

Anna Paakki

**SELVITYS KEMIALLISSA PROSESSISSA SYNTYVÄN HUKKALÄMMÖN
HYÖDYNTÄMISESTÄ**

SELVITYS KEMIALLISSA PROSESSISSA SYNTYVÄN HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMISESTÄ

Anna Paakki
Opinnäytetyö
Kevät 2022
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Anna Paakki

Opinnäytetyön nimi: Selvitys kemiallisessa prosessissa syntyvän hukkalämmön hyödyntämisestä

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Study of Recovering Waste Heat from Chemical Process

Työn ohjaaja: Jukka Ylikunnari

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: kevät 2022

Sivumäärä: 31 + 10 liitettä

Opinnäytetyössä selvitettiin Voda Nordic Oy:lle heidän prosessissaan syntyvän hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksia. Prosessissa syntyvä lämpö poistetaan jäähdytyksen kautta ulkoilmaan. Kyseessä on panosprosessi ja yhden panoksen kokonaishukkalämpö on vajaa 1700 kWh.

Tarkemmassa tarkastelussa todettiin, että lämpö voidaan ottaa talteen vain jäähdytyskierrosta. Tämän perusteella laskettiin jäähdytyskierron teho. Hyödyntämiskohteista lämmön hyödyntäminen omaan käyttöön (lämmitys ja lämmin käyttövesi) sekä kaukolämpöön vaikuttivat potentiaalisimmilta, joten tarkempi tarkastelu rajattiin näihin kahteen. Koska lämpö syntyy panoksittain, se täytyy hyödyntää varaajan kautta. Varaajan mitoitusta varten selvitettiin oman käytön ja kaukolämmön tarvitsemat lämpötilat, varattava lämpötila, latausaika ja ladattava energia. Edelleen arvioitiin varaajan häviöt ja laskettiin purettava energia sekä purkuteho. Kaukolämpöön lämpöä saataisiin hyvin pieni määrä. Hyödyntämällä lämpöpumppua lämpöä saataisiin hyödynnettyä enemmän. Lämpöpumpulle laskettiin lämpökertoimen karkea arvio.

Lopputulemana omaan käyttöön saatava energia on moninkertainen arvioituun tarpeeseen. Tarve kuitenkin on hyvin vähäistä, joten myös syntyvä säästö voi olla niin vähäistä, ettei sillä makseta investointia takaisin järkevässä ajassa. Kaukolämpöön saatava energia ja lämpötila ovat niin pienet, että hukkalämpöä ei voida hyödyntää kuin hyvin pieni määrä ja lämpimällä ilmalla, kun kaukolämmön tarve on muutenkin vähäinen. Hyödyntämällä lämpöpumppua kaukolämmön tuotannossa suurempi osa hukkalämmöstä voitaisiin hyödyntää.

Prosessin lähtötiedot, välitulokset ja osa lopputuloksista löytyy liitteistä. Nämä ovat salaista tietoa ja ne on jätetty pois julkisesta versiosta.

Asiasanat: hukkalämpö, jäähdytyskierto, kaukolämpö

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	VODA NORDIC OY	7
2.1	Tuotantolaitos	7
2.2	Tuotantoprosessi	7
3	HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN	9
3.1	Tilojen lämmitys	9
3.2	Käyttöveden lämmitys	10
3.3	Pihojen sulanapito	10
3.4	Lämpöpumppu	11
3.4.1	Lämpöpumpun toiminta	11
3.4.2	Hukkalämmön lämpötilataso	12
3.4.3	Lämpökerroin	12
3.4.4	Kustannukset ja takaisinmaksuaika	13
3.5	Kaukolämpö	13
3.5.1	Kaukolämpöveden lämpötila	13
3.5.2	Lämmön syöttö ja syötön keskeytys	14
3.5.3	Liitäntä kaukolämpöverkkoon	14
3.5.4	Tekninen laitetila	15
3.5.5	Lämmön myynnin sopimus	15
3.6	Lämmön varastointi	15
3.6.1	Kaukolämpöakku	16
3.6.2	Lämminvesivaraaja	17
3.7	ORC-tekniikka	17
3.8	Lainsäädäntö ja tukipolitiikka	19
3.8.1	Energiatehokkuusdirektiivi ja -sopimus	19
3.8.2	Energiatuki	20
3.8.3	ESCO-palvelu	20
4	HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET	22
4.1	Varaajan mitoitus	23
4.2	Kaukolämpö	24
4.3	Oma käyttö	26

5	YHTEENVETO	27
	LÄHTEET	28

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön teettäjä on Voda Nordic Oy, jonka kemiallisessa prosessissa syntyy hukkalämpöä. Kyseessä on panosprosessi, jossa syntyvä hukkalämpö johdetaan tällä hetkellä jäähdytysjärjestelmällä ulkoilmaan. Lämpötilataso on suhteellisen korkea teollisuuden hukkalämmöksi. Toisaalta lämpöä on saatavilla hyvin lyhyen ajan vuorokaudessa. Tämä aiheuttaa haasteita lämmön hyödyntämiseksi. Toimeksiantaja oli aiheeseen liittyen yhteydessä konsulttiyrityksiin ja paikalliseen kaukolämpöyhtiöön tehtaan rakennusvaiheessa. Tuotannon alettua aihe on taas ajankohtainen.

Tavoitteena on tehdä selvitys hukkalämmön hyödyntämisestä eli selvittää, kuinka paljon lämpöä syntyy ja jos se voidaan hyödyntää niin miten ja missä. Hukkalämmön hyödyntämisellä on ympäristöllisen hyödyn lisäksi myös taloudellinen hyöty, joka toivotaan saavutettavan. Toimeksiantajan toiveena on löytää ratkaisu, joka on toteutettavissa teknisesti ja taloudellisesti järkevästi.

Työssä käsiteltävissä lämmitysjärjestelmissä tarkastellaan ainoastaan vesikiertoiset järjestelmät ja sähköiset jätetään kokonaan huomiotta, koska tässä työssä lämpö olisi järkevintä hyödyntää siirtämällä lämpö veteen ja siitä eteenpäin käyttökohteeseen.

2 VODA NORDIC OY

Voda Nordic Oy on vuonna 2013 perustettu suomalaisomisteinen yritys. Yritys myy useita erilaisia vedenkäsittelyssä käytettyjä saostuskemikaaleja, joista se valmistaa itse nestemäistä rautakloridia Raahen tuotantolaitoksessa ja nestemäistä rautasulfaattia Kokkolan tuotantolaitoksessa. Lisäksi yritys tukee veden-, jäteveden- ja lietteenkäsittelyn resurssitehokkuuden parantamista ja opastaa ajotapamuutosten toteutuksessa. (1; 2; 3.) Tarkastelun kohteena oleva Kokkolan tuotantolaitos sijaitsee Kokkolan suurteollisuusalueella ja se aloitti tuotannon vuoden 2021 aikana.

2.1 Tuotantolaitos

Kokkolan tuotantolaitos toimii isossa hallissa. Hallia ei ole eristetty, joten sinne ei myöskään ole asennettu minkäänlaista lämmitystä. Prosessin aikana syntyvä lämpö karkaa osittain halliin, jolloin hallin sisälämpötila on koko talven ollut plussan puolella. Hallin sisään on rakennettu valvomo, joka sisältää myös laboratorion ja sosiaalitilat. Valvomon lämmitys suoritetaan ilmalämpöpumpulla. Koska valvomotila on hyvin sokkeloinen eikä ilmalämpöpumpun tuottama lämpö leviä kaikkiin tiloihin, lisälämmitykseksi on jälkikäteen hankittu muutama pieni sähköpatteri. Käyttövettä kuluu suhteellisen vähän ja sitä varten on rakennuksen kahdessa vessassa oma pieni varaaja. Hallin ulkopuolella sijaitsee lastaus- ja purkualue sekä sen varoallas. Pihan kunnossapito ei kuulu Voda Nordic Oy:lle. (4; 5.)

2.2 Tuotantoprosessi

Kokkolan tuotantolaitoksella valmistetaan nestemäistä rautasulfaattia $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ panosprosessissa (6, s. 4–5). Magnetiitti liuotetaan rikkihapon avulla, minkä jälkeen liuos hapetetaan vetyperoksidilla (6, s. 4; 7, s. 13). Lämpötila nousee jopa niin ylös, että se riittäisi ajoittain kaukolämmön tuotantoon. Tuote vakioidaan vedellä haluttuun konsentraatioon ja tämän jälkeen sitä jäähdytetään joitain tunteja ennen varastoimista. Ympäristöluvan sallima tuotantokapasiteetti on 30 000 t/v. (6, s. 4.) Liitteessä 1 on tarkemmat lähtötiedot prosessista ja liitteessä 2 prosessikaavio.

Prosessista ympäristöön poistuva kokonaislämpöenergia lasketaan kaavalla

$$Q = mC_p\Delta T$$

(KAAVA 1)

jossa

Q = lämpöenergia (kJ)

m = massa (kg)

C_p = ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg, K)

ΔT = lämpötilan muutos (K) (8, s.107).

Rautasulfaatille ei löydy ominaislämpökapasiteettia suoraan, joten se tulee selvittää raaka-aineiden massojen suhteella. Ominaislämpökapasiteetin laskenta löytyy liitteestä 3. Nykyisellä tuotantokapasiteetilla lämpöenergiaksi saatiin vajaa 1700 kWh/panos. Vuositasolla tämä tarkoittaisi reilu 400 MWh. Pientalon lämmityksen vuosienenergian kulutus on noin 10 000–20 000 kWh, joten tällä hukkalämpömäärällä lämmitettäisiin noin 21 pientaloa vuodessa (9, s. 6). Kokonaislämpöenergian laskenta löytyy liitteestä 4.

3 HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN

Rautasulfaatin tuotantoprosessissa syntyvä lämpö on niin kutsuttua hukkalämpöä. Hukkalämmöllä tarkoitetaan lämpöä, joka poistuu tuotantolaitoksesta hyödyntämättömänä ympäristöön. Sitä kutsutaan myös ylijäämä- tai jätelämmöksi. (10, s.7.) Teollisuus on merkittävä hukkalämmön tuottaja (11). Hukkalämpöä poistuu esimerkiksi prosessien jäähdytyksen, poistoilmojen, savukaasujen tai jäteveden mukana. Suomessa metsäteollisuus on ylivoimaisesti suurin energian käyttäjä ja seuraavina tulevat kemian- ja metalliteollisuus. Myös suurin hyödyntämätön hukkalämpömäärä on kyseisissä teollisuusaloissa. Suomen teollisuuden hukkalämmön teknisen potentiaalin arvioitiin vuonna 2017 olevan 16 TWh eli 16 000 000 MWh. Teknisellä potentiaalilla tarkoitetaan lämpömäärää, jonka hyödyntäminen on olemassa olevalla tekniikalla mahdollista. (10, s. 5, 7.)

Hukkalämmön hyödyntäminen on tärkeää, koska se vähentää primäärienergian kulutusta ja siitä aiheutuvia päästöjä. Hyödyntämiskohteita ovat tuotantolaitoksen omat tilat tai prosessit, myynti saman teollisuusalueen toiselle toimijalle tai myynti paikalliseen kaukolämpöverkkoon. Jos mikään edellä mainituista ei ole mahdollista, lämmöllä voidaan tuottaa sähköä. Kannattavinta lämpö on hyödyntää lähellä syntypaikkaa. Tällöin syntyy vähemmän häviöitä ja lämpöä saadaan enemmän hyödynnettyä. (10, s. 5, 28.)

3.1 Tilojen lämmitys

Patterilämmityksessä pattereissa kiertää lämmintä vettä, josta lämpö siirtyy pattereiden kautta huoneilmaan (12). Patteriverkoston menoveden lämpötila on maksimissaan 60–80 °C. Vanhemmissa rakennuksissa on suurempi lämmitystehon tarve, jolloin ne tarvitsevat kuumempaa vettä. (12; 13.) Säästöventtiili säätelee pattereissa kiertävän veden lämpötilaa. Vettä syötetään kiertoon pumpulla sen mukaan, kuinka paljon tiloja tarvitsee lämmittää. (14.)

Lattialämmityksessä vesi kiertää muoviputkissa, jotka on joko valettu betoniin tai asennettu lattianpinnoitteen alle (14). Lattialämmityksen etuna on se, että koska lämpö tulee lattiasta, se kuivattaa lattian nopeasti. Lämmin lattia myös tuntuu miellyttävältä jalan alla. (15.) Lisäksi lattialämmityksessä riittää menoveden lämpötilaksi reilusti matalampi lämpö kuin patterilämmityksessä. Menoveden maksimilämpötila on tyypillisesti 35–40 °C (13). Myös lattialämmityksessä on säästöventtiili

sekä kiertopumppu. Lattialämmitys jaetaan eri lämmityspiireihin jakotukilla. Pienissä huoneissa on yleensä omat lämmityspiirit, isommissa huoneissa voi olla useampia piirejä. (14.) Nykyisten, hyvin eristettyjen ja modernien asuntojen lattialämmityksen tehona käytetään yleensä 65–85 W:a/m² (16).

3.2 Käyttöveden lämmitys

Kylmän veden lämpötila on tyypillisesti 5–10 °C (17). Rakennuksen koko vesijärjestelmässä veden lämpötila tulee olla vähintään 55 °C, jotta estetään legionellabakteerin esiintyminen (18). Varajassa sopiva lämpötila on 55–65 °C (19). Toimisto- ja muissa rakennuksissa lämmintä käyttövedtä kuluu vuodessa 100 litraa rakennuksen bruttoalaa kohti (dm³/brm²/vuosi) (17). Bruttoalaan laskeetaan mukaan kaikkien kerrostasojen kerrostasoalojen summa huolimatta siitä, missä tasossa ne ovat ja ovatko ne kylmiä vai lämpimiä huoneita (20).

3.3 Pihojen sulanapito

Pihojen talvikunnossapidosta, kuten aurauksesta ja hiekotuksesta, syntyy kustannuksia sekä päästöjä. Hiekka kulkeutuu sisätiloihin ja lisää siivouksen tarvetta, mikä kasvattaa kiinteistön kunnossapitokustannuksia. Lisäksi hiekka täytyy keväisin poistaa nopeasti pölyhaittojen takia. Pihojen sulatuksella voidaan luopua talvikunnossapidosta. Tämä vähentää myös jalankulkijoiden liukastumis- ja tapaturmariskiä. Toisaalta raja-alueelle voi syntyä liukkaita alueita, jotka aiheuttavat vaaratilanteita. (21, s. 3, 8–9.)

Sulatusjärjestelmä toteutetaan yleensä nestekiertoisella lämmitysputkistolla tai sähkölämmityskaapelilla. Toimintaperiaate on sama kuin lattialämmityksessä. Kadun pintalämpötila pidetään noin 3 °C:ssa, jolloin tarvittava kiertonesteen lämpötila on 35–39 °C. Sulatusjärjestelmä sijoitetaan usein kadun pintarakenteeseen heti päällystekerroksen alapuolelle, jotta saavutetaan mahdollisimman suuri pintalämmitysteho. (21, s.11–12.) Sulanapitojärjestelmä asennetaan kantavalle alustalle, kuten betonille tai tiivistetyn maan päälle. Putket peitetään esimerkiksi kivituhkalla tai betonivalulla ja peitekerroksen päälle tulee vielä pintakerros, esimerkiksi asfaltista tai laatoituksesta. Putket voidaan myös valaa betoniin. (22.) Rakennusurakoitsut tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että lämmitysputkistot eivät vaurioidu esimerkiksi liikenteestä aiheutuvien kuormien tai katurakenteen muodonmuutoksen seurauksena. Lisäksi tulee varmistaa, ettei katurakenteen ominaisuudet, kuten

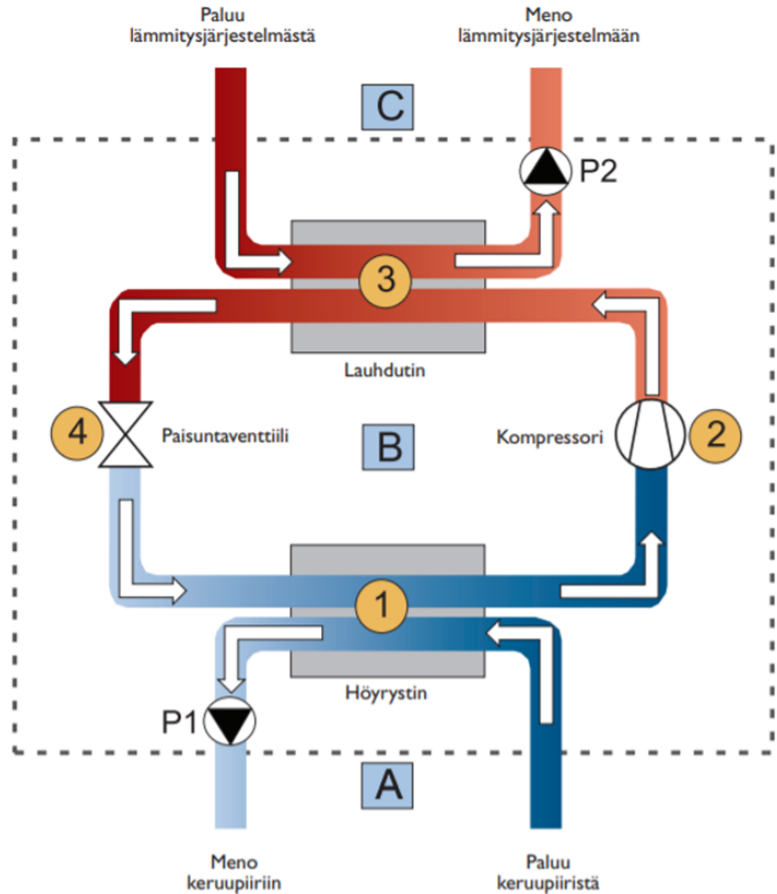
päällyskerrosten kantavuus, heikkene lämmitysjärjestelmän asennuksen ja lämmityksen seurauksena. (21, s. 11–12.)

3.4 Lämpöpumppu

Lämpöpumpulla otetaan lämpöä matalammasta lämpötilasta ja siirretään se korkeampaan lämpötilaan (23, s.17). Näin voidaan hyödyntää hukkalämpö, jonka lämpötilataso on käyttökohdetta matalampi. Kotienkin lämmityksessä käytettävät ilma- ja maalämpöpumput ovat niin kutsuttuja mekaanisia kompressorilämpöpumppuja. Ne sopivat myös teollisuuden moniin eri tarkoituksiin (11).

3.4.1 Lämpöpumpun toiminta

Yksinkertaisimmillaan lämpöpumppu koostuu höyrystimestä, kompressorista, lauhduttimesta ja paisuntaventtiilistä. Kiertoaineena käytetään kylmäainetta. Nestemäinen kylmäaine johdetaan höyrystimeen, jossa se höyrystyy, kun siihen sitoutuu lämmönlähteestä otettua lämpöenergiaa. Höyrystynyt kylmäaine imetään kompressorille, joka puristaa sitä pienempään tilaan. Tällöin kylmäaineen lämpötila ja paine kasvavat. Kuuma, korkeapaineinen höyry johdetaan lauhduttimelle, jossa se lauhtuu ja muuttuu takaisin nesteeksi luovuttaen samalla lämpöenergiaa käyttökohteeseen. Lopuksi jäähdytetty, nestemäinen kylmäaine johdetaan paisuntaventtiin läpi, joka alentaa kylmäaineen painetta ja lämpötilaa. Tämän jälkeen kierto alkaa alusta. (Kuva 1; 23, s.17–18.)



KUVA 1. Lämpöpumpun rakenne (24)

3.4.2 Hukkalämmön lämpötilataso

Lämpöpumpun ottaman lämmön lämpötilataso voi vaihdella hyvinkin laajasti $< 10\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (10, s. 20). Tavallisilla teollisuuden lämpöpumpuilla tuotettu lämpö on maksimissaan $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ (25, s. 20). Joillakin valmistajilla on myös teollisuuslämpöpumppuja, joilla päästään luovutuslämpötilassa $120\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen (26; 27). Lisäksi on olemassa uuden teknologian kuuma- lämpöpumppuja, jotka voivat nostaa hukkalämmön lämpötilan $15\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$:sta jopa $130\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen. Tällaisia lämpöpumppuja voidaan hyödyntää esimerkiksi kaukolämmön tuotannossa. (10, s. 22.)

3.4.3 Lämpökerroin

Lämpöpumppujen tehokkuutta kuvataan lämpökertoimella, COP. Se kertoo, kuinka moninkertainen lämpöpumpusta saatu lämpöenergia on verrattuna sen tarvitsemaan käyttöenergiaan. COP vaih-

telee lämpöpumpusta riippuen sekä sen mukaan, kuinka lämmintä hyödynnettävä lämpö on ja miten paljon lämpötilaa on tarvetta muuttaa. Kompressorilämpöpumput toimivat sähköllä ja niiden COP-kertoimet vaihtelevat 2,5–7,5. (11.)

3.4.4 Kustannukset ja takaisinmaksuaika

Teollisuuden lämpöpumppuratkaisut on käytännössä aina suunniteltu ja mitoitettu kohteen tarpeisiin ja puhtaasti sarjavalmistettavia laitteita on vain vähän. Teollisuuden kompressorilämpöpumppulaitosten ominaiskustannukset ovat tyypillisesti 500–750 euroa tuotettua kilowattia kohden. Lämpöpumppulaitteiston osuus investoinnista on usein 40–90 %. Lämpöpumpun kannattavuus ja takaisinmaksuajat riippuvat hyvin pitkälti sähkön hinnasta, mutta tyypillisesti ne ovat 3–7 vuotta. (11.)

Vuoteen 2022 asti lämpöpumput ovat kuuluneet korkeamman veroluokan I sähköveroon. Lämpöpumput, jotka tuottavat lämpöä kaukolämpöverkkoon, muuttuvat vuoden 2022 aikana alempaan veroluokan II sähköveroon. (28.) Tämä muutos parantaa lämpöpumppujen kannattavuutta, kun lämpöpumpun käyttämästä sähköstä ei tarvitse maksaa yhtä paljon veroa, jolloin sähkön kokonais hinta on pienempi (10, s. 5).

3.5 Kaukolämpö

Jos hukkalämmölle ei löydy käyttöä sen syntypaikalla, paikallinen kaukolämpöyhtiö voi olla halukas ostamaan sen ja korvaamaan siten omaa lämmöntuotannon tarvetta (11). Kaukolämpöyhtiö vastaa asiakkaillensa toimitettavan lämmön laadusta ja sopimuksenmukaisuudesta. Tämän vuoksi lähtökohtana on, että kaukolämpöyhtiö hallitsee ja operoi järjestelmäkokonaisuutta kaikissa tilanteissa. Kaukolämpöyhtiö siis ohjaa koko kaukolämpöjärjestelmän toimintaa ja lämmönsyöttö on kaukolämpöyhtiön etävalvonnassa, suositellaan myös reaaliaikaista etäohjausta. (29, s. 2, 4.)

3.5.1 Kaukolämpöveden lämpötila

Kaukolämpöveden menolämpötila riippuu ulkolämpötilasta: mitä kylmempi ulkolämpötila, sitä kuumempaa kaukolämpövesi on (30). Menoveden lämpötila on 75–115 °C ja paluuveden lämpötila 40–60 °C. Ensisijaisesti lämpö syötetään kaukolämmön menoputkeen, mutta jos se ei onnistu,

lämpö voidaan syöttää myös kaukolämmön paluupuolelle. Kaukolämpöön siirrettävän lämmön lämpötilataso tulisi olla vähintään syöttökohdassa olevan kaukolämpöveden lämpöinen. Jos hukkalämmön lämpötilataso ei ole riittävä, sitä voidaan nostaa esimerkiksi lämpöpumpulla tai kattilalaitoksella. Lämpötilataso voi tosin poiketa enemmän, jos verkkoon syötettävä lämpöteho ja -määrä ovat pienet verrattuna verkossa siirrettävään tehoon. (29, s. 2–4.)

Paluupuolelle syötettäessä siinä virtaavan veden lämpötila nousee ja lämpötilahäviöt kasvavat. Tämä heikentää verkon hyötysuhdetta. Jos kaukolämmön tuotantolaitoksella on savukaasujen lämmöntalteenottolaitteisto, heikentää paluuv veden lämpötilan nousu laitteiston tuotannon määrää. (29, s. 2–3.) Kaukolämpölaitokset ovat yleensä vastapainevoimalaitoksia, eli niissä tuotetaan kaukolämmön lisäksi sähköä (31, s. 10–11). Paluuv veden lämpötilan nousu heikentää myös yhteistuotantosähkön määrää. Paluuputkeen voidaan muutenkin syöttää verkossa siirrettävään kokonaistehoon verrattuna pieniä tehoja. (29, s. 2–4.)

3.5.2 Lämmön syöttö ja syötön keskeytys

Kaukolämpöverkkoon ei voi syöttää paljoa enempää lämpöä, kuin mitä asiakkaat hetkellisesti kulltavat. Hukkalämpö syntyy kuitenkin yleensä muulloin kuin asiakkaiden tarpeen mukaan tai se voi syntyä täysin sattumanvaraisina ajankohtina. Tällöin joustoa tuovat lämpöakut, verkon varastointikyky ja veden hidas virtausnopeus. Lämmön toimittajan tulee myös varautua mahdolliseen vikatilanteeseen, jolloin kaukolämpöverkon lämmön vastaanottokyky voi heiketä tai katketa kokonaan. Tällöin lämmön tuotanto tulee riittävän nopeasti keskeyttää tai lämpö tulee ohjata tilapäisesti muualle. (29, s. 2, 4.)

3.5.3 Liitäntä kaukolämpöverkkoon

Liittyminen kaukolämpöverkkoon tehdään epäsuoralla kytkennällä, jossa kaukolämpöverkon ja lämmönoimittajan välillä on lämmönsiirrin. Epäsuoran kytkennän etuja ovat turvallisuus häiriötilanteessa, mahdolliset epäpuhtaudet eivät siirry verkkojen välillä ja happipitoinen tai muuten heikkoalaatuinen vesi ei siirry verkkojen välillä. Kaukolämpöpuolen laitteistossa kulkee aina vettä, joten sen jäätyminen tulee estää tilanteessa, jolloin lämmön tuotanto on keskeytynyt. Jäätyminen voidaan estää esimerkiksi jatkuvalla termostaattiohjatulla kiertojohdolla. (29, s. 3–4.)

3.5.4 Tekninen laitetila

Teknisen laitetilän ja sinne tulevien kaukolämpöputkien sijoittelu sovitaan kaukolämpöyhtiön kanssa suunnittelun alkuvaiheessa. Tekninen laitetila tulee sijoittaa sellaiseen paikkaan, että tilan ja kaukolämpöverkon välinen liittymisjohto on mahdollisimman lyhyt. Kaukolämpöyhtiöllä tulee olla sen hyväksymällä tavalla järjestetty sisäänpääsy tilaan. Tekniseen tilaan tulee mahtua kaukolämpölaitteet siten, että niitä voidaan käyttää ja huoltaa. Sisälämpötila tulee olla vähintään 10 °C ja se ei saa ylittää 35 °C:ta. Lämpötilan nousu estetään ensisijaisesti putkistojen ja laitteiden lämmöneristyksellä. Tila tulee varustaa ilmanvaihdolla. Uudisrakennuksissa tekninen tila tulee varustaa lattiakaivolla sekä kylmä- ja lämminvesipisteillä. Myös olemassa olevien rakennusten tekniset tilat suositellaan varustettavan viemäröinnillä ja vesikalusteella. (32, s. 4–5.)

3.5.5 Lämmön myynnin sopimus

Toisin kuin kaukolämmön myymistä varten on olemassa melko tarkkakin kaukolämmön yleiset sopimusehdot -suositus, lämmön myyntiä kaukolämpöyhtiölle koskevat käytännöt ovat eri yrityksissä erilaisia ja osittain kehitysvaiheessa (33; 34, s.1). Joitain yleisohjeistuksia on kuitenkin olemassa. Esimerkiksi energiateollisuuden lämmön osto ja kaksisuuntainen lämpökauppa -ohjeessa on listattu keskeisimmät asiat, jotka sopimuksessa olisi syytä sopia (34, s. 6).

3.6 Lämmön varastointi

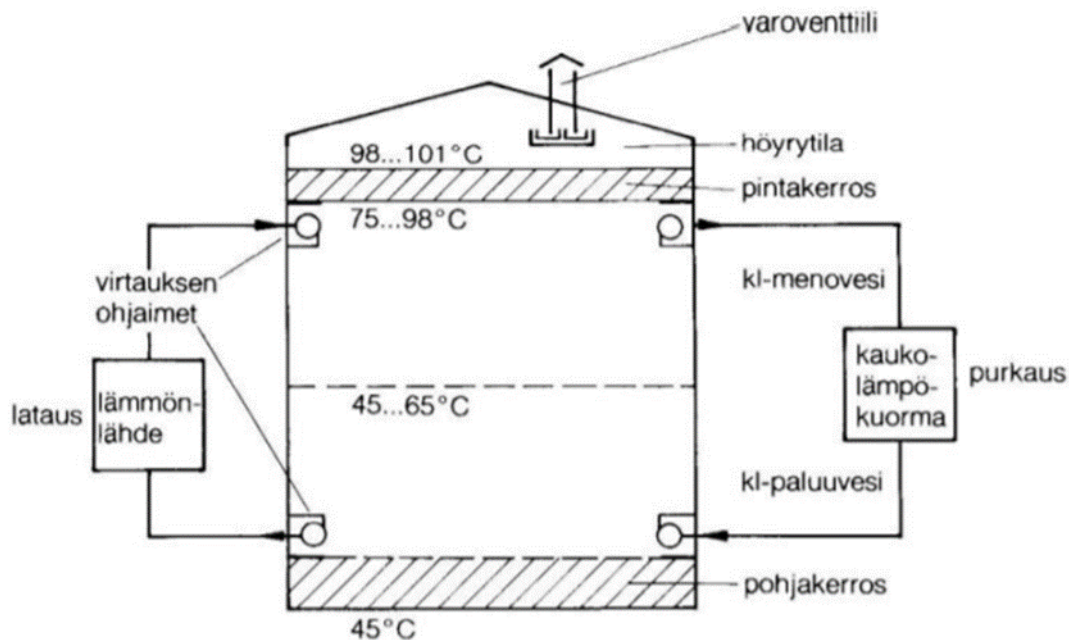
Lämpövarasto varastoi lämpöä ja purkaa sen tarvittaessa. Varastointi on hyödyllistä silloin, kun energiantuotanto ja tarve eivät ajallisesti kohtaa. Tästä esimerkkinä voidaan käyttää uusiutuvia energialähteitä kuten aurinko- ja tuulienergiaa. (35, s. 1, 5.) Vaihtoehtoisesti lämpöä voidaan varastoida, kun sähkön hinta on korkea ja vastapainelaitos tuottaa sitä hinnan alentamiseksi eikä lämpöä juuri silloin tarvita. Lämpövarastolla voidaan kattaa myös kaukolämmössä kulutushuipun lämmöntarvetta ja korvata näin erillinen huipputuotantolaitos. (36.)

Lämpövarastoa voidaan kuvata seuraavilla ominaisuuksilla: kapasiteetti, teho, tehokkuus, varastoinnin pituus, lataus- ja purku-aika sekä kustannukset. Kapasiteetti määrittelee, kuinka paljon energiaa voidaan varastoida ja se riippuu varaston prosessista, varastointiaineesta sekä varaston koosta. Teho kertoo, kuinka nopeasti varastoitu energia voidaan purkaa systemistä. Tehokkuus

on käyttöön saatavan ja aiemmin varastoidun energian suhde. Se riippuu varastointiajan ja latauspurku -syklin häviöistä. Varastointiaika määrittelee, kuinka pitkään energiaa voidaan varastoida. (35, s. 5.) Se voi olla lyhyt (tunneista-päiviin) tai pitkä (viikoista-kuukausiin) (37, s. 12). Lataus- ja purkuaika kertoo, kuinka kauan kestää ladata akku täyteen tai purkaa tyhjäksi. Kustannukset koostuvat pääoma- ja käyttökustannuksista. Ne määritellään joko kapasiteetin (€/kWh) tai tehon (€/kW) mukaan. (35, s. 5.)

3.6.1 Kaukolämpöakku

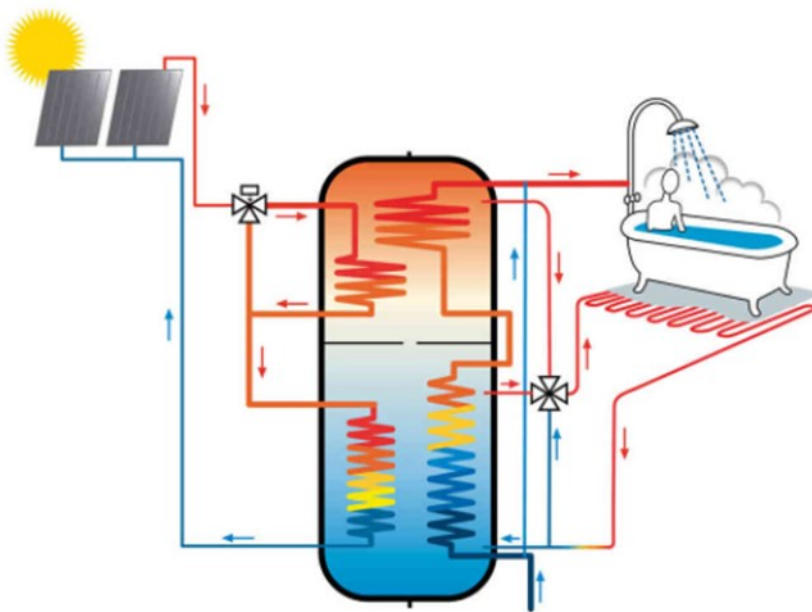
Kaukolämpöakku on joko teräs- tai betonirakenteinen, yleensä maan päälle sijoitettu lämpöeristetty säiliö. Säiliö voidaan sijoittaa myös maan alle. (38, s. 47.) Vesi kerrostuu akkuun tiheyseroista johtuen siten, että kuumin vesi on akun yläosassa ja kylmempi vesi alaosassa (39, s. 386). Tämän vuoksi akkua ladattaessa kuuma vesi johdetaan akun yläosaan ja samalla alaosasta poistuu kylmempää vettä. Lataus- tai purkutilanteessa yläosan ja alaosan virtaukset pyritään pitämään mahdollisimman tasaisina, jotta eri asteiset vedet eivät sekoitu vaan niiden välille jäisi rajavyöhyke. Rajavyöhyke liikkuu korkeussuunnassa säiliön varausasteen mukaan. Pohjalla pidetään aina vakilämpöinen suojakerros, joka toimii lämpöeristeenä sekä rajoittaa pohjalevyn lämpötilanvaihteluita. (38, s. 48.) Kuvassa 2 näkyy kaukolämpöakun rakenne ja toimintaperiaate.



KUVA 2. Kaukolämpöakun toimintaperiaate (40, s. 14)

3.6.2 Lämminvesivaraaja

Kotien lämmityksessä hyödynnettävässä lämminvesivaraajassa on sama periaate kuin kaukolämpökäytössä. Kuvassa 3 on asunnon sekä käyttöveden lämmitykseen tarkoitettu lämminvesivaraaja. Tällainen varaaja sisältää vettä, jota lämmitetään lämmönlähteestä saatavalla lämmöllä, kuvan 3 tapauksessa aurinkolämmöllä. Varaajassa olevaa vettä kierrätetään rakennuksen lämmitysverkostossa, kuten lattialämmityksessä, jolloin rakennus lämpenee. Lämmön keruussa on suljettu kierto, jossa kiertoneste kiertää lämmönlähteeltä varaajalle ja takaisin luovuttaen lämpöä varaajaan. Kiertoneste ei siis ole kosketuksissa varaajassa olevan veden kanssa. Lisäksi varaajan sisällä kulkee käyttöveden putki eli käyttövesikierukka. Käyttövesikierukkaan tulee vesijohtoverkostosta kylmää vettä, joka lämpenee varaajassa. Lämmennyt vesi on valmis käytettäväksi esimerkiksi suihkuun. Myöskään käyttöveden putkistossa oleva vesi ei ole kosketuksissa varaajassa olevan veden kanssa. (41.) Varaajassa voi lisäksi olla sähkövastus, joka lämmittää vettä tilanteessa, kun lämmön saanti on estynyt tai ei ole riittävää. Kuvassa 3 esimerkiksi tilanne, kun aurinko ei paista.



KUVA 3. Lämminvesivaraajan toimintaperiaate (42)

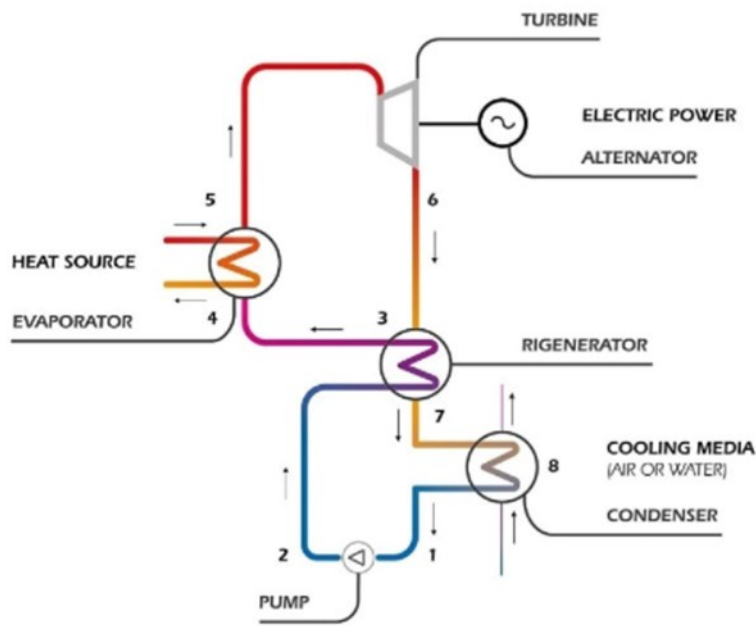
3.7 ORC-tekniikka

Jos hukkalämpöä ei voi hyödyntää omassa käytössä ja myynti on mahdotonta tai kannattamatonta, sillä voidaan tuottaa sähköä (10, s. 24). ORC-prosessi (Organic Rankine Cycle) on perinteisen

Rankine-voimalaitoskiertoprosessin kaltainen prosessi, jossa käytetään kiertoaineena veden sijasta orgaanista ainetta (25, s. 38). ORC-laitoksessa voidaan hyödyntää 80–350 °C:n lämpöä, jolloin sähköntuotannon hyötysuhde on noin 7–30 %. Kun hukkalämpö on alle 100 °C, hyötysuhde laskee alle 10 %:iin. Tällöin investointi on haastavaa saada kannattavaksi. (10, s. 24.) Matalammilla lämpötiloilla pitäisi saada korkeat käyttötunnit, jotta ORC-laitos olisi kannattavaa. Esimerkiksi yli 100 °C:n lämmöllä käyttötuntien tulisi olla vähintään 6000 h/a ja yli 75 °C:n lämmöllä vähintään 8000 h/a (25, s. 60).

ORC-laitoksella tulee huomioida, että se tarvitsee mahdollisimman kylmän lämpönielun. Matalalämpösovelluksissa käytetystä lämmöstä jopa yli 90 % siirretään lämpönieluun niin matalassa lämpötilassa, ettei sille ole enää järkevää hyötykäyttökohdetta. Suuri siirrettävä teho, matala lämpötila ja pienet lämpötilaerot jäähdytysvirtauksessa johtavat suuriin virtauksiin ja tarvitsevat siten suhteellisen suuret pumppauskustannukset. (25, s. 46.)

ORC-prosessissa syöttöpumppu (pump) nostaa nestemäisen kiertoaineen höyrystymisprosessin vaatimaan paineeseen. Tämän jälkeen höyrystin (evaporator) höyrystää kiertoaineen lämmönlähteestä (heat source) saadulla lämpöenergialla. Kuuma paineistettu höyry johdetaan turbiiniin (turbine), jossa se paisuu pienempään paineeseen ja pyörittää samalla generaattoria (alternator/generator) tuottaen sähköä. Matalapaineinen höyry muuttuu nesteeksi lauhduttimessa (condenser). Prosessin hyötysuhdetta voidaan parantaa lisäämällä regeneraattori (regenerator). Se ottaa paisu-neesta höyrystä lämpöä ja esilämmittää sillä syöttöpumpun jälkeen virtaavaa syöttönestettä. (Kuva 4; 25, s. 40.)



KUVA 4. ORC-prosessi (43)

3.8 Lainsäädäntö ja tukipolitiikka

Energiatehokkuutta ja energiansäästöä ohjataan EU:n toimesta direktiivillä ja Suomen valtion toimesta lailla, joka koskee lähinnä suuria yrityksiä. Kunnat ja muut yritykset voivat vapaaehtoisesti parantaa omaa energiankulutustaan. Valtio tukee näitä vapaaehtoisia parannuksia energiatuilla. Avuksi on kehitetty myös ESCO-palvelu.

3.8.1 Energiatehokkuusdirektiivi ja -sopimus

Energiatehokkuusdirektiivi (EU/27/2012) tuli voimaan 4.12.2012. Sillä säädetään EU-tason ja kansallisen tason energiatehokkuustavoitteista, kansallisista energiansäästövelvoitteesta sekä energiatehokkuuden edistämisen toimenpiteistä. (44.) Direktiivi on toimeenpantu energiatehokkuuslailla (1429/2014), joka koskee lähinnä suuria yrityksiä sekä sähkön ja lämmön myyjiä ja jakelijoita (44; 45).

Lisäksi toimeenpanossa on tärkeä osa energiatehokkuussopimusjärjestelmällä (44). Energiatehokkuussopimus on vapaaehtoinen sopimus, johon yritykset ja kunnat saavat liittyä. Samalla ne aset-

tavat omalle energiankäytölleen tehostamistavoitteen. Näillä energiatehokkuussopimuksen tehostamistavoitteilla katetaan merkittävä osa energiatehokkuusdirektiivin mukaisesta Suomea sitovasta energiansäästöavoitteesta. (46.)

3.8.2 Energiatuki

Investointi- ja selvityshankkeisiin voi saada energiataukea Innovaatorahoituskeskus Business Finlandilta (47). Hanke ei ole saanut käynnistyä ennen tukipäätöstä ja tuella pitää olla merkittävä vaikutus hankkeen käynnistämiseen. Tuettavan hankkeen investointikustannuksen tulee olla vähintään 10 000 euroa. (48.)

Tukea voi hakea uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä edistäviin investointihankkeisiin, joissa investoidaan uuteen teknologiaan tai laitokseen tai kyseessä on sellainen vapaaehtoinen korvausinvestointi, jolla lisätään merkittävästi uusiutuvan energian tuotantomäärää tai saavutetaan muu merkittävä myönteinen tavoitteen mukainen energiavaikutus. Tukea voidaan hakea myös energian säästöä, tuotantoa tai käytön tehostamista edistäviin investointi- tai selvityshankkeisiin, joiden tarkoituksena ei ole pakollisen ympäristövelvoitteen saavuttaminen eikä kyse ole pakollisesta energiakatselmuksesta. Lisäksi tukea voidaan hakea muutoin energijärjestelmän muuttamista vähähiiliseksi edistäviin hankkeisiin. (48.)

Vuonna 2022 tukea myönnetään 50 % energiatehokkuussopimukseen liittyviin kuntasektorin, mikroyritysten ja pk-yritysten Motiva-tyyppisiin energiakatselmuksiin. Muihin Motiva-tyyppisiin energiakatselmuksiin- ja analyysiin myönnetään 40 %. Lisäksi investointihankkeisiin myönnetään 20 % energiatehokkuussopimukseen liittyneille yrityksille ja yhteisöille, 25 % kun edellä olevassa käytetään ESCO-palvelua ja 15 % muille kuin energiatehokkuussopimukseen liittyneille yrityksille ja yhteisöille, kun käytetään ESCO-palvelua. (48.)

3.8.3 ESCO-palvelu

ESCO-palvelu on palveluliiketoimintaa, jossa ulkopuolinen energia-asiantuntija toteuttaa asiakasyrityksessä investointeja ja toimenpiteitä energian käytön tehostamiseksi ja energiansäästämiseksi. Asiakkaina toimivat niin julkinen sektori kuin yritykset teollisuudessa ja palvelualalla. Palveluntarjoaja puolestaan voi olla erillinen energiatehokkuuspalveluita tarjoava yritys, ESCO-yritys,

ESCO-toimintaa harjoittava urakoitsija, energiayhtiö tai energiatehokkaita laitteita tai järjestelmiä valmistava ja urakoiva yritys. Palveluntarjoajan hankkima rahoitus voi sisältyä osana kokonaistoimitusta, mutta asiakas voi halutessaan myös itse huolehtia rahoituksesta. Hankkeeseen voi saada valtion investointitukea. Sekä palvelun että investoinnin kustannukset katetaan energiatehokkuusinvestoinnin tuomilla säästöillä. Näin palveluun liittyy takuu syntyvästä energiansäästöstä.
(49.)

4 HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET

Kun mietittiin hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksia kohteessa, luovuttiin pihasulatuksen ajatuksesta, koska pihan kunnossapito ei kuulu Voda Nordic Oy:lle, joten tällä ratkaisulla ei saataisi taloudellista etua. ORC-tekniikkaan ei tässä kohteessa riitä lämmön syntymisen tunnit, joten myös tämä vaihtoehto suljettiin pois. Näin tarkempaan tarkasteluun jäi oman lämmitystarpeen (lämmitys ja lämmin käyttövesi) kattaminen sekä myyminen kaukolämpöön.

Paikalliselta kaukolämpöyhtiöltä tiedusteltiin kiinnostusta hukkalämmön hyödyntämiseen. Koska paine siirtyä vähähiiliseen energiaan on kova, he olivat kiinnostuneita myös pienemmistä lämpömääristä. He haluaisivat lämmön mieluummin kaukolämmön menolinjaan. (50.)

Prosessin tarkemmassa tarkastelussa huomattiin, että lämpöä voidaan ottaa talteen ainoastaan prosessin jäähdytyskierrosta (liite 2). Tämän pohjalta laskettiin jäähdytyskierron teho kaavalla

$$\Phi = \rho q_v C_p \Delta T \quad (\text{KAAVA 2})$$

jossa

Φ = lämmönsiirtimen teho (kW)

ρ = tiheys (kg/m³)

q_v = jäähdytyskierron tilavuusvirta (m³/s)

C_p = ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg, K)

ΔT = kiertonesteen lämpötilaero ennen ja jälkeen lämmönsiirtimen (K) (8, s. 99, 111).

Jäähdytyskierron tehon laskenta löytyy liitteestä 5.

Haasteena on lämmön syntymisen ajankohta: sitä syntyy vain joitakin tunteja päivässä (liite 1). On hyvin epätodennäköistä, että lämmön tarve sattuisi juuri lämmön syntymisen ajankohdalle. Tästä syystä lämmön hyödyntäminen täytyy tehdä varaajan kautta.

4.1 Varaajan mitoitus

Lämmön hyödyntämismahdollisuutta varten täytyi selvittää, mikä on lähtevän nesteen lämpötila lämmönsiirtimen toisiopuolella. Lämmönsiirtimen ensiöpuolella kulkee aine, joka luovuttaa lämmön ja toisiopuolella aine, joka vastaanottaa lämmön. Lämpötilan selvittämistä varten tarvittiin lämmönsiirtimen asteisuus. Asteisuus tarkoittaa ensiöpuolella lämmönsiirtimelle tulevan nesteen ja toisiopuolella lämmönsiirtimeltä lähtevän nesteen lämpötilojen erotusta. Lämmönsiirtimen valmistajalta tiedusteltiin asteisuutta, mutta heillä ei ollut antaa sitä, joten tässä työssä asteisuudeksi valittiin 3 ja sen avulla laskettiin taulukkoon toisiopuolen lämmönsiirtimeltä lähtevän nesteen lämpötilat. Näiden arvojen avulla laskettiin samalla asteisuudella varaajaan saatavat lämpötilat. Lämpötilat löytyvät liitteessä 6.

Energian laskemiseksi tarvittiin ensin käyttökohteen tarvitsema lämpötila. Omaan käyttöön riittää 60 °C. Sillä voidaan tuottaa lämmintä käyttövettä ja lämmitteä pattereita tai lattialämmitystä. Kaukolämmön menolämpötila on 75–115 °C. Lämpötiloja tarkasteltaessa huomattiin, ettei lämpöä voida ottaa talteen koko jäähdätyksen ajalta, koska jäähdätyksen loppupäässä lämpötila laskee niin alas, ettei se sovellu käytettäväksi sellaisenaan minnekään. Kun tiedetään tarvittava lämpötila, voidaan katsoa, mihin asti varaajaan voidaan ladata energiaa, jonka lämpötila riittää käyttökohteen ja arvioida samalla, kuinka kauan jäähdätyksestä voidaan ottaa talteen energiaa. Ladattava energia voidaan laskea kaavalla

$$Q_l = \Phi * t \quad \text{(KAAVA 3)}$$

jossa

Q_l = latausenergia (kWh)

Φ = lämmönsiirtimen teho (kW)

t = latausaika (h) (8, s.111).

Nyt voidaan laskea varaajan koko kaavalla

$$V = \frac{Q_l}{\rho C_p \Delta T} \quad \text{(KAAVA 4)}$$

jossa

V = varaajan tilavuus (m^3)

Q_l = latausenergia (kWh)

ρ = veden tiheys (kg/m^3)

C_p = veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg, K)

ΔT = varaajaan tulevan ja lähtevän lämpötilan erotus (K) (8, s. 107).

Varaajassa syntyy lämpöhäviöitä, joten todellinen varaajasta purettava energia saadaan kaavalla

$$Q_p = Q_l - \text{häviöt} \quad (\text{KAAVA 5})$$

jossa

Q_p = purkuenergia (kWh)

Q_l = latausenergia (kWh)

häviöt = varauksen aikana syntyvät häviöt (kWh).

Edelleen voidaan laskea myös varaajan purkuteho, jos oletetaan, että energia puretaan tasaisesti jokaisella tunnilla silloin kun varaajaa ei ladata. Purkuteho lasketaan kaavalla

$$\Phi_p = \frac{Q_p}{24 h - t} \quad (\text{KAAVA 6})$$

jossa

Φ_p = purkuteho (kW)

Q_p = purkuenergia (kWh)

t = latausaika (h).

Molempien ratkaisujen latausenergian, varaajan koon, purkuenergian sekä -tehon laskenta löytyvät liitteestä 7. Näin ollen omaan käyttöön lämpöä saataisiin vajaa 24 kW ja kaukolämpöön vajaa 6 kW.

4.2 Kaukolämpö

Kaukolämmön mitoituksessa huomattiin, että varaajaan saadaan lämpöä hyvin matalassa lämpötilassa käyttökohteeseen nähden. Toisin sanoen, kun varaajaa aletaan purkamaan, lämpö laskee

hyvin nopeasti alle tarvittavan. Lisäksi lämpöä voi käyttää lähinnä kesäaikaan, kun kaukolämmön tarve on muutenkin vähäisimmillään. Tämän vuoksi kaukolämpöön kannattaisi varaajan lisäksi ottaa lämpöpumppu, jonka avulla lämpötila saataisiin nostettua korkeammaksi ja hukkalämpöä saataisiin hyödynnettyä enemmän. Hyödyntämällä kaikki hukkalämpö kaukolämpöön lämpöpumpun avulla varaajasta saataisiin lämpöä noin 56 kW:n teholla.

Lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen massavirta saadaan kaavalla

$$q_m = \frac{\Phi_0}{\Delta h_0} \quad (\text{KAAVA 7})$$

jossa

q_m = massavirta (kg/s)

Φ_0 = kylmäteho (kW)

Δh_0 = höyrystimen entalpiaero (kJ/kg) (23, s. 27).

Kylmäteho on sama kuin varaajasta saatava purkuteho. Laskennassa on käytetty R134a-kylmäainetta. Kylmäaineen tilapisteiden entalpiat on luettu kyseisen kylmäaineen log p, h -tilapiirroksesta (liite 8). Piirroksia on saatu Coolpack-sovelluksesta (51). Massavirran avulla voidaan laskea kompressorin puristusteho kaavalla

$$P_k = q_m \Delta h_k \quad (\text{KAAVA 8})$$

jossa

P_k = kompressorin puristusteho (kW)

q_m = kylmäaineen massavirta (kg/s)

Δh_k = kompressorin entalpiaero (kJ/kg) (23, s. 27).

Nyt voidaan laskea lämpöpumpun lämpökerroin kaavalla

$$COP_H = \frac{\Phi_0}{P_k} + 1 \quad (\text{KAAVA 9})$$

jossa

COP_H = lämpökerroin

Φ_0 = kylmäteho (kW)

P_k = kompressorin puristusteho (kW). (23, s. 28.)

Lämpökertoimeksi saadaan 1,6. Tämä on minimi keskimääräinen saatava lämpökerroin, joka on saatu oletuksella, ettei lämpöpumpussa ole tulistusta ja alijäähdytystä. Yleensä lämpöpumpussa kuitenkin on tulistus ja alijäähdytys, joten tähän työhön laskettiin toinen keskimääräinen lämpökerroin tulistuksen arvolla 10 K ja alijäähdytyksen arvolla 5 K. Nyt lämpökertoimeksi saatiin 2,7. Liitteestä 8 löytyy lämpökertoimen laskenta.

4.3 Oma käyttö

Otetaan oman lämmitykseen kuluvan energian laskentaan esimerkiksi lattialämmitys. Alla olevalla kaavalla voidaan laskea, kuinka suuren tehon valvomon lämmittäminen lattialämmityksellä vaatisi

$$\Phi = A * q \quad \text{(KAAVA 10)}$$

jossa

Φ = lattialämmityksen teho (kW)

A = lämmitettävä pinta ala (m²)

q = lämpövirran tiheys (kW/m²) (8, s. 111).

Lämmityksen kuluttama energia voidaan laskea kaavan 3 avulla kertomalla lattialämmityksen teho purkuajalla. Lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarvittava energia voidaan laskea kaavan 1 avulla. Lattialämmityksen tehon ja tarvittavan energian sekä lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarvittavan energian laskenta löytyy liitteestä 9. Yhteensä oman lämmitystarpeen kulutus olisi arviolta viidenneksen siitä, mitä varaajasta on purettavissa. Molempien varaajakytkentöjen kytkentäkaaviot löytyvät liitteestä 10.

5 YHTEENVETO

Työssä oli tarkoitus selvittää kemiallisessa prosessissa syntyvän hukkalämmön hyödyntämismahdollisuudet. Kokonaishukkalämpö on kohtuullisen suuri, mutta tarkemmassa tarkastelussa huomattiin, että lämpöä voidaan ottaa talteen ainoastaan jäähdytyskierrosta ja osa lämmöstä on jo tässä vaiheessa poistunut prosessista. Työssä siis laskettiin jäähdytyskierron teho ja siitä edelleen jäähdytysajan perusteella saatava energia. Koska lämpö syntyy melko lyhyellä aikajaksolla, on hyvin epätodennäköistä, että sille löytyisi kulutuskohde juuri samalle hetkelle. Tämän vuoksi kulutuskohteille mitoitettiin varaajat sekä laskettiin varaajasta saatava energia.

Lopputulena omien tilojen ja käyttöveden lämmitykseen lämpöä syntyy moninkertaisesti tarvetta enemmän. Oma kulutus on hyvin pientä, joten voi olla, että investoinnin tuoma säästö on niin vähäinen, että se ei maksaisi investointia takaisin järkevällä aikavälillä. Kaukolämpöön puolestaan lämpötila ja lämpömäärä ovat niin vähäiset, että investoinnin tuomat tuotot eivät todennäköisesti maksaisi itseään takaisin järkevällä aikavälillä. Kaukolämpöön voisi lisäksi ottaa lämpöpumpun, jotta suurempi osa hukkalämmöstä saadaan hyödynnettyä.

Koska kaikkia lähtötietoja ei ollut saatavilla, laskuissa täytyi tehdä joitain oletuksia ja arvioita. Nämä saattavat vaikuttaa tuloksiin. Lämmönlähteelle eli rautasulfaatile ei löytynyt ominaislämpökapasiteettia, joten se jouduttiin laskemaan raaka-aineiden massasuhteiden avulla. Tällä tavoin saatiin suuntaa antava arvo. Jos lämmönsiirtimen asteisuus taas on jotain muuta kuin valittu, kaukolämpöön syötettävä lämpömäärä ja lämpötila voivat olla suurempia tai pienempiä kuin tuloksissa.

Opinnäytetyö oli kiinnostava ja riittävän laaja. Työskentelyä helpotti se, että prosessi oli tuttu kesäteiden parista, joten sen sisäistämisessä ei mennyt aikaa. Seuraavaksi työstä voisi tehdä lisätutkimuksen, jossa todennetaan laskemalla, onko lämmön hyödyntäminen kaukolämpöön lämpöpumpun avulla kannattavaa. Myös omaan käyttöön hyödynnettävän lämmön kannattavuuden voisi jatkoselvityksellä todentaa laskemalla.

LÄHTEET

1. Voda Nordic Oy 2021. Tarinamme. Hakupäivä 7.5.2022. <https://vodanordic.com/tarina/>.
2. Voda Nordic Oy 2021. Vesikemikaalit. Hakupäivä 7.5.2022. <https://vodanordic.com/tuotteet/>.
3. Voda Nordic Oy. 2021. Palvelut. Hakupäivä 7.5.2022. <https://vodanordic.com/palvelut/>.
4. Lindberg, Pertti 2022. Tuotannonvastaava. Voda Nordic Oy. Haastattelu 17.3.2022.
5. Niemi, Heikki 2022. Käyttömestari. Voda Nordic Oy. Haastattelu 17.3.2022.
6. Aluehallintovirasto. Päätös 293/2019. Hakupäivä 3.2.2022. <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/1659844>.
7. Vaasan hallinto-oikeus 2021. Diaarinumero 00132/20/5104 00136/20/5104. Hakupäivä 1.2.2022. https://oikeus.fi/material/collections/20211110084642/7UhyGpUGf/Vaasan_hallinto-oikeuden_paatos_10.11.2021_nro_21_0139_3_valitus_ymparistolupa-asiassa_Kokkola.pdf.
8. Tekniikan kaavasto. Tammertekniikka. 17. painos.
9. Motiva Oy. Pientalon lämmitysjärjestelmät. Hakupäivä 14.5.2022. <http://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>.
10. Motiva Oy 2019. Ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa. Esiselvitys. Hakupäivä 25.1.2022. https://www.motiva.fi/files/16214/Esiselvitys_-_Ylijaaamalammon_potentiaali_teollisuudessa.pdf.
11. Motiva Oy 2013. Tuotannon hukkalämpö hyödyksi. Hakupäivä 25.1.2022. https://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon_hukkalampo_hyodyksi.pdf.
12. Motiva 2021. Vesikiertoinen lämmitys – ylläpito ja säätö. Hakupäivä 5.5.2022. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/kodin_saatolaitteet/vesikiertoinen_lammitys_-_yllapito_ja_saato.
13. Lämmitysenergia yhdistys. Lämmönsäätimet. Hakupäivä 5.5.2022. <https://www.ley.fi/tieto-lammityksesta/lammonsaatimet/>.
14. Numelin, Allan 2021. Tämä pitää tietää, ennen kuin asennat lattialämmityksen. Tee itse. Hakupäivä 5.5.2022. <https://teetse.com/saasta-energiaa/lammitys/lattialammitys/tama-pitaa-tietaa-ennen-kuin-asennat-lattialammituksen>.
15. Hogkvist, Mia 2014. Kannattaako valita lattialämmitys vai patterilämmitys? Purmo. Hakupäivä 5.5.2022. <https://www.cleverheating.fi/kannattaako-valita-lattialammitys-vai-patterilammitys/>.

16. Warmup 2016. Opas lattialämmityksen lämmön tuotantoon. Hakupäivä 12.5.2022. <https://www.warmup.fi/blog/lattialammituksen-lammon-tuotantoon>.
17. Motiva 2022. Lämmin käyttövesi. Hakupäivä 5.5.2022. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi.
18. THL 2021. Legionellan kasvuun vaikuttavat tekijät. Hakupäivä 14.5.2022. <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/legionellabakteerit-vesijarjestelmissa/legionellan-kasvuun-vaikuttavat-tekijat>.
19. Energiatehokas koti 2020. Käyttövesi. Hakupäivä 5.5.2022. https://www.energiatehokas-koti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/kayttovesi.
20. Rakentaja.fi. Bruttoala. Hakupäivä 5.5.2022. https://www.rakentaja.fi/sanasto/brutto-ala_165.htm.
21. Kirjavainen, Miikka, Kivikoski, Harri, Ritola, Jouko & Sipilä, Kari 2001. Liikenne- ja yleisten alueiden sulanapitojärjestelmät. Energiatalous ja tekninen toteutus. VTT. Espoo: Otamedia OY. Hakupäivä 28.1.2022. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2001/T2113.pdf>.
22. Warmia. Ulkoalueiden sulanapitojärjestelmä tuo mukavuutta arkeen. Hakupäivä 15.2.2022. <https://warmia.fi/lattialammitys/sulanapitojarjestelma/>.
23. Hirvelä, Aulis, Jokela, Matti, Kaappola, Esko & Kianta, Jani 2012. Kylmätekniiikan perusteet. 8. painos. Opetushallitus. Helsinki: PunaMusta Oy.
24. Juvonen, Janne 2009. Lämpökaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas. Hakupäivä 1.2.2022. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38833/YO_2009_Lampo-%20kaivo_26_4_2011.pdf?sequence=1.
25. Kataikko, Matti & Maaskola, Ilkka 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen. Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset. Motiva Oy. Hakupäivä 28.1.2022. https://www.motiva.fi/files/10217/Ylijaaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu-ja_ORC-sovellukset.pdf.
26. Oilon. Oilon ChillHeat P30 – P450 -teollisuuslämpöpumppu. Hakupäivä 25.1.2022. <https://oilon.com/fi/products/oilon-chillheat-p-30-p-450-teollisuuslampopumppu/>.
27. Finess. Teollisuuslämpöpumput. Hakupäivä 25.1.2022. <https://finess.fi/laitteet/lampopumput/teollisuuslampopumput/>.
28. Vero 2021. Sähkön ja eräiden polttoaineiden vero. Hakupäivä 25.1.2022. <https://www.vero.fi/yriytykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/sahkovero/>.

29. Sirola, Veli-Pekka & Tiitinen, Mirja 2018. Hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämpöjärjestelmässä. Tekniset toimintaohjeet verkkoon liittämisestä. Energiateollisuus ry. Hakupäivä 31.1.2022. https://energia.fi/files/3127/Hukkalammot_kaukolampoverkkoon_tekniset_ohjeet_20181016.pdf.
30. Helen. Kaukolämpölaitteet. Hakupäivä 28.2.2022. <https://www.helen.fi/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/nykyisille-asiakkaille/kaukolampolaitteet>.
31. Huhtinen, Markku, Kettunen, Arto, Nurminen, Pasi & Pakkanen, Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. 5. uusittu painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
32. Energiateollisuus ry. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2020. Hakupäivä 8.2.2022. https://energia.fi/files/5423/JulkaistuK1_2020_Energiateollisuus_ry_%28paiv.20201119%29.pdf.
33. Energiateollisuus ry. Kaukolämmön yleiset sopimusehdot. Suositus T1/2017. Hakupäivä 8.2.2022. https://energia.fi/files/1796/Suositus_T1_2017_Kaukolammon_yleiset_sopimusehdot.pdf.
34. Energiateollisuus ry 2019. Lämmön osto ja kaksisuuntainen lämpökauppa. Ohje. Hakupäivä 8.2.2022. https://energia.fi/files/3817/Lammon_ostoa_ja_2suuntaista_kaupaa_koskeva_ohje_lopullinen_20190521.pdf.
35. IRENA 2013. Thermal Energy Storage. Hakupäivä 27.1.2022. <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2013/IRENA-ETSAP-Tech-Brief-E17-Thermal-Energy-Storage.pdf>.
36. Lehto-Peippo, Liisa 2003. Kaukolämpöakku kuin termospullo. Kaleva 25.2.2003. Hakupäivä 1.2.2022. <https://www.kaleva.fi/kaukolampoakku-kuin-termospullo/2151353>.
37. Alanen, Raili, Hukari, Sirpa, Koljonen, Tiina & Saari, Pekka 2003. Energian varastoinnin nykytila. Espoo: VTT. Hakupäivä 27.1.2022. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf>.
38. Kara, Reijo 1987. Energian varastointi. Espoo: Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry.
39. Energiateollisuus ry 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Kirjapaino Libris Oy.
40. Raatikainen, Sami 2015. Kaukolämpöakkuinvestoinnin teknistaloudellinen selvitys. Savonia-ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 1.2.2022. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/88089/Kaukolampoakkuinvestoinnin%20teknis-taloudellinen%20selvitys.pdf?sequence=1>.
41. Motiva Oy 2020. Varastointi vesivaraajaan. Hakupäivä 9.5.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelman_kaytto/aurinkolammon_varastointi/varastointi_vesivaraajaan.

42. Ympäristöenergia. AKVA SOLAR 1000 (2 x LK35 + AK12) 3 bar. Hakupäivä 9.5.2022. <https://www.energiakauppa.com/AKVA-SOLAR-1000>.
43. Turboden. ORC-system. Hakupäivä 4.2.2022. <https://www.turboden.com/products/2463/orc-system>.
44. Työ- ja elinkeinoministeriö. Energiatehokkuusdirektiivi ja energiaterhokkuuslaki. Hakupäivä 3.2.2022. <https://tem.fi/energiaterhokkuusdirektiivin-toimeenpano>.
45. Energiaterhokkuuslaki 1429/2014. Hakupäivä 30.5.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141429>.
46. Motiva Oy 2020. Energiaterhokkuussopimukset. Hakupäivä 3.2.2022. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/energiaterhokkuussopimukset>.
47. Työ- ja elinkeinoministeriö. Energiatuki. Hakupäivä 3.2.2022. <https://tem.fi/energiatuki>.
48. Business Finland. Energiajärjestelmä vähähiilisemmäksi. Hakupäivä 3.2.2022. <https://www.businessfinland.fi/energiatuki>.
49. Motiva Oy 2021. Energiaterhokkuus- ja ESCO-palvelut. Hakupäivä 3.2.2022. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiaterhokkuus- ja esco-palvelut>.
50. Söderström, Jani 2022. Kaukolämpöpäällikkö. Kokkolan energia. Puhelinkeskustelu. 3.5.2022.
51. IPU 2022. Coolpack. Hakupäivä 19.5.2022. <https://www.ipu.dk/products/coolpack/>.