

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

VKU2:n kalkin injektointilinjan tarkoituksenmukaisuuden tarkastelu

Alexi Frant
Konetekniikan opinnäytetyö
Insinööri(AMK)

KEMI 2011

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala	
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Alekski Frant
Opinnäytetyön nimi	VKU2:n kalkin injektointilinjan tarkoituksenmukaisuuden tarkastelu
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	3.5.2011
sivumäärä	38
Opinnäytetyön ohjaaja	TkL Timo Kauppi
Yritys	Outokumpu Stainless Oy
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	DI Topi Ikäheimonen

Valokaariuuneilla käytetään kalkkia kuonanmuodostuksessa. Kuonan tehtävä on suojata terästä hapettumiselta ja uunia kemialliselta kulumiselta ja suoran valokaaren lämpörasitukselta.

Outokummun Tornion tehtaalla uuneissa kalkki syötetään injektoimalla paineilman avulla erillistä kalkkilinjastoa pitkin. Menetelmän tavoite on syöttää kalkki sellaiseen kohtaan, johon valokaaren vaikutus on kaikkein voimakkain. Aluetta kutsutaan ns. hot spot – alueeksi.

Loppukesällä 2010 VKU2 kalkinsyöttölinjaan tehtiin muutoksia. Työssä dokumentoitiin tehdyt muutokset ja todettiin muutosten tarkoituksenmukaisuus sulattajia haastattelemalla sekä uunin kulumisprofiilia tutkimalla. Työn tuloksien pohjalta rakentui myös vaurioanalyysi nykyisestä uunin kulumisprofiilista valokuvineen. Vaurioanalyysin pohjalta saatiin aikaan ehdotelma kalkin syötön parantamiseksi.

Oleellisimmat seikat uunin kulumisen hidastamiseksi olivat kalkin injektointiaukkojen sijoittaminen siten, että ne olisivat lähempänä kulumiskohtia.

Asiasanat: valokaariuuni, kalkin injektointi, tulenkestävä vuoraus.

ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Name	Alekski Frant
Title	Expediency of the pneumatic calcium oxide line in electric arc furnace
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	3 May 2011
Pages	38
Instructor	Timo Kauppi, Lic.(Tech.)
Company	Outokumpu Stainless Oy
Contact Person/Supervisor from Company	Topi Ikäheimonen, MSc, Outokumpu Stainless Oy

Calcium oxide is used in electric arc furnaces to build slag. The purpose of slag is to protect molten steel underneath. It also protects the furnace from chemical wear from direct the heat of electric arc.

At the melting shop of Outokumpu Tornio, the injection with calcium oxide is done by pneumatic equipment. The main idea of the entire system is to inject calcium oxide onto the area which is most vulnerable. That area is also called "hot-spot".

At the end of summer 2010, the injection line was modified. This thesis deals with the documentation of these modifications and it also proves the benefits in practice by interviewing employees and inspecting the damage of the furnace.

A damage analysis was done on the wear profile of the current furnace including pictures. From the results of the analysis, a suggestion for the improvement of the injection is presented.

The most remarkable improvement was to relocate the injection holes near to the hot-spots.

Keywords: electric arc furnace, calcium oxide injection, refractory lining.

Sisällysluettelo	
TIIVISTELMÄ	I
ABSTRACT	II
SISÄLLYSLUETTELO	III
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	IV
1. JOHDANTO	1
2. OUTOKUMPU TORNIO WORKS	2
2.1. Teräsmateriaalit	2
2.2. Jaloterässulatto	3
3. VALOKAARIUUNI	6
3.1. Rakenne	7
3.2. Vuorausmateriaalit	7
3.3. Toiminta	8
4. KALKIN INJEKTOINTI	9
4.1. Kalkki	10
4.1.1. Aineen kuvaus	11
4.1.2. Ominaisuuksia	11
4.1.3. Reaktiivisuus	12
4.2. Kalkin annostelu	12
4.3. Kalkin injektointi valvomosta	14
5. KUONA	16
6. TULENKESTÄVÄN VUORAUKSEN KULUMINEN	17
6.1. Kemiallinen kuluminen	17
6.1.1. Metallisulan tunkeutuminen vuoraukseen	20
6.2. Terminen kuluminen	21
6.3. Mekaaninen kuluminen	23
7. VAURIOANALYYSI	24
7.1. Hot-spot	24
7.2. Vuorauksen romahtaminen	27
7.3. Kaatoaukon kuluminen	29
8. KALKKILINJAN PARANNUSEHDOTUS	31
8.1. Syöttöaukko nro 1	33
8.2. Syöttöaukko nro 2	33
8.3. Syöttöaukko nro 3	34
8.4. Syöttöaukko nro 4	34
8.5. Syöttöaukko nro 5	35
8.6. Kalkkilinjaston rakennus ja huolto	35
9. YHTEENVETO	37
10. LÄHDELUETTELO	38

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

FeCr	ferrokromi
CRK	kromikonvertteri
VKU	valokaariuuni
VKU2	linjan 2 valokaariuuni
AOD	argon-oxygen-decarburization
JVK	jatkuvavalukone
MgO	magnesiumoksidi
CaO	kalkkioksidi
SiO ₂	piioksidi
Al ₂ O ₃	alumiinioksidi
TiO ₂	titaanioksidi
E-aste	kuonan emäksisyys aste
Cr ₂ O ₃	kromioksidi
EAF	electric arc furnace

1. JOHDANTO

Outokumpu Stainless Oy on suomalainen ruostumattomien terästen valmistaja. Tehdas käsittää neljä tuotanto-osastoa (jaloterässulatto, kuumavalssaamo sekä kylmävalssaamot 1 ja 2) ja niiden vaatimat tukitoiminnot (mm. analyytinen laboratorio, laadunvalvonta, hallinto, jne.). Kussakin tuotanto-osastossa on tehokkuuden parantamiseksi olemassa oletettu tuotteen läpimenoaika. Jos yksi tuotanto-osasto viivästyy huomattavasti läpimenoajan suhteen, se koskee väistämättä muiden osastojen tuotantotehokkuuteen.

Tämän työn aiheena on jaloterässulaton linjan kaksi valokaariuuni ja etenkin uunin kalkininjektointijärjestelmä. Kalkininjektoinnilla on oleellinen rooli uunin kulumisprosessissa. Optimoidulla kalkininjektoinnilla kulumisalueille voidaan pidentää valokaariuunin vuorauksen kestoa ja näin saavuttaa yhä enemmän sulatuksia uunia kohti. Kulunutta vuorausta on myös paikkailtava vuorausmassalla ja tämä on tuotannolle hidastava tekijä.

Kalkininjektointilinja on ollut alusta asti käytössä valokaariuunilla, mutta linja itsessään on kokenut useita muutoksia. Edelleen kalkin injektointilinjaan etsitään parempia säätöjä, jotta päästäisiin mahdollisimman hyviin lopputuloksiin.

Viimeisin muutos tehtiin loppukesällä 2010 ja tässä työssä pohditaan muutoksen vaikutuksia sekä esitetään mahdollinen parannusehdotus.

Työn tavoitteina on uunin vuorauksen kulumiskohtien paikannus, kalkkilinjan suuttimien sijaintien selvittäminen, kalkkilinjan 3D-mallinnus, uunin vaurioanalyysi sekä parannusehdotus nykyiselle kalkkilinjastolle.

Tämä työ on rajattu koskemaan vain linjan kaksi valokaariuunia.

2. OUTOKUMPU TORNIO WORKS

Outokumpu Tornio Works pyrkii tuottamaan asiakkailleen korkealaatuista jaloterästä. Oma kromikaivos takaa suuren hyödyn tasalaatuisen FeCr:n saatavuuteen. Tätä yhtiötä ei turhaan kutsuta maailman integroiduimmaksi terästehtaaksi, sillä tehtaalla on oma kromikaivos vain muutaman kymmenen kilometrin päässä terästehtaasta. Tämän lisäksi tehtaan erikoisaloja ovat räätälöity massatuotanto valikoiduilla tuotealueilla, korkealaajuisten volyymituotteiden kustannustehokkaat toimitukset, parhaan saatavilla olevan teknologian käyttö ja RAP 5 – linjan uudet tuotteet. /6/

2.1. Teräsmateriaalit

Outokumpu Tornio Works on keskittynyt valmistamaan huippuluokan ruostumatonta terästä. Ruostumattomalla teräksellä tarkoitetaan teräslajeja, joilla on hyvä korroosionkestävyys tavalliseen niukkaseosteiseen teräkseen verrattuna. /6/

Hyvä korroosionkestävyys perustuu kromipitoisuuteen, jota on teräksessä noin 11 %. Useimmissa teräslajeissa kromipitoisuus ylittää jopa 18 prosentin. Korroosionkestävyyttä parannetaan myös muilla seosmetalleilla, kuten nikkellillä ja molybdeenillä. /6/

Austeniittisella teräksellä on laajin sovellusmahdollisuus. Hyvä muokattavuus ja hitsattavuus mahdollistavat sen käytön hyvin äärimmäisissä olosuhteissa, kuten kloridipitoisessa ympäristössä. Kaiken tämän lisäksi austeniittinen teräs ei ole magneettista.

Tämä teräslaji sisältää materiaalityyppinä AISI 304 ja AISI 316. AISI 304 sisältää noin 18 % kromia ja 10 % nikkeliä ja tällä teräslajilla on todella hyvä korroosionkestävyys. AISI 316:lla on vielä parempi korroosionkestävyys, sillä siihen sisältyy 17 % kromia, 12 % nikkeliä ja 2,2 % molybdeenia. /7/

2.2. Jaloterässulatto

Jaloterässulatto valmistaa ruostumattomia ja haponkestäviä teräsaihioita ja kuonapohjaisia tuotteita.

Sulaton kahden linjan kokonaistuotantokapasiteetti on noin 1,7 miljoonaa tonnia vuodessa. Linjan 1 erikoisuus on kromikonvertteri (kuva 1), jossa käsitellään ferrokromitehtaalta tulevaa ferrokromia ja siinä sulatetaan myös kierrätysterästä. Linjalla 2 ei ole kromikonvertterea.

Sulaton tarkoitus on antaa sulatukselle määritetty koostumus toleranssien sallimissa rajoissa ja jähmettää teräs aihioksi.



Kuva 1. Terässulaton tuotantokaavio /5/

Terässulatolla valmistetaan ruostumattomia teräsaihoita kahdella eri tuotantolinjalla. Linja 1 on aloittanut tuotannon vuonna 1976 ja linja 2 vuonna 2002. Linjojen prosessit koostuvat useista panosprosesseista (CRK, VKU, AOD, JVK). Linjalla yksi panoksen koko on 95 tonnia ja linjalla kaksi 150 tonnia. Terässulaton tärkeimmät raaka-aineet ovat ferrokromi, teräsromu ja nikkeli. Lisäksi käytetään muita seosaineita sekä poltettua kalkkia. /6/

Linjalla 1 on kromikonvertteri, minne ferrokromitehtaalta saapuva sula ferrokromi kuljetetaan. Kromikonvertteriprosessin tavoitteena on hyödyntää sulan sisältämä kemiallinen energia. Sulan sisältämä energia saadaan hyödynnettyä polttamalla sulan sisältämä pii puhaltamalla siihen happea. Vastaavaa kromikonvertteriprosessia ei ole linjalla 2 lainkaan. Linjalla 2 kromi panostetaan siiloista kromiitipelletteinä. /6/

Valokaariuunissa kierrätysteräs ja osa seosaineista sulatetaan sähkön avulla. Sen jälkeen sula kaadetaan siirtosenkkaan ja kuljetetaan AOD-konvertterille (kuva 2). Linjalla 1 osa siirtosenkan sulasta saadaan ferrokromikonvertterista. Siirtosenkan sula kaadetaan senkasta AOD-konvertteriin. AOD-prosessissa tehtävä on poistaa sulasta hiiltä hapen ja argonin avulla. Kaasujensyöttö tapahtuu lanssilla ja konvertterin kyljessä olevien suuttimien kautta. AOD-prosessissa tehdään myös tarvittavat seosainelisäykset. /6/



Kuva 2. AOD-panostus /5/

AOD-prosessin jälkeen sula kaadetaan valusenkkaan ja siirretään senkka-asmalle senkkäkäsittelyyn. Käsittelyn tehtävänä on viimeistellä terässulan koostumus ja säätää sulan lämpötila valua varten. Sula teräs valetaan laattamaisiksi aihioiksi jatkuvavalukoneella. Valtaosa aihioista ovat sellaisinaan valmiita valssaukseen ja ne kuljetetaan suoraan kuumavalssaamolle. Aihiot joihin on valun aikana syntynyt pintavikoja, hiotaan aihiohiomossa. Hiomossa aihioviat hiotaan suurella hiomakoneella. /6/

3. VALOKAARIUUNI

VKU2 on Siemens VAI:n toimittama vaihtovirtauuni, jossa sähkövirta johdetaan kolmen grafiittielektrodin kautta sulatettavaan panokseen. Elektrodeja kannattelevat vesijäähdytetyt lukittuvat armit, joilla säädetään tappien syvyyttä. Ne ovat kierreliitännällä kiinnitettyinä segmentteinä ympyrämuodostelmassa, joten kun elektrodit kuluvat, uusia segmenttejä voidaan lisätä. Valokaari muodostuu varautuneen materiaalin ja elektrodin välille. Sekä sähkövirta että valokaarella syntyvä säteilyenergia, kuumentaa materiaalia. Automaattinen paikannusjärjestelmä tarvittaessa nostaa tai laskee elektrodeja sähköisillä nostovinsseillä tai hydraulisilla teloilla. /5/, /9/

Valokaariuuneja käytetään yli kolmanneksessa maailman raakaterästuotannosta ja sen suuri suosio on vaikuttanut uuniteknologian kehitykseen. Valokaariuunin käyttö suo prosessille hyvän joustavuuden sekä suuren tuotantokapasiteetin. Haittana mainittakoon suuri energiankulutus, joka päivä päivältä kallistuvan sähköenergian hinnan vuoksi on merkittävä osa käyttökustannuksia. /9/

Valokaariuunin tehtävä terässulatolla on sulattaa sulapanos, joka käsitellään seuraavaksi AOD-prosessilla. Sulapanos on linjalla kaksi noin 150 tonnia terästä ja nimelliskapasiteetti vuodessa on noin miljoona tonnia terästä. /6/

Teoriassa tonnin teräsromuerän sulattamiseen tarvitaan 300 kWh energiaa (sulamispiste 1520 °C). Valokaariuunilla käytetään prosessiin noin 440 kWh, minkä vuoksi sen käyttö on taloudellisesti järkevää paikoissa, joissa sähköenergiaa on helposti ja halvasti saatavilla.

3.1. Rakenne

Valokaariuuni on vaihtovirtauuni, jossa sähkövirta johdetaan kolmen grafiittielektrodin kautta sulatettavaan panokseen. Elektrodeja kannattelevat vesijäähdytetyt lukittuvat armit joilla säädetään tappien syvyyttä. Elektrodit ovat kierrelitännällä kiinnitettyinä segmentteinä ympyrämuodostelmassa, joten kun elektrodit kuluvat, uusia segmenttejä voidaan lisätä. Valokaari muodostuu johtavan materiaalin ja elektrodin välille. Sekä sähkövirta ja valokaarella syntyvä säteilyenergia kuumentavat materiaalia. Automaattinen paikannusjärjestelmä tarvittaessa nostaa tai laskee elektrodeja sähköisillä nostovinsseillä tai hydraulisilla teloilla. /6/, /9/

Moderneissa sulattamoissa uuni on usein korotettu maantason yläpuolelle, jotta kauhat ja kuonapadat voidaan siirtää uunin kumpaankin päähän. Unirakenteesta erillään on elektrodituki ja sähköinen järjestelmä sekä kallistusaluusta, jonka päällä uuni lepää. /9/

Valokaariuuni koostuu pääasiassa kahdesta osasta: vesijäähdytetystä ylävaipasta sekä tulenkestävällä vuorauksella vuoratulla alavaipasta eli padasta. Uuni on siis purettavissa kahteen eri osaan, ja purku tapahtuu uunin huollon yhteydessä purkuhallilla siltanosturin avulla, pataan muurataan uusi vuoraus sen jälkeen, kun padan entiset tiilet on poistettu ja mahdolliset vauriot paikattu.

3.2. Vuorausmateriaalit

Uunin alavaippa eli pata on kauttaaltaan eristetty tulenkestävillä materiaaleilla. Seinien suojana käytetään magnesia-hiili-yhdisteisiä tiiliä, joiden hiilipitoisuus vaihtelee (5-20 %), riippuen vuorauksen sijainnista. Padan pohjalla on magnesia-massaa, joka estää valokaaren pääsyn pohjan läpi. Kaatoaukko on vuorattu sekä aloksilla (Al_2O_3) että kromiitilla (FeCr_2O_4). Uunilla on myös kauko-ohjattava massaruisku, jolla voidaan paikata vuorausta seiniltä. Ruiskumassa on magnesia-massaa. Kaatoaukkoa massataan mekaanisesti liikuteltavan massaruiskun avulla ja käytettävä massa koostuu aloksista. Uunin padan tulenkestävät tiilet vaihdetaan 3-4 viikon välein suunniteltuna seisokkipäivänä. Vuoraukset kestävät keskimäärin noin 400 sulatusta.

3.3. Toiminta

Prosessi alkaa panostuksella, joka tapahtuu pohjasta aukeavilla panostuskoreilla. Panostuksen (kuva 3) jälkeen holvi sulkeutuu ja elektroditapit ajetaan lähelle panosta, jolloin sytytysjännitteellä saadaan valokaari elektrodien ja romuteräksen välille. Elektroditapeille ajetaan pienemmällä jänniteportaalla kolot, jonka jälkeen tapeilla voidaan alkaa porautua kierrätysteräs panoksen läpi. Porautumisen jälkeen alkaa sulatus, jossa tapeille johdetaan mahdollisimman paljon sähköä. Jännitteen noustessa myös valokaaren pituus kasvaa ja romuvaipan laskeutuessa on vuorauksella vaarana kulua tehokkaan valokaaren vaikutuksesta. Tämän vuoksi jänniteporrasta lasketaan aina prosessin edetessä. Kun panos on lähes kokonaan sulanut, pienennetään jännitettä entisestään, jolloin valokaari on lyhyt ja elektrodit ovat lähellä sulan pintaa. Näin vältetään turhalta vuorauksen ja energian kulutukselta. Tässä vaiheessa sulaan voidaan injektoida happea jolloin sulapanokseen saadaan kemiallista energiaa. Menetelmä polttaa sulasta piitä sekä alentaa sähköenergian kulutusta. Tällä vaiheella saadaan sulaan tavoitelämpö (1580–1600 °C) jolloin sula on valmis kaadettavaksi siirtosenkkaan ja sitä myötä AOD-prosessiin. /9/



Kuva 3. VKU2-panostus /6/

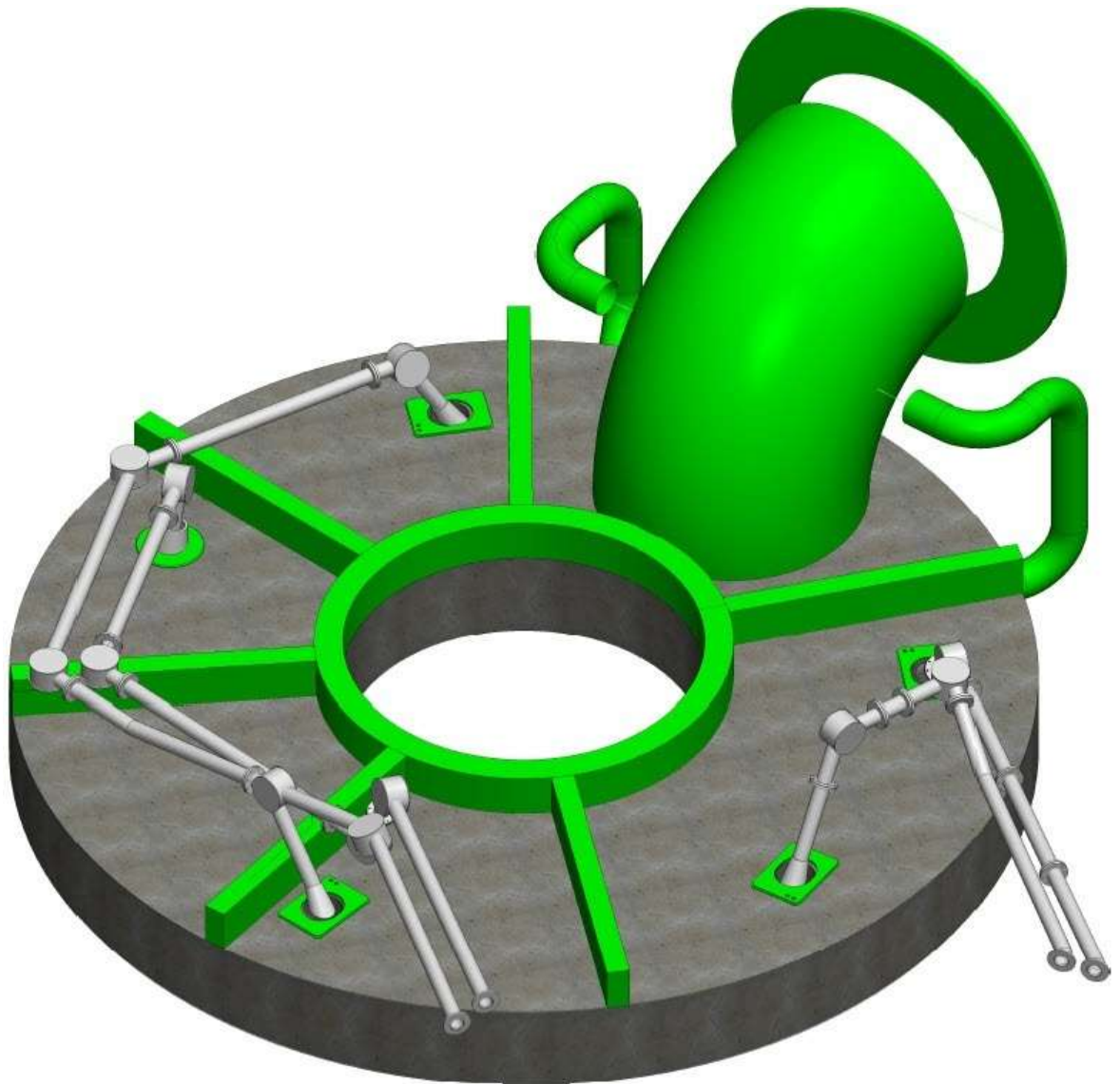
4. KALKIN INJEKTOINTI

Outokummun kummallakin jaloterässulaton valokaariuunilla on käytössä paineilmakäyttöinen kalkin injektointilinjasto. VKU2:lla kalkininjektointi toimii kahdella painelähettimellä, josta kummastakin jakautuu kaksi erillistä linjaa, joita pitkin kalkki voidaan syöttää valokaariuunin holvin läpi uunin sisään. Holvissa on tällä hetkellä viisi syöttöaukkoa, joista voidaan käyttää neljää aukkoa samanaikaisesti. Syötettävä kalkki on SMA Mineralin toimittamaa poltettua kalkkia. Kuvassa 4 on kalkin injektointilinjan 3D-malli.

Teräksen valmistuksessa tarvitaan suuria määriä kalkkia terästä hapettumiselta suojaavan kuonan muodostukseen. Sulan kuonan on myös poistettava teräksestä prosessille haitalliset epäpuhtaudet. Kalkilla saadaan myös neutraloitua hapan kuonaseos, jotta kemiallinen kuluminen kuonan ja vuorauksen välillä olisi mahdollisimman vähäinen. /9/

Kalkinsyötön ohjauksella on mahdollisuus saada vuorauksen pintaan niin kutsuttu seinämä, joka suojaa taakseen jäänyttä vuorausta. Itsessään kalkin sulamislämpötila on niin korkea, että muodostaessaan seinämän kalkki ei sula hetkessä vaan liukenee hiljalleen.

Suuttimien ohjaaminen ongelma-alueelle on ongelmallista. Kalkki kulkeutuu jokaisessa sulatuksessa aavistuksen verran erilaisilla vuorauksen seinämiin. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi panostetun kierrätysteräksen rakenteellinen vaihtelevuus (harvaa, isojakoista, hienojakoista jne.), koripanostuksen myötä panostus voi olla uuniin nähden toispuoleinen (kierrätysteräs pakkautuu yhteen laitaan ja toiselle puolelle jää tyhjä aukko) sekä panostuksen jälkeinen kierrätysteräksen pinnan korkeus. Edellä mainituista syistä syötetty kalkki kulkeutuu sulatusvaiheessa erilaisilla määränpäähänsä. Koska kalkki kuitenkin on melko hienojakoista, se tunkeutuu erilaisiin koloihin joita panoksessa on.



Kuva 4. Kalkininjektointilinjan 3D-malli

4.1. Kalkki

Kalkkia (CaO) käytetään mm. teräksenvalmistuksessa, malmien rikastamisessa, selluloosan tuotannossa sekä käyttö- ja jäteveden puhdistuksessa. Myös hiilivoimalaitosten savukaasujen puhdistuksessa käytetään poltettua kalkkia. Kalkkia valmistetaan murskatusta ja lajitellusta kalkkikivestä joko kierto- tai kuilu-uunissa. Kalkkikivi (CaCO_3) hajoaa kalsiumoksidiksi eli poltetuksi kalkiksi (CaO) ja hiilidioksidiksi (CO_2). Tämä kalsinoitumiseksi kutsuttu reaktio edellyttää noin 1100 asteen lämpötilaa. Kalkin

polttaminen pitkässä kiertouunissa kestää noin kuusi tuntia. Poltettu kalkki on uunista tullessaan kolmessa eri muodossa: palasina, rakeina ja jauheena. /4/

Poltetun kalkin käsittely edellyttävät suurta huolellisuutta, sillä kalkki on erittäin reaktiivista. Joutuessaan kosketuksiin veden kanssa se reagoi voimakkaasti. Reaktiossa vapautuu lämpöä ja seurauksena on sammutettua kalkkia. /4/

4.1.1. Aineen kuvaus

Kalsiumoksidi on hajutonta vaaleaa rakeista tai hienojakoista jauhetta. Kaupallisessa laadussa voi olla keltainen tai ruskea sävy johtuen mm. raudasta. Kalsiumoksidi on hygroskooppista eli se imee ilmasta itseensä vettä. /4/

4.1.2. Ominaisuuksia

Taulukko 1. Kalkin ominaisuuksia

Molekyyli massa	56,1 g/mol
Tiheys	3,25 - 3,38 (vesi = 1) 20 °C:ssa
Sulamispiste	2570 °C
Kiehumispiste	2850 °C
Höyrynpaine	vaikeasti haihtuva
Liukoisuus	veteen niukkaliukoinen (1,2 g/l); liukenee happoihin, glyseroli- ja sokeriliuoksiin
pH	12,5 (kyllästetty liuos 25 °C:ssa)

Taulukosta 1 on havaittavissa kalkin korkea sulamis- ja kiehumispiste. Lämpötilat ovat niin korkeat, että puhdas kalkki ei pystyisi mitenkään sulamaan terässulassa ilman yhtymistä muihin oksideihin.

4.1.3. Reaktiivisuus

Kalsiumoksidi on yleensä stabiili. Se muuttuu kalsiumhydroksidiksi (sammutettu kalkki) imiessään itseensä ilmasta kosteutta. Kalsiumhydroksidi voi edelleen reagoida ilman hiilidioksidin kanssa muodostaen kalsiumkarbonaattia. Kalsiumoksidi reagoi kiivaasti veden kanssa, jolloin syntyy tarpeeksi lämpöä sytyttämään palavia aineita. Kalsiumoksidi reagoi veden kanssa muodostaen kalsiumhydroksidia, jonka vesiliuos on keskivahva emäs. Kalsiumoksidi saattaa reagoida kiivaasti happojen, halogeenien ja metallien kanssa. Kuiva kalsiumoksidi ei syövytä metalleja, mutta kostuessaan se syövyttää alumiinia. /4/

4.2. Kalkin annostelu

Se kuinka paljon kalkkia on kuhunkin sulatukseen annosteltava, määräytyy kuonasulan näytteen perusteella. Kun sulapanos on sulatettu, kaadettu senkkaan ja toimitettu AOD-prosessiin, otetaan AOD:lla kuonasta näyte, josta voidaan laskea kuonan E-aste. E-asteen tulisi lähennellä arvoa 1,2, joka on optimi nykyiselle vuoraukselle. E-aste koostuu seuraavasta kaavasta:

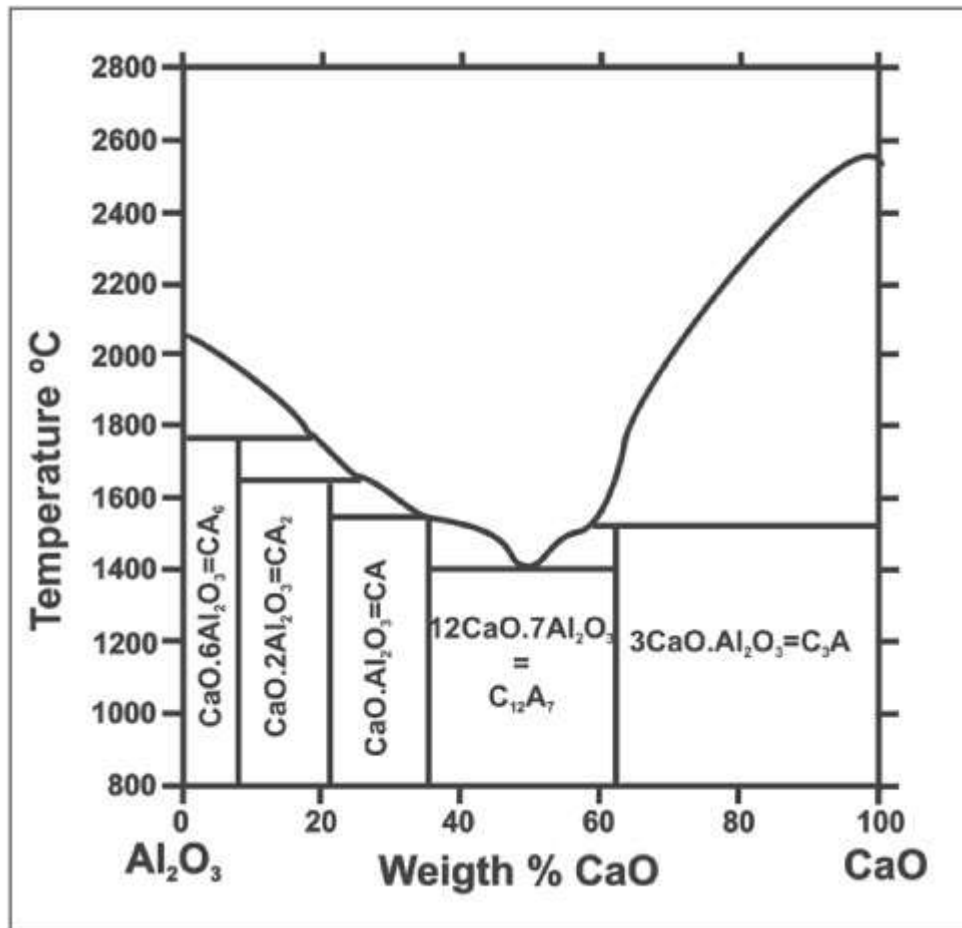
$$\frac{MgO + CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

Menetelmässä on se ainoa heikkous, että sulan analyysi tulee periaatteessa aina yhden sulatuksen jäljessä. Toisaalta kahta täysin samanlaista sulatusta ei voi ollakaan, koska kierrätysteräksen laatu voi vaihdella todella paljon. Niinpä paras keino selvittää happamuus olisi saada se sulatuksen aikana eikä vasta sitten, kun sula on jo kaadettu senkkaan.

Analyysin perusteella operaattorit voivat laskea annosteltavan kalkin määrän, jotta saadaan aikaan optimi happamuus kuonasulan ja vuorauksen välille.

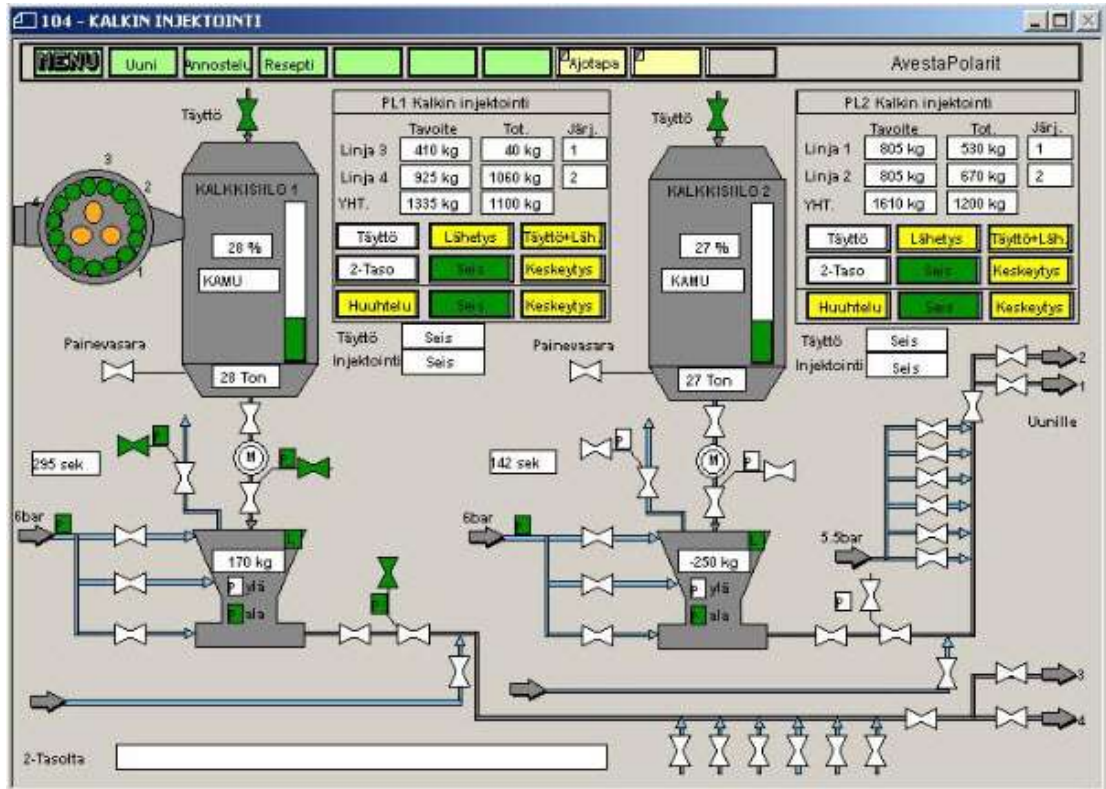
Kalkin annostuksen ajankohdalla on merkitys kalkin liukenemisen kannalta. Heti alkuvaiheessa syötetty kalkki omaa korkean sulamislämpötilan (2570 °C) eikä pääse

reagoimaan muiden komponenttien kanssa. Tällöin kalkki ei sula eikä pääse liukenemaan kuonaan tai liukeneminen on hidasta. Tämä johtaa happamaan kuonaan. Kalkin sulamispiste muuttuu merkittävästi, kun kalkki yhtyy muihin komponentteihin ja näin ollen kuonan emäksisyyttä voidaan muuttaa. Kuvassa 5 on yksinkertaisesti havainnollistettu sulamislämpötilan muutokset Al_2O_3 ja CaO välillä.



Kuva 5. Al_2O_3 vaikutus CaO sulamispisteeseen /7/

4.3. Kalkin injektointi valvomosta



Kuva 6. Valokaariuunin kalkin injektoinnin pääkuva /5/

Näytössä (kuva 6) esitetään kalkin injektoinnin kalkkisiilot 1 ja 2, sekä niiden painelähettimet. Lisäksi näytössä on kalkin kuljetusputkisto uunin holviin. Näytössä on esillä kaikki automaatiojärjestelmän ohjauksessa olevat venttiilit, vaakatiedot ja painekeytkimet. Lisäksi näytössä on sekvenssien ohjausnapit ja infotekstit.

Näytöltä voidaan ohjata painelähettimien täyttösekvenssejä, joilla otetaan siilosta painelähtimiin näytöltä syötettävä määrä kalkkia. Täyttömäärä syötetään kullekin linjalle tavoitearvoihin, jotka summataan yhteen. Täyttö käynnistetään TÄYTTÖ-napista. Vaalean vihreä täyttönappi osoittaa täyttösekvenssin olevan käynnissä, muttei vielä valmis. Keltainen nappi osoittaa lukituksen, jolloin täyttö ei ole mahdollista. Valkoinen nappi osoittaa täyttövalmiuden. Täyttö voidaan pysäyttää SEIS-napista kesken täytön.

Näytöltä voidaan ohjata painelähettimien injektointisekvenssejä, joilla puhalletaan kalkki painelähtimestä uuniin. Injektoitava kalkki on mahdollista jakaa uuniin neljää eri linjaa

pitkin, määrät kullekin linjalle syötetään tavoitearvoihin. Lisäksi linjojen injektointijärjestys valitaan näytöltä. Injektointi käynnistetään LÄHETYS-napista. Vaaleanvihreä lähetys-nappi osoittaa injektointisekvenssin olevan käynnissä, muttei vielä valmis. Keltainen nappi osoittaa lukituksen, jolloin injektointi ei ole mahdollista. Valkoinen nappi osoittaa lähetys mahdollisuuden. Injektointi voidaan pysäyttää SEIS-napista kesken injektoinnin ja keskeyttää KESKEYTYS-napista. Keskeytetty lähetys voidaan uudelleen käynnistää LÄHETYS-napilla.

TÄYTTÖ+LÄH-napilla voidaan käynnistää täyttö ja lähetys käynnistyy automaattisesti täyttösekvenssin valmistuttua. 2-TASO-napin ollessa valittuna yllä olevat toimenpiteet voidaan suorittaa 2-tason näytöltä.

Näytöltä voidaan ohjata linjanhuuhtelusekvenssiä, joka puhaltaa paineilman avulla kuljetusputkiston puhtaaksi. Huuhtelu käynnistetään HUUHTELU-napilla. Huuhtelu on mahdollista lopettaa SEIS-napilla ja keskeyttää KESKEYTYS-napilla.

5. KUONA

Ruostumattoman teräksen valmistuksen eri prosessivaiheissa syntyy erilaisia kuonia. Tavallisesti kuonat sisältävät CaO-, MgO-, Al₂O₃-, SiO₂- ja TiO₂-komponentteja. Kuonanmuodostajien avulla teräksestä hapettuvat komponentit sidotaan yhteen muotoon eli kuonaan, johon sitoutuvat myös vuorauksesta liukenevat eri oksidit. Teräskuonaa syntyy terässulatolla, jossa metallin hiili- sekä piipitoisuuksia alennetaan ja metallisulasta tulee terästä. Ferrokromikonvertterista syntyy CRK-kuonaa, valokaariuunissa VKU-kuonaa, AOD-konvertterissa AOD-kuonaa, sekä senkkauunilla senkkakuonaa. Kaikki kuonat poikkeavat koostumukseltaan toisistaan. Kuonan koostumuksella ja rakenteella on suuri merkitys prosessin hallinnassa. Kuonan tehtävänä on ottaa metallista vastaan sulkeumia ja epäpuhtauksia, jotka ovat haitallisia teräksessä, suojata sulaa metallia ilmakehän hapettavalta vaikutukselta, suojata uunien ja konvertterien vuorauksia, sekä toimia lämmöneristäjänä. Kuonan koostumusta voidaan muuttaa ja optimoida mm. kalkin avulla. /3/, /9/

Valokaariuunissa tapahtuu piin, hiilen, kromin, raudan sekä mangaanin hapettumista. Kuonan metallipitoisuuden nouseminen on estettävä sulatuksen aikana. Erityisiä haasteita aiheuttavat Cr₂O₃-, FeO- ja MnO-pitoisuuksien pitäminen tarpeeksi matalalla. Pitoisuuksien hallitsemiseksi teräkseen on tärkeää jättää vähän piitä, sillä pii pelkistää kuonaa laskien sen kromi-, rauta- ja mangaanioksidipitoisuuksia. /3, 9/

Myös kuonan emäksisyyden nosto vähentää kromin liukenemista.

Valokaariuunin prosessissa tapahtuu jatkuvaa hiilen hapettumista, jonka seurauksena syntyvä hiilimonoksidikaasu saa kuonan kuohumaan uunissa. Kuohuva kuona suojaa uunin vuorausta kulumiselta. Kuonanmuodostuksessa pyritään siihen, että valokaariuunissa hapettuvalla piillä olisi aina saatavilla riittävästi kalkkia, jotta kuonasta ei tulisi liian hapanta. Kuonanmuodostajana käytetään linjalla 2 poltettua kalkkia.

6. TULENKESTÄVÄN VUORAUKSEN KULUMINEN

Tulenkestäviin vuorauksiin kohdistuu pääasiassa kolmea erilaista kulumista:

1. Kemiallista kulumista

- vuorausmateriaalin ja sulan kuonan / sulan metallin / vallitsevien kaasujen väliset reaktiot.

2. Termistä kulumista

- korkea lämpötila ja sen aikaansaama jälkilaajenema ja – kutistuma
- radikaalit lämpötilanvaihtelut
- sulan metallin tunkeutuminen vuorausmateriaalin halkeamiin.

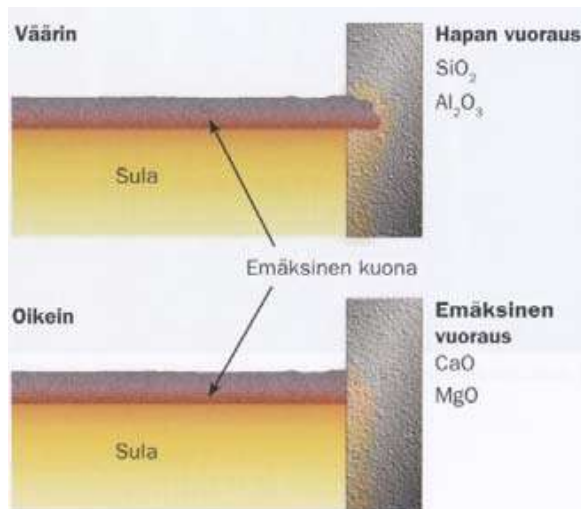
3. Mekaanista kulumista

- sulatettavan kierrätysteräksen, sulan ja savukaasujen/lentopölyn liikkeistä johtuva eroosio.

6.1. Kemiallinen kuluminen

Tulenkestävän vuorauksen kemiallisen kulumisen aiheuttaa pääasiassa sulan kuona. Kuona voi liuottaa vuorausmateriaalia, aiheuttaa vuorausmateriaalin pinnalla erkautumista tai kuona itsessään tunkeutuu vuorausmateriaalin huokosiin. /2/

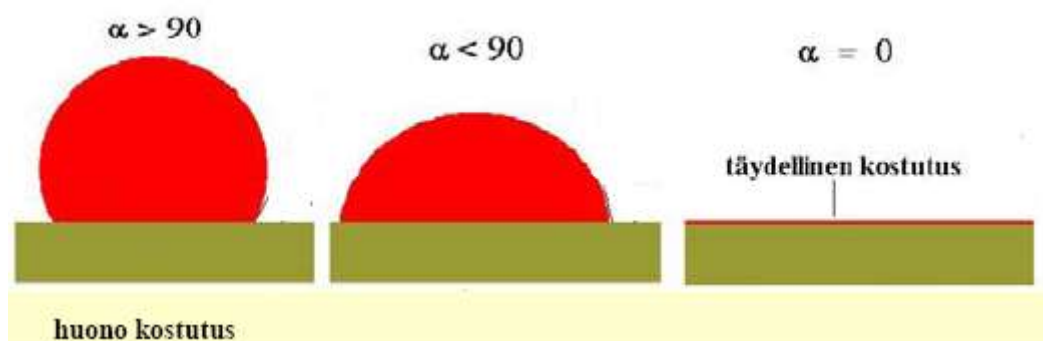
Kuonan ja vuorausmateriaalin kemiallisella koostumuksella voidaan vaikuttaa näiden kahden välisiin reaktioihin. Liukenemisnopeuteen vaikuttaa suoraan kuonan ja vuorauksen välinen liukenevan komponentin pitoisuusero. Hapan vuorausmateriaali kestää huonosti emäksistä kuonaa ja toisin päin (kuva 7). Kuona ja tulenkestävä vuorausmateriaali ovat rakenteeltaan samantyyppisiä. Täten kuona voi liuottaa suuria määriä vuorausmateriaalia aina kyllästymisrajalle saakka. Vuorauksen liukenemisprosessia voidaan kuitenkin heikentää seostamalla kuonaan esimerkiksi kalkkia (CaO). Myös korkea lämpötila nopeuttaa liukenemistä. /2/



Kuva 7. Kuonarajan kemiallinen kuluminen /8/

Kuonan tunkeutuessa vuorausmateriaalin huokosiin vuorausmateriaalin ja kuonan välinen reaktiopinta-ala kasvaa ja vuorauksen pinnan rakenne alkaa muuttua. Tunkeutumiseen vaikuttaa pääasiassa kuonan viskositeetti sekä kuonan ja vuorauksen välinen kostutuskulma. Kuonan tunkeutuminen vuoraukseen on nopeampaa pienemmällä viskositeetillä ja kostutuskulmalla. Yleensä kuonareaktiolle herkin osa on sidefaasi, jonka kautta reaktio etenee yhä syvemmäs rakenteeseen. /2/

Kostutuskulmalla (kuva 8) on oleellinen merkitys kuonan tunkeutumiselle huokosiin. Mitä parempi kostutus kuonasulalla on vuoraukseen sitä nopeammin kuona tunkeutuu huokosiin. Kostutuksen ollessa hyvä on kostutuskulma θ pieni. Kostutuskulman θ tulisi olla $>90^\circ$, että tunkeutuminen olisi mahdollisimman vähäistä. Pienelle kostutuskulmalle altis kuonasula on pintajännitykseltään suuri, mutta viskositeetiltään pieni. /2/



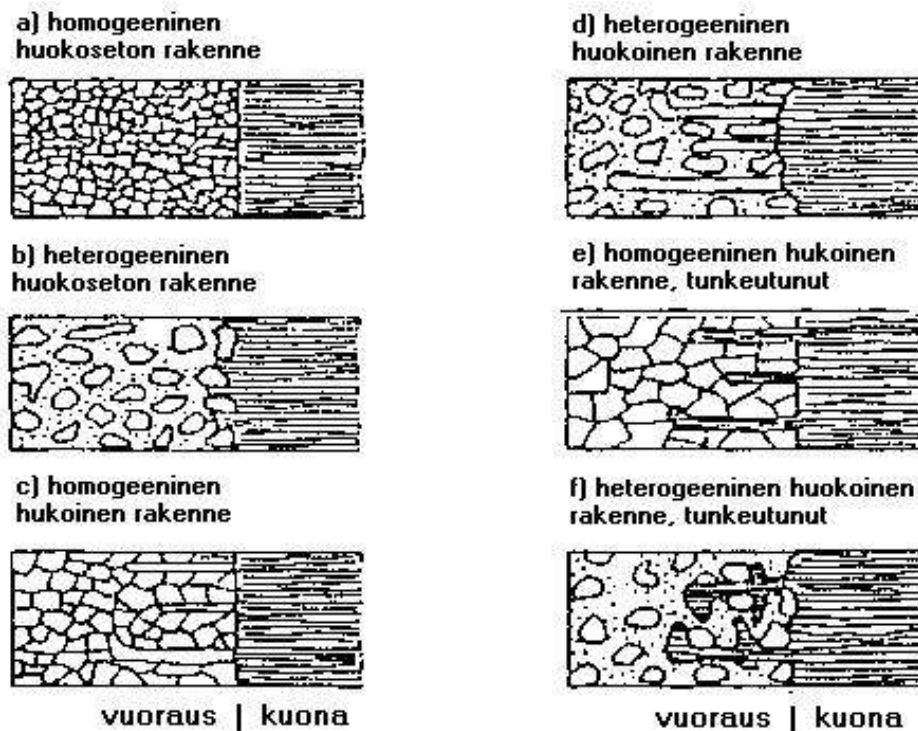
Kuva 8. Kostutuskulma

Huokosiin asti tunkeutunut kuona jatkaa reagoimistaan aina tasapainotilaan asti. Tämä voi johtaa siihen, että kuona liuottaa vuorauskomponentteja aina kyllästymispisteeseen asti. Jatkuva reaktio myös aiheuttaa jähmeän liuoksen, jolloin jäännössulan juoksevuus huononee. /2/

Vuorausmateriaalin rakennetta kuvaavat seuraavat tekijät:

- rakenteen tiiviys
- rakenteen kaasunläpäisevyys
- huokoisuus
- koostumusmineraalien jakauma
- side – ja raerakenne.

Näiden lisäksi tunkeutumisen nopeuteen vaikuttaa vuorausmateriaalin huokosten koko ja muoto kuten kuvassa 9 on esitetty.



Kuva 9. Kuonan tunkeutuminen erilaisiin vuorauksiin /2/

6.1.1. Metallisulan tunkeutuminen vuoraukseen

Puhdas hapeton metallisula kostuttaa huonosti vuorausmateriaaleja. Kostutuskulma θ on edellä mainitussa tapauksessa suuruusluokkaa 120° . Kuitenkin metallin happipitoisuus näyttelee tässä tärkeää roolia, sillä happipitoisuuden kasvaessa kostutuskulma nopeasti pienenee, jolloin tunkeutuminen on mahdollista. Myös sulan ja vuorauksen väliset kemialliset vuorovaikutukset voimistuvat. /2/

Metallin imeytyminen vuorausmateriaaliin ei yleensä aiheuta merkittäviä kemiallisia reaktioita, mutta muuttaa tiilen mekaanisia ominaisuuksia. /2/

Vuorausmateriaalin kemiallisen ja mineralogisen koostumuksen lisäksi sen rakenne vaikuttaa kuonankestävyyteen. Sula metalli voi tunkeutua tulenkestävän materiaalin huokosiin joko esim. ferrostaattisen paineen tai sitten pintaenergiasuhteiden ajamana. Huokosiin tai halkeamiin tukeutuva metalli parantaa vuorauksen lämmönjohtavuutta ja aiheuttaa näin suuremman lämpöhukan prosessissa. /2/

Näin vuorauksen taaemmat osat ovat vaarassa joutua lämpötilaan, johon sitä ei ole suunniteltu. Mahdollisuus ns. puhkeamaan (sula läpäisee uunin uloimman, metallisen kuoren) on tällöin suuri. Edellä mainittua tilannetta voidaan tarkkailla seuraamalla uunissa olevien vesijähdytteisten lämpölaatikoiden lämpötilojen seuraamista. Järjestelmä myös hälyttää jos jokin lämpölaatikko ylittää hälytysrajan. Kuvassa 10 puhkeaminen on lähellä tapahtua.



Kuva 10. ”Puhkeama” muodostumassa vuorauksen petettyä

6.2. Terminen kuluminen

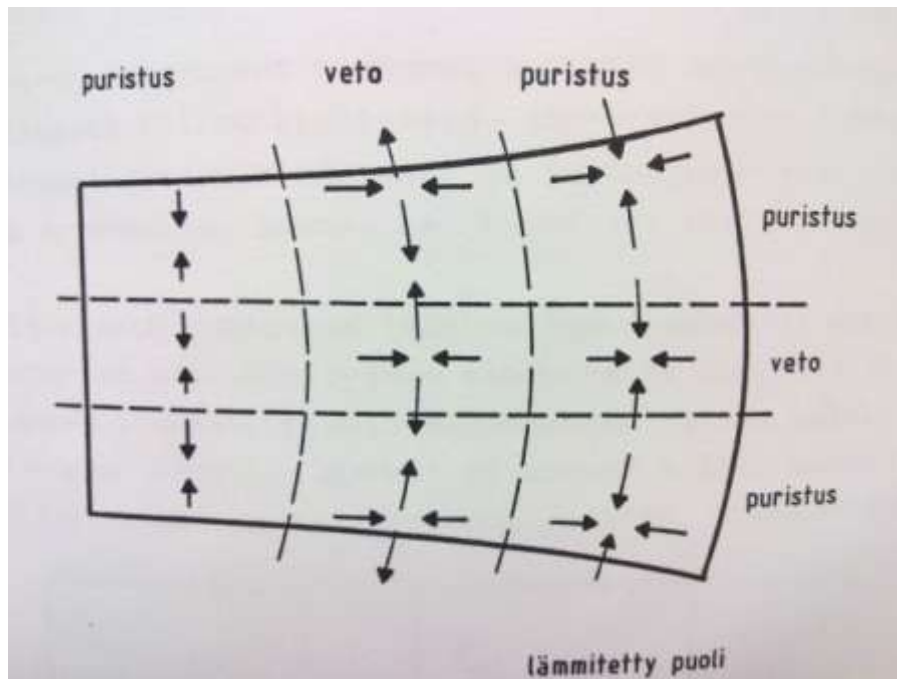
Korkea lämpötila ja lämpötilojenvaihtelut saavat vuorauksessa aikaan jännityksiä (kuva 11.). Jännitykset voivat aiheuttaa vuorauksen halkeamista ja hajoamista. Halkeamien ja hajoamisen sijaintiin vaikuttavat lämpötilat, lämpölaajeneminen, kuumennus- ja jäähdytysnopeus, rakenteen lämpölaajenemistila, lämmönjohtavuus ja tiilien muoto. /2/

Vuorausmateriaalin käyttölämpötila määräytyy sen tulenkestävyydestä. Tulenkestävyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat vuorausmateriaalin kemiallinen ja mineraloginen koostumus sekä vuorauksen rakenne. Todellinen käyttölämpötila on kuitenkin käytännössä matalampi, koska materiaalissa tapahtuu käytössä kutistumista ja virumista. Tämä siksi, koska materiaaliin tulee aina prosessiolosuhteissa sulamispistettä alentavia epäpuhtausoksideja. Tulenkestävillä vuorausmateriaaleilla ei ole ns. sulamispistettä, vaan sulamisalue, joka ilmenee vähitellen sulanmuodossa vuoraukseen. /2/

Tulenkestävä materiaali pitkään alistettuna korkeille lämpötiloille saa aikaan palautumattomia tilavuudenmuutoksia. Tilavuudenmuutokset saavat vuorausrakenteessa aikaan halkeamia ja saumojen aukeamisia, jotka huonontavat kuonan- ja lämpötilanvaihtelukestävyyttä. Ajan kanssa rakenteet voivat painua tai jopa sortua. Kun korkeaan lämpötilaan vielä yhdistetään jatkuva kuormitus, alkaa vuorauksessa ilmetä virumista. /2/

Tulenkestävistä vuorausmateriaaleista esim. samotti, aloksi ja magnesia pitkäaikaisen korkean lämpötilan vallitessa kutistuvat. Tätä kutsutaan jälkikutistumaksi. Jälkikutistumaa tapahtuu edellä mainituilla vuorausmateriaaleilla, koska materiaali ei yleensä ole saavuttanut tasapainoa alkuperäisessä poltossa, joten sintrautuminen ja uudelleenkiteytyminen jatkuvat. Tämä taas muuttaa materiaalin tiheyttä. /2/

Jälkikutistuma saa aikaan vuorauksessa halkeamia ja saumojen aukeamisia. Tämä edesauttaa kuonasanan aiheuttamaa kemiallista kulumista. /2/



Kuva 11. Tiileen kohdistuvat jännitykset lämmityksessä /2/

6.3. Mekaaninen kuluminen

Vuorauksen mekaaninen kuluminen johtuu staattisesta/dynaamisesta rasituksesta sekä väliaineen kuluttavasta vaikutuksesta. Edellä mainitusta esimerkkejä ovat:

- vuorauksen oman painon aikaansaama jatkuva staattinen rasitus ja siihen kohdistuvat mekaaniset liikkeet aikaansaavat dynaamisia jännityksiä joka johtaa vuorauksen mekaaniseen väsymiseen
- panostusvaiheessa valokaariuuni altistuu erilaisille iskuille ja hankauksille
- suurella nopeudella liikkuvat pölyhiukkaset ja kuonapisarot syövät vuorausta
- sulan liikkeet ja voimakkaat virtauksen kuluttavat merkittäväällä tavalla uunin vuorausta etenkin kaatonokan kohdalta.

Mekaaniseen kulumiseen ei juurikaan voida vaikuttaa muulla kuin valokaariuunin fyysisellä muotoilulla. /2/

7. VAURIOANALYYSI

Valokaariuuni-prosessissa on uunin vuorausta vaurioittavia tekijöitä. Näiden vuoksi uunin vuoraus kuluu paikoin nopeasti, jopa silmin havaittaviksi. Selvimmin havaittavissa ovat esimerkiksi hot-spot-alueet sekä kaatoaukolla tapahtuva kuluminen. Vuorauksen romahdus saa aikaan uunin kuoren hehkumisen ja sula voi pahimmillaan läpäistä uunin.

7.1. Hot-spot

Edellä mainittujen kemiallisen, termisen ja mekaanisen kulumisen lisäksi valokaariuuni joutuu alttiiksi korkeille paikallisille lämpötiloille. Nämä alueet ovat ns. hot-spot-alueita (kuva 12).

VKU2:ssa esiintyy pääasiassa kolmea eri hot-spot-aluetta, jotka ovat selvästi havaittavissa kuvasta 12 vuorauksen kulumisena. Sana ”hot-spot” tarkoittaa kohtaa tai aluetta, joka paikallisesti ottaa vastaan huomattavasti kovemman rasitteen kuin uunin muu ympäristö. Tämä johtaa vuorauksen nopeaan kulumiseen ja riski uunin puhkeamiseen kasvaa koko ajan.

Hot-spot-alueet muodostuvat valokaariuuneissa elektroditappien läheisyyteen. Valokaari alkaa iskeytyä lähimpään kohtaan uunin kuorta siinä vaiheessa, kun ympärillä oleva kierrätysteräs on sulanut uunin pohjalle. Toki valokaari jo itsessään huokaa suurta lämpöä ympärilleen, joka nostaa vuorauksen lämpötilan korkeaksi.



Kuva 12. Kaksi VKU2 merkittävintä hot-spot aluetta

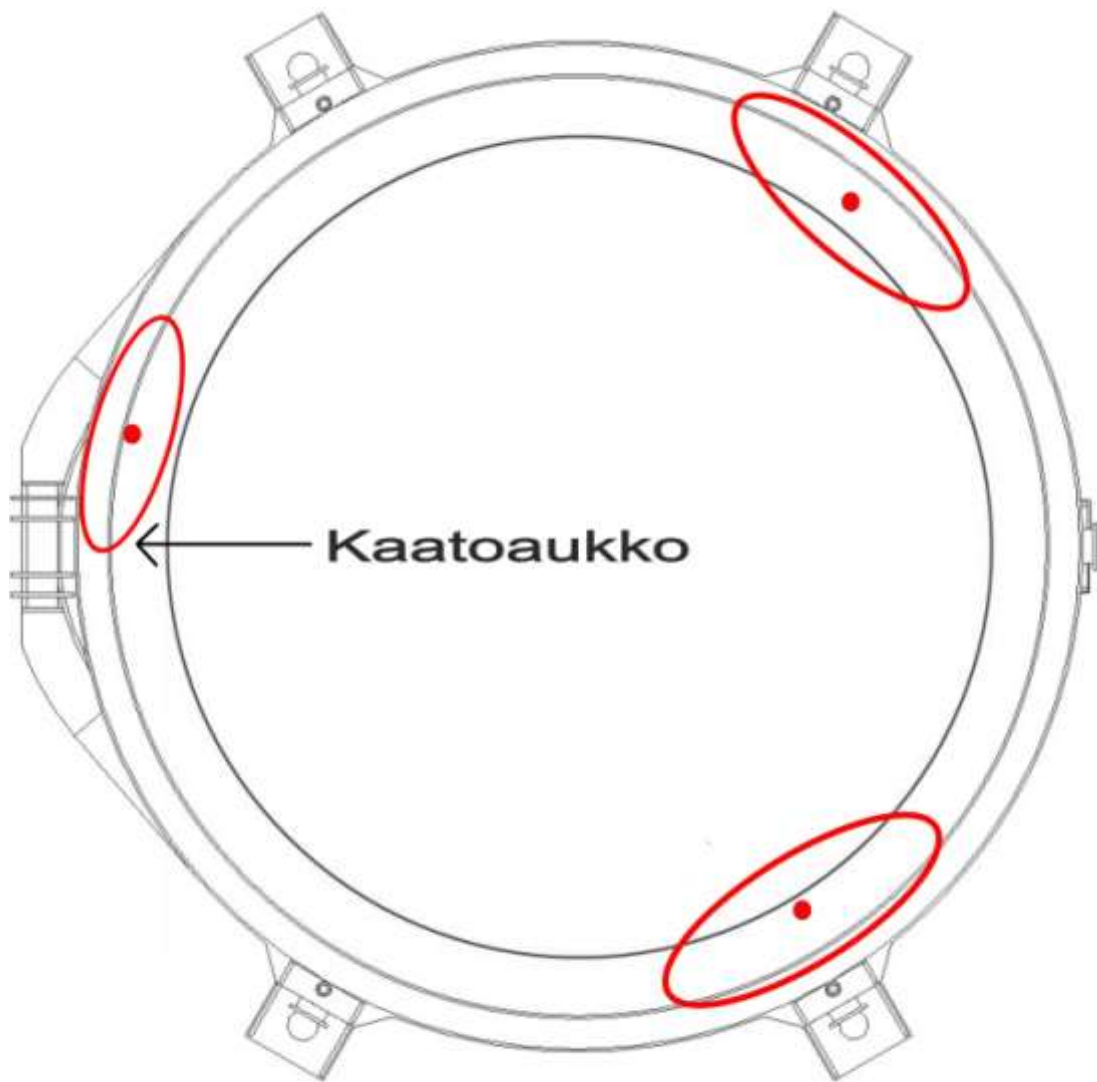
Hot-spoteista ei periaatteessa pääse kokonaan eroon, mutta paikallisesti tapahtuvaa kulumista on mahdollista hidastaa. Teoriassa tehokkain tapa on laskea sulatustehoa, mutta se ei ole vaihtoehto laitokselle, joka tekee mahdollisimman paljon tuotantoa. Jäljelle jää vielä kaksi keinoa: itse valokaaren säätäminen ja kalkin syöttäminen valokaaren ja vuorauksen väliin.

Nykyisin uunissa on kalkille viisi syöttöaukkoa, joista neljää voidaan käyttää yhtäaikaisesti. Suuttimien suuntauksessa on suuri merkitys, kun halutaan saada aikaan vaippa valokaaren ja vuorauksen välille. Jos suuntaus saadaan hyvin hot-spot-kohtaan, on lopputuloksena huomattavasti pitkäikäisempi vuoraus. Ongelmaksi koituu kalkin käytön rajoitettu määrä, koska kalkki imeytyy sulaan ja saa siellä aikaan muutoksia. Näin ollen suojaavaa kalkkia ei voida laskea uuniin rajattomasti.

Hot-spot-alueita on pystytty rauhoittamaan kalkinsyöttösuuttimien uudelleen suuntauksella. Suuntaus jo itsessään on vaativa tehtävä, koska ei voida täysin tietää kuinka virtaukset, ilmavirtaukset ja valokaaret käyttäytyvät holvin alla, kun valokaari on täydessä toiminnassa. Näin ollen kaikkien tehtävien muutosten täytyy pohjautua kulumisprofiliin ja keino sinänsä on heikko, koska muutosten tekeminen ei käy käden käänteessä ja näin suuttimia ei voida heti säädellä jos on tarve. Myöskään vedenpitäviä tuloksia muutoksista ei saada ennen kuin useamman sulatuksen jälkeen.

Kyseiset kohdat ovat valokaariuunin heikoimmat lenkit. Kun vuoraus on pahimmillaan kulunut hot-spot-alueelta lähes kokonaan, on kuonasula kosketuksissa uunin metalliseen runkoon. Runko antaa helposti periksi suurelle määrälle sulaa terästä ja puhkeaman välttämiseksi on uunia tyhjennettävä kaatosenkkaan, jotta sulan pintaa saadaan laskettua alueelta, jossa vuorausta ei enää ole. Tämä ei ole enää tuotannollisesti kannattavaa, vaan toimenpidettä voidaan ajatella uunin tekehengityksenä. Normaali sulatusaika venyy varovaisen ajotavan sekä paikkausmassauksen vuoksi jopa kaksinkertaiseksi.

Outokummun VKU2 hot-spot sijainnit on selvennetysti havainnollistettu kuvassa 13.



Kuva 13. Hot spot alueet VKU2:ssa merkitty punaisella

7.2. Vuorauksen romahtaminen

Joissakin tapauksissa kuonasula on voinut vaurioittaa vuorausta nopeasti ja paikallisesti. Usein syynä tähän on joko muurausvaiheessa tullut virhe (liian tiukka tai harva muuraus ja seurauksena tiilen elämisestä johtunut sortuminen) tai hapan kuonasula on kuonarajalta syönyt emäksisen vuorauksen ja huokoinen vuoraus on saattanut päästää kuonasulan huokosiinsa. Tällaisessa tapauksessa vuoraus saattaa jäädä tyhjän päälle makaamaan ja

sortuu (kuva 14). Sortuminen on sikäli vakavaa, että uuni on syytä vaihtaa mahdollisimman pian ja tämä toimenpide vie aikaa ja rahaa.



Kuva 14. Vuoraus on romahtanut

Kuten edellä on mainittu, on vuorauksen muurauksella myös oma osansa uunin vuorauksen käyttöikänsä. Huolimaton muoraus voi saada aikaan epätasaisen kulumisen ja loppujen lopuksi vuoraus antautuu sieltä täältä sortumalla. Sortumiseen johtaa tiilien lämpömuutoksista koituneet elämiset sekä mahdolliset ”lipat” (kuva 15) kuonrajalla, jonka alta kuonasula syö vuorausta. Kun kemiallinen kulumisprosessi on tällaisessa tilanteessa syönyt vuorausta siten, että päälle jää makaamaan ehjää, kulumatonta tiilikerrosta, on lopputuloksena usein jonkin asteen sortuma. Oikeanmittainen tiili oikeassa paikassa poistaa edellä mainitun ongelman.



Kuva 15. Vuorauksessa ns. ”lippa”

7.3. Kaatoaukon kuluminen.

Jokainen sulatus luonnollisesti kaadetaan valokaariuunista siirtosenkkaan. Kaataminen tapahtuu uunissa olevan kaatoaukon kautta. Jos oletetusti uuni on käytössä noin 400 sulatuksen verran, huilaa kaatoaukosta keskimäärin 60 000 tonnia sulaa terästä. Jo tuo määrä itsessään kertoo kuinka kovalla rasituksella kaatoaukko tulee olemaan, lukuun ottamatta yhtä oleellista hot-spottia, jonka sijainti on aivan kaatoaukon vieressä. Kaatoaukkoa kuluttaa pääasiassa mekaaninen kulutus ja sille ei periaatteessa ole mitään tehtävissä. Kaatoaukkoa kuitenkin voidaan massata uudelleen massaruiskulla ja näin uudelleen rakentaa vuorausta.

Virtaavan aineen määrä ja massa on kuitenkin niin suurta, että kuluminen on väistämätöntä.



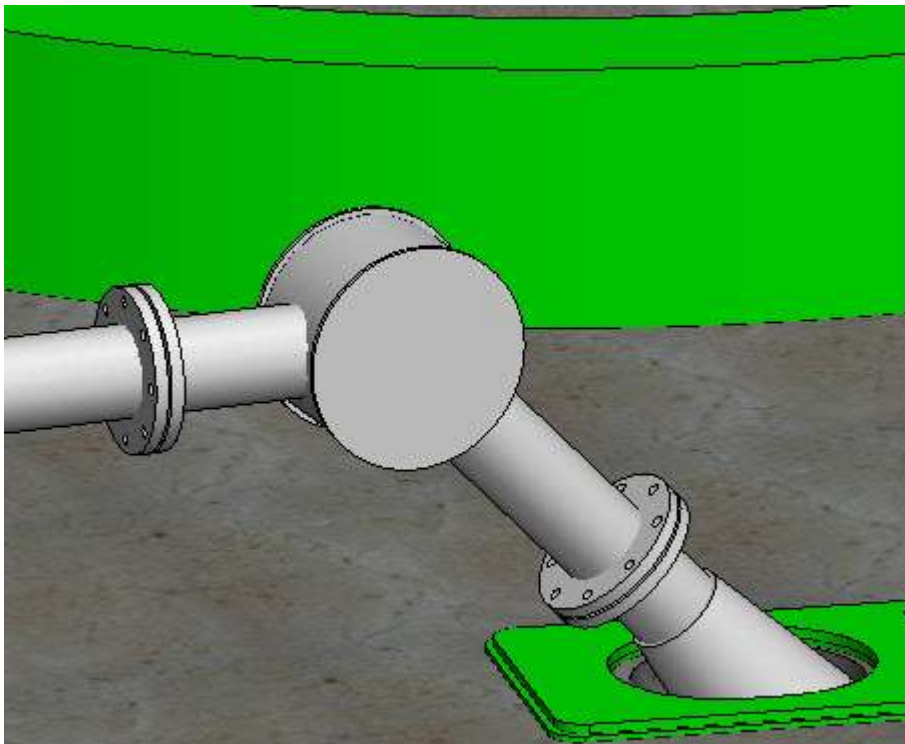
Kuva 16. Jo kertaalleen paikattu ja uudelleen kulunut kaatoaukko

Uudelleen massattu kaatoaukko ei silti takaa, että kaatoaukko tulee kestävämpään loppuun asti ns. uudenveroisena. Massaus on väliaikainen korjaus ja se on huomattavasti nopeampi ja edullisempi tapa antaa muuten hyväkuntoiselle lisää käyttöikä. Kertaalleen massattu uunin kaatoaukko kuuluu yhtäläisellä siinä missä alkuperäinenkin vuoraus. Kuvassa 16 on 295 sulatuksen ikäinen kaatoaukko joka on jo kertaalleen massattu. Kuvasta voi huomata kaatoaukon kulumisprofiilin.

8. KALKKILINJAN PARANNUSEHDOTUS

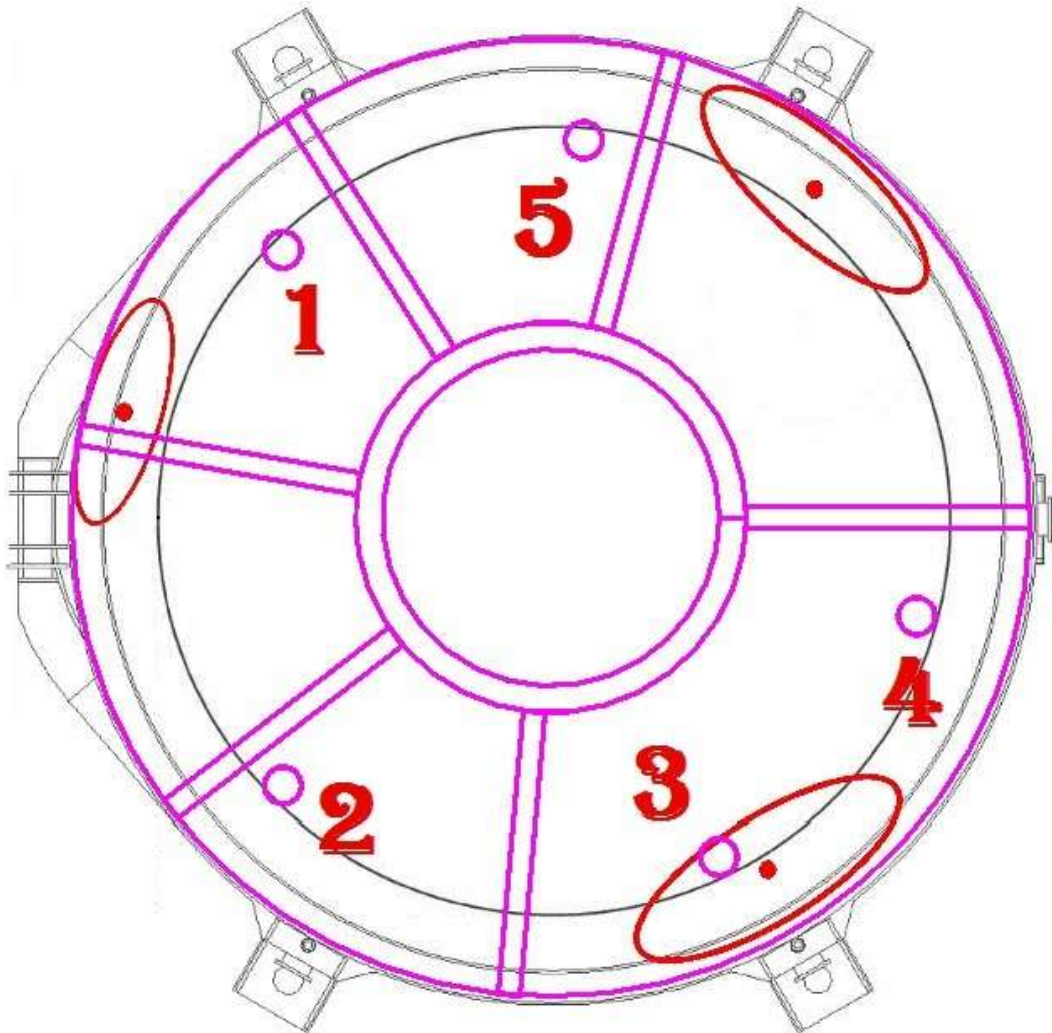
Nykyinen linjasto on vain muisto siitä, mitä se on ollut vuosituhannen alussa, silloin kun linja kaksi aloitti toimintansa. Silloisessa järjestelmässä oli vain kolme erillistä syöttöaukkoa. Aukkoja on sittemmin tullut kaksi lisää.

Oleellisinta uunin käyttöään kehittämisessä on perehtyä jo käytössä olevien suuttimien suuntaukseen. Harmillisen vaikeaksi uusien suuttimien asennon arvioinnin tekee pitkä ja mutkikas syöttöputkisto. Putkiston jokaisessa kulmassa täytyy olla ns. ”kiekko”, (kuva 17) joka estää puhallettavan kalkin syömästä putkistoon reikää. Edellä mainitun kiekon avulla syötettävä kalkki ensin täyssää kiekon seinämät ja tavallaan syö itse itseään ja näin kulmakohdat eivät kulu puhki. Virtauksiin syntyy myös pyörteitä sekä häviöitä. Joten huolella asennettu suutin voi todellisuudessa syöttää kalkin aivan eri paikkaan kuin on suunniteltu. Tähän asti säätötyöt on tehty kokemuspohjalta.



Kuva 17. Kalkkilinjan ”kiekko”

Kalkin syöttöaukot eivät kuitenkaan ole täysin suunnattuja hot-spot-kohtiin. Kuvassa 18 havaitaan, että vain syöttöaukko nro 3 on kutakuinkin hot-spot-alueen kohdalla. Syöttökulmat ovat kaikissa, paitsi syöttöaukko nro 1, yli 45° . Syöttöaukko nro 1 on lähes pystysuora. Kuitenkin viimekertaisen muutoksen myötä (aukko nro 5 uutena aukkona sekä aukon nro 1 kulman muutos) kaikki vuorot ovat huomanneet uunin vuorauksen kestävän pidempään. Todennäköisesti olemassa olevat hot-spotit on saatu pienemmään kyseisillä muutoksilla. Tarkisteluni ja haastatteluiden mukaan etenkin syöttöaukko nro 5:n lisäys on ollut merkittävä. Uunin peräosa ei ole kulunut yhtä paljon kuin ennen muutoksia.



Kuva 18. Syöttöaukot ja hot-spotit

8.1. Syöttöaukko nro 1

Syöttöaukkoon nro 1 tehtiin muutos loppukesällä 2010. Aukon suuntausta muutettiin vuoraukseen päin ja aavistuksen verran hot-spot-kohtaan. Käytännön haittoina ennen muutosta oli kaatoaukon vuorauksen kuluminen. Tehdyllä muutoksella on saatu aikaan positiivisia tuloksia. Kuitenkin kuten kuvasta 16 nähdään on aukko kaikesta huolimatta jokseenkin kaukana kaatoaukon hot-spotista. Kaatoaukko vaatisi joko sijainnin muutoksen tai syöttökulman muutoksen hot-spottia kohti. Kohtisuora hot-spotille ei ole mahdollista, koska kaatoaukko itsessään keräisi suuren osan syötetystä kalkista.

8.2. Syöttöaukko nro 2

Syöttöaukkoa nro 2 ei ole käytetty viimeisen muutoksen jälkeen. Tutkintojen ja havaintojen perusteella tälle kohtaa kertyy suojaavaa seinämää jopa liiaksi asti (kuva 19). Syy seinämän muodostumiselle on mahdollisesti uunissa vallitseva virtaus ja ilmavirta. Ilmavirta ja virtaus voivat kuljettaa muiden suuttimien syöttämää kalkkipölyä kyseiseen kohtaan. Näihin vedoten, syöttöaukko nro 2 on tällä hetkellä täysin turha.



Kuva 19. Syöttöaukon nro 2 kohdalle syntyvä vuorautuminen

8.3. Syöttöaukko nro 3

Tämä on ainoa aukko, jonka sijainti on hot-spotin päällä. Kolmesta hot-spotista juuri tämä on usein kaikkein vähiten kulunein. Suuntaus kyseisellä kohdalla on kuitenkin kyseenalainen. Nykyisellä suuntauksella kalkki suuntautuu aavistuksen verran hot-spotista ohi. Kyseistä suutinta tulee näin ollen suunnata enemmän alaspäin, jotta kalkki saadaan täsmällisesti hot-spotille.

8.4. Syöttöaukko nro 4

Syöttöaukko sijaitsee lähimpänä savukaasuhormia. Alkuvaiheessa sulatusta savukaasun poistoimu on tehokkaimmillaan ja imuteho laskee suhteessa elektrodeille johdettuun tehoon. Imu on kaikesta huolimatta hyvin tehokas pitkin prosessia. Eri vuoroja seuraamalla ja haastatteleamalla selvisi, että useat vuorot eivät syötä tästä syöttöaukosta juuri yhtään kalkkia. Havaittavia suuria eroja ei ole siinä onko sulatukseen syötetty 100 kiloa vai 800

kiloa. Todennäköisesti osa kalkista kantautuu savukaasuhormin kautta savulaitokselle. Syöttöaukon sijaintia muuttamalla todennäköisesti vielä enemmän kalkkia kantautuisi pois savukaasulaitokselle.

8.5. Syöttöaukko nro 5

Kyseisen syöttöaukon loppukesällä 2010 tehty muutos on edesauttanut uunin käyttöään pidentämisessä. Haastatteluiden pohjalta viisi vuoroa viidestä sanoi tämän uuden syöttöaukon myötä uunin ”perän” puhkeamistaajuuden rauhoittuneen. Aikaisemmin kyseiselle alueelle ei ollut ollenkaan kalkin syöttöä.

Kuitenkin kuvasta 15 voimme havaita, että aukko voisi olla edelleen lähempänä hot-spot-alueetta. Kaasunpoistokäyrä ei todennäköisesti vaikuta syöttöaukon nro 5 kohdalla niin paljoa kuin syöttöaukon nro 4 kohdalla. Tästä näyttönä aukon nro 5 tuoma parannus uunin käyttöikänsä. Jos kyseistä syöttöaukkoa tuotaisiin lähemmäs hot-spottia, pääsisi syötetty kalkki vaikuttamaan laajemmalla alueella ongelmakohtaan.

8.6. Kalkkilinjaston rakennus ja huolto.

Tähän asti kalkkilinjasto on rakennettu uudestaan tavalla, joka muuttaa linjaston käyttäytymistä. Linjasto on rakennettu uunin holvin päälle ja kesäisessä huoltoseisokissa sekä holvi että linjasto vaihdetaan. Linjastoa ei voi siirtää suoraan entisestä holvista eikä se kuluneisuutensa puolesta olisi kannattavaakaan. Uuden holvin päälle on aina rakennettava uusi linjasto. Rakennus tapahtuu eri osastossa kuin missä itse uuni sijaitsee. Tämän vuoksi kopioitavan linjaston ja rakennuspaikan väliä on kuljettava jatkuvasti, jotta linjasto saataisiin edes muistuttamaan kopioitavaa linjastoa.

Rakennettava linjasto alkaa periaatteessa siitä mihin painelähettimet loppuvat. Linjastossa on käytössä useita laippakiinnityksiä, mutta sekaan mahtuu myös paikanpäällä hitsaamalla tehtyjä kiinnityksiä. Tässä ongelmaksi koituu uuden linjaston sovittaminen paikallaan olevaan painelähtetimen linjastoon. Pinalähtetimestä lähtevät ensimmäiset putket tulisi

jäädä paikalleen, jotta uuden holvin rakennus voisi onnistua lähes kokonaan rakennuspaikalla.

Nykyisessä kokoonpanossa ainoastaan syöttöaukolle 4 menevä putki on mahdollista irrottaa laipalla. Syöttöaukoille 1, 2 (5) ja 3 putket yhtyvät hitsaamalla tai tarpeettoman pitkällä putkella holvinpäälle rakennettuun linjastoon (kuva 3). Asentamalla edellä mainittuihin linjastoihin laippakiinnitykset sopivin etäisyyksin, uuden holvin ja sen päälle rakennetun linjaston liittäminen painelähettimeen ei veisi niin paljoa aikaa ja vaivaa. Tämä mahdollistaa uudenlinjaston kytkemisen täsmälleen samalle paikalle kuin missä aiempi linjasto oli. Parannusehdotelman myötä painavien putkien turha leikkely, siirtely ja hitsaaminen jäisivät pois.

Linjastossa sijaitsevat ”kiekot” on liitetty putkiin laipoin. Kuitenkin joukossa on yksi putki, joka on molemmista päistä hitsattuna kiekkoon. Laipattomat liitokset kiekkojen välillä tulee poistaa ja muuttaa liitokset laipallisiksi. Tämä mahdollistaa putkien uudelleen käytön ja helpon tavan vaihtaa kulunut putki välistä. Menettely muuttaisi nykykäytännön, jossa yksikään käytössä ollut putki ei päädy takaisin käyttöön. Putkistossa virtaava kalkki kuluttaa pahiten mutkakohdissa, mutta suorat putket kuluvat hitaasti. Suurin osa olisi siis täysin kelpavaa uudelleen käytettäväksi.

9. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää VKU2:n kalkin injektointilinjan viimeaikaisten muutosten tarkoituksenmukaisuus, piirtää injektointilinjan 3D-malli, tehdä uunin vuorauksen vaurioanalyysi sekä antaa parannusehdotus injektointilinjaa koskien. Tarvittavien tuloksien kasaaminen vaati paljon läsnäoloa itse prosessissa, sekä laajaa haastattelua kaikilta jotka ovat tekemisissä kyseisen valokaariuunin kanssa. Työssä tutkimisen osuus oli kohtalaista, sillä todella tarkkojen mittaustulosten saaminen ei hyödyttänyt tässä työssä. Suurin osa tutkimuksista oli ns. silmämääräistä sekä valokuvadokumentointia. Toki linjaston 3D-mallinnus vaati jatkuvaa mittausta paikan päällä viitenä peräkkäisenä huoltoseisokkina.

Ennen kaikkea tämän opinnäytetyön myötä Outokumpu sai päivitetyn 3D-mallin VKU2:n kalkin injektointilinjasta. Itse mallintaminen oli haasteellista, mutta sitäkin mielenkiintoisempaa.

Suuren osan työhön tarvittavasta tiedosta sain haastatteleamalla käyttömiehiä sekä uunin parissa työskentelevää henkilökuntaa. Tiedonkeruu haastateltavilta sujui helposti, kun prosessin entuudestaan hyvin tuntien tiesin mitä ja keltä kysyä. Loput tiedot löytyivät alan kirjallisuudesta, jota oli tarjolla suhteellisen vähän. Useimmiten eri julkaisuissa kerrottiin samaa asiaa eri tavoin.

Vaikeuksia työssä aiheutti injektointilinjaston 3D-mallintaminen. Linjaston mittaaminen täytyi tapahtua huoltoseisokin aikana. Huoltoseisokit ovat kerran viikossa ja jos jotain tietoa oli tarkennettava, oli odotettava seuraavaan seisokkiin. Myös lähtökohdat mallintamiseen olivat heikot, sillä suuriosa piirustus dokumenteista oli vanhentunutta. Arvioitu työmäärä mallinnuksessa ylittyi tämän vuoksi.

Vanha sanonta: ”yksi kuva vastaa tuhatta sanaa” päti tässäkin työssä. Onnekseni sain mahdollisuuden valokuvata tehtaalla ja tätä kautta esittää asioita kuvina ja samalla selkeyttää opinnäytetyön ymmärtämistä.

10. LÄHDELUETTELO

- /1/ Aco Nordic Oy, Auteniittinen teräs [WWW-dokumentti]
[<http://www.acodrain.fi/Tuotteet/Hulevesijarjestelmat/Materiaalit/Ruostumaton%20ter%C3%A4s.aspx>], 25.4.2011
- /2/ Helelä, Kari, Korkealämpötilaprosessien rakennemateriaalit: Tulenkestäviin vuorauksiin kohdistuvat rasitukset, Meka Ry, 1986
- /3/ Jalonen, A, Valokaariuunin vuorauksen lämpötekniinen tarkastelu, Oulun yliopisto, 1994
- /4/ Nordkalk Oy, Poltettu kalkki [WWW-dokumentti]
[http://www.nordkalk.fi/poltettu_kalkki], 15.4.2011
- /5/ Outokumpu Intranet MyOutokumpu, Valokaariuuni 2 Esittely
- /6/ Outokumpu Intranet MyOutokumpu, Osastot, Tuotanto-osastot.
- /7/ Scielo Brazil, Modification of oxide inclusions present in aluminum-killed low carbon steel by addition of calcium, [WWW-dokumentti],
[<http://www.scielo.br/img/revistas/rem/v57n3/0035i01.gif>], 4.4.2011
- /8/ Teknologiateollisuus, Tulenkestävät aineet, [PDF-dokumentti],
[http://www.teknologiateollisuus.fi/file/7442/Y_TULENKESTVTAINEET.pdf.html], sivu 1, 15.3.2011
- /9/ Von Schéele J, The electric arc furnace process, ISSN 0371-04559, 1999