuneella vuodolla voi kuitenkin olla hyvin tuhoisia vaikutuksia. Veden vuotaessa rakenteisiin, on kosteusongelma todellinen riski. Havaittaessa tarvetta lisätä vettä lämmitysverkostoon, on vuodon syy selvitettävä. Lämpökamera on hyvin kätevä työkalu käytäessä putkituksia läpi vuotokohtaa paikannettaessa, se on nopea ja helppo keino nähdä vuotavia kohtia.



Kuva 21. Vuoto erottuu lämpökuvasta.

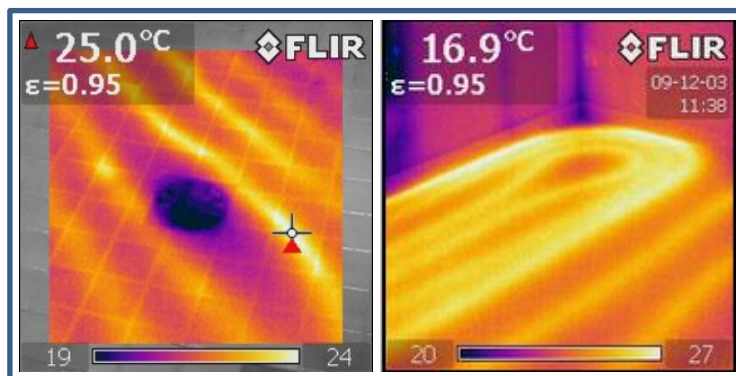


Kuva 22. Vuoto patterin kytkentäputkessa. (Petri Salmi).

6.4 Lattialämmityksen häiriöt

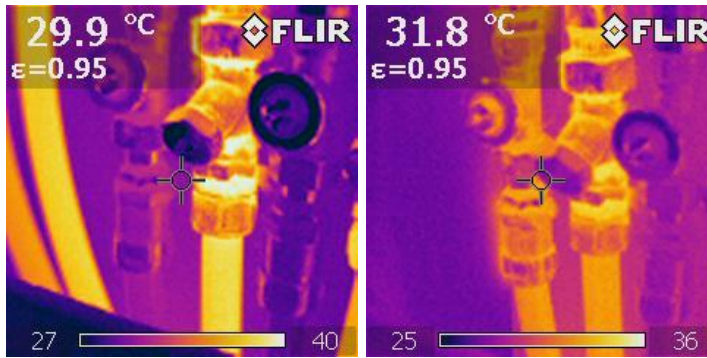
Ehkä yleisin lämpökuvauksen käyttökohte talotekniikassa on lattialämmitysputkien paikallistaminen. Kuvaus on nopea ja erittäin hyvä tapa havaita lattialämmityskaapelit tai lämmitysputket lattiavalusta. Haluttaessa esimerkiksi porata kiinnityksiä lattiaan, on lämpökamera ehdottomasti paras keino paikantaa lämmitysputkien sijainti (kuva 23). Vesikiertoisessa järjestelmässä lämmitysputkien paikallistamisessa on huomioitava kuitenkin paluuputkien lämpötilaero. Paluuputki voi olla huomattavasti viileämpi kuin menoputki. Jos paluuputki on asennettu kahden tulevan putken väliin, ei sen havaitseminen aina ole helppoa. Tämän vuoksi ennen kuvausta, putkien annetaan lämmitä ensin hyvin.

Kuvaus tehdään kuitenkin kohtuullisen nopeasti lämmityksen aloittamisesta, ennen kuin lämpö tasaantuu ympäröivään materiaaliin ja putkia on vaikeampi havaita. On myös huomioitava rakenteen paksuus ja myös lämmitysputkiston sijainti syvyysuunnassa. Pinnassa kulkevat putket näkyvät jo melko nopeasti ja syvemmällä kulkevat putket voidaan havaita vasta jopa kahden tunnin kuluttua. (Paloniitty & Paloniitty & Haimilahti 2016, 82.)



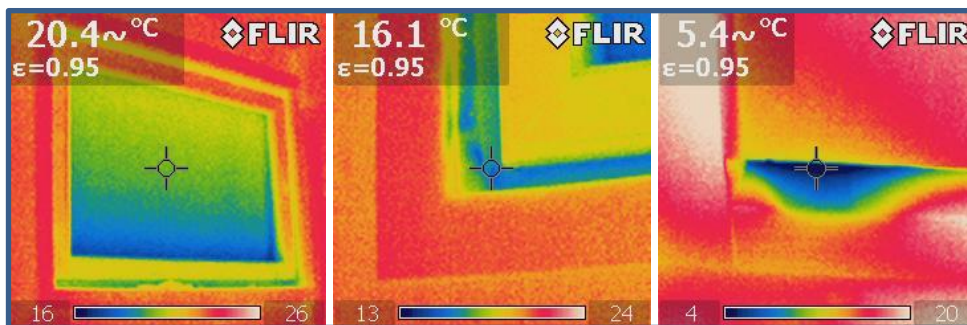
Kuva 23. Lattialämmitysputkien sijainti näkyy hyvin lämpökameralla. (Kuva Oulun lämpökuvaukseen 2019).

Lattialämmityspiirien termostaattisten venttiilien toiminta on helppoa tarkastaa lämpökameralla. Lattialämmitysputkien lämpötilaero on usein pieni mikä ei lämpökamerakuvauksella ole mikään ongelma. Opinnäytetyötä tehdessä sain tarkastella erästä 90-luvun alussa rakennettua omakotitaloa sen lämmitysverkoston osalta, jossa tiedettiin olevan ongelmia. Tarkastettaessa jakotukilta lähteviä lattialämmityspiirejä, havaittiin kahdessa piirissä venttiilin olevan jumissa (Kuva 24) eikä vesi kiertänyt piireissä. Venttiilit on korjattava tai vaihdettava jotta piirit toimivat kuten on tarkoitettu ja lämmitys toimii. Lämpökuvaukseen on hyvin helppo ja ennen kaikkea nopea keino tarkastaa kaikki jakotukkien lähdöt ja paluut. Kyseisessä kohteessa saatiin venttiilit avattua venttiilin karaa liikuttamalla ja vesi kiertämään (kuva 25) mutta todettiin, että lämmityskauden jälkeen, esimerkiksi kesällä, on piirin venttiilien uusiminen hyvin järkevää niiden ollessa elinkaarensa lopussa.



Kuva 24 ja Kuva 25. Lämmityspiirin venttiileissä oli karat jumissa eikä lämmitysvesi kiertänyt (vasen kuva). Korjaustoimenpiteiden jälkeen saatiin vesi kiertämään piirissä (oikea kuva).

LVI kortiston kortin LVI 13-10261 *Vesikiertoinen lattialämmitys* mukaan lattialämmitysjärjestelmien yhteydessä ikkunoiden lämmöneristävyys tulee kiinnittää huomiota, sillä niiden läheisyydessä saattaa syntyä epämiellyttävää vetoa ja kylmän tuntua. Ikkunan koon kasvaessa tämä korostuu. Lämpökamera on erinomainen työkalu tarkasteltaessa ikkunan lämmöneristävyttä sekä seinärakenteen ja ikkunan välistä mahdollista ilmavuotoa. Esimerkkikuvien (kuva 26) kuvaushetkellä ulkoilma oli noin 0°C.

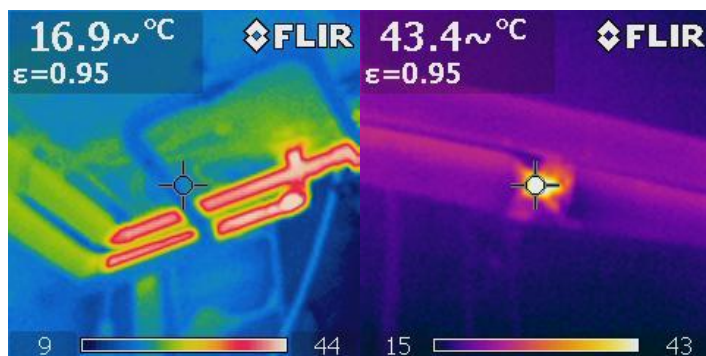


Kuva 26. Ikkunan lämmöneristävyys ja vuotoilma näkyvät selkeästi. (Petri Salmi).

6.5 Eristeet

Lämmitysverkoston putket pitää eristää asianmukaisesti niiltä osin, kun ne on eristettäviksi tarkoitettu. Koska putkessa virtaava vesi on ympäristöään korkeampi lämpötilaltaan, on eristyksen tarkoituksena pienentää putkiston lämpöhäviöitä. Eristyksen puuttumisen aiheuttamat lämpöhäviöt saattavat pahimmillaan johtaa siihen, ettei lämmönluoventimelle saada sen lämpöistä vettä kuin on tarkoitus. Erityisesti kylmässä tilassa kulkevien lämmitysputkien eristys on hyvin tärkeä, mainittakoon vaikka pientalon yläpohjassa kulkevat putkistot. Puutteellisesti eristetty putkisto aiheuttaa lämpöhäviöitä, lämpö

siirtyy putkesta kohti sen ulkopintaa ja siitä edelleen ympäristöön konvektion ja säteilyn avulla. Lämpökamera antaa mahdollisuuden nähdä helposti lämmitysputkiston eristyksien olemassaolo tai kunto, vaikka putkisto kulkisi hyvin korkeallakin. (Kuvat 27 ja 28). Tarkkailtaessa käyttövesiputkistoa voidaan lämpökameralla helposti tarkastaa, vaikka lämpimänveden kierron lämpötila, vaikka putkisto kulkisi ylhäällä vaikeasti luokse päästävissä paikassa.



Kuva 27 ja Kuva 28. Lämpökuvasta on helppo nähdä putkiston puuttuvat tai vaurioituneet eristeet. (Petri Salmi).

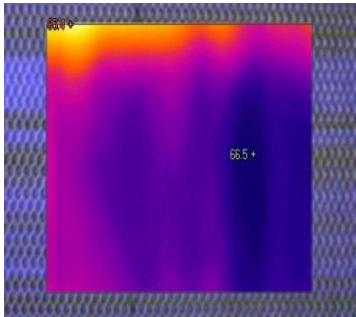
6.6 Kosteusvauriot ja muut kohteet

Lämpökuvaamalla on mahdollista pystyä havaitsemaan kosteusvaurioita rakenteissa tietyn edellytyksin aiemmin kuin silmällä voidaan havaita. Kosteaa rakenne lämpenee ja myös jäähtyy hitaammin kuin kuiva rakenne ja sen vuoksi kosteus näkyy lämpötilan muuttuessa lämpökameralla. Kosteusvauriosta aiheutuva poikkeama lämpötilassa on kuitenkin usein hyvin heikko. Huomioitavaa on, ettei kosteusvaurion todennäköisyyttä useinkaan voida varmuudella sanoa ilman asianmukaisia kosteusmittauksia. Maanvaraisessa lattiassa voivat lämpötilaeroja aiheuttaa myös esimerkiksi eristeiden epäjatkuvuudet sekä viemärit, mikä on hyvä tiedostaa. (Paloniitty & Paloniitty & Haimilahti 2016, 84.)

Lämpökamera on mekaanisessa kunnossapidossa hyvin laajalti levinyt keino tarkastella moottorien laakerien kuntoa. Moottorien laakerien lämpötiloja on hyvin helppo tarkastella kuvaamalla. Lämmennyt laakeri erottuu lämpökuvassa helposti. Säännöllisellä valvonnalla saadaan seurattua moottorien ja pumppujen laakerien lämpötiloja ja siten ennakoitua mahdolliset vaihtotarpeet. Hankaluutta laakerien lämpenemisen näkemiseen

lämpökuvaamalla aiheuttaa, jos pumppu sijaitsee menopuolella hyvin lämpimässä verkostossa.

Lämmönvaihtimien toimintaa on hyvä tarkastella lämpökameralla. Se on helppo ja nopea keino nähdä tulevan ja lähtevän nesteen lämpötiloja eli mitata vaihtimen tehokkuutta. Lämpökuvaamalla voidaan havaita lämmön siirtyminen vaihtimessa. Jos lämpö ei leviä tasaisesti luovutuspinnoilla, voidaan olettaa, ettei lämmönvaihdin toimi kunnolla. Yleisempää on varmasti mitata ensiö- ja toisiopiirien lämpötiloja jollakin toisella mittalaitteella, mutta tällöin ei kyetä havainnoimaan mitä itse vaihtimen sisällä tapahtuu. Lämmönsiirtopinnoilla olevat epäpuhtaudet näkyvät lämpökuvassa tummempina alueina joh-tuen pienemmästä pintalämpötilasta (kuva 29).



Kuva 29. Tummemmat alueet ovat todennäköisesti epäpuhtauksia, jotka erottuvat eri lämpöisinä lämpökuvassa.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia lämpökuvaamisen soveltuvuutta lämmityspiirien ongelmien hakuun ja selvittää, saadaanko sillä nopeutettua ongelmienhakua. Opinnäytetyön aikana tehtyjen kokeilujen perusteella lämpökuvaus helpottaa lämmitysverkostojen toimintahäiriöiden paikantamista ja toiminnan seuraamista antaen mahdollisuuden tarkastella kohteita hieman kauempaakin. Suurimpana etuna ennen kaikkea, on sen nopeus ja helppous. Yhdellä lämpökameran vilkaisulla pystytään tekemään useita havain-toja, joiden tekeminen muuten saattaa olla haasteellista tai ainakin runsaasti aikaa kulluttavia toimenpiteitä. Tilojen lämpötilaolosuhteita tarkistettaessa lämpökamera on nopeudellaan ja helppoudellaan erinomainen työkalu. Nopeuden osalta voidaan todeta lämpökuvauksen antavan hyötyä, verrattaessa perinteiseen ongelmien paikantamiseen.

Tähän saakka IR-lämpömittari on ollut monen putkimiehen tai kiinteistöhoitajan työkaluna lämmitysverkostojen tarkasteluissa, mutta tänä päivänä, kun lämpökameroiden hinnat ovat tulleet hyvin kohtuullisiksi, on varmasti lämpökamera tulevaisuudessa yhä useamman lämmitysverkostojen kanssa töitä tekevän työkaluna.

Lattialämmityksessä lämpökamera on lyömätön apuväline ja siksi myös ehkä yleisin lämpökuvauskohde talotekniikassa. Lämpökuvaus on hyvin luotettava tapa paikantaa lämmitysputket tai lämmityskaapelit lattianvalusta. Erityistä huomiota kuitenkin vaaditaan vesikiertoisten järjestelmien kuvaamisessa lattiasta. Paluuputki voi olla huomattavasti viileämpi kuin menoputki. Kun kierron paluuputki on asennettu kahden lämpöisen menoputken väliin, on sen havaitseminen joskus hyvin vaikeaa. Tästä syystä on järjestelmän putkien annettava lämmitä hyvin ennen kuin aloitetaan niiden kuvaaminen.

Opinnäytetyön tekeminen ja lämpökuvaamisen tutkiminen oli hyvin mielenkiintoinen projekti. Työtä tehdessä olen lukenut suuren määrän lämpökuvaamista käsitteleviä materiaaleja, saanut paljon ohjeistusta kuvaamiseen sekä tietoa lämmitysverkostojen ongelmista. Olen saanut mielestäni melko hyvän käsityksen lämpökuvaamisesta opinnäytetyön tekemisen aikana. Pienenä, mutta tärkeänä seikkana olen huomannut, että on hyvin kannattavaa pitää lämpökameran mukana, esimerkiksi kameran kuljetuslaukussa, korkean emissiokertoimen omaavaa teippiä, esimerkiksi niin sanottua sähkömiehen teippiä. Tämä siksi, että voidaan tarvittaessa kasvattaa mittauspisteen emissiivisyyttä.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

Harju, P & Matilainen, V. 2001, LVI-tekniikka – Korjausrakentaminen. Vantaa: Opetushallitus ja Suomen LVI-liitto ry.

Hietanen, M. (2018). Fluke TiS-sarjan käyttökoulutus & lämpökuvauksen teoria. Koulutusmateriaali. Fluke Finland Oy.

Korkala, T. 2018, Lämmitys – Hoito & huolto. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus Oy

Paloniitty, S & Kauppinen, T. 2011. Rakennusten lämpökuvaukset. Porvoo: Suomen rakennusmedia Oy.

Paloniitty, S. Paloniitty, J. & Haimilahti, J. 2016. Lämpökuvaukset rakentamisessa. Vaasa: Rakennustieto.

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry

Uponor Suomi Oy. Nereus lattialämmitys. (2019). Tekniset ohjeet. Koulutusmateriaali 17.12.2018.

Uponor Suomi Oy. Lattialämmitys- ja viilennysratkaisut kerrostalossa. Koulutusmateriaali 17.12.2018.

LVI-kortisto; LVI 12-10343. 2002. Vesikiertoinen patterilämmitys. Rakennustieto Oy. LVI kortisto.

LVI-kortisto; LVI 13-10261. 1996. Vesikiertoinen lattialämmitys. Rakennustieto Oy. LVI kortisto.

LVI-kortisto; LVI-19-10399. 2006. Lämmitä oikein. Vesikeskuslämmitysjärjestelmän käyttäjän ohje. Rakennustieto Oy. LVI kortisto.

Sähköiset lähteet:

Danfoss Heating solutions. (2011). Vesikiertoisen lattialämmityksen perusteet. Viitattu 31.3.2019. http://lampo.danfoss.com/PCMPDF/Handbook_Introduction_VGDYA220_hi-res.pdf

Energiateollisuus ry. (2007). Kaukolämmön kiertoveden käsittely. Viitattu 15.2.2019. https://energia.fi/files/840/SuositusKK3_2007_Kaukolammon_kiertoveden_kasittely.pdf

Infradex Oy (2018). Verkkodokumentti. Lämpösäteily ja infrapuna. Viitattu 11.12.2018 <http://www.infradex.com/teoria.html>

Infradex Oy (2018). Verkkodokumentti. Lämpökameran toiminta. Viitattu 13.12.2018 <http://www.infradex.com/kuinka.html>

Lämmönhuolto PRO Oy. (2019) Verkkodokumentti. Viitattu 20.1.2019 <http://www.lammonhuolto.fi/korroosio.html>

Motiva (2019) Verkkodokumentti. Viitattu 22.1.2019 https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/patteriverkoston_perussaato

Opetushallitus (2019). Kunnossapito. edu.fi/oppimateriaalit. Verkkomateriaali. Viitattu 27.1.2019. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k5_lampokamera.html

Oulun lämpökuvaus. Verkkosivuston galleria. Lupa kuviin saatu 7.2.2019 (Esa Puurunen).
<http://www.oulunlampokuvaus.com/?cat=26>

SISÄILMASTOLUOKITUS 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. RT 07-11299 (LVI 05-10629 SIT 05-610149 Ratu 444-T KH 27-00662). Viitattu 9.4.2019. Ladattavissa: <https://rt.rakennustieto.fi/>. (Vaatii kirjautumisen).

SKF 2019. Verkkodokumentti. Thermal cameras. Viitattu 6.2.2019.
https://www.skf.com/binary/30-139814/13994EN_TKTI.pdf

Suomen LVI-Liitto. (2013). LVV-Kuntotutkimusopas. Viitattu 14.2.2019
http://uutiset.hometalkoot.fi/component/dpcontentplugin/files/download/189/LVV-kuntotutkimus-opas_2013_WEB.pdf

Suomen virallinen tilasto (SVT): Asumisen energiankulutus [verkkojulkaisu].
ISSN=2323-3273. 2017, Liitekuvio 1. Asumisen energiankulutus energialähteittäin vuonna 2017. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 11.3.2019].
Saantitapa: http://www.stat.fi/til/asen/2017/asen_2017_2018-11-22_kuv_001_fi.html

Vuotovahinkoselvitys 2012-2013. Finanssialan keskusliitto. Viitattu 15.2.2019.
http://www.finanssiala.fi/vahingontorjunta/dokumentit/vuotovahinkoselvitys_2013.pdf

Weckström, T. 2005. Lämpötilan mittaus. VTT Mikes metrologia. Mittatekniikan keskus. Helsinki. Luettu 31.1.2019. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2005-J4.pdf>

SYKLI. Suomen ympäristöopisto. Verkkosivusto. Viitattu 11.3.2019.
<https://www.ymparistoosaava.fi/kiinteistonhoitoala/index.php?k=22532>

Warmia. 2016. Lattialämmitys – Tekninen ohje. Viitattu 13.3.2019.
<https://warmia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Warmia-tekninen-ohje-2016.pdf>

Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot eri sisäilmastoluokissa

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila t_{op} [°C]			21
$t_u \leq 0$ °C	21,5 ¹⁾	21,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,15 \times t_u$ ¹⁾	$21,5 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	24,5 ¹⁾	25,5	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama ylöspäin			
$t_u \leq 0$ °C	< 22,5	< 23	
$0 < t_u \leq 15$ °C	< $22,5 + 0,166 \times t_u$	< $23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 25	< 26	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama alaspäin			
$t_u \leq 0$ °C	> 20,5	> 20,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	> $20,5 + 0,075 \times t_u$	> $20,5 + 0,025 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	> 22	> 21	
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]			
$t_u \leq 0$ °C	< 23	< 23	
$0 < t_u \leq 20$ °C	< $23 + 0,2 \times t_u$	< $23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 27	< 27	
$t_u \leq 10$ °C			< 25 (26) ²⁾
$t_u > 10$ °C			< 27 (32) ²⁾
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	> 20	> 20	> 20 (18) ²⁾
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttöajasta]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	
asunnot	90 %	80 %	

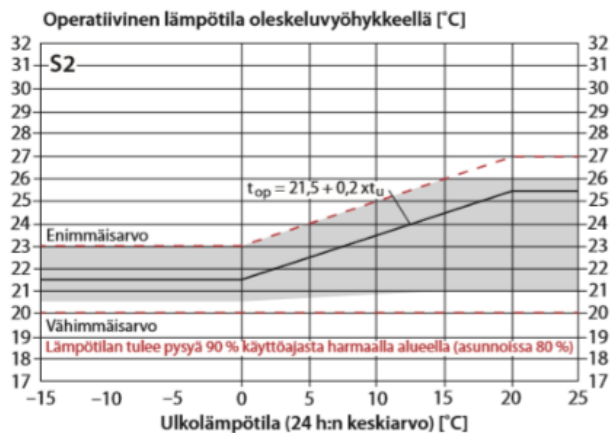
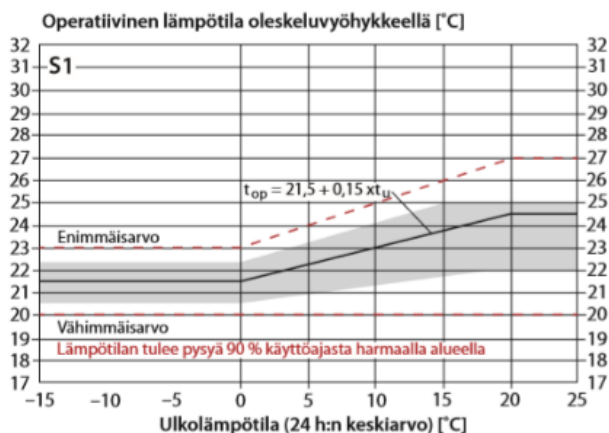
¹⁾ S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti asetettavissa välillä $t_{op} \pm 1,5$ °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään lämpötilan tavoitetasona taulukossa esitettyjä tavoitearvoja.

²⁾ Suluissa asumisterveysasetuksen mukaiset toimenpiderajat.

HUOM 1. Ulkolämpötilalla t_u tarkoitetaan ulkoilman 24 tunnin liukuvaa keskiarvoa lähimmällä säähavaintopaikalla. Tilan käyttäjän toivomuksesta voidaan sisälämpötilan antaa laskea alle tavoitetason tai antaa kesällä nousta yli tavoitetason.

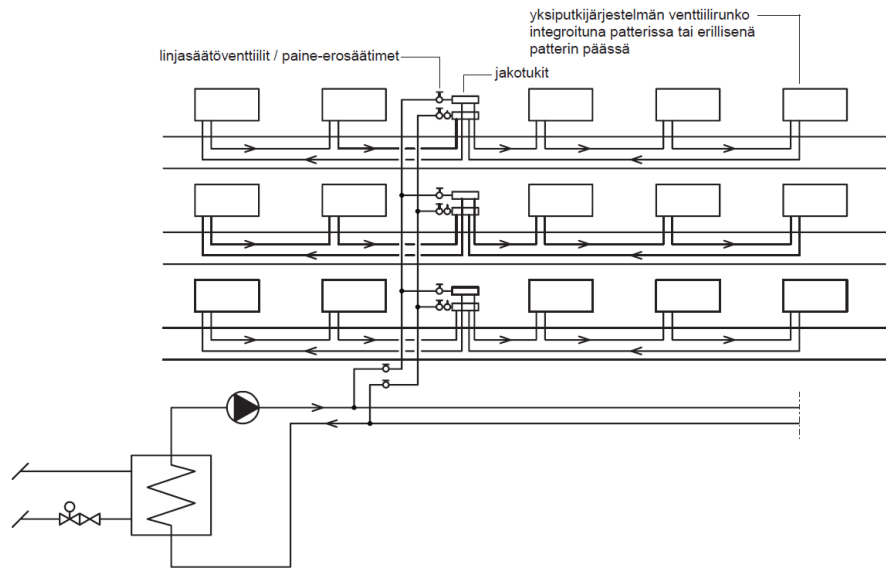
HUOM 2. Operatiivisen lämpötilan tulee olla tavoitearvon sallitun vaihteluvälin alueella olosuhteiden pysyvyyden edellyttämä aika laskettuna rakennuksen suunnitellusta käyttöajasta. Lämpötilan yhden tunnin liukuva keskiarvo ei saa suunnitellulla käytöllä (mitoitussäällä tarkasteluna käyttöaikana) alittaa vähimmäis- tai ylittää enimmäisarvoja.

HUOM 3. Operatiivinen lämpötila mitataan esimerkiksi neste-patsaslämpömittarilla tai sähköisellä anturilla oleskeluvyöhykkeeltä 1,1 metrin (työpisteessä 0,6 m) korkeudelta standardin SFS EN 12599 mukaisesti. Operatiivisen lämpötilan asemasta voidaan usein tarkastella huonelämpötilaa. Kuitenkin, jos pintojen lämpötilat poikkeavat selvästi ilman lämpötilasta (esim. huonosti eristetty vaippa, 2-lasiset ikkunat, suuret ikkunat, useita ulkoseiniä, lattian alla lämmittämätön tila, auringonsäteily, lattialämmitys, kattolämmitys, jäähdytyskatto), määritetään operatiivinen lämpötila laskemalla se ilman ja pintojen lämpötiloista tai mittaamalla esimerkiksi pallolämpömittarilla standardin SFS EN 12599 mukaisesti.

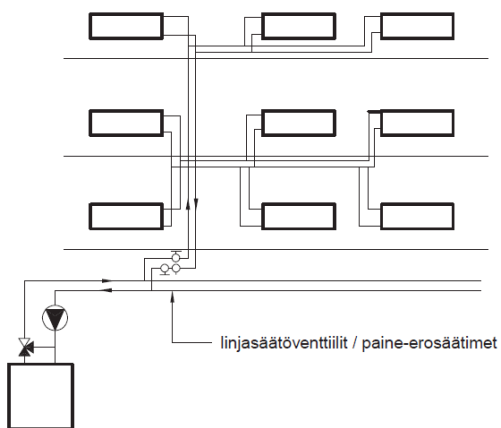


Kuva 2. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot. Tummennettu alue kuvaa tavoitearvoaluetta (tavoitelämpötila + lämpötilan sallittu vaihteluväli).

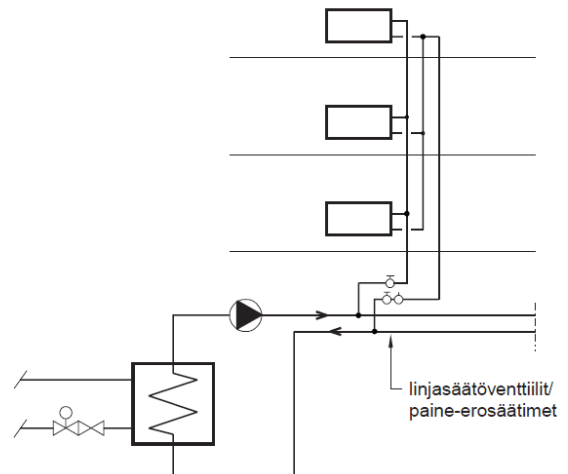
(Sisäilmastoluokitus 2018. RT 07-11299.)



1. Yksiputkijärjestelmän periaate yhdistettynä kaksiputkijärjestelmällä toteutettuun runkoputkistoon.

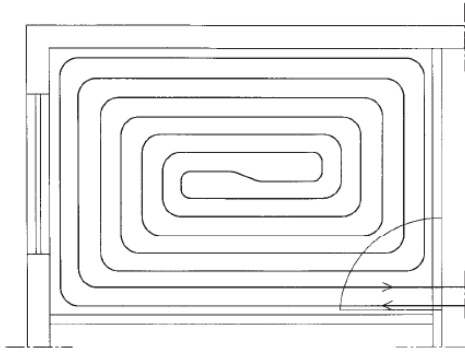


2. Kaksiputkijärjestelmän periaate ylä- ja alajakoisella putkituksella.

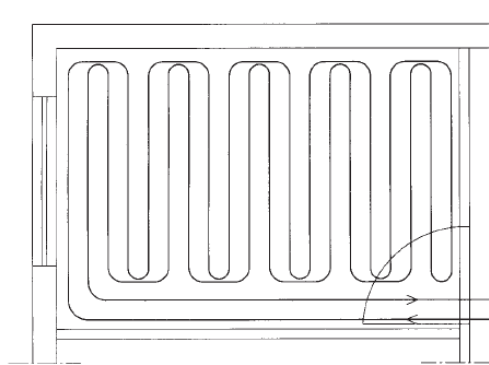


3. Käännetyn paluuputkijärjestelmän periaate yhdistettynä kaksiputkijärjestelmällä toteutettuun runkoputkistoon.

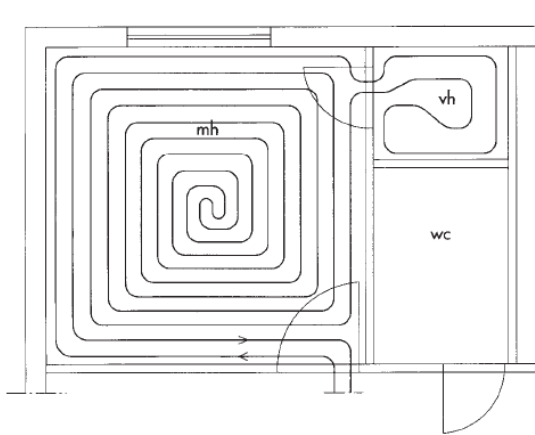
(LVI 12-10343).



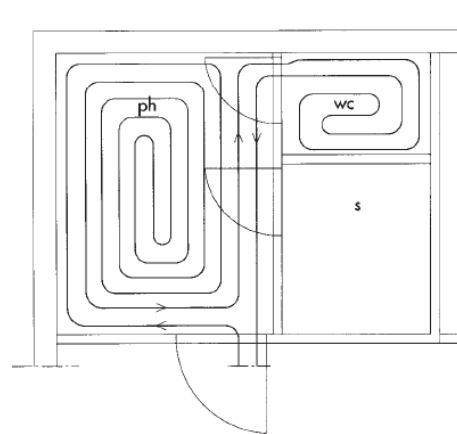
Kuva 1.
Lattialämmitysputken asennusperiaate spiraalijakoa käyttäen.



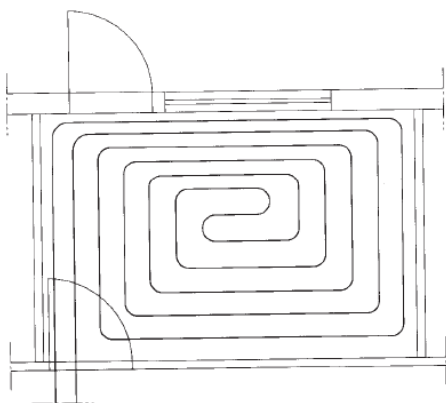
Kuva 2.
Lattialämmitysputken asennusperiaate rivijakoa käyttäen.



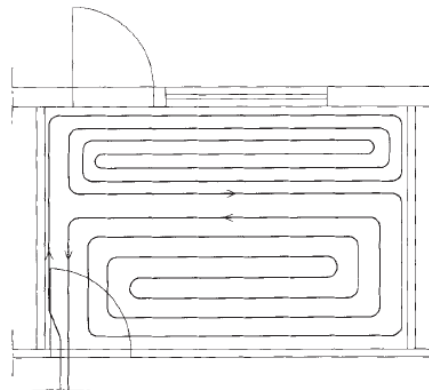
Kuva 3.
Vaatehuone liitettynä makuuhuoneen lattialämmityspiirin menoputkeen.



Kuva 4.
WC liitettynä pesuhuoneen lattialämmityspiirin paluuputkeen.



Kuva 6.
Reunavyöhykkeen toteutus muuta aluetta tiheämmällä asennusvälillä.



Kuva 7.
Reunavyöhykkeen toteutus asentamalla lämmityspiirin putket ensin reuna-alueelle tiheällä asennusvälillä ja sen jälkeen keskialueella harvalla asennusvälillä.

(LVI 13-10261).