

LIITE 1

**Aktiivihiihden mitoituksen varmistus ja optimointi sekä TOC-reduktion
varmistaminen – loppuraportti 28.1.2015**



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS
FINNISH RECOVERY BOILER COMMITTEE

Suomen Soodakattilayhdistys ry

**Aktiivihiihden mitoituksen varmistus
ja optimointi sekä TOC-reduktion
varmistaminen**

29.1.2015

Raportti 2/2015

(16A0913-E0155)

1 TAUSTAA

Soodakattilayhdistyksen SKYREC-projektissa on tutkittu aktiivihiihen käyttöä soodakattilalaitoksen lisäveden orgaanisen aineen poistossa vuosina 2009 – 2013. Aiheesta on valmistunut pro gradu-työ: [Soodakattilalaitoksen lisäveden orgaanisen aineen vähentäminen](#), jatkotutkimusraportti [Aktiivihiihisiuodatuksen ja UV-käsittelyn soveltaminen suolanpoistolaitokseen lisäveden TOC-tason alentamisessa](#) sekä selvitys aktiivihiihen eroista: [Aktiivihiihen vertailu ja aktiivihiihen toimintamekanismin selvittäminen ionivaihdetuissa vesissä](#)

Yhteenvedo aiempien projektien tuloksista:

- Kaikkien aktiivihiihen, myös happopesemättömän, TOC-reduktiot vaikuttaisivat asettuvan samalle tasolle n. 40 %. Tulos tukee aiempaatutkimusta, jossa osoitettiin aktiivihiihisiuodatuksen alentavan noin 40-50 % lisäveden orgaanisen hiilen (TOC) pitoisuutta.
- JP-Analysiksen uudella TOC-laitteella (Tekmar Phoenix 8000) mitatut tulokset ovat suuruusluokaltaan lähempänä LC-OCD (Huber laboratorio) tuloksia kuin Oulun Yliopiston laitteella mitatut tulokset, reduktio 50-60%. Laitetta ei kuitenkaan ole validoitu ja tuloksissa esiintyy vaihtelua rinnakkaisnäytteiden kanssa
- Eri kaupallisten aktiivihiihen välillä ei juurikaan saatu eroja TOC-, johtokyky- ja LC-OCD-analyysillä. Kokeiden perusteella voitaisiinkin käyttää puolet halvempaa happopesemättömää aktiivihiihettä happopestyn aktiivihiihen sijaan.
- Tehtyjen hapetuskokeiden tulosten perusteella otsonilla, vetyperoksidilla tai otsonilla ja vetyperoksidilla yhdessä aktiivihiihisiuodatuksen kanssa ei saatu tehostettua orgaanisen aineksen poistoa TSP-vedestä verrattuna pelkkään aktiivihiihisiuodatukseen.
- Tehtyjen kokeiden tulosten perusteella impregnoitunut aktiivihiihettä (hopea/rauta) eivät toimineet impregnoimattomia aktiivihiihettä paremmin orgaanisen aineksen poistossa TSP-vedestä.

2 TAVOITE

Projektin tavoitteena oli varmistaa aktiivihiihisiuodattimen mitoitus sekä kustannukset mahdollista hankintaa varten. Aktiivihiihisiuodattimien mitoitus tutkittiin nostamalla suodattimen virtaussuhdetta alhaisista arvoista käytännön suodattimissa käytettäviin arvoihin. Lisäksi on vertailtu eri TOC-mittalaitteiden välisiä eroja TOC-reduktion varmistamiseksi.

2.1 Suodattimien mitoituksesta

Suolanpoistolaitoksen suodattimet mitoitetaan käyttämällä kahta tunnuslukua virtaussuhde ja suodatusnopeus. Virtaussuhteella BV/h tarkoitetaan tunnissa suodatetun vesimäärän ja suodatinmateriaalin tilavuuksien suhdetta. Anionivaihtimessa A1 käytetään mitoitus virtaussuhdetta 30–35 BV/h (Bed volume/h). Anionivaihtimien A1 ja A2 yhteenlasketusta tilavuudesta laskettu virtaussuhde on 25–30 BV/h. Suodatus nopeudella m/h tarkoitetaan näennäistä virtausnopeutta suodattimessa. Anioninvaihtimessa käytetään mitoitus 10–50 m/h. suuri vaihtelu johtuu siitä että petivahvuuden tulisi olla aina vähintään 700mm. Koesuodattimissa petivahvuus oli kuitenkin vain 400–500, mm. tämä huononsi tuloksia käytännön suodattimiin verrattuna.

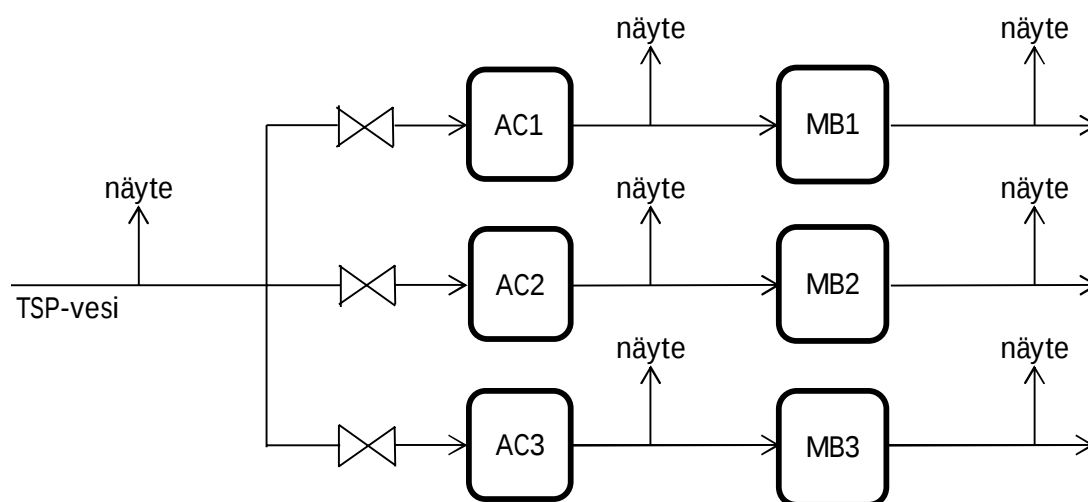
3

TOTEUTUS

Aktiivihiihien mitoituksen optimointi toteutettiin olemassa olevilla suodatin kolonneilla Stora Enson Oulun tehtaalla, koejärjestely esitetty kuvassa 1. Kolonneja on kahta eri mallia.

Kokeissa virtaussuhde aloitettiin alhaisista arvoista ja yhden hiilisuodattimen (AC3) virtaussuhde nostettiin vaiheittain käytännön arvoon (n. 30 BV/h). Aktiivihiihisuodattimien AC1 ja AC2 virtaussuhteet pidettiin vakioina. Suodattimiin käytettiin tulovetenä suolanpoistosarjan jälkeistä ionivaihdettua vettä. Aktiivihiihisuodattimien jälkeen koesuodatuksissa oli MB suodattimet.

TOC reduktiot määritettiin sekä aktiivihiihisuodattimen että MB-suodattimen jälkeen. TOC-reduktiot määritettiin TEKMAR Phoenix 3000 analysaattorilla (JP-analysis-yrityksen laite). Lisäksi tuloksia vertailtiin aikaisemmissa tutkimuksissa käytettyyn TOC-laitteistoon (Oulun yliopiston laite). Johtokykyä seurattiin jokaisen aktiivihiihisuodattimen jälkeen reaaliaikaisella mittauksella.

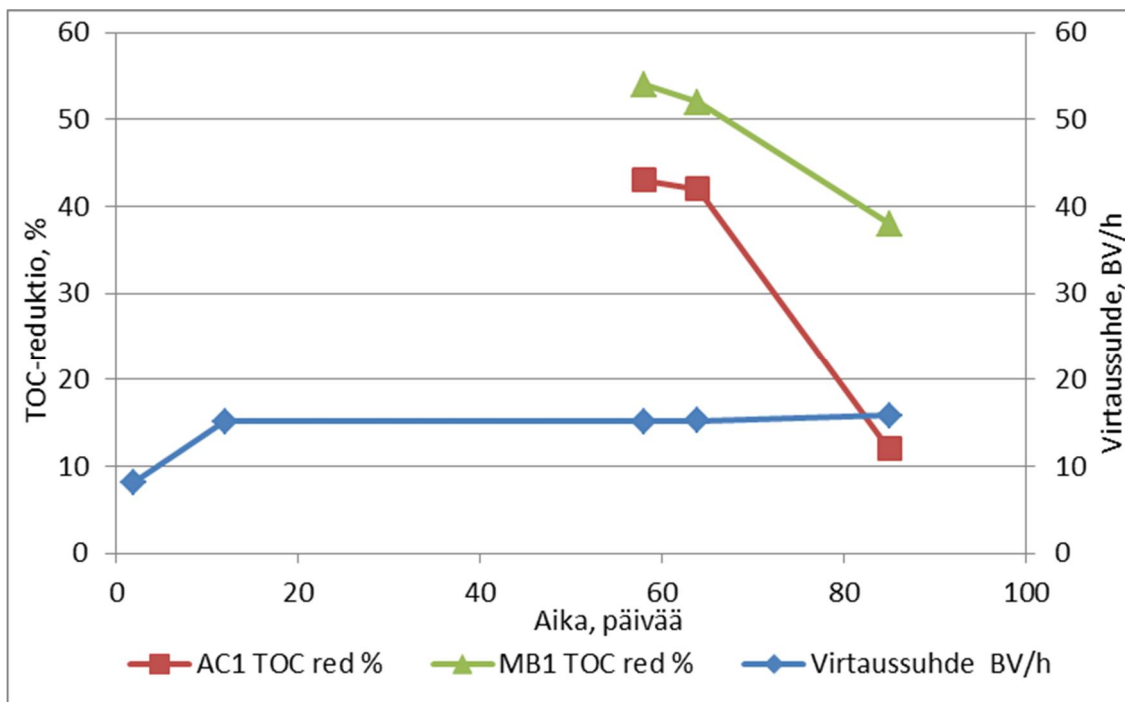


Kuva 1.Koejärjestely

4 TULOKSET

4.1 Aktiivihiihi AC1:

Suotimena halkaisijaltaan 220 mm näytekolonni jossa veden jako huono (pistemäinen ja hiili patjan vahvuus 400 mm. Lisäksi kolonnien virtaussuunta oli aluksi väärä (vastavirtaan) Ensimmäisiä tuloksia ei raportoida ja lisäksi kolonnin tehokkuus romahti ennenaikaisesti, Kuva 2 sekä taulukko 1.



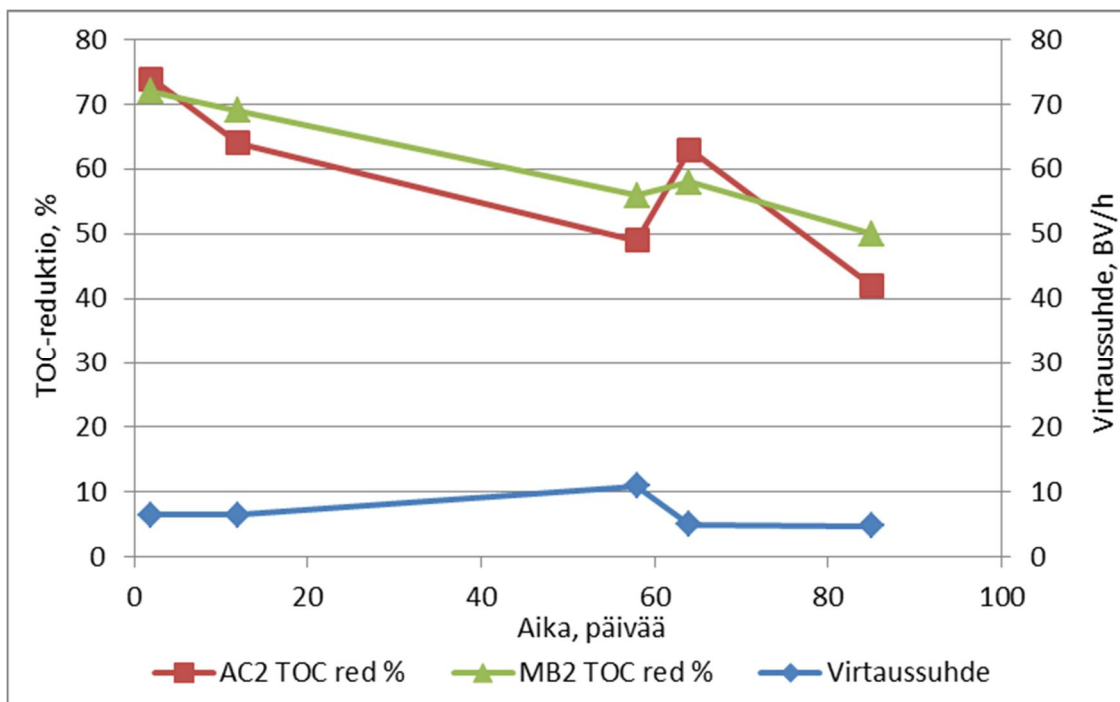
Kuva 2. Aktiivihiihen AC1:n TOC-reduktiot virtaussuhteen ja ajan funktiona.

Taulukko 1. Kolonni AC1:n, TOC-reduktiot ja käytetyt virtaussuhteet

Koejakso päivää	Virtaussuhde BV/h	AC1 TOC Reduktio, %	MB1 TOC reduktio, %
2	8,2	-	-
12	15,2	-	-
58	15,2	43	54
64	15,3	42	52
85	15,9	12	38

4.2 Aktiivihiihi AC2:

AC2 aktiivihiihikolonnin halkaisija 110 mm ja hiilipetin paksuus 500 mm. Vesi jaettu suuttimilla. Kuvassa 3 sekä taulukossa 2 on esitettyä aktiivihiihisiuodatin AC2:n TOC-reduktiot virtaussuhteen ja ajan funktiona. TOC-reduktio on vaihdellut 64 % ja 42 % välillä.



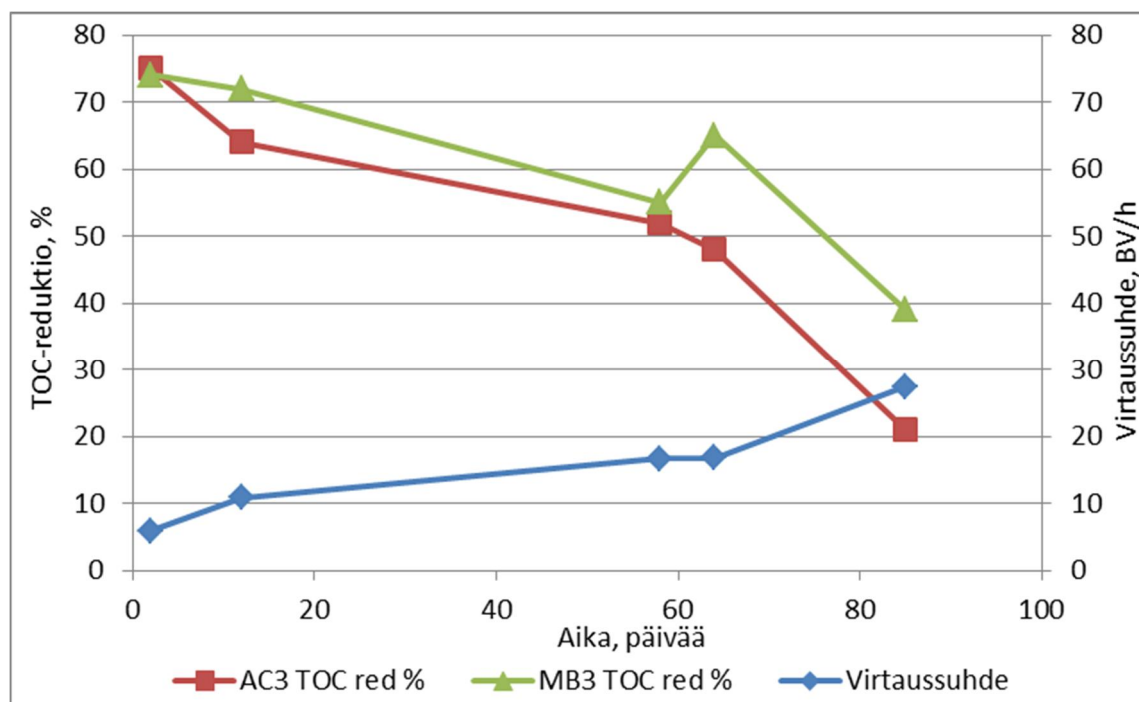
Kuva 3. Aktiivihiihen AC2:n TOC-reduktiot virtaussuhteen ja ajan funktiona.

Taulukko 2. Kolonni AC2:n, TOC-reduktiot ja käytetyt virtaussuhteet

Koejakso päivää	Virtaussuhde BV/h	AC2 TOC Reduktio, %	MB2 TOC reductio, %
2	6,5	74	72
12	6,5	64	69
58	10,9	49	56
64	5,03	63	58
85	4,74	42	50

4.3 Akviivihiihi AC3:

AC3 aktiivihiihikolonnin halkaisija 110 mm ja hiilipetin paksuus 500 mm. Vesi jaettu suuttimilla. Kuvassa 4 sekä taulukossa 3 on esitettyä aktiivihiihisuodatin AC3:n TOC-reduktiot virtaussuhteen ja ajan funktiona. TOC-reduktio on vähentynyt virtaussuhteen ja ajan funktiona.



Kuva 4. Aktiivihiihen AC3:n TOC-reduktiot virtaussuhteen ja ajan funktiona.

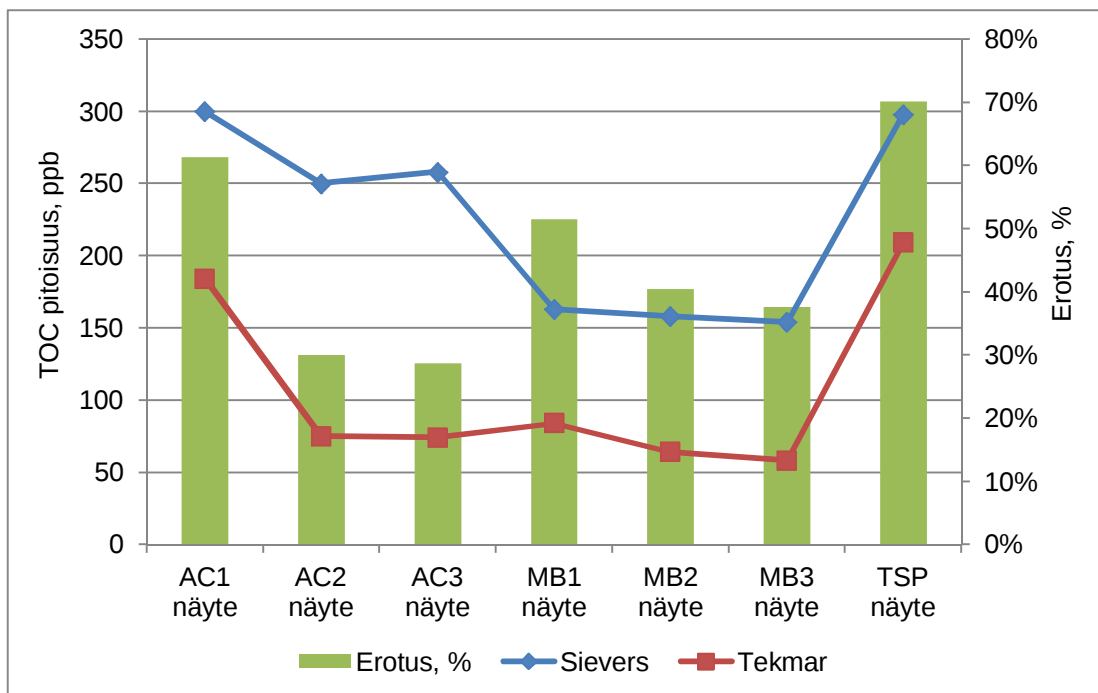
Taulukko 3. Kolonni AC2:n, TOC-reduktiot ja käytetyt virtaussuhteet

Koejakso päivää	Virtaussuhde BV/h	AC3 TOC Reduktio, %	MB3 TOC reductio, %
2	5,9	75	74
12	10,9	64	72
58	16,7	52	55
64	16,8	48	65
85	27,4	21	39

4.4 TOC-mittausten vertailu

Tutkimuksessa vertailtiin kahden TOC-analysaattorin antamia tuloksia tutkimuksen tutkituilla vesillä. Toinen TOC analysaattoreista oli aikaisemmissa tutkimuksissa käytetty Sievers 900 Portable TOC Analyzer (yliopiston laite) ja toinen JP-analysiryityksen Tekmar Pheonix 8000 TOC analyzer. Tekmar laitteisto on suunniteltu alhaisten TOC-pitoisuuksien määrittämiseen.

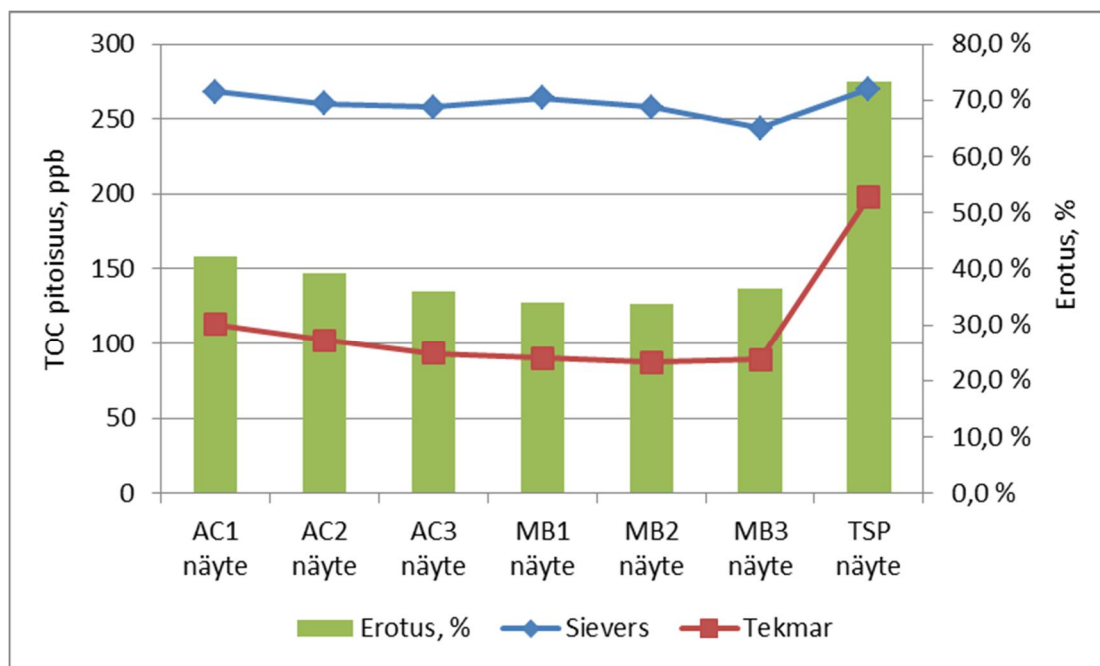
Kuvassa 5 ja taulukossa 4 on vertailtuna 26.11.2012 tehdyn mittauksen tuloksia ja kuvassa 6 ja taulukossa 5 11.1.2013 tehdyn mittauksen tuloksia.



Kuva 5. TOC-analysaattoreiden vertailumittaus 26.11.2012

Taulukko 4. TOC-analysaattoreiden vertailumittaus 26.11.2012

	Sievers	Tekmar	Erotus
AC1 näyte	300 ppb	184ppb	61 %
AC2 näyte	250 ppb	75 ppb	30 %
AC3 näyte	258 ppb	74 ppb	29 %
MB1 näyte	163 ppb	84ppb	52 %
MB2 näyte	158 ppb	64 ppb	41 %
MB3 näyte	154 ppb	58 ppb	38 %
TSP näyte	298 ppb	209 ppb	70 %
Höyry		116 ppb	



Kuva 6. TOC-analyssaattoreiden vertailumittaus 11.1.2013

Taulukko 5. TOC-analyssaattoreiden vertailumittaus 11.1.2013

	Sievers	Tekmar	Erotus
AC1 näyte	268	113	42,2 %
AC2 näyte	260	102	39,2 %
AC3 näyte	258	93	36,0 %
MB1 näyte	264	90	34,1 %
MB2 näyte	258	87	33,7 %
MB3 näyte	244	89	36,5 %
TSP näyte	270	198	73,3 %
Höyry		124	

5

YHTEENVETO

Tulokset osoittavat, että aktiivihiileet poistavat orgaanista hiiltä tehokkaasti TSP-vedestä. Testissä TOC-reduktio vaihteli 64 % ja 42 % välillä. Virtaussuhteen kasvu vaikuttaa alentavasti TOC-reduktioon, virtaussuhde (n. 30 BV/h) oli lähimpänä käytäntöä jolloin TOC-reduktio oli n. 20 %. Kolonnien petitilavuudet ovat kuitenkin erittäin vaatimattomat ja täten eivät mahdollisesti vastaa täyttä totuutta. Suurilla veden virtauksilla riski tunneloitumisefektiin kolonneissa kasvaa. Tällöin vesi voi kulkea vain tiettyä reittiä pitkin kolonnin sisällä ja kontaktia ei synny kokopetitilavuudella.

TOC-analyssaattorien mittaamissa pitoisuuksissa oli merkittäviä eroja. Yliopiston Sievers-laitteistoa käytetään lisäksi jätevesianalytiikassa, joten virhe tuloksia on odotettavissa. Sievers-laitteisto antoi lisäksi ultrapuhtaalle vedelle (MQ-vesi) TOC-pitoisuudeksi n. 150 ppb, jonka TOC-pitoisuudet ovat luokkaa 5-10 ppb. Tästä voidaan päätellä, että Sievers laitteella ei päästä tätä (150 ppb) pitoisuutta alemmaksi.

Tekijän yhteystiedot:

Jaakko Pellinen

+358 50 5916109

jaakko.pellinen@jp-analysis.fi

Kaitoväylä 1 F2 90570 Oulu

www.jp-analysis.fi

LIITE 2

Suojaussuositus, alustava 28.1.2015



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS
FINNISH RECOVERY BOILER COMMITTEE

Suomen Soodakattilayhdistys ry.

**SOODAKATTILALAITOKSEN
SUOJAUS SUOSITUS**

26.5.1988

25.9.1997

XX.XX.2015

ESIPUHE

SISÄLLYSLUETTELO

1	SOODAKATTILAN MATERIAALIT JA HITSAUKSET	6
1.1	Yleistä	6
1.2	Terästen jaottelu	6
1.2.1	Seostamattomat ja niukkaseosteiset teräsputket	7
1.2.2	Runsasseosteiset teräsputket	7
1.2.3	Ruostumattomat teräsputket	8
1.2.4	Kompound-putket	11
1.3	Materiaalit käyttökohteen mukaan	12
1.3.1	Pohja	14
1.3.2	Seinät	14
1.3.3	Kammiot, aukot, läpiviennit, kourut, massaukset	15
1.3.4	Verho	15
1.3.5	Tulistin	16
1.3.6	Ekonomaiseri	18
1.3.7	Lieriö	19
1.4	Hitsaus	19
1.4.1	Erikoishitsaukset	21
1.4.1.1	Ferriittisten terästen (”Musta/musta”) –liitos	21
1.4.1.2	Austeniittisen ja ferriittisen teräksen (”Musta/ruostumaton”) liitos	22
1.4.2	Päällehitsaus	22
1.4.2.1	Pinnan puhdistus	23
1.4.2.2	Päällehitsauksen vaatimukset	23
1.4.2.3	Hitsausmenetelmät ja lisäaineet	24
1.4.2.4	Hitsauksen suorittaminen	25
1.4.2.5	Päällehitsauksen jälkikäsittely	26
1.4.2.6	Päällehitsauksen tarkastus	26
1.4.2.7	Hitsausvirheiden korjaus	27
1.5	Lähteet:	27
2	SOODAKATTILAPINNOITUKSET	28
2.1	Johdanto	28
2.2	Ruiskutusmenetelmät	29
2.3	Pinnoitemateriaalit	31
2.3.1	Rautavaltaiset pinnoitteet	31
2.3.2	Nikkelivaltaiset pinnoitteet	33
2.3.3	Kaupalliset pinnoitemateriaalit	34
2.3.4	Pinnoitemateriaalien valinta	35
2.4	Pinnoitteen valmistus	37
2.4.1	Termisellä ruiskutuksella pinnoitettavan pinnan esikäsittely	38
2.4.2	Pinnoitemateriaali	39
2.4.3	Terminen ruiskutus	39
2.4.4	Sulautuvien seosten ruiskutus	40
2.4.5	Vaaditut ominaisuudet ja pinnoitteen testausmenetelmät	40

2.4.6	Pinnoitteen ulkonäkö	40
2.4.7	Tartunta.....	41
2.4.8	Paksuuden mittaus.....	41
2.4.9	Vanhon pinnoitteiden tarkastus ja pintojen korjaus	42
2.4.10	Manipulaattorin käyttö pinnoituksessa.....	42
2.5	Yhteenveto	43
2.6	Lähdeluettelo.....	43
3	PAINEASTIAN KORJAUKSET.....	46
3.1	Yleistä	46
3.2	Oppaat.....	46
3.3	Lait ja asetukset.....	47
3.4	Hitsauksen laatu	47
3.5	Hitsaajan pätevyydistodistukset	48
3.6	Hitsausohjeet.....	48
3.7	Asennus-, korjaus- ja muutostyöt.....	48
3.8	Painekoe.....	50
3.9	Korjauksen luonne.....	50
3.9.1	Ennakkoon valmisteltu korjaus.....	50
3.9.2	Ennalta arvaamattoman tapahtuman korjaus	51
3.9.3	Hitsauksen korjaus	51
4	SOODAKATTILATARKASTUKSET.....	53
4.1	Yleistä	53
4.2	Tarkastusmenetelmät.....	55
4.2.1	Silmämääräinen tarkastus/VT (visual testing)	55
4.2.2	Paksuusmittaus/ TM (thickness measurement).....	56
4.2.3	Magneettijauhetarkastus / MT (magnetic particle examination)	56
4.2.4	Tunkeumanestetarkastus / PT (liquid penetrant examination).....	57
4.2.5	Radiografia/RT (radiographic examination).....	58
4.2.6	Ultraäänitarkastus / UT (ultrasonic examination).....	58
4.2.7	Pyörrevirtatarkastus/ET (eddy current testing).....	59
4.2.8	Jäljennemenetelmä/REP (replica)	60
4.2.9	Endoskooppitarkastus/END (endoscopy).....	61
4.2.10	Akustinen emissioseuranta / AE (acoustic emission)	61
4.2.11	Lämpökuvaus (thermography).....	61
4.2.12	Kovuusmittaus/HT (hardness test).....	61
4.2.13	T-Scan paksuusmittaus	62
4.2.14	IRIS-tekniikka.....	62
4.2.15	Sisäpuolisen kerrostuman / magnetiittikalvon paksuusmittaus	63
4.2.16	Guided Wave	65
4.2.17	RFET (kaukokenttämenetelmä pyörrevirtatekniikalla, Remote Field Electromagnetic Technique).....	66
4.2.18	Magneettinen vuotokenttätarkastus (MFL)	66
4.2.19	Jäännös jännitystilat	67
4.2.20	Ainetta rikkovat tarkastukset	67
4.3	Tarkastettavat kohteet.....	67
4.4	Vesipainekoe korjausten jälkeen.....	68
4.5	Dokumentointi	68



5	SOODAKATTILAN VAURIOT	70
5.1	TULIPESÄ.....	70
5.1.1	Pohja.....	70
5.1.1.1	Pohjan säröt	70
5.1.1.2	Kamparauta	72
5.1.1.3	Kouruvauriot ja niiden ympäristö.....	72
5.1.2	Seinät	72
5.1.3	Katto	73
5.2	VERHOPUTKISTO.....	73
5.3	TULISTIN	73
5.3.1	Ruiskujäähdyttimet.....	73
5.4	KONVEKTIO-OSA	73
5.5	LIERIÖ	73
5.6	EKONOMAISERI.....	73
5.6.1	A- ja B-putket.....	73
5.6.2	Evän päät/kavennukset	73
5.7	LIUOTTAJA.....	73
5.8	VESI- JA HÖYRYPUOLEN VAURIOT.....	74
5.9	ILMAN ESILÄMMITTIMET	74
5.10	MUUT	74
5.10.1	Kaasuräjähdys	74



JOHDANTO

Soodakattilalaitoksen Suojaussuositus 2013 pohjautuu vuonna 1997 julkaistuun suositukseen (raportti 6/1997). Suositus on päivitetty vastaamaan nykytilannetta ja -tarvetta.

Aikaisempi suojaussuositus vuodelta 1997 käsitteli suojauskäsitettä laajemmassa merkityksessä kuin tässä suosituksissa. Suosituksesta valittiin päivitettäväksi seuraavat kappaleet: Soodakattilan materiaalit ja hitsaukset, Soodakattilapinnoitukset, Paineastian korjaukset ja Soodakattilatarkastukset. Lisäksi uutena kappaleena on Soodakattilan vauriot, johon kerätty vaurioesimerkkejä yhdistyksen vauriotietokannasta.

Suojaussuositus on koottu laadintahetkellä saatavilla olleiden tietojen ja kokemusten perusteella.

1 SOODAKATTILAN MATERIAALIT JA HITSAUKSET

Alkuperäinen teksti: Lasse Koivisto, Ahlstrom Machinery Oy

Päivitetty teksti: Kestoisuustyöryhmä

1.1 Yleistä

Valmistajalla tulee olla laatu järjestelmä (esim. ISO 9001 mukainen), jossa kuvataan (soveltuvin osin) materiaalin valinta, tilaus, vastaanotto, aine todistusten käsittely, materiaalin tuotantoonotto ja materiaalin tunnistettavuuden säilyttäminen.

1.2 Terästen jaottelu

Soodakattiloissa yleisimmin käytetyt teräkset voidaan jaotella monella tapaa kuten mikrorakenteen tai kemiallisen koostumuksen perusteella, taulukko 1-1.

Taulukko 1-1. Terästen jaottelu kemiallisen koostumuksen mukaan

Kemiallinen koostumus	Teräsluokka
C, Mn	Seostamattomat teräkset
Cr, Mo, Ni, Cu, V, Nb (Cb) < 5 %	Niukkaseosteiset teräkset
Cr, Mo, Ni, Cu, V, Nb (Cb) > 5 %	Runsasseosteiset teräkset
Min 13% Cr	Ruostumattomat teräkset Ferriittiset & martensiittiset
Min 18% Cr + 4-6% Ni (lean duplex +N)	Ruostumattomat teräkset Austeniittis-ferriittiset (duplex)
Min 18% Cr + min 7% Ni (myös Mn seostus)	Ruostumattomat teräkset Austeniittiset
Enemmän muita metalleja (esim. Ni) kuin Fe	Nikkelivaltaiset tms. seokset

Putket valitaan lujuuslaskujen perusteella paineestiamääräysten ja standardien mukaan. Terästuotteille on olemassa lukuisia standardeita, standardit koskevat mm. teräksen ominaisuuksia, valmistusmenetelmiä, aineen koetusta, koostumusta ja nimikkeitä jne. Lisäksi standardit vaihtelevat alueellisesti: Yhdysvalloissa käytetään ASME (American Society of Mechanical Engineers)- standardeita, Euroopassa EN-standardeita, joihin Suomalaiset SFS-standardit on yhdenmukaistettu.

Vaikka standardit periaatteessa velvoittavat valmistajat käyttämään standardien mukaisia määriteltyjä nimikkeitä, käytetään usein kirjallisuudessaakin vakiintuneita vanhoja nimikkeitä. Esimerkiksi saksalainen DIN- standardi (lähinnä DIN 17175) on jäänyt elämään. Taulukoissa 2-2, 2-3, 2-4 on verrattu nykyisten ja vanhojen standardien mukaisia teräksiä, seostamattomien terästen kohdalla merkinnät ovat

muuttuneet oleellisesti, mutta seostettujen terästen merkinnät ovat hyvin lähellä toisiaan. ASME käyttää hyväksi ASTM:n (The American Society for Testing and Materials) merkintöjä, esimerkiksi ASTM A 213 = ASME SA213

Putkien koestusvaatimukset ja muut vaatimukset on esitetty edellä mainitussa standardissa. Vaadittava todistuslaji on yleensä standardin [EN 10204](#) mukainen.

1.2.1 Seostamattomat ja niukkaseosteiset teräsputket

Terästä sanotaan seostamattomaksi teräkseksi jos rautaan ei ole seostettu mitään lisäainetta parantamaan sen ominaisuuksia. Kuitenkin kaikki hiiliteräkset sisältävät jonkin verran mangaania, piitä ym. Seostamattomat teräkset ovat erittäin hyvin muokattavia ja niillä on yleensä hyvä sitkeys ja lujuus. Toisaalta niiden virumiskestävyys on heikko ja käyttö rajoittuu alle 450 °C lämpötiloihin.

Kuumalujuutta ja hapettumisenkestävyyttä parannetaan lisäämällä teräkseen erilaisia seosaineita. Tavallisimmat seosaineet ovat molybdeeni (Mo), kromi (Cr), vanadiini (V) ja niobi (Nb), joista tehokkain seosaine kuumalujuuden suhteen on molybdeeni. Standardit määrittelevät seosainepitoisuuksille ylärajat, joiden ylittäminen merkitsee teräksen nimikkeen muuttumista seosteiseksi teräkseksi. Niukkaseosteisiin teräsiin luetaan teräkset joissa seosaineita on yhteensä vähemmän kuin 5 prosenttia, taulukko 1-2.

Taulukko 1-2. Yleisesti käytetyt EN 10216 mukaiset putkiteräkset

EN Nimike	EN numero	Vanha DIN 17175	ASME	Tyyppi	Tyypillinen käyttöalue
P235GH	1.0345	St 35.8	SA-192	Hiiliteräs	< 400 °C
P265GH	1.0425	St 45.8	SA-210-A1	Hiiliteräs	< 400 °C
16 Mo 3	1.5415	15 Mo 3	SA-209 T1	≤ 0.3 % Mo	< 470 °C
13 CrMo 4-5	1.7335	13 CrMo 4 4	SA-213 T12	1% Cr - 0.5% Mo	< 500 °C
10 CrMo 9-10	1.7380	10CrMo 9 10	SA-213 T22	2.25% Cr - 1%Mo	< 540 °C
7 CrWVMoNb 9-6	1.8201		SA-213 T23	2.25% Cr -MoWV	
7 CrMoVTiB 10-10	1.7378		SA-213 T24	2.25% Cr -1%MoVTiB	

Taulukko 1-3. Yleisesti käytetyt EN 10028 mukaiset levyteräkset

EN Nimike	EN numero	DIN 17175	ASME	Tyyppi	Tyypillinen käyttöalue
P235GH	1.0345	H I	-	Hiiliteräs	< 450 °C
P265GH	1.0425	H II	-	Hiiliteräs	< 450 °C

1.2.2 Runsasseosteiset teräsputket

Runsasseosteisiin teräsiin päästään kun mm. kromin seostusta lisätään, esimerkiksi “X20”-teräs (X20CrMoV111), joka on melko runsashiilinen (0,2 %) ja sisältää kromia 12 %. Yleisesti käytössä olevia runsasseosteisiä putkimateriaaleja on lueteltu taulukossa 1-4.

Taulukko 1-4. Yleisesti käytetyt EN 10216 mukaiset runsasseosteiset putket

EN Nimike	EN tunnus	DIN 17175	ASME	Tyyppi	Tyypillinen käyttöalue
X10CrMoVNb9-1	1.4903	X10CrMoVNb91	SA-213 T91	9% Cr - 1%Mo mod.	
X20CrMoV11-1	1.4922	X20CrMoV12 1	-	12% Cr - 1%MoNiV	

1.2.3 Ruostumattomat teräsputket

Kromin ansiosta teräksen pintaan muodostuu ympäristön sisältämän ilman hapen vaikutuksesta erittäin ohut tiivis “oksidikalvo”, joka suojelee terästä korroosiolta. Kalvon muodostumiseen ilmassa tarvitaan teräksessä vähintään noin 11 % kromia, joka on vähiten seostetun ruostumattoman teräksen kromipitoisuus. Kromin lisäksi teräsiin seostetaan yleensä tarpeen mukaan monia muitakin seosaineita, esim. nikkeliä tarvitaan vähintään noin 8 % ja kromia 18%, kun halutaan saada aikaan yleisin ruostumaton teräs, austeniittinen teräs.

Kemiallisen koostumuksen (lähinnä kromi, nikkeli, molybdeeni, mangaani, pii ja tyyppi) ja lämpökäsittelytilan mukaan saadaan teräsiin erilaisia mikrorakenteita, joilla on erilaisia ominaisuuksia. Mikrorakenteensa perusteella ruostumattomat teräkset jaetaan: ferriittisiin, austeniittisiin, austeniittis-ferriittisiin (duplex) ja martensiittisiin teräsiin. Seosainepitoisuuksia muuttamalla kyetään vaikuttamaan teräksen korroosionkestävyyteen, hitsattavuuteen ja mekaanisiin ominaisuuksiin, taulukko 1-5.

Taulukko 1-5. Seosaineiden vaikutus teräksen ominaisuuksiin

Seosaine:	Vaikutus:
Kromi (Cr)	+ Parantaa sekä korroosion että jännityskorroosion kestävyyttä + Parantaa sulfidoitumiskestävyyttä estämällä rikin diffuusiota + Korkea Cr-pitoisuus pienentää lämpölaajenemiskerrointa - Korkea Cr-pitoisuus laskee lämmönjohtavuutta - Huonontaa sitkeyttä
Nikkeli (Ni)	+ Parantaa jännityskorroosionkestävyyttä korkeilla pitoisuuksilla (Ni > 30 %) + Korkea Ni-pitoisuus pienentää lämpölaajenemiskerrointa + Parantaa kestävyyttä kloorikorroosiota vastaan + Parantaa sitkeyttä - Puhtaalla nikkelillä on alkalisissa sulfidiympäristöissä huono jännityskorroosionkestävyys - Heikentää sulfidoitumiskestävyyttä - Korkea Ni-pitoisuus laskee lämmönjohtavuutta
Molybdeeni	+ Parantaa jännityskorroosionkestävyyttä väkevissä lipeäliuoksissa korkeilla



(Mo)	kloridipitoisuuksilla + Parantaa sulfidoitumiskestävyyttä + Nostaa lujuutta korkeissa lämpötiloissa - Heikentää jännityskorroosionkestävyyttä väkevissä lipeäliuoksissa matalilla kloridipitoisuuksilla.
Mangaani (Mn)	+ Parantaa kestävyyttä muodostamalla pysyviä rikkiyhdisteitä ja estää rikin ja nikkelin sekä kromin välisiä reaktioita
Titaani (Ti)	+ Parantaa korroosionkestävyyttä + vähentää raerajakorroosion (herkistymisen) riskiä hitsauksen jälkeen
Niobi (Nb)	+ Parantaa korroosionkestävyyttä + Parantaa sulfidoitumiskestävyyttä + Vähentää raerajakorroosion (herkistymisen) riskiä hitsauksen jälkeen
Typpi (N)	+ Parantaa pistekorroosionkestävyyttä + Parantaa lujuutta
Rauta (Fe)	+ Korkea Fe-pitoisuus lisää lämmönjohtavuutta - Heikentää korroosionkestävyyttä - Heikentää sulfidoitumiskestävyyttä.

Ruostumattomista teräksistä austeniittiset teräkset ovat ehdottomasti yleisimmin käytettyjä. Austeniittisiä teräksiä käytetään vaikeissa korroosio-olosuhteissatulistinputkena. Austeniittiset teräkset ovat kromi- nikkeli-teräksiä, joiden kromipitoisuus vaihtelee välillä 17–26 % ja nikkelipitoisuus välillä 7-22 %, pitoisuuksien summan ollessa vähintään 23 %. Hiiltä austeniittisissä teräksissä on hyvin vähän, yleensä alle 0,05 %. Austeniittisten terästen korroosionkestävyys, sitkeys, kylmämuovattavuus ja hitsattavuus ovat hyviä. Lujuus on melko vaatimaton lukuun ottamatta runsaasti seostettuja erikoisteräksiä. Niillä on kuitenkin erittäin hyvät kuumalujuusominaisuudet, mistä syystä niitä käytetään paljon virumiskestävinä teräksinä korkeissa lämpötiloissa. Austeniittista terästä ei voida karkaista lujuuden nostamiseksi, mutta sen lujuutta voidaan nostaa mm. typpiseostuksella. Mikäli käytetään austeniittista materiaalia, on muistettava sen jännityskorroosioalttius.

Ferriittisten terästen pääseosaine on kromi. Toisena seosaineena voidaan käyttää muutamia prosentteja molybdeeniä. Hiilipitoisuus on alle 0,08 %. Lisäksi niissä voi olla hyvin pieniä määriä erilaisia stabilointiaineita, mm. titaania ja alumiinia. Ferriittisten terästen perustyyppit ovat 12% Cr- ja 17% Cr-teräkset. Ferriittisten terästen sitkeysominaisuudet eivät ole verrattavissa austeniittisten terästen erinomaiseen sitkeyteen ja ne kärsivät myös monista haurausilmiöistä. Samoin korroosionkestävyys monissa olosuhteissa on huonompi. Ferriittisten terästen hyvä ominaisuus on kuitenkin hyvä jännityskorroosionkestävyys, joka on puolestaan austeniittisten vakioterästen heikko kohta. Lujuudet ovat yleensä jonkin verran suurempia kuin austeniittisillä teräksillä. Niiden etuna on myös edullinen hinta.



Austeniittis-ferriittiset teräkset eli duplex-teräkset ovat CrNi- ja CrNiMo-teräksiä. Näiden pääseosaineiden pitoisuudet on tasapainotettu siten, että teräkseen saadaan kaksifaasinen mikrorakenne, jossa on austeniittia ja ferriittia suurin piirtein suhteessa 50:50. Duplex-terästen hyvät ominaisuudet ovat suuri lujuus ja hyvä korroosionkestävyys (erityisesti jännityskorroosionkestävyys ja pistekorroosionkestävyys) sekä vielä hyvä hitsattavuus. Terästen sallittu käyttölämpötila-alue on noin -50...+280 °C. Martensiittiset teräkset ovat pääkoostumukseltaan kromiteräksiä, minkä lisäksi joissakin laaduissa on muutamia prosentteja nikkeliä. Päätyypiltään ne ovat 13% Cr- ja 17% Cr -teräksiä, joiden hiilipitoisuus on välillä 0,10 – 1 %. Martensiittiset teräkset ovat ainoita karkaistavia ruostumattomia teräksiä, minkä ansiosta niiden lujuutta voidaan nostaa karkaisulla. Terästen lujuus on korkea ja kulumiskestävyys hyvä. Korroosionkestävyys on huonompi kuin muilla ruostumattomilla terästyypeillä. Sitkeysominaisuudet ovat myös melko huonot. Hitsattavuus on yleensä huono (haurastuu hitsattaessa), minkä takia hitsaus vaatii yleensä aina erilaisia erityis- toimenpiteitä onnistuakseen, mm. esikuumennus ja jälkilämpökäsittely.

Yleisesti käytössä olevia ruostumattomia putkimateriaaleja on lueteltu taulukossa 1-6.

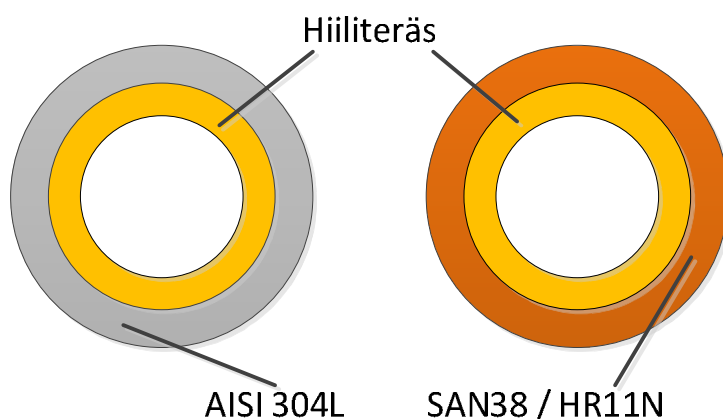
Taulukko 1-6. Yleisesti käytetyt EN 10088 ja EN 10216 mukaiset ruostumattomat putket

EN Nimike	EN Tunnus	DIN 17175	ASME	Tyyppi	Tyypillinen käyttöalue
X2CrNi19-11	1.4306	X5CrNi189	304L	19%Cr - 11%Ni	
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	X2CrNiMo18 14 3	316L	18%Cr - 3%Mo14%Ni	
X6CrNiNb18-10	1.4550	X6CrNiNb 18 10	347	18%Cr- 10%NiNb	
X8CrNi 25-21	1.4845	X12CrNi 25 20	310S	25%Cr- 21%Ni	
X6NiCrNbCe32-27	1.4877	-	A213	31%Ni - 27%Cr (AC-66)	
X6Cr13	1.4000	-	410S	13%Cr - 0.08%C	
X6Cr17	1.4016	-	430	17%Cr - 0.08%C	
X2CrMoTi18-2	1.4521	-	444	18%Cr - 2%MoTi	
X12Cr13	1.4006	-	410	13%Cr - 0.1%C	
X20Cr13	1.4021	-	420	13%Cr - 0.2%C	
X2CrNiN23-4	1.4362	-	S2304	23%Cr - 4%NiN	< 300 °C
X2CrNiN22-2	1.4062	-	S2202	22%Cr - 0.5%Mo2Ni	< 250 °C
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	-	S2205	22%Cr - 3%Mo5%NiN	< 280 °C
X2CrNiMoN25-7-4	1.4410	-	S2750	25%Cr - 4%Mo7%NiN	< 300 °C
X2CrNiN22-2	1.4062	-	S2202	22%Cr - 2%NiN	< 250 °C

Siinä vaiheessa kun muita metalleja, kuten nikkeliä on enemmän kuin rautaa, ei puhutakaan enää teräksistä. .

1.2.4 Compound-putket

Kompound-putki on yhdistelmä kahdesta materiaalista, jossa putken painetta kantava sisäkerros on seostamaton tai niukkaseosteinen terästä ja ulommainen korroosiota kestävä kerros ruostumatonta terästä tai nikkelseosta. Soodakattiloissa käytetään AISI 304L tai Sanicro38/Alloy 825/HR11N -tyyppisellä pinnoitteella valmistettua compound-putkea, putken rakenne on esitetty kuvassa 1-1. Compound-rakenne voidaan valmistaa sekä pursottamalla että päälle hitsaamalla.



Kuva 1-1. Tyypillinen compound-putken rakenne

Tulistinmateriaalina voidaan käyttää compoundputkea, jolloin pintakerros voi olla esim. AISI 310 -tyyppinen. Tulistinolosuhteissa sisemmän komponentin tulee tietysti olla lujuutensa puolesta ko. lämpötilaan ja paineeseen sopivaa terästä. Eri pintamateriaalien koostumuksia on esitetty taulukossa 1-7.

Taulukko 1-7. Compound-putkien pintamateriaaleja

Materiaali	Cr %	Ni %	Mo %	Fe %	Mn %	Muut %
AISI 304L	17 – 19	9 - 12	-	bal.	1.3	-
AISI 310	24 – 26	19 - 22	-	bal.	1.77	-
Alloy 825 (Sanicro38)	19 - 23.5	38 - 46	2.5 - 3.5	bal.	0.8	Cu: 1.7, Ti: 0.8
HR11N	27 – 31	38 - 46	0.5 – 1.5	bal.	≤ 2.0	N
Sanicro 28	27	31	3.5	bal.	≤ 2.0	1.0 Cu
Sanicro 63	21	bal.	8.5	3.0	0.5	Nb: 3.5
Sanicro 67	30	60	-	bal.	≤ 0.5	Co: <0.05
Super 625	20 – 23	bal.	-	≤ 5.0	≤ 0.5	W: 3.15 – 4.15, Al: 0.4, Co: ≤ 1.0

Kompound-putket valitaan kuhunkin sovellutukseen lujuuslaskujen ja korroosio-näkökohtien perusteella. Lujuuslaskuissa painetta kantavaksi seinämäksi otetaan ainoastaan “musta” osuus. Compound-putkien koestus- ja muut vaatimukset on esitetty sisäosan osalta standardissa EN 10216-2, lisäksi on noudatettava kattilastandardia EN 12952-2 Annex C vaatimuksia sekä valmistajan spesifikaatiota. Compound-putkien käsittelyssä tulee huolehtia siitä, että pintakerrosta ei vahingoiteta ja että voimakas kontakti hiiliterästyökaluihin estetään.

1.3 Materiaalit käyttökohteen mukaan

Soodakattilan käyttöolosuhteet ovat rakennemateriaalien kannalta erittäin vaativat. Lämpötilat ovat korkeat, poltettavassa mustalipeässä on sekä klorideja että rikkiyhdisteitä ja tietyt aineet (Cl, K, S) rikastuvat käytön aikana putkien pintaan, vaikuttavia aineita on kattilassa niin kiinteässä, sulassa kuin kaasumaisessakin muodossa ja korkeita paikallisia jännityksiä esiintyy kattilan eri osissa putkirakenteesta ja paikallisista lämpötilan nousuista johtuen.

Soodakattilan lämpöpintojen materiaalivalinta onkin tasapainottelua käyttö-ominaisuuksien ja kustannusten välillä. Korkea tuorehöyryn lämpötila ja paine mahdollistavat rakennusasteen nostamisen, mutta vaativat samalla kestävämpiä materiaaleja. Soodakattilassa vallitsee useita lämpötilatasoja ja lämmönsiirtopinnoilla vauriomekanismit vaihtelevat, joten materiaalivalinnassa kullekin kattilan osalle on



huomioitava kohteen olosuhteet ja vauriomekanismien riskit. Muita valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat mm. materiaalin kemiallinen koostumus, materiaalin lujuusominaisuudet, valmistettavuus, valmistusmenetelmien (kylmämuokkauksen, hitsauksen tai herkistymisen) vaikutukset korroosionkestävyyteen ja hinta. Koska soodakattilassa vallitsevat korrodoivat olosuhteet, valitaan usein suuri seinämänpaksuus niin, että saadaan suuri syöpymisvara.

Kompound-pohjaputkien yleisin vauriomekanismi on säröily. Compound-putkien säröilyä esiintyy soodakattilan alaosassa tyypillisesti kolmessa eri paikassa: pohjanputkissa sekä ilma- ja sula-aukoissa. Säröilyn syynä on pidetty sekä termistä väsymistä että jännityskorroosiota. Väsyttävää kuormitusta aiheuttavat lämpötilan vaihtelut käytön aikana ja jännityskorroosiolle välttämätön ympäristö voi olla pesunaikainen vesiliuos ja kostea suola

Käytönaikainen sulfidikorroosio on toinen tärkeä soodakattilan tulipesän korroosiomekanismi, sillä pelkistävässä olosuhteissa metallin ja rikkivedyn reagoidessa syntyvä sulfidikerros heikentää metallia suojaavia oksidikerroksia.

Tulistinalueella korroosio-olosuhteet ovat vaikeat. Syynä tähän on mustalipeän polton seurauksena syntyvät alkalikloridit- ja rikkiyhdisteet, jotka tulistinpinnoille kertyessään aiheuttavat tulistinputkien syöpymistä. Korroosion lisäksi kerrostumat aiheuttavat kattilan tukkeutumista, joka puolestaan johtaa kasvaneeseen nuohoustarpeeseen. Korroosioon vaikuttavat ennen kaikkea tulistinputkien pintaan syntyvien kerrostumien sulamisalue sekä materiaalin lämpötila. Kloridit ja kalium ovat oleellisia aineita erityisesti kerrostumissa (ja lipeässä), sillä kalium laskee voimakkaasti kerrostuman sulamislämpötilaa ja kloori aiheuttaa nopean korroosion. Rikkivety (H_2S) ja polysulfidit aiheuttavat sulfidikorroosiota.

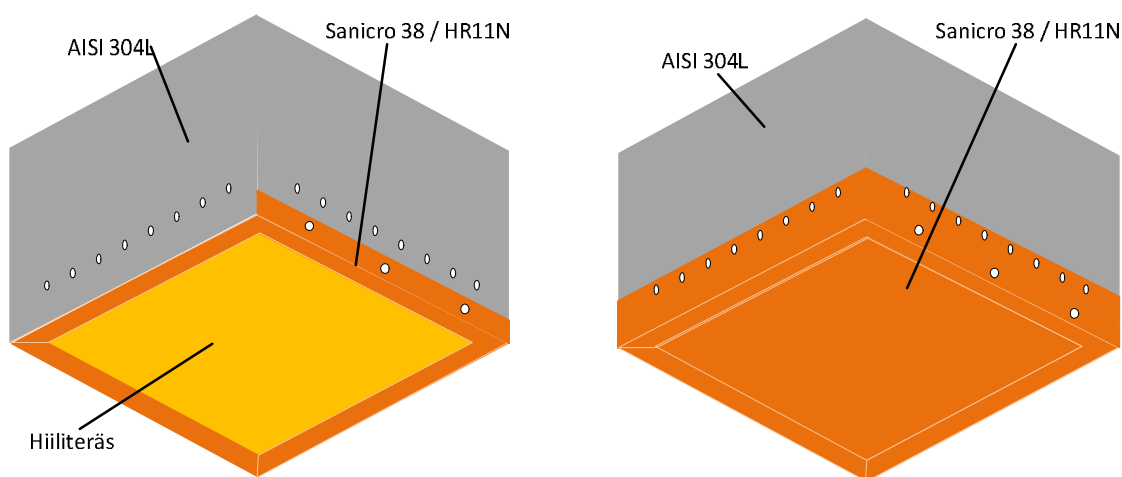
Edellä mainituissa olosuhteissa on kiinnitettävä erityistä huomiota materiaalin valintaan ja siihen, että materiaalin lämpötila pidetään mahdollisimman alhaisena.

Vesikiertojen sulkeminen aiheuttaa edellä mainittua haitallisten aineiden rikastumista mm. mustalipeään, mikä tulee ottaa huomioon materiaaleja valittaessa.

Seostamattomien ja matalaseosteisten terästen korroosiosuojana voidaan käyttää myös erilaisia pinnoitteita.

1.3.1 Pohja

Nykyisin soodakattilan tulipesän pohjan compound materiaalina käytetään tavallista ruostumatonta terästä (AISI 304L) tai paremmin korroosiota kestävästä nikkeliseosta kuten Sanicro38/ HR11N. Compound-putkien sijasta yleensä käytetään hiiliterästä, jota käytetään pohjan keskiosissa. Compound-putkimateriaalit voidaan valmistaa joko perinteisesti pursottamalla ja valssaamalla tai pinnoitushitsaamalla. Esimerkki tulipesän alaosan materiaalivaihtoehtoista on esitetty kuvassa 1-2.



Kuva 1-2. Esimerkki tulipesän alaosan putkimateriaaleista

Japanissa soodakattilan tulipesän materiaalina käytetään ferriittistä ruostumatonta hitsauspinnoitetta 18% Cr tai 25% Cr. Ferriittisten ruostumattomien terästen ongelmana pidetään materiaalin taipumusta haurausilmiöihin. Soodakattilan käytön kannalta suurin pelko kohdistuu 475 °C-haurauteen ja sigma-haurauteen. Tällöin teräksen kromi rikastuu paikallisesti sigma-faasiksi, joka kohottaa voimakkaasti materiaalin lujuutta ja alentaa sitkeyttä. Stabiloivien seosaineiden (Nb, Ti, Al) käytön avulla on ollut mahdollista pienentää ferriittisten ruostumattomien terästen raekokoa merkittävästi ja eliminoida haurastumistaipumus.

Termisen väsymisen kannalta paras compound-materiaali on sellainen, jonka lämpölaajenemiskerroin on mahdollisimman lähellä hiiliterästä. Myös jännityskorroosioriski pienenee lämpölaajenemiskertoimien erojen pienentyessä. Lisäksi materiaalin lämmönsiirtokerroin tulee olla suuri, jotta lämpö johtuu pinnasta hiiliteräkseen ja sitä kautta kiertoveteen, eikä materiaaliin synny sisäisiä lämpötilagradientteja.

1.3.2 Seinät



Nykyisin soodakattiloiden tulipesän alaosan seinät ylimpään ilmatasoon asti ovat rakennettu joko compound-materiaalista (304L, Sanicro 38/HR11) tai päällehitsatusta materiaalista. Yläosissa käytetään seostamatonta hiiliterästä esim. P235GH, P265GH tai niukkaseosteisia teräksiä esim 16Mo3.

Hiiliteräksen ja compound-putken rajalla pohjalla ja seinällä on galvaanisen korroosion riski. Lisäksi yläosassa olosuhteet vaihtelevat pelkistävän ja hapettavan välillä.

1.3.3 Kammiot, aukot, läpiviennit, kourut, massaukset

Kammiot valitaan kuten putket. Voimakkaalle korroosiolle alttiissa osissa, kuten erilaisissa läpivienneissä tms. heikommin jäähdytetyissä osissa, tulee kiinnittää erityistä huomiota niiden korroosion-kestävyyteen, jäähdytykseen ja suojaukseen. Monesti korroosionopeutta ei voida kovinkaan paljon pienentää millään toimenpiteillä, jolloin osa joudutaan vaihtamaan tai korjaamaan huoltoseisokeissa määrä ajoin.

Primääri-ilma-aukkojen ohitusputkissa käytetään yleensä compoundia (304L, Sanicro 38/HR11N) tai päällehitsattua materiaalia. Joskus compoundista valmistetuissa ohitusputkissa on havaittu säröilyä. Säröily on lähes yksinomaan ollut termistä väsymistä, jotkut säröt ovat olleet tyypiltään jännityskorroosion aikaansaamia. Materiaalivalinnan lisäksi säröilyyn voidaan vaikuttaa lipeän ruiskutuksella sekä ilmasuihkun hallinnalla.

Primääri-ilmasuuttimina käytetään nykyään valusuuttimia, standardimateriaalina on GRP 400 (pallografiittirauta), jolla on hyvä sitkeys verrattuna suomugrafiittiin ja hyvä lämmönjohtavuus verrattuna seostettuihin materiaaleihin. Tarkka sovitusta ja tiivistys massalla ovat huomioitavia asioita suuttimien asennettaessa. Uusiminen on helppoa, ei tarvita hitsausta eikä hiontaa. Myös korkeaseosteisia materiaaleja voidaan käyttää mutta hinta on moninkertainen.

Hitsattujen levysuuttimien on todettu syöpyvän korkeiden lämpöpiikkien aikana.

1.3.4 Verho



1.3.5 Verhoputkia käytetään ensimmäisenä lämpöpintana tulipesän jälkeen suojamaan tulistimia säteilylämmöltä sekä vähentämään carryoverin määrää. Verhoputket valmistetaan yleensä hiiliteräksestä koska lämpötila on lähellä seinäputkien lämpötilaa. Korroosio on vähäistä johtuen materiaalin lämpötilasta. Tulistin

Tulistimien materiaalinvalinnassa joudutaan tasapainoilemaan yhtäältä materiaalien korroosionkestävyyden ja toisaalta niiden hinnan välillä. Perinteisesti tulistimien korroosio-ongelmat minimoidaan pitämällä tulistimien materiaalilämpötilat alle lämpötilan T_0 , jossa ensimmäiset sulapisarot syntyvät kerrostumiin. Kerrostumien ominaisuudet ja niiden korroosiovaikutus voidaan laskea kun tiedetään lipeäanalyyysin lisäksi mitä lipeälle tapahtuu tulipesässä ja millaista lentotuhkaa syntyy.

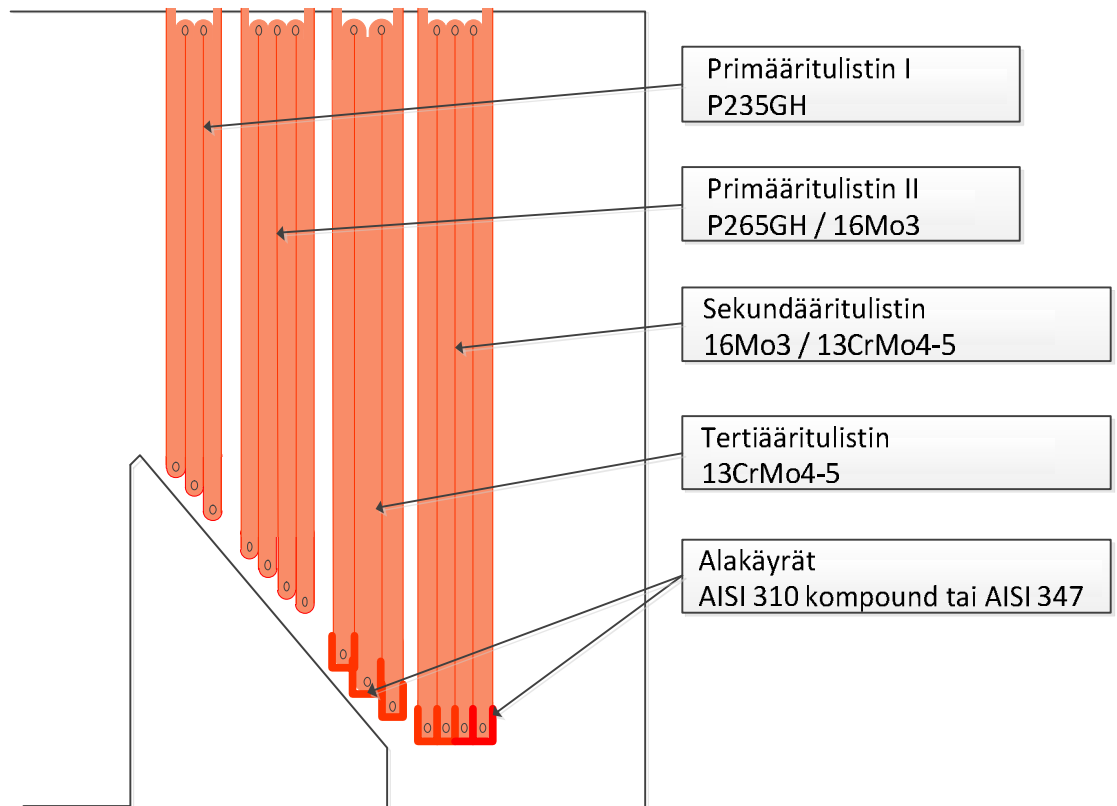
Pyrittäessä korkeampiin höyrynlämpötiloihin ja paineisiin täytyy käyttää paremmin korroosiota kestäviä materiaaleja sekä parantaa kloori- ja kaliumpitoisuuksien hallintaa. Korroosionopeus ei aina ole suoraan kääntäen verrannollinen käytettyyn rahamäärään. Parhaimmat tulistinmateriaalit voivat olla yli kymmenen kertaa kalliimpia kuin perinteiset materiaalit, mutta korroosionkesto saattaa joissakin tapauksissa olla vain 2-3 kertainen.

Tulistinkorroosiota voidaan tehokkaasti vähentää myös tulistimien sijoituksella. Yleensä säteilyn alla tulistimien korroosio on voimakkaampaa kuin konvektiopuolella. Tämä johtuu käytännössä siitä, että säteilypuolella materiaalilämpötilat ovat noin 15-20 °C korkeampia kuin konvektiopuolella. Sijoittamalla tulistimet joko nokan taakse tai käyttämällä tulistimien edessä verhoputkia, voidaan korroosiota vähentää oleellisesti. Verhoputket vähentävät myös merkittävästi tulistimille tulevaa carryoverin määrää pienentäen samalla tulistimien korroosioriskiä.

Tulistimissa käytetään yleensä useita eri terässeoksia jolloin tulistimien korroosiokestävyys ja hinta voidaan optimoida. Materiaaleina käytetään kuumalujia seostamattomia/niukkaseosteisia teräksiä tai ruostumattomia teräksiä monoputkena, compoundputkena tai päällehitsattuna. Eniten korroosiolle alttiita alueita ovat tulistimien kuumimmat osat sekä tulistimien putkikäyrien alaosat, jotka ovat tulipesän suoran säteilylämmön kohteena.

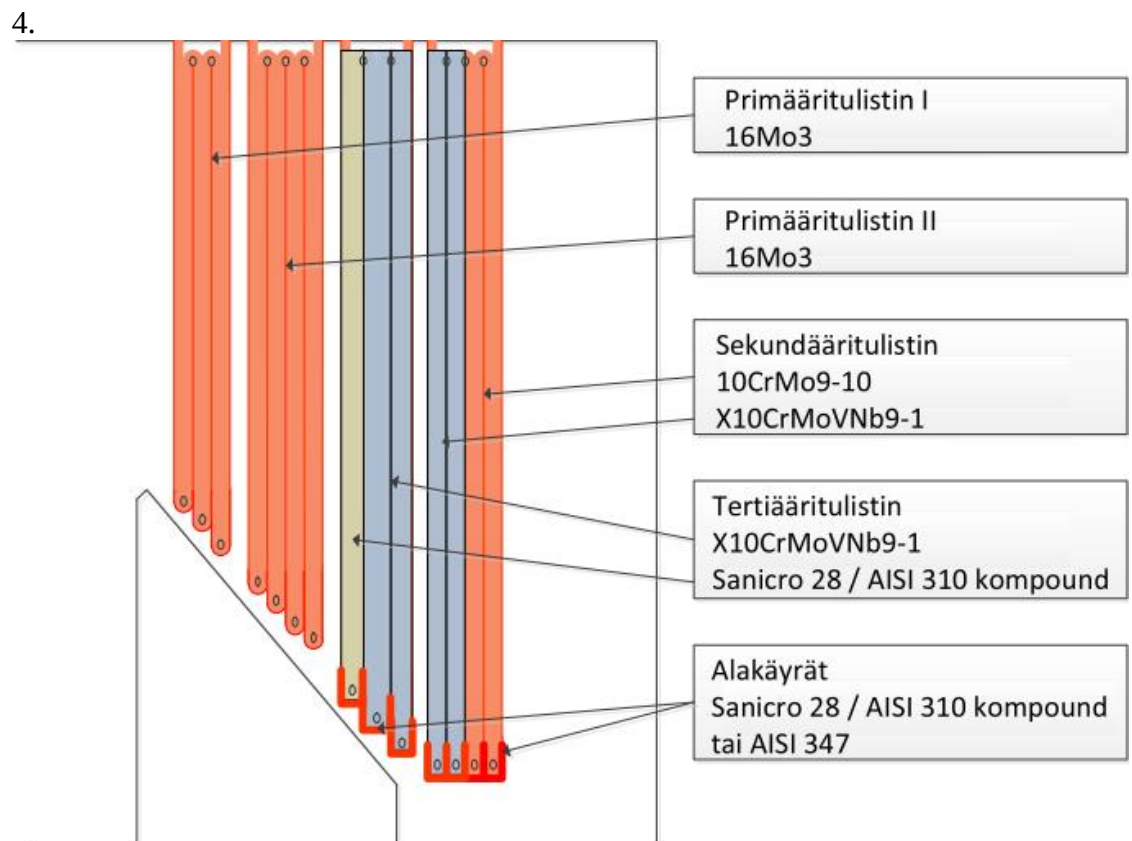
Perinteisesti soodakattiloiden primääritulistimissa on käytetty hiiliterästä (esim. P235GH, P265GH). Sekundääri- ja tertiääritulistimet on valmistettu Cr-Mo teräksistä (esim. 16Mo3, 13CrMo4-5, 10CrMo9-10). Tulistinputkien alakäyrissä on käytetty

materiaalina austeniittista ruostumatonta terästä esim. AISI 347 tai kompondia esim. AISI 310. Esimerkki perinteisistä tulistinmateriaaleista on esitetty kuvassa 1-3.



Kuva 1-3. Esimerkki perinteisistä tulistinmateriaaleista

Paremmen lujuuden ja/tai suuremman korroosiovaran vuoksi hiiliteräspuutket voidaan korvata primääritulistimissa esim. 16Mo3-materiaalilla. Sekundääritulistimen kuumimmissa osissa niukkaseosteisten teräksien sijaan käytetään runsasseosteisia teräksiä esim. X10CrMoVNb9-1 ja tertiääritulistimissa kompond-materiaalia, jossa on pinnoitteena esim. AISI 310 tai Sanicro 28. Alakäyrissä käytetään esimerkiksi austeniittista AISI 347 umpiputkea tai AISI 310 sekä Sanicro 28 kompondia. Esimerkki paremmen lujuuden ja/tai suuremman korroosiovaran tulistinmateriaaleista on esitetty kuvassa 1-



Kuva 1-4. Esimerkki paremman lujuuden / suuremman korroosiovaran tulistinmateriaaleista

Kompound-materiaalien käyttöä puoltaa se, että sisämateriaalina voidaan käyttää kuumalujia teräksiä (esim. 10CrMo910), joiden höyrypuolen käyttäytyminen on tunnettua. Lisäksi compoundissa ulkopuolinen särö pysähtyy yleensä rajapintaan. Compound-materiaalin sisämateriaali valitaan maksimikäyttölämpötilan ja virumiskestävyyden perusteella. Pinnoite valitaan korroosionkeston perusteella. Pinnoitteen valinnassa ei viruminen näyttele merkittävää osaa.

Putkien lisäksi tulee kiinnittää huomiota tulistinsiteiden konstruktion ja materiaaliin. Siteiden kesto ja materiaalin valinta riippuu suuresti putkien välisestä etäisyydestä ja sidekonstruktiosta eli putken kyvystä jäähdyttää sidettä sekä kerrostuvan suolan koostumuksesta. Jos eri tulistimissa putkien välinen etäisyys on sama, voidaan käyttää samaa tulistinsidettä. Mitä alhaisemmassa lämpötilassa sulavia kerrostumia syntyy, sitä vaikeammat ovat korroosio-olosuhteet ja sitä paremmin on huolehdittava siteiden jäähdytyksestä ja sitä suurempi huomio on kiinnitettävä materiaalin valintaan.

1.3.6 Ekonomaiseri



Ekonomaisierissä lämmitetään höyrystimeen menevää vettä alle kylläisen lämpötilan(noin 250–300 °C), jolloin ekonomaiserin putkimateriaalin pintalämpötila pysyy melko alhaisena. Ekonomaiseri sijoitetaan kattilassa tulistimien jälkeen takavetoon, jossa savukaasujen lämpötila on noin 400-450- °C. Verrattain alhaisista lämpötiloista ja veden hyvästä jäähdytysvaikutuksesta johtuen ekonomaiserin materiaalina käytetään yleensä tavallista hiiliterästä.

1.3.7 Lieriö

Lieriön kohdalla menetellään kuten edellä eli lujuuslaskujen ja paineastiamääräysten perusteella valitaan sopiva materiaali. Lieriömateriaalille vaaditaan standardin vaatimien koestusten lisäksi kerrostumatarkastus. Lieriömateriaalia valittaessa on syytä punnita eri vaihtoehtojen lujuuksia ja säröilyalttiutta (ks. raportti VTT-MET C-206).

1.4 Hitsaus

Valmistajalla tulee olla laatujärjestelmä (esim. ISO 9001:n mukainen), jossa kuvataan menettelyt hitsausmenetelmien ja hitsaajien pätevämiseksi, hitsauslisäaineiden tilaaminen ja käsittely, lisäaineiden jakelu tuotantoon ja palautus varastoon sekä hitsin tarkastuksesta ja dokumentoinnista. Painetta kantavien ja niihin liitettävien osien hitsaukseen tulee olla käytettävissä pätevoidyt hitsausohjeet ja hitsaajat. Konepajalla sekä paikan päällä tehdyn hitsauksen dokumentointi on tärkeää jäljitettävyyden takia. Lisäaineiden käsittelyn tulee tapahtua em. järjestelmän mukaan. Lisäaineiden tulee olla viranomaisen hyväksymiä.

Lämpökäsittelyuunien tulee olla kalibroituja samoin kuin mahdolliseen esilämmitykseen käytettävien laitteiden. Tämä koskee myös hitsauskoneita.

Itse hitsaustyö tulee suorittaa tarkoin kyseisen hitsausohjeen mukaan. On erittäin tärkeää, että seuraavat asiat tehdään oikein:

- teräslaadun valinta käyttöolosuhteisiin (löytyy hitsauspiirustuksesta)
- lisäaineen valinta perusaineelle ja käyttöolosuhteisiin (löytyy hitsauspiirustuksesta)
- lisäaineiden varastointi ja käsittely
- hitsattavan alueen puhtaus (erityisesti runsaasti seostetuilla)
- railosovitus
- esilämmitys
- hitsaus-parametrit
- hitsausohjeet



- juurensuojaus
- hitsauksen jälkeiset käsittelyt

Esimerkkinä vaativasta hitsauksesta voidaan käyttää runsasseosteisen “X10”-teräksen (X10CrMoVNb9-1) hitsausta välijäähdytyksineen koska teräs on erittäin karkeneva ja hitsatussa tilassa hauras. Hitsaus edellyttää esikuumennuksen, välipalkolämpötilan eli palkojen välisen lämpötilan, välijäähdytyksen ja jälkihehkutuksen huolellista kontrollointia. Esikuumennus on yleensä vähintään noin 200 °C ja palkojen välinen enimmäislämpötila noin 300 °C. Hehkutusta ei saa tehdä kuitenkaan heti hitsauksen jälkeen, vaan hitsi on annettava jäähtyä lämpötilaan alle 100-150 °C eli reilusti alle Mf-lämpötilan, jotta metallurgiset mikrorakennemuutokset (jäännösausteniitin muodostuminen martensiitiksi) ehtivät tapahtua loppuun. Jos hehkutus tehdään suoraan hitsauksen jälkeen, muuttuu jäännösausteniitti martensiitiksi eli karkeneminen tapahtuu vasta hehkutuksen jälkeisen jäähtymisen aikana. Tällöin liitokseen jää päästämätöntä martensiittia, joka on melko haurasta ja halkeilualtista. Lisäaineen valinnassa on otettava huomioon rakenteen käyttöolosuhteet (korroosio-olosuhteet ja lämpötila) ja eheys (kuumahalkeiluerkkyys) sekä muut ominaisuudet, joita hitsiltä vaaditaan. Yleisohjeena on, että käytetään perusainetta koostumukseltaan vastaavaa lisäainetta. Käytännössä tällaisen lisäaineen seosainepitoisuudet ovat palohäviöiden ja suotautumisten kompensoimiseksi hiukan korkeampia kuin perusaineessa.

Hitsauksen ongelmakohtia voivat olla muun muassa:

- Materiaalien (esim. maalatut putket, hitsauslisäaineet) sekaantuminen keskenään
- Asennusolosuhteet:
 - lika ja ruoste hitsattavilla pinnoilla
 - kosteus hitsattavilla pinnoilla
 - kosteat hitsauspuikot
- Kokemattomat tekijät:
 - hitsauslisäaineen valinta
 - eripariliitosten hitsaus (erityisesti liitoksen lämpökäsittely ja lämpötilan seuranta)

Mikäli käytetään runsaasti seostettuja ferriittisiä teräksiä, ovat ne hitsauksen jälkeen (ennen lämpökäsittelyä) huoneenlämmössä hyvin hauraita, mikä on otettava huomioon niiden käsittelyssä.

Erityisesti ohutseinämäisten putkien evähitsauksessa on varottava läpipalamista, joka tehokkailla menetelmillä, kuten jauhekaarihitsauksella tapahtuu helposti



häiriötilanteessa. Käsien hitsattavilla eväosuuksilla tulee taata riittävä tunkeuma, mikä yleensä edellyttää viistettyä evää.

Hitsausstandardisarja EN 1011 (Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuositukset) antaa yleiset ohjeet tuotannolle sekä hitsausten valvonnalle. Se käsittelee eri osissaan myös mahdollisia haitallisia ilmiöitä, joita eri materiaalien hitsauksessa voi esiintyä, ja antaa ohjeita niiden välttämiseksi:

- [SFS-EN 1011-1: Yleisohjeet kaarihitsaukselle](#)
- [SFS-EN 1011-2: Osa 2: Ferriittisten terästen kaarihitsaus](#)
- [SFS-EN 1011-3: Osa 3: Ruostumattomien terästen kaarihitsaus](#)
- [SFS-EN 1011-4: Osa 4: Alumiinin ja alumiiniseosten kaarihitsaus](#)

Kuumalujien terästen hitsausta ja siihen liittyviä asioita käsitellään standardissa: [SFS-EN 12952-5 Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot Osa 5 Paineellisten osien valmistus](#). Putkistostandardi SFS-EN 13480:

- [SFS-EN 13480-1 Osa 1: Yleistä](#)
- [SFS-EN 13480-2 Osa 2: Materiaalit](#)
- [SFS-EN 13480-3 Osa 3: Suunnittelu ja laskenta](#)
- [SFS-EN 13480-4 Osa 4: Valmistus ja asennus](#)
- [SFS-EN 13480-5 Osa 5: Tarkastus ja testaus](#)
- [SFS-EN 13480-6 Osa 6: Maahan asennettavien putkistojen lisävaatimukset](#)
- [SFS-EN 13480-7 Part 7: Guidance on the use of conformity assessment procedures](#)
- [SFS-EN 13480-7 Osa 8: Alumiini ja alumiiniseosteisten putkistojen lisävaatimukset](#)

1.4.1 Erikoishitsaukset

Eripariliitos, jota kutsutaan joskus myös sekaliitokseksi, on "hitsausliitos, jossa liitettävien perusaineiden mekaanisissa ominaisuuksissa ja/tai kemiallisissa koostumuksissa on merkittäviä eroja"

1.4.1.1 Ferriittisten terästen ("Musta/musta") -liitos

"Musta/musta" -eripariliitoksen ollessa kyseessä hitsataan erilaisia ferriittisiä (ml. myös martensiittiset) teräksiä toisiinsa. Yleissuositukset ovat seuraavat:

- lisäaine valitaan vähemmän seostetun teräksen mukaan
- esikuumennus ja välipalkolämpötila valitaan seostetumman (so. karkenevamman) teräksen mukaan
- jos tarvitaan jälkihehkutus, lämpötilan täytyy sopia molemmille teräksille



1.4.1.2 Austeniittisen ja ferriittisen teräksen ("Musta/ruostumaton") liitos

Tällaisen ns. eripariliitoksen hitsauksessa on erityisesti huomioitava, että erilaisten terästen sekoittuessa toisiinsa syntyy helposti hauras rakenne. Tästä syystä on oltava erittäin huolellinen oikean lisäaineen ja hitsausmenettelyn valinnassa sekä itse hitsaustyössä. Seuraavia haitallisia ilmiöitä voi syntyä jos työ epäonnistuu:

- vetyhalkeilu
- kuumahalkeilu
- haurastuminen
- hiilen diffuusio
- terminen väsyminen

Koska eripariliitoksissa käytetyt lisäaineet ovat yleensä huomattavasti hitsattavia, on syytä tehdä tällaisista liitoksista mahdollisimman suuri osa konepajalla.

Kompound-putkien hitsauksessakin joudutaan tavallaan tekemään em. kaltainen eripariliitos, ja on luonnollista, että siihen on oltava omat erityisohjeet ja compound-materiaalilla pätevöitetyt hitsaajat.

Erityisesti on huomiotava, että pinnoitemateriaalia on kuorittava liitoksen läheltä niin, että se ei "mustaa" osuutta hitsattaessa pääse sekoittumaan hitsisulaan. Pintapalot hitsataan ns. yliseostetulla lisäaineella käyttämällä sellaisia hitsausmenetelmiä ja -parametrejä, että "mustan" hitsi- ja perusaineen sulaminen ja sekoittuminen pintakerrokseen on mahdollisimman vähäistä eikä luotettava liittyminen tämän vuoksi vaarannu. Yliseostetussa lisäaineessa on enemmän kromia ja nikkeliä, jotta sillä on varaa "laimentua" sekoittuessaan seostamattomaan teräkseen ja sekoittunut osuus pysyy austeniittisena. Hitsausta on käsitelty mm. Sandvikin raportissa "Welding of Sandvik Composite Tubes".

Evähitsauksessa on compoundia hitsattaessa varottava tunkeumaa putken hiiliteräsosaan, koska hiiliteräksen seostuminen evähitsiin vaikuttaa haitallisesti laatuun ja lujuuslaskut perustuvat ainoastaan hiiliteräsosan paksuuteen.

1.4.2 Päällehitsaus

Soveltamisala

Tämä ohje koskee vanhojen päällehitsien korjaushitsausta austeniittisella ruostumattomalla teräksellä, mutta menetelmää voidaan käyttää myös uusissa



kattiloissa. Ohje soveltuu myös kattiloiden paljaiden hiiliteräsputkien ja tapituksella tai metalliruiskutuksella varustettujen putkien suojaamiseen.

Ohjetta voidaan soveltaa Painelaitedirektiivin (PED) sekä kattilastandardin EN 12952 mukaisessa valmistuksessa/työssä.

1.4.2.1 Pinnan puhdistus

Kattilaolosuhteissa on jähmettynyt sula, kulunut tapitus tai vanha käytössä lohkeillut metalliruiskutus poistettava putken pinnasta huolellisesti.

Hitsattavan materiaalin pinnan tulee olla puhdas liasta, rasvasta, ruosteesta, valssihilseestä tai muusta vastaavasta epäpuhtaudesta.

Puhdistus voidaan tehdä hiomalla, teräsharjaamalla, liuottimella tai hiekka-/raepuhalluksella.

1.4.2.2 Päällehitsauksen vaatimukset

Hitsauksen pätevyitys

Hitsausohjeet (WPS) pätevoidetään standardien EN ISO 15614-1, EN ISO 15614-7 tai EN ISO 15613 mukaan.

Hitsaajat pätevoidetään standardin EN 287-1 / EN ISO 9606-1 (käsinhitsaus) mukaan ja hitsausoperaattorit standardin EN 1418 / **EN ISO 14732** (operaattorit, mekanisoitu hitsaus) mukaan.

Mikrorakenne

Tulipesän valmiin päällehitsauskerroksen tulee olla mikrorakenteeltaan ferriittis-austeniittinen, jolloin sopiva ferriitin määrä tulisi olla 5...15%. Tämä ferriittimäärä on edullinen hitsausteknisistä syistä, koska ferriitti pienentää hitsin kuumahalkeamistaipumusta.

Kemiallinen koostumus

Valmiin päällehitsauskerroksen nimellisanalyysin tulisi olla esimerkiksi:

Cr	16...19 %
Ni	8...11 %



Mo 0...2 %
C noin 0,06 %

Kromi- ja nikkelpitoisuudet voivat olla korkeammatkin edellyttäen, että mikrorakenteen koostumus säilyy kohdan 3.2 mukaisena.

Kerrospaksuus

Päällehitsauskerroksen paksuuden tulee olla riittävän ohut, jotta lämpösiirtyminen olisi hyvä ja seinämän kokonaisvahvuus ei kasvaisi liian suureksi.

Käytetty hitsausmenetelmä asettaa myös rajoituksia muodostuvan palon paksuudelle, ks. kohta 5.

1.4.2.3 Hitsausmenetelmät ja lisäaineet

Hitsausmenetelmät

Soveltuvat hitsausmenetelmät ovat puikkohitsaus (111), MAG umpilanka (135), MAG täytelanka (136,138) ja TIG hitsaus (141).

MAG umpilanka menetelmässä on suositeltavaa käyttää pulssitustekniikkaa.

Lisäaineet

Kohdassa 3.2 vaaditun analyysin saavuttaminen päällehitsauskerrokselle edellyttää yliseostetun lisäaineen käyttöä, jolla kompensoidaan perusaineen sekoittumisen ja seosaineiden palohäviöiden (hapettumisen) vaikutus. Suositeltavia lisäainetyyppejä ovat mieluiten niukkahiiliset seokset (C maks. $\leq 0,03$ %), AISI 309- tai 309-Mo vastaavat lisäaineet. Lisäaineen valinnassa voidaan hyödyntää esim. Schaefflerin kaaviota.

Koska kerrospaksuuden tulee olla mahdollisimman ohut, tulee käytännössä kysymykseen vain yksipalkohitsaus. Monipalkokerros on laadultaan parempi mutta kustannuksiltaan kallis. Huonontuneen lämmönsiirtymisen vuoksi voivat lämpötilaerot muodostua liian suuriksi suurten kerrospaksuuden yhteydessä, jolloin terminen väsyminen saattaa aiheuttaa putkivaurioita toistuvien ylös- ja alasajojen seurauksena.

Hitsausparametrit



Yliseostettuja lisäaineita käytettäessäkään ei voida olla varmoja päällehitsauskerrokselle vaadittavat nimellisanalyysin saavuttamisesta ellei ole varmistettu käytettävien hitsausparametrien (esim. lisäaineen paksuus, virta, puikon kuljetusnopeus, levitystapa, työlämpötila, langan syöttönopeus ym.) soveltuvuudesta ko. hitsausmenetelmälle ja lisäaineelle. Sopivien hitsausparametrien löytämiseksi suositellaan ennen työhön ryhtymistä työkokeen suorittamista, hitsaaja-, kone sekä menetelmäkohtaisesti.

Esikuumennus ja välipalkolämpötila (työlämpötila)

Esikuumennuksen käyttö päällehitsauksessa ei normaalisti ole tarpeen. Palkojen välistä lämpötilaa (työlämpötilaa) tulee rajoittaa soveltuvin osin, suositeltava enimmäis välipalkolämpötila on +150°C.

Työko

Ennen työn aloittamista suositellaan hitsattavan työkoekappale, samassa hitsausasennossa (pystyhitsi tai jalkohitsi) kuin mitä työssä tullaan käyttämään. Koehitsin tulee täyttää sille asetetut laatu-, koko- ja tunkeumavaatimukset. Koehitsin tutkimisessa tulee selvittää esim. seuraavat seikat:

- tunkeuman syvyys, kerrospaksuus ja palon muoto
- mikrorakennetarkastelu ja mahdolliset halkeamat
- ferriittipitoisuuden määrittäminen joko mikroskooppisesti tai ferriittimittarilla (esim. Permascope)
- hitsin ja muutosvyöhykkeen kovuusmittaus
- päällehitsauskerroksen analyysi

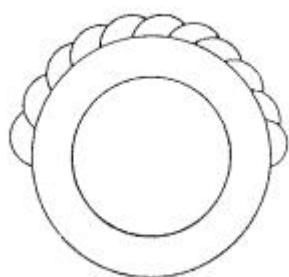
1.4.2.4 Hitsauksen suorittaminen

Päällehitsaus tulee suorittaa menetelmäkokeella / esituotannollisella kokeella (EN ISO 15614-1, EN ISO 15614-7 tai EN ISO 15613) pätevoitetyn hitsausohjeen (WPS) mukaisilla hitsausparametreilla. Erityisesti on huolehdittava, että menetelmäkokeella valittavaa työlämpötilaa (palkojen välinen lämpötila) ei ylitetä työskentelyn aikana, koska hitsin sekoittumisaste riippuu olennaisesti työlämpötilasta. Puikolla hitsattaessa on valokaari pidettävä lyhyenä ilmasta tulevan austeniittia kasvattavan typen määrän pienentämiseksi.

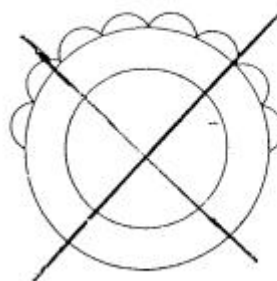
Työhön käytettävien hitsaajien tulee suorittaa ennen työn aloittamista hitsauskoe, jonka laatu arvostellaan visuaalisesti ja kerrospaksuusmittauksella.

Hitsille vaaditun analyysin saavuttamiseksi on lisäksi käytettävä sopivaa palon paksuutta, joka on yleisesti ϕ 3,25 mm ja ϕ 4 mm, puikolla hitsattaessa vähintään noin 3 mm ja kaasukaarihitsauksessa vähintään n. 2,5 mm.

Päällehitsaus tulee tehdä oheisen kuvan mukaan siten, että viereiset palot sulatetaan osittain limittäin, jolloin hitsin liiallinen, perusaineen sekoittumisesta johtuva laimeneminen saumakohtassa voidaan estää. Erityisesti tämä on huomioitava ensimmäisen palon hitsauksessa.



Oikea palkojen sijoittelu



Väärä palkojen sijoittelu

1.4.2.5 Päällehitsauksen jälkikäsittely

Päällehitsauskerroksen hiontaa ja jännityksenpoistohehkutusta ei suositella.

Jännityksenpoistohehkutus saattaa olla hitsauksen muodonmuutoksia ajatellen edullinen, mutta korroosiokestävyyteen sen vaikutus voi olla epäedullinen.

1.4.2.6 Päällehitsauksen tarkastus

Päällehitsauksen tarkastusmenetelmänä tulee kysymykseen lähinnä visuaalinen tarkastelu ja ferriitin mittaus ferriittimittarilla. Putken kokonaiseinämävahvuus voidaan mitata myös ultraäänimenetelmällä. Silmämääräistä tarkastusta voidaan täydentää tunkeumanestetarkastuksella säröjen ja huokoisuuden toteamiseksi.

Tarpeen vaatiessa voidaan työn laatu tarkistaa ainettarikkovilla menetelmillä pistokokein (esim. näyte otetaan päällehitsatun putken päästä).



1.4.2.7 Hitsausvirheiden korjaus

Päällehitsauksessa syntyneet virheet avataan hiomalla riittävän laajalta alueelta ja virheen poistuminen tarkastetaan visuaalisesti ja tarvittaessa tunkeumanestetarkastuksella.

Korjaushitsaus suoritetaan soveltuvan hitsausohjeen (WPS) mukaisesti ja tarkastetaan silmämääräisesti (tarvittaessa tunkeumanesteellä).

1.5 Lähteet:

Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilalaitoksen suojaussuositus 1997
60V00326-V070-001

Suomen Soodakattilayhdistys ry
Selvitys: SOTU - materiaalivaihtoehtojen valinta osaprojekti
Pekka Pohjanne, VTT, Hannu Hänninen, TKK, ja Timo Kiesi, TKK.
Raportti 2/2005 (16A0913-E066)

Soodakattilapäivä 2000
Soodakattiloiden tulistinkorroosio
Keijo Salmenoja, Kvaerner Pulping Oy

Soodakattilapäivä 2011
Tämän päivän materiaalivalinnat soodakattiloissa
Johanna Tuiremo, Metso Power Oy

Kunnossapito – lehti 5/99 erikoisliite
Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus

Kunnossapito – lehti 10/98 erikoisliite
Kuumalujat teräkset ja niiden hitsaus



2 SOODAKATTILAPINNOITUKSET

Alkuperäinen teksti: Kari Korpiola, VTT Valmistustekniikka

Päivitetty teksti: Tommi Varis, VTT

2.1 Johdanto

Soodakattiloiden pinnoitukset keskittyvät useimmiten kohteisiin, joissa esiintyy paikallisesti korroosio-ongelmia. Pinnoitteiden käyttö vaihtelee laitoksittain. Kompound-putken käyttö on saattanut jonkin verran vähentää pinnoitteiden tarvetta ja pinnoitteiden tarve on tyypillisesti painottunut korjauspinnoituksiin. Pinnoitettavia kohteita soodakattiloissa ovat yleensä a) ”mustan” ja kompond-putken raja, jossa pinnoitteella estetään galvaanista korroosiota b) tulistinputkien mutkat, joissa pyritään estämään hapettumisen ja korroosion kautta tapahtuvaa ohenemista ja c) paikalliset kompond-putkien säröytymien korjaus.

Pinnoitusmenetelmien ja laitteistojen kehittyessä pinnoitteilla olisi nykyisin edellytykset tarjota kompond-putkelle vaihtoehtoinen kustannustehokas ratkaisu, jolla suojata kriittisiä alueita soodakattiloissa. Pinnoitteet ovat parhaimmillaan tiiviitä korroosiolta suojaavia kerroksia. Lisäksi terminen ruiskutus on monipuolinen ja joustava menetelmä valmistuksen ja materiaalikoostumuksen suhteen. Sillä voidaan valmistaa myös gradientti- tai kerrosrakenteita ja suhteellisen kustannustehokkaasti runsasseosteisia pinnoitteita, joita ei kompond-putkiksi ole taloudellisesti tai teknisesti järkevää valmistaa. Pinnoitteet tarjoavat mahdollisuuden käyttää erilaisia strategioita materiaaliongelmiin ratkaisemiseksi. Jalompia ja kalliimpia materiaalivehtoehtoja voidaan suunnitella vain korroosiosuojausta silmälläpitäen putkimateriaalin pinnalle.

Termiseen ruiskutukseen liittyy monia prosesseja, joilla kaikilla on omat erityispiirteensä ja lisäksi materiaalivalikoima on runsasta ja kokemukset pinnoitteista saattavat olla hyvin vaihtelevia. Termisesti ruiskutetuilla pinnoitteilla on oma erityinen lamellimainen rakenteensa, eikä niiden vaurioituminen tapahdu yleensä samoin kuin putkimateriaalien tuhoutuminen; hapettumalla pinnasta ja oksidikerroksen irtoamisen kautta. Näin ollen pinnoitteiden elinikää saattaa olla hyvin vaikea ennustaa. Tämän johdosta pinnoitusten käyttö, pinnoitusprosessin ja pinnoitemateriaalin valinta ei ole yksiselitteistä ja vaatii runsaasti tietotaitoa ja



vuoropuhelua kattilan käyttäjän, valmistajan ja pinnoitteen toimittajan välillä erityisesti soodakattiloissa.

2.2 Ruiskutusmenetelmät

Termisesti ruiskutetut metalliset pinnoitteet tehdään ruiskuttamalla sulaan tilaan kuumennettu pinnoitemateriaali kaasuvirtauksen avulla pinnoitettavaan pintaan. Sula materiaali jähmettyy pinnoitettavan materiaalin pinnalla ja muodostaa suojaavan kalvon, joka on paksuudeltaan 0,1–1,5 mm. Terminen ruiskutus pitää sisällään monia ruiskutusprosesseja kuten kaariruiskutus, liekki-ruiskutus, plasma ruiskutus, suurnopeusliekkiruiskutus (High Velocity Oxy-Fuel, HVOF ja High Velocity Air-Fuel, HVOF) ja kylmäruiskutus. [1]

Valokaariruiskutuksessa tai lyhyesti *kaariruiskutuksessa* (Wire arc) pinnoittaminen tehdään kuumentamalla lankamainen metalli sähkövalokaaren avulla sulaan tilaan ja puhaltamalla se paineilmalla kohteen päälle.

Suurnopeusliekkiruiskutuksessa jauhemainen lisäaine (metallinen tai keraaminen pinnoitemateriaali) kuumennetaan hapen ja polttokaasun avulla sulaan tilaan rakettimootorin periaatteella toimivassa polttimessa. Menetelmää kutsutaan lyhyesti *HVOF-ruiskutukseksi* (High Velocity Oxy Fuel). Menetelmän etuna on pidetty sillä aikaansaattavia hienorakeisia erityisen tiiviitä pinnoitteita. *HVOF-ruiskutus* (High Velocity Air Fuel) on muunnos HVOF-ruiskutuksesta ja siinä käytetään hapen sijaan ilmaa, jolloin muodostuva liekki on kylmempi.

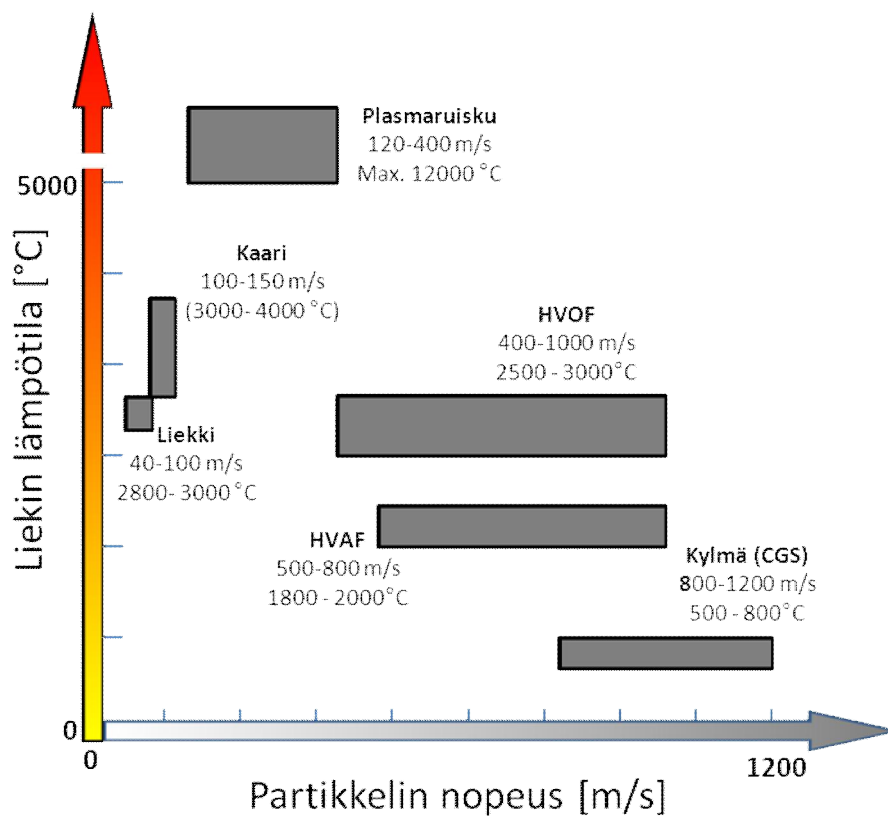
Plasmaruiskutuksessa sähkövalokaari kuumentaa kaasun noin 10 000 °C:ksi. Kuuma polttimesta suihkuava kaasu kuumentaa ja sinkoaa tällöin jauhemaisen pinnoitteen pinnoituskohteeseen, jonka päällä sulapisarot jähmettyvät.

Kylmäruiskutus on menetelmä, jossa jauhepartikkelit lämmitetään ja kiihdytetään suuttimessa. Kylmäruiskutuksessa ei ole liekkiä, vaan kaasu (ilma, typpi tai helium) kuumennetaan esilämmittimessä noin 500–800 °C lämpötilaan.

Edellä kuvattuja menetelmiä käytetään kattiloissa niiden ruiskutusnopeuden, laadun ja taloudellisuuden vuoksi. Markkinoilla on myös muita ruiskutusmenetelmiä, jotka eivät sovellu kattilaolosuhteisiin taloudellisista tai teknisistä syistä, kuten liekki-ruiskutus.



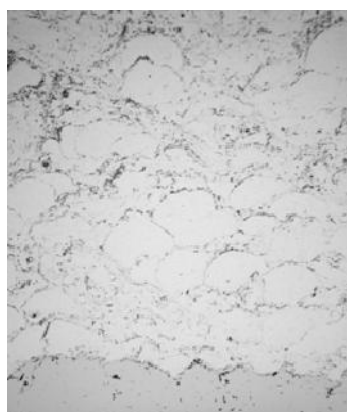
Ruiskutuslisäaineiden valikoima on suuri. Pinnoitteiden ominaisuudet ovat aina kombinaatio materiaalista ja valmistusprosessista. Samaa materiaalia voidaan valmistaa useilla eri menetelmillä, mutta sen ominaisuudet ovat riippuvaisia käytetystä prosessista. Ruiskutuspartikkelien lämpötila ja nopeus määrittävät suurelta osin pinnoitteen ominaisuudet. Kuvassa 3-1 on esitetty eri ruiskutusmenetelmien liekinlämpötila ja partikkelinopeus. Voidaan ajatella, että mitä nopeammaksi pinnoitettavat partikkelit kiihtyvät sitä tiiviimpi pinnoitteesta muodostuu. Ruiskutusprosessissa tulee olla riittävästi lämpöä materiaalin sulattamiseksi, mutta liiallinen lämpö lisää esimerkiksi metallisen materiaalin hapettumista ruiskutuksen aikana. Kuvassa 3-2 on esitetty eri ruiskutusmenetelmillä valmistettu NiCr-pinnoite, ja huomionarvoista on, että eri ruiskutusmenetelmillä saadaan aikaan varsin erilainen pinnoiterakenne. Viimeisimmät HVOF ruiskut kuten CJS (carbide jet spray) samoin kuin HVOF ruiskut tuottavat erittäin tiiviin ja lähes hapettoman pinnoiterakenteen. Hieman tätä vanhemmilla HVOF menetelmillä kuten DJ-Hybridillä saavutetaan myös erinomainen pinnoitelaatu, vaikka happipitoisuus on hieman korkeampi. Myös kaariruiskuttamalla aikaansaadaan suhteellisen korkeasta huokoisuudesta riippumatta melko hyvä suojaavuus, koska ruiskutusmateriaalin sulamisaste on korkea, jolloin muodostuu voimakkaasti lamellimainen rakenne, jossa lamellien välinen kiinnittyminen on hyvä. Yleisesti ottaen HVOF ja HVOF menetelmillä saavutetaan kuitenkin ylivoimainen pinnoitteen tiiveys.



Kuva 2-1. Eri prosessien tuottama ruiskutuspartikkelien nopeus ja liekin lämpötila-alue.



a)



b)



c)

Kuva 2-2. Ni50Cr-pinnoitteen mikrorakenne ruiskutettuna kolmella eri prosessilla a) kaariruiskutus-, b) DJ Hybrid HVOF- ja c) CJS HVOF-prosessilla.

2.3 Pinnoitemateriaalit

2.3.1 Rautavaltaiset pinnoitteet



Rautavaltaisia pinnoitteita pidetään yleensä kustannustehokkaina pinnoitevaihtoehtoina. Polttokattiloissa käytetyt materiaalit voivat olla korkealämpötilateräkset kuten FeCr, FeCrMo, FeCrNi and FeCrAl. Lähtökohtana kattilaoolosuhteisiin on, että rautavaltaiset pinnoitteeseen seostetaan joko kromia tai alumiinia tai molempia, jotta saadaan suojaava oksidikerros hapettumista ja korroosiosta vastaan. Fe-Cr -seokset ovat hyvin tunnettuja korroosionsuojausta vaativissa kohteissa korkeissa lämpötiloissa. Rikkikorroosiota vastaan suhteellisen korkeat kromipitoisuudet (yli 26 %:a) on havaittu olevan hyödyllisiä. Huomattavaa on, että yli 13 %:a Cr sisältävät seokset ovat tasapainon mukaisesti austeniittisia, mutta termisesti ruiskutettujen pinnoitteiden kohdalla, jäähtymisnopeuden ollessa suuri, kromipitoisuuden kasvattaminen lisää amorfisuustaipumusta. [2,3,4]

Käytettäessä alumiini-seostusta, riittävän suuri alumiinipitoisuus on tärkeää FeAl-materiaalien korroosionsuojaavuuden kannalta.[5] Jos alumiinioksidikerroksen suojaavuus on puutteellinen, pääsee rikki tunkeutumaan sen läpi ja johtaa erittäin suureen korroosionopeuteen. Jos käytetään alle 5 % alumiinipitoisuutta päädytään helposti yhtenäisen sulfidikerroksen kasvamiseen materiaalin pinnalle. FeAl-seoksien, jotka sisältävät 5–10 paino-% alumiinia, on raportoitu omaavan erittäin hyvän rikkikorroosion keston rikkipitoisessa ympäristössä (0.1%H₂S-3.0%H₂-Ar 600°C, 50 h). Tarvittavan alumiinipitoisuuden, jolla voidaan merkittävästi pienentää FeAl-seoksen korroosiokestävyyttä 100 % H₂S:ssa on havaittu olevan noin 10 % 600 ja 700 °C:ssa ja hieman matalampi 400 °C:ssa [6]. Kuitenkin on havaittu, että noin 3–5% Al lisäys Fe–17Cr seoksen saa aikaan parantuneen rikkikorroosionkeston. Tästä suurempi alumiinipitoisuuden lisäys, lisää rikkikorroosionkestoja vielä enemmän 800 °C:ssa. Suuremmilla alumiinipitoisuuksilla (yli 11 %) alkaa muodostua rauta-alumiini yhdisteitä (Fe₃Al or FeAl), jotka menestyvät hyvin rikkipitoisissa ympäristöissä. Niillä on myös hyvä hapettumisen kesto korkeissa lämpötiloissa, hiilettymisen kesto ja suolasulankesto. Fe₃Al- tai FeAl-metallien väliset yhdisteet ovat kuitenkin suhteellisen hauraita, joten niiden soveltamiseen on suhtauduttava pienellä varauksella. [7].

Yleisesti ottaen Fe-Cr-Al – pinnoitteilla on suhteellisen hyvä hapettumiskestävyys, mutta ilman kovia partikkeleja niiden eroosiokestävyys jää huonoksi. Eroosiokestävyyden parantamiseksi voidaan lisätä karbidin tai boridien muodostajia. Suhteellisen pitkään on kattiloissa sovellettu kaariruiskutettuja rautavaltaisia



materiaaleja (esim. Armacor), joissa on Fe-15–25 % Cr matriisissa kovia Cr-, W- ja boridi-faaseja. Näiden pinnoitteiden suuri lujuus perustuu nanokokoisiin borideihin tai karbideihin. Pinnoitteet ovat usein myös osittain amorfisia. Nytemmin on kehitetty myös täysin amorfisia rautavaltaisia pinnoitteita, joissa mm. wolframi- ja booripitoisuutta on lisätty, mikä edesauttaa pinnoitteen muodostumista amorfiseksi. Amorfisen rakenteen etuna on, että siinä diffuusion oletetaan olevan nopeampaa kuin kiteisissä materiaaleissa. Lisäksi pinnoitteen kovuus on jo ruiskutettuna erittäin suuri, noin 1100 HV. Pinnoitteen kovuus lisääntyy edelleen karbidien ja boridien erkautuessa (kiteytyessä) 600–650 °C:n lämpötilassa, mutta tämä ei välttämättä ole suotuisaa korroosiokestävyyden kannalta ”matriisiin” köyhtyessä kromista. [8,9,10,11]

2.3.2 Nikkelivaltaiset pinnoitteet

Nikkelivaltaisia materiaaleja kuten NiCr, NiAl, NiCrAl ja NiCrSi käytetään yleensä komponenteissa, joissa tarvitaan hyvää kulumiskestävyyttä yhdistettynä hapettumis- ja korroosionkestoon. [2,3,4]. Näidenkin materiaalien suojaavuus perustuu suojaavan oksidikerroksen syntymiseen. Nikkelivaltaiset materiaalit seostettuna noin 20 %:a kromia kestävät hapettumista tyypillisesti 800 °C:een saakka. Lisäksi Ni-Cr –seosten lämpölaajenemiskertoimet ovat hyvin lähellä teräksiä. Tunnettuja seoksia ovat esim. Inconel 625 ja Ni20%Cr. Kirjallisuudesta voidaan löytää muutamia erilaisia lähestymistapoja, joilla parannetaan nikkelivaltaisten seosten korroosio- ja eroosiokestävyyttä kattilasovelluksiin, joista erityisesti suuren kromipitoisuuden omaavat Ni-seokset ja nikkelivaltaiset sulautuspinnoitteet ovat potentiaalisimpia. [8,12,13,14]

Korkean kromipitoisuuden materiaalit (aina 50 %:iin saakka) on todettu olevan yksi parhaista materiaaleista kloori- ja rikkikorroosiota vastaan. Kromioksidikerros on suojaava ja uudistuskykyinen, eikä rikkikorroosio pääse etenemään oksidikerroksen läpi. Matalakromisilla seoksilla, kuten Inconel 625, on kromioksidin suojaavuuden kanssa ongelmia erityisesti lämpötiloissa, joissa suolasulia pääsee muodostumaan [15]. NiCr-pohjaisten materiaalien suolasulan kestävyttä voidaan parantaa seostamalla niihin oksidia stabiloivaan seosainetta, esim. alumiinia tai piitä (NiCrAl, NiCrBSi, NiCr-MoBSi), jolloin oksidikalvon liukeneminen sulaan vaikeutuu. Korkeampikromisilla nikkeliseoksilla on havaittu, että yli 550 °C:n lämpötiloissa ja suurilla klooripitoisuuksilla pinnoitteeseen syntyvä kromioksidi ei ole suojaava ja

lisäksi kromin on todettu olevan suhteellisen herkkä aktiiviselle korroosiolle esim. rautaan ja nikkeliin verrattuna, jolloin kloori pääsee hyökkäämään pinnoitteiden lamellirajoja pitkin syvemmälle pinnoitteeseen. Vastaavasti voidaan olettaa olevan rikin tapauksessa [8,12]

Pinnoitteiden tiiveyttä voidaan parantaa sulautuskäsittelyllä, jossa tyypillisesti NiCrBSi-seos lämpökäsitellään tiiviiksi. Pii- ja booriseostuksen vaikutuksesta pinnoitteen sulamisalue voidaan laskea merkittävästi alle putkiteräksen, jolloin pinnoite voidaan lämpökäsitellä noin 1100 °C puuroalueella täysin tiiviiksi rakenteeksi. Sulautuspinnoitteiden kovuutta voidaan lisätä esimerkiksi W, Cr ja hiili seostuksella, jolloin seokseen erkautuu sulautuskäsittelyn yhteydessä karbideja. [16]

2.3.3 Kaupalliset pinnoitemateriaalit

Ruiskutusmateriaalien valmistajien kattilamateriaaleiksi tarjoamat vaihtoehdot sekä muut mahdollisesti potentiaaliset materiaalit on koottu taulukkoon 2-1, jossa kattilamateriaalit on luokiteltu karkeasti eroosiosuojamateriaaleihin tai korroosiosuojamateriaaleihin. Taulukkoon on haettu jauhevalmistajien esitteistä sellaisia materiaaleja, joiden sovelluskohteiksi on mainittu joko kattilasovellukset tai hapettumisen kesto.

Taulukko 2-1. Joitain esimerkkejä termisen ruiskutuksen materiaalitoimittajien tarjoamista kattilamateriaaleista.

Materiaali-ryhmä	Koostumus	Valmistaja	Nimike	Pinnoitus-prosessi	Olosuhde
Fe-valtaisia					
Fe-Cr-Al	Fe-20-25Cr-4-6Al	Kanthal	SW 010	Kaariruisku	Korroosio
Fe-Cr	Fe 29Cr 3.7B 1.7Mn 1.4Si	Praxair	95 MXC	Kaari	Eroosio-korroosio
Fe-Cr (amorphous)	Fe-25Cr-15Mo-5B-5W-2C-2Si	Nanosteel	SHS 7150	Kaari	Eroosio-korroosio (Biomassa kattila)
Fe-Cr (amorphous)	Fe-30Cr-10Mo-5B-4W-2C-2Mn-2Si	Nanosteel	SHS 7174	Kaari	Eroosio (SFBC kattila)
Fe-Cr (amorphous)	Fe-22Cr-5B-5Mo-5Nb-2C-1Mn-1Si	Nanosteel	SHS8000	Kaari	Eroosio-korroosio
Fe-Cr (amorphous)	Fe-25Cr-20Mo-10W-5B-5Mn-3C-2Si	Nanosteel	SHS7574	HVOF	Korroosio Cl-ympäristö
Ni-valtaisia					
Ni-20Cr	Ni20Cr	Höganäs	1616-02	HVOF	Korroosio
Ni-50Cr	50Ni49Cr1Fe, Ni50%Cr	Praxair Sulzer Metco	1260F, Amdry 350C	HVOF	Korroosio
Ni-Cr (Inconel 625)	Ni 21.5Cr 8.5Mo 3Fe 0.5Co	Sulzer Metco	Diamalloy 1005, Metco 8625	HVOF, Kaari	Korroosio
NiCrBSi	Ni 16Cr 4Fe 4B 4Si	Sulzer Metco	Metco 19E	Spray and	Eroosio korroosio

	2.4Fe 2.4Mo 2.4W 0.5C			fuse	
Cr-Ni	Cr-34Ni-7C	Sulzer Metco	SM5241	HVOF	Eroosio-korroosio

2.3.4 Pinnoitemateriaalien valinta

Termisesti ruiskutettujen pinnoitteiden vaurioituminen soodakattilaolosuhteissa tapahtuu usein eri mekanismilla kuin vastaavan koostumuksen omaavan putkimateriaalin. Tämä johtuu pinnoitteen erityisestä rakenteesta, joka on tyypillisesti jähmettyneistä sulapisaroista muodostunut lamellimainen rakenne. Lisäksi ruiskutuksen aikana metallinen lähtöaine hapettuu pinnaltaan ja happi jää rakenteeseen sulkeumina. Pinnoitteen lamellit eivät ole täydellisesti kiinnittyneitä toisiinsa. Lamellirajat ovat näin ollen pinnoitteiden heikkoja kohtia, jotka vaikuttavat pinnoitteen korroosioikäytymiseen. Pinnoitemateriaalin ja ruiskutusmenetelmän valinnalla voidaan merkittävästi vaikuttaa pinnoitteen sisäiseen vaurioitumisnopeuteen ja korroosiokestävyyteen. Ruiskutettu pinnoitteen vaurioituminen voi tapahtua seuraavasti [17]:

- Pinnoitteen hapettumisesta, rikkikorroosiosta ym. ympäristöaltistuksesta aiheutuu pinnoitteen sisäinen vaurioituminen. Korroosio keskittyy tyypillisesti lamellirajoille ja voi avata reitin pinnoitteen läpi.
- Korrodoiva ympäristö pääsee ajan kuluessa kulkeutumaan pinnoitteen läpi pinnoitteen ja alustan rajapinnalle, jolloin alustamateriaali alkaa tuhoutua nopeasti. Tämä johtaa pinnoitteen nopeaan irtoamiseen alustalta.
- Pinnoite säröilee lämpötilan muutoksien aiheuttamien jännitystilojen seurauksena.

Edellä mainittujen vaurioiden minimoimiseksi pinnoitemateriaalin valinnan sekä pinnoitusprosessin valinnan merkitys korostuu. Pinnoitemateriaali voidaan esim. helposti valita sellaiseksi, että pinnoite ei vaurioidu pinnastaan hapettumalla ja sisäinen korroosio on pieni. Pinnoitemateriaalin ja alustan välinen lämpölaajenemiskertoimien välinen ero on minimoitava, jotta säröilyltä vältytään. Lisäksi pinnoitusprosesseilla on saavutettava riittävä tiiveys.

On tärkeää huomioida, että pinnoitteen korroosionsuojaavuus on aina kombinaatio valitusta materiaalista ja valmistusprosessista. Tämän vuoksi pinnoitteita ei voida valita pelkästään materiaaliperusteisesti vaan suunnittelussa on huomioitava pinnoiterakenteen erityispiirteiden tuomat muutokset pinnoitemateriaaliin. Pinnoiterakenteiden erityispiirteet, tiiveys ja happipitoisuus, riippuvat suuresti käytetystä pinnoitusprosessista.



Kriittiset tekijät, jotka määrittelevät pinnoitteen korroosiosuojaavuuden ovat:

- itse pinnoitemateriaalin korroosiokestävyys, johon vaikuttaa valitun pinnoitemateriaalin korroosiokestävyys ko. ympäristössä (koostumus ja oksidikerroksen suojaavuus)
- pinnoitteen korrodoivien aineiden läpäisevyys, johon voidaan vaikuttaa valitulla prosessilla ja prosessiparametreilla (lamellirajat ja huokoisuus) ja
- mekaaninen yhteensopivuus (säröily)
- Tärkeimpiä määriteltäviä ominaisuuksia pinnoitteelle ovat adheesio (= tartuntalujuus), huokoisuus, koheesio, lämpölaajenemiskerroin ja paksuus.

Pinnoitusmateriaalien valikoima termisesti ruiskuttamalla on suuri. Korkealämpötilakorroosiota kestävät materiaalit muodostavat suojaavan ja helposti uudistuvan oksidikerroksen materiaalin pinnalle. Oksidikerroksen tulisi olla tiivis ja hyvin kiinnittynyt, jotta se voisi estää korrodoivien elementtien kuten rikin ja kloorin kulkeutumisen läpi vahingoittamaan perusmateriaalia. Tyypillisesti käytetään nikkeli- tai rautavaltaisia seoksia, joissa on korkea kromi- ja/tai alumiinipitoisuus. Termisesti ruiskutettavilla rautavaltaisilla seoksilla kromipitoisuus on tyypillisesti aina 30 %:iin saakka ja nikkeliseoksilla 50 %:iin saakka. Kromi on tärkeä ja kaikkein käytetyin suojaavan oksidin muodostavista alkuainesta. Kromioksidin muodostavia seoksia voidaan käyttää yleisesti ottaen lämpötilavälillä 500–900 °C:ta. Korkeakromisten terästen (yli 25 %) on raportoitu antavan hyvän suojan hapettavissa ympäristöissä ja suojaavan myös sulfaatteja ja sulfideja vastaan. [4, 18].

Pelkistävissä olosuhteissa korkeakromiset materiaalit pystyvät muodostamaan suojaavan kerroksen, joka koostuu kromista, rikistä ja natriumista. Pelkistävissä olosuhteissa tämän kerroksen korroosiokestävyys kasvaa kromipitoisuuden lisääntyessä. [5]

Alumiini on toinen tärkeä oksidin muodostaja. Alumiinioksidia muodostavat FeCrAl-materiaalit ovat myös tyypillisiä hapettumiskestäviä materiaaleja. Niitä käytetään lämpötilavälillä noin 800–1200 °C:ta, jolloin suojaavan oksidikerroksen muodostumiselle on parhaat edellytykset. [19, 20]. Lämpötiloissa alle 600 °C:ta alumiinioksidin muodostajien ongelmana on, että alumiini ei muodosta suojaava corundi-tyyppistä oksidikerrosta [19]. Metastabiileilla alumiinioksidoilla on puutteelliset suojausominaisuudet. Matalissa lämpötiloissa alumiinin diffuusio on erittäin hidas eikä suojaava oksidikerrosta pääse muodostumaan. Sen sijaan tyypillistä on tällöin rauta-alumiini-kromi sekaoksidin muodostuminen. [20].



Soodakattiloissa mahdollisia pinnoituskohteita ovat kattilan pohja, seinämäputket ja tulistimet. Kattilan pohjan osalta pinnoitteilla pyritään ehkäisemään säröily- ja pistekorrosio-ongelmia. Pinnoitemateriaaleista on hyviä kokemuksia saavutettu esim. Ni50%Cr seoksella.

Kattilan keski-osan korrosio-olosuhteita ei yleensä pidetä kovin aggressiivisena ja tyypillinen oheneminen on materiaalin hapettumista. Kuitenkin, jos voidaan havaita paikallisia ja pistemäisiä syöpymistä/ohenemista, on esitetty tämän johtuvan tyypillisesti pelkistävien olosuhteiden syntymisestä tai suuren kiintoainepitoisuuden omaavan lipeän poltosta. Pinnoitteita voidaan tällöin soveltaa paikallisesti. Pelkistävät olosuhteet ovat haaste myös korkeakromisille pinnoitteille, joiden suojaavuus perustuu oksidikerroksen muodostumiseen. Pelkistävissä olosuhteissa ei oksidikerroksen muodostumiselle ole luontaisia edellytyksiä, jolloin pinnoitteen tiiveyteen on kiinnitettävä erityisesti huomiota. [5]

Tulistinputkien alueella korrosio-olosuhteet ovat syntyvistä kerrostumista johtuen vaikeita, koska muodostuvat kerrokset saattavat olla sulatilassa. Tulistinalueella erityisesti matalaseosteisia teräksiä voidaan suojata pinnoitteilla. Pinnoitteiden suojaavuus alkalisulfidisulia vastaan on voimakkaasti riippuvainen pinnan lämpötiloista. Vielä alle 500 °C:n alapuolella saavutetaan useillakin pinnoitemateriaaleilla hyvä suojaavuus. Vaihtoehtoisia materiaaleja voivat olla esim. rautavaltaiset runsaskromiset teräkset tai NiCr-seokset.

2.4 Pinnoitteen valmistus

Tämä osio käsittelee ruiskuttamalla tehtyjen soodakattilapinnoitteiden valmistusta paikan päällä (on site) ja verstaalla. Lisäksi se antaa soveltuvia testaustapoja, joiden avulla suoritettu pinnoitustyö voidaan hyväksyä.

Se käsittelee pinnan esikäsittelyä, pinnoituksen suoritusta ja pinnoitteiden luonteenomaisia ominaisuuksia: paksuutta, ulkonäköä ja tarttuvuutta. Lopuksi ohje antaa testausmenetelmiä näiden ominaisuuksien toteamiseksi ja käsittelee vanhan pinnan tarkastusta ja korjausta.

Hankintasopimuksessa tulee määritellä pinnoitettava alue, pinnan paksuus, pinnoitettava materiaali, pinnoitusmenetelmä, pinnoitteen tartuntalujuus



alustamateriaaliin ja pinnoitemateriaali. Lisäksi on määriteltävä mahdolliset pinnoitettavan kohteen esikäsittelyprosessit sekä ennen pinnoitusta että sen jälkeen (pesut) ja mahdollinen ulkopuolinen työn valvoja, jolla on tarpeellinen asiantuntemus termisen ruiskutuksen pinnoitteiden ja työn suorituksesta.

2.4.1 Termisellä ruiskutuksella pinnoitettavan pinnan esikäsittely

Termisesti ruiskutettavalla pinnoitteella ei ole perusainetta vastaavaa mekaanista lujuutta, joten putken seinämänpaksuudelle asetetut vaatimukset on varmistettava ennen pinnoituksen suorittamista. Pinnan esikäsittelystä on määritelty standardissa SFS-EN 13507, "Terminen ruiskutus. Metalliosien ja -komponenttien pintojen esikäsittely ennen termistä ruiskutusta" [21]. Pinta tulee puhdistaa kauttaaltaan ja karhentaa sopivalla kuluttavalla rakeella puhaltaen. Puhallusta jatketaan, kunnes pinta on metallinpuhdas ja rakenteeltaan yhtenäinen. Juuri ennen ruiskutusta on pinnan oltava kuiva, eikä siinä saa olla pölyä, rasvaa, NDT-nesteitä ja geelejä, hilsettä, ruostetta tai muita epäpuhtauksia, joihin kuuluvat myös liukoiset suolat. Liukoiset suolat voivat erityisesti vaikeuttaa pinnoitteen tarttuvuutta kattilan pintaan. Vanhoissa kattiloissa on syytä selvittää tarvittava pesuprosessi ennen pinnoitusta, jolla poistetaan aiemmat putkistojen pinnoille kertyneet suolat. Ennen työhön ryhtymistä on myös selvitettävä poistetaanko vanhan pinnoite kokonaan vai vain osittain. Kullakin pinnoittajalla on omat menetelmänsä suolojen ja kemikaalien poistoon, ja ne on syytä yksilöidä ennen työhön ryhtymistä. Kaikissa tapauksissa on puhdistetun pinnan karheus yksilöitävä vertailukappaleilla, joilla on samanlaiset ominaisuudet kuin työkaluilla ja jotka on valmistettu osapuolten määrittelemällä tavalla. Ellei muuta ole sovittu, voidaan pinnan puhdistukseen käyttää seuraavia raemateriaaleja:

- valurautarae, josta hematiitti on erotettu
- alumiinioksidirae
- piikarbidirae.

Raemateriaalin raekoko on yleensä 0,5–1,5 mm. Olipa puhdistusmateriaali minkä tyyppistä tahansa, sen tulee olla puhdasta ja kuivaa. Varsinkaan se ei saa sisältää liukenevia suoloja. Kun suihkupuhdistuksessa käytetään paineilmaa, on ilman oltava riittävän puhdasta ja kuivaa, jotta raemateriaali tai metallilla ruiskutettava pinta ei likaantuisi. Ilmamäärän tulee olla riittävä siten, että suihkupuhalluksessa suositeltu minimipaine on 6,5 bar käyttöletkun päässä. Edelleen on tarkistettava suihkupuhdistetun pinnan puhdistusaste, niin että se vastaa astetta Sa 3 standardin



SFS-EN ISO 8501-1 mukaisesti [22]. Pinnoitettavasta kohteesta on ennen pinnoitusta tarkistettava mahdolliset viat, säröt, kulumat ja perusaineen vahvuus ym., ja ne on ilmoitettava kirjallisesti pinnoituksen tilaajalle. Jos pinnoitettavalla alueella esiintyy säröilyä, on perusohjeena, että kaikki havaittavat on säröt poistettava, ennen kuin pinnoitus voidaan suorittaa. Pinnoituskohteeseen on varattava riittävä määrä valoa, jotta pinnoitettavan kohteen pinnoitus ja silmämääräinen tarkistus voidaan suorittaa vaivatta. Pinnoitettavan kohteen tarkistus tulee suorittaa myös 15° viistolla valolla, jolloin havaitaan mahdolliset poikkeamat pinnan puhdistuksessa. Lisäpuhallusta vaativat kohdat merkitään liidulla. Pinnoitettavan kohteen ilmanvaihto pitää olla riittävä, jotta pinnan puhdistuksessa ja pinnoituksessa syntyneet pölyt voidaan imeä pois.

2.4.2 Pinnoitemateriaali

Pinnoitemetallin tulee täyttää seuraavat vaatimukset: 1) pinnoitemateriaalin koostumuksen pitää olla selvillä kaupanimen lisäksi, 2) samoin tulee olla selvillä pinnoitteen keskeisimmät alkuaineet ja muoto (lanka tai jauhe), 3) kuten myös pinnoitustapa, valokaari- tai HVOF-menetelmä yms. Pinnoitemateriaalien määrittelyssä voidaan käyttää apuna myös standardia SFS-EN 1274, ”Terminen ruiskutus. Ruiskutusjauheiden kemiallinen koostumus ja tekniset toimitusehdot” [23] sekä standardia SFS-EN ISO 14919, ”Terminen ruiskutus. Langat, puikot, ja täytelangat liekki ja kaariruiskutukseen. Tekniset toimitusehdot.” [24].

2.4.3 Terminen ruiskutus

Terminen ruiskutus voidaan aloittaa puhdistetussa osassa, kun tilaaja on hyväksynyt edellä mainitun pinnan esikäsittelyn. Terminen ruiskutus tulee tehdä pian sen jälkeen, kun pinta on esikäsitelty suihkupuhdistamalla niin, että metalli ruiskutetaan valmisteltuun pintaan, joka on vielä puhdas ja kuiva eikä näkyvästi hapettunut. Käytettävissä oleva aika tulee pitää mahdollisimman lyhyenä, kuitenkin enintään 4 tuntia paikallisten olosuhteiden mukaan. Ruiskutusta ei saa tehdä olosuhteissa, joissa tapahtuisi kondensoitumista ruiskutettavalle pinnalle, ja pinta tulee pitää kastepistettä korkeammassa lämpötilassa. Termistä ruiskutusta suoritettaessa tulee teräksen lämpötilan olla ainakin 3 °C kastepisteen yläpuolella, jotta välttyttäisiin tartunnan heikkenemiseltä perusmateriaaliin. Pinnoitettavan alueen esilämmitys ennen



pinnoitusta on suositeltavaa tehdä 70–80 °C lämpötilaan. Tällä estetään ruiskun palotuotteiden kondensoituminen pinnalle sekä pienennetään pinnoitteeseen syntyvää vetojännitystilaa. Mikäli pinnoitettava pinta on hapettunut tai likaantunut, tulee sen esikäsitellyä uusia. Ruiskutuksen pyyhkäisyjen tulee tapahtua pääsääntöisesti kohtisuorassa putkistojen pintaan nähden. Lisäksi ruiskutuspyyhkäisyjen tulee olla putkistojen pituusakselin suuntaisia. Tällöin vältetään mahdollisimman paljon viiston ruiskutuksen aiheuttamaa varjostusvaikutusta.

2.4.4 Sulautuvien seosten ruiskutus

Niin kutsutut sulautuspinnoitteet ovat yksi termisesti ruiskutettujen pinnoitteiden erikoismenetelmä. Siinä ruiskutus tehdään liekkiruiskulla ja jälkikäsitellään kuumentamalla materiaali noin 1100 °C:een joko liekillä tai uunissa. Sulautusmateriaalien seosaineina on käytetty piitä ja booria, joka laskee materiaalin sulamislämpötilaa alle perusmateriaalin sulamispisteen. Muodostuva pinnoite tiivistyy lämpökäsittelyn seurauksena täysin tiiviiksi ja poistaa termisesti ruiskutetulle pinnoitteelle tyypillisen lamellirakenteen. Tästä on usein etua korroosiota vastaan. Menetelmä soveltuu parhaiten suoritettavaksi ruiskutuspaikalla. Pinnoitusohjeena voidaan käyttää Standardia SFS-EN ISO 14920, ”Terminen ruiskutus. Sulautuvien seosten ruiskutus ja sulautus” [25].

2.4.5 Vaaditut ominaisuudet ja pinnoitteen testausmenetelmät

Termisesti ruiskutetuille pinnoitteille voidaan tehdä hyvin vähän yksikäsitteisiä laadun mittauksia. Tällaisia ovat pinnoitteen tartunta alustaan, vetotestit, kemiallinen analyysi sekä abraasio- ja eroosiokulumistestit sekä pinnoitteen paksuus ja pinnoitettu pinta-ala. Mikrorakenteeseen liittyvät seikat, kuten oksidit, huokoiset sulamattomat partikkelit ja karbidien määrä, ovat laboratoriotutkimuksissa vielä kiistanalaisia asioita. Samoin pinnoitteiden kemiallinen kestävyys soodakattilaolosuhteissa voi olla vaikeasti selvitettävissä. Käytännössä pinnoitteiden ominaisuuksia voidaan testata soodakattilassa.

2.4.6 Pinnoitteen ulkonäkö

Pinnoitteen tulee olla tasalaatuinen ilman kuplia tai paljaita alueita, eikä siinä saa olla tarttumaton metallia tai vikoja, jotka voivat olla haitallisia pinnoitteen kestävyydelle



tai suoja-pinnoitteen tarkoituksenmukaiselle käytölle. Epäonnistuneessa kaariruiskutuksessa vikoina voidaan pitää pinnoitelangan pätkiä, pinnan epätasaisuutta ja ylipaksuuteen pinnoitettuja kattilan osia. Ulkonäköä voidaan verrata pinnoittajan toimittamaan vertailupalaan, joka on riittävän suuri, (300*300*10 mm).

2.4.7 Tartunta

Pinnoitteen ja perusaineen tartunta voidaan mitata ennen tilaamista koekappaleella standardin SFS-EN 582: ”Terminen ruiskutus. Vetotartuntalujuuden määrittäminen” [26] mukaisesti. Standardin mukainen testi tehdään erillisille Ø 25 tai 40 mm oleville kiekkoille. Kiekko liimataan tartuntasauvojen väliin ja vedetään vetokoneessa irti. Tällöin voidaan määritellä pinnoitteen tartunta alustamateriaaliin. Pinnoittaja saa tehdä koekappaleen vapaasti kattilassa käytettävillä aineilla ja pinnoitusmenetelmillä. Levyyn tehdyt vetonäytteet antavat yleensä paremmat tartuntalujuudet kuin putkistoon tehdyt pinnoitteet. Suositeltavan pinnoitteen tartuntalujuuden tulisi olla vähintään $> 25 \text{ N/mm}^2$. Hyvä tartunta-alusta materiaaliin kertoo usein onnistuneesta pinnoituksesta. Parhaiden liimojen vetolujuus on tyypillisesti 80–100 MPa, jonka parhaimpien pinnoitteiden tartuntalujuudet saattavat ylittää. Mikäli vetokokeen lopussa ei ilmene pinnoitteen irtoamista perusmateriaalista ennen sovittua murtolujuutta, katsotaan pinnoitteen läpäisseen tyydyttävästi tarttuvuuskokeen. Pinnoitteen tartunnalle voidaan tehdä myös tarkistusmittauksia pinnoituksen aikana, mistä on syytä sopia testaajan kanssa erikseen.

2.4.8 Paksuuden mittaus

Pinnoitteen paksuuden mittaukseen voidaan käyttää kaarimikrometriä tai sähköisiä mittamenetelmiä. Putkimaisia kappaleita mitattaessa on edellä mainitulla haastavaa saavuttaa luotettava tulosta. Paksuuden mittaukset onkin suositeltavaa tehdä magneettisella tai pyörrevirtamenetelmällä. Magneettisten mittausten etuna on, että ne ovat ainetta rikkomattomia, nopeita ja ne voidaan tehdä suoraan mistä tahansa tarkastettavan pinnan kohdasta. Paksuuden mittauksia voidaan tehdä useita satoja kertoja pinnoituskohteesta ja jopa pinnoituksen aikana. Pinnoitteen paksuutta mitattaessa tulee sopia ennen pinnoitusta, millä asteikolla pinnoitteen paksuudet tarkistetaan, koska paksuus voidaan mitata mikrometreinä tai tuhannesosatuuminä. Tuumamittaus voi aiheuttaa metriseen järjestelmään tottuneella sekaannusta. Mittalaite kalibroidaan koepalaan, joka on pinnoitettu samalla materiaalilla, jota



kattilan pinnoituksessa käytetään. Paksuuden tarkistuksesta on laadittava pinnoitteen paksuuskartta, jonka pinnoitteen ostaja saa.

Mikroskooppinen tarkastus poikkileikkauksesta tehdään kontrollipinnoitteille. Tällöin pinnoitteista katsotaan yleinen rakenne, pisarakoko, sulamattomat partikkelit, huokoset, oksidit sekä pinnoitteen ja perusmateriaalin rajapinta. Menetelmä on tuloksiltaan subjektiivinen, ja ne ovat riippuvaisia käytetystä materiaalista, ruiskutusparametreista ja -menetelmästä. Mikroskooppitarkastelun ei voi katsoa soveltuvan ensisijaisesti määrittämään pinnoitteen laatua. Mikroskooppisia näytteitä otetaan ensisijaisesti koekappaleista. Mikroskooppinen tarkastusmenetelmä on ainetta rikkova testi, jolloin se soveltuu hankalasti jo pinnoitetun kappaleen ominaisuuksien tutkimiseen. Mahdollisissa vauriotapauksissa voidaan kuitenkin ottaa ruiskutetun kattilan pohjasta 10 -senttisen kokoisia näytteitä ja tehdä niistä rakennetutkimus.

2.4.9 Vanhojen pinnoitteiden tarkastus ja pintojen korjaus

Kattilan seisokkien aikana on syytä tarkastaa pinnoitteiden kunto, jolloin tarkastetaan ensisijaisesti mahdolliset pinnoitteiden vauriot. Silmämääräisesti havaittavia vauriota ovat pinnoitteen irtoaminen sekä mahdolliset korroosio- ja painepesuvauriot. Mikäli havaitaan pinnoitteen irtoamista, voidaan alustavasti tutkia pinnoitteen kiinnipysyvyyttä piikkaamalla pinnoitetta pois vauriokohdan ympäristöstä. Piikkaus tehdään pienellä taltalla ja vasaralla vaurioittamatta putkistoa. Jos pinnoite lähtee helposti putkiston päältä ja sen alla on korroosiotuotetta, on syytä ryhtyä laajempiin jatkotarkastuksiin. Samoin jos pinnoite irtoaa painepesussa, on syytä olettaa, ettei se ole hyvin kiinni alustassaan. Jos vanha pinnoite irtoaa helposti alustasta, on siinä usein jokin piilevä vika, josta on syytä raportoida pinnoittajalle. Mahdollisten vikojen korjausprosessi on selvitettävä ennen työn aloitusta pinnoittajan kanssa. Käytännössä pinnoitteen korjaaminen on hyvin hankalaa koska korjaus pidentää seisokkiaikaa (korjauksen aiheutuu melua/pölyä/myrkyllisiä kaasuja jolloin muiden töiden tekeminen kattilassa on vaikeaa).

2.4.10 Manipulaattorin käyttö pinnoituksessa

Tilaajien kireät pinnoiteruiskutuksen aikatauluvaatimukset aiheuttavat usein kiirettä itse työssä. Tämän vuoksi vaikeissa työskentely olosuhteissa pinnoituksen tasalaatuisuus voi olla vaikea aikaansaada. Pinnoitteen tasaisen laadun kannalta on



tärkeää, että laajoilla pinnoilla käytetään manipulaattorilevitystä (kauko-ohjauksella tai yksinkertaisella ohjauksella varustettu automaattinen käsittelylaite), joka takaa tasaisemman pinnoitteen laadun.

Käsiruiskutuksen voi jättää tällöin vaikeammin suoritettaviin kohteisiin, kuten nurkkiin, seinämille tai yksittäisiin putkiin.

2.5 Yhteenveto

Termisesti ruiskutettavilla pinnoitteilla voidaan suojata soodakattilaputkimateriaaleja korroosiolta. Pinnoitettavia kohteita soodakattiloissa ovat yleensä a) ”mustan” ja compound-putken raja, jossa pinnoitteella estetään galvaanista korroosiota b) tulistinputkien mutkat, joissa pyritään estämään hapettumisen ja korroosion kautta tapahtuvaa ohenemista ja c) paikalliset compound-putkien säröytymien korjaus. Tyypillisesti käytettyjä materiaaliveikkoja ovat erilaiset NiCr-seokset tai rautavaltaiset runsaskromiset seokset. Tilattaessa kattilan pinnoitusta on hyödyllistä ensin määritellä seuraavat asiat: pinnoitettava alue, pinnan esikäsittelyt, pinnoitteen paksuus, pinnoitemateriaali, pinnoitusmenetelmä, ja pinnoitteen tartunta. Lisäksi on määriteltävä ja dokumentoitava, kuka suorittaa pinnoituksen aikana työn valvonnan ja hyväksymisen.

2.6 Lähdeluettelo

Kirjalliset lähteet:

1. Davis, J.R. (Ed.). Handbook of Thermal Spray Technology. Thermal Spray Society, ASM International, Materials Park, OH, USA (2004). 338 p.
2. Mohanty, P.S., Roche, A.D., Guduru, R.K. and Varadaraajan, V. Ultrafine Particulate Dispersed High-Temperature Coatings by Hybrid Spray Process. Journal of Thermal Spray Technology, 19(2010)1–2, pp. 484–494
3. Sidhu, T., S. Prakash, S. and Agrawal, R.D. Hot corrosion and performance of nickel-based coatings. Current science, 90(2006)1, pp.41–47
4. Crimmann, P., Bendix, D. and Faulstich, M. Investigations on corrosion protective layers in waste incineration plants. Sulzbach-Rosenberg \ D. (2005). http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/investigations_incineration_plants_Basel_2005.pdf.
5. Banovic, S.W., DuPont, J.N. and Marder, A.R. High temperature sulfidation behavior of low Al iron-aluminum compositions. Scripta Materialia 38(1998)12, pp. 1763–1767.



6. Uusitalo, M.A., Vuoristo, P.M.J. and Mäntylä, T.A. High temperature corrosion of coatings and boiler steels below chlorine-containing salt deposits. *Corrosion Science* 46 (2004), pp. 1311–1331
7. Tortorelli, P.F., DeVan, J.H., Pint, B.A., Wright, I.G. and Saunders, S.R.J. High-temperature corrosion behaviour of iron-aluminide alloys and coatings. *Proc. Fossil Energy Materials Conf.*, May 1995.
8. Uusitalo, M.A., Vuoristo, P.M.J. and Mäntylä, T.A. Elevated temperature erosion/corrosion of thermal sprayed coatings in chlorine containing environments. *Wear* 9069(2002), pp. 19.
9. Totemeier, T.C., Wright, R.N. and Swank, W.D. Microstructure and Stresses in HVOF Sprayed Iron Aluminide Coatings. *Journal of Thermal Spray Technology* 11(3), September 2002, pp. 400–408.
10. Wang, B.Q. and Seitz, M.W. Comparison in erosion behavior of ironbase coatings sprayed by three different arcspray process. *Wear* 250 (2001), pp. 755–761.
11. Branagan, D.J., Breitsameter, M., Meacham, B.E. and Belashchenko, V. High-performance nanoscale composite coatings for boiler applications. *Journal of Thermal Spray Technology* 06/2005, Vol. 14, No. 2, pp. 196–204.
12. Hidalgo, V. Higuera, Varela, J. Belzunce, Menéndez, A. Carriles, Martinez, S. Poveda, High temperature erosion wear of flame and plasmasprayed nickelchromium coatings under simulated coalfired boiler atmospheres. *Wear* 247 (2001), pp. 214–222.
13. Uusitalo, M.A., Vuoristo, P.M.J. and Mäntylä, T.A. High temperature corrosion of coatings and boiler steels in oxidizing chlorinecontaining atmosphere. *Materials Science and Engineering A346*(2003), pp. 168–177.
14. Zanchuk, W. The use of tafaloy 45CT, an Ni-Cr-Ti alloy, as an arc sprayed corrosion barrier in high temperature sulfurous environments. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 39–40, Part 1, 1 December 1989, pp. 65–69, 16th International Conference on Metallurgical Coatings.
15. Zahrani, E.M. and Alfantazi, A.M. Molten Salt Induced Corrosion of Inconel625 Superalloy in PbSO₄-Pb₃O₄-PbCl₂-Fe₂O₃-ZnO Environment. To be published in *Corrosion Science* (2012).
16. Heath, G.R., Polak, R., Tsujita, T. and Gustafsson, S. Roel of Thermal Spray Coatings in Boilers; development of Reliable Spray and Fuse Coatings for Boiler Protection. NTSC, 7-11 October, 1996, Cincinnati, Ohio.
17. Heath, G.R., Heimgartner, P., Irons, G., Miller, R. and Gustafsson, S. An Assessment of Thermal Spray Coating Technology for High Temperature Corrosion Protection.
http://web.castolin.com/wCastolin_com/pdf/publications/essai7.pdf
18. Mayoral, M.C., Andres, J.M., Belzunce, J. and Higuera, V. Study of sulphidation and chlorination on oxidized SS310 and plasma-sprayed Ni-Cr coatings as



simulation of hot corrosion in fouling and slagging in combustion. Corrosion Science 48(2006)6, pp. 1319–1336

19. Lai, G. High Temperature Corrosion and Materials Applications. ASM International, Ohio, USA 2007. P. 461.
20. Grabke, H.J. Surface and interface segregation in the oxidation of metals. Surface and Interface Analysis 30(2000)1, pp. 112–119
21. SFS-EN 13507. Terminen ruiskutus. Metalliosien ja – komponenttien pintojen esikäsittely ennen termistä ruiskutusta. Suomen standardisoimisliitto (2001).
22. SFS-EN ISO 8501-1. Teräspintojen esikäsittely ennen pinnoitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Osa 1: Teräspintojen ruostumisasteet ja esikäsittelyvasteet. Maalaamattomat teräspinnat ja aiemmista maaleista kauttaaltaan puhdistetut teräspinnat (2007).
23. SFS-EN 1274, Terminen ruiskutus. Ruiskutusjauheiden kemiallinen koostumus ja tekniset toimitusehdot. Suomen standardisoimisliitto (2005)
24. SFS-EN ISO 14919. Terminen ruiskutus. Langat, puikot, ja täytelangat liekki ja kaariruiskutukseen. Tekniset toimitusehdot. Suomen standardisoimisliitto (2002).
25. SFS-EN ISO 14920. Terminen ruiskutus. Sulautuvien seosten ruiskutus ja sulautus. Suomen standardisoimisliitto (1999).
26. SFS-EN 582. Terminen ruiskutus. Vetotartuntalujuuden määrittäminen. Suomen standardisoimisliitto (1994).

Suulliset lähteet:

Henkilökohtainen tiedonanto, Tapio Huuska, Metsä Fibre Oy, Kemin tehdas, 2012.

Henkilökohtainen tiedonanto, Martti Hirttiö, Metsä Fibre Oy Äänekosken tehdas, 2012.

Henkilökohtainen tiedonanto, Lauri Mattila, UPM-Kymmene, Oyj, Pietarsaaren tehtaas, 2012.

Henkilökohtainen tiedonanto, Juha Rintala, Telatek Oy, 2012.

Henkilökohtainen tiedonanto, Rauno Karvinen, UPM Kymmene Oy, 1997.

Henkilökohtainen tiedonanto, J. Tenkula, Telatek Oy, 1997.



3 PAINEASTIAN KORJAUKSET

Alkuperäinen teksti: Kalle Salmi, Kvaerner-Pulping Oy

Päivitetty teksti: Kestoisuustyöryhmä

3.1 Yleistä

Soodakattilan käyttövarmuuden ja käyttöturvallisuuden ylläpitämiseksi on tehtävä korjauksia, joiden sisältö ja laajuus ovat etukäteen tiedossa. Tämän lisäksi tulee sellaisia yllättäviä tilanteita, joissa paineastiaa joudutaan korjaamaan ilman ennakoivaa tarkempaa suunnittelua. Esimerkiksi paineastian vuotovauriotapaukset ovat tällaisia. Tähän kappaleeseen on kerätty laeista, asetuksista ja muista määräyksistä paineastian korjausta käsitteleviä ohjeita sekä käytännössä esiin tulleita asioita.

Asiakirjat, joihin tässä kappaleessa viitataan, ja muut paineastioita käsittelevät ohjeet ja standardit, muuttuvat edelleen kehityksen seurauksena kohtuullisen nopealla aikataululla. Tekstiin on pyritty lisäämään linkkejä internetsivuille joilta voi ladata viimeisimmät versiot ohjeista/standardeista.

3.2 Oppaat

TUKES on julkaissut seuraavia oppaita liittyen painelaitteisiin.

Painelaiteopas:

http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/painelaiteopas.pdf

Painelaitteiden kunnossapito:

http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/painelaite-kunnossapito-opas.pdf

Painelaitteiden määräaikaistestaukset:

http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/Painelait.mraikaist.pdf

Painelaiterekisteri P1-2002

<http://tukes.fi/fi/Palvelut/Tukes-ohjeet/3Painelaitteet/P1-02-Painelaiterekisteri/>

Painelaitteiden kunnonvalvonta P1-2000

<http://tukes.fi/fi/Palvelut/Tukes-ohjeet/3Painelaitteet/P2-00-Painelaitteiden-kunnonvalvonta/>

Painelaitteiden seuranta P2-2000

<http://tukes.fi/fi/Palvelut/Tukes-ohjeet/3Painelaitteet/P1-00-Painelaitteiden-seuranta/>

Painelaitedirektiivin soveltamisohjeita:

http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/3_2009.pdf



3.3 Lait ja asetukset

[Painelaitedirektiivin \(97/23/EY\)](#) velvoitteet on julkaistu Suomessa [painelaitelaissa \(869/1999\)](#) ja [kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä painelaitteista \(KTMp 938/1999\)](#). Päätös (938/1999) sisältää painelaitedirektiivin menettelyt painelaitteiden ja laitekokonaisuuksien suunnittelulle, valmistukselle ja vaatimustenmukaisuuden arvioinnille. Painelaitedirektiivin soveltamisalueen ulkopuolelle jäävät painelaitteita koskevat määräykset, kuten painelaitteen käyttö, korjaukset, muutostyöt ja asennus, on julkaistu [kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä painelaiteturvallisuudesta \(KTMp 953/1999\)](#).

Painelaite tarkoittaa säiliöitä, putkistoja, varolaitteita ja paineenalaisia lisälaitteita. Painelaitteiden osiksi luetaan tarvittaessa myös paineenalaisiin osiin kiinnitetyt osat kuten laipat, yhteen, liittimet, nostokorvakkeet jne. Laitekokonaisuus tarkoittaa valmistajan yhtenäiseksi ja toiminnalliseksi kokonaisuudeksi kokoamia useita painelaitteita. Säädöksiä sovelletaan painelaitteisiin ja laitekokonaisuuksiin, joiden suurin sallittu käyttöpaine (PS) on yli 0,5 bar.

Painelaitelain mukaan painelaite on rakennettava ja sijoitettava ja sitä on hoidettava, käytettävä ja tarkastettava niin, ettei se vaaranna kenenkään terveyttä, turvallisuutta tai omaisuutta. Painelaitteen markkinoille saattajan, esimerkiksi valmistajan tai maahantuojan, on voitava osoittaa, että painelaite sekä sen suunnittelu ja valmistus täyttävät säädetyt vaatimukset. Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt perustuvat moduuleihin (A, ...H1, G), jotka on esitetty [KTM:n painelaitepäätöksen \(938/1999\) liitteessä III](#).

Useimmissa painelaitedirektiivin mukaisissa painelaitteissa vaaditaan CE-merkintä osoituksena vaatimusten täytymisestä. Vaarattomimpiin painelaitteisiin ei tule CE-merkintää.

Painelaitesäädösten vaatimuksia on tarkemmin kuvattu TUKESin julkaisemassa [painelaiteoppaassa](#).

3.4 Hitsauksen laatu



Standardit [SFS-EN ISO 3834-2](#), "Hitsauksen laatuvaatimukset. Metallisten materiaalien sulahitsaus. Osa 2: Kattavat laatuvaatimukset" ja [SFS-EN ISO 17663](#), "Hitsaus. Hitsauksen ja sen lähiprosessien yhteydessä suoritettavan lämpökäsittelyn laatuvaatimukset" ovat hyviä apuvälineitä sekä valmistavassa että korjaavassa hitsauksessa laatutoimintojen hallintaan. Standardi täydentää hitsaavan yrityksen mahdollisesti olemassa olevaa laatujärjestelmää.

3.5 Hitsaajan pätevyydistukset

Korjaustyötä tekevällä hitsaajalla on oltava voimassa oleva pätevyyskoe, joka on teräksille standardin [SFS-EN 287-1](#) mukainen.

3.6 Hitsausohjeet

"Hitsausohjeita tarvitaan hitsauksen aikana hitsaustöiden suunnittelun perustaksi sekä laadun valvontaan. Hitsaus katsotaan erikoisprosessiksi laatujärjestelmästandardien terminologiassa. Laatujärjestelmästandardit edellyttävät yleensä, että erikoisprosessien suorituksessa noudatetaan kirjallisia menettelyohjeita. Hitsausohje (WPS) on asiakirja, joka on hyväksytty jollain seuraavista hyväksymistavoista:

- aikaisempi hitsauskokemus
- hyväksytty/testattu hitsausaine
- menetelmäkoe
- standardihitsausohje
- esituotannollinen koe

ja jossa esitetään vaadittavat hitsausmenetelmän muuttujat toistettavuuden varmistamiseksi tuotantohitsauksessa (otteet standardista [SFS-EN ISO 15607](#)).

Hitsausohjeen käyttäminen luo perustan sille, että hitsi on vaatimusten mukainen, mutta ei sinänsä vielä takaa sitä. Sen käyttö vähentää oleellisesti kuitenkin hitsausvirheitä. Myös lämpökäsittelyä voidaan pitää tällaisena erikoisprosessina, josta pitää olla kirjalliset ohjeet.

Muutamia hitsausstandardeja:

- [SFS-EN 1011](#) osat 1-8 Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuosituksukset
- [SFS-EN 12952-5 Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot. Osa 5: Paineellisten osien valmistus](#)

3.7 Asennus-, korjaus- ja muutostyöt



Käytössä olevien painelaitteiden asennus-, korjaus- ja muutostöissä sovelletaan [kauppa- ja teollisuusministeriön päätöstä painelaiteturvallisuudesta \(953/1999\)](#).

Asennus-, korjaus- ja muutostyön tekevä toiminnanharjoittaja voi käyttää:

- painelaitteen valmistuksessa aikoinaan hyväksyttyä suunnitelmaa ja hitsausohjetta, jos tarkastuslaitos pitää niitä turvallisina ja ne kattavat työn
- tarkastuslaitoksen riittäväksi katsomallaan menettelyllä hyväksymää hitsausohjetta, jos kyse on yksittäistapauksesta
- uusien painelaitteiden valmistuksessa soveltamaansa vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyä
- päätöksessä (953/1999) annettua vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyä.

Hyväksytty laitos ja omatarkastuslaitos tekevät asennus-, korjaus- ja muutostöihin liittyvät tarkastustehtävät. Pysyvien liitosten menetelmien, niitä tekevien henkilöiden ja rikkomatonta aineenkoetusta tekevien henkilöiden vaatimukset ovat samat kuin uusien painelaitteiden valmistuksessa. Toiminnanharjoittaja antaa tilaajalle asennus-, korjaus- ja muutostyön vaatimustenmukaisuusvakuutuksen. CE-merkinnän vaatimusta ei sovelleta.

Painelaitteen vaihtamiseen kokonaisuudessaan, sen erityisen merkittävään muutostyöhön ja kokonaan uuden putkiston asennukseen sovelletaan yleensä kauppa- ja teollisuusministeriön päätöstä painelaitteista (938/1999). Tällöin painelaitteeseen tulee yleensä myös CE-merkintä.

Korjaustyöhön ja asennukseen liittyy seuraavanlaisia asiapapereita:

- korjaussuunnitelma mahdollisine piirustuksineen, hitsaussuunnitelmineen ja lujuuslaskuineen
- tarkastuslaitoksen päätös korjaussuunnitelman tarkastuksesta ja hyväksynnästä
- materiaaliluettelo käytetyistä aineista
- rakenneainetodistukset
- lämpökäsittelytodistukset
- korjausselostus
- valmistuksen valvojan vakuutus
- hitsaajaluettelo ja heidän pätevyytensä
- NDT-tarkastuspöytäkirjat ja röntgenfilmit
- tarkastuslaitoksen hyväksyntä korjaukselle
- vaatimustenmukaisuusvakuutus

Edellä mainituista asiapapereista jää yleensä yksi kappale paineastian omistajalle ja yksi valmistajalle.



Luontevin toimintatapa on se, että korjauksen toimittaja hoitaa hyväksynät ja kyseiseen tapaukseen liittyvän dokumentoinnin.

3.8 Paineekoe

[Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös \(953/1999\)](#) toteaa paineastian painekokeen suorittamisesta:

”Painelaitteen painekokeessa on todettava, ovatko painelaitteen paineenalaiset seinämät koepaineessa tiiviit ja esiintyykö rakenteessa turvallisuutta vaarantavia muodonmuutoksia. Kokeen tekemisessä on otettava huomioon painelaitteen valmistajan mahdollinen ohje.

Paineekoe on tehtävä nesteellä. Koe voidaan kuitenkin tehdä kaasulla, jos nesteellä tehty painekoe ei rakenteellisista syistä ole kohtuudella mahdollinen tai painelaitteessa ei voida sallia pieniäkään nestemääriä. Koe on tehtävä noudattaen tarpeellista varovaisuutta.

Nestepaineekoe on tehtävä vähintään paineella, joka on 1,3 kertaa suurin sallittu käyttöpaine ja kaasupaineekoe paineella, joka on 1,1 kertaa suurin sallittu käyttöpaine. Jos erityiset syyt vaativat, tarkastuslaitos voi hyväksyä käytettäväksi muun koepaineen.

Paineekoe on tehtävä joka toisen sisäpuolisen tarkastuksen yhteydessä. Koetta ei tarvitse kuitenkaan tehdä painesäiliölle ja putkistolle, joiden sisäpuolisessa tarkastuksessa on voitu riittävästi varmistua rakenteen eheydestä ja lujuudesta. Kokeen poisjättämisen perustelut on esitettävä tarkastuspöytäkirjassa ja kokeen poisjättäminen on arvioitava uudestaan jokaisessa seuraavassa sisäpuolisessa tarkastuksessa.”

3.9 Korjauksen luonne

3.9.1 Ennakkoon valmisteltu korjaus

Normaaleihin huoltoseisokkeihin ajoittuviin paineastian korjauksiin valmistaudutaan yleensä riittävän ajoissa ja riittävän suunnitelmallisesti. Hyvällä etukäteisvalmistelulla ja asiantuntemuksella (toimittajavalinta) saadaan aikaan hyvä lopputulos.



Jos korjauskohde tai -tapa on erityisen vaativa tai poikkeuksellinen (esimerkiksi huono luoksepäästävyys tai harvinainen työtapa), voidaan toimittaja velvoittaa tekemään sellainen työkoe, joka vastaa mahdollisimman hyvin korjausolosuhteita joko konepajaolosuhteissa tai tulevalla työmaalla.

3.9.2 Ennalta arvaamattoman tapahtuman korjaus

Tilanne muuttuu oleellisesti, kun joudutaan korjaustilanteeseen yllättäen joko vaurion tai huoltoseisokitarkastuksen seurauksena. Tällöin lähes kaikki ennakkovalmistelut ovat tekemättä. Tällöinkin pitää muistaa lait ja asetukset sekä työturvallisuus. Laitoksilla tulisi olla kattilan jokaiseen eri lämpöpintaan kohtuullinen määrä sellaista varaosaputkea, jolla voidaan korvata vanhaa ja mahdollisesti vaurioitunutta putkea. Yleensä lämpöpintaputki voidaan vaihtaa parempaan (lujempaan) samoilla ulkohalkaisijadimensiolla ja/tai paksummalla seinämällä olevaan putkeen. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että hitsaustyö vaikeutuu ja lämpökäsittely on mahdollisesti tarpeellinen, kun mennään lujempiin ja/tai runsaasti seostettuihin teräksiin. Kattilan käyttäjillä tulisi olla yhteystiedot kattilan toimittajaan, jolloin on mahdollista saada asiantuntevaa teknistä apua ja mahdollisesti materiaaleja kussakin tapauksessa.

Vauriotapauksissa, korjausseisokin aikana, tulisi kiinnittää huomiota niihin tekijöihin, jotka ovat mahdollisesti vaikuttaneet vaurioon. Dokumentointi, esimerkiksi valokuvat, tarkastusraportit ja silmämääräiset havainnot tapahtumapaikalta antavat usein selvyyttä vaurion syistä. Syiden selvitys on tärkeää siksi, että voidaan mahdollisesti poistaa vaurion aiheuttaja tai oleellisin syy, joka on johtanut vaurioon.

3.9.3 Hitsauksen korjaus

Yleisperiaatteena voidaan pitää sitä, että hitsiä voidaan korjata hitsaamalla kaksi kertaa, jos kyseessä on pienehkö hiomalla avattavissa oleva hitsausvirhe. Poikkeuksena valmiiksi hitsatun compound-putken päittäisliitoshitsi, jota ei voi korjata luotettavasti materiaalien sekoittumisen takia.

Korjaushitsauksessa pitää käyttää samaa alkuperäisen hitsin aikaansaamiseksi käytettyä hitsausohjetta. Mikäli ajaudutaan sellaiseen tilanteeseen, jossa lämpöpintaputken hitsi ei täytä laatukriteereitä kahdella korjauskerralla, on perusteltua katkaista alue pois ja asentaa tilalle uusi putki. Tällainen tilanne saattaa helposti



syntyä esimerkiksi silloin, kun hitsisulaan tipahtaa kattilassa olevia suoloja. Myös silloin, kun särö on edennyt hitsialueella lämpöpintaputken seinämän läpi, on hyvän lopputuloksen kannalta varmempaa katkaista kyseinen putki vaurion kohdalta, jotta tarkastuksessa on helpompi löytää kaikki mahdolliset särön haarat.

Pintatarkastuksissa esiin tulleet näyttämät hitsin ja perusaineen liittymässä voidaan useasti poistaa pyöreällä viilalla, kunhan varmistetaan, että kyseessä on pienehkö reunahaava tai jyrkkä palon liittymä. Hiontaa/viilausta pitää jatkaa niin pitkälle, että näyttämät poistuvat. Pyöristämisellä saadaan aikaan myös jouhea jännitysjakautuma, jolloin väsymissärön liikkeelle lähtö ei tapahdu niin helposti kuin terävpohjaisesta urasta.

Jos hionta- tai viilaussyvyys hitsin liittymässä perusaineeseen on niin suuri, että sen perusteella voidaan päätellä näyttämän olevan muuta kuin pelkkä hitsausvirhe, on se merkki jostakin merkittävämmästä ilmiöstä. Kyseessä saattaa tällöin olla materiaalin väsyminen ja väsymissärö. Jotta syy väsymiseen pystytään selvittämään, tulisi tehdä vähintään silmämääräisiä tarkistuksia ympäristöstä, jotta nähdään esimerkiksi sidontojen kunto ja niiden osuus vauriossa.



4 SOODAKATTILATARKASTUKSET

Alkuperäinen teksti: Esa Ilves, Keskeytysvakuutusosakeyhtiö Otso

Päivitetty teksti: Inspecta Oy

4.1 Yleistä

Tämä suositus on tarkoitettu käynnissä oleville laitoksille. Valmistuksessa ja korjauksissa toimitaan tuotestandardien mukaisesti ([Vesiputkikattila SFS-EN 12952, jne.](#)).

Määräaikaista vaatimukset tulevat kauppa- ja teollisuusministeriön [päätöksestä painelaiteturvallisuudesta 953/1999](#). Päätöksen mukaan vähimmäisvaatimus on joka toinen vuosi käyttötarkastus, neljän vuoden välein sisäpuolinen tarkastus ja kahdeksan vuoden välein painekoe. Osa määräaikaistarkastuksista voidaan korvata hyväksytyn laitoksen tarkastuskohdetta varten vahvistamalla kunnonvalvontajärjestelmällä, jos se vaikutukseltaan vastaa määräaikaistarkastusta. Kunnonvalvontajärjestelmästä on [TUKES julkaissut ohjeen P2-2000](#).

Tämä suosituksen lähtökohtana on, että soodakattilalle tehdään tarkastuksia jokaisessa huoltoseisokissa.

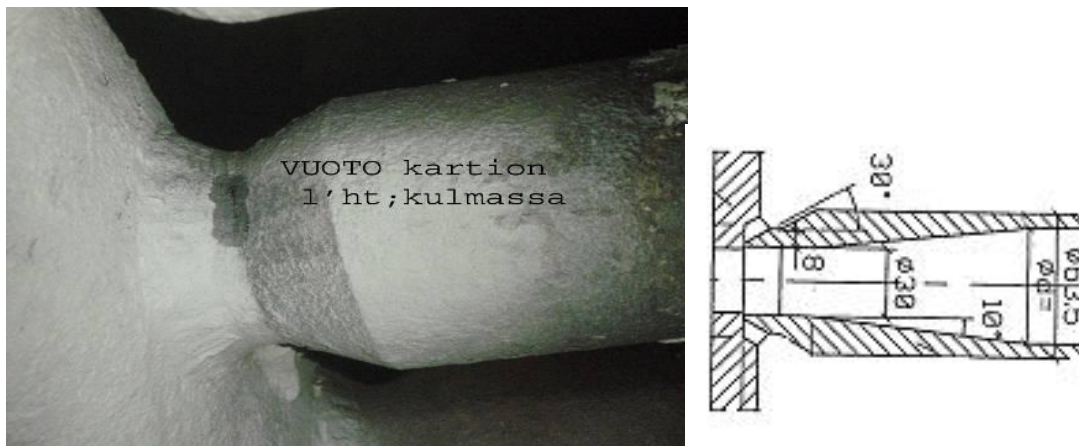
- Soodakattilatarkastuksien onnistumisen perusedellytykset ovat:
- pitkäntähtäimen tarkastussuunnitelmat ja tarkastusohjeet
- pätevoitetyt tarkastajat: EN-pätevyys
- kunnolliset tarkastusolosuhteet: työturvallisuus, telineet, valaistus ja puhdistus
- realistinen aikataulu

Edes 100 %:lla tarkastuslaajuudellakin kohde tulee vain harvoin täysin luotettavasti tarkastettua. NDT-menetelmät ovatkin toisiaan täydentäviä ja vain harvoin toisiaan täysin korvaavia. Esimerkiksi ultraäänitarkastus paljastaa huonosti kolmiulotteiset viat, kuten esim. huokokset. Röntgen on herkkä säteilykeilan suuntaisille tasomaisille vioille, mutta epäherkkä säteilysuunnasta poikkeaville vioille.

NDT-menetelmien avulla voidaan ohjata hitsauksen laatua. On myös järkevää panostaa hitsausvalvontaan, johon tärkeänä osana kuuluvat menetelmä- ja hitsaajakohtaiset työkokeet. Kun tarkastuslaajuus on vähemmän kuin 100 % tulee, vaaditun [tarkastuslaajuuden täyttyä hitsaajakohtaisesti](#).

Valmistuksen aikana tarkastusmenetelmiä ja -laajuutta arvioitaessa on huomioitava viranomaismääräykset sekä kohteen sijainti sulavesiräjähdystä, korjattavuutta ja

käytönaikaisia tarkastuksia ajatellen. Suunnitteluvaiheessa tulee jo arvioida mahdolliset vikaantumismekanismit ja käyttää NDT-asiantuntijoita arvioimaan rakenteiden tarkastettavuus.



Kuva 4-1. Ekonomaiserin jakotukin yhde.

Kuvassa 5-1 on hitsiliitos, jonka luotettava volymetrinen tarkastus NDT-menetelmillä on käytännössä mahdotonta. Valokuvan perusteella vuoto on yhteen perusaineen epäjatkuvuuskohdassa, joka paikantuu hyvin lähellä muutosvyöhykettä (HAZ-alue Heat Affected Zone). Tämän alueen lujuus on muuta rakennetta heikompi ja liikkeestä aiheutuva väsyttävä kuormitus kohdistuu ko. kohtaan. Putken ulkopinnalta alkava putken väsymissärö voidaan todeta magneettijauhetarkastuksella. Jos rakennetta ei muuteta, niin ko. kohteelle on suoritettava pintatarkastus lähes vuosittain.

Laajoissa revisioissa NDT-tarkastuksille pitää olla selkeästi nimetty vetäjä, joka tuntee kattilarakenteet, niiden tarkastettavuuden ja niihin liittyvät vikaantumismekanismit.

Sen lisäksi että tarkastuksista tehdään asianmukaiset tarkastuspöytäkirjat, tarkastuksessa havaitut merkittävät viat/poikkeamat tulee merkitä rasvaliidulla tai vastaavalla kohteeseen, jotta korjaavat toimenpiteet tehdään oikeaan kohtaan ja ajallaan.

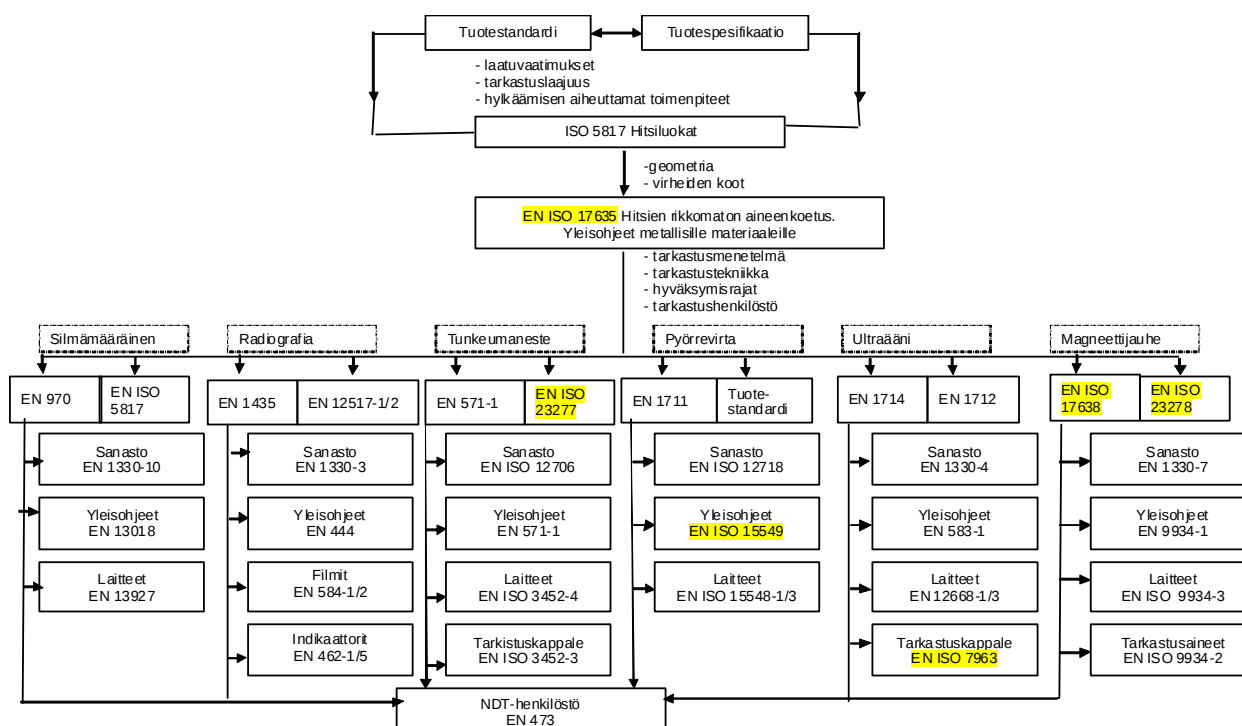
Huoltoseisokin aikaisissa tarkastuksissa menetelmä valitaan sen mukaan, mitä vauriomekanismia ollaan etsimässä. Tarkastuksissa haetaan seuraavia ilmiöitä tai vauriomekanismeja: eroosio, korroosio, väsyminen, viruminen, ylikuumentuminen, jännityskorroosio, korroosioväsyminen, terminen väsyminen, puutteellisen tuennan aiheuttamat raskitukset, väärä vesikemia jne.

NDT-tarkastusmenetelmät ovat vertaavia, eli tarvitaan kalibrointikappale tai vastaava. Tästä syystä vauriotapauksessa on aina syytä ottaa näytekappale ja säilyttää se tulevia NDT-tarkastuksia ja opetusta silmällä pitäen.

4.2 Tarkastusmenetelmät

Yleisesti NDT-menetelmät voidaan jakaa pintatarkastuksiin ja volymetrisiin tarkastuksiin. Tärkeimmät ja yleisimmin käytettävät tarkastusmenetelmät ovat visuaalinen tarkastus, röntgenkuvaus, ultraääni-, magneettijauhe- ja tunkeumaneste- ja pyörrevirtatarkastus.

Yleisellä tasolla NDT-menetelmien käytöstä saa hyvän kuvan standardista [SFS-EN-ISO 17635](#), jossa on annettu suositukset hitsien tarkastamiselle eri materiaaleille ja menetelmille.



Kuva 4-2. Kaaviossa on esitetty vuoden 2010 lopussa voimassa ja työn alla olevat hitsien tarkastukseen liittyvät standardit. Tarkemmin standardit löytyvät linkin (http://www.metsta.fi/standardisointilueet/Kansalliset_komiteat/K89.php) kohdasta NDT standardisoinnin tilannekatsaus. Standardien päivityksestä löytyy myös tietoa MetSta:n nettisivuilta kohdasta [standardisointilueet](#)

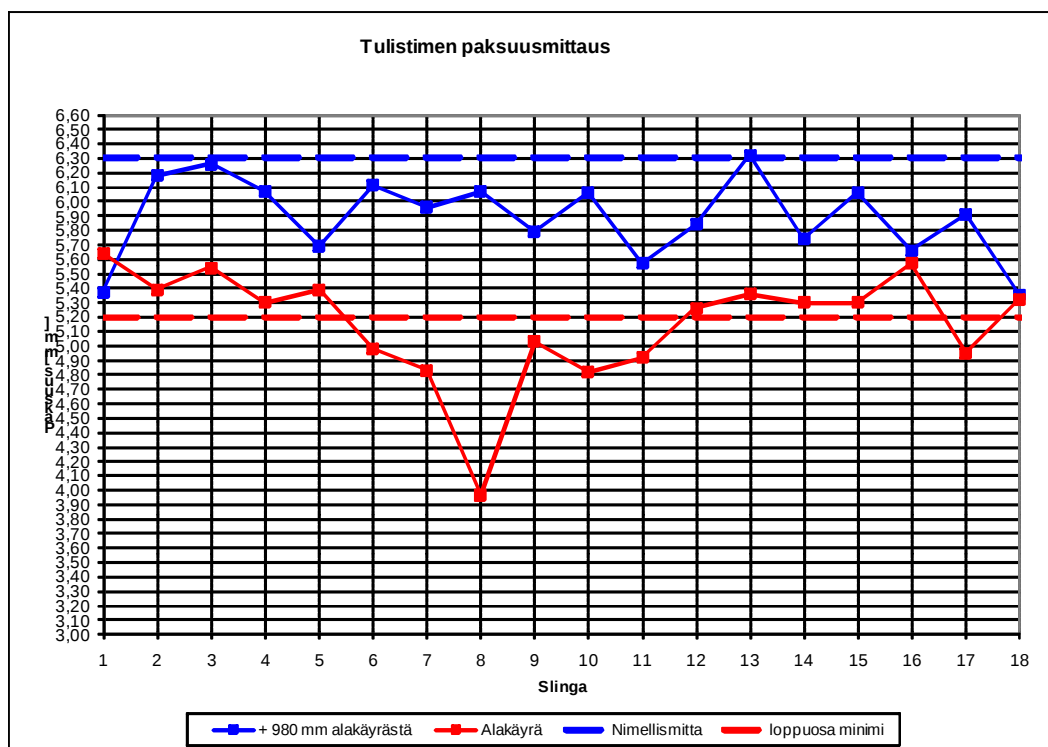
4.2.1 Silmämääräinen tarkastus/VT (visual testing)

- Menetelmistä kaikkein tärkein, jolla havaitaan parhaiten kattilassa tapahtuneet muutokset.
- Hitsien silmämääräinen tarkastus [SFS-EN 17637](#)
- Nykyisin testaajilta vaaditaan EN-pätevyys

- Tekijän on tunnettava kattilan rakenne ja mahdolliset vauriomekanismit
- Vaatii hyvän valaistuksen
- Suurennuslasi ja peili ovat usein välttämättömiä apuvälineitä
- Käytä valokuvausta ja videointia!
- Endoskooppi hyvä apuväline

4.2.2 Paksuusmittaus/ TM (thickness measurement)

- Paksuusmittauksesta on oma standardi [SFS-EN 14127-2 ”Paksuusmittaus ultraäänellä”](#)
- Mittauksissa suositellaan käytettäväksi a-kuvallista mittalaitetta. A-kuvassa x-akseli kertoo näyttämän paikan (aika / mm) ja y-akseli näyttämän amplitudin.
- A-kuva mahdollistaa taustakaiun ja kerrannaiskaikujen vaimenemisen seuraamisen, mikä antaa viitteitä sisäpuolisesta likaantumisen tai korroosiosta.
- Vaativissa mittauskohteissa suositellaan tarkastajalle UT:n EN-pätevyyttä.
- Ohentuminen voi olla epäsymmetristä: esim. seinäputken mittatauksessa mittausikkuna on evästä evään.
- Kohdassa erikoismenetelmät käsitellään muita paksuusmääritys menetelmiä mm. EMAT ja RFET.



Kuva 4-3. Tulistimen paksuusmittaustulokset kaaviona.

Kuvassa 5-3 punainen suoraviiva kuvaa kohteen laskennallista minimiä. Ennen paksuusmittauksien suorittamista on kyseisen kohteen kriittiset rajat selvitettävä tarkastuksien vetäjille ja ennen kaikkea mittauksia suorittaville henkilöille, jotta alimittaisuudesta saadaan välittömästi tieto kattilanomistajalle.

4.2.3 Magneettijauh tarkastus / MT (magnetic particle examination)

- Hitsausliitosten magneettijauhetarkastuksen standardit ([SFS-EN ISO 17638](#) ”[Hitsien rikkomaton aineenkoetus, Magneettijauhetarkastus](#)”. vahvistettu 23.8.2010, vanha SFS-EN 1290).
- Testaajalta vaaditaan EN-pätevyys.
- Pintamenetelmä, jossa kohteen on oltava magnetoituva ferriittinen teräs (hiiliteräs), jolloin lähes aina on suositeltavaa käyttää magneettijauhetarkastusta haettaessa särötyyppejä vikoja.
- Fluoresoiva menetelmä parantaa tarkastuksen herkkyyttä, mutta vaatii hämärän ympäristön ja ultraviolettivalon.
- Magneettijauhetarkastuksessa on myös sovellettu vieruskaapelimenetelmää, joka mahdollistaa ahtaiden kohteiden tarkastamisen ("putkirykelmät").
- Päähöyryputkiston MT tarkastukset on suositeltavaa tehdä fluoresoivalla menetelmällä hiottulle (n 120 Grit) pinnalle, kun etsitään virumisen aiheuttamia säröjä.

4.2.4 Tunkeumanestetarkastus / PT (liquid penetrant examination)

- Hitsausliitosten tunkeumanestetarkastuksen standardit: [SFS-EN ISO 23277](#) ”[Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien tunkeumanestetarkastus. Hyväksymisraajat](#)”. vahvistettu 23.8.2010. Vanha SFS-EN 1289, SFS-EN571-1 ”Rikkomaton aineenkoetus. Tukeumanestetarkastus. Osa 1. Yleisperiaatteet”
- Testaajalta vaaditaan EN-pätevyys.
- Pintamenetelmä, joka soveltuu kaikille muille paitsi huokoisille materiaaleille.
- Paljastaa pintaan asti ulottuvat viat (myös pintahuokokset ja kuonan, jotka eivät näy luotettavasti magneettijauhetarkastuksessa)
- Vaatii pinnan puhdistamisen metallipinnalle.

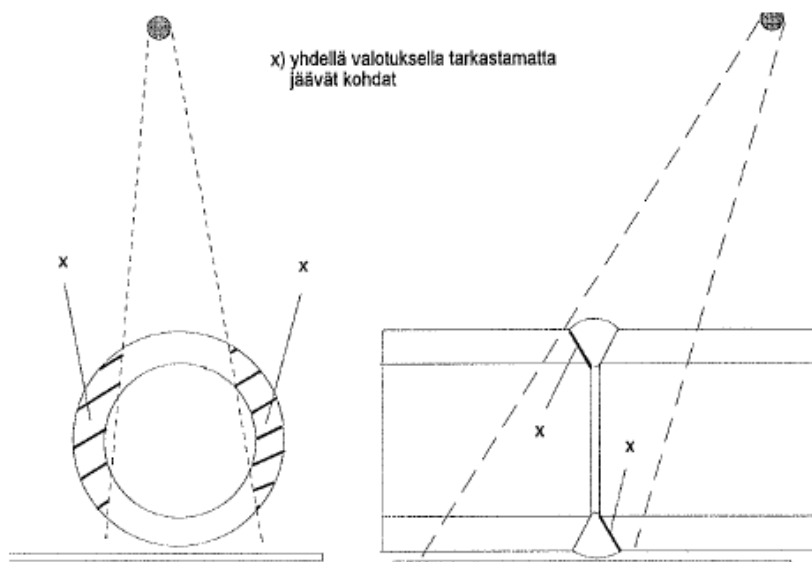
Kattilaolosuhteissa on suositeltavaa käyttää fluoresoivaa menetelmää, joka helpottaa tunkeumanesteen poistoa/puhdistusta erityisesti silloin, kun käytetään vedellä poistettavaa tunkeumanestettä. Riittävä puhtausaste nähdään heti uv-valossa eikä kohdetta tarvitse puhdistaa varmuuden vuoksi, kuten värillisellä menetelmällä joudutaan tekemään. Jos puhtausaste ei ole riittävä, lian aiheuttamat indikaatiot peittävät todelliset viat. Mikäli epäillään esim. kattilapesun aiheuttamaa kosteutta säröissä, niin rakenne on kuivattava. Apuna voidaan käyttää lämmittämistä (vältettävä suoraa liekkiä) tai kehitettä, jolla imetään kosteus ennen tunkeumanesteen levitystä.



Kuva 4-4. Fluoresoivalla tunkeumanesteellä tarkastetun pohjan särönäyttämiä

4.2.5 Radiografia/RT (radiographic examination)

- Standardit:
 - [SFS EN ISO 17636 -1 "Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. Part 1: X- and gamma-ray techniques with film"](#) vahvistettu 4.3.2013
 - [SFS EN ISO 17636 -2 "Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors"](#) vahvistettu 4.3.2013
 - [SFS-EN 12517-1 "Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Osa 1: Teräksestä, nikkelistä, titaanista ja niiden seoksista hitsattujen hitsausliitosten arviointi radiografisella kuvauksella. Hyväksymisrajat"](#).
- Tarkastajalta vaaditaan EN-pätevyys
- Volymetrinen tarkastus, joka soveltuu erityisesti kolmiulotteisten vikojen, kuten huokosten ja kuonan toteamiseen.
- Lineaaristen vikojen, kuten liitosvikojen ja halkeamien suhteen valotus on tehtävä vian suuntaisesti. Kuvassa 5-5 on esitetty ellipsikuvauksessa yhdellä valotuksella tarkastamatta jäävät alueet. Hitsin täysin kattava röntgenkuvaus vaatii 4 valotusta, mikä jo kustannussyistä jää toteutumatta.
- Säteilylähteinä voidaan käyttää isotooppeja, puoli- ja tasavirta röntgen koneita sekä pulssikoneita (digitaalinen)
- Röntgen kuvauksen kohteet kunnonseurannassa ovat mm. korroosiokuvaus myös eristeiden läpi, ruiskujen kunto rakennetta purkamatta, jne.
- Digitaalinen radiografia tulee yleistymään kunnonseurannassa, koska se on reaaliaikaista, nopeampaa verrattuna filmiteknikkaan, rajalliset säteilymäärät ja säteilykeilan suuntaaminen mahdollista.



Kuva 4-5. Ellipsikuvauksessa yhdellä valotuksella tarkastamatta jäävät alueet.

Soodakattilaympäristöön soveltuvana sovelluksena on isotoopilla suoritettu korroosiokuvaus.

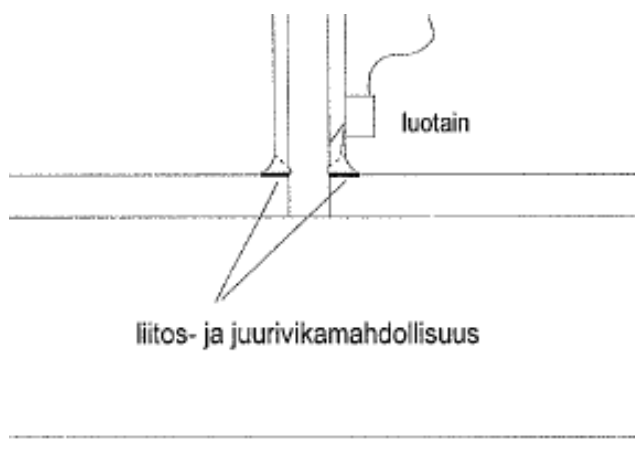
4.2.6 Ultraäänitarkastus / UT (ultrasonic examination)

Standardit:

- [SFS-EN 11666 ”Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus Hyväksymisrajat”](#) (vanha SFS-EN-1712 sekä 1714)
- ”
- [SFS-EN ISO 23279 ” Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien ultraäänitarkastus. Hitsausvirheiden tyypin määrittäminen”](#) (päivitetty 24.2.2010, vanha SFS-EN 1713)

Ultraäänitarkastus on volymetrinen menetelmä, joka paljastaa kaksidimensionaaliset viat, kuten liitosvian ja halkeaman. Lineaarisen vian on kuitenkin oltava lähes kohtisuoraan äänikeilaan nähden, mikä paksummassa aineessa edellyttää useamman luotauskulman käyttämistä. Nykyaikaisella vaiheistetulla UT-tarkastuslaitteistolla mahdollistaa useamman luotauskulman samanaikaisen käytön yhdellä scannauksella. Hitsiin nähden poikittaiset viat vaativat hitsin suuntaisen luotauksen. Hitsien tarkastuksessa UT-menetelmää on syytä täydentää pintamenetelmillä, jotta kaiken suuntaiset pintaviat todetaan.

Ultraäänitarkastusta käytetään nykyisin menestyksekkäästi standardin vastaisesti ohuiden materiaalien (seinämä < 8 mm) tarkastuksessa. Esim. jakotukin ja putken välistä pienaliitosta (kuva 5-6), jossa liitosvian mahdollisuus on suurempi kuin päittäisliitoksessa, ei voida tarkastaa röntgenkuvauksella. Ultraäänitestauksen herkkyys vikojen suhteen (ei herkkä kolmeulotteisille vioille) ei ole sama kuin optimikulmassa tehdyllä röntgenkuvauksella, mutta se on nopeampi suorittaa eikä vaadi kattilan tyhjentämistä muista työntekijöistä. Tarkastuksen luotettavuutta voidaan parantaa magneettijauhe- tai tunkeumanestetarkastuksella ja/tai pistokoeluontoisella röntgenkuvauksella (kuona ja huokoset).



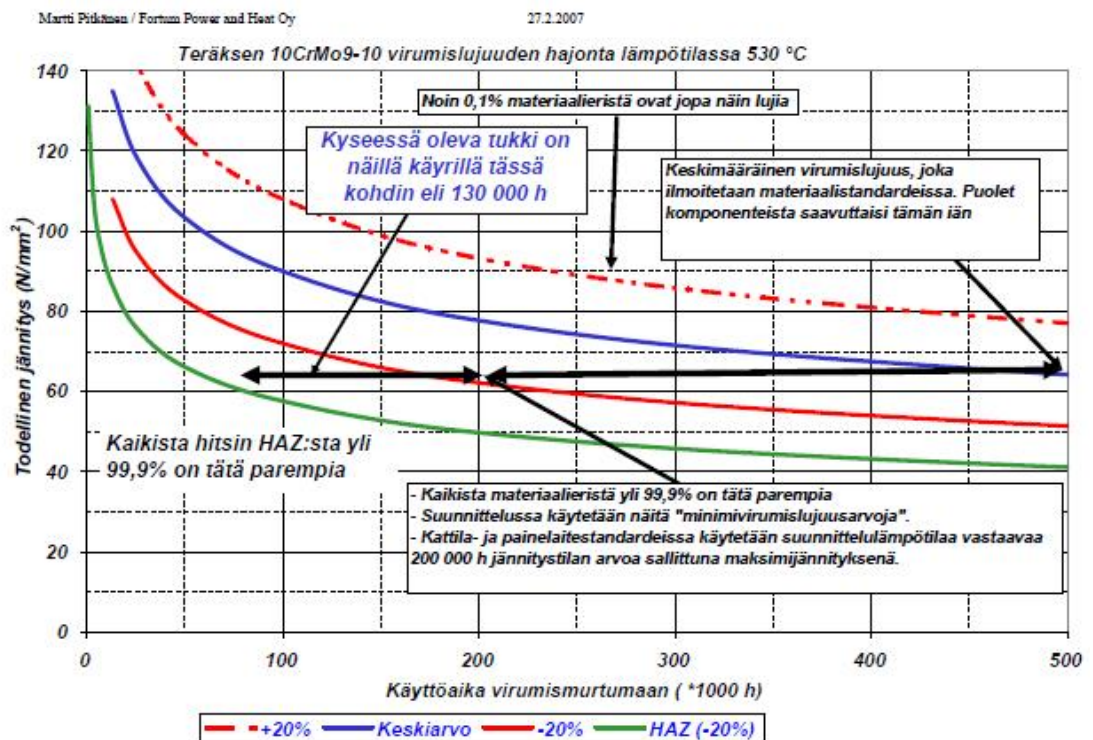
Kuva 4-6. Jakotukin ja putken välinen pienaliitos.

4.2.7 Pyörrevirtatarkastus/ET (eddy current testing)

- [SFS-EN 1711 “Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien pyörrevirtatarkastus kompleksitasoanalyysillä”](#)
- Ei reagoi veteen
- Maalikalvo mahdollinen
- Soodakattilan pohjan pyörrevirtatarkastus
- Pohjan compound-tarkastus
- Särön syvyyden määrittäminen, kalvonpaksuuden määrittäminen
- Suurin käyttö on lämmönvaihtimien putkien sisäpuolisessa tarkastuksessa, kun kyseessä on sähköä johtava metalli
- Käytetään myös pintatarkastusmenetelmänä (myös ferriittinen teräs)
- Erikoissovellutuksina ferriittisen materiaalin tarkastukset kaukokenttä- (RFET) ja magneettinen vuotokenttä (MFL) menetelmillä.

4.2.8 Jäljennemenetelmä/REP (replica)

- Paineastiat ja putkistot
- Virumisasteen arviointi [SFS 3280](#) / [ISO 3057](#) / Nordtest ohjeen mukaisesti.
- Menetelmällä määritetään metallin virumis- ja hajaantumistaso mikrorakenteesta jäljenteen avulla. Viruminen alkaa tyypillisesti yli 450 °C lämpötiloista ja on materiaalista riippuvainen.
- Ennen hitsien jäljennetarkastusta suoritetaan aina magneettijauhetarkastus fluoresoivalla menetelmällä, jolla saadaan lisäarvoa tarkastukseen.
- Jäljennemenetelmällä voidaan paljastaa virumisasteen lisäksi ylikuumeneminen ja selvittää säröilyn syytä ainetta rikkomatta.



© Fortum Power and Heat 2007

Kuva 4-7. 10CrMo9-10 KP-tukin perusaineen ja hitsin virumislujuuden hajonta ja käyttäminen käyttötuntien mukaan. Perusmateriaalille suunniteltu käyttöikä 200 000 h (-20%) saattaa HAZ-alueella pudota jopa alle 100 000 käyttötuntin n 60 N/mm²



jännitystasolla. Syynä tähän HAZ:n heikompi virumislujuus /Fortum Service, Martti Pitkänen/.

Virumisen mukaan mitoitettujen komponenttien hitsien kuntoon pitää kiinnittää erityistä huomiota ja aloittaa tarkastukset kriittisten komponenttien osalta selvästi ennen suunnittelussa käytettyä elinikää. Kriittiset komponentit päähöyryputkistossa ovat mm. T-haarat ja jakotukit, joissa yhdeputken halkaisija on hyvin lähellä itse pääputkea.

4.2.9 Endoskooppitarkastus/END (endoscopy)

- Endoskoopilla tai putkistokameralla päästää tarkastamaan rakenteita ahtaissa kohteissa, kuten putkissa, onkaloissa ja raoissa.
- Menetelmällä täydennetään sisäpuolista tarkastusta
- Nykyisillä endoskoopeilla on mahdollista mitoittaa vikoja ja näyttämiä käyttämällä varjostavia tai stereolinssejä. Samalla ne mahdollistavat videoinnin ja valokuvauksen.

4.2.10 Akustinen emissioseuranta / AE (acoustic emission)

- Paineekokeiden ja rakenteiden käytönaikainen valvonta
- Voidaan käyttää rakenteen kuunteluun säröilyn ja rasiuksien toteamiseksi sekä atmosfäärin kuunteluun vuotojen ilmaisemiseksi. Putkirikko kasvaa vuodon seurauksena ja pienikin vuoto voi aiheuttaa viereisen putken vaurioitumisen, mikä lisää esim. sulavesiräjähdyriskiä.
- Rakenteen kuuntelu tehdään aaltotankojen (hitsattu putkeen) välityksellä. Ne mahdollistavat antureiden asennuksen eristeen ulkopuolelle ja samalla pudottavat antureiden lämpötilaa.
- AE-seuranta auttaa ohjaamaan muiden tarkastusmenetelmien käyttöä.
- Antaa tietoa ajokäyttäytymisen vaikutuksista ja siitä, missä vaiheessa käyttöä vioittuminen mahdollisesti tapahtuu.

4.2.11 Lämpökuvaus (thermography)

- Lämpökamera mittaa kohteiden lähettämää lämpösäteilyä (infrapuna-aallonpituus), joka voidaan muuttaa lämpötiloiksi kalibroinnin avulla.
- Voidaan käyttää laajasti kunnonseurannassa laitoksen käynninaikana.
- Lämpökuvaus on nopea menetelmä tarkastella laajoja alueita ja useita kohteita samanaikaisesti.
- Lämpökameran käyttö edellyttää menetelmän syvällistä osaamisesta (emissiivisyys, lämmönsiirtyminen...)
- On käytetty mm. kattilan täytön seurannassa.

4.2.12 Kovuusmittaus/HT (hardness test)

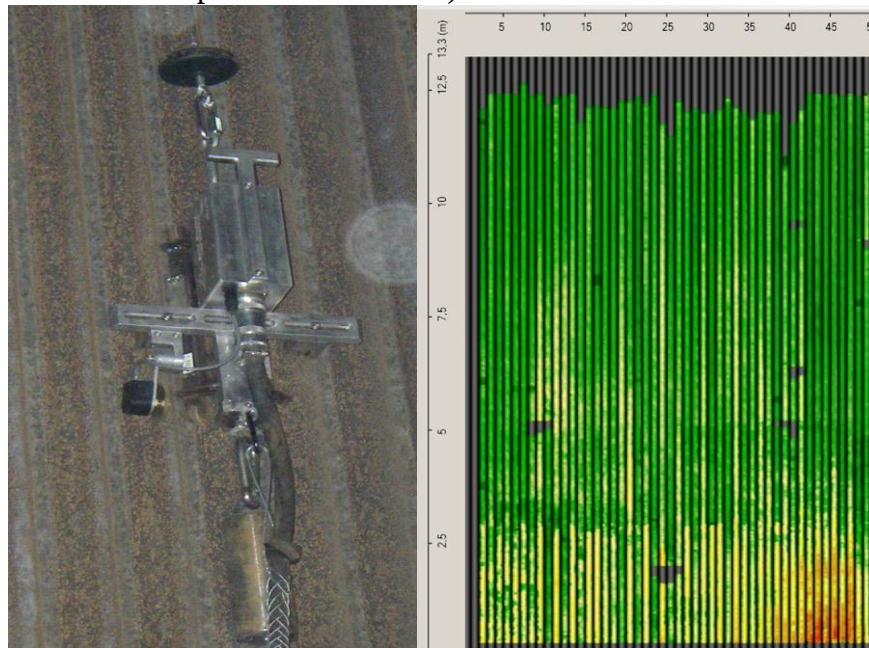
- Kovuusmittaus korreloi hyvin mittauskohteen lujuusominaisuuksien kanssa.
- Kovuusmittaustulokset kertovat materiaaliteknisistä muutoksista esim. vauriotilanteissa.
- Hitsauksen laadunhallinta (HAZ kovuus piikit) päähöyryputkistossa.

- Kovuus mittaamenetelmä pitää valita kohteen mukaan (materiaali, ainevahvuudet jne..)
- Pinnanlaatu vaikuttaa oleellisesti mittaustulosten hajontaa, minkä tähden pitää pyrkiä vähintään 220 karheuteen.
- Tarkempia tietoja ja sovellusohjeita eri menetelmistä löytyy laitevalmistajan sivuilta.

4.2.13 T-Scan paksuusmittaus

Kattilan seinämät ja tulistimet ovat mahdollista paksuus mitata suurella laajuudella (lähes 100 %:sti) käyttämällä T-Scan tekniikkaa.

- Tekniikka perustuu EMAT-antureihin (Electro Magnetic Acoustic Transducer), joissa ei tarvita erillistä kytkentäainetta.
- Tarkkuus sama kun perinteisellä UT:llä
- Kattilan seinämäputkien paksuudet voidaan mitata kolmella mittalinjalla, joista jokainen mittaa 15 mm leveää kaistaa
- Mittaustiheys jopa 1 mm välein.
- Menetelmä on erittäin herkkä asteittaiselle kulumiselle.
- Voidaan tarkastaa putkia jotka ovat pinnanlaadultaan huonoja – ilman hiontaa.
- Menetelmällä on mahdollista tarkastaa pinnoitettuja ja compound putkia (ferriittistä materiaalia pitää olla kohteessa)



Kuva 4-8. T-scan laitteisto kattilan seinällä ja Client ohjelmiston tuottamaa visuaalista paksuusmittaustulosta tarkastuksista.

4.2.14 IRIS-tekniikka

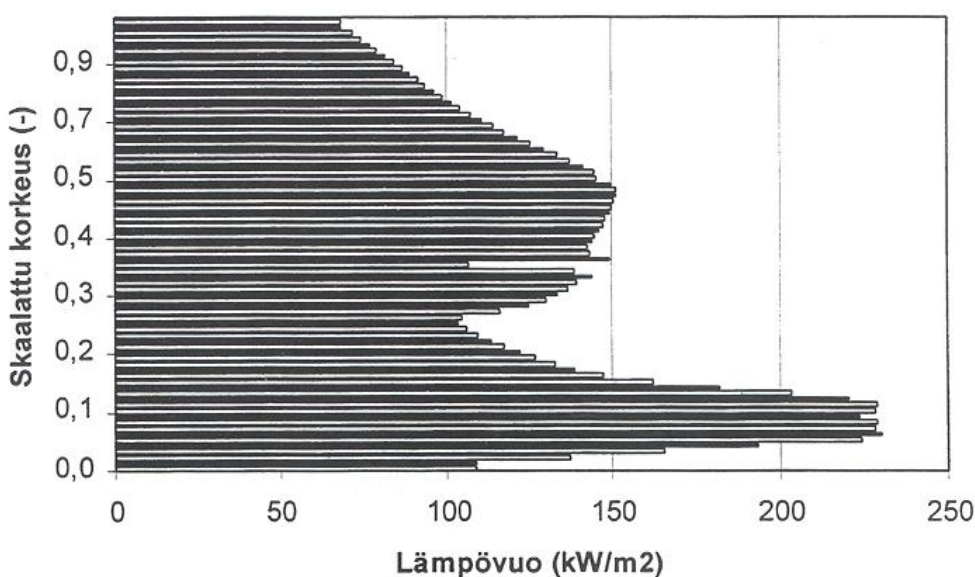
- Ultraäänitekniikkaan perustuva menetelmä, joka soveltuu ferriittisten tuubien sisäpuoliseen tarkastukseen
- Putken suunnassa lähetetty ääni käännetään peilin avulla putken seinämän suuntaan putken ollessa vesitäytössä ja peiliä pyöritetään vesiturpiinilla tai sähköisesti.

- Menetelmä on tarkempi kuin pyörrevirtamenetelmällä tehty tarkastus, mutta huomattavasti hitaampi ja työläämpi.
- Iris-anturi tulee olla kohtuullisesti, mitattavan putken kokoinen

4.2.15 Sisäpuolisen kerrostuman / magnetiittikalvon paksuusmittaus

Kattilaputken sisäpintaa suojaa normaalisti magnetiittikerros, jonka paksuus vaihtelee 10 μm :stä 200 μm :iin. Vedenkäsittelyongelmat voivat kasvattaa magnetiittikalvon paksuutta tai aiheuttaa erilaisista epäpuhtauksista koostuvan kerrostuman, jonka alle saattaa syntyä korroosioaurio, mikä pahimmillaan on aiheuttanut ns. vetyhyökkäyksen.

Vetyhyökkäysriski on pahin siellä, missä lämpökuorma on suurin. Kuvassa 5-9 on lämpövuon jakautuminen etuseinän keskellä primääritason alapuolelta noka tasolle kattilassa, jossa perinteisesti laskettuna keskimääräinen lämpövuoto 90 kW/m^2 . Kuvan mukaan primaari-ilma-aukkojen alueella lämpövuoto ylittää 230 kW/m^2 .



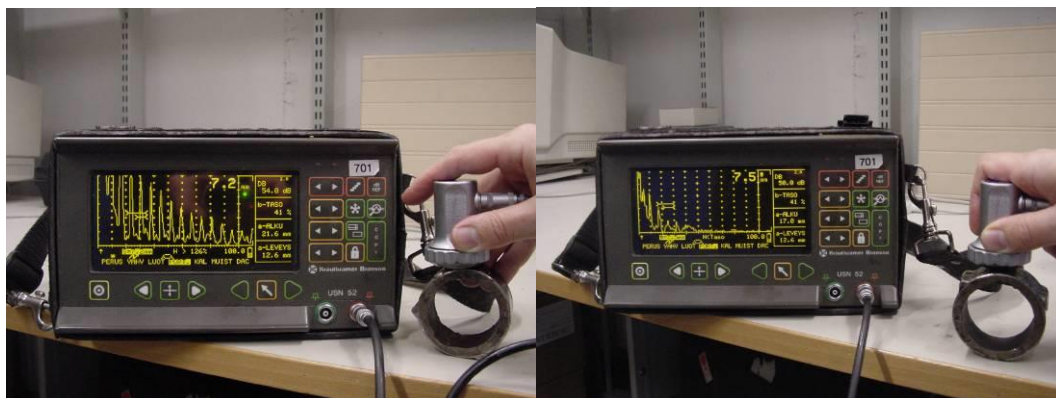
Kuva 4-9. Lämpövuon jakaantuminen kattilan etuseinällä.

Korroosioaurioita on todettu kohdissa, jossa virtaus häiriintyy. Tällaisia paikkoja ovat aukkojen ohitusputket (käyrät) ja hitsien vierusalueet, jonka syynä ovat ylisuuret juurikuvut. Vaurioriskiä lisää ylileveät evärakenteet, jotka kasvattavat paikallista lämpövuotoa.

Vetyhyökkäys aiheuttaa aina sulavesiräjähdyksriskin ja mittavat korjaustoimenpiteet.

Ilmiötä voi tutkia ultraäänimenetelmillä seuraavasti:

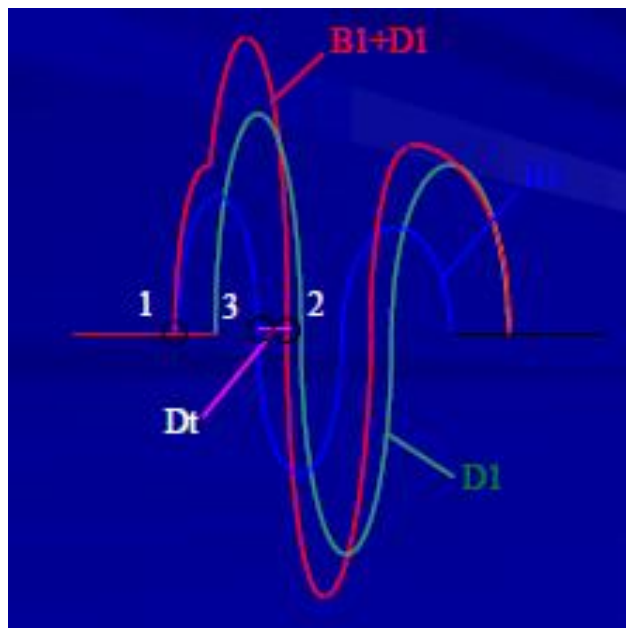
Alkava sisäpinnan korroosio tai paksu epäpuhtauksista koostuva kerros vaimentaa ultraääntä voimakkaasti. Normaalisti ultraäänilaitteen a-näytössä näkyy useampi taustakaiku kuten kuvan 5-10 vasemman puoleisessa a-näytössä. Jos korroosiovaihe on alkanut tai sisäpinnalla on paksu epäpuhtauksista koostuva kerros, niin taustakaiut vaimenevat voimakkaasti kuten kuvan oikean puoleisessa näytössä. Vaimennuksen arviointi vaatii kuitenkin tarkastajalta kokemusta, sillä vaimennukseen vaikuttaa ulkopinnan kunto/puhtaus ja käyrissä geometria.



Kuva 4-10. A-näytöt ehjästä putkesta ja vetyhyökkäyskohdalta.

Kerrostuman tarkempi määrittäminen perustuu kahteen ultratekniikkaan. Sisäpuolisen magnetiitin paksuuden määrittämisen mittaustekniikka perustuu korkeaan taajuuteen ja poikittaiseen aaltomuotoon. Poikittainen aaltomuoto mahdollistaa ohuemman kalvonpaksuuden mittaamisen. Tällä menetelmällä on voitu mitata magnetiittipaksuuksia 80 µm:stä ylöspäin.

Toinen kerrostuman paksuuden mittaaminen perustuu siihen, että kerrostuma-ilman/veden rajapinnasta heijastuva aalto levittää signaalia verrattuna puhtaasta metalli-ilma/vesi signaaliin, katso kuva 5-11. Tässä mittauksessa käytetään pitkittäistä aaltomuotoa ja menetelmällä luvataan päästävän jopa 20–40 µm minipaksuuteen.



Kuva 4-11. Ultraäänikaikujen käyttäytyminen saostuma/putki rajapinnassa

Molemmat tarkemmat mittaustavat vaativat erillisen kalibrointipalan, jolla varmennetaan äänennopeus kerrostumassa.

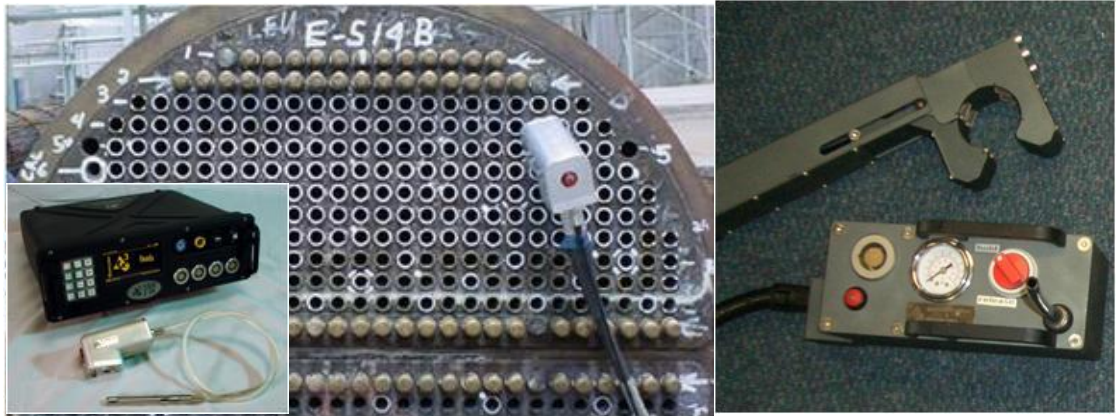
Sisäpuolisen kerrostuman mittauksissa on muistettava, että ongelmakohdat saattavat olla hyvin paikallisia. Jos kattilassa todetaan epäpuhtauksia ja edellä olevat mittaustavat antavat viitteitä sisäpuolisista kerrostumista, niin varmin tapa on ottaa kattilasta näytepalat, joista mitataan laboratoriossa kerrostumien paksuus ja koostumus. NDT-menetelmät kohdistavat näytepalojen oton ongelmakohtiin.

4.2.16 Guided Wave

Guided Wave tekniikka perustuu ultraääneen, joka on matalataajuisia ja etenee materiaalin pinnansuuntaisesti. Guided Wave on suuntaa-antava menetelmä, jota on hyödyllistä käyttää putkistojen ei luoksepäästävässä osissa. Guided Wavella saadut mittatulokset on hyvä tarkastaa lähemmin esimerkiksi käsivaraisilla laitteistoilla. Guided Waven vahvuus onkin saada suuntaa-antavaa tietoa, mistä kohdin esim. maanalaiset putkistot on syytä kaivaa esiin ja tarkastaa lähemmin.

- Menetelmä havaitsee muutoksia putkien poikkipinta-alassa.
- Tekniikan herkkyys on 5 % poikkipinta-alasta.
- Tekniikalla on mahdollista luodata jopa satoja metrejä anturipannasta molempiin suuntiin.
- Testaus tehdään normaalisti asentamalla kiinteä tai ilmatäytteinen lähetinrengas putken ulkopinnalta.

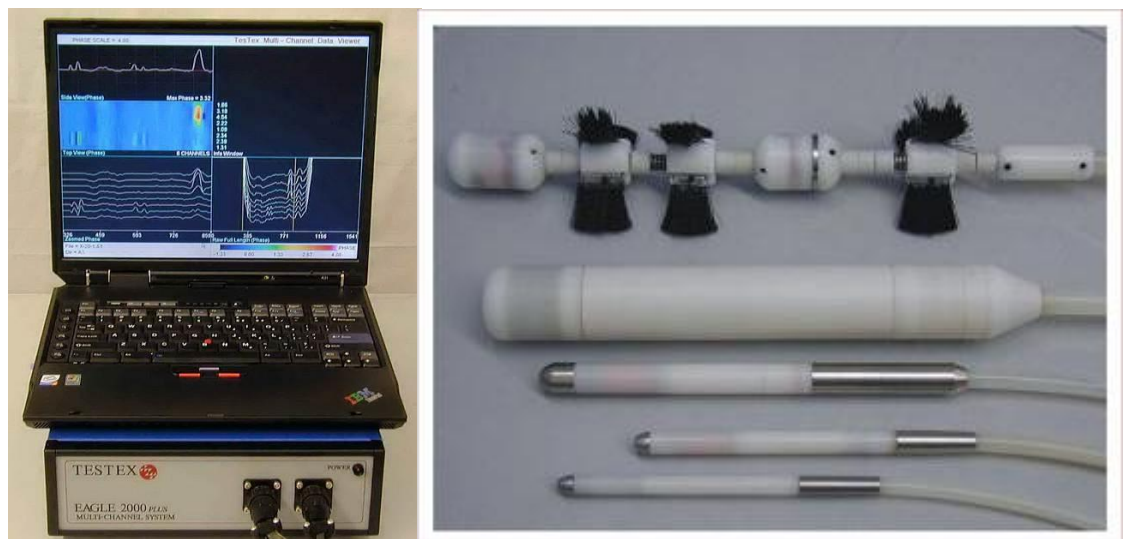
Tekniikan uusia sovelluskohteita on mm. lämmönsiirtimien tarkastaminen synnyttämällä ultraääni putken sisäpinnan kautta. Guided Wavesta on olemassa samantyyppisiä sovelluksia, kuten Iris-tarkastuksessa, mutta GW on enemmänkin suuntaa-antava sovellus ja Iris on näistä kahdesta menetelmästä se tarkempi.



Kuva 4-12. Guided wave laitteiston sovelluksia lämmönvaihtimelle sekä tuubiputkistolle /Guided ultrasonics ltd/.

4.2.17 RFET (kaukokenttämenetelmä pyörrevirtatekniikalla, Remote Field Electromagnetic Technique)

Sisäpuolinen pyörrevirtatarkastus ferriittisille putkille, jolla voidaan todeta laaja-alaiset ohentumat (esim. nuohojen aiheuttama kuluma). Esimerkiksi keittopintaputkien ohenemien mittaaminen.



Kuva 4-13. RFET laitteisto putkiston tarkastukseen /Testex Incorporation/

4.2.18 Magneettinen vuotokenttätarkastus (MFL)

Tarkastettava kohde magnetoidaan kestopagneetilla ja ylä- tai alapinnalla olevien vikojen synnyttämä magneettinen vuotokenttä havaitaan Hall-anturilla. Erityisen



käyttökelpoinen menetelmä on pistesyöpymien ja paikallisten korroosiovaurioiden paikantamiseen silloin, kun kohde on ferromagneettista materiaalia 6-20 mm paksuusalueella. Menetelmällä paikannetaan vikakohdat, joiden tarkempi analysointi suoritetaan esim. ultraäänimenetelmällä. MFL:n tarkastusherkkyyys on riippuvainen kohteen paksuudesta. Menetelmä ei ole herkkä havaitsemaan tasaisesti ohentunutta laaja-alaista syöpymää. Tänä päivänä löytyy laitteita, joissa on yhdistetty ET- ja MF-tekniikka.

4.2.19 Jäännös jännitystilat

Materiaalin jäännösjännitystiloja voidaan mitata ainetta rikkomatta. Mittausmenetelmät perustuvat barkhausenin-kohinaan ja röntgendiffraktioon.

Barkhausen-kohina on materiaalista mitattava magneettinen parametri. Se on riippuvainen jäännösjännityksistä. Menetelmä vaatii kalibrointipalat, joihin tarkastuskohdetta verrataan.

Röntgendiffraktio menetelmässä mitataan jännitysten kiteisessä metallissa synnyttämien siirtymien aiheuttamia muutoksia hilavakioissa. Tutkittavaan näytteeseen kohdistetaan röntgensäde kahdessa kulmassa. Intensiteetinhuippukohdan ja muodon perusteella voidaan laskea vastaava jännitystila. Mittausherkkyyys on noin 50 N/mm^2 .

4.2.20 Ainetta rikkoivat tarkastukset

Vauriotapauksessa ja materiaaliselvityksissä on aina syytä ottaa kunnolliset näytepalat, joita voidaan myöhemmin laboratoriossa tutkia. **Näytepalojen turhaa puhdistusta ja käsittelyä on vältettävä. Jos mahdollista on näyte irrotettava sahaamalla, jotta materiaaliominaisuudet eivät muutu.** Riittävän taustatiedon kerääminen on erittäin tärkeää, joka korostuu vauriotapauksissa.

4.3 Tarkastettavat kohteet

Liitteessä I on esitetty luettelomaisesti seisokinaikaiset tarkastuskohteen, vikaantumismekanismin ja soveltuvan tarkastusmenetelmän mukaan.

Listaus on suuntaa antava, eikä voi olla täydellinen, kun otetaan huomioon kattiloiden ikäjakama sekä erilaiset rakenteet ja ajotavat.



4.4 Vesipainekoe korjausten jälkeen

Kattilan korjauksen jälkeen yleensä suoritetaan painekoe, jolla varmistetaan kattilan tiiveys ja käytettävyys ennen starttia. Painekokeen suorituksessa voidaan soveltaa standardin [SFS-EN 12952-6](#) kohtaa 10.2 kuitenkin siten, että painekokeen koepaine on enintään 1,3 X suurin sallittu käyttöpaine. Koepainetta määritettäessä voidaan huomioida korjauksen laajuus ja kohta (tulipesä, tulistin tai ekonomaiseri), seuraavaan määräaikaistarkastukseen liittyvän painekokeen ajankohta jne. Vähintään koepaineen pitäisi olla 1.1 X suurin sallittu käyttöpaine.

Painekokeessa käytettävän veden lämpötilaa määritettäessä tulee ottaa huomioon kattilan materiaalien haurasmurtumavaara ja vanhempien kattiloiden osalta voidaan joutua ylittämään em. standardin yläraja +50 °C.

Painekokeessa koepaineen tasaannuttua tarkastetaan silmämääräisesti paitsi korjauskohdat myös kattilan painerunko mahdollisten vuotojen havaitsemiseksi, joita ei NDT-menetelmillä ole havaittu tai jotka ovat syntyneet painekokeen yhteydessä. Kattilan sisäosien tarkastuksessa tulee huomioida työturvallisuus ja laskea koepaine arvoon, jossa tarkastus on turvallista tehdä.

Painekokeessa käytettävän veden lämpötila, koepaine ja mihin arvoon paine sisäpuolen tarkastuksessa lasketaan sovitaan tapauskohtaisesti painelaitetarkastajan kanssa.

4.5 Dokumentointi

Kaikista tarkastuksista, mukaan lukien silmämääräiset ja toteamisluontoiset tarkastukset, on tehtävä selkeät pöytäkirjat ja raportit, joista selviää erityisesti korjaustarpeet. Korjauskohdat on myös merkittävä selvästi itse kohteisiin, jotta korjaukset kohdentuvat varmasti oikeisiin paikkoihin.

Pöytäkirjat on syytä tehdä heti tarkastuksen jälkeen, jolloin asiat ovat vielä tuoreessa muistissa. Tarkastuksista ja korjauksista tulee tehdä yhteenveto, joka auttaa myöhemmissä tarkasteluissa.

Dokumentointiin on saatavissa ATK-ohjelmia, joihin voidaan liittää mm hitsausohjeita, pitkäntähtäimensuunnitelmia jne.

LIITTEET

Liite 1 Komponenttikohtaiset suositukset NDT-tarkastuksille



5 SOODAKATTILAN VAURIOT

Kappaleessa käsitellään soodakattilan tyypillisiä vaurioita ja syitä niiden syntymiseen. Tiedot on kerätty Soodakattilayhdistyksen vauriotietokannasta.

5.1 TULIPESÄ

Kompound-putkien säröilyä esiintyy soodakattilan alaosassa tyypillisesti kolmessa eri paikassa: pohjanputkissa sekä ilma- ja sula-aukoissa. Tarkastuksissa ja vauriotutkimuksissa on todettu, että säröillä on esiintymispaikasta riippumatta samoja luonteenomaisia piirteitä. Säröjä on todettu putkien ylä- ja sivupinnoilla sekä putkia yhdistävissä evissä että evä-putkihitseissä.

5.1.1 Pohja

5.1.1.1 Pohjan säröt

Havaituista pohjan putkien ja evien säröistä suurimman osan on todettu johtuvan jännityskorroosiosta.

Mahdollisia syitä säröilyyn:

- Jos pohjan säröt ovat kannatuspalkin reunan kohdalla, kannatusten aikaansaamalla vetojännityksellä on merkitystä jännityskorroosion syntyyn.
- Jos säröjä esiintyy reunoilla sularajalla ja käynnistyspolttimilla voi olla merkitystä säröilyyn.
- Jos kattilan pohja on ollut pitempiä aikoja kuivaamatta, vesipesun mahdollisuus säröjen aiheuttajana kasvaa.
- Reunaputket ovat alttiimpia kiertohäiriöille. Kiertohäiriön havaitsemiseksi putkistoon on asennettu virtausmittauksia.
- Pällehitsauksen aikana esiintulleet uudet säröt eivät välttämättä johdu siitä että hitsaus aikaansaanut uusia säröjä vaan jännitykset avasivat jo aiemmin syntyneitä säröjä jolloin ne voitiin löytää

HR11 materiaalin säröily ([vaurioilmoitus 4/2007](#))

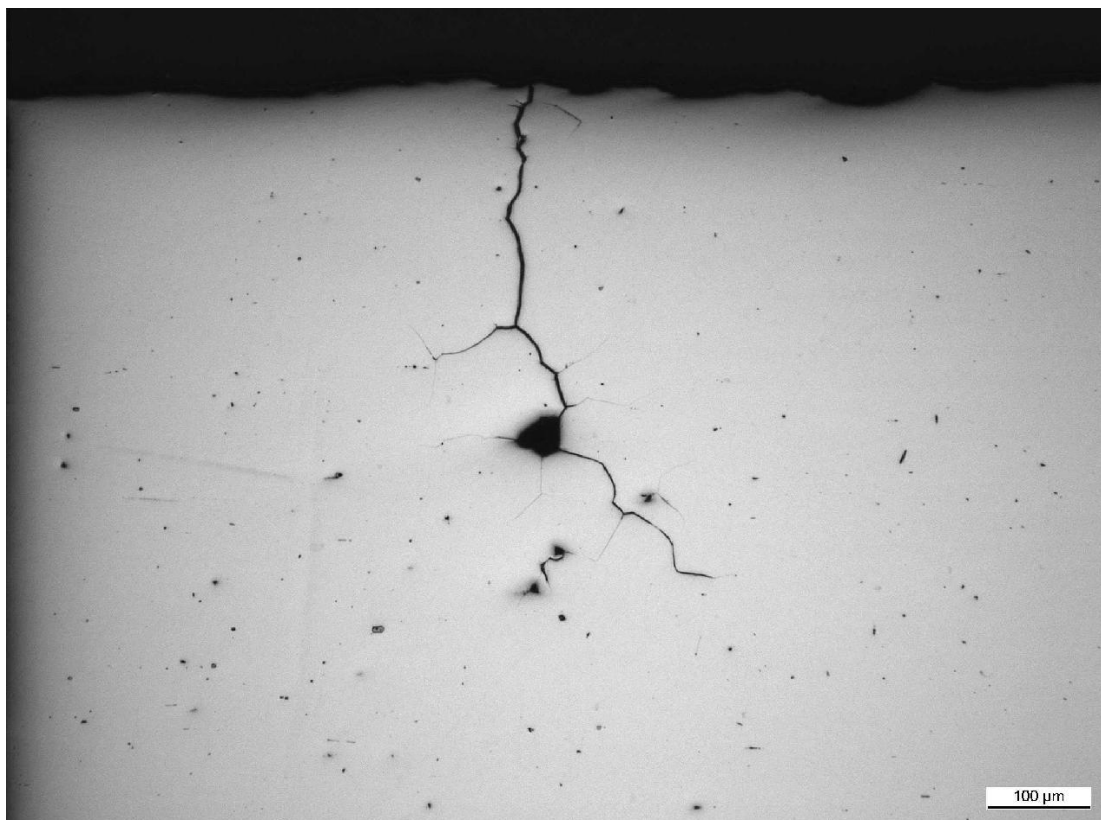
- Rutiinitarkastuksessa havaittiin HR11 pohjaputkien evämateriaalina käytetyssä Alloy 825 säröjä, Kuva 6-1.
- Tutkimusten mukaan evämateriaalin säröilyn syy on raerajajännityskorroosio (IGSCC, intergranular stress corrosion cracking), mutta sen aiheuttajasta ei ole varmuutta.
- Metallogristen tutkimusten mukaan evämateriaali ei ole herkistynyt pohjapaneelien hitsauksen yhteydessä tai käytönaikana.
- Vajaaksi jääneellä liuotushehkutuksella ei ilmeisesti ole ollut vaikutusta säröilyyn, sillä kaikki todetut säröt etenevät nykyisen rakenteen raerajoja pitkin.
- Käyttökokemukset Alloy 825 tyyppisistä compoundputkista soodakattiloissa ovat hyviä. Tähän mennessä Alloy 825 compound pohjaputkissa tai evissä ei ole

havaittu säröjä. Hyvin pieniä säröjä on havaittu muutamien kattiloiden sula-aukkojen putkissa, mutta ei evissä.

- Säröjä on myös havaittu kahdessa kattilassa primääri-ilma-aukkojen alaosissa.
- Tyypillistä kaikille tähän mennessä havaitulle säröille on ollut se, että ne ovat edenneet rakeiden läpi, eikä raerajoja pitkin. Soodakattiloissa käytössä olevista kompondputkimateriaaleista raerajoja pitkin eteneviä säröjä on tähän mennessä todettu vain voimakkaasti kylmämuokatussa Alloy 625 materiaalissa.

Kestoisuustyöryhmän lausunto:

- Pohja-alueet tulee tarkastaa, vaikka pohjamateriaali olisi Sanicro 38 tai vastaava materiaali.
- Vaurioon voi olla vaikutusta evän leveydellä, joka on suurempi kuin uudemmissa kattiloissa.



Kuva 5-1. Esimerkki poikkileikkaushieessä todetuista tyypillisistä haarautuneista suurista säröistä.

Kattilan katosta pudonnut kami vaurioitti pohjaputkia ([Vaurio-ilmoitus 2/2001](#))

- Kattilan ollessa pullotettuna n 13 tuntia pohjalle putosi tulipesän katosta kami joka taivutti pohjaputkiston ja kannatuspalkit.
- Pohjan osittainen uusiminen, kannatusten vahvistaminen ja nuohointen lisääminen harkinnassa.

Kestoisuustyöryhmän lausunto:

- Kamin todettiin muodostuvan useimmissa tapauksissa tulipesän katon läpimenokohtaan tulistimen tai verhon läpimeno), ei etuseinän ja katon kulmaan kuten joskus on oletettu.

- Tehtaiden on kiinnitettävä huomiota tulipesän yläosan kamin muodostumiseen ja sen poistamiseen.
- Kamin muodostumista tulisi seurata siirtymällä aika ajoin, mahdollisuuksien mukaan, öljytulille ja tekemällä silmämääräistarkastus



Kuva 5-2. Taipuneet pohjaputket ja kannatuspalkki

5.1.1.2 Kamparauta

Vielä 1990-luvulla sattui sulavuotoja seinän ja pohjan välisen tiivistelevyn (kamparauta) takia. Tyypillisesti kamparaudan todettiin palaneen puhki konstruktiosta johtuen. Lisäksi havaittiin muutamia hitsausvirheitä, missä kamparauta oli hitsattu heikosti evään kiinni ja kamparaudan ja pohjan väli oli liian suuri sekä massaus massakotelon sisällä oli irronnut pohjasta aiheuttaen raon.

Soodakattilan vesipesut aiheuttavat myös sen, että massakotelojen rakojen kautta vesi syövyttää ja heikentää massauksia, jos ko. rakoja on kotelossa. Sularännin massauksissa on tärkeää tehdä työvaiheet massauksien kannalta oikein sekä käyttää sellaista massaa, joka ei kutistu eli ei tee rakoja.

5.1.1.3 Kouruvauriot ja niiden ympäristö

5.1.2 Seinät

- Hiiliteräksen ja ruostumattoman teräksen rajapinta
- Primääriaukon ohitusputket



5.1.3 Katto

5.2 VERHOPUTKISTO

5.3 TULISTIN

5.3.1 Ruiskujäähdyttimet

Ruiskujäähdytin hajonnut ([Vaurioilmoitus 11/2008](#))

- Soodakattilan tertiäritulistinelementin vaihdon yhteydessä suoritettiin tertiäritulistimen jakokammion endoskooppitarkastus.
- Tarkastuksessa havaittiin rikkoutuneen ruiskun osia kammion pohjalla.
- Ruiskujen kuvauksissa todettiin kahden ruiskun rikkoutuneen.
- Irronneet osat poistettiin jakokammioista ja ruiskut korvattiin väliaikaisilla ruiskuilla. Kaikki ruiskut vaihdetaan seuraavassa seisokissa.

Kestoisuustyöryhmän lausunto:

- Tyypillinen vaurio ruiskujäähdyttimellä, jossa ruiskutuskartio ruostumatonta terästä.
- Rakenne on tarkastettava säännöllisesti ja mahdollisuuksien mukaan korvattava muulla lämmönkestävällä materiaalilla.

5.4 KONVEKTIO-OSA

5.5 LIERIÖ

5.6 EKONOMAISERI

5.6.1 A- ja B-putket

5.6.2 Evän päät/kavennukset

5.7 LIUOTTAJA

Sulavesiräjähdyksen liuottajalla ([Vaurioilmoitus 13/1997](#))

- Kattilalla ollut sulakourujen tukkeutumisongelmia. Kourut saatiin välillä auki. Kattilassa ei ollut isoa kekoa, pikemminkin tulipesän pohja oli sulan peittämä.
- Sulakourut tukkeutuivat niin, että ajoittain oli vain 2/4 kourua osittain auki. Lopulta saatiin tukkeessa olleet 2 keskimmäistä sulakourua auki, jolloin sulantulo kattilasta ryöstäytyi valloilleen. Sulantulo oli niin voimakasta, että liuottaja täyttyi ja sulavesiräjähdyksiä tapahtui sulakouruilla ja liuottajalla.
- Räjähdyksen seurauksena sulaa roiskui ympäriinsä liuottajan ja sulakourujen alueella. Roisku sula sytytti kaapeleita yläpuoliselta n. 3,5 metrin korkeudella olleelta kaapelihyllyltä ja vaurioitti laitteita liuottajan alueella.
- Kattilaa ei pikapysäytetty eikä pikatyhjennetty.

Kestoisuustyöryhmän lausunto:



- Seisokissa pesty, pesuvedet puskuri altaaseen.
- Suolavesi ajettiin haihduttamolle. Orgaaninen aine loppui. Ajotapa virhe.

5.8 VESI- JA HÖYRYPUOLEN VAURIOT

5.9 ILMAN ESILÄMMITTIMET

5.10 MUUT

5.10.1 Kaasuräjähdyks

Kaasuräjähdyks ([Vaurioilmoitus 14/1992](#))

- Tapahtuman alkuunpanijaksi osoittautui höyrystinosaan putki, jossa hitsausaumaan oli tullut vuoto ja vuodon aiheuttama vesisuihku kulutti viereisen putken niin ohueksi, että se lopulta repeytyi. Repeytynyt aukko oli kooltaan n. 10 * 25 mm
- Kuivakiehua toiminta esti kattilan ilmapuhaltimien käytön kattilan tuulettamiseksi.
- Kuivakiehua suojan toiminta tulee kytkeä siten, että toimenpiteet ovat samat kuin pikapysäytyksessä, jolloin kattilaa voidaan huuhdella sekundääri-ilmasuuttimien kautta ja primääritason ilmansyöttö on suljettu keon palamisen ehkäisemiseksi.



LIITE 1

Komponenttikohtaiset suositukset NDT-tarkastuksille

SEISOKINAIKAISET TARKASTUSKOHTEET JA MENETELMÄT

Visuaalinen tarkastus oletetaan tehtävän kaikille komponenteille aina, eikä mainita alla olevassa menetelmä kohdassa ilman erityistä tarvetta.

Kohde	Menetelmä	Kommentit
Syöttövesisäiliö	MT, TM	Saumat. Kaasunpoistimien visuaalinen tarkastus. Erityishuomio hienorakenneteräksissä säiliöissä ”Raex”.
Syöttövesilinja	TM, RT, VT	Eroosio/korroosio mm venttiilien ja mittauslaippojen jälkeen sekä käyrissä.
Päähöyrylinja	MT, REP, HT	Viruminen. Erityisesti isot yhteen ja liitokset sekä venttiilit. MT tarkastus suoritetaan hiotetulta pinnalta fluoresoivalla menetelmällä.
Tulistimet	MT, REP, HT TM MT VT, TM VT, (TM) VT, REP, HT, OK Digi RT	Viruminen, kammiot Eroosio/korroosio, tulistinputkien alakäyrät mukaan lukien paketista ulos tulleet käyrät. Sidehitsien päät. Suolavuodot kattokaappien läpivientikohdissa voivat olla putkivaurioiden esiaste. Nuohoimien kohdat joka seisokissa (eroosio/korroosio paketista irti päässeissä putkissa). Putkien värin ja muodon muutokset voivat johtua ylikuumenemisesta. Roikkutulistimien pohjakäyrien kerrostuma / vierasesineet
Höyryn jäähdyttimet	END, RT	Sisäkartion ja ruiskutussuuttimen kunto. Huomioi suuttimen eheys yhdekappaleen sisällä
Verhot/nokat	TM VT	Korroosio/eroosio. Kolhut ja muotovirheet (kamat)
Tulipesän seinät	TM VT, PT RT tai UT, PT VT, TM	Paksuusmittaus linjoittain (huomioi epäsymmetrinen oheneminen). Säröt/syöpymä compound/hiiliteräs-hitseissä. Jatkohitsit: kriittisimmät sularännien ympäristön hitsit (terminen rasisus). Evien eroosio / korroosio (jos silmämääräisesti havaitaan ”kulumaa” -> TM)
Seinät (eristepuoli)	VT, TM	Hiiliteräksen syöpyminen (onko ulkopuolelta pinnoittamattomia compound-hitsejä?).
Aukot	VT, PT TM	Säröt ilma-aukkojen ja sularännien ohitusputkissa ja evä rakenteissa. Katso Kuva L3 Aukkojen reunaputket. Huomioi kaikukäyttäytyminen (huono vesikemia)
Pohja/kompound	VT PT, ET TM	Syöpymät ja kolhut. Katso Kuva L4 ja L5 Koko pohjan alue. Fluoresoiva menetelmä ja pohjan kuivaus (katso ETY:n ohje). Sivuseinien tiivistelyissä on tavattu alapuolista korroosiota (hiiliteräksen puoli). Katso Kuva L4
Pohja/hiiliteräs	VT, TM	Korroosio on usein hyvin tasaista, jonka johdosta oheneminen selviää vain paksuusmittauksella. Hitsien, compound-alueen ja tiivisterautojen tarkastus tehdään kuten edellä.
Pohjakaappi	VT	Sulavuodot ja muodonmuutokset
Lieriöt	VT MT UT	Sisäpuolinen tarkastus ennen puhdistustoimia, sillä pahimmat säröt/halkeamat näkyvät ruostejätkinä Sisäpinnan tarkastus vaipan ja päätyjen hitseille (myös juoksuputket, miesluukut, miesluukkujen saranat ja muiden varusteiden pienasaumat) sekä reikäkenttäalueet ja alalieriön pohja-alue pistokoeluonteisesti. Vaipan ja päätyjen hitsit. Onko esim. pääty/miesluukku-hitsissä rakenteellinen juurivirhe?
Keittopintaputkisto	VT	Keittopintaputkien päät lieriön sisäpuolelta ja putkien syöpyminen ulkopuolelta.

	TM UT VT, TM	Keittopintaputken korroosio lieriön vaipan kohdalla mankelointikohdan vieressä: tarkastus suoritetaan luotainpidikkeen avulla tai ultraääneen perustavalla IRIS-laitteella, joka vaatii kuitenkin putken vesitäytön. Huonon tuennan aiheuttama säröytyminen mankelointikohdan vieressä. Tarkastus tehdään pidikkeellä kuten edellä, mutta kulmaluotaimella. Nuohoimien kohdat.
Veden esilämmitin (ekonomaiserit)	TM TM, UT VT, TM PT, MT	Eroosio vesipuolella maksimivirtauskohdissa, kammiot ja yhdysputket. Jos syöttöveden lämpötila on alle 120°C, saattaa ilmetä kastepistesyöpymää aivan alakammion vieressä putkessa ja putki/alakammio-hitsissä Nuohoimien kohdat sekä paikat joihin kerääntyy suolaa (esim. seinän ja reunimmaisen elementin väli). Evien päät ja tukki/putki-hitsit.
Tukit	END, (TM)	Epäpuhtaudet, syöpymät, hitsit
Tuenta	VT	Pohjaputkien lepääminen palkkien päällä, ripustintankojen kireys, kattilan asema ja päähöyryputki sekä käynnissä että seisokissa
Vesikemia	VT END OKS, UT	Yleensä lieriön sisäpinnan punerrus kertoo huonosta vesikemiasta. Toisena selvänä indikaationa on epäpuhtaudet alajakotukeissa ja vesityslinjoissa. Oksidi- ja kerrostumakalvon paksuusmittaukset. Kohteina höyrystimien ja tulistimien putket
Nuohoimet	VT, TM	Ensimmäisessä elementissä seinästä katsottuna saattaa olla nuohoimen vuodon aiheuttamaa eroosiota/korroosiota. Tarkista nuohoimien venttiilit sekä höyrykierto (lauhteenpoisto)

LYHENTEET:

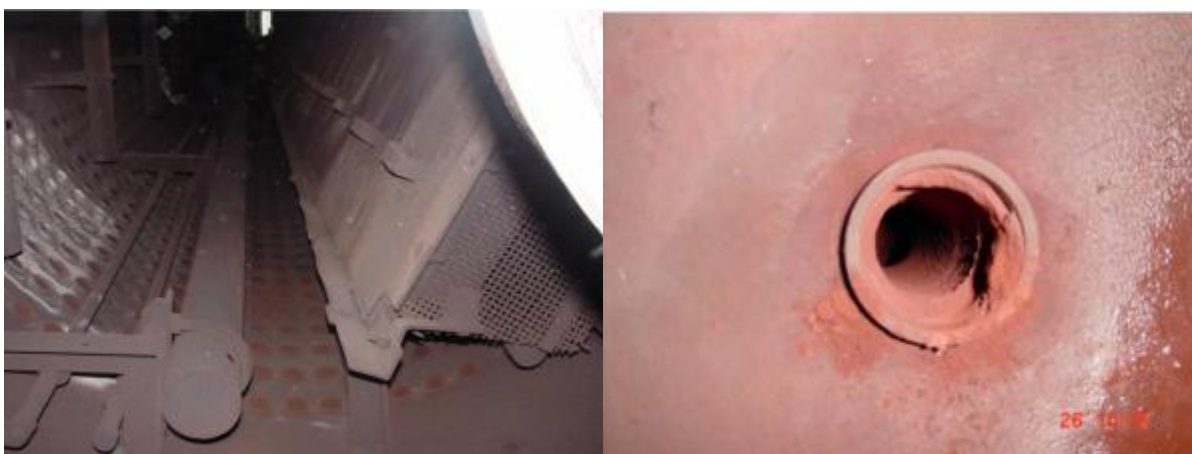
VT	=	silämääräinen tarkastus
TM	=	paksuusmittaus
PT	=	tunkeumanestetarkastus
MT	=	magneettijauhetaarkastus
UT	=	ultraäänitarkastus
RT	=	radiografia
ET	=	pyörrevirtatarkastus
REP	=	jäljennetarkastus
HT	=	kovuusmittaus
AE	=	akustinen emissio
OKS	=	oksidikalvon paksuusmittaus
END	=	endoskoopitarkastus

VALOKUVIA SOODAKATTILAN ERI OSISTA JA VAURIOISTA



Kuva L1. Värimuutoksia seinällä

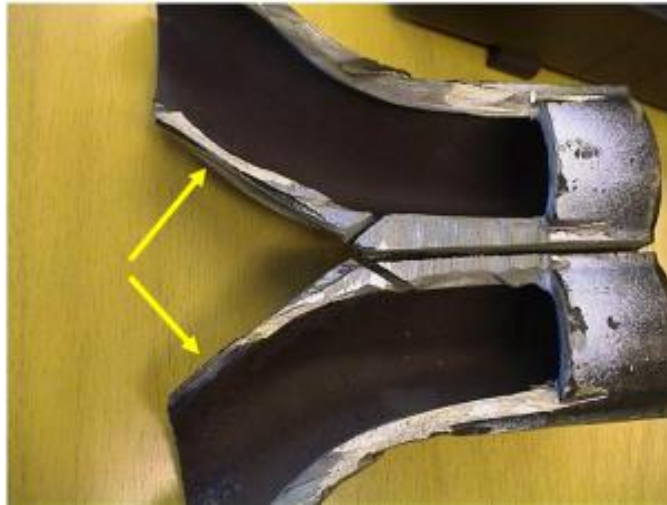
Kuva L1 on vauriokattilan seinältä. Osa vikakohdista oli mustunut. Kattilatarkastus pitää aina aloittaa silmämääräisellä tarkastuksella, jossa selvitetään väripoikkeamat normaalista. Erityisiä riskipaikkoja ovat mm. poltinaukkojen yläpuolet (virtauksen vaikutus liekkiin). Värimuutokset aiheuttavat aina lisätutkimuksia.



Kuva L2. Lieriössä epäpuhtauksia ja värimuutoksia

Kuva L2. Epäpuhtaudet ja harmaasta poikkeavat värimuutokset johtavat lisätutkimuksiin. Sen lisäksi että tehdään höyrystimensisäpinnan NDT-tarkastuksia

tulipesässä, tarkistetaan jakotukkien puhtausasteet. Oikean kuvan tapauksessa on riskinä höyrystinputkien sisäpuolen kerrostumat ja jopa tukkeumat vesityslinjoissa.



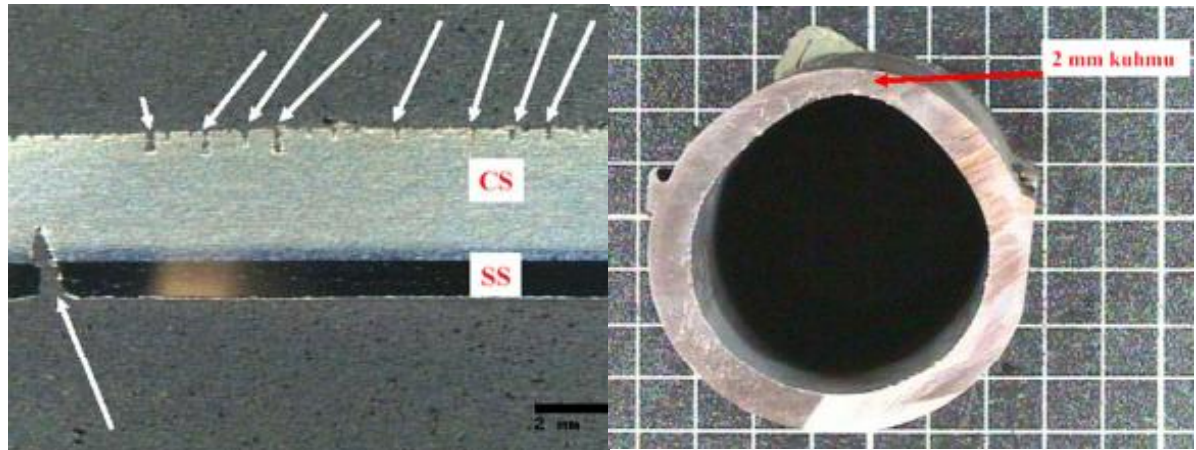
Kuva L3. Korroosioaurio ilma-aukon ohitusputkissa. Vikakohdat merkitty nuolilla

Kuvassa L3 on soodakattilan ilma-aukon ohitusputket, joissa vetyhyökkäys on aiheuttanut korroosioaurion. Kuvasta L3 selviää todennäköisin vikaantumiskohta.



Kuva L4. Korjauskohta pohja-seinä-kamparaudassa

Kuva L4. Pohjan ja seinien väliset kamparaudat on tarkastettava tunkeumanestemenetelmällä, kun pohja tyhjennetty. Jos pohjaa ei ole tyhjennetty, varmennetaan pohjakaapista, että kamparaudan rikkoutuminen ei ole aiheuttanut sulavuotoa.



Kuva L5. Kuvassa kiertohäiriön aiheuttama ylikuumeneminen pohjaputkessa, joka on aiheuttanut jopa muodonmuutoksen putkeen

Kuvissa L5 pohjaputken säröytyminen on edennyt compound-pinnoitteen läpi ferriittiseen materiaaliin. Vikaantumista voidaan todeta myös vesipuolella ja putkessa on selvä muodonmuutos. Ylikuumenemisen syynä voi olla kiertohäiriö aiheuttama korkean lämpövuon, jonka voi aiheuttaa ylileveä seinä-pohja-kamparauta tai pudonneen ”kamin” aiheuttama muodonmuutos tai saostumat vesipuolella.

LIITE 3

**Ääninuohoustutkimuksen tutkimussuunnitelma
– Santeri Peltola 27.1.2015**



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Ääninuohous soodakattiloissa

Tutkimussuunnitelma kandidaatintyöhön

Kemian ja biotekniikan laitos

Tekijä: S.P.

Tarkastaja: A.L.

Tutkimuksen aihe

Tutkimuksen aiheena on selvittää ääninuohouksen kelpoisuutta selluteollisuudessa käytettävien soodakattiloiden paikallisten tukkeentumisongelmien ratkaisemisessa. Tutkimuksessa perehdytään tukkeutumia aiheuttavien suolakerrostumien laatuun sekä kartoitetaan jo tehtyä tutkimusta ääninuohoukseen liittyen.

Kemiallisessa metsäteollisuudessa sellua valmistetaan kemiallisen kuidutuksen menetelmillä. Sellun valmistuksen raaka-aineena käytetään puuta, joka sisältää pääosin selluloosaa ja selluloosakuituja yhdistävää ligniiniä. Sellunvalmistuksessa puun selluloosa pyritään erottamaan muusta aineksesta liuottamalla puun ligniiniä lämpöenergian ja kemikaalien avulla. Sellunvalmistuksen sivutuotteena syntyy mustalipeää, joka sisältää liuennutta puuainesta ja prosessoinnissa käytettyjä kemikaaleja. Nämä natrium- ja rikkiyhdisteet ovat kalliita, minkä vuoksi ne pyritään ottamaan talteen ja käyttämään uudelleen. Talteenotto tapahtuu polttamalla mustalipeää soodakattilassa, jolloin mustalipeän orgaanisen aineksen palaessa vapautuva lämpöenergia hyödynnetään laitoksen sähkön- ja lämmöntuotannossa. Epäorgaaninen, keittokemikaaleja sisältävä sulate puolestaan voidaan kerätä talteen uusiokäyttöä varten. [1]

Mustalipeä sisältää fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna runsaasti tuhkaa. Merkittävimpiä tuhkan komponentteja ovat rikki ja kloori sekä alkalit natrium ja kalium. [2] Savukaasujen mukana virratessaan hiukkaset kulkeutuvat soodakattilan savukaasukanavia pitkin ja jäähtyvät, jolloin suolahiukkasia tiivistyy kanavien seinämille. Nokikertymät vaikuttavat lämmönsiirtopintojen lämmönsiirto-ominaisuuksiin, lisäävät korroosiota ja aiheuttavat kanavien suppenemisen kautta häiriöitä kaasuvirtauksiin. [3]

Perinteisesti tukkeumia on pyritty ehkäisemään ja poistamaan puhaltamalla kanaviin höyryä tai puhdistamalla kanavia manuaalisesti prosessin seisokkiaikana. Höyrypuhallukseen käytetään kattilassa kuumennettua höyryä, mikä vähentää turbiinin sähköntuotantoa. Manuaalinen puhdistus puolestaan vähentää tuotantokapasiteettia lisääntyneen seisokkiajan vuoksi. Ääninuohous on vaihtoehtoinen puhdistusmenetelmä,

jossa nokikertymiä pyritään irrottamaan kanavien seinämistä paineimpulssien avulla. Toimiva ääninuohous parantaakin kattilan suorituskykyä ja vähentää seisokkiaikaa.

Ääninuohous ei ole vakiintunut menetelmä soodakattiloiden nuohouksessa, eikä menetelmästä ole paljoa tietoa saatavilla. Joitain tutkimuksia ja selvityksiä on kuitenkin tehty, ja käytännön sovellutuksista on saatu hyviä tuloksia [4]. Ääninuohousta käytetään myös muiden voimakattilatyypin yhteydessä [5].

Tutkimuksen tavoite ja tutkimusmenetelmät

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, minkälaisia tutkimuksia ja käytännön kokeita ääninuohoimilla on tehty ja mitä tuloksia niistä on saatu. Tutkimuksessa perehdytään myös siihen, millaisia ominaisuuksia soodakattilan pinnoille muodostuvilla suolakerrostumilla on ja miten ne eroavat ääninuohouksen kannalta muita polttoaineita polttavista kattiloista.

Lisäksi tutkimuksessa tarkastellaan, miten suolakerrostumien laatu on lähivuosikymmenien aikana muuttunut ja miten muutos on vaikuttanut ääninuohouksen mahdollisuuksiin. Samalla tutkitaan ääninuohousmenetelmien ja -tekniikan kehitystä.

Laitevalmistajien ja asiakkaiden julkaisemista raporteista kerätään käyttökokemuksia ääninuohouksesta. Käyttökokemuksia kerätään selluteollisuuden ohella myös muiden teollisuudenalojen energiantuotannosta. Pääpaino on kuitenkin nimenomaan selluteollisuudessa ja sen soodakattiloissa. Tutkimuksessa ei tuoteta uutta tutkimustietoa, vaan tavoite on kartoittaa ääninuohouksen nykytilanne soodakattiloissa ja kerätä ajantasainen tietopaketti, minkä pohjalta aiheen tutkimista voidaan jatkaa edelleen.

Alustava sisällysluettelo

Sisällys

Abstrakti

1. Johdanto
2. Soodakattila
 - a. Soodakattilan toimintaperiaate
 - b. Sellun valmistuksessa käytettäviä kemikaaleja
 - c. Eroavaisuudet soodakattilan ja muiden voimakattiloiden välillä
 - d. Rikkidioksidi savukaasuissa
3. Soodakattilan suolakerrostumat ja niiden puhdistaminen
 - a. Alkalimetallit
 - b. Savukaasun koostumus ja suolakerrostumien syntyminen
 - c. Suolakerrostumien eroavaisuudet soodakattiloiden ja muiden voimakattiloiden välillä
 - d. Rikkidioksidin väheneminen savukaasuissa
 - e. Perinteiset kanavien puhdistusmenetelmät
4. Ääninuohous
 - a. Ääninuohouksen periaate, tekniikat ja niiden kehitys
 - b. Käyttökokemukset ääninuohouksesta soodakattiloissa
 - c. Käyttökokemukset ääninuohouksesta muissa voimakattiloissa
 - d. Savukaasujen rikkidioksidipitoisuuden vaikutus ääninuohouksen toimivuuteen
 - e. Ääninuohouksen haittavaikutukset
5. Tulokset ja pohdinta
 - a. Toimivuus käyttökokemusten perusteella
6. Yhteenveto
 - a. Ääninuohouksen kehittämiskohteita
 - b. Muun prosessin kehityksen vaikutus ääninuohoukseen

Alustava aikataulu

Viikko	Tavoite
5 Tammikuu	Kandisopimuksen allekirjoittaminen. Lähteiden etsiminen, aiheeseen perehtyminen ja muistiinpanojen kirjoittaminen.
6 Helmikuu	Lähteiden etsiminen, aiheeseen perehtyminen ja muistiinpanojen kirjoittaminen.
7	Lähteiden etsiminen, aiheeseen perehtyminen ja muistiinpanojen kirjoittaminen. Tutkimuksen kirjoittaminen alkaa soodakattilan toiminnasta.
8	Lähteiden etsiminen, aiheeseen perehtyminen ja muistiinpanojen kirjoittaminen. Kirjoittaminen suolakerrostumista alkaa.
9	Lähteiden etsiminen, aiheeseen perehtyminen ja muistiinpanojen kirjoittaminen. Kirjoittaminen ääninuohouksesta alkaa.
10 Maaliskuu	Lähteiden etsiminen, aiheeseen perehtyminen ja muistiinpanojen kirjoittaminen. Kirjoittaminen ääninuohouksesta jatkuu.
11	Kirjoittaminen ääninuohouksesta jatkuu.
12-13	Pohdinta ja yhteenveto. Ensimmäisen version viimeistely.
13-15	Ensimmäisen version lähettäminen.
Huhtikuun alkupuoli	Korjaus ehdotusten pohjalta.
Huhtikuun loppupuoli – Toukokuun alku	Valmiin työn lähettäminen.

Lähteet

- [1] Jukka Konttinen, Teollisuuden prosessit, TTY Energia- ja prosessitekniikan laitos, 165 s.
- [2] Panu Tikka, Papermaking Science and Technology, Chemical Pulping Part 2, Recovery of Chemicals and Energy, Paper Engineer's Association/Paperi ja Puu Oy, Jyväskylä, Finland, 2008, 387 s.
- [3] Aino Leppänen, Modeling Fume Particle Dynamics and Deposition with Alkali Metal Chemistry in Kraft Recovery Boilers, Tampere University of Technology, Publication 1273, 2015, 64 p.
- [4] PPI Special Report, A sound solution to dust, RISI, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.1.2015):
<http://www.risiinfo.com/magazines/December/2007/PPI/pulp-paper/magazine/international/PPI-A-sound-solution-to-dust.html>
- [5] Smoother process with acoustic cleaners, Nifaron, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.1.2015): <http://www.nirafon.com/featured-cases/salmisaari-power-plant>

LIITE 4

Muiden työryhmien kuulumiset



KTR kokous

Muut työryhmät



YTR: Hajukaasusuosituksen päivitys

- Päivitystyö valmis
 - Suomenkielinen suositus julkaistu 30.10.2013 -> esitelty Konemestaripäivillä 2014
 - Englanninkielisen käännös julkaistu 17.6.2014 -> esitelty ICRC 2014
- Päivitystä tekstiin tulossa Skoghallin tapauksen johdosta

YTR, BAT-dokumentin kommentointi

- Toukokuu 2014: BREFin BAT-päätelmät hyväksyttiin (adoptoitiin) IED artiklan 75 mukaisessa komiteamenettelyssä
- Syksy 2014: 26.9 komissio julkaissut toimialan BREFin yhteenvedon eri kielillä -> voimaantulo
 - Dokumentissa annetut BAT-rajat ovat lupaehtojen minimirajat, pakollisuus ei koske dokumentissa mainittuja kulutusarvoja, tarkkailuvaatimuksia eikä BAT- tekniikoita
 - Lupaehtoissa viimeistään 4 vuoden sisällä julkaisusta -> 2018
 - BAT-päästötasoista poikkeaminen vain tietyin ehdoin, esim. paikalliset ympäristöolot, maantieteellinen sijainti, tekniset ominaisuudet

3

Main BAT conclusions

BATs for Recovery Boilers (kraft pulping)

		Daily average		Yearly average	
SO ₂	DS<75% DS 75-83%	10-70 mg/Nm ³ - 6% O ₂ 10-50 mg/Nm ³ - 6% O ₂		5-50 mg/Nm ³ - 6% O ₂ 5-25 mg/Nm ³ - 6% O ₂	
Total reduced sulphur (TRS)		1-10 mg/Nm ³ - 6% O ₂		1-5 mg/Nm ³ - 6% O ₂	
Gaseous S (TRS-S + SO ₂ -S) DS<75% DS 75-83%				0,03-0,17 kgS/Adt 0,03-0,13 kgS/Adt	
NO _x	Softwood Hardwood	120-200 mg/Nm ³ - 6% O ₂		DS<75% : 0,8-1,4 – DS 75-83% : 1,0 -1,6 kg/Adt DS<75% : 0,8-1,4 – DS 75-83% : 1,0-1,7 kg/Adt	
PM		Existing	New/Refurb.	Existing	New/Refurb.
		10-40mg/Nm ³ - 6% O ₂ Up to 50 mg/Nm ³ for an ESP approaching the end of its operational life	10-25mg/Nm ³ - 6% O ₂	0,02-0,3 kg/Adt Up to 0,4 kg/t for an ESP approaching the end of its operational life	0,02-0,2 kg/Adt

✓ BAT AEPL for effluent volume : 25-50 m³/ADT

15

YTR: TEKES-hanke, Polttoperäisten päästöjen ja nanohiukkasten haitallisuuden määrittäminen uudella tutkimusmenetelmällä, Itä-Suomen yliopisto

- TAVOITE:
 - Projektissa tutkittiin soodakattilan, hakevoimalaitoksen, pienpolton (tulisija ja arinakattila) päästöjä ja jälkikäsittelytekniikoiden vaikutusta ja verrattiin niitä dieselajoneuvon päästöihin sekä päästöjen fysikaalis-kemiallisia ja toksikologisia ominaisuuksia
- TILANNE:
 - Mittaukset tehty 12/2012, loppuraportti julkaistu 08/2014
 - Meesauunimittausta ei tehty -> UEF (University of Eastern Finland) omalla päätöksellä (ajanpuute / budjettikysymys)
- JOHTOPÄÄTÖKSET:
 - Mittaukset sekä pesurin että sähkösuodattimen jälkeen, näytteistä analysoitiin hiukkaspitoisuudet, kokojakaumat ja kemiallinen koostumus sekä toksikologiset vasteet.
 - Tärkeimpänä johtopäätöksenä mittauksista on soodakattilan hiukkaset eivät ole merkittävästi toksisia. Savukaasupesuri vähentää hiukkasten määrää mutta lisää toksisuutta, soodakattilaprosessi ei vaikuta tähän vaan syy on pesurissa.

YTR: TEKES-hanke, Polttoperäisten päästöjen ja nanohiukkasten haitallisuuden määrittäminen uudella tutkimusmenetelmällä, Itä-Suomen yliopisto

- JOHTOPÄÄTÖKSET JATKUU:
 - PAH-yhdisteiden pitoisuudet sähkösuodattimen jälkeen otetuissa näytteissä olivat UPM A 29,8 ng/mg, UPM B 22,9 ng/mg ja pesurin jälkeen hieman korkeampi 52,9 ng/mg.
 - Luvut ovat hieman suuremmat kuin esimerkiksi pellettitakan poltossa (~5 ng/mg), mutta huomattavasti pienemmät kuin esimerkiksi puutakan (18 000 ng/mg) ja raskaan polttoöljyn (10 000 ng/mg) poltossa.
 - Vaikka savukaasupesuri vähensi hiukkaspäästön määrää, oli se massayksikköä kohti toksisempaa kuin pääosin alkalisuoloista koostuva hiukkaspäästö sähkösuodattimen jälkeen.
 - On mahdollista että suurempi toksisuus aiheutuu maaperä- tai bakteeriperäisten komponenttien joutumisesta hiukkasmassaan esimerkiksi pesurissa käytetyn jokiveden mukana tai pesurin vesikierrossa syntyvästä bakteerikontaminaatiosta. -> teoria on vielä varmistamatta.
- JATKOTUTKIMUS
 - Tarjous saatu kahden kattilan/meesauunin mittaamisesta, kustannus ~100 000 EUR +ALV

YTR: Soodakattilan käynnistys-, pysäytys- ja häiriöjaksojen määrittely

TAVOITE

- Dokumentti jossa määritellään soodakattilan käynnistys-, pysäytys ja häiriöjaksot.
- Uuden BAT/BREF dokumentin päästöarvot koskevat vain normaaliajoa -> jaksojen määrittely tulee ajankohtaiseksi ympäristölupakierroksella -> hyvä muodostaa yhteinen käsitys
- Direktiivin 2010/75/EU III luvun soveltamisalaan kuuluvien polttolaitosten käynnistys- ja pysäytysjaksot on määriteltävä
- TILANNE
 - Kysely tehtaalle lähetty 1.9.2014 -> Yhteenvedo tekeillä vastauksista

LTR: Mustalipeän Ei-newtonilaisuus ja pisaroituminen, Labtium/Aalto

- Tavoite ja toteutus:
 - Projektin tuloksena saadaan kattava tietokanta erilaisten lipeiden ei-Newtonilaisesta käyttäytymisestä sekä vaikutuksesta soodakattilan toimintaan, erityisesti mustalipeän ruiskutukseen. Samalla pyritään arvioimaan myös vaikutusta putkivirtauksiin, pumppuihin sekä haihduttamoon.
 - Lisäksi tutkitaan yhdellä tehtaalla on-line viskositeettimittauksen toimivuutta.
 - Analyyseistä vastaa Labtium ja tulosten raportoinnista ja liittämisestä tulokset soodakattilan toimintaan Aalto Yliopisto.
 - Esitys soodakattilapäivillä 2014

LTR: CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion, ÅA

Tavoite:

- CFD modeling for studying what operational changes may be needed when firing reduced lignin black liquor, using Wisaforest recovery boiler CFD model.
- Run 1: Base Case, 100% MCR, flue gas O₂ 3% (wet)
- Runs 2 and 3: 10% and 20% lignin removed, total air adjusted for flue gas O₂ 3% (wet), other variables unchanged
- Runs 4-7: 10% & 20% lignin removed, modifications to air distribution and liquor spraying

9

LTR: Single Droplet Combustion and Single Particle Modeling of Reduced Lignin Black Liquor, ÅA

Tavoite:

- Jatkoprojekti CFD-mallinnusprojektille. Tulossa 2015
 - Single particle experiments allow us to measure a number of different combustion characteristics which can be compared with other liquors and in that way provide some basic knowledge about how reduced lignin black liquor is expected to burn in a recovery boiler: swelling, combustion times, NO and cyanate formation and sulfur release.
 - This data can also be used in a single particle model and in CFD models. This is particularly important in understanding NO emissions, carryover, char burn-out, and sulfate reduction.

10

LTR: Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion, ÅA

Background

- Low temperature corrosion has been observed historically – ex. in the economizer headers
- The cause of this low temperature corrosion was not been established
- General observation was that flue gases needed to be kept ~ 140 °C
- Recent measurements have found no $\text{SO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ or acid dew point in the flue gases from recovery boilers

11

Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion, ÅA

Objectives

- Long-term: to provide industry with corrosion information that can be utilized to recover additional heat from flue gases
- Short term: test a hypothesis that hygroscopic salts lower the water dew point resulting in dew point corrosion if surface temperatures drop too low

2

LTR: Black Liquor Evaporation Book

Projektin sisältö ja tavoitteet:

- The book provides introductory text to the basic principles of black liquor evaporation for young engineers in chemical recovery and detailed black liquor properties and scaling chapters which will serve as both a reference, and as a guide to troubleshooting and resolving scaling problems.
- This keeps the scope within the areas of expertise of the authors and also allows us to deliver the completed manuscript by 30 June 2015. Book will be written together with Jim Frederick. This proposal to SKY is for covering Niko DeMartini's portion of the work. The money for Jim Frederick's time is being proposed to AF&PA.

13

SKY Historiikki

- Risto Valkeapää on aloittanut projektin maaliskuussa alussa. Haastatteluihin ja arkistomateriaaliin perustuva kovakantinen kirja valmis joulukuussa 2014.
 - Kevät-Kesä Tehdasvierailut, Varkaus siirtyi syksyyn
 - Kevät-Kesä Viirihenkilöiden haastatteluja
 - Elokuu: arkistokäynnit UPM Valkeakoski, Elinkeinoelämän keskusarkisto, haastattelujen puhtaaksikirjoitusta.
 - Syyskuu: haastattelujen täydennystä, puhtaaksikirjoitusta ja tarkistusta.
 - Lokakuu 2014 haastattelujen puhtaaksikirjoitusta, täydennystä ja tarkistuksia. Esitelmä soodakattilapäiville.
 - Marraskuu: kirjatekstien viimeistelyä, taittoa ja tarkastusta
 - Joulukuu: Tarkastus ja painoon valmistelua

14

SKY 50 + ICRC 2014

- 9. - 12.6.2014 Tampereella, Tampere-talo
- 11.6. yhdistyksen 50-vuotisjuhlaseminaari + päivällinen
- Ilmoittautuneita yhteensä 223 hlö
- Perjantaina 13.6. tehdasvierailu Kymin sellutehtaalle ja vierailu Verlan museotehtaalla. Isäntinä Esa Vakkilainen (LUT) ja Pekka Siiskonen (Valmet)

15

Opinnäytetyöpalkinto

- Kolme hakemusta:
 - Fanni Mylläri, TTY: Gas–particle equilibrium of alkali metal compounds studied in an aerosol test reactor
 - Kalle-Valtteri Ukonaho, Aalto University, Forest products technology: Methanol balance of digestion and evaporation plant and methanol utilization possibilities for a kraft pulp mill
 - Antti Kokkonen, University of Oulu, Control Engineering Laboratory: Influence of Kraft recovery boiler's main control parameters on reduction degree
- Palkinto myönnettiin Antti Kokkoselle, Oulun yliopisto/Metso Automation:

16

Opinnäytetyöpalkinto

- Työn tarkoituksena oli tutkia soodakattilan tärkeimpien ohjaussuureiden vaikutusta reduktioasteeseen ja arvioida Metso Recovery Analyzerin online reduktioastemittauksen suorituskykyä oikeassa soodakattilaympäristössä.
- Tavoitteena oli selvittää, millä ohjaussuureella on ilmeisin vaikutus reduktioasteeseen, ja kykeneekö analysaattorin reduktioastemittauksella havaitsemaan prosessissa tapahtuvia muutoksia. Soodakattilan polttoolosuhteita muutettiin koesuunnitelman mukaisilla askelkokeilla.
- Tutkittavat ohjaussuureet olivat lipeän lämpötila (pisarakoko), primääri-ilmamäärä ja sekundääri-ilmamäärä. Askelkokeita tehtiin kahdella eri soodakattilalla ja niiden lisäksi selvitettiin myös lipeäkuorman vaikutusta reduktioasteeseen tutkimalla kattiloiden historia-ajodataa. Analysaattorin suorituskykyä arvioitiin vertaamalla mitattuja reduktioastearvoja teorian perusteella odotettavissa oleviin muutoksiin.

17

Opinnäytetyöpalkinto

Tuomariston kommentit Kokkosen työhön:

- Työ oli selkeä ja helposti ymmärrettävä soodakattilan parissa työskentelevälle
- Käytännön läheinen työ tuotannossa olevalla kattilalla -> haastava tehtävä mutta tulosten perusteella tässä kuitenkin onnistuttiin
- Käytetyt menetelmät ja mittaustulokset on esitetty selkeästi ja niistä tehdyt tulkinnot sekä johtopäätökset ovat johdonmukaisia
- Toi uutta tietoa reduktiosta

18

LIITE 5

Unexpected damage and/or failures caused by creep below the limit temperature for creep design – Värmeforsk report 978, July 2006

Unexpected damage and/or failures caused by creep below the limit temperature for creep design

Number: 978 Research Area: Materials and Chemical Technology Report type: Main report Project code: M5-510

Author: Storesund Jan, Eklund Anders, Taflin Anders, Thunvik Thomas Published: July 2006

Download: [Rapport 978.pdf](#) (10989 kb)

Recently, several cases of cracking caused by creep have occurred in components operating at temperatures below the specified limit temperature for creep. Components operating below this limit temperature have not been designed with due regard to creep cracking and have accordingly not been subjected to inspection for creep damage.

This work has surveyed the extent of these cases of creep damage by reviewing earlier failures and performed metallographic studies of damaged components and made parametric calculations of creep crack growth below the limit temperature. The following critical parameters have been determined for power plants:

1. Long service times

Creep damage below the transition temperature does not usually occur until operating times above 200.000 hours. Time to rupture differs from ordinary creep crack growth because these cracks have substantially longer incubation time of 20 –30 years, with relative low creep deformation, and after that a rapid creep crack growth with only some few years to the creep rupture.

2. Operating temperature

Operation at 470-480°C, i.e. up to some 10°C below the transition temperature for a material like EN 13CrMo4-5, can be expected to result in severe creep damages comparable with ordinary creep failures at stressed locations. Operation at a temperature of 450-460°C can give rise to creep damage, however, this damage shows a more sparse occurrence.

3. Type of damage

Creep damaged welds occurring below the limit temperature show cracks at the melting junction of the weld bead in opposite to ordinary creep damages. System stresses can also cause a more rapid crack growth. An international survey also shows that the variation of creep strength values between individual steel batches are just as wide as for ordinary creep.

Based on this work, the following complementary recommendations can be issued:

Inspection and non-destructive testing

Elastic stress analysis (based on expansion calculations) can also be recommended for the identification of areas with intensified stresses. One should also perform a complete check of the suspensions at every inspection occasion. In general, welds, conical diameter transitions, tees and

end pieces are more prone to damage. These locations should first be tested with magnetic powder testing (MT) and, if defects are discovered, one should continue with replica testing. Ultrasonic and x-ray testing can also be used where defects from the inside can be expected.

Recommended testing intervals

A program for MT and replica testing should be enforced at least at 150.000 operating hours. At higher operating temperatures existing inspection recommendations should be applied. At lower operating temperatures there seems to be no need for any systematic replica testing.

Oväntade krypskador och/eller haverier orsakade av krypmekanismer under gränstemperaturen

Värmeforsk nummer: 978 Projektkod: M5-510

Författare: Storesund Jan, Eklund Anders, Taflin Anders, Thunvik Thomas Publicerad: juli 2006

Nedladdning: [Rapport 978.pdf](#) (10989 kb)

De senaste åren har man upptäckt kryprelaterade skador på flera komponenter i ångsystem i energianläggningar som har haft drifttemperaturer under gränstemperaturen för krypning. Drifttemperaturer under gränstemperaturen medför i regel att komponenterna inte har dimensionerats med avseende på krypning och inte tidigare var besiktningspliktiga med avseende på krypning, eftersom krypskador enligt tidigare rön och normer inte skulle kunna uppstå.

Detta arbete har kartlagt problemets omfattning genom att granska tidigare skadefall, utfört metallografiska studier av skadade komponenter och parametriska beräkningar av krypsprickpropagering under gränstemperaturen för att få en djupare förståelse av problemet. Följande kritiska parametrar för en anläggning har därmed bestämts:

1. Långa drifttider

Krypskador under gränstemperaturen sker i regel vid drifttider över 200.000 timmar. Tid till brott skiljer sig vid kryppropagering under gränstemperaturen med en avsevärd längre inkubationstid på 20-30 år, med mycket liten krypspricktillväxt, för att sedan på ett fåtal år snabbt tillväxa till en allvarlig krypskada.

2. Drifttemperaturen

Drift vid 470-480oC kan medföra lika allvarliga krypskador som i kryptområdet. Drift vid 450-460oC kan medföra krypskador men de har oftast liten skadeutbredning.

3. Skadetyper

Krypskadade svetsar under gränstemperaturen har sprickor vid svetsens smältgräns till skillnad från skadade svetsar i kryptområdet. Pålagda systemspänningar kan medföra att kryppropageringen sker mycket snabbare än i kryptområdet. En genomgång av internationell provning visar att spridning i kryphållfasthet är minst lika stor som i kryptområdet.

Utifrån detta arbete kan följande kompletterande rekommendationer göras:

Inspektion och oförstörande provning

Elastiska spänningsanalyser (expansionsberäkningar) kan med fördel användas för att identifiera områden med förhöjda påkänningar. Likaså bör man göra en fullständig kontroll av upphängningarna vid varje besiktningsstillfälle. Svetsar i formstycken, stutsar, koner, terminalpunkter och böjar är generellt mer utsatta än övriga positioner i ett ångnät. Dessa bör först provas med magnetpulverprovning (MT) och, om defekter påträffas, även med replikprovning i enlighet med tidigare riktlinjer. Ultraljud- och röntgenprovning kan användas där skador från insidan kan förväntas.

Rekommenderade driftintervall

Ett program för MT och replikprovning bör påbörjas senast efter 150.000 drifttimmar för komponenter med drifttemperaturer från 440oC till materialets gränstemperatur. Vid drifttemperaturer över gränstemperaturen tillämpas Nordtest tidigare rekommendationer. Vid drifttemperaturer under 440oC finns inget som tyder på ett behov av systematisk replikprovning.