

Lauri Suikkanen

NAUHAUUNIEN ENERGIANKULUTUK- SEN JA KÄYNTIASTEEN KARTOITUS JA TEHOSTAMINEN

Opinnäytetyö
Energiatekniikan koulutus

2018



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Lauri Suikkanen	Insinööri (AMK)	Huhtikuu 2018
Opinnäytetyön nimi		33 sivua 4 liitesivua
Nauhauunien energiankulutuksen ja käyntiasteen kartoitus ja tehostaminen		
Toimeksiantaja		
Loval Oy		
Ohjaaja		
Lehtori Hannu Sarvelainen		
Tiivistelmä		
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa Loval Oy:n nauhauunien energiankulutusta sekä niiden käyntiastetta, ja selvittää, voidaanko uunien energiatehokkuutta ja tuotteiden läpimenoaikaa parantaa.</p> <p>Työ aloitettiin perehtymällä nauhauunien toimintaperiaatteisiin, niissä suoritettaviin prosesseihin, nauhauunioperaattorin työnkuvaan ja tuotannon virtaukseen. Työssä selvitettiin sähkötehon mittauksilla uunien keskimääräiset sähkönkulutukset. Atmosfäärikaasujen osalta kulutuslukemat saatiin tuotannon ohjeistuksista sekä uunikohtaisista virtausmittareista. Näiden pohjalta uuneille laskettiin energiankulutusjakaumat.</p> <p>Muodostettujen jakaumien perusteella merkittävin kustannus vety-typpeatmosfääriin uuneissa on vetykaasu. Määrällisesti typpikaasun kulutus on samaa luokkaa vetykaasun kanssa, mutta sen alhaisemman hinnan takia kustannus jää pieneksi. Propaanin kulutus tummahehkusuuuunissa on vähäistä, jolloin myös uunin kokonaisenergiakustannus jää huomattavasti pienemmäksi verrattuna vety-typpeatmosfääriin uuneihin. Yleisesti kaikissa uuneissa sähkön kustannusosuus verrattuna kaasujen kustannukseen on melko pientä.</p> <p>Tulosten pohjalta muodostettiin ehdotuksia energiankäytön tehostamiseksi. Sähkönkulutusta voidaan vähentää uudistamalla Kyttyrä-Mahlerin lämmitysryhmien vanha kontaktoriohjaus tyristoryksiköihin sekä uunin luukkujen vaihdolla typpihuuhtelun käyttö tuotannon ulkopuolisena aikana olisi mahdollista, jolloin vetykaasua ei tarvitsisi käyttää. Laboratorio-tuotteiden juotoksissa läpimenoaikaa voidaan lyhentää huomattavasti käyttämällä kahta operaattoria, joka johtaa sekä energiakustannusten että operaattorikustannusten vähene- miseen.</p>		
Asiasanat		
energiankulutus, lämpökäsittely, läpimenoaika		

Author (authors)	Degree	Time
Lauri Suikkanen	Bachelor of Engineering	April 2018
Thesis title Survey and optimization of energy consumption and utilization rate of conveyor belt furnaces		33 pages 4 pages of appendices
Commissioned by Loval Oy		
Supervisor Hannu Sarvelainen, Senior Lecturer		
<p data-bbox="164 763 300 797">Abstract</p> <p data-bbox="164 835 1449 943">The objective of this thesis was to study energy consumption and utilization of conveyor belt furnaces of Loval Oy and to investigate if it is possible to make furnaces more energy-efficient and improve lead time of the products.</p> <p data-bbox="164 981 1457 1200">The beginning of the thesis introduces working principles of conveyor belt furnaces, metal heat treatment processes, the job description of the furnace operator, and the production flow. Average electric consumptions of all three conveyor belt furnaces was measured with the power quality and energy analyser. Consumption of furnaces atmospheric gases were retrieved from operator instructions and furnace-specific flowmeters. Based on this data, energy distributions for the furnaces were formed.</p> <p data-bbox="164 1238 1457 1458">According to the distributions, the most significant cost in hydrogen-nitrogen atmospheric furnaces is hydrogen. Consumption of nitrogen is almost identical, but nitrogen costs much less than hydrogen. In propane-air furnace the consumption of propane is low during the production, which means that total energy costs are lower than for hydrogen-nitrogen furnaces. In all furnaces, the cost of electricity is minor compared to cost of atmospheric gases.</p> <p data-bbox="164 1496 1465 1715">Based on the results, suggestions to improve energy efficiency were formed. In HB-Mahler it is possible to reduce electricity consumption by replacing old contactor-based control with modern thyristor units. In times external to production, the use of nitrogen purge in HB-Mahler would be possible if the hatches of the furnace were tighter or new hatches were changed. In brazing of laboratory products, lead time can be reduced by using two operators, which also reduces energy and operator costs.</p>		
<p data-bbox="164 1787 320 1821">Keywords</p> <p data-bbox="164 1861 831 1895">energy consumption, heat treatment, lead time</p>		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Työn taustaa.....	5
1.2	Loval Oy.....	5
2	TUOTANTOVIRTA JA VASTUKSEN VALMISTUS.....	6
3	NAUHAUUNIT.....	8
3.1	Kuumennusmenetelmät.....	9
3.2	Lämmönsiirto.....	9
3.3	Atmosfäärit.....	11
3.4	Lämpötilan mittaus ja säätö.....	12
3.5	Energiankulutus ja tehokkuus.....	14
3.6	Prosessit.....	15
4	YRITYKSEN NAUHAUUNIT.....	18
5	ENERGIANKULUTUKSEN TARKASTELU.....	21
5.1	Sähkötehon mittaukset.....	22
5.2	Uunikohtaiset energiankulutusjakaumat.....	25
6	KÄYNTIASTEEN TARKASTELU.....	27
7	EHDOTETTAVAT TOIMENPITEET.....	28
7.1	Kyttyrä-Mahlerin luukut.....	28
7.2	Kyttyrä-Mahlerin lämmitysryhmien ohjaus.....	29
7.3	Operaattorien määrä kattilajuotoksissa.....	30
8	YHTEENVETO.....	32
	LÄHTEET.....	33

LIITTEET

Liite 1. Yleisimpiä uuniatmosfäärejä ja niiden käyttökohteita

Liite 2. Kyttyrä-Mahlerin sähkötehon mittaus

Liite 3. Matala-Mahlerin sähkötehon mittaus

Liite 4. Elsiman sähkötehon mittaus

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustaa

Lämpökäsittelyuunit ovat usein teollisen tehtaan merkittävimmät yksittäiset energiankuluttajat. Erityisesti jatkuvatoimisissa lämpökäsittelyuuneissa pienetkin toimenpiteet energiantehokkuuden parantamiseksi voivat johtaa merkittäviin säästöihin johtuen niiden korkeasta vuotuisesta käyttöasteesta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa Loval Oy:n nauhauunien energiankulutusta ja niiden käyntiastetta. Tavoitteena oli löytää keinoja säästää nauhauuniprosesseissa käytettävää energiaa sekä läpimenoajan parantaminen nauhauuneilla.

Työn teoriaosuudessa käsitellään yleisesti lämpökäsittelyuunien kuumennustapoja, uuniatmosfäärejä, energiankulutusta sekä uuneilla tehtäviä prosesseja. Uunien energiavirtoja selvitettiin mittaamalla kaikkien kolmen nauhauunin sähkötehot sekä selvittämällä, kuinka paljon ne kuluttavat atmosfäärikaasuja tuotannon aikana sekä muuna aikana.

1.2 Loval Oy

Loval Oy on vuonna 1960 perustettu sähkölämmityselementtien ja lämmönsiirtimien valmistamiseen erikoistunut yritys. Vuodesta 1995 se on ollut osana ruotsalaista NIBE Industrier AB:ta. Nykyään Loval Oy on yksi Euroopan merkittävimmistä sähkölämmityselementtien valmistajista ja niihin liittyvien kokonaisratkaisujen tuottajista. (Loval Oy 2017.) Sen tuotteista noin 80 % menee vientiin ja tärkeimpiä vientimaita ovat Saksa, Ruotsi, Sveitsi ja Iso-Britannia. Yritys työllistää nykyään noin 200 henkilöä (Loval Oy 2015).

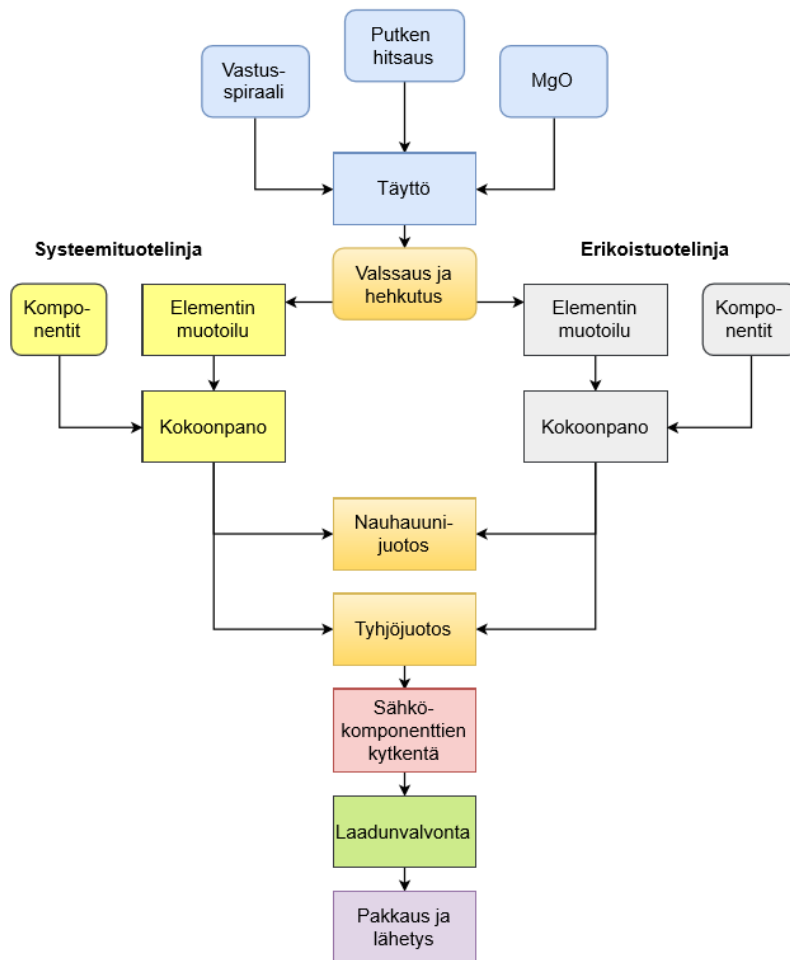
Lämmityselementtejä valmistetaan mm. suurtalouskeittiöihin (kahvinkeitin, pesukoneet, uunit), teollisuuteen (laboratoriot, moottorit) sekä erilaisiin energiaratkaisuihin (tuulimyllyt, lämpöpumput). Yrityksen erikoisosaamiseen kuuluu tyhjöjuotos, jossa juotoslämpötila on n. 1000 °C:ssa miljoonasosa ilmakehän paineesta (<0,001 mbar) (Loval Oy 2016). Kuvassa 1 on esitetty yrityksen valmistamia tuotteita.



Kuva 1. Yrityksen valmistamia tuotteita. Ylhäällä suurtalouskeittiöiden lämmityselementtejä, alhaalla läpivirtauslämmitin sekä lämmönvaihdin (Loval Oy 2016)

2 TUOTANTOVIRTA JA VASTUKSEN VALMISTUS

Kuvassa 2 on esitetty tehtaan tuotantovirta. Valmistus on jaettu kolmeen tuotantolinjaan: suoraan elementtiin, systeemituotelinjaan sekä erikoistuotelinjaan. Tuotantolinjat ovat jaettu pienempiin soluihin, jotka vastaavat tietyistä työvaiheista tai tuotteista.



Kuva 2. Loval Oy:n tuotantovirta

Vastussauvan valmistus alkaa vaippaputken hitsauksella sekä vastusspiraalin kääminnällä. Vaippaputken materiaali riippuu vastuksen käyttökohteesta, -lämpötilasta ja -ympäristöstä. Materiaalivaihtoehtoja ovat mm. hiiliteräs, ruostumaton teräs, tulenkestävä teräs sekä Incoloy 800 ja 825. Putken halkaisija voi olla 8,5 mm (nk. Normisauva), 6,4 mm (minisauva) tai 4,2 mm (nanosauva). Vastusspiraali käämitään langasta, jonka materiaali on joko NiCr- tai FeCrAl-seosta. Kääminnän jälkeen spiraalin päihin hitsataan kytkentätappit, jotka samalla muodostavat vastuksen tehottomat osat, jolla estetään vastusten päiden ja niihin kytkettävien sähköliitäntöjen liiallinen lämpeneminen. Tehottoman osan pituus vaihtelee välillä 35–300 mm, ja sen pääty voi olla M4-kierteytetty tai sileä. Kytkentätappien hitsauksen jälkeen spiraali ja vaippaputki yhdistetään ja sauva täytetään magnesiumoksidijauheella. Täytön jälkeen vastussauva kylmävalssataan, jossa MgO-jauhe tiivistyy ja sauva saa lopulliset mittansa. (Loval Oy 2004, 3-6, 20.)

Kylmävalssauksen jälkeen lähes kaikki putkivastukset ovat tarpeellista hehkuttaa nauhauunissa, jotta niitä voidaan jatkojalostaa esimerkiksi taivuttamalla tai kiinnittämällä niihin laippoja. Osa vastuksista hehkutetaan kahteen kertaan, jos taivutuksia tehdään useampaan kertaan. Hehkutusvaihe antaa myös vastukselle halutun pintakäsittelyn: ilmalämmitykseen tarkoitettun vastuksen pinnan on oltava tumma, jotta lämmönsiirtyminen on tehokasta. Vastaavasti nestelämmittimien vastukset hehkutetaan kirkaspintaisiksi, jolloin korroosionkesto on parempi. (Loval Oy 2004, 7) Haluttu pinta vastussauvaan saadaan aikaan tietyillä uuniatmosfääreillä, joita käsitellään kappaleessa 3.3.

3 NAUHAUNIT

Metalliteollisuudessa nauhauuneja (verkkoarinauuni) käytetään erilaisiin kuumamuokkauksiin, lämpökäsittelyihin sekä juottamiseen. Uunityypissä nauha liikkuu tasaisella, halutulla nopeudella uunin läpi ja parhaiten ne soveltuvat kevyille kappaleille, joiden sarjakoko on suuri. Yleensä nauhauuneissa on useita lämmitysvyöhykkeitä, joille on aseteltavissa tuotteille/materiaalille sopiva lämpötila. Kuvassa 3 on Mahlerin valmistama nauhauuni.



Kuva 3. Mahlerin nauhauuni (Mahler GmbH)

3.1 Kuumennusmenetelmät

Suuret kuumennusuunit lämmitetään usein öljyllä, nestekaasulla, maakaasulla tai erilaisia kaasuseoksia polttamalla, jolloin niitä kutsutaan poltinuuneiksi. Poltinuunit voidaan jakaa kuumennustavan mukaan suoraan tai epäsuoraan tapaan: Suorassa kuumennuksessa liekit ovat uunitilassa, kun taas epäsuorassa kuumennuksessa palava kaasu-ilma seos virtaa säteilyputkien sisällä. (Kivivuori & Härkönen 2004, 124.)

Vaihtoehtoisesti uuni voidaan kuumentaa sähköllä. Myös sähkölämmitteiset uunit voidaan jakaa suoraan ja epäsuoraan kuumennustapaan: Motivan (2015, 15) mukaan suorassa menetelmässä sähkö johdetaan suoraan kappaleeseen, synnytetään lämpö induktiolla tai tehostetaan atomien ja molekyylien liikettä esim. mikroaalloilla. Epäsuorassa menetelmässä sähkövastukset ovat säteilyputken sisällä, jolloin suojakaasu ei pääse vaikuttamaan vastuksien kestävyteen (Kivivuori & Härkönen 2004, 124). Sähkölämmitteisten uunien etuna poltinuuneihin on korkea hyötysuhde (n. 90 %) sekä säädön tarkkuus ja nopeus (Motiva 2015, 15).

Säteilytyyppisissä poltinuuneissa sekä kaikissa sähkölämmitteisissä uuneissa uunitilan atmosfääri valmistetaan johtamalla sinne erikseen säädetty kaasu-seos tai tuotetaan se erillisillä kaasugeneraattoreilla. Suoran kuumennustavan poltinuuneissa sitä ei tarvitse erikseen tehdä, sillä kuumennuksen yhteydessä syntyvät kaasut tuottavat uunitilaan atmosfääriin. (Kivivuori & Härkönen 2004, 124.)

3.2 Lämmönsiirto

Lämpö voi siirtyä uuneissa kolmella tavalla: säteilemällä, konvektiolla tai johtamalla. Johtumisen merkitys verrattuna säteilyyn ja konvektioon on melko pieni, kun taas säteilyn osuus lämmönsiirroissa on suuri yli 800 °C lämpötiloissa, jossa teräs hehkuu voimakkaan punaisena. (Kivivuori & Härkönen 2004, 125.) Säteilyyn sisältyvillä sähkömagneettisilla aalloilla voi olla erilainen aallonpituus (taajuus), mutta yleensä lämpösäteilyksi sanotaan säteilyä, jonka aallonpituus vaihtelee 0,8 – 400 µm:n välillä (Wagner 1994, 117).

Kappaleeseen osuva säteily joko heijastuu, absorboituu siihen tai menee siitä läpi. Kuitenkin valtaosa kiinteistä ja nestemäisistä kappaleista on läpäisemättömiä ohuinakin (metallit n. 1 μm , nesteet n. 1 mm), jolloin energian säilymisen perusteella pätee yhtälö 1:

$$\alpha + \rho = 1 \quad (1)$$

jossa	α	absorboitunut osuus
	ρ	heijastunut osuus

Nämä osuudet riippuvat kappaleen pinnasta: esimerkiksi ideaalinen, täysin musta kappale imee kaiken siihen osuvan säteilyn ($\alpha = \epsilon = 1$), täysin valkoinen heijastaa säteilyn pois, harmaa imee kaikista aallonpituuksista saman osuuden ($\alpha_\lambda = \epsilon_\lambda$) ja värillinen heijastaa säteilyn osuessa tiettyjä aallonpituuksia paremmin vastaten omaa väriään (Wagner 1994, 117).

Kappale lähettää säteilyä riippuen sen pinnanlaadusta ja lämpötilasta: suurimman mahdollisen säteily määrän lähettää musta kappale. Ns. tekninen kappale lähettää samassa lämpötilassa vähemmän säteilyä kuin musta kappale: tätä suhdetta kutsutaan emissiivisyydeksi (ϵ). Teknisten kappaleiden säteilyn aallonpituusjakauma on yleensä erilainen verrattuna mustaan kappaleeseen, jolloin myös säteilyintensiteetti on pienempi. Lämmönsiirtotarkasteluissa riittää usein kuitenkin, kun tarkastellaan kappaletta harmaana tai värillisellä kappaleella käytetään sen keskimääräistä emissiivisyyttä, jolloin sen emissiivisyys on aallonpituudesta riippumaton. (Wagner 1994, 117-118.)

Lämpösäteilyn voimakkuus pinta-alaa kohti on suoraan verrannollinen lämpötilan neljänteen potenssiin, mikä ilmenee Stefan-Boltzmannin laista (yhtälö 2):

$$P = \epsilon \sigma AT^4 \quad (2)$$

jossa	P	säteilyteho	[W]
	ϵ	pinnan keskimääräinen emissiivisyys	[-]

σ	Stefan-Boltzmannin vakio ($5,6705 \cdot 10^{-8}$)	[W/m ² ·K ⁴]
A	Kappaleen pinta-ala	[m ²]
T	Kappaleen lämpötila	[K]

Kaasujen säteily eroaa kiinteiden kappaleiden säteilystä: yksi- ja kaksiatomiset kaasut (esim. hiilimonoksidi, vety, argon, typpi) eivät säteile tai absorboi säteilyä käytännössä lainkaan niiden symmetrisyydestä johtuen. Kaasut, jotka ovat kolmi- tai moniatomisia (esim. hiilidioksidi tai vesi), sen sijaan säteilevät ja absorboivat voimakkaasti. (Kivivuori & Härkönen 2004, 126.)

Konvektiossa lämpö siirtyy kuljettumalla nesteessä tai kaasussa kappaleeseen tai päinvastoin. Konvektio voidaan jakaa vapaaseen ja pakotettuun: vapaassa konvektiossa aluksi paikallaan olevaa ilmaa lämmitetään tai jäähdytetään, jolloin ilmaan syntyy tiheyseroja. Ne aiheuttavat virtauksen, jossa lämpimämpi ilma pyrkii kylmemmän yläpuolelle. Pakotetussa konvektiossa virtauksen saa aikaan jokin ulkoinen tekijä, esimerkiksi puhallin tai polttimen suihku. (Lämmönsiirto-opin alkeita 2015.)

3.3 Atmosfäärit

Uunin sisällä prosessin aikana vallitsevaa kaasukoostumusta sanotaan uuniatmosfääriksi. Atmosfäärillä on pääsääntöisesti kaksi vaihtoehtoista tehtävää: suojata käsiteltävää metallia pintareaktioilta (=kemiallisesti inertti, tai vähintäänkin suojaava) tai sallia käsiteltävän metallin pintakoostumuksen muutokset (=kemiallisesti aktiivinen tai reaktiivinen). Kaikissa todennukaisissa uuniatmosfääreissä on mukana yksi tai useampi aktiivinen kaasukomponentti, esimerkiksi happi, ja inertti kaasukomponentti, esimerkiksi typpi. (Kivivuori 2016, 118.)

Liitteessä 1 on esitetty yleisimpiä uuniatmosfäärejä ja niiden käyttökohteita. Käytetyt suojakaasut voidaan jakaa inertti- ja generaattorikaasuihin sekä suorakaasutus- ja vakuuimatmosfääreihin. Erillisellä kaasugeneraattorilla tuotetuista kaasuista yleisin on endokaasu. (Kivivuori 2016, 117.) Sen etuja ovat yksinkertainen valmistus, tehokas suojavaikutus sekä lähtökaasujen (propani ja maakaasu) edullisuus. Lisäksi sen hiilipotentiali on suuri, joka estää hyvin

hiilenkatoa. Endokaasun haittoja ovat myrkyllisyys korkean häkäpitoisuuden takia sekä soveltumattomuus ruostumattomille teräksille. (Niemi 2010, 41.)

Suorakaasutusatmosfäärejä ovat esimerkiksi typpi-vetyseokset kiiltohehkutuksessa ja typpi-ammoniakkiseokset typetyskarkaisussa. Hiilettävillä tai typettäville suojakaasuilla voidaan myös vaikuttaa tarkoituksellisesti kappaleen pinta- ja kovuusominaisuuksiin. (Kivivuori 2016, 117.)

Vetypohjaiset atmosfäärit ovat yleisesti käytettyjä ruostumattoman teräksen juottamiseen ja kiiltohehkutukseen. Atmosfääri voidaan valmistaa ammoniakkia krakkaamalla, kaasumikserillä tai käyttämällä suorakaasutusta. Ammoniakin krakkauksessa ammoniakki hajoaa korkean lämmön vaikutuksesta vedeksi ja typeksi. Krakkauksessa vetyä saadaan noin 75 % ja typeä noin 25 %. (Kivivuori 2016, 122.) Taulukossa 1 on esitetty vetypohjaisten suojakaasuatmosfäärien käyttökohteita sekä niiden vety-typpi suhteita:

Taulukko 1. Vetypohjaisten suojakaasuatmosfäärien käyttökohteet ja vety/typpi suhteet (Kivivuori 2016, 122)

Prosessi	Vetypitoisuus, %	Typpipitoisuus, %
Kuparin hehkutus	2...8	92..98
RST hehkutus	100	0
RST juottaminen	75...100	0...25
Kuparin juottaminen	0...15	85...100
Hiiliteräksen juottaminen	5...10	90...95
Alumiinin juottaminen	0	100
Sintraus	10	90

3.4 Lämpötilan mittaus ja säätö

Yleisin mittaustapa lämpökäsittelyuunin lämpötilan seuraamiseksi on uuniin kiinteästi sijoitettu termopari (=termoelementti). Pihkalan (2004, 47) mukaan termoparin toiminta perustuu Seebeckin lämpösähköilmiöön: kun yhdistetään esimerkiksi hitsaamalla tai juottamalla kaksi eri metallista valmistettua metallilankaa toisesta päästä (kuumapää), syntyy lankojen toisten päiden (kylmäpää) välille syntyy kuuma- ja kylmäpään lämpötilaeroon verrannollinen tasajännite.

Termopari on yksinkertaisempi ja usein nopeampi ja edullisempi kuin vastusanturi ja lisäksi vastusanturin mittausalueen yläraja on noin 850 °C, mikä rajoittaa sen käyttöä lämpökäsittelyuuneissa merkittävästi.

Termoelementit jaetaan niissä käytettyjen metallien ja metalliseosten mukaan perusmetalli- ja jalometallitermoelementteihin. Langan materiaalina voidaan käyttää puhtaita metalleja tai metalliseoksia, joissain tapauksissa myös epämetalliset aineet käyvät. Yleisin käytetty termoelementtityyppi on NiCr/Ni, mikä on nimetty K-tyypiksi. K-tyypin käyttö on suositeltavaa kaikissa olosuhteissa, mikäli esim. lämpötila-alueesta johtuen ei ole perusteltua käyttää muuta tyyppiä. (Pihkala 2004, 48.) Muita yleisiä, IEC 584 standardin mukaisia termoelementtityyppejä on esitelty taulukossa 2.

Taulukko 2. Yleisimpiä termoelementtityyppejä (Pihkala 2004)

Tunnuskirjain	Lankamateriaali	Standardi	Lämpötila-alue, °C
Perusmetalli-termoelementtityypit			
T	Cu-CuNi	IEC 584	-270...400
J	Fe-CuNi	IEC 584	-270...1050
K	NiCr-Ni	IEC 584	-270...1370
E	NiCr-CuNi	IEC 584	-270...790
N	NiCrNi-NiSi	IEC 584	-270...1300
Jalometalli-termoelementtityypit			
S	Pt10Rh-Pt	IEC 584	-50...1760
R	Pt13Rh-Pt	IEC 584	-50...1760
B	Pt30Rh-Pt6Rh	IEC 584	-100...1700

Jalometalli-termoelementti kestää korkeampia lämpötiloja ja on perusmetallitermoelementtiä tarkempi, mutta toisaalta antaa pienemmän jännitteen. Lämpötilankestoisuus riippuu langan vahvuudesta sekä elementtiä ympäröivistä kaasuista. (Pihkala 2004, 48-49.) Niemen (2010, 43) mukaan elementin kestävyden kannalta olisi edullista, että anturia pidetään mitattavassa tilassa vain sen aikaa, kuin mittausta sitä vaatii.

Termoelementit sijoitetaan usein suojaavaan metalliputken sisään, ja langat eristetään toisistaan keraamisilla helmillä tai putkella. Suojaavan metalliputken muoto ja mittauskohdan sijainti vaikuttavat termoelementin mittaussuoriteeseen. Vaippatermoelementissä johtimet ovat ohuen putken sisällä ja eristetty pulverilla, mikä johtaa hyvin lämpöä mutta eristää sähköä. (Pihkala 2004, 49.) Keraamisia suojaputkia käytetään tapauksessa, jossa lämpötila ylittää 1200 °C ja

ne kestävät hyvin myös mekaanista rasitusta. Tulenkestäviä teräksisiä suoja-putkia käytetään lämpötilan ylittäessä 1000 °C. Suojaputken materiaali riippuu myös prosessissa esiintyvistä pitoisuuksista, esim. rikki ja typpi vaativat erilaiset seokset. (Sarlin Oy Ab.) Kuvassa 4 on S-tyyppin termoelementti liitántärasi-alla ja suojaputkella.



Kuva 4. S-tyyppin termoelementti liitántärasi-alla ja suojaputkella (Carl Jäger Tonindustriebedarf GmbH)

Lämpötilan säädön tarkoituksena on saada uuniin mahdollisimman tarkka, joko tasainen tai ohjeen mukainen lämpötila. On/off-säädössä uunin saavutettua asetusarvon mukaisen lämpötilan, säätäjä avaa kontaktorin. Lämpötila jatkaa hetken nousuaan, jolloin asetusarvo ylittyy. Lämpötilan laskiessa asetusarvon alle säädin kytkee lämmitystehon päälle, jolloin uunin lämpötila alkaa jälleen nousta. Säätimessä on yleensä muutaman asteen lämpötilan väliaste, jolla vältetään kontaktorin liian lyhytjaksoinen toiminta. On/off-säätimen heikkouksia ovat lämpötilan heilahtelut sekä uunissa aina asetusarvoa korkeampi oleva lämpötila (=säätöpoikkeama), mikä johtuu uunin häviötä suuremmasta syöttötehosta. (Kivivuori & Härkönen 2004, 257.)

3.5 Energiankulutus ja tehokkuus

Uunien energiankulutus koostuu uunityypistä riippuen seuraavista asioista:

- Lämpötilan ylläpitoon käytetty sähkö (vastuslämmitteiset uunit)
- Käytetyn polttoaineen kulutuksesta (poltinuunit)
- Atmosfäärin muodostamiseen vaadittujen kaasujen kulutuksesta/muodostamisesta
- Uunin jäähdytys (kiertovesipumput)
- Lämmöntalteenottolaitteiston/poistoilmalaitteiston käyttämä sähkö
- Muu sähkönkäyttö (kuljettimet, ohjaus)

Lämpökäsittelyuunien energiankulutuksen merkittävä osa on käsittelylämpötilan ylläpitoon ja olosuhteisiin käytetty energia, mikä on sähkötoimisissa uuneissa tarkoittaa sähkönkulutusta ja poltinuuneissa polttoaineen kulutusta. Tähän kulutukseen vaikuttavat mm. Prosessissa käytetyt lämpötilat ja uunin lämpöhäviöt (rakenteen vuodot, luukkujen aukiolo).

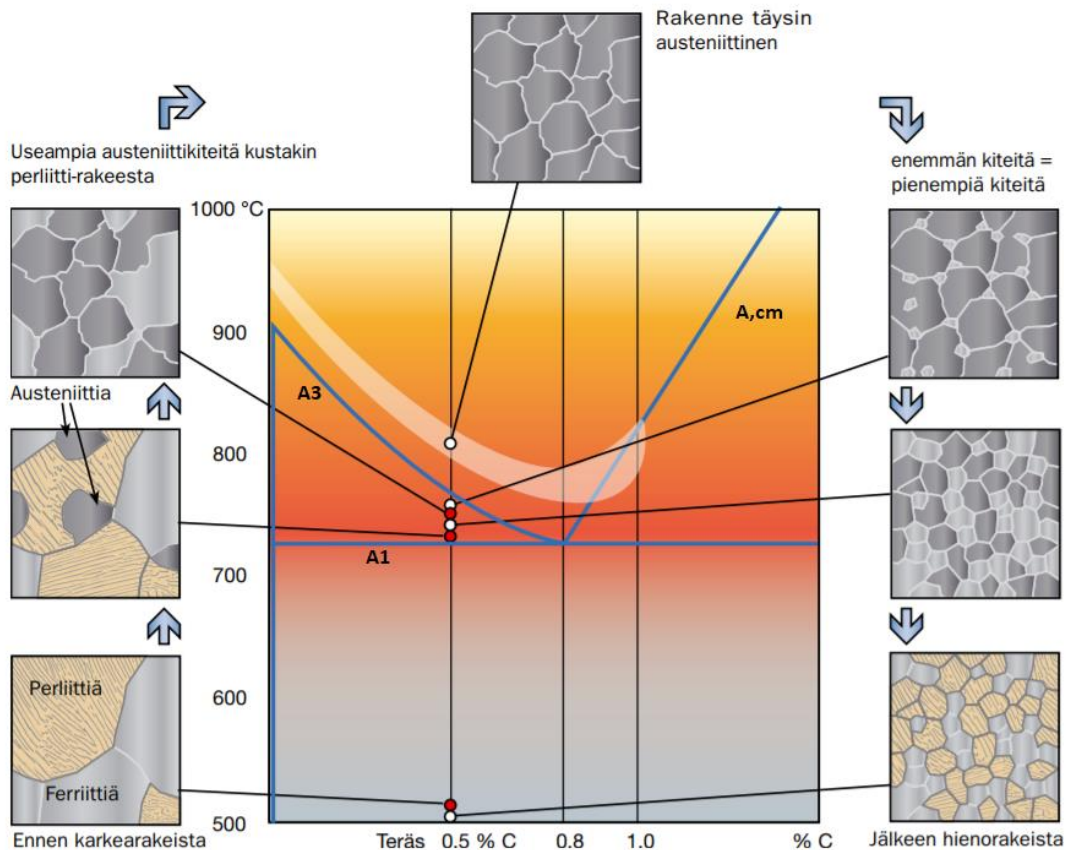
Sähkökäyttöisissä uuneissa sekä säteilytyyppisissä poltinuuneissa atmosfäärin muodostamiseen käytetty energia on myös isossa osassa riippuen käytetyistä kaasuista sekä muodostusmenetelmistä. Poltinuuneissa, missä savukaasu muodostaa atmosfäärin, tätä kuluu ei synny. Uunin rakenteen vuodot voivat vaikuttaa nostavasti atmosfäärikaasujen kulutukseen.

Energiatehokkuutta parannettaessa uunille on alkuvaiheessa määriteltävä energiatase, joka määrittelee rajat, joiden pohjalta uunin käyttämä energia sekä siihen liittyvä tuotanto ja muut toiminnot voidaan mitata. Tase voidaan määritellä joko sisältämään vain itse uunin rakenteineen (polttimet/vastukset, jäähdytysjärjestelmä, kaasujärjestelmät) tai vaihtoehtoisesti laajentaa määrittelyä sisältämään esimerkiksi lämmöntalteenottolaitteet. Tarkastelut voidaan myös rajata pienempiin osa-alueisiin, mutta tällöin on muistettava, että tarkastelun kohteena on vain osakokonaisuus. Tasetarkastelu voidaan tehdä myös taloudellisten parametrien perusteella, jolloin kulutettuja materiaali- ja energiamääriä tarkastellaan europohjaisina, mikä ohjaa taloudellisesti merkittävimpien energiavirtojen tarkasteluun. (Motiva 2015, 24-25.)

3.6 Prosessit

Normalisointi

Normalisoinnin tarkoituksena on edeltävien lämpökäsittelyiden vaikutusten poistaminen, raekoon tasaaminen sekä hienorakeisen rakenteen aikaansaaminen (Kivivuori & Härkönen 2004, 39). Normalisoinnista seuraa toivotut ja ennustettavat ominaisuudet, mikä parantaa työstettävyyttä: esimerkiksi kuumamataannon ja -valssauksen jälkeen materiaalin rakenne ei ole homogeenistä, vaan raekoko voi vaihdella liian pienistä liian suuriin (Sarlin Furnaces Ab). Kuvassa 5 on esitetty normalisointikäsitteily.



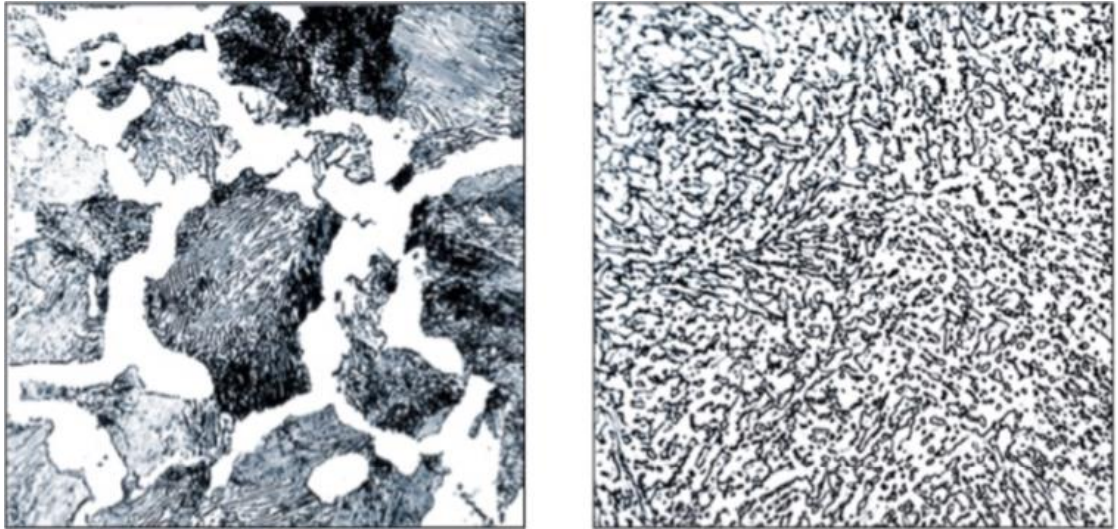
Kuva 5. Normalisointikäsitteily (Teräskirja 2014, 63)

Normalisointikäsitteilyssä kappale kuumennetaan austeniittialueelle, sen hiilipitoisuudesta riippuen 25–50 °C A3 lämpötilaa korkeammaksi: kuvan tapauksessa hiilipitoisuuden ollessa 0,5 %, kappale kuumennetaan hieman yli 800 °C lämpötilaan. Tällöin suurista perliittirakeista muodostuu useampia pieniä austeniittirakeita. Kuumennuksen jälkeen kappaleen annetaan jäähtyä vapaasti ilmassa, jolloin pienistä austeniittirakeista muodostuu pienempiä perliittikolonioita. (Kivivuori & Härkönen 2004, 40.) Tuloksena on hienorakeinen, luja ja sitkeä ferriittis-perliittinen kappale (Teräskirja 2014, 63).

Teräksiä, joiden hiilipitoisuus on yli 0,8 % (ylieutektoidiset teräkset) normalisoidaan melko harvoin. Jos rakenteessa kuitenkin on suuria rakeita, joiden raerajoilla on paksu sementiittiverkko, voidaan kappale normalisoida jolloin sementiittistä ei kokonaan päästä eroon, mutta se ei esiinny enää yhtenäisinä verkkoina. Tällöin normalisointi suoritetaan alle A_{cm} lämpötilassa, mutta kuitenkin A1 lämpötilan yläpuolella. Pienen hiilipitoisuuden omaavia kappaleita (alle 0,3 %) voidaan normalisoinnin jälkeen tietyissä määrin kylmämuokata ilman muita lämpökäsittelyjä. (Kivivuori & Härkönen 2004, 40-41.)

Pehmeäksihehkutus

Teräksen hiilipitoisuuden ollessa yli 0,5 %, sen rakenne on kuumamuokkauksien ja normalisoinnin jälkeen usein liian kovaa lastuavaa tai muovaavaa työstöä varten (Kivivuori & Härkönen 2004, 41). Tällöin kappaleelle tehdään pehmeäksihehkutus, jossa perliittisen teräksen sementiittilamellit palloutuvat (Teräskirja 2014, 65). Kuvassa 6 on esitetty kappaleen rakenne ennen ja jälkeen pehmeäksihehkutuksen:



Kuva 6. Kappale ennen ja jälkeen pehmeäksi hehkutuksen.

Kylmämuovattavilla teräksillä ferriittiin nähden kova perliitti aiheuttaa voimakkaassa muokkauksessa pintapaineen materiaalin ja työkalun välille. Tämän välttämiseksi perliitin sementiitti hehkutetaan ennen kylmämuovausta pehmeäksi ja helpommin muovattavaksi, pallomaiseksi rakenteeksi. Muodostuneiden karbidipallojen jakauma ja koko vaikuttavat myös lastuttavuuteen: pallojen koon kasvaessa lastuttavuus paranee. (Kivivuori & Härkönen 2004, 41.)

Juotos

Uunijuotos on prosessi, jossa metallikomponentteja liitetään yhteen juotteen avulla. Se mahdollistaa monimutkaistenkin kappaleiden tiiviin ja lujan yhteen liittämisen. Juoteaineen sulamislämpötila on alhaisempi verrattuna perusaineeseen, jolloin perusaine ei sula juotossa. Yleisimmin käytettyjä kovajuoteaineita ovat kupari, nikkeli ja pronssi.

Kapillaarivoima mahdollistaa juotteen leviämisen ohueen rakoon. Raon paksuuden määrää käytettävä juoteaine, raon poikkipinta-alan muoto sekä ylärajan kapillaarivoiman pienentyminen, jolloin juote ei nouse rakoon. Esimerkiksi hopeapohjaisilla juotteilla sopiva rako on noin 0,05–0,02 mm. (Ihalainen ym. 2007, 327.)

Uunissa käytettävä lämpötila riippuu kulloinkin juotettavasta tuotteesta ja käytettävästä juoteaineesta. Kuparijuotoksella lämpötilat ovat hieman korkeammat mitä pronssijuotoksella, kun taas pronssijuotoksella käytettävät työlämpötilat ovat korkeammat mitä nikkelijuotoksella.

4 YRITYKSEN NAUHAUUNIT

Tässä kappaleessa käsitellään yrityksen nauhauuneja. Niiden tärkeimmät tekniset tiedot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Loval Oy:n nauhauunit

Uuni	Sijainti	Kuumennustapa	Atmosfääri	Lämmitysryhmien määrä	Lämmitysteho, kW
Kyttyrä-Mahler	U-solu	Sähkö	Vety/typpi	6	120
Elsima	Suora elementti	Sähkö	Propani/ilma	4	98
Matala-Mahler	Suora elementti	Sähkö	Vety/typpi	3	120

Suoran elementin kaksi uunia on varattu lämpökäsittelyjen (kirkas- ja tummahehkus) tekemiseen, ja ne näkyvät kuvassa 7. U-solun kyttyräuunissa suoritetaan nauhauunijuotokset sekä nanosauvojen hehkutusta ennen niiden taivutusta. Kirkashehkusuuunissa on myös mahdollista juottaa tiettyjä tuotteita.



Kuva 7. Suoran elementin nauhauunit. Vasemmalla Elsiman tummahehkusuuuni, oikealla Mahlerin kirkashehkusuuuni.

U-solun kyttyräuuni on Mahlerin 1980-luvulla valmistettu sähköllä lämpenevä, vety-typpi-atmosfäärinen muhveliuuni. Uunityypissä uunin kuumaosa on kookkaampi verrattuna suoran elementin uuneihin ja siellä voidaan juottaa isompia kappaleita. Kuumaosan koon vuoksi lämmityslohkoilla on erilliset ylä- ja alaryhmänsä, jolloin kullakin ryhmällä on oma lämpötilan säätöpiiri (6 kpl). Typen ja vedyn määrää säädetään juotettavan tai hehkutettavan tuotteen materiaalin ja koon mukaan. Kuvassa 8 on esitetty uunin ohjauskeskus.



Kuva 8. U-solun kyttyrä-Mahlerin ohjauskeskus

Suoran elementin kirkashehkutusuuni on Mahlerin valmistama, vety-typpi-atmosfäärinen moderni nauhauuni. Sen ohjaus on toteutettu Siemensin ohjelmoitavalla logiikalla, ja operaattori ohjaa lämmityksen asetusarvoja sekä luukkujen aukioloa kosketusnäytöltä. Lämmitysryhmien ohjaus tässä uunissa on toteutettu tyristoryksiköillä. Vedyn ja typen kulutus on sidoksissa uunin luukkujen aukioloon. Kuvassa 9 on esitetty uunin ohjauskeskus.



Kuva 9. Kirkashehkutusuunin ohjauskeskus

Suoran elementin Elsiman valmistama tummahehkutusuuni on myös sähkökäyttöinen, mutta siinä atmosfäärinä käytetään propaani-ilmaseosta, jolla saadaan hehkuttaessa tumma pinta vastussauvoihin. Kaasuseos syötetään retorttien läpi, joiden sisällä on katalyyttikuulia. Propaani-ilmaseoksen suhde on tuotannon aikana vakio. Lämmitysryhmien ohjaukseen käytetään tyristoriyksiköitä. Kirjoitushetkellä uuni on edelleen käytössä, mutta se on tarkoitus korvata uudella, vastaavanlaisella uunilla vuoden 2018 aikana. Kuvassa 10 on esitetty uunin ohjauskeskus.



Kuva 10. Tummahehkutusuunin ohjauskeskus

Kaikissa uuneissa on palokaasuimurit alku- sekä loppupäässä, mitkä poistavat uunista tulevia kaasuja (esim. palamaton suoja-kaasu, häkä ja tuotteista vapautuvat kaasut). Kyttyrä-Mahlerissa on tämän lisäksi lämmönkeruukuori (ns. muhveli), mikä kerää kuumaosasta johtuvan lämmön jota käytetään talvella tuotantotilojen lämmittämiseen. Kesällä tästä kertyvä, kuuma ilma puhalletaan ulos.

5 ENERGIANKULUTUKSEN TARKASTELU

Sähkönkulutuksen osalta kaikki yrityksen nauhauunit (3 kpl) ja tyhjiöuunit (4 kpl) mitataan yhdessä. Näiden kulutuksia ei ole eritelty. Kaikissa yrityksen nauhauuneissa on kaasujen kulutuksen osalta virtausmittarit. Kyttyrä-Mahlerilla operaattori säätelee tuotteesta riippuen vedyn määrän riittäväksi, esimerkiksi pienillä kuparituotteilla riittää n. 10 m³/h, kun taas kattiloilla ja isoilla läpivirtauslämmittimillä vedyn määrä on n. 20 m³/h. Typen määrää säädetään uunin syöttöpäässä tuotteesta riippuen 4-5 m³/h välillä, kokonaiskulutuksen ollessa noin 20 m³/h. Suoran elementin kirkashehkutusuunilla (matala-Mahler) sekä vedyn että typen suhde on vakio ja niiden määrä on sidoksissa luukkujen

aukioloon. Myös tummahehkutusuunilla (Elsima) propaanin kulutus on tuotannon aikana vakio. Uunikohtaiset kaasujen kulutukset tuotannon aikana sekä muuna aikana on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Uunikohtaiset kaasujen kulutukset

	Kyttyrä-Mahler	Matala-Mahler	Elsima
	<i>Tuotannon aikana, m³/h</i>		
Vety	10...20	10...20	-
Typpi	20	10...20	-
Propaani	-	-	3
	<i>Muu aika, m³/h</i>		
Vety	10	0	-
Typpi	20	30	-
Propaani	-	-	0

Suoran elementin kirkashehkutusuunista vedynsyöttö katkaistaan viikonlopun lisäksi myös yön ajaksi, sillä operaattoreita ei silloin ole vuorossa. Tällöin uuni siirtyy ns. typpihuuhtelutilaan, jolloin typpeä virtaa uuniin kolmesta pisteestä: alkupäästä, keskeltä ja loppupäästä. Tämä estää uunin maton tummumisen, kun vetyä ei syötetä uuniin. Jos matto pääsee tummumaan liikaa, se kirkastuu taas hiljalleen, kun vedynsyöttö kytketään päälle. Tummahehkutusuunista propaanin syöttö katkaistaan myös yön ja viikonlopun ajaksi. Kyttyrä-Mahlerista vedynsyöttö asetetaan viikonlopun ajaksi mahdollisimman pienelle, tavallisesti noin 10 m³/h.

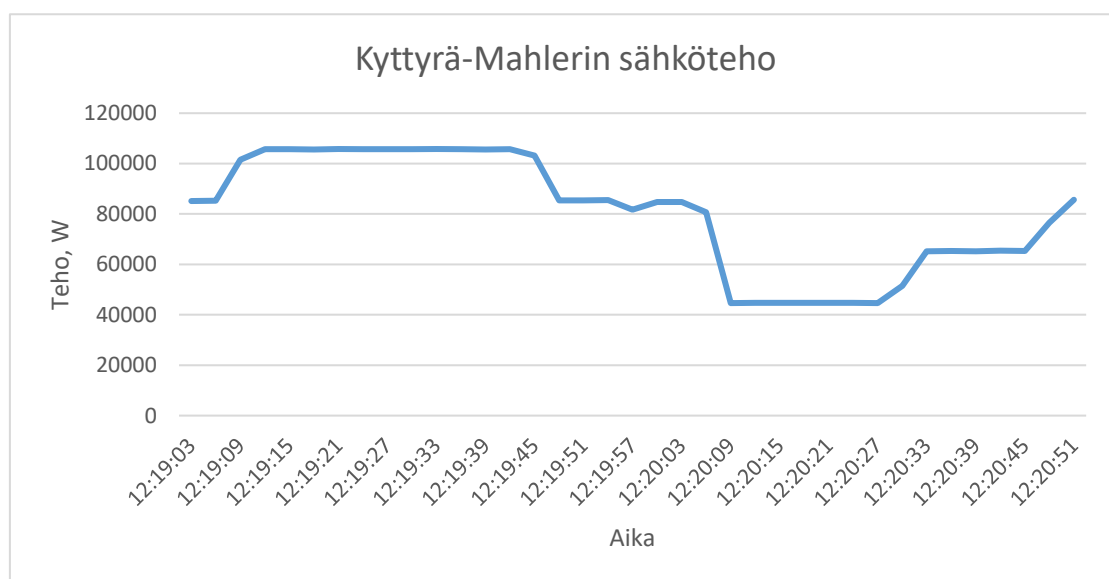
Tuotannon aikana, jolloin juotettavaa tai hehkutettavaa ei ole, ajetaan uuneja hitaalla matonnopeudella ja luukut suljettuna. Tällöin myös kyttyrä-Mahlerista vedyn syöttö säädetään pienemmälle, mutta kuitenkin niin, että matto pysyy kirkkaana. Uuneja ei ajeta kylmäksi muuten kuin sitä vaativia huoltotoimenpiteitä varten, sillä alas- ja ylösajo kestää useamman päivän. Mikäli tuotannossa on noin viikon mittainen seisaus esimerkiksi joululoman takia, tällöin uunit ajetaan kylmäksi.

5.1 Sähkötehon mittaukset

Opinnäytetyön osana kaikkiin kolmeen nauhauuniin tehtiin sähkötehon mittaukset. Mittarina käytettiin Fluke 435 sähkönlaatu- ja energia-analysaattoria. Kyttyrä-Mahleriin päätettiin tehdä pidempi mittausjakso, johon sisällytettiin

lämpötilan muutos kupariasetuksesta pronssiasetukseen, kun taas suoran elementin uuneihin päätettiin tehdä lyhyempi mittausjakso, sillä niissä työlämpötilat ovat tuotannon aikana vakiot. Mittaukset ovat kokonaisuudessaan uunikoh- taisesti liitteenä.

Liitteen 2 mukaan kyttyrä-Mahlerin keskimääräinen teho kuparijuotoslämmöillä (klo 12:19 – 16:02) oli 76,04 kW. Klo 16:02 lämpötila-asetusta muutettiin pronssijuotoslämpötilaan, tämän muutoksen on havaittu kestävän uunissa noin tunnin. Tämä on nähtävissä myös mittaustuloksen laskevasta trendistä tämän tunnin (16:02 – 17:02) aikana, jolloin keskimääräinen teho oli vain 39,92 kW. Pronssijuotoslämpötila uunissa on saavutettu klo 17:02, ja lämpötila-asetus pidettiin samana mittauksen loppuun (klo 18:53). Keskimääräinen teho tällä välillä oli 61,83 kW.

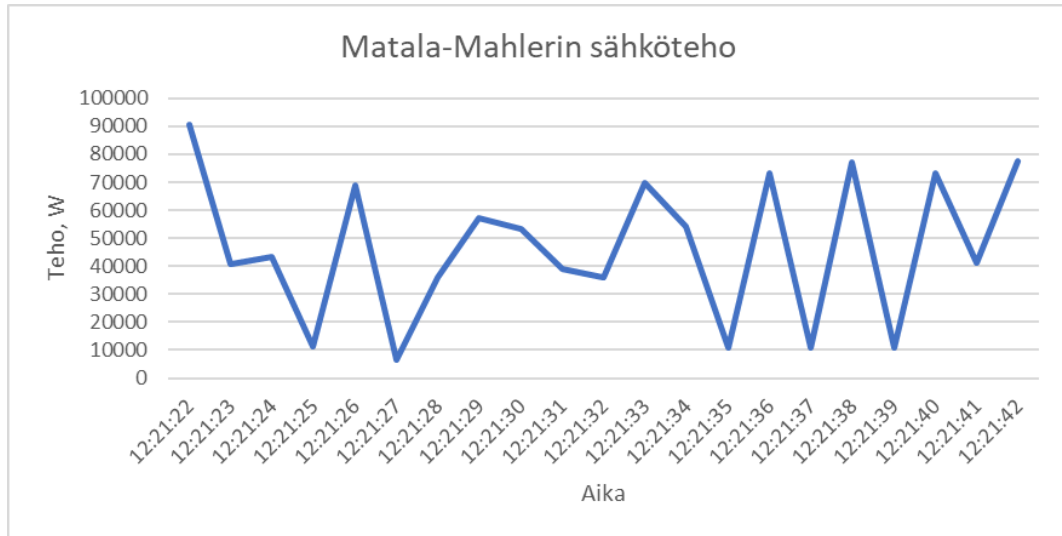


Kuva 11. Kyttyrä-Mahlerin sähköteho

Kuvassa 11 on esitetty tarkempi otanta aikavälillä 12:19 – 12:21 kyttyrä-Mahlerin hetkellisestä sähkötehosta. Kuvassa esiintyvät tehon vaihtelut johtuvat kunkin ryhmän (6 kpl) lämpötilasäädöstä: yhdellä ryhmällä on yhteensä 20 kW lämmitystehoa, jota säädin kytkee päälle tai pois uunin osassa vallitsevan lämpötilan ja asetusrvon perusteella.

Liitteen 3 mukaan matala-Mahlerin keskimääräinen teho mittausjaksolla oli 37,84 kW. Mittausjakson aikana lohkojen lämpötilan asetusarvoja ei muutettu,

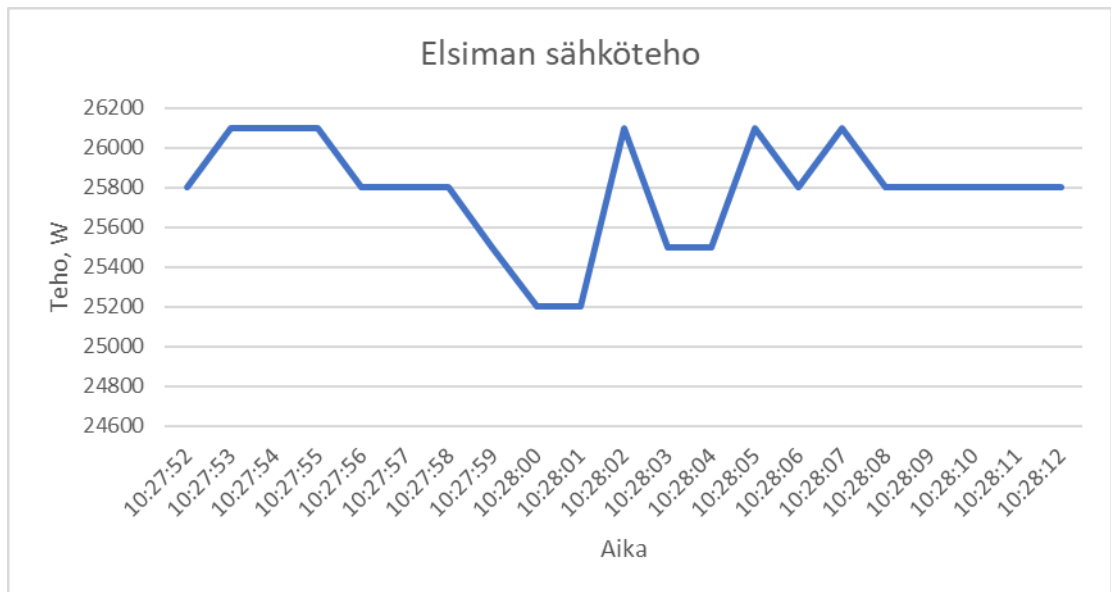
vaan ne olivat asetettu normaaleihin hehkutuksen arvoihin. Mittausjakson aikana uunissa ei hehkutettu mitään ja luukut olivat suljettuina, mikä osaltaan selittää hieman pienempää sähkönkulutusta verrattuna kyttyrä-Mahleriin. Kuvassa 12 on esitetty tarkempi otanta uunin hetkellisestä sähkötehosta.



Kuva 12. Matala-Mahlerin sähköteho

Kuvassa 12 esiintyvät tehon vaihtelut johtuvat lämmitysvastusten ohjaamiseen käytettyjen tyristoryksikköjen toiminnasta: lohkon lämpötilan laskiessa asetusarvonsa alle, kytkee yksikkö tarvittavan määrän tehoa päälle. Vastaavasti lämpötilan noustessa asetusarvonsa yli, kytkee yksikkö tarvittavan määrän tehoa pois. Tästä seuraa hetkellisiä tehonkulutuspiikkejä, sillä yksiköt pyrkivät pitämään oman lohkonsa lämpötilan yhden asteen sisällä asetusarvostaan (vrt. Kyttyrä-Mahler, jossa lämpötila voi lohkossa vaihdella muutamalla asteella).

Liitteen 4 mukaan Elsiman keskimääräinen teho mittausjaksolla oli 25,81 kW. Myöskään tämän mittauksen aikana uunin lämpötilan asetusarvoja ei muutettu eikä mittauksen aikana uunissa hehkutettu mitään. Kuvassa 13 on esitetty tarkempi otanta uunin hetkellisestä sähkötehosta:

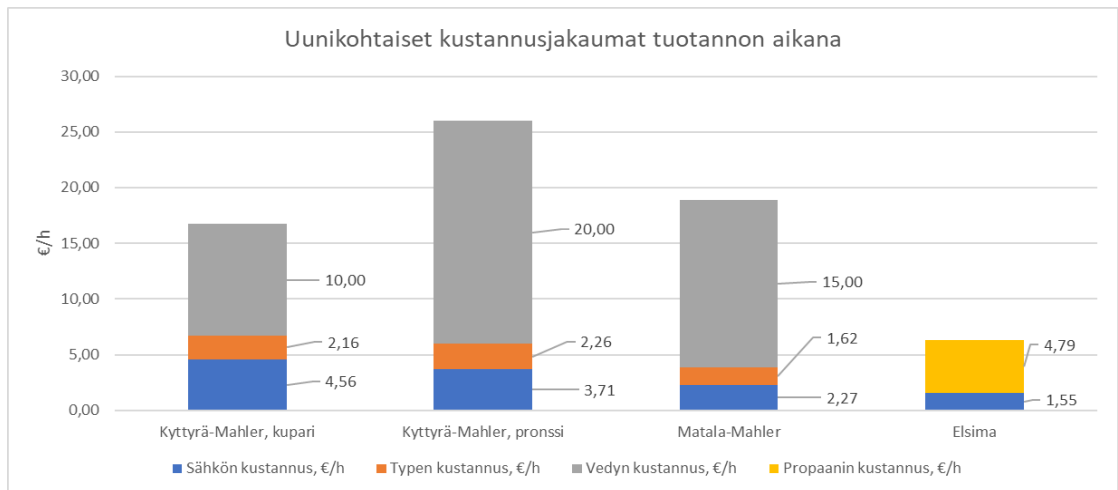


Kuva 13. Elsiman sähköteho

Teho verrattuna kumpaankin Mahler-uuniin on hieman pienempi sekä hyvin tasainen, mittausjakson aikana tehon vaihdellessa 24,5 kW:n ja 27,5 kW:n välillä. Myös tässä uunissa hetkelliset piikit johtuvat tyristorisäädinten toiminnasta. Pienempi sähköteho Mahler-uuneihin nähden johtuu pienemmästä nimellistehosta sekä uunin luukkujen kiinnioloista mittauksen aikana.

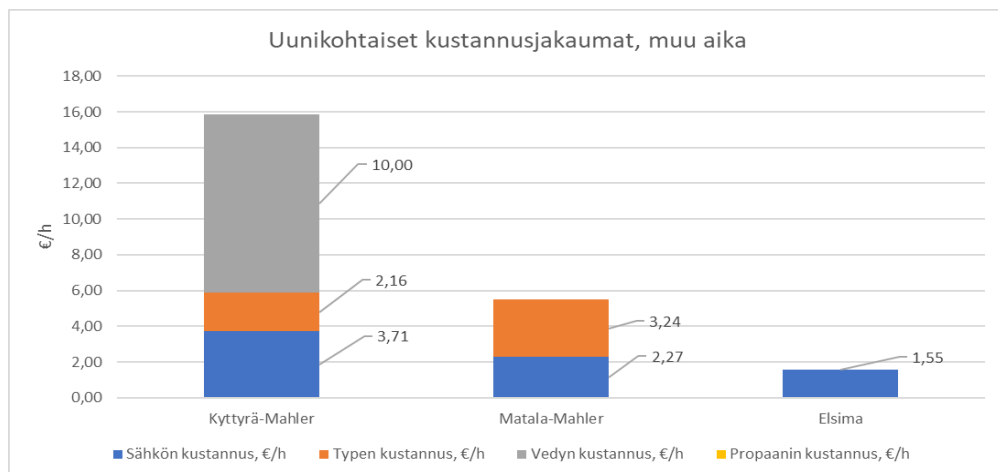
5.2 Uunikohtaiset energiankulutusjakaumat

Uunikohtaiset energiankulutusjakaumat on laskettu sähkötehon mittauksista saatujen tulosten perusteella. Kaasujen osalta kulutuslukemat kullekin uunille ja asetukselle on saatu tuotannon ohjeistuksista sekä uunikohtaisista virtausmittareista. Kulutusjakaumat tehtiin tuotannon ajalle sekä muulle ajalle. Suoran elementin uuneilla tuotannon aikaa on noin 49 % vuodesta ja kyttyrä-Mahlerilla tuotannon aikaa on 70 % vuodesta. Tasetarkastelussa päätettiin käyttää nk. europohjaista tarkastelumallia. Kuvassa 14 on esitetty uunien energiankäyttö tuotannon aikana.



Kuva 14. Uunikohtaiset kustannusjakaumat tuotannon aikana

Vety-typiatmosfäärin uuneissa merkittävin, tuotannon aikainen yksittäinen kustannus on vetykaasu. Tämä johtuu lähinnä sen korkeasta hinnasta, mutta myös sen kulutus määrällisesti uuneissa on melko suurta (taulukko 4). Typpi-kaasun kulutus uuneissa on myös melko suurta, mutta sen edullisen hinnan takia tuntikohtainen kustannus jää pieneksi. Tummahehkutusuunissa propanin kustannus on sähköä suurempi, mutta kokonaiskustannus jää silti huomattavasti pienemmäksi kuin vety-typiuuneissa. Kyttyrä-Mahlerissa kupariasetuksilla juotettaessa sähkönkulutus on hieman suurempaa verrattuna pronssiasetuksiin johtuen korkeammista työlämpötiloista. Yleisesti sähkön kustannus jää melko pieneksi osuudeksi kaikissa uuneissa. On kuitenkin todennäköistä, että sähkönkulutus ja sitä kautta kustannusosuus kasvaisi suoran elementin uuneissa, kun siellä hehkutettaisiin tuotteita, jolloin uunin luukut olisivat auki. Kuvassa 15 on esitetty uunien kustannusjakaumat muulle ajalle.



Kuva 15. Uunikohtaiset kustannusjakaumat muulle ajalle

Kyttyrä-Mahlerissa merkittävin yksittäinen kustannus muuna aikana on vety. Matala-Mahlerissa typen kustannus nousee typpihuuhtelun käytön takia hie- man suuremmaksi verrattuna typen kustannukseen tuotannon aikana, mutta koska tyhjäkäynnin aikana vetyä ei uuniin syötetä, tuntikohtainen kokonais- kustannus putoaa merkittävästi. Elsimassa propaanin syöttö uuniin katkais- taan muuna kuin tuotannon aikana, joten tuona aikana sen kustannus koostuu vain käytetystä sähköstä.

6 KÄYNTIASTEEN TARKASTELU

Käyntiasteen tarkastelu tehtiin tutustumalla tuotantoon opinnäytetyöprosessin alussa sekä toimimalla nauhauunioperaattorin työtehtävissä kesällä 2017. Kyt- tyrä-Mahlerilla on vuorossa yksi operaattori, joka vastaa uunin käytöstä. Suo- ran elementin uuneilla on vuorossa yksi operaattori, joka vastaa molempien uunien käytöstä.

Yrityksessä on käytössä toiminnanohjausjärjestelmä (ERP) millä seurataan mm. työvaiheisiin käytettyä aikaa. Kullekin tuotteelle ajat on määritetty erik- seen, jolloin läpimenoajan seuraaminen tuotekohtaisesti on mahdollista. Tuot- teiden valmistus on jaettu useisiin työvaiheisiin ja hehkutus/juotosvaiheessa tämä tarkoittaa käytännössä yhtä työvaihetta: *Hehkuta* tai *juota + tarkasta*. Hehkuta-vaihetta käytetään suoran elementin uuneilla sekä U-solun uunilla nano-sauvojen hehkutuksissa. Juota + tarkasta-vaihe on käytössä vain U-so- lun uunilla. Molemmat työvaiheet käsittävät tuotteen asettelun kuljettimelle syöttöpäässä sekä poisoton kuljettimelta loppupäässä. Juota + tarkasta vaihe sisältää tämän lisäksi myös juotostuloksen tarkistuksen. Operaattorille tästä poikkeavina voidaan pitää tiettyjä U-solun juotettavia tuotteita:

- Tuotteet, joihin on tiivistettävä silikoniöljy heti juotoksen jälkeen
- Tuotteet, joihin tehdään työvaihe *tiivistä + aseta helmi* heti juotoksen jälkeen

Molemmat työvaiheet on tehtävä heti juotoksen jälkeen, sillä tuotteiden vas- tussauvoissa eristeenä oleva magnesiumoksidi alkaa välittömästi imeä it- seensä ilmankosteutta. Silikoniöljyn tiivistys on määritelty operaattorin tehtä- väksi, mutta tuotteet joiden seuraava työvaihe on *tiivistä + aseta helmi*, on usein määritetty toisen työntekijän tehtäväksi.

Yleisesti nauhauuneja pyritään pitämään jatkuvasti kuormitettuina, jolloin vältytään tyhjäkäynniltä tuotannon aikana. Tämän lisäksi tuotannon suunnittelussa pyritään siihen, että samoilla lämpötila-asetuksilla voidaan käsitellä useampia tuotteita kerrallaan, jolloin vältytään turhilta lämpötilan asetusarvojen muutoksilta, sillä nämä vievät ajallisesti n. 1 – 1,5 tuntia jonka aikana uunissa ei voida käsitellä mitään. Työvuoron aikana operaattorilla on nk. tauottaja, jolloin operaattorin ei tarvitse ottaa uunituksessa huomioon omia taukojaan hidastamalla maton nopeutta tai jättämällä riittävää väliä tuotteille asetteluvaiheessa. Tämä lyhentää tuotekohtaista juotosaikaa ja tällöin myös virtaus tuotannossa paranee.

7 EHDOTETTAVAT TOIMENPITEET

7.1 Kyttyrä-Mahlerin luukut

U-solun kyttyrä-Mahleriin on tehty aikaisemmin muutos typpiventtiileihin, jolla pyrittiin mahdollistamaan typpihuuhtelutilan käyttö viikonloppuisin: Ennen typpihuuhtelutilan aikana typpi virtasi vain uunin keskiosan suuttimista, jolloin uunin matto värjäytyi voimakkaan tummanvihreäksi. Matto alkaa kirkastua uudelleen, kun vedynsyöttö kytketään päälle. Maton kirkastuminen kesti tällöin liian kauan, joten uunia ajettiin vedynsyöttö päällä viikonloppuisin. Typpiventtiilien sähköisellä muutoksella typpeä virtaa nyt myös uunin alku- ja loppupään suuttimista. Tuloksena matto ei tummu niin vahvasti, mutta edelleenkin niin paljon että sen kirkastumisessa kestää turhan kauan. Tämän takia uunia ajetaan myös ei-tuotannon aikana vetykaasu päällä. Uunin todettiin vuotavan syöttö- ja loppupään luukuista, mistä syystä matto tummuu typpihuuhtelun aikana liikaa.

Tämän johdosta uuniin ehdotetaan uusia, tiiviimpiä luukkuja. Nykyiset luukut ovat todennäköisesti alkuperäiset eivätkä vuotamisen takia mahdollista typpihuuhtelun käyttöä viikonloppuisin. Taulukossa 5 laskettu tuntikohtainen kustannusvertailu nykyisen tyhjäkäyntitilan ja typpihuuhtelutilan välille sekä vuotuinen säästöpotentiaali, jos typpihuuhtelutilaa käytetään.

Taulukko 5. Typpihuuhtelun käytön säästöpotentiaali

	Nykyinen tyhjäkäyntitila	Typpihuuhtelutila
Typen kulutus, m ³ /h	20	35
vedyn kulutus, m ³ /h	10	0
Kustannus, €/h	12,16	3,78
Säästö, €/h	8,38	
Viikonlopputunnit/a	2448	
Säästö, €/a	20514,24	

Nykyinen tyhjäkäyntitila kuluttaa typpeä 20 m³/h ja vetyä 10 m³/h. Tämän käytön kustannus on 12,16 €/h. Typpihuuhtelutila kuluttaa typpeä noin 35 m³/h eikä vetyä kulu. Tällöin käytön kustannus on 3,78 €/h. Tuntikohtaiseksi säästöpotentiaaliksi saadaan 8,38 €/h, ja kun se kerrotaan vuoden viikonlopun tunteilla, saadaan vuotuiseksi säästökseksi 20 514 €. Vuoden viikoista yksi on arvioitu olevan sellainen, jolloin uuni on kylmänä ja tällöin säästöä ei kerry.

Tarjousta luukuista uunin valmistajalta ei saatu, joten takaisinmaksuajan laskeaminen ei ollut mahdollista. Säästöpotentiaalın suuruuden takia luukkujen hankinta on kuitenkin ehdottomasti varteenotettava asia. Typpihuuhtelun mahdollistamisen lisäksi tiiviimmät luukut pitävät paremmin myös lämpöä uunin sisällä, jolloin myös uunin kuumana pitäminen on taloudellisempaa. Tämän vaikutusta ei ole huomioitu vuotuisessa säästössä.

7.2 Kyttyrä-Mahlerin lämmitysryhmien ohjaus

Kyttyrä-Mahlerin lämmitysryhmien tehonsäätö on mahdollista uudistaa vanhasta kontaktorihjauksesta uudenaikaiseen tyristoryksikköohjaukseen. Tyristoryhjouksen etuja kontaktorihjaukseen ovat mm.

- Korkean kytkentätaajuuden ansiosta vastuselementin lämpötila on vakaa -> pidentää elementin käyttöikä
- Tyristoryksikössä syöttöjännitevaihtelukompensointi -> lähtöteho vastaa tällöin ohjeviestiä
- Maksimi lähtöjännitteen rajoitusmahdollisuus, mikä pidentää elementin käyttöikä
- Yksikkö on huoltovapaa
- Soveltuu muuntajakuormille sekä erilaisille elementtityypeille
- Valvonta/hälytystoiminnot

Nämä mainitut ominaisuudet vaikuttavat Björkin (2018) mukaan prosessin tarkkuuteen, energiankulutukseen sekä valmistettavan tuotteen laatuun. Yksiköiden mitoituksessa on otettava huomioon vastuselementtien kytkentämalli, nimellisjännite sekä nimellisvirta. Nimellisvirta voidaan laskea yhtälöllä 3, kun tiedetään, että vastukset on kytketty sarjaan 400V jännitteeseen ja yhdessä ryhmässä on 20 kW puhtaasti resistiivistä elementtikerrointa (tehokerroin 0,99):

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} \quad (3)$$

jossa	I	Nimellisvirta	[A]
	P	Teho	[W]
	U	Nimellisjännite	[V]
	$\cos \varphi$	Tehokerroin	[-]

Tällöin nimellisvirraksi saadaan 50,5 A. Björkin (2018) mukaan Eurothermin mitoitus suositus on käyttää varmuuskerrointa 1,2, mikä johtuu vastuselementtiresistanssien toleransseista, jotka saattavat lankavastusten kohdalla vaihdella hyvinkin paljon verrattuna nimellisarvoon. Varmuuskertoimella laskettaessa virraksi saadaan 60,6 A. Tämän perusteella sopiva yksikkö koko olisi yleisesti käytetty 63 A. Nimellisvirran sekä muiden tietojen perusteella sopiva yksikkö Elcotherman mallistosta olisi EPACK-1PH/63A, joita tarvittaisiin 6 kpl eli jokaiselle lämmitysryhmälle omansa.

Varsinaista säästettävää sähköenergian määrää on vaikea arvioida eikä investointi välttämättä ole kannattava pelkästään säästettävän sähkön takia, mutta otettaessa huomioon myös parantuva prosessin tarkkuus sekä vastuselementin käyttöikänsä kasvu ja sitä kautta vähentyvä huoltoseisakkien tarve, voidaan investointia pitää toteuttamiskelpoisena.

7.3 Operaattorien määrä kattilajuotoksissa

Tiettyjen tuotteiden kohdalla läpimenoaika on mahdollista nopeuttaa lisäämällä operaattorien määrää kahteen silloin, kun kuljettimelle sekä laitetaan että sieltä otetaan tuotteita pois. Taulukossa 6 on verrattu kattilasarjan juottamiseen käytettyä aikaa ja kustannusta, kun uunilla on yksi operaattori tai kaksi

operaattoria. Kun sarjan juotokseen osallistuu kaksi operaattoria, toinen heistä on alkupäässä asettelemassa tuotteita kuljettimelle ja toinen on loppupäässä purkamassa juotostukia pois, tarkistamassa juotostulosta sekä tiivistämässä silikoniöljyä. Juotoksen alku ja loppuvaiheessa tarvitaan edelleen vain yhtä operaattoria, ja tämä on huomioitu laskennassa. Laskennassa on käytetty kat-tiloille tyypillistä sarjakokoa ja matonnopeutta. Laskenta on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Kustannusvertailu kattilasarjan juotokselle, kun juotokseen osallistuu 1 tai 2 operaattoria

Uunin energiakustannus	25,97	€/h	
Operaattorikustannus	22	€/h	
Maton nopeus	240	mm/min	
Matto, alusta loppuun kierto	1,6	h	
Nauhan pituus	18	m	
Kattilan pituus+juotosritilä	0,4	m	
Sarjakoko	100	kpl	
	1 operaattori	2 operaattoria	
Kattiloiden väli	0,4	0,05	m
Kuljettimelle mahtuvat kattilat	22,5	40,0	kpl
Kattiloita laittamatta, kun 1. Juotettu	77,5	60,0	kpl
Kulunut aika, kun kaikki laitettu hihnalle	7,11	4,00	h
Ajallinen tarve kahdelle operaattorille	-	2,40	h
Aika viimeisen kattilan ulostulemiseen	1,6	1,6	h
Juotosaika yhteensä	8,7	5,6	h
Operaattorikustannus	191,6	176	€
Energiakustannus	226,3	145,5	€
Kustannukset yhteensä	417,9	321,5	€

Nykyisin kattiloita juottaa yksi operaattori, jolloin kattiloiden väliin on tarve jättää 40–50 cm väli, jolla varmistetaan, että operaattori ehtii laittamaan kattiloita hihnalle sekä ottamaan niitä pois. Tällöin hihnalle mahtuu noin 23 kattilaa, ennen kuin ensimmäisiä on otettava loppupäässä pois. Kahdella operaattorilla riittävän välin on arvioitu olevan noin 5 cm, jolloin hihnalle mahtuu kerrallaan noin 40 kattilaa. Kokonaisjuotosajaksi yhdellä operaattorilla muodostuu 8h 42 min, kun taas kahdella operaattorilla menisi tähän 5h 36min. Juotosajan perusteella uunin energiakustannuksissa säästettäisiin n. 80 € ja huolimatta kahden operaattorin käytöstä, myös operaattorikustannuksissa säästettäisiin n. 15 €. 100 kpl:n sarjan juotuskustannuksissa voitaisiin yhteensä säästää n. 95 €. Rahallisen säästön lisäksi kahdella operaattorilla juotettaessa myös

juotosaika lyhenee merkittävästi, jolloin kapasiteettia vapautuu muille tuotteille.

Laskennassa ei oteta kantaa mahdolliseen sähkönkulutuksen kasvamiseen, kun uunissa on tiheämmin tuotteita, mutta tämän vaikutuksen on arvioitu olevan pieni. Tämän lisäksi tuotannosuunnittelussa olisi otettava huomioon tauottajat molemmille operaattoreille.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa Loval Oy:n lämpökäsittelyihin ja juotoksiin tarkoitettujen nauhauunien energiankulutusta sekä miettiä keinoja, miten energiaa voitaisiin säästää ja uunien käyttöä tehostaa.

Energiankulutuksen kartoitus aloitettiin suorittamalla sähkötehon mittaukset jokaiseen uuniin sekä selvittämällä kunkin uunin atmosfäärikaasujen kulutukset. Näiden pohjalta muodostettiin uunikohtaiset energiankulutusjakaumat. Tulosten pohjalta muodostettiin ehdotuksia, mitkä vähentävät sähkön- ja vedynkulutusta. Lisäksi kahden operaattorin käyttö kattilajuotoksissa lyhentäisi juotosaikaa, jolloin tuotteisiin käytetty operaattori- ja energiakustannus pienenee ja läpimenoaika lyhenee. Näiden seikkojen perusteella työn tavoite voidaan katsoa täyttyneeksi.

Suoritetut sähkötehon mittausjaksot olisivat voineet olla hieman pidemmät erityisesti suoran elementin uuneilla, jotta mittaukseen olisi sisältynyt aikaa jolloin uunissa hehkutetaan sauvoja. Työssä ei otettu kantaa uunien hukkalämmön talteenoton mahdollisuuksiin, mutta energiatehokkuuden parantamisen kannalta olisi oleellista selvittää, voidaanko uunien ylijäämälämpöä hyödyntää jossakin tuotannon prosessissa tai esimerkiksi ilmanvaihdon tuloilman lämmityksessä.

LÄHTEET

Björk, J. 2018. Sähköpostiviesti 12.2.2018. Elcotherma Finland Oy Ab.

Heating and brazing solutions. 2016. Loval Oy. Powerpoint-esitys. Päivitetty 15.2.2016. Ei saatavissa.

Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 2007. Valmistustekniikka. 12. painos. Helsinki: Otatieto.

Kivivuori, S. 2016. Lämpökäsittelyoppi 2. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.

Kivivuori, S. & Härkönen, S. 2004. Lämpökäsittelyoppi. Helsinki: Teknova Oy.

Loval. 2015. Loval Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.loval.fi/fi/loval.html> [viitattu 5.10.2017].

Loval Oy. 2017. Tervetuloa Lovalille. Perehdytyskansio.

Loval Oy. 2004. Perustietoa putkivastuksista. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.loval.fi/download/18.1715bfaf1530dc563661680f/1459773059751/Loval%20perustietoa.pdf> [viitattu 4.10.2017].

Lämmönsiirto-opin alkeita. 2015. Aalto-yliopisto. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/392188/mod_resource/content/1/LAMMONSIIRTO4.pdf [viitattu 20.2.2018].

Motiva Oy. 2015. Teollisuusuunien energiatehokkuus. PDF-dokumentti. Saatavilla: https://www.motiva.fi/files/9813/Energiatehokas_teollisuus_uuni_opas.pdf [viitattu 30.1.2018].

Niemi, P. 2010. Lämpökäsittely. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.valu-atlas.fi/tietomat/docs/PN_jalkikasittely_1.pdf [viitattu 24.1.2018].

Pihkala, J. 2004. Prosessisuureiden mittaustekniikka. Helsinki: Opetushallitus.

Sarlin Furnaces AB s.a. Normalisointi. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<http://sarlin.se/fi/processer/normalisointi> [viitattu 17.10.2017].

Sarlin Oy Ab s.a. Lämpötila-anturit suojauputkella. WWW-dokumentti. Saata-

vissa: http://www.sarlin.com/sarlin_products/Lampotila-anturit-suojaputkella/3ihrbkww/9ae7a1d1-634f-4d34-b103-73db80a90dd9 [viitattu 26.1.2018].

Teräskirja. 2014. Metallinjalostajat ry. 9. painos.

Wagner, W. 1994. Lämmönsiirto. Helsinki: Painatuskeskus Oy.

KUVALUETTELO

Kuva 1. Yrityksen valmistamia tuotteita. Loval Oy. 2016. Ei saatavissa.

Kuva 2. Loval Oy:n tuotantovirta.

Kuva 3. Mahlerin nauhauuni. Mahler GmbH. Saatavissa: https://www.mahlerofen.de/uploads/pics/Bandsinterofen1_grey_383x282_01.jpg [viitattu 26.1.2018]

Kuva 4. S-typin termoelementti liitántärsasialla ja suoja-putkella. Carl Jäger Tonindustriebedarf GmbH. Saatavissa: <https://www.kerambedarf.de/out/pictures/master/product/1/19870.jpg> [viitattu 26.1.2018]

Kuva 5. Normalisointikäsitteily. Teräskirja. 2014.

Kuva 6. Kappale ennen ja jälkeen pehmeäksihehkutuksen. Teräskirja. 2014.

Kuva 7. Suoran elementin nauhauunit. Vasemmalla Elsiman tummahehkutus-uuni, oikealla Mahlerin kirkashehkutus-uuni. Suikkanen, L.

Kuva 8. U-solun kyttyrä-Mahlerin ohjauskeskus. Suikkanen, L.

Kuva 9. Kirkashehkutus-uunin ohjauskeskus. Suikkanen, L.

Kuva 10. Tummahehkutus-uunin ohjauskeskus. Suikkanen, L.

Kuva 11. Kyttyrä-Mahlerin sähköteho. Suikkanen, L.

Kuva 12. Matala-Mahlerin sähköteho. Suikkanen, L.

Kuva 13. Elsiman sähköteho. Suikkanen, L.

Kuva 14. Uunikohtaiset kustannusjakaumat tuotannon aikana. Suikkanen, L.

Kuva 15. Uunikohtaiset kustannusjakaumat muulle ajalle. Suikkanen, L.

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Taulukko 1. Vety pohjaisten suoja kaasuatmosfäärien käyttökohteet ja vety/typpi suhteet (Kivivuori 2016, 122)

Taulukko 2. Yleisimpiä termoelementtityyppejä (Pihkala 2004)

Taulukko 3. Loval Oy:n nauhauunit. Suikkanen, L.

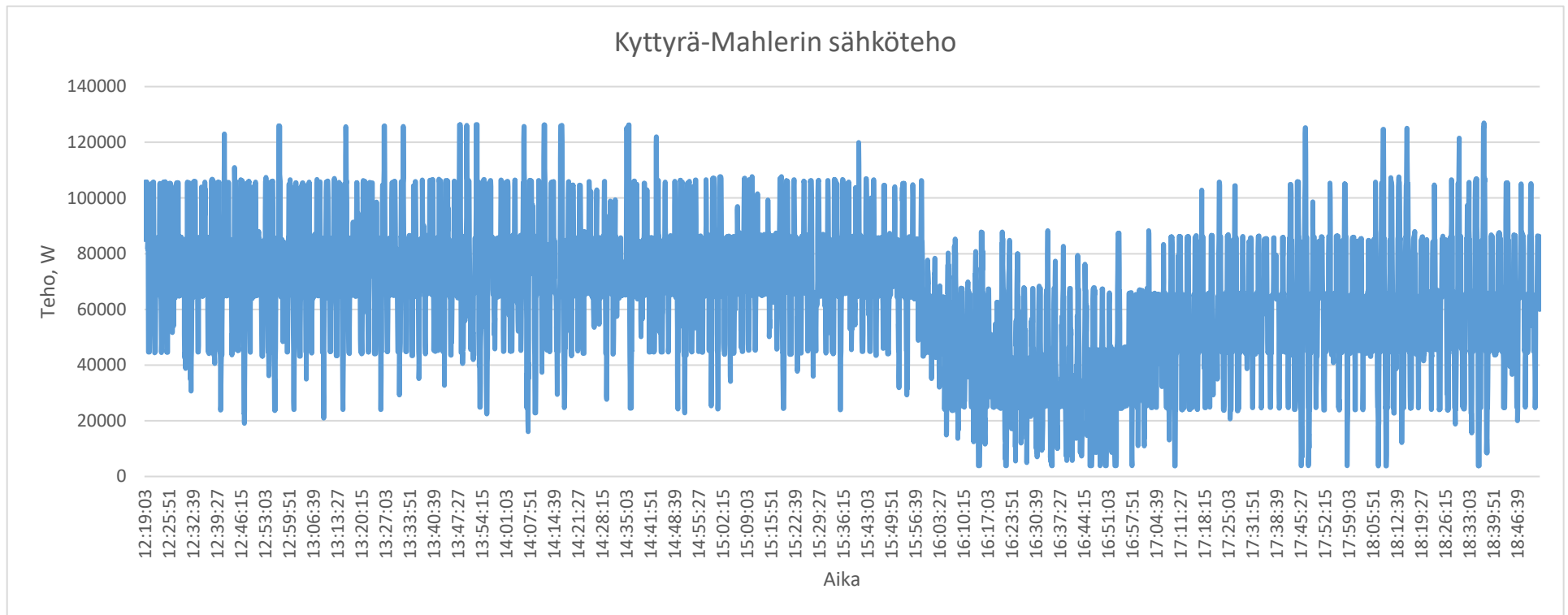
Taulukko 4. Uunikohtaiset kaasujen kulutukset. Suikkanen, L.

Taulukko 5. Typpihuuhtelun käytön säästöpotentiaali. Suikkanen, L.

Taulukko 6. Kustannusvertailu kattilasarjan juotokselle, kun juotokseen osallistuu 1 tai 2 operaattoria. Suikkanen, L.

Kyttyrä-Mahlerin sähkötehon mittaus

Liite 2



Matala-Mahlerin sähkötehon mittaus

Liite 3

