



Kuumasinkityslaitoksen energiatehokkuuden parantaminen

Heli Hänninen

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2022

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), Energia- ja ympäristötekniikka

Hänninen, Heli

Kuumasinkityslaitoksen energiatehokkuuden parantaminen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2022, 47 sivua.

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

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Teollisuuden alan energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävät toimenpiteet tukevat Suomen ja koko Euroopan Unionin ilmasto- ja päästövähennystavoitteita. Suomessa teollisuuden osuus kaikesta energian kulutuksesta on merkittävä. Tarvitaan toimenpiteitä kaikilla aloilla, jotta Suomi saavuttaa tavoitteen olla hiili-neutraali vuonna 2035.

Kuumasinkitys on hyvin yleinen teräksen korroosiosuojausmenetelmä. Prosessi on hyvin energiaintensiivinen. Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa Aurajoki-konsernin Lievestuoreen kuumasinkityslaitoksen energiatehokkuutta ja -säästöpotentiaalia. Tarkoituksena oli tuottaa tuloksia, mitkä ovat hyödynnettävissä myös konsernin muissa kuumasinkityslaitoksissa. Tavoitteena oli myös selvittää, miten kuumasinkityslaitoksen energiatehokkuutta voidaan parantaa kustannustehokkaasti.

Opinnäytetyö toteutettiin kehittämistutkimuksena. Tutkimus aloitettiin analysoimalla kuumasinkityslaitoksen energiankulutusta sekä arvioimalla rakennuksen ja prosessin energiavirrat. Apuna käytettiin lämpötilamittauksia ja energiankulutuksen seuranta. Ilmanvaihtokoneiden toiminta näkyi erillisen käyttöliittymän kautta. Analyysin tuloksia visualisoitiin kaavioiden avulla. Tulosten kautta määritettiin tarkemmin tarkasteltavat merkittävimmät kohteet.

Laitoksen energiankulutuksesta merkittävä osuus kului tehdashallin lämmitykseen ja ilmanvaihtoon. Rakennuksen lämpötilatason laskeminen pienensi energiankulutusta työskentelyolosuhteiden säilyessä hyvänä. Myös ilmanvaihtokoneiden tuloilmavirtoja pienentämällä tuotannon ulkopuolisella ajalla energiankulutusta saataisiin pienemmäksi. Tehtaan suuri hukkaenergian lähde oli poistoilman lämmöntalteenoton puuttuminen tuotantohallista. Kuumasinkityspadan lämmityksen optimoinnilla parannettaisiin sinkitysprosessin energiatehokkuutta.

Opinnäytetyö toi näkyväksi suurimmat energiatehokkuuteen vaikuttavat haasteet kuumasinkityslaitoksella ja sitä kautta osoitti mihin huomio kannattaa kiinnittää energiatehokkuusinvestointeja suunnitellessa. Tuloksia voidaan soveltaa myös toimeksiantajan muissa toimipisteissä yleisellä tasolla.

Avainsanat (asiasanat)

Sinkitys, kuumasinkitys, energiatehokkuus, energian kulutus

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Hänninen Heli

Improving energy efficiency in a hot-dip galvanizing plant

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2022, 47 pages.

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

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The measures aimed at improving energy efficiency of the industrial field are supporting the climate emission abatement target which both Finland and European Union share. Industry uses a significant portion of the gross inland energy consumption in Finland. Actions are needed in every field for Finland to achieve the goal to be carbon neutral country by the of 2035.

Hot-dip galvanizing is a very common way to protect steel structures against corrosion. The process is very endoergic. The aim of the thesis was to investigate energy efficiency and energy savings potential in a hot-dip galvanizing plant in Lievestuore. The plant belongs to Aurajoki Group. One goal was to produce results, which can be used also in other hot-dip galvanizing plants of Aurajoki group. The aim was also to find out economic ways to improve the energy efficiency in this case.

The thesis was implemented as design-based research. The research was started by analyzing the energy consumption and evaluating energy flows in the building and galvanizing process. Thermometry and information of the energy consumption was used. The function of ventilation machines was followed by its user interface. The results of analysis were visualized by diagrams. After this more the targets of thesis were specified.

Remarkable part of the energy consumption was used in heating and ventilation of the building. Reduction of the eating, while working condition remained decent, cut the energy consumption. By lowering the supply air flow rate during production breaks would drop the consumption even more. The lack of heat recovery system caused a big energy loss in the production bay. By optimizing the heating of the galvanizing kettle would improve the energy efficiency of the galvanizing process.

The thesis made apparent the most significant challenges in hot-dip galvanizing plant and pointed out where to focus when planning the investments of energy efficiency. The results can be applied in general also in other production units of Aurajoki Group.

Keywords/tags (subjects)

Zinc coating, hot-dip galvanizing, energy efficiency, energy consumption

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | Johdanto | 6 |
| 1.1 | Toimeksiantaja | 7 |
| 1.2 | Opinnäytetyön tavoitteet..... | 8 |
| 1.3 | Tutkimusmenetelmä | 8 |
| 1.4 | Opinnäytetyön luotettavuus ja eettisyys sekä tiedonhaku | 10 |
| 2 | Kuumasinkitys | 11 |
| 3 | Energiansäästöpotentiaali | 13 |
| 3.1 | Pinch-analyysi..... | 14 |
| 3.2 | Ylijäämälämmön myyminen..... | 15 |
| 4 | EG EnerKey apuna energiankulutuksen hallinnassa | 16 |
| 5 | Termodynamiikka eli lämpöoppi | 17 |
| 5.1 | Termodynamiikan pääsäännöt..... | 17 |
| 5.2 | Lämmön siirtyminen | 18 |
| 6 | Lämpöpumpputeknologia | 18 |
| 6.1 | Lämpöpumpun hyötysuhde | 21 |
| 6.2 | Poistoilmalämpöpumppu tuloilman lämmityksessä..... | 21 |
| 7 | Lämmönvaihtimet | 23 |
| 8 | Ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantaminen teollisuudessa | 25 |
| 9 | Energiankulutus kuumasinkityslaitoksella | 26 |
| 10 | Energiankulutus Lievestuoreen tehtaalla | 27 |
| 11 | Energiansäästöpotentiaali | 31 |
| 11.1 | Huuvan poistoilma | 31 |
| 11.2 | Rakennuksen ilmavuodot ja ovien käyttö | 33 |
| 11.3 | Sinkkipadan lämmityksen optimointi..... | 35 |
| 11.4 | Tuotantohallin ilmanvaihto | 37 |
| 11.5 | Passivointiallas | 39 |
| 11.6 | Sinkityt teräkset | 40 |
| 11.7 | Työntekijöiden rooli energiankulutuksessa | 40 |
| 12 | Investointiehdotukset ja takaisinmaksuaika | 41 |
| 12.1 | Energiatuki..... | 41 |
| 12.2 | Suora takaisinmaksuaika | 42 |

| | |
|-------------------------|-----------|
| 13 Pohdinta..... | 43 |
| Lähteet | 45 |

Kuviot

| | |
|--|----|
| Kuvio 1 Aurajoki-konsernin toimipisteet kartalla | 7 |
| Kuvio 2 Kuivamenetelmä | 12 |
| Kuvio 3 Märkämenetelmä..... | 13 |
| Kuvio 4 Ylijäämälämpö..... | 14 |
| Kuvio 5 Esimerkki Pinch-analyysitulosten yhteenvetokaaviosta | 15 |
| Kuvio 6 Käänteinen Carnot:n prosessi | 19 |
| Kuvio 7 Mekaanisen lämpöpumpun toimintakaavio | 20 |
| Kuvio 8 Poistoilmalämpöpumpun yksinkertaistettu periaatekuva..... | 22 |
| Kuvio 9 Poistoilmalämpöpumppu yhdistettynä lämmönsiirtimeen..... | 23 |
| Kuvio 10 Myötävirta- ja vastavirtalämmönvaihtimien toimintaperiaate | 24 |
| Kuvio 11 Putkilämmönsiirtimen toimintaperiaate | 24 |
| Kuvio 12 Levylämmönsiirtimen fluidien virtaus..... | 25 |
| Kuvio 13 Lievestuoreen tehtaän sähkönkulutus ja ulkolämpötila kuukausittain v.2021 | 27 |
| Kuvio 14 Lievestuoreen tehtaän sähkönkulutus, ulkolämpötila ja sinkitty teräs kuukausittain v.2021 | 28 |
| Kuvio 15 Energian vuorokausikulutuksen keskiarvo ja keskilämpötilakäyrä tuotannon ulkopuolella | 29 |
| Kuvio 16 Sinkkipadan sähkönkulutuksen suhde tuotantomäärään | 30 |
| Kuvio 17 Sinkkipadan energiankulutus ja ulkoilman keskilämpötila | 30 |
| Kuvio 18 Lievestuoreen huuvan rakenne ja sinkityspata..... | 31 |
| Kuvio 19 Mustan pään ovet | 33 |
| Kuvio 20 Avoimen oven aiheuttama lämpöhäviö..... | 34 |
| Kuvio 21 Lievestuoreen tuotantohalli..... | 35 |
| Kuvio 22 Layout: Lievestuoreen tuotantohallin IV-koneet..... | 37 |
| Kuvio 23 Tuloilmapuhallin TK02..... | 39 |

1 Johdanto

Suomi on asettanut tavoitteen olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Teollisuusprosessien energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävät toimet tukevat Suomen energia- ja ilmastotavoitteiden täyttymistä. Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivi eli EED on määrittänyt Suomen energiansäästövelvoitteeksi 1,9–2,36 TWH/a vuosina 2021–2030. Tavoite on haastava ja edellyttää toimia useilla eri sektoreilla. (Energiatehokkuustyöryhmän raportti 2019, 19.) Suomessa energiankulutuksen loppukäytöstä teollisuuden osuus vuonna 2020 oli 45 % (SVT: Energian hankinta ja kulutus 2020).

Yritysten vapaaehtoisilla energiansäästösopimuksilla on ollut suuri merkitys EED:n energiansäästö tavoitteiden toteutumisella viime vuosina (Energiatehokkuustyöryhmän raportti 2019, 22). Motiva on teettänyt selvityksen energiasäästösopimuksessa oleville yrityksille vuonna 2018. Selvityksen perusteella yritysten vastuullinen energiankäyttö on kasvamassa ja vastaajista valtaosa uskoo yrityksenä energiatehokkuuden paranevan tulevien vuosien aikana. Energiansäästötoimien merkittäv in syy on kustannussäästö. Myös muun muassa vastuullisuustavoitteet, laiteuusinnat, kilpailukyvyn lisääntyminen ja mainesyyt vaikuttavat toimenpiteisiin. (Yritysten energiatulevaisuuden näkymät 2019.)

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Aurajoki Oy. Aurajoki Oy on metallien pintakäsittelypalveluihin erikoistunut yritys, jonka palveluihin kuuluvat kuumasinkitys, elektrolyyttiset pinnoitteet, infran teräs- ja voimalinjarakenteet sekä alan koulutuspalvelut (Aurajoki 2021). Opinnäytetyössäni tarkastelen Lievestuoreen kuumasinkityslaitoksen energiatehokkuutta. Kuumasinkitysprosessissa käytetään runsaasti energiaa ja siinä muodostuu ylijäämälämpöä. Ylijäämälämpö on tuotannosta muodostuva matalalämpöinen osuus, mikä usein jää hyödyntämättä (Kataikko & Maaskola 2014, 11). Tässä työssä tavoitteena oli kartoittaa näitä energiavirtoja sekä kartoittaa koko tuotantolaitoksen energiatehokkuuspotentiaalia.

1.1 Toimeksiantaja

Aurajoki Oy on perustettu vuonna 1967. Koko konsernissa on työntekijöitä noin 170 ja tuotantoyksiköitä seitsemän. Teräsrakenteiden kuumasinkitystä tarjoavat yrityksen neljä toimipistettä Aurassa, Pirkkalassa, Mikkelissä ja Lievestuoreella. (Aurajoki 2021.) Aurajoki-konsernin toimipisteitä ovat myös yrityksen konepajat Saarijärvellä ja Latviassa sekä Turun elektrolyyttisen pinnoituksen tuotantolaitos. Toimipisteet näkyvät Kuviossa 1. Kuumasinkityslaitokset tekevät tiivistä yhteistyötä yrityksen Saarijärven ja Latvian konepajojen kanssa.



Kuvio 1 Aurajoki-konsernin toimipisteet kartalla (Tervetuloa taloon! 2022)

Kuumasinkitys suojaa terästä korroosiolta ja se onkin paljon käytetty teräksen pintakäsittelytapa esimerkiksi voimalinjarakenteissa, maantie- ja rautatierakentamisessa sekä rakennusteollisuudessa. Aurajoki Oy on jo pitkään ollut mukana vapaaehtoisissa energiansäästösopimuksissa. Yritys on sitoutunut toimimaan ympäristöystävällisesti ja pienentämään toimintansa hiilijalanjälkeä. (Aurajoki 2021.)

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa Aurajoki konsernin Lievestuoreen tehtaan kuumasinkitysprosessin energiansäästöpotentiaalia ja kartoittaa hukkaenergian lähteitä. Tavoitteena on selvittää mahdollisuuksia tämän energian talteenottoon, hyödyntämiseen ja tehdä kannattavuuslaskemia investoinneista. Yrityksessä on jo tiedossa prosessin vaiheita, joissa muodostuu hukkaenergiaa. Tavoitteena on selvittää tarkemmin, miten paljon hukkaa muodostuu ja miten sen saisi kannattavimmin hyödynnettyä laitoksen omiin tarpeisiin. Tavoitteena on myös laajemmin tarkastella koko kuumasinkityslaitoksen energiatehokkuutta ja pohtia keinoja sen parantamiseksi.

Energiatehokkuuden parantamisen toimet ovat nykypäivänä keskiössä, kun halutaan parantaa taloudellista tuottavuutta, pienentää toiminnan ympäristövaikutuksia sekä hillitä ilmastonmuutosta. Energiatehokkaaseen toimintaan liittyy myös vastuullisuus. Yrityksen vastuullinen toiminta luo positiivista kuvaa yrityksestä asiakkaiden ja muiden sidosryhmien silmissä.

Energian hinnan noustessa ja vihreiden arvojen korostuessa, energiaa säästävät investoinnit tulevat olemaan yhä kannattavampia ja tärkeämpiä tulevaisuuden kannalta. Energiatehokkuustoimet luovat säästöjä yritykselle sekä ympäristölle energian tehokkaamman käytön vuoksi. Tavoitteena on keskittyä Lievestuoreen laitokseen, mutta tuottaa tuloksia, joita voi hyödyntää myös muissa konsernin kuumasinkityslaitoksissa.

Opinnäytetyön avulla pyrittiin vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Millainen on kuumasinkityslaitoksen energiansäästöpotentiaali?
- Millaisin toimenpitein energiatehokkuutta voidaan parantaa kuumasinkitysprosessissa?
- Miten kuumasinkityslaitoksen energiatehokkuutta voidaan parantaa?
- Millainen on energiatehokkuustoimenpiteiden taloudellinen kannattavuus?

1.3 Tutkimusmenetelmä

Lähestyn tutkimuskysymyksiä kehittämistutkimuksen kautta. Kanasen (2015a) mukaan kehittämisselitykselle nousee aina käytännöstä. Kehittämisselityksessä siis etsitään ratkaisua käytännön ongelmaan. (Kananen 2015a, 11.) Pernaa (2013, 2) kirjoittaa, että kehittämisselitys on alun perin syntynyt tarpeesta kehittää opetusta todellisten tarpeiden pohjalta.

Ihmisen tekemät järjestelmät ja tuotteet vaativat jatkuvaa kehittämistä. Muuttuneet tavoitteet tai vanhentuneet käytänteet saavat aikaan muutostarpeen. Aiheen rajaaminen on tärkeää ja tuotoksen laatu on tärkeämpää kuin sen määrä. (Johnson 2015.)

Kehittämistutkimuksesta käytetään Suomessa myös nimitystä design-tutkimus, jolla viitataan englanninkielisiin termeihin ”design research” ja ”design-based-research” Monitahoisuus ja monivaiheisuus kuvaavat hyvin kehittämistutkimusta tutkimusmenetelmänä ja tämän vuoksi kehittämistutkimuksen yksiselitteinen määrittelemine voi olla vaikeaa. (Pernaa 2013, 1–2.)

Pernaan (2013, 3) ja Kanasen (2015, 12) mukaan kehittämistutkimusta tehdään usein sekä laadullista että määrällistä tutkimusta yhdistellen. Tutkimus etenee sykleittäin ja sille on tyypillistä jatkuva kehittäminen ja arviointi, Pernaa (2013, 2–3) toteaa.

Tutkimusongelmat on muotoiltu lähes aina tutkimuskysymyksiksi (Kananen 2015,12). Tässä kontekstissa Pernaa (2013, 6) käyttää termiä ongelma-analyysi. Analyysin pohjalta laaditaan kehittämissuunnitelma. Tutkimuksen teoreettiset ja kokeelliset vaiheet vaihtelevat ja arvioinnin pohjalta tuotosta jatkuvasti kehitetään. Tätä tutkimuksen luonnetta kutsutaan iteroinniksi. (Pernaa 2013, 6–7.) Tutkimuksen lopullinen päämäärä muotoutuu tutkimuksen kuluessa, toteaa myös Johnson (2015).

Toimintatutkimus ja kehittämistutkimus mielletään monesti samanlaisiksi tutkimusmuodoiksi, sillä niissä on samanlaisia piirteitä. Molemmissa on tavoitteena teoriaan pohjautuva kehitystyö, mitä arvioidaan ja iteroidaan parhaan mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Toimintatutkimuksen päämäärä on paikallisesti toimivien ratkaisujen saavuttaminen, kun taas kehittämistutkimuksessa on tavoitteena luoda yleistettävä teoria. (Pernaa 2013,4.)

Kehittämistutkimuksen luotettavuutta kritisoidaan usein, koska tutkimukselle ei ole yhtenäisiä tutkimuskäytäntöjä. Puolueeton analyysi on haasteellista, koska tutkimustietoa kertyy paljon, ja tämän vuoksi aiheen rajaaminen on vaikeaa. Tieteellisen tutkimuksen luotettavuutta on perinteisesti arvioitu validiteetin ja reliabiliteetin avulla. (Pernaa 2013, 7–8.) Validiteetti tarkoittaa tutkimuksen

pätevyyttä eli kohdistuuko tutkimus siihen, mitä tutkimuksen avulla on tarkoitus selvittää. Tutkimuksen reliabiliteetti tarkoittaa tutkimuksen luotettavuutta eli mittaustulosten toistettavuutta. Tulokset eivät saa olla sattumanvaraisia. (Hiltunen 2009, 3,9.)

Validiteetti ja reliabiliteetti eivät kuitenkaan ole sellaisenaan soveltuvia kehittämistutkimuksen luotettavuuden arvioimiseen, sillä kehittämistutkimus sisältää laadullisen tutkimuksen piirteitä. Kehittämistutkimuksen luotettavuuden tarkasteluun voidaan käyttää seuraavia kriteerejä: uskottavuus, varmuus, vahvistettavuus, siirrettävyys ja luotettavuus. (Pernaa 2013, 8.)

Kehittämistutkimuksen luotettavuutta voidaan parantaa esimerkiksi aineistoihin tai metodeihin kohdistuvan triangulaation avulla (Pernaa 2013, 9). Kanasen (2015b, 354) mukaan triangulaatio on evidenssin keräämistä. Eri lähteistä kerätään kattavasti todisteita saavutetuille tuloksille tai tulkinnoille.

1.4 Opinnäytetyön luotettavuus ja eettisyys sekä tiedonhaku

Energiatehokkuuteen liittyvää kirjallisuutta ja aineistoa on saatavilla paljon. Muun muassa Motiva on julkaissut aiheeseen liittyviä raportteja viime vuosina useita. Tekniikka kehittyy ja uutta tutkimustietoa syntyy koko ajan lisää, joten lähteiden tuli olla tuoreita ja ajankohtaisia. Kuitenkin kaikki energiatehokkuuden periaatteet pohjaavat fysiikan ja termodynamiikan lainalaisuuksiin, mistä löytyi kattavasti luotettavaa kirjallisuutta. Termodynamiikan lainalaisuudet eivät niin sanotusti vanhene.

Opinnäytetyötä varten kerättiin tutkimusaineistoa kohteesta ja tiedot syötettiin manuaalisesti taulukkolaskentaohjelmistoon. Tietoja syötettäessä noudatettiin huolellisuutta ja syötetty tieto tarkistettiin. Tarkkoja tietoja kohteesta ei kaikissa tilanteissa ollut saatavilla ja suureita jouduttiin arvioimaan, mikä otettiin huomioon laskentatuloksia tarkastellessa.

Opinnäytetyötä varten ei tarvinnut hakea tutkimuslupaa, koska työssä käytetty aineisto ei käsitellyt henkilöstöä, asiakkaita, potilaita eikä vastaavia ihmisryhmiä eikä rekisteröitäviä tai arkistoitavia aineistoja. Myöskään salassapitovelvoite ei koskenut tätä työtä. Opinnäytetyötä tehdessä noudatettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun eettisiä periaatteita sekä hyviä tieteellisiä käytänteitä.

2 Kuumasinkitys

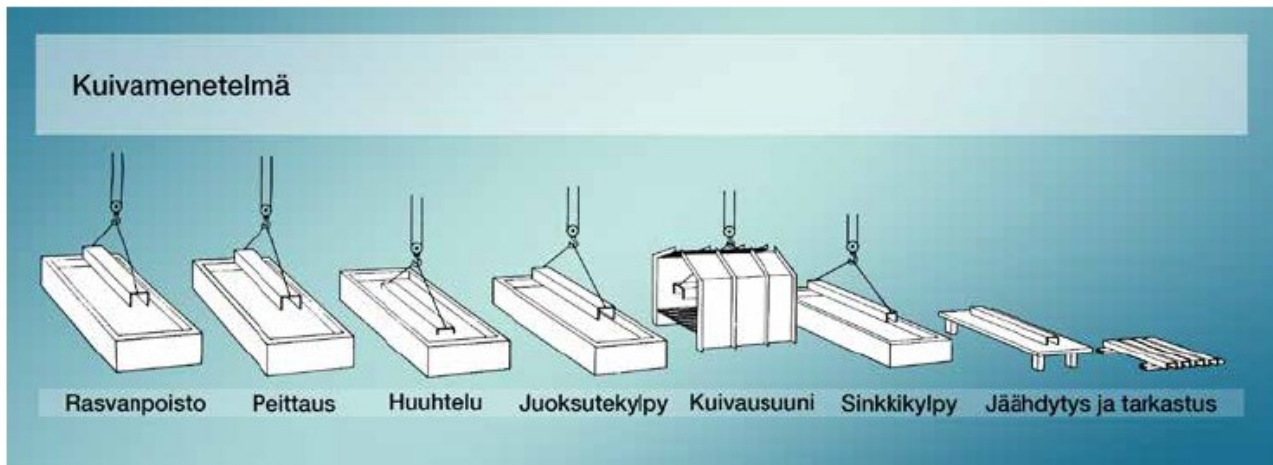
Teräs on nykypäivänä käytetyin metalli. Se on kuitenkin altis ympäristöolosuhteiden aiheuttamalle korroosiolle eli se syöpyy hapen ja kosteuden vaikutuksesta. Teräksen korroosiota kutsutaan ruostumiseksi. Ilmakehän pienentynyt rikkidioksidipitoisuus on viime vuosikymmeninä hillinnyt korroosion esiintymistä. Korroosioprosessi pysyy kuitenkin Pohjoismaissa kosteiden olosuhteiden vuoksi käynnissä suurimman osan vuotta. (Kuumasinkityskäsikirja 2020, 6.)

Teräksen kuumasinkitseminen on taloudellinen ja ympäristöystävällinen tapa suojata teräsrakenteita korroosion aiheuttamilta vaurioilta. Kuumasinkitys takaa teräsrakenteelle pitkän ja huoltovapaan käyttöiän, sillä kuumasinkityllä rakenteella on sekä sisä- että ulkopuolinen suoja korroosiota vastaan. (Kuumasinkityskäsikirja 2020, 3.)

Kuumasinkitysprosessissa käsiteltävä rakenne tai kappale upotetaan kuumaan sinkkisulaan. Sinkki suojaa terästä ruostumiselta kahdella eri tavalla. Se estää hapen ja kosteuden pääsyn teräsrakenteiden sekä ulko- että sisäpinnoille. Sinkki on myös epäjalo metalli, jolloin se suojaa katodisesti teräsrakenteita, kun niissä esiintyy esimerkiksi naarmuja, kolhuja tai leikkausreunoja. Tällöin korroosiovaurio syntyy rakenteen sijaan pinnoitteeseen. (Ylitalo 2015.)

Kuumasinkittyyn pintaan muodostuu hyvin nopeasti kaston jälkeen sinkkioksidikalvo. Sinkkioksidi reagoi ilman kosteuden kanssa muodostaen teräksen pinnalle sinkkihydroksidia, mikä edelleen reagoi ilman hiilidioksidin kanssa muodostaen sinkkikarbonaattikerroksen. Tämä kerros on hyvin tiivis ja antaa sinkkipinnoitteelle hyvän suojan. (Ylitalo 2015.)

Kuumasinkitysprosessi on monivaiheinen menetelmä. Vaiheita on havainnollistettu Kuviossa 2. Kappaleet ripustetaan ketjuihin tai erilaisiin telineisiin tai laitteisiin sinkitystä varten. Kappaleet siirretään prosessin eri vaiheiden välillä siltanostureiden ja kuljettimien avulla.



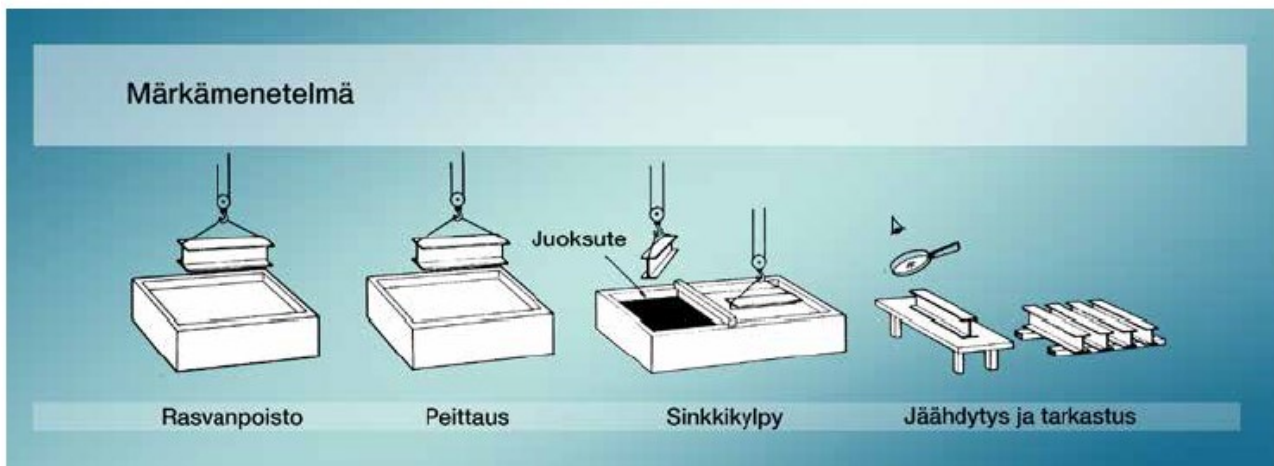
Kuvio 2 Kuivamenetelmä (Kuumasinkityskäsikirja 2020, 16)

Käsiteltävältä teräspinnalta poistetaan ensimmäisenä mahdolliset maalimerkinnot, hitsauskuona, rasva ja öljy. Rasvanpoisto tapahtuu tavallisesti erillisessä rasvanpoistoaltaassa. Rasvanpoiston jälkeen kappale käytetään suolahappoaltaassa. Vaihetta kutsutaan suolahappopeittaukseksi. Tämän vaiheen tarkoitus on puhdistaa kappale ruosteesta ja valssihilseestä (Kuumasinkityskäsikirja 2020, 14). Peittausaika voi vaihdella esimerkiksi puolesta tunnista jopa kymmeneen tunteihin riippuen muun muassa teräksen ruosteisuuden määrästä. Lievestuoreen tehtaalla rasvanpoistoaltaan puuttuminen pidentää peittausaikaa merkittävästi.

Peittauksen jälkeen teräskappaleet huuhdellaan vedellä huuhtelualtaassa. Tämän jälkeen tehdään juoksutekäsittely, mikä oksideja poistamalla parantaa sinkin ja teräksen välistä reaktiota. Juoksutekäsittely tehdään erillisessä altaassa ja juoksuteaineena toimii sinkki-ammonium-kloridiliuos. Juoksutteen jälkeen kappaleet voidaan kuivata kuivausuunissa. (Kuumasinkityskäsikirja 2020, 15.) Lievestuoreen tehtaalla kuivausuunia ei ole vaan kappaleet kastetaan sinkkipataan ilman kuivausvaihetta.

Ennen kappaleen kastamista sinkkisulaan sinkkikylvyn pinta tulee puhdistaa tuhkasta ja juoksutejäämistä. Pinnan puhdistaminen tulee tehdä myös kappaleen nostovaiheen yhteydessä tai sitä ennen. (Kuumasinkityskäsikirja 2020, 15.) Pinnan puhdistaminen parantaa teräkseen muodostuneen sinkkipinnan visuaalista laatua ja vähentää jälkiviimeistelyn tarvetta.

Edellä on kuvattu kuumasinkityksen kuiva menetelmä. Juoksutekäsittely voidaan tehdä myös märkämenetelmällä, joka havainnollistettu Kuviossa 3. Märkämenetelmässä juoksute eli ammoniumkloridi on sinkkipadan pinnalla. Kastettava kappale upotetaan juoksutteen läpi sinkkikylpyyn ja nostetaan ylös padan toiselta laidalta, missä juoksutetta ei ole pinnan päällä. (Kuumasinkityskäsikirja 2020, 14–15.)

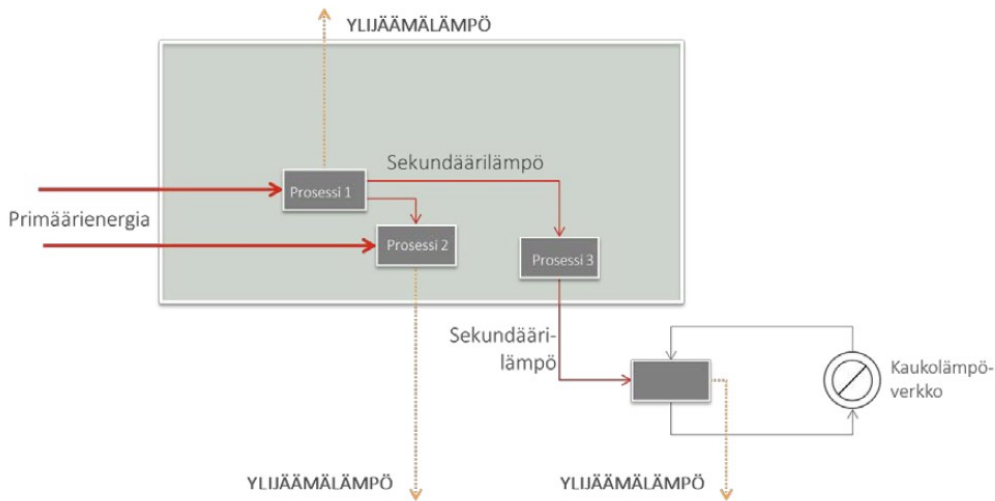


Kuvio 3 Märkämenetelmä (Kuumasinkityskäsikirja 2020, 16)

Sinkkikylvyn jälkeen teräs jäähtyy, se mahdollisesti käytetään passivointikylvyssä ja se viimeistellään. Passivoinnin tarkoitus on ehkäistä valkoruosteen muodostumista kosteissa olosuhteissa sinkitylle pinnalle. Valkoruosteen muodostuminen ei heikennä kuumasinkityn teräksen korroosiosuojaominaisuuksia, mutta saattaa olla merkittävä asia visuaalisen laadun kannalta. Viimeistelyvaiheeseen kuuluu sinkityksessä muodostuvien sinkkipiikkien ja tuhkan poistaminen sekä pinnan laadun tarkastaminen.

3 Energiansäästöpotentiaali

Teollisuuden prosesseissa ei aina hyödynnetä kaikkea sinne johdettua energiaa. Hyödyntämätön osuus on usein matalalämpöistä ylijäämälämpöä lämpimän ilman tai veden muodossa. (Kataikko & Maaskola 2014, 11). Ylijäämälämpöä voi muodostua useassa prosessin vaiheessa, kuten Kuviossa 4 on kuvattu.



Kuvio 4 Ylijäämälämpö (Kataikko & Maaskola 2014, 11)

Kun halutaan parantaa prosessien energiatehokkuutta, tulee ensin minimoida häviöt ja energiankulutus sekä hyödyntää lämmöntalteenottoa. Lämmöntalteenottoa voidaan hyödyntää esimerkiksi savukaasuista, poistoilmasta, kuumista poistovesistä, jätevesistä ja poistoilmasta. Talteen otettu lämpö voidaan usein käyttää tilojen lämmitykseen, käyttöveden lämmitykseen tai tuotantoprosessien tai erilaisten virtausten esilämmitykseen. Lämmöntalteenotto tuottaa säästöjä. (Energiatehokas lämmitys- ja lämmöntalteenottojärjestelmä, n.d., 14–15.)

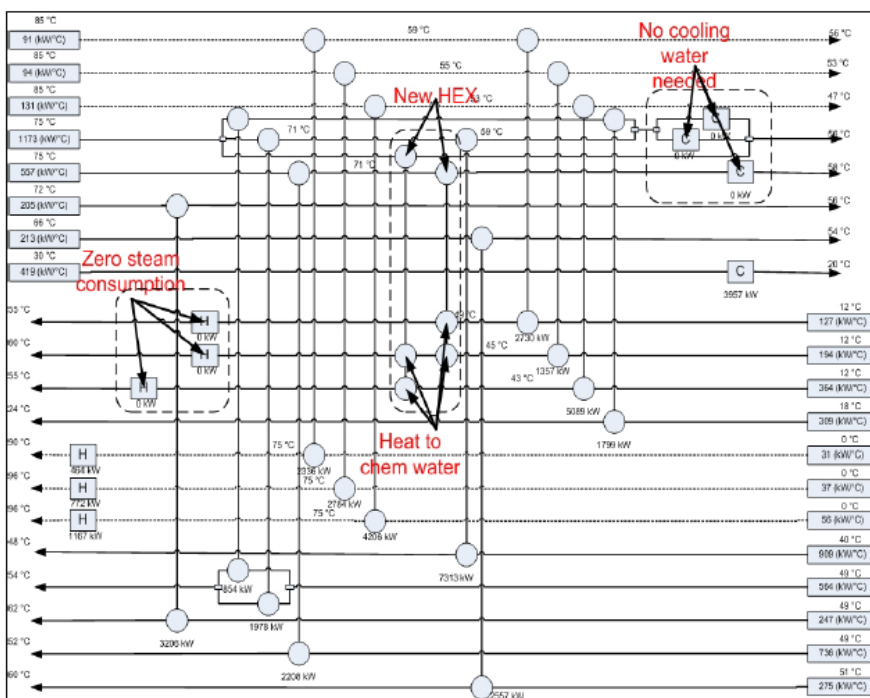
Lämmöntalteenoton kannattavuus edellyttää, että talteen otettava lämpö voidaan hyödyntää. Korkean lämpötilan virtaukset ovat usein helposti hyödynnettävissä. Matalalämpöisten, alle 80°C , virtauksien hyödyntäminen voi olla haasteellisempaa. Lämpöä voidaan hyödyntää suoraan tai lämpöpumppujen avulla. Monesti lämmön hyödyntämisessä käytetään useampaa teknistä ratkaisua. Prosessin lämmöntalteenottoa voidaan optimoida Pinch-analyysin avulla. (Energiatehokas lämmitys- ja lämmöntalteenottojärjestelmä, n.d., 16.)

3.1 Pinch-analyysi

Prosessien jäähdytys- ja lämmitystarpeita voidaan systemaattisesti kartoittaa Pinch-analyysin avulla (ks. Kuvio 5). Pinch-analyysi soveltuu hyvin kohteisiin, joissa on suuri energiankulutus, hyvä instrumentointi ja prosessi on jatkuvatoiminen. Analyysia varten prosessista tarvitaan lämmittävien ja jäähdyttävien energiavirtojen massavirrat, lämpötilat ja ominaislämpökapasiteetit sekä

muut prosessin tiedot. Kylmistä ja kuumista virroista tehdään summakäyrät. Prosessia tarkastellaan teoreettisesti olettaen, että kytkentöjen suhteen ei ole mitään rajoituksia. (Heikkilä & Kiuru 2014, 18–20.)

Pinch-analyysin avulla on mahdollista selvittää, miten paljon prosessin energiantarpeesta voidaan saavuttaa sisäisillä lämmönsiirroilla ja kuinka paljon energiaa tulee syöttää prosessiin ulkopuolelta. Analyysin avulla saadaan selville prosessin teoreettinen minimienergiantarve, se kuinka lähelle tuota voidaan pyrkiä sekä esteet ja taloudelliset näkökulmat mahdollisimman pienen energiankulutuksen saavuttamiseksi. Analyysi tuottaa myös lisää tietoa itse prosessista, säästömahdollisuuksista ja siitä, millainen lämmönvaihdiverkosto tarvitaan energiatehokkuuden ja parantamiseksi. (Heikkilä & Kiuru 2014, 18–19.)



Kuvio 5 Esimerkki Pinch-analyysitulosten yhteenvetokaaviosta (Heikkilä & Kiuru 2014, 19)

3.2 Ylijäämlämmön myyminen

Prosessien ylijäämlämpö kannattaa ensisijaisesti hyödyntää omaan käyttöön. Jos se ei ole mahdollista, on hyvä arvioida tämän energian myymistä saman alueen toimijalle tai kaukolämpöverkkoon. Jos ylijäämlämmön käyttäminen on kannattamatonta tai mahdotonta esimerkiksi sijainnin

vuoksi, ylijäämälämmöstä voi olla mahdollista tuottaa sähköä. (Esiselvitys -Ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa 2019, 5.)

4 EG EnerKey apuna energiankulutuksen hallinnassa

EG EnerKey on yritys, mikä tarjoaa asiakkailleen työkaluja energiankulutuksen hallintaan, säästöpotentiaalien tunnistamiseen sekä energiatehokkuuden parantamiseen. Energianhallintajärjestelmä luodaan asiakkaan tarpeiden mukaisesti ja sen tuottamat raportit tallentuvat pilvipalveluun, mistä ne ovat helposti saatavilla. (EG EnerKey SaaS, markkinoiden kattavin vastuullisuusraportointin ja energianhallinnan saas-palvelu 2022.)

Aurajoki Oy on kiinnostunut laitostensa energiatehokkuuden parantamisesta ja tehnyt sopimuksen EG EnerKeyn kanssa. Tavoitteena on, että yrityksen energiankulutus pienenee ja sitä kautta saavutetaan taloudellisia säästöjä. Pienempi energiankulutus on suoraan yhteydessä myös pienempään ympäristökuormaan sekä kestävämpään ja vastuullisempaan toimintaan. (Palveluehdotus Aurajoki – EnerKey 2021.)

EG EnerKeyn palveluihin kuuluu mittausdatan keruu, kustannusraportointi, hälytyspalvelu, hiilidioksidipäästöraportointi sekä energiajohtamisen työkalut. Kulutuksen raportoinnin työkalut visualisoivat kulutuksen tunnuslukuja ja tukevat muun muassa energiatehokkuussopimusten raportointia. Järjestelmän hälytyspalvelu auttaa poikkeamien havaitsemisessa ja mahdollistaa nopean reagoinnin ongelmatilanteissa. . (Palveluehdotus Aurajoki – EnerKey 2021.)

EnerKey-järjestelmä sisältää myös työkaluja, joilla voidaan tarkastella energiankulutuksen ja kustannusten jakautumista eri pisteissä sekä eri kiinteistöjen välillä. Järjestelmä auttaa myös ennakoimaan ja hallitsemaan energiankulutuksen kustannuksia. (Palveluehdotus Aurajoki – EnerKey 2021.) Yhteistyö EnerKeyn kanssa on vasta alussa, minkä vuoksi järjestelmän työkalut eivät olleet käytettävissä tätä työtä tehdessä.

5 Termodynamiikka eli lämpöoppi

5.1 Termodynamiikan pääsäännöt

Termodynamiikassa pätevät tietyt pääsäännöt eli termodynamiikan lait, mitä on neljä. Ensimmäisen pääsäännön mukaan energiaa ei voi syntyä tai hävitä, vaan se muuttaa muotoaan ja periaatetta kutsutaan myös energian säilymisen laiksi (Cengel & Ghajar 2015, 11). Lampinen (2010, 33) tarkastelee ensimmäistä pääsääntöä kiertoprosessin työn kautta. Kiertoprosessista saadaan työtä ulos vain, jos sinne syötetään positiivinen määrä lämpöä. Toisaalta syöttämällä prosessiin lämpöä, energia ei häviä ja prosessista saadaan aina tietty työmäärä ulos. Lämpövoimakoneen toimivat tällä periaatteella. (Lampinen 2010,33.) Lampinen (2010, 33) myös perustelee ensimmäisen pääsäännön kautta ikiliikkujan mahdottomaksi.

Termodynamiikan toinen pääsääntö kertoo, mikä on prosessin luonnollinen suunta. Lämpö ei koskaan itsestään virtaa alemmasta lämpötilasta korkeampaan (Lampinen 2010, 88). Kuumat kappaleet ja aineet siis aina jäähtyvät niitä viileämmässä ympäristössä ja luovuttavat siten lämpöenergiaa ympäristöönsä.

Absoluuttisen nollapisteen (0 K eli $-273,15\text{ °C}$) saavuttaminen on mahdotonta ja se on todettu termodynamiikan kolmannessa laissa. Absoluuttisessa nollapisteessä kaikki toiminta lakkaa. (Hänninen ym. 2018, 220.) Koska meillä on käytettävissä rajoitettu määrä toimenpiteitä, ei absoluuttista nollapistettä voida saavuttaa, referoi Lampinen (2010, 164) Nernstin lämpöteoreemaa kolmannelta pääsäännöstä.

Neljäs pääsääntö on oikeastaan termodynamiikan kaiken perusta ja sitä kutsutaankin nollanneksi pääsäännöksi. Hänninen ym. (2018, 2220) kirjoittavat, että lämpötilaerot tasoittuvat eristetyissä systeemissä ja systeemi pyrkii termiseen tasapainoon. Eristetty systeemi ei vaihda lämpöenergiaa ympäristönsä kanssa. (Hänninen ym. 2018, 220.)

5.2 Lämmön siirtyminen

Lämmön siirtyminen voi tapahtua kolmella eri mekanismilla: säteilemällä, johtumalla sekä konvektion eli kulkeutumisen avulla (Cengel & Ghajar 2015, 17; Ghoshdastidar 2012, 2–3). Lämmön siirtymisen edellytys on lämpötilaero ja lämpö siirtyy luonnollisesti korkean lämpötilan alueelta matalammalle (Cengel & Ghajar 2015, 17).

Konduktio eli johtuminen tarkoittaa lämpöenergian siirtymistä aineen molekyyli liikkeen kautta. Lämmön johtumista tapahtuu kiinteässä, nestemäisessä ja kaasumaisessa olomuodossa. Yleisesti nesteellä on parempi lämmönjohtumiskyky kuin kaasulla ja kiinteällä aineella on parempi johtumiskyky kuin nesteellä. Kaasumaisessa olomuodossa aineen molekyylit ovat harvassa ja liike satunnaista. Nestemäisellä aineella molekyylien liike on myös satunnaista, mutta molekyyli rakenne on tiivis. (Ghoshdastidar 2012, 2–3.)

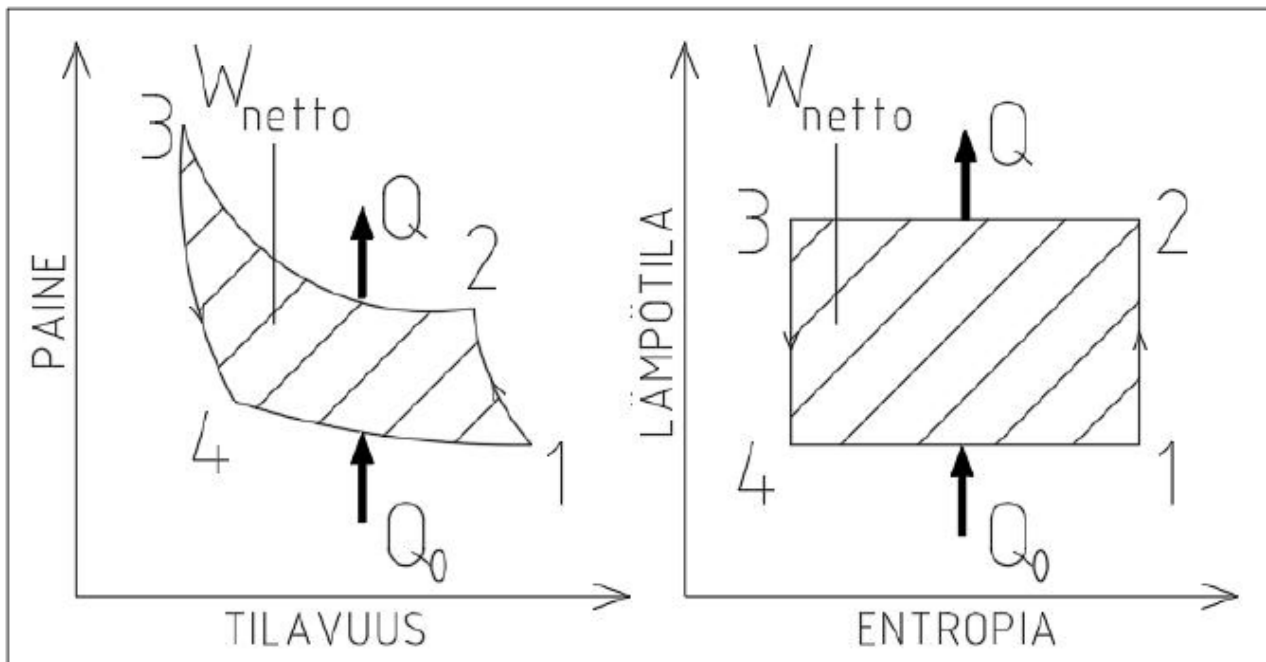
Konvektiossa lämpöenergia virtaa fluidin mukana. Vapaassa konvektiossa lämpöä siirtyy virtaavaan väliaineeseen johtumisen kautta. Nostevoima liikuttaa väliainetta ylöspäin ja kuljettaa lämpöä mukanaan. (Paloposki 2020.) Pakotetusta konvektiosta puhutaan, kun prosessiin on liitetty virtaavan kaasun tai nesteen liikuttamiseen ulkopuolinen laite, esimerkiksi pumppu tai puhallin (Ghoshdastidar 2012, 4).

Lämmön siirtyminen säteilemällä on jokseenkin erilaista kuin konvektion tai konduktion kautta (Ghoshdastidar 2012, 4). Lämpösäteily on sähkömagneettista säteilyä ja se on seurausta aineessa olevin atomien ja elektronien liikkeestä (Cengel & Ghajar 2015, 17). Lämpö voi siirtyä säteilemällä myös joko väliaineen kautta tai tyhjiössä. Sähkömagneettinen säteily liikkuu valon nopeudella. (Ghoshdastidar 2012, 4–5.)

6 Lämpöpumpputeknologia

Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan lämpö pyrkii siirtymään korkeamman lämpötilan kappaleesta matalamman lämpötilan kappaleeseen. Tämän seurauksena voidaan todeta, että on mahdotonta siirtää lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan ilman työtä. Tällainen tekniikka kuluttaa siis aina energiaa. (Lampinen 2010, 88.)

Lämpöpumppuratkaisut soveltuvat hyvin matalalämpöisen ylijäämäenergian hyödyntämiseen. Yksinkertaistetusti lämpöpumpun toiminta perustuu siihen, että väliaine absorboi ympäristön lämpöä matalassa lämpötilassa ja luovuttaa lämpöä korkeammassa lämpötilassa. Lämpöpumppuratkaisuja on erilaisia. Kaikkien lämpöpumppujen ja kylmäkoneiden toiminta perustuu kuitenkin käänteiseen Carnot:n lämpövoimaprosessiin (ks. Kuvio 6). (Kataikko & Maaskola 2014, 16.) Teollisuuden toimijoita kiinnostavat hukkalämpöä hyödyntävät lämpöpumput (Yritysten energiatulevaisuuden näkymät 2019.)



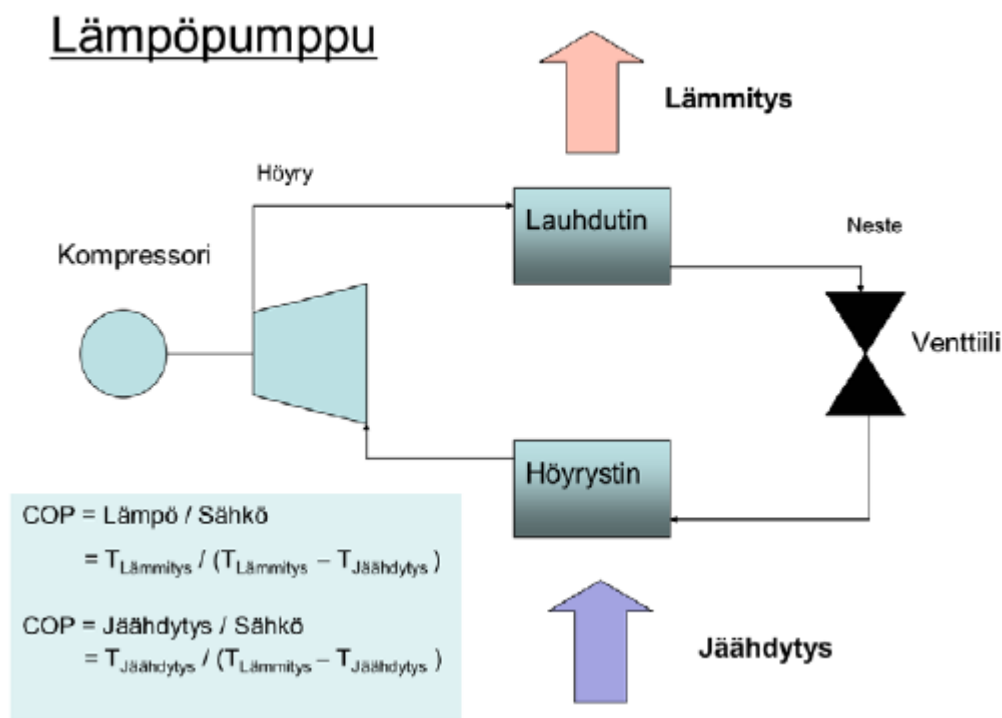
Kuvio 6 Käänteinen Carnot:n prosessi (Muukkonen2019 ,7).

Lämpöpumpuilla voidaan vähentää ostetun primäärienergian eli prosessiin syötetyn energian kulu- tusta. Niitä voidaan teollisuudessa hyödyntää erilaisissa prosessin vaiheissa kuten kuivauksessa ja lämmöntalteenotossa. (Energiatehokas lämmitys- ja lämmöntalteenottojärjestelmä, n.d., 19.)

Lämpöpumpulla saadaan matalalämpöisen energiavirran lämpötilaa nostettua, jotta sen hyödyn- tämisestä esimerkiksi kiinteistön lämmitykseen tai teollisuuden prosessissa tulee kannattavaa.

Lämpöpumpun kannattavuutta arvioitaessa tulee huomioida, että lämpöpumpun käyttämä energia ei saa muodostua kalliimmaksi kuin korvattava energia. Myös investoinnin takaisinmaksuaika tulee olla järkevä. (Kataikko & Maaskola 2014, 15–16.)

Lämpöpumput voidaan jakaa suljetun kierron ja avoimen kierron lämpöpumppeihin. Höyryn mekaaniset komprimointilaitteet ja termokompressorit lukeutuvat avoimen kierron pumppuihin. (Kataikko & Maaskola 2014, 16.) Mekaanisen lämpöpumpun toiminta on kuvattu Kuviossa 7.



Kuvio 7 Mekaanisen lämpöpumpun toimintakaavio (Kataikko & Maaskola 2014, 14).

Suljetun kierron pumppuja ovat sorptiojärjestelmät ja kompressorilämpöpumput. Kompressorijärjestelmissä mekaaninen sähkö- tai kaasumoottori nostaa kiertoaineen painetta ja lämpötilaa. Sorptiojärjestelmät ovat joko lämmön korotusjärjestelmiä, joissa lämpövirta jakautuu lähtövirrasta kuumempaan ja kylmempään osaan tai absorptiolämpöpumppeihin, joissa kuumaa lämmönlähdettä käytetään halutun virtauksen lämmittämiseen. Samalla lämmön lähteenä toimiva virtaus jäähtyy. (Kataikko & Maaskola 2014, 16.)

6.1 Lämpöpumpun hyötysuhde

Lämpöpumpun hyötysuhde ilmaistaan tehokertoimen avulla. Teho- eli lämpökerroin, COP, ilmaisee lämpöpumpusta hyödyksi saatavan energian ja pumppuun syötetyn energian suhteen. (Kataikko & Maaskola 2014, 17.)

Kaava 1. Lämpöpumpun tehokerroin:

$$COP = \frac{Q_{out}}{W_{in}}$$

missä COP=tehokerroin
 Q_{out} =pumpun tuottama lämpömäärä, W
 W_{in} =pumpun tekemä työ, W

Kaava 2. Carnot-lämpöpumpun lämpökerroin:

$$COP = \frac{T_{out}}{T_{out} - T_{in}}$$

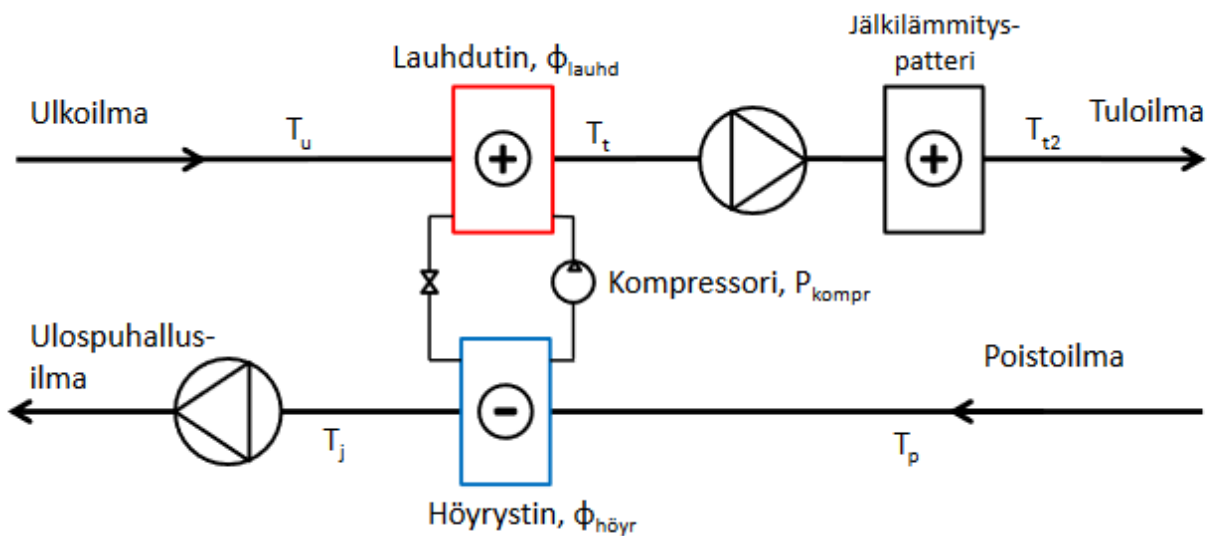
missä T_{out} =kiertoaineen paluulämpötila lauhduttimessa, K
 T_{in} =kiertoaineen lämpötila höyrystimessä, K

Laskukaavojen 1 ja 2 avulla voidaan laskea ideaaliset lämpökertoimet, mutta käytännössä kerroin jää huomattavasti alemmalle tasolle. Mekaanisen lämpöpumpun todellinen COP-arvo on noin 65–75 % laskennallisesta arvosta. Teollisuudessa COP-kertoimien vaihteluväli on huomattavan suuri, jopa 0,4–30 riippuen lämpöpumpusta ja kohteesta. (Kataikko & Maaskola 2014, 17.)

6.2 Poistoilmalämpöpumppu tuloilman lämmityksessä

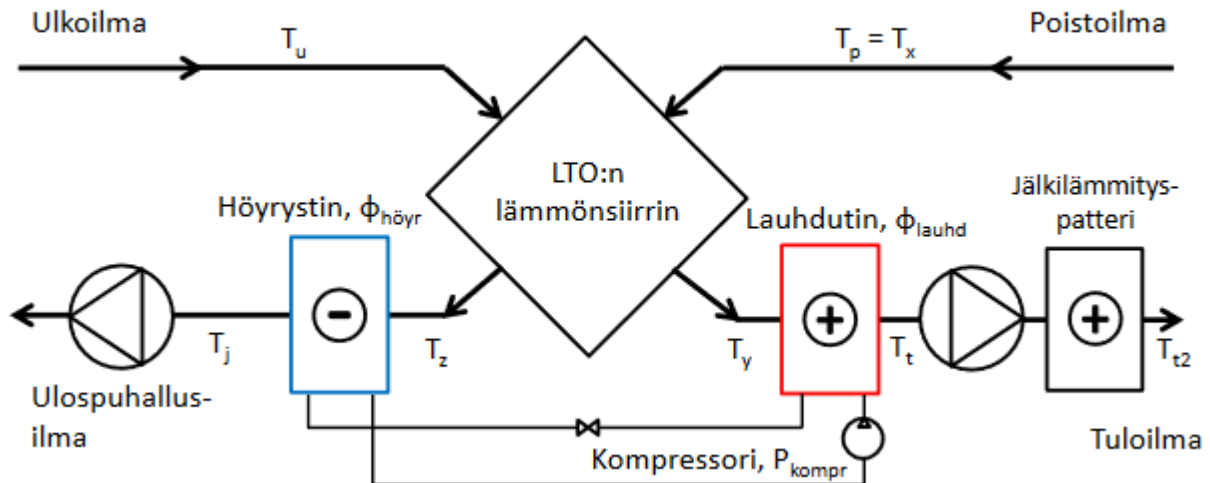
Poistoilmalämpöpumppu yksinkertaisimmillaan siirtää poistoilman lämpöä tuloilmaan (ks. Kuvio 8) ja siten parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Pumpun ohjaus perustuu usein poistoilman tai

sisäilman lämpötilaan. Poistoilmalämpöpumppua voidaan hyödyntää myös tuloilman viilentämiseen, jolloin kylmäainepiirin kierto käännetään toisinpäin. (Nyman & Saari 2017, 14.) Poistettavan sisäilman lämpötilan ollessa 21 °C poistoilmalämpöpumpun vakioteho on yleensä noin 2–4 kW eikä ulkolämpötila vaikuta tehoon (Poistoilmalämpöpumppu 2022).



Kuvio 8 Poistoilmalämpöpumpun yksinkertaistettu periaatekuva (Nyman & Saari 2017, 15, muokattu)

Poistoilmasta voidaan lämpöä siirtää myös vesivaraajaan, mistä lämpöä voidaan hyödyntää esimerkiksi käyttöveden lämmittämiseen. Poistoilmalämpöpumppuun voidaan myös yhdistää lämmönvaihdin (ks. Kuvio 9). Tämä mahdollistaa lämmöntalteenoton myös silloin kun poistoilmalämpöpumppu ei ole päällä. (Nyman & Saari 2017, 15–16.)



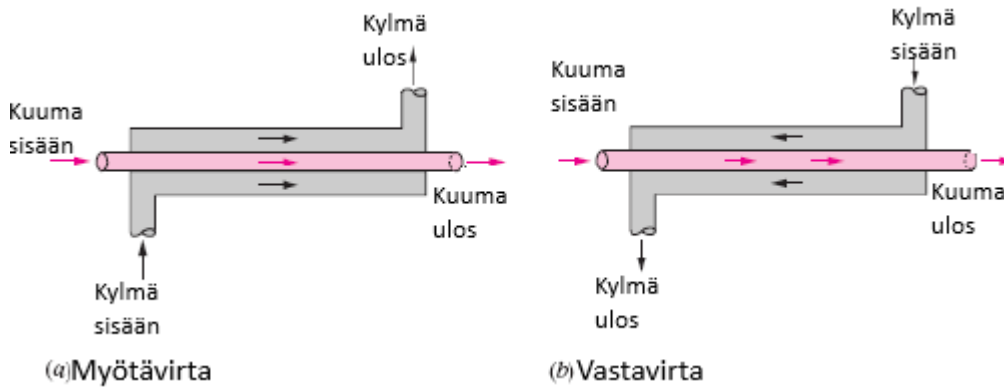
Kuvio 9 Poistoilmalämpöpumppu yhdistettynä lämmönsiirtimeen (Nyman & Saari 2017, 16, muokattu)

Poistoilmalämpöpumppu saattaa tarvita esilämmitystä matalissa lämpötiloissa. Esilämmitys nostaa tuloilman lämpötilaa ja estää lämmöntalteenottojärjestelmän jäätyksen. Esilämmitys voidaan suorittaa esimerkiksi sähkövastuksilla. (Nyman & Saari 2017, 20.)

7 Lämmönvaihtimet

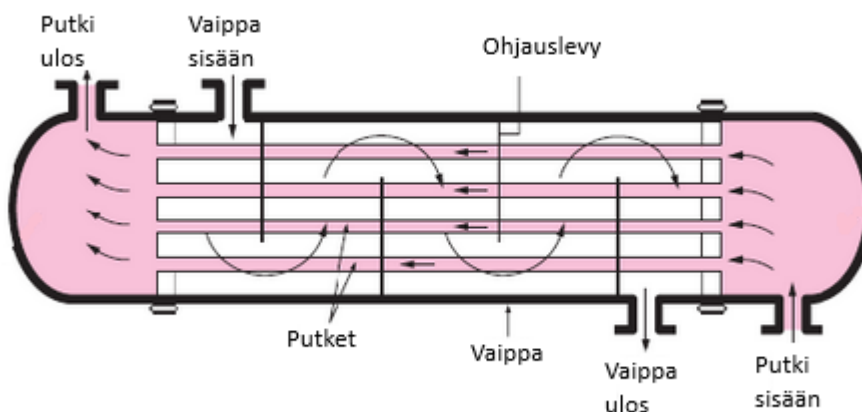
Lämmönvaihtimet eli lämmönsiirtimet ovat yleisesti käytettyjä lämmöntalteenottolaitteita. Lämmönvaihtimessa lämpö siirtyy kahden fluidin välillä tietyn rajapinnan läpi fluidien sekoittumatta keskenään. Lämmönvaihtimia on kehitetty eri tarkoituksiin useita erilaisia. (Cengel & Ghajar 2015, 647.) Koska fluidit eivät lämmönvaihtimessa pääse sekoittumaan, ne soveltuvatkin erinomaisesti lämmönsiirtoon ns. likaisen ja puhtaan tilan välillä.

Yksinkertaisimmillaan lämmönvaihdin koostuu kahdesta samankeskeisestä sisäkkäin olevasta putkesta, joista toisessa virtaa lämmin ja toisessa kylmä fluidi. Tällaista lämmönvaihtintaa kutsutaan kaksoisputkilämmönsiirtimeksi. Myötävirtalämmönvaihtimissa fluidien virtaus on samansuuntainen. Vastavirtalämmönvaihtimissa kylmä aine virtaa vastakkaiseen suuntaan kuin kuuma aine. Kuviossa 10 on kuvattu myötävirta- ja vastavirtalämmönvaihtimien toimintaperiaate. Vastavirtalämmönvaihtimella kylmän aineen poistumislämpötila pystytään lämmittämään kuuman aineen poistumislämpötilaa korkeammaksi. (Cengel & Ghajar 2015, 648.)



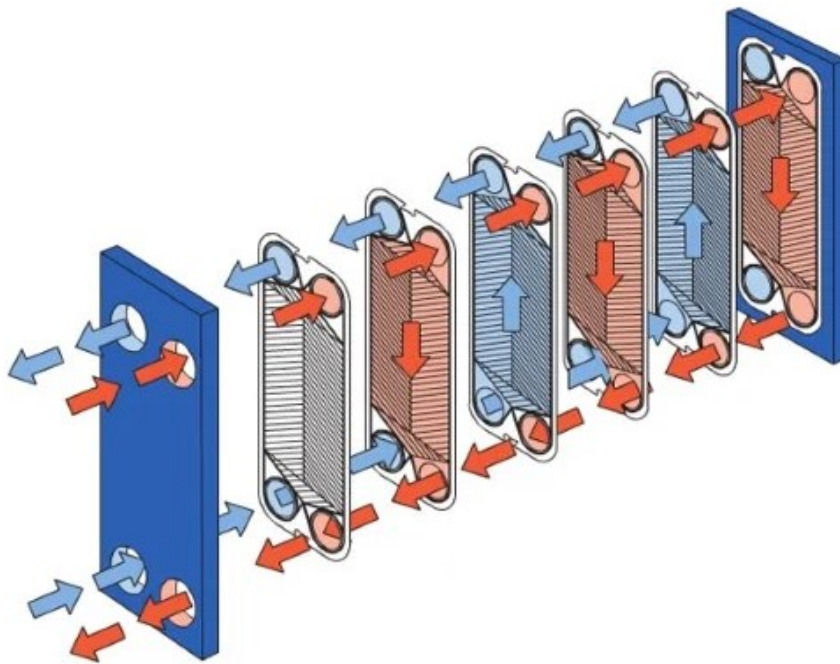
Kuvio 10 Myötävirta- ja vastavirtalämmönvaihtimien toimintaperiaate (Cengel & Ghajar 2015, 648, muokattu)

Putkilämmönsiirrin on teollisuuden sovelluksissa yleisesti käytetty lämmönvaihtintyyppi. Putkilämmönsiirtimen toimintaperiaate on kuvattu Kuviossa 11. Lämmönvaihtimen vaipan sisällä on suuri määrä putkia, ja ne ovat samansuuntaisesti vaipan kanssa. Yksi fluidi virtaa putkien sisällä. Toinen fluidi virtaa putkien ulkopuolella vaipan läpi ja lämpö siirtyy näiden kahden fluidin välillä. Vaippaan sijoitetut levyt ohjaavat virtausta vaipan läpi sekä lisäävät virtausaikaa vaipan puolella ja tehostavat näin lämmönsiirtoa. (Cengel & Ghajar 2015, 650.)



Kuvio 11 Putkilämmönsiirtimen toimintaperiaate (Cengel & Ghajar 2015, 650, muokattu)

Levylämmönsiirtimet soveltuvat parhaiten lämmönsiirtoon saman paineisten nesteiden välillä. Levylämmönsiirrin koostuu useista aaltomaisesti muotoilluista levyistä, joiden välissä kylmä ja kuuma fluidi virtaavat (ks. Kuvio 12). Joka toisessa levyvälissä virtaa kuuma fluidi ja vastaavasti joka toisessa välissä kylmä fluidi. Lämmönsiirto tapahtuu levyjen lävitse. Kuuma virtaus ympäröi kylmän virtauksen ja lämmönsiirtyminen on tehokasta. Levylämmönsiirtimeen levyjä lisäämällä saadaan lämmönvaihtumista tehostettua. (Cengel & Ghajar 2015, 650.)



Kuvio 12 Levylämmönsiirtimeen fluidien virtaus (Tiivisteelliset levylämmönvaihtimet N.d.)

8 Ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantaminen teollisuudessa

Ilmanvaihto kuluttaa teollisuudessa merkittävän osan energiaa. Lähes aina ilmanvaihtoa voidaan säätää ja optimoida energian säästämiseksi. Hyvä ilmanvaihto parantaa työskentelyolosuhteita eikä energian säästöä pidä tavoitella työolosuhteiden kustannuksella. (Energiatehokas ilmanvaihto teollisuudessa n.d.)

Ilmavirran määrä vaikuttaa energiankulutukseen. Tulee tarkastella, voiko ilmavirtaa pienentää, puolittaa tai osittaa joissakin tiloissa tai tilanteissa. Ilmavirran määrää voidaan säätää myös käyttöasteen mukaan. Myös tuloilman lämpötilaa alentamalla energiaa kuluu vähemmän. Mittausanturit

tulee olla oikeassa paikassa ja säätötapa tilanteeseen sopiva. Lämpötilan nouseminen yhdellä asteella lisää energiankulutusta jopa 5 %. (Energiatehokas ilmanvaihto teollisuudessa n.d.)

Ilmanvaihdon puhaltimien tarpeellisen käyttöajan arvioiminen voi tuoda myös säästöjä energiankulutuksessa. Esimerkiksi tuotantoaikojen ulkopuolella puhaltimien käyttöaikaa voi monessa tilanteessa rajoittaa. Tulee kuitenkin huomioida, että rakennuksessa mahdollisesti muodostuvat epäpuhtaudet tulee poistaa määräysten mukaisesti. Kello-ohjausta käytettäessä on ohjauskello oltava oikeassa ajassa ja aikakytkennät asianmukaiset. (Energiatehokas ilmanvaihto teollisuudessa n.d.)

Poistoilman lämmöntalteenotosta saatavan hyötyyn vaikuttaa muun muassa poistettavan fluidin lämpötila, kosteus sekä epäpuhtaudet. Kannattavuuteen vaikuttaa myös millä etäisyydellä poistoilma ja tuloilma sijaitsevat toisistaan. Erilaisiin tiloihin ja tarpeisiin on olemassa erilaisia lämmöntalteenoton laitteita. Erityisen liikaavan poistoilman kohdalla voi levylämmönsiirrin pudistuslaitteilla tai lämpöputkilämmönsiirrin olla sopivin. Nestekiertoisilla pattereilla ja kaksoisväliseinälliset lämpöputkipatterit pitävät poistovirtauksen ja tulovirtauksen erillään. (Energiatehokas ilmanvaihto teollisuudessa n.d.)

9 Energiankulutus kuumasinkityslaitoksella

Kuumasinkitysprosessi on hyvin energiaintensiivinen prosessi. Kuumasinkityksessä kuluu energiaa 600–650 kWh sinkittyä terästönna kohti, jos tuotanto tapahtuu yhdessä vuorossa. Kolmessa vuorossa työskenneltäessä luku on noin 350 kWh. (Kuumasinkityskäsikirja 2020, 56.)

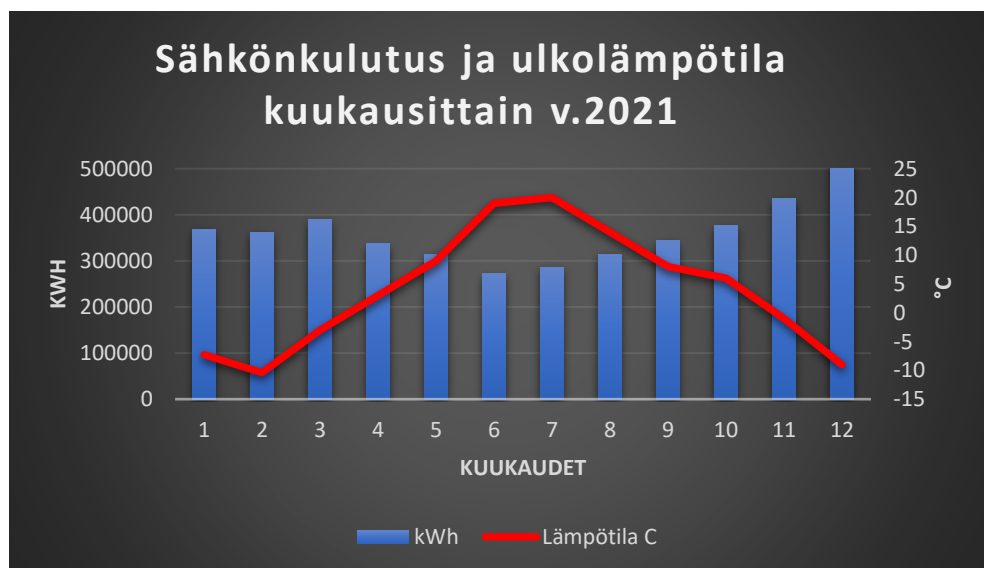
Sinkin sulamispiste on 420 °C ja kiehumispiste 907 °C (Valtanen 2016, 435). Kuumasinkityksessä sulan sinkin lämpötila on noin 455–460 °C. (Kuumasinkityskäsikirja 2020, 18.) Sinkkipadan lämpötila-arvo on asetettu noin 35 °C astetta sinkin sulamispistettä korkeammalle, koska sinkittävä teräs viedään sulaan sinkkiin ympäristön lämpötilassa ja teräs näin ollen jäähtyy pataa. Sinkittävän teräksen määrästä ja tuotantolinjan tehokkuudesta riippuen jäähtyminen voi olla huomattavaa. Tarpeeksi korkea asetuservo antaa puskuria lämpötilan vaihteluille ja takaa sinkin juoksevuuden kaikissa tilanteissa.

Talvella huuhtelu- ja juoksuteallas tulee eristää ja niitä saatetaan lämmittää jäätymisen estämiseksi. Lievestuoreellekin suunnitella oleva rasvanpoistoallas tarvitsee lämmitystä, koska rasvanpoistokemikaalit eivät toimi tehokkaasti viileissä lämpötiloissa.

10 Energiankulutus Lievestuoreen tehtaalla

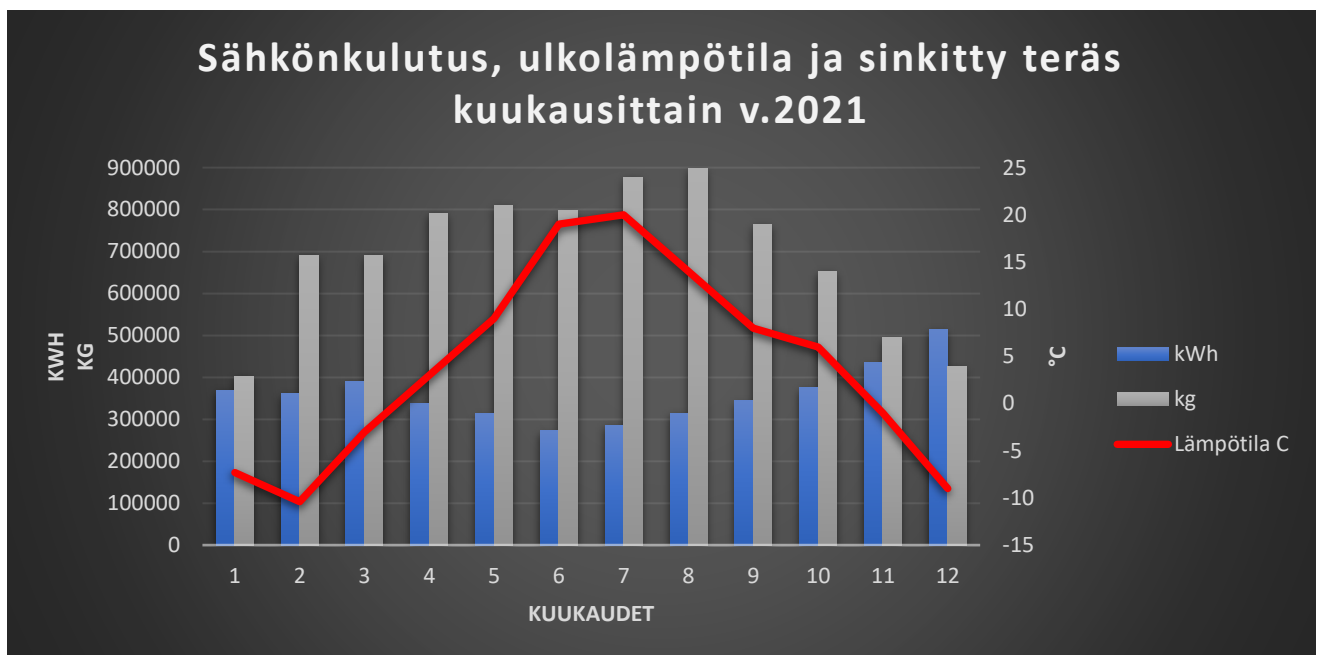
Lievestuoreen tehdas käyttää sähköä energianlähteenään. Olen tarkastellut tehtaan vuoden 2021 energiankulutusta. Olen kerännyt tuotannon tunnusluvut kuten sinkityn teräksen massan sekä sinkkikastojen määrän Aurajoki Oy:n omasta tietojärjestelmästä. Energiankulutuksen luvut sekä ulkolämpötila-arvot maaliskuusta 2021 alkaen ovat peräisin sähköenergiayhtiön ylläpitämästä asiakkaan online-palvelusta alla olevissa kaavioissa. Tätä aikaisemmat energiankulutuksen määrät olen kerännyt Aurajoki Oy:n omasta taulukosta sekä säätiedot Ilmatieteenlaitoksen tilastoista. Olen havainnollistanut numerodataa Excel-kaavioita hyödyntäen.

Kaikki Lievestuoreen tehtaan tilat ja prosessit käyttävät sähköä energianlähteenään. Lievestuoreen kuumasinkityslaitoksen energiankulutus koostuu tehdasrakennuksen sekä toimistotilojen lämmityksestä, valaistuksesta sekä prosessivesien ja sinkkipadan lämmityksestä. Energiankulutuksen vaihtelu on suurta eri vuodenaikojen välillä kuten Kuviossa 13 on nähtävissä. Lämmityskauden aikana energiankulutus on suurinta.



Kuvio 13 Lievestuoreen tehtaan sähkönkulutus ja ulkolämpötila kuukausittain v.2021 (Tiedot: Kuukausitilastot n.d.; Turku Energia – Käytön raportointi 2022; Sähkönseuranta 2022)

Tuotantomäärä vaikuttaa luonnollisesti energiankulutukseen. Mitä enemmän terästä sinkitään, sitä enemmän pata kuluttaa sähköä, koska sulaa sinkkiä selvästi viileämpi teräs jäädyttää sitä kастоjen aikana ja näin lisää padan lämmityksen tarvetta. Kylmät teräkset viilentävät myös hallia pakkaskausina, kun kylmät rakenteet tuodaan ulkoilmaa lämpimämpään tuotantohalliin. Kuumasinkitys on jossakin määrin sesonkiluonteista työtä ja sesonki ajoittuu kesän kuukausille. Vuonna 2021 elokuussa on sinkitty terästä eniten, lähes 900 000 kg, kuten Kuviosta 14 voidaan todeta.

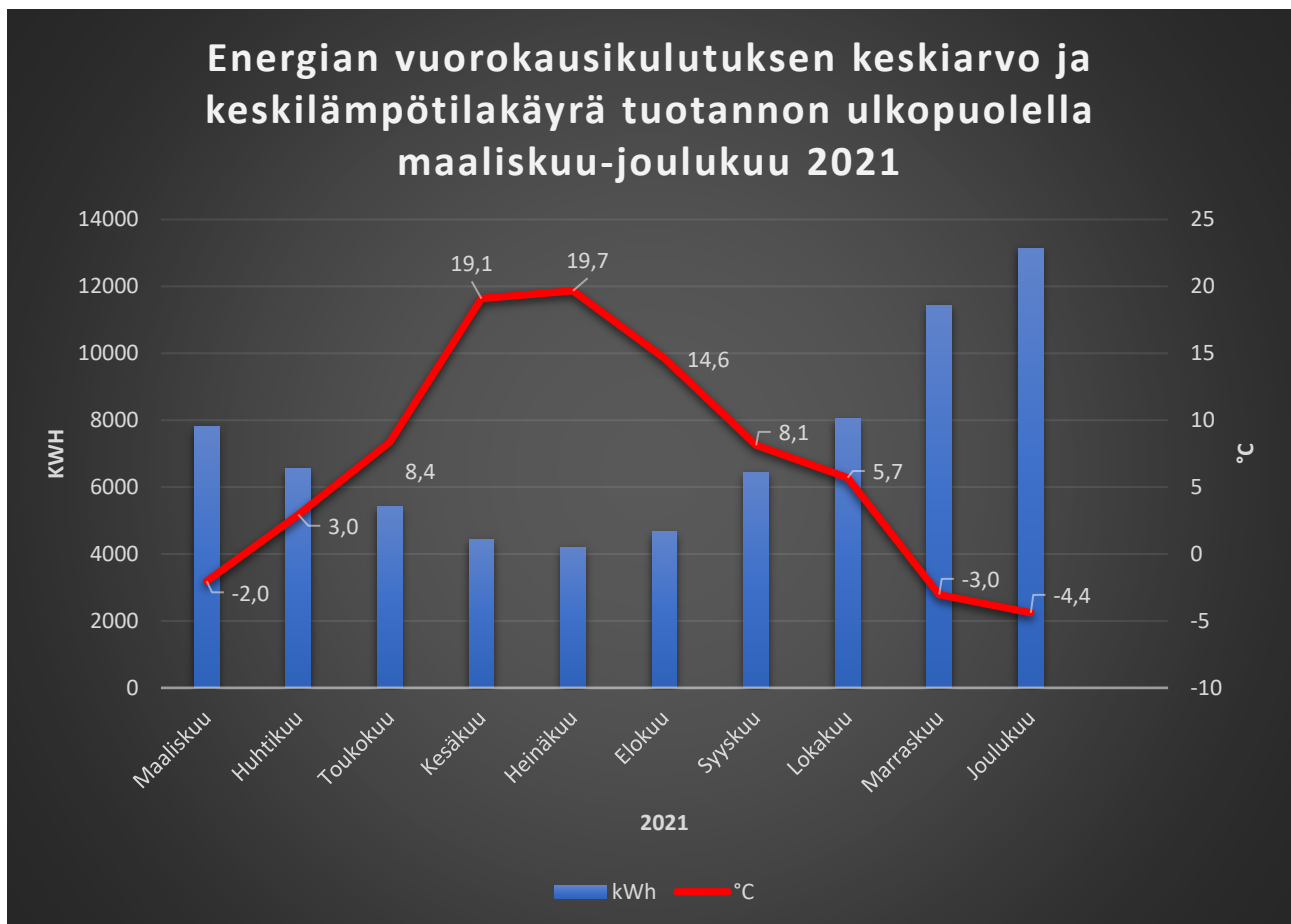


Kuvio 14 Lievestuoreen tehtaan sähkönkulutus, ulkolämpötila ja sinkitty teräs kuukausittain v.2021 (Tiedot: Kuukausitilastot n.d.; Sinkinkäyttöpäiväkirja Lievestuore 2021; Turku Energia – Käytön raportointi 2022; Sähkönseuranta 2022)

Kun tarkastellaan Kuviossa 14 esitettyä sähköenergiankulutusta suhteessa tuotantomäärään, huomataan että lämpiminä kesäkuukausina sähkönkulutus on kuitenkin pienimmillään, vaikka tuotantomäärät ovat talvikuukausiin verrattuna selvästi suurempia. Tästä voidaan päätellä, että rakennuksen lämmityksen tarve on merkittävässä osassa kokonaisenergian kulutuksessa.

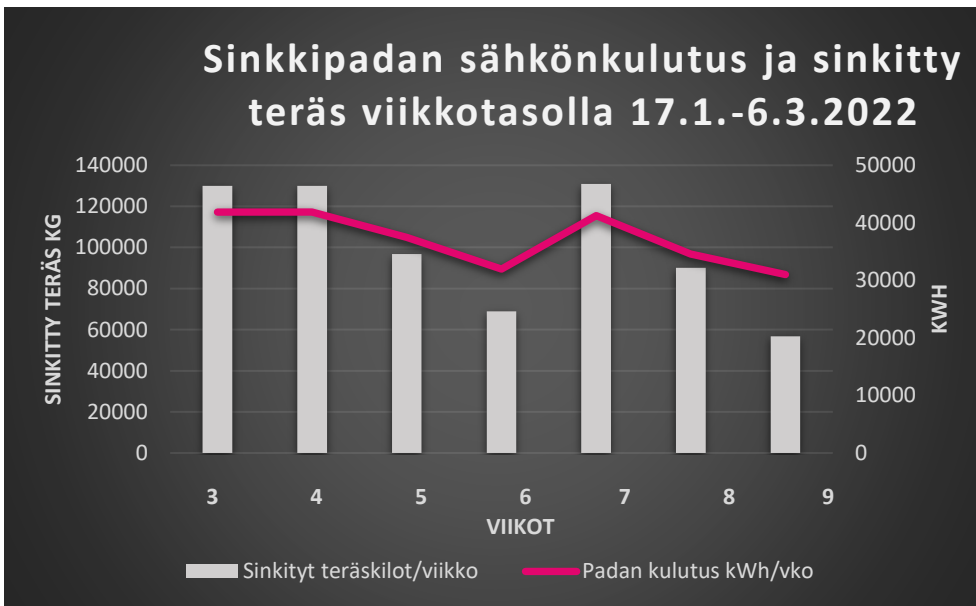
Tutkin myös energiankulutusta tuotantoaikojen ulkopuolella. Kuvio 15 kuvaa energiankulutusta suhteessa ulkolämpötilaan tuotannon ulkopuolella. Otin tarkasteluun kokonaisia vuorokausia eli

sähköenergian kulutusta on tarkasteltu viikonloppujen ja ylimääräisten vapaapäivien aikana ja laskettu vuorokausikulutuksen kunkin kuukauden keskiarvot. Lämpötilan suhteen on toimittu samoin. Energiankulutus lämpimään vuodenaikaan on yli 4000 kWh vuorokaudessa tuotannon ulkopuolella. Tilojen lämmitystarpeen ollessa pientä sähkönkulutus pysyy siis merkittävän korkealla myös tällöin.



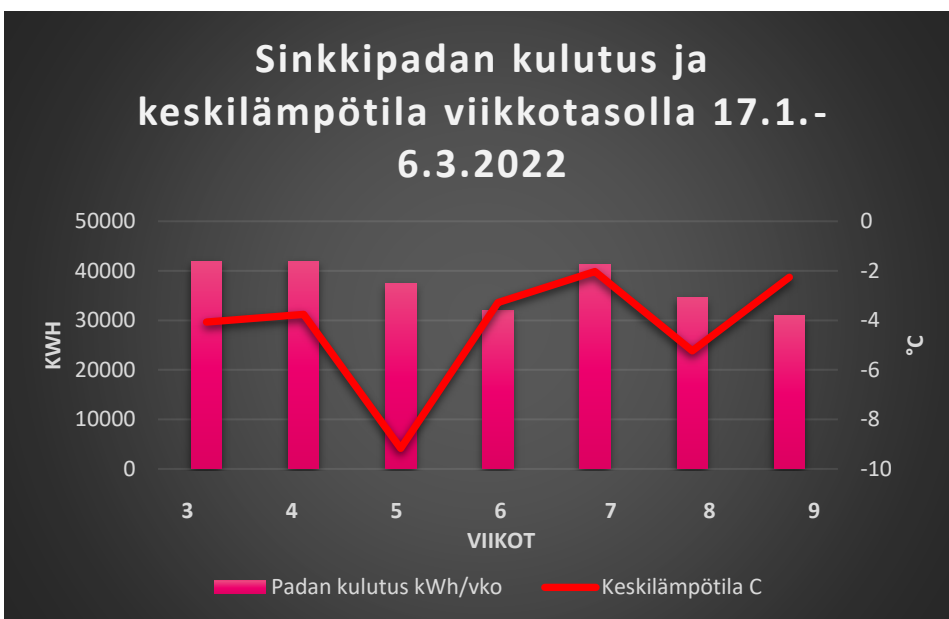
Kuvio 15 Energian vuorokausikulutuksen keskiarvo ja keskilämpötilakäyrä tuotannon ulkopuolella (Tiedot: Turku Energia – Käytön raportointi 2022)

Sinkkipadassa on oma sähkönkulutusmittari, mutta säännöllistä padan sähkönkulutuksen seuranta Lievestuoren tehtaalla ei ole viime vuosina suoritettu. Kehittämistutkimuksen aikana suoritin päivittäistä padan energiankulutuksen seuranta, jotta pystyn todentamaan padan sähkönkulutukseen liittyviä muuttujia. Padan energiankulutukseen vaikuttaa eniten sinkityn teräksen massa, kuten Kuvio 16 voidaan huomata. Sinkkipadan viikoittainen energiankulutus on korkeinta niillä viikoilla, joilla tuotantoa on eniten.



Kuvio 16 Sinkkipadan sähkönkulutuksen suhde tuotantomäärään (Tiedot: Sinkinkäyttöpäiväkirja 2021; Sinkkipadan kulutusmittari)

Ulkoilman lämpötilalla ei ole merkittävää vaikutusta padan kuluttamaan energiaan. Kuvio 17 kuvaa sinkkipadan energiankulutusta ja ulkoilman keskilämpötilaa. Kuvion perusteella ei ole huomattavissa kylmän ulkoilman lisäävän padan energiankulutusta.



Kuvio 17 Sinkkipadan energiankulutus ja ulkoilman keskilämpötila (Tiedot: Sinkkipadan kulutusmittari; Turku Energia – Käytön raportointi 2022)

11 Energiansäästöpotentialiaali

11.1 Huuvan poistoilma

Sinkityspataa ympäröi huuva (ks. Kuvio 18). Huuvan tarkoituksena on suojata ympäristöä ja työntekijöitä sinkitysroiskeilta sekä parantaa tehtaan sisäilman laatua imemällä padan poistoilma suodattimien kautta ulos rakennuksesta. Huuvan kautta poistettavan ilman määrä on 60 000 m³/h eli 16,67 m³/s, kun sitä poistetaan täydellä teholla. Imu on täydellä teholla sinkkikaston yhteydessä aina kolmen minuutin ajan. Huuvan imua kastrojen yhteydessä ohjaa nosturia käyttävä työntekijä. Kastrojen määrä on keskimäärin 10–15 kastroa/vuoro. Muuna aikana imuteho on asetettu 50 %:in eli 30 000 m³/h eli 8,33 m³/s. Huuvan poistoilman määrä ei ole mitattu, vaan luvut ovat laitetoimittajan antamia arvoja.



Kuvio 18 Lievestuoreen huuvan rakenne ja sinkityspata

Huuvan kautta poistettava ilma sisältää lämpöenergiaa. Ilman lämpötila välittömästi huuvan yläpuolella kaston aikana on noin 60–70 °C ja suodattimien jälkeen poistoilmaputken päässä ulkona kesäaikaan on noin 20–30 °C. Talvella lämpöhäviö eristämättömässä poistoputkessa on suurempi ja lämpötila putken päässä hyvin todennäköisesti matalampi. Huuvan poistoilmassa ei ole lämmöntakaisinottolaitteistoa ja lämmön haihtuminen poistoputkessa on ajoittain niin suurta, ettei ilman ohjaaminen suoraan takaisin tuotannon tiloihin ole ollut kannattavaa.

Kaava 3. Huuvan kautta poistuvan ilmamäärän energiamäärä:

$$E_{\text{huuva}} = q_{v,\text{ilma}} * \rho_{\text{ilma}} * (T_{\text{sisään}} - T_{\text{ulos}}) * C_{p,\text{ilma}} / 1000$$

missä E_{huuva} = Poistuvan ilman energiamäärä, kWh
 $q_{v,\text{ilma}}$ = Poistuvan ilman tilavuusvirta, m³/s
 ρ_{ilma} = ilman tiheys, 1,2 kg/m³
 $T_{\text{sisään}}$ = Huuvan poistoilman lämpötila poistoputken alkupäässä, °C
 T_{ulos} = Huuvan poistoilman lämpötila poistoputken loppupäässä, °C
 $C_{p,\text{ilma}}$ = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg*K)
 1000 = muuntokerroin kilowattitunneiksi

Tarkastellaan vuoden 2022 helmikuun tuotantoa. Sinkityskastoja helmikuussa Lievestuoreen tehtaalla on tehty 436 kertaa. Huuvan imu on siis toiminut täydellä teholla noin 22 tunnin ja puolella teholla 650 tunnin ajan. Lasketaan huuvan kautta poistuneen ilman energiamäärä kaavalla 3. Laskennassa käytetään lämpötilaerona 30 °C. Huuvan kautta on laskennallisesti poistunut energiaa noin 13 MWh huuvan käydessä täydellä teholla. Muuna aikana huuvan kautta on poistunut energiaa noin 195 MWh helmikuussa. Yhteensä laskennallinen poistunut energiamäärä on 208 MWh.

Laskennat ovat kuitenkin suuntaa antavia. Ilmamäärää tai lämpötiloja ei ole työn yhteydessä mitattu vaan on käytetty aiemmin mitattuja ja laitetoimittajan antamia arvoja. Lämpötilaero saattaa olla pienempi esimerkiksi yöaikaan, kun sinkkipata on peitetty kansilla. Tällöin poistoilman lämpötila ei ole luonnollisesti yhtä korkea kuin tuotannon aikana. Potentiaalia lämmön talteenottoon poistoilmavirroista kuitenkin varmasti on, sillä sinkkipata lämmittää poistoilmaa tehokkaasti etenkin tuotannon aikana, kun pata on avoin.

11.2 Rakennuksen ilmavuodot ja ovien käyttö

Lievestuoreen sinkityslaitoksen tuotantohalli on valmistunut vuonna 1988. Se on ollut samassa käyttötarkoituksessa koko tämän ajan. Tarkastelin tuotantohallin energiatehokkuutta silmämääräisesti. Rakenteiden lämpökuvausta tai muuta yksityiskohtaisempaa tarkastelua ei suoritettu.

Kiinnitin huomiota ovien käyttöön. Hallin molemmissa päissä on yhteensä neljä nosto-ovea (ks. Kuviot 19), mitä kautta teräsrakenteita liikutellaan sisään ja ulos pyöräkuormaajalla tai sähkötrukilla. Hallin toisessa päässä on myös käytössä käyntiovi nosto-oven yhteydessä työntekijöiden kulke-
mista varten.



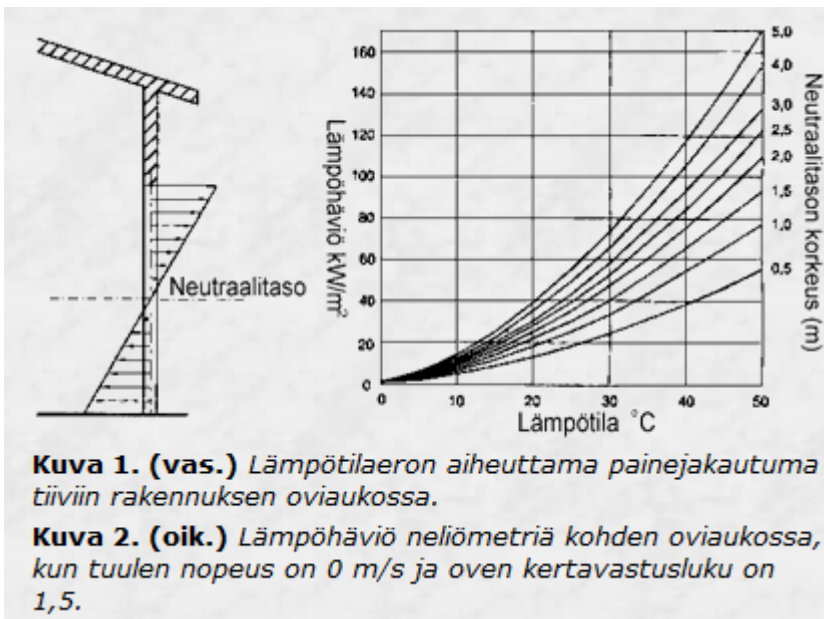
Kuvio 19 Mustan pään ovet

Huomioitavaa on, että missään nosto-ovessa ei ole integroitua käyntiovea. Mustan pään nosto-oven yhteydessä on erillinen käyntiovi, kuten Kuvioista 19 on nähtävillä. Tuotantohallin toisesta päästä käyntiovet puuttuvat ja uloskäynti tapahtuu nosto-ovien tai sisätilojen kautta. Todella usein työntekijöiden käynti ulos kulkee nosto-oven kautta ja lämpöhäviö on suurempi oven suuremman pinta-alan vuoksi. Integroitu käyntiovi on käytännöllinen ja se vähentäisi ovien käytöstä johtuvia lämpöhäviöitä, koska nosto-ovea ei tarvitsisi avata siitä kulkiessa.

Ovien käyttöön tulee tuotantotiloissa kiinnittää huomiota etenkin lämmityskauden aikana. Nosto-
ovet ovat auki osan päivää myös kylmän sään vallitessa. Esimerkiksi taukojen aikana nosto-ovet

ovat silloin tällöin unohtuneet auki tai ovia ei viitsitä laskea työtehtävien välissä, jos pian on käyntiä uudelleen hallin ulkopuolelle. Lämpöhäviöt ovat suuria ja hallin lämmitysenergian tarve kasvaa, sillä avoimen oviaukon kohdalla paine-ero pyrkii tasaantumaan. Kylmä ilmavirta hakeutuu sisälle ja lämmin sisäilma ulos.

Lasketaan Kuvion 20 perusteella yhden nosto-oven aiheuttama lämpöhäviö. Kuvitellaan tilanne, jossa nosto-ovi on päivän aikana täysin auki yhden tunnin ajan ilman syytä. Hallin lämpötila on 15°C ja ulkolämpötila -5°C. Tällöin lämpötilaeroksi tulee 20°C. Oven pinta-ala on 30 m². Oletetaan oven neutraalitason korkeudeksi 3 m. Kuvion 18 taulukosta saadaan lämpöhäviöksi noin 30 kW/m². Kokonaislämpöhäviöksi tässä tilanteessa muodostuu 30 kW/m² x 30 m² = 900 kW. Vuorokauden aikana lämpöenergiaa hukataan 900 kWh.



Kuvio 20 Avoimen oven aiheuttama lämpöhäviö (Faktaa lämpöhäviöistä N.d.)

Tarkastellaan tilannetta koko vuoden 2021 osalta. Kesän aikana Jyväskylän alueella keskilämpötila on yli 17 °C, joten lämmön hukkaa ei synny sisälämpötilan ollessa 15 °C. Talven, kevään ja syksyn keskilämpötila on 0,3 °C. Lämpötilaero on siis noin 15 °C ja lämpöhäviö 20 kW/m². Kokonaislämpöhäviö on 600 kW. Lasketaan koko vuoden lämpöenergian hukka, kun oletetaan oven olevan auki tunnin ajan vuorokaudessa. Työpäiviä on ollut 253. Energian laskennallinen hukka on ollut 151 800 kWh.

Myös ovien tiiviyyteen tulee myös kiinnittää huomioita. Ovien tiivisteet ovat osin puutteelliset. Lisäksi tuotantohallia kiertävät ikkunat, mitkä ovat ylhäällä lähes hallin katon rajalla (ks. Kuvio 21). Ikkunat ovat osin tummuneet eikä niillä ole merkittävää valaistuksellista merkitystä. Yhdessä ikkunassa on havaittavissa vaurio. Hallin energiatehokkuus paranee, jos ikkunat eristetään tai kokonaan peitetään eristävällä materiaalilla. Myös hallin seinärakenteissa on silmin nähtävillä ilmavuoja, mitkä tukkimalla vähennetään lämpöenergian hukkaa.



Kuvio 21 Lievestuoreen tuotantohalli

11.3 Sinkkipadan lämmityksen optimointi

Lievestuoreen sinkkipadan energiankulutus on tyyppillisesti noin 6000–8000 kWh vuorokaudessa, kun sinkitystä tapahtuu kahdessa vuorossa. Sinkkipataa lämmitetään koko ajan samalla teholla myös viikonloppuisin sekä öisin, jolloin tuotantoa tehtaalla ei ole. On erityisen tärkeää, että sinkin lämpötilataso pysyy yllä eikä sinkki pääse jäähtymään liikaa missään vaiheessa. Sinkkipadan lämmitys on säädetty tarpeeksi korkealle, eikä sitä ole aktiivisesti säädetty tuotannon huippujen tai katkosten mukaan.

Kattila lämpenee sähkövastuksilla ja tekniikka on iäkästä. Padan lämmityksen säätäminen muuttuvien olosuhteiden perusteella ei ole tällä hetkellä tarkoituksen mukaista, sillä esimerkiksi padan

automaattisten lämpötila-antureiden antamat lukemat eivät ole tällä hetkellä täysin paikkansa pitäviä. Luotettavan sinkin lämpötilan saa nyt vain manuaalisesti mittaamalla. Kattilatekniikkaa uusittaessa tulevaisuudessa on syytä harkita padan lämmityksen säätämistä tuotannon olosuhteiden mukaan. Esimerkiksi viikonloppuisin ei ole syytä lämmittää pataa yhtä kovalla teholla kuin tuotannon huippuhetkillä, koska käyttämättömän padan lämpötila pysyy tarpeeksi turvallisen korkeana vähemmälläkin energialla.

Kaava 4. Sinkin vastaanottama lämpömäärä:

$$Q=cm\Delta T$$

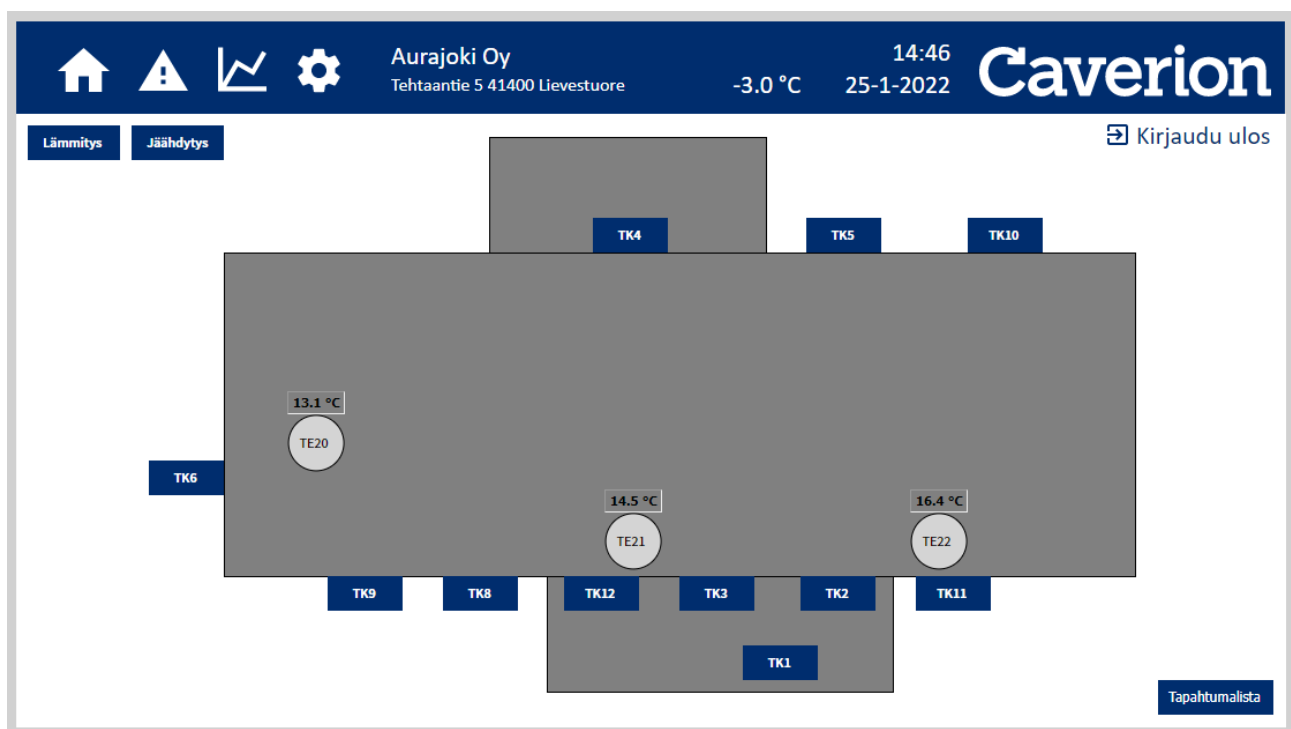
missä Q =sinkin vastaanottama lämpömäärä, kJ
 c =sinkin ominaislämpökapasiteetti, 0,388 kJ/(kg*K)
 m =massa, kg
 ΔT =lämpötilan muutos, °C

Lasketaan esimerkkilaskelma energiansäästöstä kaavalla 4, jos lämpötilatasoa sinkkipadassa lasketaan. Sinkkipadan tilavuus Lievestuoreen tehtaalla on noin 35 m³. Tämä arvo on laskettu suurimman kastettavan kappaleen mittojen perusteella. Tarkan tilavuuden laskeminen on vaikeaa, koska pata ei ole täysin säilyttänyt alkuperäistä muotoaan. Todellinen tilavuus on jonkin verran suurempi. Sinkin tiheyden ollessa 7,14 kg/dm³ padassa olevan sinkin massaksi saadaan 249 900 kg. Massa on laskettu kiinteään sinkin tiheysarvolla. Sulan sinkin tiheys on oletettavasti hieman matalampi. Sinkin ominaislämpökapasiteetti on 0,388 kJ/(kg*K).

Lämpötilan muutosta voidaan tarkastella celsius-yksiköissä. Sinkin sulamispisteen ollessa 420 °C voinee tuotannon ulkopuolelle pitää sinkin lämpötila esimerkiksi 430 °C nykyisen 455 °C sijaan. Tästä saadaan lämpötilaeroksi 25 °C. Sinkin vastaanottaman lämpömäärän vähennys on Kaavalla 2 laskettuna noin 2420 MJ, mikä vastaa noin 670 kWh. Tämä tarkoittaa sitä, että, jos sinkkipadan lämpötilaa pudotetaan esimerkiksi viiden tunnin ajaksi yöaikana, se tekee laskennallisesti 3350 kWh säästön vuorokaudessa.

11.4 Tuotantohallin ilmanvaihto

Tuotantohallin ilmanvaihdosta vastaa huuvan lisäksi kymmenen IV-konetta sekä kolme poistoilmapuhallinta. IV-koneiden sijainti on kuvattu Kuviossa 24 ja ne puhaltavat tuloilmaa halliin. IV-kone TK1 vastaa toimistotilojen ilmanvaihdosta. Tuotantohallin sisällä on kolme lämpötilan mittauspistettä, TE20, TE21 ja TE22, ja ne mittaavat tuotantohallin sisälämpötilaa. Tuotantotilojen lämmitys tapahtuu IV-koneiden sähköpattereilla, mitkä ovat lämmitysteholtaan 40 kW tai 60 kW. Suuremman tehon tuloilmakoneita on neljä ja ne on sijoitettu sinkityspadan läheisyyteen. Ilmanvaihdossa ole tällä hetkellä käytössä aikaohjelmia eikä tuotantotilojen lämmitystä pienennetä tuotannonkatkosten aikana, kun halli ei ole käytössä. Poistoilmapuhaltimissa ei myöskään ole lämmön talteenottoa.



Kuvio 22 Layout: Lievestuoreen tuotantohallin IV-koneet (Caverion – IV-käyttöliittymä 2022)

Tuotantohallin lämpötilatasoa pudotettiin tammikuun 2022 aikana. Lämmityksen asetusarvoa pudotettiin arvosta 21°C arvoon 15 tai 16°C. Tämä muutos ei ole heikentänyt työskentelyolosuhteita, mutta taloudellisesti on saavutettu säästöä. Pudotus tehtiin 18.1.2022. Helmikuussa tehtaan kokonaisenergiankulutus putosi yli 84 000 kWh verrattuna tammikuun kulutukseen. Vuorokausikohtai-

nen säästö helmikuun aikana oli keskimäärin 1300 kWh. Huomioitava on, että helmikuun keskilämpötila oli 1,5 °C korkeampi, mikä hieman vähentää luonnollisesti lämmitykseen kuluvan energian määrää.

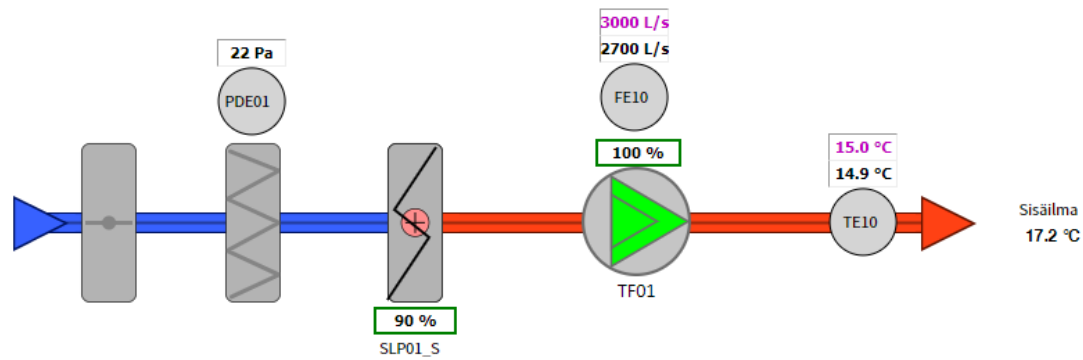
Lisää säästöä toisi aikaohjelmien luominen tuloilmanlämmitykseen. Tuloilman lämmitys on tällä hetkellä samalla teholla riippumatta vuorokauden ajasta tai tuotannon toiminnasta. Työskentely loppuu klo 22 ja alkaa aamuisin klo 6. Lämpötilaa tuotantotiloissa voisi pudottaa esimerkiksi kolmella asteella klo 22–03 väliseksi ajaksi arkisin sekä kokoaikaisesti viikonloppuisin.

Kaava 5. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve:

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_{sp} - T_{ulko}) \Delta t / 1000$$

missä Q_{iv} =ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
 t_d =ilmanvaihdon vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
 t_v =ilmanvaihdon viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk
 ρ_i =ilman tiheys, 1,2 kg/m³
 c_{pi} =ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg*K)
 $q_{v,tulo}$ =tuloilmavirta, m³/s
 T_{sp} =sisäänpuhalluslämpötila, °C
 T_{ulko} =ulkolämpötila, °C
 Δt =aika, h
 1000=muuntokerroin kilowattitunneiksi

Lasketaan tuloilmapuhaltimen 2 (ks. Kuvio 25) lämmityksen nettotarve kaavan 5 avulla. Otetaan lämpötilaksi kuluvan vuoden helmikuun keskilämpötila, mikä on ollut -4,7 °C Jyväskylässä. Kun mitään aikaohjelmaa ei ole käytössä vuorokauden energiantarpeeksi tälle yhdelle puhaltimelle muodostuu 1530 kWh, kun tuloilmavirta pysyy tuossa 2700 l/s. Jos sisään puhallettavan ilman lämpötilaa lasketaan kolme astetta, laskennalliseksi nettoenergiatarpeeksi muodostuu 1300 kWh vuorokaudessa.



TK02

Kuvio 23 Tuloilmapuhallin TK02

Myös sisään puhallettavan ilman määrää voidaan säätää tarpeen mukaan. Lasketaan kaavalla 3 vielä tilanne, missä tuloilmavirran maksimimäärää pudotetaan puhaltimelta 2 kolmanneksella ja lämpötilaa sen kolme astetta. Tuloilmavirran määrä on nyt 2000 l/s ja sisäänpuhalluslämpötila 12 °C. Vuorokauden nettoenergiatarve putoaa merkittävästi ollen 960 kWh. Kahden vuorokauden säästö tämän yhden puhaltimen kohdalla on laskennallisesti 1140 kWh.

Jo näinkin karkea tuloilmakoneiden säätäminen voi tuoda merkittävän säästön vuositasolla. Tämän tyyppinen säätäminen on mahdollista kohdistaa täysin tuotannon ulkopuolelle, joten se ei vaikuta työskentelyolosuhteisiin. Tulee myös arvioida, voiko tuloilmapuhaltimia sammuttaa joksikin ajaksi esimerkiksi viikonloppuisin. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, ettei erilaiset prosessivedet pääsisi jäätymään lämmityksen säätämisen vuoksi.

11.5 Passivointiallas

Kuumasinkityksessä teräs saavuttaa sinkkipadan lämpötilan kastovaiheessa. Lähes kaikki kuumasinkityt teräkset käytetään passivointikylvyssä sinkityksen jälkeen. Passivointialtaan veteen kertyy lämpöenergiaa, sillä teräkset kastetaan passivointiin hyvin pian padasta nostamisen jälkeen. Tein

passivointialtaan lämpötilan mittausta tuotannon aikana useana päivänä. Riippuen tuotantomäärästä passivointialtaan lämpötila vaihtelee. Passivointialtaan lämpötila oli seurannan aikana korkeimmillaan 55,2 °C ja alimmillaan 32,2 °C.

Passivointiallas lämmittää talviaikaan tuotantotilaa ja näin vähentää tilan lämmityksen tarvetta. Lämmön talteen ottaminen ja hyödyntäminen prosessin toisessa vaiheessa ei siten ole kannattavaa Lievestuoreen tehtaalla lämmityskauden aikana, koska passivointialtaan lämpö hyödynnetään passiivisesti tilojen lämmityksessä. Lämmityskauden ulkopuolella passivointialtaaseen kerääntyvää lämpöä voidaan ajatella hyödynnettävän esimerkiksi sinkkipadan lämmitykseen.

Passivointialtaan lämpöenergiaa voidaan ajatella hyödynnettävän terästen kuivaamiseen sinkityslaitoksilla, missä kuivausuuni on osana prosessia. Kuivausuuni on käytössä ympäri vuoden esimerkiksi Aurajoen Pirkkalan tehtaalla. Tällöin passivointialtaan lämpöenergia saadaan hyödynnettyä kesäaikaan eikä allas ole lämmittämässä tuotannon tiloja ja näin lisäämässä mahdollisen viilennyksen tarvetta.

11.6 Sinkityt teräkset

Kaston aikana teräs saavuttaa sinkkipadan lämpötilan eli noin 450 °C. Sinkityksen jälkeen teräkset luovuttavat lämpöä ympäristöönsä ja lämmittävät tuotannon tiloja. Tuotannossa voidaan kiinnittää huomiota siihen, että lämmityskauden aikana sinkityt teräkset jäähtyisivät mahdollisimman pitkään tuotannon tiloissa. Näin ne vapauttavat mahdollisimman paljon lämpöenergiaa sisätiloihin ja näin pienentävät hallin lämmityksen energiankulutusta.

11.7 Työntekijöiden rooli energiankulutuksessa

Jokaisella yrityksen työntekijällä on roolinsa energian kulutuksen hallinnassa. Yrityksen energiatehokkuuden parantamista koskevia tekijöitä on hyvä avata konkreettisella tavalla työntekijöille sekä liittää nämä asiat myös uuden työntekijän perehdytykseen. Tiedottaminen esimerkiksi energiankulutuksesta sekä säästävien toimien vaikutuksesta voi toimia kannustimena oman tekemisen arvioimiseen ja muuttamiseen. Esimerkiksi nosto-ovien käyttämiseen pystyy jokainen työntekijä vaikuttamaan. Kattava perehdyttäminen ja tiedottaminen voidaan ulottaa myös muuhun toimintaan ja näin saavuttaa taloudellista säästöä esimerkiksi materiaalikustannuksissa, työkalukustannuksissa

ja niin edelleen. Tärkeää on työntekijöiden motivointi ja sitouttaminen. On tärkeää, että työntekijälle tulee tunne, että hänen toimintansa on merkityksellistä.

12 Investointiehdotukset ja takaisinmaksuaika

12.1 Energiatuki

Uusiutuvan energian käyttöön, energiatehokkuuteen tai energian säästöön tähtääviin toimenpiteisiin ja investointeihin on mahdollista saada energiataukea. Energiataukea on mahdollista hakea myös energiakatselmusten kustannuksiin tai ESCO-palveluin toteutettaviin energiatehokkuusinvestointeihin. Energiatuki on harkinnanvarainen tuki eikä sitä tarvitse maksaa takaisin. Tuella on oltava hankkeelle käynnistävä vaikutus, joten sitä ei makseta ennen tukipäätöstä alkaneille hankkeille. Energiahankkeen kustannuksen tulee olla vähintään 10 000 euroa, mutta ylärajaa ei ole. Energiatukihakemukset toimitetaan Innovaatorahoituskeskus Business Finlandille. (Energiatuki n.d.)

Energiatuen määrä hieman vaihtelee riippuen investoinnin laadusta. Esimerkiksi lämpöpumppu- ja aurinkosähköhankkeille tuen suuruus raportoiduista kustannuksista on 15 %. Jäte- ja hukkalämpöjen hyödyntävät lämpöpumppuhankkeet luokitellaan kuitenkin energiansäästöä ja energiatehokkuutta edistäviin toimenpiteisiin ja näille toimenpiteille maksettava tuki on 20 %, jos yritys on mukana energiatehokkuussopimuksessa. Jos energiatehokkuusinvestointi toteutetaan ESCO-palvelun kautta, tuki on 25 %. Pienten ja keskisuurten yritysten on mahdollista saada energiataukea myös energiakatselmuksiin 40–50 %. (Energiatuki n.d.)

Huomioitavaa on, että energiataukea ei myönnetä esimerkiksi tavanomaisiin valaistuksen energiatehokkuustoimenpiteisiin, rakennuksen eristysten parantamiseen tai kylmälaitteiden oviin tai kansiin tai muihin vastaaviin investointeihin. Myöskään uudisrakennuskohteiden energiatehokkuuden toimenpiteisiin ei saa tukea pois lukien hankkeet, joissa käytetään uutta teknologiaa tai investoidaan aurinkosähköön tai pientuulivoimaan. (Energiatuki n.d.)

Lievestuoreen kuumasinkityslaitoksella energiataukihankkeeksi soveltuisi hyvin poistoilman lämmön hyötykäyttöön soveltuva investointi, esimerkiksi poistoilmalämpöpumppu lämmöntalteenottolaitteistolla. Tämä hanke parantaisi laitoksen energiatehokkuutta. Aurajoki on osallinen energiatehokkuussopimuksessa, joten hankkeelle myönnettävä tuki olisi 20 % vuonna 2022.

Energiatukihakemukseen tulee liittää kattavaprojektisuunnitelma, missä esitetään muun muassa organisaation toiminta, hankkeen tavoitteet ja toteuttamissuunnitelma. Investoinnille on tehtävä kannattavuuslaskelma suoraa takaisinmaksuaikaa käyttäen ja määriteltävä rahoitussuunnitelma. Hakemukseen on myös esitettävä perusteltu vähimmäistukimäärä, millä hanke saadaan yrityksessä käynnistettyä. (Projektisuunnitelma – Energiatuki n.d.)

ESCO-palvelut

ESCO-palveluja tarjoavat yritykset toteuttavat asiakkaalle energiansäästötoimenpiteitä ja energiatehokkuusinvestointeja. Asiakkaan energiankulutus laskee ja se synnyttää säästöjä, joilla ESCO-palvelun kustannukset ja investoinnit maksetaan palvelukauden aikana. Hankkeen rahoitukseen voi sisältyä myös asiakkaan omaa rahoitusta, jos energiatekniikan laitteita joudutaan uusimaan. Erillisten ESCO-yritysten lisäksi palveluntarjoajana voi toimia myös energiayhtiö tai energiatehokkaita laitteita tarjoava yritys. (Saarivirta n.d.)

12.2 Suora takaisinmaksuaika

Suora takaisinmaksuaika on yksinkertainen mittari, kun tarkastellaan energiatehokkuusinvestointien kannattavuutta. Se lasketaan jakamalla investoinnin kustannukset vuotuisella säästöllä. Suora takaisinmaksuaika ei ota huomioon takaisinmaksuajan jälkeisiä säästöjä eikä energian hinnan tai rahan arvon kehitystä. Jotta investointi on kannattava, takaisinmaksuajan tulee olla esimerkiksi investoidun laitteen käyttöikä lyhyempi. (Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus 2018.)

Kaava 6. Suoran takaisinmaksuajan laskenta:

$$n = \frac{H}{s}$$

missä n = takaisinmaksuaika vuosina, a

H = investointikustannukset, €

s = kustannussäästö, €/a

Tarkastellaan yhden nosto-oven uusimisen kustannusarviota sekä investoinnin kannattavuutta suoran takaisinmaksuajan kautta. Luvussa 12.2 Rakennuksen ilmavuodot ja ovien käyttö on laskettu yhden nosto-oven aukipitämisestä aiheutuva hukka vuodessa 151 800 kWh. Tässä kohtaa oletuksena on, että käyntiovelliseen nosto-oveen investoimalla nosto-oven turha käyttö loppuisi ja ovi ei olisi auki ilman tarkoitusta oletettua tunnin aikaa päivässä.

Oven investointikustannus ilman asennusta on noin 6 000 €. Arvio on tehty erään ovitoimittajan laskurin perusteella. Oletetaan sähköenergian kokonaishinnaksi 0,1 €/kWh, jolloin vuosittainen laskennallinen säästö on 15 180 €. Takaisinmaksuajaksi muodostuu laskennalla 0,4 vuotta, mikä tekee investoinnin varsin kannattavaksi. Täytyy muistaa, että oviaukon aiheuttama lämpöhäviö on laskettu oletusten ja arvioiden perusteella ja sen tarkka määrittäminen on vaikeaa. Laskenta kuitenkin antaa olettaa, että ovia uusimalla energiatehokkuutta voidaan parantaa lyhyellä takaisinmaksuajalla.

13 Pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa Aurajoki Oy:n Lievestuoreen kuumasinkityslaitoksen energiansäästöpotentiaali ja arvioida laskennallisesti hukkaenergian määrää. Tavoitteena oli tarkastella sekä kuumasinkitysprosessin että koko tehtaan energiatehokkuutta. Tarkoituksena oli tuottaa tietoa, mitä pystyy soveltaen hyödyntämään myös konsernin muissa kuumasinkityslaitoksissa.

Työn alussa määritettiin tutkimuskysymykset, joiden kautta pyrittiin saavuttamaan asetetut tavoitteet. Tutkimuskysymykset olivat:

- Millainen on kuumasinkityslaitoksen energiansäästöpotentiaali?
- Millaisin toimenpitein energiatehokkuutta voidaan parantaa kuumasinkitysprosessissa?
- Miten kuumasinkityslaitoksen energiatehokkuutta voidaan parantaa?
- Millainen on energiatehokkuustoimenpiteiden taloudellinen kannattavuus?

Työn tulosten kautta voidaan todeta, että kuumasinkityslaitoksella on potentiaalia energiatehokkuuden parantamiseksi. Merkittävimmät säästöpotentiaalit löytyivät rakennuksen energiatehokkuuden parantamisessa. Suurimmat hyödyt saavutettaneen tällä hetkellä tuotantohallin tuloilman lämmityksen ja tuloilmavirran säätämällä sekä poistoilman lämmöntalteenottoon investoimalla. Tulevaisuuden investointeja suunniteltaessa kannattaa panostaa tekniikkaan, mikä mahdollistaa myös sinkkipadan lämmityksen helpomman säätämisen joko automaattisesti tai manuaalisesti. Tämä tulee ajankohtaiseksi, kun sinkityspadan uusimista suunnitellaan.

Työssä onnistuttiin löytämään tavoitteeksi asetettuja energiansäästökohteita kattavasti. Laskennallisiin tuloksiin olisi saanut lisää luotettavuutta tekemällä kattavammin mittauksia kehittämistyön aikana. Nyt laskentaa tehtiin arvioiden ja vanhojen mittausten ja tietojen perusteella. Sähkön kokonaiskulutuksen seuranta onnistui hyvin sähköyhtiön palvelun kautta.

Tavoitteena oli myös arvioida energiatehokkuustoimenpiteiden taloudellista kannattavuutta. Tämä arviointi jäi kohtalaisen pieneksi. Ajankäytön haasteet sekä työn laajat mahdollisuudet pakottivat rajaamaan työtä näiden osalta. Työn tuloksia voidaan kuitenkin hyödyntää, kun lähdetään suunnittelemaan ja arvioimaan energiatehokkuusinvestointien taloudellista kannattavuutta. Tuloksia voidaan myös soveltaa tarkasteltaessa muita konsernin kuumasinkityslaitoksia.

Jatkossa olisi aiheellista tarkemmin tutkia ilmanvaihtoon liittyvää energiansäästöpotentiaalia ja miten poistoilman lämpö saadaan tehokkaammin hyödynnettyä esimerkiksi tuloilman lämmityksessä. Lisäksi tulisi pohtia tarkemmin kuumasinkitysprosessin ja poistoilman lämpöenergian hyödyntämistä kesällä, jolloin hukkalämpöä ei tarvita tilojen lämmityksessä. Myös tuotantohallin rakenteiden energiatehokkuutta kartoittamalla voidaan saavuttaa kannattavia investointikohteita.

Lähteet

Aurajoki. 2021. Aurajoki Oy:n verkkosivut. Viitattu 31.1.2021. <https://www.aurajoki.fi/>.

Caverion – IV-käyttöliittymä. 2022. Caverionin järjestelmä ilmanvaihtokoneiden toiminnan seuraimista ja niiden säätämistä varten.

Cengel, Y. & Ghajar, A. 2015. Heat and Mass Transfer – Fundamentals & Applications. Viides painos. New York: McGraw Hill-Education.

Ghoshdastidar, P. S, 2012. Heat Transfer. Toinen painos. Oxford University Press. Viitattu 1.12.2021. <https://janet.finna.fi>, Knovel.

EG EnerKey SaaS, markkinoiden kattavin vastuullisuusraportoinnin ja energianhallinnan saas-palvelu. 2022. EG EnerKeyn verkkosivut. Viitattu 8.2.2022. <https://www.enerkey.com/fi/enerkey-saas/>.

Energiatehokas ilmanvaihto teollisuudessa. N.d. Motivan verkkojulkaisu. Viitattu 14.2.2022. https://www.motiva.fi/files/18470/Energiatehokas_ilmanvaihto_teollisuudessa.pdf.

Energiatehokas lämmitys- ja lämmöntalteenottojärjestelmä. N.d. Motivan koulutusmateriaali. Viitattu 30.3.2022. https://www.motiva.fi/files/7812/Energiatehokas_Lammitys_LTO_KOULUTUSAINEISTO.pdf

Energiatehokkuustyöryhmän raportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2019:53. 2019. Viitattu 30.3.2022. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161811/TEM_53_2019_Energiatehokkuustyoryhman_raportti_WEB.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Energiatuki. N.d. Artikkelit energiatuesta Business Finland-toimijan verkkosivuilla. Viitattu 11.3.2022. <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>.

Esiselvitys – Ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa. 2019. Motivan artikkeli. Viitattu 15.4.2022. https://www.motiva.fi/files/16214/Esiselvitys_-_Ylijaamalammon_potentiaali_teollisuudessa.pdf.

Faktaa lämpöhäviöistä. N.d. Teollisuuteen ovia myyvän yrityksen verkkosivut. Viitattu 15.4.2022. <http://www.fenmer.com/suomi/havio.htm>.

Heikkilä, I. & Kiuru, T. 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen: Ylijäämälämpöenergia-analyysit. Motivan verkkojulkaisu. Viitattu 30.3.2022. https://www.motiva.fi/files/10216/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Ylijaamalamponenergia-analyysit.pdf.

Hänninen, H., Karppinen, M., Leskelä, M. & Pohjakallio, M. 2018. Tekniikan kemia. 14. uudistettu painos. Edita Publishing Oy.

- Kataikko, M. & Maaskola, I. 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen: Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset. Motivan verkkojulkaisu. Viitattu 30.3.2022. https://www.motiva.fi/files/10217/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu_ ja_ORC-sovellukset.pdf.
- Kuumasinkityskäsikirja. 2020. Nordic Galvanizers -organisaation verkkomateriaali. Viitattu 31.10.2021. <http://nordicgalvanizers.com/litterature-and-fact-files/?lang=fi>.
- Kuukausitilastot. N.d. Kaupunkikohtaiset tilastotiedot kuukauden keskilämpötilasta Ilmatieteenlaitoksen verkkosivuilta. Viitattu 10.1.2022. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>.
- Lampinen, M. 2010. Termodynamiikan perusteet. Seitsemäs painos. Helsinki: Gaudeamus.
- Muukkonen, J-P. 2019. Lämpöpumppulaitoksen lämpökerroinmittaus ja levylämmönsiirtimen uusiminen. Opinnäytetyö, YAMK. Metropolia Ammattikorkeakoulu, talotekniikka. Viitattu 26.12.2021. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019060113947>.
- Nyman, M. & Saari, M. 2017. PILP-opas 2018. Ympäristöministeriön julkaisu. Viitattu 27.4.2022. https://www.motiva.fi/files/16478/PILP-opas_2018.pdf.
- Paloposki, T. 2020. Termodynamiikka ja lämmönsiirto. Aalto-yliopiston Insinööritieteiden luentomateriaali.
- Palveluehdotus Aurajoki – EnerKey. 2021. Asiakirja Aurajoki Oy:n tietojärjestelmässä.
- Pernaa, J. 2013. Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä. Artikkelijulkaisussa Kehittämistutkimus opetuslalla. Viitattu 23.4.2021. <https://researchportal.helsinki.fi/publications/kehitt%C3%A4mistutkimus-tutkimusmenetelm%C3%A4n%C3%A4>.
- Poistoilmalämpöpumppu 2022. Artikkelijulkaisu Motivan verkkosivuilla. Viitattu 27.4.2022. https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/poistoilmalampopumppu.
- Projektisuunnitelma – Energiatuki. N.d. Tiedote Business Finlandin verkkosivuilla. Viitattu 28.4.2022. https://www.businessfinland.fi/4961e7/globalassets/finnish-customers/01-funding/08-guidelines--terms/instructions/energiihakemuksen_projektisuunnitelma.pdf.
- Saarivirta, E. N.d. Artikkelijulkaisu Motivan verkkosivuilla. Viitattu 11.3.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmuksset/katselmus_ ja_ investointuet/esco-hankkeiden_tuki
- Sinkinkäyttöpäiväkirja Lievestuore. 2021. Aurajoki Oy:n oma tilasto vuodelta 2021 M-files-tiedonhallintaohjelmistossa.
- Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus. 2020. Verkkojulkaisu. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 31.10.2021. https://www.stat.fi/til/ehk/2020/04/ehk_2020_04_2021-04-16_tie_001_fi.html.

Sähkönseuranta. 2022. Aurajoki Oy:n oma tilasto sähkönkulutuksesta M-files-tiedonhallintaohjelmistossa.

Tervetuloa taloon! 2022. Aurajoen oma perehdytysmateriaali M-files tiedonhallintaohjelmistossa. Viitattu 29.4.2022.

Tiivisteelliset levylämmönvaihtimet. N.d. Lämmönvaihtimia myyvän yrityksen verkkosivut. Viitattu 20.2.2022. <https://www.alfalaval.fi/microsites/tiivisteelliset-levylammonvaihtimet/tyokalut/levylammonvaihtimen-toiminta/>.

Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus. 2018. Motivan ohje energiainvestointien taloudellisen kannattavuuslaskentatyökalun käyttöön. Viitattu 13.3.2022. https://www.motiva.fi/files/14771/Toimenpiteen_taloudellinen_kannattavuus_laskurin_ohje_2018.pdf.

Turku Energia – Käytön raportointi. 2022. Turku Energian verkkosivujen asiointipalvelu EnergiaOnline. Viitattu 10.2.2022. <https://energiaonline.turkuenergia.fi/eServices/Online>

Valtanen, E. 2016. Tekniikan taulukkokirja. 21. painos. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy.

Ylitalo, J. 2015. Kuumasinkittyjen teräsrakenteiden käyttöikä. Teräsrakenneyhdistyksen verkkojulkaisu. Viitattu 31.10.2021. <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/toiminta-julkaisut/try-pintakastittelyn-asiiantuntijaryhma/rakenteiden-suunniteltu-kayttoika/>.

Yritysten energiatulevaisuuden näkymät. Kysely energiasopimukseen liittyneille yrityksille – Yhteenveto tuloksista. 2019. Motiva. Viitattu 31.10.2021. Yritysten-energiatulevaisuuden-näkymät_selvitys_2019_Motiva