



Hukkalämmön hyödyntäminen vetytuotantolaitoksessa

Teemu Mäkinen

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2023

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
LVI-talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
LVI-talotekniikka

MÄKINEN, TEEMU:
Hukkalämmön hyödyntäminen vetytuotantolaitoksessa

Opinnäytetyö 21 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Kesäkuu 2023

Tämä opinnäytetyö tehtiin Sweco Finland Oy:n toimeksiannosta. Opinnäytetyön tavoitteena tuottaa yritykselle opas, jossa on selvitetty vetytuotantoprosessissa syntyvän hukkalämmön hyödyntämisen prosessia ja termejä suunnittelijoiden tueksi tulevaisuuden projekteihin.

Opinnäytetyö pohjautuu kirjallisuusselvityksessä koottuihin tietoihin. Selvityksessä käytettiin pääasiassa tieteellisiä tutkimuksia, artikkeleita ja kirjoja.

Työn alussa tutustutaan vetytalouteen, vihreään vetyyn sekä päällisin puolin vedyn tuotantoon alkali- ja PEM-elektrolyysillä. Tämän jälkeen tutustutaan lämpöpumpun toimintaan ja mitoitukseen liittyviin kaavoihin ja termeihin.

Tutkimusosassa käydään läpi esimerkkikohteen lämmöntalteenottojärjestelmä hyödyntäen teoriaosuudessa läpikäytyjä kaavoja. Tutkimusosassa käy myös ilmi, että hukkalämmön hyödyntäminen ei aina ole yritykselle rahallisesti kannattavaa. Tässä opinnäytetyössä käytetty luottamuksellinen materiaali on poistettu.

Avainsanat: hukkalämpö, lämmöntalteenotto, lämpöpumppu, vetytalous, elektrolyysi

ABSTRACT

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

MÄKINEN, TEEMU:
Utilization of Waste Heat in the Hydrogen Production Plant

Bachelor's thesis 21 pages, appendices 0 pages
June 2023

This thesis was commissioned by Sweco Finland Oy. The purpose of the thesis was to produce a guide for the company that explains the process and terms of waste heat utilization in hydrogen production process to support the designers in future projects.

The information used in this thesis was gathered in a literature study. The literature study mainly used scientific studies, articles and books

The theoretical section explores the hydrogen economy, green hydrogen and in general, hydrogen production by alkali and PEM electrolysis. After this, we will familiarize ourselves with the formulas and terms related to the operation and dimensioning of the heat pump.

In the research part, the heat recovery solutions of an example site will be presented, as well as the calculations for dimensioning the heat pump from the formulas in the theory part. The confidential material used in this thesis has been removed.

The results of this thesis shows that waste heat utilization is not always financially beneficial.

Key words: heat recovery, waste heat, heat pump, hydrogen economy, electrolysis

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	VETY	7
	2.1 Vetytalous	7
	2.2 Vedyn eri värikoodit.....	9
	2.3 Vedyn tuotanto	9
	2.3.1 Alkalielektrolyysi	9
	2.3.2 PEM-elektrolyysi.....	9
3	LÄMPÖPUMPPU	11
	3.1 Rakenne ja toimintaperiaate	11
	3.2 Lämpöpumppu lämmöntalteenotossa	12
4	ESIMERKKIKOHDE.....	16
5	POHDINTA	19
	LÄHTEET.....	20

ERITYISSANASTO

COP	Coefficient Of Performance, energiatehokkuus
COP_{φ}	Lämpöpumpun lämpökerroin
COP_{ε}	Lämpöpumpun kylmäkerroin
MW	Megawatti
PEM	Protone Exchange Membrane, protoninvaihtokalvo

1 JOHDANTO

Energiamurroksen ja ilmastotavoitteiden vuoksi uusiutuvien energialähteiden käyttö tulee lisääntymään lähitulevaisuudessa. Tuuli- ja aurinkoenergian käyttö on jo yleistynyt, mutta näiden molempien suurin haaste on tuotannon ennustettavuus. Kulutushuippujen aikana uusiutuvista energialähteistä ei aina saada tarvittavaa määrää energiaa. Päinvastoin kulutuksen ollessa matalalla voi ylimääräistä energiaa olla tarjolla. Tätä ylimääräistä energiaa voidaan varastoida esimerkiksi vetyyn veden elektrolyysillä, jossa vesimolekyyli pilkotaan vedyksi ja hapoksi sähkövirran avulla.

Suomessa onkin nyt alettu rakentamaan vetytuotantolaitoksia, jonka takia Sweco Finland Oy:lle on tullut tarvetta oppaalle, jossa on selvennetty hukkalämmön hyödyntämisen prosessin kulkua ja termistöä helpottamaan ja nopeuttamaan tulevaisuuden projektien kulkua. Tässä opinnäytetyössä keskitytään vain vetytuotantolaitoksissa hyödynnettävän hukkalämmön prosessiin.

Teoriaosuudessa perehdytään vetytalouteen, vihreään vetyyn ja lyhyesti vedyn tuotantoprosessiin alkali- ja PEM-elektrolyysillä. Tämän jälkeen perehdytään lämpöpumpun toimintaperiaatteeseen ja rakenteeseen sekä mitoituksessa tarvittaviin kaavoihin sekä termeihin.

Tutkimusosassa käydään läpi esimerkkikohteen lämmöntalteenottoa hyödyntäen teoriaosassa läpikäytyjä kaavoja esimerkkilaskujen avulla.

2 VETY

2.1 Vetytalous

Vetytaloudella tarkoitetaan energiataloutta, jossa vetyä käytetään sekä energialähteenä ja energiavarastona. Vetytalouden tarkoitus on edistää fossiilisista polttoaineista siirtymistä sähköön ja uusiutuviin energialähteisiin. Vetytaloudella tavoitellaan hiilidioksidipäästöjen vähentämistä aloilla, joilla muiden keinojen käyttö on erityisen haasteellista (Työ- ja elinkeinoministeriö 2022). Vety astuu sähköistämisen kautta kuvaan muun muassa liikenteessä, lämmöntuotannossa ja teollisessa tuotannossa, joiden tämänhetkiset negatiiviset ilmastovaikutukset ovat isoja (Mitä on vetytalous... n.d.).

Vetyä voidaan hyödyntää monipuolisesti teollisuudessa, liikenteessä ja energiasektorilla, koska se tarjoaa puhtaan ja vähähiilisen energian lähteen. Vetyä voidaan polttaa suoraan energiaksi ja sitä on kemiallisesti sitoutuneena useimmissa yhteiskunnan materiaalivirroissa. Tämän vuoksi vedyllä on monta erilaista käyttömahdollisuutta. (Sivill, ym., 2022a).

Tänä päivänä vetyä käytetään pääasiassa kemianteollisuudessa ammoniakkin ja metanolin tuotannossa sekä öljynjalostuksessa. Yli 99 prosenttia käytetystä vedystä tuotetaan reformoimalla fossiilisista polttoaineista, mikä aiheuttaa noin kaksi prosenttia maapallon vuosittaisista hiilidioksidipäästöistä. (Vartiainen, E. Vetytalous tulee) Tulevaisuudessa vetyä voidaan käyttää myös raudan ja teräksen valmistuksessa sekä muilla teollisuuden aloilla esimerkiksi polttoaineena korkean lämpötilan saavuttamiseksi. (Sivill, ym., 2022b).

Energiasektorin osuus maailman kasvihuonekaasujen kokonaispäästöistä on noin 75 %. Vähähiilisiä energiankantajia, kuten vetyä, pidetään välttämättöminä mahdollistamaan pois siirtymistä fossiilisista energialähteistä. Näin ollen vetytalous on keskeisessä osassa maailman hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. (Zhang, Uratani, Huang, Xu, Griffiths & Ding 2023, 1.)

Jotta ilmastotavoitteisiin päästäisiin, tulee kasvihuonepäästöjä vähentää myös liikenteen osalta. Fortumin julkaiseman artikkelin mukaan (Fortum n.d.). ”Liikenne muodostaa Suomen päästöistä noin viidenneksen, josta henkilöautoliikenteen

osuus on lähes puolet.” Joten siirtymällä fossiilisia polttoaineita käyttävistä ajoneuvoista sähköisiin ajoneuvoihin on paras keino saavuttaa liikenteen hiilineutraalisuus.

Vedyllä on useita kilpailuetuja varsinkin pitkien matkojen ja raskaan liikenteen vaatimaan energiantarpeeseen. Vedyn nopeamman tankkauksen ja korkean energiasisällön vuoksi, sillä on parempi kantomatka verrattuna sähköiseen ajoneuvoon. Vetyä voidaan käyttää suoraan autojen polttokennoissa, joissa vety reagoi hapen tuottaen sähköä ja vettä. Polttokennoilla on korkeampi hyötysuhde, kuin polttomoottoreilla. Polttokennoilla sen ollessa noin 60 % ja polttomoottoreilla alle 30 % (Fortum n.d.).

Vedyn suurimpia haasteita ovat varastointi ja siirto. Vaikka vedyn energiasisältö on massayksikköä kohden erittäin hyvä, sen pienen tiheyden takia tilavuuteen suhteutettu energiatiheys on erittäin pieni. Tästä syystä vedyn kaasumaisena varastoisessa tarvitaan erittäin korkeaa painetta. Nestemäisenä varastoituna vety tulee jäähdyttää -253 °C lämpötilaan. Säiliö vaatii myös jatkuvaa jäähdytystä, jotta vety ei muutu takaisin kaasumaiseksi. (Motiva n.d.).

Lupaavimpia vedyn varastointipaikkoja ovat maanalaiset suolaesiintymät. Tänä päivänä maailmassa kyseisiä esiintymiä käytetään vedyn varastoinnissa vain kuudessa paikassa, kun taas maakaasua säilötään tuhansissa luolissa. Vetyä voidaan myös varastoida kallioluoliin, tai ammoniakkinä. Parhaiten pienien määrien varastointiin soveltuu paineistetut säiliöt. (Vartiainen, E. Vetytalous tulee).

Kun pitää kuljettaa suuria määriä vetyä, on paras tapa maakaasun tapaan kaasuputket. Vaikka maakaasuputkia löytyy jo valmiiksi eivät ne täysin sovellu vedyn siirtoon, koska vedyn tulee olla korkeassa paineessa. Vedyn kuljetukseen voidaan käyttää myös laivoja tai rekkoja, mutta ne ovat selvästi kalliimpia ratkaisuita, kuin kaasuputkisto. (Vartiainen, E. Vetytalous tulee)

2.2 Vedyn eri värikoodit

Vety on koko universumin yleisin alkuaine ja sen palamistuote on vesihöyry. Vetyä voidaan valmistaa monella eri tavalla, joista osa ovat puhtaampia, kuin toiset. Vety jaotellaan eri väriluokkiin, joka perustuu sen tuotantotapaan. Tässä opinnäytetyössä käydään läpi vain veden alkali- ja PEM-elektrolyysiin.

Vihreäksi vedyksi kutsutaan vetyä, jota valmistetaan veden elektrolyysillä uusiutuvia energialähteitä käyttäen. Elektrolyysissä vapautuu vain happea ja lämpöä, minkä takia sitä kutsutaan puhtaaksi energialähteeksi. Keltaiseksi vedyksi kutsutaan vetyä, joka tuotetaan veden elektrolyysillä, mutta kokonaan uusiutuvien energialähteiden sijaan käytetään myös verkkosähköä. Kun vetyä tuotetaan täysin ydinvoimalla, puhutaan pinkistä vedystä. Sininen vety tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla, johon on yhdistetty hiilidioksidin talteenotto. Vetyä, joka on tuotettu täysin fossiilisella polttoaineella ilman hiilidioksidin talteenottoa, kutsutaan harmaaksi vedyksi (Sillanpää & Heiska 2022; Fränti n.d.).

2.3 Vedyn tuotanto

2.3.1 Alkalielektrolyysi

Alkalielektrolyysi on perinteinen teknologia ja se on laajamittaisesti käytössä ja sitä kehitetään edelleen (Kauranen, ym., 2013a). Alkalielektrolyysi koostuu yleensä kahdesta eri elektrodista, anodista ja katodista, jotka ovat upotettu alkaliiseen liuokseen. Tässä järjestelmässä tarvitaan kalvo näiden kahden elektrodin väliin, joka estää vedyn ja hapen uudelleen yhdistymisen.

2.3.2 PEM-elektrolyysi

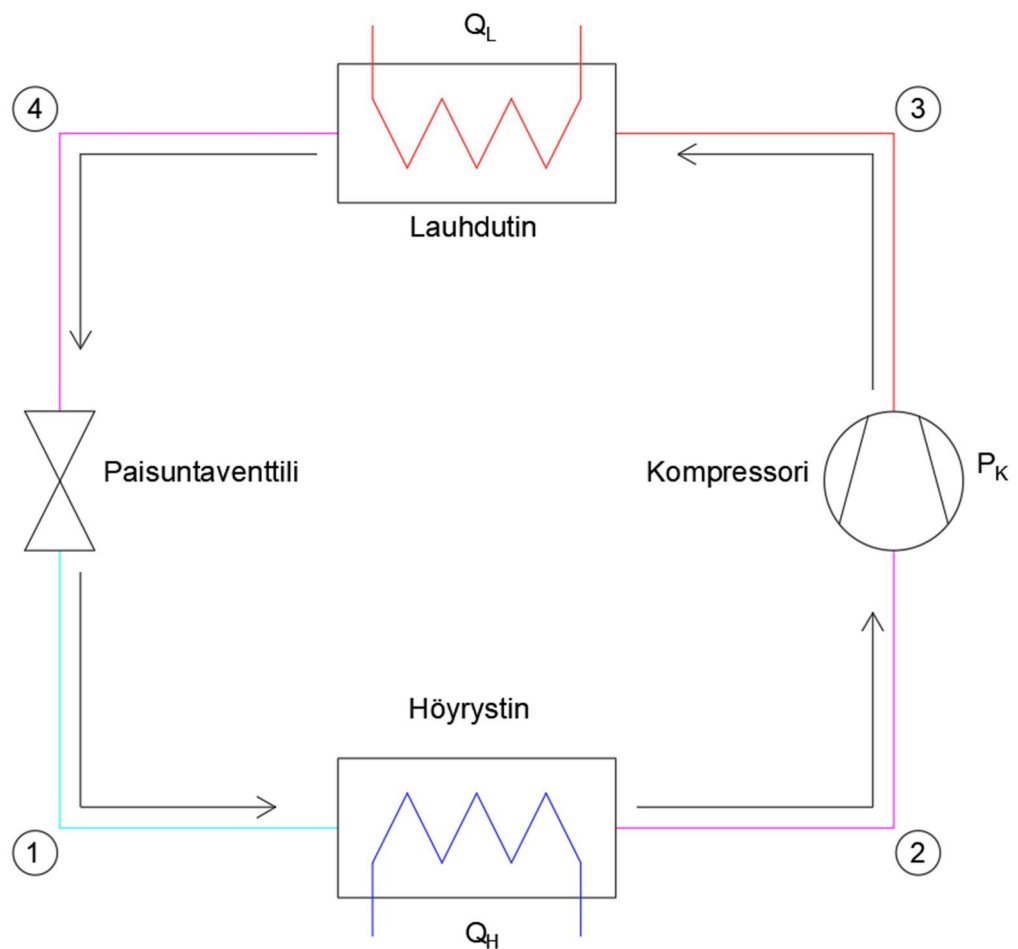
PEM-elektrolyysi, eli polymeerielektrolyysi, on alkalielektrolyysiä uudempi teknologia, jonka katsotaan sopivan paremmin pieniin laitoksiin sillä sen virrantiheydet ovat suurempia, joten laitoksen fyysinen koko on pienempi. PEM-elektrolyysi sopii paremmin vaihtuvien kuormien, kuten aurinko- ja tuulienergioiden yhteyteen. (Kauranen, ym., 2013.b)

PEM-elektrolyysi koostuu anodista ja katodista sekä polymeerielektrolyyttikalvosta, joka erottaa anodin ja katodin toisistaan. (Zhang, L. ym., 2020.) PEM-solussa ei ole nestemäistä elektrolyyttiä sellaisenaan vaan kennossa kiertää deionisoitu vesi. Solun keskuskomponentti on ohut, vain noin 0,2 mm paksu protonijohtava polymeerielektrolyyttikalvo. Tällainen kalvo on erittäin kompakti ja veden pilkkomisen tehokkuus on korkea (Godula-Jopek, 2015).

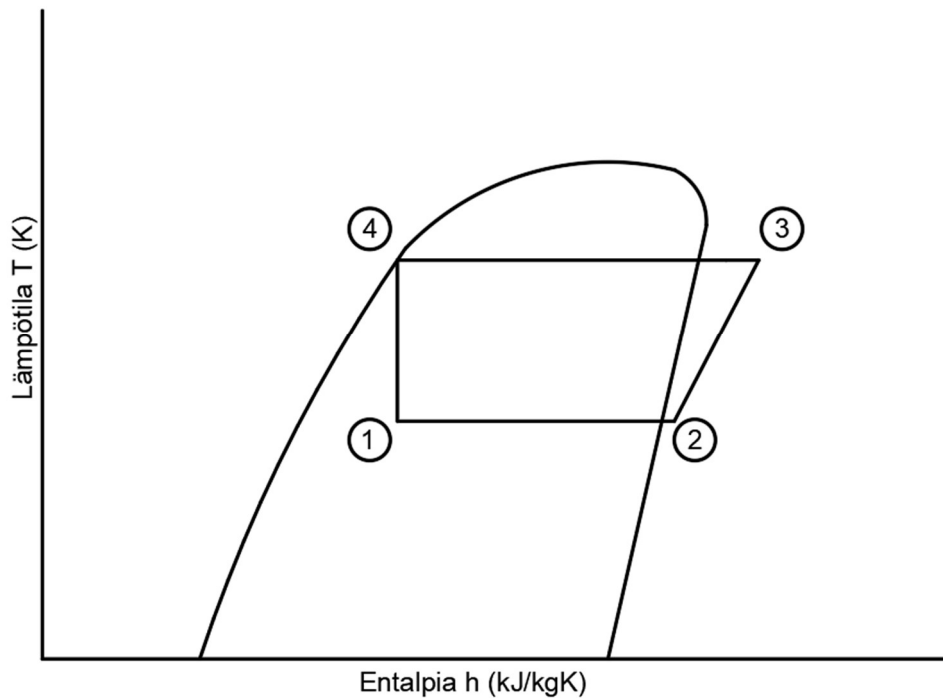
3 LÄMPÖPUMPPU

3.1 Rakenne ja toimintaperiaate

Lämpöpumppu koostuu kompressorista, paisuntaventtiilistä, putkistossa kiertävästä kylmäaineesta sekä kahdesta lämmönsiirtimestä, joista käytetään nimityksiä höyrystin ja lauhdutin. Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen suljettuun kiertoon lauhduttimen ja höyrystimen välillä. Kuvassa 1 (KUVA 1) esitetty lämpöpumpun kiertoprosessi sekä kuvassa 2 (KUVA 2) esitetty prosessin log p (h) -diagrammi



KUVA 1 Lämpöpumpun kiertoprosessi lähteestä (Sadjjadi, Gerdes & Sauer 2023)



KUVA 2 lämpöpumpppuolosin log p (h) -diagrammi

Kylmäaineen höyrystyminen tapahtuu pisteiden 1 ja 2 välissä olevassa lämmönvaihtimessa, josta käytetään nimitystä höyrystin. Höyrystimessä kylmäaineeseen sitoutuu lämpöenergiaa Q_H , jolloin kylmäaine höyrystyy. Pisteiden 2 ja 3 välissä kompressori puristaa kylmäaineen pienempään tilaan, jolloin sen paine ja lämpötila nousevat. P_K on kompressorin käyttämä sähköteho. Kylmäaineen lauhtuminen tapahtuu pisteiden 3 ja 4 välissä, jossa kylmäaine luovuttaa lämpöä Q_L . Pisteiden 4 ja 1 välissä kylmäaineen paine laskee paineenalennusventtiilissä ja kylmäaineen kierto alkaa uudelleen.

3.2 Lämpöpumppu lämmöntalteenotossa

Lämpöpumpuilla on suuri energiansäästöpotentiaali varsinkin teollisuuden prosesseissa. Lämpöpumput ovat ainoa lämmöntalteenottojärjestelmä, jolla hukkalämmön lämpötilaa saadaan nostettua. (Holland, Watson & Devotta 1982.) Tämän vuoksi lämpöpumpuilla kerättyä hukkalämpöä voidaan hyödyntää esimerkiksi kaukolämmössä, jossa menoveden lämpötila on 90 °C tai vaihtoehtoisesti teollisuuden prosesseissa, joissa tarvitaan korkeita lämpötiloja.

Lämpöpumpun lämpökerroin eli COP-luku, kertoo tuotetun lämpö- tai jäädytysenergian ja käytetyn sähköenergian suhteen. COP-luku tarkoittaa siis samaa

asiaa, kuin lämpö- ja kylmäkerroin. Lämpökerroin lasketaan kaavalla 1 ja kylmäkerroin kaavalla 2

$$COP_{\varphi} = \frac{Q_L}{P_K} \quad (1)$$

Jossa,

Q_L = Tuotettu lämpöteho

P_K = Kompressorin käyttämä teho

$$COP_{\varepsilon} = \frac{Q_H}{P_K} \quad (2)$$

Jossa,

Q_H = Tuotettu jäähdytysteho

P_K = Kompressorin käyttämä sähköteho

Lämpöteho kertoo lämpöpumpun kyvystä luovuttaa lämpöenergiaa ympäristöönsä. Lämpötehon laskennassa entalpia erona käytetään lauhtuttimessa tapahtuvan lämpöenergian muutosta, jotka ovat kuvassa 2 (KUVA 2) pisteet 3 ja 4. Laitteiston lämpöteho lasketaan kaavalla 3.

$$Q_H = q_m * (h_4 - h_3) \quad (3)$$

Jossa,

q_m = Kylmäaineen massavirta (kg/s)

h_3 ja h_4 = Entalpia pisteessä 3 ja 4 (kJ/kg)

Kylmäteho kertoo lämpöpumpun kyvystä sitoa lämpöenergiaa ympäristöstä. Kylmätehon laskennassa entalpia erona käytetään höyrystimessä tapahtuvan lämpöenergian muutosta, jotka ovat kuvassa 2 (KUVA 2) pisteet 1 ja 2. Laitteiston kylmäteho lasketaan kaavalla 4.

$$Q_H = q_m * (h_2 - h_1) \quad (4)$$

Jossa,

q_m = Kylmäaineen massavirta (kg/s)

h_1 ja h_2 = Entalpia pisteessä 1 ja 2 (kJ/kg)

Kompressorin hyötysuhde kertoo kuinka tehokkaasti kompressori muuttaa sen käyttämän sähkötehon, mekaaniseksi työksi. Kompressorin hyötysuhde η lasetaan kaavalla 5

$$\eta = \frac{P_A}{P_K} \quad (5)$$

Jossa,

P_A = Kompressorin antoteho

P_K = Kompressorin käyttämä teho

Lämpöpumpun kompressorin tehontarpeen W , voi laskea myös entalpiaeroa käyttämällä kaavalla 6. Lauhduttimen entalpiaerona käytetään kuvan 2 (KUVA 2) pisteitä 3 ja 4. Höyrystimen entalpiaerona käytetään pisteitä 2 ja 1.

$$W = \frac{\Delta h_L - \Delta h_H}{\eta} \quad (6)$$

Jossa,

Δh_L = Lauhduttimen entalpiaero (kJ/kg)

Δh_H = Höyrystimen entalpiaero (kJ/kg)

η = Kompressorin hyötysuhde

Kaava 6 auki kirjoitettuna on kaavan 6.1 mukainen.

$$W = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{\frac{P_A}{P_K}} \quad (6.1)$$

Jossa,

h_3 ja h_4 = Entalpia pisteessä 3 ja 4 (kJ/kg)

h_1 ja h_2 = Entalpia pisteessä 1 ja 2 (kJ/kg)

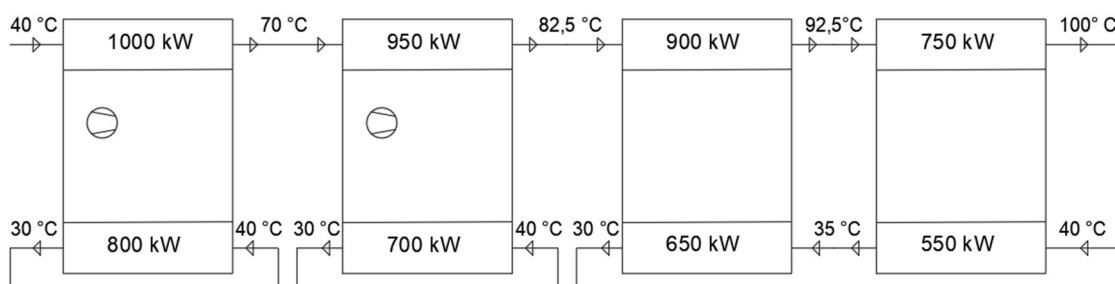
P_A = Kompressorin antoteho

P_K = Kompressorin käyttämä teho

4 ESIMERKKIKOHDE

Esimerkkikohde on uusi vetytuotantolaitos, jossa tuotetaan vihreää vetyä tuuli-voimalla tuotetusta sähköstä. Vedyn tuotannossa sivutuotteena tulevalle hapelle löytyi asiakkaita viereisen teollisuusalueen toimijoita, jo hankkeen esisuunniteluvaiheessa. Toisena sivutuotteena syntyvää hukkalämpöä oli alkuperäisesti tarkoitus hyödyntää kyseisen kaupungin kaukolämpöverkostossa sekä kiinteistön LVI-järjestelmien tarpeeseen.

Tuotantolaitoksessa on kaksi elektrolyysimoduulia, joissa on lämpöpumpuilla toteutettu lämmöntalteenotto- ja jäähdytysjärjestelmä, jolla hukkalämmöstä tuotetaan kuumaa vettä kaukolämpöverkkoon ja kiinteistön LVI-järjestelmien tarpeisiin. Alla olevassa kuvassa 3 (KUVA 3) on esitetty lämpöpumppukaavio. Kaavion arvoja on muutettu materiaalin luottamuksellisuuden vuoksi.



KUVA 3. Lämpöpumppukaavio.

Kaavion ylemmällä rivillä on lauhdutuspuolen putkisto, jossa vasemmalta tuleva lämmitysverkoston paluuveden lämpötila on 40 °C. Tällä lämpöpumppujärjestelmällä vettä voidaan lämmittää aina 100 °C asti. Alemmalla rivillä on höyrystinpuoli, eli elektrolyysien jäähdytysverkosto, jossa noin 40 °C asteista paluuvettä jäähdytetään 30 °C lämpötilaan. Kesällä, jolloin lämmöntarvetta ei ole, ylimääräinen hukkalämpö lauhdutetaan ilmaan.

Lämpöpumppuja on 4 kappaletta, joiden yhteenlaskettu lämpöteho on 3600 kW ja jäähdytysteho 2700 kW. Näin ollen kompressorin tehontarve lasketaan kaavalla 6.1, jossa entalpiaerojen tilalla voidaan käyttää lämpö- ja jäähdytystehoja. Kompressorin hyötysuhteena oletetaan olevan 0,9, eli jokaista kompressorin

käyttämää kilowattia kohden, sen tuottama teho on 0,9 kW. Kompressorin tehontarve laskettu kaavassa 7.

$$W = \frac{3600 \text{ kW} - 2700 \text{ kW}}{0,9} = 1000 \text{ kW} \quad (7)$$

Lämpöpumpun lämpökerroin, eli COP_φ-luku, joka kertoo tuotetun lämpötehon suhteen kompressorin käyttämään sähkötehoon, lasketaan kaavan 1 mukaan kaavassa 8.

$$COP_{\varphi} = \frac{3600 \text{ kW}}{1000 \text{ kW}} = 3,6 \quad (8)$$

Lämpöpumpun kylmäkerroin, eli COP_ε-luku, joka kertoo tuotetun jäähdytystehon suhteen kompressorin käyttämään sähkötehoon, lasketaan kaavan 2 mukaan kaavassa 9.

$$COP_{\varepsilon} = \frac{2700 \text{ kW}}{1000 \text{ kW}} = 2,7 \quad (9)$$

Tuotantolaitokseen suunniteltiin kaksi kuvan 3 (KUVA 3) kaavion mukaista lämpöpumpputjärjestelmää rinnakkain, jolloin yhteenlaskettu lämpöteho olisi ollut noin 7,2 MW ja jäähdytysteho noin 5,4 MW.

Alkuperäisestä suunnitelmasta, jossa hukkalämpöä hyödynnetään kaupungin kaukolämpöverkostossa, jouduttiin tässä kohteessa luopumaan. Syynä tälle, oli kaukolämpölaitoksen kaukainen sijainti ja se, että olemassa olevaa kaukolämpöverkosta ei lähitöillä ollut. Tämän takia kustannukset kaukolämpöverkoston rakentamiseen kasvoivat liian suureksi ja kustannukset olisivat tulleet täysin tuotantolaitoksen kustannettavaksi. Korkean hinnan vuoksi takaisinmaksuaika oli liian korkea, joka johti suunnitelmien muutokseen. Hukkalämpöä hyödynnetään kuitenkin vielä kiinteistön LVI-järjestelmien tarpeeseen ja ylimääräinen lämpö lauhdutetaan ulkoilmaan. Laitokseen suunnitellaan kuitenkin tilavaraus suuren

kokoluokan lämpöpumppujärjestelmälle, jotta mahdollisuus kuuman veden myyntiin ja hukkalämmön parempaan hyödyntämiseen tulevaisuudessa säilyy.

Elektrolyysien jäähdytys tullaan toteuttamaan tässä kohtaa jäähdytysjärjestelmällä, jossa lämpöä kerätään elektrolyysin elektrolyyttiliuoksesta ja se lauhdetaan ulkoilmaan.

5 POHDINTA

Työn päätavoitteena oli selventää hukkalämmön hyödyntämisen prosessia ja termistöä esimerkkikohtetta apuna käyttäen. Hukkalämmön hyödyntämisen prosessin selitys jäi hieman suppeammaksi, kuin alun perin oli tarkoituksena. Tämä johtuu esimerkkikohteeseen loppuvaiheilla tulleista muutoksista lämmöntalteenottoon.

Mielenkiintoista oli kuitenkin huomata, että vaikka energiatehokkuudesta ja hukkalämpöjen hyödyntämisestä puhutaan, kuinka hyvää se on ja että sitä tulisi aina tehdä, ei se välttämättä ole aina rahallisesti kannattavaa, niin kuin tämän esimerkkikohteen kohdalla kävi. Tämä laittoikin itseni pohtimaan, että olisiko valtion mahdollisesti ryhdyttävä jonkinnäköisiin tukitoimiin, jotta tässäkin kohteessa ulos lauhdutettava hukkalämpö saataisiin hyötykäyttöön. Varsinkin teollisuuden kohteissa hukkalämpöä olisi tarjolla enemmän, kuin sitä hyödynnetään. Suomen valtion tavoitteenakin on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Suomen tavoite mielessä pitäen, näkisin että teollisuuden aloja tukemalla, voitaisiin tavoitteet saavuttaa edes hieman helpommin.

Jatkokehitystä aiheelle voisi toteuttaa muutaman vuoden päästä, case tyyppisellä tutkimuksella, kun nyt suunnittelupöydällä olevat vetytuotantolaitokset alkavat olemaan valmiita. Näin ollen tutkittava järjestelmä olisi valmiina ja dataa sen toiminnastakin olisi käytettävissä, eikä järjestelmä muuttuisi kesken opinnäytetyön tekoa. Myös tulevaisuudessa vetytalouden vaikutuksista ja toteutumista olisi mielenkiintoista lukea.

LÄHTEET

Fortum. n.d. Liikkumisen tulevaisuus – sähkö ja vety. Verkkosivu. Viitattu 3.6.2023. <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/puhtaampi-maailma/liikkumisen-tulevaisuus-sahko-ja-vety?vtab=accordion-item-96525>

Fränti, H. n.d. Vedyn väripaletti ja vetytalouden lyhyt oppimäärä. Viitattu 7.6.2023. <https://www.taitotalo.fi/artikkelit/vedyn-varipaletti-ja-vetytalouden-lyhyt-oppimaara>

Godula-Jopek, A. 2015. 5, Hydrogen Production : By Electrolysis. E-kirja. Weinheim, Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. Viitattu 3.9.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=1956440>

Holland, F.A., Watson, F.A., & Devotta, S. 1982, Thermodynamic Design Data for Heat Pump Systems : A Comprehensive Data Base and Design Manual. E-kirja. Kent: Elsevier Science & Technology. Viitattu 7.6.2023. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=1829020>

Kauranen, P., Solin, J., Törrönen, K., Koivula, J., Laurikko, J. 2013. Vetytiemäkartta Vetyenergian mahdollisuudet Suomessa. Viitattu 9.3.2023. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2013/VT-R-02257-13.pdf>

Mitä on vetytalous ja miten se vähentää hiilidioksidipäästöjä. 18.5.2022. LUT. Verkkosivu. Viitattu 30.5.2023. <https://www.lut.fi/fi/artikkelit/mita-vetytalous-ja-miten-se-vahentaa-hiilidioksidipaastoja>

Motiva. n.d. Vety. Verkkosivu. Viitattu 5.6.2023. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava-liikenne-ja-liikkuminen/valitse-auto-viisaasti/energiaahteet/vety>

Sadjjadi, B.S., Gerdes, J., Sauer, A. 2023. 9, Energy flexible heat pumps in industrial energy systems: A review. Viitattu 7.6.2023 <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.12.110>

Sillanpää, E., Heiska, J. 20.12.2022. Vedyn haasteet ja mahdollisuudet energiantuotannossa. VAMK. Verkkosivu. Viitattu 7.6.2023. <https://energia.vamk.fi/tulevaisuus/vedyn-haasteet-ja-mahdollisuudet-energiantuotannossa/>

Sivill, L., Bröckl, M., Semkin, N., Ruismäki, A., Pilpola, H., Laukkanen, O., Lehtinen, H., Takamäki, S., Vasara, P., Patronen, J. 2022. Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet. Raportti 21. Valtioneuvos. Viitattu 30.5.2023 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-413-2>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 8.3.2022. Tutkimus: Vetytalous on Suomelle mahdollisuus vientiteollisuuden kautta. Viitattu 2.6.2023. <https://tem.fi/-/10616/tutkimus-vetytalous-on-suomelle-mahdollisuus-vientiteollisuuden-kautta>

Vartiainen, E. 4.9.2020. Vetytalous tulee – ennemmin tai myöhemmin. Fortum. Verkkosivu Viitattu 3.6.2023. <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/blogi/fort-hedoers-blogi/vetytalous-tulee-ennemmin-tai-myohemmin>

Zhang, L., Zhao, H., Wilkinson, D.P., Sun, X., & Zhang, J. 2020. Electrochemical Water Electrolysis: Fundamentals and Technologies, luku 1. 1.painos. Boca Raton: CRC Press. Vaatii käyttöoikeuden. <https://doi-org.lib-proxy.tuni.fi/10.1201/9780429447884>

Zhang, T., Uratani J., Huang, Y., Xu, L., Griffiths, S., & Ding, Y. 2023. Hydrogen liquefaction and storage: Recent progress and perspectives. 16.2.2023. Viitattu 22.3.2023. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113204>