

VALOKAARIUUNIN PANOSTUSAJANKOHTA

Oinas Sami

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinööri AMK

2016

Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinööri AMK

Tekijä	Sami Oinas	Vuosi	2016
Ohjaaja	DI Mari-Selina Kantanen		
Toimeksiantaja	Outokumpu Stainless Oyj		
Työn nimi	Valokaariuunin panostusajankohta		
Sivu- ja liitesivumäärä	38		

Opinnäytetyö tehtiin Outokummun Tornion tehtaiden terässulatolla. Työn tarkoituksena oli tutkia valokaariuuni 2:n toisen korin panostuksen ajankohtaa ja kehittää sille kaava, minkä perusteella ajankohtaa voidaan ennustaa seuraavissa sulatuksissa.

Valokaariuunin panostuksen ajankohtaan vaikuttavat kierrätysteräksen laadun ja tiheyden suuret vaihtelut, sekä monet muuttujat valmistettavan teräslaadun vaatimuksista vuorossa oleviin operaattoreihin. Työssä suurena tekijänä oli romukorien täyttöaste, jonka perusteella saatiin selville romujen vaatima tilavuus uunissa.

Panostuksen ajankohtaan vaikuttavia tekijöitä lähdettiin ratkaisemaan perehtymällä valokaariuuniin, kierrätysteräksen sulamiseen ja sulattamiseen. Suurimaksi osaksi perehtyminen tapahtui perehtymällä alan kirjallisuuteen ja aiheeseen liittyviin raportteihin.

Ajankohtaa ennustavan mallin kehittämisessä tutkittiin kierrätysteräksen sulattamiseen vaadittavaa sähköenergiaa ja sen sulamisen vaiheita valokaariuunissa. Ajankohdan mallia verrattiin työssä kerätyn romukorien täyttöastedatan sulatusten panostusajankohtiin.

Työn tuloksena toisen korin panostuksen ajoitukseen tehtiin panostusajankohdan malli. Mallilla voidaan ennustaa, milloin toinen romukorillinen kannattaa panostaa uuniin siten, ettei ensimmäiseen romupanokseen ajeta ylimääräistä sähköenergiaa.

Tuloksena saatu ajankohdan malli tullaan liittämään VKU 2:n tuotannonohjausjärjestelmään sen tulevan päivityksen yhteydessä, minkä jälkeen panostusajankohdan malli saadaan käytännön kokeiluun kesällä 2016. Tämän päivityksen johdosta järjestelmä ilmoittaa sulattajalle panostusajankohdan työssä määritetyn kaavan mukaan.

Technology, Communication and
Transport
Mechanical and Production Engi-
neering
Bachelor of Engineering

Author	Sami Oinas	Year	2016
Supervisor	Mari- Selina Kantanen, MSc. tech		
Commissioned by	Outokumpu Stainless Oyj		
Subject of thesis	Charging Time of Electric Arc Furnace		
Number of pages	38		

This thesis was done for Outokumpu Tornio Works Steel Smelting Plant. The objective of this thesis was to study the second bucket's charging time of electric arc furnace two, and develop a pattern which can be used to predict timing in the future melts.

The charging period of the electric arc furnace is affected by large variations in quality and density of recycled steel, as well as many other variables from steel grade requirements to operators on duty. In this work the major factor was the filling degree of the scrap buckets which was used to discover volume of the scrap in the electric arc furnace.

By studying at electric arc furnace the melting of recycled steel we could solve the factors affecting the charging periods timing. Mostly the study happened through literature of the field and reports related to the subject.

The electric energy needed to melt recycled steel and the stages of melting in the electric arc furnace were studied in developing the models of predicting the charging time. The predicting model was compared to the data from charge period being used in the melts.

As a result of the work the charging period model was made in the charging timing of the second bucket. The model can be used to predict when the second scrap bucket should be charged in the EAF in the way that the first charge is not fed by extra electrical energy.

This model will be joined to EAF 2 production management system in its next update. In the summer 2016 this model will be practically tested. Because of the update the system will now inform the operator about the charging time defined in the formula.

Key words electric arc furnace, charge, EAF, scrap bucket

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 OUTOKUMPU	8
2.1 Tornion tehtaiden tuotantoketju	9
2.2 Terässulaton tuotantoprosessi	11
2.2.1 Valokaariuuni	12
2.2.2 Ferrochromikonvertteri	12
2.2.3 AOD-konvertteri	13
2.2.4 Senkkäkäsittely	13
2.2.5 Jatkuvalavu	13
3 VALOKAARIUUNI 2.....	15
3.1 Valokaariuuniprosessi.....	16
3.2 Energian käyttö valokaariuunissa	17
3.3 VKU2 energiatase.....	21
3.4 Kierrätysteräksen sulaminen valokaariuunissa	22
4 ROMUKORIN PANOSTUS.....	24
4.1 Kierrätysromu	25
4.2 Romukorin täyttöaste	25
5 2. KORIN PANOSTUKSEN AJANKOHTA.....	28
5.1 Ajankohdan määrittäminen	28
5.2 Panostusajankohtien tarkastelua	30
6 KEHITYSKOhteita	35
6.1 Täyttöasteen skannaus.....	35
6.2 Jatkuvan panostus	35
7 POHDINTA	36
LÄHTEET	38

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Outokumpu Oyj:n Tornion tehtaiden terässulaton VKU2:lle. Työn ohjaajina ovat toimineet Outokummun puolelta kehitysinsinööri Kimmo Vallo ja Lapin ammattikorkeakoulusta opettaja Mari- Selina Kantanen. Haluan kiittää kumpaakin saamastani ohjauksesta.

Haluan myös kiittää Valokaariuuni 2:n henkilöstöä saamistani neuvoista ja yhteistyöstä opinnäytetyötä tehdessäni.

Torniossa 2016

Sami Oinas

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

EAF	Electric Arc Furnace
RAP	Rolling, Annealing, Pickling
AOD	Argon-Oxygen-Decarburization
MgO-C	magnesiahiihtiili
VKU2	Valokaariuuni 2
E_{total}	valokaariuunin käyttämä kokonaisenergia (kWh)
η_{el}	korkeajännitejärjestelmän hyötysuhde
E_{el}	käytetty sähköenergia (kWh)
$\sum E_{chem}$	kemiallisten reaktioiden lämpösisältö (kWh)
E_{steel}	teräksen lämpösisältö (kWh)
E_{slag}	kuonan lämpösisältö (kWh)
E_{offgas}	savukaasujen lämpösisältö (kWh)
E_{cool}	jäähdytykseen siirtyvä lämpösisältö (kWh)
E_{other}	muut lämpöhäviöt (kWh)
ρ_{romu}	romun tiheys(tKg/m ³)
V_{tarve}	panostukseen tarvittava tilavuus (m ³)
E_{romu}	sulatukseen tarvittava energia(kWh)
$E_{teräs}$	teräksen sulattamiseen tarvittava energia (kWh/t)
m_{romu}	romun massa (tKg)
V_{romu}	romun tilavuus(m ³)
1. korin täyttöaste	1. korin täyttöaste (%)
V_{kori}	korin tilavuus (m ³)
$V_{romu\ 2}$	2. romun tilavuus (m ³)
V_{uuni}	uunin tilavuus (m ³)
2. Korin täyttöaste	2. korin täyttöaste

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään Outokumpu Oyj:n Tornion tehtaiden terässulatolle. Työssä käsitellään Tornion terässulaton 2-linjan valokaariuunin panostuksen ajankohtaa tilanteissa, missä kierrätysteräsosan ei mahdu yhteen romukoriin. Tavoitteena on löytää malli, jolla pystytään laskemaan toisen korin panostuksen ajankohta niin, että panostus voidaan suorittaa mahdollisimman pian ensimmäisen jälkeen.

Valokaariuunissa kierrätysteräs sulatetaan suurimmaksi osaksi sähköenergian avulla. Toisen korin panostuksen ajankohdan määrittämisellä vaikutetaan siihen, että sähköenergiaa ei ajeta liian pitkään ensimmäisellä panostuksella. Tämä kuluttaa valokaariuunin sisällä olevia vuorauksia ja pidentää turhaan sulatusaikaa. Toisessa tapauksessa sähköenergiaa ajetaan liian vähän, minkä johdosta ensimmäisen panoksen tilavuus ei ole muuttunut tarpeeksi, jolloin toisen korin panostuksen jälkeen valokaariuunin holvi ei mahdu menemään kiinni.

Panostus tapahtuu Tornion terässulaton 2- linjalla siten, että romukori nostetaan uunin tuntumaan. Holvin avauduttua kori ajetaan uunin päälle ja lasketaan lähelle uunin reunaa. Korin pohja avataan laukaisukoukun avulla. Panostuksen jälkeen tyhjä kori ajetaan uunin päältä pois ja se toimitetaan lastaukseen.

Valokaariuunin panostuksen ajankohta ei ole erikseen määritelty. Toinen romukori panostetaan silloin, kun sulattajan mielestä ensimmäinen romupanos on sulanut ja uunissa on tarpeeksi tilaa seuraavalle romukorilliselle.

Työn rajauksena on kehittää malli, minkä perusteella toisen korin panostuksen ajankohta voidaan laskea. Tässä työssä panostusajankohdan mallia ei testata käytännössä ajanpuutteen vuoksi.

2 OUTOKUMPU

Outokummun tarina alkaa Itä-Suomesta löydetyistä kuparimalmiesiintymästä vuonna 1910. Vuonna 1932 Outokummusta tehtiin osakeyhtiö sen liiketoiminnan turvaamiseksi ja tänä päivänä Outokumpu on ruostumattomien- ja erikoisterästen valmistamisen markkinajohtaja. Vuosituhannen taitteessa Outokumpu oli monimetalli- ja kaivosyhtiö, jolla oli monia omia kaivoksia. (Outokumpu 2016.)

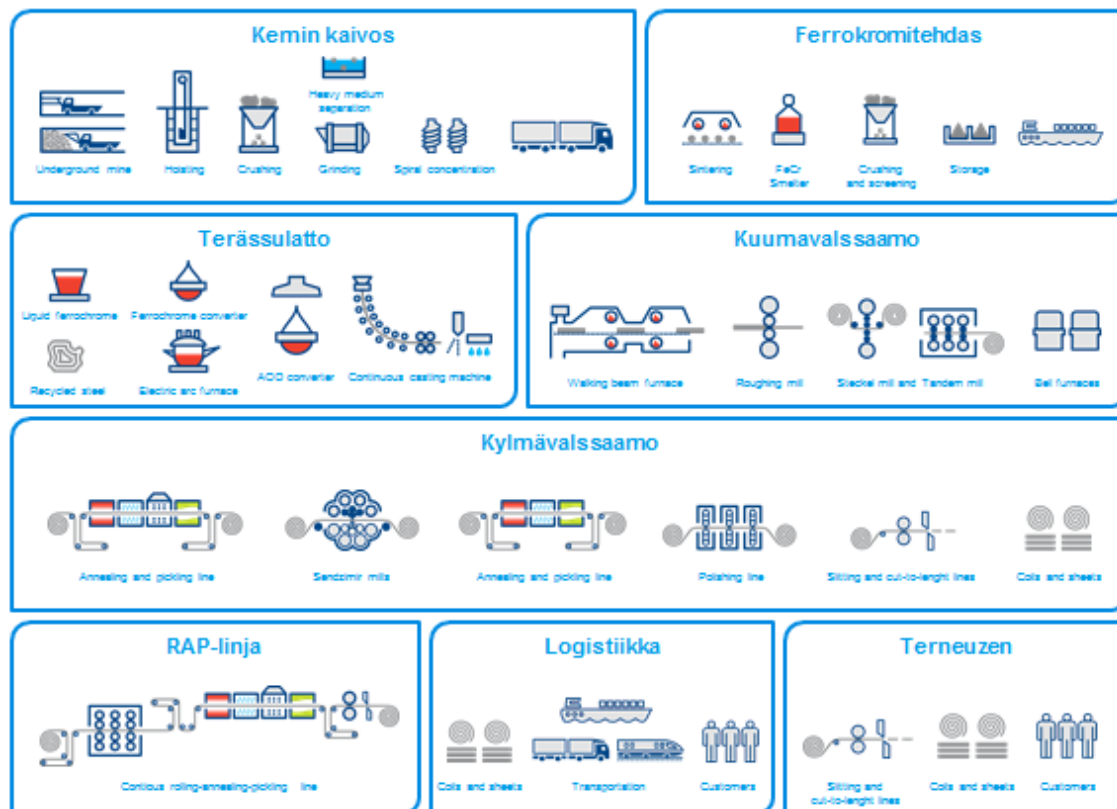
Outokumpu päätti kaksinkertaistaa ruostumattoman teräksen valmistuksen ja myydä muut toiminnot pois. Vuonna 2001 Outokumpu ja tunnettu ruostumattoman teräksen valmistaja Avesta Sheffield yhdistivät ruostumattomien terästen valmistuksen Avesta Polarit nimiseen yhtiöön. Yhdistymisen myötä Outokummusta tuli maailman toiseksi suurin ruostumattomien terästen valmistaja ja tuotevalikoimaan tuli enemmän erikoisteräksiä. Näihin aikoihin Outokummun ruostumattoman teräksen valmistuskapasiteetti oli 1,8 miljoonaa tonnia vuodessa. (Outokumpu 2016.)

Vuonna 2012 Outokumpu osti ThyssenKruppin ruostumattoman teräksen yksikön, Inoxum GmbH:n. Tämän johdosta Outokummun tuotevalikoima kasvoi entisestään ja siitä tuli ruostumattomien ja erikoisterästen valmistuksen markkinajohtaja. Tällä hetkellä Outokummulla on tuotantolaitoksia ympäri maailmaa. Merkittävimmät sijaitsevat Suomessa, Ruotsissa, Saksassa, Iso-Britanniassa, Meksikossa, Yhdysvalloissa ja Kiinassa. (Outokumpu 2016.)

Outokummun liiketoiminta on jaettu viiteen liiketoiminta-alueeseen. Coil EMEA kokoaa kaiken terästen valmistuksen ja myynnin Euroopassa, Lähi-idässä ja Afrikassa. Coil Americas hoitaa tuotannon ja myynnin Amerikoiden markkinoilla. APAC on Aasian ja Tyynenmeren alueella myyntiä ja jakelua. QuartoPlate on johtava kvarttolevyjen valmistaja ja Long Products on pitkien ruostumattomien tuotteiden valmistaja. Niitä ovat esimerkiksi tangot, betoniteräskset ja hitsatut putket. Näitä tuotteita valmistetaan Ruotsissa, Yhdysvalloissa ja Iso-Britanniassa. (Outokumpu 2016.)

2.1 Tornion tehtaiden tuotantoketju

Kuviossa 1 on esitetty Outokummun Tornion tehtaiden tuotantoketju.



Kuvio 1. Tornion tehtaiden tuotantoketju (Outokumpu 2016b)

Tornion tehtaiden tuotantoketju alkaa Kemin kromikaivoksesta, joka on EU:n ainoa. Malmi toimitetaan maan alla olevaan esimurskaamoon, mistä se nostetaan nostokuilun kautta maan pinnalle. Pinnalla kromimalmi murskataan uudelleen ja rikastetaan pala- ja hienorikasteiksi. Tämän jälkeen rikasteet kuljetetaan Tornion ferrokromitehtaalle. (Outokumpu 2016a.)

Kaivokselta saapuva hienorikaste sekoitetaan bentoniittiin ja koksiin ja syötetään pelletointirumpuun ferrokromitehtaalla. Tämän jälkeen pelletit sintrataan sintrausuunissa, minkä jälkeen ne ovat käyttövalmiita. Sulatusuuniin kromipelletit menevät annostelujärjestelmän kautta. Sulatusuunista tuleva ferrokromi laskeaan senkkaan ja kuona poistetaan. Tämän jälkeen sula ferrokromi siirretään terässulatolle. Ylimääräinen ferrokromisula, jota ei tarvita terässulatolla, jäähy-

tetään kiinteäksi. Kiinteä ferrokromi voidaan varastoida myöhempää käyttöä varten tai myydään ulkomaille. (Outokumpu 2016a.)

Terässulatolle tulleesta ferrokromisulasta poistetaan pii ja osa hiilestä hapen avulla puhaltamalla. Terässulaton käytetyin raaka-aine ruostumattoman teräksen valmistuksessa on kierrätysteräs, jonka osuus on jopa 90 %. Terässulatolla valokaariuuniin panostetaan kuivatettu kierrätysteräs ja muita raaka-aineita. Kun panos on sulanut ja kuona poistettu, sula sekoitetaan ferrokromisulaan ja siirretään senkassa AOD-konvertteriin, missä hiili ja rikki poistetaan. Sulaan myös lisätään seosaineita, jotta saavutetaan haluttu koostumus ruostumattomalle teräkselle. Tämän jälkeen sula siirretään senkassa senkka-asehalle, missä tehdään lopulliset seostukset ja sulan lämpötila ennen valua. Tämän jälkeen sula siirretään jatkuvavalukoneelle, missä sula teräs jäädytetään valun aikana halutun levyiseksi nauhaksi. Lopulta valettu nauha polttoleikataan oikeaan mittaan. (Outokumpu 2016a.)

Kuumavalssaamalla aihoiden lämpötila nostetaan askelpalkkiuunissa yli 1200 asteeseen. Tämän jälkeen ahiota valssataan edestakaisin etuvalssaimessa, minkä vuoksi aihio ohenee ja sen pituus kasvaa. Tätä kutsutaan esinauhaksi. Esinauhaa ohennetaan entisestään valssaamalla sitä Steckel- ja Tandem-valssaimilla. Valssausten jälkeen nauha kelataan rullaksi ja se siirretään jäähdytysaltaaseen. Jäähdytyksen jälkeen osa rullista siirretään kylmävalssaamolle, mutta niitä myydään myös mustana nauhana. Osa rullista siirretään kupuuneihin, joissa niiden mikrorakenne homogenisoidaan ja tämän jälkeen rullat kuljetetaan kylmävalssaamolle. (Outokumpu 2016a.)

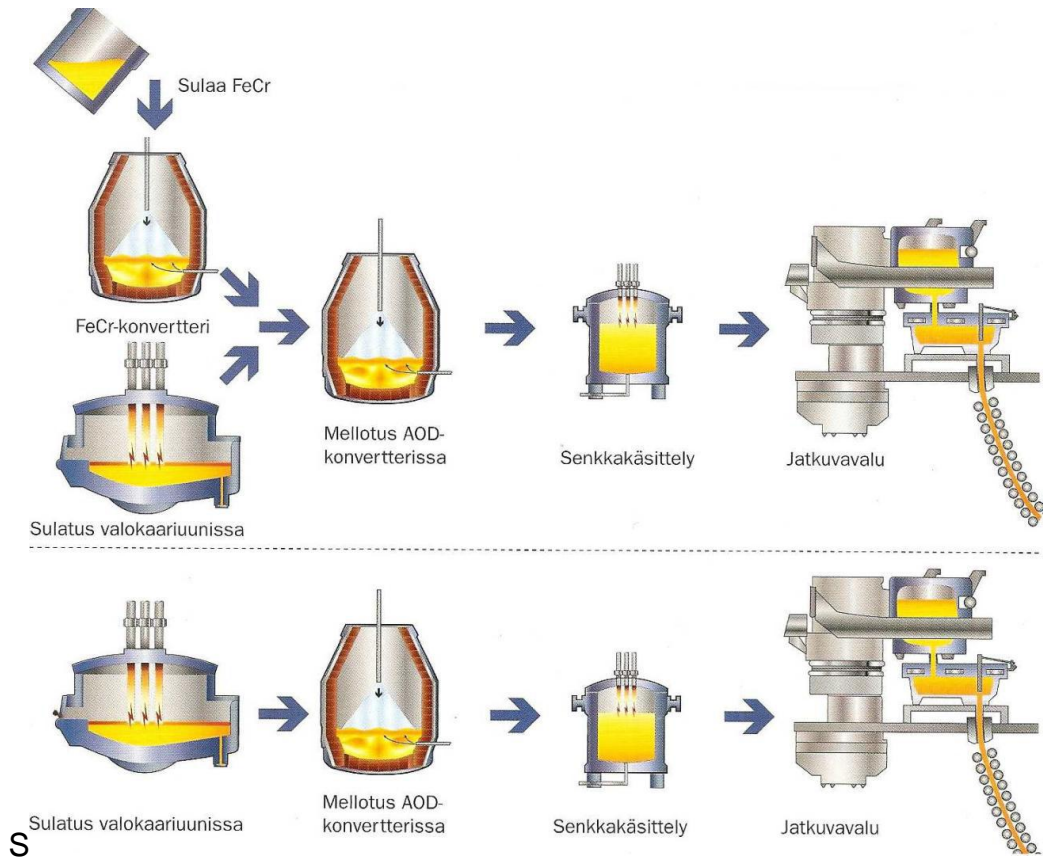
Kuumavalssauksen jälkeen nauha on mustan hilseen peitossa, joka poistetaan hehkutus- ja peittauslinjalla. Tällä linjalla myös palautetaan teräksen mekaaniset ominaisuudet, jolloin teräksen pinta muuttuu hopean harmaaksi. Tämän jälkeen teräsnauha kylmävalssataan haluttuun paksuuteen, jolloin nauha voi ohentua vielä yli 80 % lähtöpaksuudesta. Kylmävalssattu nauha hehkutetaan ja peitataan uudelleen terästen mekaanisten ominaisuuksien palauttamiseksi. Viimeistelyvalssaimella nauha kiillotetaan, jotta pinnanlaatu saadaan tarpeeksi hyväksi. Näin saadaan kiiltäviä ja tasomaisia ruostumattomia terästuotteita. Viimeisenä teräsnauhat siirretään halkaisu- ja katkaisulinjoille, missä ruostuma-

ton teräs leikataan asiakkaan haluamiin mittoihin, joko nauhoiksi tai levyiksi. Leikkauslinjalta tuotteet siirretään vihivaunuilla automaattiselle pakkausalueelle. (Outokumpu 2016a.)

RAP- linja (Rolling, Annealing, Pickling) on jatkuvatoiminen valssaus- hehkutus- ja peittäuslinja. Teräsnauha kulkee kahdesti linjan läpi. Ensimmäisellä kierroksella musta kuumanauha hehkutetaan ja peitataan. Toisella kierroksella nauha kylmävalssataan. Lopputuotteeksi saadaan kylmävalssattua ruostumatonta teräsnauhaa.(Outokumpu 2016a.)

2.2 Terässulaton tuotantoprosessi

Outokummun Tornion tehtaassa terässulaton linjoilla on 2 linjaa. Linja 1 on otettu käyttöön vuonna 1976 ja linja 2 vuonna 2002. Terässulaton tärkein raaka-aine on kierrätysteräs, joka kattaa lähes 90 % raaka-aineista. Muut käytettävät aineet ovat ferrokromi, nikkeli, molybdeeni ja koksi sekä prosessikaasuina happea, argonia, typpeä ja paineilmaa. Terässulaton tuotantokapasiteetti on 1,65 miljoonaa tonnia vuodessa. Kuviossa 2 on esiteltyä terässulaton prosessin vaiheet. (Outokummun sisäinen O'net.)



Kuvio 2. Terässulaton prosessivaiheet (Metallinjalostajat ry 2009, 40.)

2.2.1 Valokaariuuni

Valokaariuunissa on lieriömäinen matala uunikammio, jossa on tavallisesti emäksinen vuoraus. Holvin läpi menee kolme elektrodiä, joihin johdetaan sähkövirtaa. Elektrodien ja uunissa olevan romun välille syntyy valokaari, mistä syntyvä lämpöenergia alkaa sulattaa panosta. Jotta valokaari pysyisi mahdollisimman tehokkaana, on elektrodien kärjen ja panoksen välinen etäisyys pidettävä sopivana. Panostuksen ajaksi holvi ja elektrodit siirretään sivuun. Panostus tapahtuu siten, että holvin ollessa auki pohjasta avautuva romukori nostetaan uunin päälle ja korin pohja aukaistaan. (Teräskirja 2014, 39.)

2.2.2 Ferrokromikonvertteri

Ferrokromin korkea hiilipitoisuus on haittana ruostumattoman teräksen valmistuksessa. Tämän takia ferrokromi käsitellään vielä erityisessä konvertterissa, jotta hiilipitoisuus saadaan laskettua halutulle tasolle. Sulan ferrokromin hiili- ja

piipitoisuutta lasketaan käyttämällä happi- tai happi+ paineilmapuhallusta. Kaasut puhalletaan sulaan ferrokromikonvertterin sivussa olevien suuttimien sekä vesijäähdytetyn päältäpuhalluslanssin kautta. Tämän lisäksi konvertteriin panostetaan rautaromua jäähdytyksen lisäämiseksi. Konvertoinnin viimeiset vaiheet ovat näytteenotto ja kuonaus. Ferrokromi sekoitetaan valokaariuunissa sulatetun kierrätysulan kanssa AOD-konvertterille valmiiksi panokseksi. (Teräskirja 2014, 43.)

2.2.3 AOD-konvertteri

AOD-konvertteri (Argon-Oxygen-Decarburization) on tulenkestävillä tiilillä vuorattu astia, johon prosessikaasuja johdetaan seinämien läpi konvertterin alosaan asennettujen suuttimien kautta. Mellotuksen alussa kaasuja voidaan syöttää myös päältäpuhalluslanssilla. Mellotus tapahtuu hapen ja inertin kaasun seoksella. Mellotuksen lisäksi käsittelyvaiheisiin kuuluvat pelkistys ja rikinpoisto. Prosessin lopussa kuonaan hapettunut kromi pelkistetään piillä takaisin terässulaan. Pelkistuksen jälkeen sulan koostumusta voidaan vielä tarkentaa pienillä seostuksilla. Tämän jälkeen sula on valmiina siirrettäväksi senkan käsittelyasemalle. (Teräskirja 2014, 40.)

2.2.4 Senkkakäsittely

Senkkakäsittelyn tavoitteena on tasata sulan lämpö ja viimeistellä sen koostumus valua varten. Senkkaan seostetaan eri seosaineita langansyöttömenetelmällä. Lanka on ohutseinämäistä teräsputkea, joka on täytetty jauhemaisella seosaineella. Tavoitteena on myös poistaa terässulasta rikkiä ja happea sekä muuntaa epämetallisten sulkeumien koostumusta ja rakennetta. (Teräskirja 2014, 45.)

2.2.5 Jatkuvalalu

Jatkuvalalussa terässula lasketaan senkasta välialtaan kautta vesijäähdytteeseen kokilliin. Kokilliin laskettavan sulan pinta jähmettyy ja nauha alkaa saada haluttua muotoa. Kokillin voiteluaineena ja lämmön tasaamiseen käytetään va-

lupulveria tai öljyä. Lopullinen jähmettyminen tapahtuu kokillin alapuolella olevissa toisiojäähdytysvyöhykkeissä. Jäähdytys tapahtuu aihion pintaa ruiskutettavalla vedellä tai vesisuihkulla ja ilmalla. Jäähdytyksen jälkeen valunauha polttoleikataan haluttuun mittaun. (Teräskirja 2014, 48.)

3 VALOKAARIUUNI 2

Terässulaton 2- linjan valokaariuuni otettiin käyttöön vuonna 2002. Sen toimitti Voest Alpine Industrieanlagenbau/Fuchs (VAI). VAI tunnetaan paremmin nykyään nimellä Siemens VAI metals Technologies GmbH. VKU2:n tärkein tehtävä on sulattaa romupanos mahdollisimman nopeasti AOD:lle. Uunin päämitat ovat halkaisija 8160 mm ja korkeus 5500 mm. VKU2:n nimelliskapasiteetti on 140 tonnia ja panostustilavuus on noin 200m³. (Outokummun sisäinen O'net)

Valokaariuuni 2 koostuu tulenkestävillä tiilillä vuoratusta padasta, tulenkestävästä pohjasta ja vaipasta, joka on jäähdytetty vesipaneeleilla. Vaippa koostuu ylä- ja alavaipasta, joista alavaippa on vuorattu magnesiahiilitiilillä (MgO-C). Vuorauksia ja uunin kuntoa seurataan jatkuvasti ja tarvittaessa kuluneisiin kohtiin ruiskutetaan MgO-pohjaista massaa. Uuni on myös varustettu kääntyvällä holvilla ja kippauslaitteistolla. VKU2:lla ei ole erillistä kuonaluukkuja, vaan kuona kipataan kaatonokan kautta (Kuva 1), joka sijaitsee kiinteästi uunin padassa. (Outokummun sisäinen O'net)



Kuva 1. Kaatoaukko valokaariuunissa (Vallo 2016)

Sulatukseen käytettävä sähkövirta ajetaan romuteräkseen kolmen 710mm halkaisijaltaan olevan grafiittielektrodin kautta, mitä kannattelee vesijäähdytetyt elektrodiarmit. Sähkövirta synnyttää romun ja elektrodin välille valokaaren, mikä säteilemä lämpöenergia sulattaa romuteräksen sulaksi. Valokaaren teho ja pituus riippuu jännitteestä ja virrasta. Valokaariuunin tehokkuus on hyvä, mutta suurilla tehoilla ajettaessa vuorausten kuluminen muodostuu ongelmaksi, varsinkin sulatuksen loppupuolella. (Jellinghaus 1989, 30; Juntunen, Pitkälä & Kupari 2004, 15-16)

3.1 Valokaariuuniprosessi

Valokaariuuniprosessi alkaa romupihalta, missä nosturin kuljettaja lastaa romukorit erillisen panoslaskelman ja täyttöohjeiden mukaisesti. Lastattu materiaali riippuu siitä, mitä teräslaatuja aiotaan valmistaa. Lastaus tapahtuu sen verran etuajassa, että tarvittaessa romut ehditään kuivattaa ennen uuniin panostusta. Tämän jälkeen korit ajetaan dieselkäyttöisillä junilla uunihalliin. Panostaja nostaa romukorin uunin tuntumaan. Holvin auettua panostaja ajaa korin nosturilla uunin päälle koordinaattien mukaan ja tyhjentää sen uuniin avaamalla romukorin pohjan. (Outokummun sisäinen O'net.)

Holvi laitetaan kiinni ja aloitetaan sulatus. Porausvaiheessa elektrodit ajetaan pienellä jänniteportaalla tarvittavan syvälle uunissa olevaan romupatjaan. Porautumisvaiheen jälkeen uunin pohjalle alkaa muodostua sulaa. Sulatusvaiheessa nostetaan uunin jänniteporrasta täyteen tehoon, millä ajetaan mahdollisimman pitkään. Maksimiteholla valokaari on pitkä, mikä sulattaa romupanosta tehokkaasti. (Karassaari 2008, 16.)

Panoksen sulaminen alkaa uunin alaosassa elektrodien läheisyydessä, mistä sulaminen siirtyy uunin elektrodien läheisyydestä ulospäin ja vähitellen kohti panoksen yläreunoja. Sulamisen edetessä jänniteporrasta lähdetään laskemaan asteittain, koska isoja jännitteitä käytettäessä valokaaren lämpörasitus uunin seinämille kasvaa, jos uunin seinämillä ei ole romua suojana. (Karppanen 2015, 28.)



Kuva 2. Teräsken sulatus käynnissä (Vallo 2016)

Kun panos on kokonaan sulanut, siirrytään lämmönostovaiheeseen. Jänniteporrasta pienennetään ja elektrodit ajetaan hyvin lähellä sulaa (kuva 2), joten valokaari on lyhyt. Tällä varmistetaan lämpöenergian tehokas siirtyminen sulaaan. Kun lämmönostovaiheen jälkeen saavutetaan tavoitelämpötila, sula kaadetaan uunista siirtosenkkaan, joka kuljetetaan AOD:lle. (Karppanen 2015, 29.)

3.2 Energian käyttö valokaariuunissa

Valokaariuunissa käytettävä energia koostuu suurimmaksi osaksi elektrodeista johdetusta sähköenergiasta. Sulatuksessa on myös osana kemiallista energiaa, joka tulee uunissa palavista raaka-aineista. Tämän lisäksi valokaariuuni 2:lla on kylkipolttimet, joista puhalletaan nestekaasua ja happea sulatuksen aikana. Polttimilta tulevaa energiaa käytetään korvaamaan sähköenergiaa.

Valokaariuunin energiatase voidaan muodostaa termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön eli energian säilymisen lain mukaan. Tämän perusteella energiaa voi esiintyä eri muodoissa ja sitä voi muuttua muodosta toiseen, mutta sitä ei voi syntyä tai hävitä itsekseen. (Karassaari 2008, 45.)

$$Energia\ sisään = Energia\ ulos + Energiahäviöt \quad (1)$$

Yhtälöstä (1) voidaan johtaa valokaariuunin energiataseyhtälö, joka kuvaa siihen sisälle menevää sekä sieltä pois tulevaa energiaa.

$$E_{total} = \eta_{el} \times E_{el} + \sum E_{chem} = E_{steel} + E_{slag} + E_{offgas} + E_{cool} + E_{other} \quad (2)$$

missä E_{total} on valokaariuunin käyttämä kokonaisenergia (kWh)

η_{el} on korkeajännitejärjestelmän hyötysuhde

E_{el} on käytetty sähköenergia (kWh)

$\sum E_{chem}$ on kemiallisten reaktioiden lämpösisältö (kWh)

E_{steel} on teräksen lämpösisältö (kWh)

E_{slag} on kuonan lämpösisältö (kWh)

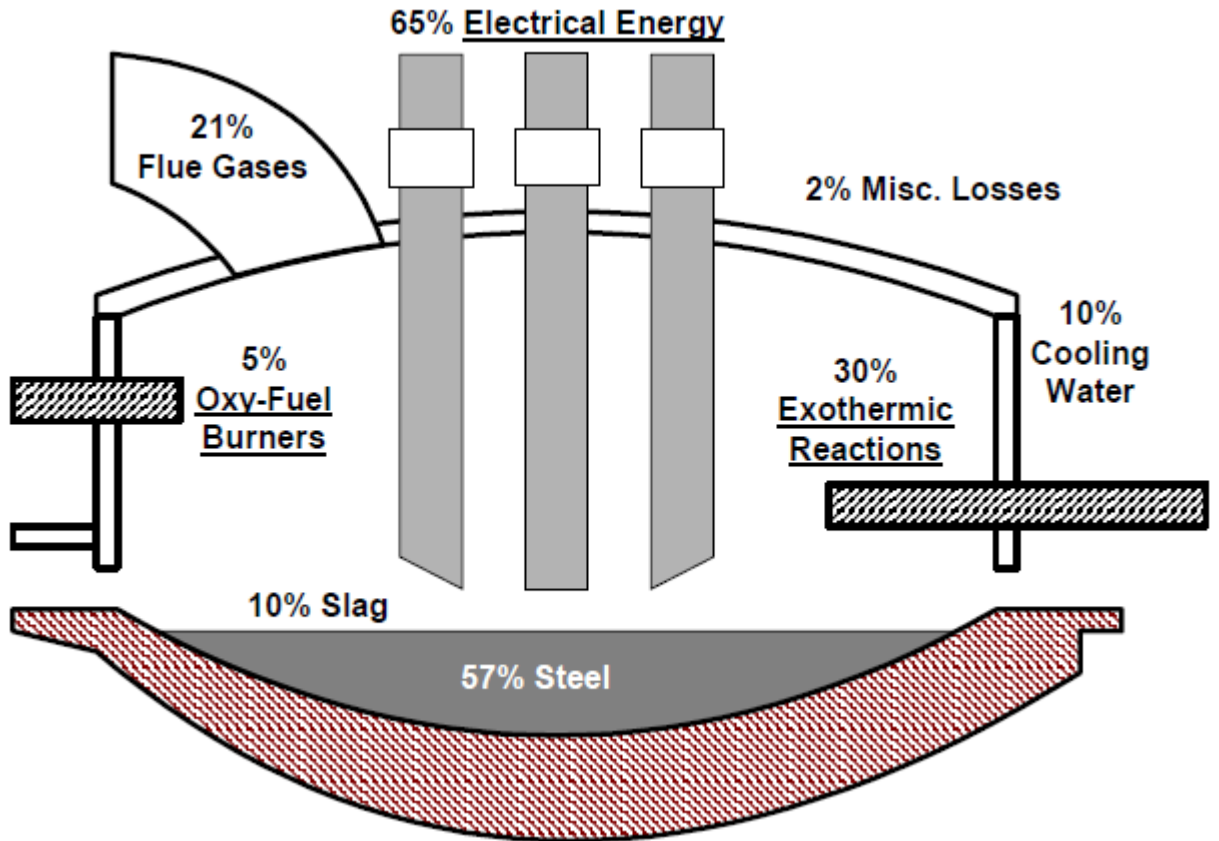
E_{offgas} on savukaasujen lämpösisältö (kWh)

E_{cool} on jäädytykseen siirtyvä lämpösisältö (kWh)

E_{other} on muut lämpöhäviöt (kWh)

(Karassaari 2008, 45)

Kuviossa 3 näytetään esimerkki siitä, miten uuniin menevä energia ja sieltä pois tuleva energia jakautuu. Hyötyenergiaksi teräkseen sitoutuu lämpöenergiaa 57 % kokonaisenergiasta.



Kuvio 3. Valokaariuunin energiatase (Wilson, Kan & Mirle 1998, 2)

Kuten kuvista 3 voidaan huomata, 65 % energiasta tulee elektrodien kautta, 30 % kemiallisena energiana ja 5 % polttimien kautta. Kuvasta myös nähdään energiahäviöt. Kokonaisuudessaan energiahäviötä kokonaisenergiasta menee 43 %. Suurin osa 21 % häviöistä tapahtuu savukaasujen kautta, 10 % sitoutuu kuonaan, 10 % poistuu jäähdytysvesien kautta ja 2 % muina häviöinä. Muita energiahäviöitä ovat esimerkiksi uunin ulkopintoihin ja vuoraukseen johtuva sekä panostuksen aikana säteilevä lämpöenergia. (Wilson, Kan & Mirle 1998, 2.)

Valokaariuunin jännitettä säädetään 18 portaan jännitteensäätöjärjestelmällä nimeltään DynArCos. Järjestelmä pyrkii käyttämään aina suurinta mahdollista jänniteporrasta, kuitenkin vaurioittamatta uunin vuorauksia. Järjestelmä laskee sisään menevän ja ulostulevan veden lämpötilaeroja sekä muutosnopeutta paneelikohtaisesti. Näihin tietoihin elektrodien säätö perustuu. (Kunelius 2014.)

Kemiallista energiaa valokaariuuniin syötetään kylkipolttimien kautta nestekaasuna ja happena. Sitä syntyy myös uuniin panostettujen muiden materiaalien

esimerkiksi piin (Si), alumiinin (Al), titaanin (Ti) ja kromin (Cr) eksotermisten reaktioiden kautta. Eksotermisten reaktioiden kautta vapautuva lämpömäärä riippuu pitkälti panoksen koostumuksesta sekä happipuhalluksesta. Myös vuotoilman määrä voi vaikuttaa reaktioihin. (Pfeifer 2005.)

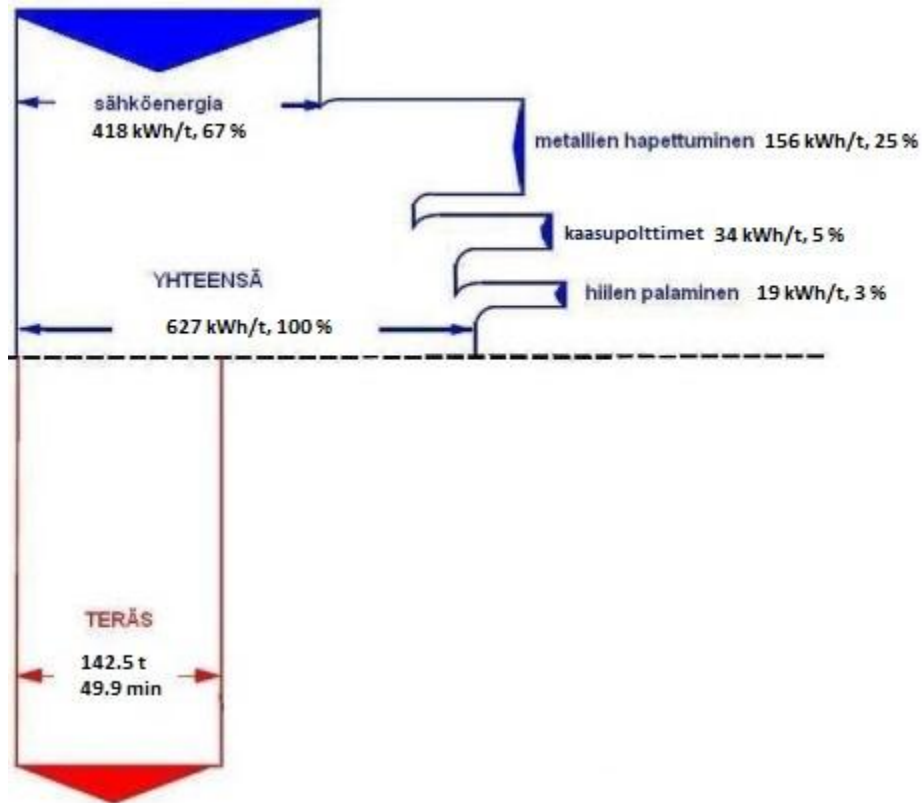
Taulukko 1. Valukaariuunissa lämpöä vapauttavat kemialliset reaktiot (Pfeifer 2005)

Chemical reactions in the steel melt				Reaction enthalpy	
Si	+	O ₂	→ SiO ₂	- 8.94 kWh/kg _{Si}	- 11.20 kWh/m ³ O ₂
Mn	+	0.5 O ₂	→ MnO	- 1.93 kWh/kg _{Mn}	- 9.48 kWh/m ³ O ₂
2 Cr	+	1.5 O ₂	→ Cr ₂ O ₃	- 3.05 kWh/kg _{Cr}	- 9.42 kWh/m ³ O ₂
2 Fe	+	1.5 O ₂	→ Fe ₂ O ₃	- 2.05 kWh/kg _{Fe}	- 6.80 kWh/m ³ O ₂
Fe	+	0.5 O ₂	→ FeO	- 1.32 kWh/kg _{Fe}	- 6.58 kWh/m ³ O ₂
C	+	0.5 O ₂	→ CO	- 2.55 kWh/kg _C	- 2.73 kWh/m ³ O ₂
2 Al	+	1.5 O ₂	→ Al ₂ O ₃	- 5.29 kWh/kg _{Al}	- 13.84 kWh/m ³ O ₂
Mo	+	O ₂	→ MoO ₂	- 1.70 kWh/kg _{Mo}	- 7.29 kWh/m ³ O ₂
S	+	O ₂	→ SO ₂	- 2.75 kWh/kg _S	- 3.94 kWh/m ³ O ₂
2 P	+	2.5 O ₂	→ P ₂ O ₅	- 5.54 kWh/kg _P	- 8.58 kWh/m ³ O ₂
Chemical reactions in the gas phase				Reaction enthalpy	
C	+	O ₂	→ CO ₂	- 9.10 kWh/kg _C	- 4.88 kWh/m ³ O ₂
CO	+	0.5 O ₂	→ CO ₂		- 7.01 kWh/m ³ O ₂
H ₂	+	0.5 O ₂	→ H ₂ O		- 5.99 kWh/m ³ O ₂

Kuten taulukosta 1 voidaan todeta, suurimmat lämpöä vapauttavat reaktiot valokaariuunissa syntyvät piin ja alumiinin hapettumisesta. Myös hiilen palamisesta saadaan runsaasti lämpöenergiaa.

3.3 VKU2 energiatase

Kuviossa 4 valokaariuuni 2:n vuonna 2015 laskettu energiatase, kun kylkipolttimet ovat olleet käytössä. Energiataseen laskennassa on käytetty seitsemän 18/8- ruostumattoman sulan tietoja. (Karppanen 2015, 40.)



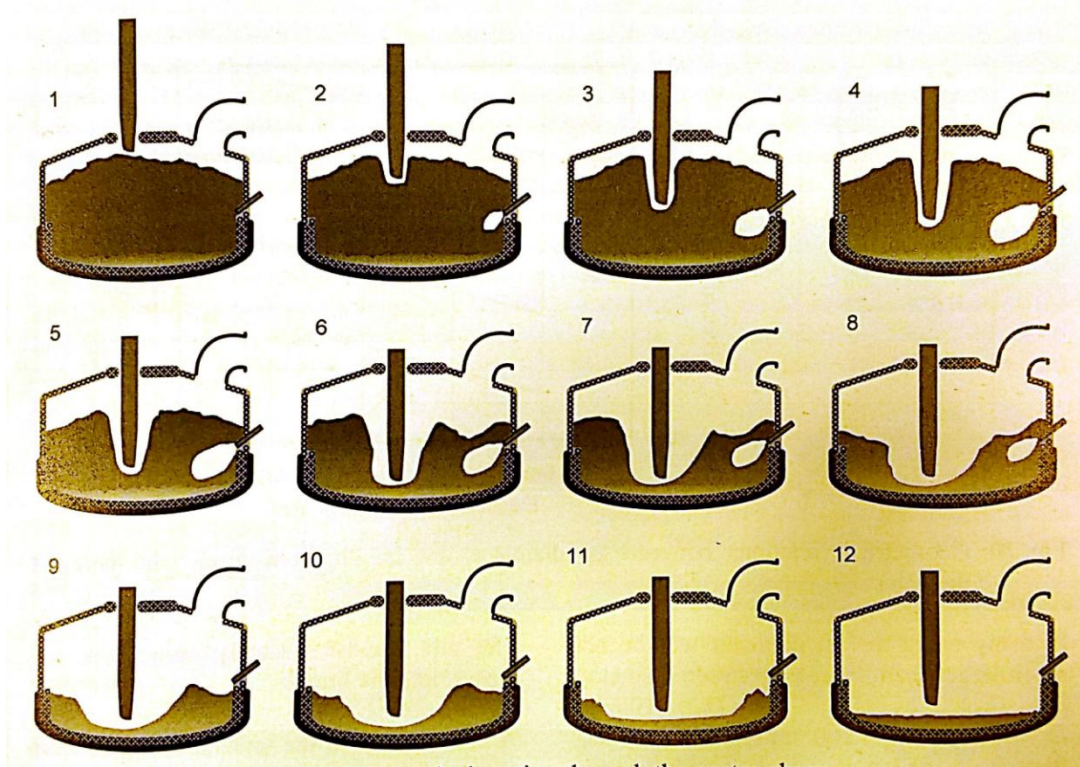
Kuvio 4. Valokaariuuni 2:n energiatase (Karppanen 2015, 40)

Kuviosta voidaan todeta, että romun sulattamiseen tarvittava energia valokaariuuni 2:lla on 627 kWh/t, mistä sähköenergiaa on 67 %.

3.4 Kierrätysteräksen sulaminen valokaariuunissa

Kuva 3 esittää kierrätysteräksen sulamista valokaariuunissa vaiheittain.

sula



Kuva 3. Romun sulaminen valokaariuunissa (Bowman & Kruger 2009, 155)

Kuvasta 3 nähdään tyypillinen romun käyttäytyminen sitä sulattaessa valokaariuunissa, missä elektrodit ovat keskellä ja kylkipolttimet on asennettu ns. ”cold spotteihin”. Ensimmäiset 5-6 kuvaa esittää romun sulamista porautumisvaiheessa. Kuvasta 7 alkaa sulatusvaihe. Romun sulaminen uunin leveyssuunnassa nopeutuu ja osa kuonan muodostajista on sulanut. (Bowman & Kruger 2009, 154-156.)

Valokaaren aiheuttama suihku roiskii sulaa ja kuonaa uunin laidoilla olevien romujen päälle ja osittain jäähdytyspaneelleille. Valokaari myös painaa sulaa ja romuja kohti laitoja, mikä edesauttaa laidoilla olevien romujen pehmenemistä ja sulamista. Laidalla olevat romukasat laskeutuvat hitaasti sulaan tai joskus romahtavat. Romahtaminen voi aiheuttaa elektrodin katkeamisen, jos romuteräs

romahtaa liian korkealta tai se on liian painavaa esimerkkinä paalit ja rullat.
(Bowman & Kruger 2009, 156-157.)

4 ROMUKORIN PANOSTUS

Kuten aiemmin kävi ilmi, panostaja nostaa panostusnosturilla romukorin uunin tuntumaan ja holvin avauduttua kori ajetaan oikeisiin koordinaatteihin. Romukorin pohja avataan laukaisukoukun avulla, minkä seurauksena romut tippuvat uuniin (Kuva 4). Panostuksen jälkeen kori ajetaan pois uunin päältä ja laukaisuelementti lasketaan takaisin korissa olevaan telineeseen. Tämän jälkeen romukori toimitetaan takaisin lastaukseen. (Outokummun sisäinen O'net)

Ennen korin panostusta ja varsinkin ennen toisen korin panostusta romujen kuivuus pitää varmistaa. Romujen mukana uuniin voi mennä vettä, lunta, jäätä tai huurretta, mikä voi uuniin joutuessaan aiheuttaa räjähdysten. Panostaja hoitaa korin laukaisun suojassa valvomosta käsin, eikä uunihallissa saa olla ketään työskentelemässä panostuksen aikana. (Outokummun sisäinen O'net)



Kuva 4. Valokaariuunin panostus(Outokummun sisäinen O'net, 2016)

Ajoittain uunia panostaessa varsinkin toisella korilla voi tulla kukkua. Tämä tarkoittaa sitä, ettei ensimmäinen panos ole sulanut tarpeeksi, kun toinen kori panostetaan uuniin. Tämän seurauksena uunissa on liikaa materiaalia eikä holvi mahdu menemään kiinni. Panostaja painaa korilla uunissa olevaa romukasaa

niin tiiviiksi, että holvi mahtuu menemään paikalleen ja sulatus voidaan aloittaa. Tämä viivästyttää toisen korin sulatuksen aloittamista 2-30 minuutilla. (Outo-kummun sisäinen O'net; VKU2 panostaja 2016)

Kukkujen syntyyn voidaan vaikuttaa myös romukorin nopeammalla avaamisella uunia panostaessa. Nopeasti avatessa romut levittyvät tasaisemmin uuniin, joten kukkujen mahdollisuus on pienempi. Myös panostuskorkeudella voidaan vaikuttaa asiaan. Kummassakin tapauksessa uunia panostaessa romuja voi tippua uunin ohi uunin tasolle. (Vallo 2016)

4.1 Kierrätysromu

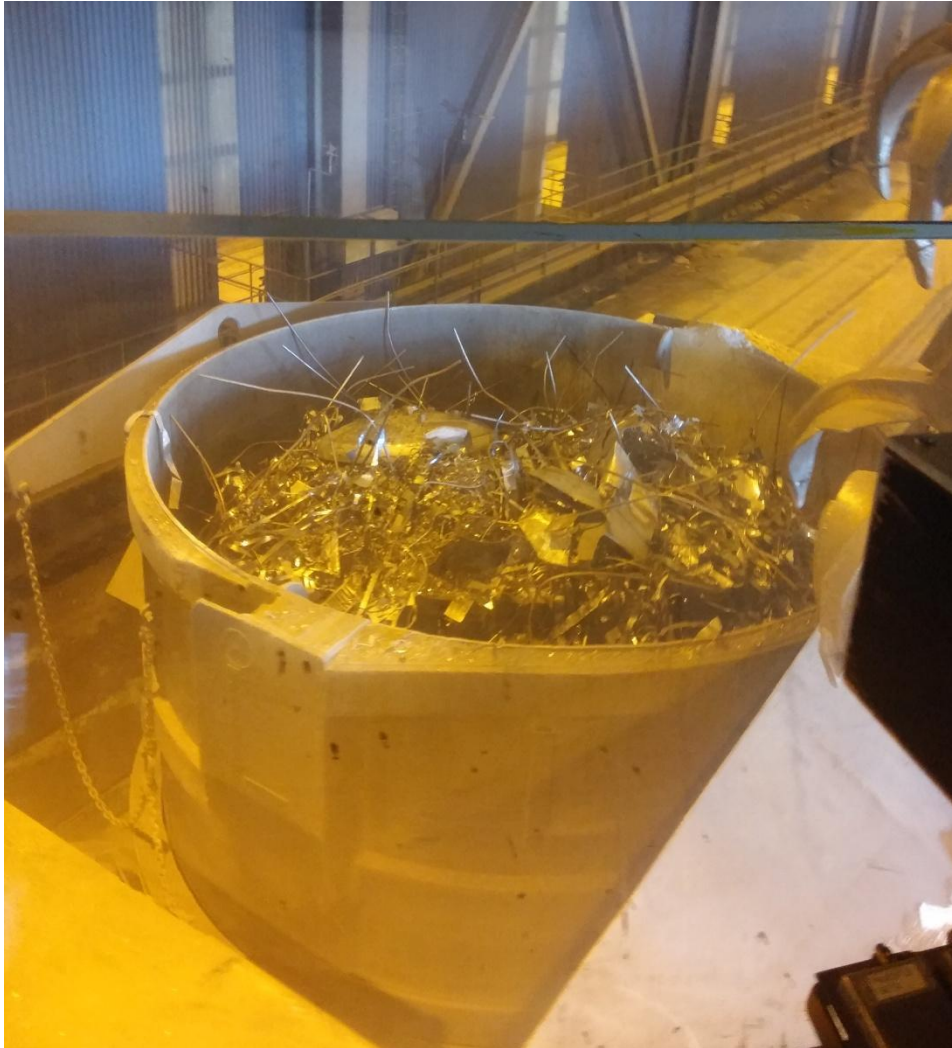
Sulatukseen käytettävistä materiaaleista tärkein ja määrältään suurin raaka-aine on kierrätysteräs. Valokaariuuni 2:lla käytettävät kierrätysteräkset voidaan karkeasti jakaa neljään päätyyppiin: hapon kestäviin ostokierrätysteräksiin, ruostumattomiin ostokierrätysteräksiin sekä tehtaalta kierrätyksenä palautuneisiin hapon kestäviin ja ruostumattomiin teräksiin. Kierrätysteräksen kemiallinen sisältö vaihtelee myös suuresti. (Pohto 2004, 7-12)

Romuteräksen tiheys vaihtelee erittäin paljon välillä $0,2-1,4 \text{ t/m}^3$, mikä vaikuttaa sulatukseen tarvittavien romukorien lukumäärään. Yhden sulatuksen korimäärät vaihtelevat 1- 4 välillä, mutta 2:n korin sulatukset ovat kaikkein yleisimpiä. Tavoitteena kuitenkin on täyttää ensimmäinen kori mahdollisimman raskaalla ja tiiviillä romuteräksellä, jotta sulatukseen tarvittava korimäärä saadaan minimoitua. (Pohto 2004, 7-12)

4.2 Romukorin täyttöaste

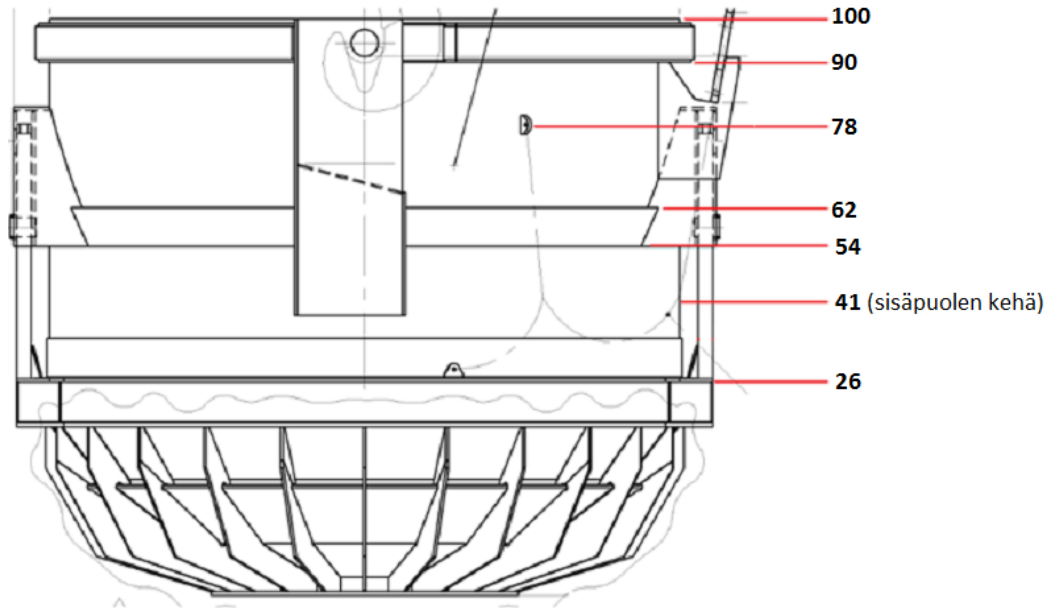
Romun tiheyden selvittämiseen tarvitaan romukorien prosentuaalisia täyttöasteita. Valokaariuunilla ei ole aikaisemmin kerätty korintäyttödataa, vaikka siihen olisi ollut mahdollisuus Qmato järjestelmän puolesta. Täyttöasteen tarkastamisen ja kirjaamisen voi suorittaa joko romunosturin kuljettaja tai panostaja. Tässä työssä päädyttiin paremman näkyvyyden kannalta siihen, että nosturinkuljettaja

merkitsee korien täyttöasteet silmämääräisellä tarkastelulla Qmatoon. Kirjaaminen suoritetaan heti korin lastaamisen jälkeen.



Kuva 5. Romukorin täyttö

Täyttöasteiden tarkka tulkinta pelkästään silmämääräisesti on haastavaa, koska romujen pintataso joudutaan katsomaan yläviistosta romukoriin nähden ja pinta on usein kupera (Kuva 5). Kuviossa 5 on esitetty romukorin täyttöasteen tarkastelua helpottava ohjekuva, mistä täyttöastetta voi arvioida romukorin muotojen ja pintojen perusteella. Täyttöohje tähän työhön on tehty laskemalla romukorin tilavuuden prosentuaalisia osuuksia kokonaistilavuudesta. Tarvittavat mitat on saatu romukorin teknisistä piirustuksista.



Kuvio 5. Romukorin täyttöohje

Tämän ohjeen perusteella romunlastaaja voi helpommin määrittää täyttöasteen romukorille. Lastauksen jälkeen romujen pintataso pitää ajatella tasaisena. Ohjekuvasta katsotaan ulkoisten merkkien perusteella, millä kohdalla romujen pinta on ja lukema merkitään Qmato järjestelmään. Romukorin ylimmän kauluksen leveyttä voi käyttää havainnoimaan noin 10 % ero romutaso pinnassa.

Romukorin täyttöasteita kerättiin VKU 2:n E-vuoron romunlastaajan toimesta 20.02.2016 - 22.03.2016 aikana. Täyttöasteiden kirjaamiseen valittiin vain yksi vuoro, koska romukorin pintatason tarkastelu on silmämääräistä. Näin pystyttiin minimoimaan henkilöistä riippuva muuttuja. Työssä käytettävää 2:n korin sulatuksen täyttöastedataa saatiin kerättyä tuona ajankohtana 13:n sulatuksen verran. 2:n korin sulatuksia tuli enemmän, mutta niistä jouduttiin karsimaan pois todennäköiset virheelliset täyttöastemerkinnät ja erittäin pienet panostukset, mitkä olisivat mahtuneet uuniin jo porausvaiheessa.

5 2. KORIN PANOSTUKSEN AJANKOHTA

Tällä hetkellä 2. korin panostuksen ajankohta katsotaan kummankin korin romujen laadun mukaan. Tämän perusteella ajetaan energiaa siihen asti, että sulattajan mielestä ensimmäinen romupanos on sulanut ja uunissa on tarpeeksi tilaa seuraavalle korilliselle. Jos toisen korin panostuksessa tulee kukkua, seuraavan sulatuksen ensimmäiseen koriin ajetaan vähän enemmän sähköenergiaa esimerkiksi 20kwh/t.

Toisaalta uunissa voi ensimmäisen korin sulatuksen jälkeen näyttää myös siltä, että toinen kori olisi voitu panostaa aikaisemmin. Seuraavalla sulatuksella toinen kori panostetaan hieman aikaisemmin ja ajetaan sulaan hieman vähemmän sähköenergiaa. Tähän tietenkin vaikuttaa aina seuraavien romujen laatu sekä muutokset romukorien täyttöasteessa. Pitkälti tämä toimintatapa on tullut kokemuksen ja ammattitaidon myötä. (VKU2 sulattaja, 2016)

Optimaalisin ajankohta toisen korin panostukselle olisi mahdollisimman pian ensimmäisen panostuksen jälkeen kuitenkin siten, että porausvaihe on saatu suoritettua. Ensimmäisen korin romujen tilavuus pitää olla muuttunut uunissa tarpeeksi, jotta toinen kori mahtuu uuniin suoraan. Tässä tapauksessa uuniin ei ajeta turhaan liikaa energiaa ja uunin vuoraukset saavat tarvittavan romupatjan suojakseen, minkä seurauksena uunia voidaan taas ajaa maksimi jänniteportilla.

5.1 Ajankohdan määrittäminen

Valokaariuuniin panostettavan toisen korin ajankohdan määrittäminen vaatii tietoa siitä, onko uunissa olevan romun tilavuus muuttunut tarpeeksi seuraavaksi panostettavan korin romujen vaatimaan tilavuuteen nähden. Suoranainen romun tilavuuden mittaaminen esimerkiksi uunissa olevien romujen pintatason tarkastelulla on hankalaa, uunin haastavan ympäristön ja olosuhteiden vuoksi.

Kuten aiemmin on todettu kuvassa 4 kierrätysteräksen pinta uunissa ei ole tasainen, eivätkä romut sulata tasaisesti joka puolella uunia.

Tähän opinnäytetyöhön panostusajankohtaa lähdetään määrittämään siten, että lasketaan toisen korin panostukseen vaadittavaa tilavuutta valokaariuunissa ja ensimmäisen korin romujen tilavuuden muutokseen tarvittava energia.

Tilavuuden muutokseen tarvittava energia

$$E_{romu} = \frac{\rho_{romu} \times V_{tarve}}{E_{teräs}} \quad (3)$$

missä	ρ_{romu}	on romun tiheys(tKg/m ³)
	V_{tarve}	on panostukseen tarvittava tilavuus (m ³)
	E_{romu}	on sulatukseen tarvittava energia(kWh)
	$E_{teräs}$	on teräksen sulattamiseen tarvittava energia (kWh/t)

mikä lähdetään ratkaisemaan siten, että ensimmäisenä pitää selvittää romun tiheys.

$$\rho_{romu} = \frac{m_{romu}}{V_{romu}} \quad (4)$$

missä	ρ_{romu}	on romun tiheys(tKg/m ³)
	m_{romu}	on romun massa (tKg)
	V_{romu}	on romun tilavuus(m ³)

$$V_{romu} = \frac{1.Korin\ täyttöaste \times V_{kori}}{100} \quad (5)$$

missä	V_{romu}	on romun tilavuus(m ³)
	1. korin täyttöaste	on 1. korin täyttöaste (%)
	V_{kori}	on korin tilavuus (m ³)

Seuraavaksi pitää selvittää valokaariuuniin tarvittava tilavuus

$$V_{tarve} = V_{romu\ 2} + V_{kori} - V_{uuni} \quad (6)$$

missä V_{tarve} on panostukseen tarvittava tilavuus (m³)

$V_{romu\ 2}$ on 2. romun tilavuus (m³)

V_{kori} on korin tilavuus (m³)

V_{uuni} on uunin tilavuus (m³)

mistä
$$V_{romu\ 2} = \frac{2.Korin\ täyttöaste \times V_{kori}}{100\%} \quad (7)$$

missä $V_{romu\ 2}$ on 2. romun tilavuus (m³)

$2.Korin\ täyttöaste$ on 2. korin täyttöaste

V_{kori} on korin tilavuus (m³)

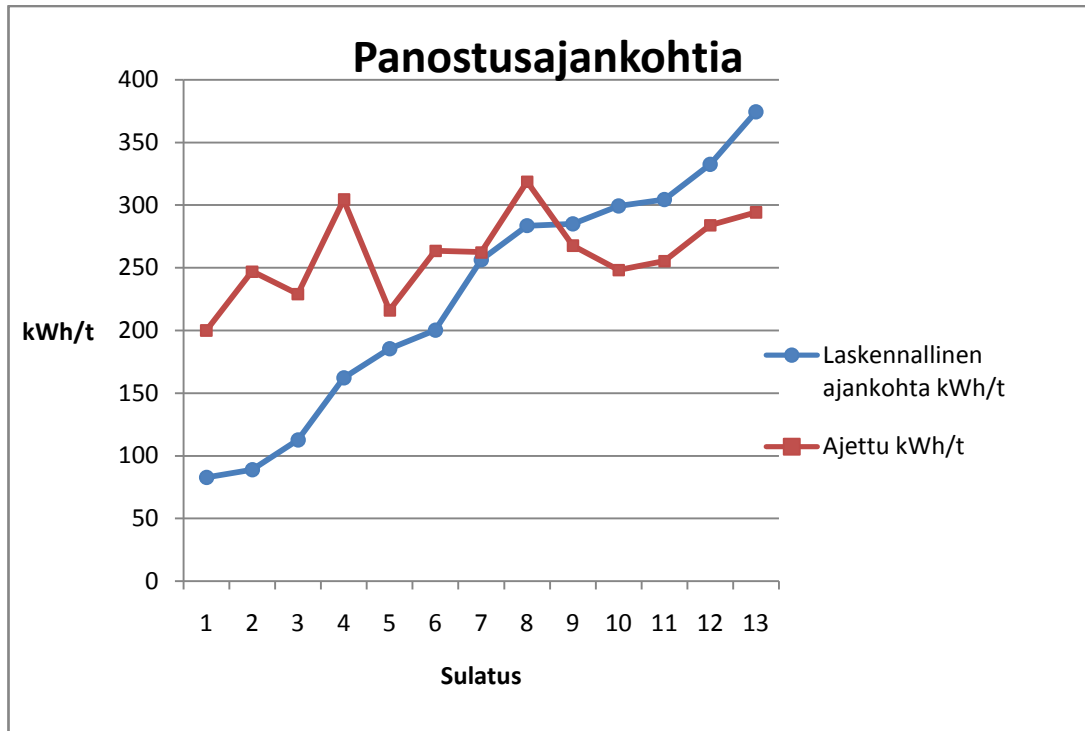
Näistä tiedoista saadaan tehtyä kaava (3)

$$E_{romu} = \frac{\rho_{romu} \times V_{tarve}}{E_{teräs}} \quad (3)$$

Teräksen sulattamiseen tarvittava kokonaisenergiämäärä VKU 2:lla saadaan 2015 vuonna tehdystä energiatase kaaviosta (kuvio 4). Tästä saadaan myös selville sähköenergian prosentuaalinen osuus kokonaisenergiämäärästä.

5.2 Panostusajankohtien tarkastelua

Kuviosta 6 nähdään täyttöastejaksolta olevien sulatusten laskennallisen panostusajankohdan ja ajetun ajankohdan eroja. Panostusajankohtien vertailtavat luvut ovat uunilla ajettu sähköenergiämäärä (kWh/t) ja sähköenergian määrän osuus romuun tarvittavasta kokonaisenergiasta (kuvio 4.).

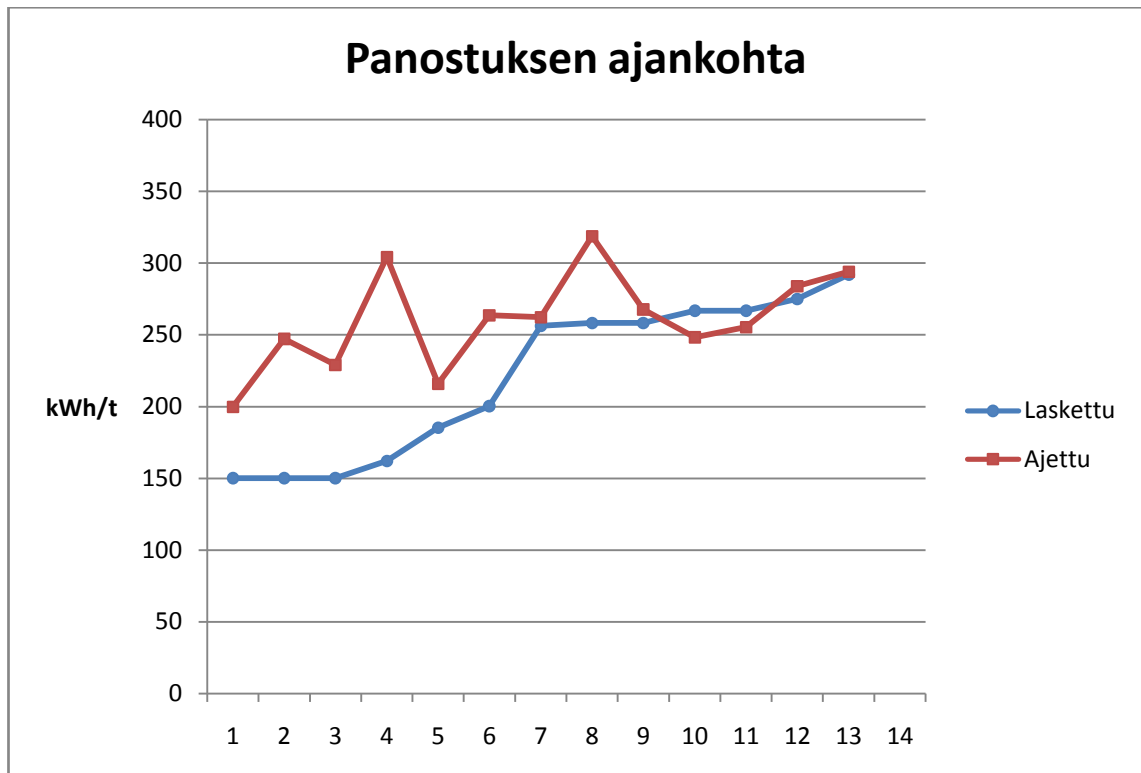


Kuvio 6. Panostusajankohta vertailua

Laskennallinen panostusajankohdan vertailu käytetyn sähköenergian ja romun tilavuuden muutoksen mukaan toimii tiettyyn pisteeseen asti. Kaaviosta voidaan nähdä, että noin 250kWh/t:n kohdalla kierrätysteräksen tilavuuden muutosnopeus kasvaa, joten romuun ajettu sähköenergian määrä vähenee laskennalliseen verrattuna. (Vallo 2016). Tämän voidaan olettaa johtuvan uunissa tapahtuvien kemiallisten reaktioiden tuottaman energian kasvusta sekä terässulaan sitoutuneen energian johtumisesta kierrätysteräkseen. Näin sähköenergian osuus tiettyyn romun tilavuuden muutokseen vähenee.

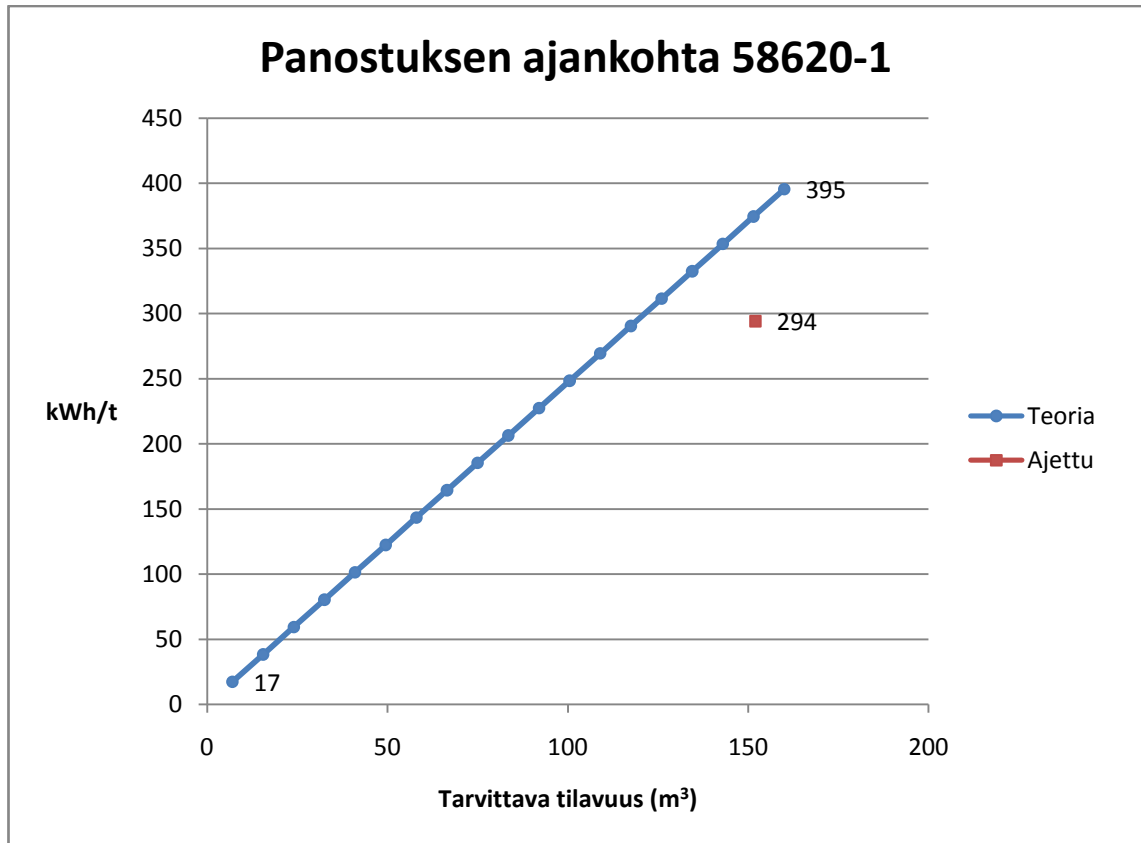
Kuvion 6 sulatuksissa 1-3 uuniin panostettavat toiset korit ovat täyttöasteiltaan erittäin pieniä tai ensimmäistä koria ei ole lastattu tarpeeksi täyteen. Tämän vuoksi laskennallinen ajankohta poikkeaa suuresti ajetusta. Valokaariuunin prosessiin kuuluvan porausvaiheen ja 2. romukorin nostovaihe vie sen verran aikaa, että vähimmilläänkin ensimmäistä romupanosta on voitu sulattaa jo noin 150 kWh/t. Porausvaiheen energia on määritetty 2MW. (Vallo 2016)

Kuviossa 7 on laskennallisissa panostusajankohdissa otettu huomioon prosessista johtuva 150kWh/t alaraja ja kemiallisten reaktioiden johdosta tuleva sulamisnopeuden muutos 250 kWh/t ylöspäin.



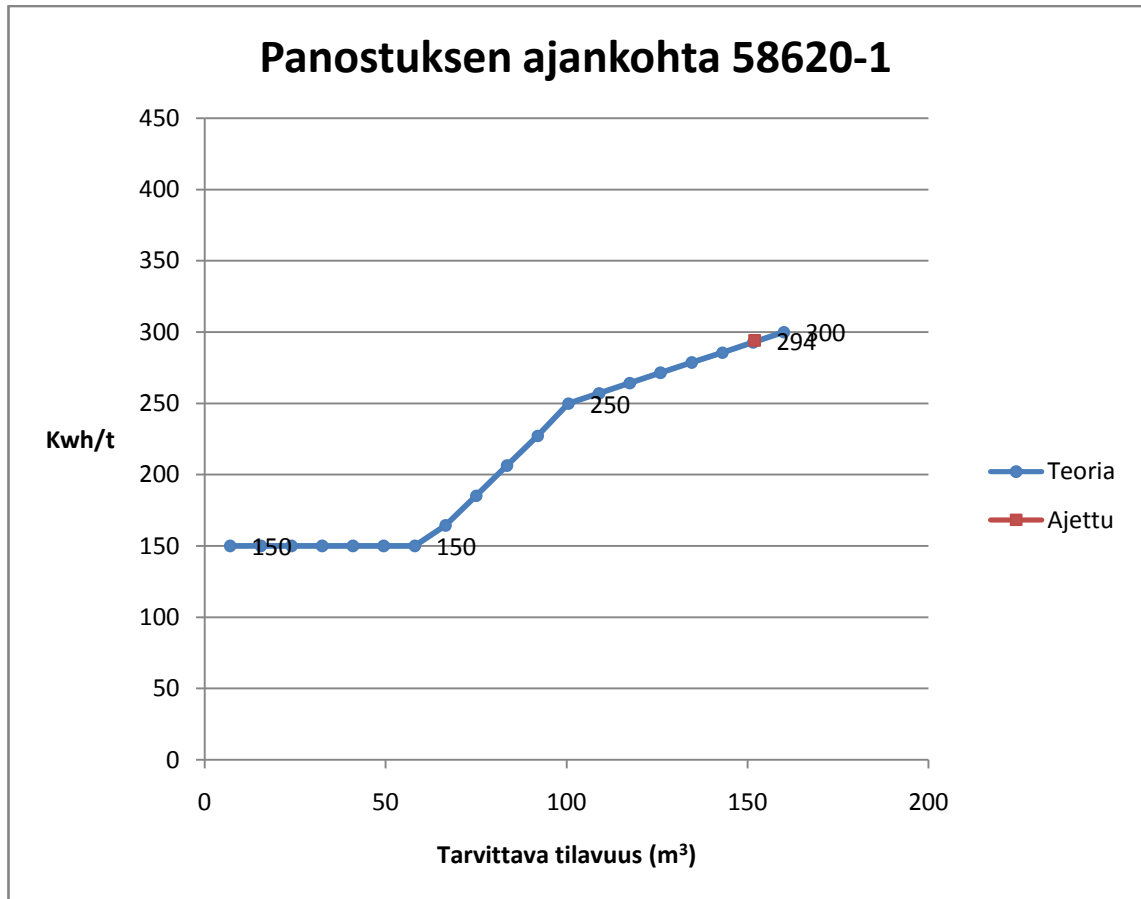
Kuvio 7. Panostuksen ajankohdat

Kuviossa 8 nähdään sulatuksen 58620-1 esimerkkisarvoilla laskennallista panostuksen ajankohtaa tarvittavaa uunin tilavuutta kohden. Sulatus 58620-1 näkyy myös kuviossa 6 kohdassa 13.



Kuvio 8. Laskennallinen ajankohta

Kuviosta 8 voidaan huomata, että panostuksen ajankohta on lineaarinen tarvittavaan uunin tilavuuteen nähden ilman toisen korin nostoon viemän ajan vaikutusta, sekä kemiallisten reaktioiden vaikutusta sulatuksen edetessä. Nämä vaikutukset huomioon ottaen panostuksen ajankohta katsotaan kuviosta 9.



Kuvio 9. Panostuksen ajankohdan malli

Kuviosta 9 nähdään nostotyö ja kemialliset reaktiot huomioon ottaen 2. romukorin panostuksen ajankohta. Käytetty laskennallinen panostuskaava toimii välillä 150 kWh/t- 250kWh/t. Alarajaa voitaisiin laskea esimerkiksi nopeuttamalla panostusnosturia, mikä mahdollistaisi panostusajankohdan laskemisen kaavalla aikaisemmassa vaiheessa.

Tämä kaava on tarkoitus kirjata järjestelmään siten, että romukorin täyttöasteiden merkinnän jälkeen järjestelmä laskee panostuksen ajankohdan erikseen jokaiselle sulatukselle.

6 KEHITYSKOhteITA

Valokaariuunin panostuksen ajankohtaan vaikuttaa monia eri muuttujia työntekijöistä kierrätysteräksen laatuun asti . Kehityskohteista voidaan tuoda esille romun pinnan skannaus romukorissa sekä jatkuvapanostus valokaariuuni (continuouscharge).

6.1 Täyttöasteen skannaus

Täyttöasteen mittaaminen onnistuisi paljon silmämääräistä tarkemmin romujen pinnan skannauksella esimerkiksi laser etäisyysmittareiden avulla. Nämä etäisyysmittarit asennettaisiin VKU2:n romupihan ja uunin hallin välissä olevan alkukutunnelin kattoon. Kun romujen lastauksen jälkeen romukori ajetaan vaunulla uunihalliin, mittarit skannaisivat romujen pinnan korissa suhteessa romukorin reunoihin. Tällä menetelmällä saataisiin lähes virheetön täyttöastelukema suoraan järjestelmään, mikä eliminoisi romukorin täyttöasteen silmämääräisen tarkastelun tuomat virhearviot.

6.2 Jatkuvapanostus

Jatkuvapanostus voisi olla yksi kehitysmahdollisuus valokaariuuni 2:lla. Ensimmäinen kori panostetaan aikaisemmalla tavalla romukorin kautta, mutta jälkimmäiset korit panostetaan erilliseen savukaasukanavaan. Jatkuvapanostuksesta saatu parannus tulee savukaasujen hyödyntämisellä romujen kuivaukseen ja esilämmitykseen ennen romujen uuniin panostusta. Tällä voidaan olettaa olevan suuri merkitys valokaariuunin hyötysuhteen parantamisessa, koska savukaasuihin menevä energia saadaan valjastettua hyötykäyttöön. Myös uunin avaamisesta johtuva ajan menetys ja säteilyhäviöt saadaan eliminoitua. Tällaisen järjestelmän saattaminen VKU 2:lle vaatii suuria investointeja ja muutoksia valokaariuunin ympäristöön. (Laitinen, 2014, 40)

7 POHDINTA

Työssä selvitettiin Valokaariuunin panostusajankohtaa sulatuksille, missä on enemmän kuin 1 korillinen kierrätysterästä. Aihe oli mielenkiintoinen ja osittain haastava uudessa työskentely-ympäristössä. Aikaisempaa tutkimusta tai panostusajankohdan mallia ei ole vielä tehty, mihin työtä voisi verrata, vaan todelliset tulokset saadaan vasta käytännön kokeiluilla. Kokemusta tämän työn tekemisessä on tullut erittäin paljon valokaariuunitekniikasta ja teräksen sulattamiseen ja valmistamiseen liittyvistä asioista.

Opinnäytetyötä aloittaessa teräksen sulatusprosessi oli minulle varsin uusi asia. Ensialkuun prosessiin tuli tutustuttua käytännössä seuraamalla VKU 2:n työntekijöitä työvuoroissa. Samalla tuli opiskeltua paljon valokaariuunin ja ruostumattoman teräksen sulattamiseen liittyvää teoriaa aikaisemmista töistä ja aiheisiin liittyvästä kirjallisuudesta. Työtä tehdessä ja valokaariuuniin tutustuessa kävi ilmi, että valokaariuunin panostamiseen vaikuttaa paljon erilaisia muuttujia, mitä ei ole osannut työn alkumetreillä odottaa.

Työn tavoitteena ollut panostusajankohdan ennustamiseen vaadittavat tiedot saatiin selvitettyä ja sitä kautta saatiin tehtyä malli, miten panostuksen ajankohdtaa voidaan ennustaa jokaiselle sulatukselle erikseen. Ajankohdan ennustamisella saadaan karsittua ylimääräistä sähköenergian kulutusta ja lyhennettyä sulatus aikaa.

Tämä panostusajankohdan malli tulee käyttöön Outokummun Valokaariuuni 2:lle kesän 2016 aikana, kun uunin tuotannonohjausjärjestelmä päivitetään. Kaava ajetaan tuotannonohjausjärjestelmään niin, että sen avulla järjestelmä itse ennustaa 2. korin panostuksen ajankohdan ja ilmoittaa sen sulattajalle.

Vuositasolla VKU 2:lla ajetaan noin 5500 sulatusta. Panostusajankohdan laskennalla voidaan lyhentää sulatusaikaa vuositasolla arvioituna 100 tunnilla, mikä tarkoittaa 100-120 sulatusta lisää nykyiseen verrattuna (Vallo 2016). Mallin tarkkuus, varsinkin välillä 0 kWh- 150 kWh tulee todennäköisesti kehittymään, kun kaavaa tullaan kokeilemaan käytännössä.

Haastavinta työssä on ollut ottaa huomioon panostusajankohtaan liittyviä muut-
tuvia, varsinkin suurta vaihtelua romun laadussa ja tiheydessä. Romun tiheydet
ja sen vaihtelut saatiin otettua huomioon erillisellä romukorin täyttöasteen keruu
jaksolla.

Työtä tehdessä oppia on tullut kokonaisuudessaan terässulaton toiminnasta,
mutta erityisesti valokaariuunista ja teräksen sulattamisesta. Työn tekeminen on
antanut myös kuvaa projektityöskentelystä ja sen vaiheista työelämässä, mitä
pidän arvokkaana oppina tulevaisuutta varten.

LÄHTEET

- Bowman, B. & Krüger, K. 2009. Arc Furnace Physics. Düsseldorf: Verlag Stahleisen GmbH.
- Jellinghaus, M. 1989. Electric Steelmaking. Düsseldorf: Woodhead Publishing.
- Juntunen V., Pitkälä J. & Kupari P. 2004. Romupohjainen ruostumattoman teräksen valmistus, teräksen ja aihoiden valmistuskurssi. POHTO.
- Karassaari, O-P. 2008, Valokaariuunin energiatase ja kaatolämpötilan mallinnus. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö.
- Karppanen, K. 2015. Kylkipolttimien vaikutun valokaariuunin tuotantotehokkuuteen. Oulun yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.
- Kunelius, J. & Vallo, K. 2015. DynArCOS vaikutukset VKU2-prosessiin. Outokumpun sisäinen raportti. TRC20150022.
- Laitinen, M. 2008. Rengasrouheen energiasisällön talteen saannin maksimointi VKU2:ssa. Oulun ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Insinöörityö.
- Metallinjalostajat ry 2009. Teräskirja 9. Painos. Helsinki: Metallinjalostajat ry.
- Outokumpu Stainless Oy 2016a. Outokumpun sisäinen O'net. . Viitattu 13.01.2016-15.01.2016.
- Outokumpu Stainless Oy 2016b. Outokumpu sisäinen O'net. Powerpoint esitelmateriaali, viitattu 13.01.2016.
- Outokumpu Stainless Oy 2016. Kromimalmista ruostumattomaan teräkseen. Viitattu 13.01.2016. <http://www.outokumpu.com/fi/yritys/outokumpu-suomessa/Sivut/default.aspx>
- Pfeifer, H., Kirschen, M. & Simoes, J. 2005. Thermodynamic analysis of EAF electrical energy demand. Teoksessa: 8th European electric steelmaking conference proceedings. Birmingham.
- Vallo, K. 2016. Terässulaton kehitysinsinööri. Outokumpu Stainless Oy. Keskustelut kevään aikana.
- VKU2 sulattaja 2016, Outokumpu Stainless Oy. Keskustelut kevään aikana.
- Wilson, E., Kan, M. & Mirle, A. 1998. Intelligent Technologies for Electric Arc Furnace Optimization. Minnesota: North Star Steel. Viitattu 29.2.2016. http://www.intellization.com/files/eaf_optimization_paper_EFC_98.pdf