

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU TEKNIikka

Suhonen Lasse

Savukaasukanavien kestoian parantaminen

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Tuotekehitys
Kemi 2011

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Outokumpu Stainless Oy:n JT-sulatolle. Opinnäytetyön ohjaajana toimii DI Mari-Selina Kantanen ja valvojana insinööri Timo Räihä. Tahdon kiittää kaikkia tämän opinnäytetyön tekemisen mahdollistaneita henkilöitä ja erityisesti työn tekemisessä suurena apuna olleita JT-sulaton mekaanisen kunnossapidon työnjohdon henkilöitä. Outokumpu Tornio Worksia kiitän saamastani taloudellisesta tuesta sekä työmahdollisuudesta.

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan yksikkö	
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Lasse Suhonen
Opinnäytetyön nimi	Savukaasukanavien kestoajan parantaminen
Työn laji	Opinnäytetyö
Päiväys	27.5.2011
Sivumäärä	37 + 7 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	DI Mari-Selina Kantanen
Yritys	Outokumpu Stainless Oy
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	insinööri Timo Räihä

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää kustannustehokas tapa jatkaa savukaasukanavien käyttöikää Outokumpu Tornio Worksin terässulatolla. Työn tekemiseen sisältyi myös mahdollisten uusien materiaalien tutkiminen ja niiden aiheuttamien kustannuksien laskeminen. Työssä otettiin huomioon myös materiaalin lisäksi vaihtotyön aiheuttamat työvoimakulut ja työkoneiden vuokrat.

Opinnäytetyössä käsitellään terässulaton molempien linjojen valokaariuunit ja AOD-konvertterit sekä linja-1:n kromikonvertteri. Tällä hetkellä savukaasukanavien kestoajassa on suuria vaihteluita sijaintipaikasta riippuen. Kestoajan lisäksi opinnäytetyössä käsitellään kustannuksia, jotka ovat joissain kohdin varsin suuria.

Suuret kustannukset koostuvat jäähdytettyjen savukaasukanavien osien tekemisen kalleudesta ja asentamisen aiheuttamista kuluista. Samalla on huomioitava se, että vaihtotyön aikana kaikki tuotanto on keskeytettävä työkohteen alueella.

Työn tekemisessä käytettiin apuna aikaisemmin tallennettuja tietoja savukaasukanavien vaihtoajankohdista ja vaihtamistyön hinnoista. Lisäksi työnjohdon ja työntekijöiden haastatteluilla kartoitettiin nykytilanne. Erilaisten savukaasukanavien sisäpinnalle laitettavien pinnoitteiden osalta neuvoja saatiin alan ammattilaisilta.

Asiasanat: savukaasukanava, valokaariuuni, AOD-konvertteri, pinnoitteet.

ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Name	Lasse Suhonen
Title	Use of Multimedia Instruction in Customer Support
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	27 May 2011
Pages	37 + 7 appendixes
Instructor	Mari-Selina Kantanen, MSc (Tech.)
Company	Outokumpu Tornio Works
Supervisor from Company	Timo Räihä, BScEng

The main objective of this bachelor's thesis was to find an economical solution to prolong the service life of exhaust fume ducts used at the steel melting shop at Outokumpu Tornio Works. This thesis contains examination of new usable materials as well as their expense in usage. In addition to the actual material cost, attention was also paid to resource costs involved with replacement work such as working hours, machinery and tool rent.

At the moment there are considerable diversities in service life of these exhaust ducts depending on location. Additional consideration was given to costs which are quite high in some locations. This study involves the stations such as EAF and AOD on both lines and CRK on line 1.

Most of the expenses come from the replacement parts that have water cooling system included. High price of these parts is based on the manufacturing of these parts. Also replacing those parts makes the price go up when all production in those stations has to be shut down till the replacement work is complete.

In this thesis the information collected from the costs and timeline of the earlier replacement work being done so far at these locations were used as a reference. A number of superiors and employees were also interviewed during the research to get an idea of the present state of the situation. Also additional advice was acquired from the personnel specialized in coating materials appointed at Outokumpu Tornio Works.

Key words = exhaust fumes duct, eaf, aod, crk, coating materials.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	I
TIIVISTELMÄ.....	II
ABSTRACT	III
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET.....	V
1. JOHDANTO	1
2. TERÄSSULATTO	2
2.1. Outokumpu Tornio Works	2
2.2. Terässulaton prosessi	2
3. TERÄKSEN OMINAISUUDET	4
3.1. Teräksen väsyminen	5
3.2. Kuumalujat teräkset	6
3.3. Teräksen viruminen.....	8
4. YMPÄRISTÖN ASETTAMAT VAATIMUKSET.....	10
4.1. Lämpötilat	10
4.2. Korroosio.....	10
4.3. Eroosio	11
5. SAVUKAASUKANAVAT	13
5.1. Savukaasu.....	13
5.2. Savukaasun haitat.....	13
5.3. Savukaasukanavat	14
5.3.1. Vesijäähdytetyt savukaasukanat.....	14
5.3.2. Jäähdyttämättömät savukaasukanavat.....	17
5.4. Savukaasun puhdistus	18
6. PINNOITTEET	22
6.1. Keraamiset pinnoitteet	22
6.2. Kalcret kovapinnoite	22
6.3. VKU-2:n uunikäyrän pinnoitekokeilu.....	24
7. SAVUKAASUKANAVIEN NYKYTILAN KARTOITUS JA KEHITYSTOIMENPITEET	28
7.1. Savukaasukanavissa käytetyt materiaalit	28
7.2. Kesto ja vuosikustannukset.....	28
7.3. Parannus ehdotukset.....	29
7.4. Pinnoitteen käytön arvioidut edut	30
8. YHTEENVETO	31
9. LÄHDELUETTELO	32
10. LIITELUETTELO	33

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

VKU	valokaariuuni
AOD	argon oxygen decarburization
JT-sulatto	jaloterässulatto
CRK	ferrokromikonvertteri

1. JOHDANTO

Outokumpu Stainless Oyj on kansainvälinen yritys, jonka päätoiminta alue on ruostumattoman teräksen valmistuksessa ja teknologiassa. Toiminnan tavoitteena on olla ruostumattoman teräksen valmistuksessa ehdoton ykkönen ja toiminnallisen erinomaisuuden tulee olla menestymisen perustana. Tällä hetkellä Outokumpu toimii 30 maassa ja sen palveluksessa on 8400 työntekijää. Liikevaihtoa konsernille kertyy vuosittain noin 5,5 miljardia euroa /8/.

Outokumpu Tornio Worksin organisaatioon kuuluvat terässulatto, kuumavalssaamo, kylmävalssaamo, kunnossapito, Kemin kaivos, ferrokromitehdas sekä lisäksi kaupan ja hallinnon osastot.

Opinnäytetyön aiheen antoi JT-sulaton kunnossapito-insinööri Timo Räihä. Opinnäytetyö rajattiin kattamaan CRK:n, molempien linjojen valokaariuunien ja AOD-konvertterien savukaasukanavat, joiden kestoikää tulisi pyrkiä parantamaan kustannustehokkaasti.

Opinnäytetyön päätavoitteena oli saada kustannussäästöjä ja parantaa prosessin toimintaa. Tämän saavuttamiseksi työssä oli otettava huomioon myös uusia innovatiivisia ajatuksia ja menetelmiä. Niinpä tämän työn tekemisessä käytettiin alan ammattilaisten neuvoja ja tutkimuksen tuloksia tullaan jatkossa mahdollisesti testaamaan käytännössä.

2. TERÄSSULATTO

Terässulatto on teräksen valmistamisen kannalta tärkein paikka, koska terässulatolla tehtyä teräslaatua ei pysty muuttamaan myöhemmissä prosessivaiheissa. Ruostumatomanteräksen valmistuksessa käytetään paljon kierrätysmateriaalia, jotta seos aineiden lisääminen olisi mahdollisimman vähäistä. Tämä johtuu pääasiassa seosaineiden korkeasta hinnasta ja toisaalta sulatuksen vaatimasta pienemmästä tehosta.

2.1. Outokumpu Tornio Works

Torniossa on maailmanlaajuisesti ainutlaatuinen mahdollisuus valmistaa laadukasta ruostumatonta terästä. Tämän perustana on lyhyet etäisyydet kromikaivokselta ferrokromisulatolle ja sieltä terässulatolle. Lyhyt tuotantoketju on energiataloudellisesti erittäin merkittävä kilpailutekijä /8/.

Terässulatto on toiminut Torniossa vuodesta 1976 alkaen, jolloin käynnistyi ensimmäinen sulattolinja. Myöhemmin terässulatto on laajentunut useaan otteeseen ja sen tuotantoprosessia on modernisoitu paremmaksi vuosien aikana. Näistä laajennuksista suurin oli vuonna 2002 valmistunut toinen tuotantolinja. Tämän päivän kapasiteetti teräsulatolla on 1.6 miljoonaa tonnia ruostumatonta terästä vuodessa /8/.

2.2. Terässulaton prosessi

Terässulaton prosessi alkaa romupihalta, jossa valitut raaka-aineet lastataan siltanosturilla romukoriin. Romujuna kuljettaa romukorin seosaineiden jakolaitteen alle, josta saadaan sulatuserän vaatimat seosaineet. Tarvittaessa romukori siirretään kuivaimeen, normaalisti romukori nostetaan panostusnosturilla valokaariuuniin panostettavaksi /8/.

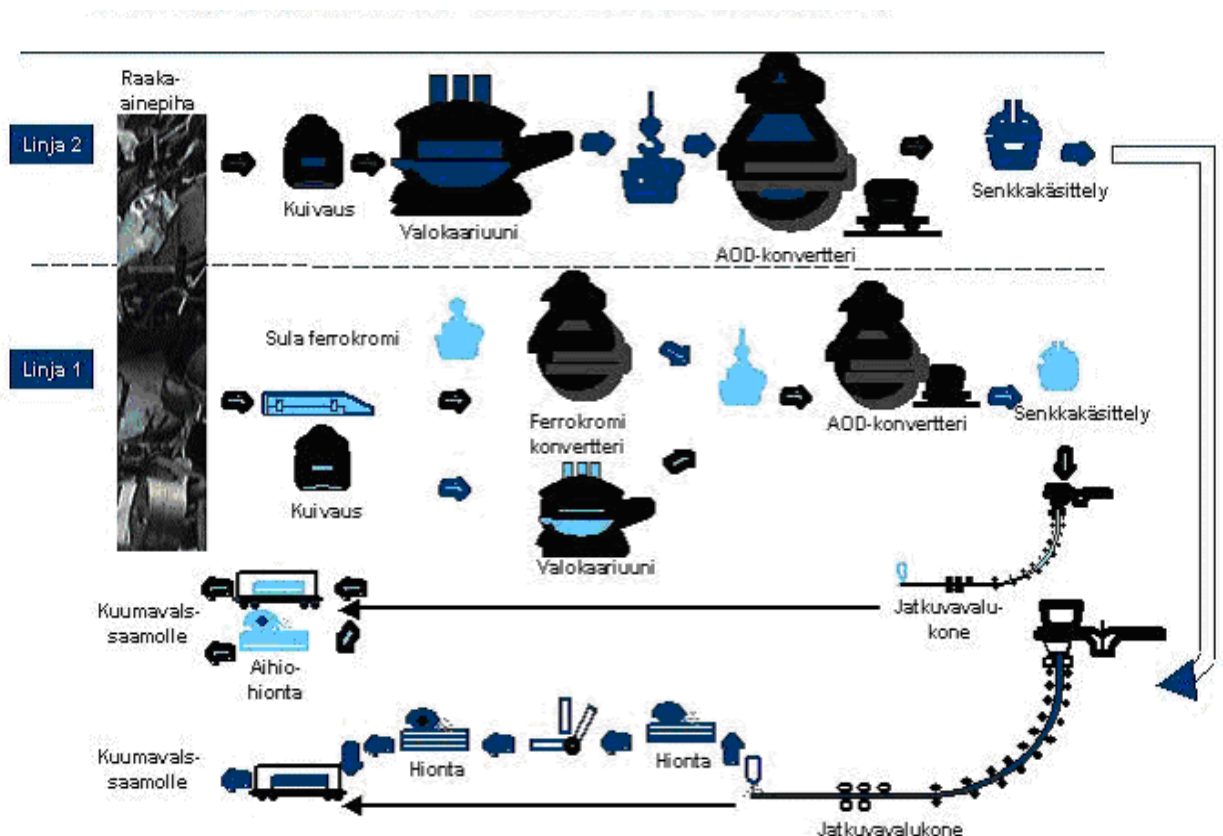
Valokaariuunilla prosessi kestää 40–60 minuuttia linjasta riippuen. Seosaineita lisätään valokaariuuniin tarvittaessa syöttösuppilon kautta, jotta päästään tavoiteltuun laatuun. Valokaariuunilla 1-linjan prosessi eroaa 2-linjan prosessista siinä olevan kromikonvertterin vuoksi. Kromikonvertterilta tuodaan siirtosenkalla sulaa ferrokromia 30 tonnia. Tähän siirtosenkkaan kaadetaan valokaariuunissa sulatettu panos, joka on 55 tonnia /8/.

Seuraavaksi prosessi jatkuu linjasta riippumatta samalla tavalla eli siirtosenkkojen panostuksella AOD-konvertteriin. Tämän prosessivaiheen toiminnan tarkoituksena on panostetun teräksen rikinpoisto, mellotus ja pelkistys. Rikinpoistovaiheessa teräksen rikkipitoisuus saadaan alle 0,002 %:iin. Mellotuksella pyritään poistamaan ylimääräinen hiili terässeoksesta happi- ja argonkaasuilla. Pelkistysvaiheessa kuonaantumaa päässyt kromi pelkistetään takaisin teräsfaasiin piiseoksella. Kaasujensyöttö AOD-konvertteriin hoidetaan lanssilla ja suuttimilla, jotka ovat konvertterin kyljessä. AOD-konvertteriin

panostettavalla nikkeliliromulla ja muilla seosaineilla jäähdytetään sulaa hapenpuhalluksen aikana /8/.

Kuonauksen jälkeen sulaterässeos kaadetaan valusenkkiaan, jolla se kuljetetaan senkka-asemalle. Tämän prosessivaiheen tarkoituksena on valmistella sulanteräksen koostumus ja lämpötila sopivaksi jatkuvavalukoneelle. Sulanteräksen lämpötilan säätöön käytetään sähkömuuntajaa, argonhuuhtelua ja jäähdytysmateriaaleja. Seosaineita syötetään lankasyöttimellä, jotta lopullinen halutunlainen teräksen koostumus saavutetaan /8/.

Seuraavana prosessivaiheena on jatkuvavalukone, joka valaa sulan teräksen laattamaisiksi aihioiksi. Jatkuvavalukone-1 pystyy tuottamaan aihioita, joiden mitat ovat korkeus 167 mm ja leveys 800 – 1625 mm. Jatkuvavalukone-2 on muutoin samanlainen, mutta korkeus aihioilla on 185 mm. Linjalla-1 yhden valusenkallisen valaminen kestää leveydestä riippuen 45 – 60 minuuttia ja tyypillisesti valunpituus on 4 valusenkallista. Linjalla-2 yhden valusenkan valamiseen menee 55 – 70 minuuttia, mutta valun tyypillinen pituus on sama 4 valusenkkaa. Molempien valukoneiden tuloksena saatavista aihioista 80 % menee suoraan kuumavalssaamolle. Loput ahiot menevät joko kuumahiomoon suoraan, tai sitten ne menevät jäähdytyksen jälkeen kylmähiomoon. Terässlaiton prosessin kulku on kuvattu pääpiireittäin kuvassa 1 /8/.

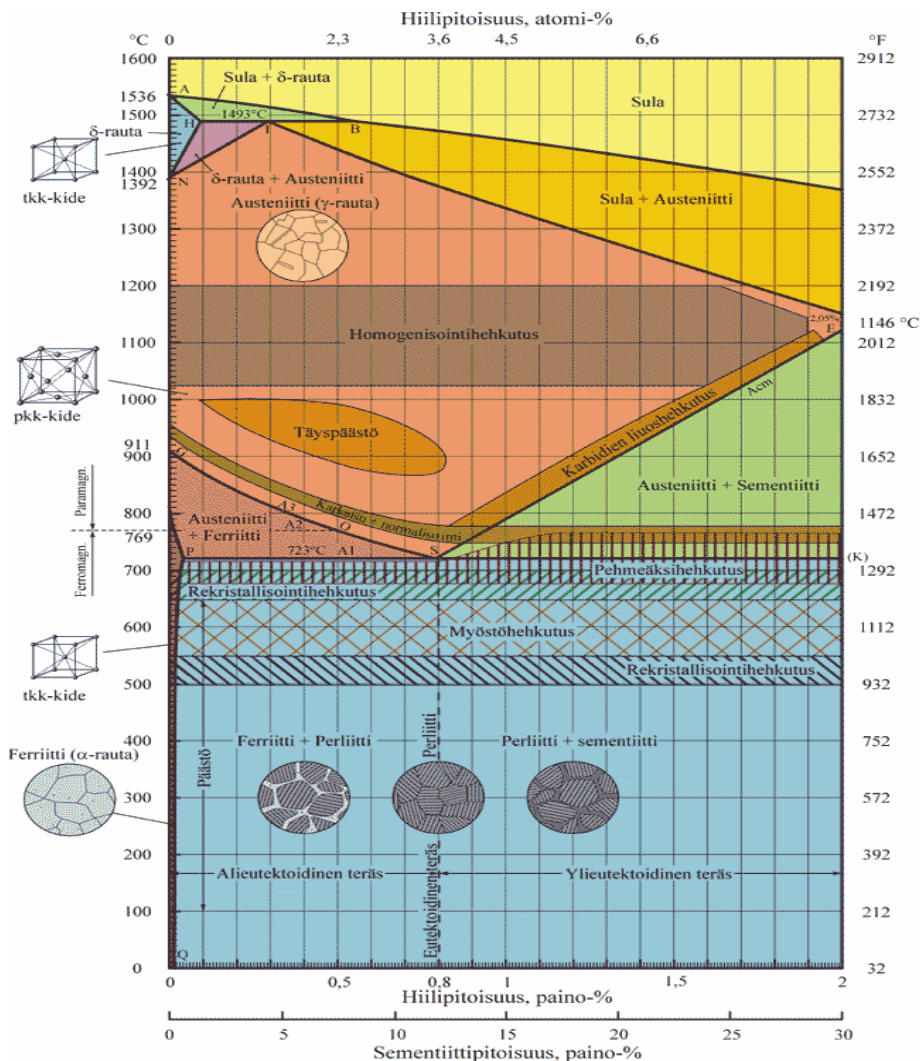


Kuva 1. Terässlaiton prosessikaavio /8/

3. TERÄKSEN OMINAISUUDET

Teräksenä voidaan pitää rauta-hiili-seosta, jonka hiilipitoisuus on 0,03–2,0 %. Mikäli hiilipitoisuus on tuota suurempi, niin kyseessä on silloin valurauta. Koska savukaasukanavan materiaalina teräs on paras vaihtoehto, niin tässä työssä tarkastellaan edempänä ainoastaan terästä ja sen ominaisuuksia /4/.

Kuuman- ja korroosionkesto-ominaisuuksien vuoksi savukaasukanavien materiaaleina yleensä käytetään seostamattomia hiiliteräksiä, runsasseosteisia martensiittisiä ruostumattomia teräksiä, niukkaseosteisia ferriittisiä ruostumattomia teräksiä sekä runsasseosteisia austeniittisiä ruostumattomia teräksiä. Kuvassa 2 on esitelty rauta-hiili-tasapainopiirros, jonka avulla voidaan tarkastella useiden terästen mikrorakenteiden muodostumista. Kuvassa on esitetty teräksessä esiintyvät faasit sen jäähtyessä hitaasti huoneenlämpötilaan. /2/, /9/

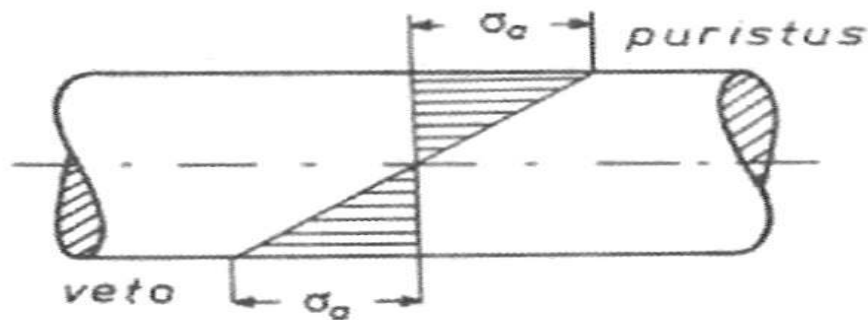


Kuva 2. Rauta-hiili-tasapainopiirros /14/

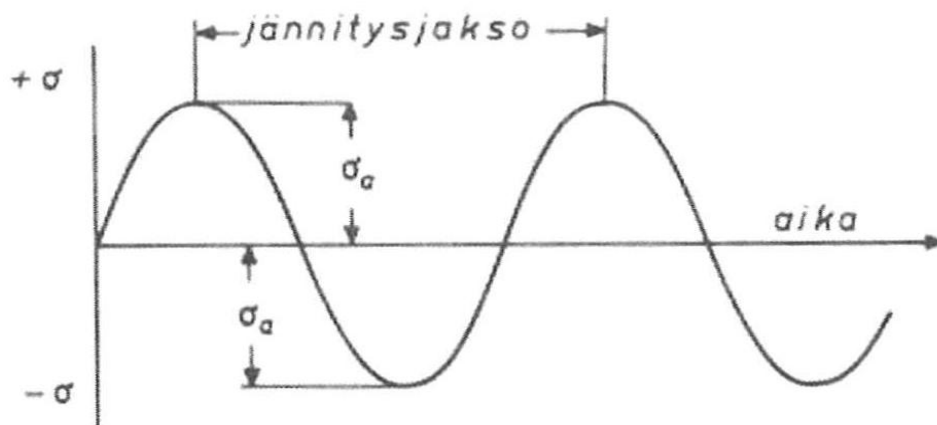
3.1. Teräksen väsyminen

Vaihtelevan jännityskuormituksen aiheuttamaa murtumaa sanotaan väsymiseksi. Tämä voi syntyä, vaikka jännitys ei saavuttaisikaan materiaalin murtolujuutta tai edes myötölujuuden sallimaa voimaa. Yllätyksellisyys on ominaista väsymismurtuman luonteelle, koska se on lähes ennalta arvaamaton ja johtaa usein myös seurauksiltaan tuhoisiin vahinkoihin /5/.

Materiaalin väsymiskestävyyttä mitoitetaan yleensä taivutuskokeella. Kokeessa pyöreeä sauvamaista kappaletta kuormitetaan kunnes se murtuu. Kokeessa koesauvat pyörivät laakereiden varassa ja niihin kohdistuu jännitysjaksoja, (kuva 4). Testauksen aiheuttamat voimat näkyvät kuvassa 3. Testausmuoto on tämänlainen, koska väsymismurtumien syntyyn vaikuttavat taivutusjännitykset /5/.

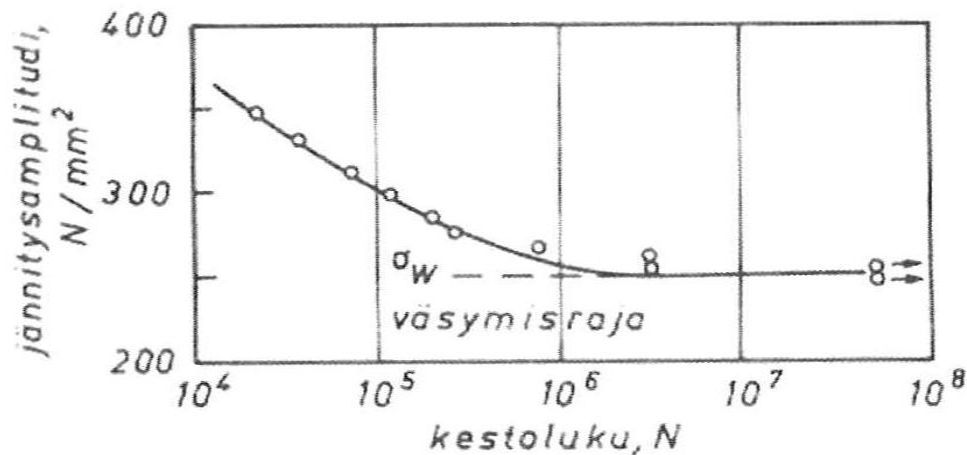


Kuva 3. Taivutusjännityksen jakautuminen /5/



Kuva 4. Taivutusjännityksen amplitudi /5/

Taivutuskoe toistetaan useilla eri jännitysamplitudeilla ja näistä saatu informaatio kerätään. Tuloksena saadaan aikaan logaritminen käyrä, joka on niin sanottu Wöhlerin käyrä. Seuraavassa kuvassa esiintyy Wöhlerin käyrä hehkutetulle hiiliteräkselle, jonka hiilipitoisuus on 0,35 % /5/.

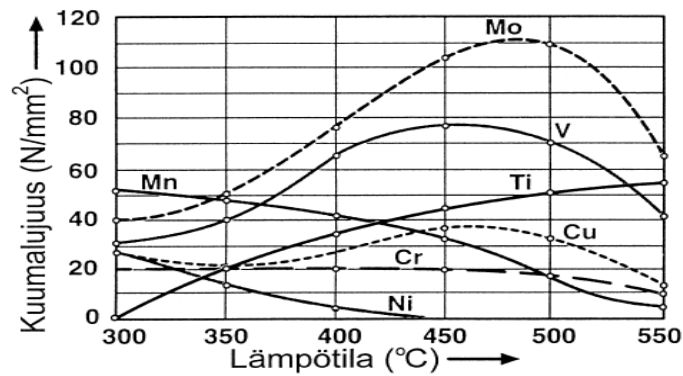


Kuva 5. Wöhlerin käyrä /5/

Kuvassa voidaan nähdä väsymismurtojännityksen lähestyvän kiinteää raja-arvoa, jota kutsutaan väsymismurtorajaksi. Tämän perusteella jännitysjaksojen määrä ei aiheuta metallissa väsymismurtumista, mikäli jännitysamplitudi ei ylitä tiettyä raja-arvoa. Tätä rajaa sanotaan väsymisrajaksi. Teräksen kestopariksi on valittu väsymisraja, joka on 10^7 jännitysjaksoa /5/.

3.2. Kuumalujat teräkset

Metallin kuumankestävyys on kiinni siitä, miten hyvin se kestää korkeassa lämpötilassa virumatta. Kuumankestävyyden suhteen on suuria eroja eri teräslaatujen välillä. Kuumankestävyyttä vaativiin kohteisiin parhaita teräslaatuja ovat austeniittiset ruostumattomat teräkset ja superseokset. Seosaineilla voidaan vaikuttaa terästen kuumankestävyyteen. Kuvassa 6 on esitelty eri seosaineiden 0,5 % lisäyksen vaikutus kuumaalujuuteen. Kaikkein tehokkaimmin vaikuttava teräksen seosaine on molybdeeni /5/, /6/.



Kuva 6. Seosaineen 0,5 % lisäyksen vaikutus kuumalujuuteen /6/

Toinen vaihtoehto kuumankestävyyden parantamiseen on teräksen hiilipitoisuuden vähentäminen. Normaalisti hiilen teräksen lujuutta vahvistava vaikutus menettää tehonsa, kun lämpötila kasvaa tarpeeksi suureksi. Lopulta hiili muuttuu terästä heikentäväksi tekijäksi /5/.

Taulukossa 1 esitellään valikoima SFS-EN 10028-2 – standardin mukaisia kuumalujia teräslevyjä ja niiden koostumuksia. Taulukossa 2 on esitetty SFS-EN 10216-2 – standardin mukaisia kuumalujia putkiteräksiä ja niiden koostumuksia.

Taulukko 1. Kuumalujat levyteräkset /6/

Teräslaji		C	Si	Mn	Cr	Mo	Muu
Nimike	Numero-tunnus	(%)	(%)	(%)	(%)		(%)
P235GH	1.0345	max 0,16	max 0,35	0,60-1,20	-		-
P265GH	1.0425	max 0,20	max 0,40	0,80-1,40	-		-
P295GH	1.0481	0,08-0,20	max 0,40	0,90-1,50	-		-
P355GH	1.0473	0,10-0,22	max 0,60	1,10-1,70	-		-
16Mo3	1.5415	0,12-0,20	max 0,35	0,40-0,90	-	0,25-0,35	-
20MnMoNi4-5	1.6311	0,15-0,23	max 0,40	1,00-1,50	max 0,20	0,45-0,60	Ni: 0,40-0,80
15NiCuMoNb5-6-4	1.6368	max 0,17	0,25-0,50	0,80-1,20	max 0,30	0,25-0,50	Ni: 1,00-1,30, Cu: 0,50-0,80 Nb: 0,015-0,045
13CrMo4-5	1.7335	0,08-0,18	max 0,35	0,40-1,00	0,70-1,15	0,40-0,60	-
10CrMo9-10	1.7380	0,08-0,14	max 0,50	0,40-0,80	2,00-2,50	0,90-1,10	-
12CrMo9-10	1.7375	0,10-0,15	max 0,30	0,30-0,80	2,00-2,50	0,90-1,10	-
13CrMoV9-10	1.7703	0,11-0,15	max 0,10	0,30-0,60	2,00-2,50	0,90-1,10	V: 0,25-0,35
12CrMoV12-10	1.7767	0,10-0,15	max 0,15	0,30-0,60	2,75-3,25	0,90-1,10	V: 0,20-0,30
X12CrMo5	1.7362	0,10-0,15	max 0,50	0,30-0,60	4,00-6,00	0,45-0,65	-

Taulukko 2. Kuumalujat putkiteräksset /6/

Teräslaji		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Nb	V	Muu
Nimike	Numero-tunnus	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
P235GH	1.0345	≤ 0,16	≤ 0,35	≤ 1,20	-	-	-	-	-	-
P265GH	1.0425	≤ 0,20	≤ 0,40	≤ 1,40	-	-	-	-	-	-
16Mo3	1.5415	0,12-0,20	≤ 0,35	0,40-0,90	-	0,25-0,35	-	-	-	-
14MoV6-3	1.7715	0,10-0,15	0,15-0,35	0,40-0,70	0,30-0,60	0,50-0,70	-	-	0,22-0,28	-
10CrMo5-5	1.7338	≤ 0,15	0,50-1,00	0,30-0,60	1,00-1,50	0,45-0,65	-	-	-	-
13CrMo4-5	1.7335	0,10-0,17	≤ 0,35	0,40-0,70	0,70-1,15	0,40-0,60	-	-	-	-
10CrMo9-10	1.7380	0,08-0,14	≤ 0,50	0,30-0,70	2,00-2,50	0,90-1,10	-	-	-	-
15NiCuMoNb5-6-4	1.6368	≤ 0,17	0,25-0,50	0,80-1,20	-	0,25-0,50	1,00-1,30	0,015-0,045	-	Cu: 0,50-0,80
X11CrMo5	1.7362	0,08-0,15	0,15-0,50	0,30-0,60	4,00-6,00	0,45-0,65	-	-	-	-
X11CrMo9-1	1.7386	0,08-0,15	0,25-1,00	0,30-0,60	8,00-10,00	0,90-1,10	-	-	-	-
X10CrMoVNb9-1	1.4903	0,08-0,12	0,20-0,50	0,30-0,60	8,00-9,50	0,85-1,05	-	0,06-0,10	0,18-0,25	N: 0,030-0,070
X20CrMoV11-1	1.4922	0,17-0,23	0,15-0,50	≤ 1,00	10,00-12,50	0,80-1,20	0,30-0,80	-	0,25-0,35	

Kuumalujilla teräksillä on reilusti korkeammat käyttölämpötilat kuin tavallisilla teräksillä jo normaaleilla ainevahvuuksilla. Tästä huolimatta ei niitäkään voida käyttää kohtuuttoman korkeissa lämpötiloissa. Alla on esitetty esimerkkejä muutamien terästen ylimmistä suositeltavista käyttölämpötiloista:

- P235GH 350°C
- P265GH 350°C
- 16Mo3 460°C
- 13CrMo4-5 545°C
- 10CrMo9-10 545°C
- 14MoV6-3 545°C
- X20CrMoV11-1 585°C
- X10CrMoVNb9-1-1 585°C
- X11CrMoWVNb 630°C

Suosittelavat käyttölämpötilat /6/.

3.3. Teräksen viruminen

Virumiseksi kutsutaan teräksen pysyvää muodonmuutosta, joka muodostuu hitaasti vakiokuormituksella. Tyypillinen virumiskäyrä esiintyy kuvassa 7. Virumisnopeus on usean osatekijän yhdessä muodostama aikaansaannos, jonka tärkeimmät tekijät ovat:

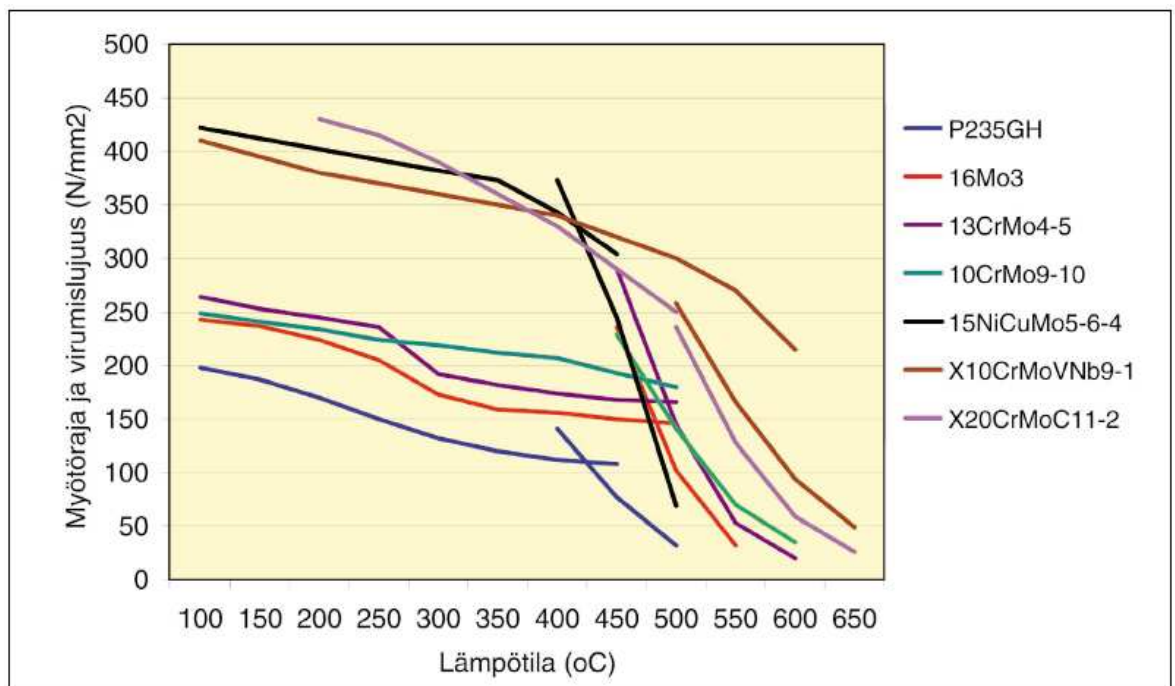
- kuormituksen suuruus.
- vaikuttava lämpötila.
- teräksen ominaisuudet.

Tarkkaan virumislajuuden määrittelyyn tarvitaan useita vuosia kestävät koemenetelmät. Virumisesta puhuttaessa käytetään yleensä seuraavia kahta suuretta:

- Virumismurtolujuus on jännitys, joka saa tietyssä lämpötilassa tietyn ajan jälkeen aikaan murtumisen ($\sigma_{B/100\,000}$ tai $\sigma_{B/200\,000}$).
- Virumisraja on jännitys, joka aiheuttaa tietyn suuruudessa lämpötilassa ja tietyn ajan jälkeen tietyn suuruisen pysyvän venymän ($\sigma_{1\%/100\,000}$ tai $\sigma_{1\%/200\,000}$).
- Edellisissä suureissa 100 000h = 10 vuotta ja 200 000h = 20 vuotta.

Korkeisiin lämpötiloihin suunniteltavissa rakenteissa pohjana on sekä kuumamyötörajaltaan ja virumismurtolujuudeltaan sopivat materiaalit. Näistä kuumamyötöraja vaikuttaa matalammissa lämpötiloissa, joissa ei tapahdu virumista. Käyrien leikkauspiste edustaa lämpötilaa, jonka saavuttamisen jälkeen ajasta riippuva virumismurtolujuus tulee pienemmäksi ja sen vuoksi määrääväksi /6/.

Kuvassa 7 on esitetty kuumalujien terästen kuumalujuusarvoja (SFS-EN 10216-2). Vasemmalla olevat käyrät ovat kuumamyötörajoja ja oikealla jyrkästi laskevat käyrät ovat 100 000 tunnin virumismurtolujuuksia /6/.



Kuva 7. Kuumalujien terästen kuumalujuuksia /6/.

4. YMPÄRISTÖN ASETTAMAT VAATIMUKSET

Materiaalin kestävyydelle asettaa omat rajansa käyttökohteen ympäristön olosuhteet, jotka voivat olla joissakin tapauksissa hyvinkin vaativia. Seuraavissa kolmessa alaotsikossa on käsitelty mielestäni savukaasukanavien kannalta tärkeimpiä käyttöympäristön vaikutuksia.

4.1. Lämpötilat

Valokaariuuneilta ja AOD-konverttereilta lähtevät savukaasut ovat noin 800 – 1700°C asteisia, minkä vuoksi savukaasukanavat ovat lujilla materiaalista riippumatta. Korkea lämpötila rajaa materiaalit kuitenkin kuumankestäviin teräksiin. Nykyisin on myös mahdollista päällystää kuumimmat paikat keraamisilla pinnoitteilla /2/, /4/.

Teräsputken pinnalle syntynyt suojaava oksidikerros voi korkean pintalämpötilan seurauksena halkeilla irti. Tästä seuraa, se että oksidoituminen pääsee etenemään ja kuluttamaan putkea.

4.2. Korroosio

Lähes kaikille metalleille on tyypillistä, se että ne muodostavat reagoidessaan hapen kanssa oksidikerroksen. Metallin pinnalle muodostuva oksidikerros vähentää korroosiota, koska se vähentää metallin ja hapen välisiä reaktioita. Korroosiota voidaan pitää yhtenä merkittävimpänä savukaasukanavia kuluttavana ilmiönä ja se voidaan jaotella kahteen ryhmään korkea- ja matalalämpökorroosioon /2,9/.

Korkealämpötilakorroosio savukaasukanavassa aiheutuu siitä, että savukaasukanavassa on pelkistävät olosuhteet. Tällöin hapen osapaine ei ole riittävä muodostamaan oksidikerrosta. Ylikuumissa pintalämpötiloissa korroosioherkkyys lisääntyy runsaasti, mikä on havaittavissa esim. savukaasukanavan alkupäissä. Tämä perustuu siihen, että raudan pinnalle yli 570 °C:n lämpötilassa muodostuva oksidikerros, wustiitti on suhteellisen tehotonta /2/, /9/.

Sula tuhka muodostaa faasin, jonka vaikutuksesta kaikilla kuumilla pinnoilla esiintyy korroosiota. Reaktionopeus on suurempi nesteessä kuin kiinteässä faasissa. Lisäksi savukaasujen sisältämät ainesosat, varsinkin rikkioksidi ja kloori, mahdollisesti voimistavat korroosiota merkittävästi /2/, /9/.

Matalalämpötilakorroosiota esiintyy puolestaan savukaasukanavan loppupäässä ja savupiipuissa. Rikkipitoisuus polttotapahtumassa lisää matalalämpötilakorroosiota. Tämä vaatii kuitenkin sen, että ollaan rikkihappokastepisteen alapuolella. Tällöin savukaasujen sisältämä rikkitrioksidi SO_3 kykenee pelkistymään vesihöyryn kanssa rikkihapoksi. Rikkihappo on todella voimakas happo, joka aiheuttaa erittäin voimakasta korroosiota koskettamallaan lämpöpinnoilla /2/, /9/.

4.3. Eroosio

Eroosion osuutta savukaasukanavien kulumisessa ei voi sivuuttaa kovinkaan helposti terässulatolla. Tämä johtuu tietenkin sulattoprosessin poikkeamisesta useimmista muista polttoprosesseista. Suodatinlaitoksen letkusuodattimien keräämästä kiinteästä jätteestä voi päätellä savukaasun sisältävän varsin reilun määrän pienhiukkasia.

Eroosiolla tarkoitetaan savukaasun sisältämien pienten ja kovien hiukkasten aikaansaamaa kulumista. Savukaasujen kuljettamat pienhiukkaset iskeytyvät erittäin suurella nopeudella kanavan seiniin ja tämä aiheuttaa niiden nopeaa kulumista. Eroosiolla ei ole suurta merkitystä verrattuna korroosioon mikäli savukaasut eivät sisällä pienhiukkasia /2/, /9/.

Savukaasukanavan alkupäässä savukaasu virtaa suurella nopeudella ja samalla myös kaasunlämpötila on korkeimmillaan. Kuvissa 8-10 on esitetty esimerkkinä vaihtokunnossa oleva valokaariuuni-2:n uunikäyrä.



Kuva 8. VKU-2 uunikäyrä sivusta



Kuva 9. VKU-2 uunikäyrän liitospinta.



Kuva 10. Uunikäyrän sisäpinnassa olevat vauriot.

Kuvassa 10 näkyvät vauriot ovat uunikäyrän sisällä kaaren keskikohdalla. Kuten kuvasta on havaittavissa, näkyy kyseisellä kohdalla virtauskynnys. Tämä heikentää omalta osaltaan putkien kestävyyttä.

5. SAVUKAASUKANAVAT

Savukaasukanavat ovat yleensä teräksestä valmistettuja putkistoja, joiden avulla saadaan prosessissa syntyneet savukaasut siirrettyä suodatinlaitokselle puhdistettaviksi. Kuumankestävät teräkset ovat hyvä valinta materiaaliksi, koska savukaasut ovat varsinkin savukaasukanavan alkupäässä hyvin kuumia.

5.1. Savukaasu

Savukaasu on palamistapahtumassa syntyvä tuote, jonka koostumus riippuu suuresti siitä mitä poltetaan. Teollisuudessa yleensä polttotapahtumissa vapautuu monenlaisia aineita ja pienhiukkasia, joita ei muualla synny. Metalliteollisuudessa syntyvät savukaasut sisältävät hiilidioksidia, vesihöyryä, typpeä, happea, häkää, rikinoksideja, typenoksideja ja pienhiukkasia.

Ympäristön suojelun kannalta nykyisin tehdään savukaasuista analyysit ja niiden pohjalta laaditaan tarvittavat puhdistus suunnitelmat. Savukaasujen koostumuksen tunteminen on tärkeää, ettei tietämättä aiheuteta ihmisille tai luonnolle vahinkoa.

5.2. Savukaasun haitat

Savukaasu aiheuttaa vakavia ympäristöongelmia, mikäli sitä päästetään suoraan luontoon. Tämä on nykyisin onneksi ympäristölailla kiellettyä. Tuotantolaitokset joutuvat hakemaan ympäristölupaa, jos niiden tuotanto aiheuttaa ympäristölle haitallisia päästöjä.

Ympäristöluvan saannille ehtona on se, että tuotantolaitoksen kaikki päästöt on huomioitu. Päästöjen syntymistä on tarkasteltava, niin normaalitilanteessa kuin mahdollisessa poikkeustilanteessa. Myös mahdollisien onnettomuuksien varalta pitää olla varautunut riittävästi.

Outokumpu Tornio Works on huolehtinut omalta osaltaan erittäin huolellisesti ympäristönsuojelun. Tornion tehtaalla kaikki prosessissa syntyvät savukaasut ohjataan ensisijaisesti suoraan prossesipaikalta savukaasukanavaa pitkin suodatinlaitokselle, jossa suoritetaan savukaasun riittävä puhdistaminen ennen sen päästämistä luontoon. Tämän lisäksi tarvittaviin tuotantotiloihin on asennettu kattohuuvat, joiden avulla savukaasut ohjataan suodatinlaitokselle.

5.3. Savukaasukanavat

Savukaasukanavien pääasiallinen tehtävä on yksinkertaisuudessaan kuljettaa palamisessa syntynyt savukaasu haluttuun paikkaan. Yleisimmät muodot savukaasukanaville ovat suorakaide ja neliö, mutta myös pyöreitä savukaasukanavia esiintyy. Savukaasukanavia on vesijäähdytettyjä ja jäähdyttämättömiä. Vesijäähdytetty on tarkoitettu kaikkein kuumimpiin paikkoihin. Lisäksi savukaasukanavien materiaalit vaihtelevat suuresti eri käyttökohteiden välillä.

Nykyinen käytäntö vaatii sen, että savukaasut puhdistetaan ennen kuin ne päästetään ilmaan. Tämän vuoksi nykyiset savukaasukanavat ovat tärkeitä tuotantovälineitä, joiden kuntoa tulee valvoa määräjain. Jos näin ei toimita savukaasukanavat voivat vikaantuessaan estää koko tuotannon, koska nykyiset ympäristö määräykset eivät salli savukaasukanavien vuotamisesta aiheutuvia päästöjä. Toisaalta savukaasukanava voi vikaantuu niin, että se vuotaa jäähdytysvettä savukaasukanavan sisälle, aiheuttaen paikasta riippuen monenlaisia ongelmia /7/, /10/.

Jäähdytysveden pääsy savukaasukanavan sisälle aiheuttaa valokaariuunilla räjähdysvaaran, mikäli vuoto on sellaisessa paikassa, josta jäähdytysvesi pääsee valumaan suoraan valokaariuuniin. Toisaalta jäähdytysveden vuoto savukaasuputkistossa aiheuttaa jäähdytystehon laskua, koska vedenkierto häiriintyy, kun paine laskee jäähdytysvesiputkistossa /1/, /7/.

5.3.1. Vesijäähdytetty savukaasukanat

Vesijäähdytystä käytetään silloin, kun olosuhteet ovat äärimmäisen kuumat ja tämmöisissä olosuhteissa halutaan saada savukaasukanavalle pidempi käyttöikä. Tämä tekniikka perustuu kiertävän jäähdytysveden lämmönsiirtokykyyn, eli savukaasu luovuttaa omaa lämpöenergiaansa savukaasukanavaputken sisällä kiertävään jäähdytysveteen ja tämä puolestaan jäähdytetään silloin, kun vesi kiertää lauhduttimen läpi /7/, /11/.

Vesijäähdytetty savukaasukanavat sijaitsevat heti savukaasukanavan alkupäässä, joka on linjan kuumin paikka. Kuvissa 11 – 14 on esitetty eri kohtia vesijäähdytetystä savukaasukanavasta. Kuvat 11 – 14 ovat valokaariuuni-1:ltä ja kuvassa 15 on AOD-1:n alkupää.



Kuva 11. VKU-1 holvin päällä uunikäyrä



Kuva 12. Savukaasukanavan alkupää



Kuva 13. VKU-1 savukaasukanavan nousevaosa



Kuva 14. VKU-1 savukaasukanavan vaakasuoraosa



Kuva 15. AOD-1:n savukaasukanavan alkupää

Savukaasukanavista kunnossapidon kannalta vaativimpia kohteita ovat juuri vesijäähdytetyt savukaasukanavat. Hyvin toimivan vesijäähdytyksen perusta on tiivis vuotamaton jäähdytysvesiputkisto. Terässulaton olosuhteissa putkiston sisäpinta, joka on tekemisissä savukaasun kanssa, joutuu erittäin suurelle kulutukselle ja sen vuoksi aiheutuu putkistoissa usein vuotoja /11/.

Vuotojen korjaaminen savukaasuputkistosta on usein erittäin hankalaa, koska putken ainevahvuus on yleensä heikentynyt varsinaista reikää huomattavasti suuremmalta alueelta. Tällöin vaurioitunut paikka joudutaan paikkaamaan ns. ratsupaikalla, joka on huono korjausmenetelmä. Tämä johtuu siitä, että putkeen tulee silloin virtauskynnys, joka häiritsee vedenkiertoa ja samalla se voi aiheuttaa savukaasun virtaukselle pyörteitä /7/, /11/.

5.3.2. Jäähdyttämättömät savukaasukanavat

Jäähdyttämättömät savukaasukanavat ovat yksinkertaisempia kokonaisuuksia kuin jäähdytetyt savukaasukanavat. Tämän vuoksi niiden huoltotoimenpiteet ovat huomattavasti helpompia. Lisäksi niiden valmistuskustannukset ovat selvästi pienemmät. Asennettaessa kanavia paikalleen ei ole niin suurta merkitystä asennustyön kannalta, ovatko kanavat jäähdytettyjä vai jäähdyttämättömiä /11/.

Jäähdyttämätöntä savukaasukanavaa käytetään savukaasukanavan loppupäässä, missä lämpötila on laskenut tarpeeksi matalalle tasolle. Kuvissa 16 ja 17 on esitetty kaksi tyypillistä jäähdyttämätöntä savukaasukanavaa.



Kuva 16. Kantikas savukaasukanava



Kuva 17. Pyöreät savukaasukanavat

5.4. Savukaasun puhdistus

Savukaasun puhdistaminen tapahtuu JT-sulatolla niin, että jokaiselle prosessille on oma savukaasukanava ja suodatinlaitos. Esimerkiksi valokaariuuni 2:n savukaasun poisto tapahtuu ensin vesijäähdytettyä savukaasuputkistoa pitkin. Kuvassa 18 on esitetty valokaariuunilta lähtevä vesijäähdytetty savukaasukanava /10/, /11/.



Kuva 18. VKU-2:n jäähdytetty savukaasukanava

Myöhemmänä savukaasuputkisto muuttuu jäähdyttämättömäksi savukaasuputkistoksi. Kuvassa 19 valokaariuuni 2:n jäähdyttämätön savukaasukanava, joka laskee suodatinlaitokselle. Suodatinlaitos sijaitsee omassa rakennuksessaan, missä käytetään letkusuodattimia, kuva 20. Letkusuodattimien jälkeen puhdistunut ilma menee puhaltimien kautta pihalle.



Kuva 19. Suodatinlaitokselle laskeva jäähdyttämätön kanava

Suodatinlaitoksella letkusuodattimien erotteleva sakka ja pienhiukkaset pakataan pölykonttiin. Pölyn kontittamo on esitetty kuvassa 21. Kontittamossa puhdistustapahtuma toimii täysin automaattisesti. Ainoastaan täyden pölykontin vaihto tyhjään on manuaalisesti hoidettava työtehtävä /10/.



Kuva 20. VKU-2:n suodatinlaitos



Kuva 21. VKU-2:n kontittamo

Viimeisenä toimenpiteenä savukaasun puhdistamisessa on puhdistetun kaasun poistaminen järjestelmästä. Tämä tapahtuu erittäin suurella puhallinyksiköllä, joka esiintyy kuvassa 22. Puhallinyksikössä on kolme kappaletta suuria sähkömoottoreita, jotka pyörittävät puhaltimia.



Kuva 22. VKU-2:n poistopuhallin yksikkö

6. PINNOITTEET

Pinnoittaminen eli pintakäsittely on hyvin yleistä teräsrakenteissa, jotka ovat alttiina erilaisille ympäristövaikutuksille. Savukaasukanavassa ei kuitenkaan ole mitään merkitystä yleisimmillä pinnoitusmenetelmillä, koska kuumuus polttaa suurimmanosan pinnoitteesta pois. Sen vuoksi tässä opinnäytetyössä on keskitytty suhteellisen uusiin pinnoitusmenetelmiin, kuten keraamiset pinnoitteet.

6.1. Keraamiset pinnoitteet

Keraami on erittäin hyvin kuumaa kestävä epäorgaaninen ja epämetallinen materiaali. Lopullisen muotonsa jauheesta koostuva keraami saa korkeassa lämpötilassa tapahtuvassa lujittumisessa. Keraamit jaotellaan yleensä perinteisiin keramiikan materiaaleihin ja uusiin teknisiin keraameihin /4/, /15/

Tässä työssä keskitytään teknisiin keraameihin, koska ne ovat toimivia tähän käyttötarkoitukseen. Tekniset keraamit saadaan aikaan synteettisesti valmistetuista oksidi-, nitridi-, karbidi- ja boridijauheista sintraamalla. Yleisimmät keraamien lähtöaineet ovat:

- alumiinioksidi (Al_2O_3), erittäin korkea sulamislämpötila 2040°C .
 - piinitridi (Si_3N_4), kestää hyvin mekaanisia rasituksia.
 - zirkoniumoksidi (ZrO_2), sitkistää ja lujittaa materiaalia.
- /4/, /15/.

6.2. Kalcret kovapinnoite

Kalcret on Kalenbornin valmistama kovapinnoite, joka soveltuu teollisuuden useisiin käyttökohteisiin. Kyseisen pinnoitteen käytöstä on JT-sulatolla jo käytännön kokemusta muutamista käyttökohteista. Kyseistä pinnoitusmenetelmää on käytetty 1-linjalla savukaasulinjan loppupäässä sykloneilla ja valokaariuuni-1:n savukaasukanavan alkupäässä pienellä osalla /11/.

Kalcret – kovapinnoitteen suurin sallittu käyttölämpötila on 1200°C . Lisäksi sillä on erittäin hyvät kulutusta kestävät ominaisuudet. Ennen pinnoitteen asentamista kohteen pinta on puhdistettava hyvin ja pintaan on asennettava riittävä tartuntapinta. Yleensä pinnoitteen paksuus on 15 – 80 mm ja pinnoite tehdään niin, että se ei aiheuta virtaukselle haitallista kynnystä. Kuvassa 23 on esitetty ennen Kalcret-pinnoitteen asentamista varten laitettava tartuntaverkko ja kuvassa 24 käyttövalmis Kalcret-pinnoitettu tuote /3/.



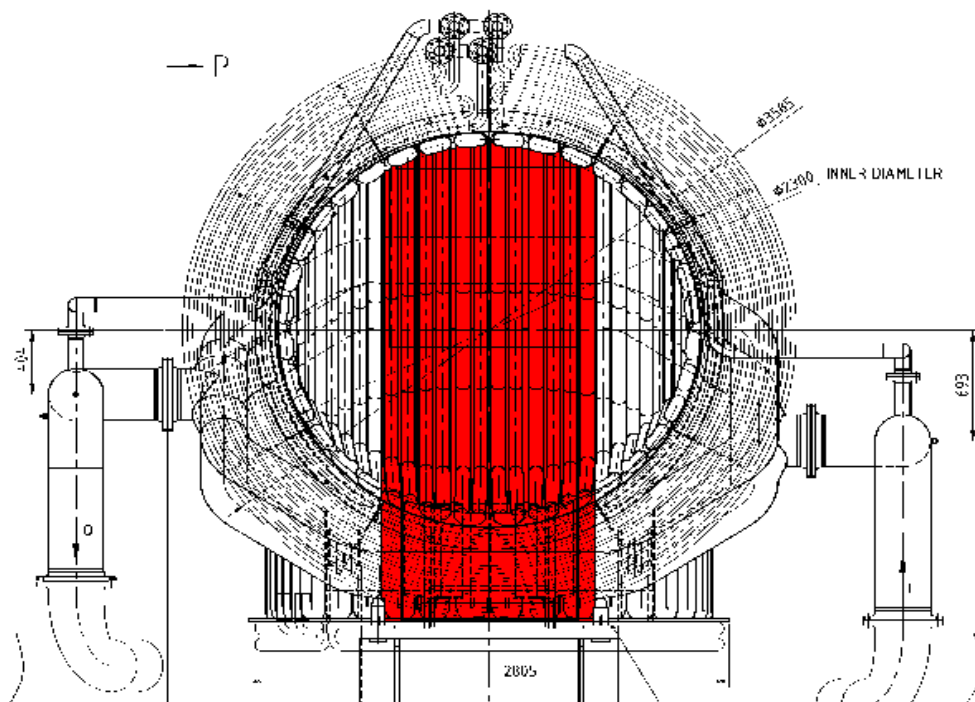
Kuva 23. Kalcret – pinnoitteen tartuntaverkko /3/



Kuva 24. Valmis Kalcret – pinnoitettu putki /3/

6.3. VKU-2:n uunikäyrän pinnoitekokeilu

Kalcret-pinnoitteen käyttämisestä on saatu hyviä kokemuksia, joten sen soveltuvuutta testataan yhdessä valokaariuuni-2:n uunikäyrässä. Pinnoitetta käytetään kuvassa 25 näkyvälle punaiselle alueelle. Pinnoitettava alue peittää juuri sen alueen, johon yleensä reikiä syntyy /11/.



Kuva 25. Pinnoitettava alue

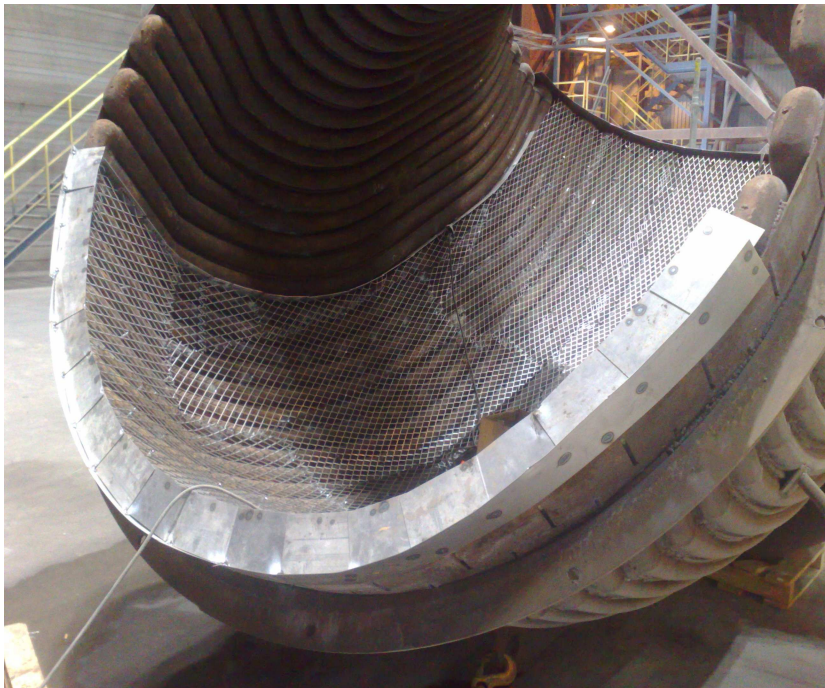
Parhaiten savukaasukäyrää suojaisi pinnoite, joka olisi koko sisäpinnan peittävä. Savukaasukäyrää ei kuitenkaan haluttu pinnoittaa kokonaan kahdesta eri syystä. Nämä ovat pinnoitteen kalleus ja pieni epävarmuus pinnoitteen kestosta näin kuumassa paikassa.

Kuvassa 26 on esitetty pinnoiteprojektissa käytettävä uunikäyrä. Kyseinen osa on käytetty ja se hitsataan kuntoon, mikäli se on tarpeellista ennen kuin pinnoittaminen aloitetaan.



Kuva 26. Uunikäyrä ennen projektin alkua

Pinnoitusprojektissa käytetyssä savukaasukäyrässä oli vain pientä korjaamista vaativia paikkoja läpivientien kohdalla. Löydetyt viat korjattiin hitsaamalla ja tämän jälkeen suoritettiin koeponnistus vedellä. Käytetty ponnistuspaine oli 3bar. Koeponnistuksen jälkeen pinnoitteelle tehtiin tartuntapohja tulenkestävästä verkosta ja tulenkestävistä pyörötangoista. Valmis tartuntapohja on esitetty kuvissa 27 ja 28.



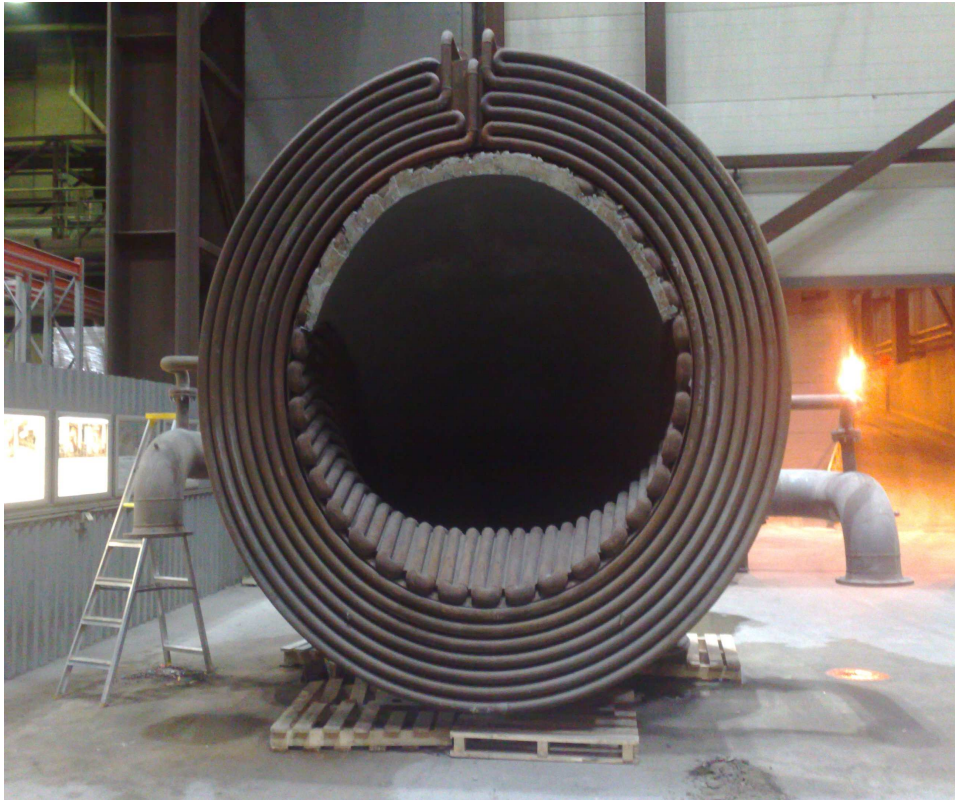
Kuva 27 Tartuntaverkko asennettuna



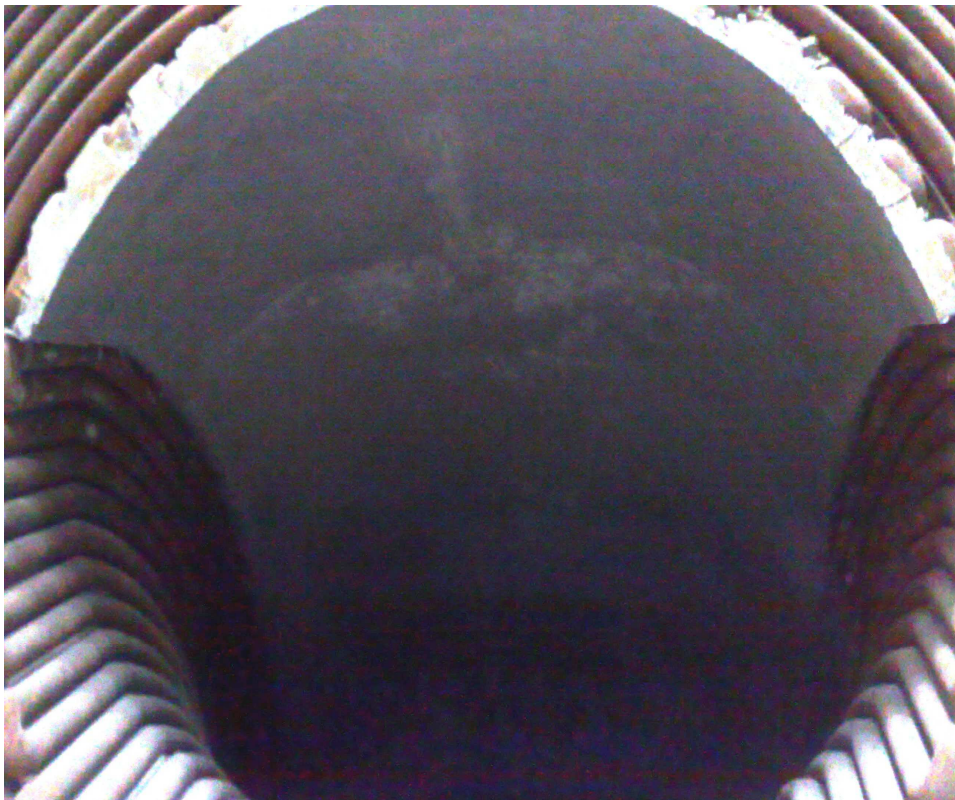
Kuva 28. Tartuntaverkon kannatinpyöröteräkset

Tartuntaverkon ollessa valmis suoritettiin uusi koeponnistus, jotta voitaisiin tarkistaa, ettei savukaasukäyrässä ole vesivuotoja. Tämä vaihe on ehdottoman tärkeää suorittaa tarpeeksi huolellisesti, koska vesivuoto pinnoitteen alla voisi johtaa jopa koko pinnoitteen uusimiseen. Tartuntaverkon asentamisessa voi syntyä vuotoja putkistoon, mikäli hitsaaminen suoritetaan väärään paikkaan tai muutoin huonosti. Seuratussa pinnoitusprojektissa ei ilmennyt vuotoja putkistossa.

Tartuntaverkon asentamisen jälkeen alkoi itse pinnoitusprosessi. Pinnoitteen asentamiseen valmiiseen pohjaan tarkasteltavalle alueelle vie aikaa suurin piirtein yhden työpäivän. Tarkasteltavassa pinnoitusprojektissa pinnoitettavan alueen suuruus oli suunnilleen 15 neliömetriä. Kuvissa 29 ja 30 on esitetty valmis pinnoitettualue.



Kuva 29. Valmis pinnoitettu savukaasukäyrä



Kuva 30. Pinnoitettu savukaasukäyrä sisältä

7. SAVUKAASUKANAVIEN NYKYTILAN KARTOITUS JA KEHITYSTOIMENPITEET

Savukaasukanavien nykytilanteen selville saamisen jälkeen oli mietittävä sopivia kehitystoimenpiteitä, joilla tilannetta pystyisi parantamaan kustannustehokkaasti. Selvitystyön aikana oli tullut selväksi kustannus seurannan suuritoisuus ja joissakin kohteissa kustannuksen tarkan kohdistamisen vaikeus. Aikataulun puitteissa oli mahdollista perehtyä yhteen parannusehdotukseen tarkemmin ja jättää muista parannus mahdollisuuksista pieni ajatus pohdittavaksi.

7.1. Savukaasukanavissa käytetyt materiaalit

Vesijäähdytetyt savukaasukanavat on tällä hetkellä valmistettu saumattomasta kattilaputkesta (P235GHG / ST 35.8). Kyseinen putkimateriaali kestää savukaasukanavistossa puolesta vuodesta kolmeen vuoteen. Kestoiän muuttumisen perusteella olosuhteet savukaasu kanavassa vaihtelevat suuresti. Tämä on helposti ymmärrettävissä, koska kyseessä on huomattavan pitkä putkisto.

Tämän selvityksen pohjalta voidaan todeta, että nopeimmin kuluva ja kallein savukaasukanavan osa on valokaariuuni 2:n savukaasukanavassa ja siellä savukaasukanavan ensimmäinen osa, eli uunikäyrä. Savukaasukanavien vaihtotarve ja vaihtamisen aiheuttamat kustannukset on esitetty liitteessä 4. Tämän vuoksi kannattavinta on kohdistaa parannustyöt ensimmäisenä kyseiseen osaan. Mikäli tässä saavutetaan kustannustehokasta parannusta, niin samat toimenpiteet voidaan mahdollisesti toistaa muissakin kohteissa.

Toisaalta valokaariuuni 2:n savukaasukanavasta löytyy osia, joita ei ole vaihdettu koskaan, vaikka ne on valmistettu samasta materiaalista. Tämän perusteella voidaan todeta, että kulutukseen vaikuttavat savukaasun lämpötila sekä virtausnopeus /7/.

7.2. Kesto ja vuosikustannukset

Nykyiset savukaasukanavien huolto - ja kunnossapito kustannukset on eritelty liitteessä 4. Osassa tutkimusta on jouduttu käyttämään arvioita, koska tarkkaa tietoa ei ole ollut saatavilla. Tästä huolimatta kustannuspaikkojen välille tuli eroa sen verran, että kallein kohde saatiin erottumaan muista. Savukaasukanavan osat kestivät toteutuneiden kunnossapitokustannusten perusteella 6 kuukaudesta 36 kuukauteen. Vaihtamisen tarvetta esiintyi useimmin tietenkin suurimmalla kulutuksella olevissa kohteissa.

7.3. Parannus ehdotukset

Parannusehdotuksista tärkeimpänä on mielestäni kustannuksien seuraamisen parantaminen VKU – 2:n savukaasukäyrällä. Nykyisin ei ole mahdollista seurata helposti ja varmasti savukaasukäyrän koko elinkaarta käyttöönotosta sen käytöstä poistoon.

Toinen kokeilemisen arvoinen Parannusehdotus on Kalcret – kovapinnoitteen käyttökokeilu savukaasukäyrään VKU – 2:lla Sopivana ajankohtana tulevaisuudessa.

- VKU-2 Savukaasukäyrä takonumerolla 535285 voitaisiin muuttaa kustannusten seuraamisen helpottamiseksi helpommin yksilöitäväksi. Esimerkiksi voitaisiin käyttää juoksevaa numerointia takonumeron lisäksi. Tämä helpottaisi suuresti savukaasukäyrän kestoiän selvittämistä ja sen käytön aikaisia kustannuksia.
- VKU-2 Savukaasukäyrän osalta voitaisiin siirtyä parempaan materiaaliin, mikäli haetaan parempaa kuumankestävyyttä. Nykyinen materiaali on P235GH, jolle valmistaja lupaa 350°C:n käyttölämpötilan. Korvaava materiaali voisi olla 10CrMo9-10, jonka suurin käyttölämpötila olisi valmistajan mukaan 545°C.

Kalliimman hinnan vuoksi koko savukaasukäyrää ei kannattaisi tehdä välttämättä samasta materiaalista. Niinpä kalliimmasta materiaalista kannattaisi tehdä erillinen paneeli siihen kohtaan, jossa kulutus on suurinta. Kappaleiden yhteen liittäminen tulisi tehdä muutoin kuin hitsaamalla, jotta välttyttäisiin lämpötilamuutosten aiheuttamilta repeämiltä liitospinnassa.

- Kaikkiin savukaasukanaviin sopivana parannusehdotuksena olisi Kalcret- tai vastaava kovapinnoite. Tämän korjausehdotuksen käyttöönotossa kannattaa kuitenkin seurata ensin jo käytössä olevia pinnoitteita ja niiden kestävyyttä. Mikäli linja-1:llä oleva pinnoite kestää hyvin tarpeeksi pitkään, mielestäni vastaavaa pinnoitusta voidaan hyvin käyttää useimmissa kulutuskestävyyttä vaativissa savukaasukanavan kohdissa.

Pinnoitteita suunnitellessa tulee ottaa huomioon kuitenkin savukaasukanavan kannattimiin kohdistuvat lisäkuormitukset, koska valmis pinnoite tuo savukaasukanavaan huomattavan lisäpainon.

- Savukaasukanavien kunnonvalvonta tulisi suorittaa noin 2 kuukauden välein tapahtuvalla tarkastuskierroksella. Savukaasukanavat kierrettäisiin läpi sisäpuolelta, joka onnistuisi viikkohuoltoseisokin aikana, jolloin savukaasukanavissa ei ole imut päällä.

7.4. Pinnoitteen käytön arvioidut edut

Kalcret-pinnoitteella voidaan saavuttaa valokaariuuni 2:n savukaasukäyrässä parhaimmillaan jopa kolminkertainen käyttöikä. Mikäli tämä toteutuu myös käytännössä, niin sillä saavutetaan pinnoitteen suhteellisen kalliista hinnasta huolimatta merkittävää säästöä. Kustannukset on esitelty tarkemmin liitteessä 5. Lisäksi säästöä tulee vielä siitä, kun tuotantoon ei tule katkoksia savukaasukanavan osien vaihdosta niin usein.

8. YHTEENVETO

Opinnäytetyön tekeminen oli riittävän haastavaa ja mielenkiintoista, aiheen valinnan ansiosta. Savukaasukanavien kestojen tutkiminen ja mahdollisten parannuksien suunnittelu olisi voinut jatkua loputtomiin.

Tässä opinnäytetyössä käytiin läpi JT-sulaton tuotannon alkupään kaikki savukaasukanavat, joita ovat CRK-1, VKU-1, AOD-1, VKU-2 ja AOD-2. Ensimmäisenä työtehtävänä oli tehdä selvitys aikaisemmista huolto- ja korjaustoimenpiteistä. Näiden tutkimusten pohjalta etsittiin vika-altein ja kallein prosessipaikka, jonka kuntoon saattamiseen opinnäytetyössä keskityttäisiin.

Heti alkuselvityksen perusteella pystyttiin karsimaan käsiteltävien kohteiden joukosta pois CRK-1 ja AOD-2. Tämä tehtiin sen vuoksi, koska kyseisissä savukaasukanavissa ei ollut löydetty vielä tähän mennessä mitään korjauskohteita.

Kulumistutkimusten yhteydessä selvisi asia, jota ei normaalissa polttotapahtumassa ja siitä seuraavassa savukaasussa ole. Tämä oli poikkeuksellisen suuresta pienhiukkaspitoisuudesta johtuva eroosio. Mikäli eroosion vaikutus olisi jätetty pois, niin tulokset olisivat vääristyneet huomattavasti.

Työtä tehdessä selvisi, se ettei mitään laajempaa tutkimusta korjaavien suunnitelmien toimivuudesta ehdittäisi tehdä työhön määritellyn ajan puitteissa. Osaa ratkaisusta tullaan mitä ilmeisimmin kokeilemaan myös käytännössä.

VKU-2:n savukaasukäyrään tehty pinnoitekokeilu tulee näyttämään tulevaisuudessa omalta osaltaan savukaasuputkistojen pinnoittamisen järkevyyden hinnan ja kestävyys suhteen. Nyt tehty pinnoite on kestävyys kannalta vaativimmassa paikassa ja sen vuoksi todellinen kuumankestävyys tulee testattua varsin perusteellisesti.

Opinnäytetyössä esiin tulleet uudet materiaalit ja niiden käytännössä testaaminen jäänee tulevaisuuteen. Niiden käytännön testaamisen aikataulusta ei ollut mitään tietoa vielä opinnäytetyön loppuvaiheilla. Toivoa sopii, että niitä kuitenkin kokeillaan jossakin mittakaavassa tulevaisuudessa.

9. LÄHDELUETTELO

- /1/ Autio, Kari, Työnjohtajan haastattelu, Outokumpu Tornio Works, 13.05.2009.
- /2/ Huhtinen, Markku, Höyrykattilatekniikka, 6. painos, Helsinki painatuskeskus Oy, 2004.
- /3/ Kalenborn Kalprotech Dr. Mauriz GmbH & co, Kalcret Hard Compound, esittelymateriaali, <http://www.kalenborn.de/pdf-files/01_Verschl_GB.pdf>, 18.04.2009
- /4/ Koivisto, Kaarlo, Konetekniikan materiaalioppi, 10. painos, Edita, 2004
- /5/ Lindroos, Veikko, Miekk-Ojan Metallioppi, Uudistettu painos, Otava, 1986.
- /6/ Lukkari, Juha, Kuumalujat teräkset ja niiden hitsattavuus, , <http://www.shy-hitsaus.net/HT_4_2004_kuumalujat.pdf>, 28.03.2009.
- /7/ Luukkala, Antti, Työnjohtajan haastattelu, Outokumpu Tornio Works, 24.04.2009.
- /8/ Outokumpu OYJ, intranet-esittelymateriaali, <<http://myoutokumpu.com>>, 26.03.2009
- /9/ Raiko, Risto, Poltto ja palaminen, 1. painos, Gummerus kirjapaino, 2002.
- /10/ Räinen, Erkki, Työnjohtajan haastattelu, Outokumpu Tornio Works, .
- /11/ Satta, Yrjö, Työnjohtajan haastattelut, Outokumpu Tornio Works, .
- /12/ Suomen standardisoimisliitto SFS-käsikirja51-1, Teräs, osa 1: Yleisstandardit 1999, 2. painos, Helsinki kyriiri Oy, 1999.
- /13/ Suomen standardisoimisliitto SFS-käsikirja51-4, Teräs, osa :4 Ruostumattomat teräkset, ainestandardit 1997, 1. painos, Helsinki kyriiri Oy, 1997.
- /14/ Tampereen teknillinen yliopisto, Kurssimateriaali, Rauta-monipuolinenmetalli, <http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv_4_1.php>, 28.03.2009.

10. LIITELUETTELO

Liite 1	Savukaasukanavan piirustus.
Liite 2	Terässulaton savukaasupölyn määrä tuotettua terästonnia kohti.
Liite 3	Letkusuodattimien pölyanalyysit.
Liite 4	Savukaasukanavien kustannuslaskelmat.
Liite 4/1	AOD-1 kustannuslaskelma.
Liite 4/2	VKU-1 kustannuslaskelma.
Liite 4/3	VKU-2 kustannuslaskelma.
Liite 5	Pinnoitteen kustannusarvio.