



jamk

Lämpökeskuksen energiatehokkuus ja sen kehittäminen

Janne Palviainen

Opinnäytetyö, AMK

Elokuu 2022

Tekniikan ala

Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Palviainen, Janne

Lämpökeskuksen energiatehokkuus ja sen kehittäminen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Elokuu 2022, 54 sivua

Tekniikan ala. Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön aiheena oli tehdä energiatehokkuuskatselmus ja toimenpide-ehdotus energiatehokkuutta edistäviin toimenpiteisiin. Opinnäytetyö oli toimeksianto Savon Voima Joensuulle. Pää tavoitteena oli löytää ratkaisuja omakäyttölämmön kulutuksen vähentämiseen.

Toimenpidesuunnitelmaa varten lämpökeskukselle toteutettiin sovellettu Motivan kaukolämpökatselmus, joka kohdennettiin lämmön tuotantoprosessiin sekä omakäyttölämmön kulutuskohteisiin. Katselmuksen toteutuksessa hyödynnettiin PI-kaavioista, ohjausjärjestelmästä, teknisistä dokumenteista ja käyttöhenkilöstön haastatteluista saatuja tietoja. Lämpökeskuksen kaukolämpökatselmuksesta saatiin kokonaiskuvan lämpökeskuksen lämmöntuotantoprosessin hyötysuhteesta, omakäyttölämmön kulutuskohteista ja seisonta-ajan omakäyttölämmön tasosta. Katselmuksessa havaittiin, että kiinteistön rakennusautomaatio ja öljyjärjestelmä vaatii muutoksia. Opinnäytetyön tuloksena saatiin tuotettua toimenpide-ehdotus kustannuslaskelmineen energiatehokkuutta edistävästä toimenpiteistä, jossa lämpökeskuksen omakäyttölämmön määrää saadaan laskettua. Toimenpide-ehdotus sisälsi muutoksia rakennusautomaation uudistamisesta niin kiinteistön kuin öljyjärjestelmän osalta. Toimenpide-ehdotuksesta nousseista pääkohteista pyydettiin tarjous palveluntarjoajalta, jotta kustannuslaskelma ja takaisinmaksuaika oli mahdollista laskea. Kustannuslaskelmasta laskettiin takaisinmaksuaika, mikä oli 5,6-11 vuoden välillä riippuen omakäyttölämpöenergian säästetyistä määristä. Tuloksena oli, että rakennusautomaation uudistamisella olisi mahdollista saada kustannustehokas energiantehokkuutta edistävä investointi.

Avainsanat (asiasanat)

Energia, lämpökeskus, kaukolämpökatselmus, rakennusautomaatio, energiatehokkuus

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Janne Palviainen

The energy efficiency of the thermal center and its development

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, August 2022, 54 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The topic of the thesis was to make an energy efficiency survey and a measure proposal for energy efficiency promoting measures. The thesis was a commission from Savon Voima Joensuu. The final goal was to find solutions to reduce the consumption of self-use heat.

For the action plan, an applied Motiva district heating survey was carried out for the heating center, which was targeted at the heat production process and self-use heat consumption items. Information obtained from PI diagrams, control system, technical documents and interviews with operating personnel was used in the execution of the review. The district heating survey of the heating plant provided an overall picture of the efficiency of the heating plant's heat production process, the self-use heat consumption points and the level of self-use heat during downtime. The inspection found that the property's building automation and oil system require changes.

As a result of the thesis, a measure proposal with cost calculations on measures promoting energy efficiency was produced, in which the amount of self-use heat of the heating center can be calculated. The measure proposal contained changes regarding the renovation of building automation, both for the property and the oil system. An offer was requested from the service provider for the main items arising from the measure proposal, so that the cost calculation and payback period could be calculated. The payback period was calculated from the cost-benefit calculation, which was between 5,6 and 11 years, depending on the amount of self-use heat energy saved. The result was that by renewing building automation, it would be possible to get a cost-effective investment promoting energy efficiency.

Keywords/tags (subjects)

Energy, heating center, district heating inspection, building automation, energy efficiency

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Tutkimuksellinen kehittämistoiminta	5
2.1	Tutkimusasetelma, tavoitteet ja tutkimuskysymykset	6
2.2	Aineiston keruu ja analyysi.....	7
3	Teoria.....	8
3.1	Kaukolämpöjärjestelmä	8
3.2	Lämpökeskus.....	10
3.2.1	Laitoksen hyötysuhde	11
3.3	Höyrykattilat.....	13
3.3.1	Vesiputkikattilat.....	14
3.3.2	Tulitorvi-tuliputkikattila	15
3.4	Öljylämmitys.....	16
3.4.1	Öljykattila	16
3.4.2	Öljypolttimet.....	17
3.4.3	Öljyjärjestelmä.....	18
3.5	Lämmönsiirrin	20
3.6	Rakennusautomaatio	22
3.6.1	Lämmitysjärjestelmän automaatio.....	24
3.6.2	Käyttövesiverkoston automaatio	25
3.6.3	Ilmastoinnin automaatio	26
3.7	Kaukolämpökatselmus	28
3.7.1	POR- ja POK-lämpökeskusten lämmön tuotanto ja hankinta.....	28
4	Kohteen perustiedot.....	29
4.1	Käpykankaan lämpökeskus	29
5	Energiatuotannon ja käytön nykytilanne	30
5.1	Lähtötiedot.....	30
5.2	Lämpökeskuksen energiatase ja kattilan hyötysuhde.	30
6	Kaukolämpökatselmuksen kohteet	32
6.1	Yleistä	32
6.2	Öljyjärjestelmä	32
6.3	Kattilan ja sen seisokkiajan lämmitys.....	34
6.4	Kiinteistön lämmitysjärjestelmä.....	36
6.5	Kiinteistön lämpöhäviöt	38

7	Energiansäästökohteiden kustannuslaskenta	40
7.1	Öljyjärjestelmän muutokset.....	41
7.2	Rakennusautomaation uudistaminen	43
8	Yhteenveto.....	44
9	Pohdinta.....	45
	Lähteet	48
	Liitteet	51
	Liite 1. Käpykankaan lämpökeskuksen lämmöntuotanto, polttoaineden käyttö ja kattilan hyötysuhde.....	51
	Liite 2. Käpykankaan PI-kaavio	52
	Liite 3. Neste Tempera 36 tuotetiedot.....	53
	Liite 4. Lämpökeskuksen omakäyttölämpö ja omakäyttölämmitysteho	54
	Liite 5. Öljyn lämpötilan optimointi	55
	Liite 6. RAU-järjestelmän uusimisen kustannuslaskelma	55
	Liite 7. Säiliön välitilan ilman lämmittämisen ja johtumislämpöhäviöihin käytetyn lämpöenergian määrät	56
	Liite 8. RAU-urakan yksikköluettelo	57
	Kuviot	
	Kuvio 1. Kaksiputkijärjestelmän periaatekuva (Energiateollisuus 2006, 43).....	9
	Kuvio 2. Kaukolämpökeskuksen kytkentäkaavio (Huhtinen ym. 2011, 15).....	11
	Kuvio 3. Kaukolämpövoimalaitosten kytkennät eri kaukolämpötehoilla (Huhtinen ym. 2011, 47)	13
	Kuvio 4. Luonnonkiertokattilan vesihöyrypiiri (Huhtinen 2000, 113)	15
	Kuvio 5. Tulitorvi-tuliputkikattila (Wärtsila SV3-kattilat - tekninen seloste).....	16
	Kuvio 6. Öljypolttimien öljynhajoitusperiaatteita (Huhtinen ym. 2000, 129)	17
	Kuvio 7. Nesteen jalostamien raskaiden polttoöljyjen viskositeettipiirros (Huhtinen ym. 2000, 36)	19
	Kuvio 8. Suoraputkisiirtimen toimintaperiaate ja avattu lämmönsiirrin (Mäkelä & Tuunanen 2015, 72)	21
	Kuvio 9. Kuparikierukkalämmönsiirrin käyttöveteen (Mäkelä & Tuunanen 2015, 72)	21
	Kuvio 10. Kaukolämmön lämmönsiirtimen tehonsäätö (Värjä & Mikkola 1999, 84).....	25
	Kuvio 11. Lämmitysverkon säätö- ja asetusravokäyrästä (Värjä & Mikkola 1999, 85)	25
	Kuvio 12. Kaukolämmönvaihtimen säätölaitteet (Värjä 1999, 79).....	26
	Kuvio 13. Talon ilmastointikanavat. (Värjä & Mikkola 1999, 104).....	26

Kuvio 14. Ilmastoinnin perusprosessin PI-kaavio (Värjä & Mikkola 1999, 106)	27
Kuvio 15. Lämpökeskuksen lämmöntuotanto ja höytysuhde vuonna 2021.....	31
Kuvio 16. Öljysäiliö ja öljyn pumppausjärjestelmä	33
Kuvio 17. Käpykankaan lämpökeskuksen lämpötilatasot.....	35
Kuvio 18. Savukaasun lämpötilat	36
Kuvio 19. Lämpökeskuksen kuukausittainen lämmön kulutus ja lämmitysteho.....	37
Kuvio 20. Omakäyttölämpö seisonta-aikana	40

Taulukot

Taulukko 1. Lämpökeskuksen komponentteja (Huhtinen ym. 2011, 14)	10
Taulukko 2. Rakennusautomaation säätötavat ja merkitys energiansäästönä	23
Taulukko 3. Kaukolämpökatselmuksen kohteet	29

1 Johdanto

Suomen energiatehokkuuslaki (1429/2014) on vuodesta 2015:a toimeenpannut EU:n asettamaa energiatehokkuusdirektiivia (EU/27/2012), joka tuli voimaan vuonna 2012. Laissa säädetään mm. energiatehokkuuden edistämisestä ja parantamisesta sekä energiamarkkinoilla toimivien yritysten velvollisuudesta pyrkiä edistämään energian tehokasta ja säästäväistä käyttöä asiakkaittensa toiminnassa. Laki sovelletaan yrityksiin, jotka tuottavat ja myyvät kaukolämpöä ja sähköä.

Savon Voima on vastannut energiatehokkuuslain muutoksiin solmimalla energiatehokkuussopimuksen vuonna 2016. Energiatehokkuussopimukset ovat tärkeä osa Suomen energia- ja ilmastostrategiaa, ja keino edistää energian tehokasta käyttöä Suomessa. Energiatehokkuussopimuksella Savon Voima on vapaaehtoisesti sitoutunut selvittämään ja parantamaan energiatehokkuuttaan osana toimintojen suunnittelua ja johtamista. Sopimus velvoittaa vuosittaiseen raportointiin energian säästämisen toimista, energiansäästön määristä ja yleisesti energiankäytön määristä (Energiatehokkuussopimus 2016). Energiatehokkuussopimukseen liittyvien energiapalveluiden ja energiatuotannon toimenpideohjelmat vuosille 2017-2025 asettivat kaukolämmön ja sähköntuotannolle omat energiakäytön tehostamistavoitteet: 1.kaukolämpöverkostojen lämpöhäviöiden sekä kaukolämpöveden pumppaussähkön pienentäminen 6 % vuoden 2015 tasosta, 2.kaukolämmön tuotannon hyötysuhteen parantaminen 3 %, 3.kaukolämmön ja sähköntuotannon omakäyttösähkön tehostaminen 3 % vuoden 2015 tasosta. Asetettujen energiatehokkuustavoitteiden täytyminen pyritään toimenpideohjelman mukaan saavuttamaan hankintojen, suunnittelun ja investointien kautta. (Toimenpideohjelma 2017-2025.) Tammikuussa 2022 päivitetty ympäristö- ja energiatehokkuustoimenpideohjelma vuosille 2022-2025 korostaa energiatehokkuuden kehittämistä sekä oman että asiakkaiden toiminnassa.

Opinnäytetyö oli toimeksiantona jatkoa Savon Voiman Oy:n harjoittamalle energiasäästötoiminnalle. Toimeksiannon tavoitteena oli selvittää kaukolämpökatselmuksena Käpykankaan lämpökeskuksen energiankulutusta, löytää katselmuksen perusteella energiansäästämismahdollisuuksia ja pohdita näiden investointien kannattavuutta.

Työssä käytettiin apuna Motivan kaukolämpökatselmusta lämmön tuotannon ja hankinnan osalta POR- ja POK-lämpökeskuksissa. Katselmuksen suoritus oli yksivaiheinen, jolloin siinä läpikäytiin soveltuvin osin lämpökeskuksen kaukolämpöprosessi ja lämmitysjärjestelmä.

Kaukolämpötoiminnassa energiantehokkuustoimenpiteet ovat yleensä kohdistettu parantamaan kattilahiötysuhdetta ja sitä kautta vähennetty käytetyn polttoaineen määrä. Nämä toimenpiteet tuovat rahallisia säästöjä mutta vähentää samalla hiilijalanjälkeä tuotettua energiamäärää kohden. Kaukolämpölaitosten omakäyttölämmön tehostaminen on kuitenkin jäänyt vähemmälle huomiolle koska lämpö on käytännössä ollut ilmaista. Jos kaukolämpöverkoston hiötysuhdetta seurataan tuotetun ja myydyn lämmön suhteena, niin kaukolämpölaitosten korkea omakäyttölämmön määrä nostaa kokonaislämmön tarvetta ja sitä kautta heikentää koko kaukolämpöverkoston hiötysuhdetta. Käpykankaan lämpökeskus on yksi kahdeksasta huipputeholaitoksesta, jonka käyttötunnit ovat verrattain pienet. Suurimman osan vuodesta lämpölaitos toimii kulutuskohteena kaukolämpöverkossa. Jos lämpölaitokset toimivat suurimman osan vuodesta suurina lämmönkulutuskohteina voi kokonaiskustannukset nousta hyvinkin korkeaksi.

Työ oli tutkivaa kehittämistoimintaa, jonka tuloksena luotiin Käpykankaan lämpölaitokselle energiatehokkuuteen tähtäävä toimenpidesuunnitelma. Energiakatselmuksesta esiin nousseille energiansäästömahdollisuuksille laskettiin kannattavuuslaskelmat takaisinmaksuajoilla ja taloudellisesti kannattavat investoinnit listattiin toimenpideohjelmaan.

2 Tutkimuksellinen kehittämistoiminta

Tutkimuksellinen kehittämistoiminta on tutkimustoiminnan ja kehittämistoiminnan yhdistämistä. Tutkimuksellista kehittämistoimintaa voidaan lähestyä sekä kehittämistoiminnan että tutkimuksen suunnasta. Kehittämistoiminnassa ajattelun logiikka kulkee tutkimuksellisesta kysymyksenasettelusta ja metodologisista tarkasteluista kohti konkreettista kehittämistoimintaa. Tässä toiminnassa tietoa tuotetaan käytännön kehittämisprosessin yhteydessä, tiedeyhteisön intressien mukaisesti. Tutkimuksellisessa kehittämistoiminnassa käytännön ongelmat ja kysymykset ohjaavat tiedontuotantoa. Tietoa tuotetaan käytännön toimintaympäristössä ja tutkimukselliset asetelmat ja menetelmät toimivat apuna tässä. Tutkimuksellisessa kehittämistoiminnassa korostetaan kehittämistoimintaa, mutta siinä pyritään hyödyntämään tutkimuksellisia periaatteita (Toikka & Rantanen 2009, 22.)

2.1 Tutkimusasetelma, tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tämän opinnäytetyön toteutustavaksi valittiin tutkimuksellinen kehittämistoiminta, jossa pääpaino oli kehittämistoiminnassa ja tutkimukselliset asetelmat ja menetelmät toimivat apuna. Käytännön ongelmat ja kysymykset ohjasivat tiedontuotantoa. Opinnäytetyön tutkimusongelma oli lämpölaitoksen omakäyttölämmön korkea kulutus. Lämpölaitoksen omakäyttölämmön kulutusta oli seurattu useamman vuoden ajan, josta käyttöhenkilöstö oli havainnut, että omakäyttölämmön kulutus on korkea. Käyttöhenkilöstö oli myös havainnut, että lämpölaitoksen lämpötilatasot sekä kattilahallin sisäilman paine-ero suhteessa ulkoilmaan ei ole optimaalinen. Kentältä havaitut poikkeamat yhdessä konsernin energiatehokkuuden toimenpideohjelman osoitti, että energiatehokkuutta edistävälle kehittämistoiminnalle on tarvetta. Kaukolämpöprosessi ja kiinteistötekniikka, varsinkin lämmityksen osalta, olivat läheisesti yhteydessä toisiinsa. Lämpökeskukset ovat suhteellisen vanhoja ja keskuksille oli vuosien aikana tehty useita muutostöitä, jolloin osa vanhoista prosesseista oli jääneet uuden rinnalle tarpeettomana ja jopa turhana energiakulutuskohteena. Toimeksiantajan tahtotila oli saada varsinkin rakennusautomaatiosta nykyaikainen.

Kaukolämpöprosessista vanhoiksi jääneiden osien poistoa tulisi pohtia ja yhdenmukaistaa osaksi rakennusautomaatiota. Tutkivan kehittämistehtävän tavoitteena oli löytää energiansäästökohteita lämpökeskuksesta niin kaukolämpöprosessin kuin rakennusautomaation osalta. Lisäksi tavoitteena oli arvioida havaittujen energiasäästökohteiden investointikustannuksia suhteessa saataviin säästöihin. Tutkimuksen tavoitteet asetettiin toimeksiannon mukaisiksi, suhteessa tutkimusongelmaan sekä käytössä olevien teknisten mahdollisuuksien mukaan.

Tutkimuksen aihe rajattiin käsittelemään omakäyttölämpöä. Aiheen rajaukseen vaikutti lämpökeskuksen olemassa olevat prosessin mittausmahdollisuudet sekä kustannustekijät. Lämpökeskuksen laitteiden sähkönkulutusta olisi ollut vaikeaa mitata ilman erillisiä mittalaitteita, kun taas lämmön mittaamiseen oli olemassa valmiit mittauspisteet ja -laitteet. Työssä pyritään löytämään vastaus seuraaviin kysymyksiin: ”Mikä on lämpökeskuksen omakäyttölämmön kulutuksen nykytilanne?”, ”Millaisia lämmitysprosessin ja kiinteistöautomaation energiansäästökohteita on?” ja ”Millaisia hyötyjä säästötoimenpiteillä saavutetaan?”.

2.2 Aineiston keruu ja analyysi

Kvalitatiivinen tutkimus perustui tilastotieteen sääntöihin. Tutkimus edellytti ilmiön tuntemusta ja teoriapohjaa, josta tutkimusongelma oli johdettu. Tutkimusongelma muutettiin tutkimuskysymykseksi, joihin kerättiin aineisto ongelman ratkaisuksi. Tässä tutkimusasetelmassa tiedonkeruumenetelmänä käytettiin määrällistä aineistonkeruuta esim. kyselylomaketta tai muuta pohjaa, jolle tutkittavaa ilmiötä koskevat tiedot kerättiin. Lomakkeen laatiminen edellytti tietoa ilmiöstä, joka johdettiin olemasta olevista teorioista. Kun ilmiö oli selvä ja ymmärretty, muuttujat ja niiden riippuvuussuhteet tunnettiin, niin sen jälkeen tutkimuksesta saatua tietoa peilattiin olemassa oleviin teorioihin ja sitä kautta arvioitiin teorian ja mallin toimintaa käytännössä. (Kananen 2010, 74.)

Kvantitatiivisen tutkimuksen keskeisiä ominaisuuksia on mm. johtopäätökset aiemmista tutkimuksista, aiemmat teorit, havaintoaineisto määrällisessä (numeraalinen) muodossa, muuttujien muodostaminen taulukkomuotoon ja päätelmien teko tilastolliseen analysointiin perustuen esim. prosenttilukoiden avulla. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 1997, 136.)

Kvalitatiivisessa lähtökohdat ovat erilaiset kuin mitä määrällisessä tutkimuksessa. Laadullisessa tutkimuksessa ilmiötä eikä sen tekijöitä ja tekijöiden välisiä riippuvuussuhteita ei tunneta. Laadullinen tutkimus auttaa ymmärtämään ilmiötä. Laadullinen tutkimus on kaiken tutkimuksen lähtökohta, sillä se tuottaa uutta tietoa kvantitatiivista tutkimusta varten. (Kananen 2010, 36-37.) Kvalitatiivisen tutkimuksen keskeisiä ominaisuuksia on mm. tutkimus on kokonaisvaltaista ja aineisto kootaan todellisista tilanteista, suositaan ihmisiä tiedon keruun instrumentteina, aineistonhankinnassa käytetään haastatteluja, valitaan kohdejoukko tarkoituksenmukaisesti ja tutkimussuunnitelmaa tarkennetaan tutkimuksen edetessä. (Hirsjärvi ym. 1999, 160.)

Opinnäytetyössä voidaan yhdistellä erilaisia tutkimusotteita ja menetelmiä tilanteen mukaan. Opinnäytetyössä voi hyvin olla alussa laadullinen osio, jolla selvitetään ilmiötä, ja jonka jälkeen laaditaan esim. määrällisen tutkimuksen aineistokeruulomake. Tutkimusongelma voi olla myös niin laaja tai monimutkainen, että tutkimuksessa tarvitaan kvantitatiivista ja kvalitatiivista tutkimusta samanaikaisesti. (Kananen 2010, 133-134.)

Opinnäytetyölle asetettuihin tavoitteisiin pääseminen edellytti laadullista- ja määrällistä tutkimusmenetelmää yhdistelevää monimenetelmällistä tutkimusta. Määrällisessä työmenetelmässä kehit-

tämistoimenpiteitä arvioitiin ja analysoitiin numeraalisesti exel-taulukkopohjalla. Määrällisen työmenetelmän tiedonkeruu perustui ohjausjärjestelmästä saataviin mittaustietoihin lämpötiloista, virtauksista ja kulutustiedoista sekä yhteistyökumppaneilta saatuihin tarjousesityksien tietoihin. Laadullisessa työmenetelmässä tiedonkeruu perustui käyttäjien haastatteluihin sekä yhteistyökumppaneiden kanssa käytyihin tarjousneuvotteluihin. Laadullista työmenetelmää käytettiin laitteiden lähtötietojen kartoituksessa ja rakennusautomaation päivittämiseen liittyvien tarjousneuvotteluiden kirjaamiseen. Eri tutkimusmenetelmillä kerättyä tietoa peilattiin kirjallisuuskatsauksen teoriapohjaan ja sen pohjalta valittiin kannattavat ja edistettävät kehittämistoimenpiteet.

Tutkimuksen kohderyhmänä toimi lämpökeskuksen käyttäjät, yhteistyökumppanit rakennusautomaation tarjousmenettelyssä sekä lämpökeskuksen ohjausjärjestelmä. Kehittämistyön aineistona toimi haastattelut, lämpökeskuksen tekniset dokumentaatiot, yhteistyöneuvottelut sekä mittausaineisto ohjausjärjestelmästä eli aineistoa oli määrällisen sekä laadullisen tutkimuksen muodossa.

Määrällisen aineiston keruu tapahtui käyttäen hyväksi alkuperäisiä tilastoituja kulutustietoja vuodelta 2021. Aineisto oli kerätty kuukausikohtaisista energiamittareiden mittarilukemista. Aineiston keräämisestä oli vastannut sähkö- ja automaatiopuolen työntekijät. Määrällisen aineiston analysointi toteutettiin exel-taulukkolaskentaohjelmalla.

Laadullisen aineiston keruu tapahtui käyttäjien ja yhteistyökumppaneiden epävirallisissa haastatteluissa. Haastattelujen tavoitteena oli kasata lämpökeskusta koskevat lähtötiedot ja ymmärtää yhteistyökumppanilta saatua tarjousdokumentaatiota ja tarjousehdotuksen teoreettista pohjaa.

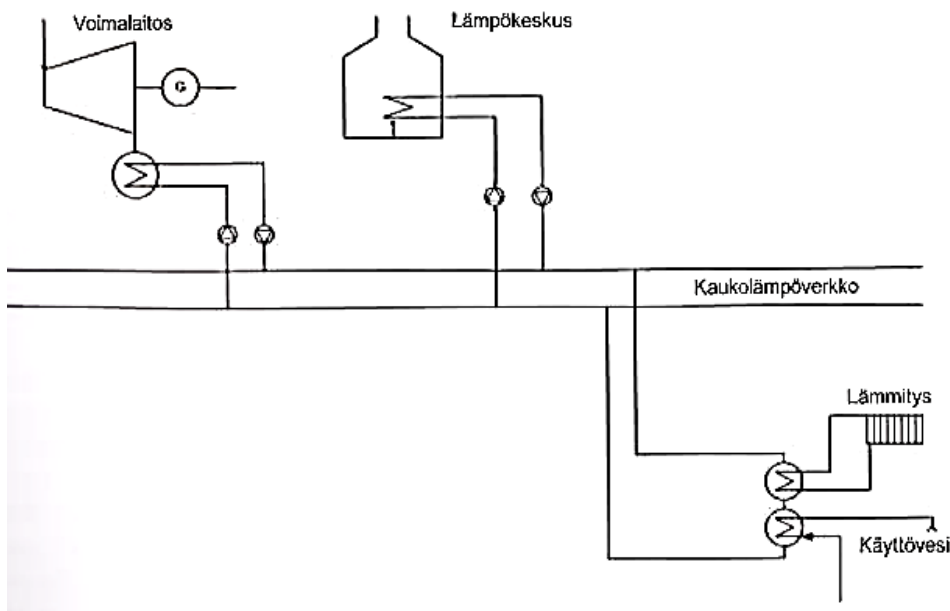
3 Teoria

3.1 Kaukolämpöjärjestelmä

Kaukolämmitys on keskitettyä lämmön tuotantoa ja jakelua asiakkaina oleville kiinteistöille. Jaetua lämpöä käytetään rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen. Kaukolämmölle tyypillisiä ominaisuuksia ovat lämmön keskitetty tuotanto (yhdessä tai useammassa kohteessa), jako kaukolämpöverkon välityksellä ja kaukolämpöverkon siirtoaineena toimii vesi tai höyry. Kaukolämpöjärjestelmän vakiintuneeksi jakelutekniikaksi on Suomessa muodostunut lämpimään veteen perustuva tekniikka, jossa maksimilämpötila on 120 °C. Kaukolämpöjärjestelmän lämmön tarpeen

määrittää rakennusten sekä käyttöveden lämmitys, mikä toisaalta seuraa ulkoilman lämpötilamuutoksia. Vesikaukolämmityksessä lämpö siirtyy suljetussa piirissä kiertävän veden mukana. Luovutettuaan lämmön asiakkaille vesi palaa lämmityslaitokselle uudestaan lämmitettäväksi. Siirtoverkosto on yleisemmin kaksiputkijärjestelmä, jossa on yksi meno- ja yksi paluuputki.

Kaukolämpöjärjestelmä koostuu kokonaisuudesta, jonka pääosina ovat lämmityslaitokset, kaukolämpöverkosto ja lämmön vastaanottoon ja jakeluun tarvittavat asiakkaan laitteet (Kuvio 1). (Energiateollisuus 2006, 25-46.) Suurissa siirtoverkostoissa löytyy välipumppaamoja. Välipumppaamot takaavat suurien vesivirtojen ja pitkien etäisyyksien takia riittävän paine-eron siirtoverkoston uloimmassa haarassa. (Energiateollisuus 2006, 175).



Kuvio 1. Kaksiputkijärjestelmän periaatekuva (Energiateollisuus 2006, 43)

Suomessa kaukolämpöä tuotetaan pääosin yhteistuotantona: 80 % kaukolämmön tuotannon yhteydessä tuotetaan samalla sähköä. Voimalaitoksesta puhutaan silloin kun viitataan sähköä tai sähköä ja lämpöä (tai höyryä) tuottavaan laitokseen. Eri voimalaitostyypppejä ovat höyryvoimalaitos, kaasuturbiinilaitos, kombivoimalaitos ja moottorivoimalaitos. Höyryvoimalaitos kuuluu vastapainevoimalaitoksiin, jossa kattilassa tuotettu höyry johdetaan höyryturbiinin loppupäässä kaukolämpösiirtimeen, jolloin tuotetaan samalla sähköä ja lämpöä. (Energiateollisuus 2006, 25-46.)

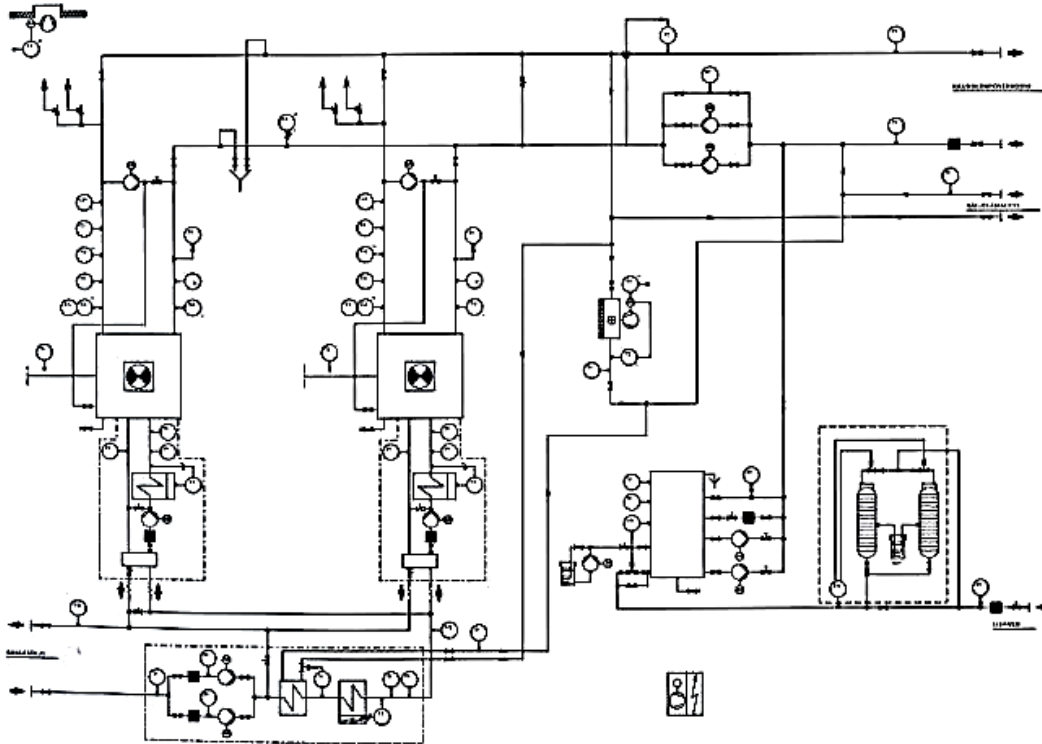
Kaukolämpöjärjestelmän lämmöntuotannosta vastaa yksi tai kaksi isompaa vastapainevoimalaitosta tai kiinteään polttoaineen lämpökeskusta ja 1-10 erillistä lämpökeskusta. Koska huipputehon tarve on lyhytaikainen mitoitetaan isot voimalaitokset kapasiteetiltaan noin 50 % huipputehosta ja loppuosa tehontarpeesta hoidetaan pienemmillä lämpölaitoksilla. Pienien lämpökeskusten osuus koko energiasta on tällöin kuitenkin vain 10-15 %. (Energiategollisuus 2006, 42.) Pienemmistä lämpökeskuksista käytetään nimitystä huippulämpökeskus, mikä nimensä mukaisesti kattaa suurimman kaukolämpötehon tarpeen talven huippupakkasten aikana. Tuotannon eriyttäminen perustuu energian tuotantokustannusten minimoimiseen: pääosa energiasta (80 %) saadaan tuotettua isolla voimalaitosinvestoinnilla mutta edullisilla polttoaineilla ja pieni osa energiasta (alle 20 %) saadaan tuotettua päinvastaisesti pienellä huippulämpökeskusinvestoinnilla mutta kalliilla polttoaineella. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpilainen 2011, 14.)

3.2 Lämpökeskus

Lämpökeskukset ovat pelkästään lämpöä tuottavia laitoksia. Lämpökeskusten kattilatyyppeinä on yleensä joko tulitorvi-tuliputkikattilat tai vesiputkikattilat. Lämpö siirretään joko veteen tai höyryyn. Lämpökeskusten hyötysuhteen vaihtelevat 0,85-0,93 välillä riippuen käytetystä polttoaineesta ja ajotavasta. Suurin lämpöhäviö tapahtuu savukaasujen kautta, joka riippuu savukaasun happipitoisuudesta ja loppulämpötilasta. Lämpökeskusten polttoaineita toimii raskas- tai kevytpolttoöljy, maakaasu ja puu tai turve. (Energiategollisuus 2006, 282.) Huippulämpökeskuksen komponentit on listattu taulukossa 1 ja kytkentäkaavio esitetään kuviossa 2. (Huhtinen ym. 2011, 14.)

Taulukko 1. Lämpökeskuksen komponentteja (Huhtinen ym. 2011, 14)

<ul style="list-style-type: none"> • kattila (useimmiten tulitorvi-tuliputkikattila) • maakaasu- tai öljypoltin • polttoaineputkistot • savupiippu • lisäveden käsittelylaitteet • lisävesisäiliö • paineenpitojärjestelmä • paisuntajärjestelmä 	<ul style="list-style-type: none"> • kaukolämpöveden kiertopumput • sekoituspumppu • lähtevän veden lämpötilan säätöautomaatiikka • poltinautomaatiikka • sähköpääkeskus • lämpökeskusrakennuksen lämmityslaitteisto • ilmanvaihto
--	---



Kuvio 2. Kaukolämpökeskuksen kytkentäkaavio (Huhtinen ym. 2011, 15)

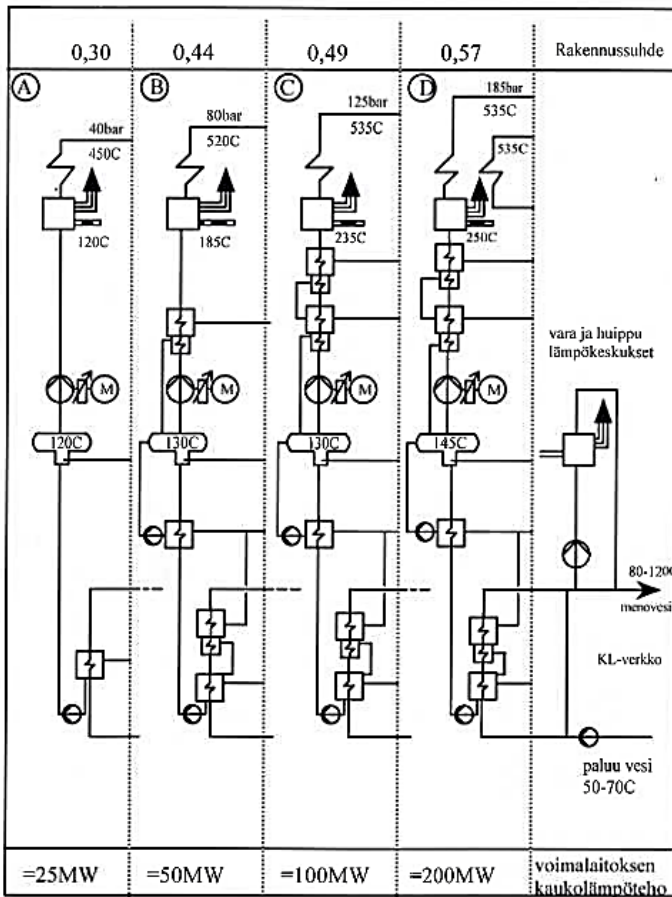
3.2.1 Laitoksen hyötysuhde

Kattilan häviöt muodostuvat kuona-, lentokoksi-, palamattomien kaasujen, savukaasun lämpö-, säteily-, johtumis- ja kattilan pysäytyshäviöistä sekä apulaitteiden vaatimasta sähkötehosta (Lajunen 1973, 16-18). Kattilan hyötysuhde määritellään saksalaisen DIN 1942 standardin mukaan. Kattilan hyötysuhde voidaan laskea kahdella menetelmällä: suoralla ja epäsuoralla menetelmällä. Suoralla menetelmällä hyötysuhde lasketaan kattilasta hyödyksi saatavaan energiavirran määrittämiseen eli veteen ja höyryyn luovutettuun lämpöön. Epäsuoralla menetelmällä hyötysuhteen laskenta perustuu kattilan häviöiden määrittämiseen ja hyötysuhteen laskenta häviöiden kautta. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 101.) Tässä työssä käytettiin kattilan hyötysuhteen määrittämisessä suoraa menetelmää.

Suorassa hyötysuhteen laskennassa kattilasta hyödyksi saatava lämpöenergia suhteutetaan kattilaan tuotuun energiavirtaan. Tässä hyötysuhdemäärittämisessä taseraja tulee määrittellä tarkasti, jonka ylittäviä energiavirtoja tarkastellaan. Taserajan määrittämisessä kattilaan katsotaan kuuluvaksi

kattilan lämpöpintojen lisäksi polttoaineen jauhatuslaitteisto, ilman esilämmitykseen käytetty höyryluvo, pakkokiertopumppu ja savukaasun kierrätyspuhallin. Savukaasu- ja ilmapuhaltimet jäävät tämän taserajan ulkopuolelle. Kattilaan tuotava energia voidaan jakaa polttoainevirtaan verrannolliseen ja polttoainevirrasta riippumattomaan osaan. Polttoainevirtaan verrannollisia kattilaan tuotavia energiavirtoja ovat mm. polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia, polttoaineen esilämmitykseen sitoutunut energia ja palamisilman esilämmitykseen sitoutunut energia. Polttoainemäärästä riippumattomia energiavirtoja ovat mm. höyryluvon lämmitys, polttoaineen hajoitus-höyry, myllyjen, pumppujen ja puhaltimien sähkömoottoreiden käyttö ja tulistuksen säätöön käytetty ruiskutusvesi. Energiavirtojen laskennassa tulee tietää ainevirrat, ominaislämmöt ja lämpötilat. (Huhtinen ym. 2000, 101-103.) Kokonaishyötysuhde vaihtelee kattilan koon sekä ajetun osakuorman mukaan: pienillä kattiloilla ja osakuormilla hyötysuhde laskee. (Lajunen 1973, 16-18.) Tässä työssä hyötysuhteen laskennassa käytetään polttoainevirtaan verrannollisia energiavirtoja koska kaikista polttoainemäärästä riippumattomien energiavirtojen laskentaan saatavia tietoja ei ole käytössä.

Voimalaitosprosessin optimoinnissa tulee huomioida investointikustannusten suhde saataviin energiansäästöihin. Energiasäästöjen edullisuus johtaa siihen, että mitä pienempi voimalaitos on teholtaan, sen yksinkertaisempi prosessikytkentä on taloudellisesti edullisin. Yksinkertaisessa kytkennässä ei ole otettu käyttöön sähkön tuotantoa lisääviä kytkennällisiä mahdollisuuksia. Rakennussuhde kuvaa kaukolämpövoimalaitoksen prosessin sähköntuotannon suhdetta kaukolämpötehoon. Kaukolämpövoimalaitosten rakennussuhteet vaihtelevat 0,3-0,6 välillä. Suhde vaihtelee sen mukaan, millaisia sähköntuotantoa kasvattavia muutoksia perusprosessiin on lisätty. Laitoksen hyöty- ja rakennussuhdetta parantavia kytkentälisäyksiä on mm. monivaiheinen kaukolämmön lämmitys, syöttöveden lämmitys väliottohöyryllä sekä välitulistus. Kuviossa 3 on esitetty tyypillisiä kaukovoimalaitosten kytkentöjä eri kaukolämpötehoilla. (Huhtinen ym. 2011, 46-47.)

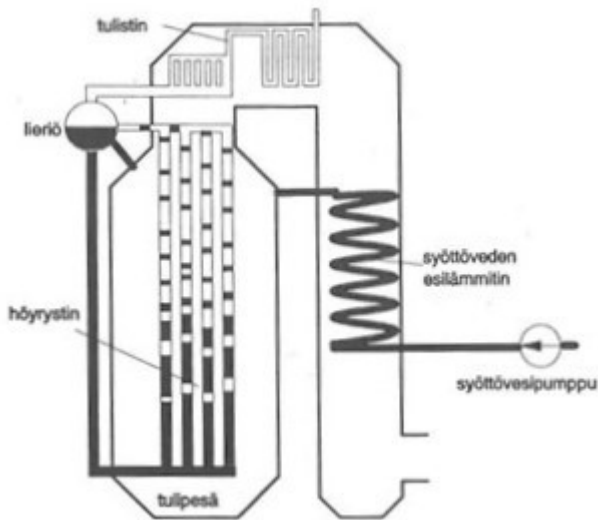


Kuvio 3. Kaukolämpövoimalaitosten kytkennät eri kaukolämpötehoilla (Huhtinen ym. 2011, 47)

3.3 Hörykattilat

Hörykattilan toiminta perustuu savukaasujen lämmönsiirtoon säteilyn tai kosketuksen avulla veteen, höyryyn tai ilmaan. Kattiloiden tulipinta määritellään toiselta puolelta tulen ja palamiskaasujen ja toiselta puolelta veden koskettamaksi lämmönsiirtopinnaksi. Lämmönsiirron mukaan tulipinta jaetaan säteilypintaan ja kosketus- eli konvektiopintaan. Säteilypinnassa lämmönsiirtyminen tapahtuu pääasiassa säteilynä liekkien kosketuksesta ja se sijaitsee tulipesässä ja palokammiossa. Konvektiopinnassa lämpö siirtyy johtamalla savukaasuista veteen. Lämmönsiirtymisen säteilyllä on paljon tehokkaampi kuin johtamalla, minkä vuoksi kattiloihin pyritään saamaan mahdollisimman suuri säteilypinta-ala. (Lajunen 1973, 75.)

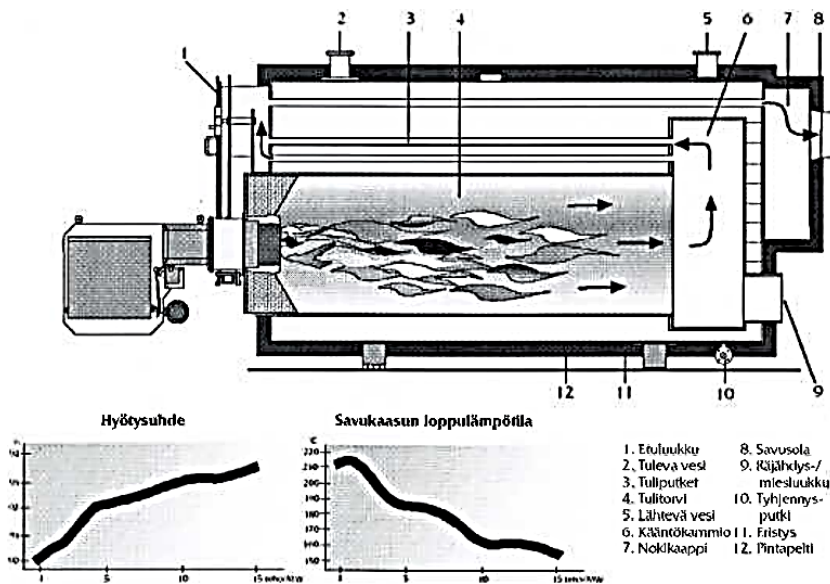
Hörykattilat jaetaan kahteen rakenteeseen: suurvesikattilat ja vesiputkikattilat. Kattilarakenteiden erottelu perustuu vesihöyrypiirin rakenteeseen: suurvesikattiloissa vesi kiertää tulitorven ja



Kuvio 4. Luonnonkiertokattilan vesihöyrypiiri (Huhtinen 2000, 113)

3.3.2 Tulitorvi-tuliputkikattila

Tulitorvi-tuliputkikattilat kuuluvat suurvesikattiloihin eli syöttövesi kulkee tulitorven ja tuliputkien ulkopuolella. Kattilassa polttoaine, joka on yleensä öljy tai kaasu, poltetaan 1-3 tulitorvessa. Tulitorvien jälkeen savukaasut virtaavat putkipatterin läpi. Kattilat ovat yleensä kolmivetoisia tarkoittaen, että tulitorven jälkeen savukaasut virtaavat kahden savuputkipatterin läpi. (Lajunen 1973, 78-79.) Jos kattilatyyppin tehoa halutaan kasvattaa, tarvitaan kattilassa vesi/höyrytilaa rajoittavissa painekuorissa ja tulitorvissa paksummat seinämät. Tämä kallistaa kattilan hintaa niin, että edullisimmaksi käy vesiputkirakenteinen kattilatyyppi. (Huhtinen ym. 2000, 112.)



Kuvio 5. Tulitorvi-tuliputkikattila (Wärtsilä SV3-kattilat - tekninen seloste)

3.4 Öljylämmitys

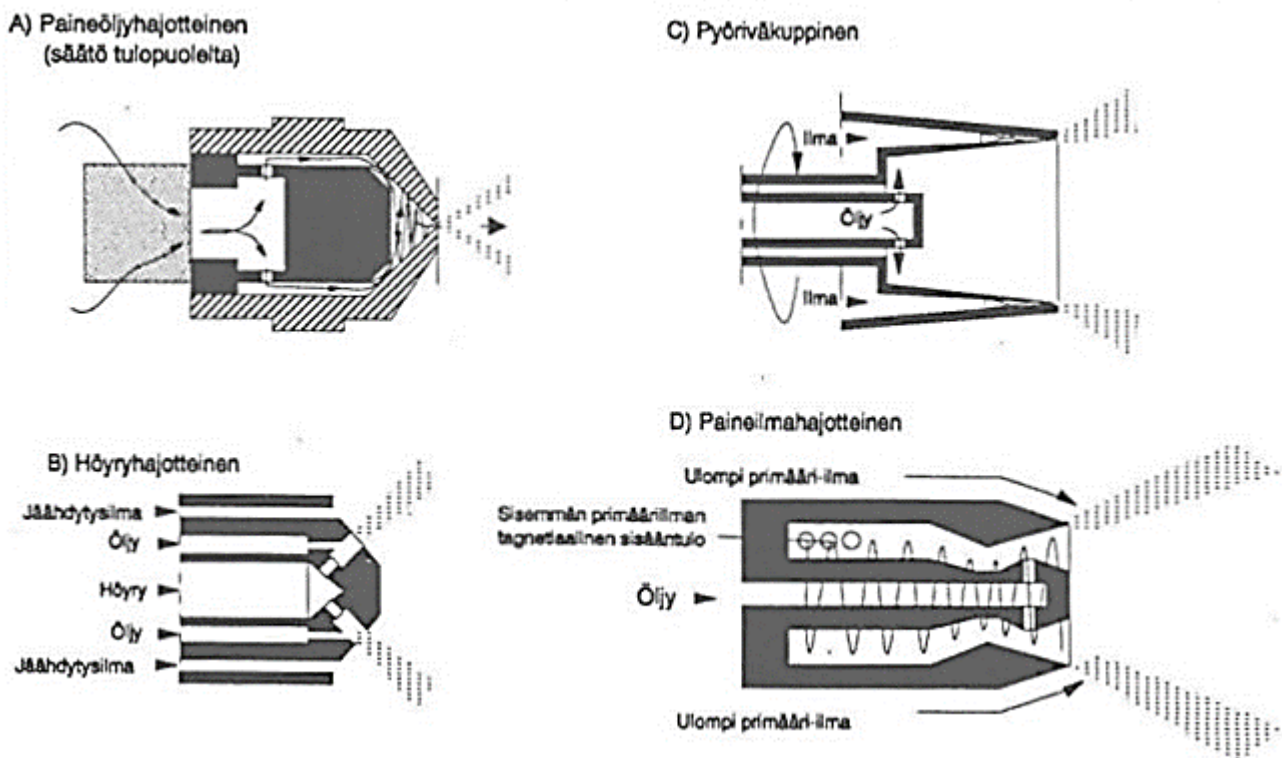
Öljykattilat soveltuvat huipputeholaitosten lämmöntuotantoon hyvin edullisen hinta-tehosuhteen sekä nopean ja helpon käynnistettävyyden vuoksi (Energiateollisuus 2006, 259). Polttoöljyn polttaminen asettaa kuitenkin käytetyille kattilatyypille, polttimelle sekä öljyjärjestelmän rakenteelle ja käyttötekniillisille menetelmille omia vaatimuksiaan (Lajunen 1973, 48-58).

3.4.1 Öljykattila

Polttoöljyn ominaisuudet vaikuttavat käytetyn kattilan tulipesän rakenteeseen. Näitä ominaisuuksia on mm. alhainen kosteus, savukaasumäärä pysyy lähes samana, palaminen tapahtuu kaasumaisessa tilassa ja homogeenisellä liekillä, palamiseen tarvittava ilmaylimäärä on pieni, tulipesän tilavuusrasitus 300 kW/m³ ja tuhkapitoisuus on alhainen. Öljykattiloiden tulipesän mitat ja muoto määräytyvät liekin tilatarpeen mukaan. Polttimen sijoittamisella haetaan erilaisia etuja investointikustannuksiin, tulipesän lämpöpintojen tasaiseen kuormitukseen ja liekin kokoon. Teollisuuden voimalaitoskattiloissa käytetään varsin yleisesti kattopolttua, jolloin poltin sijoitetaan kattilan kattoon ja tällöin liekistä saadaan pidempi, liekki on helpompi sijoittaa tulipesään ja tulipesästä voidaan tehdä kapeampi ja korkeampi, mikä on edullista luonnonkierrolle. (Huhtinen ym. 2000, 127-128.)

3.4.2 Öljypolttimet

Polttoöljyn palaminen on pintareaktio, jonka takia öljy on ensiksi saatava mahdollisimman suuri-pintaiseksi sumuksi. Paras palaminen tapahtuu kun, jos pisaran koko on alle 0,05 mm. Liian suuret pisarat aiheuttavat suuttimien ja tulipintojen likaantumista. (Lajunen 1973, 48-49.) Sumutusperiaatteen mukaan polttimet voidaan jakaa paineöljyhajoitteisiin, pyörivähajoitteisiin ja väliainehajoitteisiin (ilma- tai höyryhajoitteisiin) polttimiin. Kaikkien polttimien peruseriaate on sama mutta teknisen toteutuksen osalta polttimet eroavat toisistaan: kun öljy on sumutettu ohueksi kalvoksi niin sen jälkeen palamisilma rikkoo kalvon pieniksi pisaroiksi. Höyry- ja ilmahajoitteiset polttimet ovat yleisimmin käytössä isoimmassa voimalaitoskattiloissa, kun taas pyöriväkuppista ja paineöljyhajoitteisia polttimia käytetään kevyen ja raskaan öljyn polttoon. (Huhtinen ym. 2000, 129.)



Kuvio 6. Öljypolttimien öljyhajoitusperiaatteita (Huhtinen ym. 2000, 129)

Paineöljyhajoitteinen polttimen toiminta perustuu öljyn korkeaan tulopaineeseen suuttimen tangenttiuriin. Urat saavat öljyvirran voimakkaaseen pyörimisliikkeeseen urien jälkeisessä pyörimiskammiossa. Kammion keskellä olevasta reiästä öljy virtaa ulos muodostaen kartion muotoisen,

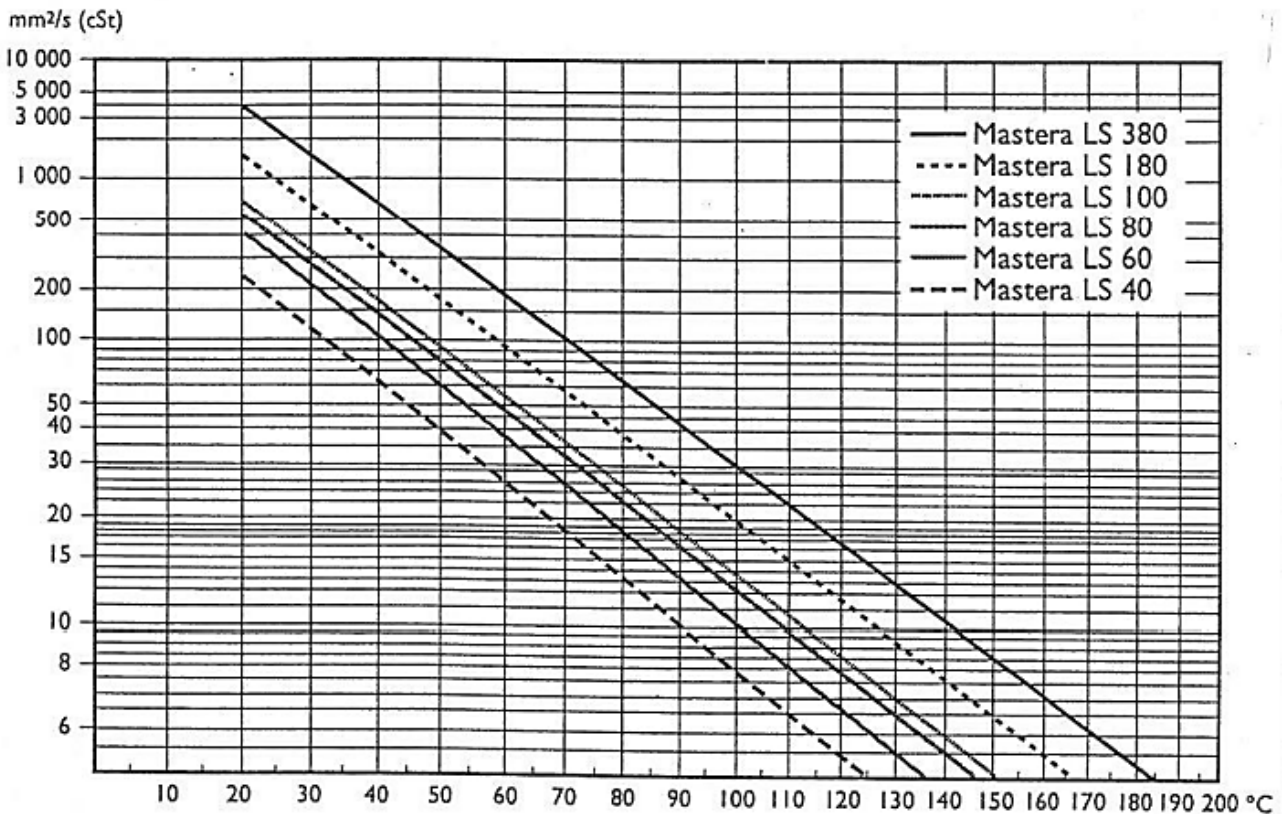
ohuen kalvon, joka pisaroituu heti. Painesuuttimen tehoa säädetään polttimeen tulevan öljyn painetta muuttamalla. Säästöalue on kuitenkin pieni, käytännössä on-off-periaate, koska tehoa pienennettäessä sumutulos huononee. Kevytöljypolttimet ovat yleensä aina paineöljyhajoitteisia, mutta niitä voidaan käyttää myös raskaalle öljylle alle 10 MW:n tehoalueella. Paineöljyhajoitteisen kevytöljypumpun pääkomponentit ovat öljysuodatin, puhallin, öljypumppu, magneettiventtiilit, ohjelmarele, suutin sekä sytytyskärki. (Huhtinen ym. 2000, 130-131.)

Pyöriväkuppisen polttimen toiminta perustuu polttimen sisällä, n. 100 rpm/s pyörivään kupin keskipakovoimaan. Öljy johdetaan pyörivän kupin sisälle, josta se sinkoutuu ohuena kalvona ulospäin tulipesään. Kupin ulkoreunalle johdettu hajotusilma hajottaa öljyn pisaroiksi. Pyöriväkuppisilla polttimilla päästään yleensä parempaan palamistulokseen, pienempiin kiintoainepäästöihin ja laajempaan säästöalueeseen kuin paineöljyhajoitteisella polttimella. (Huhtinen ym. 2000, 132-133.)

3.4.3 Öljyjärjestelmä

Ennen polttimille johtamista öljy pitää puhdistaa ja esilämmittää. Öljy imetään säiliöstä suodattimen läpi pumpulla, esilämmitetään ja johdetaan suodattimen läpi polttimelle. Jotta polttoöljyä voidaan pumpata ja sumuttaa, sen täytyy olla riittävän juoksevaa eli viskositeetti pitää olla riittävän alhainen. (Lajunen 1973, 53.) Viskositeetti ilmaisee öljyn juoksevuuden eli sitkeyden. Viskositeetti riippuu pääasiassa lämpötilasta ja pienenee lämpötilan noustessa. Viskositeetti annetaan yleensä 50 °C lämpötilassa. (Energiateollisuus 2006, 267.) Kuviossa 7 on esitetty Nesteen jalostamien polttoöljyjen viskositeetti- ja paineviskositeetti-vaatimukset. Raskasöljyn pumppaaminen vaatii viskositeetiksi 300-500 mm²/s, minkä takia öljy on lämmitettävä 40-80 °C:n lämpötilaan. Kevyt polttoöljy ei vaadi vastaavaa lämmitystä alhaisen viskositeettinsa takia. (Hutinen ym. 2000, 35.)

Öljyn sumuttaminen ja palaminen vaatii pumppausta alhaisemman viskositeetin, jotta palaminen tapahtuisi hyvin. Sumuttamiseen ja palamiseen vaadittava viskositeetti- ja paineviskositeetti-vaatimusten raja riippuu käytetystä poltintekniikasta. Paineöljypolttimilla viskositeetti tulee olla alhaisempi kuin keskipakopolttimilla. (Lajunen 1973, 54.) Kevyen polttoöljyn sumustusviskositeetti tulee olla alle 5 mm²/s, mikä edellyttää niiden lämmittämistä 50-80 °C:n lämpötilaan (Hutinen ym. 2000, 35).



Kuvio 7. Nesteen jalostamien raskaiden polttoöljyjen viskositeetti- ja lämpötila-kuva (Huhtinen ym. 2000, 36)

Polttoöljyjen rikkipitoisuus vaihtelee 0,7-5 % välillä. Kevyen polttoöljyn rikkipitoisuus on n. 0,1-0,2 % ja raskaan polttoöljyn pitoisuus vaihtelee 1-5 % välillä (Lajunen 1973, 56). Polttoöljyn palaessa pääosa rikistä hapen kanssa muodostaen rikkioksideja SO_2 ja SO_3 . Rikkioksidit SO_3 reagoivat savukaasuissa olevan veden kanssa muodostaen rikkihappoa (H_2SO_4). Jos savukaasujen rikkihappohöyry pääsee tiivistymään kattilan lämpöpinnoille, on seurauksena niiden nopea syöpyminen. (Huhtinen ym. 2000, 45.) Matalalämpötilakorroosiota aiheuttavan rikkioksidin määrä riippuu suureksi osaksi polttoaineen rikkipitoisuudesta, savukaasujen viipymäajasta tulipesässä, tulipesän ja seinämien lämpötilasta ja ylimääräisestä ja katalyyttien määrästä (esim. V_2O_5 , Fe_2O_3). Rikkihappokorroosiota esiintyy kattilan loppupäässä eli ilman- ja esilämmittimien ja savupiipun alueella, joissa lämpöpinnojen lämpötila laskee alle 200°C :n. Rikkihappohöyry muodostuu edellä mainitussa lämpötilassa mutta tiivistyy lämpöpinnoille vasta kun lämpötila laskee alle happokastepisteen, n. 150°C :n. Lisäksi korroosio voimistuu, kun savukaasun lämpötila alittaa vesikastepisteen (50°C), jolloin savukaasujen SO_2 -pitoisuuden vuoksi muodostuu rikkihapoketta. Matalalämpötilakorroosiota voi-

daan torjua pitämällä savukaasun lämpötila riittävän korkealla, pitämällä palamisilmamäärä riittävän pienellä tai neutraloimalla happamia rikkiyhdisteitä lisäämällä magnesiumia tai ammoniakkia polttoprosessiin. (Hutinen ym. 2000, 213.) Savukaasun lämpötilan pitäminen korkealla perustuu käyttöteknillisiin menetelmiin, jolloin syöttöveden lämpötila nostetaan riittävän korkeaksi ennen veden esilämmittimeen (EKO) tuloa tai palamisilman esilämmittämistä höyryllä ennen kuin se johdetaan savukaasulämmitteiseen ilmanesilämmittimeen (LUVO). (Lajunen 1973, 56).

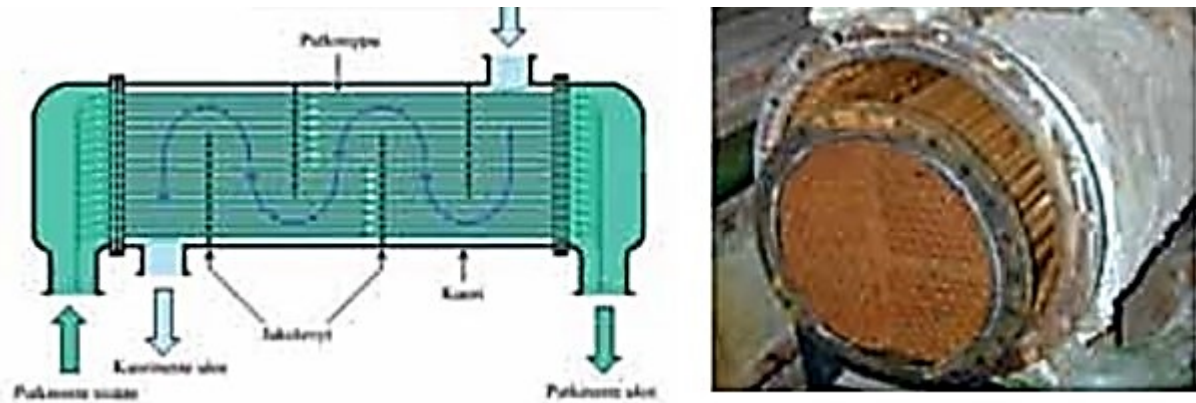
3.5 Lämmönsiirrin

Kattilassa ja sen laitteissa lämpö siirtyy savukaasuista veteen, höyryyn ja ilmaan, lämpötilaerojen mukaan kuumasta kylmään. Lämmönsiirtimet ovat kattiloiden ja kaukolämpöverkoston keskeinen osa. (Lajunen 1973, 8.) Teollisuudessa lämmön siirtäminen voidaan toteuttaa joko suoralla lämmityksellä ainevirtojen osuessa toisiinsa tai epäsuorasti lämpöpintojen välityksellä. Epäsuorat, ainevirtoja sekoittamattomat lämpövaihtimet, ovat yleisin ratkaisu lämmön siirtämisessä paremman soveltuvuuden sekä paremman höyryn lauhteen palautusprosentin takia. (Motiva 2016, 4.)

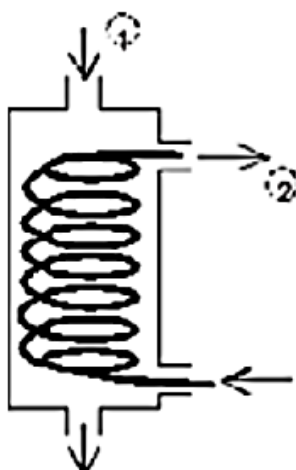
Lämpö voi lämmönsiirtimissä siirtyä kolmella eri tavalla: johtumalla, konvektiolla eli kulkeutumalla ja säteilynä. Teknillisesti lämpö siirtyy yleensä samanaikaisesti useammalla tavalla. Lämmönläpäisy on lämmönsiirron keskeinen tapaus, jossa lämpö siirtyy virtaavasta aineesta kiinteän seinän läpi toiseen virtaavaan aineeseen. Lämmönsiirtimet voidaan jakaa rekuperaattoreihin ja regeneraattoreihin. Rekuperaattoreissa seinämän eripuolilla kulkee jatkuvasti kaksi ainevirtaa lämmön siirtyessä kuumemmasta kylmempään esim. höyrykattilan lämmönsiirtimet. Regeneraattoreissa ainevirrat kulkevat vuorotellen lämpöä varastoivan kennoston läpi esim. pyörivät ilmanesilämmittimet. Lämmönsiirtimet voidaan jakaa myös virtaussuuntien mukaan: myötä-, vasta- ja ristivirtaussiirtimiin. Myötävirrassa molemmat aineet virtaavat samaan suuntaan, vastavirrassa vastakkaisiin suuntiin ja ristivirrassa kohtisuoraan toisiaan vastaan. (Lajunen 1973, 8-15.)

Lämmönsiirtimiä käytetään kattilaprosessin eri vaiheissa mm. syöttöveden esilämmittämiseen (EKO, Ekonomaiser) ja ilman esilämmittämiseen (LUVO, Luftvorwärmer ja höyryluvo) (Huhtinen ym. 2000, 194-210). Kaukolämpöjärjestelmän asiakaspäässä lämmönsiirtimet ovat keskeisessä osassa lämmönjakokeskuksen rakennetta. Lämmönsiirtimet mitoitetaan jokaiselle lämmityspiirille erikseen esim. patteriverkosto, lattialämmitys, käyttöveden lämmitys ja ilmanvaihdon lämmitys.

Mitoituksen perusteella valitaan sopiva lämmönsiirrin. Lämmönsiirtimen ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat lämmönsiirtopinta-ala ja siirtimen pituus. Erilaisia lämmönsiirtimiä ovat mm. juotetut levylämmönsiirtimet, tiivisteelliset levylämmönsiirtimet, kierukkalämmönsiirtimet ja suora-putkisiirtimet. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 65-73.)



Kuvio 8. Suora-putkisiirtimen toimintaperiaate ja avattu lämmönsiirrin (Mäkelä & Tuunanen 2015, 72)



- 1 Ensio tulo (kaukolämpö tulo)
- 2 Toisio meno (lämmin käyttövesi)

- Käyttöveden kierukkalämmönsiirtimessä käyttövesi virtaa kupariputkessa ja kaukolämpövesi vaipan puolella.
- Lämpöjohtoverkoston kierukkalämmönsiirtimessä lämpöjohtovesi virtaa vaippapuolella ja kaukolämpövesi kierukassa.



Kuvio 9. Kuparikierukkalämmönsiirrin käyttöveteen (Mäkelä & Tuunanen 2015, 72)

Lämmönvaihtimet ovat merkittäviä energiatehokkuuden tekijöitä. Väärä lämmönvaihdintyyppi, yli rajoitettu ja likainen lämmönvaihdin siirtää lämpöä heikosti ja on siksi suuri energiatehokkuutta

heikentävä tekijä. Ylimoitettu ja väärä lämmönvaihdintyyppi likaantuu helposti liian alhaisen nesteen virtausnopeuden takia. Sopivia lämmönvaihdintyyppisiä kaasumaiselle aineelle ja höyrylle ovat putkilämmönvaihtimet, spiraalimaiset ripaputkilämmönvaihtimet ja lamellilämmönvaihtimet. Nesteille soveltuvia lämmönvaihdintyyppisiä ovat mm. levy-, putki-, ripaputki-, lamelli- ja kaavintalämmönvaihtimet. Likaantuminen voi johtua haasteellisista prosessin lämpövirroista esim. savukaasuista, pienhiukkasia sisältävät ilmapirrat, heikkolaatuisesta syöttövedestä tai jäähdytysvetenä käytettyä luonnonvettä. Lämmönvaihtimien energiatehokkuutta voi tarkkailla mittaamalla mm. virtojen lämpötiloja, painehäviöitä ja siirtynyttä lämpötehoa. Likaantuminen lisää lämmönvaihtimen painehäviöitä ja sitä kautta lisää pumppujen ja puhaltimien sähkötehoa. Lämmönvaihdinten energiatehokkuuteen voi vaikuttaa hyvällä suunnittelulla ja mitoituksella, prosessivirtojen puhdistamisella ja riittävällä puhdistamisella. (Motiva 2016.)

3.6 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatiojärjestelmä on työkalu, jolla vaikutetaan rakennusten sisäilmastoon, valaistukseen ja turvalaitteisiin. Rakennusautomaatiolla ohjataan rakennuksen teknisiä laitteita, millä tavoitellaan energiasäästöjä, laitteiden optimaalista käyttöä ja minimoimaan melua ja muita laitteiden käytöstä aiheutuvia haittoja. Rakennusautomaatiosta saatavia hyötyjä ovat mm. energian säästö ja hallinta kiinteistössä, parempi sisäilmasto, huolto- ja kunnossapitotoiminnan tehostaminen ja yleisesti rakennuksen keskitetty valvonta ja ohjaus. (Baff, 2005, 1-4.)

Rakennusautomaatio jakautuu neljään osa-alueeseen, joita ovat asuinrakennusten automaatio, teollisuuslaitokset, yhdyskuntien laitokset ja keskitetty kiinteistövalvonta. Rakennusten automaatiojärjestelmän tavallisin tehtävä on valvoa ja hoitaa rakennusten lämmitystä. Automaatiojärjestelmä valvoo lämmitykseen liittyvien laitteiden toimintaa mm. kaukolämmön lämmönsiirtimet, pumput ja lämmitysverkostot. Keskitetyssä kiinteistövalvonnassa muodostetaan valvontaverkko, jossa kulkevat kaikki rakennusten automaatiojärjestelmän tiedot. Verkkoa valvotaan ja ohjataan keskitetysti valvomosta. Valvomosta voidaan seurata rakennuksen lämpötilaa ja muita verkostoon liitettyjä laitteita. Verkkoon liitetty digitaalinen kiinteistökeskus huolehtii rakennuksen mittaukset, ohjaukset, valvonnan ja hälytykset. Kiinteistökeskuksia, ns. alakeskuksia, ohjataan valvomon kautta, jonka kautta alakeskuksen suureita voidaan muuttaa. (Värjä & Mikkola 1999, 5-7.)

Rakennusautomaation toimintoihin kuuluvat erilaisten suureiden mittaaminen ja prosessiin vaikuttavien laitteiden ohjaukset. Mitattavia suureita voi olla mm. energian kulutus, vesimäärät, lämpötilat ja ilmanpaine ja paine-erot. Automaation ohjauksiin voidaan liittää valaistus, lämmitysjärjestelmän venttiilit ja hälytykset. (Värjä & Mikkola 1999, 5.)

Rakennusautomaation säätimet ovat laitteita, jotka pitävät säädetyin suurein halutussa arvossa. Säädin sisältää säätöelimen ja eroelimen. Eroelin laskee ero-suureen asetusarvon ja mittaussuureen erotuksen. Säätöelin laskee eroarvon perusteella ohjaussuureen. Säätimen toiminta perustuu kahden tietoon: asetusarvoon ja mittaussuureeseen. Asetusarvo on käyttäjän antama, haluttu arvo säädettävälle suurelle ja mittaussuure on arvo, jonka mittaussanturi lähettää. Näiden kahden arvon perusteella säädin laskee ohjaussuureen säädettävälle laitteelle. Ohjaussuure ohjaa toimilaitetta, joka avaa tai sulkee venttiiliä ohjaussuureen mukaan. (Värjä & Mikkola 1999, 58.) Rakennusautomaatiossa käytettäviä säätimiä ovat mm. yksikkö-, kaksiasento- ja PID-säädin. Näistä säätimistä PID- ja yksikkösäätimet ovat analogisia ja kaksiasentosäädin on digitaalinen. (Värjä & Mikkola 1999, 58-62.) Erilaisia säätötapoja on mm. vakioarvosäätö, ulkolämpötilakompensoitu säätö, kaskadi- ja sekoitussäätö. Taulukossa 2 on esitetty eri säätötapojen toiminnan perusteet, kohteet missä säätötapaa käytetään ja säädön merkitys energiansäästämisen kannalta. (Suomäki & Vepsäläinen 2013, 35-37.)

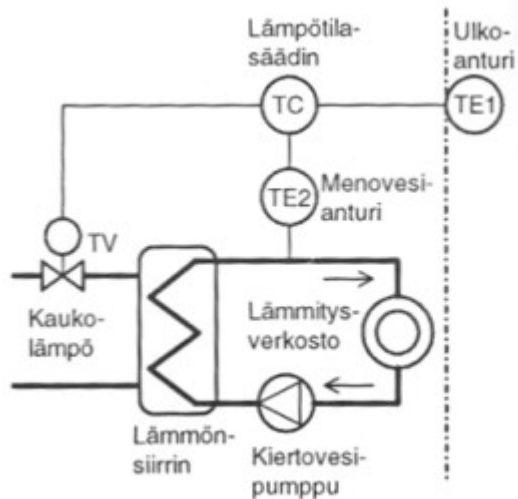
Taulukko 2. Rakennusautomaation säätötavat ja merkitys energiansäästönä

Säätötapa	Toiminta	Kohteet	Merkitys energiansäästönä
Vakioarvosäätö	Kiinteän asetusarvon ylläpito esim. lämpötila	Lämpimän käyttöveden säätäminen	-
Ulkolämpötilakompensoitu säätö	Huomioi säädössä ulkolämpötilan. Asetusarvo muuttuu ulkolämpötilan mukaan	Patteriverkoston menoveden lämpötilan säätö	Huomioi olosuhteiden mukaan lämmöntarpeen

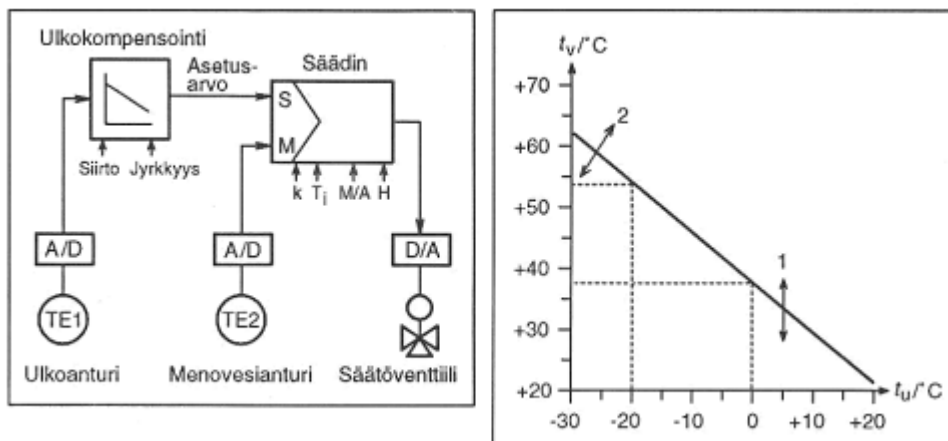
Kaskadisäätö	Huomioi säädössä ulkolämpötilan lisäksi lämmitettävän kohteen sisälämpötilan. Sisälämpötila ohjaa lämmityskäyrän suuntaussiirtoa.	Patteriverkoston menoveden lämpötilan säätö	Optimoi lämmöntarpeen
Sekoitusäätö	Lisää lämmityspiiriin lämmintä vettä mittauksen mukaan	Ilmanvaihtokoneiden vesikiertoinen lämmityspiiri	Parantaa lämmitysveden jäähtymää

3.6.1 Lämmitysjärjestelmän automaatio

Lämmönjakokeskuksen automaation tehtävänä on jakaa kaukolämmön lämpöenergia kiinteistön huoneistoihin ja lämpimään käyttöveteen erilaisissa kuormitustilanteissa. Automaation tavoitteena on, että lämmönjakaminen on sääolosuhteisiin nähden kustannustehokasta. Automaatio ohjaa lämmönjakokeskuksen säätöventtiilien toimintaa. Kuviossa 10 esitetään patteriverkoston säätöperiaate. Patteriverkoston veden lämpötila säädetään mittaamalla ulkolämpötilaa anturilla TE1. Säätimelle annettava asetusarvo määräytyy ulkolämpötilan mukaan asetusarvokäyrästä (Kuva mukaan). Säädin mittaa patteriverkoston menevän veden lämpötilaa anturilla TE2. Kuvion 11 asetusarvokäyrästä luettaessa menoveden asetusarvo-lämpötilaksi saadaan 38 °C, kun ulkolämpötila on 0 °C. Tätä ulkolämpötilan huomioimista kutsutaan ulkokompensoinniksi. Ulkokompensointi tehdään ohjelmallisesti automaatiojärjestelmään, mikä antaa asetusarvon säätimelle. Jos patteriverkoston halutaan kylmempää vettä, niin silloin kaukolämpöpuolen säätöventtiiliä säädetään pienemmälle, jolloin kaukolämpöveden menoveden virtaus laskee. Asetusarvokäyrästä on kiinteistökohtainen ja sen jyrkkyyteen ja suuntaussiirtoon voidaan tehdä muutoksia. (Värjä & Mikkola 1999, 84-85.)



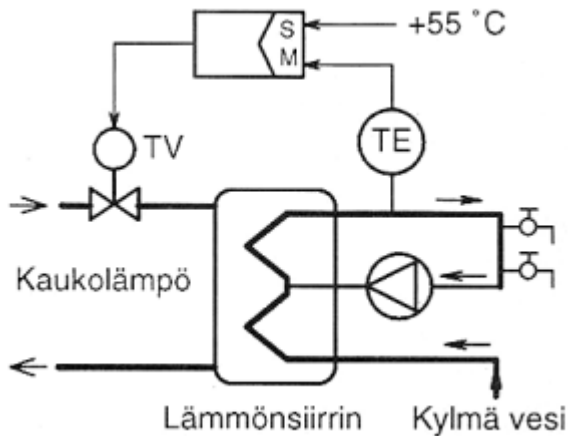
Kuvio 10. Kaukolämmön lämmönsiirtimen tehonsäätö (Värjä & Mikkola 1999, 84)



Kuvio 11. Lämmitysverkon säätö- ja asetusravokäyrästä (Värjä & Mikkola 1999, 85)

3.6.2 Käyttövesiverkoston automaatio

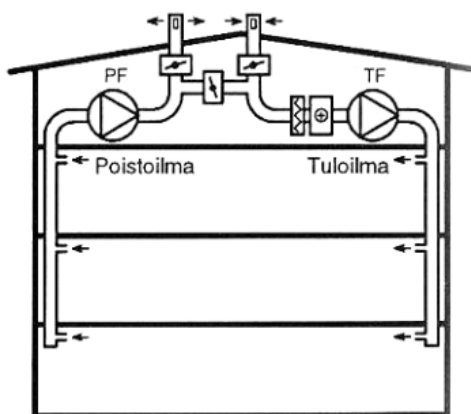
Kaukolämmöllä lämmitettävän käyttöveden säätöpiirin tehtävänä on pitää käyttöveden lämpötilan asetusravossaan eli 55 °C:ssa. Säätöpiirin toiminta on esitetty kuviossa 12. Käyttöveden lämpötilaa mitataan menoveden lämpötila-anturilla TE. Lämpötila-anturilta mittausviesti kulkee säätimelle, joka erotusravon mukaan ohjaa lämmönvaihtimen ensiöpuolella säätöventtiiliä TV. Lämmönvaihtimen ensiöpuolen virtausta lisäämällä saadaan käyttöveden lämpötilaa nostettua. (Värjä & Mikkola 1999, 79.)



Kuvio 12. Kaukolämmönvaihtimen säätölaitteet (Värjä 1999, 79)

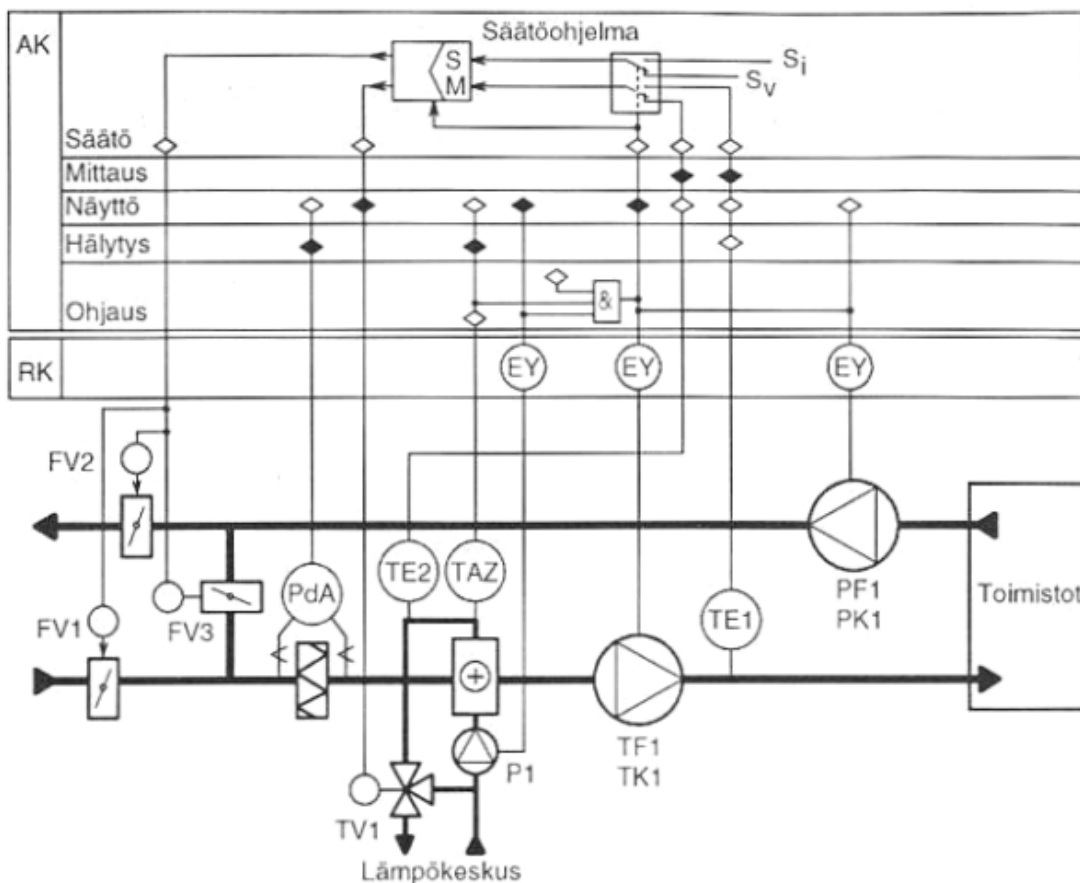
3.6.3 Ilmastoinnin automaatio

Ilmastoinnin tarkoituksena on tuoda rakennukseen puhdasta ilmaa ja poistaa käytetty ilma. Ilmastoinnin peruslaitteisto ja -periaate on esitetty kuviossa 13. Tuloilmapuhallin (TF) imee ulkoilmaa rakennuksen katolta suodattimen läpi, jonka jälkeen se puhalletaan jokaiseen huoneistoon. Poistoilmapuhallin (PF) poistaa käytetyn ilman huoneistosta katolla olevan poistoilmakanavan kautta ulos. Kiertoilmapiellin tehtävänä on sekoittaa poistoilmaa tuloilman kanssa, jolloin säästetään lämpöenergiaa. Tuloilma lämmitetään tuloilmakoneen lämmityspatterissa ennen huoneistoihin puhaltamista, jolloin vähennetään huoneistossa sisäilman lämmittämisen tarvetta.



Kuvio 13. Talon ilmastointikanavat. (Värjä & Mikkola 1999, 104)

Ilmastoinnin perusprosessi on esitetty kuviossa 14. Perusprosessi on esitetty instrumentointikaaviona, johon on piirretty kaikki prosessiin kuuluvat laitteet, niiden kytkennät, alakeskukset ja ryhmäkeskukset. Ilmastointi on kuvassa toteutettu niin, että tuloilmapuhallin (TF1) puhalttaa tuloilmaa toimistoon, josta se poistetaan poistoilmapuhaltimella (PF1). Tuloilma kulkee tuloilmapellin (FV1) ja suodattimen läpi, jossa siitä poistetaan hiukkasia ja muita roskia. Puhdistettu ilma kulkeutuu ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin läpi ja siirtyy lämmitettynä toimistoon. Pumppu (P1) kierrättää lämmönjakokeskuksesta lämmitettyä vettä lämmityspatterissa. Toimistosta ilma poistetaan poistoilmapuhaltimella. Poistoilmasta suurin osa poistuu rakennuksen poistoilmapellin (FV2) kautta ja osa menee kiertoilmapellin (FV3) kautta tuloilmaan.



Kuvio 14. Ilmastoinnin perusprosessin PI-kaavio (Värjä & Mikkola 1999, 106)

Ilmanvaihdolla ja ilmastoinnilla voidaan säätää ja ohjata rakennuksen lämmitystä monipuolisesti. Lämmityksen ohjausmenetelmiä on mm. vakioarvo-, poistoilmaohjattu- ja hiilidioksidipitoisuuden

tai kanavapaineisiin perustuva säätö. Vakioarvosäätö perustuu huoneeseen puhallettavan tuloilman lämpötilaan. Poistoilmaohjattu säätö perustuu huoneistosta poispuhallettavan ilman lämpötilaan, jolloin säätö huomioi huoneistossa olevat lämpökuormat. Hiilidioksidipitoisuuteen perustuva säätö mittaa huoneiston CO₂-pitoisuutta, jolloin ilmanvaihdon määrää säädetään huoneistossa olevan toiminnan mukaan. Kanavapaineisiin perustuva säätö mittaa tulo- ja poistoilmakanavien paine-eroa ja pitää taajuusmuuttajakäyttöisen puhaltimen avulla kanavapaineet optimaalisella tasolla. Tätä säätötapaa käytetään yleensä apusäätönä muiden säätöjen rinnalla. (Suomäki & Vepsäläinen 2013, 85-87.)

3.7 Kaukolämpökatselmus

Kaukolämpöalan energiatehokkuussopimukseen liittyvän katselmusmenettelyn tarkoituksena kaukolämmön tuotannon, siirron ja jakelun tehostamismahdollisuuksien selvittäminen. Kaukolämpökatselmukseen on sisällöllisesti kolme vaihtoehtoa: koko kaukolämpöverkon ja siihen liittyvien energiatuotantolaitosten katselmointi, huippu- ja varalämpökeskusten sekä kaukolämpöverkon katselmointi ja täydennettynä tuotannon järjestelmäoptimoinnilla sillä edellytyksellä, että verkossa myydyin energiamäärän tulee olla yli 16 GWh/a. Suomen kaukolämpö Ry on tuottanut yhteinäisen katselmusraportin rungon, minkä pohjalta katselmustoiminta raportoidaan. Katselmuksen tavoitteena on havaita energiasäästökohteita ja määritellä kullekin energiasäästöinvestoinnille mahdollisimman luotettava ns. suora takaisinmaksuaika. Investointeja tulee ensisijaisesti tarkastella nimenomaan energian säästön kannalta. Katselmoinnin ja siitä laaditus raportin pohjalta yritys laatii oman energiasäästösuunnitelmansa, jossa säästötoimenpiteet on aikataulutettu seuraaville vuosille. Periaatteena kaukolämpökatselmuksessa on se, että koko yhtiön/liiketoimintayksikön kaukolämpötoiminta katselmoidaan. Säästösuunnitelmassa käsitellään myös oman toiminnan säästömahdollisuudet mm. omien kiinteistöjen energiankulutus, ajoneuvojen energiakäyttö, energiatehokkuuden huomioiminen hankinnoissa ja aliurakoitsijoiden toimintatavan suhteuttaminen säästöperiaatteisiin. (Motiva 2001, 1-2.)

3.7.1 POR- ja POK-lämpökeskusten lämmön tuotanto ja hankinta

POR- ja POK-lämpökeskusten katselmuksen pääkohteita ovat mm. lämpökeskusten yleinen toiminta, öljyjärjestelmä, kattilan ja sen seisokkiajan lämmitys, kiinteistön lämmitys, ilmastointi ja käyttövesi, sähkö- ja lämpöteho sekä energiamittaus sekä kattiloiden ja pumppujen mittaukset.

(Motiva 2001, 6-7.) Työssä tarkasteltiin osaa Motivan kaukolämpökatselmuksien kohteista, jotka ovat esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Kaukolämpökatselmuksen kohteet

<ul style="list-style-type: none"> • Lämpökeskuksen kytkentäperiaatteet • Kiinteistön lämpöhäviöt • Öljysäiliön lämmitystapa ja lämpötilataso • Öljyn lämmitys ja lämpötilataso • Savukaasuhäviöt • Kattiloiden hyötysuhdemittaukset • Palamisilman sisäänotto ulkoa kiinteistöön • Palamisilman otto kattilaan 	<ul style="list-style-type: none"> • Tuotantotilojen lämmitys ja lämmityslaitteiden säätöpiirit • Muiden tilojen lämmitys ja lämmityslaitteiden säätöpiirit • Ilmanvaihto ja lämmön talteenotto • Kiinteistön yläosaan kohoavan lämmön ja mahdollisen muun lämpimän ilman hyödyntäminen • Painesuhteiden tarkastelu
---	--

4 Kohteen perustiedot

Savon Voima Joensuun kaukolämpöjärjestelmä rakentuu yhdestä yhteistuotantovoimalaitoksesta ja kahdeksasta huippulämpökeskuksesta. Voimalaitoksen lämpöteho on 130 MW ja huippulämpökeskusten yhteiskapasiteetti on 242,5 MW. Höyryvoimalaitos tuottaa höyryä sähkön ja lämmön tuotantoon käyttäen polttoaineena puuhaketta ja turvetta. Höyryvoimalaitoksen toiminta perustuu leijukerrospolttoon ja huippulämpökeskukset ovat pääosin tulitorvi-tuliputkikattiloita tai vesiputkikattiloita. Huippulämpökeskukset käyttävät polttoaineena kevyttä polttoöljyä. Polttoöljyjen energiaosuus kokonaispolttoainemäärästä oli 3,3 % vuonna 2021 (Qlik Sense 2022). Siirtoverkosto on kaksiputkijärjestelmä, jonka siirtoaineena toimii kaukolämpövesi. Kaukolämpöjohdot ovat pääosin yksiputkijohtoja, joissa on erilliset meno- ja paluujohdot. Välipumppaamoja järjestelmässä on yhteensä kuusi. (Keronen 2022.)

4.1 Käpykankaan lämpökeskus

Käpykankaan huipputehovoimalaitos on kevyellä polttoöljyllä toimiva, kahden kattilan ja pumppaamon yhdistelmälaitos. Kattilat ja lämpölaitokset ovat nimetty Käpy 1 ja Käpy 2. Kattilarakennukset ovat rakennettu kiinni toisiinsa ja kattilahalleja erottaa väliseinä. Lämpölaitoksien polttoaineena on aikaisemmin toiminut raskas polttoöljy. Kummankin lämpölaitoksen polttoaineessa on siirrytty käyttämään kevyttä polttoöljyä vaiheittain niin, että Käpy 1:llä muutos tapahtui vuoden

2021-2022 vaihteessa ja Käpy 2:lla siirtyminen tapahtui vuonna 2019 (Keronen 2022). Katselmuksajankohtana vuonna 2021 Käpy 1:llä käytettiin raskasta polttoöljyä ja Käpy 2:lla kevyttä polttoöljyä.

Käpy 1 lämpölaitoksessa on vuonna 1984 valmistunut, alhaalta tuettu, höyrylieriöllä varustettu, vesiputkikattila (HTV-40MW), jonka lämpöteho on 40MW (Käyttö- ja hoito-ohjeet 1983). Kattilahallin yhteydessä on kaksikerroksinen rakennus, jossa on lämpölaitoksen valvomo, väestönsuoja, korjaamo sekä sosiaali- ja toimistotilat kaukolämpöverkon henkilökunnalle. Lämpölaitoksen yhteenlaskettu tilavuus on 4417 m³ ja kokonaisala 937 m².

Käpy 2 on vuonna 1990 valmistunut, yhdistetty vesiputki-tuliputkikattila, jonka lämpöteho on 40MW. Lämpökeskus on kaksi kerroksinen, joissa alhaalla on varasto/verstas ja ylhäällä on toimistotiloja. Lämpölaitoksen yhteenlaskettu tilavuus on 2743 m³ ja kokonaisala 220 m².

5 Energiatuotannon ja käytön nykytilanne

5.1 Lähtötiedot

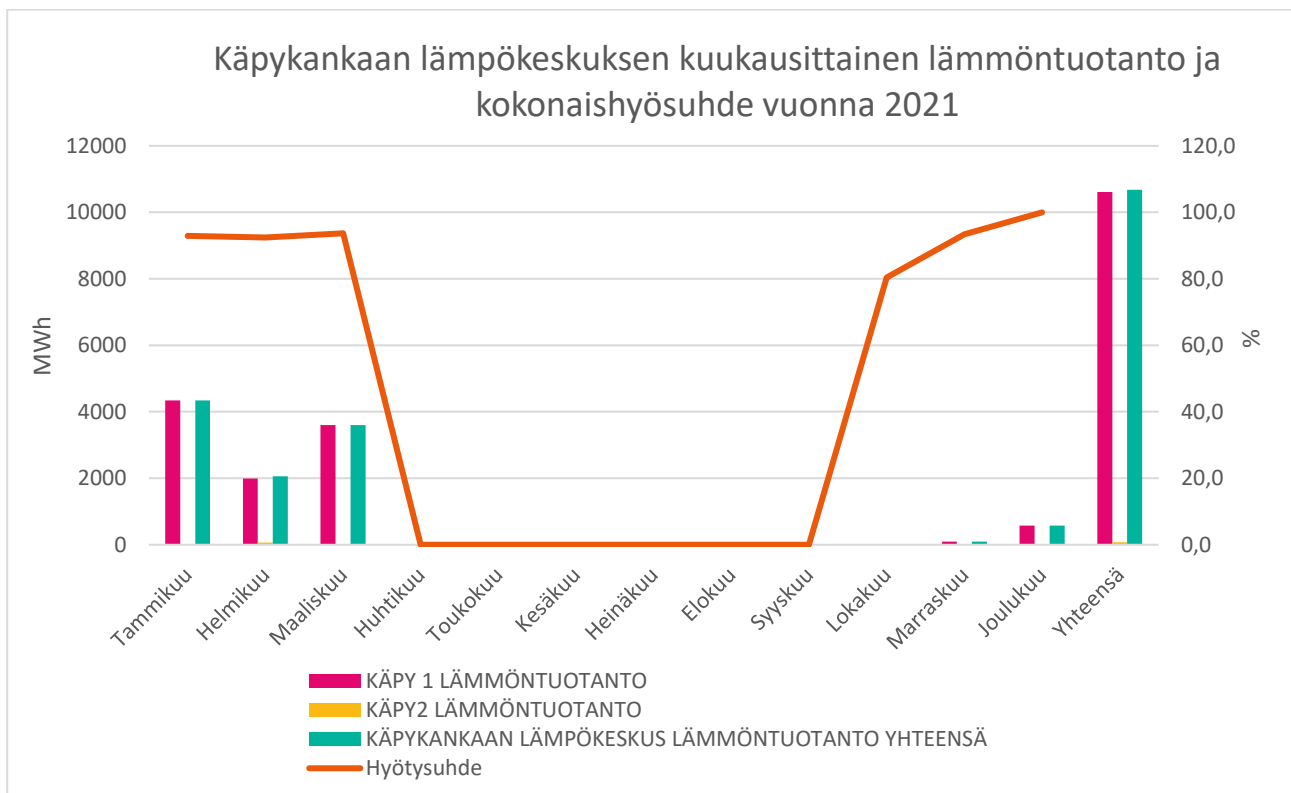
Käpykankaan lämpökeskus toimii huipputeholaitoksena kattaen korkean lämpötehon tarpeen koviilla pakkasjaksoilla. Vuonna 2021 lämpölaitoksen kattiloita käytettiin Käpy 1:en osalta 701 tuntia ja Käpy 2:en osalta 5,8 tuntia. Käyttötuntien aikana tuotettu lämpöenergia oli energiamittarin mukaan Käpy 1:en osalta 10,61 GWh ja Käpy 2:en osalta 77,4 MWh.

5.2 Lämpökeskuksen energiatase ja kattilan hyötysuhde.

Vuoden 2021 aikana lämpökeskus käytti raskasta polttoöljyä 1012 tonnia ja kevyttä polttoöljyä 7,9 m³. Käytetty öljynmäärä mitataan polttimolle tulevalta öljyputkelta virtausmittarilla. Käytetty polttoöljy energiamäärä koko vuodelle oli POR:n osalta 11,36 GWh ja POK:n osalta 77,4 MWh. Polttoöljyn energiamäärä laskettiin kertomalla polttoöljyn määrä öljyn ominaislämpöarvolla ja tekemällä yksikkömuunnos. Kevyen polttoöljyn määrä on mitattu tilavuutena, jolloin energiamäärän laskennassa on otettu huomioon polttoöljyn tiheys. Lämpökeskuksella käytettyjen polttoöljyjen energiamäärät, kattilalla tuotetut lämpöenergiat ja kattilan hyötysuhteet ovat esitetty liitteessä 1.

Käpykankaan lämpökeskuksen lämpöenergian tuotanto vuonna 2021 oli 10,68 GWh käyttötuntien ollessa 701 tuntia. Kuviossa 15 on esitetty kuukausikohtaisesti Käpykankaan lämpökeskuksen lämmöntuotantoa ja hyötysuhde. Kuvaajasta havaitaan, että lämmöntuotanto on tehty pääosin Käpy 1:en kattilalla tammi-maaliskuun välisenä aikana. Käpy 2:lla tuotettu lämpö vuoden 2021 aikana oli 73 MWh kattilan ollessa lämmöntuotannossa helmikuussa 5,4 h aikana. Lämpökeskuksen kokonaishyötysuhde oli 93,4 %. Hyötysuhde laskettiin kaavalla 1, jossa energiamittarista saadun lämpöenergian määrän jaettuna käytetyn polttoaineen energiamäärällä. Joulukuun osalta hyötysuhde on laskelmien mukaan 100 %, mikä on viittaa, että polttoaineen määrän mittaamisessa voi olla pientä epätarkkuutta.

$$\text{hyötysuhde} = \frac{\text{tuotettu lämpöenergia}}{\text{polttoaineen energiamäärä}} \quad (1)$$



Kuvio 15. Lämpökeskuksen lämmöntuotanto ja hyötysuhde vuonna 2021

6 Kaukolämpökatselmuksen kohteet

6.1 Yleistä

Käpy 1 ja Käpy 2 kattilat on kytketty rinnan niin, että kumpaa tahansa kattilaa voidaan ajaa joko erikseen tai yhtä aikaa. Käpy 1:en kattilaa säädetään lieriön paineen mukaan ja Käpy 2:en kattilaa kaukolämmön menolämpötilan sekä savukaasun lämpötilan mukaan, niin ettei savukaasun lämpötila laske alle 140 °C. Käpy 1 kattila on varustettu lieriöllä ja lisäveden ja kattilaveden esilämmittimellä (Ekonomaiser). Lieriössä tuotettua höyryä käytetään nuohoukseen ja syöttöveden kaasunpoistoon. Nuohoushöyryn ja ulospuhalluksen lauhteet johdetaan takaisin syöttövesisäiliöön. Kaukolämpöveden lämmitys toteutetaan Käpy 1:en osalta vesi-vesilämmönvaihtimella (Käyttö- ja hoito-ohjeet 1983). Liitteessä 2 on esitetty PI-kaaviolla lämpökeskuksen laitteet, instrumentoinnit ja kytkentätavat.

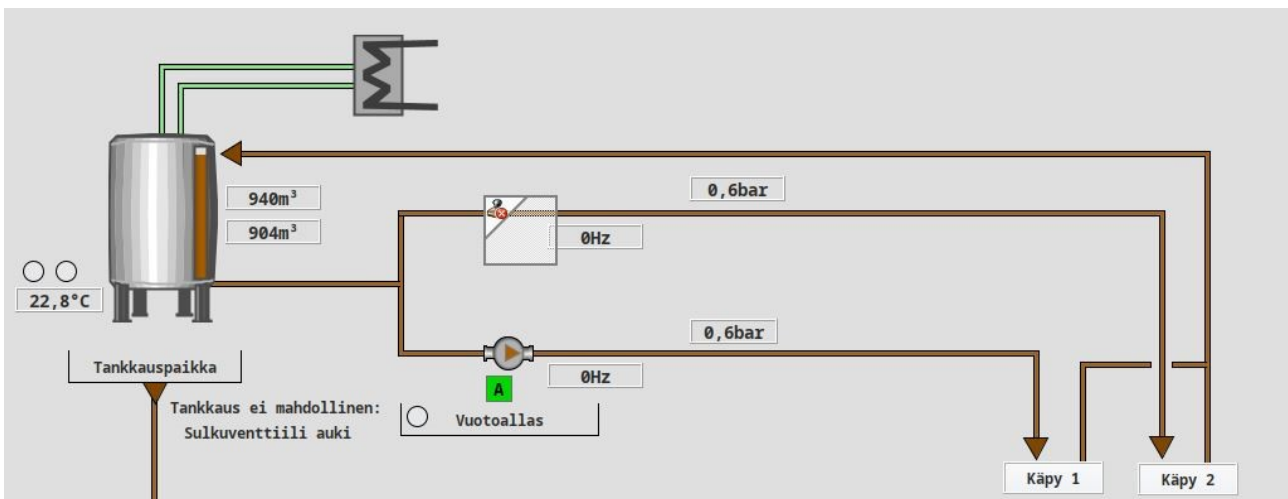
Käpy 2 kattilan läpi virtaava kaukolämpövesi pumpataan kaukolämpöpumpulla kattilan höyrystin putkiin. Kattilan ulosmenotehoa säädetään KL-pumpun kierrosluvulla, jolloin haluttua paine-eroa pidetään yllä meno- ja paluulinjan välillä. Säätimellä voidaan valita joko vakiotehosäätö tai paineerosäätö. Kattilapiiripumppujen säätöventtiili säätää palaavan veden lämpötilan halutuksi säätäen kuitenkin savukaasun lämpötilan minimissään 140 °C. Kattiloilla on omat savukaasukanavat varustettu omilla savukaasupuhdistimilla mutta savupiippu on yhteinen.

Kummallakin kattilalla on omat palamisilmapuhaltimet ja ne ottavat palamisilman kattilahallin ilmasta. Tuloilmayksiköt ovat kummassakin kattilahallissa, kattilahallin yläosassa. Käpy 1 puolella tuloilmapuhaltimessa ei ole esilämmityspatteria mutta Käpy 2 puolella on. Kummassakin kattilassa on raskasöljylle mitoitettut polttimet: Käpy 1:en poltin on Fortumin kehittämä paineilmahajoitteinen poltin, jossa öljy sumutetaan paineilmalla ja Käpy 2:en poltin on Saacken pyörivähajoitteinen poltin, jossa öljy hajoitetaan pyörivän kupin avulla.

6.2 Öljyjärjestelmä

Lämpökeskuksen öljyjärjestelmä on alun perin mitoitettu säiliön ylläpito- ja öljyn esilämmityksen osalta raskaalle polttoöljylle. Öljyjärjestelmässä on useita öljyn, niin glykolipiirillä varustettuja kuin

sähköisiä (30-300 kW), esilämmittimiä. Vuoden 2021 POK-muutoksen yhteydessä glykolipiirillä varustetut esilämmittimet poistettiin käytöstä niin, että lämmittimien läpi ei virtaa öljy mutta niissä kulkee vähintään glykoli. Sähköiset öljyn esilämmittimet (30kW ja 300 kW) ovat paikallaan ja niiden läpi kulkee öljy mutta lämmittimiä ei ole kytketty päälle. Aikaisemmin kattiloilla oli omat öljysäiliönsä ja siten myös omat polttoöljyn lämmitysjärjestelmät. Käpy 2:en osalta tarpeettomaksi on jäänyt 30 kW sähköinen lämmönsiirrin ja Käpy 1:en osalta yksi sähköinen (300kW), kolme glykolipiirillä varustettua öljyn esilämmitintä (150-245 kW), vanha öljyn esilämmityspiirin lämmönvaihdin (650 kW) ja uusi öljyn esilämmityspiirin lämmönvaihdin (150 kW). Öljyjärjestelmän esilämmittimet ja öljyn esilämmityspiirin PI-kaavio on esitetty liitteessä 2. Liitteeseen on merkitty käytöstä poistetut öljyn esilämmittimet ja säiliöt.



Kuvio 16. Öljysäiliö ja öljyn pumppausjärjestelmä

Keveen polttoöljyn säiliössä on välitilan lämmitys, jossa 999 m³ säiliön kaksikuorirakenteen välissä kulkee glykolipiiri. Pieni, käytössä oleva säiliö on viety isomman, vanhan 2500 m³ POR-säiliön sisään, jolloin välitila on noin 1500 m³ suuruinen. Säiliön välitilan lämmityksellä on kaksi tavoitetta: ensiksi lämmitys pitää keveen polttoöljyn kovemmilla pakkasilla lämpimänä ja viskositeetin riittävän alhaisena, jotta öljyn pumppaus kahdella öljypumpulla mahdollistuisi, toiseksi lämmitys pitää välitilan kuivana, jotta kosteus ei tiivistyisi säiliön pinnoille ja metallisrakenne alkaisi ruostumaan. Välitilan lämmityksen glykolipiiri kulkee kahden lämmönvaihtimen läpi, jotka on kytketty sarjaan. Ensimmäisen lämmönvaihtimen (440 kW) ensiöpiirissä kulkee kaukolämpövesi Käpy 1 omakäyttöpiiristä ja toisen lämmönvaihtimen (650 kW) toisiopiirissä on kulkenut Käpy 1 kattilapiirin kattila-

vesi. Välitilan lämmityksen toinen lämmönvaihdin on käytännössä poissa käytöstä koska lämmönvaihtimeen ei enää johdeta Käpy 1:en kattilavettä. Öljysäiliön esilämmityspiirin säätö perustuu va-kiosäätöön, jolla glykolin menolämpötilaa pidetään samana, noin 80 °C lämpötilassa.

Omakäyttöpiiristä on johdettu linja öljyn esilämmittimen lämmönvaihtajalle. Öljyn esilämmitin on kuitenkin otettu pois käytöstä mutta esilämmittimen ensiöpiirissä virtaa kuitenkin glykoli, jota lämmitetään omakäyttöpiirin kaukolämpövedellä. Tämän piirin glykolin virtauksesta vastaa pieni pumppu, joka on toiminnassa.

Käpy 1:en Fortumin paineilmahajoitteisen polttimen vaatimuksen raskasöljyn viskositeetille ei ollut tiedossa mutta aikaisemmin raskasöljy piti lämmittää 120 °C:een ennen poltinta, jotta sumutus ja palaminen onnistuisi. Tämä viittaa, että öljyn viskositeetti vaatimukset ovat $<45\text{mm}^2/\text{s}$ ($< 6 \text{ E}$).

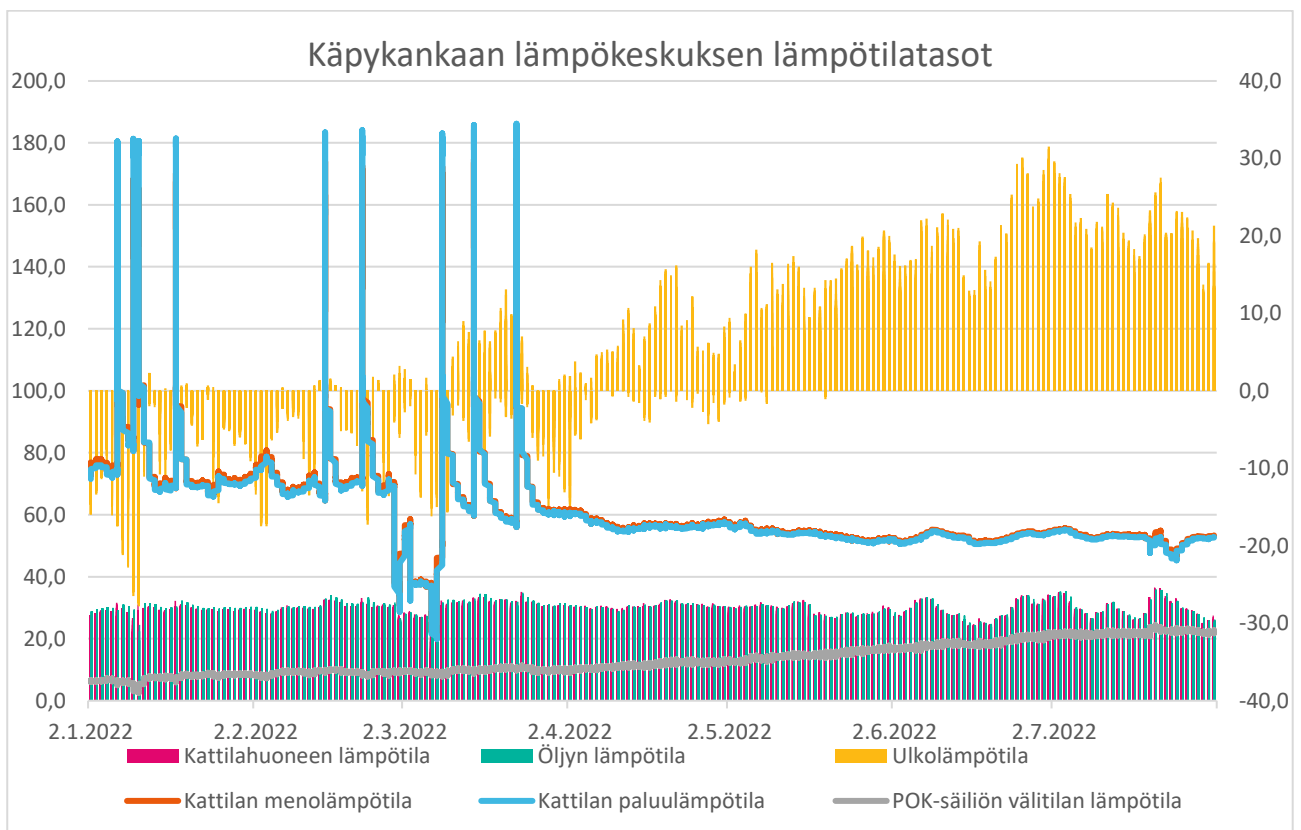
Käpy 2:en Saacken pyöriväkuppinen polttimen vaatimuksen öljyn viskositeetille on $<45\text{mm}^2/\text{s}$ ($< 6 \text{ E}$). Kummatkin kattilat käyttävät polttoaineena Nesteen Temperaa, talvilaatuista kevytpolttoöljyä, jonka kinemaattiseksi viskositeetiksi on ilmoitettu $1,4\text{--}4 \text{ mm}^2/\text{s}$ (40 °C). Tuotteen leimahduspiste on 55,1 °C joten liika lämmittäminen ei ole hyväksi. Polttoöljyn tuottaja ilmoittaa tuotteen alhaisimmaksi säilytyslämpötilaksi -29 °C ja tuote soveltuu sellaisiin kohteisiin, jossa säiliö on ulkoti-lassa, putket on heikosti eristetty, öljyn lämpötila voi säilytyksen ja käytön aikana laskea alle 0 °C ja polttimessa ei ole esilämmitystä. (Tuotetiedote 2022.) Nesteen tempera 36:en tuotetiedot on esitetty liitteessä 3.

6.3 Kattilan ja sen seisokkiajan lämmitys

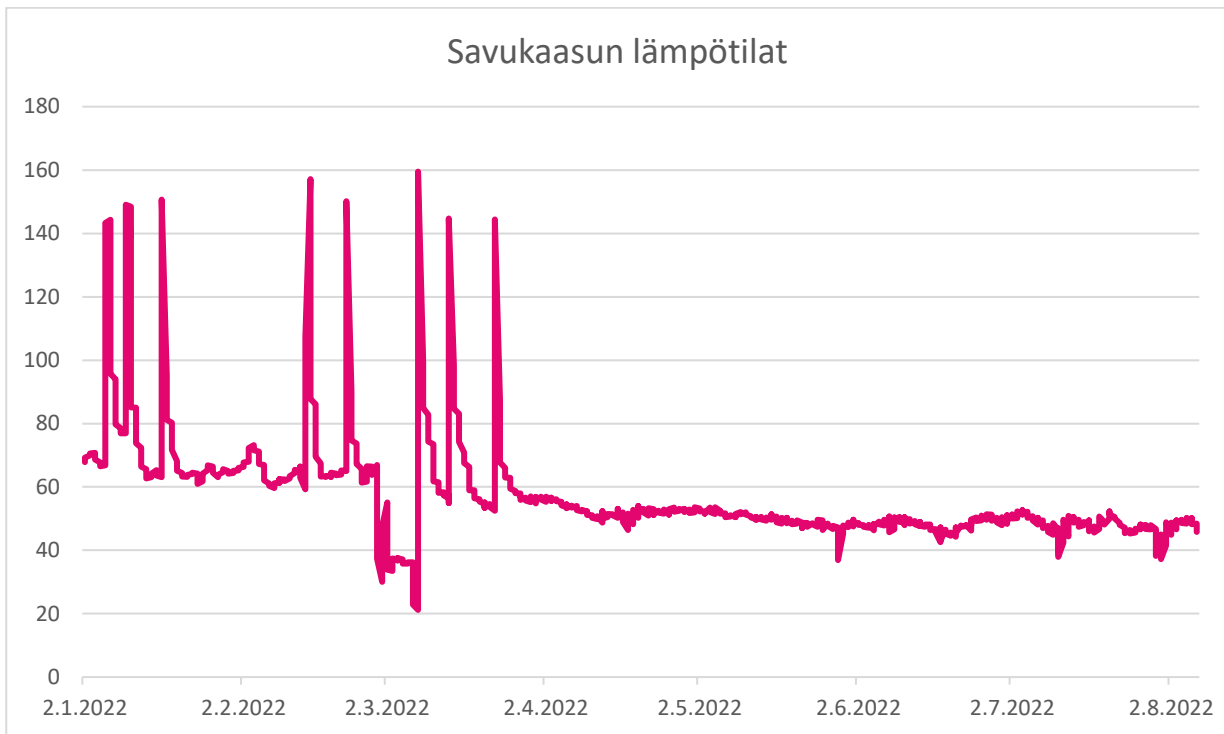
Kattilan seisokkiajan lämpötilojen seuranta-aika otettiin IGNITION -ohjausjärjestelmästä vuoden 2022 tammi-elokuun väliseltä ajalta. Liitteessä 4 on esitetty Käpy 1:en kattilahuoneen, ulkoilman, öljyn, POK-säiliön välitilan keskiarvoiset lämpötilat sekä öljyn määrä säiliössä. Käpy 2:en lämpötila-tietoja ei ollut mahdollista saada ohjausjärjestelmämuutoksen takia.

Kummankin kattilan kattilapiirissä kulkee seisonta-ajan aikana kaukolämpövesi, jotta kattila pysyy lämpimänä nopeaa käynnistystä ja kuivanapitoa varten: Käpy 1:en osalta epäsuorasti kattilapiirin lämmönvaihtimen kautta ja Käpy 2:en puolella suorana kaukolämpövedellä. Käpy 1 kattilan kattila-lämmityksen lämpöenergian kulutusta ei voida mittauksella todeta, kun taas Käpy 2 kattilan sei-sona-ajan ylläpitolämmitys sisältyy lämpöenergian mittaukseen. Kuviossa 17 on esitetty Käpy 1:en

ohjausjärjestelmästä saadut lämpötilatasot. Kattiloiden seisonta-ajan lämpötilat ovat keskiarvoltaan 52-54 ° C. Seisokkiajan aikana savukaasupellit ja palamisilmapellit ovat kiinni. Savupiipun lämpötila seisonta-aikana on noin 48 ° C. Kuviossa 18 on esitetty savukaasun lämpötilatasot. Korkealla savukaasun lämpötilalla estetään kosteuden tiivistyminen piipun sisäpinnoille. Kuiva ja lämmin savupiippu ehkäisee käynnistystilanteessa pahemmat savuttamiset ja ruosteen ja noen irtoamisen savupiipun pinnasta savukaasun mukaan. Kun Käpykankaan lämpökeskuksen kattilan ja savupiipun lämpötiloja verrattiin uusimpien lämpökeskusten vastaaviin lämpötiloihin, havaittiin, että lämpötiloissa ei havaittu suurimpia eroja.



Kuvio 17. Käpykankaan lämpökeskuksen lämpötilatasot



Kuvio 18. Savukaasun lämpötilat

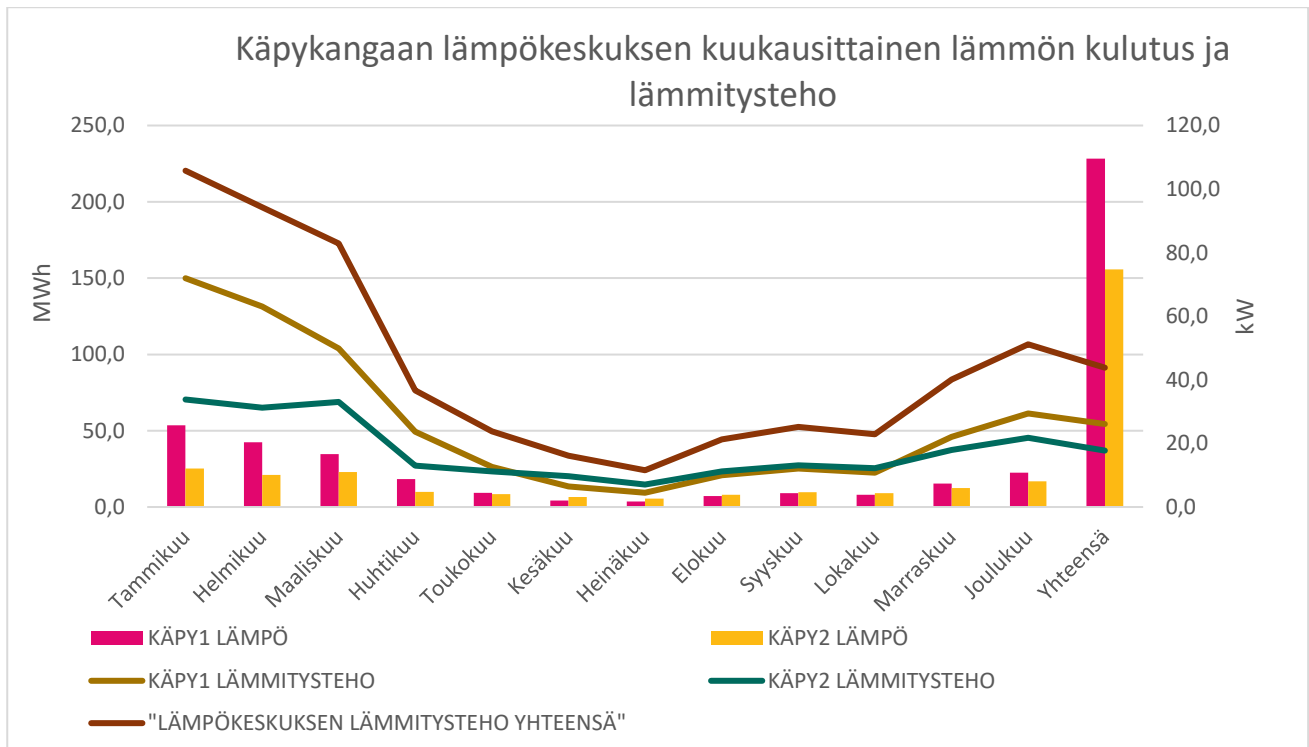
6.4 Kiinteistön lämmitysjärjestelmä

Lämpökeskuksen lämmitysmuotona toimii kaukolämpö, joka johdetaan omakäyttöverkkoon kaukolämmön menolinjasta. Kummassakin kattilarakennuksessa on oma omakäyttöpiiri. Käpy 1 omakäyttölämmön mittaus otettiin omakäyttöverkon meno- ja paluulinjasta magneettisella virtausmittarilla ja lämpömittauksilla. Käpy 2 omakäyttölämmön energiamittaus mitattiin kattilalle menevän meno- ja paluueden linjasta magneettisella virtausmittarilla ja lämpömittauksilla.

Käpy 1 lämpökeskuksen omakäyttöverkko kattaa lämpökeskuksen toimisto- ja sosiaalityötilojen patteri- ja tuloilman lämmityksen, käyttöveden lämmityksen Käpy1 ja 2 tiloihin, kattilahallin kiertoilmakojien lämmityksen ja öljysäiliön välitilan ja öljyn esilämmityksen. Käpy 2 lämpökeskuksen omakäyttöverkko kattaa kattilan ylläpitölämmityksen, toimiston, verstaan/varastotilojen ja kattilahallin lämmityksen ja tuloilman esilämmityksen.

Kuukausikohtaiset lämmön kulutukset sekä lämmitysteho (kW) on esitetty kuviossa 19. Kuvaajasta nähdään, että omakäyttölämmön kulutus vuonna 2021 oli Käpy 1:en osalta 228,3 MWh, Käpy 2:en 155,8 MWh ja kokonaiskulutus yhteensä 384,1 MWh. Lämmitysteho vuoden 2021 ajalta oli 43,8

kW ja omakäyttölämpö suhteessa tuotettuun lämpöenergiaan 36 kWh/MWh. Lämmitysteho laskettiin erikseen jokaiselle kuukaudelle ja lopuksi koko vuodelle. Lämmitysteho laskettiin omakäyttölämmön energiamittarilta saadusta lämpöenergian lukemasta jaettuna kuukauden/vuoden tunteilla.



Kuvio 19. Lämpökeskuksen kuukausittainen lämmön kulutus ja lämmitysteho

Käpy 1 lämpökeskuksen lämmitykselle ja käyttöveden lämmitykseen on omat lämmönvaihtimet, jotka ovat välisyöttökytkenällä niin, että lämmityksen lämmönvaihtimelta on paluuveden linja johdettu käyttöveden lämmönvaihtimeen. Alajakokeskus oli mitoitettu LVI-suunnitelmassa siten, että -34 C ulkolämpötilassa laitos toimii täysitehoisena lämpötilaerolla 80/50 °C. Lämmityksen lämmönvaihdin kattaa lämmityspatteriverkon ja sosiaali- ja työtilojen tuloilmapuhaltimen esilämmityksen. Lämmityksen lämmönvaihdin on teholtaan 630 kW, lämpötilaeroilla 115-61/60-80 °C ja käyttöveden lämmönvaihdin 140 kW, lämpötilaeroilla 70-25/10-56 °C. Lämmitysverkon menolämpötilaa on ulkoilmakompensoitu. Lämpimän käyttöveden säätö perustuu vakioarvoon. Tuloilmapuhaltimen esilämmitys perustuu vakiosäätöön huonelämpötilan mukaan, asetusrvo +20 °C. Ilmanvaihtolaitteiden lämmitystehoksi oli LVI-suunnitelmassa laskettu 580 kW. Tiloissa on kaksi

huippuimuria poistoilmalle, ei lämmöntalteenottoa. Toimisto- ja sosiaalitilojen yhden sisäänkäynnin edessä on kiertoilmapuhallin, jossa kiertää patteriverkoston lämmin vesi.

Käpy 1:en kattilahallin tuloilma on koneellisesti johdettu mutta esilämmitystä ei ole. Kattilahalliin on sijoitettu kuusi lämmityspatterilla varustettua kiertoilmapuhallinta, joihin on omakäyttöverkosta johdettu lämmityspotket. Kiertoilmakoneiden teoreettiseksi lämmitystehoksi oli laskettu 112 kW/kpl, yhteensä 674 kW. Kiertoilmapuhaltimet toimivat vaiheittain yhden lämpötilamittauksen antaman tuloksen mukaan. LVI-suunnitelmissa rakennuksen lämpöhäviöiksi oli laskettu 23 kW.

Käpy 2:en lämpökeskuksella on oma omakäyttöpiirinsä, joka on johdettu kaukolämmön menolinjasta. Omakäyttöpiiri kattaa kaksi alajakokeskusta, joista toinen kattaa tuloilman ja toinen kattilahallin seisonta-ajan kiertoilmakoneen lämmityspatterista ja lämmityspatteriverkosta. Kumpaa-kin alajakokeskusta ajetaan ulkolämpötilan mukaan, asetetulla lämpötilakäyrällä. Kattilahallin seisonta-ajan kiertoilmakonetta voidaan ohjata ohjausjärjestelmän kautta kahden ajotavan mukaan: talviajan käyttö on joko pois tai päällä. Seisonta-ajan kiertoilmakone ottaa lämmintä ilmaa kattilahallin yläosasta, lämmittää sitä lämmityspatterilla ja puhaltaa lämpimän ilman kattilahallin alaosiin. Kiertoilmakojeen ja lämmityspattereiden lämmönvaihdin oli mitoitettu 75 kW, lämpötiloilla 115-43/40-70 °C. Kattilahallin tuloilmapuhaltimen esilämmityksen lämmitysaineena toimii vesi, jonka lämmönvaihtimen teho on 800 kW, mitoitusarvoilla 115-45/40-70 °C. Korjaamon, sosiaali- ja toimistotilojen, öljylaitehuoneen ja sähköpääkeskuksen poistoilma on koneellisesti hoidettu, ei lämmöntalteenottoa.

Kummankin kattilahallin toimistoissa ja valvomoissa on ilmalämpöpumput viilennystä varten. Lämpökeskuksen asfaltin sulanapitolämmityksen lämpö on otettu omakäyttölämmön paluulinjasta, lämpöenergian mittauksen jälkeen ja ei siten ole omakäyttölämmityksen mittauksessa. Sulanapitolämmitykselle on varattu oma lämmönvaihdin, jonka toisiopuolella kulkee glykoli. Lämmönvaihtimen lämpötilaa säädetään vakiosäädöllä, toisiopuolen menolämpötilan mukaan.

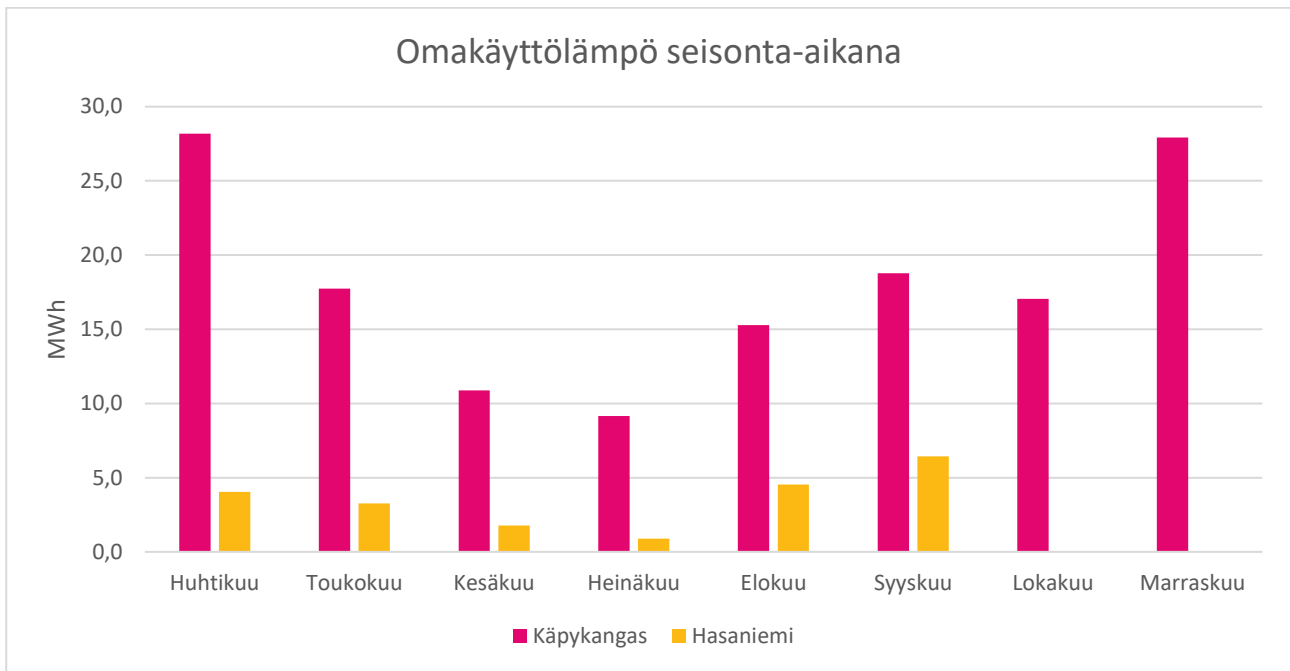
6.5 Kiinteistön lämpöhäviöt

Lämpökeskuksen kiinteistöön on vuosien aikana tehty lämpötekniisiä parannuksia: katon rakenteet on uusittu ja yläpohjan eristystä on parannettu ja kaksi verstaan ovea on uusittu tiiviiden paranta-

miseksi. Rakennuksen vuotopaikkoja kartoittaessa suurimmiksi vuotopaikoiksi osoittautuivat ikkunat ja kattilahallin ja Käpy 2:en verstaan isot ovet. Rakennuksen ikkunat ovat alkuperäisiä, korkeintaan tuplaikkunarakenne. Kattilahallin ja verstaan ulko-ovet ovat isoja metallirakenteisia. Putkien läpiviennit ulkoseinien läpi on eristetty hyvin. Käyttäjien haastatteluista ilmeni, että kattilahallit ovat varsinkin kattilan käynnissäolon aikana kylmät ja ikkunoiden ja ovien kohdalta vedon tunne selkeä. Korkeassa kattilahallissa on myös havaittu lämmön kerrostumista ja alipaineisuutta. Alipaineisuutta oli havaittavissa ulko-ovien aukaisujen yhteydessä.

Koko kiinteistön omakäyttölämmön energiankulutus on 384 MWh/a ja vuoden keskimääräinen lämmitysteho 43,8 kW. Energiankulutuksen mittaukseen ei sisälly Käpy 1 kattilan seisonta-ajan lämmitystä. Omakäyttölämmön kulutus suhteessa lämpökeskuksella tuotettuun lämpöenergiaan on 36 kWh/MWh, tuotetun lämpöenergian ollessa 10,6 GWh. Liitteessä 3 on esitetty lämpökeskuksen omakäyttölämmön määrät, lämmitystehot ja omakäyttölämmön energiamäärät suhteessa tuotettuun lämpöenergiaan. Käpykankaan keskimääräinen lämmöntuotantoteho oli 15,1 MW käyttötuntien ollessa 706,8 h. Omakäyttölämmön kulutuksen arvoja verrattiin uusimman lämpökeskuksen (Hasaniemi, valmistusvuosi 2006) omakäyttölämmönkulutukseen, joka oli 97,2 MWh/a ja tuotettu lämpöenergia 1,8 GWh käyttötuntien ollessa 264,5 h. Hasaniemen tilojen laskennalliseksi lämmitystehoksi saatiin 11,1 kW ja omakäyttölämmöksi 53,58 kWh/MWh. Lämmitystehojen ja omakäyttölämmön vertailu ei kuitenkaan antanut oikeaa kuvaa lämmitysenergian tarpeesta koska lämpökeskukset ovat tilavuudeltaan erilaiset, käyttötunneissa ja kattilatehoissa on suuria eroja ja Käpykankaalla on toimisto ja sosiaalityloja. Hasaniemessä käytetään kevyttä polttoöljyä ja kolmessa säiliössä on välitilan lämmitys sekä öljypumppujen jälkeinen öljyn esilämmitin.

Kuviossa 20 on esitetty omakäyttölämmön määrää niinä kuukausina, kun käyttötunnit ovat olleet alle kymmenen tuntia eli käytännössä lämpökeskus on ollut pois päältä koko kuukauden. Käpykangas on ollut pois käytöstä kahdeksan kuukauden aikana vuonna 2021, jolloin omakäyttölämmön kulutus on ollut yhteensä 145 MWh, jolloin omakäyttölämmön kulutus on keskiarvoltaan 18 MWh/kk. Hasaniemen (tilavuus 1060m³) seisonta-ajan omakäyttölämmön kulutus on noin 21 MWh ja keskiarvoltaan 3,5 MWh/kk, mikä on noin 80 % pienempi kuin Käpykankaan kulutus.



Kuvio 20. Omakäyttölämpö seisonta-aikana

7 Energiasäästökohteiden kustannuslaskenta

Energiakatselmuksen perusteella energiasäästökohteiksi valikoitui kolme pääkohdetta, joiden kannattavuutta arvioitiin kustannuslaskelmista saaduista suorilla takaisinmaksuajoilla. Takaisinmaksuaika laskettiin Motivan kaukolämpökatselmusmallin kannattavuuslaskelman mukaan kaavalla 2. Energiasäästökohteiksi nousi esille seuraavat muutokset: öljyjärjestelmän muutokset ja kiinteistön rakennusautomaation uudistaminen. Kiinteistön lämpöhäviöiden pienentäminen ei katsottu tuovan riittäviä lämpöhäviöiden säästöjä suhteessa investointikustannuksiin. Rakennusautomaation uudistamiseen liittyvät vuosisäästöt perustuvat palveluntarjoajan antamiin arvioihin energiasäästöistä. Öljyjärjestelmän muutosten vuosisäästöt perustuvat omiin laskelmiin öljyn säiliötilan lämmitykseen ja esilämmityspiirin muutoksista.

$$\text{takaisinmaksuaika} = \frac{\text{kokonaisinvestointi}}{\text{vuosisäästö}} \quad (2)$$

7.1 Öljyjärjestelmän muutokset

Öljysäiliön välitilan lämmittämiseen tarvittava lämpöenergian määrän laskeminen oli haastavaa vähäisen mittaustiedon takia. Mittaustiedoista oli käytettävissä glykolipiirin menolämpötila, ulkolämpötila, säiliön välitilan lämpötila ja öljyn lämpötila ennen poltinta. Glykolipiirin paluulämpötilan ja virtausmäärien mittaustietoa ei ollut mahdollista saada, jolloin todellista lämpöenergian määrää oli mahdotonta laskea. Lämpöenergian teoreettisessa laskennassa oli laskettu välitilan (1500m³) ilman lämmittäminen sekä säiliön johtumislämmöstä johtuva lämpöhukka. Säiliö on eristetty, jolloin säiliön lämmönläpäisykerroksena oli käytetty arviota 1 W/K*m². Osa lämpöenergiasta menee johtumisen takia myös sisemmän öljysäiliössä olevan öljyn lämpöön mutta sitä ei huomioitu laskennassa. Liitteessä 7 on esitetty säiliön välitilan ilman lämmittämiseen ja johtumislämpöhäviöihin käytetyn lämpöenergian määrät. Välitilan ilman lämmittäminen ja johtumislämpöhäviöt laskettiin alla olevilla kaavoilla 3 ja 4.

$$\text{Välitilan ilman lämmittäminen} = \frac{\rho_{ilma} * C_{p,ilma} * V * \Delta T}{3600} * \Delta t \quad (3)$$

$$\text{Johtumislämpöhäviöt} = \frac{U_{säiliö} * A_{säiliö} * \Delta T * \Delta t}{1000} \quad (4)$$

Missä,

ρ = aineen tiheys [kg/m³]

C_p = aineen ominaislämpökapasiteetti [kJ/K*kg]

V = tilavuus [m³]

A = pinta-ala [m²]

ΔT = lämpötilaero

Δt = kuukauden tunnit

3600 = yksikkömuunnos kJ → kWh

Välitilan lämmittämiseen käytetty lämpöenergia oli laskettu tammi-elokuun väliseltä ajalta, jolloin välitilan lämmittämiseen kului 25,8 MWh lämpöä ja johtumishäviöihin tarvittava lämpöenergia oli 10,8 MWh eli yhteensä n. 36,5 MWh. Liitteessä 7 on esitetty laskelma välitilan lämpötilan pitämisestä vähintään +5 °C:ssa, jolloin lämpöenergian säästö olisi 19,1 MWh (1200 €). Vuosittaista säästöä tulisi noin 1800 €.

Liitteessä 2 on esitetty öljyjärjestelmään tehtävät muutokset. Öljysäiliön välitilan lämmitys tulisi säilyttää kosteuden hallinnan näkökulmasta sekä varalämmitysjärjestelmänä kovimpia pakkasjaksoja varten. Käytöstä poistetut glykolipiirillä varustetut öljyn esilämmittimet tulisi poistaa liitteen 2 mukaisesti, jotta välttyttäisiin lämpöenergian häviöiltä, joita lämmönvaihtimista tapahtuu.

Mittaushetkellä säiliön välitilaan virtaa 80 °C glykolia vakioarvollaan. Välitilan lämmityksen säätö tulisi kuitenkin ulkolämpötilakompensoida, jotta välttyttäisiin energiahukalta. Öljyn lämpötilan pienentäminen ennen poltinta olisi myös hyvä optimoida, jotta vältytään öljyn ”ylilämmittämiseltä”. Öljyn lämpötila ennen poltinta olisi hyvä optimoida välille 10-25 °C, jolloin öljyn viskositeetti olisi riittävän alhainen öljyn sumuttamiseksi polttoprosessiin. Liitteessä 6 on esitetty saatavat säästöt, jos öljyn lämpötila lasketaan 10-25 °C:een. Vuosisäästöt lämpötilan laskemisesta ovat 167-590 €. Öljyn lämmittämisestä saatavat säästöt laskettiin vertaamalla öljyn lämmittämiseen tarvittavan lämpöenergian määrän vähentämistä, kun lämpötilaa laskettiin tavoitearvoon. Öljymäärän lämmittäminen laskettiin kaavalla 5.

$$\text{Aineen lämmittämiseen tarvittava lämpöenergia} = \frac{C_p * m_{\text{öljy}} * \Delta T}{3600} \quad (5)$$

Missä,

C_p = öljyn ominaislämpökapasiteetti [kJ/Kg*K]

$m_{\text{öljy}}$ = öljyn määrä [kg]

ΔT = lämpötilaero

3600 = yksikkömuunnos kJ \rightarrow kWh

7.2 Rakennusautomaation uudistaminen

Käpykankaan lämpökeskuksen energiatehokkuuden tehostaminen vaatisi laajamittaisen rakennusautomaation uudistamisen. Lämpökeskuksen energiakatselmuksessa havaittiin, että lämpöenergiaa menee hukkaan kattavan rakennusautomaatiojärjestelmän puutteen vuoksi. Energiatehokkuuden näkökulmasta tehtäviä muutoksia olisi mm. toimisto- ja sosiaalityötilojen ja kattilahallin tulo- ja poistoilman optimointi käyttöasteen mukaan, kattilahallin tulo- ja poistoilman hallinta paineeron mukaan sekä lämmönvaihtimien tehonsäädön monipuolistaminen huone- ja ulkoilman mukaan. RAU-muutosta varten pyysimme tarjouksen ja toimenpide-ehdotuksen Caverionilta. Liitteessä 7 on listattu instrumentit, joita rakennusautomaatiomuutos vaatisi. RAU-järjestelmän uudistamisessa lämpökeskukseen lisättäisiin kaksi alakeskusta sekä kenttälaitteiden instrumentoinnit uusittaisiin. Uusittavia/lisättäviä instrumentteja olisi erilaiset magneettiventtiilit, peltien toimilaitteet, lämpötila-, kosteus-, ilmavirtaus-, paine- ja hiilidioksidianturit. Toimilaitteiden ja mitta-antureiden lisäksi tilat varustetaan huonesäätimillä. Uutta rakennusautomaatiojärjestelmää hallittaisiin Caverion Drive -web pohjaisella järjestelmällä. Järjestelmän uusimisen perusajatuksena oli mitauksia lisääminen niin ilmanvaihtoon, kiinteistön lämmitykseen sekä öljyn säiliötilan lämmitykseen, jotta järjestelmän optimointi ja säätöperusteiden muuttaminen olisi tulevaisuudessa mahdollista. Palveluntarjoaja arvioi rakennusautomaation uudistamisella saatavat omakäyttölämpöenergian säästöt olevan 10-20 % vuoden 2021 aikaisista kulutuksista (Oinonen 2022). Omakäyttölämmön säästöt riippuvat optimoinnin ja säätöperusteiden tasosta. Liitteessä 8 on esitetty RAU-järjestelmän uusimisen kustannuslaskelma sekä takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuajaksi laskettiin 5,6-11 vuotta riippuen omakäyttölämmön kulutuksesta saatavista säästöistä (10-20 %).

8 Yhteenveto

Käpykankaan lämpökeskuksen sovellettu kaukolämpökatselmus tuotti kokonaiskuvan lämpökeskuksen energiatehokkuuden tilasta. Kattilan hyötysuhdetta tarkasteltiin teoreettisesti vertaamalla käytetyn polttoaineen energiamäärää suhteessa tuotettuun kaukolämpöenergiaan. Hyötysuhdelaskelmat osoittivat, että kattilaprosessi toimii hyvällä hyötysuhteella (93,4%). Laskelmat antoivat kuitenkin pieniä viitteitä mittausdatan epätarkkuudesta. Lämpökeskuksen lämmitysprosessi ja kytkenät suhteessa lämpökeskuksen tehoon ja käyttöaikaan olivat oikein mitoitettu ja suunniteltu eivätkä vaadi prosessin osalta toimenpiteitä. Savukaasupeltien säätö ja tiiveys olisi kuitenkin hyvä tarkistaa mahdollisen seisonta-ajan lämpöhukan minimoimiseksi. Toisaalta Käpykankaan lämpökeskuksen savupiipun lämpötila suhteessa muihin Savon Voiman uudempiin lämpökeskuksiin oli varsin alhainen.

Seisonta-ajan aikainen omalämmönkulutus oli varsin korkea. Omakäyttölämmön määrää seurattiin kuukausittain omakäyttöpiirin energiamittareilla. Omakäyttölämmön kulutukseen ei laskettu Käpy 1 kattilan ylläpitolämmitystä. Kattilan seisonta-ajan lämpötilataso oli kuitenkin mittausdatan perusteella varsin maltillinen eikä siten vaadi toimenpiteitä. Suurimmiksi lämmön kulutuskohteiksi arvioitiin öljysäiliön välitilan lämmitys sekä kattilahallin sisäilman lämmitys. Käpy 1 kattilahallin sisäilman lämmittäminen havaittiin ongelmalliseksi puuttuvan tuloilman esilämmityspatterin ja ylhäältä-alas kierrättävän sisäilmapuhaltimen puuttumisen vuoksi. Nämä aiheuttavat sen, että Käpy 1 kattilan ollessa tuotannossa kattilahallin sisäilma on kylmä ja alipaineinen lisääntyneen palamisilman tarpeen takia sekä seisonta-aikana kattilahallin ilma kerrostuu helposti lämpötilan vaikutuksesta. Käpy 2 kattilahallissa ei tätä ongelmaa ole olemassa olevan ylhäältä-alas puhaltavan kiertoilmakoneen ja tuloilman esilämmityspatterin vuoksi.

Katselmus osoitti, että suurimmat energiasäästöt saataisiin aikaan rakennusautomaation uudistamisella niin, että automaation ja mittausinstrumenttien määrää lisätään järjestelmässä. Mittausdatan ja säätömekanismien lisääminen mahdollistaa järjestelmän järkevä optimoinnin vallitsevien olosuhteiden ja tilojen käyttöasteen mukaan. Järjestelmän uusiminen toisi mahdollisuuden tarkempaan lämmön kulutuskohteiden seurantaan lisääntyvien lämpötila-, virtaus- ja paine-eromittausten lisääntymisen johdosta. Lämpöenergian säästön lisäksi järjestelmällä on mahdollista saavuttaa säästöjä myös sähkönkulutuksessa. Ylhäältä-alas puhaltavan kiertoilmakone toisi varmasti ratkaisun Käpy 1 kattilahallin ilmankerrostumiseen.

Öljysäiliön välitilan lämmitys havaittiin olevan erittäin suuri omakäyttölämmön kulutuskohte. Toimenpide-ehdotuksena ehdotan käyttämättömäksi jääneiden öljyn esilämmittimien poistamista ja ensiöpiirien sulkemista. Käytöstä jääneiden lämmönvaihtimien poistaminen vähentäisi myös mää-
räaikataarkistusten velvollisuutta. Rakennusautomaation uudistamisella saataisiin tähän järjestel-
mään haluttua muutosta, jolloin lämpöenergianhukka saataisiin minimoitua. Muita katselmuk-
sessa havaittuja toimenpide-ehdotuksia oli lämmönvaihtimien ja kiertoilmakojien
lämmityspattereiden puhdistus sekä tuloilmayksiköiden suodattimien vaihto. Nämä toimenpiteet
parantavat lämmityslaitteiden ja lämmönvaihtimien lämmönsiirtokykyä ja tuloilmayksiköiden pu-
haltimien sähköenergian kulutusta.

Rakennusteknisten muutosten mm. ikkunoiden uusiminen ja seinien lisäeristykseen lisääminen ha-
vaittiin jo alkuvaiheessa olevan kannattamaton toimenpide. Rakennusteknisten muutosten inves-
tointikustannukset olisivat olleet korkeat suhteessa saataviin omakäyttölämmön säästöihin, jolloin
näiden toimenpiteiden takaisinmaksuajat olisivat olleet pitkät.

9 Pohdinta

Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa selvitys kustannustehokkaista energiansäästötoimenpiteitä
niin lämmitysprosessin kuin rakennusautomaation osalta. Lisäksi tavoitteena oli arvioida havaittu-
jen energiasäästökohteiden investointikustannuksia suhteessa saataviin säästöihin. Tavoitteiden
saavuttaminen vaati kaukolämpöprosessin katselmoinnin ja arvioinnin, lämmönkulutuskohteiden
havaitsemisen ja eri investointiratkaisujen arviointia kustannuslaskelmien ja takaisinmaksuaikojen
avulla. Opinnäytetyölle asetettiin seuraavanlaisia tutkimuskysymyksiä: Mikä on lämpökeskuksen
omakäyttölämmön kulutuksen nykytilanne, millaisia lämmitysprosessin ja kiinteistöautomaation
energiansäästökohteita on, millaisia hyötyjä säästötoimenpiteillä saavutetaan. Tutkimusasetelma
ja tiedonkeruumenetelmät yhdessä tiedonanalysoinnin kanssa toivat vastaukset tutkimuskysymyk-
siin ja tutkimuksen tavoitteet saavutettiin. Kehittämistyön lopputuloksena syntyi selvitys energia-
säästötoimenpiteistä, suunnitelma rakennusautomaation nykyaikaistamisesta sekä kustannusarvio
ja kannattavuuslaskelma.

Tutkimuksen luotettavuus perustui prosessimittausten luotettavuuteen, päteviin laskelmiin, tek-
nisten dokumenttien tulkintaan, haastatteluista kerättyihin tietoihin ja riittävän kattavan mittaus-
tiedon keräämiseen. Prosessimittausten luotettavuuden saavuttaminen oli haasteellista vähäisen

instrumentoinnin sekä mittausteknisten haasteiden vuoksi. Ohjausjärjestelmään tallentuneissa tiedoissa oli havaittavissa pientä mittauksen epätarkkuutta mm. öljymäärien suhteen ja tietyissä lämpötilamittauksissa oli useita katkoksia. Lämmönvaihtimien meno- ja paluupuolen lämpötilatietojen sekä virtaustietojen puute vaikeutti teho- ja lämpöenergiämäärien laskentaan. Mittaustiedon vähyys vaikutti merkittävästi pätevien laskelmien valintaan. Jos pätevien laskelmien tuottaminen ei ollut mahdollista, jouduimme turvautumaan alkuperäisten teknisten dokumenttien laskelmiin. Alkuperäisten, teknisten dokumenttien laskennat, eivät välttämättä edusta todellista tilannetta, jolloin tutkimuksen luotettavuus voi kärsiä. Tutkimuksen aikana havaittiin, että alkuperäiset tekniset dokumentoinnit eivät pitäneet kaikilta osin paikkansa. Lämpölaitokselle oli vuosien aikana tehty useita muutoksia ja korjauksia, jonka yhteydessä alkuperäisiä dokumentointeja ei kaikilta osin ollut päivitetty. Teknisen dokumentoinnin vajetta yritettiin korjata haastatteleamalla käyttöhenkilökuntaa. Haastatteluista kerätyt tiedot perustuivat henkilöiden kokemuksiin ja muistikuviiin, joiden luotettavuutta pyrittiin parantamaan vertaamalla tietoa teknisten dokumenttien tietoihin sekä kerättyyn teoriatietoon. Haastatteluista kerätty tieto arvioitiin pääosin luotettavaksi. Kokonaisuudeltaan tutkimuksen luotettavuus oli tyydyttävällä tasolla.

Tutkimuksen eettisyys perustui mm. lähteiden asianmukaiseen käyttöön, tutkimusaineiston oikeaoppiseen keräämiseen ja käsittelyyn ja toimeksiantajan ja informanttien anonymisyyteen. Kirjallisuuskatsauksessa teoriatiedon kerääminen pyrittiin toteuttamaan luotettavista lähteistä suosimalla lämpötekniikan, rakennusautomaation ja energiatehokkuuden kirjallisuutta ja sähköistä materiaali luotettavista lähteistä. Tutkimusaineiston keräämisessä ja aineiston hallinnassa noudatettiin tietoturvallisuutta, aineiston eheyttä ja informanttien anonymisyyttä edistäviä periaatteita. Tutkimusaineiston tietoturvallisuus ja aineiston eheys toteutettiin toimeksiantajan tietoturvallisuutta ja tiedonkäsittelyä käsittelevien ohjeiden mukaan. Informanttien anonymisyyttä noudatettiin haastateltavien toiveiden mukaan ja jokaisesta haastattelusta kysyttiin lupa nimen julkaisemiseksi lähdeluettelossa. Tutkimuksen ennakoarvioinnissa ja suunnitelmassa arvioitiin, että tutkimus ei tule sisältämään henkilötietoja eikä toimeksiantajan toimintaan liittyviä arkaluontoisia tietoja, jolloin tutkimuslupaa eikä eettistä ennakoarviointia ollut välttämätöntä tehdä. Tutkimuksen eettisyyden taso ja objektiivisuus pysyi hyvällä tasolla tutkimusprosessin ajan: energiatehokkuutta tarkasteltiin monipuolisesti kaikilta lämpöprosessin ja kiinteistötekniikan osilta.

Kokonaisuudeltaan kehittävä tutkimustyö oli monelta osalta haastava lämpökeskuksen iän, vuosien mittaan tehtyjen useiden muutostöiden, hajalla olevan ja vanhan dokumentoinnin sekä Käpy 2:lle tehdyn ohjausjärjestelmämuutoksen takia. Käpy 2 ohjausjärjestelmämuutoksen takia Käpy 2 kattilan lämpöenergiakulutuksen analysointi jäi vähemmälle huomiolle mittausdatan puuttumisen vuoksi. Kohteeseen liittyvät haasteet nostivat teoreettisen tietoperustan merkitystä. Tutkimuksen teon yhteydessä havaittuihin tuloksiin ja ilmiöihin oli haettava selitystä teoreettiselta tietoperustalta, jolloin oli mahdollista saada vahvistusta havaittuihin tuloksiin esimerkiksi kytkentöihin tai lämmönvaihtimien säätöperusteisiin. Huolimatta haastavuudesta, toimeksianto oli mielenkiintoinen ja antoisa. Tutkimuksesta saatava keskeinen johtopäätös oli, että instrumentoinnilla on merkittävä vaikutus lämpötehokkuuden edistämässä ja energiasäästöjen tavoittelussa.

Lähteet

Baff, Johtokunta. 2005. Rakennusautomaatiolla saavutettavissa olevat hyödyt. Viitattu 1.7.2022.

http://automaatioseura.planeetta.com/index/tiedostot/BAFF_%20hyodyt.pdf.

Energiapalvelujen ja energiatuotannon toimenpideohjelma. Suunnitelma seurantajaksolle 2017-2025. Savon Voima Oyj.

Energiatehokas lämmönsiirto -opas. 2016. Motiva. Viitattu 1.7.2022. https://www.motiva.fi/files/11106/Energiatehokas_lammonsiirto.pdf

Energiatehokkuusdirektiivi 27/2012. Direktiivi EU- ja kansallisen tason energiatehokkuustavoitteista, kansallisista energiansäästövelvoitteista ja energiatehokkuuden edistämisen toimenpiteistä. Annettu 4.12.2012. Viitattu 1.7.2022. <https://tem.fi/energiatehokkuusdirektiivin-toimeenpano>.

Energiatehokkuuslaki 1429/2014. Laki energiatehokkuuden edistämisestä. Annettu 30.12.2014. Viitattu 1.7.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20141429>.

Energiatehokkuussopimus 2016. Yrityksen liittymisasiakirja.

Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P. 1999. Tutki ja kirjoita. Otavan kirjapaino Oy.

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. Edita. Opetushallitus.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2011. Voimalaitostekniikka. Opetushallitus.

Ingnition 2022. Ohjausjärjestelmä.

Kananen J. 2010. Opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkasuja. Tampereen yliopistopaino Oy.

Kaukolämmön käsikirja. 2006. Energiateollisuus ry. Helsinki: Libris Oy

Kaukolämpökatselmus. Toteutusohje ja mallisisällysluettelo. 2001. Suomen kaukolämpö ry. Viitattu 1.7.2022. <https://www.motiva.fi/files/752/kat-kaukolampomalli.pdf>.

Keronen, V-M. 2022. Käyttöpäällikkö. Savon Voima Joensuu. Haastattelu 1.5.2022.

Lajunen, M. 1973. Höyrykattilat. Kustannusyhtymä Tampere.

Lajunen, M. 1973. Höyrykattilat. Tampere.

Mäkelä, V-M. & Tuunanen, J. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Oppimateriaali. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Viitattu 1.7.2022. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Neste Tempera polttoöljy tuotetiedote. 2022. Viitattu 29.7.2022. <https://www.neste.fi/tuote/neste-tempera-polttoöljy-talvilaatu-29-38>.

Oinonen, A. 2022. Teknologiapäällikkö. Caverion Oy. Haastattelu 7.7.2022.

Qlik Sense 2022. Konserniraportointijärjestelmä.

Rauma-Repola Oy. 1983. Käpykangas lämpökeskuksen käyttö- ja hoito-ohjeet.

SFS-EN 12952-1. 2015. Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot. Osa 1: Yleistä

Suomäki, J. & Vepsäläinen, S. 2013. Talotekniikan automaatio – käyttäjän opas. Kiinteistöalan Kustannus Oy ja kirjailijat.

Tilastokeskus. Yli puolet Suomen sähköstä tuotettiin uusiutuvilla energialähteillä vuonna 2020. Viitattu 1.7.2022. https://www.stat.fi/til/salatu0/2020/salatu0_2020_2021-11-02_tie_001_fi.html

Toikko, T. & Rantanen, T. 2009. Tutkimuksellinen kehittämistoiminta. Näkökulmia kehittämissessin osallistamiseen ja tiedontuotantoon. Tampere: Tampereen yliopistopaino.

Värjä, P., Mikkola, J-M. 1999. Uusi kiinteistöautomaatio: Automaatio ja säätötekniikka. Uudistettu painos. Elimäki: Korian kirjapaino Ky.

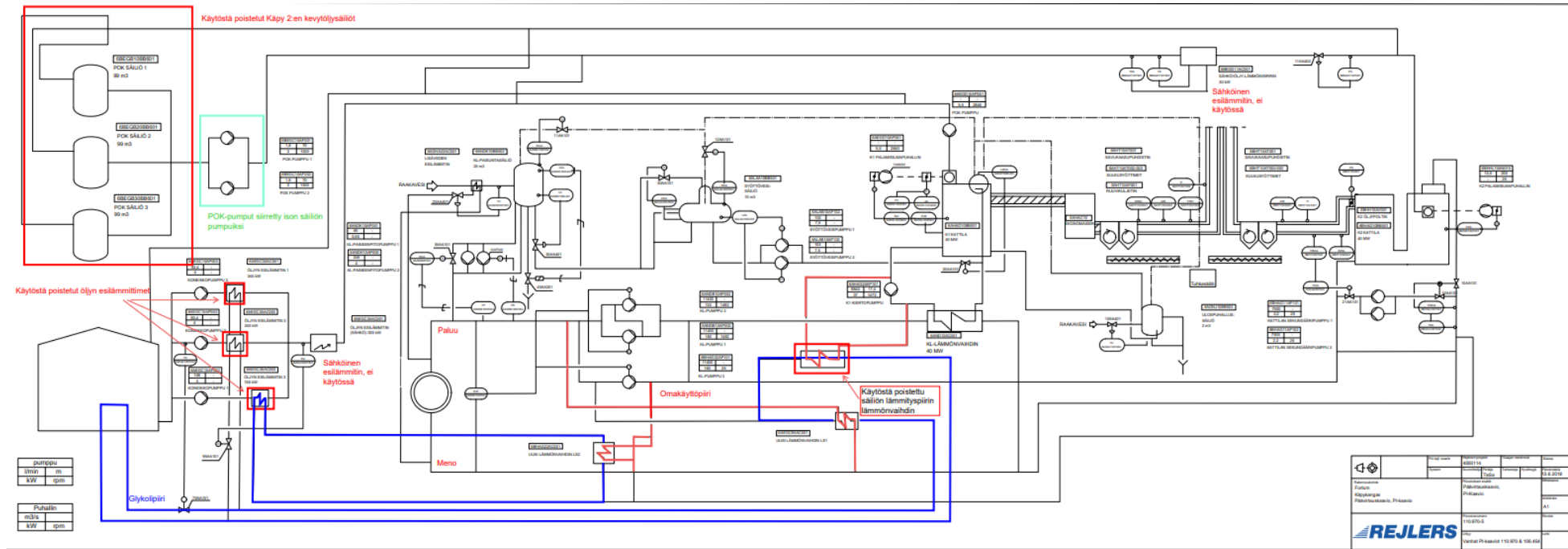
Wärtsilä. 2005. SV3-kattilat, tekninen seloste. Wärtsilä Biopower Oy.

Liitteet

Liite 1. Käpykankaan lämpökeskuksen lämmöntuotanto, polttoaineden käyttö ja kattilan hyötysuhde

Kertoimet	Lämpötuotanto MWh	Käyttöaika h	Polttoaineiden käyttö					Yhteensä MWh	Hyötysuhde %
			POR mitt. Mukaan t	POK mitt. mukaan m ³	Öljy mitt. mukaan POR MWh	Öljy mitt. mukaan POK MWh			
					11,22	11,94			
Tammikuu	4346	231	417	0	4680	0	4680	93	
Helmikuu	2058	141	192	8	2153	73	2226	92	
Maaliskuu	3598	185	342	0	3839	0	3839	94	
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0		
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0		
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0		
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0		
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0		
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0		
Lokakuu	8	0	1	0	6	4	10	80	
Marraskuu	92	4	9	0	99	0	99	93	
Joulukuu	579	145	52	0	580	0	580	100	
Yhteensä	10682	707	1012	8	11357	77	11434	93	

Liite 2. Käpykankaan PI-kaavio



Liite 3. Neste Tempora 36 tuotetiedot

NESTE

Technical Data Sheet

Neste Polttoöljy talvilaatu

Neste Pro Moottoripolttoöljy

Neste Tempora polttoöljy

PO-29

14/6/2021

Properties	Unit	Specification		Test Method
		min	max	
Setaaniluku Cetanol Cetane number		51	-	EN 15195 EN 16715 EN ISO 5165
Setaani-indeksi Cetanindex Cetane index		43	-	EN ISO 4264
Tiheys, 15 °C Densitet vid 15 °C Density at 15 °C	kg/m ³	800	840	EN ISO 12185 EN ISO 3675
Leimahduspiste Flampunkt Flash point	°C	55.1	-	EN ISO 2719
Viskositeetti, 40 °C Viskositet vid 40 °C Viscosity at 40 °C	mm ² /s	1.400	4.000	EN ISO 3104
Tislaus Distillation Distillation				
Recovered at 180 °C	% (V/V)	-	10	EN ISO 3405
Recovered at 340 °C	% (V/V)	95	-	EN ISO 3924
Voiteluvuus / HFRR Smörjbarhet / HFRR Lubricity / HFRR	µm	-	460	EN 12156-1
Polyaromaatit Polyaromater Polyaromatics	% (m/m)	-	8.0	EN 12916
Rikki Svavelhalt Sulphur content	mg/kg	-	10.0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Hiltöjännös 10 % pohjasta Kokstäl av 10 % återstod Carbon residue on 10 % distillation residue	% (m/m)	-	0.30	EN ISO 10370
Tuhka Askhalt Ash content	% (m/m)	-	0.010	EN ISO 6245
Vesi Vatten Water content	mg/kg	-	200	EN ISO 12937
Sedimentti Sediment Total contamination	mg/kg	-	24	EN 12662
Kuparikorrosio 3h/50°C Kopparkorrosion 3h/50°C Copper strip corrosion 3h/50°C	Rating	-	class 1	EN ISO 2160
Hapetuskestävyys Oxidations stabilitet Oxidation stability	g/m ³	-	25	EN ISO 12205
Samepiste Grumlings temperatur Cloud point	°C	-	-29	EN 23015 ASTM D5771 ASTM D5773
Suodattavuus Filterbarhets temperatur Cold filter plugging point (CFPP)	°C	-	-38	EN 116 EN 16329
Väri ja ulkonäkö Färg och utseende Appearance		Punainen, Kirkas, ei kirkkaita epäpuhtauksia Röd, klar och blank Red, Clear and Bright		ASTM D4176-1 ASTM D4176-2
FAME Biodiesel	% (V/V)	Tarkoituksella ei lisätty Ingen avsiktlig tillsats av No intentional adding		

Liite 4. Lämpökeskuksen omakäyttölämpö ja omakäyttölämmitysteho

VUOSI 2021

KÄPY 1																
POR	40 MW	Tammi- kuu	Helmi- kuu	Maalis- kuu	Huhti- kuu	Touko- kuu	Kesä- kuu	Hei- näkuu	Elo- kuu	Syys- kuu	Loka- kuu	Marras- kuu	Joulu- kuu	Yh- teensä	Kes- kiarvo	
Lämpötuotanto	MWh	4346	1988	3598	0	0	0	0	0	0	5	92	579	10609	1632,2	
Käyttöaika	h	231,0	136,0	185,0	0	0	0	0	0	0	0	4	145,0	701,0	107,8	
Omakäyttölämpö	MWh	53,5	42,4	34,7	18,2	9,4	4,3	3,6	7,2	9,0	8,0	15,4	22,6	228,3	35,1	
Omakäyttölämpö	kWh/MWh	12,3	21,3	9,6							1568,6	166,7	39,0	21,5	262,7	
OK-lämmitysteho	kW	72,0	63,0	49,8	23,7	12,6	6,5	4,5	10,0	12,1	10,8	22,1	29,4	26,1	26,4	
KÄPY 2																
POK	40 MW															
Lämpötuotanto	MWh	0,0	70,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	73,0	11,2	
Käyttöaika	h	0,0	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	5,8	0,9	
Omakäyttölämpö	MWh	25,2	21,0	23,0	10,0	8,3	6,5	5,6	8,1	9,8	9,1	12,5	16,8	155,8	24,0	
Omakäyttölämpö	kWh/MWh		298,9								3355,6			2134,1	1929,5	
OK-lämmitysteho	kW	33,8	31,3	33,0	13,0	11,2	9,7	7,1	11,2	13,1	12,2	18,0	21,8	17,8	17,9	
KÄPYKANKAAN LÄMPÖKESKUS YHTEENSÄ																
Lämpötuotanto	MWh	4346	2058	3598	0	0	0	0	0	0	8	92	579	10682	1643,4	
Käyttöaika	h	231,0	141,4	185,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	4,0	145,0	706,8	108,7	
Omakäyttölämpö	MWh	78,7	63,4	57,7	28,2	17,7	10,9	9,2	15,3	18,8	17,1	27,9	39,3	384,1	59,1	
Omakäyttölämpö	kWh/MWh	18,1	30,8	16,0							2187,2	302,2	67,9	36,0	379,7	
OK-lämmitysteho	kW	105,8	94,3	82,9	36,7	23,8	16,2	11,6	21,2	25,2	22,9	40,1	51,2	43,8	44,3	

Liite 5. Öljyn lämpötilan optimointi

Kuukausi	Öljyn lämpötila °C	Öljyn kulutus t	Öljyn lämpötilan optimointi		
			Säästö €		
			10 °C	20 °C	25 °C
tammi	28,2	417,1	220,22	98,92	38,27
helmi	30,1	191,8	111,98	56,18	28,28
maalis	29,5	342,1	194,26	94,75	45,00
huhti	30,3	0	0,00	0	0,00
touko	28,9	0	0,00	0	0,00
kesä	28,2	0	0,00	0	0,00
heinä	29,3	0	0,00	0	0,00
elo	25,7	0	0,00	0	0,00
Kaikki yhteensä	28,8	951,0	526,47	249,86	111,55
Öljyn ominaislämpökapasiteetti	1,67	Kj/kgK			
Kaukolämmön hinta	62,7	€/MWh			

Liite 6. RAU-järjestelmän uusimisen kustannuslaskelma

RAU-järjestelmän urakkasumma	20850	€
Alakeskukset 2kpl		
Kenttälaitteiden instrumentointi		
Suunnittelu, dokumentointi		
Asennus, ohjelmointi		
Käyttöönotto		
Caverion Drive valvomo liitännät ja ohjelmat		
Koulutus		
Takuuhuolto		
Erillistyö		
Sähkömuutokset, kaapelointi ja RK-muutokset	6400	€
Investoinnit yhteensä	27250	€
Omakäyttölämmön säästö vuosikulutuksesta	10-20	%
Omakäyttölämmön vuosikulutus	384	MWh
Kaukolämmön hinta	62,7	€/MWh
Omakäyttölämmön säästö vuodessa	38,4-76,8	MWh/a
Säästö vuodessa	2408-4815	€/a
Takaisinmaksuaika	5,6-11	vuotta

Liite 7. Säiliön välitilan ilman lämmittämisen ja johtumislämpöhäviöihin käytetyn lämpöenergian määrät

Kuukausi	Ulkolämpötila °C	POK-säiliön välitilan lämpötila °C	Kuukauden tunnit	Q _{ilma} , kWh	Q _{joht} , kWh	Q _{ilma} väh. +5 °C	Q _{joht} väh +5 °C	Säästö €
tammi	-7,7	7,3	744,0	6040,1	2521,1	5125,6	2139,4	81,3
helmi	-4,3	9,1	672,0	4890,6	2041,3	3402,0	1420,0	132,3
maalis	-2,1	9,8	696,0	4485,6	1872,3	2674,4	1116,3	161,0
huhti	2,3	11,5	720,0	3585,1	1496,4	1050,2	438,4	225,3
touko	9,1	14,7	744,0	2238,4	934,3	0	0	198,9
kesä	16,1	18,6	672,0	881,7	368,0	0	0	78,4
heinä	18,5	22,0	744,0	1409,3	588,2	0	0	125,2
elo	16,5	22,2	720,0	2229,7	930,7	0	0	198,2
Kaikki yhteensä	4,8	13,4	5712,0	25760,6	10752,4	12252,2	5114,0	1200,5
Välitilan tilavuus	1501 m ³							
Ilman ominaislämpökapasiteetti	1,0 kJ/kgK							
Ilman tiheys	1,3 kg/m ³							
Teräksen lämmönläpäisykerroin	1,0 W/Km ²							
Öljysäiliön pinta-ala	227,3 m ²							
Öljyn ominaislämpökapasiteetti	1,67 KJ/kgK							
Öljyn tiheys	800,00 kg/m ³							
Kaukolämmön hinta	62,7 €/MWh							

Liite 8. RAU-urakan yksikköluettelo

1. VALVOMOLAITTEET
Laite
PC-palvelin
Muisti:
kovalevy muisti:
sarjaporttien määrä:
verkkokortti
Office 2013
Näppäimistö ja hiiri
Takuu 36kk
Näyttö laajakuva 24 "
Raporttikirjoitin laser, musta/valko
UPS-laite
2. TIEDONSIIRTOLAITTEET
Laite
TCP/IP -modeemi
GSM -modeemi
3G Reititin
Tosibox Lukko
Tosibox Lukko 200
Tosibox avain mobiili clientilla
Tosibox avain 200 mobiili clientilla
Tosibox lisä mobiili client 1kpl
Tosibox lisä mobiili client 5kpl
Tosibox virtuaali keskus lukko
Tosibox virtuaali keskuslukon lisenssi paketti 100 vpn
Tosibox 4G modeemi
Tosibox 4G USB modeemi
Tosibox ulkoinen antenni 3m kaapelilla
Tosibox DIN kiinnike

3. ALAKESKUSLAITTEET
Alakeskuskotelot
Sis: kourut, kiskot, kasaus
koko:
koko:
koko:
koko:
Prosessimoduulit
ECY-S-1000-E48 MS 10 modbus
ECY-S-1000-E 28 MS 3 modbus
ECY-S-1000-E 28 MS 32 modbus
ECY-PTU-208 HUONESÄÄDIN
Alakeskusmoduuli perusmoduuli 52 kpl I/O pisteitä
Relemoduulit ja apureleet+kanta
Relekortti 4* DO
Omron G2R1-vaihtok.
Omron G2R2-vaihtok.
ECY-S-1000-E 28 MS 32 modbus
Virtalähteet
230V/24V 300 VA ohjausjännitemuuntaja
230V/24V 500 VA ohjausjännitemuuntaja
ECY-PS100-240
Apulaitteet ja muuntimet
Jäätymissuotermostaatti
Galvaaninen erotin
Riviliitin katkaistava asennettuna
Ohjauskytkin
2-asentoinen
3-asentoinen
4-asentoinen

4. KENTTÄLAITTEET	Lämpötila-anturit
	jäätymissuojatermostaatin anturi
2-tieventtiilit, kaukolämpö	ulkoanturi
PALLO R412-D Kv 2,5	huoneanturi
PALLO R413-D Kv 4,0	kanava-anturi, 300mm
PALLO R417-D Kv 6,3	keskiarvoanturi, 3m anturiosa
PALLO R418-D Kv 10,0	vesianturi
PALLO R419-D Kv 16,0	käyttövesianturi
	kylmäaltaananturi
2-tieventtiilit, toisiopiirit	Huonetermostaatti
PALLO R-2015 KV 2,5	
PALLO R-2015 KV 4,0	Kosteusanturit
PALLO R-2015 KV 6,3	huoneanturi
PALLO R-2025 KV 10,0	kanava-anturi
PALLO R-2040 KV 25,0	Ulko kosteus anturi
	Paine-erolähettimet
3-tieventtiilit, toisiopiirit	Suotimet
PALLO R-3015 KV 2,5	Kanava
PALLO R-3020 KV 4,0	Kanava
PALLO R-3025 KV 6,3	Huone
PALLO R-3032 KV 16,0	Vesiverkostot painelähetin
PALLO R-3040 KV 25,0	Vesiverkostot painelähetin näytöllä
PALLO R-3050 KV 40	Vesiverkostot paine-erolähetin
Magneettiventtiilit	Ilmavirtauksen ja pitoisuuksien mittauslaitteet
Magneettiventtiili ½ 230VAC 0-paine-ero	Virtauslähetin
Magneettiventtiili 1 230VAC 0-paine-ero	Hiilidioksidi huone
Vaihtokela 24V	Hiilidioksidi kanava
	Hiilimonoksidi CO
Venttiilin toimilaitteet (sähköiset 2...10 V)	Valoisuusmittaus
10 NM palloventtiilille	
5 NM palloventtiilille	Mittarit
Istukkaventtiilin saneeraustoimilaite isku 20mm	Lämpömittari -54...+60 astetta
Istukkaventtiilin saneeraustoimilaite isku 50mm	Painemittari
	Paine-erokytkin
Pellin toimilaitteet asennustarvikkeineen (2...10V)	
2 m2 pelleille ilman jousipalautusta	Huonesäätimet, ilmaisimet, painikkeet
4 m2 pelleille ilman jousipalautusta	Huonesäädin Produa Proxima
2 m2 pelleille jousipalautuksella	Huonesäädin Drive
4 m2 pelleille jousipalautuksella	Huoneyksikkö Drive
	Huoneyksikkö Proxima
Pellin toimilaitteet asennustarvikkeineen 24 V	
2 m2 pelleille ilman jousipalautusta	
4 m2 pelleille ilman jousipalautusta	
2 m2 pelleille jousipalautuksella	
4 m2 pelleille jousipalautuksella	