

Painotalon lämpöenergiaselvitys

Jere Nivajärvi

Opinnäytetyö, Toukokuu 2022



Karelia
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022
Talotekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Jere Nivajärvi

Nimeke
Painotalon lämpöenergieselvitys

Toimeksiantaja
Karelian Digital Twin -hanke

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa eräälle suomalaiselle painotalolle lämmitysenergieselvitys. Painotalossa oli havaittu ongelmia lämmityksessä ja nykytilanne lämmitysjärjestelmästä ei ollut tiedossa kiinteistössä tapahtuneiden muutoksien takia.

Työ toteutettiin selvittämällä lämmitysjärjestelmän kapasiteetti. Tämä sisälsi käytettävien lämpöenergiälähteiden eli kaukolämpö- ja nestekaasujärjestelmän ja painokoneiden poistoilmasta talteen otettavan lämmöntuotannon kapasiteetin tilanteen. Opinnäytetyössä tilannetta tarkastellaan vuosilta 2018–2022, jolloin painotalon tuotannossa tapahtui muutoksia.

Työstä selvisi, että tuotannossa painokoneiden vähentyminen on vaikuttanut laajasti koko kiinteistön lämmitykseen ja jäähdytykseen. Tämän opinnäytetyön yhteydessä löydettiin myös vanhentunutta lämmityslaitteistoa ja pohdittiin mahdollisia tulevaisuuden investointeja.

Kieli
suomi

Sivuja 36
Liitteet 5
Liitesivumäärä 5

Asiasanat
kaukolämmitys, lämmöntalteenotto, nestekaasu



THESIS
May 2022
Degree Programme in Building Services Engineering
Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Jere Nivajärvi

Title
Heating Energy Report in a Printing House

Commissioned by
Karelia Digital Twin-project

Abstract

The goal of the thesis was to produce a heating energy report for a Finnish printing house. Problems with heating had been observed in the printing house and the current situation regarding the heating system was not known due to changes in the property.

The work was implemented by determining the capacity of the heating system. This included the situation of the heat energy sources used, that is district heating, liquefied petroleum gas and heat recovery from the exhaust air of the printing machines. In the thesis, the situation is examined from the period 2018-2022, when there were changes in the production of the printing house.

The work revealed that the reduction in printing presses in production has had a significant impact on the heating and cooling of the entire property. In connection with this thesis project, obsolete heating equipment were detected, and possible future investments were considered.

Language
Finnish

Pages 36
Appendices 5
Pages of Appendices 5

Keywords
district heating, heat recovery, liquefied petroleum gas

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Lämmönkehityslaitteet	6
2.1	Yleistä	6
2.2	Kaukolämpö	6
2.2.1	Ensiö- ja toisiopuolen lämmönsiirtimet	6
2.3	Nestekaasu	8
2.3.1	Nestekaasukattila	9
2.4	Lämmöntalteenotto	9
2.4.1	Ylijäämälämmöntalteenotto	9
2.5	Lämmönjakojärjestelmät	10
2.5.1	Yleistä	10
2.5.2	Radiaattorilämmitys	10
2.5.3	Ilmalämmitys	11
2.5.4	Käyttövedenlämmitys	11
2.6	Absorptiojäähdytys	11
2.6.1	Hermeettinen absorptiojäähdytin	12
2.7	Heatset-painomenetelmä	13
3	Painotalon lämpöenergiaselvitys	13
3.1	Tiedon kerääminen	13
3.2	Yleiskuvaus	14
3.3	Painokoneiden LTO	15
3.4	Lämmityskapasiteetin kokonaiskartoitus	19
3.5	Kaukolämpö	20
3.6	Jäähdytys	23
3.7	Nestekaasu	25
4	Tulokset	28
5	Pohdinta	29
	Lähteet	31

Liitteet

Liite 1	Lämmitysjärjestelmän toimintakaavio (Painotalo 2007.)
Liite 2	Nestekaasukattilan toimintakaavio (Painotalo 2007.)
Liite 3	Absorptiojäähdyttimen toimintakaavio (Painotalo 2007.)
Liite 4	Kaukolämmönvaihtimien toimintakaavio (Painotalo 2007.)
Liite 5	Savukaasujen lämmöntalteenoton toimintakaavio (Painotalo 2007.)

1 Johdanto

Opinnäytetyön kohteena toimii painotalo, jossa tehdään laajasti erilaisia painotuotteita. Kiinteistön pinta-ala on 29 591 br-m² ja se on rakennettu kuudessa eri vaiheessa vuosina 1982–2014. Painotalossa on käytössä heatset-painokoneita, joiden hukkalämmöntuotto on merkittävä osa kiinteistön lämmitysjärjestelmää.

Opinnäytetyön aiheeseen päädyttiin yhdessä Karelian Digital Twin -hankkeiden ja painotalon kanssa, kun he esittelivät kiinteistön nykytilaa ja ehdottivat, että tähän liittyen olisi mahdollista toteuttaa opinnäytetyö. Opinnäytetyössä lähdettiin tutkimaan kiinteistön lämmöntuotannossa ja -kulutuksessa tapahtuneita muutoksia ja mahdollisia parannuksia. Tavoitteena oli myös analysoida syitä kohoille energiakustannuksille ja miettiä mahdollisia korjaustoimenpiteitä. Kiinteistössä lämmöntuotto tapahtuu kaukolämmöllä, nestekaasulla ja prosessin hukkalämmöntalteenotolla. Tähän on myös yhdistetty jäähdytys, joka tuotetaan samalla kuumalla vedellä absorptiojäähdyttimen avulla. Kiinteistön lämmönjako tapahtuu ilmavaihdon ja radiaattorilämmönsiirtimien avulla.

Selvitys oli tarpeellinen, sillä heatset painotuotannossa oli tapahtunut merkittäviä muutoksia viimeisen neljän vuoden aikana, jotka vaikuttivat koko kiinteistön lämmitykseen. Opinnäytetyö toteutettiin tammikuun ja toukokuun 2022 välisenä aikana. Selvitys toteutettiin toiminnallisena opinnäytetyönä, jonka tuloksena saatiin kuvaus lämmitysenergian käytöstä ja tuotosta nykytilanteessa.

2 Lämmönkehityslaitteet

2.1 Yleistä

Kiinteistön lämmitykseen vaadittava energia tehdään lämmönkehityslaitteessa, joka muuttaa kiinteistöön johdetun lämpöenergian kiinteistössä käytettäväksi lämmöksi. Lämmönlähteinä voidaan käyttää esimerkiksi kaukolämpöä, kaasua ja hukkalämpöä. Lämmönkehityslaitteita ovat esimerkiksi kaukolämmönvaihdin, kaasu- tai öljykattila ja lämmöntalteenottopatteri. (Motiva 2022.)

2.2 Kaukolämpö

Kaukolämpö tarkoittaa voimalaitoksessa, lämpökattilassa tai lämpökeskuksessa tehtyä lämpöä, joka kuljetetaan kaukolämpöputkiston avulla rakennusten lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden tekemiseen (Tilastokeskus 2020). Kaukolämpö on yleisin tapa lämmittää kiinteistöä ja käyttövettä Suomessa (Motiva 2021). Kiinteistöön tulevassa menoputkessa kiertävä kaukolämpövesi luovuttaa lämpöä asiakkaiden lämmitysjärjestelmään lämmönsiirtimien avulla ja menee jäähtyneenä paluuputkessa takaisin kaukolämpölaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. Menoputkessa kaukolämpöveden lämpötila muuttuu sään mukaan 65 ja 115 °C välillä ja kaukolämmön paluuputkessa yleensä 40 ja 60 °C välillä. (Energiateollisuus 2022.)

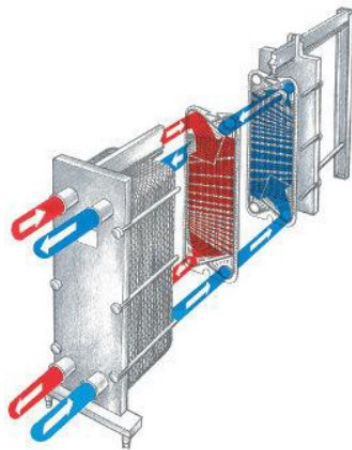
2.2.1 Ensiö- ja toisiopuolen lämmönsiirtimet

Ensiöpuolen- ja toisiopuolen lämmönsiirtimillä tehdään lämmön johtumisen avulla kaukolämmöntuloveden lämmön siirtyminen ensiöpuolensiirtimen vedestä toisiopuolen lämmönsiirtimessä kulkevaan veteen. Siirtimet sijaitsevat lähes aina kiinteistön lämmönjakohuoneessa yhdessä muiden kaukolämpölaitteiden kanssa. Ensiöpuolen lämmönsiirtimissä kiertää vain kaukolämpöyhtiön

toimittama kaukolämpövesi. Sen määrä ja meno- sekä paluulämpötilaero mitataan kaukolämmön toimittajan laitteilla. (Harju 2010, 149.)

Toisiopuolen lämmönsiirtimissä kulkee kiinteistön oma vesi. Nämä ovat useasti levylämmönsiirtimiä hyvän lämmönsiirtokykynsä ja pienen kokonsa takia. Rakennelämpötila siirtimissä on 120 celsiusta ja paine 16 bar tai 10 bar. Lämmönsiirtimet ovat paineastiamääräysten alla, joten niiden sisältämästä kilvestä tulee ilmetä valmistaja, tyyppimerkintä, lämpövirta, kytkentäperiaate, valmistusnumero, -vuosi, rakenne- ja mitoituslämpötilat ja paineet. (Harju 2010, 149.)

Levylämmönsiirtimet ovat yleensä ruostumatonta tai haponkestävää terästä sekä suljettuja rakenteita. Niiden tekninen käyttöikä on 20–25 vuotta eli ne tulisi vaihtaa uusiin tämän ajan sisällä. (LVI 19-10400, 2006, 3–7.) Levylämmönsiirtimissä tiiviisti aseteltujen ja muotoiltujen levyjen väliin tulee virtauskanavia, joissa joka toinen on kuumanpuolen levy ja joka toinen kylmänpuolen levy. Täten kylmä- ja kuumapuolen nesteet menevät toisiaan vastaan ja lämpö siirtyy johtumalla kuumasta kylmempään. Etuja käytettäessä levylämmönsiirtimiä ovat niiden helppo puhdistaminen, likaantumista estävät leikkausjännitykset ja hyvä lämmönsiirtokerroin. Levylämmönsiirtimeen toimintaperiaate esitetty kuvassa 1. (Motiva 2016, 14.)



Kuva 1. Levylämmönsiirrin (KL-lämpö 2022.)

Putkilämmönsiirtimet ovat nimensä mukaisesti muodoltaan putkilomaisia ja koostuvat sylinterin muotoisesta vaipasta ja putkista. Putkilämmönvaihtimia käytetään paljon prosessiteollisuudessa kustannustehokkuuden, pienen huoltotarpeen ja jämäkän rakenteen takia. Käytännössä kaukolämpökäytössä sisällä olevissa putkissa kiertää oma lämmitysvesi ja vaipassa kaukolämpöyhtiön tuottama kaukolämpövesi, joten lämpö siirtyy tehokkaasti putken vaipan sisällä kiinteistön lämmitysverkostoon. Putkilämmönsiirtimiin kaukolämpökäytössä sovelletaan edellistä teknistä käyttöikää (20–25 vuotta). Putkilämmönsiirtimiä esitelty myöhemmin kuvassa 4. (Vahasilta 2022.)

2.3 Nestekaasu

Energiatehokas nestekaasu on butaanin ja propaanin seos, jota muodostuu öljyn- ja polttoaineenjalostuksen sivutuotteena. Nestekaasua on myös saatavissa maaperän kaasuesiintymistä. Nestekaasun ominaisuuksia ovat värittömyys, hajuttomuus, mauttomuus, joten yleensä siihen lisätään tunnistehajustetta, jotta mahdolliset vuodot voi huomata. Nestekaasu on ilmaa raskaampaa, helposti syttyvää ja suurina pitoisuuksina tukehduttavaa. Suurimpia nestekaasun käyttäjiä ovat metalli-, muovi- ja elintarviketeollisuus. Nestekaasu on myös rakennus- ja paperiteollisuudessa sekä lämpökeskuksissa tärkeä tekijä. (Woikoski 2022.)

10-100m³ nestekaasusäiliön eli 5–50 tonnia nestekaasua varastoiva yritys määritellään nestekaasulaitokseksi. Nestekaasun ja muiden kemikaalien yhteen laskettu määrä yrityksessä kertoo, kuuluvatko lupamenettelyt Tukesille vai pelastusviranomaisille. Laitoksien turvallisuusvaatimukset perustuvat säädöksiin ja laitoksen riskien arvioinnilla havaittuihin toimenpiteisiin. Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005 ja Valtioneuvoston asetus nestekaasulaitosten turvallisuusvaatimuksista 858/2012 määräävät nestekaasulaitoksen turvallisuusvaatimukset. Nestekaasulaitosta koskee myös standardi SFS 5987 Nestekaasun käyttölaitos suunnittelu, asennus, kunnossapito ja tarkastus sekä painelaitelaki 1144/2016. (Tukes 2022.)

2.3.1 Nestekaasukattila

Nestekaasukattilan toiminta perustuu siihen, että tulipesässä nestekaasun palamisesta syntyvä lämpö siirtyy väliaineeseen ja siitä edelleen lämmönjakojärjestelmän kautta käyttökohteeseen. Yleisimpänä väliaineena käytetään vettä. Tarkasteltavan kohteen lämmityskattila (814kW) kuuluu kiinteistökattiloihin (40-1000kW) tehonsa puolesta. Pienempiä alle 25 kW lämmityskattiloita nimitetään pientalokattiloiksi ja suuremmat yli 1000kW kattilat kuuluvat alue- ja kaukolämpökattiloihin. (Harju, 2010, 42.)

2.4 Lämmöntalteenotto

Rakennuksen sisältä pois johdettava jäteilma on poistoilmaa. Lämmöntalteenottolaitteisto (LTO) on laitteisto, jolla poistoilman sisältämää lämpöenergiaa siirretään tuloilmaan tai toiseen tiloja rakennuksessa lämmittävään järjestelmään. Tätä hyödyntämällä pienennetään lämmitysenergiankulutusta rakennuksessa. Ilmanvaihdon lämmityksen lämpömäärällä kuvataan sitä lämpömäärää, joka tarvitaan tuloilman lämmittämiseen ulkolämpötilasta huonelämpötilaan. Huonelämpötilan arvona käytetään mitoituksessa +21 °C ellei ole perusteltua käyttää rakennuksen käyttötarkoituksen tai jonkin muun vastaavan syyn takia toista mitoitustilaa. (LVI38-10515, 2012, 2.)

2.4.1 Ylijäämälämmöntalteenotto

Ylijäämälämmöllä tarkoitetaan lämpöä, joka on teollisuuden prosessien tuottama lämpöenergiaa. Tätä on hyödynnettävissä esimerkiksi savu- ja prosessikaasuista, jäte- ja jäähdytysvesistä sekä koneellisen jäähdytyksen lauhdelämmöstä. Ylijäämälämmön talteenotto ja sen käyttäminen pienentää kasvihuonekaasujen päästöjä ja vähentää muiden polttoaineiden käyttöä. Samalla myös tuotantolaitoksen energiatehokkuus paranee, kun ylijäämälämpö ei poistu hukkalämpönä. Paras hyöty ylijäämälämmöstä saadaan, kun lämmön synty ja -

käyttö ovat yhtäaikaisia ja ne ovat lähellä toisiaan. Tällä tavalla voidaan ylijäämälämpö käyttää mahdollisimman kustannustehokkaasti ja kattavasti. Mitä kauempana ylijäämälämmön synty ja -käyttö sijaitsevat, sitä suuremmat ovat lämpöhäviöt ja investointikustannukset. (Motiva 2013.)

2.5 Lämmönjakojärjestelmät

2.5.1 Yleistä

Lämmönjakojärjestelmällä siirretään ja luovutetaan lämpöenergia kiinteistössä haluttuihin kohteisiin. Näitä kohteita ovat lämmin käyttövesi tai huoneilma. Lämmönsiirtoaineena toimii lämmönjakoverkostossa kiertävä ilma tai vesi. Lämmönjakojärjestelmän osat ovat siirtoputkistot ja -kanavistot sekä lämmityslaitteet. (Motiva 2022a.)

2.5.2 Radiaattorilämmitys

Vesikiertoisen radiaattorilämmitysjärjestelmän lämmöntuottotavoiksi soveltuvat öljy- maakaasu-, kauko- ja lämpöpumppulämmitys, lämmitys kiinteällä polttoaineella sekä varaava ja osittain varaava sähkölämmitys sekä siihen liitetty lto-järjestelmän kiertopiiri. Nykyisin myös aurinkopaneelijärjestelmät ovat yleistyneet edellä mainittujen rinnalla. Vesikiertoista patterilämmitystä käytettäessä on myös myöhemmin lämmöntuottotapaa helppo vaihtaa. Vesikiertoisessa patterilämmityksessä käytetään matalia veden lämpötiloja, jolloin energiahäviöt ovat pienet ja pattereiden pintalämpötilat eivät ole polttavia. Yleisimmät käytössä olevat mitoituslämpötilat ovat menovesi 70°C ja paluuvesi 40°C. (LVI 12-10343 2002, 1–2.)

2.5.3 Ilmalämmitys

Koneellisessa ilmanvaihdossa tuloilma puhalletaan kanavien ja venttiilien avulla. Ulkoilma lämmitetään lähtökohtaisesti LTO:n avulla kiinteistöstä poistettavan poistoilman lämpöenergialla. Tilanteessa, jossa LTO:lla ei saada täytettyä tuloilman lämpötilanasetusarvoa esimerkiksi $+15^{\circ}\text{C}$, käytetään jälkilämmityspatteria. Jälkilämmityspatterissa on vesikierukka tai sähkövastus, joka lämmittää tuloilman haluttuun lämpötilaan. Kiinteistössä ollessa vesikiertoinen lämmönjakojärjestelmä, kannattaa myös jälkilämmityspatterin olla yhtenä omana vesikiertoisenapiirinä eikä sähkövastuksena. (Motiva 2022b.)

2.5.4 Käyttövedenlämmitys

Käyttöveden lämmitys tapahtuu levylämmönsiirtimen avulla kaukolämmöllä. Lämmönsiirrin tulee mitoittaa siten, että mitoitusvirtaamalla käyttöveden lämpötila on vähintään 58°C . Lämminvesilaitteistossa eli putkissa ja lämpimänveden käyttölaitteilla tulee veden lämpötilan olla vähintään 55°C . (K1/2021 13.)

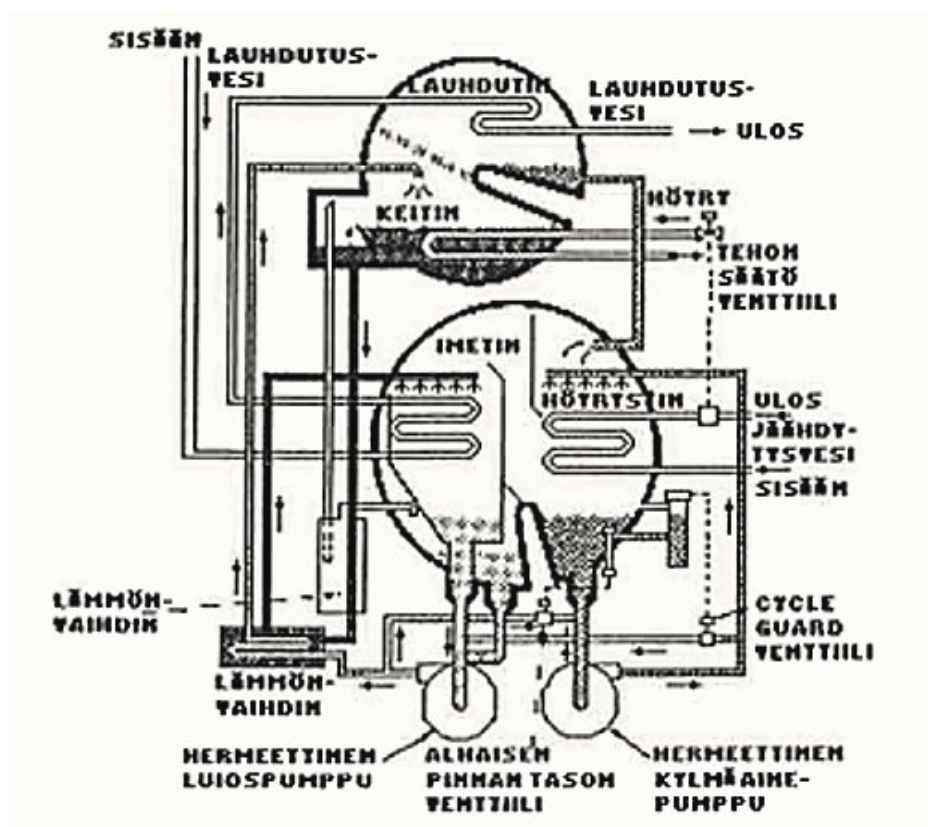
2.6 Absorptiojäähdytys

Absorptiolämpöpumppuja hyödynnetään jäähdytyksessä, lämmöntalteenotossa ja lämpötilan nostamisessa. Absorptiolämpöpumppu sopii jäähdytykseen parhaiten, silloin kun käytössä halpaa kuumaa lämpöenergiaa, kuten höyryä tai kuumaa vettä. (Motiva 2013.)

Absorptiojäähdytys toimii seuraavalla periaatteella, että alhaisella absoluuttisella paineella (tyhjiössä) vesi sitoo lämpöä ja höyrystyy alhaisessa lämpötilassa. Saadakseen höyrystymisessä tarvittavan energian vesi sitoo lämpöä toisesta nesteestä näin jäähdyttäen sitä. Näin jäähtynyttä nestettä voidaan käyttää jäähdytystarkoitukseen. (Carrier 1999.)

2.6.1 Hermeettinen absorptiojäähdytin

Prosessi alkaa, kun jäähdytettävä vesi johdetaan höyrystimessä putkipakan läpi ja se jäähtyy. Samaan aikaan kylmäainevesi-seos ruiskutettaessa putkien vaippaan höyrystyy. Seuraavaksi kylmäainehöyryt imetään imettimen sisään ja imetinputkiin ruiskutettu litiumbromidivesi-liuos absorboi sen. Jäähdytysvedestä otettu lämpö siirretään absorboidusta kaasusta imetinputkissa menevään lauhdutusveteen. Imettimessä oleva liuos laimenee sen absorboidessa vettä. Sen vuoksi liuos pumpataan keitinosaan, jossa se väkevöityy. Keittimessä laimentunut neste lämmitetään höyryllä tai kuumalla vedellä, jotta absorboitunut kylmäainevesi saadaan erotettua liuksesta. Näin kylmäainekaasu johdetaan lauhdutinosaan, jossa sen lauhduttaa putkissa kulkeva lauhdutusvesi. Tämän jälkeen lauhtunut kylmäaineneste virtaa takaisin höyrystimeen aloittaakseen uuden kierron. Väkevöitynyt vahva liuos menee keittimestä takaisin imettimeen aloittaakseen uuden liuoskierron. Matkalla liuos läpäisee lämmönvaihtimen, jossa lämpö siirtyy vahvasta liuksesta laimeaan liukseen, jota pumpataan keittimeen. Tällä lämmönsiirrolla nostetaan liuoskierron tehoa esilämmittämällä suhteellisen viileä heikko liuos ennen sen tuloa keittimeen ja samalla hieman jäähdytetään vahvaa liuosta ennen sen tuloa imettimeen. Tämä absorptiojäähdytysprosessi on kuvattu kuvassa 2. (Carrier 1999.)



Kuva 2. Absorptiojäähdytysprosessi (Carrier 1999).

2.7 Heatset-painomenetelmä

Kun käytetään päällystettyä paperia tai halutaan parempaa painojälkeä, on varmistettava värin tarttuminen kuivattamalla ja lämmittämällä. Tällöin tulee käytössä olla painokone, jossa on paperiradan yhteydessä painosylinterin jälkeen seuraavaksi kuivatusyksikkö. Tämän tehtävä on kuivattaa painoväri ennen pinnoamisvaihetta. (Graafinen 2022.)

3 Painotalon lämpöenergiaselvitys

3.1 Tiedon kerääminen

Opinnäytetyö aloitettiin kartoittamalla lähtötietoja ja tekemällä yleiskatsaus koko kiinteistöön. Tähän vaiheeseen kuului ensimmäiseksi teknisiin tiloihin ja

järjestelmiin tutustuminen yhdessä painotalon kiinteistöprojekti-insinöörin ja huoltopäällikön kanssa. Lähtötietoja olivat esimerkiksi rakennusvaiheiden selvittäminen, savukaasujen lämmöntalteenotto, absorptiojäähdytykseen tutustuminen, nestekaasun rooli painotalossa, kaukolämmönjakolaitteisiin perehtyminen ja energiankulutusdataan perehtyminen.

Selvitystiedot kattoivat myös muiden kiinteistönautomaatiopalveluiden tuottajien haastattelut. Näissä kävimme läpi järjestelmien toimintaa ja niissä olevia ongelmia. Kiinteistönautomaatiopalveluiden puolesta minulle esiteltiin järjestelmien säätöjä ja raja-arvoja ja lähiaikoina tehtyjä muutoksia. Painotalon huoltopäällikkö esitteli myös kiinteistön prosessien tarvitsemat lähtökohdat ja nykyiset ongelmat tapahtuneiden tuotannon muutoksien takia. Osa selvitettävistä tiedoista oli kuitenkin edelleen paperiversiona, joten kiinteistön arkistosta oli selvitettävä varsinkin ensimmäisissä rakennusvaiheissa tehtyjä asioita.

Tietoja keräsin myös edellä mainittujen keskustelujen pohjalta muistivihkooni, josta hyödynsin niitä myöhemmissä työn vaiheissa. Opinnäytetyöhöni sain myös tietoa sähköpostilla opinnäytetyön edetessä. Näitä olivat muun muassa vertailun vuoksi toisen painotalon kulutuslukemat ja aiemmin tehty energiakatselmus tutkimuskohteeseeni, josta ilmeni hyvin asioita, jotka olivat jo tiedossa. Tiedonjako painotalon kanssa oli aina lähtötiedoista lopun yhteenvetoon saakka hyvin sujuvaa.

3.2 Yleiskuvaus

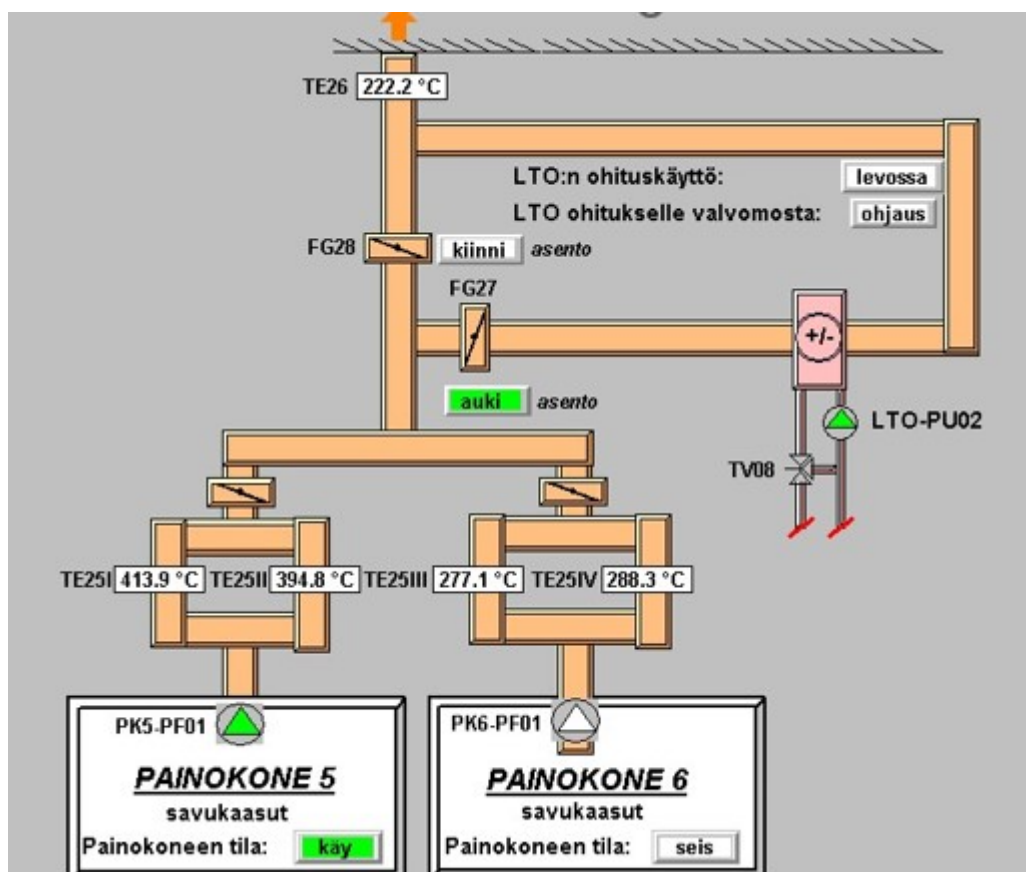
Kiinteistössä lämmöntuotto tapahtuu kaukolämmöllä, nestekaasulla ja prosessin hukkalämmöntalteenotolla. Tähän on myös yhdistetty jäähdytys absorptiojäähdyttimellä, joka tuotetaan samalla kuumalla vedellä kuin lämmitys. Kiinteistön lämmönjako tapahtuu ilmavaihdolla ja radiaattorilämmönsiirtimillä. Järjestelmä on hyvin harvinainen, sillä kaikki toimivat samassa isossa lämmityspiirissä. Tämä johtuu siitä, että rakennus on tehty kuudessa eri vaiheessa, joten lämmitysjärjestelmän osajärjestelmät kattavat yli kolmenkymmenen vuoden aikajänteen. Tämän takia lämmitysjärjestelmä on yksi hyvin suuri kokonaisuus.

Selvityksessä käsitellään tämän piirin osia, tapahtuneita muutoksia ja niiden seurauksia.

Itse kohdeyritys myös määrittellään nestekaasulaitokseksi 78 kuutiometrin kaasulaitoksen kokonsa takia. Nestekaasua käytetään myös lämmityksen ohella suoraan painoprosessissa. Opinnäytetyössä ei käsitellä painoprosessia tarkemmin vaan pelkästään siten, kuin se vaikuttaa itse kiinteistöön lämmöntuottajana.

3.3 Painokoneiden LTO

Savukaasujen lämmöntalteenotto tapahtuu siten, että heatset painoprosessissa kuivatukseen käytettävä kuuma ilma poistetaan erillispoistopuhaltimien avulla painokonetilasta ja matkalla ulkoilmaan otetaan ilman sisältämä lämpöenergia talteen sitomalla se vesikiertoiseen lämmöntalteenottopatteriin. Poistettava ilma lämmöntalteenottoon on asetettu maksimissaan 450-asteiseksi, jolloin tämän ylittyessä aukeaa suora yhteys poistoilmakanavasta ulkoilmaan. Viiveaika tällä toiminnolla on painokoneen mukaan 30–60 minuuttia. Savukaasujen lämmöntalteenoton toimintakaavio esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Savukaasujen lämmöntalteenoton automaatiokaavio painokoneesta 5–6. (Painotalon kiinteistöautomaatio 2022.)

LTO:sta saatavia tietoja olisi mahdollista suhteellisen pienillä lisäyksillä kehittää nykyaikaisemmiksi ja enemmän tietoa antaviksi. Esimerkiksi LTO:n hyötysuhteen merkkäminen automaatiokaavioon ja sen tilastoiminen voisivat olla tulevaisuudessa hyödyllisiä, jos esimerkiksi jatkotutkimuksessa mietittäisiin, olisiko järkevää pyrkiä ottamaan lämpöä talteen vielä nykyistä enemmän.

Savukaasujen lämmöntalteenoton kapasiteetti selvitettiin ennen tuotannossa tehtyjä muutoksia ja muutoksien jälkeen. Vuoden 2017 lukemat ovat täyden kapasiteetin lukemat ennen muutoksia. Muutokset olivat vuonna 2018 tammi-kuussa ja 2021 kesäkuussa poistuneet heatset-painokoneet 1 ja 4. Painokoneiden savukaasujen lämmöntalteenottopattereiden kapasiteettia ei ollut tiedossa, joten ne tuli selvittää arkistosta vanhoista piirustuksista ja itse paikan päällä painokoneelta sen ollessa poissa käytöstä. Painokoneiden

lämmöntalteenotonpattereiden kapasiteeteiksi selvisivät taulukon 1. mukaiset lukemat. Taulukossa 1 myös esitetään painokoneiden savukaasujen lämmöntalteenoton kokonaiskapasiteettien muutokset prosentteina vuosina 2017–2021.

Vuosi	Paino- kone	1.	2.	3.	4.	5–6	Yht. %
2017	LTO pat- terien ka- pasiteetti (%)	14	14	20	20	32	100
2018	LTO pat- terien ka- pasiteetti (%)	14	14	20	poistettu	32	80
2021	LTO pat- terien ka- pasiteetti (%)	pois- tettu	14	20	poistettu	32	66

Taulukko 1. Painokoneiden savukaasujen lämmöntalteenottopattereiden kapasiteetit vuosina 2017–2021.

Painokoneiden 1 ja 4 poistumisen jälkeen tämän oman lämmöntuoton kapasiteetti on laskenut taulukon 1 mukaan 34 %. Tätä vähennystä on jouduttu korvaamaan nestekaasun ja kaukolämmön kulutuksella. Selvityksessä käsitellään myöhemmin tarkemmin näitä seurauksia.

Seuraavaksi tarkasteluun otettiin kiinteistöautomaatiosta saatavat tiedot painokoneiden tuottamasta lämpömäärästä. Painokoneiden savukaasujenlämmöntalteenotosta oli saatavilla dataa 2018 tammikuusta alkaen, joten täyden kapasiteetin lukemia vuodelta 2017 ei ollut mahdollista käyttää.

Taulukkoa 2 tarkastellessa tulee huomioida, että talteen otettavat lämpömäärät riippuvat täysin tuotannon tilauskannasta, jonka mukaan painokoneet ovat käytössä. Painokone 5–6 on kahdella tasolla toimiva painokone, jonka savukaasujen LTO:n ohjausyksikkö oli poissa käytöstä 2018 marraskuusta aina 2021 kesäkuuhun saakka. Painokoneet 1–4 ovat omia heatset yksiköitä.

Taulukon 2 tehtävänä on havainnollistaa millaisista LTO:n määristä puhutaan vuositasolla prosentuaalisesti ja kuinka aikaisemmin mainitut muutokset painokonekapasiteetissa vaikuttavat painotalon itse tuottamaan energiamäärään lämmöntalteenoton muodossa. Toimeksiantajan pyynnöstä lämmöntuottomääriä ei ole ilmoitettu tarkemmin taulukossa 2.

Painokoneiden LTO:n tuotto osuudet vuositasolla 2018–2021 (%)						
Vuosi	Painokone 1 (%/vuodessa)	Painokone 2 (%/vuodessa)	Painokone 3 (%/vuodessa)	Painokone 4 (%/vuodessa)	Painokone 5–6 (%/vuodessa)	yhteensä (%)
2018	42,8	0,3	22,3	poistettu	34,6	100
2019	31,9	34,9	33,0	poistettu	0,2	100
2020	26,7	42,0	30,8	poistettu	0,5	100
2021	poistettu	40,1	31,5	poistettu	28,5	100

Taulukko 2. Painokoneiden LTO:n lämmöntuotto osuudet vuosina 2018–2021.

Käytännössä nämä taulukon 2 tiedot olivat saatavissa painokone kohtaisesti kuukausitasolla, mutta siinä muodossa on todella hankalaa tarkastella kokonaistilannetta vuositasolla, sillä jokainen painokonedata on oma tiedostonsa. Taulukkoa 2 on nyt helppo jatkaa päivittämällä vuoden lopussa prosentuaaliset osuudet lämmöntuoton mukaan.

3.4 Lämmityskapasiteetin kokonaiskartoitus

Seuraavaksi kartoitin koko kiinteistön lämmöntuottokapasiteetin, jotta pystytään vertailemaan tilannetta kokonaiskuvaan ennen ja jälkeen painokoneiden 1 ja 4 poistumisen. Tämä vaihe käsitti kaukolämmönvaihtimien ja nestekaasukattilan tehojen kartoituksen, sillä painokoneiden LTO:n tehot oli jo selvitetty. Kaukolämmönvaihtimia sijaitsi kahdessa lämmönjakohuoneessa, jotka jaotellaan uudeksi ja vanhaksi lämmönjakohuoneeksi (LJKH). Kartoitus oli nopeinta tehdä paikan päällä vaihtimien ja kattilan tyyppikilpien avulla, joista tiedot saatiin helposti kartoitettua.

Lämmöntalteenoton kapasiteetin vähentyessä 34 % tarkistellaan seuraavaksi taulukoissa 3 ja 4, kuinka sen kokonaisosuus lämmöntuotannossa on pienentynyt painotalossa vuosien 2017–2021 aikana. Taulukoista voidaan huomata, että lämmöntalteenoton osuus lämmityksen kokonaiskapasiteetista on vähentynyt noin 9 %. Kaukolämmönvaihtimien- lämmöntalteenoton ja nestekaasu kattilan lämmöntuotto kapasiteettien osuudet (%) on esitetty taulukossa 3 vuodelta 2017 ja taulukossa 4 vuodelta 2021.

Kiinteistön lämmöntuottokapasiteetin osuudet 2017	%
Lämmöntalteenoton osuus 2017 ennen painokoneiden 1 ja 4 poistoa	39,6
Lämminkäyttövesi vaihdin LS2	3,3
Nestekaasu kattila	9,0
Kaukolämpö IV vaihdin LS3	16,6
Kaukolämpö lämmitys vaihdin LS1	4,0
Kaukolämpö uusi LJKH lämmitys vaihdin LV02-LS01	27,6

Taulukko 3. kiinteistön kokonaislämmöntuottokapasiteetin osuudet vuonna 2017.

Kiinteistön lämmöntuottokapasiteetin osuudet 2021	%
Lämmöntalteenoton osuus 2021 painokoneiden 1 ja 4 poiston jälkeen	30,3
Lämminkäyttövesi vaihdin LS2	3,8
Nestekaasu kattila	10,4
Kaukolämpö IV vaihdin LS3	19,1
Kaukolämpö lämmitys vaihdin LS1	4,
Kaukolämpö uusi LJKH lämmitys vaihdin LV02-LS01	31,8

Taulukko 4. kiinteistön kokonaislämmöntuottokapasiteetin osuudet vuonna 2021.

3.5 Kaukolämpö

Selvitystä tehdessä huomio kiinnittyi kaukolämmön osalta lämmönjakohuoneissa vanhoihin kaukolämpölaitteisiin. Vanhassa lämmönjakohuoneessa putkimalliset kaukolämmönvaihtimet LS1, LS2 ja LS3 olivat vuodelta 1984, joten niiden tekninen käyttöikä 20–25 vuotta on tullut täyteen. Tarkkaa tietoa muiden laitteiden iästä ei ole, mutta kuvien perusteella ne ovat myös alkuperäisiä.

Uudessa lämmönjakohuoneessa levy mallinen kaukolämmönvaihdin LV02-LS01 on vuodelta 1994, ja kuvien mukaan myös muut kaukolämpölaitteet. Myös nämä alkavat olla teknisenkäyttöiän perusteella uusittavissa, joten kiinteistössä tulee suunnitella kaukolämpölaitteistojen laaja uusiminen. Tässä vaihtimessa on myös havaittu pieni vuoto, joten uusiminen on hyvinkin ajankohtaista.

Tulevaisuuden kaukolämpölaitteiden uusimisen yhteydessä tulee huomioida jo tapahtuneet lämmönlähteiden muutokset, mutta yhtä tärkeää on pohtia myös tulevaisuuden mahdollisia muutoksia kiinteistön omissa lämmönlähteissä, jotta samalla investoinnilla saadaan mahdollisimman hyvä tilanne. Kaukolämmönvaihtimet LS1, LS2 ja LS3 on esitetty kuvassa 4 ja Kaukolämmönvaihdin LV02-LS01 kuvassa 5.



Kuva 4. Kaukolämmönvaihtimet LS1, LS2 ja LS3.



Kuva 5. Kaukolämmönvaihdin LV02-LS01.

Kaukolämmönkulutus ei painokoneiden vähenemisen seurauksena ole juuri kasvanut, mikä herätti alkuun ihmetystä. Tämä selittyy sillä, että talvella kaukolämmön koko kapasiteetti ei ole ollut käytössä vaan nestekaasun avulla on jo

lämmitetty ennen kuin kaukolämmön tuloventtiilit ovat olleet täysin auki. Tämä selvisi keskusteluissa kiinteistön automaatiopalveluiden tuottajan kanssa. Hän kertoi, että syyskuussa 2021 oli tehty muutos, että nestekaasukattila otetaan käyttöön vasta, kun kaukolämmöntuloventtiilit ovat täysin auki. Tulevana talvena luultavasti kaukolämmön kulutus tulee kasvamaan.

3.6 Jäähdytys

Kiinteistön painosalin lämpötilan asetusarvo on 17 astetta, joten jäähdyttäminen on välttämätöntä kiinteistössä jo pelkästään tuotannon vaatimuksien takia. Painosalilla tarkoitetaan muusta ympäristöstä eristettyä tilaa painokoneen ympärillä, jonka tarkoituksena on pitää ilman kosteus ja lämpötila painoprosessin vaatimuksissa. Painosalin jako muusta kiinteistöstä esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Painosali 5–6 painokoneelle.

Talvella tämä asetusarvo 17 astetta täyttyy vapaajäähdytyksellä, jolloin absorptiojäähdytyksen tarve on silloin kun ulkolämpötila ylittää 17 astetta. Kiinteistössä on käytössä absorptiojäähdytin, joka on otettu käyttöön vuonna 2000. Absorptiojäähdyttimen kannattava toiminta perustuu läheltä saatavilla olevaan ilmaiseen kuumaan veteen tai höyryyn, jota on käytettävissä absorptio prosessin ylläpitämiseen. Tulevan veden lämpötilan tulisi olla 90 astetta, mutta kuitenkin vähintään 80 astetta. Mitä alhaisemmaksi tulevan veden lämpötila laskee, sitä huonompi on hyötysuhde absorptiojäähdytyksessä.

Tuotannossa tapahtuneiden painokoneiden vähenemisen takia on tämä jatkuvan oman kuuman veden tuotto vähentynyt ja tätä prosessin vaatimaa kuumaa vettä on jouduttu tuottamaan ostoenergian avulla suurimmaksi osaksi nestekaasulla. Kaukolämmön lämpötila ei riitä jäähdytyskaudella, sillä kesäisin tuloveden lämpötila on alle 70 astetta. Tätä kiinteistön omaa lämmöntuottoa ohjaa tuotannon tahti, sillä jos painokoneet eivät ole käytössä, ei tule myöskään tätä ”ilmaista lämpöenergiaa” absorptiojäähdyttimen käyttöön. Kun aiemmin mainitut painokone 1 ja 4 on poistettu ja niiden lämmöntuottokapasiteetti on poistunut niin käytännössä absorptioon tulevan ilmaisen lämpöenergian tuottokapasiteetti pudonnut 34 %. Tulevaisuudessa olisi varmasti kannattavaa tarkastella jäähdytyksen tuottamismuodon vaihtamista. Erityisesti tähän kannattaa kiinnittää huomiota, jos tuotannossa on odotettavissa vielä lisämuutoksia, sillä absorptiojäähdyttäminen ei ole kannattavaa ostoenergialla. Absorptiojäähdytin esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. absorptiojäähdytin

3.7 Nestekaasu

Nestekaasukattila sijaitsee omassa teknisessä tilassa kiinteistön itäpuolella ja nestekaasusäiliöt maan alla kiinteistön länsipuolella. Nestekaasun kulutuksen tilastoiminen ei ollut saatavilla kiinteistöautomaatiosta vaan painotalon huoltopäällikön kuukausittain tilastoimasta Excel-tiedostosta. Nestekaasu on kiinteistön merkittävin energiamuoto, koska sitä käytetään tuotannossa ja lämmityksessä. Selvityksessä tarkasteltiin vain lämmitykseen käytettävää nestekaasun kulutusta. Nestekaasukattila on esitetty kuvassa 8.

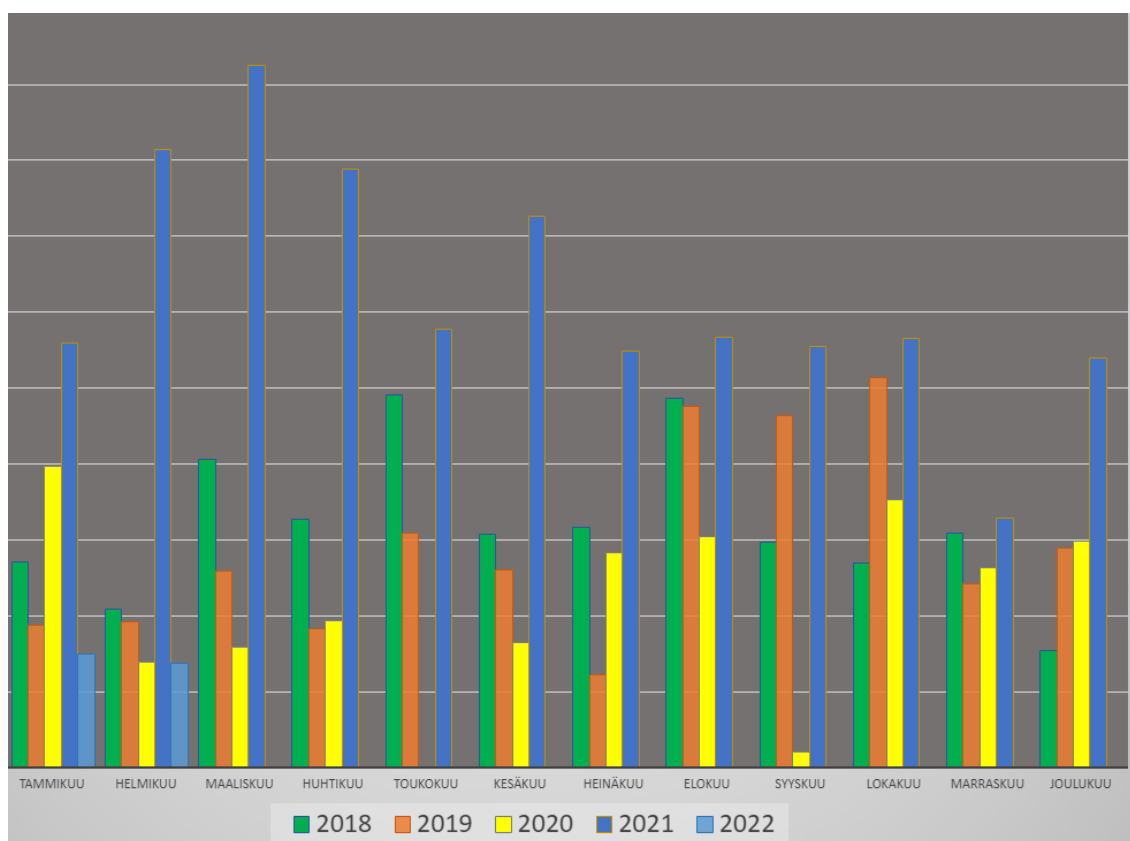


Kuva 8. Nestekaasukattila

Nestekaasun kulutuksessa on tapahtunut kovaa kasvua varsinkin vuonna 2021, kun viimeisin painokone 4 poistettiin. 2021 talven aikana tätä kasvua aloitettiin tutkimaan eikä se selittynyt vain kylmällä talvella ja painokoneen 4 poistamisella vaan tähän vaikutti myös se, että nestekaasua otettiin kaukolämmön ja LTO:n rinnalle ennen kuin koko kaukolämmön kapasiteetti oli käytössä. Seuraavan talven kaukolämmön ja nestekaasun kulutuslukemia on tärkeä seurata ja tehdä tarkempi arvio riittääkö nykyinen kaukolämpökapasiteetti ilman kohtuutonta nestekaasun rinnalla käyttöä. Kahden ensimmäisen kuukauden lukemien perusteella vuodelta 2022 mukaan näin voisi olettaa. Kuviossa 1 on esitetty koko kiinteistön nestekaasun kulutusta kuvaavat diagrammit vuosilta 2018–2022

helmikuu ja kuviossa 2 diagrammeilla pelkästään lämmitykseen kulutettu verollinen nestekaasun osuus. Kuviot 1 ja 2 ovat kulutusta havainnollistavia.

Nestekaasun käyttö on myös lisääntynyt osittain sen takia että kesällä kun tarvitaan jäähdytystä niin absorptiojäähdyttimelle menevän lämpimän veden tulisi olla 90 asteista, ja koska nyt on kaksi painokonetta vähemmän niin tätä on jouduttu kompensoimaan nestekaasulla. Tämä johtuu siitä, että kesällä kaukolämmön tulolämpötila (Max 70 astetta) ei riitä absorptiojäähdyttimelle, joten myös kesällä lämmitysjärjestelmän vettä tulee lämmittää, jotta saadaan aikaan painosalin jäähdytys. Tähän vaikuttaa myös heatset tuotannon määrä, jonka mukaan LTO:n lukemat muodostuvat.



Kuvio 1. Nestekaasun kokonaiskulutus kiinteistössä 2018–2022 helmikuu.



Kuvio 2. Verollinen lämmitykseen käytetty nestekaasun kulutus kiinteistössä 2018–2022 helmikuu.

4 Tulokset

Opinnäytetyön avulla saatiin kartoitettua kiinteistön nykyinen lämpöenergian tuotto ja kulutustilanne. Selvityksen avulla myös nykyinen painokoneista saatava lämmöntuotto kapasiteetti on tiedossa. Tämän avulla pystytään esimerkiksi helposti katselemaan tilannetta uudestaan, mikäli muutoksia olisi tulossa painokoneiden määrään. Nyt myös pois lähteneen lämmöntuottokapasiteetin seuraukset ovat tiedossa, joten tulevaisuuden investoinneissa tämä tullaan huomioimaan.

Savukaasujen LTO:n tiedonsaantiin ja automaatioon kannattaisi tehdä päivitystä, jotta siitä saataisiin paremmin tietoa. Tässä voisi olla myös mahdollisesti jatkotutkimisen mahdollisuus, että olisiko lämpöä otettavissa talteen vielä tehokkaammin. Tästä kävimme keskusteluita yhdessä painotalon kiinteistöprojektinsinöörin kanssa. Selvityksen avulla tuli myös ilmi kaukolämpölaitteistojen

teknisenkäyttöään ylittyminen ja täten tulevaisuudessa kaukolämpölaitteiden kokonaan uusiminen. Selvityksen loppuvaiheessa kaukolämmönvaihtimessa LV02-LS01 oli havaittu vuoto. Tämän korjaushintaa aloitettiin selvittämään välittömästi.

Selvityksessä käsiteltiin myös nestekaasun kulutuksen kova kasvu ja absorptiojäähdetyksen nykytilanne ja näiden yhteys. Poistunut lämmöntalteenottokapasiteetti vaikuttaa näihin edellä mainittuihin tekijöihin merkittävästi, sillä jäähdytys on välttämätöntä painosalin tarkkojen lämpötilojen ja kosteuden takia. Tämä joudutaan tuottamaan, joka tapauksessa nestekaasulla, jos LTO:sta ei saada tarpeeksi lämpöenergiaa.

5 Pohdinta

Opinnäytetyöhön ryhdyttäessä ei lopullista aihetta oltu rajattu, vaan aloitin kiinnostukseen ja sen järjestelmiin tutustumisen, jonka jälkeen, kun yleiskuva ja ongelmat olivat selvillä, pystyin rajaamaan opinnäytetyöni aihetta lämpöenergiaselvityksen muotoon. Selvityksen edetessä, kun järjestelmä alkoi hahmottua, selvisi hyvin nopeasti, että muutokset missä tahansa lämmityspiirin osassa vaikuttavat kaikkeen, myös jäähdytykseen. Alkuun myös absorptiojäähdetyksen ymmärtäminen uutena asiana tuotti haasteita, sillä opintojeni jäähdytysjärjestelmät -opintojaksoon ei sisältynyt absorptiojäähdytystä. Jäähdytysjärjestelmät -opintojaksosta oli kuitenkin suuri apu absorptiojäähdetyksen ymmärtämisessä, sillä jäähdetyksen perusteet olivat tuoreessa muistissa.

Ongelmien ilmetessä opinnäytetyön aikana sain hyvin apua toimeksiantajalta. Kaikki pyytämäni asiat, mitkä eivät olleet painotalolla tiedossa, selvitettiin nopealla aikataululla ja tiedon saanti oli hyvin avointa. Yhteistyö myös Karelian Digital Twin -hankkeiden ja ohjaavan opettajani kanssa sujui hyvin ja säännöllinen tilannekatsaus lähes viikoittain oli itselleni sopiva rutiini opinnäytetyön aikana.

Tuloksia läpikäydessä yhdessä painotalon kiinteistöprojekti-insinöörin, kanssa totesimme, että lämpöenergiaselvitys oli tarpeellinen ja selkeästi asiat esittävä kokonaisuus, ja tästä heidän on hyvä jatkaa eteenpäin. Lämpöenergiaselvityksen tuloksia voidaan myös tulevaisuudessa käyttää investoinneissa ja muutoksissa. Keskusteluissa myös totesimme, että nykyisen lämmitysjärjestelmän kokonaan uusiminen olisi järkevintä, mutta taloudellisesti haastavaa. Tähän liittyen neuvoin perehtymään Business Finlandin tarjoamaan energiatukeen. Energiatukea on mahdollista saada yli 10 000 euron hankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian tuotantoa ja käyttöä, energiansäästöä, energian tuotannon tai käytön tehostamista tai muuten energian käyttöä muokkaavaa toimintaa vähähiiliseksi pitkällä aikavälillä.

Tulevaisuudennäkymät painokoneiden kuivausyksiköiden suhteen ovat hyvin mielenkiintoiset, sillä tähän on kehitteillä fossiilisia polttoaineita korvaavia menetelmiä. Myös tulevaisuudessa maakaasun saanti voi hankaloitua ja kallistua entisestään, joten on odotettavissa, että sen korvaavien vaihtoehtojen kehittäminen ja käyttäminen tulevat lisääntymään myös painoalalla.

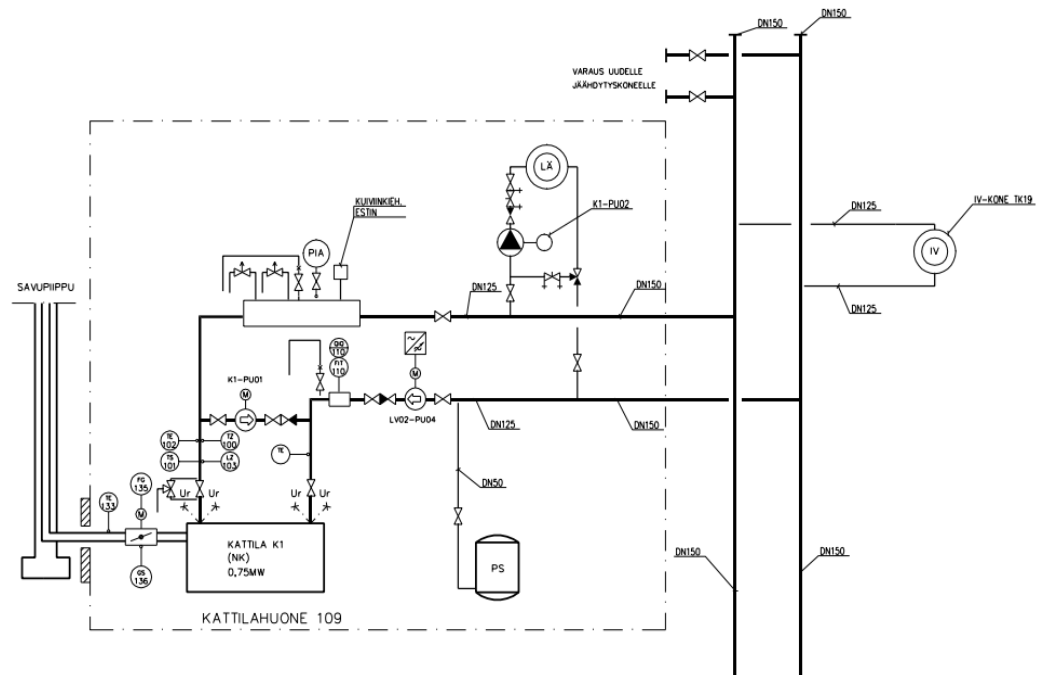
Opinnäytetyö antoi minulle tarkan käsityksen painotalon lämmitysenergian tuototavoista ja käytöstä sekä siitä, kuinka myös tällä tuotannon hukkalämmöllä voidaan tehdä jäähdytystä absorptiojäähdytyksellä. Opinnäytetyö antoi myös kokemusta isommasta kiinteistöstä talotekniikan osalta kuin mitä ennen tätä opinnäytetyötä olin ollut tekemisissä. Opinnäytetyön jatkotutkimus mahdollisuuksia ovat mielestäni esimerkiksi absorptiojäähdyttimen kannattavuuteen perehtyminen sekä nestekaasun korvaavat vaihtoehdot tulevaisuudessa erityisesti lämmityksessä.

Lähteet

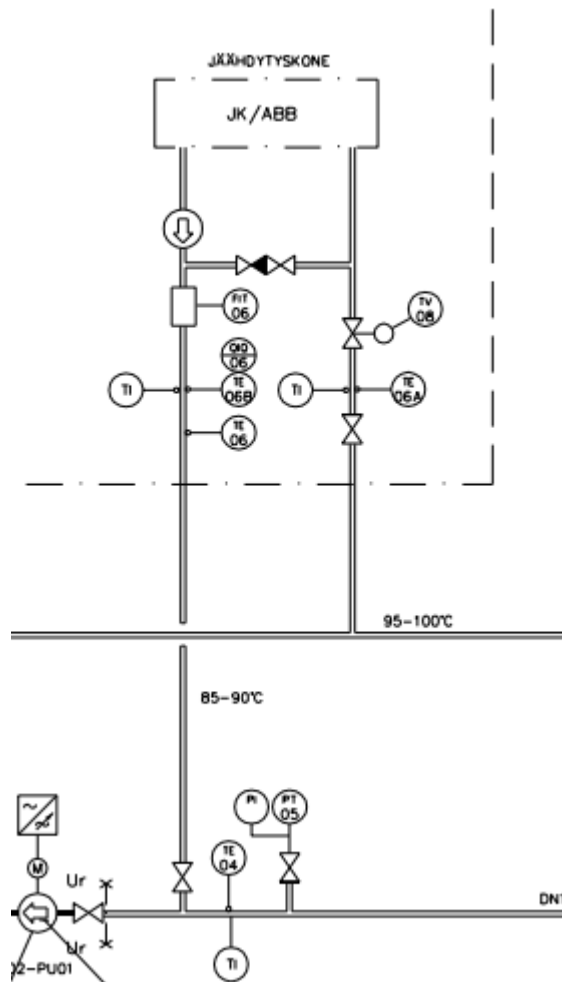
- Carrier 1999. Hermeettinen absorptio vedenjäähdytin 16JB010-068 Käynnistys-, käyttö ja huolto-ohjeet.
- Energiateollisuus. 2022. Kaukolämpöverkkoja yli 15 000 km. <https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot> 15.2.2022
- Energiateollisuus, Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet K1/2021 https://energia.fi/files/6412/Julkaisu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitys_Maaraykset_ja_ohjeet_%28pdf%29.pdf 20.4.2022
- Graafinen 2022. Painomenetelmät. <https://www.graafinen.com/tietopankki/painomenetelmät/> 17.2.2022
- Harju, P. 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. Kouvola: Penan Tieto-Opus Ky. KL-Lämpö. Lämmönsiirtimet. <https://www.kl-lampo.com/lomake/palveluratkaisu/teollisuuden-palvelut/lammonsiirrinpalvelut/158>. 13.4.2022
- Painotalo. Arkisto. 2007.
- Painotalon kiinteistöautomaatio. Kuvakaappaus kiinteistönautomaatiohallinnasta 18.2.2022
- LVI 12-10343, 2002. Vesikiertoinen patterilämmitys. Rakennustieto.
- LVI 19-10400, 2006. Kaukolämpölaitteiden hoito ja huolto. Rakennustieto.
- LVI 38-10515, 2012. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteenlaskenta. Rakennustieto.
- Motiva 2013. Tuotannon hukkalämpö hyödyksi. https://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon_hukkalampo_hyodyksi.pdf 7.4.2022
- Motiva 2016. Energiatehokas lämmönsiirto. https://www.motiva.fi/files/11106/Energiatehokas_lammonsiirto.pdf 14.4.2022
- Motiva 2021. Kaukolämpö. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo 14.2.2022
- Motiva 2022a. Näin lämmitysjärjestelmä toimii. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/nain_lammitysjarjestelma_toimii 12.4.2022
- Motiva 2022b. Mihin lämpöä tarvitaan? https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/mihin_lampoa_tarvitaan 13.4.2022
- Suomen tilastokeskus 2020. Käsitteet. <https://www.stat.fi/meta/kas/kl.html>. 14.2.2022
- Tukes 2022. Nestekaasulaitokset. <https://tukes.fi/teollisuus/nestekaasulaitokset> 17.2.2022
- Vahasilta 2022. Putkilämmönvaihtimet ja -siirtimet. <https://vahasilta.fi/putkilammonvaihtimet/> 11.5.2022
- Woikoski 2022. Nestekaasut. <https://www.woikoski.fi/teollisuus-ja-elintarviketeollisuus/kaasut/nestekaasu.html>. 16.2.2022

(Painotalo 2007.)

Nestekaasukattilan toimintakaavio

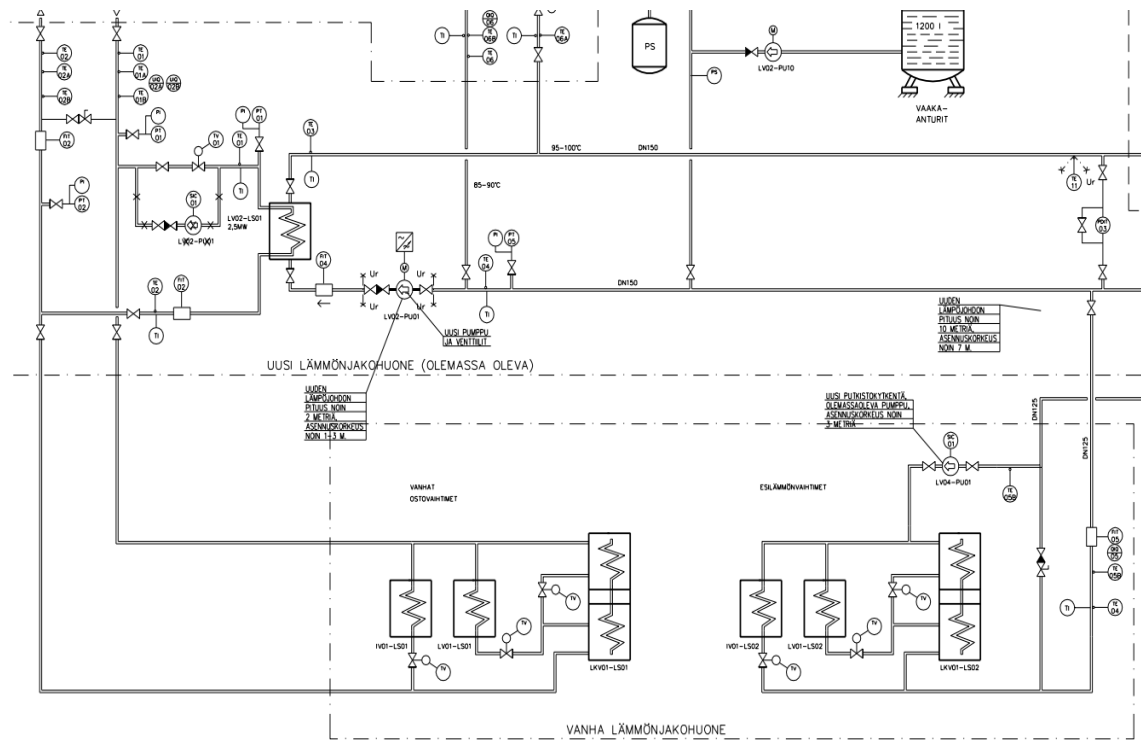


(Painotalo 2007.)

Absorptiojäädyttimen toimintakaavio

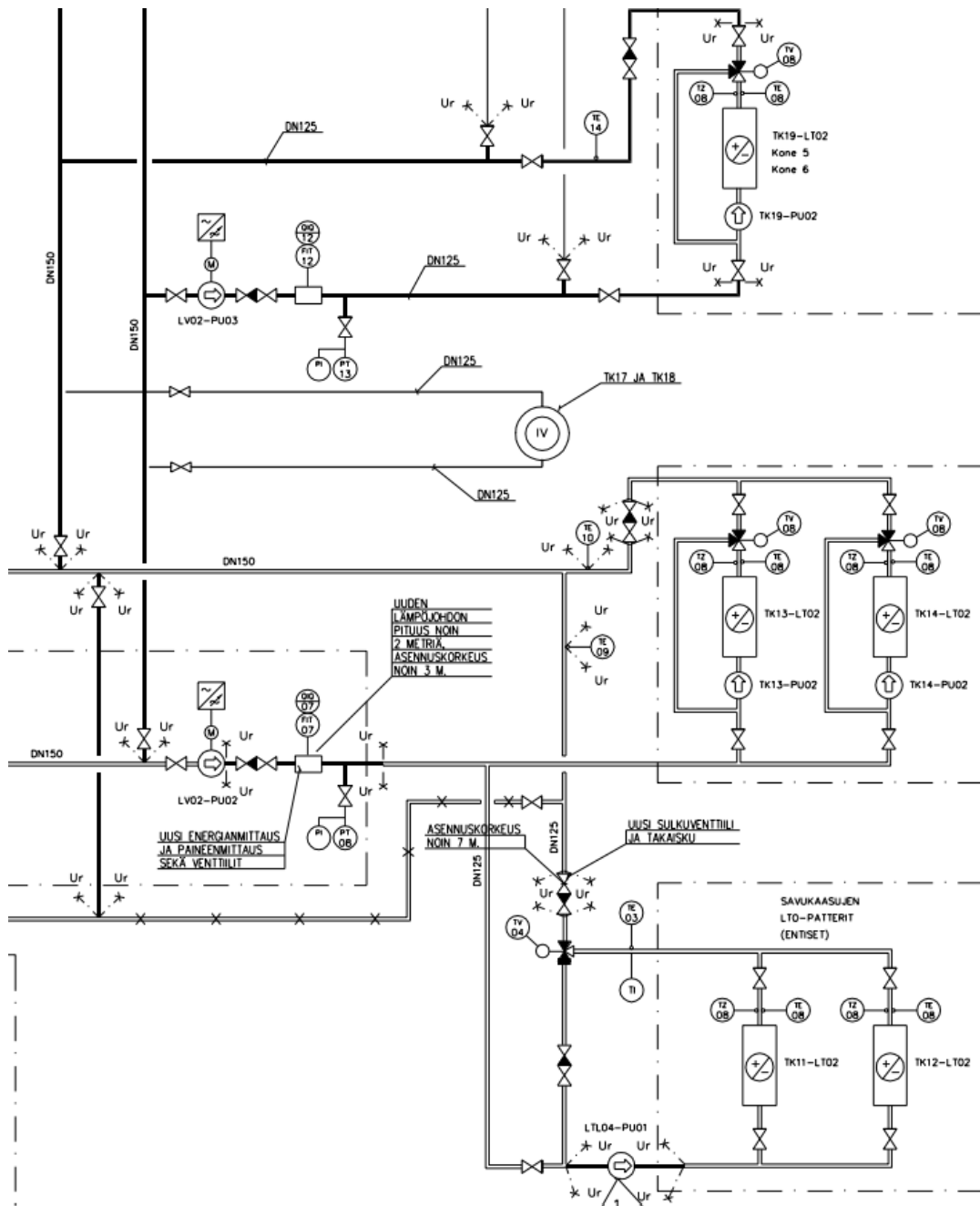
(Painotalo 2007.)

Kaukolämmönvaihtimen toimintakaavio



(Painotalo 2007.)

Savukaasujen lämmöntalteenoton toimintakaavio



(Painotalo 2007.)