

ARVOKKAAT METALLIT TALTEEN JÄTTEISTÄ JA METALLIEN SIVUVIRROISTA TASAVIRTAVALOKAARIUUNILLA – DC EAF -TEKNOLOGIALLA

TEKSTI: PEKKA KEMPPAINEN, ILKKA HAKALA JA JYRKI LAITINEN

1. VALOKAARIUUNITEKNOLOGIAN SYNTYHISTORIA

Ensimmäisen tasavirtavalokaariuunin (DC EAF= Direct Current Electric Arc Furnace) rakensi *Sir William Siemens* v. 1878. Vaihtovirtauunin (AC EAF = Alternating Current Electric Arc Furnace) patentoi *Paul Heroult* v. 1900, ja ensimmäinen asennettiin La Pratzissa Ranskassa. Siemensin tasavirtauunissa virta tuotiin ylhäältä kannen läpi pystyssä olevalla grafiittielektrodilla, joka on katodina, ja sulan alla pohjassa oli vesijäähdytetty pohjaelektrodi anodina. Vaihtovirtauunissa pohjaelektrodi ei ole, vaan sulattava valokaari synnytetään grafiittielektrodien ja metalliromun väliin. Vaihtovirtauunit yleistyivät, kun *Nikola Tesla* ja *George Westinghouse* vuosina 1886 ja 1887 kehittivät voimakkaat muuntajat. Tasasuuntaajan korkea hinta oli ilmeisesti pääsyy siihen, ettei tasavirtauuni menestynyt. Kuvassa 1 on kuvattu DC ja AC -uunien periaatteellinen ero.

Etelä-Afrikan ollessa kauppaboi-
kotissa 1970–90 luvuilla sikäläisen tutkimuslaitoksen yhtiö Mintek ryhtyi kehittämään tasavirtauuneja ferrokromin metallurgiseen sulattamiseen. Ilmeisenä syynä oli se, ettei

kyetty ostamaan länsimaista teknologiaa. ASEA oli kehittänyt valokaariuuniin tyristoritoimisen tasasuuntaajan 1970-luvulla, ja *Sven-Einar Stenqvist* muutti vaihtovirtavalokaariuunin tasavirtaiseksi lähinnä teräksen sulattamista varten. *Nic Bartza* Mintekillä yhdisti ASEAN konseptin ja Tetronecsin plasmauunitekniikan DC EAF:ksi. Kromiittipölyn (alle 6mm) sulatuskokeet alkoivat 1976, ja ferrokromin valmistus 1979, ja ensimmäinen teollinen tonnin uuni rakennettiin 1984. Tuon jälkeen otettiin ferrokromin valmistukseen käyttöön nopealla tahdilla aina suurempia uuneja 12 MW:sta 72 MW:iin. Vuodesta 1990 lähtien myös ilmeniittiä (titaanipitoista rautamalmia) alettiin sulattaa aina isommissa, jopa 120 tonnin uuneissa.

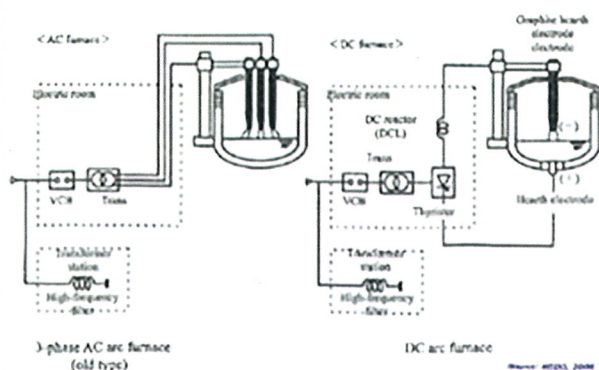
Erittäin laajassa käytössä tasavirtauuni on alumiinin valmistuksessa, missä bauksiittimalmista erotetaan rauta kemiallisesti punaliejuksi, ja aluminaatti eli alumiinioksidi sulatetaan kaukalo-
maisessa uunissa. Se soveltuu em. ferrokromin ja ilmeniitin sulatuksen lisäksi teräksen ja nikkelilateraatin sulatukseen, koboltin erottamiseen kuparikuo-
nasta, sinkin ja magnesiumin valmistukseen, ruostumatto-

man teräksen pölyn jalostukseen, elektroniikkaromun sulatukseen sekä platinan ja kullan erottamiseen. Etelä-Afrikan lisäksi vastavalla tekniikalla uuneja valmistetaan ainakin Venäjällä ja Kiinassa. Siemensin ja Mitsubishin yhteisyritys Primetals valmisti uuneja ja huoltaa niitä edelleen, muttei ilmeisesti tee ainakaan vielä uusia. Outokumpu kehitti kymmenkunta vuotta sitten oman versionsa, ja toimittikin muutaman ilmeniitin sulatukseen, ja yritti saada sen käyntiin Lähi-Idässä, mutta koki isoja vaikeuksia.

Tasavirta- ja vaihtovirtatekniikan ero on siinä, että yksisuuntaisessa tasavirrassa valokaaren, johon muodostuu plasmaolotila, lämpötila on 10-30.000 °C, ja vaihtovirrassa vain 5.000 °C. Korkeammassa lämpötilassa voidaan saada aikaan erilaisia termodynaamisia reaktioita kuin matalissa. AC-uunilla voidaan sulattaa vain yli 90 % metallia sisältäviä panoksia, kun DC-uunilla voidaan sulattaa - tai oikeastaan pelkistää - pölyjä ja kuonia, joissa on vain 35–45 % metallia. Niinpä se soveltuu suoraan monien kaivosten ja metallurgisten laitosten sivuvirtojen ja myös elektroniikkaromun sulatukseen. Kuonista ja pölyistä saadaan erotetuksi myös harvinaisia maametalleja.



Valokaariuuni



Kuva: <http://ietd.iipnetwork.org/content/direct-current-dc-arc-furnace>

Lähde: Helena Kumpulainen & Reima Väinölä, Esitys, POHTO, 2011.

Vaihtovirtauuni

- AC EAF = Alternating Current Electric Arc Furnace
- Perustuu Héroultin patenttiin vuodelta 1889
- Valokaari elektrodien ja panoksen välissä
- Käytössä lähinnä metalliromun sulatuksessa
- Käytössä esim. Ovakon Imatran tehtaalla ja Outokummun Tornion tehtaalla

Tasavirtauuni

- DC EAF = Direct Current Electric Arc Furnace
- Kehitettiin 1980-luvun lopulla – kaupalliseen käyttöön 1990-luvulla
- Yksi grafiittielektrodi, joka toimii katodina
- Uunin pohja toimii anodina
- Käytössä esim. polyjen käsittelyssä
- Suomessa ei käytössä teollisessa mittakaavassa

Kuva 1. DC ja AC -uunien periaatteellinen ero.

2. TASAVIRTAVALOKAARIUUNIN TEKNIikka

Tasavirtavalokaariuunin (DC EAF) rakenne on esitetty kuvassa 2. Oleellisin ero tasavirtavalokaariuunin DC EAF) toiminnassa verrattuna vaihtovirtavalokaariuuniin (AC EAF) - on siis yksisuuntainen valokaari katodin ja anodin välillä synnyttäen erittäin kuumaa lyhyen plasman. Voidaan puhua myös pelkistävästä sulattamisesta. Laitteisto muodostuu normaaliin vaihtovirtaverkkoon kytketystä muuntajasta, sen jälkeisestä uunin muuntajasta, tasasuuntaajasta ja erillisestä virran hallintayksiköstä - induktorista tai kuristajasta, jolla tasataan virrassa ja jännitteessä syntyviä vaihteluita. Valokaaren pituuden hallinta ja säätö vaatii tarkan sähköisen mittauksen ja nopean hydraulikan. Plasmaan syötetään raaka-ainetta pölynä tai hienonnettuna murskeena suoraan sulaan, ja niinpä syöttöalueelta pitää kuonan py-

syä poissa, tai ontolla elektrodilla suoraan valokaaren sisään. Jossakin vaiheessa onttoa elektrodia pidettiin välttämättömänä, mutta annostelemalla rikaste suoraan valokaaren viereen päästään lähes yhtä hyvin tuloksiin; suodattimiin menevän pölyn määrä nousee tosin kaksinkertaiseksi eli 7-8 prosenttiin. Lisäksi elektrodin vaihto on nopeampi ja kestoikä pidempi.

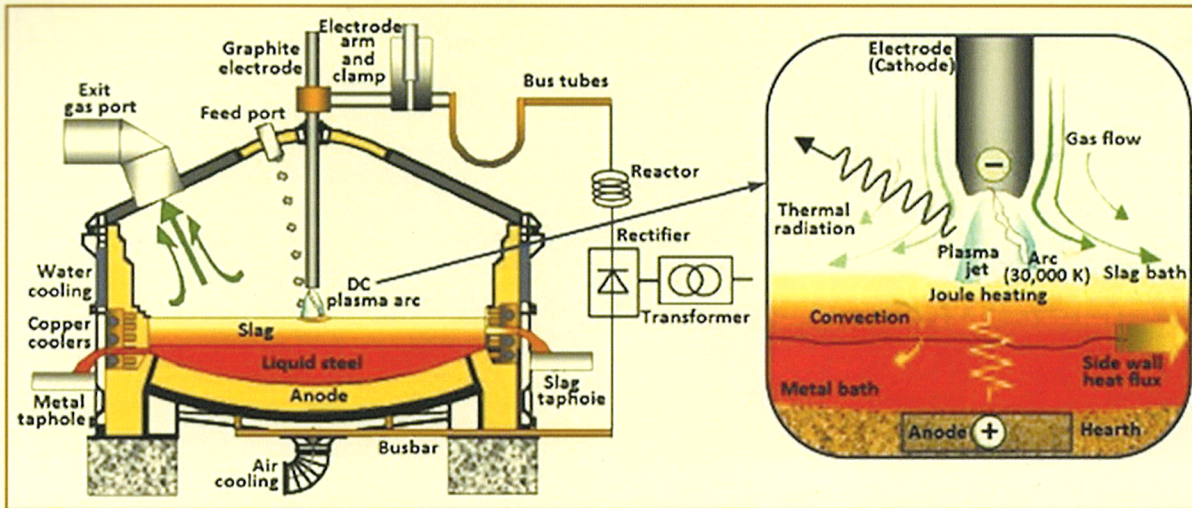
Sulatettavana materiaalina on tyypillisesti joko hapettuneessa tilassa olevaa metallia, kuten kuonaa, pölyä, malmia tai romua, jossa voi olla muovia, keraamia, lasia jne. Pelkistys-sulatus-reaktioon tarvitaan sopiva pelkistin. Yleisintä on käyttää halpaa kivihiiltä, antrasiittia, tai muuta hiiltä sisältävää materiaalia tai koksia. Haittana on tietysti siitä syntyvä häikä ja hiilidioksidi, joille on hyvä olla jatkokäyttö esim. lämmitykseen jälkipolton kautta. Pelkistäjiksi käyvät muutkin metallit, joiden aktiivisuus kor-

keissa 10-30.000 °C:n lämpötiloissa riittää ryöstämään hapen irti metallista. Jotkut metallit, kuten nikkeli ja platina, ovat usein rikkiyhdisteenä, jolloin uuniin pitää syöttää ensin happea tai ilmaa rikin polttamiseksi.

3. TASAVIRTAUUNIN TEOLLISIA SOVELLUSKOhteita

Useimmille jopa alan insinööreille tasavirtavalokaari tuntuu olevan uusi asia: vahvasti epäillään, että toimiiko se, mitä riskejä siinä on, ja vaaditaan pitkiä testiajoja, jotta uskottaisi sen toimivan. Kuitenkin teknologiaa on sitten 1980-luvun testattu ja käytetty isossa teollisessa mittakaavassa, tosin ei Suomessa. Julkaistua kirjallisuuttakin löytyy verraten paljon. Suomessa DC-uunin ohjauksesta on *Tapio Niemi* tehnyt Outokummun toimeksiannosta diplomityön Tampereen Yliopistossa v. 2015: *DC-Furnace Control Philosophy in Ferroalloys*. Paras käyttökokemus-

Schematic diagram of a DC electric arc furnace



Kuva 2. Tasavirta-avalo-kaaruu-nin (DC EAF) rakenne.

ten referaatti on Rodney Trevor Jonesin v. 2015 Witwatersrandin yliopistolle Johannesburgissa tekemä väitöskirja: *Fundamental Aspects of Alloy Smelting in AC Arc Furnace*, jossa hän on käynyt läpi menestyneitä sovelluksia:

- Ferrokromin valmistus kromiittimalmista

Pienten 1979 rakennetun koeuunien jälkeen ensimmäinen iso 12 MW eli kuuden tonnin vaihtovirtauunista tasavirtauuniksi ASEA:n konseptilla muutettu uuni otettiin käyttöön Krugersdorin (Palmiet Ferrochrome) Middelburg Steel & Alloysin tehtaalla 1983. Myöhemmin 1988 sen teho nostettiin 33 MW:iin. Hyvien kokemusten jälkeen samalle tehtaalle rakennettiin v. 1998 uusi 44 MW:n uuni, joka vielä korotettiin 60 MW:iin v. 2009. Vuoden 2013-2014 aikana SMS Siemag rakensi Mintekin tukemana neljä 72 MW:n uunia Kazchromelle Aktobeen Kazakstaniin.

- Ilmeniitin sulattaminen titaanioksidikuonan valmistamiseksi valkoisen maalin pigmentiksi ja pallografiittiharkoksi

Ilmeniitti on titaanipitoinen rautamalmin. Sulattamalla siitä saadaan titaanioksi kuonaan, ja rau-

dasta jalostetaan pallografiittiraudan harkkoa. Sulatukseen on yleisesti käytössä kanadalaisen Quebec Iron & Titanium (QIT Fer et Titane), Sorelin kehittämä suunnikkaan muotoinen kaukalouuni kuudella rivissä olevalla elektrodilla. Samanlaista uunia käytetään aluminaatin sulatuksessa. Toinen vaihtoehto olisi soveltaa pyöreää yhdellä ontolla elektrodilla toimivaa DC uunia. Ongelmana on kuitenkin kuonan suuri lämmönjohtavuus, eli miten saadaan kuonakerros pysymään sulana, kun siinä ei ole vastusta. Mintek aloitti kehitystyön 1990, ja 1995 mennessä ratkaisu löytyi umpielektrodista ja materiaalin syöttämisestä avoimeen sulaan. Niinpä yhä suurempia uuneja pystyttiin rakentamaan ja asentamaan: 5 MW DC uuni Namakwa Sandsille v.1994, ja ensimmäinen (25 MW) uuni aloitti titaanioksidikuonan ja SG-harkon valmistuksen kesäkuussa 1995, ja seuraava (35 MW) tuli käyttöön helmikuussa 1999. Kaksi 36 MW DC uunia asennettiin Tigor SA:lle v. 2003, ja vastaavia uuneja meni myös Kiinaan.

- Koboltin talteenotto kuparisulaton kuonasta
Aiemmin koboltti oli epäpuhtaus kuparissa, eikä sitä otettu talteen.

Maailmalla on valtavia määriä kuparipitoisen malmin sulattamisesta jääneitä hylättyjen kaivosten kuonakasoja, joissa on merkittäviä määriä nikkeliä, kobolttia ja platinaryhmän metalleja. Mm. Zimbabwessa ja Kongossa on kymmenien vuosien aikana syntynyt miljoonien tonnin kuonavuoria. Seulontaan, painoon tai magneettisuuteen perustuvilla menetelmillä saadaan talteen vain metalliroiskeet ja haulit. DC EAF-tekniikalla on kannattavaa palauttaa käyttöön oksideina olevat metallit, kuten koboltti ja nikkeli, vaikka ne olisivat kuonassa vain alle 1 % pitoisuuksina. Suurimmat toimivat DC uunit tähän tarkoitukseen ovat myös 40 MW luokkaa, eli sulatilavuudeltaan 40-50 tonnin uuneja. Tällöin arvokkaat metallit sulatetaan johonkin halvempaan metalliin, kuten rautaan, josta ne erotetaan hydrometallurgisesti, eli käytännössä hapoilla ja sähköllä.

- Ruostumattoman teräksen pölyn sulatus

Ruostumattoman teräksen sulaton ja hionnan pölyt ovat ongelmallisia, koska niissä on raskasmetalleja, joiden pelätään liuke-
nevan, ja joutuvan pohjaveteen kaatopaikoille tai luontoon lop-

pusijoitettaessa. Niinpä tässä on-
gelma voidaan kääntää mahdol-
lisuudeksi DC-uunilla. Hieno su-
laton pöly sisältää tyypillisesti
12–16% kromia, 6-8 % nikkeliä ja
1-2 % molybdeeniä, mutta kaikki
palaneina hapettuneessa muo-
dossa, mikä ei sula normaalissa
induktio- eikä valokaariuunissa.
Kirjallisuudessa esitetyissä teol-
lisissa laitoksissa DC sulatuksella
saadaan nikkelistä ja molybdee-
nista yli 95% metalliseksi. Kromin
osalta saanti on 85-90%. Pölynä
menee osa, ja hieman jää pelkis-
tymättömänä kuonaan. Kuona ja
pöly ovat sitten käytännössä puh-
tainta raskasmetalleista, ja voidaan
loppusijoittaa maanrakennukseen.
Vastaavat tulokset saatiin Karhu-
lassakin.

Mintekin tekemissä laskelmissa
kaikkein edullisin toteutuskohde
tasavirtavalokaariuunille on sel-
lainen kombinaatti, jossa on oma
kromikaivos, kromisulatto ja jalo-
terästehdas. Siellä etäisyydet ovat
lyhyet, ja talteen otetut seosaineet
voidaan välittömästi hyödyntää.
Outokummullekin tällaista ratkai-
sua on suositeltu, mutta sitä ei ole
ilmeisesti edes vakavasti harkittu.
Nykyisillä seosainehinnoilla jopa
pienemmässä mittakaavassakin
tällainen toiminta on kannattavaa.
Ensimmäiset kokeilut sulattopölyl-
le tehtiin samoilla uuneilla kuin
kromiitin sulatus ferrokromiksi.

- Nikkelin sulattaminen nikkelilateraatista

Tällä hetkellä valtaosa maailman
nikkelituotannosta käytetään ruos-
tumattoman teräksen valmistuk-
seen. Asiantuntija-arvion mukaan
akut muodostavat reilun 10 pro-
sentin osuuden nikkelin kokonais-
kysynnästä. Jo 10 – 15 vuoden ku-
luttua akkujen osuus voi olla jo yli
puolet nikkelin kulutuksesta. Nik-
kelituotannosta puolet on Kiinan
ja Venäjän hallussa. Akkuihin vaa-
ditaan ”ykköslaataa”, eli nikkelin

pitää olla vähintään 99,8% puh-
dasta. Mikään nikkeli ei ole näin
puhdasta luonnostaan, vaan kaik-
ki nikkeli pitää jalostaa. Nikkeli-
sulfidia löytyy yleensä syvältä
maanpinnan alta, ja sitä kaive-
taan maanalaisissa kaivoksissa.
Tällä hetkellä esim. Yhdysvallat
tuo valtaosan nikkelisulfideis-
taan Kanadasta, Norjasta,
Australiasta ja Suomesta.

Uusina nikkelin lähteinä voisivat
toimia lateriitit. Ne ovat huono-
laatuisempaa nikkelin raaka-ai-
netta, mutta vastaavasti niitä löy-
tyy laajasti maapallolta, ja niitä
voidaan tuottaa avolouhoksissa.
Indonesia ja Filippiinit tuottavat
valtaosan lateriiteistä, mutta myös
Australialla ja Brasilialla on suuret
varannot. Heikkolaatuisen laterii-
tin jalostamisessa akkulaatuiseksi
nikkeliksi haasteena ovat erittäin
energiaintensiiviset prosessit, ku-
ten HPAL-prosessi (high pressure
acid leaching), jossa lateriittimal-
mi kuumennetaan paineistettuna
erittäin korkeisiin lämpötiloihin yh-
dessä rikkihapon kanssa. Huomat-
tavasti energiatehokkaamman tien
tarjoaa tasavirtasulatus: ensin la-
teriitti on edullista kalsinoida ja
kuivata, sitten syöttää pölynä DC-
uuniin. Lateriitissa on runsaasti
rautaa, ja siksi siitä pitää edelleen
erottaa hydrometallurgisesti nik-
keli, ja puhdistaa se vielä.

- Vanadiinioksidin erottaminen hiiliterästehtaan konvertteri- kuonasta

Vanadiini on entistä tärkeämpi
hiiliterästä lujittava seosaine.
Mm. Kiina edellyttää teräsbeto-
nirakentamisessa käytettävän
vanadiiniseostettua harjaterästä,
jotta teräksen määrää saadaan
vähennetyksi. Suomen ja Ruotsin
rautamalmat ovat vanadiinipitoi-
sia. Terästehtaalla vanadiini jää
konvertterikuonaan. Kuonassa on
lisäksi metallista rautaa roiskeina.
Esimerkiksi entisen Koverharin ja

SSAB:n tehtaiden ympärillä odot-
tavat isot kasat jalostamista. Jär-
kevin tapa olisi murskata kuona,
seuloa, ja magneetilla erottaa me-
tallinen rauta/teräs, ja sen jäl-
keen sulattaa se uudelleen DC
uunissa, eli pelkistää hapettunut
rauta ja vanadiini. Tämän jälkeen
sula siirretään konvertteriin, jossa
hapetetaan vanadiini uudelleen,
ja kuoritaan kuonana pois. Lop-
putuloksena on vanadiinipitoinen
kuona hydrometallurgiseen jalos-
tukseen ja puhdas rauta (Pure
Iron) teräs- ja rautavalimoille.

- Kemiallisesti bauksiitista erotetun raudan eli punalie- jun jalostaminen raakaraudaksi

Alumiinin valmistusprosessissa
syntyy valtavasti rautaoksidia, kun
bauksiitista erotetaan kemiallises-
ti rauta, jotta saadaan lopuksi DC-
uunissa sulatettavaa aluminaa eli
alumiinioksidia. Rautaoksidia on
noin puolet, ja yhdestä alumina-
tonnista saadaan puolet metalli-
sta alumiinia.

Tuottaessaan yhden tonnin alu-
miinimetallia, synnyttää tehdas
kaksi tonnin rautaoksidia. Vuonna
2020 Alumiinin maailmanlaajuisen
kokonaiskulutuksen arvioidaan ol-
leen 65 miljoonaa tonnia. Niinpä
hapanta rautaoksidiliejua (Red
Mud) eli jätettä syntyy yli 100 mil-
joonaa tonnia vuodessa. Nyt se
varastoidaan ruostejärviksi alu-
miinitehtaiden lähelle. Siitä saa-
taisi n. 30 miljoonaa tonnia raa-
karaudaa vuodessa.

Tasavirtauunilla voidaan valmis-
taa raakaraudaa punaliejusta. Ma-
teriaalissa voi olla vettä jopa 25%.
Nykyisillä metallien hinnoilla rau-
dan ja teräksen tekeminen on kan-
nattavaa, kun sulatusuunin koko
on 3-6 tonnia ja 5-10 MW. Lisäksi
on odotettavissa, että ympäristö-
paineet ruostejärviä kohtaan nou-
sevat, ja jätemaksu tulee käyttöön
lähivuosina.

Taulukko 1 Euroopan unionin määrittelemät kriittiset raaka-aineet 2017, maailman johtava tuottajamaa ja johtava toimittaja EU-maihin

Kriittinen raaka-aine	Johtava tuottajamaa, %	Johtava toimittaja EU-maihin, %
Antimoni	Kiina, 87	Kiina, 90
Fluorisälpä	Kiina, 64	Meksiko, 27
Kevyet harvinaiset maametallit (LREE)	Kiina, 95	-
Fosfori	Kiina, 58	Kazakstan, 77
Baryytti	Kiina, 44	Kiina, 44
Gallium	Kiina, 73	Kiina, 36
Magnesium	Kiina, 87	Kiina, 94
Scandium	Kiina, 66	Venäjä, 67
Beryllium	USA, 90	-
Germanium	Kiina, 67	Kiina, 43
Luonnon grafiitti	Kiina, 69	Kiina, 69
Piimetalli	Kiina, 61	Norja, 23
Vismutti	Kiina, 82	Kiina, 84
Hafnium	Ranska, 43	Ranska, 43
Luonnonkumi	Thaimaa, 32	Indonesia, 32
Tantaali	Ruanda, 31	Nigeria, 43
Boraatti	Turkki, 38	Turkki, 98
Helium	USA, 73	USA, 51
Niobium	Brasilia, 90	Brasilia, 71
Volframi	Kiina, 84	Venäjä, 50
Koboltti	Kongo, 64	Suomi, 66
Raskaat harvinaiset maametallit (HREE)	Kiina, 95	-
Platina	Etelä-Afrikka, 70	-
Palladium	Venäjä, 46	-
Vanadiini	Kiina, 53	Venäjä, 60
Koksihiili	-	-
Indium	Kiina, 57	Kiina, 28
Fosfaattikivi	Kiina, 44	Marokko, 27

Lähde: Critical raw materials.

- Harvinaisten maametallien (RE) erottaminen metallikuonista

Harvinaiset maametallit ovat kriittisiä uusiutuvan energian tuotantolaitteille, kuten akuille, kesto-

magneeteille, aurinkopaneeleille ja vetykennoille. Valtaosa tuotannosta ja varannoista ovat Kiinassa tai kiinalaisten yhtiöiden hallussa Afrikassa ja Australiassa.

Euroopan vihersiirtymä on täysin riippuvainen Kiinasta. Tilanne on tiedostettu ja raportteja laadittu (Taulukko 1), mutta hyvin vähän kiinnostusta on hyödyntää esimerkiksi DC teknologiaa sivuvirtojen hyödyntämisessä. Kaikissa kuonis- sa on vähäisiä määriä harvinaisia maametal- leja. Ne voidaan tasavir- tasulatuksella ottaa talteen hyd- rometallurgisesti helposti erotet- tavaan metalliin. Pitoisuuksien ei tarvitse olla suuria, koska hinnat ovat tuhansia euroja kilolta tai jopa unssilta eikä tonnilta!

- Kullan ja muiden arvokkai- den metallien ottaminen tal- teen elektroniikkaromusta ja katalysaattoreista

Tietokoneen emolevyssä on kultaa 2 % eli tonnissa 20 gram- maa. Kultakaivos perustetaan, jos malmis- sa on 3 grammaa tonnissa kultaa. Lisäksi emolevyssä kultaa on jo metallisena erotettuna muista metalleista. Euroopan suurin kul- takaivos Kittilässä tuottaa alle 10.000 kiloa kultaa vuodessa. Tar- vitsemme siis 5000 tonnia emole- vyjä vuodessa samaan tuotantoon. Yksi 5 tonnin DC -uuni sulattaa pa- noksen kahdessa tunnissa, joten huoltoaikoineen se on alle kah- dessa vuorossa Euroopan suurin kultakaivos. Vastaavasti katalysaat- toreiden pinnoitemetallit platina ja koboltti saadaan murskatuista jauheesta imeytetyksi muihin me- talleihin, ja keraaminen aines nou- see kuonaksi.

4. KARHULAN AC EAF -UUNIN TESTIT JA SAA- VUTETUT TULOKSET

Matti Hurtan yhtiö Masercata

oli hankkinut teknologian Venä- jältä, ja rakentanut Merikarvialla 500 kg:n tasavirtapilottiuunin. Ku- va 3. Teollisen hyödyntämisen ra- hoittajaksi oli lupautunut saksai- nainen Ecomet. Matti oli tehnyt useita koesulatuksia erilaisilla



Kuva 3.
500 kg:n
tasavir-
tapilot-
tiuuni.

pöly- ja romumateriaaleilla; valimoiden ruostumattoman teräksen pölyt, kuparikaapelit, alumiinipronssin kuona sekä alumiinin valmistuksessa syntyvä punalieju (Red Mud), joka on rautaoksidia kuten ruoste.

Uuden uuniteknologian testaamiseksi teollisessa mittakaavassa tarvittiin sellainen ympäristö, jossa voitaisiin tehdä hallittuja testejä, sekä onnistuneen pilotoinnin jälkeen rakentaa lisää kapasiteettia tuotannon käynnistämiseksi. Karhulan Valimossa oli sopiva tila, riittävästi pölynerotus- ym. kapasiteettia sekä osaavaa henkilökuntaa. Erillinen tila varustettiin siltanosturilla ja pölynpoistolla sekä muuntajat, tasasuuntaaja ja hydraulikkayksikkö koteloitiin. Niinpä Masercatan uunilaitteisto siirrettiin Karhulaan vuoden 2019 lopussa, ja viritysten jälkeen Karhulan Valimo käynnisti DC EAF-teknologian testaamisen v. 2020. Koesulatuksia tehtiin v. 2020 ai-

kana yli 100. Pääasiallinen sulatusmateriaali oli Karhulan Valimon sulaton ja puhdistamon pölyt. Panokseen lisättiin valurautalastua, jotta saatiin sulatus-tehoa paremmaksi, koska häkkaasun polttoa ei ehditty pölynpoiston yhteyteen rakentamaan. Muuna pelkistävänä materiaalina testattiin piitä, alumiini jne. Lopputuloksena varmennettiin kirjallisuudesta saadut tehokkuudet ja muut tekniset yksityiskohdat. Päähavainnot olivat:

- seosaineet kromi, nikkeli ja molybdeeni saadaan keskimäärin yli 90%:sesti pölystä metalliksi
- sulatusnopeus on n. puolet vaihtovirtavalokaariuunin vastaavasta, eli samalla teholla sulatusaika on kaksi kertaa niin pitkä ja energian kulutus myös kaksinkertainen
- elektrodin kulutus on vähemmän kuin kolmen elektrodin AC uunissa

- hiilijalanjälki on murto-osa verrattuna kaivoksista otettujen metallien jalostusketjuun

- ympäristövaikutukset on helppo hallita seostettujen terästen sulatuksen laiteympäristössä.

Ensimmäisen vaiheen jälkeen

jatkosuunnitelma oli asentaa sulattoon 2-3 uunia, jolloin nykyiset sähköliitännät riittäisivät. Laajenuksen suunnitelmat tehtiin jopa 10 kpl kuuden tonnin uunien asentamiseksi. Tällöin tuotantokapasiteetti olisi 150.000 tonnia per vuosi. Tämä vaatii jo oleellisesti lisää sähkötehoa, mutta tilat riittävät. Rahoitusjärjestelyt olivat kesken, kun koronan aiheuttama tilausten romahdus kaatoi Karhulan Valimon.

5. KARHULAN HYÖDYN- NETTÄVÄ POTENTIALI

Karhulan Valimon edellisten omistajien perustama **Green**

ReMetals Oy - GRM on hakenut rahoitusta ja tukenut konkurssipesää uuden kiinteistön omistajan ja tuotannon jatkajan hakemisessa. Karhulan valimossa on hyvä potentiaali jatkaa sulatustoimintaa nykyisillä AC valokaariuunilla ja AOD-konvertterilla vahvistettuna DC-uunille parhaiten soveltuvien tuotteiden testaamisella. Aluksi tuotanto olisi haponkestävästä lastusta ja romusta sekä korkea-hiilisestä ferrokromista ultramatalahiilisiä rautakrominikkelimolybdeeniseoksia harkkoina ja aihioina teräsvalimoille. Tuote myydään suoraan seosteräsvalimoille CleanCharge-sulatusaihioina, nutikoina (Meehanite Worldwiden patentoima prosessi). Osa seosaineista voidaan jalostaa ja loteräsvalimoiden pölyistä paikalla olevalla 500 kg:n DC valokaariuunilla. Yhden vuoron tuotannolla päästään n. 4000 tonnin vuosituotantoon, ja runsaan 20 miljoonan liikevaihtoon kannattavasti. Kahdessa vuorossa tuotanto ja liikevaihto tuplaantuvat, ja tulos paranee. Tilat ja nykyinen sähköliittymä ja pölynerotusasemat mahdollistavat tuotannon laajentamisen tiloihin sopivalla määrällä DC uuneja, esim. kaksi kappaletta 3-6 tonnin uuneja lisää tuotantoa 20-30.000 tonniin kolmessa vuorossa.

Kun Karhulasta saadaan teollisen mittakaavan koetuotannosta eu-

rooppalaisia kokemuksia, niin uskomme, että ns. asiantuntijoiden kommentit *"Never heard, never seen, so it cannot work"* eli koska "en ole kuullut enkä nähnyt niin teknologia ei voi toimia", vaimeenisivat, ja myös riskisijoittajat uskaltaisivat ryhtyä johonkin uuteen konkreettiseen teolliseen tulevaan menestystarinaan. Isoilla Suomesa toimivilla metallurgisen alan yhtiöillä ei toistaiseksi ole ollut halua, rohkeutta tai ymmärrystä tarttua tilaisuuteen.

6.UUSIMPIA KEHITYSPOTENTIALIALEJA DC-PELKISTYSSULATUKSELLE

Ympäri maailmaa on jonkin verran uutta kehitystoimintaa tasavirtapelkistysulatuksen edelleen kehittämiseksi. Motivoivina tekijöinä ovat kaivostoiminnan kustannusten nousu ja rajoituspyrkimykset, väestönkasvun ja sähköistymisen luomat materiaalien tarpeen kasvut, uusien teknologioiden vaatimien harvinaisten maametallien saatavuuden riskit, jotka kaikki näkyvät Venäjän hyökkäyssodan aiheuttaman hinnannousun ja saatavuusongelmien pohjalla pitkäaikaisesti.

Lupaavimpia DC tuloksia sulatusprosessien kehittämisessä on saatu testeistä, joissa yhdistetään vedyn tuonti pelkistäjäksi hiilen sijaan tai ohelle ja suoja kaasun

käyttäminen. Maakaasun ja argonin tai heliumin käytöllä pystytään jo yllättävän matalissa lämpötiloissa pelkistämään useimpia metalleja. Toinen tapa korvata hiiltä pelkistäjänä liittyy erilaisiin tahnoihin ja nesteisiin, joita voidaan sekoittaa pölyyn, ja ne reagoivat sopivassa hetkessä tuottaen vetyä pelkistäjäksi. Henkilöautojen vetyakkujen ratkaisuksikin esitetty magnesiumhydridi (MgH_{2y}), joka reagoidessaan veden kanssa vapauttaa vetyä; kosteuttahan meillä voi olla panostettavassa pölyssä jopa 25 %. Toistaiseksi teolliset ratkaisut ovat tulossa, mutta tämä reitti tulee olemaan GRM:n kehityksen panostuskohteena.

Ympäristöpaineet ovat saaneet edistyksellimmät hiiliteräksen tuottajat, kuten ruotsalaisen SSAB:n, käynnistämään siirtymän vetypelkistykseen. Seuraava askel lienee punaliejun ja terässulattojen ja valimoiden pölyn jalostamiseen painostaminen jätemaksuilla. Ympäristöpaineiden ohella voisi kuvitella, että into energian vihersiirtymään innostaisi panostamaan tässäkin kirjoituksessa mainittuihin kierrätysratkaisuihin mm. harvinaisten maametallien saatavuuden turvaamiseksi ja vihersiirtymän mahdollistamiseksi. Niitä ei kuitenkaan saada aikaan lakipakotteilla vaan innovatiivisella rohkealla kaukokatseisuudella niin yrityksissä kuin valtion ja EU:n hallinnossakin.

