



Vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän huollon vaikutus energiatehokkuuteen

Miko-Oskari Markkula

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2021

Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-tekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-tekniikka

MARKKULA, MIKO-OSKARI:

Vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän huollon vaikutus energiatehokkuuteen

Opinnäytetyö 66 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Huhtikuu 2021

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, mitä huoltotoimenpiteitä vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään täytyisi tehdä, miten ne vaikuttavat järjestelmän toimintaan ja miten huoltotoimenpiteillä voitaisiin mahdollisesti vähentää lämmitysjärjestelmän energiankulutusta ja parantaa energiatehokkuutta sekä käyttöikää. Tavoitteena työssä oli todentaa toimeksiantajayrityksen KL-Lämpö Oy:n tarjoamien palveluiden teknisiä ja taloudellisia hyötyjä saatavilla olevan teorian perusteella. Teoriatutkimuksen lisäksi työssä aloitettiin käytännön tutkimus toimeksiantajayrityksen osoittamaan vanhaan kerrostalokohteeseen. Kohteeseen oli tavoitteena muodostaa luotettava mittausjärjestely ja kerätä mittauksella dataa nykyisen lämmitysjärjestelmän toiminnasta ja energiankulutuksesta.

Teoriatutkimuksen tuloksien perusteella tärkeimpiä vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän huoltotoimenpiteitä ovat verkoston ilmaus ja suojaaminen, hyvien vesiarvojen ylläpito ja järjestelmän säätöjen sekä automaation toimivuus. Verkoston korrosio voi johtaa vuotoriskeihin ja käyttöiän alenemiseen, ja korroosion reaktiotuotteena syntyvä sakka aiheuttaa lisäksi tukoksia, laiterikkoja ja lämmönluovutuskyvyn heikkenemistä. Tutkimuksen mukaan, lämmitysjärjestelmän tasapainotus sekä epäpuhtauksien poisto ja ennaltaehkäisy voivat parantaa järjestelmän energiatehokkuutta huomattavasti. Myös kattavalla taloautomaatiojärjestelmällä saadaan optimoitua energiankäyttöä tarpeen mukaan.

Käytännön tutkimuksella saatiin kohteeseen aikaan mittausjärjestely, jonka avulla voidaan tarkastella lämmitysjärjestelmän energiankulutusmääriä. Kohteen mittauksesta otettiin talteen myös lämmityskauden vertailudataa, jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa vertaamalla sitä huoltotoimenpiteiden jälkeisiin energiankulutusmääriin.

Niin kuin monen muunkin teknisen laitteen yhteydessä, myös lämmitysjärjestelmässä kannattaisi huolloista ja ylläpidosta huolehtia säännöllisesti. Huoltojen avulla järjestelmä pysyy varmatoimisempänä, pitkäikäisempänä sekä energiatehokkaampana pidempään. Energiansäästöihin voitaisiin tutkimuskohteessa päästä putkiosien ja laitteiden modernisoinnilla ja huolellisella tasapainotuksella.

Asiasanat: lämmitysjärjestelmä, huolto, ylläpito, energiatehokkuus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Systems

MARKKULA, MIKO-OSKARI:

Impact of Maintenance on Energy Efficiency in a Water Central Heating System

Bachelor's thesis 66 pages, appendices 2 pages

April 2021

This thesis was commissioned by a company called KL-Lämpö Oy. The company wished to conduct research on the subject to confirm the technical and financial benefits of the services they provide to their customers.

The aim of this thesis was to find out the maintenance requirements of a water central heating system and the effects of the maintenance to the functioning of the system. The focus was on reducing the energy consumption and prolonging the operational life of the system with maintenance measures.

The research was mainly carried out as a theoretical study, and the information on the subject was gathered from various printed and online sources written by professionals from the HVAC and construction industries. Another part of this thesis was to initiate a practical study regarding the energy consumption of the primary heating system in an old apartment building designated by KL-Lämpö Oy.

According to the theoretical study, the best maintenance measures to increase the energy efficiency in heating systems are bleeding, preventing corrosion, balancing the system, and utilizing a comprehensive system automation. The results of the practical study provided a system to measure energy consumption and reference data from the heating system for the further use of the company.

Key words: heating system, maintenance, energy efficiency

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	VESIKIERTOINEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ	8
	2.1 Toimintaperiaate	8
	2.2 Lämmöntuotanto	9
	2.3 Kaukolämpö	10
	2.3.1 Toimintaperiaate	10
	2.3.2 Toimitusvarmuus	12
	2.3.3 Kaukolämmön osuus	13
	2.3.4 Kaukolämmön tuotanto	13
	2.4 Lämmitysverkosto	14
	2.4.1 Lämmönjako	15
	2.4.2 Lämmönluovutus	16
	2.4.3 Muut järjestelmän osat	18
3	ENERGIATEHOKKUUS	20
	3.1 Nykyinen energiankulutus	20
	3.2 Energiatehokkuuden säädökset	22
	3.2.1 Kattiloiden hyötysuhdevaatimukset	22
	3.2.2 Tekniset järjestelmät	23
	3.2.3 Kokonaisenergiatarkastelu	24
	3.2.4 Korjaus- ja muutosrakentaminen	24
	3.3 Vesikiertoinen järjestelmä	25
4	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN HUOLTO JA PARANNUS	27
	4.1 Taloautomaatio	27
	4.1.1 Toimenpiteet	27
	4.1.2 Vaikutukset	28
	4.2 Ilmanpoisto	29
	4.2.1 Toimenpiteet	30
	4.2.2 Vaikutukset	32
	4.3 Verkosto	33
	4.3.1 Lämmönjakoputkisto	33
	4.3.2 Vedenkäsittely	35
	4.3.3 Kuntotutkimus	37
	4.3.4 Veden tekniset standardit ulkomailta	38
	4.3.5 Vaikutukset	40
	4.4 Verkoston laitteet	41
	4.4.1 Vuotoriskit	43

4.4.2	Vaikutukset.....	44
4.5	Lämmönvaihtimet ja -luovutus.....	44
4.5.1	Vaikutukset.....	46
4.6	Perussäätö.....	47
4.6.1	Toimenpiteet.....	47
4.6.2	Korjausrakentamiskohde	48
4.6.3	Vaikutukset.....	49
5	TUTKIMUS JA MITTAUSJÄRJESTELY	51
5.1	Tutkimuskohde.....	51
5.2	Energiamittauksen laitteet.....	52
5.3	Mittausjärjestely	53
6	TULOKSET	55
6.1	Kirjallisuustutkimus.....	55
6.2	Energiankulutusmittaus.....	57
7	POHDINTA	59
	LÄHTEET	61
	LIITTEET	65
	Liite 1. Päiväkohtainen mittausdata	65

1 JOHDANTO

Rakennusten lämmitys kuluttaa kylmän ilmaston maassa merkittävän osan kokonaisenergiankäytöstä. Koska nykypäivänä on alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota ympäristöpäästöihin ja energiatehokkuuteen, on myös lämmitysjärjestelmien toiminnalle säädetty yhä tiukempia vaatimuksia. Energiantuotantopäästöjä vähentämällä ja energiankäytön hyötysuhteita parantamalla pyritään taistelemaan osaltaan ilmastonmuutosta sekä maapallon voimavarojen ehtymistä vastaan. (Seppälä 2001, 396.)

Uusien rakennusten rakentamisessa ympäristöystävällisyyden ja energiatehokkuuden seikat otetaan jo tarkasti huomioon säädösten ja määräysten avulla. Suomessa on kuitenkin suuri osa myös vanhaa rakennuskantaa, jossa näitä asioita ei olla huomioitu tai tarvittavaa teknologiaa ei ollut vielä saatavilla (Tilastokeskus 2019). Vanha rakennuskanta on rakennettu silloisen rakennustavan mukaisesti ja iso osa siitä on edelleen samassa kunnossa sekä rakennusteknisesti että lämmitysjärjestelmiltään.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää vesikiertoisten lämmitysjärjestelmien yleisimmät huolto- ja parannustoimenpiteet ja miten niillä voidaan mahdollisesti vaikuttaa energiatehokkuuden parantamiseen ja käyttökustannusten suuruuteen. Työssä esitellään yleisesti vesikiertoisten lämmitysjärjestelmien toiminta, laitteet sekä lämmönlähteet, joista kaukolämmitystä tutkitaan tarkemmin. Teoriaosuudessa selvitetään myös lämmitysjärjestelmien energiankulutuksen nykytilannetta Suomessa ja järjestelmiä koskevia asetuksia ja määräyksiä. Työssä keskitytään pääosin kaukolämmitteisiin vesikiertoisiin lämmitysjärjestelmiin.

Työn tutkimus suoritetaan teorian tasolla talotekniikan alan kirjallisuuden, ohjetiedostojen, internet-lähteiden ja valtiollisten tietopalveluiden avulla. Työssä aloitetaan myös käytännön tutkimus lämmitysjärjestelmän energiankulutuksesta sekä toiminnasta ja kerätään toimeksiantajan osoittaman kohteen mittausdataa tutkimuksen ensimmäisestä vaiheesta. Tavoitteena on tuottaa käytännön tutki-

mukselle valmis pohja, mittaus suunnitelma sekä vertailudata, jota voidaan hyödyntää mittauksen seuraavassa vaiheessa mahdollisten huoltotoimenpiteiden jälkeen.

Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimii KL-Lämpö Oy, joka on vedenkäsittelyn ja energiatehokkuutta edistävä asiantuntijayritys. KL-Lämpö Oy:n tarjoamia palveluita ovat muun muassa järjestelmien kartoitukset ja toimenpidesuunnitelmat, nestekiertoisten verkostojen puhdistus, suojaus ja vedenkäsittely, sekä Kemlan-kiinteistöpalveluiden lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä huollot ja seuranta. KL-Lämpö Oy:n toimipisteet sijaitsevat Pirkkalassa, Espoossa ja Kempeleessä, joista Pirkkalan piste toimii päätoimipisteenä.

Käytännön tutkimusta varten toimeksiantajayritys on valinnut pienen 50-luvulla rakennetun kerrostalokohteen, jonka lämmöntuottomuoto on kaukolämpö ja lämmönjakotapa vesikiertoinen patterilämmitys. Opinnäytetyössä selvitetään yrityksen tarjoamien palveluiden hyödyt sekä niihin liittyvät syy-seuraussuhteet teorialueen pohjalta. Käytännön tutkimuksella on tarkoitus todentaa teorialueen tuloksia tulevaisuudessa.

2 VESIKIERTOINEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ

Työssä keskitytään pääosin vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään ja sen ominaisuuksiin. Vesikeskuslämmityksiä oli olemassa jo 1950-luvulla, jolloin ne toimivat yleensä vapaasti kiertävällä vedellä eli ilman pumppua. Toimintaperiaate oli pääosin sama mutta paljon yksinkertaisempi, kuin nykypäivänä. (Auranen 2010, 10–11.) Nykyiset lämmitysjärjestelmät voidaan rakentaa laajempina, automaattisina sekä toiminnoiltaan tarkempina. Markkinoilla on myös useita erilaisia vaihtoehtoja lämmönlähteelle sekä lämmönluovutuksen laitteille.

2.1 Toimintaperiaate

Suomessa mahdollisesti yleisimmin käytettyinä lämmitysjärjestelminä ovat vesikiertoiset keskuslämmitysratkaisut. Vesikiertoisille lämmitysjärjestelmille yhteistä on verkostossa kiertävä vesi, joka sitoo itseensä lämpöenergiaa lämmönlähteellä, eli lämmityskeskuksella, jossa lämmin vesi tuotetaan. Lämmitetty vesi ohjataan putkistoa pitkin huonelaitteille, eli lämmönluovuttimille, joiden avulla lämpöenergiaa säteilee ja johtuu rakennuksen sisätiloihin lämmittäen huoneilmaa. Luovutettuaan lämmitysenergiaa ja näin ollen jäähtyttyään, kiertävä vesi ohjataan paluuputkistoa pitkin takaisin lämmityskeskukselle, jossa veden kierto alkaa taas alusta. (LVI 10-10397, 7.)

Lämmityksen tarve ei pysy vakiona, joten lämmitysjärjestelmää ohjataan yleensä automatiikalla, jonka toiminta perustuu ulkolämpötilaan. Lämmityskeskus säteilee kiertävän veden lämpötilaa säätökäyrien mukaisesti ulkolämpötila-anturin avulla. Veden lämpötila siis nousee sitä mukaan, kun ulkolämpötila laskee. Tämän lisäksi huonelaitteiden ja putkistojen yhteydessä on usein venttiileitä tai säätölaitteita, jotka säätävät tarkemmin lämmönluovutuksen määrän tilaan. Säätö tapahtuu huonelämpötilan perusteella. (LVI 19-10399, 5.) Käytännössä siis lämmityksen määrää muutetaan kuristamalla lämpimän veden virtaamaa putkistossa tai laitteessa venttiileiden avulla.

Lämmitysjärjestelmän lämmityskeskukseksi toteutetaan yleensä myös lämpimän käyttöveden sekä mahdollisen ilmanvaihtokoneiden lämmitysveden tuotto kiinteistössä (LVI 10-10397, 1). Tässä työssä perehdytään kuitenkin pelkästään rakennuksen tilojen primääriseen lämmitysjärjestelmän toimintaan.

2.2 Lämmöntuotanto

Rakennusten lämmityskeskuksia käyttävät jotakin lämpöenergian lähdettä tuottaessaan lämpöä. Energian lähteenä voi toimia poltettavat polttoaineet, kuten öljy tai puupelletti, mutta myös sähköä käytetään paljon esimerkiksi lämpöpumpuissa ja sähkökattiloissa. Lämmitysenergiaa voidaan tuoda myös rakennuksen ulkopuolelta kaukolämpöputkia pitkin, jolloin polttoaineista saatava energia on valmiiksi muutettu hyödynnettävään muotoon kaukolämpölaitoksella. (LVI 12-10343, 2.)

Polttoaineita energianlähteenä käytävissä rakennuksissa on oma kattilalaitoksensa, jossa poltto tapahtuu ja jossa lämmityksessä käytettävä vesi lämpenee. Kattilalaitokset tarvitsevat usein säilytys- tai varastointipaikkansa polttoaineelle, kuten öljysäiliön, jotka vievät tilaa. Varastoinnin lisäksi esimerkiksi lämpöä varastointien puutakkojen käyttö vaatii asukkaalta normaalia enemmän vaivannäköä rakennuksen lämmityksessä. (LVI 10-10397, 5–6.)

Lämpöpumpuissa hyödynnetään talteen otettavaa ilmaista energiaa, eli ilmasta, vedestä tai maaperästä hyötykäyttöön saatavaa lämpöenergiaa. Talteen saatu energia ei yleensä riitä itsekseen kattamaan koko lämmitystarvetta, jolloin sähköllä toimivat vastukset tuottavat lisätehoa lämmitykseen. Kaukolämmöllä lämmitetyissä rakennuksissa on puolestaan alajakokeskus, jossa lämmityksen vesi lämmitetään lämmönvaihtimen avulla. Vaihtimessa siis kiertää sekä kaukolämpövesi, että rakennuksen lämmitysvesi, jolloin kaukolämpöveden sisältämä energiasisältö siirtyy lämmitysveeseen. (Korkala 2018, 59, 73.)

Lämmöntuottomuodon valintaan vaikuttaa muun muassa energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys, alkuinvestoinnin määrä sekä rakennuksen koko ja sijainti. Maalämpöpumpujärjestelmä on kallis investointi, mutta sen käyttökustannukset

ovat edulliset ja ympäristöpäästöt alhaiset, kun taas öljylämmitys on halvempi investointina, mutta öljyn kustannukset ovat kalliita ja öljyn poltto aiheuttaa päästöjä, joista yritetään päästä eroon. (Laitinen 2010, 67.) Rakennuksen sijainti vaikuttaa esimerkiksi kaukolämmön saatavuuteen. Usein kaukolämpöverkostot ovat rakennettu vain kunnan kaupunkialueille, joissa asutus on tiheää. (Korkala 2018, 13–14.)

Lämmöntuotanto voi koostua myös useammasta järjestelmästä yhdessä, jolloin sitä kutsutaan hybridilämmitykseksi. Esimerkiksi aurinkoenergiaa hyödyntävät järjestelmät ovat yhä suosituimpia. Auringon lämpösäteilyllä voidaan tuottaa esimerkiksi lämmintä käyttövettä, jolloin päälämmitysjärjestelmän energiantarve laskee. Aurinkokeräimet kuitenkin tuottavat lämpöä enimmäkseen kesäaikaan, joten se soveltuu vain rinnakkaiseksi lisälämmönlähteeksi. Usein suosittua on liittää vanhaan lämmitysjärjestelmään jokin lämpöpumppu päälämmitysjärjestelmän rinnalle. Esimerkiksi suorasähkölämmitteisen rakennuksen sähkön käyttöä voidaan saada vähennettyä yhdellä tai useammalla ilmalämpöpumpulla. (Korkala 2018, 57, 63.)

2.3 Kaukolämpö

Tässä työssä tarkastellaan kaukolämmön avulla lämmitettävää kohdetta, joten kaukolämpöjärjestelmän toimintaa tutkitaan tarkemmin. Jotta saataisiin kokonaiskäsitys kiinteistöjen energiankulutuksesta, täytyy myös lämpöenergianlähdettä ja sen ominaisuuksia pohtia tarkemmin. Kaukolämpöasiakkaana ei itse pysty vaikuttamaan lämmönlähteen ympäristöystävällisyyteen tai laitoksen hyötysuhteisiin, mutta kiinteistön sisäpuolisten kaukolämpölaitteiden kunnosta kannattaa huolehtia lämmitysjärjestelmän turvallisen ja optimaalisen toiminnan takia.

2.3.1 Toimintaperiaate

Kaukolämpövesi toimitetaan asiakkaalle kaukolämpöyhtiön verkostoa pitkin kohteen alajakokeskukselle. Veden lämpötila vaihtelee 65–115 °C välillä ulkolämpötilan mukaan. Veden kiehuminen ja höyrystyminen putkistossa estetään paineen

avulla. Alajakokeskuksella kaukolämpövesi virtaa lämmönvaihtimen läpi, jossa se luovuttaa lämpöenergiaa kiinteistön lämmitysjärjestelmässä kiertävälle vedelle. Kaukolämpövesi ei siis kulje alajakokeskusta pidemmälle eikä se itsessään lämmitä rakennuksen tiloja. Kaukolämpövesi palaa lämmönvaihtimelta kaukolämpöverkoston ja sitä pitkin takasin tuotantolaitokselle. (Energiateollisuus ry. Kaukolämpöverkkoja yli 15 000 km n.d.)

Oikeanlaisen toiminnan vuoksi veden tulisi jäähtyä lämmönvaihtimella suositeltujen raja-arvojen mukaisesti. Liian vähäinen jäähtymä aiheuttaa energiahukkaa sekä asiakkaalle suurempia kustannuksia kaukolämmön maksuissa. Vähäinen jäähtymä voi johtua esimerkiksi ensiöpuolen, eli kaukolämpöverkoston puolen säätöventtiilien toimimattomuudesta. Paluuveden lämpötila on yleensä noin 35–50 °C välillä. (HELEN Oy n.d.)

Toisiopuoleen kuuluvat rakennuksen omat lämmitysverkostot, joita työn kappaleessa 2.2 käydään läpi. Vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän lisäksi kaukolämpöä voidaan hyödyntää käyttöveden lämmityksessä sekä ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereissa lisäämällä alajakokeskukseen lisää lämmönvaihtimia. Kesäaikana kaukolämpöä käytetään yleensä vain käyttöveden lämmitykseen, jolloin kiinteistön tehontarve on pienimmillään ja kaukolämpöveden lämpötilat myös matalat. (HELEN Oy n.d.)

Kuvassa 3 on opinnäytetyön tutkimuskohteeseen vuonna 2010 uusittu kaukolämmön alajakokeskus.



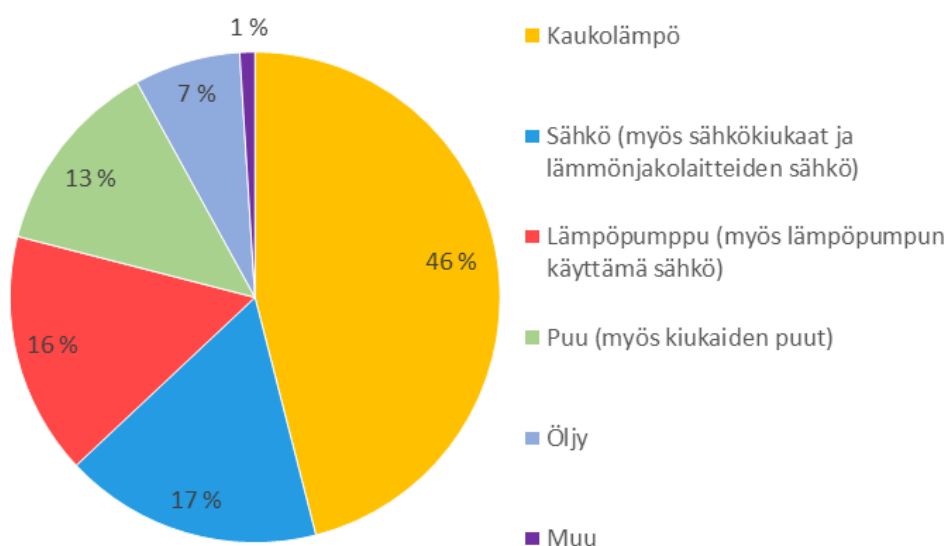
KUVA 3. Tutkimuskohteen kaukolämmön alajakokeskus

2.3.2 Toimitusvarmuus

Kaukolämpövesi usein värjätään, jotta sen mahdolliset vuodot havaitaan järjestelmästä ja jotta se tunnistetaan kaukolämpövedeksi. Kun vesi värjätään, se erotetaan vuototilanteessa paremmin esimerkiksi talousvedestä. Yleisellä tasolla kaukolämmön toimitusvarmuus on hyvin korkealla. Verkostoille suoritetaan vuosittain laajennus-, korjaus- ja huoltotöitä, jolloin kaukolämmön toimitus saatetaan joutua keskeyttämään. Keskimäärin lämmöntoimitus on keskeytyneenä kuitenkin vain 2 tuntia vuodessa kaukolämpöasiakkaalla. Toimintavarmuutta ylläpidetään muun muassa laadunvalvonnan, kunnossapidon sekä kunnon seurannalla. Vikatilanteessakaan toimitus ei välttämättä keskeydy, sillä useimmat kaukolämpöverkostot ovat rakennettu silmukaksi, jolloin kaukolämpövesi voidaan toimittaa putkiston toisesta suunnasta. (Energiateollisuus ry. Kaukolämmön keskeytykset ovat harvinaisia n.d.)

2.3.3 Kaukolämmön osuus

Suomessa kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto ja varsinkin kaupunkialueilla sen osuus kaikista lämmitysmuodoista on merkittävä. Kaikkiaan kaukolämmön osuus asuin- ja palvelurakennusten lämmityksessä vuonna 2019 oli 46 %. Uudisrakennuksissa kerrostaloista 95 % ja toimistorakennuksista 87 % päälämmitysmuotona käytettiin kaukolämpöä. Viimeisen kymmenen vuoden aikana kaukolämmön myynti on kasvanut noin 7 %. Kuviossa 1 on esitettyä asuin- ja palvelurakennusten lämmitysmuotojen osuudet Suomessa vuonna 2019. (Energiateollisuus ry 2020.)

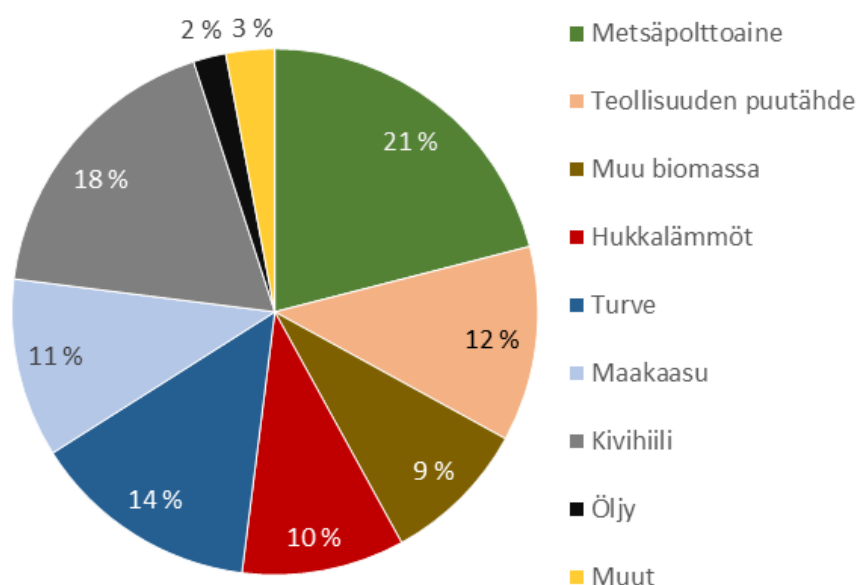


KUVIO 1. Asuin- ja palvelurakennusten lämmityksen markkinaosuudet (Energiateollisuus ry 2020, muokattu)

2.3.4 Kaukolämmön tuotanto

Kaukolämpö mielletään usein toimintavarmaksi, energiatehokkaaksi sekä ympäristöystävälliseksi lämmitysmuodoksi, jotka voivat osaltaan olla syynä kaukolämmön vuosia korkealla olleeseen suosioon. Kaukolämmön tuotantoa kehitetään jatkuvasti ympäristöystävällisemmäksi vähentämällä fossiilisten polttoaineiden käyttöä sekä lisäämällä yhteistuotantoa sähkön tuotannon kanssa. Viimeisen

kymmenen vuoden aikana kaukolämmön tuotannon kokonaispäästöt ovat laske-
neet 34 %. Ympäristöpäästöjen vähentämiseksi kaukolämmön tuotannossa hyö-
dynnetään uusiutuvien energialähteiden lisäksi yhä enemmän hukkalämpöä, jota
saadaan esimerkiksi savukaasuista sekä jäteveden lämpöenergiasta. Kuviosta 2
nähdään, että vuonna 2019 kaukolämmön tuotannossa hyödynnettiin 42 % uu-
siutuvia energialähteitä sekä 10 % hukkalämpöä. Tuotannon uusiutuvia energia-
lähteitä ovat esimerkiksi metsäpolttoaine, teollinen puutähdde sekä yhdyskunta-
jätteen bio-osuus. Kuviossa 2 on esitettynä kaukolämmön tuotannossa käytetty-
jen polttoaineiden osuudet vuonna 2019. (Energiateollisuus ry 2020.)



KUVIO 2. Kaukolämmön tuotannon polttoaineiden osuudet vuonna 2019 (Ener-
giateollisuus ry 2020, muokattu)

2.4 Lämmitysverkosto

Verkosto suunnitellaan ja rakennetaan sellaiseksi, että rakennuksessa toteutuu
vaadittavat sekä haluttavat olosuhteet koskien asukkaiden tai työntekijöiden ter-
veyttä, viihtyvyyttä ja lämpöoloja. Järjestelmä rakennetaan myös mahdollisim-
man energiatehokkaaksi ottaen huomioon rakennuksen koon, rakennusmateria-
alit sekä käyttötarkoituksen. (LVI 12-10343, 2.)

Toimiakseen vaatimusten mukaisesti, verkoston laitteiden ja osien on oltava toimivia, tarkoituksenmukaisia sekä oikein mitoitettuja. Eri lämmitysmuotojen yhteydessä verkostossa voidaan tarvita erilaisia laitteita, mutta pääasiassa vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä tärkeimmät osat ovat keskenään samoja tai toiminnaltaan samankaltaisia (Auranen 2010, 16).

2.4.1 Lämmönjako

Vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä vaatii putkiverkoston, jota pitkin lämmitysvettä ja lämpöenergiaa voidaan kierrättää tiloissa. Lämmönjakoa varten rakennetaan suljettu piiri, jossa kiertää pumpun avulla jatkuvasti sama lämmitysvesi lämmityksen ollessa päällä. Lämmönjakoverkoston putkia kutsutaan joko meno- tai paluujohtoiksi riippuen siitä, onko lämmitysvesi menossa vai tulossa huonelaitteilta. Koska lämmityspiiri on suljettu, lämmitysvesi ei vaihdu muulloin, kuin esimerkiksi huollon yhteydessä. Lämmitysveden vaihtuessa harvoin, liikkuu sen mukana usein epäpuhtauksia ja siitä voi lähteä pahaa hajua esimerkiksi verkostoa ilmatessa. (Seppänen 2001, 119–124.) Vesikiertoisista lämmitysjärjestelmistä yleisin lämmönjakotapa on kaksiputkinen patterilämmitys (LVI 19-10399, 1).

Verkosto on suunniteltava ja rakennettava kestäväksi suuria lämpötiloja sekä vesivirtauksen kulutusta ja paineen vaihtelua. Lämpötilan vaihtelut aiheuttavat lämpölaajenemista putkistoissa, mikä tulee ottaa huomioon muassa kannakoinnissa huomioon. Putkien materiaalin pitäisi olla happidiffuusiosuojattua, jotta lämmitysveteen ei pääsisi happea. Happirikas vesi aiheuttaa verkostossa ja laitteissa korroosiota, joka puolestaan voi aiheuttaa vuotoja, ennenaikaisia rikkoutumisia sekä tukoksia järjestelmässä. Yleensä putkiverkosto rakennetaan teräksestä, mutta myös esimerkiksi komposiittia, muovia ja kuparia käytetään lämmitysputkissa. (LVI 12-10343, 8–9.)

Vesikiertoisen lämmitysverkoston ilmaus voidaan toteuttaa esimerkiksi automaattisesti toimivilla ilmauslaitteilla ja huonelaitteiden ilmausruuveilla. Verkostoon voidaan liittää myös väliaikainen ilmauslaite esimerkiksi huollon yhteydessä.

(Korkala 2018, 103–105.) Ilmaus on tärkeää verkoston toimivuuden ja veden esteettömän kierron kannalta, sillä ilma lämmitysjärjestelmässä voi aiheuttaa useita eri ongelmia, joista kerrotaan työssä enemmän kappaleessa 4.2.

2.4.2 Lämmönluovutus

Perinteisesti vesikiertoisissa lämmitysjärjestelmissä on käytetty lämmityspattereita, joissa lämmitysvesi kierrätetään. Lämmityspatterit ovat yleisimpiä lämmönluovuttimia vanhoissa taloissa sekä kerrostaloissa. (LVI 19-10399, 7.) Nykypäivänä vesikiertoiset lattialämmitykset ovat nousseet suosioon ja niitä suunnitellaankin jatkuvasti enemmän myös esimerkiksi kerrostaloihin (Korkala 2018, 21).

Pattereiden ja lattialämmityksen lisäksi voidaan käyttää erilaisia vesikiertoisia konvektoreita tai vesikiertoon perustuvia ilmalämmityslaitteita. Näiden lisäksi esimerkiksi suurissa ja korkeissa tiloissa voidaan käyttää vesikiertoisia kattosäteilijöitä. Usein vesikiertoisissa lämmitysjärjestelmissä on käytetty putkipattereita märkätiloissa. (LVI 12-10343, 6.)

Pattereiden, eli radiaattoreiden toiminta perustuu ilman konvektioon ja tästä syystä radiaattorit sijoitetaan yleensä ikkunoiden alle. Ikkunat aiheuttavat lämpöhäviöitä ja sisäilman kylmenemistä ikkunoiden kohdalla, jolloin kylmempi ja painavampi ilma valuu lattiaa kohti. Koska radiaattori on asennettu ikkunan alle, lämpenee kylmä ilma patterilta nousevan lämpimän ilman avulla. Lämmennyt ilma jatkaa nousuaan kohti kattoa ja tämä muodostaa huonetilaan jatkuvan pyörivän ilman virtauksen. Konvektion lisäksi radiaattorin pinta säteilee suoraan tilaan lämpöä. Radiaattoreiden lämmönluovutusala on yleensä maksimoitu aaltomaisella muotoilulla sekä mahdollisilla konvektiolevyillä. (Korkala 2018, 22–24.)

Konvektorit toimivat käytännössä samalla periaatteella kuin radiaattorit. Nämä ovat yleensä tarkoitettu esimerkiksi isojen ikkunoiden alle, johon ei muuten olisi tilaa asentaa normaalia radiaattoria. Konvektorit ovat siis matalia mutta yleensä isompia syvyydeltään ja niiden ulkoinen lämmönluovutusala on suurempi kuin sisäpuolinen vesipinta-ala. Konvektorit voidaan asentaa myös lattian sisään, jos

esimerkiksi ikkuna ulottuu lattiaan asti tai lämmitin halutaan lasioven eteen. Tällöin konvektorin päälle asennetaan ritilä lattiatasoon, josta ilma pääsee liikkumaan esteittä. (LVI 12-10343, 6–7.)

Vesikiertoinen lattialämmitys on suosittua nykypäivänä muun muassa tilan säästön, estetiikan, sekä matalien veden mitoituslämpötilojen ansiosta. Lattialämmityspiiri rakennetaan yleensä muoviputkesta ja se jää kokonaisuudessaan lattian alle. Piirit liitetään jakotukkiin, josta pystytään suorittamaan esimerkiksi tehojen ja virtaamien säätö. Lattialämmitystä käytetään usein myös kesäisin märkätiloissa, koska se auttaa kuivaamaan lattialla mahdollisesti seisovan veden nopeammin. Lattialämpö sekä säteilee ja johtuu tilaan, että lämmittää lattiatasolle laskeutuvaa kylmempää ilmaa. Lattialämmitystä voidaan pitää myös yhtenä asumismukavuuden tekijänä, sillä lämmin lattia on miellyttävä jalkojen alla ja se vähentää vedon tunnetta nilkkojen korkeudella. (LVI 13-10261, 1–2, 7.)

Kuvassa 1 on esitettyä erään uudisrakennuksen huoneiston lattialämmityspiirin asennus raudoitukseen ennen pintavalutöiden tekoa.



KUVA 1. Lattialämmityspiiri asennettuna uudisrakennuskohteen huoneistoon

Teollisuudessa täytyy usein lämmittää suuria tiloja ja halleja, jolloin käytetään esimerkiksi ilmalämmitystä tai kattosäteilijöitä. Ilmalämmityksessä voidaan hyödyntää vesikiertoista lämmitystapaa, jolloin vesipatteri lämmittää tilaan puhallettavan ilman. Vesikiertoisista kattosäteilijöistä on taas hyötyä tilanhallinnassa. Säteilijät lämmittävät tilaa tasaisesti ja tehokkaasti, mutta eivät vie esimerkiksi hallin seiniltä tilaa ollessaan asennettuna kattoon. (Motiva Oy 2012, 10–11.)

2.4.3 Muut järjestelmän osat

Vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään kuuluu paljon muitakin tärkeitä osia, joiden merkityksenä on tehdä järjestelmästä toimiva ja suunnitelmien mukainen. Näitä osia ovat esimerkiksi kiertovesipumppu, varo- ja paisuntalaitteet, säätö-, sekoitus- ja sulkuventtiilit sekä termostaatit ja ilmauslaitteet. (Auranen 2010, 17.)

Kiertovesipumpun tarkoituksena on luoda tarvittava paine putkistoon, jotta lämmitysvesi liikkuisi suunnitellulla virtaamalla myös huonelaitteiden läpi. Tarvittava paine määräytyy verkoston painehäviöistä. (LVI 19-10399, 6.) Näitä häviöitä aiheuttavat muun muassa lämmönvaihtimet, putkistolaitteet sekä lämmönluovuttimet. Lämmitysjärjestelmän pumput saattavat olla päällä jatkuvasti, joten niiden tulee kestää rasitusta sekä olla mahdollisimman energiatehokkaita. Pumpua voidaan ohjata taajuusmuuttajalla, jolloin sen pyörimisnopeuden säätö on portaatonta ja näin saadaan optimoitua pumpun käynti sopivaksi juuri tietylle järjestelmälle. Pumpun pyörimisnopeutta voidaan sen lisäksi ohjata mahdollisten painehäviöiden muutosten mukaan automaattisesti, jolloin pumppu pitää siis paineen mahdollisimman vakiona ja suunnitellun mukaisena. (Auranen 2010, 67.)

Vesikiertoisiin lämmitysjärjestelmiin asennetaan aina paisunta-astia sekä varolaitte tai useampia varolaitteita. Paisunta-astian tehtävä on hallita veden tilavuuden muutokset suljetussa järjestelmässä. Veden tilavuus muuttuu sen lämpötilan muutoksen yhteydessä, jolloin verkostossa oleva vesi paisuu tai kutistuu. Paisunta-astia ottaa hallitusti esimerkiksi kalvon ja säiliön kaasujen avulla veden tilavuuden muutokset vastaan. Kun vesi lämpenee, sen tilavuus kasvaa, jolloin paisunta-astian kalvo antaa periksi säiliön kaasun puristuessa kasaan ja näin päästää laajenneen veden säiliöön. Kun taas vesi jäähtyy, työntää kalvon toisella

puolella oleva puristettu kaasu säiliön veden takaisin järjestelmään. (Korkala 2018, 98.)

Paisuntajärjestelmä vaatii myös varoventtiilin, josta yleensä vietään putki lähimpään lattiakaivoon tai muuhun näkyvään viemäröintipisteeseen. Varoventtiili aukeaa, jos järjestelmän paine nousee yli sallitun määrän. Tällöin varoventtiili päästää järjestelmästä hetkellisesti ylipainetta ja vettä ulos. Vuodon on tärkeää olla myös näkyvillä, jotta ylipaineeseen osataan reagoida ja ongelmaa voidaan alkaa selvittää. Varoventtiilin avautumispaine valitaan järjestelmän osien perusteella. Avautumispaine tulee olla pienempi, kuin suurin sallittu käyttöpaine millään järjestelmän osalla. Tämä suojaa osia ja laitteita rikkoutumiselta ongelmatilanteissa. (Korkala 2018, 101.)

Kuvassa 2 on esitettyä erään vanhan kerrostalokohteen lämmitysjärjestelmän paisunta-astia sekä varoventtiili.



KUVA 2. Vanhan kerrostalokohteen paisunta-astia sekä varoventtiili

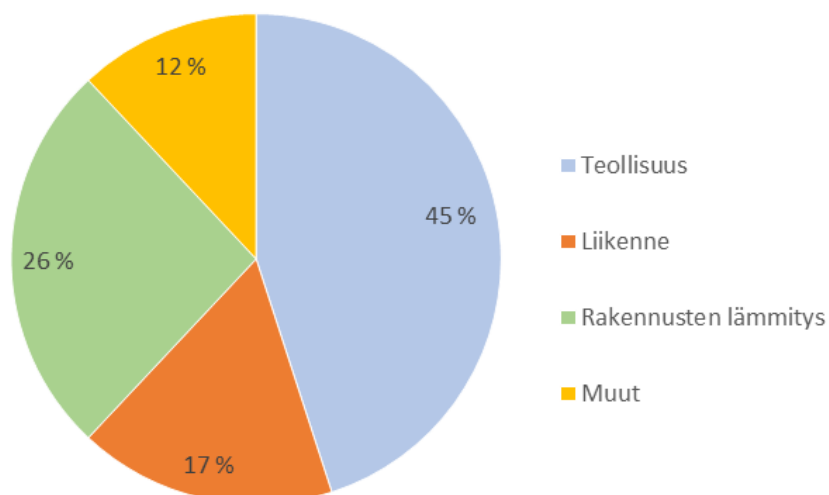
3 ENERGIATEHOKKUUS

Energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys tulevat termeinä esiin varsinkin tekniikan aloilla usein ja ne ovatkin isossa roolissa monilla aloilla sekä eri sektoreilla. Energian puhtaalla tuotannolla sekä mahdollisimman pienellä kulutuksella pyritään hidastamaan ilmaston lämpenemistä. Varsinkin rakennusteollisuudessa, rakennetussa ympäristössä sekä nykyisessä rakennuskannassa on parantamisen varaa. Nykyisin uudisrakentamiseen sekä korjausrakentamiseen löytyy jo säädöksiä, jotka ohjaavat rakennuskantaa uudistumaan kohti energiatehokkaampaa kokonaisuutta. Säädökset koskevat sekä rakennusmateriaaleja ja rakennustapaa, että rakennuksen laitteita. Molemmat osa-alueet ovat tärkeässä roolissa suunniteltaessa energiatehokasta rakennusta. Uudisrakentamisessa edetäänkin jatkuvasti kohti nollaenergiarakentamista, jolla pyritään alentamaan kokonaisenergiankulusta rakennetussa ympäristössä. Nollaenergiarakentamisessa kiinteistö tuottaa saman verran tai lähes saman verran energiaa kuin se kuluttaa sitä. Tämän lisäksi keskitytään käyttämään uusiutuvia ja ympäristöystävällisiä energiänlähteitä, kuten aurinkoenergiaa ja maalämpöä. (Rakennusteollisuus RT ry n.d.)

3.1 Nykyinen energiankulutus

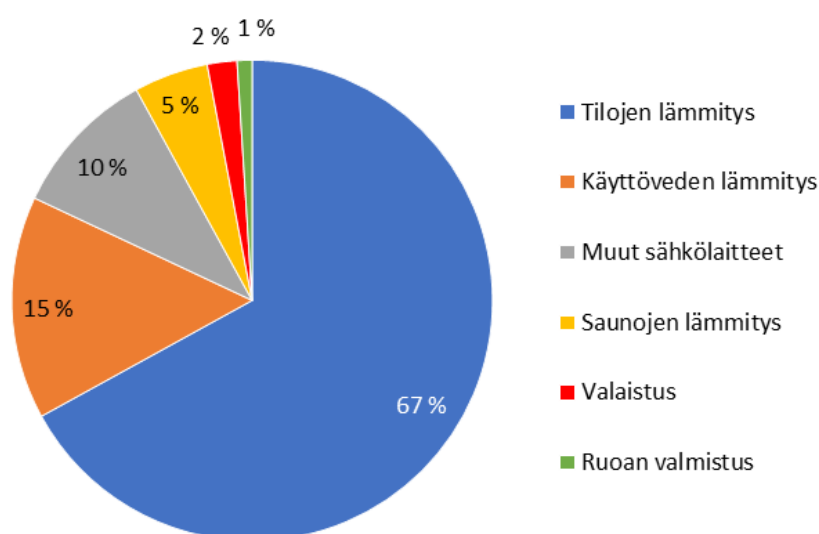
Rakennusten lämmitykseen kuluu merkittävä osa energiaa Suomessa kylmän ilmaston takia, jonka johdosta myös kulutus vaihtelee jonkin verran vuosien välillä riippuen ulkolämpötiloista. Energian kokonaiskulutus Suomessa oli 378 TWh vuonna 2019, joka oli noin 1,3 % vähemmän kuin vuonna 2018 (Motiva Oy. Energian kokonaiskulutus 2020).

Energian loppukäytön, eli siirto- ja muuntohäviöiden jälkeen käyttöön jääneen energian määrä oli yhteensä noin 298 TWh vuonna 2019. Kuviosta 3 nähdään, että rakennusten lämmitykseen kulunut energia vuonna 2019 oli päälle neljäsosan koko Suomen energiankulutuksesta. (Motiva Oy. Energian loppukäyttö 2020.)



KUVIO 3. Suomen energiankulutuksen osuudet sektoreittain 2019 (Motiva Oy. Energian loppukäyttö 2020, muokattu)

Asumisen energiankulutuksesta suurin osa kuluu tilojen lämmitykseen Suomessa. Kaikkiaan asumiseen kului Tilastokeskuksen (2020) mukaan noin 65 TWh, joka on yli 20 % koko Suomen energian loppukäytöstä. Kuviosta 4 nähdään, että asuinrakennusten tilojen lämmityksen osuus oli 67 % asumisen energiankulutuksesta, joka tarkoittaa yli 43 TWh kulutusta vuodessa. (Tilastokeskus 2020.)



KUVIO 4. Asuinrakennusten energiankulutusten osuudet käyttökohteiden mukaan 2019 (Tilastokeskus 2020, muokattu)

Erilaisten rakennusten lämmitysjärjestelmät kuluttavat siis merkittävästi energiaa Suomessa. Tätä varten myös Rakennusteollisuus RT ry (n.d.) artikkelissa kirjoitetaan rakennetun ympäristön energiatehokkuuden parantamisesta. Artikkelissa mainitaan, että talotekniset järjestelmät ovat iso tekijä rakennusten energiankulutuksessa ja että niiden lisäksi tämänhetkissä sekä tulevaisuudessa energiamääräyksissä tulisi ottaa huomioon kiinteistöjen oikeaoppinen käyttö sekä huolto. (Rakennusteollisuus RT ry n.d.)

3.2 Energiatehokkuuden säädökset

Rakentamismääräyskokoelmassa on säädöksiä sekä uudisrakentamiselle että korjaus- ja muutostöihin liittyen. Näistä energiatehokkuuteen liittyvät asetukset sekä määräykset koskevat rakentamisen materiaaleja, suunnittelua, taloteknisiä järjestelmiä sekä mittaus- ja säätöjärjestelmiä. Kaikissa näissä rakennuksen osaluissa tulee ottaa huomioon energian sekä luonnonvarojen säästeliäs kulutus. (Ympäristöministeriö n.d.) Energiatehokkuuden säädöksiä käydään työssä läpi rakennusten lämmitysjärjestelmien osalta.

3.2.1 Kattiloiden hyötysuhdevaatimukset

Vuonna 1997 annetuissa määräyksissä säädetään nestemäisiä ja kaasumaisia polttoaineita käyttävien kuumavesikattiloiden hyötysuhteet ja niiden vähimmäisvaatimukset. Määräykset koskevat 4–400 kW nimellisteholtaan olevia uusia kattiloita. Nimellisteho tarkoittaa siis kattilan suurinta tuoton lämpötehoa, jolla valmistajan ilmoittama hyötysuhde toteutuu jatkuvassa käytössä. Määräyksiin mukaan ei kuitenkaan lukeudu esimerkiksi kiinteiden polttoaineiden kattilat tai yksittäisinä kappaleina valmistetut kattilat. Hyötysuhde esitetään prosenttilukuna ja se kuvaa kattilaveteen siirtyneen lämpötehon ja siihen vaaditun polttoainetehon suhdetta. Polttoaineteho saadaan määriteltäessä polttoaineen lämpöarvon sekä polttoaineen virtausnopeuden avulla. (D7/1997.)

Hyötysuhdevaatimukset ovat esitetty kattiloiden normaalikäytölle, jolloin kattilaveden keskilämpötila on 70 °C, sekä erikseen myös kattilaa käytettäessä 30 % osateholla. Osateholla käydessään, kattilan teho on alhaisempi kuin nimellisteho ja osatehoa kuvaava prosentti tarkoittaa tämän käyntitehon ja nimellistehon suhdetta. Kattiloissa voidaan käyttää omaa merkintäjärjestelmää, joka kertoo sen energiatehokkuuden tason. Kattiloissa täytyy myös olla CE-merkintä, jolla varmistetaan vaatimusten mukaisuus. (D7/1997.)

3.2.2 Tekniset järjestelmät

Lämmitysjärjestelmiin on asennettava itsesäätyvät ohjauslaitteet sekä uudessa rakennuksessa, että lämmitysjärjestelmän vaihto- ja muutostöissä. Itsesäätyvien laitteiden tulee toimia joko omalla alueellaan erikseen tai useammalla alueella, jossa on samanlaiset sisäolosuhteet vaatimukset. Automaatio ja ohjausjärjestelmä ohjaa sekä valvoo kiinteistön kokonaisenergiankulutusta, joten se on energiatehokkuuden kannalta tärkeässä roolissa. Järjestelmä on suunniteltava niin, että sillä pystytään optimoimaan energiatehokkuus rakennuksessa hyvästä sisäilmastosta tinkimättä. Energiankäytön optimoinnin tärkeä tekijä on suunnitteluvaiheessa toteutettu tarkka mitoitus. Mitoituksessa rakennusta tulisi tarkastella kokonaisuutena, jolloin voidaan ottaa huomioon esimerkiksi erilaiset energiansäästömahdollisuudet. (718/2020.)

Järjestelmien asentamisesta sekä käyttöönotosta tulee tehdä selvitykset koskien automaatio- ja ohjausjärjestelmien suunnitelmanmukaisuutta sekä toimintaa. Selvitykset tulee olla osana rakennuksen tarkastusasiakirjaa ja siitä huolehtii kyseisen järjestelmän rakennusvaiheen vastuhenkilö. Järjestelmien tulee toimia rakennuksen käyttötarkoituksen sekä käyttäjäryhmien edellyttämällä tavalla. Energiankäyttöä tulee siis voida seurata mahdollisten poikkeamien varalta ja sen tulee olla helppokäyttöistä. (718/2020.)

3.2.3 Kokonaisenergiatarkastelu

Uudisrakennukset suunnitellaan mahdollisimman energiatehokkaiksi ja tämän tehokkuuden vertailuluvulle, eli E-luvulle on määritelty tietyt raja-arvot. E-luku kertoo ostoenergiankulutuksen rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden vuodessa, jossa on myös otettu huomioon energiamuotojen kertoimet. E-luvun raja-arvot riippuvat kohteen käyttötarkoituksluokasta, eli onko kyseessä esimerkiksi pientalo, kerrostalo vai toimistorakennus. E-luvun laskeminen perustuu vakioituun käyttöön, joten eri rakennusten välisiä energiatehokkuuden eroja voidaan näin vertailla. Laskemisessa käytetään myös säävyöhykkeen 1 säätietoja kaikkien rakennusten E-lukua laskettaessa. (1010/2017.)

E-luvun laskenta on osa uuden rakennuksen energiaselvitystä, joka tulee laatia aina suunnitteluvaiheessa. Selvitykseen kuuluvat E-luvun laskennan lisäksi rakenteiden energiatehokkuusvaatimusten selvitys, kesäaikainen laskennallinen huonelämpötila sekä energiatodistus. Energiatehokkuuden laskentaan vaikuttaa isona osana lämmitysjärjestelmä, sillä se kuluttaa rakennuksissa suuria määriä energiaa. Ostoenergian laskennallista kulutusta saadaan madallettua esimerkiksi lämpöpumpuilla, jotka ottavat ympäristöstä energiaa lämmityskäyttöön. Ostoenergiaa madaltamalla saadaan rakennukselle myös parempi E-luku. Lämmitysjärjestelmän laskennallista energiatehokkuutta voidaan parantaa myös käyttämällä pienemmällä energiamuodon kertoimella olevaa energianlähdettä. (1010/2017.)

3.2.4 Korjaus- ja muutosrakentaminen

Kun tehdään rakennusluvan varaista korjaus- tai muutostyötä, on usein myös parannettava samalla rakennuksen energiatehokkuutta. Energiatehokkuuden parantamisen velvollisuus ei koske tiettyjä rakennustyyppisiä tai käyttötarkoituksen kohteita. Hankkeeseen ryhtyvän on suunniteltava energianparannuksen toimenpiteet rakennusluvan suunnitelmien yhteyteen ja energiatehokkuuden parantaminen voi koostua useasta eri toimenpiteestä yhteisvaikutuksena. Toimenpiteiden energialaskennassa sovelletaan samaa tapaa arvioida energiatehokkuuden pa-

rantamista, kuin rakennusten energiatehokkuuden laskuissa Ympäristöministeriön asetuksessa (2/11) rakennusten energiatehokkuudesta. Energiankulutukselle sekä E-luvulle on tietyt vaatimukset rakennusluokittain, joiden tulee täytyä energianparannuksen jälkeen. (4/13.)

Lämmitysjärjestelmien osien ja laitteiden uusimisen yhteydessä on parannettava uusittavilta osin järjestelmien hyötysuhdetta. Hyötysuhteille on esitetty eri vaatimuksia esimerkiksi lämmöntuoton ja lämmönjaon välille sekä lämpöpumpun ja lämmönjaon välille. Näiden hyötysuhteiden välinen suhde lasketaan järjestelmien vuosihyötysuhteiden avulla. Lämpöpumpussa käytetään SPF-lukua, joka on keskimääräinen lämpöpumpulla vuodessa saatu lämpöenergia käytettyä sähköenergiaa kohden. Uusimisen jälkeen lämmitysjärjestelmän toiminta, tasapainotus ja säätö täytyy varmistaa. (2/17.)

3.3 Vesikiertoinen järjestelmä

Lämpöhäviöt sekä säätöjen epätarkkuudet voivat vaikuttaa negatiivisesti vesikiertoisten lämmitysjärjestelmien energiatehokkuuteen. Lämpöhäviöitä tulee lämmönjakoverkoston lämpöenergian siirrosta sekä vesivaraajien käytöstä. Jakoverkostossa häviöt ovat noin 15 % siitä lämpöenergiamäärästä, joka verkostoa pitkin siirretään. Pientalon lämminvesivaraajassa lämpöhäviöiden määrä voi olla vuodessa 1000–2500 kWh ja isommissa varaajissa vielä enemmän. Lämpöenergian hukkaa voi tulla myös yllämmittämisestä, joka voi johtua esimerkiksi termostaattien säädön epätarkkuudesta. Varsinkin lattialämmitys on varaavuutensa takia hitaasti reagoiva lämmönluovutustapa ja säätö voi näin olla epätarkkaa. (Energiatehokas koti. Vesikiertoinen vai kuiva lämmönjakojärjestelmä? n.d.)

Vesikiertoinen lattialämmitys yhdistettynä lämpöpumpputeknologialla tuotettuun lämpöenergiaan on energiatehokas lämmitysjärjestelmä. Koska lattialämmityspiirit ovat asennettu koko tilan alalle, on viihtyisyyslämpötila saavutettavissa matalammalla huoneen keskiarvolämpötilalla. Lattialämmityksen kiertovesi on yleensä lämpötilaltaan myös matalammalla kuin patterikierron vesi, jolloin myös lämpöhäviöitä tapahtuu vähemmän ja lämmitysvesi voidaan tuottaa kokonaan esimerkiksi maalämpöpumpulla. (Korkala 2018, 21, 60.)

Vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän energiatehokkuuden kannalta yksi tärkeimpiä tekijöitä on mitoitus, eli verkostossa liikkuvan veden virtaama sekä lämpötila, joka määrää lämmityksen tehon sisätilaan. Toinen tärkeä tekijä on mitoituksen toteutuminen, eli verkoston säätö ja toiminta. Lisäksi lämpöhäviöiden minimointia varten verkoston sekä rakenteiden lämmöneristys vaikuttaa oleellisesti kulutukseen. (Ympäristöhallinto 2016.)

4 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN HUOLTO JA PARANNUS

Lämmitysjärjestelmän kunnossapito ja seuranta vaikuttavat sekä järjestelmän käyttöikäen että energiankulutukseen. Huoltotoimenpiteillä voidaan varmistaa laitteiden ja putkistojen suunniteltu tekninen käyttöikä, jolloin linjasaneerauksen tarve ei tule mahdollisesti niin nopeasti ajankohtaiseksi pientalossa tai taloyhtiössä. Säännöllisellä kunnossapidolla vältytään myös ennakoimattomilta käyttökatkoksilta ja parhaimmassa tapauksessa myös vesivahingoilta. Kulutuksen seuranta ja huoltotoimenpiteet voivat säästää myös asukkaiden ja taloyhtiön lämmityksen kustannuksissa. (LVI 19-10399, 2.) Huoltotoimenpiteistä ja niiden vaikutuksista kerrotaan työssä kaukolämmitteisen kerrostalon vesikiertoisien lämmitysjärjestelmän osalta.

4.1 Taloautomaatio

Rakennettaessa energiatehokasta ja älykästä lämmitysjärjestelmää, tarvitaan kattava automaatiojärjestelmä. Rakennuksen automaatiojärjestelmä toimii lämmitysjärjestelmän ohjaajana ja valvojana, ja sillä pystytään sekä optimoimaan lämmitysjärjestelmän tehokas toiminta että seuraamaan kulutusta ja mahdollisia ongelmia. Kiinteistön lämmityksen tarve riippuu aina ympärillä vallitsevista olosuhteista, joten myös järjestelmän tulisi olla tarpeenmukaisesti säätävä. (Energiatehokas koti. Taloautomaatio n.d.)

4.1.1 Toimenpiteet

Säätö voi perustua sekä ulkolämpötilan että sisälämpötilojen mittaukseen, jolloin lämmitysjärjestelmä pitää tilojen lämpötilan suunnitelluissa arvoissa. Sisätilojen lämpötilamittaukseen perustuvalla järjestelmällä pystytään vähentämään ja estämään tilojen yllilämmittämistä, joka puolestaan vaikuttaa taas energiankäyttöön. Lisäksi lämmitysjärjestelmän ohjaukseen voidaan määrittää aikaohjelmia tai

energian hintaan perustuvia käytön ohjauksia. Aikahjauksilla voidaan esimerkiksi muuttaa lämmityksen määrää vuorokaudenajan, läsnäolon tai käyttöajan mukaan. (Energiatehokas koti. Taloautomaatio n.d.)

Vesikiertoista patteriverkostoa pystytään ohjaamaan lämpötilan ja pumpun säädön lisäksi patteri- tai piirikohtaisesti. Tämä kuitenkin vaatii sähköisen toimilaitteen jokaiseen ohjattavaan piiriin. Vesivuotojen ja lämpötilaan liittyvien hälytysten seuraamiseen tarvitaan myös lämmitysjärjestelmään omat anturit. Vuotoja voidaan havaita esimerkiksi teippiantureiden avulla, jotka lähettävät hälytyssignaalin valvontakeskukseen. (Energiatehokas koti. Taloautomaatio n.d.)

Automatiikasta huolimatta yleensä suositellaan pitämään kaukolämmityksessä kesäsulku kiinni lämmityskauden ulkopuolella. Kesäisin voi olla viileitä öitä, jolloin ulkolämpötilan mittaukseen perustuva lämmitys voi aiheuttaa turhaa lämmittämistä ja lämpöenergian kulutusta. Rakennuksen rakenteisiin päiväsaikaan varautuneen lämpöenergian takia lämmitystä ei yleensä tarvita. Uusien säätimien järjestelmissä tätä kuitenkin tapahtuu melko harvoin, jolloin pelkkään automaatioonkin voidaan luottaa. (Korkala 2018, 92.)

4.1.2 Vaikutukset

Ylimääräinen lämmitys on energian tuhlausta, jonka eliminoiminen laskee lämmityksestä aiheutuvia kustannuksia. Kattavalla automaatiojärjestelmällä pystytään optimoimaan lämmitysjärjestelmän energiankäyttö ja säätämään lämmitysjärjestelmän toimintaa tarpeen mukaan. Tällöin energiansäästön lisäksi pystytään luomaan asukkaille paremmat ja vakaammat lämpöolosuhteet sisätiloihin, kun yllälämmitystä ei tapahdu ja sisälämpötilat eivät vaihtele niin paljoa. Automaatiojärjestelmällä pystytään ennakoimaan myös ulkopuolisten olosuhteiden muutokset säätietojen avulla, jolloin lämmitysjärjestelmää voidaan jo etukäteen kytkeä tuottamaan enemmän lämpöä tiloihin. Ennakoinnilla voidaan päästä vakaampiin sisälämpötiloihin, vaikka ulkolämpötilat vaihtelisivatkin paljon ja nopeasti. (Energiatehokas koti. Taloautomaatio n.d.)

Sisäolosuhteiden lisäksi automaatiolla pystytään seuraamaan ja valvomaan järjestelmän toimintaa. Kulutuksen seurannalla voidaan löytää esimerkiksi ongelmakohtia, jotka vaikuttavat energiatehokkuuteen. Tärkeää on myös valvonta ja etäohjaus, sillä järjestelmään tuleviin hälytyksiin tulee reagoida nopeasti, jotta vältetään suuremmilta vahingoilta. Hälytyksiä voi tulla esimerkiksi vesivuodosta tai kiertovesipumpun pysähtymisestä. Jos etävalvontaa ei järjestelmään ole kytketty, ongelmat ilmenevät vasta paikan päällä lämmönjakokeskuksen ohjauslaitteelta. (Energiatehokas koti. Taloautomaatio n.d.)

Taloautomaatiojärjestelmään voi liittyä myös sähköinen huoltokirja, joka auttaa esimerkiksi vaihtuvaa käyttäjää tai omistajaa pysymään tietoisena rakennukselle tehdyistä toimenpiteistä. Huoltokirjaan voidaan tallentaa kaikki järjestelmän vika-tilanteet ja niiden huoltotoimenpiteet sekä asettaa esimerkiksi muistutuksia tulevista huolloista, puhdistamisista tai esimerkiksi käyttöikänsä päähän tulleista laitteista. Huoltokirjaan on hyvä myös tallentaa kaikki teknisiin järjestelmiin liittyvät dokumentit. (Energiatehokas koti. Taloautomaatio n.d.)

4.2 Ilmanpoisto

Vesikiertoisiin verkostoihin pääsee aina ilmaa esimerkiksi huollon tai verkoston täytön yhteydessä. Täyttö tapahtuu yleensä happipitoisella vesijohtovedellä, jonka takia verkostoon kertyy silloin myös ilmaa. Ilmaa voi päästä verkostoon myös putkiliitoksista ja diffusoitumalla muoviputkien ja tiivisteiden läpi. Ilma tulee tällöin poistaa verkostosta mahdollisimman perusteellisesti, sillä se voi aiheuttaa äänihaittoja, sisäpuolista korroosiota sekä ongelmia veden kiertoon. Ylimääräiset äänet ovat usein pattereista tai putkista kuuluvat lorina- tai tiputusäänet. Äänien lisäksi ilmakuplat tai -taskut voivat aiheuttaa veden virtauksen estymisen kokonaan, jolloin jokin verkoston osa ei mahdollisesti lämpene ollenkaan. Ilmassa oleva happi aiheuttaa teräsputkien sisäpuolista korroosiota, joten se heikentää putkien käyttöikää. Korroosion vuoksi putkien sisäpinnoista irtoaa myös epäpuhtauksia, jotka voivat tukkia venttiilejä tai kertyessään heikentää lämmönluovuttimien tehokkuutta. (LVI 19-10399, 7.)

Yleisin lämmitysverkoston happipitoisen veden aiheuttaja on Aurasen (2010) mukaan kalvopaisunta-astian virheellinen toiminta tai liian pieni astian käyttöpaine. Usein toiminnan virheellisyys esiintyy matalassa, yksikerroksisessa rakennuksessa, jossa patteriverkoston lämmönjakoputkisto on toteutettu yläjakoisena. Tällöin paisunta-astian tilavuus ei joissain tapauksissa riitä kompensoimaan jäähtynyttä, tilavuudeltaan pienenevää vettä verkostossa, jolloin verkoston yläosiin voi syntyä alipainetta ja ilmaa päästä avonaisista ilmanpoistimista verkostoon. Putkistoon päässyt ilma hapettaa vettä. Haitta johtuu siis pääosin alimitoitetusta paisunta-astiasta. (Auranen 2010, 99.)

4.2.1 Toimenpiteet

Ilmaa voidaan poistaa sekä manuaalisesti että automaattisesti. Verkostossa oleva ilma kertyy yleensä sen korkeimpiin kohtiin ja korkeimmalla oleviin radiaattoreihin. Ilma voi myös muodostaa ilmapusseja putkiston mutkakohtiin. Verkoston ylimpiin kohtiin asennetaan erilliset ilmanpoistimet, jos muuta mahdollista ilmauslaitetta ei järjestelmässä ylimmässä kohdassa ole. Ilmanpoistin asennetaan myös lämmönlähteen yhteyteen. Perusteellinen ilmanpoisto kaukolämmitetyssä kohteessa tehdään manuaalisesti asettamalla ensiöpuolen säätöventtiili auki, jonka jälkeen verkoston lämpötila nostetaan maksimiinsa tai enintään 80 °C. Lämpötila pidetään korkealla noin neljä tuntia ja pumppu pysäytetään. Tämän jälkeen ilmaan verkosto ilmanpoistimista ja radiaattorit ilmausruuveista. Toimenpiteet tulisi tehdä kaksi kertaa kahden viikon välein ja samalla puhdistetaan mahdolliset mudanerottimet ja sivuvirtasuodattimet. (Korkala 2018, 103–104.)

Kuvassa 4 on esitettyä erään kohteen vanhan mallinen ilmanpoistoruuvi patterissa.



KUVA 4. Vanhan mallinen patterin ilmausruuvi

Ilmanpoisto voidaan toteuttaa myös automaattisilla ilmanpoistimilla. Tällöin ilmauslaitteet poistavat ilmaa verkostosta ilman ihmisen tekemiä toimenpiteitä. Automaattisia laitteita on sekä järjestelmään kiinteästi asennettavia että tilapäisiä laitteita. Tilapäisiä laitteita käytetään esimerkiksi huollon takia tehtävän verkoston täytön yhteydessä. Automaattisia ilmanpoistimia käytetään lämmönjakohuoneessa, mutta verkostoon voidaan asentaa kiinteästi myös mekaanisesti toimivia ilmanpoistokelloja, jotka poistavat myös automaattisesti ilmaa verkostosta. Kuvassa 5 on esitettynä mekaaninen ilmanpoistokello. (Korkala 2018, 105–107.)



KUVA 5. Ilmanpoistokello (Korkala 2018, 107)

4.2.2 Vaikutukset

Ilma verkostossa voi aiheuttaa pattereiden huonoa lämpenemistä ja veden virtauksen estymistä verkostossa, jolloin lämmitysjärjestelmän toiminta ei ole optimaalista. Järjestelmään ei myöskään voida tehdä tarkkaa perussäätöä, mikäli verkostossa oleva ilma häiritsee sen toimintaa. Kun lämmitys ei toimi optimaalisesti ja säädöiltään tarkasti, energiatehokkuus ja asukkaiden viihtyvyys kärsivät. (LVI 19-10399, 5, 7.) Lämmitysjärjestelmän optimaalisen toiminnan vaikutuksista kerrotaan tarkemmin työn kappaleessa 4.6.2.

Lämmitysverkoston veden mukana kulkeva happi aiheuttaa sähkökemiallista korroosiota teräksisten putkien ja lämmityksen laitteiden sisäpuolella. Korroosion seurauksena teräksen pintaan muodostuu rautaoksideja ja magnetiittia ajan kuluessa, ja tämä aines hilseilee kiertävän veden sekaan. Teräspinnoilta irronnut aines, eli rautasakka tai magnetiittisakka, alkaa kertymään pattereihin sekä verkoston muihin eri osiin, joissa veden virtaama on hitaampaa. Sakka saattaa aiheuttaa venttiileissä tukoksia ja jumiutumisia, estää veden vapaata virtaamista ja huonontaa lämmityspattereiden lämmönluovutuskykyä, jotka kaikki vaikuttavat lämmitysjärjestelmän optimaaliseen toimintaan ja energiatehokkuuteen. Korrosio voi aiheuttaa myös ennenaikaisia laiterikkoja ja saneerauksen tarvetta, joka nostaa lämmitysjärjestelmän huolto- ja käyttökustannuksia merkittävästi. Kuvassa 6 on esitetty koepala putkesta, johon verkoston sakka on kertynyt. (Lämmönhuolto PRO Oy n.d.)



KUVA 6. Putken sisäpinnalle kertynyt sakka (Lämmönhuolto PRO Oy n.d.)

4.3 Verkosto

Lämmitysjärjestelmän osien korroosioon vaikuttaa happipitoisuuden lisäksi kemialliset ilmiöt sekä kiertävän veden ominaisuudet, kuten eri metallien yhdistäminen sekä veden pH-arvo. Esimerkiksi teräsputken ja kupariputken yhdistämiseen täytyy käyttää erikoismessinkistä osaa, jotta jaloudeltaan erilaiset metallit eivät aiheuttaisi kemiallista korroosiota niiden välisessä liitoksessa. Messinkiosa voi olla jokin venttiili tai sisäkierteellinen puserrusliitin. (Auranen 2010, 96.)

Veden ominaisuuksista pH-arvo vaikuttaa korroosion kehittymisen nopeuteen. Hapan ja happipitoinen vesi, joka on pH-arvoltaan alle 5, aiheuttaa teräksen voimakasta syöpymistä ja vedyn muodostumista reaktiossa. Veden pH-arvon ollessa 5–9, riippuu korroosion kehittymisnopeus veden happipitoisuudesta ja pH:n ollessa 9, on hapen aiheuttama korroosio pienimmillään. Järjestelmän veden pH tulisi mitata ja neutraloida kemikaaleilla, mikäli veden pH on alle 7 eli liian hapan (Auranen 2010, 96.)

4.3.1 Lämmönjakoputkisto

Lämmitysverkoston korroosiota voi edesauttaa myös liian suuri virtausnopeus ja korkeat lämpötilat. Nämä yhdessä voivat aiheuttaa putken sisäistä paikalliskorroosiota, eli pistesyöpymää, joka vähitellen laajenee suuremmalle alueelle. Kun syöpymä laajenee, se saa putken seinämän liukenemaan kiertävän veden sekaan ja näin putken seinämä ohenee ajan kuluessa. Pahimmillaan syöpymä aiheuttaa lopulta putkeen reikiä tai halkeamia, jotka alkavat vuotamaan ja luovat vesivahingon vaaran. Korroosiolle herkkiä alueita ovat myös hitsausseamat, joihin voi muodostua mekaanisia jännitteitä ja se voi sisältää erilaista metallurgista ainesta verrattuna muuhun putkeen. Korjaushitsauksista voi jäädä kuona-ainesta saumaan, joka on herkkä alue korroosion syntymiselle. (Korkala 2018, 124–125.)

Sisäinen korroosio on vaarana ainakin kaikilla teräksestä valmistetuilla putkilla, mutta myös ulkopuolista korroosiota voi tapahtua. Ulkoista korroosiota voi syntyä usein rakenteeseen ja maahan asennettuihin teräsputkiin, johon liittyy ulkopuolista kosteusrasitetta. Kupari-, komposiitti- ja muoviputkista ei Korkalan (2018)

mukaan löydy vielä tarpeeksi tutkimustietoa ja käyttökokemuksia lämmitysverkostojen putkimateriaaleina. Teräksestä valmistettujen, rakennusten sisäpuolisten, lämmitysputkien käyttöikä nä pidetään yleisesti 50–100 vuotta eri lähteiden mukaan. (Korkala 2018, 124–125.)

Kuvassa 7 on esitettyä erään vanhan kerrostalokohteen lämmönjakoputkiston suojavaadoitettu runkolinja asbestieristeen sisällä. Teräsputket ovat arviolta 80 vuotta vanhat ja pinnassa on aistittavissa ulkoista korroosiota.



KUVA 7. Vanhan kerrostalokohteen lämmönjakoputkiston runkolinja

Lämmitysputkistosta voi kuulua ääniä, jotka vaikuttavat häiritsevästi asumismukavuuteen. Äänet liittyvät usein järjestelmässä olevaan ilmaan, joka aiheuttaa esimerkiksi kuplimisen ääntä, sekä kiertoveden lämmönvaihteluihin, jotka aiheuttavat putkien lämpölaajenemista ja näin myös putkiston liikehdintää. Lämpölaajenemisesta johtuvat äänet pahenevat, mikäli putkikannakkeita ei ole tehty kumi-pehmusteisilla kannakkeilla tai jos putket ovat asennettu kiinni toisiinsa. (Auranen 2010, 116.)

4.3.2 Vedenkäsittely

Verkostoon voidaan asentaa lianerotin tai sivuvirtasuodatin, jos veden mukana liikkuu paljon sakkaa. Suodattimilla saadaan kerättyä liikkuva lika ja epäpuhtaudet säiliöön, joka voidaan puhdistaa ajoittain. Suodattimet eivät kuitenkaan kerää putkistoon tai laitteisiin kertynyttä sakkaa, joka ei liiku veden mukana. Jos sakkaa liikkuu paljon, voidaan koko verkosto huuhdella ennen erottimien asennusta. (Auranen 2010, 51.)

Kuvassa 8 on tutkimuskohteen teknisessä tilassa oleva, toisiopuolen verkostoon asennettu magneettinen sivuvirtasuodatin.



KUVA 8. Magneettinen sivuvirtasuodatin toisioverkostoon asennettuna

Kaukolämpöveden, eli ensiöpuolen, verkostossa on yleensä mudanerotin, joka estää mahdollisten epäpuhtauksien, kuten mudan tai roskien pääsyä säätölaitteisiin tai lämmönvaihtimiin. Epäpuhtaudet voivat muutoin aiheuttaa toimintahäiriöitä järjestelmässä. Erottimessa voi nykypäivänä olla samassa laitteessa myös ilmanpoistin. Toisiopuolella verkostoon voidaan asentaa joko kemiallisesti toimivia laitteita tai suodattimeen perustuvia laitteita. Kemiallisessa suodattimessa ve-

teen sekoittuu kemikaalia, joka puhdistaa vettä. Suodatus voi toimia myös pelkällä suodattimella tai magneettisella suodatuksella, jolla erotetaan verkoston veden sakkaa. Myös näillä suodattimilla voidaan suojata epäpuhtauksien kulkeutuminen venttiileihin ja lämmönvaihtimiin. (Korkala 2018, 49–50.)

Kuvassa 9 on tutkimuskohteen lämmönjakokeskukselta havaittu mudanerotin tai niin sanottu mutapussi.



KUVA 9. Lämmönjakokeskuksen mudanerotin tutkimuskohteessa

Ennen uusien lämmitysjärjestelmien käyttöönottoa voidaan tehdä käyttöönottopuhdistus sekä sen jälkeen korroosiosuojaus. Puhdistuksessa järjestelmästä pyritään poistamaan rakennusaikaiset jätteet sekä uusista osista lähtevät suojarasvat. Myös vanhaan järjestelmään voidaan tehdä vastaavanlainen puhdistus ja suojaus, jotta verkostoon jo muodostuneet sakkaesiintymät saadaan pois ja jotta korroosiota ei esiintyisi enempää. Puhdistus voidaan suorittaa sekä suodattimilla että järjestelmän huuhtelussa käytettävillä kemikaaleilla, joilla saadaan epäpuhtaudet liukenemaan. Verkoston ja laitteiden puhdistuksen jälkeen järjestelmä voidaan suojata korroosionestokemikaaleilla, jotka muodostavat verkoston sisäpinnoille ohuen suojaavan kerroksen. Kerroksen tarkoituksena on estää korroosion esiintymistä sekä sakan kertymistä pinnoille. (KL-Lämpö Oy n.d.)

4.3.3 Kuntotutkimus

Ennen mitään huoltotoimenpiteitä lämmitysputkistolle kannattaa tehdä kuntotutkimus. Kuntotutkimuksessa selvitetään lämmitysputkien kunto, seinämäpaksuudet ja jäljellä oleva käyttöikä. Tutkimuksen avulla päätetään toteutettavissa olevat huoltotoimenpiteet ja raportoidaan asiakkaalle suositukset ja kustannukset kossien järjestelmää. Tutkimuksessa saattaa myös selvittää putkistojen olevan liian huonossa kunnossa, jolloin kohteeseen on toteutettava putkistosaneeraus. Jos vain jotkin putket ovat huonokuntoisia, on tällöinkin usein järkevintä uusita kaikki järjestelmän tyydyttävässä kunnossa olevat lämmitysputket. (Korkala 2018, 124.)

Tutkimuksen aloitus toteutetaan järjestelmän historiatietojen keräämisellä sekä silmämääräisellä tarkastelulla. Tällä tavalla saadaan yleinen näkemys koko lämmitysjärjestelmän nykyisestä kunnosta, mahdollisista ongelmista sekä asennustavoista ja materiaaleista. Tarkastelussa kokeillaan kaikkien laitteiden toimivuus. Silmämääräisesti ei voida kuitenkaan määrittää tarkasti järjestelmän osien todellista kuntoa ja jäljellä olevaa käyttöikää, minkä takia voidaan toteuttaa perusteellisempia tutkimuksia. Tarkempina tutkimusmenetelminä on usein ainetta rikkomattomat ultraäänimittaukset tai erilaiset röntgenkuvaukset ja optiset tähystykset. Näillä tavoilla voidaan muun muassa selvittää putkistojen seinämäpaksuudet ja korroosion aiheuttamat ongelmat. Materiaalista ja putkikoosta riippuen, putkistolle on määritetty kriittinen paksuus. Tämän määritellyn paksuuden alittuessa mittauspisteissä, on järjestelmässä olemassa suuri vuotoriski. Putkistoon voidaan tehdä myös ainetta rikkova tutkimus ottamalla koepaloja. Palat tutkitaan laboratoriossa ja niiden avulla määritellään putkiston kunto sekä korroosion ja sakan kaumien vakavuus. (Kapanen 1995, 126–132.)

Lämmitysjärjestelmän kuntoa voidaan kartoittaa myös kiertovedestä otettavalla näytteellä. Näytteen avulla voidaan analysoida veden ominaisuuksia sekä veden mukana liikkuvan sakan määrää ja tätä kautta arvioida, kuinka paljon verkosto on kulunut tai syöpynyt. Vesianalyysi toimii toimenpidesuunnitelman ja järjestelmän toiminnan optimoinnin työkaluna. Kuvasta 10 nähdään, kuinka paljon lämmitysveden seassa voi olla epäpuhtauksia ja kuinka se suodattuu sivuvirtasuodattimen pussiin. (KL-Lämpö Oy n.d.)



KUVA 10. Sivuvirtasuodattimen pesu ja verkoston huuhtelutarpeen varmistus (KL-Lämpö Oy n.d.)

4.3.4 Veden tekniset standardit ulkomailla

Saksassa on määritelty standardi VDI 2035 koskien käyttöveden lämmitysjärjestelmiä sekä lämmityspiirejä. Standardilla pyritään alentamaan putkien sisäpuolisen ruostumisen todennäköisyyttä sekä kalkin aiheuttamia vaurioita. Standardin toteutumisen vastuu on sekä suunnittelulla että luovutuksen jälkeen järjestelmän omistajalla. Suunnittelulla täytyy siis varmistaa, että kiertoveden ominaisuuksien arvot ovat ohjeellisten mukaisia. Luovutuksen jälkeen veden ohjearvoissa pysymisestä on vastuussa omistaja. (Elysator n.d.)

Veden ohjearvot liittyvät sen suolapitoisuuteen, happipitoisuuteen sekä veden happamuuteen, jotka kaikki aiheuttavat otollisempia korroosio-olosuhteita. Veden sähkönjohtavuuden tulisi olla alle $100 \mu\text{S}/\text{cm}$, mikä toteutetaan poistamalla suolaa vedestä. Happea vedessä sallitaan olevan vain $0,1 \text{ mg}/\text{l}$. Veden pH-arvon vaaditaan standardissa olevan välillä $8,2\text{--}10,0$ ja kemikaalien käyttö tulisi rajoittaa vain poikkeustilanteisiin. Suunnittelun yhteydessä tulisi määrittää myös kohteen kiertoveden kovuus ja veden arvot pitäisi tarkastaa käyttöönoton jälkeen 8–12 viikon aikana tai seuraavan vuosihuollon yhteydessä. Myös suurin osa laitevalmistajista Saksassa yhdistää takuunsa laitteisiin, jotka ylläpitävät vedenlaatua. (Elysator n.d.)

Sveitsissä on vastaavanlainen standardi SWKI BT 102-1, joka on tullut voimaan vuonna 2012. Myös Sveitsissä vain standardin ohjearvoja noudattamalla, laite-toimittaja myöntää takuun. Lisäksi standardissa luvataan pitkäaikaisen, korkean hyötysuhteen. Ohjearvot Sveitsin standardissa ovat

- Lämmityspiiriveden kovuus alle 5 °f
- Lämmityspiiriveden sähkönjohtavuus alle 200 µS/cm
- Täyttöveden kovuus alle 1 °f
- Täyttöveden sähkönjohtavuus alle 100 µS/cm
- Vaadittava pH-arvo 8,2–10,0
- Suolanpoisto täytyy tehdä joka tapauksessa kiertovedelle. (Elysator n.d.)

Standardissa sanotaan myös, että täyttövesi täytyy aina analysoida ennen täytön aloittamista ja veden pH-arvon tarkastus tehdään joko kahden kuukauden jälkeen käyttöönotosta tai seuraavan vuosihuollon yhteydessä. Analyysien arvot on kirjattava huolto- tai laitteistokirjaan. (Elysator n.d.)

Itävallassa lämmityspiiriveden arvoihin ottaa kantaa standardi ÖNORM H 5195-1, jolla pyritään myös estämään ruosteen, kalkin ja kerrostumien muodostuminen suljetuissa verkostoissa. Tämän standardin sanotaan olevan tarkoitettu lähinnä uusille järjestelmille. Standardiin kuuluvia vastuita ovat veden soveltavuuden analyysi ennen täyttöä, vesitilavuudeltaan 5000 litran lämmityspiirin veden tarkastus kahden vuoden välein ja yli 5000 litran tarkastus vuoden välein. Vesi tulee tarkastaa myös silloin, jos järjestelmään tehdään huoltoa tai korjauksia, jonka takia piiriin lisätään vettä. Tarkastusten tulokset dokumentoidaan laitteisto- tai huoltokirjaan. (Elysator n.d.)

Itävallan standardin ohjearvoihin liittyy veden kovuus, jonka raja-arvot määräytyvät piirin vesisisällön määrän ja lämmöntuottotavan perusteella. Kloridille ohjearvona on alle 30 mg/l, joten täyttövedelle tulee suorittaa suolanpoisto useita kertoja. Jos vesi sisältää alumiiniaineesosia, standardi määrää pH-arvon 8,5 maksimi arvoksi. Kun taas alumiiniaineesosia ei vedessä ole, pH-arvo tulee olla 8,2–10,0 välillä. Myös Itävallan standardissa lukee, että suurin osa valmistajista sitoo takuunsa vedenlaatua ylläpitäviin laitteisiin. (Elysator n.d.)

4.3.5 Vaikutukset

Korkalan (2018) mukaan lämmitysputkistojen veden puhdistuksesta teetettyjen tutkimusten tulokset osoittavat sekä teknisiä että taloudellisia hyötyjä. Tekniset hyödyt liittyvät jo aiemmin mainittuihin laitteiden ja osien käyttöiän pitenemiseen, verkoston säätöjen tarkkuuteen ja asianmukaisuuteen sekä laiterikkojen tai juumiutumisten todennäköisyyden alenemiseen. Taloudelliset edut liittyvät laiterikoista johtuvien kustannusten vähenemiseen. Lisäksi vapaamman veden virtauksen ja verkoston paremman lämmönluovutuskyvyn ansioista voidaan päästä energiansäästöihin. (Korkala 2018, 31.)

Yhdistyneissä kuningaskunnissa toimivan, voittoa tavoittelemattoman, yhteisön Which? (2021) mukaan vesikeskuslämmityksen kiertoveden ollessa puhdasta on järjestelmä energiatehokkaampi. Yhteisön mukaan yritys Enertek International on suorittanut aiheesta tutkimuksen, jonka tuloksissa todettiin lämmitysverkostossa olevan sakan voivan aiheuttaa jopa 25 % kasvu kiinteistön lämmityskustannuksiin. Puhdas kiertovesi vaikuttaa positiivisesti myös järjestelmän käyttöikään. Jos lämmityspattereissa on esimerkiksi kylmiä kohtia tai ne lämpenevät hitaasti, voi se olla merkki patteriin kerääntyneestä sakasta. (Which? 2021.)

Koska lämmitysverkostojen suunnittelu, mitoitus ja tasapainotus on tehty puhtaalle verkostolle, on myös loogista, että likainen ja sakkakertymiä sisältävä verkosto ei toimi enää optimaalisesti ja tehokkaimmillaan. KL-Lämpö Oy:n (n.d.) mukaan verkoston puhdistuksesta saatavia hyötyjä ovat

- järjestelmän toimintakyvyn ja hyötysuhteen palauttaminen
- verkoston käyttöiän pidentäminen
- häiriötön energiansiirto ja kapasiteetti, energiatehokkuus
- huoltokäyntien ja -kustannusten vähentyminen
- parempi oleskelumukavuus, tyytyväinen loppukäyttäjä
- huolettomuus ja helppous: ei käyttökatkoksia tai seisakkeja
- energiansäästö, energiakustannusten lasku. (KL-Lämpö Oy n.d.)

Putkilla ja putkiosilla on tietyt pinnan karheudet sekä kitkakertoimet, jotka aiheuttavat verkostossa painehäviöitä venttiileiden lisäksi. Putkiosat aiheuttavat myös

energiaa kuluttavaa kiertoveden pyörteilyä. Verkoston painehäviö vaikuttaa siihen, kuinka paljon kiertovesipumpun täytyy tehdä töitä liikuttaakseen suunnitelmien mukaisen määrän vesivirtaa. Huonokuntoiset ja likaiset putkistot sekä putkiosat kasvattavat kitkakertoimia ja näin myös painehäviöitä, jolloin pumppu joutuu tekemään enemmän työtä. Sakkakerrostumat voivat siis aiheuttaa pump-paukseen kuluvan sähkön käyttökustannuksien kasvamista. (Seppänen 2001, 139–149.)

4.4 Verkoston laitteet

Moottoriventtiileiden tehtävänä on säädellä kaukolämpöveden virtaamaa lämmönvaihtimiin. Venttiili saa tietoa kaukolämpökeskuksen antureilta ulkolämpötiloista sekä keskukselle määritellyistä lämpötilan tavoitetasoista eli lämpötilakäyristä, joiden avulla se muuttaa virtaaman määrää. Kaukolämpöveden virtaama muuttamalla asetetaan haluttu menoveden lämpötila patteriverkostoon. Näihin moottoriventtiileihin voi tulla myös ongelmia sekä venttiilin käyttöiän loppumisen että verkoston epäpuhtauksien seurauksena. Usein venttiilin käyttöiän päättyessä venttiili voi kulua tai toimintamoottori hajota kulumisen seurauksena ja aiheuttaa vuotoa tai toimimattomuutta. Venttiiliin voi myös päästä roskia, jolloin esimerkiksi sen vedenpitävyys suljettunakin on heikkoa. Yksi ongelma voi olla myös väärin mitoitettu moottoriventtiili, jolloin väärällä virtausalueella toimiessaan venttiilin sisällä voi syntyä kavitaatiota, joka syövyttää hiljalleen venttiilin sisäpintoja. (Korkala 2018, 91–92.)

Muita verkostoa säätäviä venttiileitä ovat lämmitysverkoston linjasäätöventtiilit, jotka säätävät verkoston eri osiin mitoitettut vesivirtaamat asettamalla niihin virtaamaa kuristavat säätöarvot. Vanhoissa kohteissa löytyy usein vielä vanhoja linjasäätöventtiilejä, jotka edustavat vanhaa tekniikkaa ja joiden säätökäyriä ei enää löydy. Näihin venttiileihin liittyy usein vuotoriski ja tällaisia venttiilejä on usein myös mahdoton saada perussäädön yhteydessä enää oikeaan asetusarvoonsa. Vuotoriski on läsnä myös verkoston vanhojen sulkuventtiileiden kohdalla, jotka ovat käyttöiltään ylittyneitä, kuluneita ja mahdollisesti kärsivät korroosiosta. Lämmityslinjaventtiileiden käyttöikä pidetään yleisesti 20–30 vuotta. (Korkala 2018, 133, 136.)

Kuvassa 11 on esitettyä tutkimuskohteen todennäköisesti alkuperäinen linjasäätöventtiili lämmönjakoputkiston runkolinjassa.



KUVA 11. Vanha linjasäätöventtiili lämmitysverkostossa

Muita vuotoriskin omaavia laitteita ovat paisunta-astia sekä varoventtiilit toimintahäiriön tai käyttöiän seurauksena. Joskus paisunta-astia on alimitoitettu, jolloin astiaan pyrkivä ylimääräinen vesi vuotaa varoventtiilistä lattialle paineen noustua. Astiassa voi olla myös vastapaineikaasun vuotoja joko ulospäin tai sisäisesti lämmitysveteen. Varoventtiilit ovat melko yleisiä vuotamaan, ja vuoto johtuu usein vain venttiiliin päässeestä roskasta, mutta jatkuva vuoto myös venttiilin testauksen jälkeen voi tarkoittaa rikkoutunutta varoventtiiliä. Vuoto voi johtua myös venttiilin oikeasta toiminnasta, jos lämmitysjärjestelmässä on syystä tai toisesta yli-painetta. Venttiilin vuotamisen mahdollisuuden takia, tulisi vesi johtaa putkea pitkän näkyvälle paikalle ja lattiakaivon läheisyyteen. (Korkala 2018, 101–102.)

Kiertovesipumpuksi voidaan nykypäivänä valita portaattomasti säätävä, taajuusmuuttajaohjattu pumppu. Itsestään säätävä pumppu on oleellinen nykypäivän lämmitysverkostoissa, joissa muun muassa monet termostaattiset patteriventtiilit säätelevät pattereiden virtaaman määrää lämpötilojen muuttuessa. Kun venttiilit muuttavat virtaamaa, myös verkoston paine-erot vaihtelevat, jolloin pumpun pyö-

rimisnopeus mukautuu tarvittavan paineen mukaan. Suositeltu pumpun säätötapa on vakio painesäätö, jolla varmistetaan, ettei pumppu tuota ylimääräistä paine-eroa kuin on tarpeellista. Paine-eron täytyy olla vain sen suuruinen, että virtaama riittää niin sanotulle vaikeimmalle patterille asti mitoitusten mukaisesti. Vaikein patteri on siis sen lämmönjakolinjan päässä, jonka matkalla syntyy eniten painehäviöitä. Niin kuin muihinkin järjestelmän osiin, epäpuhtaudet kiertovedessä vaikuttavat myös pumppujen käyttöikään negatiivisesti ja aiheuttavat ennenaikaisia kulumista. (Danfoss 2015, 11, 15, 18.) Kuvassa 12 on esitettyä Grundfosin valmistama taajuusmuuttajaohjattu kiertovesipumppu eräästä kohteesta.



KUVA 12. Moderni taajuusmuuttajaohjattu kiertovesipumppu

4.4.1 Vuotoriskit

Vuotoriskit olisi hyvä korjata ennen vuotojen tapahtumista. Pienikin vuoto voi ajan kanssa aiheuttaa mittavan kosteusvaurion esimerkiksi rakenteisiin, jolloin kohteessa on nopeasti homevaurio. Kosteus voi aiheuttaa myös teräksen ulkopuolisia korroosiovaurioita. Kaikki vuodot tulisi siis korjata nopeasti tai ennaltaehkäistä huoltojen avulla, sillä rakenteiden korjaus ja kuivatus on yleensä pidempikestoisempaa ja kalliimpaa, kuin säännölliset huoltotoimenpiteet. (Auranen 2010, 106–107.)

4.4.2 Vaikutukset

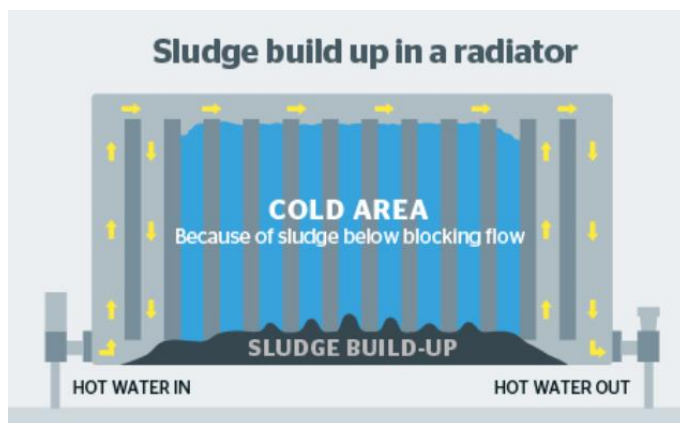
Jotta lämmitysverkosto saataisiin tasapainoon ja toimimaan energiatehokkuudeltaan optimaalisesti, täytyy linjasäätöventtiilit vaihtaa ennen säätöä. Myös vanhat sulkuventtiilit kannattaa vaihtaa korjaustöiden ohessa vuotoriskien välttämiseksi. Koska vanhan mallisiin linjasäätöventtiileihin ei enää mahdollisesti löydy säätökäyriä, tai venttiilin säätömahdollisuudet ovat rapistuneet kuluneisuuden vuoksi, ei verkostoa saa niillä enää optimaalisiin säätöihinsä. Vanhoihin linjasäätö- sekä sulkuventtiileihin liittyy myös aina vuotoriskejä korroosion sekä kulumisen seurauksena. Vuotoriskit voivat johtaa vesivahinkoon. (Korkala 2018, 133–134.) Optimaalisen toiminnan tasapainotus vaikuttaa merkittävästi energiatehokkuuteen sekä asumismukavuuteen, joista kerrotaan enemmän työn kappaleessa 4.6.3.

Modernit lämmitysverkoston pumput säästävät sähköenergiaa tuottamalla vain paineenkorotuksen vaatiman paineen. Ne siis voivat muuttaa automaattisesti pyörimisnopeuttaan, mikäli verkoston virtaama muuttuu esimerkiksi termostaattisten patteriventtiileiden takia. Myös ylipaineen aiheuttamat äänet voivat vähentyä verkostossa. Pumpuissa on nykypäivänä energiamerkintä, joka kertoo sen energiatehokkuuden tason. (Auranen 2010, 67.)

4.5 Lämmönvaihtimet ja -luovutus

Lämmitysverkostossa liikkuva ja siitä irti lähtevä sakka kertyy usein paikkoihin, joissa veden virtaama on vähäistä. Tällaisia paikkoja ovat esimerkiksi lämmityspatterit, joiden pohjalle ja sisäpinnoille sakka asettuu. Sakka aiheuttaa tällöin sivukiinnitteisten pattereiden huonoa lämpenemistä ja veden virtauksen estymistä patterin alakanavassa. Sakka heikentää myös lämmönvaihtimien toimintaa kertyessään lämmönsiirtopinnoille, jolloin lämpöenergian siirtyminen ensiöpuolelta toisiopuolelle toimii huonommalla hyötysuhteella. (Lämmönhuolto PRO Oy n.d.)

Kuviossa 5 esitetään, kuinka sakka voi aiheuttaa patterin huonoa lämpenemistä ja veden virtauksen estymistä (Which? 2021).



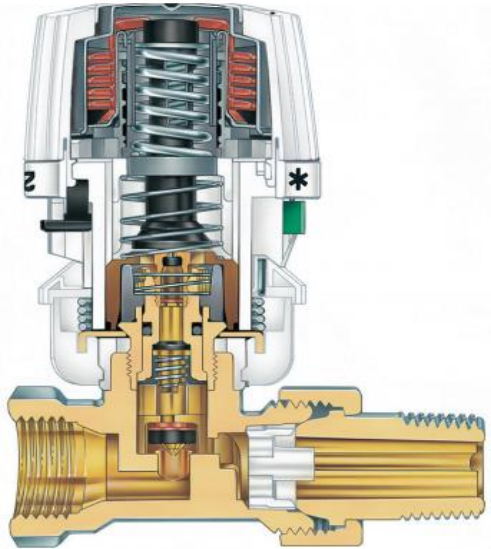
KUVIO 5. Kertynyt sakka lämmityspatterin pohjalla (Which? 2021)

Osa lämmitysongelmista sisätiloissa johtuu vain kalusteista ja verhoista. Termostaattien eteen ei saisi laittaa verhoja tai muita esineitä, jotta termostaatti havaitsee huoneen todellisen lämpötilan. Verhon taakse jätetty termostaatti saattaa luulla huonelämpötilan olevan korkeampi kuin todellisuudessa, koska verhon ja ulkoseinän välissä oleva patteri lämmittää niiden välistä ilmaa tehokkaammin. Termostaatti saattaa tällöin siis sulkea patteriventtiilin virtaamaa viilentäen patteria ja tätä kautta myös huoneilmaa. Konvektioon perustuvien lämmityspattereiden eteen ei saisi myöskään laittaa mitään isoja kalusteita, kuten kaappeja tai pöytiä, jotta konvektion ilma pääsisi kiertämään huonetilassa vapaasti. (Korkala 2018, 48.)

Myös patteriventtiili voi olla huonosti lämpenemisen syy. Patteriventtiili on esisäädettävä venttiili, joka säätelee patterin vesivirtaa venttiiliin kiinnitettävän termostaatin avulla. Venttiilissä on neula, jota liikuttelemalla termostaatti aukaisee tai sulkee venttiiliä. Tämä mekanismi voi jäädä jumiin esimerkiksi kiinni asentoon, jolloin patteriin ei virtaa vettä ollenkaan tai huonosti. Patteriventtiileiden ja termostaattien käyttöikä alkaa loppua noin 25 vuoden jälkeen. (Korkala 2018, 142, 145.)

Patteriventtiileiden virtausaukko on myös hyvin pieni, jolloin verkoston epäpuhtauden voivat tukkia sen. Patteriventtiileiden vaihto onkin tukkeutumisten tai jumiutumisten takia hyvin yleinen huoltotoimenpide. (Lämmönhuolto PRO Oy n.d.)

Kuviossa 6 on esitettyä läpileikkaus yhdestä yleisimmästä termostaattisesta patteriventtiilistä. Leikkauskuvan venttiili on Danfossin valmistama. Kuvasta nähdään, millainen virtausta kuristava kara venttiin sisällä on. (Danfoss 2015.)



KUVIO 6. Leikkauskuva termostaatin sekä patteriventtiin osista (Danfoss 2015)

4.5.1 Vaikutukset

Pattereiden epäpuhtaudet aiheuttavat huonoa lämpenemistä esimerkiksi vain joissain pattereissa, jolloin verkostoa mahdollisesti säädetään. Tällöin verkoston tasapainotus kärsii ja lämmitysjärjestelmä ei enää toimi optimaalisesti. Vastavasti lämmönvaihtimien toimiessa huonommin epäpuhtauksien takia, saatetaan verkostoa säätää isommalle teholle, jolloin myös lämpöenergiaa kuluu turhaan enemmän. (Lämmönhuolto PRO Oy n.d.)

Huoneiden lämpenemisongelmissa tulisi ensimmäisenä tarkastaa helpoimmat asiat ennen suurempia toimenpiteitä. Näitä ovat lämmityspattereiden yksilöllisen toiminnan tarkastus, eli onko jokin ulkoinen asia, kuten verhot tai huonekalu, häiritsemässä patterin toimintaa ja toimiiko patteriventtiilit ja termostaatit halutulla tavalla. (Korkala 2018, 48, 145–146.)

4.6 Perussäätö

Perussäädön alustava säätö tehdään uudiskohteessa aina ennen rakennuksen vastaanottoa ja hienosäätö, eli varsinainen perussäätö, tehdään yleensä seuraavana lämmityskautena ennen vuositakuutarkastusta. Saneerattavan tai huollettavan kohteen lämmitysjärjestelmään tulee tehdä perussäätö, mikäli rakennuksen eri tilojen tai asuntojen välillä on oleellisesti lämpötilaeroja. Perussäätö kannattaa tehdä myös silloin, kun kohteeseen tai sen järjestelmiin tehdään muutoksia. Esimerkiksi jos lämmitysjärjestelmään lisätään uusia lämmönluovuttimia tai linjasäätöventtiilit vaihdetaan uusiin toisen mallisiin venttiileihin. (LVI 41-10230, 1, 8.)

4.6.1 Toimenpiteet

Suunnittelija saa mitoitusohjelmalla laskettua patteriventtiileille sekä linjasäätöventtiileille suunnitelmalliset esisäätöarvot, jotka asetetaan asianmukaisesti laitteisiin. Ensimmäinen vaihe perussäädössä on kuitenkin verkoston täyttö ja ilmaus, joka tulee tehdä perusteellisesti. Kun verkoston ilmaus ja esisäätöarvojen asetus on suoritettu, voidaan avata kaikki muut järjestelmässä mahdollisesti olevat venttiilit auki asentoon. Näitä ovat esimerkiksi moottori- tai magneettiventtiilit. Perussäädön ajaksi myös pattereiden termostaatit tulisi irrottaa. Kiertovesipumppu asetetaan tuottamaan suunniteltu kokonaisvesivirta järjestelmään. Veden kiertäessä järjestelmässä, voidaan linjasäätöventtiileiden virtaamat mitata ja tarvittaessa säätää suunnitelmien arvoihin. Linjasäätöventtiileiden virtaamat saavat poiketa suunnitelluista arvoista korkeintaan $\pm 10\%$. (LVI 41-10230, 6.)

Perussäätöön kuuluu lisäksi hienosäätö, jolla toteutetaan halutut lämpöolosuhteet asuintiloihin. Hienosäätö tulisi tehdä lämmityskaudella ja kun vuorokauden keskilämpötila on alle -5 °C . Hienosäädön aikana lämmitysjärjestelmän säätökeskukselle etsitään sopiva säätökäyrä, joka muuttaa menoveden lämpötilaa ja edelleen huoneiden lämpötiloja. Sopivan säätökäyrän asetuksen jälkeen tarkastetaan huonelämpötilat ja niiden väliset poikkeamat. Sallittu poikkeama on $\pm 1,5\text{ °C}$. Mikäli mittauksessa tämä ylittyy, suoritetaan säätötoimenpiteet patteriventtiileiden esisäätöarvojen avulla. Linjasäätöventtiileiden asetusta muutetaan vain,

jos patteriventtiileiden avulla ei saada huonelämpötiloja haluttuun tasapainoon. Lopuksi säätötoimenpiteistä tehdään pöytäkirja, johon kirjataan ylös kaikki oleelliset tiedot mittauksen olosuhteista sekä venttiileiden asetuksista. Perussäädössä asetetut arvot merkitään lisäksi loppupiirustuksiin. (LVI 41-10230, 6–7.)

4.6.2 Korjausrakentamiskohde

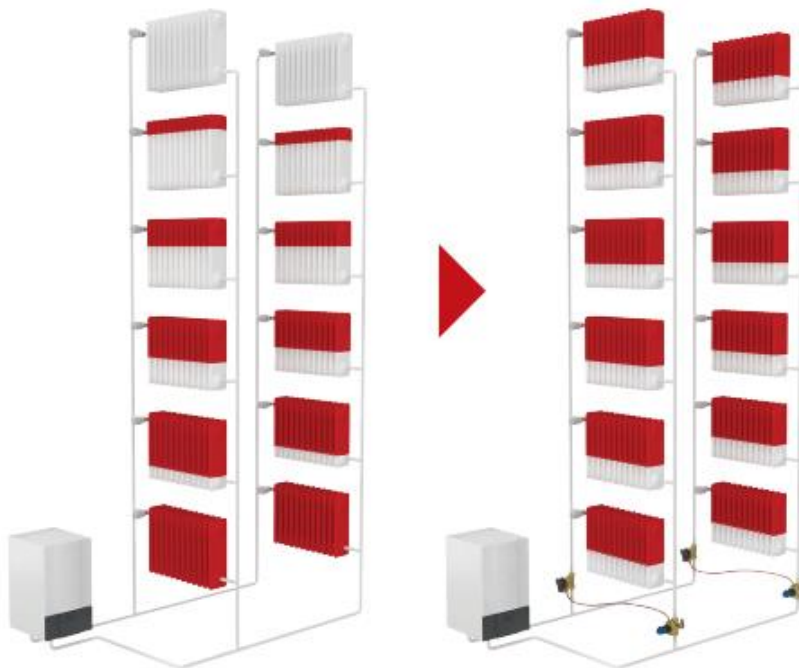
Perussäätö korjausrakennuksessa suoritetaan usein epätasapainoisen lämmitysjärjestelmän tai sen muutostöiden vuoksi. Ennen säätötoimenpiteitä tulisi kohteen lämmitysjärjestelmään suorittaa kuntotutkimus, jossa kartoitetaan nykyisten järjestelmäosien ja -laitteiden kunto ja toimivuus. Tutkimuksen perusteella voidaan arvioida, voidaanko perussäätöä ylipäänsä suorittaa järjestelmän nykyisen kunnon puitteissa vai täytyykö joitakin muutoksia tehdä. Tutkimuksessa tulee ottaa huomioon myös ilmanvaihdon ja rakennuksen lämmöneristävyuden toiminta lämmitysjärjestelmän rinnalla. Kuntotutkimuksen ja mahdollisten muutosten jälkeen, perussäätö tehdään samalla tavalla kuin uudiskohteessa. Venttiileiden esisäätöarvoja säädetään kuitenkin vasta sitten, kun suunnittelija on tehnyt tarvittavat muutokset järjestelmän tasapainotusta varten. (LVI 41-10230, 8.)

Perussäätöä varten tulisi rakennuksen lämmitysjärjestelmästä olla päivitetty LVI-piirustukset. Jos piirustuksia ei ole, suunnittelija tekee kohteessa tarvittavan tarkastuskierroksen, jossa arkkitehtipiirustuksiin merkataan kaikki järjestelmän laitteiden ja osien sijainnit, koot ja tyypit. Tarkkojen tietojen avulla pystytään luomaan kohteesta lämmityspiirustukset lämmitysjärjestelmän tasapainotuslaskentaa ja perussäätöä varten. Piirustukset luodaan käytännössä samalla tavalla kuin uudisrakennuksen suunnitelmat, eli järjestelmä mallinnetaan suunnitteluohjelmaan mahdollisimman tarkasti. Huollettavan kohteen järjestelmä on kuitenkin jo rakennettu, joten suunnitelmat piirretään vastaamaan todellista tilannetta. Ohjelmalla pystytään laskemaan tarvittavat alkuarvot esimerkiksi linjasäätöventtiileille, jotta verkosto saadaan tasapainoon. Tasapainotukseen liittyy myös reunaehtoja, joita ovat esimerkiksi äänihaitat, venttiileiden säätöalueet sekä pumpun painetaso ja tarvittava virtaama. (Korkala 2018, 148–149.)

4.6.3 Vaikutukset

Jos lämmitysjärjestelmän säädöt ovat epätasapainoisia tai muutoin vääränlaisia, voi se aiheuttaa huonot asuinolosuhteet kohteen asukkaille sekä mahdollisesti turhaa energiankulutusta. Epätasapainoisuus voi esimerkiksi johtaa siihen, että lämmityskaudella jonkin asunnon sisälämpötila on aivan liian korkea, kun taas toinen asunto voi olla jatkuvasti liian kylmä. Sisälämpötilan tulisi pysyä tasaisena kaikkien huoneistojen välillä suunnitelmien mukaisesti. Yleensä mitoituslämpötila asuintiloissa on 21 °C. Ylilämmitystä saatetaan yrittää korjata avaamalla ikkunoita, jolloin lämpö karkaa ulkoilmaan. Kylmää asuntoa taas saatetaan pyrkiä lämmittämään enemmän nostamalla itse menoveden lämpötilaa ja näin lisäämällä energiankulutusta. (Motiva Oy n.d.)

Kuviossa 7 on esitettyä tyypillinen kerrostalon patteriverkoston toiminta ennen tasapainotusta ja sen jälkeen, jossa punaisella värillä kuvataan patterin lämmitystehoa (Danfoss 2015).



KUVIO 7. Patteriverkoston toimintaesimerkki ennen perussäätöä ja säädön jälkeen (Danfoss 2015)

Huolellisesti tehdyllä perussäädöllä voidaan Motivan (n.d.) arvioinnin perusteella saada parhaimmillaan 10–15 % energiansäästö lämmitysjärjestelmän kulutuksessa. Energiansäästöpotentiaali on kuitenkin riippuvainen kohteen lähtötilanteen lämpötilaolosuhteista. Jos huonelämpötiloja pystytään laskemaan esimerkiksi yhdellä asteella, se tarkoittaisi keskimäärin noin 5 % säästöä asuinkerrostalon lämmityskustannuksissa. Suomen asuinrakennuksista arvioidaan olevan epätasapainossa ja perussäädön tarpeessa noin kolme neljästä rakennuksesta. (Motiva Oy n.d.)

Myös Which? -yhteisön (2021) mukaan patteriverkoston tasapainotus säästää lämmityksen energiakustannuksissa. Artikkelissa kerrotaan Energy Saving Trust -järjestön lupaavan vuositasolla jopa £75, eli noin 88 € säästöä säätämällä termostaatin asetusta alemmaksi yhdellä lämpötila-asteella. (Which? 2021.) Artikkelia arvioitaessa täytyy kuitenkin muistaa, että Yhdistyneiden Kuningaskuntien ilmasto on erilainen kuin Suomessa ja lämmitysjärjestelmien mitoitukset sekä normit eroavat myös suomalaisista.

Perussäädön yhteydessä voidaan laskea esimerkiksi niiden tilojen lämpötiloja, joita ei käytetä paljoa tai ei muuten vaadi viihtyvyydeltään korkeita lämpötilaolosuhteita. Näitä tiloja voi olla esimerkiksi jotkin yleiset tilat, kuten porraskäytävät, varastot ja kellaritilat. Myös mahdolliset verstaat tai autotallit voidaan pitää lämpötilaltaan matalampina. (Motiva Oy n.d.)

5 TUTKIMUS JA MITTAUSJÄRJESTELY

Tutkimuskohteeksi valikoitui toimeksiantajayritys KL-Lämpö Oy:n osoittama rakennus. Tämän opinnäytetyön käytännöntutkimuksen tarkoituksena oli kerätä lähtötiedot sekä dataa lämmitysjärjestelmän kuluttamasta energiamäärästä. Käytännössä tämä tarkoitti energiamittausjärjestelyjen tekemistä ja nykyisen energiankulutuksen datan keräämistä myöhempää vertailua varten. Tutkimus pyrittiin muodostamaan niin, että sitä voitaisiin tulevaisuudessa jatkaa jonkin toisen tahon toimesta. Kohteen lämmitysjärjestelmään tehtäisiin mahdollisesti myöhemmin energiaa säästäviä huoltotoimenpiteitä ja niiden jälkeen uusi kulutusmittaus. Toimenpiteiden tehokkuutta ja hyötyjä voitaisiin näiden mittausten tuloksia vertailemalla arvioida sekä mahdollisesti todistaa käytännössä.

5.1 Tutkimuskohde

Tutkimuksen kohde on 50-luvulla rakennettu kokonaispinta-alaltaan noin 1500 m² pieni kerrostalorakennus. Talo sijaitsee Tampereella. Asuinhuoneistoja rakennuksessa on kahdessa kerroksessa ja lisäksi kohteessa on kellaritilat, josta löytyy esimerkiksi kattilahuone sekä varastotiloja. Rakennuksen maanpäällisestä kerroksesta löytyy myös kolme eri liikehuoneistoa. Rakennus on liitetty kaukolämpöverkkoon ja tilojen sekä käyttöveden lämmitys hoidetaan kaukolämmöllä. Lämmönjakotapa on vesikiertoinen patterilämmitys.

Vuonna 2017 rakennuksen lämmitysjärjestelmään on suoritettu kuntokartoitus KL-Lämpö Oy:n toimesta, jossa selvitettiin nykyisen järjestelmän kunto sekä toimivuus. Kartoituksen perusteella laadittiin raportti mahdollisista toimenpiteistä, joilla kohteen energiatehokkuutta voitaisiin parantaa. Opinnäytetyötä varten tämä kohde valittiin juuri näiden energiatehokkuutta parantavien toimenpiteiden tutkimiseksi.

Kuntokartoituksessa ilmeni lämmitysjärjestelmässä olevan monta eri parantamisen ja kunnostuksen kohdetta. Kohteeseen on tehty vuonna 2010 kaukolämpöpaketin uusinta, mutta kaukolämpölinjat ovat kokonaisuudessaan 70-luvulta ja

linjoissa on silmämääräisesti havaittuja vuotoja. Kohteesta ei ole piirretty lämmitysjärjestelmän LVI-suunnitelmia, jotka ovat tärkeitä lämmitysjärjestelmän tasapainotusta varten. Tasapainotus pitäisi kohteeseen tehdä, sillä huoneistoissa on kartoituksen mukaan havaittu epätasaista lämmön jakautumista. Patteri- ja linjasäätöventtiilit tulisi saada siis optimaalisiin asetuksiin ja säätökäyrää voitaisiin tällöin mahdollisesti laskea. Patteri- ja linjasäätöventtiilit ovat osittain eri merkkisiä ja vanhoja. Myös osa lämmityspattereista on vanhoja ja liiketiloista löytyy 50-luvun ripapatterit.

Kohteeseen on asennettu magneettinen sivuvirtasuodatin, joka poistaa verkostossa veden mukana liikkuvaa magneettista sakkaa. Suodattimen asennuksen jälkeen kohteeseen on tehty vesianalyysi, jonka mukaan vesiarvot ovat hyvät ja sakkaa ei ole kertynyt suodattimeen. Analyysin perusteella voidaan sanoa, että kohteen vedenkäsittely ei vaadi toimenpiteitä ja kyseinen ratkaisu on nykyisellään kunnossa.

5.2 Energiamittauksen laitteet

Tutkimuskohteen kaukolämmön alajakokeskuksesta ja sen tyyppikilvestä selvitettiin mittarin valintaan vaikuttavat ominaisuudet. Tärkeimmät ominaisuudet olivat toisiopuolen verkoston tilavuusvirtaama tilojen lämmityksen verkostossa, verkoston veden maksimi ja minimi lämpötilat sekä putkikoko mittarin mahdollisen asennuspaikan kohdalla. Energiamittarin haluttiin olevan myös loggaava, eli mitausdataa sisäiseen muistiin tallentava mittari. Kyseiset tiedot lähetettiin suoraan laitevalmistajalla sähköpostin välityksellä ja tiedusteltiin, millainen mittari olisi optimaalinen tarvittaviin tutkimustoimenpiteisiin. Valmistajalta tiedusteltiin myös tarvittavat lisävarusteet sekä datanhallintaohjeet.

Mittarin ja tarvittavien varusteiden hankinnan suoritti toimeksiantajayritys KL-Lämpö Oy. Lämmitysjärjestelmän energiankulutusmittausta varten energiamittariksi valikoitui Kamstrup Multical 403. Hankittuihin mittarin varusteisiin kuului lisäksi verkoston meno- ja paluuputkiin kytkettävät lämpöanturit, putkiasennuksen kierreliittimet sekä datan keräämiseen tarvittava optinen kaapeli USB-liitännällä. Putkiasennukseen haettiin erikseen myös LVI-alan tukusta tarvittavia putkiosia.

Kuvassa 13 on kohteeseen asennettu energiamittari sekä optisen kaapelin infra-punalla toimiva lukijapää. Myös asennuksen suoritti KL-Lämpö Oy.



KUVA 13. Kamstrup Multical 403 -energiamittari ja optinen kaapeli

Datan keräämiseen Excel-tiedostoon vaadittiin englanninkielinen Kamstrupin LogView HCW -tietokoneohjelma sekä optisen kaapelin USB-sovitinohjelma, jotka voitiin ladata omalle kannettavalle tietokoneelle valmistajan verkkosivuilta veloitusetta. Sivuille täytyi tehdä myös oma käyttäjätili, jotta ladattaviin palveluihin pääsisi käsiksi.

5.3 Mittausjärjestely

Mittari saatiin asennettua 5.1.2021, jonka jälkeen sen asetukset valittiin ja asetettiin kohteen ominaisuuksien vaatimille asetuksille. Tärkeimpänä asetuksena mittarin asennuspuoli, eli onko mittari meno- vai paluupuolella. Energiamittari asennettiin paluuputkeen ennen kiertovesipumppua, koska tässä kohdassa oli mahdollisimman suora kohta putkessa, jolloin putkimutkien aiheuttamat veden pyörteilyt eivät vaikuttaisi virtausmittauksen tarkkuuteen. Asennuskohdassa oli myös, mittarin käyttöä ja tarkastelua ajatellen, riittävän tilava alue. Energiankulutuksen mittaus alkoi heti mittarin asentamisen jälkeen 5.1.2021 noin kello 11.00 aamupäivällä.

Mittarin toiminnan testaamiseksi suoritettiin LogView HCW -ohjelmalla ensimmäinen mittausdatan keräys heti asennuksen jälkeen. Käytännössä datan keräys

tehtiin avaamalla LogView HCW -ohjelmisto ja liittämällä optisen kaapelin USB-liitin tietokoneen USB-porttiin. Ohjelmisto kysyi tällöin USB-laitteen yhdistämistä mittarin lukua varten. Kun optinen kaapeli oli yhdistetty ohjelmistoon, voitiin kaapelin toinen pää, eli infrapunalla toimiva lukijapää, asettaa mittarin optisen lukijan paikalle. Tämä paikka on mittarin näytön yläpuolella, missä lukijalla ei ole omia kiinnikkeitä, vaan lukijaa täytyy pitää paikallaan, mikäli se ei pysy siinä itsestään. Kuvasta 16 näkyy lukijan asettaminen sen paikalle mittariin.

LogView HCW -ohjelmasta voitiin tämän jälkeen valita data, joka mittarista halutaan lukea ja ladata tietokoneelle. Työssä käytettiin datan keräyksessä sekä päiväkohtaista että tuntikohtaista energiankulutusta. Kokeilussa huomattiin, että mittarilla pystytään tallentamaan logger-toiminnolla vain energiankulutuksen määrä sekä putken läpi kulkeneen veden tilavuus. Meno- ja paluueden lämpötilaa ei siis mittari pystynyt loggaamaan. Asia vahvistettiin myös laitevalmistajalta.

Laitevalmistajan mukaan energiamittarin muistissa on 1850 kpl tuntikapasiteettia, eli noin 77 päivän loggausdata mahtuu mittarin muistiin. Tästä syystä datan keräys tulee suorittaa vähintään 77 päivän välein, mikäli mittausjakso on pitkä. Tässä tutkimuksessa ensimmäinen datan keräys tehtiin 19.2.2021 noin kello 10.00 aamupäivällä. Toinen, ja viimeinen, datan keräys tehtiin 9.4.2021 noin kello 10.00 aamupäivällä. Kerättyä mittausdataa ei otettu koko ajalta huomioon, sillä datan loppupuolella vuodenaika oli jo pitkällä kevättä ja ulkolämpötilat olivat melko lämpimiä.

Kulutusten myöhempää vertailua varten, työn mittaustuloksiin liitettiin mukaan Ilmatieteen laitokselta (2021) ladatut säähavainnot. Säähavainnoista tarkasteltiin vuorokausi ja tuntikohtaisia ylimpiä, alimpia ja keskiarvoisia lämpötiloja.

6 TULOKSET

Opinnäytetyön tulokset liittyvät pääosin kirjallisuustutkimuksessa esiin nostettuihin seikkoihin. Lämmitysjärjestelmien huoltojen vaikutukset energiatehokkuuteen, joista työssä kerrotaan, ovat kokonaan tai pääosin julkista tietoa. Työn tuloksissa on koottu yhteen tärkeimmät energiatehokkuuteen vaikuttavat huolto- ja parannustoimenpiteet eri kirjallisuuslähteiden perusteella. Tuloksiin on koottu myös näiden toimenpiteiden konkreettiset vaikutukset lämmitysjärjestelmän toimintaan siltä osin, kuin kirjallisuustutkimuksen perusteella voidaan luotettavasti väittää. Toinen osuus työn tuloksissa liittyy tutkimuskohteeseen aloitettuun käytännön tutkimukseen sekä tuotettuun vertailudataan.

6.1 Kirjallisuustutkimus

Teoriatiedon tutkimuksen perusteella, merkittävin vesikiertoisten lämmitysjärjestelmien ongelma ja energiahukkaa aiheuttava tekijä ainakin Suomessa oli järjestelmien epätasapaino. Lämmitysjärjestelmien epätasapaino-ongelmista kirjoitettiin monissa eri lähteissä, sekä kaupallisissa että tieteellisissä ja myös ulkomaisissa lähteissä. Epätasapainon korjaaminen ei ole automaattisesti yksinkertainen asia varsinkaan vanhoissa järjestelmissä. Pelkällä perussäädöllä ei välttämättä saavuteta optimaalisinta energiatehokkuutta, sillä järjestelmän epätasapainoon voi tutkimuksen perusteella johtaa yksi tai useampi rakenteellinen ongelma. Ongelmien lisäksi järjestelmästä voi puuttua oleellista tietoa, esimerkiksi lämmityksen LVI-suunnitelmat, kuten tämän työn tutkimuskohteestakin. Tämän takia huollettavan kohteen lämmitysjärjestelmä kannattaisi kartoittaa melko tarkasti ennen perussäätöä ja selvittää syy-seuraussuhteet liittyen epätasapainoisuuden aiheutumiseen.

Tutkimuksen perusteella lämmitysjärjestelmän onnistunut tasapainotus voi säästää energiankulutuksessa parhaimmillaan 10–15 % ja jos lämpötiloja pystytään tiloissa laskemaan, tarkoittaisi se kulutukseen keskimäärin noin 5 % säästöä jokaista lämpötila-astetta kohden. Lisäksi toimiva lämmitys lisää rakennuksen käyttäjien asuinmukavuutta ja huonelämpötiloja ei tällöin mahdollisesti pyritä enää

itse muuttamaan esimerkiksi tuulettamalla tai säätämällä patteriventtiileiden esisäätöarvoja ja menoveden säätökäyrää.

Vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän tasapainotus voi kuitenkin epäonnistua monien eri tekijöiden vuoksi. Näitä ovat esimerkiksi ilma verkostossa, putkistoihin tai pattereihin kertynyt sakka, vanhat tai huonokuntoiset säätö- ja patteriventtiilit sekä vääränlainen mitoitus tai mitoitusasiakirjojen puuttuminen. Monet näistä ongelmista vaikuttavat myös yksinään energiankulutukseen.

Tutkimuksen perusteella sekä ilma että korroosiosta aiheutuva sakka vaikuttavat negatiivisesti lämmitysveden vapaaseen kiertoon sekä lämmön välittymiseen rakennuksen sisätiloihin. Ilma verkostossa voi johtaa ilmataskuihin putkistossa tai pattereissa, jolloin vesi ei pääse kiertämään kaikkien pattereiden läpi niin kuin sen kuuluisi. Tällöin patterit voivat olla kylmiä ja lämpötilakäyriä saatetaan taas nostaa, joka nostaa energiankulutusta. Sakka voi aiheuttaa samantyylistä ongelmaa tukkimalla venttiilejä tai pattereiden sisäistä veden kiertoa. Sakka voi sen lisäksi kasvattaa kiertopumpun sähköenergiankulutusta, sillä se aiheuttaa painehäviöiden kasvua verkostossa, jonka seurauksena pumppu joutuu tekemään enemmän työtä pitääkseen virtauksen halutussa määrässä. Energiakustannusten lisäksi verkoston happipitoisuus ja sakkakertymät voivat aiheuttaa elinkaarikustannusten kasvua. Happi verkostossa syövyttää putkia sekä muita osia, jolloin niihin muodostuu ajan kuluessa vuotoriskejä. Korroosion reaktiotuotteet saattavat myös kerääntyä verkoston eri osiin aiheuttaen tukoksia ja rikkoutumisia. Molemmat ongelmat vaativat ennenaikaisia korjaustoimenpiteitä.

Kun lämmitysjärjestelmä on rakenteellisesti kunnossa sekä toiminnaltaan tasapainoinen, voidaan energiatehokkuuteen vaikuttaa teknologialla ja automaatiolla. Taloautomaatiolla voidaan lähteiden mukaan optimoida lämmityksen tuottoa tarpeen mukaan, jolloin vältytään yllämmittämiseltä silloin, kun tiloissa on muita lämmityskuormia, kuten auringon säteilyä, ihmisiä tai elektroniikkaa. Automaatiolla voidaan myös ennakoida ulkoisia olosuhteiden vaihteluja, jolloin lämmitysjärjestelmän vaste on nopeampaa ja tarpeen mukainen lämmöntuotto tarkempaa. Lisäksi lämmitysjärjestelmään asennetulla taajuusmuuttajaohjatulla kiertovesipumpulla voidaan säästää sähkön käytössä. Tällöin pumppu säätyy esimerkiksi

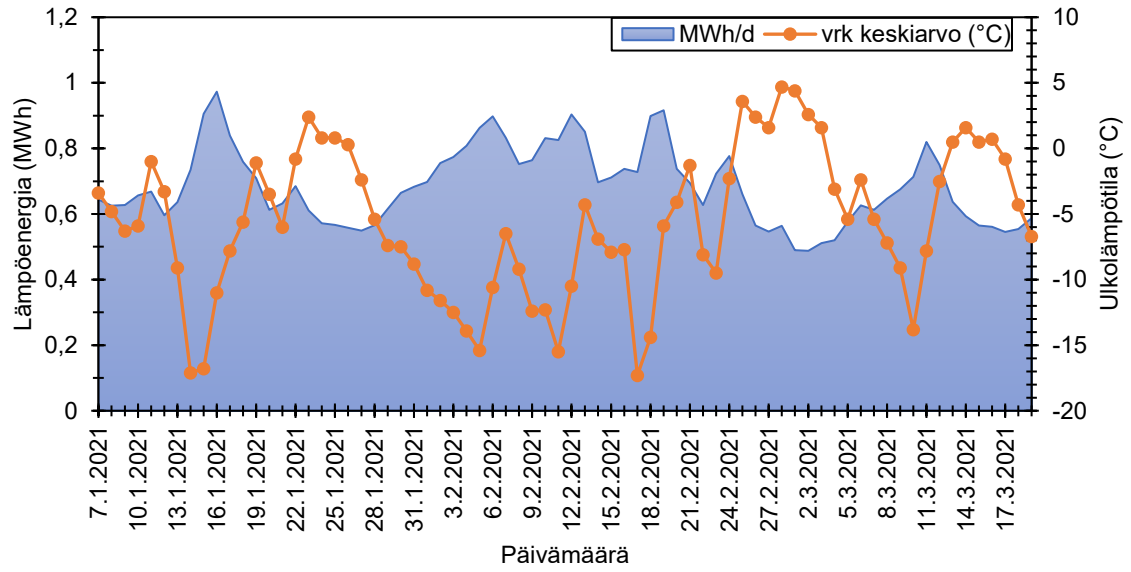
tarvittavan paine-eron mukaisesti portaattomasti, jolloin pumppu ei käytä muuttuvissakaan paineolosuhteissa ylimääräistä sähköenergiaa.

6.2 Energiankulutusmittaus

Mittauksella saatiin selville tutkimuskohteen energiankulutuksen määrät sekä päivä- että tuntikohtaisesti. Mittarilla saatiin dataa myös verkoston veden virtausmääristä tilavuusyksikkönä. Tutkimukseen valikoituneella mittarilla ei pystynyt tallentamaan verkoston meno- ja paluuvesien lämpötiloja, joiden avulla mittauksesta olisi voinut saada lisää tärkeää tietoa irti. Lämpötilojen avulla pystyisi tarkastelemaan lämmitysjärjestelmän nykyisen säätökäyrän optimaalisuutta ja pohtimaan, jos lämpötiloja pystyttäisiin tulevaisuudessa alentamaan.

Mittauksen tulokset koottiin Excel-tiedostomuotoon, johon lisättiin mukaan myös ilmatieteen laitoksen (2021) säädata mittausjaksolta. Excel-taulukoita muodostettiin kaksi erillistä, joista toisessa on päiväkohtaiset kulutustiedot sekä säätiedot ja toisessa tuntikohtaiset kulutukset ja säätiedot. Tuntikohtaisen taulukon ollessa todella laaja, lisättiin työhön näkyville vain päiväkohtainen data mittaustuloksista. Päiväkohtainen energiankulutusdata ja säätiedot ovat työn liitteenä 1. Koko mittauksesta saatu data lähetettiin toimeksiantajayritykselle Excel-tiedostona.

Kuviosta 8 nähdään, miten kohteen päivittäinen lämmitysenergian kulutus kehittyy suhteessa vuorokauden keskiarvoulkolämpötilaan. Kun ulkolämpötila laskee, lämmitysjärjestelmä reagoi siihen nostamalla menoveden lämpötilaa. Tämä näkyy kuviossa 8 energiankulutuspiikkinä. Kuviosta voidaan havaita myös pieni viive lämmitysjärjestelmän reaktioajassa, kun lämpötilakäyrä lähtee laskuun tai nousuun.



KUVIO 8. Järjestelmän kulutukset suhteessa ulkolämpötilojen keskiarvoihin

7 POHDINTA

Kirjallisuustutkimuksen perusteella Suomen lämmitysjärjestelmien energiankulutuksessa olisi mahdollisuus energiansäästöihin, sillä arvioiden mukaan enemmistö asuinrakennusten lämmityksistä ovat epätasapainoisia ja eivät näin ollen toimi optimaalisesti. Lisäksi iso osa asuinrakennuksista on jo melko vanhaa rakennuskantaa, jolloin myös niiden taloteknisten järjestelmien kunto ja tehokkuus on rapistunut vuosien saatossa.

Lämmitysjärjestelmien huolloilla ja ylläpidolla on suuri merkitys järjestelmän energiatehokkuuden tasoon ja käyttöiän määrään. Niiden laiminlyönnillä voidaan ajautua tilanteeseen, jossa järjestelmää joudutaan säätämään jatkuvasti sisäolosuhteiden ylläpitämiseksi. Tällöin lämpökäyriä muutetaan usein jyrkemmiksi, jolloin myös kulutus ja käyttökustannukset kasvavat. Huoltamatta jättäminen voi myös johtaa suunniteltua aikaisempaan linjasaneerauksen tarpeeseen, joka on yleensä suuri investointi asukkaille ja omistajille.

Tämän työn kaltaisesta tutkimuksesta voisi saada hyvinkin hyödyllistä tietoa huoltojen tarpeellisuudesta, sillä vastaavia tutkimuksia ei ole montaa toteutettu, ainakaan julkisesti. Työn mittauksen parantamiseksi tulisi myös lämmitysjärjestelmän meno- ja paluuveden lämpötiloja seurata, jotta lämmityksen säätökäyrän asetuksia ja optimaalisuutta voitaisiin tarkastella. Kohteeseen voitaisiin toteuttaa myös sisälämpötilojen pidempiaikainen mittaus, jonka tuloksista nähtäisiin tarkemmin järjestelmän nykyisen toiminnan tasapainoisuus.

Tutkimuskohteen kaltaiseen rakennukseen täytyisi ensin suorittaa putkiosien ja laitteiden, kuten venttiileiden ja pattereiden, modernisointi. Jotta kokonaisvaltainen huolto olisi järkevää, kaikki järjestelmän epäkohdat, kuten vuodot ja tukokset, tulisi korjata. Järjestelmän ollessa teknisesti kunnossa, voitaisiin kohteeseen tehdä lämmitysdokumentit, joihin myös tasapainotus voidaan laskea. Näiden toimenpiteiden ja huolellisen perussäädön avulla uskon energiatehokkuuden ja asuinmukavuuden parantuvan huomattavasti.

Mittauksesta saatua vertailudataa voidaan verrata mahdolliseen toimenpiteiden jälkeiseen mittausdataan. Vertailussa voidaan ottaa huomioon sääolosuhteiden samankaltaisuus näiden kahden datan välillä. Luotettavammaksi mahdollista vertailua olisi voitu saada, jos energiamittari olisi kyennyt tallentamaan myös kierto-veden lämpötilat mittaushetkellä, jolloin mittaustilanteiden olosuhteista olisi saanut vielä enemmän tietoa.

Lähdetietoihin perustuva tutkimus oli teknisesti onnistunut, mutta työn pääasialliseen aiheeseen löytyi melko niukasti julkista tutkimustietoa. Puolueettomia tutkimuksia huoltojen vaikutuksesta energiankulutukseen ei juurikaan löytynyt, lukuun ottamatta mainintoja niistä. Itse tutkimuksia tai niiden raportointia ei siis ollut saatavilla.

Vastaavia tutkimuksia voitaisiin suorittaa puolueettomasti esimerkiksi valtion tai kunnan toimesta, jolloin tutkimustietoa saataisiin koko alan ja kansan tietoisuuteen. Tällä voitaisiin saada koko maanlaajuisesti rakennusten lämmitysjärjestelmiä energiatehokkaammiksi ja esimerkiksi kehittää uusia asetuksia koskien sekä vanhojen että uusien järjestelmien toimintaa.

LÄHTEET

1010/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Helsinki. Julkaistu 20.12.2017. Luettu 27.1.2021.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=1010%2F2017>

2/11. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. Helsinki. Julkaistu 30.3.2011. Luettu 28.1.2021.

<https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/700001/37188>

2/17. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta. Helsinki. Julkaistu 12.5.2017. Luettu 28.1.2021.

<https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/700001/43242>

4/13. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Helsinki. Julkaistu 27.2.2013. Luettu 28.1.2021.

<https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/700001/40799>

718/2020. Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennuksen teknisten järjestelmien energiatehokkuuden vaatimuksista. Helsinki. Julkaistu 27.10.2020. Luettu 27.1.2021. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20200718>

Auranen, A. 2010. Pientalolämmityksen huolto ja kunnossapito. Helsinki: Opetushallitus.

D7/1997. Kattiloiden hyötysuhdevaatimukset. Määräykset 1997. Helsinki: Ympäristöministeriö. Julkaistu 22.12.1997. Luettu 27.1.2021.

<https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Danfoss. 2015. Practical guidelines for creating energy efficient multi-family residential heating systems. Informaatio dokumentti. Julkaistu 10.2015. Luettu 12.3.2021. https://files.danfoss.com/download/Heating/Whitepapers/Whitepaper_Creating-energy-efficient-heating-systems.pdf

Elysator. n.d. Standardit. Luettu 26.3.2021.

<https://elysator.com/fi/standardit/>

Energiatehokas koti. n.d. Taloautomaatio. Päivitetty 21.7.2020. Luettu 1.2.2021.

https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/taloautomaatio

Energiatehokas koti. n.d. Vesikiertoinen vai kuiva lämmönjakojärjestelmä? Päivitetty 17.3.2020. Luettu 28.1.2021.

https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/vesikiertoinen_vai_kuiva_lammonjakojarjestelma

Energiateollisuus ry. 2020. Energiavuosi 2019 – Kaukolämpö. Esitys. Julkaistu 20.1.2020. Päivitetty 20.1.2020. Luettu 14.1.2021.

[https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/energiavuosi_2019_-_kaukolampo_\(mediakuvat\).html#material-view](https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/energiavuosi_2019_-_kaukolampo_(mediakuvat).html#material-view)

Energiateollisuus ry. n.d. Kaukolämmön keskeytykset ovat harvinaisia. Luettu 13.1.2021.

https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolammon_kskeytykset

Energiateollisuus ry. n.d. Kaukolämpöverkkoja yli 15 000 km. Luettu 13.1.2021.

<https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot>

HELEN Oy. n.d. Kaukolämpölaitteet. Luettu 13.1.2021.

<https://www.helen.fi/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/nykyisille-asiak-kaille/kaukolampolaitteet>

Ilmatieteen laitos. 2021. Sää ja meri. Havaintojen lataus. Luettu 24.3.2021.

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

Kapanen, J. 1995. Kiinteistön lämmitys- ja vesiputkistojen kunnossapito. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.

KL-Lämpö Oy. n.d. Kiinteistötekniikan palvelut. Lämmitysjärjestelmät. Luettu 16.2.2021.

<https://www.kl-lampo.com/palveluratkaisut/kiinteistotekniikan-palvelut/lammitys-jarjestelmat/28>

Korkala, T. 2018. Lämmitys. Hoito ja huolto. 1. painos. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.

Laitinen, J. 2010. Pieni suuri energiakirja. Helsinki: Into Kustannus Oy.

LVI 10-10397. 2006. Rakennusten lämmitys. Ohjetiedosto. Helsinki: Rakennustieto Oy. Luettu 4.1.2021. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/>

LVI 12-10343. 2002. Vesikiertoinen patterilämmitys. Ohjetiedosto. Helsinki: Rakennustieto Oy. Luettu 7.1.2021. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/>

LVI 13-10261. 1996. Vesikiertoinen lattialämmitys. Ohjetiedosto. Helsinki: Rakennustieto Oy. Luettu 11.1.2021. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/>

LVI 19-10399. 2006. Lämmitä oikein. Vesikeskuslämmitysjärjestelmän käyttäjän ohje. Ohjetiedosto. Helsinki: Rakennustieto Oy. Luettu 4.1.2021. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/>

LVI 41-10230. 1994. Lämmitysverkoston säätö. Ohjetiedosto. Helsinki: Rakennustieto Oy. Luettu 3.2.2021. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/>

Lämmönhuolto PRO Oy. n.d. Korroosio lämmitysverkostossa. Luettu 16.2.2021.
<http://lammonhuolto.fi/korroosio.html>

Motiva Oy. 2012. Energiatehokas teollisuuskiinteistö. Opas. Julkaistu 2012. Luettu 11.1.2021.
https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/teollisuus/energiatehokas_teollisuuskiinteisto.10766.shtml

Motiva Oy. 2017. Säättöjen ja käyttötapojen vaikutus energiankulutukseen – Asuinkerrostalot. Ajankohtaisjulkaisu. Julkaistu 2017. Luettu 25.2.2021.
https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/koti_ ja_ asuminen/saatojen_ ja_ kayttotapojen_ vaikutus_ energiankulutukseen_ -_ asuinkerrostalot.10739.shtml

Motiva Oy. 2020. Energian kokonaiskulutus. Päivitetty 21.9.2020. Luettu 21.1.2021.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/energian_kokonaiskulutus

Motiva Oy. 2020. Energian loppukäyttö. Päivitetty 21.9.2020. Luettu 21.1.2021.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/energian_loppukaytto

Motiva Oy. n.d. Patteriverkoston perussäätö. Päivitetty 16.12.2020. Luettu 10.2.2021.
https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/taloyhtiot/patteriverkoston_perussaato

Rakennusteollisuus RT ry. n.d. Energiatehokkuuden parantaminen vähentää päästöjä. Luettu 21.1.2021.
<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Ilmasto--ja-energiapolitiikka/>

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. 2. painos. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.

Tilastokeskus. 2019. Suomen virallinen tilasto (SVT): Rakennuskanta 2019. Verkkojulkaisu. Päivitetty 27.5.2020. Luettu 11.2.2021.
https://www.stat.fi/til/rakke/2019/rakke_2019_2020-05-27_kat_002_fi.html

Tilastokeskus. 2020. Suomen virallinen tilasto (SVT): Asumisen energiankulutus 2019. Verkkojulkaisu. Julkaistu 19.11.2020. Päivitetty 19.11.2020. Luettu 21.1.2021.
https://www.stat.fi/til/asen/2019/asen_2019_2020-11-19_tie_001_fi.html

Which?. 2021. Five tips to reduce your heating bills. Artikkel. Julkaistu 8.2.2021. Luettu 11.3.2021.
<https://www.which.co.uk/reviews/boilers/article/5-tips-to-reduce-your-heating-bills-aqik36F56DvJ>

Ympäristöhallinto. 2016. Lämmitysjärjestelmät ja energiatehokkuus. Julkaistu 30.6.2016. Luettu 28.1.2021.
<https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Taloyhtiot/Energiatehokkuus/Energiankulutus/Lammitysjarjestelma>

Ympäristöministeriö. n.d. Rakentamismääräyskokoelma. Verkkosivu. Luettu 27.1.2021. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

LIITTEET

Liite 1. Päiväkohtainen mittausdata

1 (2)

Energiamittarin data					Ilmatieteenlaitoksen säädädata		Havaintoasema	Asemakoodi
Date	Heat energy [MWh]	V1 [m3]	MWh/d	m ³ /d	Date	vrk keskiarvo (°C)	Tampere Tampella	151049
							Ylin lämpötila (°C)	Alin lämpötila (°C)
19.3.2021 0:00	49,664	4557,07	0,587	61,93	19.3.2021 0:00	-6,7	-2,5	-10,5
18.3.2021 0:00	49,077	4495,14	0,554	61,93	18.3.2021 0:00	-4,3	-1,7	-5,6
17.3.2021 0:00	48,523	4433,21	0,545	61,77	17.3.2021 0:00	-0,8	1,8	-1,8
16.3.2021 0:00	47,978	4371,44	0,561	62,39	16.3.2021 0:00	0,7	3,2	-0,3
15.3.2021 0:00	47,417	4309,05	0,565	63,13	15.3.2021 0:00	0,5	1,8	0
14.3.2021 0:00	46,852	4245,92	0,593	63,43	14.3.2021 0:00	1,6	3,6	0,7
13.3.2021 0:00	46,259	4182,49	0,637	63,35	13.3.2021 0:00	0,5	3,6	-2,6
12.3.2021 0:00	45,622	4119,14	0,749	62,59	12.3.2021 0:00	-2,5	-1	-4
11.3.2021 0:00	44,873	4056,55	0,82	62,04	11.3.2021 0:00	-7,8	-2,8	-14,6
10.3.2021 0:00	44,053	3994,51	0,713	62,3	10.3.2021 0:00	-13,8	-8,4	-18,9
9.3.2021 0:00	43,34	3932,21	0,675	62,26	9.3.2021 0:00	-9,1	-5,9	-11,6
8.3.2021 0:00	42,665	3869,95	0,647	62,36	8.3.2021 0:00	-7,2	-4,6	-10,8
7.3.2021 0:00	42,018	3807,59	0,613	62,14	7.3.2021 0:00	-5,4	1	-6,9
6.3.2021 0:00	41,405	3745,45	0,626	61,64	6.3.2021 0:00	-2,4	3,2	-7,3
5.3.2021 0:00	40,779	3683,81	0,577	61,45	5.3.2021 0:00	-5,4	-1,6	-8,6
4.3.2021 0:00	40,202	3622,36	0,52	60,96	4.3.2021 0:00	-3,1	2,4	-4,7
3.3.2021 0:00	39,682	3561,4	0,511	60,86	3.3.2021 0:00	1,6	6,1	-1,1
2.3.2021 0:00	39,171	3500,54	0,488	61,37	2.3.2021 0:00	2,6	5,1	1,1
1.3.2021 0:00	38,683	3439,17	0,49	61,69	1.3.2021 0:00	4,4	7,1	2,5
28.2.2021 0:00	38,193	3377,48	0,564	62,16	28.2.2021 0:00	4,7	8,6	0,7
27.2.2021 0:00	37,629	3315,32	0,546	62,67	27.2.2021 0:00	1,6	5,1	-0,6
26.2.2021 0:00	37,083	3252,65	0,565	62,97	26.2.2021 0:00	2,4	3,9	1,3
25.2.2021 0:00	36,518	3189,68	0,66	63,04	25.2.2021 0:00	3,6	4,7	2,4
24.2.2021 0:00	35,858	3126,64	0,777	62,69	24.2.2021 0:00	-2,3	4,1	-9
23.2.2021 0:00	35,081	3063,95	0,723	63,04	23.2.2021 0:00	-9,5	-8,3	-11,4
22.2.2021 0:00	34,358	3000,91	0,627	63,68	22.2.2021 0:00	-8,1	-3,1	-9,3
21.2.2021 0:00	33,731	2937,23	0,695	63,43	21.2.2021 0:00	-1,3	1,8	-4
20.2.2021 0:00	33,036	2873,8	0,738	63,29	20.2.2021 0:00	-4,1	-1,6	-6,7
19.2.2021 0:00	32,298	2810,51	0,916	62,15	19.2.2021 0:00	-5,9	-3,5	-9,1
18.2.2021 0:00	31,382	2748,36	0,899	61,74	18.2.2021 0:00	-14,4	-8,4	-21,9
17.2.2021 0:00	30,483	2686,62	0,728	62,41	17.2.2021 0:00	-17,3	-12,3	-20,9
16.2.2021 0:00	29,755	2624,21	0,738	62,26	16.2.2021 0:00	-7,7	-4,5	-12,3
15.2.2021 0:00	29,017	2561,95	0,711	62,24	15.2.2021 0:00	-7,9	-4,5	-12,6
14.2.2021 0:00	28,306	2499,71	0,697	61,97	14.2.2021 0:00	-6,9	-2,7	-9,2
13.2.2021 0:00	27,609	2437,74	0,851	61,8	13.2.2021 0:00	-4,3	-2,6	-9,2
12.2.2021 0:00	26,758	2375,94	0,904	62,01	12.2.2021 0:00	-10,5	-6,9	-14,8
11.2.2021 0:00	25,854	2313,93	0,825	62,65	11.2.2021 0:00	-15,5	-12,2	-20,1
10.2.2021 0:00	25,029	2251,28	0,831	62,54	10.2.2021 0:00	-12,3	-8,9	-15,9
9.2.2021 0:00	24,198	2188,74	0,764	63,26	9.2.2021 0:00	-12,4	-9	-15,5
8.2.2021 0:00	23,434	2125,48	0,752	63,36	8.2.2021 0:00	-9,2	-5	-11,9
7.2.2021 0:00	22,682	2062,12	0,832	62,91	7.2.2021 0:00	-6,5	-4,6	-12,6
6.2.2021 0:00	21,85	1999,21	0,898	62,69	6.2.2021 0:00	-10,6	-5,8	-16,5
5.2.2021 0:00	20,952	1936,52	0,863	62,05	5.2.2021 0:00	-15,4	-11,6	-17,8
4.2.2021 0:00	20,089	1874,47	0,808	62,18	4.2.2021 0:00	-13,9	-9	-17,2
3.2.2021 0:00	19,281	1812,29	0,774	62,28	3.2.2021 0:00	-12,5	-10,3	-14,7
2.2.2021 0:00	18,507	1750,01	0,755	61,03	2.2.2021 0:00	-11,6	-7,7	-14,5
1.2.2021 0:00	17,752	1688,98	0,698	61,07	1.2.2021 0:00	-10,8	-8,1	-13,6
31.1.2021 0:00	17,054	1627,91	0,683	61,09	31.1.2021 0:00	-8,8	-7,2	-10,1
30.1.2021 0:00	16,371	1566,82	0,664	61,38	30.1.2021 0:00	-7,5	-5,6	-9,4
29.1.2021 0:00	15,707	1505,44	0,616	61,88	29.1.2021 0:00	-7,4	-6,2	-8,9
28.1.2021 0:00	15,091	1443,56	0,566	62,54	28.1.2021 0:00	-5,4	-2,2	-8,6
27.1.2021 0:00	14,525	1381,02	0,549	62,84	27.1.2021 0:00	-2,4	-0,6	-3,3
26.1.2021 0:00	13,976	1318,18	0,558	63,18	26.1.2021 0:00	0,3	1,2	-0,6
25.1.2021 0:00	13,418	1255	0,567	63,36	25.1.2021 0:00	0,8	1,3	0,2
24.1.2021 0:00	12,851	1191,64	0,572	64,34	24.1.2021 0:00	0,8	2,6	0,2
23.1.2021 0:00	12,279	1127,3	0,611	65,12	23.1.2021 0:00	2,4	3,2	0,2
22.1.2021 0:00	11,668	1062,18	0,685	64,86	22.1.2021 0:00	-0,8	0,6	-7
21.1.2021 0:00	10,983	997,32	0,632	65,2	21.1.2021 0:00	-6	-4,5	-7,3
20.1.2021 0:00	10,351	932,12	0,613	65,5	20.1.2021 0:00	-3,5	-0,4	-5,6

(jatkuu)

2 (2)

19.1.2021 0:00	9,738	866,62	0,709	65,5	19.1.2021 0:00	-1,1	-0,6	-3
18.1.2021 0:00	9,029	801,12	0,759	65,06	18.1.2021 0:00	-5,6	-3	-9,6
17.1.2021 0:00	8,27	736,06	0,839	65,63	17.1.2021 0:00	-7,8	-5,7	-12,6
16.1.2021 0:00	7,431	670,43	0,973	67,51	16.1.2021 0:00	-11	-8,7	-12,9
15.1.2021 0:00	6,458	602,92	0,906	65,79	15.1.2021 0:00	-16,8	-11,9	-21,3
14.1.2021 0:00	5,552	537,13	0,735	64,21	14.1.2021 0:00	-17,1	-11,6	-20
13.1.2021 0:00	4,817	472,92	0,636	64,4	13.1.2021 0:00	-9,1	-3,7	-11,7
12.1.2021 0:00	4,181	408,52	0,596	64,13	12.1.2021 0:00	-3,3	-0,8	-4,4
11.1.2021 0:00	3,585	344,39	0,668	62,13	11.1.2021 0:00	-1	-0,2	-2,5
10.1.2021 0:00	2,917	282,26	0,657	61,58	10.1.2021 0:00	-5,9	-2,2	-9,9
9.1.2021 0:00	2,26	220,68	0,627	61,89	9.1.2021 0:00	-6,3	-4,9	-7,6
8.1.2021 0:00	1,633	158,79	0,625	62,02	8.1.2021 0:00	-4,8	-3,6	-5,3
7.1.2021 0:00	1,008	96,77	0,644	62,39	7.1.2021 0:00	-3,4	-2,5	-5,3
6.1.2021 0:00	0,364	34,38	Vajaa vrk	Vajaa vrk	6.1.2021 0:00	-5,4	-4,7	-6,2
5.1.2021 10:46	0	0	0	0	5.1.2021 0:00	-7	-5	-8,5