

Opinnäytetyö (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka, insinööri

2022

Sara Viitanen

Näytteenvalmistusosaston sulatusuunien energiansäästön optimointi

– Boliden Harjavalta Oy



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Bio- ja kemiantekniikka, insinööri

2022 | 35 sivua, 2 liitesivua

Sara Viitanen

Näytteenvalmistusosaston sulatusuunien energiansäästön optimointi

-Boliden Harjavalta Oy

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Boliden Harjavalta Oy:n näytteenvalmistusosaston sulatusuunien energiankulutusta. Uunien energiankulutusta mitattiin näytteitä sulattaessa sekä uunien ollessa lepotilassa. Energiankulutusmittausten avulla saatiin määritettyä optimaaliset arvot energiansäästön maksimoimiseksi.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa kerrotaan energiakatselmuksista, energiatehokkuuslaista ja energiatehokkuusdirektiivistä sekä hieman Boliden Harjavallan energiajärjestelmästä. Tämän lisäksi käydään läpi SE-romun lainsäädäntöä ja käsittelyä niin Suomessa kuin Harjavallassakin.

Energiankulutusmittaukset toteutettiin uuniin asennetun mittauslaitteiston avulla. Näytteiden sulatustestit suoritettiin kahden rinnakkaisen määrityksen avulla sulattamalla yhtä SER-laatua viidessä eri lämpötilassa. Lepolämpötilamittaukset toteutettiin neljässä eri lämpötilassa 19 tunnin aikavakiota käyttäen.

Opinnäytetyön tekemisen aikana saatiin selvyys energiankulutuksesta eri sulatuslämpötiloissa sekä uunin lepolämpötiloissa. Sulatustesteissä ei esiintynyt poikkeavuuksia energiankulutuksissa, mutta lepolämpötilan optimoinnissa löydettiin mahdollinen uusi lämpötila energiankulutuksen vähentämiseksi. Tämän työn pohjalta saatuja tuloksia sekä tehtyjä mittauksia voidaan hyödyntää jatkotutkimuksissa energiansäästökohteita kartoittaessa.

Asiasanat: energiankulutus, energiansäästö, kierrätysmateriaali

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Biotechnology and Chemical Engineering

2022 | 35 pages, 2 pages in appendices

Sara Viitanen

Optimization of melting furnace energy saving in sample preparation department

-Boliden Harjavalta Oy

The target of this thesis was to study the energy consumption of melting furnaces in the sample preparation department of Boliden Harjavalta Oy. The energy consumption was measured during the sample melting process as well as during furnace idle mode. As a result, optimal values for maximizing energy savings could be determined.

The theory part of this thesis discusses energy auditing, the Finnish energy efficiency law and the energy efficiency directive as well as the energy system of Boliden Harjavalta. Additionally, the legislation concerning handling Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) in Finland and in Harjavalta is explored.

Energy consumption measurements were executed with measuring instruments integrated into the furnace system. The sample melting tests were performed twice with the same settings in five different temperatures per one sort of WEEE. The idle mode measurements were executed in four different temperatures using a 19-hour time constant.

As an outcome of this thesis, energy consumption in different melting temperatures as well as in idle mode temperatures was determined. The results confirmed that there were no deviations in energy consumption with melting temperatures. On the other hand, during the idle mode temperature optimization a potential new temperature was found for decreasing energy consumption when the furnace is idling. The measurements performed and the results of this thesis can be used for further studies aiming to determine energy saving measures.

Keywords: energy consumption, energy saving, recycled material

Sisältö

1 Johdanto	7
2 Boliden-konserni	8
2.1 Boliden Harjavalta Oy (BOHA)	8
2.2 Näytteenvalmistusosasto	8
3 Energiatehokkuus	10
3.1 Energiakatselmukset ja energiatehokkuuslaki (1429/2014)	11
3.2 Energiatehokkuusdirektiivi (2012/27/EU)	11
3.3 Boliden Harjavallan energiajärjestelmä ja energianäkökohdat	12
4 Sähkö- ja elektroniikkaromu (SER)	14
4.1 Lainsäädäntö	14
4.2 Sähkö- ja elektroniikkaromun käsittely	15
4.3 Sähkö- ja elektroniikkaromun koostumus	16
5 Näytteiden sulatusprosessi	17
5.1 Sulatusprosessin vaiheet	17
6 Tutkimuskohteet	22
6.1 Näytteiden sulatuskokeiden suoritus	22
6.2 Lepolämpötilan optimoinnin suoritus	23
7 Tulokset	25
7.1 Näytteiden sulatuskokeet	25
7.2 Lepolämpötilan optimointi	28
8 Pohdinta ja loppupäätelmät	32
Lähteet	34

Liitteet

Liite 1. Energiankulutus 19 tunnin aikana 1000 asteessa.

Liite 2. Energiankulutus 19 tunnin aikana 700 asteessa.

Kuvat

Kuva 1. Jätteiden käsittelyn etusijajärjestys. (ELY-keskus 2022.)	15
Kuva 2. SER:n koostumus. (Czajczyńska ym. 2017, 187–188.)	16
Kuva 3. Uunista nostettu 1450 °C upokas. Julkaistu Boliden Harjavallan luvalla.	18
Kuva 4. Sulaneen näytteen kippaus kokilliin. Julkaistu Boliden Harjavallan luvalla.	19
Kuva 5. Uunista tullut näyte kokillissa. Julkaistu Boliden Harjavallan luvalla.	19
Kuva 6. Jäähtynyt ja murskattu näyte. Julkaistu Boliden Harjavallan luvalla.	20
Kuva 7. Pyriitti ja näyte. Julkaistu Boliden Harjavallan luvalla.	21
Kuva 8. Granuloitu kierrätysmateriaali. Julkaistu Boliden Harjavallan luvalla.	22
Kuva 9. Energiankulutukset korkeimmassa ja matalimmassa lämpötilassa.	27
Kuva 10. Rinnakkaisten sulatusten energiankulutukset.	27
Kuva 11. Vuotuiset energiankulutukset eri lämpötiloissa.	29
Kuva 12. Lepolämpötilojen energiankulutukset.	30
Kuva 13. Lämpötilan ja energiankulutuksen vertailu mittausjakson aikana.	31

Kuviot

Kuvio 1. Prosessikaavio.	17
--------------------------	----

Taulukot

Taulukko 1. Sulatustestien energiankulutukset.	26
Taulukko 2. Lepolämpötilojen energiankulutukset.	28

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tutkia, kuinka Boliden Harjavalta Oy:n näytteenvalmistuosastolla sähkö- ja elektroniikkaromunäytteitä (SER) voisi sulattaa energiatehokkaammin. Työssä tutkittiin suomalaista granulin muodossa olevaa kierrätysmateriaalia. Materiaalia sulatettiin viidessä eri lämpötilassa, joista jokaisen lämpötilan kohdalla suoritettiin rinnakkaiset testit. Sulatusten yhteydessä mittauslaitteisto keräsi dataa, jonka avulla saatiin tieto sulatusten kokonaisenergiankulutuksesta.

Työn toinen osa sisälsi sulatusuunin energiankulutuksen tutkimista silloin kuin uuni ei ollut operointitilassa. Tavoitteena oli löytää optimaalinen lepolämpötila, jossa uunien energiankulutus olisi vähäisintä.

Opinnäytetyön aiheen tärkeys korostuu entisestään meneillään olevan sähkönhinnan nousun sekä globaalin energiansäästötarpeen vuoksi. Boliden-konserni on maailman johtavimpia metallien tuottajia, joka haluaa esimerkillään rajoittaa ympäristövaikutuksia kaikilla tasoilla käyttämällä resursseja mahdollisimman tehokkaasti. Aihe valikoitui halusta tutkia jotain sellaista, mistä olisi mahdollista hyötyä niin yritykselle kuin ympäristöllekin.

Opinnäytetyön alussa esitellään kohdeyritys Boliden ja Boliden Harjavalta sekä siellä sijaitseva näytteenvalmistuosasto. Teoriaosuudessa käsitellään energiatehokkuuslakia ja energiakatselmuksia sekä puhutaan hieman energiatehokkuusdirektiivistä. Lisäksi kerrotaan lyhyesti, millainen energijärjestelmä Boliden Harjavalta Oy:llä on käytössä. Toinen luku yhdistää teorian sähkö- ja elektroniikkaromusta sekä siitä, kuinka sitä käsitellään Suomessa ja Boliden Harjavallassa. Teoriasta siirrytään näytteiden sulatusprosessin eri vaiheisiin ja sen kautta itse tutkimuskohteiden työn kuvauksiin. Työn tuloksissa esitellään syntyneet sulatustestien ja lepolämpötilan optimoinnin tulokset, joiden pohdintaa ja loppupäättelyä käsitellään viimeisessä kappaleessa. Loppukappaleessa esitellään lisäksi ehdotetut jatkotoimenpiteet ja kehitysehdotukset yritykselle, joiden avulla mahdollinen energiansäästö olisi saavutettavissa.

2 Boliden-konserni

Boliden AB on ruotsalainen metallien valmistukseen keskittynyt yritys, jonka erikoisalaa ovat malminetsintä, kaivostuotanto, sulattotoiminta sekä metallien uusiokäyttö. Boliden valmistaa päätuotteinaan kuparia ja sinkkiä sekä sivutuotteinaan kultaa, hopeaa, nikkeliä ja lyijyä. Yhtiöllä on tuotantolaitoksia Ruotsissa, Suomessa, Norjassa ja Irlannissa. Bolidenin liiketoiminta perustuu kahteen eri liiketoiminta-alueeseen, kaivostoimintaan ja sulattotoimintaan. Suomessa kaivostoimintona on Sodankylässä Kevitsan kaivos, sulattotoimintona Harjavallassa kupari- ja nikkelisulatto sekä Kokkolassa sinkkitehdas.

Bolidenin henkilöstömäärä vuonna 2021 oli 6200 henkilöä, joista Suomessa työskenteleviä noin 1700 henkilöä. (Boliden Oy.)

2.1 Boliden Harjavalta Oy (BOHA)

Boliden Harjavalta sijaitsee Lounais-Suomessa sataman läheisyydessä, jolla on tärkeä strateginen rooli yrityksen toiminnan kannalta. Boliden harjavallan päätuotteita ovat kupari, nikkeli, kulta ja hopea sekä sivutuotteena syntyvä rikkihappo. Harjavallassa sijaitseva nikkelisulatto on Länsi-Euroopan ainoa nikkelisulatto, jossa tuotetaan korkealaatuista nikkelikiveä. Boliden Harjavalta käyttää raaka-aineina rikasteita ja erilaisia kierrätysmetalleja. Rikasteet ovat peräisin niin Bolidenin omilta kaivoksilta kuin ulkopuolisilta kaivoksiltakin.

BOHA tuli osaksi Boliden-konsernia vuonna 2004. Harjavallassa työskentelevien henkilöiden määrä on 550. (Boliden Harjavalta Oy.)

2.2 Näytteenvalmistusosasto

Boliden Harjavallassa sijaitseva näytteenvalmistusosasto vastaa kaikkien tehtaalle saapuvien raaka-aineiden näytteenotosta ja valmistuksesta. Näytteenvalmistusosastolla näytteet otetaan ja valmistetaan tarkkojen säädösten mukaan. Näytteenvalmistuksen työvaiheita ovat muun muassa näytteiden ottaminen erilaisia menetelmiä hyödyntäen, näytteiden punnitus, kuivaus, jauhatus, seulonta, sekoitus sekä pakkaaminen näytepusseihin, joiden koko on ennalta määritetty. Tyypillisin näytteen koko näytettä otettaessa on noin 15 kg, josta analysoitavaksi laboratorioon menee noin 200 g.

Tässä työssä keskitytään näytteenvalmistusosaston yhteen työpisteeseen, näytteiden sulattamiseen. Sulatukseen saapuvat näytteet ovat sekundääriraaka-aineita eli sähkö- ja elektroniikkaromua. Sulatusuunin avulla saadaan kaikesta tehtaalle saapuvasta SE-romusta valmistettua laadukkaat sekä helposti analysoitavat näytteet. Näytteiden homogeeninen seos saadaan sulattamalla näytteitä pyriitin kanssa 1450 asteen lämpötilassa noin kahden tunnin ajan.

Näytteiden sulatusprosessia ja sen eri vaiheita kuvataan tarkemmin luvussa 5.

3 Energiatehokkuus

Puhuttaessa energian merkityksestä teollisuudessa, on energian osuus tuotantokustannuksista merkittävä. Energiatehokkuuteen investoiminen kasvaa kaikkialla maailmassa. ABB:n teettämän maailmanlaajuisen tutkimuksen mukaan 90 prosenttia yrityksistä aikoo lisätä panostuksiaan energiaterhokkuuteen seuraavien viiden vuoden aikana. Tutkimuksessa kävi ilmi lisäksi, että 52 prosenttia näistä yrityksistä pyrkii saavuttamaan hiilineutraaliuden samassa ajassa. Energiakustannuksien kasvu tulee yhä enemmän vaikuttamaan kannattavuuteen, mikä taas nostaa energiaterhokkuuden merkitystä. Tutkimuksessa selvisi, että yhdeksän kymmenestä vastaajasta kokee nousevien energiakustannuksien olevan ainakin pienimuotoinen uhka kannattavuudelle, ja yli puolet koki uhkan olevan kohtalainen tai merkittävä. (ABB 2022.)

Energian tärkeys näkyy monessa paikassa. Energiaa tarvitaan teollisuudessa, yhteiskunnassa, kaupan vaurauden luomisessa sekä henkilökohtaisissa liikkumisissa ja hyvinvoinneissa. Ympäristö on kuitenkin suuren kuormituksen alaisena energiantuotannon ja kulutuksen vuoksi. Ympäristön kuormitus näkyy ilmansaasteiden, kasvihuonekaasujen, maan käytön ja öljyvuotojen muodossa. Näiden kuormitusten myötä on energialla edistävä vaikutus ilmastonmuutokseen, luonnon ekosysteemien vahingoittamiseen sekä haitallisesti ihmisten terveyteen.

Energian kysyntään vastataan useissa maissa vielä ensisijaisesti fossiilisilla polttoaineilla (kaasu, hiili ja öljy). Fossiilisten polttoaineiden polttoprosessissa hiili reagoi hapen kanssa, joka muodostaa ilmakehään vapautuvaa hiilidioksidia. Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitosten ja teknisten toimenpiteiden kehittymisen myötä fossiilisten polttoaineiden päästöt on saatu vähentymään viimeisten vuosikymmenten aikana. Energian käytön tehostaminen on keskeisessä roolissa ilmastonmuutoksen hillitsemisessä.

Energiasta on tullut yksi Eurooppa 2020-strategian viidestä yleistavoitteesta. Strategian tavoitteena on parantaa energiaterhokkuutta 20 prosenttia sekä pyrkiä, että EU:n kuluttamasta energiasta 20 prosenttia olisi peräisin uusiutuvista energialähteistä. (Euroopan ympäristökeskus 2021.)

Energiakustannuksien noustessa kasvaa energian käytön merkitys entisestään. Energian tehokkaalla käytöllä on huomattava vaikutus teollisuusyrityksen kilpailukykyyn, jolloin se onkin ensiluokkainen tapa ylläpitää yrityksen kannattavuutta energian hinnan

noustessa. Energian tehokas käyttö on taloudellisen kannattavuuden lisäksi myös yksi tärkeimmistä keinoista torjua ilmastonmuutosta. (Motiva 2018.)

3.1 Energiakatselmuksien ja energiatehokkuuslaki (1429/2014)

Energiakatselmuksen tavoitteena on jäsentää tutkittavan kohteen energiakäyttö ja mahdollinen säästöpotentiaali energian käytössä. Näiden avulla saadaan esitettyä kustannustehokkaita toimenpide-ehdotuksia kohteessa. Katselmuksessa otetaan huomioon yrityksen kaikki energiakäyttökohteet, joita ovat muun muassa kaupallinen ja teollinen toiminta, logistiikka ja rakennukset sekä liikenne. Ennen vuotta 2015 ei ole ollut lainkaan lainsäädäntöä energiakatselmuksista. Energiatehokkuuslaki astui voimaan 2015 vuoden alussa, joka velvoittaa suuret yritykset tekemään energiakatselmuksen neljän vuoden välein. Suuren yrityksen määritelmänä pidetään, jos työntekijöitä on yli 250 tai liikevaihto ylittää 50 miljoonaa euroa. Lain piirissä ovat kaikki yritykset ja konsernit, jotka on rekisteröity Suomeen. (Energiatehokkuuslaki 1429/2014; Pakollinen yrityksen energiakatselmuksella.)

Energiakatselmuksien lakivelvoitteissa esiintyy kuitenkin poikkeuksia, joiden avulla suuren yrityksen on mahdollista vapautua energiakatselmuksista. Vapautumisen perusteena on, että yrityksellä tulee olla sertifioituna kansainvälinen tai eurooppalainen standardien mukainen energianhallinta- tai ympäristöjärjestelmä. Suuren yrityksen on mahdollista vapautua katselmuksista, mikäli heillä on käytössä akkreditoitusti sertifioitu ISO 50001 -standardin mukainen energianhallintajärjestelmä tai sertifioitu ISO 14001 -ympäristönhallintajärjestelmä yhdistettynä sertifioituun ETJ+ -järjestelmään. ETJ+ eli energiatehokkuusjärjestelmä on työkalu energiatehokkuuden jatkuvaan parantamiseen. Vielä kolmantena vaihtoehtona energiakatselmuksista vapautumiseen on ottaa käyttöön energiatehokkuusjärjestelmän ETJ+. Tässä tapauksessa ETJ+:n sertifiointi ei ole tarpeen. (Energiavirasto 2022.)

3.2 Energiatehokkuusdirektiivi (2012/27/EU)

Energiatehokkuusdirektiivin tarkoituksena on säätää EU-tason sekä kansallisen tason energiatehokkuustavoitteista, energiatehokkuuden edistämisen toimenpiteistä sekä kansallisista energiansäästövelvoitteista. Direktiivin tavoitteena on auttaa EU:ta saavuttamaan asetetut tavoitteet energian kulutuksen vähentämiseksi ja

energiatehokkuuden lisäämiseksi. EU:n energiatehokkuusdirektiivi (EU/27/2012) saatetaan voimaan 1429/2014 energiatehokkuuslailla Suomessa. (Energiatehokkuusdirektiivi 2022.)

Energiansäästö tavoitteet, kuten energiankulutuksen ja -tuhlauksen vähentäminen ovat yhä tärkeitä tavoitteita Euroopan unionille. Energiatehokkuustoimet mielletään yhä yleisemmin hyväksi keinoksi varmistua kestävästä energiahuollosta, kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä, energian toimitusvarmuuden lisäämisestä ja tuontikustannuksien vähentämisestä. Tämän lisäksi energiatehokkuustoimet tuovat parannusta EU:n kilpailukyvyille. Vuonna 2007 asetettiin tavoitteeksi leikata unionin vuosittaista energiankulutusta 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. Vuonna 2018 asetettiin säädöspaketti ”Puhdasta energiaa kaikille eurooppalaisille”, jonka tavoitteena oli vähentää energiankulutusta 32,5 % vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi direktiivissä vaadittiin jäsenvaltioita ottamaan käyttöön toimenpiteet, joilla vuotuisen energiankulutuksen vähentäminen tapahtuisi 4,4 prosentilla vuoteen 2030 mennessä. Vuoden 2030 jälkeisen ajan toimintakehystä käsitellään parhaillaan. (Euroopan parlamentti 2021.)

3.3 Boliden Harjavallan energijärjestelmä ja energianäkökohdat

Boliden Harjavalta (BOHA) on sitoutunut kansalliseen elinkeinoelämän energiatehokkuussopimuksen energiavaltaisen teollisuuden toimenpideohjelmaan vuoden 2025 loppuun saakka. BOHAssa halutaan energian käytön suunnittelulla parantaa yrityksen energiatehokkuutta ja samalla minimoida tuotantokustannuksia, mitkä aiheutuvat energian käytöstä. Suunnitteluun sisältyy energiapäämäärien ja hallintaohjelmien määrittelyn sekä ylläpidon lisäksi erilaisten energiansäästämismahdollisuuksien ja energianäkökohtien tunnistaminen. BOHAn pitkän aikavälin energiasäästö tavoitteet on määritelty MOTIVAn energiatehokkuussopimuksessa vuosille 2017–2025, jossa vertailupohjana on käytetty vuoden 2013 energiatasetta. BOHAn tavoitteena on vähentää ympäristövaikutuksia ja energiakustannuksia. Vähentäminen tapahtuu säästämällä energiaa, hyödyntämällä ylijäämäenergian käyttöä sekä tutkimalla mahdollisia uusiutuviin energioihin liittyviä mahdollisuuksia.

BOHAn energianäkökohtien tunnistaminen ja niiden merkittävyyksien määrittelyä hyödynnetään energiakatselmuksien pohjana. Eri näkökohtien tunnistamisessa otetaan

huomioon kaikki yrityksen prosessit/toiminnot, jotka tuottavat tai kuluttavat energiaa. BOHAN energianäkökohdiksi on tunnistettu ja luokiteltu seuraavat käyttöhyödykkeet:

- sähkön käyttö
- propaanin käyttö
- höyryn käyttö
- hapen käyttö
- öljyn käyttö
- koksen käyttö
- paineilman käyttö
- tehdasveden käyttö
- kaukolämmön tuotto
- höyryn tuotto
- hukkalämmön hyötykäyttö.

BOHAN määrittämän henkilön vastuulla on varmistaa, että energianäkökohdat ja niiden merkittävyydet tarkastetaan määrätyin väliajoin. (Junnikkala 2021.)

4 Sähkö- ja elektroniikkaromu (SER)

SER eli sähkö- ja elektroniikkaromu on jätettä, jota syntyy käytöstä poistetuista elektroniikkalaitteista. Tällaisiksi laitteiksi luokitellaan kaikki sellaiset, jotka tarvitsevat toimiakseen aurinkoenergiaa, sähkövirtaa, akkuja tai paristoja. Lisäksi lamput (pois lukien halogeeni- ja hehkulamput) luokitellaan sähkö- ja elektroniikkaromujätteeseen. Yleisimpiä kotitalouksissa käytettyjä sähkö- ja elektroniikkalaitteita ovat kännykät, viihdeelektroniikka, kodinkoneet, tulostimet, kellot ja sähkötyökalut. Kierrätykseen tuodut laitteet murskataan ja hyödynnetään uudelleen materiaaleina, joista lähes 99 % käytetään teollisuudessa uudelleen raaka-aineena. (SER-kierrätys 2012.)

4.1 Lainsäädäntö

Suomen eduskunta on säätänyt jätelain (646/2011), jonka tarkoituksena on edistää kiertotaloutta ja luonnonvarojen käytön kestävyyttä, vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta, ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle, varmistaa toimiva jätehuolto sekä ehkäistä roskaantumista. (Jätelaki 519/2014, 1 §.)

Jätehuollon periaatteena hyödynnetään etusijajärjestystä. Kaikessa toiminnassa on mahdollisuuksien mukaan noudatettava seuraavaa etusijajärjestystä (kuva 1). Ensisijaisesti on vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Jos jätettä kuitenkin syntyy, jätteen haltijan on ensisijaisesti valmistettava jäte uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrätettävä se. Jos kierrätys ei ole mahdollista, jätteen haltijan on hyödynnettävä jäte muulla tavoin, mukaan lukien hyödyntäminen energiana. Jos hyödyntäminen ei ole mahdollista, jäte on loppukäsiteltävä. (Jätelaki 519/2014, 8 §.)



Kuva 1. Jätteiden käsittelyn etusijajärjestys. (ELY-keskus 2022.)

4.2 Sähkö- ja elektroniikkaromun käsittely

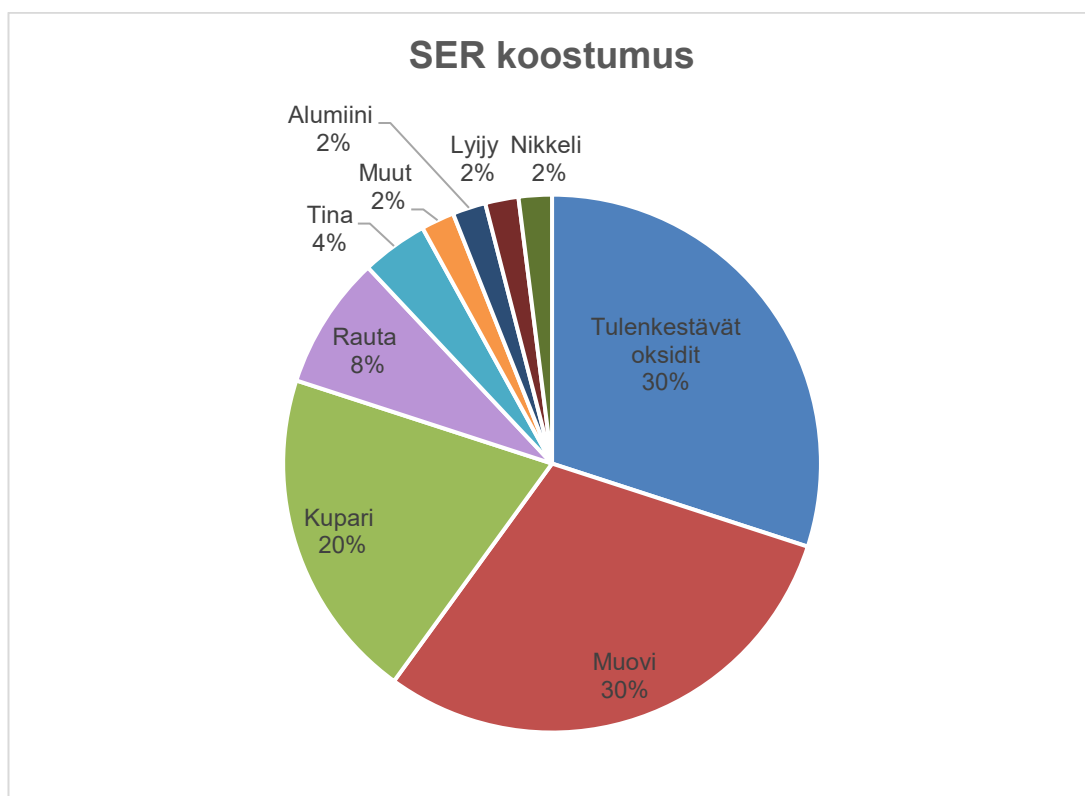
Kuluttajilta tullut SER-jäte, joka on soveltumaton uudelleenkäyttöön, hyödynnetään usein uudelleen tai kuljetetaan SER-jätteen vastaanottopisteistä käsittelylaitoksiin. Käsittelylaitoksissa SER-jätteestä erotellaan lasi, metalli, muovit sekä muut haitalliset aineet erikseen. Käsittelylaitoksien päätavoitteena on saada mahdollisimman paljon hyödyntämiskelpoista materiaalia talteen. Materiaalit lajitellaan ja esikäsitellään käsittelylaitoksissa niin pitkälle uudelleen käytettäväksi kuin mahdollista tai vaihtoehtoisesti laitokset toimittavat ne eteenpäin ulkomaalaisille käsittelijöille. Hyödyntämiskelpoiset materiaalit toimitetaan joko materiaalihyödyntämiseen tai energiahyödyntämiseen. Materiaalihyödyntämisen ideana on hyödyntää romusta erotellut materiaalit uusiomateriaaleina, jonka avulla niillä on mahdollista korvata neitseellisten raaka-aineiden käyttöä. Hyödyntämiskelvottomat jakeet toimitetaan loppusijoitettavaksi. (Prizztech 2020 15.)

SE-romun käsittely Harjavallassa tapahtuu vastaanottamalla sähkö- ja elektroniikkaromua, joko irtotavarana tai säkitettyinä. SE-romun määrä on lisääntynyt merkittävästi ja se työllistääkin useita kohteita Harjavallan toimipisteessä. SE-romu saapuu tehtaalle näytteenvalmistusosastolle, jossa se puretaan ja ajetaan kokonaisuudessaan automaattisen näytteenottokoneen lävitse. Näytteenoton jälkeen

loppuerä kuljetetaan välisäilytyksen kautta sulatolle, jossa se syötetään uuniin muun rikasteen joukossa määrättyä reseptiä noudattaen.

4.3 Sähkö- ja elektroniikkaromun koostumus

Sähkö- ja elektroniikkaromun sisältö vaihtelee luonnollisesti paljon sen mukaan, mistä se on peräisin ja mistä se koostuu. Kuvassa 2 on esitetty keskimääräinen koostumus SER-jätteelle. Kuvasta nähdään, että noin 30 % romusta on erilaisia muoveja, noin 30 % keraameja ja noin 30–40 % metalleja. (Czajczyńska ym. 2017, 187–188.)

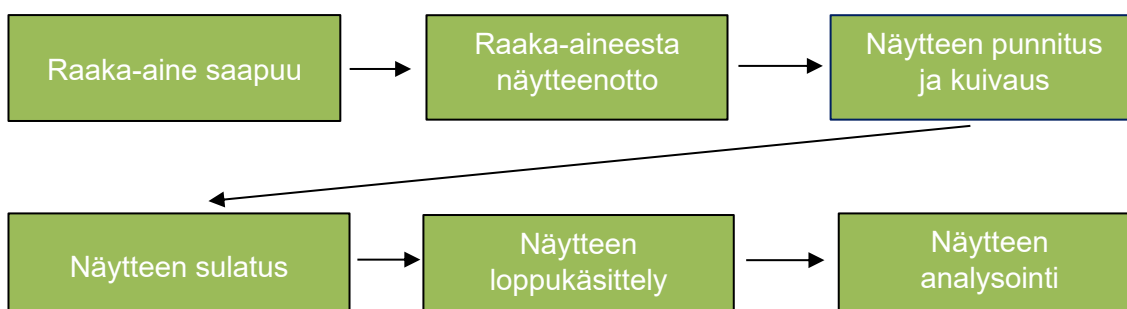


Kuva 2. SER:n koostumus. (Czajczyńska ym. 2017, 187–188.)

5 Näytteiden sulatusprosessi

SE-romu saapuu Harjavaltaan pääsääntöisesti kahdessa eri muodossa, murskattuina piirikortteina tai granuloina kierrätysmateriaalina. Piirikorttimurskan sulattamisen haasteena on, että saapuvien erien välillä esiintyy suurta vaihtelua sulamiskäyttäytymisessä, joten piirikorttimurskan sulattamiseen kuluneen energian tutkiminen jätettiin pois tästä työstä. Sulatustestit toteutettiin ainoastaan kotimaisella granulin muodossa olevalla kierrätysmateriaalilla.

Prosessin ensimmäinen vaihe alkaa automaattisesta näytteenottokoneesta, joka ottaa SE-romuerästä tietyin väliajoin määrätyn kokoisia näytteitä. Näyte punnitaan ja viedään kuivumaan kuivauskaappiin. Seuraavissa kohdissa käsitellään tarkemmin, mitä raaka-aineen saapumisen jälkeen olevat työvaiheet pitävät sisällään ja kuinka mitäkin kohtaa sovellettiin tässä työssä. Alla sulatusprosessin eri vaiheet kuvattuna prosessikaavion muodossa.



Kuvio 1. Prosessikaavio.

5.1 Sulatusprosessin vaiheet

Näytteenoton jälkeen näytteiden käsittely alkaa punnituksesta. Näytteille määritetään ensimmäisenä märkäpaino, jonka jälkeen näytteet kuivatetaan kuivauskaapissa. Näytteiden punnitus on näytteenoton tärkein vaihe ja se tapahtuu aina näytteelle määrättyllä vaa'alla. Vaa'alle suoritetaan toiminnantarkastus päivittäin sekä kalibrointi kolmen vuoden välein ulkoisen tahon toimesta. Tällä toiminnalla minimoidaan kaikki riskit väärin punnitustulosten saamiseksi. Näytteiden kuivumisen jälkeen niistä punnitaan kuivapaino, jonka avulla näytteiden kosteusprosentti saadaan määritettyä.

Edellä mainittu kuivaus on ehdoton vaihe SE-romunäytteiden käsittelyssä. SE-romujen kuivaus tehdään ilmaa kierrättävässä kuivauskaapissa vuorokauden ajan 105 asteen lämpötilassa. Kuivauksen avulla näytteistä saadaan haihdutettua ylimääräinen kosteus pois. SE-romusta kosteuden saaminen pois ennen uuniin panostamista on tärkeää, sillä liika kosteus aiheuttaa sulan räiskintää uunissa. Mikäli SE-romu (tyypillisesti piirikorttimurska) on erityisen muovipitoista, tulee se polttaa vielä polttokaapissa 350 asteessa polttohäviön määrittämiseksi. Polttohäviön avulla saadaan arvioitua muun muassa materiaalin lämpöarvo. Tämän vaiheen jälkeen sulatukseen menevän materiaalin ei pitäisi sisältää lähes yhtään muoveja tai haihtuvia komponentteja. Muovipitoisen SE-romun polttaminen on tärkeää niin sulatusprosessin nopeuttamisen kannalta kuin uunissa tapahtuvien reaktioiden voimakkuuksienkin kannalta.

Kyseisten vaiheiden jälkeen näytteet ovat valmiita uuniin panostettavaksi. Näytteet sulatetaan yhdessä pyriitin kanssa 1450 °C. Näyte ja pyriitti panostetaan tyhjään upokkaaseen, joka lasketaan sulatusuuniin nostolaitteiston avulla. Sulatuksen aikana kokenut sulattaja pystyy näytteen sulamista arvioimaan liekin värin ja koon perusteella, mutta poikkeavissa tilanteissa kypsytys on helposti tarkastettavissa puukepin avulla. Seos määritellään valmiiksi sen saavuttaessa homogeenisen olomuodon. Tyypillinen kesto yhden näytteen sulattamiseen on kahdesta neljään tuntia. Näytteen valmistuttua upokas nostetaan uunista äärimmäistä varovaisuutta noudattaen ja kuljetetaan valulaitteistoon (kuva 3).



Kuva 3. Uunista nostettu 1450 °C upokas.

Valulaitteistoa ohjataan kaukosäätimen avulla ja upokasta kallistetaan varovasti, jonka myötä sula valuu kokilliin (kuva 4). Upokkaaseen jämähtää usein osa näytteestä, joka lopuksi kaavitaan metallisella kaapimella mukaan.



Kuva 4. Sulaneen näytteen kippaus kokilliin.

Kipattu näyte jäähtyy ja kovettuu kokillissa noin kahden tunnin ajan, jonka jälkeen sen pois kippaus helpottuu ja jäähtynyt näyte pystytään pienentämään tarvittaessa lekan avulla (kuva 5).



Kuva 5. Uunista tullut näyte kokillissa.



Kuva 6. Jäähtynyt ja murskattu näyte.

Tämän työn osuus päättyi näytteen pienentämiseen (kuva 6), mutta normaalitilanteessa kaupanäytteitä valmistettaessa prosessi etenisi pienentämisen jälkeen murskaukseen ja näytekoon pienentämiseen. Materiaalin osuus näytteestä on noin 15 kg ja pyriitin lisäyksen myötä näytteen koko kasvaa arviolta toiset 15 kg. Yhdestä ~ 30 kg näytteestä jaetaan noin 2 kg näyte, joka jauhetaan ja seulotaan sekä lopuksi jaetaan muutaman sadan gramman pusseihin. Pussit toimitetaan analysoitavaksi laboratorioon.

Aiemmin mainittu pyriitti eli rautasulfidi (FeS_2) on raudan ja rikin muodostama yhdiste, jota käytetään mukana näytteiden sulatuksessa. Pyriittiä lisätään näytteeseen noin lapiollinen / 5 kg näytettä kohden. Pyriitti mukana sulatuksessa auttaa valmistamaan laadukkaan näytteen kierrätysmateriaaleista. Pyriittiä saadaan murskatusta kupari-sinkkimalmista vaahdotuksen avulla. Pyriitti on kiinteää jauhemaista ainetta ja väriltään vaaleanharmaata tai kellertävää. Pyriittirikaste on hajutonta jauhettua kivimateriaalia, jossa metallit esiintyvät luonnollisina mineraaleina. Pyriitti sisältää rautaa 40–50 % ja rikkiä 45–55 %. Aine luokitellaan raaka-aineeksi metallien jalostukseen sekä raaka-aineeksi rikkihapon valmistamiseen. Pyriitti luokitellaan käyttöturvallisuustiedotteessa

hengitysteitä sekä silmiä ja ihoa mahdollisesti ärsyttäväksi. Pyriitti tulee säilyttää viileässä, hyvin ilmastoidussa tilassa. (Pyhäsalmi Mine Oy 2020.)



Kuva 7. Pyriitti ja näyte.

6 Tutkimuskohteet

Työn tavoitteena oli tutkia sulatusuunien energiankulutusta sulatuksen sekä lepotilan aikana. Energiankulutuksen mittaamiseen käytettiin Fluke 438 series 2, Power Quality And Motor Analyzer -mittaria. Mittari mittasi uunin vastuksien sähkön käyttöä ja keräsi dataa minuutin välein. Tässä kappaleessa kerrotaan, kuinka työ suoritettiin molempien testien kohdalla. Testien tuloksia käsitellään seuraavassa kappaleessa.

6.1 Näytteiden sulatuskokeiden suoritus

Sulatuskokeet aloitettiin määrittämällä testauslämpötilat ja testattava materiaali. Testimateriaalina käytettiin kotimaista granulin muodossa olevaa kierrätysmateriaalia, joka oli kooltaan 3–6 mm (kuva 8). Materiaali sisälsi yli 70 % kuparia.



Kuva 8. Granuloitu kierrätysmateriaali.

Sulatuskokeiden näytteet otettiin saman toimituserän kierrätysmateriaalista, jotta tutkimuksen näytteet olisivat sulamiskäyttäytymiseltään mahdollisimman paljon toistensa kaltaisia. Näytteistä tehtiin samankokoisia ja ne kuivattiin kuivauskaapissa

vuorokauden ajan 105 °C lämpötilassa. Testauslämpötilat valittiin sen perusteella mikä oli uunin teoreettinen maksimi käyttölämpötila sekä kuinka alhaisessa lämpötilassa näytteiden sulaminen olisi mahdollista. Testauslämpötiloiksi valittiin 1450 °C, 1400 °C, 1350 °C, 1300 °C ja 1250 °C. Jokaisen lämpötilan kohdalla suoritettiin kaksi rinnakkaista sulatustestiä, jolloin saatiin vertailukohde energiankulutuksille.

Sulatuskokeet aloitettiin 1450 °C lämpötilasta, josta lämpötilaa pudotettiin 50 astetta kerrallaan aina 1250 °C asti. Uunien lämpötila varmistettiin aina ennen testin aloittamista ja testit pyrittiin toteuttamaan aina samaan kellon aikaan. Sulatuksia tehtiin yksi päivää kohden. Näytteet panostettiin uuniin ja näytteiden sulattaminen vei keskimääräisesti aikaa noin 2–3 tuntia.

6.2 Lepolämpötilan optimoinnin suoritus

Sulatusuunien lepotilojen optimointi oli työn kannalta merkittävässä roolissa. Optimoinnin tavoitteena oli tutkia mikä lämpötila ja asetusarvo olisi paras mahdollinen uuneille energiansäästön maksimoimiseksi. Tämänhetkiset uunin asetusarvot on määritetty siten, että uunin lepolämpötila on 1000 °C ja uunin käynnistyminen automatisoitu niin, että uuni on käyttötilassa (1450 °C) jokaisena arkipäivänä kello 6 mennessä. Uunin kapasiteettikyky lämpötilan nostossa on maks. 225 °C/h.

Uunin lepolämpötilalla tarkoitetaan lämpötilaa/asetusta, johon uuni asetetaan aina sulatuksen päätyttyä. Lepotila on asetus, jossa uuni pitää itseään aina silloin kuin näytteiden sulattamiselle ei ole tarvetta. Uuni on lepotilassa suurimman osan päivästä, jolloin lepotilan energiankulutus näyttelee isoa roolia sulatuksen kokonaisenergiankulutuksesta.

Testattavia lepolämpötiloja pohdittiin ja päädyttiin neljään eri lämpötilaan. Korkeimmaksi testilämpötilaksi määritettiin 1000 °C, mikä oli jo tämänhetkinen ennalta määritetty lämpötila. Muut testilämpötilat olivat 900 °C, 800 °C ja 700 °C. Alhaisin, 700 °C lämpötila määräytyi 1000 °C lämpötilan mukaan, sillä 700 °C oli 2/3 tämänhetkisestä 1000 °C lämpötilasta, joten päädyttiin ettei alempia lämpötiloja tutkita. Sen myötä työn aiheuttamat mahdolliset riskit saadaan minimoitua. Alhaisimpien lämpötilojen testaus olisi muun muassa voinut vaikuttaa uunien muurauksien kestoon. Uunin lepotilan energiankulutusmittaukset aloitettiin uunin lämpötilan ollessa 1450 °C. Lepotilan mittausajaksi määritettiin 19 tunnin aikavakio, jota käytettiin jokaisen mittauksen kohdalla. Mittausaika oli klo 11–06. Jokaisen lämpötilan kohdalla uunin parametreihin

asetettiin kullekin lämpötilalle laskettu nousunopeus ja lämmityksen aloitusaika. Esimerkiksi 800 °C lepotilatestauksen nousunopeus oli 220 °C/h ja lämmitys käynnistyi klo 03.00.

7 Tulokset

Seuraavissa kohdissa esitetään, millaisia tuloksia näytteiden sulatuskokeista saatiin aikaan sekä mikä oli energiankulutukseltaan paras lämpötila uunin lepotilalle.

7.1 Näytteiden sulatuskokeet

Sulatuksen normaalissa, 1450 °C lämpötilassa sulatuksen kesto oli 1 h 45 min. Kulunut keskimääräinen energiankulutus yhden 15 kg näytteen sulattamiseen oli 69 kWh. Seuraavan lämpötilan, 1400 °C kohdalla energiankulutus ei juuri poikennut ja tulokseksi saatiin 70 kWh. Ajallisesti sulatuksen kesto ei myöskään tuonut eroavaisuutta. 1350 °C ja 1300 °C sulatuksissa energiankulutukset pyörivät edelleen samoissa lukemissa, 68 kWh ja 71 kWh. Ajallisesti 1300 °C sulatus kesti 15 min kauemmin, mutta se ei tuonut vaikutusta kokonaisenergiankulutukseen. Matalimmassa lämpötilassa 1250 °C näytteiden sulattaminen vei korkeimpiin lämpötiloihin verrattuna lähes tunnin pidemmän sulatusajan. 1250 °C sulatusten aikana luukku jouduttiin avaamaan kerran sulan muodostumisen tarkastamiseksi, jolloin huomattiin näytteen olevan rakeisessa olomuodossa. Näytteet eivät siis saavuttaneet pidemmästä sulatusajasta huolimatta täysin sulaa homogeenistä olomuotoaan vaan jäivät rakeisiksi. Epätasalaatuisuus ei kuitenkaan ollut este näytteen pois kippaamiselle. Matalimman lämpötilan energiankulutus oli myös suurin, 78 kWh.

Sulatettavan näytteen (15 kg näyte, 10 kg pyriitti) sulattamiseen vaadittava teoreettinen teho on 3,96 kW, joka on laskettu HSC Chemistry laskentaohjelmalla. Mitattu näytteen sulattamiseen vaadittu aika oli 1 h 45 min, jolloin teoreettinen näytteen sulattamiseen vaadittava energiankulutus on mittausjaksolta noin 7 kWh. Kokonaisenergiankulutus 1450 °C oli 69 kWh, jolloin nähdään, että itse näytteen sulattaminen vie vähän energiaa, joten suurin osa energiankulutuksesta johtuu lämpöhäviöistä. Uunin ollessa lämmin, johtuvat lämpöhäviöt enimmäkseen uunin ulkolämpötilan ja ympäristön lämpötilan erotuksesta sekä uunin pinta-alasta. Lasketaan energiahäviö $P = A \cdot s \cdot T^4$ kaavaa hyödyntäen, jossa s on Stefan-Boltzmann vakio. Oletetaan, että uunin pinta-ala on 5 m² ja lämpötila 500 K (lopun lämpötilasta jää uunin lämmöneristyksiin). Täten tehoksi saadaan 18 kW, jolloin energiahäviö mittausjakson aikana on 32 kWh. Todennäköisesti muutaman sadan asteen lämpötilan muutos ei myöskään muuta uunin ulkolämpötilaa yhtä paljon, jolloin häviökään ei muutu niin paljon. 1250 °C suurempi energiankulutus

johtuu todennäköisesti vain pidemmästä sulatusajasta. Näytteiden sulattamisessa suurin osa käytetystä energiasta kuluu siis lämpötilan ylläpitoon ja vain pieni osa näytteen varsinaiseen sulattamiseen.

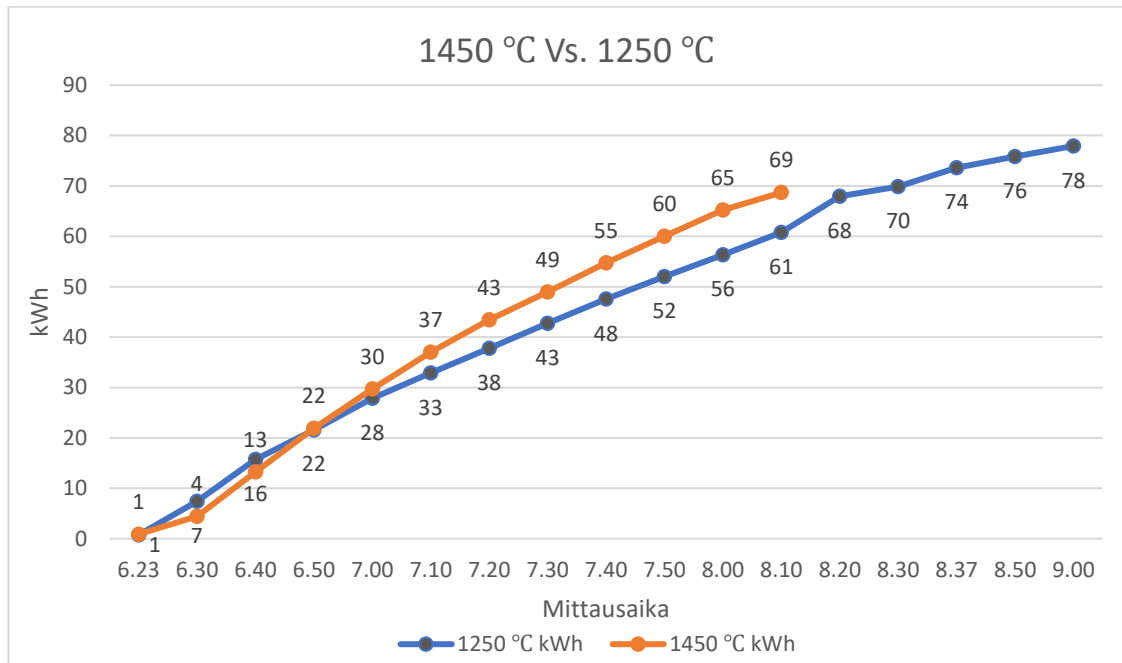
Näiden testien myötä energiankulutus oli alhaisinta 1350 °C ja 1450 °C lämpötiloissa. Suurta poikkeamaa energiankulutuksissa ei tapahtunut muissakaan lämpötiloissa, joten tämänhetkistä työstölämpötilaa voidaan pitää parhaimpana, sillä matalan energiankulutuksen lisäksi se tuotti myös täyden varmuuden sulan muodostumiselle. Kuitenkaan sadan asteen lämpötilan lasku ei vaikuta energiankulutukseen eikä tuota ongelmia sulamiselle.

Alla olevassa taulukossa (taulukko 1) on esitetty sulatustestien energiankulutukset lämpötilaa kohden päiväkohtaisesti sekä vuosittaisella tasolla. Vuosittaisen energiankulutus on laskettu 365 päivällä. Taulukon avulla voidaan kahden eri lämpötilan välistä energiankulutusta tarkastella paremmin. Tarkastellaan 1450 astetta ja 1350 astetta, joissa molemmissa lämpötiloissa sulatus sujui ongelmitta. Todetaan, että vuositasolla tarkasteltuna ei energiankulutuksen ero ole kovinkaan huomattava. ~ 700 kWh eli alle 3 % eroavaisuutta vuositasolla tällaisessa mittakaavassa voidaan pitää lähes merkityksettömänä. Sulattaminen 1450–1350 °C:n välillä on näiden testien myötä kannattavinta energiankulutuksen sekä sulatusvarmuuden kannalta.

Taulukko 1. Sulatustestien energiankulutukset.

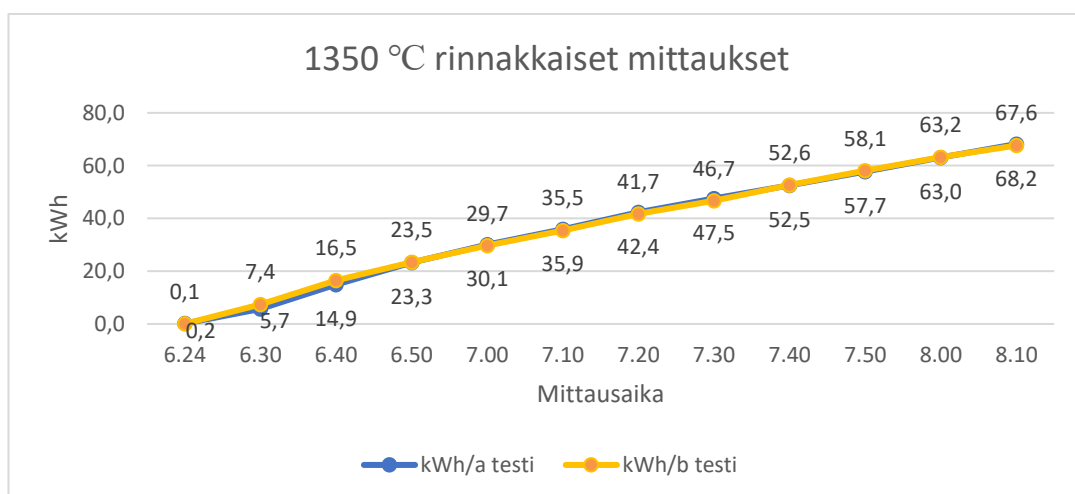
Lämpötila	Energiankulutus/päivä	Energiankulutus/vuosi
1450 °C	69 kWh	25 190 kWh
1400 °C	70 kWh	25 550 kWh
1350 °C	68 kWh	24 500 kWh
1300 °C	71 kWh	25 920 kWh
1250 °C	78 kWh	28 470 kWh

Matalimman ja korkeimman testilämpötilan energiankulutuksen eroavaisuutta voidaan tarkastella graafisesti alla olevan kuvaajan avulla (kuva 9). Kuvaajassa on esitettyinä lämpötilojen energiankulutukset (kWh) mittausjakson aikana. Energiankulutukset näkyvät mittausajanjaksossa 10 minuutin välein mitattuna.



Kuva 9. Energiankulutukset korkeimmassa ja matalimmassa lämpötilassa.

Rinnakkaisten sulatusten eroavaisuutta voidaan tarkastella alla olevasta kuvaajasta (kuva 10), josta nähdään esimerkkinä 1350 asteen rinnakkaisten sulatusten energiankulutukset. Rinnakkaisten määritysten kulutuksissa ei ollut merkittävää hajontaa, joten tuloksia voidaan tämän myötä pitää luotettavina.



Kuva 10. Rinnakkaisten sulatusten energiankulutukset.

Sulatuskokeiden kohdalla olisi voinut olettaa, että energiankulutus laskisi lämpötilan alentuessa, mutta kun tulosta pohditaan syvemmin, on prosentuaalinen muutos lämpötiloissa kuitenkin pieni, jolloin kulutukseen ei oleellisesti tuota suurta poikkeamaa. Lisäksi muutaman sadan asteen lämpötilan lasku ei oletettavasti vaikuttanut uunin ulkolämpötilaan yhtä paljon, jolloin lämpöhäviötäkin voidaan pitää lähes muuttumattomana. Matalimman lämpötilan suurempi kulutus oli todennäköisesti seurausta vain pidemmästä sulatusajasta. Näiden testien perusteella todetaan, että näytteiden sulattamiseen ennalta määritetty lämpötila (1450 °C) on edelleen optimaalinen työstölämpötila. Siinä energiankulutus oli lähes alhaisinta ja sulan muodostuminen varmintä. Testien perusteella saatiin tieto myös muiden lämpötilojen energiankulutuksista, joiden avulla pystyttiin saatu tulos todentamaan. Työssä haluttiin saada tietoa optimaalisesta sulatuslämpötilasta, johon myös vastaus löydettiin. Uusia oivalluksia ei sulatuslämpötilojen kohdalla tullut, mutta varmuus tämänhetkisen sulatuslämpötilan käyttökelpoisuudesta saatiin taattua.

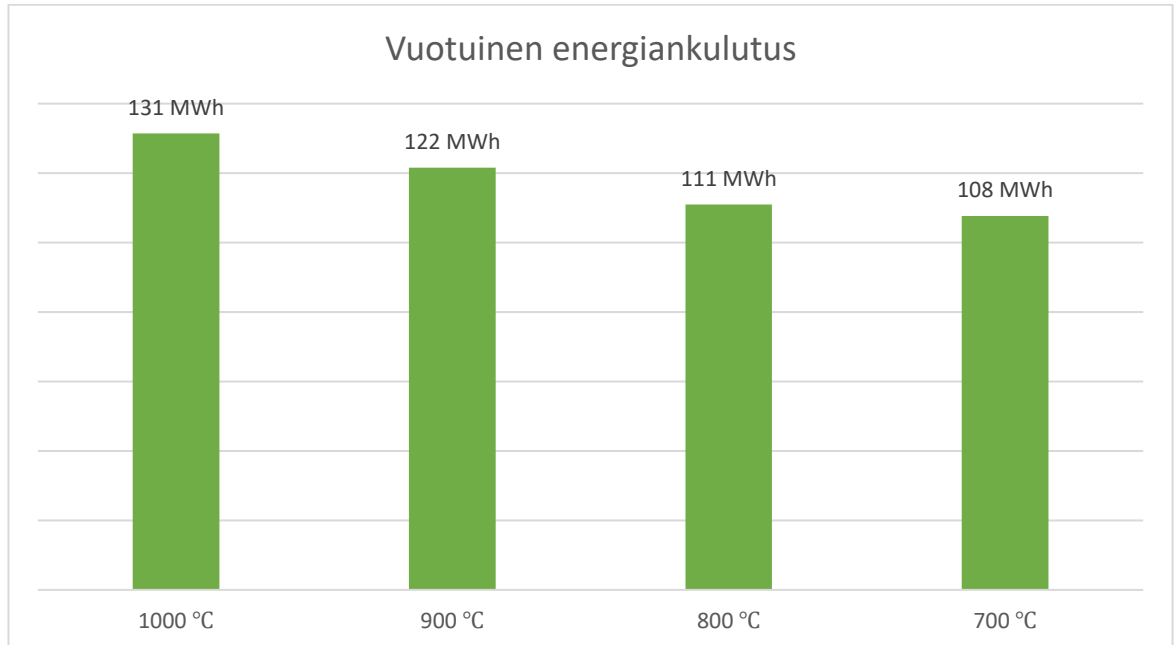
7.2 Lepolämpötilan optimointi

Lepolämpötilamittausten tuloksena saatiin, että tämänhetkisessä lepolämpötilassa (1000 °C) energiankulutus oli korkeinta. Tuhatkymmenessä celsiusasteessa 19 tunnin kestävässä mittauksessa energiankulutus oli 360 kWh. 900 °C energiankulutus oli 333 kWh, 800 °C 304 kWh ja alhaisimmassa, 700 °C 295 kWh. Energiankulutuksessa oli odotettu laskusuuntaa lämpötilaa laskiessa. Alla olevasta taulukosta (taulukko 2) nähdään yhden uunin tuottamat energiankulutukset päiväkohtaisesti sekä vuositasolla. Vuositason energiankulutus on laskettu 365 päivällä. Lisäksi taulukosta selviää energiankulutuksen prosentuaalinen muutos tämänhetkisen 1000 °C lepotilaan verrattuna.

Taulukko 2. Lepolämpötilojen energiankulutukset.

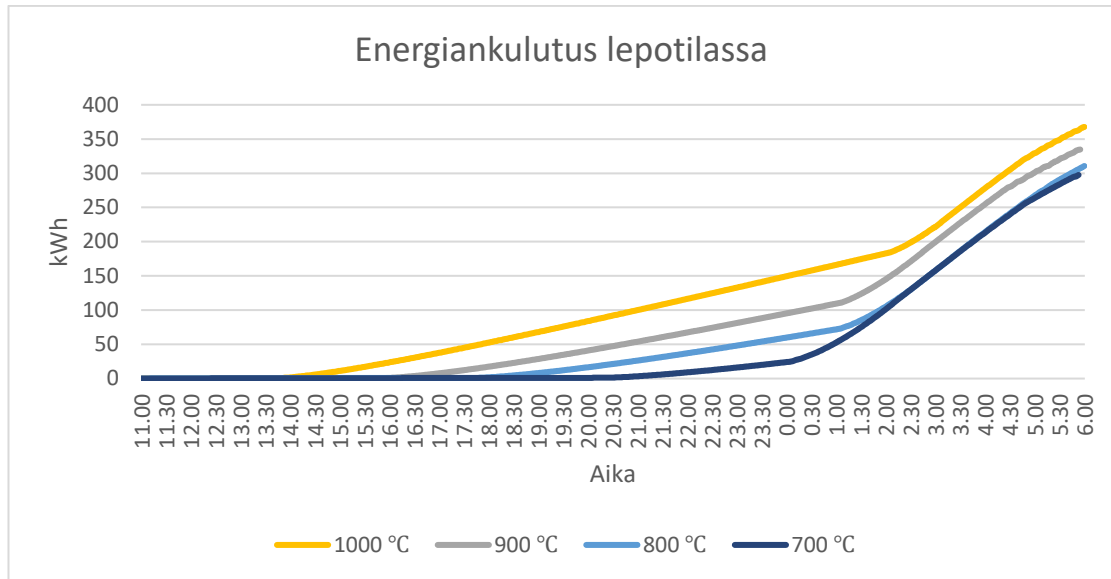
Lämpötila	Energiankulutus/päivä	Energiankulutus/vuosi	%-muutos
1000 °C	360 kWh	131 400 kWh	-
900 °C	333 kWh	121 550 kWh	-8 %
800 °C	304 kWh	110 960 kWh	-16 %
700 °C	295 kWh	107 680 kWh	-18 %

Vuosittainen energiankulutus eri lämpötilojen kohdalla on esitetty alla olevassa kuvaajassa. Kuvaajasta (kuva 11) nähdään paremmin, millainen lasku energiankulutuksessa tapahtuu lämpötilan alentuessa. Energiankulutus kuvaajassa on selvyiden vuoksi esitetty megawattitunteina.



Kuva 11. Vuotuiset energiankulutukset eri lämpötiloissa.

Seuraavasta kuvaajasta (kuva 12) nähdään jokaisen lämpötilan energiankulutuksen käyttäytyminen mittausjakson eri vaiheissa. Huomataan, että 1000 °C energiankulutus alkoi jo klo 14.00, kun taas 700 asteen energiankulutus alkoi klo 21.00.

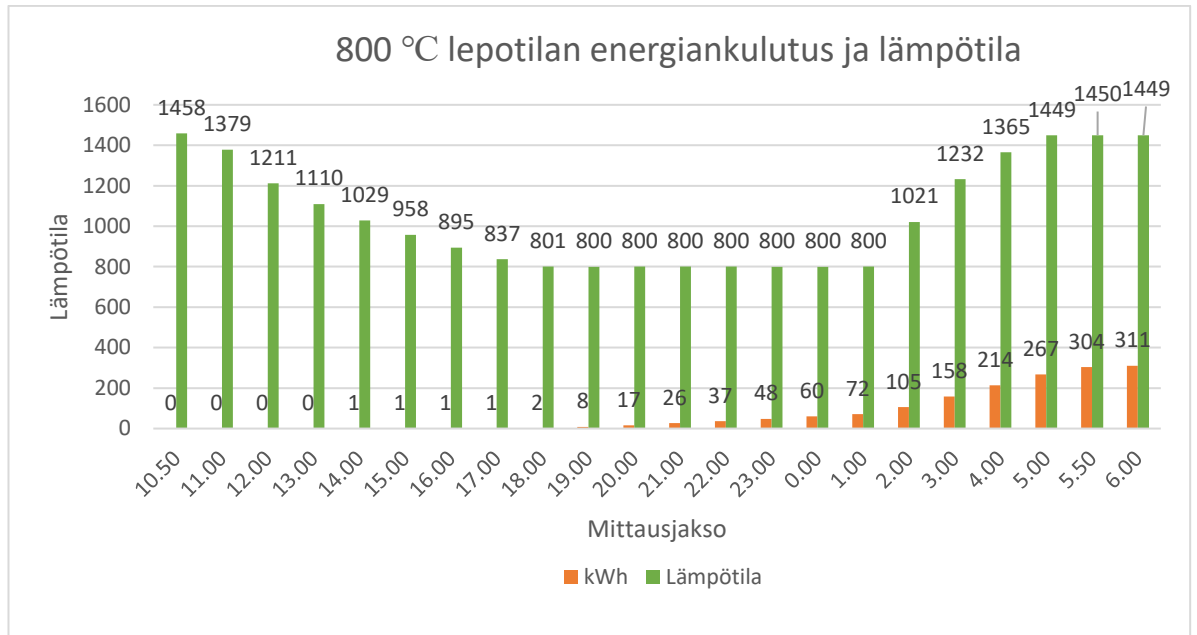


Kuva 12. Lepolämpötilojen energiankulutukset.

Lähempää tarkastelua energiankulutuksista mittausjakson aikana, voidaan tarkastella mittarista saadun datan avulla (liite 1 ja 2). Liitteissä on esitetty 1000 °C ja 700 °C energiankulutukset mittausjakson aikana.

Tarkasteltua lämpötilan vaikutusta energiankulutuksiin, huomattiin että uunin lämmitys ei käyttäytynyt täysin odotetulla tavalla. Esimerkkinä aiemmin mainittu 800 asteen lepotilan asetukset, jossa asetuksena oli 200 °C/h nousunopeus ja lämmityksen käynnistyminen klo 03.00, jolloin uunin lämpötila on 1450 asteessa klo 06.00. Testien mukaan uuni kuitenkin aloitti lämmittämisen jo klo 01.00 ja nosti lämpöä 200 °C/h nousunopeudella ensimmäiset kaksi tuntia, jonka jälkeen lämpötilan nosto tapahtui sadan asteen molemmin puolin per tunti. Uuni oli saavuttanut halutun lämpötilan klo 06.00 mennessä, mutta lämpötilan nosto tapahtui asetetusta poiketen.

Kuva 13 havainnollistaa energiankulutuksen käyttäytymisen mittausjakson aikana lämpötilaan verrattuna. Mittauspisteiden arvot kuvaavat energiankulutusta kyseisen ajan kohdalla.



Kuva 13. Lämpötilan ja energiankulutuksen vertailu mittausjakson aikana.

Näiden testien perusteella päädytään lopputulokseen, että alhaisin energiankulutus saavutettaisiin 700 celsiusasteen lepotilassa. Lepolämpötilojen energiankulutuksista ei ollut aiempaa tarkastelua, joten työ osoitti, millaista kulutus on minkäkin lämpötilan kohdalla. Työn pohjalta saatiin tarkasteluun myös lämpötilan käyttäytyminen energiankulutuksen rinnalla. Työssä odotettiin tuloksia ennalta määritettyjen asetusten käyttökelpoisuudesta, joihin näiden testien perusteella vastattiin.

8 Pohdinta ja loppupäätelmät

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kuinka paljon näytteenvalmistusosaston näytteiden sulatusuunit kuluttavat energiaa lepotilassa sekä näytteitä sulattaessa. Tavoitteena oli tutkia, mikä on energiatehokkaampi lämpötila tai aika, joilla yritys saisi suurimman energiansäästön aikaiseksi kyseisessä kohteessa.

Energiankulutusmittaukset saatiin suoritettua onnistuneesti sekä tuloksista saatiin hyödyllinen pohja mahdollisia lisätutkimuksia varten. Näytteiden sulatuslämpötiloissa ei koettu suurta vaihtelua energiankulutuksellisesti, joten näiden testien myötä todetaan, ettei sulatuslämpötilan muuttamiselle tai sen lähemmälle tarkastelulle ole tarvetta. Sulatustestien myötä lisääntyi tieto lämpötilojen energiankulutuksista, joiden perusteella optimaalinen sulatuslämpötila pystyttiin toteamaan. Näytteen sulattamiseen vaadittava teoreettinen energiankulutus auttoi arvioimaan, kuinka suuri osa energiankulutuksesta kuluu lämpötilan ylläpitoon ja lämpöhäviöihin. Työn pohjalta saatuja sulatustestien tuloksia voidaan hyödyntää vertailupohjana mahdollisille tuleville määrityksille.

Lepotilamittauksissa löydettiin uusi mahdollinen lepolämpötila, jossa energiankulutuksen todettiin olevan alhaisempaa tämänhetkiseen verrattuna. Mittausten perusteella 700 °C lepotila kuluttaisi 1000 °C verrattuna vuositasolla noin 24 MWh vähemmän energiaa yhdellä uunilla laskettuna.

Sulatustestien niin kuin lepolämpötilamittaustenkin tuloksien luotettavuutta tulee kuitenkin tarkastella lähemmin. Sulatustesteissä kokeet tehtiin ainoastaan yhdelle materiaalille kymmenistä, jolloin energiankulutuksissa olisi voinut esiintyä poikkeavuutta muiden materiaalien kohdalla. Lisäksi vaikka sulatustesteissä toteutettiin rinnakkaiset määritykset eikä niissä koettu suurta vaihtelevuutta, tulisi vertailupohjaa olla vielä enemmän tulosten oikeellisuuden takaamiseksi. Lepolämpötilamittauksista puolestaan ei suoritettu rinnakkaisia määrityksiä, joten tulosten luotettavuudessa on tämä hyvä ottaa huomioon. Oletuksena lepolämpötilamittauksissa voidaan pitää, ettei energiankulutuksen tulos olisi juuri muuttunut, koska minkään lämpötilan kohdalla saadussa tuloksessa ei esiintynyt yllättäviä poikkeamia. Oikeellisuuden kyseenalaistaminen on kuitenkin oleellista vertailupohjan uupessa.

Tämä työ osoitti, että uuden lepolämpötilan määrittäminen toisi mahdollista säästöä energiankulutuksessa. On kuitenkin tärkeä ottaa huomioon, että kyseinen energiansäästökohde on vasta ehdotus ja yhden tutkimuksen perusteinen tulos, joten

ennen lopullisia johtopäätöksiä tulee kohdetta tarkastella enemmän. Uuden lepotilan asettaminen vaatii jatkotutkimuksia, johon kyseistä työtä voidaan hyödyntää pohjatietona. Riskinä lämpötilan alentamisessa on muurauksien kesto. Muurauksien keston takuuta suurelle lämpötilavaihtelulle ei ole esitetty, joten tämän vuoksi 700 asteen testausjakso tulisi olla pidempi. Samalla uunin muurauksien kuntoa tulisi tarkastella päivittäin.

Yritys on luokitellut muun muassa sähkön käytön ja hukkalämmön hyötykäytön energianäkökohdan käyttöhyödykkeeksi. Kyseisen kohteen mahdollisen sähkönkäytön säätelyn lisäksi voisi pohdinta jonkinlaisesta lämmöntalteenottojärjestelmästä olla hyödyllistä. Uunien läheisyydessä erityisesti uuneja avatessa syntyy suurta lämpöä ympäristöön, jolloin hukkalämmön talteenotto ja sitä myötä hyötykäyttäminen voisivat olla mietinnän arvoisia asioita.

Tehdyn tutkimuksen myötä saatiin varmuus optimaalisesta sulatuslämpötilasta sekä löydettiin mahdollinen energiansäästökohte näytteenvalmistussosastolta. Yrityksen tavoitteena oli parantaa energiatehokkuutta ja minimoida tuotantokustannuksia energian käytön suunnittelulla, joten mahdollinen ehdotus tämän toteuttamiseksi löydettiin. Yrityksessä niin kuin myös teollisuudessa maailmallakin avainsanana on energiatehokkaampaan toimintaan siirtyminen sekä energiansäästön lisääminen. Kyseisen kohteen energiansäästö voi näytellä pientä roolia globaalisti, mutta yrityksessä jokaisen energiansäästökohteen löytämistä pidetään taatusti arvokkaana.

Lähteet

ABB 2022. New survey reveals global industry is accelerating investment in energy efficiency. Viitattu 31.8.2022. <https://new.abb.com/news/detail/90692/new-survey-reveals-global-industry-is-accelerating-investment-in-energy-efficiency>

Boliden Harjavalta Oy. Boliden Harjavalta sulatot. Yksi maailman tehokkaimmista kuparin ja nikkelin tuottajista. Viitattu 15.7.2022. <https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-hariavalta>

Boliden Oy. Purpose, vision and values. Viitattu 15.7.2022. [Purpose, vision and values - Boliden](#)

Czajczyńska, D.; Anguilano, L.; Ghazal, H.; Krzýznka, R.; Reynolds, A.J.; Spencer, N.; Jouhara, H. 2017. Potential of pyrolysis processes in the waste management sector. Thermal Science and Engineering Progress 3. 187-188. [Potential of pyrolysis processes in the waste management sector - ScienceDirect](#)

ELY-keskus 2022. Jätteiden käsittelyn etusijajärjestys. Viitattu 31.8.2022. <https://www.ely-keskus.fi/varsinais-suomi-jatekuljetusten-valvonnan-kehittamishanke>

Energiatehokkuuslaki. 30.12.2014/1429.

Energiavirasto 2022. Energiakatselmukset. Viitattu 30.8.2022. <https://energiavirasto.fi/energiakatselmukset>

Euroopan parlamentti. 2021. Energiatehokkuus. Viitattu 30.8.2022. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fi/sheet/69/energiatehokkuus>

Euroopan ympäristökeskus 2021. Energia. Viitattu 15.8.2022. <https://www.eea.europa.eu/fi/themes/energy/intro>

Ignatius, S.; Myllymaa, T. & Dahlbo, H. 2009. Sähkö- ja elektroniikkaromun käsittely Suomessa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja. Viitattu 15.7.2022. 14–15. [14928276.pdf \(core.ac.uk\)](#)

Jätelaki 519/2014. Annettu Helsingissä 3.7.2014. Saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140519>

Junnikkala, S. 2021. Energiajärjestelmä moniste. Boliden Harjavalta Oy.

Käyttöturvallisuustiedote, pyriittirikaste. Pyhäsalmi Mine Oy. 2020.

Motiva Oy 2018. Energian tehokas käyttö säästää yli puoli miljardia euroa vuosittain. Viitattu 30.9.2022.

https://www.motiva.fi/ajankohtaista/tiedotteet/muut_tiedotteet/2018/energian_tehokas_kaytto_saastaa_yli_puoli_miljardia_euroa_vuosittain.12575.news

Motiva Oy 2022. Energiatehokkuusdirektiivi. Viitattu 30.8.2022.

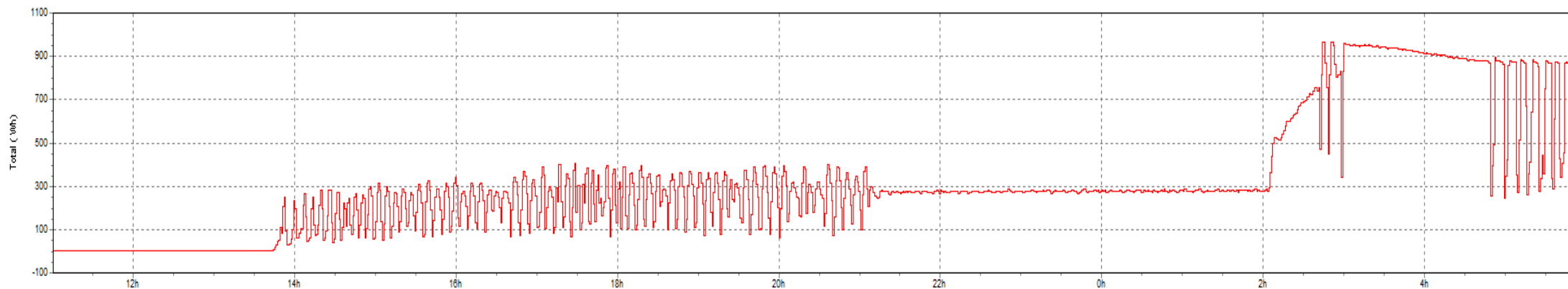
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/energiatehokkuusdirektiivi>

Prizztech 2020. Sähkö- ja elektroniikkalaiteromu (SER) ja sen kierrätysmahdollisuudet Satakunnassa. 15. Viitattu 12.7.2022. [Sähkö- ja elektroniikkalaiteromu \(SER\) ja sen kierrätysmahdollisuudet Satakunnassa \(prizz.fi\)](#)

SER-kierrätys 2012. Mitä on SER? Viitattu 10.7.2022. [SER - Mitä on SER? \(serkierratys.fi\)](#)

Tukes 2022. Sähkö- ja elektroniikkalaiteromu – SER, WEEE. Viitattu 31.8.2022. [Sähkö- ja elektroniikkalaiteromu - SER, WEEE | Turvallisuus- ja kemikaalivirasto \(Tukes\)](#)

Liite 1: Energiankulutus 19 tunnin aikana 1000 asteessa



Liite 2: Energiankulutus 19 tunnin aikana 700 asteessa

