OAMK
OULUN AMMATTIKORKEAKOULU

Immo Koivikko

RAUTATUOTANNON SÄHKÖSAATTOJEN OPTIMOINTI

RAUTATUOTANNON SÄHKÖSAATTOJEN OPTIMOINTI

Immo Koivikko
Opinnäytetyö
Syksy 2019
Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma, sähkövoimatekniikka

Tekijä: Immo Koivikko
Opinnäytetyön nimi: Rautatuotannon sähkösaattojen optimointi
Työn ohjaajat: Ensio Sieppi (OAMK), Sami Vares (SSAB), Jaakko Pottala (SSAB)
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2019
Sivumäärä: 58 + 3 liitettä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää SSAB:n Raahen terästehtaan raudantuotantoalueen sähkösaattojen lukumäärä, niiden käyttöaste, käyttötarve ja etsiä kohteita, joissa voitaisiin säästää energiaa. Tässä työssä esitellään työn kannalta riittäviä tietoja SSAB:sta, Raahen tehtaasta ja sen raudantuotantoprosessista, lämpöopista, sähkösaattojärjestelmästä, esitellään SkyTrace -järjestelmää ja selvitettiin optimoitavia sähkösaattopiirejä. Tämän työn toimeksiantajana oli rautatuotannon kunnossapito.

Työalueeksi rajattiin masuunien 1 ja 2 alueet, PCI-laitos, briketointilaitos ja harkkovalimo. Työ keskittyi pääasiassa masuunien alueeseen, koska se muodostaa kokonaisuudesta suurimman osan. Lisäksi työ rajattiin ainoastaan sähkösaattokeskuksiin ja yksittäiset lähdöt jätettiin pois. Rajauksen syynä on yksittäisten sähkösaattojen tilastoimattomuus. Tarvittavien taustatietojen selvittämisen jälkeen kerättiin tarvittavaa aineistoa sähkösaattojärjestelmästä, prosessista ja tehdasalueen ympäristöstä ALMA:n ja muiden tiedonhallintajärjestelmien kautta. Aineiston keräämisen jälkeen tehtiin laskelmia erilaisista käyttötilanteista ja pohdittiin toimenpiteitä, joilla sähkösaattojärjestelmän energiankulutusta voidaan pienentää.

Työn tuloksena esitetään teoreettisia laskelmia mahdollisista energia- ja kustannussäästöistä. Työn lopputuloksena syntyi kattava aineisto alueen sähkösaattojärjestelmän lämmityspiireistä ja erilaista tilastotietoa sen käytöstä. Esitetyt säästöt ovat kokoluokaltaan melko isoja ja teoreettisia. Todellisuudessa esitettyjä säästöjä ei voida saavuttaa täysimääräisinä niiden osittaisen päällekkäisyyden vuoksi. Toimintaehdotuksena on esitettyjen kohteiden nykyisten asetusarvojen muokkaaminen ja kunnossapitotyön ohessa eristystason parantaminen.

Asiasanat: sulanapito, sähkösaattojärjestelmä, optimointi, energiatehokkuus, energiansäästö

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering, Electrical Engineer

---

Author: Immo Koivikko
Title of thesis: Optimization of Electric Heat Tracing in Iron Production
Supervisors: Ensio Sieppi (OAMK), Sami Vares (SSAB), Jaakko Pottala (SSAB)
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2019
Pages: 58 + 3 appendices

The purpose of this thesis was to figure out the amount of electrical heating cables in the area, how they are used and circuits were energy can be saved. This thesis goes through basic information about SSAB, Raahe steel factory and its iron making process, necessary information about thermodynamics, information about electrical heat tracing systems and cables, introducing current system SkyTrace and figuring out circuits to be optimized.

The work began by limiting the working area. Area included in this thesis includes blast furnaces 1 and 2, PCI facility, bricket facility and ingot foundry. This thesis focuses mainly on blast furnaces area, because they cover most of the area. Only circuits connected to electrical heat tracing systems are included. Information on this thesis are collected from SSAB presentation materials, work instructions and from different information management systems, such as ALMA. Collected information was analyzed and used to find out circuits that could be optimized.

Results of this thesis are shown as tables. Tables include overview about the data collected and summary of theoretical savings. It should be noted that the results are theoretical and the due to overlapping not all of the savings can be reached simultaneously. Adjusting the current circuit setpoints is the mainly suggested action for saving energy, as well as improving level of insulation.

Keywords: electrical heat tracing, electrical trace heating, energy efficiency, energy optimizing

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö on tehty kesän ja syksyn 2019 aikana SSAB Europe Oy:n Raahen tehtaalla. Työn tekeminen opetti paljon raudantuotannosta ja työn aiheeseen liittyvistä asioista.

Haluan kiittää mahdollisuudesta tämän työn tekemiseen SSAB:ta ja esimiestäni Risto Seppästä, joka mahdollisti tämän opinnäytetyön tekemisen töiden ohessa. Lisäksi haluan kiittää tämän työn ohjaajaa Sami Varesta, joka ohjasi työtä tarpeen tullen myös omien lomiensa aikana ja työn aiheen keksinyttä Jaakko Pottalaa, muita työn tekemiseen osallistuneita henkilöitä ja ohjaavaa opettajaa Ensio Sieppiä. Haluan kiittää myös perhettäni ja erityiskiitos puolisolleni tukemisestani opintojeni ja tämän opinnäytetyön kirjoittamisen aikana.

Oulussa 5.11.2019

Immo Koivikko

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ 3
ABSTRACT 4
ALKULAUSE 5
SISÄLLYS 6
SANASTO 8
1 JOHDANTO 13
2 SSAB 14
2.1 Strategia 14
2.2 Raahen tehdas 15
2.3 Merox 16
3 RAUDANTUOTANTO RAAHEN TEHTAALLA 17
3.1 Masuunit 17
3.2 PCI -laitos 20
3.3 Briketointilaitos 21
3.4 Harkkovalimo 22
4 LÄMPÖOPIN PERUSTEITA 23
4.1 Lämmönsiirtyminen 23
4.1.1 Säteily 23
4.1.2 Konvektio 24
4.1.3 Johtuminen 24
4.2 Aineiden ominaisuuksia 25
4.2.1 Ominaislämpökapasiteetti 25
4.2.2 Lämmönjohtavuus 26
4.2.3 Lämpöresistanssi 27
4.3 Lämpöhäviöt 27
4.4 Eristys 28
5 SÄHKÖSAATTOJÄRJESTELMÄ 30
5.1 Ohjausjärjestelmät 31
5.2 SkyTrace -ohjausjärjestelmä 32
5.3 Saattolämmityskaapelit 33

5.3.1 Itsesäätyvät kaapelit 34
5.3.2 Säädettävät kaapelit 36
6 SÄHKÖSAATTOJEN OPTIMOINTI 37
6.1 Työn suoritus 37
6.2 Sähkösaattojärjestelmän käyttö 39
6.3 Seisokkien huomiointi 41
6.4 Säästökohteiden kartoitus 41
6.4.1 Piirien asetusarvot 42
6.4.2 Virtauksien huomiointi 47
6.4.3 Tehokkaimmat kohteet 49
7 TULOKSET 51
8 POHDINTA 53
LÄHTEET 56
LIITTEET
Liite 1 Asetusarvoista saatavia säästöjä vuodessa
Liite 2 Virtausmittauksista saatavia säästöjä vuodessa
Liite 3 Ote sähkösaattolistauksesta

SANASTO

ALMA	Dokumenttien kuten piirikaavioiden ja rakennekuvien hallintaan käytettävä ohjelmisto
BLT	Bell-les top on masuunin huipulla sijaitseva kelloton panostuslaitteisto
Briketointilaitos	Laitos, jossa raudantuotannossa syntyvät ylijäämämateriaalit puristetaan briketeiksi ja kierrätetään takaisin masuunien raaka-aineiksi
Briketti	Briketointilaitoksella valmistettu kappale, joka koostuu raudantuotannossa syntyneistä rauta-, kalkki- ja hiilipitoisista materiaaleista ja sementistä
CDP	Carbon Disclosure Project, itsenäinen organisaatio, joka kerää tietoa ilmastonmuutoksen torjuntaan, ehkäisyyn ja sopeutumiseen liittyen
CO	Carbon monoxide, hiilimonoksidi eli häkä, hiilen ja hapen muodostama myrkyllinen kemiallinen yhdiste
CO2	Carbon dioxide eli hiilidioksidi on hiilestä ja kahdesta hapesta muodostuva kemiallinen yhdiste
DNA Report Add-in	Excel taulukkolaskentaohjelman lisäosa, jolla saadaan tuotua tietoa Valmet DNA -automaatiojärjestelmästä
Etukoje	Suojalaite, jolla suojataan sen perässä olevia piirin osia liian suurelta kuormitukselta ja häiriöiltä
eWorx	SSAB:n sisäiseen käyttöön tarkoitettu intranetsivusto
Excel	Microsoft Corporationin kehittämä taulukkolaskentaohjelma

F	Instrumentoinnissa käytettävä kirjaintunnus, joka tarkoittaa Flow eli virtaamaa tai virtausta
Fakkeli	Kaasupoltin ei-hyödynnettävän masuunikaasun polttamiseen ja putkistojen paineentasaukseen
Granuli	Raudantuotannossa syntyneestä kuonasta jäähdyttämällä muodostunutta masuunihiekkaa
Granulointilaitos	Laitos, jossa muodostetaan granulia
Housuputket	Masuunin huipulta lähtevät kaksi kaasuputkea, jotka yhdistyvät yhdeksi
Hormi	Masuunin osa, josta puhallusilmaa puhalletaan ja hiilipölyä injektoidaan masuunin sisälle
Hybrit	SSAB:n, LKAB:n ja Vattenfalin yhteishanke, jonka tavoitteena on kehittää maailman ensimmäinen täysin fossiilivapaa teräksenvalmistustekniikka vetyä käyttäen
H2	Kahden vety atomin muodostama molekyyli
I	Instrumentoinnissa käytettävä kirjaintunnus, joka tarkoittaa Indicate eli osoitusta
Kalkkimaito	Emäksinen poltetusta tai sammutetusta kalkista ja vedestä valmistettu liuos, jota käytetään happamuuden säätämiseen eli neutralointiin ja estämään raudan tarttumista valumuottiin
Kihtikaasu	Kaasu, jonka koostumus kertoo reaaliaikaisesti masuuniprosessin tilasta
Kihtikaasuanalysaattori	Analysaattori, jolla mitataan masuunikaasun CO-, CO2- ja H2 pitoisuuksia, joiden perusteella maasuniprosessia säädellään

Koksi	Koksaamolla kivihiilestä kuivatislaamalla valmistettavaa hiiltä, joka on lämpöarvoltaan parempaa ja puhtaampaa kuin kivihiili
Lämmönjohtavuus	Kuvaa yhden metrin paksuisen ja neliön kokoisen materiaalikerroksen läpi kulkevan lämpötehon pintojen lämpötilaeron ollessa yhden asteen
Lämpöresistanssi	Kuvaa paljonko lämpötilaeroa syntyy, kun aineen toisella puolella vaikuttaa tietty lämpöteho
Masuuni	Jatkuvatoiminen kuilu-uuni, jossa valmistetaan rautaa ylhäältä panostettavista raaka-aineista
Masuunikaasu	Masuunissa raudantuotantoprosessissa syntyvä myrkyllinen kaasu, koostuu CO, H2, CO2, N2
Merox	SSAB-konserniin kuuluva kestävään kehitykseen keskittynyt yritys, jonka tehtäviin kuuluu materiaalien käsittely, kierrätys ja myynti ulkoisille asiakkaille
Masuunihiekka	Katso kohta granuli
N2	Kahden typpiatomin muodostama molekyyli, joka esiintyy luonnossa kaasuna
Ominaislämpö-kapasiteetti	Kuvaa aineen lämmönsitomiskykyä eli vastaanottaa tai luovuttaa lämpöenergiaa
PCI	Pulverized Coal Injection eli hiili-injektio, jolla hiilipölyä käytetään masuuniprosessissa polttoaineena ja raudan pelkistysaineena koksin rinnalla
Pman Line	Process Manager Line on Planray Oy:n kehittämä ohjelmisto, jolla hallitaan sähkösaattopiirejä
Peruskuorma	Ei säädettävien saattolähtöjen osuus

Pelkistin	Aine, joka hapetus-pelkistysreaktiossa luovuttaa elektronin tai useampia ja hapettuu
Positio	Kohteelle määritelty yksilöllinen tunnus, jolla kohde on erotettavissa muista
Puhallusilma	Masuuniin alaosasta puhallettavaa hapella rikastettua ilmaa, jolla säädetään masuuniprosessin nopeutta
Pölynpoisto	Pölyn torjuntaan käytettävä laitteisto, jolla haitallinen pöly kerätään talteen kohteesta
Pölysäkki	Masuunikaasun puhdistuksen vaihe, jossa kaasusta erotellaan suurimmat kiinteät epäpuhtaudet
Raudanpelkistys	Kemiallinen reaktio, jossa rautaoksidi pelkistyy pelkistimen vaikutuksesta raudaksi
Rautapelletti	Masuuniin syötettävä rautapitoinen raaka-aine
Rautareikä	Masuunin alaosassa oleva reikä, josta sula rauta valutetaan ränniä pitkin rautasenkkoihin
Rautasenkka	Junaraiteilla kiskoilla kulkeva suuri metallinen astia, jossa sulaa raakarautaa kuljetetaan eripuolille tehdasta
Rautatievaihde	Rautatieraiteissa oleva mekanismi, jolla junat voidaan ohjata kulkemaan raiteelta toiselle
Rauti	Tieto Oyj:n kehittämä rautatuotannon tietojärjestelmä
Saattolämmitys	Järjestelmä, jossa tietty kohde pyritään pitämään sulana tai tietyn lämpötilan rajoissa
Savukaasupesuri	Kaasunpuhdistamon komponentti, jossa kaasusta poistetaan pienempiä kiinteitä epäpuhtauksia pesemällä sitä vedellä

Selkeytin	Selkeyttämiseen käytettävä vedenkäsittelyn osa, jossa vedestä erotetaan lietettä sekoittamalla
Setpoint	Asetuspiste, tässä yhteydessä asetusarvo
Sifoni	Pääkourun osa, jolla kuona erotellaan sulasta raudasta
Siilolaitos	Raaka-aineiden siirtämiseen ja säilöntään käytettävä laitos
SkyTrace	Planray Oy:n kehittämä ohjelmisto, jolla hallitaan sähkösaatto-piirejä
Säteily	Energian siirtymistä aaltojen tai hiukkasten välityksellä
Sähkömagneettinen säteily	Energian siirtymistä aaltoina
Sähkösaatto	Sähköllä toteutettava saattolämmitys
Terässulatto	Laitos, jossa raudasta tehdään terästä puhaltamalla siihen happea, jolloin raudan hiilipitoisuutta saadaan laskettua
Tykkimassalaatikko	Laatikko, jossa säilötään masuunin rautareiän sulkemiseen käytettävää tykkimassaa
Tykkimassa	Rautareiän sulkemiseen käytettävää massaa, joka asetetaan reikään tykin avulla
Valmet DNA	Suomalaisen Valmet Oy:n kehittämä prosessin ohjaukseen käytettävä automaatiojärjestelmä

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana on selvittää SSAB Europe Oy:n Raahen terästehtaan raudantuotantoalueen sähkösaattojen määrä, niiden käyttöaste ja käyttötarvetta. Näiden tietojen perusteella pyritään optimoimaan sähkösaattojen toimintaa ja säästämään energiaa. Lopputuloksena esitellään mahdollisia säästökohteita, tehdään laskelmia mahdollisista kustannussäästöistä ja pohditaan työn aikana ilmitulleita mahdollisia toimenpiteitä energiahäviöiden minimoimiseksi.

Tässä työssä esitellään SSAB yhtiön perustiedot, Raahen tehtaan raudantuotannon prosessi ja työn suorituksen kannalta oleellisimmat oheisprosessit, tarpeellinen määrä teoriatietoa saattolämmityksestä, lämpöopista sähkösaattojärjestelmien ymmärtämiseksi ja esitellään käytössä oleva SkyTrace -ohjausjärjestelmä. Laajuuden rajaamiseksi tässä työssä käsitellään ainoastaan sähköllä toteutettuja saattolämmityksiä.

Tämän työn laajuuden rajaamiseksi työalueeksi rajataan masuunit 1 ja 2, PCI-laitos, harkkovalimo ja briketointilaitos. Kunkin laitoksen sisällä on useita erilaisia osastoja. Näistä merkittävimpiä esitellään siinä määrin, kun ne työn ymmärtämisen kannalta on tarpeellista.

2 SSAB

SSAB on pohjoismainen teräsyhtiö, joka on keskittynyt erikoisteräksien valmistukseen ja kehitykseen. SSAB:n historia alkaa jo 1800-luvun lopulta Ruotsista, minkä jälkeen se on erilaisten vaiheiden jälkeen laajentunut maailmanlaajuisesti toimivaksi yhtiöksi. Vuonna 1988 yhtiö listattiin pörssiin, minkä jälkeen se on laajentanut toimintaansa ostamalla vuonna 2007 yhdysvaltalaisen IPSCO-teräsyhtiön ja vuonna 2014 suomalaisen Rautaruukki Oyj:n (1). Päätuotantolaitoksia SSAB:lla on kolmessa maassa: Ruotsissa, Suomessa ja Yhdysvalloissa ja näiden lisäksi erilaisia pienempiä tuotanto-, palvelu- ja viimeistelykeskuksia ympäri maailmaa. SSAB työllistää yli 50 maassa noin 14300 työntekijää (2).

SSAB-konserni koostuu kolmesta divisioonasta: Europe, Special Steels ja Americas. Näistä Special Steels on erikoistunut maailmanlaajuinen nuorrutusteräksien ja erikoislujien terästen valmistukseen. Europe on pohjoismaissa toimiva ja erikoistunut korkealaatuisten kvarttolevy-, nauha- ja putkituotteiden valmistukseen. Americas on nimensä mukaisesti Pohjois-Amerikassa toimiva ja se on erikoistunut korkealaatuisten kvarttokelojen ja levyjen valmistukseen. Näiden lisäksi SSAB:lla on kaksi tytäryhtiötä: Tibnor ja Ruukki Construction. Näistä Tibnor on keskittynyt teräksen ja muiden metallien jakeluun ja esikäsittelypalveluihin. Ruukki Construction tuottaa kestävän kehityksen periaatteiden mukaisia rakentamiseen liittyviä tuotteita ja palveluita. (2.)

2.1 Strategia

SSAB:n pääasialliset kohdemarkkinat ovat lujat teräkset ympäri maailman, levy- ja putkituotteet pohjoismaissa ja kvarttolevyt Amerikassa. Näistä lujien terästen markkinaosuus on 5 - 40% riippuen alueesta, levy- ja putkituotteiden 40 - 50% ja kvarttolevyjen 20 - 25%. (3.)

SSAB:n vuoden 2019 tavoitteena on vahvistaa asemaansa maailmanlaajuisesti johtavana erikoislujien terästen tuottajana, pysyä markkinajohtajana kotimarkkinoilla ja johtavana lisäarvopalvelujen tuottajana (4).

Pitkän aikavälin tavoitteena SSAB:lla on tuottaa täysin fossiilivapaata terästä vuoteen 2045 mennessä ja lyhyemmän aikavälin tavoitteena vähentää 25% hiilidioksipäästöjä vuoteen 2025 mennessä (5).

Pidemmän aikavälin tavoitteen seurauksena SSAB, Vattenfal ja LKAB aloittivat vuonna 2016 yhteisen Hybrit -hankkeen, jonka tavoitteena on kehittää maailman ensimmäinen fossiilivapaa teräksenvalmistustekniikka. Hankkeen johdosta kesällä 2018 aloitettiin Luulajan toimipisteeseen rakentamaan pilottilaitosta. (6.)

Ilmastonmuutoksen torjuntaan ja sopeutumiseen keskittynyt analyysiyritys Carbon Disclosure Project (CDP) arvioi vuoden 2019 raportissaan (7) SSAB:n maailman parhaaksi ja pisimmälle edenneeksi teräsyhtiöksi siirtymisessä kohti fossiilitonta teräksentuotantoa. Raportissa analysoitiin maailman 20 suurinta pörssissä noteerattua teräsyhtiötä.

SSAB:n tavoitteena on olla maailman turvallisin teräsyhtiö, minkä seurauksena yhtiö panostaa vahvasti turvallisuuskulttuuriin. Tämän lisäksi yhtiö panostaa vahvasti asiakkaaseen ja tavoitteena on tarjota ensiluokkainen asiakaskokemus ja keskittyminen asiakkaan liiketoimintaan. SSAB:n visio ”Vahvempi, kevyempi ja kestävämpi maailma” kuvaa hyvin näitä tavoitteita. (6.)

2.2 Raahen tehdas

Raahen tehdas (Kuva 1) on SSAB:n suurin tuotantolaitos, jossa työskentelee noin 2400 henkilöä. Tehdasalueeseen kuuluu kaikki teräksen valmistukseen tarvittavat laitokset, koksaamo, kaksi masuunia, terässulatto, voimalaitos, kuumavalssaamo ja näiden lisäksi tarvittavat raaka-aineiden ja materiaalien käsittelyyn tarvittavat yksiköt ja rahtisatama. Tehtaalla valmistetaan erilaisia standardi-, premium- ja erikoisteräksiä. Raahen tehtaan päätuotteita on kuumavalssatut levy- ja kelatuotteet. Tehdas aloitti toimintansa 1960-luvun alussa silloisen Rautaruukin alaisuudessa ja siirtyi mukana vuonna 2014, kun Rautaruukki sulautui osaksi SSAB:ta. (8.)

KUVA 1. SSAB:n Raahen tehdas (3)

Raahen tehdas on kokonaisuudessaan ainutlaatuinen kokonaisuus, joka kattaa noin 500 hehtaarin alueen ja pitää sisällään tuotantolaitoksen lisäksi myös oman sataman, paloaseman, laboratorion, korjaamon, keskusvaraston, noin 40 km tietä ja 30 km rautatietä (3).

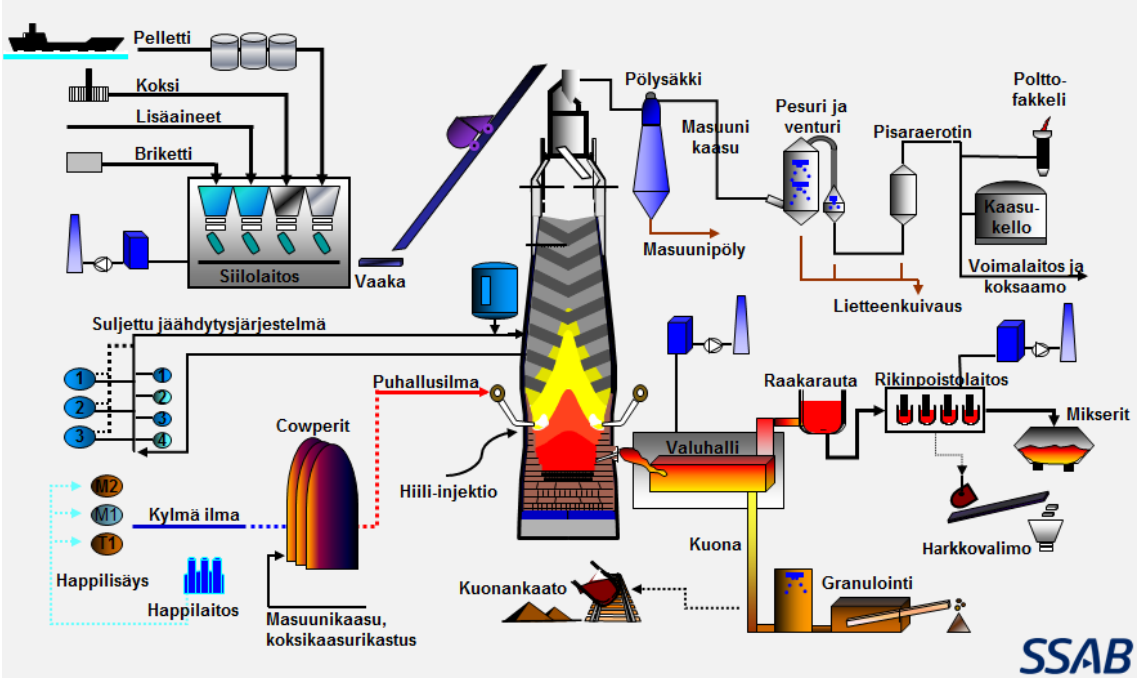
2.3 Merox

Merox on SSAB-konserniin kuuluva yritys. Meroxin tehtäviin kuuluu materiaalien käsittely uusiksi raaka-aineiksi, käsittely ja myynti ulkoisille asiakkaille ja asianmukainen kierrätys (9). Sen tehtävänä on myös optimoida SSAB:n tehtailla syntyvien sivutuotteiden, kierrätysmetallien ja jätteiden käsittelyä kestävän kehityksen näkökulmasta (10).

Meroxin tuotteita ovat muun muassa raudantuotannossa syntyvä masuunikuona, jota käytetään nykyään esimerkiksi raaka-aineena sementtiin ja muihin erityyppisiin sideaineisiin, teidenrakennustuotteena, asfaltin runkoaineena, sideaineena maaperän stabilointiin, maatalouden kalkitusaineena ja suodatinmateriaalina vedenpuhdistukseen (10). Raahen tehtaalla Merox hallinnoi briketointilaitosta, jonka toimintaa esitellään seuraavassa luvussa.

3 RAUDANTUOTANTO RAAHEN TEHTAALLA

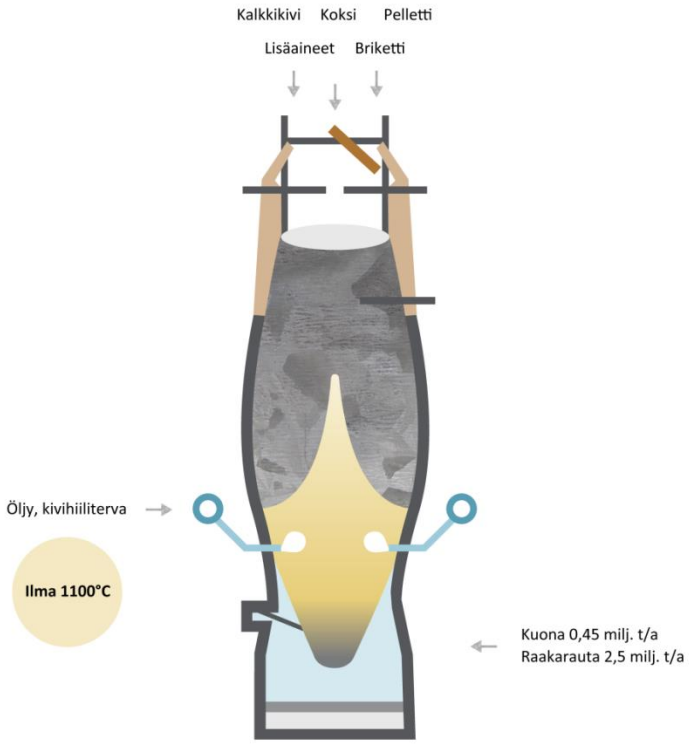
Raudan tuottaminen on monivaiheinen ja monimutkainen prosessi. Tässä luvussa esitellään SSAB:n Raahen tehtaalla käytössä oleva raudantuotantoprosessi (Kuva 2) ja esitellään tämän opinnäytetyön kannalta oleellisimmat prosessin osat SSAB:n Raahen tehtaalta.



KUVA 2. Raudantuotantoprosessi (3)

3.1 Masuunit

Masuunit ovat korkeita kuilu-uuneja (Kuva 3), joihin panostetaan raaka-aineita niiden yläosasta ja niiden alaosasta puhalletaan kuumaa puhallusilmaa. Panostettavia raaka-aineita ovat rautapelletti, koksi ja erilaiset apuaineet, kuten kalkki, briketti ja muut lisäaineet. Masuunin kustannustehokkuuden parantamiseksi osa koksista korvataan hiilipölyllä. Puhallusilmana käytetään hapella rikastettua 1100-asteista ilmaa. Lopputuotteina masuunista saadaan sulan raudan lisäksi rautakuonaa ja masuunikaasua, jota voidaan käyttää hyödyksi tehtaan muissa prosesseissa polttoaineena. (3.)



KUVA 3. Masuunin rakenne (3)

Masuuneihin panostettavat materiaalit tuodaan siilolaitokselle kuljettimia pitkin raaka-ainekentiltä. Siilolaitoksella materiaalit säilötään siiloihin, joista ne punnitaan ja annostellaan vaakasuppiloihin. Vaakasuppiloista materiaalit pudotetaan panostuskippoihin, jotka kuljettavat ne kohti masuunin huippua. Masuunin huipulla sijaitsee kelloton panostuslaitteisto (Bell-les top), jolla materiaalit panostetaan masuuniin panostusohjelman mukaisesti. (11.)

Panostuksen jälkeen raaka-aineet valuvat kohti masuunin pohjaa, jossa koksin ja hiilipölyn palaessa syntyy pelkistyskaasuja CO ja H2, joiden kanssa rauta alkaa reagoida ja pelkistyy. Alaspäin mentäessä lämpötila kohoaa ja noin 1450 °C:ssa rauta sulaa ja valuu masuunin pohjalle, josta se lasketaan pelkistyneenä ulos 6 - 12 kertaa vuorokaudessa (12). Panostusmateriaaleissa olevat epäpuhtaudet kerääntyvät sulan raudan pinnalle. Sitä kutsutaan kuonaksi. Syntynyt kuona erotetaan raudasta sifonilla ja johdetaan

granulointilaitokselle kuonaränniä pitkin. Granulointilaitoksella se jäähdytetään ja siitä muodostuu masuunihiekkaa eli granulia (11).

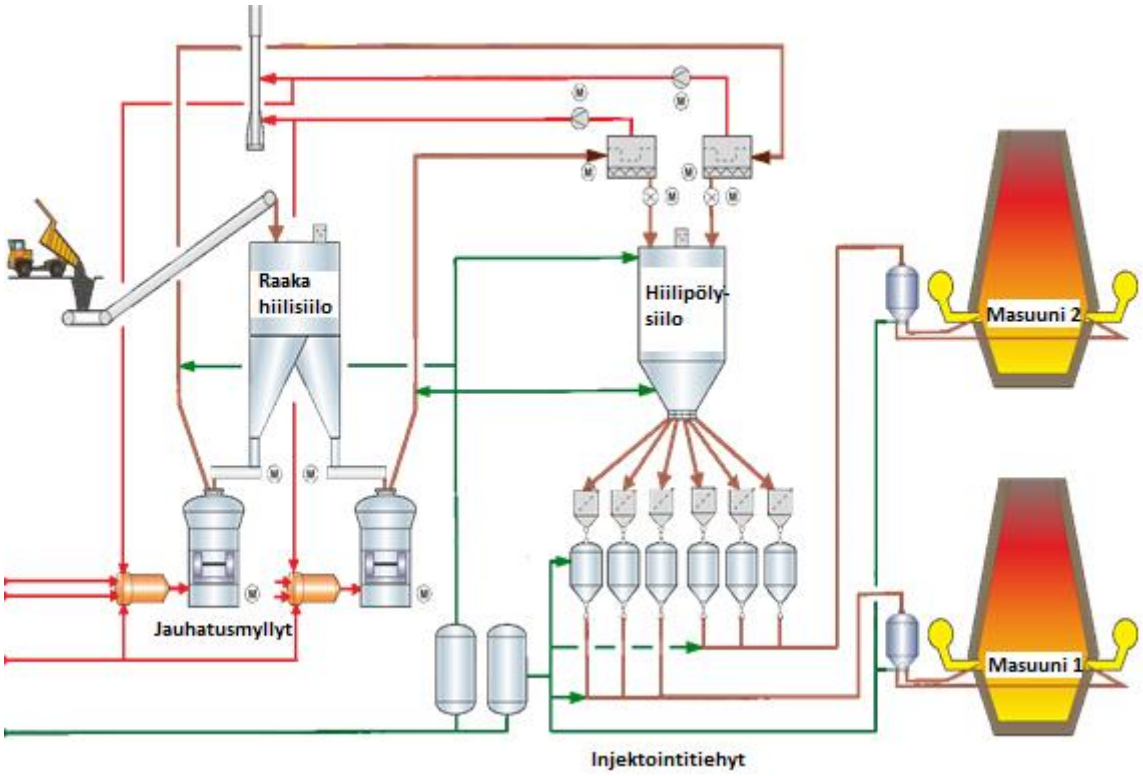
Masuuniprosessista saatava masuunikaasu hyödynnetään polttoaineena esimerkiksi prosessien lämmityksessä ja voimalaitoksella kattiloissa. Ennen sen hyödyntämistä siitä on kuitenkin puhdistettava epäpuhtauksia. Epäpuhtauksien poisto kaasusta alkaa pölysäkillä, jossa siitä erotetaan karkea pöly. Loput epäpuhtaudet poistetaan kaasunpuhdistamolla. Kaasunpuhdistamolla on suuri määrä kaasuputkistoja, joissa kaasu kiertää monivaiheisen vesipesun lävitse. Puhdistuksen aikana kaasun lämpötila jäähtyy noin 200 °C:sta 40 °C:seen ja paine laskee noin 150 kPa:ista noin 8 Pa:iin. Puhdistettu ja jäähdytetty kaasu johdetaan eteenpäin runkoputkia pitkin. (11.)

Raahen kaksi masuunia ovat olleet Euroopan energiatehokkaimpien joukossa jo vuosien ajan ja SSAB:n terästuotannossa syntyy keskimääräistä eurooppalaista terästeollisuutta vähemmän hiilidioksidipäästöjä (3).

Masuunien sisällä olevan korkean lämpötilan vuoksi niitä tulee jäähdyttää. Masuunin jäähdytys on toteutettu kuparista ja valuraudasta valmistetuilla jäähdytyslaatoilla, joiden sisällä kierrätetään jäähdytysvettä. Veden kiertäminen jäähdytysputkistoissa on varmistettu sähkökäyttöisten pumppujen lisäksi dieselpumpuilla. Veden kierrättämiseen käytetään vesiputkistoja. Jäähdytyksen loppuminen aiheuttaa vaaratilanteen, mikä johtaa masuunin vaurioitumiseen. Ensimmäisten osien joukossa vaurioituvat hormilaitteet ja rastin ja rautareiän alueiden jäähdytyslaatat (11).

3.2 PCI -laitos

PCI (Pulverized Coal Injection) eli hiili-injektiolaitos on masuuniprosessin tukilaitos, jossa kivihiilestä jauhetaan raudan pelkistykseen ja polttoaineena käytettävää hiilipölyä. Hiilipölyn käytöllä pyritään alentamaan raudantuotannon kustannuksia vähentämällä masuuniin syötettävän koksin määrää. PCI -prosessissa (Kuva 4) raaka kivihiili jauhetaan myllyssä hienoksi jauheeksi, josta se johdetaan kantokaasua käyttäen hiilipölysäiliöön ja siitä edelleen masuuniin (13).

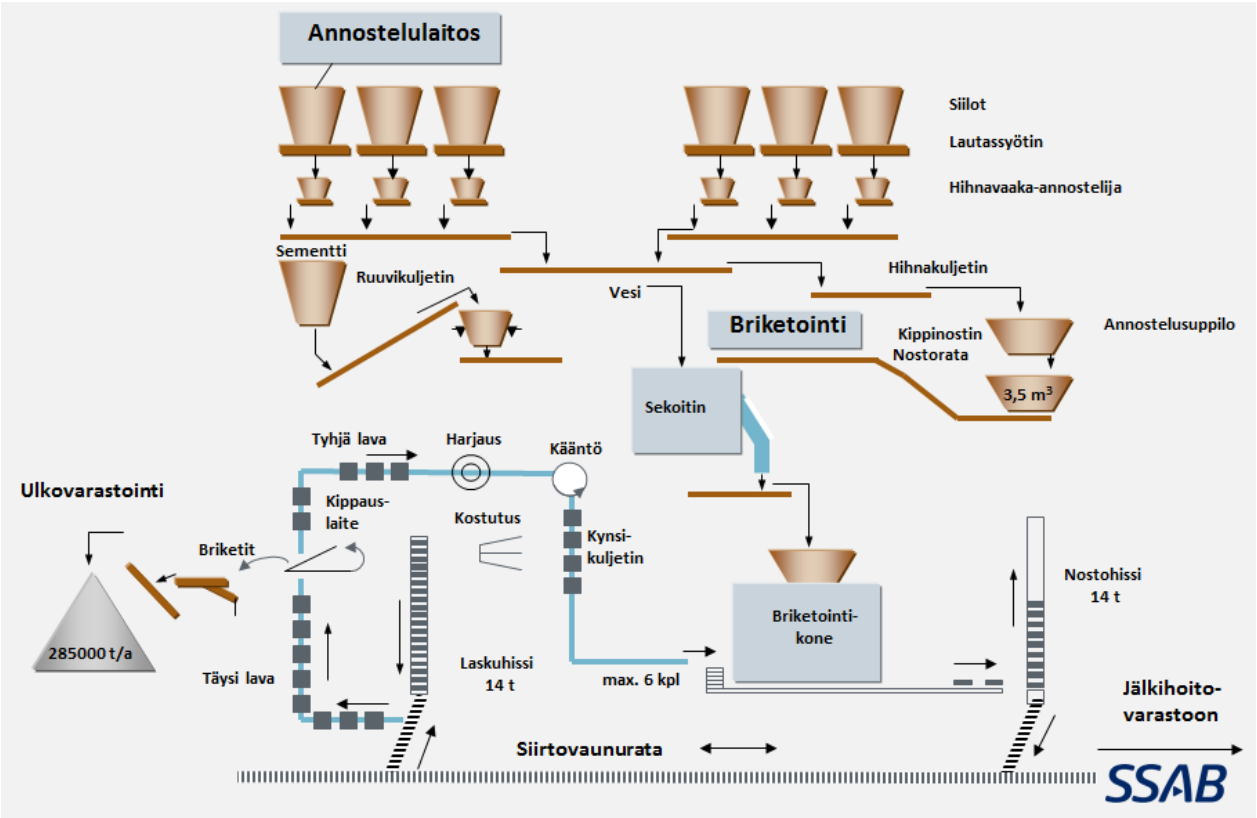


KUVA 4. PCI-laitoksen prosessikaavio (14)

3.3 Briketointilaitos

Briketointilaitos on SSAB:n tytäryhtiön Meroxin omistama sivutuotelaitos. Briketointilaitoksen päätehtävä on Raahen tehtaan raudantuotannossa syntyvän ylijäämämateriaalin käsittely, jossa se puristetaan briketeiksi ja kierrätetään takaisin masuuniin raaka-aineeksi (3).

Briketointilaitoksen prosessissa (Kuva 5) rauta-, kalkki- ja hiilipitoiset materiaalit hyödynnetään sitomalla ne sidosaineella (sementti) kappalemaisiksi briketeiksi, joita käytetään edelleen raaka-aineena raudantuotantoon masuuneissa.

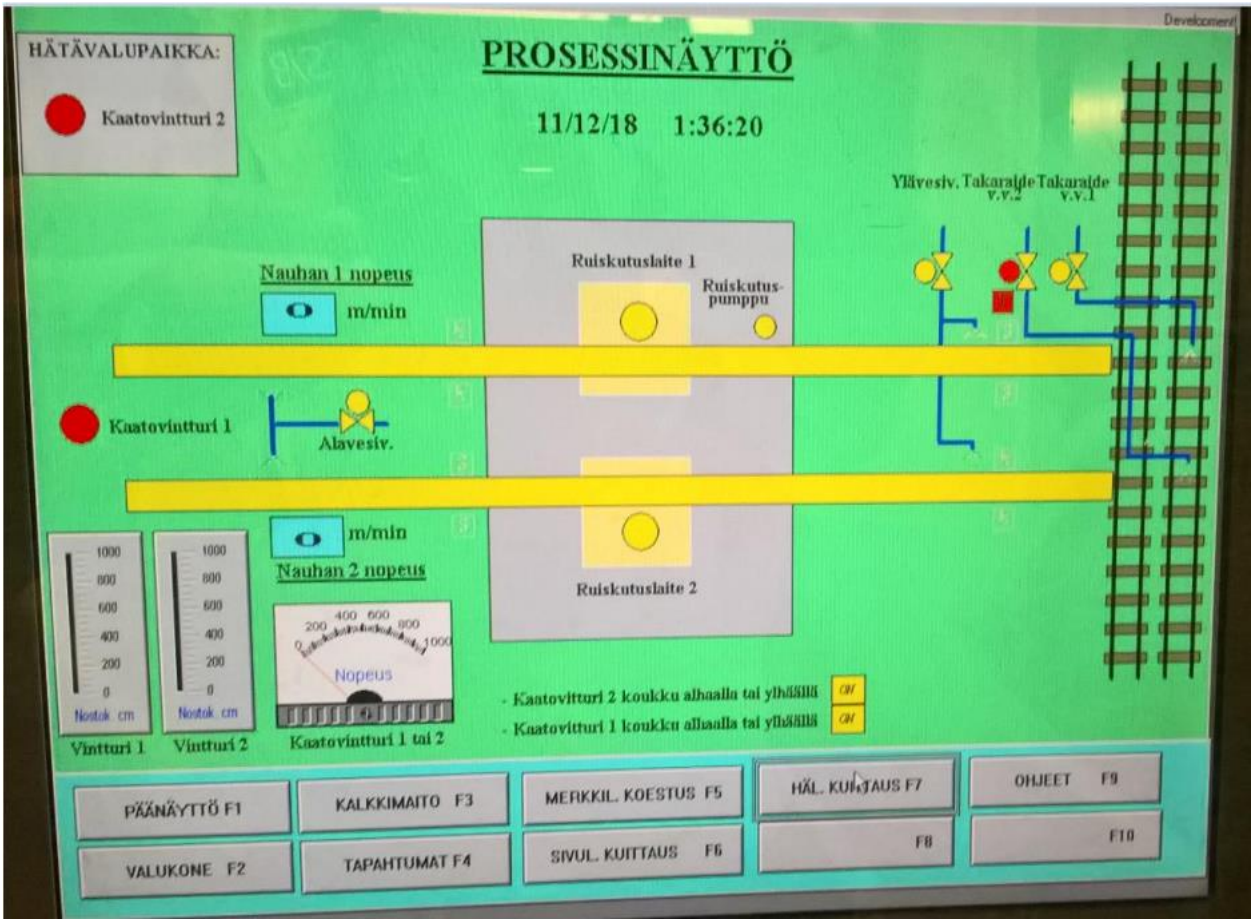


KUVA 5. Briketointilaitoksen prosessikaavio (3)

3.4 Harkkovalimo

Harkkovalimo on itsenäinen satunnaisesti käyvä laitos, jossa sulasta raakaraudasta, mitä terässulatto ei pysty vastaanottamaan, valetaan rautaharkkoja (15). Rautaharkot voidaan myöhemmin käyttää hyödyksi teräksen tuotantoon sulattamalla ne terässulatolla. Valamalla ylimääräisestä raakaraudasta harkkoja voidaan välttää ylimääräisiä pysäkkejä.

Harkkovalimon prosessissa (Kuva 6) veturi tuo raakarautasenkan, josta rauta kaadetaan kaatovintturilla valukoneeseen. Kaadon jälkeen rauta valuu ränniä pitkin kohti valumuotteja, joihin ruiskutetaan kalkkimaitoa estämään raudan tarttumista muotteihin. Valumuotteja jäähdytetään vedellä, minkä seurauksena rauta jähmettyy. Valmiit rautaharkot pudotetaan laariin. (15.)



KUVA 6. Harkkovalimon prosessinäyttö (15)

4 LÄMPÖOPIN PERUSTEITA

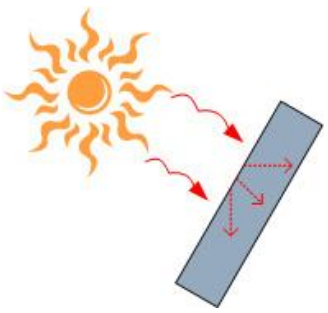
Tässä luvussa käsitellään lämpöopin perusteita pohjatietona seuraaville luvuille. Luvussa esitellään lämmön siirtymistavat ja aineiden eri ominaisuuksia tämän opinnäytetyön kannalta sopivalla laajuudella. Luonnonlakien mukaisesti lämpöenergia kulkee alemman lämpötilan suuntaan (16). Tämän vuoksi lämpötilan painuessa alle siirrettävän tai varastoitavan aineen jäätymislämpötilan alkaa aine luovuttaa lämpöenergiaa ympäristöönsä ja jäähtyy.

4.1 Lämmönsiirtyminen

Lämpöenergia pyrkii siirtymään vapaana energiana aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan lämpötilaan ja mitä suurempi lämpötilaero on, sitä enemmän lämpöenergiaa siirtyy. Lämmön siirtymiseen vaikuttaa muun muassa lämmönlähde, materiaalit, virtaukset ja väliaineet. Lämmönsiirtymistapoja ovat säteily, konvektio eli kuljettuminen ja johtuminen. (17.)

4.1.1 Säteily

Lämpöenergiaa siirtyy sähkömagneettisen säteilyn avulla (Kuva 7). Tällöin puhutaan yleisesti lämpösäteilystä tai infrapunasäteilystä. Säteilemällä lämpö välittyy ilman väliainetta valon nopeudella muun sähkömagneettisen säteilyn tavoin. Lämpösäteilyn kohdatessa kappaleen osa siitä absorboituu kappaleeseen ja muuttuu kappaleen lämmöksi. Lämpösäteilyn aallonpituuteen vaikuttaa sitä säteilevän aineen lämpötila. Sähkömagneettisessa spektrissä lämpösäteily sijoittuu näkyvän valon ja mikroaaltojen väliin. (17.)



KUVA 7. Lämmönsiirtyminen säteilemällä (17)

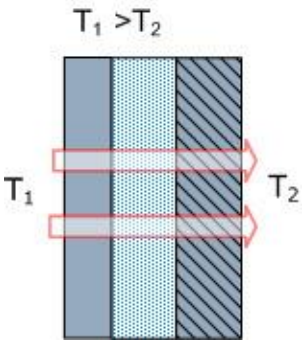
4.1.2 Konvektio

Konvektio eli kuljettuminen on lämmönsiirtymistapa (Kuva 8), jossa lämpöenergia siirtyy liikkuvan väliaineen välityksellä. Kuljettumisessa siirtyy lämpöenergian lisäksi myös väliainetta. Väliaine voi olla esimerkiksi ilma, vesi tai jokin muu neste. Konvektion avulla siirtyvän lämpöenergian määrä riippuu väliaineesta, väliaineen liikkeestä sekä pintojen ja ilman lämpötiloista. (17.)

KUVA 8. Lämmönsiirtyminen kuljettumalla (17)

4.1.3 Johtuminen

Konduktio eli johtuminen on lämmönsiirtymistapa, jossa lämpöenergia siirtyy aineen tai kahden tai useamman kappaleen suoran kosketuksen välityksellä. Lämmön johtuessa itse ainetta ei kuitenkaan siirry. Kuvassa 9 on esitetty yksinkertaistettu periaate lämmönsiirtymisestä johtumalla lämpötilasta T_1 lämpötilaan T_2. Siirtyvän lämmön määrään vaikuttavat lämpötilaeron lisäksi aineiden erilaiset ominaisuudet, pinta-alat ja paksuus. (17.)



KUVA 9. Lämmönsiirtyminen johtumalla (17)

Lämmön johtumista mitataan aineen lämmönjohtavuudella ja lämpöresistanssilla, joista on lisätietoa seuraavissa luvuissa.

4.2 Aineiden ominaisuuksia

Eri aineisiin kuten kupariin, alumiiniin, rautaan, veteen tai öljyyn varastoituu eri määrä lämpöä johtuen aineiden erilaisesta koostumuksesta. Aineilla ja materiaaleilla on myös kullekin ominaiset ominaisuudet sen suhteen, miten lämpöenergia läpäisee niitä ja miten ne johtavat lämpöä. Näistä syistä aineessa tapahtuvien lämpöhäviöiden ja sen välittämän lämpöenergian määrä riippuu kunkin aineen ominaisuuksista ja määrästä.

4.2.1 Ominaislämpökapasiteetti

Ominaislämpökapasiteetti kuvaa aineen lämmönsitomiskykyä eli kykyä vastaanottaa tai luovuttaa lämpöä. Se on jokaiselle aineelle ominainen, joten se riippuu aineen lisäksi myös sen massasta (18). Ominaislämpökapasiteetti siis kertoo, miten paljon energiaa vaaditaan lämmittämään ainetta lämpöyksikön verran tai kuinka paljon energiaa kappale luovuttaa jäähtyessään lämpöyksikön verran. Taulukossa 1 on esitetty eri aineiden ominaislämpökapasiteetteja.

TAULUKKO 1. Aineiden ominaislämpökapasiteetteja (19;20)

Aine	**Ominaislämpökapasiteetti (kJ / kg°C)**
Vesi	4,19
Kupari	0,389
Rauta (teräs)	0,473
Vuorivilla	0,900
Ilma (seos)	1,00
Tiili	0,800
Styroksi	0,150

4.2.2 Lämmönjohtavuus

Aineen lämmönjohtavuus kuvaa yhden neliömetrin kokoisen ja yhden metrin paksuisen materiaalikerroksen lävitse kulkevan lämpötehon pintojen lämpötilaeron ollessa yhden asteen (21). Lämmönjohtavuus on kullekin aineelle tai materiaalille ominainen.

Lämmönjohtavuus on sekä toivottu että epätoivottu ominaisuus. Hyvä lämmön johtavuus on toivottu ominaisuus, kun halutaan siirtää lämpöä tiettyyn kohteeseen, esimerkiksi nesteeseen tai muuhun aineeseen. Tällöin käytetään mahdollisimman hyvin lämpöä johtavia aineita ja materiaaleja. Vastaavasti lämmönjohtavuus on epätoivottu ominaisuus, kun neste tai aine halutaan pitää prosessin kannalta optimaalisessa lämpötilassa siirron tai säilömisen ajan. Tällöin säiliö tai putkisto, jossa ainetta siirretään tai varastoidaan, pyritään eristämään ympäristöstään mahdollisimman huonosti lämpöä johtavilla aineilla eli eristeillä.

Hyviä lämmönjohteita ovat aineet, joilla on suuri lämmönjohtavuus. Hyviksi lämmönjohteiksi voidaan luokitella eri metallit, kuten kupari, hopea, kulta ja alumiini. Hyvin lämpöjohtavia aineita käytetään yleisesti sovelluksissa, joissa lämpöä halutaan siirtää mahdollisimman tehokkaasti paikasta toiseen, esimerkiksi erilaisissa lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä.

Hyviä lämmöneristeitä ovat puolestaan aineet, joilla on pieni lämmönjohtavuus. Tällaisia aineita ja materiaaleja kutsutaan yleisesti eristeiksi. Hyviä eristeitä ovat esimerkiksi ilma, tiili, lasi ja huokoiset materiaalit, kuten styroksi ja erilaiset villat. Erilaisten säiliöiden ja putkistojen eristämiseen käytetään yleisesti erilaisia villoja. Taulukossa 2 on esitetty eri aineiden lämmönjohtavuuksia.

TAULUKKO 2. Aineiden lämmönjohtavuuksia (19;20)

Aine	**Lämmönjohtavuus (W/mK)**
Kupari	400
Rauta (Teräs)	80,4
Vuorivilla	0,036..0,045
Ilma (seos)	0,026
Tiili	0,600..0,800
Styroksi	>0,041

4.2.3 Lämpöresistanssi

Lämpöresistanssi kuvaa, paljonko lämpötilaeroa syntyy, kun aineen toisella puolen vaikuttaa tietty lämpöteho (16). Aineen lämpöresistanssin ollessa 0 lämpötila ei muutu aineen paksuuden läpi. Tällöin lämpötila aineen molemmin puolin on sama. Aineen lämmönvastus eli lämpöresistanssi saadaan määritettyä, kun tiedetään ainekerroksen paksuus ja lämmönjohtavuus. Lämpöresistanssi saadaan jakamalla aineen paksuus aineen lämmönjohtavuudella.

4.3 Lämpöhäviöt

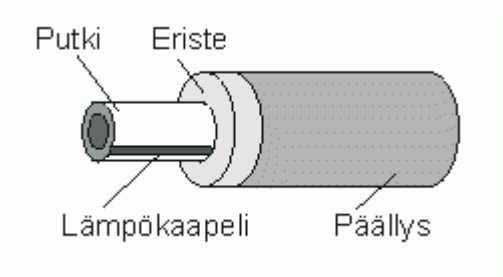
Lämpöhäviöitä tapahtuu edellä mainituilla kolmella lämmönsiirtymistavalla tai näiden yhdistelmällä. Häviöiden kokonaismäärään vaikuttaa säiliön tai muun lämmitettävän kohteen muoto, koko, perustusten tyyppi, eristeiden paksuus, vaadittu lämpötila ja ympäristön lämpötila (21). Lämmön johtumista ja säteilyä tapahtuu pääasiassa putkiston tai säiliön seinämien ja niitä tukevien rakenteiden ja perustusten kautta. Kuljettumalla tapahtuu lämpöhäviöitä esimerkiksi tuulen vaikutuksesta, kun putkisto tai säiliö altistuu ilmavirralle, joka siirtää ja vaihtaa ympäristön ilmaa. Tällöin lämpöenergiaa kuljettuu pois liikkuvan ilmamassan mukana.

Edellä mainittuja lämmön johtumisesta aiheutuvia häviöitä on vaikea estää. Putkistot ja säiliöt on rakennettava riittävän kestäviksi rakenteiltaan, jotta ne kestävät oman ja siirrettävän tai säilöttävän aineen massan. Putkisto tai säiliö on myös yleensä kiinnitettävä molemmista päistään, jolloin lämpöä johtuu myös sitä edeltäneisiin ja seuraaviin rakenteisiin.

Putkistossa tai säiliöissä tapahtuvaa lämmön häviämistä säteilemällä ja kuljettumalla voidaan puolestaan estää eristämällä.

4.4 Eristys

Eristämisellä tarkoitetaan huonosti lämpöä johtavan materiaalin lisäämistä putkiston (Kuva 10) tai säiliön pintaan. Eristävät materiaalit tunnistaa niiden pienestä lämmönjohtavuudesta. Hyvin toteutetulla eristyksellä voidaan parantaa tuotantolaitoksen tehokkuutta, taloudellisuutta ja tuoda säästöjä energiankulutukseen. Eristyksellä voidaan vähentää kohteesta ympäristöön siirtyviä lämpöhäviöitä, minkä seurauksena sen lämpötilan ylläpitämiseen tarvitaan vähemmän energiaa. (22.)



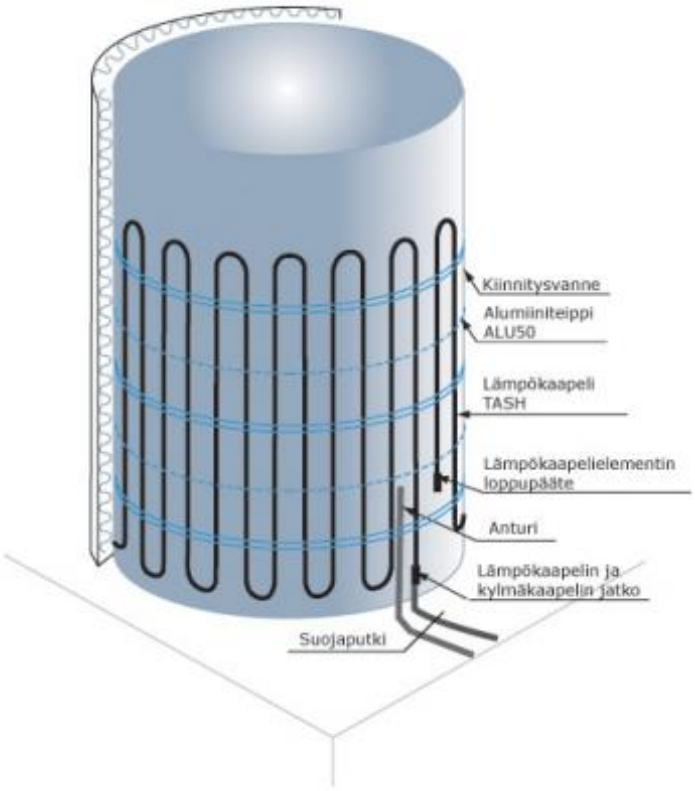
KUVA 10. Sähkösaattolämmitetyn eristetyn putken rakenne (23)

Eristyksellä voidaan myös ehkäistä ja hidastaa kohteiden lämpötilamuutoksista johtuvia jännityksiä, kulumista ja korroosiota eli ruostumista. Tämä parantaa putkistojen ja säiliöiden käyttöikää. Eristyksellä on myös turvallisuutta lisäävä vaikutus. Eristämällä huomattavan kuumat ja kylmät kohteet voidaan vähentää tulipalojen, tapaturmien ja paleltumien ja palovammojen riskiä. (22.)

Hyvin toteutetulla eristyksellä voidaan siis saada monia etuja, kuten putkistojen ja säiliöiden käyttöikä pitenee, parannetaan prosessin toiminnan edellytyksiä ja pienennetään energiankulutusta. Näillä kaikilla on suuri vaikutus kokonaiskustannuksiin koko kohteen elinkaaren aikana.

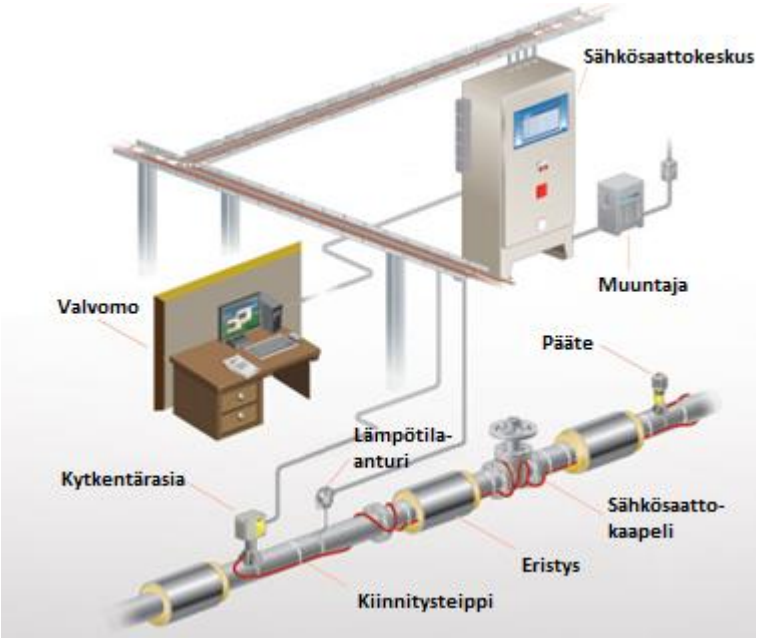
5 SÄHKÖSAATTOJÄRJESTELMÄ

Sähkösaattojärjestelmiä käytetään ylläpitämään tiettyä lämpötilaa tai lämpötila-aluetta valitussa kohteessa. Tällaisia voivat olla esimerkiksi erilaiset säiliöt (Kuva 11), vesi- tai öljyputkistot. Saattojärjestelmällä pyritään ehkäisemään esimerkiksi seisovan nesteen jäätyminen, virtaavan nesteen jämähtäminen putkistoon tai nesteen ominaisuuksien muuttumisen korvaamalla ympäristöön häviöiden muodossa siirtyvä energia. Sähkösaattojärjestelmällä myös varmistetaan prosessien turvallinen ja sujuva eteneminen sekä mahdollistetaan prosessin turvallinen käynnistäminen ja pysäyttäminen.



KUVA 11. Esimerkki säiliön saattolämmityksestä (21)

Sähkösaattojärjestelmä (Kuva 12) pitää sisällään yleisesti sähkösaattokeskuksen, erilaisia sähkösaattokaapeleita ja niitä ohjaavan järjestelmän. Näiden lisäksi järjestelmään voi kuulua hallintaan käytettävä valvomotietokone, lämpötila-antureita ja erilaisia lisätarvikkeita, kuten kiinnitysteippejä, varoituskylttejä ja pääteosia (24).



KUVA 12. Sähkösaattojärjestelmän rakenne (24)

Hyvin toimivan sähkösaattojärjestelmän avulla voidaan saavuttaa useita etuja. Nykyaikaisen sähkösaattojärjestelmän avulla voidaan hallita helposti laajoja kokonaisuuksia ja suuria määriä lämmityspiirejä. Sähkösaattojärjestelmän kokonaiskustannuksista säätö- ja ohjausjärjestelmän osuus on keskimäärin noin 15 %:a, joten se on pieni osa koko järjestelmän kustannuksista, vaikka sen avulla on mahdollista saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä (25). Kustannussäästöjä voidaan saavuttaa myös parantuneen prosessin ja käytön hyötysuhteen avulla.

Toimiva ja kustannustehokas sähkösaattojärjestelmä tarvitsee rinnalleen toimivan eristyksen, jotta siitä saadaan paras mahdollinen hyöty. Sähkösaattojärjestelmällä ei ole juurikaan merkitystä, jos eristys ei ole kunnossa.

5.1 Ohjausjärjestelmät

Ohjausjärjestelmät voivat pitää sisällään useita erilaisia laitteita, kuten termostaatteja, säätimiä ja ohjauskeskuksia. Ohjausjärjestelmän tehtävänä on valvoa, ohjata ja säätää saattojärjestelmää ennalta määriteltyjen vaatimusten ja asetusten mukaisesti. Lämpötilojen säätö onnistuu automaattisesti kylmien ja lämpimien vuodenaikojen mukaan, jolloin lämpiminä aikoina energiankulutus voidaan säätää mahdollisimman pieneksi (25). Ohjausjärjestelmän yhteydessä on myös usein laajat tiedonkeruun mahdollisuudet, jol-

loin saattokaapeleiden käyttöastetta ja sähkönkulutusta voidaan seurata. Historiatietojen kerääminen mahdollistaa saattojärjestelmän ja kustannusten optimoimisen.

Käytettäessä säädettäviä kaapeleita voidaan lämmityksen tehon säätämiseen käyttää yksinkertaisimmillaan lämpötilanmittauksella varustettua termostaattia. Järjestelmien koon kasvaessa säätöjärjestelmänä voidaan käyttää esimerkiksi monimutkaista automaatiojärjestelmää, joka ottaa huomioon lämpötilan lisäksi myös muita suureita, kuten säiliön tai putkiston paineen ja virtauksen. Tällöin säätö voidaan toteuttaa käyttämällä puolijohteista valmistettuja säätimiä, joilla tehonsäätö voidaan toteuttaa portaattomasti.

Säädettävien kaapeleiden lisäksi käytetään paljon myös itsestään säätyviä kaapeleita, joita ei varsinaisesti voida itse säätää. Niiden lämmitysteho määräytyy muun muassa ympäristön lämpötilan mukaan. Kaapelityypit on esitetty tarkemmin seuraavassa luvussa.

5.2 SkyTrace -ohjausjärjestelmä

SkyTrace on suomalaisen Planray Oy:n kehittämä maailman ensimmäinen teollisen internetin ratkaisu sähkösaattojen hallintaan (26). Planray listaa SkyTracen käytöstä seuraavia hyötyjä (26):

- **Käytön helppous keskittämällä käyttö yhteen pisteeseen** - Operaattorin aika- ja kustannussäästöt
- **Kunnonvalvonnan automatisointi** - Säästää manuaaliseen tarkastukseen vaadittavassa miestyövoimassa
- **Integraatio prosessikaavioon ja aluekarttaan** - Helpottaa vianhakua ja tuo ajansäästöjä
- **Hälytyspriorisointi** - Helpottaa erityisesti kriittisten saattojen valvontaa, kun tärkeimmät hälytykset erottuvat selkeästi
- **Ennakoiva kunnossapito** - Tunnista alkavat viat hyvissä ajoin, ennen kuin niistä tulee hälytystä
- **Energiankulutuksen raportointi** - Löydä saatot, joissa voi säästää energiaa
- **Huoltoraportit** - Tunnista ongelmalliset saatot, jolloin hälytysmäärät vähenevät
- **Asetusvirheiden huomautukset** - Ohjelma raportoi selkeästi asetusvirheistä ja tuo energiansäästöä.

SkyTrace -ohjelmisto koostuu kuvassa 13 esitetystä kahdesta eri osasta: SkyTrace Site ja SkyTrace Analytics.

KUVA 13. SkyTrace -ohjausjärjestelmän osat (26)

Site on operaattoreiden ja huollon käyttöön tarkoitettu ohjaus- ja valvontaohjelmisto. Siteä varten tehtaan verkkoon asennetaan palvelin, josta käyttäjät pystyvät verkkoselaimen välityksellä tutkimaan lämmitysjärjestelmän tilaa ja muuttamaan asetusarvoja. (26.)

Analytics on puolestaan ennakoivan kunnossapidon käyttöön kehitetty ohjelmisto, josta on saatavilla energiatehokkuuteen liittyviä raportteja. Analytics kerää lämmitysjärjestelmän mittauksista historiatietoja ja antaa tuloksia online-raportteina. Raportit voivat pitää sisällään esimerkiksi suosituksia energiatehokkuuden parantamiseen liittyvistä kohteista ja ennakkovaroituksia viallisista lämmityspiireistä. (26.)

Järjestelmä osaa kertoa reaaliaikaista tietoa eri lämmityspiirien kunnosta mittaamalla esimerkiksi kuorma- ja vuotovirtoja. Näiden mittausten avulla saadaan tietoa lämmityspiirien kunnosta ja tämän seurauksena voidaan ennakoida mahdollisia vikaantumiskohteita. Tällöin ennakoiva kunnossapito pystyy vähentämään vioista johtuvien häiriöiden määrää. (25.)

5.3 Saattolämmityskaapelit

Tässä luvussa käsitellään yleisesti teollisuudessa käytössä olevia saattolämmityskaapeleita.

Sähkösaattojärjestelmässä käytettävät lämmityskaapelit voidaan karkeasti jakaa rinnan- ja sarjaresistanssikaapeleihin tai itsesäätyviin ja säädettäviin kaapeleihin. Molemmilla kaapelityypeillä on omat käyttökohteensa ja omat etunsa ja haittansa. Yleisesti teollisuudessa käytetään molempia kaapelityyppejä. Kaapelista riippuen se voidaan asentaa lämmitettävän kohteen ulko- tai sisäpinnalle.

Molemmista käytössä olevista kaapelityypeistä on tarjolla yksittäisten kaapelien lisäksi myös valmiita asennusmattoja, jotka on mitoitettu tietyn suuruiselle alueelle tai tiettyyn kohteeseen.

5.3.1 Itsesäätyvät kaapelit

Itsesäätyviksi tai itse rajoittuviksi kaapeleiksi kutsutaan yleisesti lämmityskaapeleita, joiden teho muuttuu niiden lämpötilan mukaan. Itsesäätyvä kaapeli pyrkii pitämään lämpötilan vakiona ympäristön olosuhteista ja lämpötilasta riippumatta.

Itsesäätyvät kaapelit ovat rakenteeltaan rinnanvastuskaapeleita. Rinnanvastuskaapeleissa nimensä mukaisesti resistanssit ovat itseensä nähden rinnankytkettynä ja jakautuvat tasaisesti kaapelin pituudelta. Kaapeleiden teho ilmoitetaan tehona pituusyksikköä kohden, yleensä watteja metriä kohden. Tällöin nyrkkisääntönä voidaan todeta, että mitä pidempi kaapeli on, sen suurempi sen teho on.

Itsesäätyvä kaapeli (Kuva 14) koostuu kahdesta tai useammasta kuparisesta virtajohtimesta, jotka on päällystetty puolijohtavalla materiaalilla. Johtimien välissä on puolijohtavaa vastusmateriaalia, minkä resistanssi muuttuu lämpötilan muuttuessa, resistanssi yleensä pienenee lämpötilan laskiessa ja kasvaa lämpötilan noustessa. Tällöin myös kaapelissa kulkeva virta ja kaapelin teho muuttuu lämpötilan mukaisesti. Pitkä itse rajoittuva kaapeli voi kulkea erilaisissa olosuhteissa ja ympäristöissä, joten sen teho ei ole kauttaaltaan yhtä suuri, vaan sen teho voi muuttua kaapelin eri kohdissa. Tämä on suuri etu ympäristössä, jossa kaapeli kulkee erilaisissa ympäristöissä, se risteilee itsensä kanssa tai sitä ympäröivät rakenteet on palavaa materiaalia. (27.)

KUVA 14. Itsesäätyvän lämmityskaapelin rakenne (28)

Itsesäätyviä kaapeleita käytettäessä lämmitysjärjestelmä voi olla hyvinkin yksinkertainen. Yksinkertaisimmillaan itsesäätyvä kaapeli voi olla pistotulpalla pistorasiaan kytkettävä. Tällöin sen kokonaiskustannukset voivat olla edullisemmat kuin säädettävän. Itse kaapeli on kuitenkin materiaaliensa vuoksi hieman kalliimpaa kuin säätimellä käytettävien lämmityskaapeleiden. (27.)

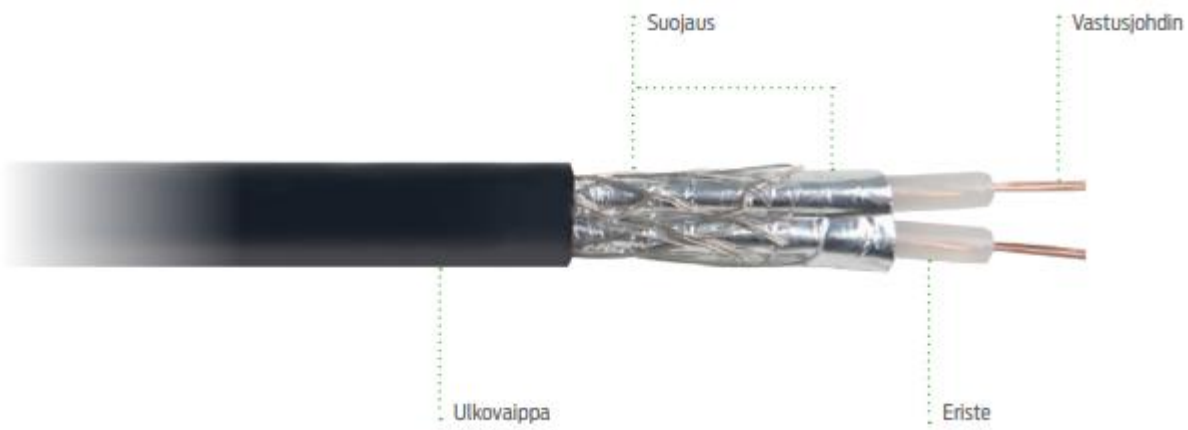
Tyypillisiä käyttökohteita itsesäätyville kaapeleille ovat pienet lämmityspinta-alat, kuten nosto-ovien kynnykset ja erilaisten putkistojen sulana pidot.

5.3.2 Säädettävät kaapelit

Säädettävinä kaapeleina käytetään vakiovastuskaapeleita. Vakiovastuskaapelit ovat yleensä tyypiltään sarjavastuskaapeleita.

Sarjavastuskaapeleissa nimensä mukaisesti resistanssi jakautuu sarjassa tasaisesti kaapelin pituudelta. Resistanssi voidaan ilmoittaa esimerkiksi ohmina metriä kohden, jolloin kaapelin pituus määrittää sen kokonaisresistanssin ja täten myös kokonaistehon. Nyrkkisääntönä voidaan todeta, että mitä lyhyempi kaapeli on, sitä suurempi sen teho on.

Sarjavastuskaapeleita on rakenteeltaan yksi- tai kaksijohtimisia. Näistä yksijohtiminen (Kuva 15) on yksinkertaisempi asentaa, kaapelin molemmat päät tulee kytkeä, jolloin siitä muodostuu kokonainen silmukka. Kaksijohtimisissa kaapeleissa vastusjohtimia on kaksi tai yksi, jolloin lisänä on paluujohdin. Kaksijohdinkaapelista kytketään ainoastaan toinen pää ja toiseen päähän tehdään pääte. Lämmitysjohdinta itsessään ei tuoda kytkentärasialle saakka, vaan kaapeliin yhdistetään kytkentäjohto, joka jää osaksi lämmitettävän rakenteen sisälle. (27.)



KUVA 15. Kaksijohtimisen vakiovastuslämmityskaapelin rakenne (28)

Vakiovastuskaapeli on edullisemman hankintahintansa vuoksi yleisimmin käytössä oleva kaapelityyppi.

6 SÄHKÖSAATTOJEN OPTIMOINTI

Työn tarkoituksena on tehdä listaus sähkösaattokaapeleista tähän työhön rajatulta alueelta ja etsiä mahdollisia optimoinnin tarpeessa olevia sähkösaattoja tai niiden käyttötapoja. Sähkösaattojen optimoinnin tavoitteena on kustannussäästöjen lisäksi pienemmän energiankulutuksen myötä myös pienentää raudantuotannon hiilijalanjälkeä yhtiön strategian mukaisesti. Tässä luvussa esitetyissä muutoksissa ei ole otettu huomioon aiempia häiriötilanteita, jotka ovat voineet vaikuttaa nykyiseen sähkösaattojen käyttöön. Tämän vuoksi toimenpiteet on arvioitava piirikohtaisesti.

6.1 Työn suoritus

Työn tekemisen aloitettiin rajaamalla työalue. Alueeksi muodostui masuuni 1, masuuni 2, PCI-laitos, briketointilaitos ja harkkovalimo. Optimointityö keskittyy pääasiassa masuunien alueeseen, mikä kattaa noin 78 % työn alueesta. Työ rajattiin sähkösaattokeskuksiin, koska ainoastaan ne ovat sähkösaattojärjestelmän piirissä. Näiden lisäksi kullakin alueella on myös yksittäisiä työpaikka-, prosessi- tai rakennussähköistyskeskuksista otettuja sähkösaattolähtöjä. Ne kuitenkin jätettiin tämän työn ulkopuolelle, koska niiden käyttöä ja kulutusta ei tilastoida.

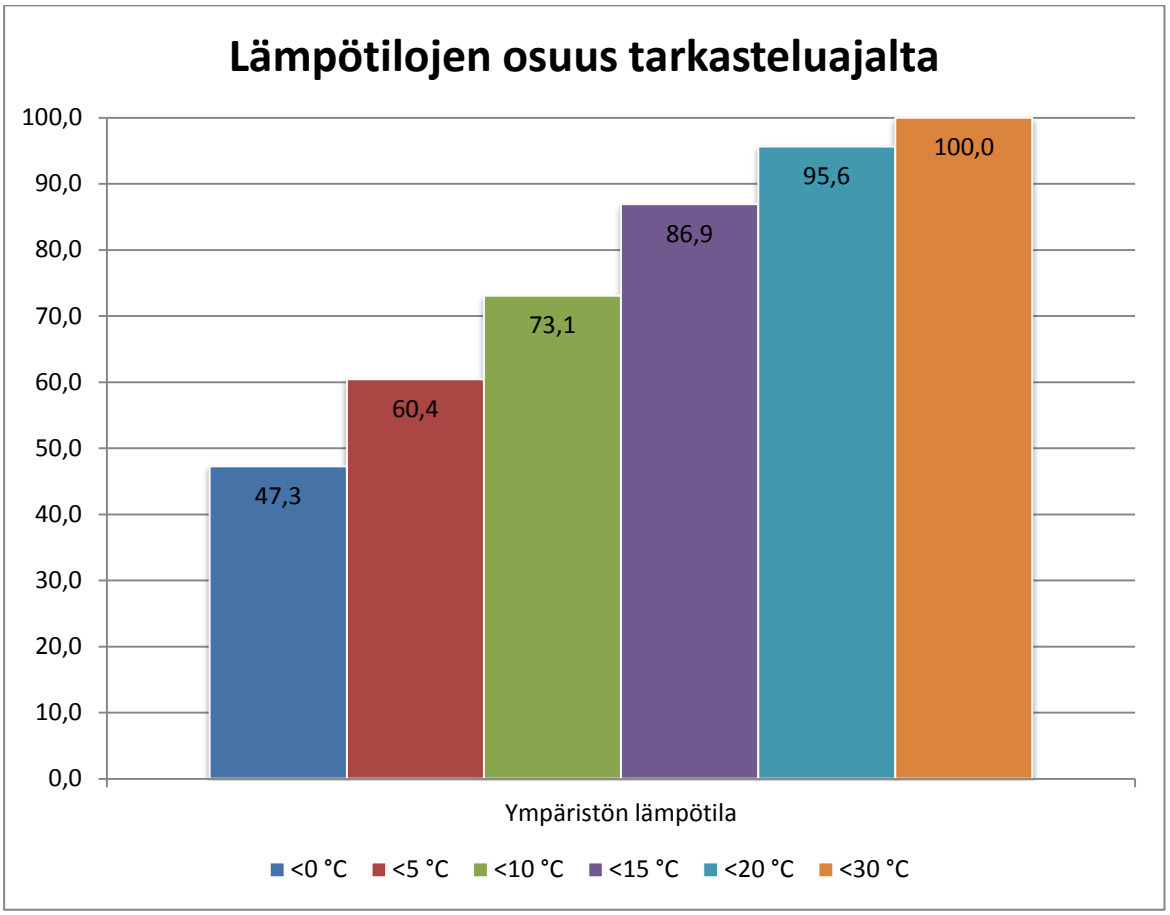
Työalueen rajaamisen jälkeen perehdyttiin raudantuotantoprosessiin ja erityisesti työhön liittyvien alueiden prosesseihin. Tämä auttoi ymmärtämään raudantuotantoprosessin lisäksi myös alueiden laitteistojen toimintaa. Tästä on suuri hyöty listauksen tulosten analysoinnissa, koska tällöin on jonkinlainen käsitys, mitä saattolämmitettävä kohde tekee tai mikä on sen rooli prosessissa.

Prosessiin perehtymisen jälkeen kartoitettiin ja tutustuttiin saatavilla oleviin materiaaleihin. Työtä tehdessä perehdyttiin muun muassa julkisesti SSAB:n nettisivuilla esillä oleviin ja eWorx -intranetin kautta saatavilla oleviin esittelymateriaaleihin, prosessikuvauksiin, turvallisuusohjeistuksiin, sähkösaattojärjestelmiin ja erilaisiin sähkösaattokaapeleihin ja niiden ominaisuuksiin.

Sähkösaattojen listaaminen aloitettiin etsimällä aineistoa ALMA:n kautta. ALMA:ssa onkin hyvin saatavilla valmiita listauksia keskuskohtaisesti. Näistä listauksista kerättiin tar-

vittavat tiedot yhteen Excel-taulukkoon. Taulukolle kertyi pituutta noin 1300 riviä sisältäen sähkösaattojen ja keskuksien listauksen ja erilaisia työn suoritukseen tarvittavia laskelmia.

Listauksen jälkeen perehdyttiin tehdasalueen lämpötiloihin. Tehtaalla on paikallinen lämpötilanmittaus, jonka mittaustieto tulee automaatiojärjestelmään. Automaatiojärjestelmän historiankeruusta noudettiin lämpötilat tunneittain maaliskuulta 2017 maaliskuulle 2019 asti. Historiaa käytettiin hyödyksi ainoastaan täysiltä vuosilta, jotta ajanjaksolle asettuu jokainen kuukausi yhtä monta kertaa. Käyttämällä paikallista lämpötilamittausta saadaan tarkemmat laskelmat kuin käytettäessä julkisesti saatavilla olevia lähteitä Raahen lämpötiloista. Näitä lämpötilatietoja käytettiin hyväksi laskettaessa eri käyttöolosuhteita ja määritettäessä sopivia setpointteja. Lämpötilatilastoja kertyi yhteensä noin 17600 riviä. Lämpötilatilastoista tehtiin kaavio (Kuva 16), jossa esitetään kuinka suuren osan ajasta lämpötila on alle tietyn arvon.



KUVA 16. Lämpötilatilasto tarkasteluajalta

Seuraavassa vaiheessa selvitettiin, missä prosessin osissa on käytettävissä veden virtauksen mittaus. Tämän tiedon avulla voitiin määrittää vesiputkistot, joissa on virtausta tietyllä hetkellä. Veden virtauksen vuoksi sähkösaattojen tehoja voidaan pudottaa tai kytkeä kokonaan pois päältä.

Valmet DNA automaatiojärjestelmästä saatiin Excelin DNA Export -lisäosan avulla tuotua eri positioiden listaus instrumentoinnin kirjaintunnuksien perusteella. Hakukriteereinä käytettiin instrumentoinnissa käytettäviä tunnuksia ”F” ja ”I”. Tällä yhdistelmällä saatiin taulukoitua kaikki positiot, joissa on virtausmittaus. Tuodun Excel-taulukon kooksi tuli noin 500 riviä, josta lähdin kartoittamaan kohteita, joissa esiintyy sanat ”vesi” tai ”veden”. Näitä kohteita kertyi yhteensä 227 riviä.

Listattujen sähkösaattojen ja veden virtausmittauksien avulla voidaan nämä tiedot yhdistämällä kartoittaa kohteet, joissa on sähkösaattojärjestelmän lisäksi myös virtausmittaus. Yhtenevissä kohteissa voidaan virtaus ottaa huomioon aseteltaessa saattolämmitystä.

Tämän luvun tietojen keräämisen jälkeen aloitettiin listauksen tekeminen Excel -taulukkoon. Taulukkoon listattiin laskelmien lähtötiedot ja suoritettiin laskutoimituksia. Laskutoimituksissa käytettiin tässä ja seuraavissa luvuissa esitettyjä olettamia ja perusteltuja ratkaisuja. Lopputulokset laskelmista esitellään lopputuloksia käsittelevässä luvussa.

6.2 Sähkösaattojärjestelmän käyttö

Tässä luvussa esitellään sähkösaattojärjestelmän nykyinen kokoonpano ja käyttö sekä pohditaan mahdollisia säästökohteita.

Tähän työhön rajatulla alueella on yhteensä 1027 sähkösaattoa, joiden yhteenlaskettu teho on 936 kW. Tätä määrää voidaan pitää huomattavan suurena. Kuten edellä esitellyssä teoriaosuudessa todettiin, sähkösaatot voidaan jakaa karkeasti säädettäviin ja itsesäätyviin sähkösaattoihin. Tämän työn alueella säädettäviä sähkösaattoja on 485 kW, itsesäätyviä 381 kW. Osasta käytössä olevista kaapeleista ei ole saatavilla tietoa, minkä vuoksi ne jätettiin määrittelemättä. Näitä oli yhteensä 70 kW.

Näistä lukemista itsesäätyvien osuutta voidaan pitää peruskuormana, koska niiden tehonkulutukseen ei voida vaikuttaa muuten kuin kytkemällä ne pois käytöstä. Itsesäätyvien piirien teho ja kulutus määräytyy ympäristön lämpötilan mukaisesti, tämän vuoksi niiden pois käytöstä ottamisella ei kuitenkaan saada mainittavia säästöjä aikaiseksi, koska ne säätyvät mitoituksensa perusteella joko itsestään pois päältä tai pienelle teholle. Säädettävien sähkösaattojen osuus on puolestaan se, johon voidaan vaikuttaa. Säädettävien sähkösaattojen osuus kokonaismäärästä on hieman yli puolet eli 52 %.

Pahin mahdollinen käyttötilanne on silloin, kun kaikki sähkösaatot ovat käytössä täydellä teholla. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi vuoden kylmin päivä, jolle sijoittuu seisokkipäivä. Seisokkipäivien huomioonottaminen käsitellään seuraavassa luvussa. Tällöin raudantuotannon alueella sähkösaattojen jatkuva teho voi lähennellä maksimia eli lähes 1,0:aa MW.

Vastaavasti paras mahdollinen käyttötilanne on sellainen tilanne, jossa ympäristön lämpötila on prosessin toiminnalle optimaalinen ja prosessi on normaalissa toiminnassaan. Tällöin putkistoissa on virtauksia, joiden ansiosta putkistoissa olevia vesiä ei tarvitse lämmittää lainkaan. Prosessin optimaalisen lämpötilan ollessa yli 0 °C myöskään säiliöissä tai putkistoissa seisovia vesiä ei tarvitse lämmittää. Putkistoissa virtaavia ja säiliöissä seisovia öljyjä tai muita aineita voidaan joutua yhä lämmittämään, jotta voidaan varmistaa niiden optimaalinen juoksevuus. Työssä keskitytään pääasiassa veteen liittyviin piireihin niiden suuren määrän vuoksi.

Käytössä olevasta SkyTrace -järjestelmästä on mahdollista saada reaaliaikaista tietoa sähkösaattojen käytöstä. Teoreettisten laskelmien lisäksi työssä oli tarkoitus verrata laskelmia myös todellisiin historiatietoihin. Tätä työtä tehdessä järjestelmä ei kuitenkaan ollut vielä kaikilta osin täysin valmis, minkä vuoksi energiankulutuksen tilastointi ei ollut vielä luotettavasti käytössä. Lisäksi järjestelmä on ollut käytössä noin puoli vuotta, minkä vuoksi siitä saatavat tilastotiedot kattavat ainoastaan osan vuodesta. Aiemmin käytössä olleesta Pman Line -järjestelmästä ei puolestaan ollut saatavilla kootusti historiatietoja. Näistä syistä vertailua ei voitu suorittaa.

6.3 Seisokkien huomiointi

Sähkösaattoja käytettäessä seisokit on otettava huomioon. Seisokeissa kyseinen kohde ei ole normaalissa käyttö- ja toimintatilassaan, vaan prosessi on keskeytetty esimerkiksi huolto- ja korjaustoimenpiteitä varten. Tällöin jäähdytysvesien ja muiden aineiden virtaukset poikkeavat normaalista käyttötilanteesta, ne voivat olla pienempiä ja lakata kokonaan. Tämän vuoksi sähkösaattolämmitysten rooli korostuu, etenkin kylminä vuodenaikoina.

Sähkösaatot on asetettava siten, että ne estävät nesteen jäätymisen kylmissäkin olosuhteissa. Jos esimerkiksi putkistoissa oleva vesi ei enää virtaa, vaan jää seisomaan, tulee veden jäätyminen estää. Jäätyessään vesi voi pahimmillaan rikkoa putkistoja tai muita prosessiin liittyviä laitteistoja.

Työtä varten Rautista on tuotu masuunien teholliset ajoajat kuukausittain vuosilta 2014 - 2018. Teholliset ajoajat huomioitiin vain täysiltä vuosilta, koska tällöin tarkastelujaksolle tulee sama määrä kutakin kuukautta. Tästä syystä vuoden 2019 tilastoja ei oteta huomioon. Tällä tilastolla voitiin laskea masuunien keskimääräinen seisokkien määrä. Tarkasteluaika käsittää yhteensä 43824 tuntia, josta masuuni 1:llä on ollut seisokkeja yhteensä noin 3225 tuntia ja masuuni 2:lla 2455 tuntia. Vuosittain seisokkiajoissa on jonkin verran hajontaa, minkä vuoksi tarkastelujakson vuosien seisokkiajoista lasketaan keskiarvo, mitä käytetään hyödyksi laskelmissa. Masuunien suhteellinen seisokkiaika on 6,5 % vuoden tunneista.

Seisokkeihin kuluva aika jätetään pois optimointeja laskettaessa, koska tällöin sähkösaattojärjestelmän toimintavarmuuden tulee olla varmistettu ja tulee taata laitteistojen kunnossa pysyminen ja mahdollistaa prosessin ylösajo. Optimoinnin piirissä olevaksi tuotanto ajaksi jää tällöin 8192 tuntia, mikä saadaan vähentämällä 6,5 % vuoden tunneista.

6.4 Säästökohteiden kartoitus

Säästökohteiden etsimiseen käytetään hyödyksi kerättyä aineistoa ja SkyTrace Site -järjestelmää. Sen avulla pystyy lajittelemaan ja suodattamaan tietoa käyttäen erilaisia piirikohtaisia tietoja, kuten lähdön tunnus, setpoint, positio, teho ja energiankulutus. Li-

säksi ohjelmisto luo automaattisesti listauksen kymmenestä eniten virtaa käyttävästä piiristä.

Säästökohteista saatavia laskelmia suoritetaan siltä osin, kun ne ovat tämän työn laajuuden osalta mahdollisia. Laskelmissa käytetään seuraavissa luvuissa esitettyjä laskentaparametreja. Optimoinnissa käytetään edellisessä luvussa määritettyä keskimääräistä vuotuista tuotantoaikaa 8192 tuntia. Osa esitettävistä säästötoimenpiteistä voi mennä muiden toimenpiteiden kanssa päällekkäin. Tällöin kaikista toimenpiteistä ei voida saada täysimääräisiä säästöjä vaan säästöt jäävät teoreettisia laskelmia vähäisemmiksi.

6.4.1 Piirien asetusarvot

Työn alueella on useita kohteita, joissa lämmityspiirien setpoint on asetettu tarpeettoman korkeaksi. Tämän seurauksena piirit lämmittävät ympärivuoden, vaikkei jäätymisvaaraa välttämättä ole. Aiemmin tässä työssä esitetyssä kaaviossa kuvassa 16 on esitetty alueen lämpötilojen esiintyvyys. Tätä tietoa voidaan käyttää hyödyksi myös määritettäessä sopivia setpointeja yksittäisille piireille.

Tässä työssä kaikkia piirejä ei käsitellä yksitellen aihealueen ja työn laajuuden rajoittamiseksi. Kukin kohde tulee tarkastella yksitellen mietittäessä asetusarvojen muutoksia. Esimerkkinä esitellään SkyTracen tekemästä listauksesta muutamia poimintoja. Piirit voidaan järjestellä setpointin mukaan, jolloin listauksesta on helppo katsoa eri piirien asetusarvot. Tällä tavoin piirit voidaan käydä helposti läpi ja määritellä mahdollisuuksien mukaan uudet asetusarvot kullekin piirille. Osa SkyTracen listaamista piireistä listataan etukojeena, jolloin saman mittauksen takana on useampia piirejä. Etukojeena listatut piirit ovat suurempia kokonaisuuksia, joita voidaan tarkastella kokonaisuutena. Esiteltävissä piireissä otetaan huomioon ainoastaan yksittäisten piirien lähdöt.

Yhdeksi merkittäväksi säästökohteeksi huomasin tarpeettoman vesien ja muiden kohteiden lämmittämisen. Esimerkiksi veden jäätymislämpötila on 0 °C ja kiehumislämpötila on 100 °C, käytännössä siis ympäristön lämpötilan ollessa yli 0 °C jäätymisvaaraa ei ole. Järjestelmässä on tällä hetkellä useita veteen liittyviä säädettäviä lämmityspiirejä, joissa veteen liittyvien piirien setpoint on asetettu reilusti yli 0 °C:seen, jopa yli 30

°C:seen. Lämmitettävien kohteiden lämpötilat pyrkivät luonnostaan ympäristön lämpötilaan. Kuvan 16 kaavion mukaisesti ympäristön lämpötila ei tilastollisesti ylitä 30:ea °C. Tämän seurauksena lämmitykset ovat tällaisissa piireissä aina päällä, koska kohteen lämpötila ei saavuta setpointia ilman saattolämmitystä. Teho, johon piirit asettuvat näin korkeilla setpointeilla ympäristönlämpötilan lähestyessä, riippuu käytössä olevasta säätimestä ja sen asetuksista.

Vedellä on korkea ominaislämpökapasiteetti, joten se tarvitsee paljon energiaa lämmitäkseen. Tämä tulee ottaa huomioon säätöjä tehdessä. Jos lämpötila asetetaan liian matalaksi, sähkösaattojärjestelmän säätöpiiri ei välttämättä kykene pitämään lämpötilaa jatkuvasti yli 0 °C:ssa. Tämän vuoksi lämpötilojen asetuksessa tulee olla pientä varmuuslisää, ettei prosessin toiminta ja turvallisuus vaarannu.

Tarkasteluajanjaksolla kuvan 16 kaavion mukaisesti maaliskuun 2017 ja maaliskuun 2019 välisenä aikana tehdasalueella ympäristön lämpötila oli 39,6 %:ssa mittausajankohdista 5 °C tai yli. Asettamalla esimerkiksi veteen liittyvien piirien setpointin 5 °C:seen saadaan jäätymisvaara eliminoitua, koska lämpötila on reilusti yli jäätymislämpötilan, mutta ei kuitenkaan tarpeettoman korkea.

Setpointin ollessa 5 °C ja ympäristön lämpötilan noustessa yli 5 °C:seen veteen liittyvät säädettävät lämmitykset voitaisiin asettaa pois päältä. Suoraan veteen liittyviä sähkösaattoja tarkastelualueella on 244 kW:n edestä, joista säädettäviä on 49,4 % (121 kW), ei-säädettäviä 50,5 % (123 kW) ja määrittelemättömiä 0,065 % (0,160 kW). Säädettävien osuus vesiin liittyvistä saatoista on noin puolet. Kokonaislämmitystehosta näiden osuus on 12,2 %. Huomiona on todettava, että myös itsesäätyvät kaapelit voitaisiin kytkeä pois käytöstä samoin ehdoin, mutta kaapelien luonteen vuoksi näin ei tarvitse tehdä.

Taulukossa 3 on esitetty poimintana esimerkkinä erilaisia saattopiirejä, joiden setpoint on korkea ja vaatii mahdollisesti tarkastelua. Kustakin piiristä esitetään olennaisimmat tiedot: lähtötunnus, lämmitettävä kohde, piirin tyyppi ja setpoint. Sopivan asetusarvon määrittämisessä tulee ottaa huomioon prosessin kriittisyys ja käytettävissä olevan säätimen tyyppi ja sen kyky pitää kohde asetusarvossaan.

Näistä kohteista esimerkiksi molempien selkeytysaltaiden lämmitykset olisivat voineet olla pois käytöstä kuvassa 16 esitetyn kaavion mukaisesti 39,6 % vuodesta. Tällöin jo näiden kahden kohteen tuomat säästöt voivat olla merkittäviä. Kuvan 16 kaavion tietojen perusteella masuuni 1:n selkeytysaltaan lämmityspiiri on ollut toiminnassa täydellä tehollaan yli 95,6 % ja masuuni 2:lla 100 % tarkasteluajanjakson ajasta.

Tärysyöttimet ovat värähteleviä laitteistoja, joita käytetään jauhemaisten ja rakeisten materiaalien kuljettamiseen ja syöttämiseen. Siilolaitoksella tärysyöttäjiä käytetään raaka-aineiden tasaiseen syöttämiseen kuljettimille. Tärysyöttäjien levyjen lämmittämisellä pyritään estämään raaka-aineiden paakkuuntuminen ja jäätyminen. Kokemusten perusteella raaka-aineiden syötössä on ollut paljon ongelmia, mikä on otettava muutoksia tehtäessä huomioon. Tässä kohteessa uudeksi setpointiksi asetetaan 20 °C säästömahdollisuuksien havainnoimiseksi.

Pölyruuvi ja pölynpoistosuppilo ovat pölynpoistosta kertyneen pölyn siirtämiseen käytettäviä komponentteja. Saattolämmityksellä pyritään estämään pölyn paakkuuntuminen, jämähtäminen ja jäätyminen. Pölyä ei kuitenkaan pyritä kuivaamaan, koska sen pölisemistä pyritään ehkäisemään pitämällä se kosteana. Nykyinen setpoint on aseteltu huomattavan korkeaksi, mille ei ole varsinaisesti syytä. Tarkastelu suoritetaan 5 °C:een mukaisesti.

Granulointiprosessissa vettä käytetään kuonan jäähdyttämiseen masuunihiekaksi. Granuloinnin lisävesiputkistoa käytetään nimensä mukaisesti lisäveden tuomiseen granulointiprosessiin. Granuloinnin jäähdytystornissa höyrystynyttä vettä jäähdytetään takaisin vedeksi ja otetaan uudelleen käyttöön. Näihin kohteisiin voidaan soveltaa samoja aiemmin mainittuja kriteerejä kuin muihinkin vesi kohteisiin.

Nestekaasulinjaa kaasufakkeleiden välillä lämmitetään, että nestekaasun lämpötila saadaan pidettyä sopivalla alueella. Fakkeleissa nestekaasua käytetään fakkeleiden sytyttämiseen. Ylimääräinen poltettava kaasu on märkää, jonka vuoksi vaikeasti syttyvää. Tämän vuoksi fakkelit sytytetään nestekaasulla. Nestekaasun lämpötila tulee pitää sopivana, jotta se ei pääse lauhtumaan putkistossa. Lauhtumisen seurauksena polttamisen aloituksessa liekki voi leimahdella voimakkaasti. Tästä voi aiheutua häiriöitä fakkelien sytyttämisessä, josta voi aiheutua vaaraa prosessille tai turvallisuudelle. Piirin

luonteen vuoksi tästä kohteesta ei tämän työn puitteissa tehdä tarkastelua ja säästölaskelmia.

Venturi on kaasunpuhdistamolla sijaitseva komponentti, mitä käytetään masuunin kihtipaineen säätämiseen. Tässä kohteessa vettä käytetään pinnanmittauslaitteiden huuhteluun, jolloin veden tulee olla sulaa. Tässä kohteessa on huomioitava kihtikaasun suuri merkitys prosessin toimintaan ja turvallisuuteen. Tässä kohteessa sovelletaan samoja aiemmin mainittuja kriteerejä kuin muihinkin veteen liittyviin kohteisiin säästö mahdollisuuksien löytämiseksi.

TAULUKKO 3. Esimerkkejä piirien setpointeista

Lähtö	**Selite**	**Sijainti**	**Teho / kW**	**Säädettä-vyys**	**Setpoint / °C**
03EB3 08.13	Selkeytysaltaan renkaan uran lämmitys	Masuuni 1	16	Kyllä	23
03EB3 06.05	Selkeytysaltaan renkaan uran lämmitys	Masuuni 2	16	Kyllä	34
09EC 04.05	Pölyruuvin ja pölynpoistosuppilon lämmitys	Masuuni 2	16	Kyllä	50
09EC 11.03	Granuloinnin lisävesiputken lämmitys	Masuuni 2	8,5	Kyllä	15
30E6 03.01	Granulointi jäähdytystornin lisävesi	Granulointi	19	Kyllä	20
09EC 17.05	Siilolaitos tärysyöttäjä 27 levyn lämmitys	Masuuni 2	9,0	Kyllä	25
03EB3 03.07	Nestekaasulinja kaasufakkeli tornien välillä	Masuuni 1	3,5	Kyllä	40
09EC 07.04	Kaasunpuhdistamo venturi 2 huuhteluvesi pinnanmittaus-laitteille	Masuuni 2	1,1	Kyllä	22
03EB1 03.07	Siilolaitos siilo 6 tärysyöttäjän levyn lämmitys	Masuuni 1	9,0	Kyllä	25
03EB1 10.01	Siilolaitos siilo 19 tärysyöttäjän levyn lämmitys	Masuuni 1	9,0	Kyllä	31

6.4.2 Virtauksien huomiointi

Tässä luvussa käsitellään virtauksien vaikutusta saattolämmitykseen ja sen tarpeeseen. On kuitenkin huomioitava, että osa luvussa esitetyistä kohteista voi sisältyä myös edellä esiteltyjen säästökohteiden joukkoon. Tällöin saatavat säästöt jäävät teoreettisia laskelmia pienemmiksi. Lisäksi seisokit on aiemman luvun mukaisesti otettava huomioon prosessiturvallisuuden takaamiseksi.

Seisova vesi jäätyy ympäristön lämpötilan laskiessa alle 0 °C:seen. Tällöin veteen alkaa muodostua jääkiteitä, jotka hiljalleen tarttuvat toisiinsa muodostaen jääpeitteen. Virtaavan veden jäätymistä hidastavat veden liikkeet, kuten virtausnopeus ja pyörteily. Tämän vuoksi virtaava vesi ei jäädy 0 °C:ssa. Virtaavan veden kohdalla saattolämmityksien setpoint voidaan laskea alle 5 °C:seen, esimerkiksi 0 °C:seen. Käytettäessä setpointia 0 °C:ssa voidaan saattolämmitykset kytkeä pois kuvan 16 kaavion mukaisesti 52,7 %:ssa optimoitavista tunneista. Setpointin laskemisessa on kuitenkin otettava huomioon prosessin turvallisuus, minkä vuoksi saattolämmitykset on syytä pitää päällä.

Masuunien alueilla on runsaasti virtausmittauksia. Mittauksia tehdään kuitenkin hyvinkin pienistä kohteista. Suurista jäähdytyskokonaisuuksista voi löytyä useita kymmeniä virtausmittauksia, joilla seurataan tiettyyn prosessin osaan käytettävän veden määrää yksittäisen kohteen tasolla. Esimerkiksi kunkin masuunin hormin jäähdytysveden virtausta mitataan jopa kahdeksalla eri mittauksella. Mittauksiin kuuluu esimerkiksi jäähdytysveden määrä sisään ja ulos rungon ja kärjen osalta.

Suorat yhteneväisyydet on listattuna taulukkoon 4. Listauksessa on otettava huomioon, että masuunien 1 ja 2 saattolämmityksiä ei ole toteutettu samalla tavalla. Tämän vuoksi molemmista kohteista ei löydy samanlaisia kohteita, vaan kohteet on käsiteltävä yksilöinä. Listatuista kohteista ainoastaan säädettävät saattolämmitykset voidaan ottaa huomioon optimointia tehdessä.

TAULUKKO 4. Virtausmittauksella varustettuja kohteita

Alue	**Kohde**	**Teho / kW**	**Säädettävyys**
Masuuni 1, Masuuni 2	Kurkun vesiputket, lisävesiputket, jäähdytysputkistot, säiliöt, pinnanmittaukset, venttiilit, impulssiputket	10	Ei
Masuuni 1, Masuuni 2	Kaasunpuhdistamon tyhjennysventtiilit ja linjat, impulssiputket, huuhteluvesien poistoputket	4,8	Ei
Masuuni 1, Masuuni 2	Savukaasupesurit	24	Kyllä
Masuuni 1, Masuuni 2	Pölysäkkien varoventtiilit ja ulospuhallusputket	0,41	Ei
Masuuni 2	Rautareiän jäähdytys	0,02	Ei
Masuuni 1, Masuuni 2	Vaipan pysty-, lisävesijärjestelmät, putket ja säiliöt	2,8	Ei
Masuuni 1, Masuuni 2	Granuloinnin laatanlämmitys	81	Kyllä
Masuuni 1, Masuuni 2	Granuloinnin jäähdytystornin lisävesi	19	Kyllä
Masuuni 1, Masuuni 2	Granuloinnin lisävesiputki	8,4	Kyllä
Masuuni 1, Masuuni 2	Kihtien jäähdytysputkisto ja rengasputkisto	2,3	Ei
Masuuni 1	BLT housuputket	1,4	Ei

6.4.3 Tehokkaimmat kohteet

Rautatuotannossa on useita yksittäisiä kohteita, joissa lämmitysteho on poikkeuksellisen suuri. Näistä kohteista ei suoraan voida listata varsinaisia toteutettavia säästötoimenpiteitä, mutta niiden suuren tehon vuoksi niitä olisi suositeltavaa tarkastella. Tällaisissa kohteissa pienenkin lämpöhäviön eliminointi voi johtaa merkittäviin säästöihin. Osa kohteista voi olla mainittuna jo aiemmin esitetyissä listauksissa.

Kohteita esitetään taulukossa 6, jossa on listauksesta poimittuja suuritehoisimpia kohteita. Osa kohteista esiintyy myös aiemmissa luvuissa muiden säästötoimenpiteiden yhteydessä.

Näistä kohteista esimerkiksi tykkimassalaatikon osalta olisi suositeltavaa tutkia, voisiko eristystä parantaa ja voisiko tykkimassaa lämmittää esimerkiksi, jollain prosessista saatavalla hukkalämmöllä. Lämmitys on tällä hetkellä toteutettu itsesäätyvillä saattokaapeleilla, joten näiden säätäminen ei suoraan onnistu. Säästöjä voidaan kuitenkin saada aikaiseksi parantamalla eristystä, minkä seurauksena lämmityskaapelien teho laskee.

Yleisesti muistakin taulukon 5 kohteista olisi paikallaan tarkastella eristyksen kunto ja sen riittävyys.

TAULUKKO 5. Esimerkkejä suuritehoisimmista piireistä

Lähtö / Lähdöt	**Selite**	**Sijainti**	**Teho / kW**
30E6 05.05-06	Granuloinnin jäähdytystornin laatanlämmityksen lohkot 1-2	Granulointi	81
03EB1 06.05	Tykkimassalaatikon lämmitys	Masuuni 1	73
32E1 03.01-06	Kuljun vesi 300KV01	PCI	49
09EC 18.13-14	Rautatievaihteiden 71-72 lämmitys	Masuuni 2	48
03EB1 03.07-08, 10.01	Siilojen 6, 7, 17, 19 ja 27 tärysyöttäjien tärylevyjen lämmitykset	Masuuni 1	37
32E1 05.01	Hiilipölynsuodatin 1 suppilon lämmitys	PCI	23
09EC.17.01	Suljettu jäähdytysjärjestelmä, lisävesiputken 201-VSU-150 lämmitys	Masuuni 2	22

7 TULOKSET

Lopputuloksina esitetään tilastotietoja alueen sähkösaatoista taulukoissa 6 ja 7 sekä taulukossa 8 esitetään kokonaissäästöjä. Lisäksi liitteissä 1 ja 2 on taulukon 8 tulosten välilaskelmia. Liitteessä 3 esitetään esimerkkinä ote sähkösaattolistauksesta. Säästöjen määrät esitellään kilowattitunteina ja rahallisena säästönä 0,0468 €/kWh:n kiinteällä sähköenergian hinnalla. Näiden lisäksi tämän työn liitteenä on esimerkkikuva tehdystä listauksesta, josta ilmenee tietoja, jotka on kerätty tämän työn suorittamiseksi.

TAULUKKO 6. Yhteenveto sähkösaattojen lukumääristä alueittain

Alue	**Lukumäärä**	**Teho / kW**	**Osuus kokonais-tehosta / %**
Masuuni 1	400	321	34
Masuuni 2	319	271	29
Siilolaitos	47	26	3
Granulointilaitos	68	107	11
PCI -laitos	177	199	21
Briketointilaitos	11	12	1
Harkkovalimo	5	0,3	0
Yhteensä	**1027**	**936**	**100**

TAULUKKO 7. Yhteenveto sähkösaattolistauksen tehoista

Tyyppi	**Teho / kW**	**Osuus kokonaistehosta / %**
Säädettävissä	485	52
Ei-säädettävissä	381	41
Määrittelemättä	70	7
Yhteensä	**936**	**100**

TAULUKKO 8. Teoreettiset säästöt vuodessa

Säästötoimenpide	**Energia / kWh**	**Kustannus / €**
Vesien setpointien muutokset	375555	17576
Setpointien muutokset	249500	11677
Virtauksien huomiointi	224862	10524
Yhteensä	**849916**	**39777**

8 POHDINTA

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää SSAB Europe Oy:n Raahen terästehtaalla raudantuotantoalueen sähkösaattojen määrä, käyttöaste ja niiden käyttötarvetta. Selvityksen perusteella tarkoituksena oli optimoida niiden käyttöä ja etsiä kohteista energia- ja kustannussäästöjä.

Työssä esiteltiin tilanneen yrityksen perustiedot, raudantuotantoprosessi ja siihen liittyviä oheisprosesseja Raahen tehtaalla. Työn aikana perehdyttiin eri prosesseihin, lämpöopin perusteisiin, sähkösaattojärjestelmään ja näiden käyttöön teollisuudessa.

Työn aikana heräsi kehitysideoiksi muutamia asioita. Suositeltavaa olisi tarkastella ja arvioida työssä esitellyt kohteet esimerkiksi kunnossapitotöiden yhteydessä ja miettiä, voisiko niiden sähköenergian kulutusta pienentää eristystä parantamalla. Osassa kohteista, kuten tykkimassalaatikon lämmityksessä voisi olla paikallaan miettiä, olisiko mahdollista käyttää prosessista saatavaa hukkalämpöä hyödyksi peruslämmityksenä ja tarkempana säätönä sähkösaatoilla lämmitystä.

Kehitysideana esitetään myös yksittäisten työpaikka-, prosessi- tai rakennussähköistyskeskuksien sähkösaattojen keskittämistä sähkösaattokeskuksiin, jotta kaikkien piirien kuntoa ja energiankulutusta voidaan seurata.

Tällä hetkellä sähkösaattojen asetteluissa ei tunnu olevan juurikaan säännönmukaisuutta. Osassa kohteista tavoitelämpötila on asetettu huomattavan korkealle, minkä vuoksi sähkösaatot lämmittävät täydellä teholla ympärivuoden, myös lämpimällä säällä. Tämän taustalla on varmastikin se, että halutaan varmistaa, ettei virtaava neste pääse missään tapauksessa jähmettymään putkistoon tai säiliöön tai muun prosessin osan toiminta ei häiriinny jäätymisen vuoksi.

Työn suorituksessa ilmeni ajoittain hankaluuksia työn rajaamisen vuoksi. Käsiteltävä alue on todella laaja, joten aiheesta olisi saanut laajemmankin työn. Työn rajaamisessa oli otettava myös huomioon aihealueen rajaus. Energiankulutukseen ja prosessiin syvällisempi perehtyminen sopii hyvin esimerkiksi prosessi-, kone- tai energiatekniikkaan perehtyneelle ihmiselle. Tätä työtä voisi jatkojalostaa esimerkiksi uuden opinnäytetyön

pohjaksi, jossa piirit käytäisiin läpi piirikohtaisesti ja tehtäisiin erillinen tarkempi tarkastelu kustakin kohteesta. Tässä työssä esitettyjä toimenpiteitä tarkempien toimenpiteiden esittäminen vaatisi syvällisempää prosessi- ja energiatekniikkaan tutustumista.

Tässä työssä esiteltiin alueiden prosessit pintapuolisesti, mutta tarkemman piirikohtaisen optimointityön pohjaksi prosessi on syytä hallita paljon laajemmin. Lisäksi tarkemman optimointityön tekemiseksi tulisi ottaa huomioon kokemusperäistä tietoa prosessista. Kokemusperäisen tiedon hyödyntämiseen voidaan käyttää hyödyksi alueella kauan työskennelleitä henkilöitä. Prosessikokemuksella voitaisiin välttää häiriötilanteita, joita on saattanut aiemmin tulla esimerkiksi nesteiden virtauksen tai sen puutteen vuoksi, joihin sähkösaattojärjestelmät vaikuttavat. Kokemusperäisen tiedon määrää ei ole syytä unohtaa eikä väheksyä.

Työssä esille tulleiden säästökohteiden toteuttamiseksi tulee harkita muutoksista aiheutuneiden kustannusten suhdetta saatavaan säästöön. Osa työssä esitetyistä säästökohteista on ainoastaan nykyisten asetusarvojen muuttamista, minkä ainoaksi kustannukseksi jää työn suorittavan työntekijän työn osuus. Tällaisista muutoksista saatavat säästöt voivat paikoitellen olla hyvinkin suuria, kuten esimerkkilaskelmat osoittavat. Nämä ovatkin ensisijainen säästötoimenpide, mitä tulisi hyödyntää.

Osassa säästökohteita vaaditaan eristyksen parantamista, mikä voidaan toteuttaa eri tavoin, kuten lisäämällä tai parantamalla nykyistä eristystä. Osassa kohteista voi olla myös paikallaan rakenteiden muuttaminen, jotta eristäminen onnistuu. Yleisestikin nykyisten eristysten kuntoa tulisi tarkastella kriittisesti, koska eristyksen uusiminen ei välttämättä ole suurikaan investointi. Tarkasteltava alue on todella laaja, joten pienistäkin yksittäisistä säästöistä voi kertyä nopeasti suuri määrä säästöjä. Lisäksi tulevaisuudessa kunnossapitotöiden ohessa tulisi kiinnittää huomioita eristyksien purkamiseen ja asennukseen, jotta eristyksen kunto ei heikentyisi tarpeettomasti.

Säästökohteista löytyy myös kohtia, jotka vaativat jo hieman investoimista. Tällaisia ovat esimerkiksi virtausmittaukset ja niiden hyödyntäminen. Lisäämällä virtausmittauksia sellaisiin paikkoihin, joissa virtaa nesteitä ja jotka ovat sähkösaattopiirien lämmityksessä, voidaan saada säästöjä aikaiseksi pienentämällä tai kytkemällä saattolämmityksiä pois päältä. Tällaisia esimerkkejä esiteltiin tässä työssä muutamia.

Virtausmittauksia lisättäessä kohteisiin on kuitenkin muistettava kokonaiskustannukset koko elinkaaren ajalta. Virtausmittauksen lisääminen aiheuttaa kustannuksia mittauslaitteen lisäksi myös asennus- ja käyttöönottotyön osalta. Virtausmittauksien lisääminen voi myös vaatia muutoksia putkistoihin tai muihin rakenteisiin. Lisättävien virtausmittausten mukanaan tuoma kunnossapitotarve on myös otettava huomioon.

Yllämainitut toimenpiteet eivät myöskään ole yksilöllisiä pelkästään raudantuotanto- tai sen oheisprosesseihin. Yllä olevia toimenpiteitä tulisi harkita hyödynnettäväksi myös muilla osastoilla. Raahen tehdasalue on erittäin laaja kokonaisuus, jossa käsitellään suuria määriä jäähdytys- ja prosessivesiä ja muita nesteitä. Tehtaan mittakaavassa voi olla mahdollista löytää merkittäviäkin energia- ja kustannussäästöjä.

Saatuja laskelmia olisi ollut mielenkiintoista päästä vertailemaan todellisiin kulutustietoihin. Tällöin olisi päässyt yhdistämään teorian käytäntöön ja arvioimaan näiden välistä yhteyttä. Valitettavasti nykyisen saattolämmitysjärjestelmän puutteiden vuoksi vertailua ei päästy tekemään. Lisäksi todellisilla mittaustiedoilla olisi pystynyt tarkistamaan miten hyvin kukin kohde on todellisuudessa saavuttanut asetusarvonsa. Tämä olisi helpottanut kohteiden arvioimista. Tällöin olisi myös ollut mahdollista vertailla saattolämmityksen tehonkulutuksen ja ympäristön lämpötilan välistä seuraussuhdetta.

Sähköenergian kulutusta voisi laskea myös laskemalla asetusarvoja keskimäärin esimerkiksi 1,0 %:lla. Tällöin lämpötilojen muutos ei kokonaisuuden huomioon ottaen ole kovin suuri, mutta tällä voisi saada merkittäviäkin säästöjä aikaiseksi, koska lämmityskapasiteetin määrä on niin suuri. Tällaisia toimia varten on kuitenkin syytä tehdä piirikohtainen arviointi.

Tätä työtä tehdessäni odotuksena oli, että säästökohteita löytyy. En kuitenkaan osannut odottaa näinkin suuria säästökohteita. Työssä esitetyt energiansäästöt vastaavat lähes 50 sähkölämmitetyn omakotitalon energiankulutusta vuodessa. Työ oli erittäin monipuolinen ja opin sen aikana paljon uusia asioita.

LÄHTEET

1. SSAB 2019. Historia - SSAB:n virstanpylväät. Saatavissa: https://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/ssab-lyhyesti/historia. Hakupäivä 19.8.2019.
2. SSAB 2019. Liiketoiminta. Saatavissa: https://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/liiketoiminta. Hakupäivä 19.8.2019.
3. SSAB 2019. SSAB Raahe - esittelymateriaalit. Saatavissa: SSAB eWorx - intranet. Hakupäivä 10.9.2019.
4. SSAB 2019. SSAB - strategia. Saatavissa: https://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/strategia. Hakupäivä 28.8.2019.
5. SSAB 2019. Kestävä kehitys. Saatavissa: https://www.ssab.fi/ssab-konserni/kestava-kehitys. Hakupäivä 2.9.2019.
6. SSAB 2019. HYBRIT - Toward fossil free steel. Saatavissa: https://www.ssab.fi/ssab-konserni/kestava-kehitys/kestavat-toiminnot/hybrit. Hakupäivä 28.8.2019.
7. CDP 2019. Melting point - Which steel companies are ready for the low-carbon transition? Executive Summary. Saatavissa: https://corporate.arcelormittal.com/~/media/Files/A/ArcelorMittal/news-and-media/press-releases/cdp-steel-2019-executive-summary.pdf. Hakupäivä 10.9.2019.
8. SSAB 2019. SSAB Raahe. Saatavissa: https://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/tuotantopaikkakunnat-suomessa/raahe. Hakupäivä 10.9.2019.
9. Merox 2019. Tietoa Meroxista. Saatavissa: https://www.merox.fi/about-merox. Hakupäivä 16.9.2019.
10. Merox 2019. Tietoa Meroxista - Keitä me olemme? saatavissa: https://www.merox.fi/about-merox/history. Hakupäivä 17.9.2019.
11. SSAB 2019. Raudanvalmistuksen yleisturvaohje ja kaasukurvallisuusohje. Turvallisuusohje. Hakupäivä 26.9.2019.
12. Teknologiateollisuus 2014. Julkaisut - Teräskirja. Saatavissa: https://teknologiateollisuus.fi/fi/ajankohtaista/julkaisut/teraskirja. Hakupäivä 12.9.2019.

13. Vuorenmaa, Vesa 2015. Kivihiilimaseraalit ja niiden käyttäytyminen PCI-prosessissa. Diplomityö. Oulu: Oulun Yliopisto, Prosessitekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: http://jultika.oulu.fi/Record/nbnfioulu-201505071479. Hakupäivä 17.9.2019.
14. Kanniala, Riku 2014. SSAB Europe, Raahen tehdas - Kivihiili-injektion prosessilaitteet. Koulutusmateriaali. Hakupäivä 17.9.2019.
15. Tyybäkinoja, Sami 2019. Harkkovalimon ohjausjärjestelmän uusiminen. Opinnäytetyö. Ylivieska: Centria-ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/166550/Tyybakinoja_Sami.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Hakupäivä 17.9.2019.
16. Lindberg, Ralf 2015. Rakennusosien rakennusfysikaalinen toiminta. Artikkeli. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK040302.pdf. Hakupäivä 2.10.2019.
17. Harsia, Pirkko 2007. Lämmön siirtyminen ja lämmityksen periaatteet. Saatavissa: http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1195454056021/1239039810756/1239039865653/1239039957759.html. Hakupäivä 12.9.2019.
18. Opetushallitus 2019. Lämpeneminen - ominaislämpökapasiteetti. Saatavissa: http://www02.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/fysiikka/fysiikka4/1/1.lampeneminen.html. Hakupäivä 18.9.2019.
19. Tekniikan kaavasto. 2013. Tampere: Tammertekniikka Oy.
20. Taulukot.com 2019. Fysiikka - Mekaniikka ja termodynamiikka. Saatavissa: https://www.taulukot.com/fysiikka/mekaniikka_termodynamiikka/. Hakupäivä 4.10.2019.
21. Harsia, Pirkko 2009. Sulana pitoratkaisut - Säiliöiden lämmitys. Saatavissa: http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/etuotanto/0705016/5hZOyzDPd/Sulanapito_sailio_2_0_15122008.pdf. Hakupäivä 16.9.2019.
22. Motiva 2016. Teollisuuden tekninen eristys ja energiatehokkuus. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/12253/Teollisuuden_tekninen_eristys_energiatehokkuus.pdf. Hakupäivä 2.10.2019.

23. Pistesarjat Oy 2019. Saattolämmitys ennaltaehkäisee ongelmia. Saatavissa: https://pistesarjat.fi/fi/ajankohtaista/cat/artikkelit/post/saattolammitys/. Hakupäivä 2.10.2019.
24. nVent 2018. Teollisuus - Prosessilämpötilan ylläpito. Saatavissa: https://www.nventthermal.fi/application/for-industrial-facilities/process-temperature-maintenance/index.aspx?seg=industrial. Hakupäivä 13.9.2019.
25. Planray 2018. Energiansäästö teollisuudessa - Kohtuu investoinnilla kiinni hyötyihin. Saatavissa: http://www.planray.com/sitenews/view/-/nid/26/ngid/1. Hakupäivä 18.9.2019.
26. Planray 2019. SkyTrace - Sähkösaattojen hallintaohjelma. Saatavissa: http://www.planray.com/fi/tuotteet/skytrace-sahkosaattojen+hallintaohjelma/. Hakupäivä 18.9.2019.
27. Harsia, Pirkko 2009. Sulana pitoratkaisut - sulana pitokaapelit. Saatavissa: http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1195741462794/1195741563978/1195741931955/1195741946493.html. Hakupäivä 13.9.2019.
28. Pistesarjat Oy 2019. Sulanapito. Saatavissa: https://pistesarjat.fi/fi/media/aw_blog/201906_kuvasto_sulanapito_web.pdf. Hakupäivä 1.11.2019.

Asetusarvoista saatavia säästöjä vuodessa LIITE 1

Lähtö	**Selite**	**Sijainti**	**Energia / kWh**	**Kustannus / €**
03EB3 08.13	Selkeytysaltaan renkaan uran lämmitys	Masuuni 1	49336	2308
03EB3 06.05	Selkeytysaltaan renkaan uran lämmitys	Masuuni 2	55503	2597
09EC 04.05	Pölyruuvin ja pölynpoistosuppilon lämmitys	Masuuni 2	55503	2597
09EC 11.03	Granuloinnin lisävesiputken lämmitys	Masuuni 2	19732	923
30E6 03.01	Granulointi jäähdytystornin lisävesi	Granulointi	57045	2669
09EC 17.05	Siilolaitos tärysyöttäjä 27 levyn lämmitys	Masuuni 2	2759	129
09EC 07.04	Kaasunpuhdistamo venturi 2 huuhteluvesi pinnanmittaus laitteille	Masuuni 2	3392	159
03EB1 03.07	Siilolaitos siilo 6 tärysyöttäjän levyn lämmitys	Masuuni 1	2759	129
03EB1 10.01	Siilolaitos siilo 19 tärysyöttäjän levyn lämmitys	Masuuni 1	3469	162
Yhteensä			**249500**	**11674**

Virtausmittauksilla saatavia säästöjä vuodessa LIITE 2

Lähtö	**Selite**	**Kohde**	**Energia / kWh**	**Kustannus / €**
03EB3 05.05, 09EC 05.06, 09EC 04.04, 09EC 07.03	Savukaasupesurit	Masuuni 1 Masuuni 2	85403	3996
30E6 05.05, 30E6 05.06	Granuloinnin laatanlämmitys lohkot 1-2	Masuuni 1 Masuuni 2	50969	2385
30E6 03.01	Granuloinnin jäähdytystornin lisävesi	Masuuni 1 Masuuni 2	64843	3034
09EC 11.03	Granuloinnin lisävesiputki	Masuuni 1 Masuuni 2	23647	1106
Yhteensä			**224862**	**10521**

Otesähkösaattolistauksesta

LIITE 3

					LÄMMITYSKAAPELIN				
KESKUS	LÄHTÖ	SÄHKÖPOSITIO	LAITETUNNUS	ALUE	Tyyppi	U/V	I/A	Säädettävyys	P/kW
+MA.SSK.30E6	+MA.SSK.30E6.05.05	=MA.288.TC135	Granulointi, puhallintaso, laatanlämmitys lohko 1	Granulointi	HCHH1M140	Δ 400	43	Kyllä	20,00
+MA.SSK.30E6	+MA.SSK.30E6.05.05	=MA.288.TC135	Granulointi, puhallintaso, laatanlämmitys lohko 1	Granulointi	HCHH1M140	Δ 400	43	Kyllä	20,00
+MA.SSK.30E6	+MA.SSK.30E6.05.05	=MA.288.TC135	Granulointi, puhallintaso, laatanlämmitys lohko 1	Granulointi	HCHH1M140	Δ 400	43	Kyllä	20,00
+MA.SSK.32E1	+MA.SSK.32E1.05.01	=MA.038.TC108	HIILIPÖLYNSUODATIN 1 SUPPILON LÄMMITYS	PCI	EXEHK220/0140	400	19,80	Määrittelemättä	11,30
+MA.SSK.32E1	+MA.SSK.32E1.05.02	=MA.038.TC204	HIILIPÖLYNSUODATIN 1 SUPPILON LÄMMITYS	PCI	EXEHK220/0140	400	19,80	Määrittelemättä	11,30
+MA.SSK.30E6	+MA.SSK.30E6.05.06	=MA.288.TC136	Granulointi, puhallintaso, laatanlämmitys, lohko 2	Granulointi	HCHH1M140	Δ 400	50	Kyllä	10,40
+MA.SSK.30E6	+MA.SSK.30E6.05.06	=MA.288.TC136	Granulointi, puhallintaso, laatanlämmitys, lohko 2	Granulointi	HCHH1M140	Δ 400	50	Kyllä	10,40
+MA.SSK.32E1	+MA.SSK.32E1.05.03	=MA.038.TC219	PCI-LAITOS OVEN EDUSLAATTA LINJA 10-D	PCI	HDPE140	400,00	23,50	Kyllä	10,10
+MA.SSK.09EC	+MA.SSK.09EC.17.05	=MA.218.TC113	SIILOLAITOS,TÄRYSYÖTTÄJÄ 27 LEVYNLÄMMITYS	Masuuni 2	HSQ1M160	400	31,0	Kyllä	9,00
+MA.SSK.03EB1	+MA.SSK.03EB1.03.08	=MA.111.TC001	SIILOLAITOS, SIILON 7 TÄRYSYÖTTÄJÄN MA111FV075 TÄRYLEVYN LÄMMITYS	Masuuni 1	HSQ1M160	400	31,0	Kyllä	9,00
+MA.SSK.03EB1	+MA.SSK.03EB1.03.07	=MA.111.TC.066	SIILOLAITOS, SIILON 6 TÄRYSYÖTTÄJÄN MA111FV065 TÄRYLEVYN LÄMMITYS	Masuuni 1	HSQ1M160	400	31,0	Kyllä	9,00
+MA.SSK.03EB1	+MA.SSK.03EB1.10.01	=MA.111.TC196	SIILOLAITOS, SIILON 19 TÄRYSYÖTTÄJÄN MA111FV195 TÄRYLEVYN LÄMMITYS	Masuuni 1	HSQ1M160	400	31,0	Kyllä	9,00
+MA.SSK.03EB1	+MA.SSK.03EB1.06.05	=MA.108.TC143	Tykkimassalaatikko	Masuuni 1	Elementti 900 W	230	11,7	Ei	8,10
+MA.SSK.03EB1	+MA.SSK.03EB1.06.05	=MA.108.TC143	Tykkimassalaatikko	Masuuni 1	Elementti 900 W	230	11,7	Ei	8,10
+MA.SSK.03EB1	+MA.SSK.03EB1.06.05	=MA.108.TC143	Tykkimassalaatikko	Masuuni 1	Elementti 900 W	230	11,7	Ei	8,10
+MA.SSK.03EB1	+MA.SSK.03EB1.06.05	=MA.108.TC143	Tykkimassalaatikko	Masuuni 1	Elementti 900 W	230	11,7	Ei	8,10
+MA.SSK.03EB1	+MA.SSK.03EB1.06.05	=MA.108.TC143	Tykkimassalaatikko	Masuuni 1	Elementti 900 W	230	11,7	Ei	8,10
+MA.SSK.03EB1	+MA.SSK.03EB1.06.05	=MA.108.TC143	Tykkimassalaatikko	Masuuni 1	Elementti 900 W	230	11,7	Ei	8,10
+MA.SSK.03EB1	+MA.SSK.03EB1.06.05	=MA.108.TC143	Tykkimassalaatikko	Masuuni 1	Elementti 900 W	230	11,7	Ei	8,10
+MA.SSK.03EB1	+MA.SSK.03EB1.06.05	=MA.108.TC143	Tykkimassalaatikko	Masuuni 1	Elementti 900 W	230	11,7	Ei	8,10
+MA.SSK.03EB1	+MA.SSK.03EB1.06.05	=MA.108.TC143	Tykkimassalaatikko	Masuuni 1	Elementti 900 W	230	11,7	Ei	8,10
+MA.SSK.32E1	+MA.SSK.32E1.03.06	=MA.038.TC223	300KV01 KULJUN VESI OSA 3/3 TUPLAUS	PCI	XPI NH 100	230	12,80	Kyllä	8,10
+MA.SSK.32E1	+MA.SSK.32E1.03.03	=MA.038.TC123	300KV01 KULJUN VESI OSA 3/3	PCI	XPI NH 100	230	12,80	Kyllä	8,10
+MA.SSK.32E1	+MA.SSK.32E1.03.05	=MA.038.TC222	300KV01 KULJUN VESI OSA 2/3 TUPLAUS	PCI	XPI NH 100	230	12,80	Kyllä	8,10
+MA.SSK.32E1	+MA.SSK.32E1.03.02	=MA.038.TC122	300KV01 KULJUN VESI OSA 2/3	PCI	XPI NH 100	230	12,80	Kyllä	8,10
+MA.SSK.32E1	+MA.SSK.32E1.03.04	=MA.038.TC221	300KV01 KULJUN VESI OSA 1/3 TUPLAUS	PCI	XPI NH 100	230	12,80	Kyllä	8,10
+MA.SSK.32E1	+MA.SSK.32E1.03.01	=MA.038.TC121	300KV01 KULJUN VESI OSA 1/3	PCI	XPI NH 100	230	12,80	Kyllä	8,10
+MA.SSK.32E1	+MA.SSK.32E1.08.04	=MA.038.TC220	ESIMURSKA OVENEDUSLAATAT 3KPL SULANAPITO	PCI	EM2-XR	230	11,30	Ei	7,80
+MA.SSK.09EC	+MA.SSK.09EC.17.01	=MA.298.TC163	Suljettu jäähdytysjärjestelmä, lisävesiputki 201-VSU-150 lämmitys	Masuuni 2	HC-3 100	Y 400	11,5	Ei	7,20
+MA.SSK.09EC	+MA.SSK.09EC.17.01	=MA.298.TC163	Suljettu jäähdytysjärjestelmä, lisävesiputki 201-VSU-150 lämmitys	Masuuni 2	HC-3 100	Y 400	11,5	Ei	7,20
+MA.SSK.09EC	+MA.SSK.09EC.17.01	=MA.298.TC163	Suljettu jäähdytysjärjestelmä, lisävesiputki 201-VSU-150 lämmitys	Masuuni 2	HC-3 100	Y 400	11,5	Ei	7,20
+MA.SSK.32E1	+MA.SSK.32E1.11.03	=MA.038.TC148	MAGNEETTIEROTINTILA AJOLUISKAN LÄMMITYS	PCI	EM2-XR	230,00	15,30	Ei	7,00
+MA.SSK.03EB1	+MA.SSK.03EB1.03.05	=MA.188.TC117	Kuumavesialtaan hiekanpoisto selkeytinaltaaseen	Masuuni 1	XPI 200	Y 400		Kyllä	6,70
+MA.SSK.03EB1	+MA.SSK.03EB1.03.05	=MA.188.TC117	Kuumavesialtaan hiekanpoisto selkeytinaltaaseen	Masuuni 1	XPI 200	Y 400		Kyllä	6,70
+MA.SSK.03EB1	+MA.SSK.03EB1.03.05	=MA.188.TC117	Kuumavesialtaan hiekanpoisto selkeytinaltaaseen	Masuuni 1	XPI 200	Y 400		Kyllä	6,70
+MA.SSK.09EC	+MA.SSK.09EC.07.02	=MA.418.TC203	Pölysäkin alaosan lämmitys	Masuuni 2	HSQ1M630	Y 400		Kyllä	6,35
+MA.SSK.09EC	+MA.SSK.09EC.07.02	=MA.418.TC203	Pölysäkin alaosan lämmitys	Masuuni 2	HSQ1M630	Y 400		Kyllä	6,35