

Suomen Soodakattilayhdistys ry

**Soodakattilan tarkastus- ja peittaus-
suositus**

Esa Ilves, IF Vahinkovakuutus

Pekka Pohjanne, VTT Tuotteet ja tuotanto

Jorma Kiimalainen

15.12.2004

Suositus 3

JOHDANTO

Suomen Soodakattilayhdistyksen jäsenistö on kaivannut selkeää ohjetta sellutehtaan soodakattilan tarkastuksesta, peittauksesta ja peittauksen tarpeesta. Taustana on huoli turvallisuudesta ja kokonaisprosessin toimivuudesta.

Tämän suosituksen tekemisestä on vastannut Suomen Soodakattilayhdistyksen kestoisuustyöryhmä, joka on keskuudessaan valmistellut peittaus- ja tarkastussuositusta yhdessä ulkopuolisten asiantuntijoiden Jorma Kiimalaisen ja Martti Launteen kanssa.

Tämä suositus ei yritä yhtenäistää peittaustapaa tai pakottaa käyttäjiä tai valmistajia samanlaisiin ratkaisuihin. Suosituksessa esitetään perustietoutta jota voidaan käyttää suunnittelun ja käytön apuna.

Suosituksessa on käytetty hyväksi sitä tietoa jota on ollut käytettävissä syksyllä 2004. Yhdistys ei vastaa tämän suosituksen virheistä eikä tästä johtuvista mahdollisista ongelmista. Mahdollinen päivitetty versio on jäsenten löydettävissä yhdistyksen kotisivuilta tai saatavissa sihteeristöstä.

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Matti Tikka

Hallituksen puheenjohtaja

Reijo Hukkanen

Kestoisuustyöryhmän puheenjohtaja

S Kankkonen/EK

15.12.2004

1(45)

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Soodakattilan tarkastus- ja peittausuusitus

SISÄLLYS

1	NDT-MENETELMÄT SOODAKATTILAN PEITTAUSTARPEEN ARVIOINNISSA.....	4
1.1	TAUSTA	4
1.2	LYHYESTI NDT-MENETELMISTÄ	4
1.2.1	PINTAMENETELMÄT	5
1.2.2	VOLUMETRISET TARKASTUKSET	6
1.2.3	PAKSUUSMITTAUS.....	7
1.2.4	MUITA NDT-MENETELMIÄ JA SOVELLUTUKSIA	7
1.3	TARKASTUKSIEN DOKUMENTOINTI.....	9
1.4	AINETTA RIKKOVAAT MENETELMÄT / NÄYTEPALAT.....	9
1.5	LÄMPÖKUORMAN JA VEDENLAADUN VAIKUTUS	9
1.6	TARKASTUKSET	13
1.7	YHTEENVETO	15
2	SOODAKATTILAN PEITTAUKSEN TEORIA	16
2.1	MIKSI KATTILOITA PEITATAAN.....	16
2.2	MAGNETIITTIKERROKSEN SYNTY	17
2.3	MAGNETIITIN PYSYVYYS	19
2.4	PEITTAUSKEMIKAALIEN VALINTA JA TOIMINTAPERIAATE	21
2.5	PEITTAUSTARPEEN ARVIOINTI	25
2.6	PUTKINÄYTTEET JA NIIDEN ANALYSOINTI.....	26
	VIITTEET.....	27
3	SOODAKATTILAN PEITTAUS JA MAGNETIITTICALVON AJO - SUORITUS JA VALVONTA	29
3.1	YLEISTÄ	29
3.2	PEITTAUSKEMIKAALIT	29
3.3	RASVANPOISTOKEMIKAALIT	30
3.4	PEITTAUSHAPOT	30
3.4.1	SUOLAHAPPO (HCl).....	30
3.4.2	FLUORIVETYLHAPPO (H ₂ F ₂).....	30
3.4.3	SITRUUNAHAPPO (HOOCCH ₂ C(OH)(COOH)CH ₂ COOH x H ₂ O).....	31
3.4.4	SULFAMIINIHAAPPO (NH ₂ HSO ₃), GLYKOLIHAPPO (CH ₂ OHCOOH).....	32
3.5	KUPARINPOISTO	32
3.6	INHIBITIT	32
3.7	PASSIVOINTI- JA NEUTRALOINTIKEMIKAALIT	32
3.7.1	AMMONIAKKI (NH ₄ OH) JA SITRUUNAHAPPO (COOHCH ₂ C(OH)COOHCH ₂ COOH x H ₂ O). 33	
3.7.2	NATRIUMNITRIITTI (NaNO ₂) JA VETYPEROKSIDI (H ₂ O ₂)	33
3.8	PEITTAUKSEN SUORITUS	33
3.8.1	VALMISTAVAT TYÖT	33
3.8.2	PEITTAUSKIERTO	34
3.8.3	RASVANPOISTO	35
3.8.4	HAPPOKÄSITTELY	36

3.8.5	NEUTRALOINTI JA PASSIVOINTI	36
3.8.6	KATTILAN ENTISÖINTI	37
3.8.7	INSTRUMENTTI- JA NÄYTELINJOJEN HUUHTELU JA VESIPAINEKOE.....	37
3.8.8	JO KÄYTÖSSÄ OLLAIDEN KATILOIDEN UUSINTAPEITTAUS	37
3.8.9	PEITTAUKSEN JA SIIHEN LIITTYVIEN TÖIDEN AIKATAULU	38
3.8.10	VEDENTARVE PEITTAUKSESSA	39
3.9	PEITTAUKSEN VALVOJAN TEHTÄVÄT.....	40
3.9.1	PEITTAUSTULOKSEN ARVIOINTI.....	41
3.9.2	MAGNETIITTICALVON KEHITYSAJO	42
3.9.3	ENNEN KALVON KEHITYSAJOA	43

1 NDT-MENETELMÄT SOODAKATTILAN PEITTAUSTARPEEN ARVIOINNISSA

1.1 Tausta

Aiemmin soodakattilatarkastuksissa on paneuduttu putken ulkopuolisiin vaurioihin. Tehostettujen polttotapojen ja vedenkäsittelypuutteiden myötä tarkastuksia täytyy tehdä myös putken sisäpinnan vaurioiden toteamiseksi.

Tarkastuksen onnistumisen perusedellytyksiä ovat:

- Pitkántähtäimen tarkastussuunnitelmat ja kunnolliset tarkastusohjeet
- Tulosten pitkäaikainen seuranta ja tarkastusten valvonta
- Pätevöitetyt tarkastajat (EN-pätevyys) ja tarkastajien kattilatuntemus
- Kunnolliset tarkastusolosuhteet: työturvallisuus, kunnolliset telineet, valaistus ja kohteen puhdistus

Jokaisella NDT-menetelmällä on rajoituksensa. Edes 100 %:n tarkastuslaajuus ei välttämättä takaa täysin kattavaa tarkastusta. NDT-menetelmät ovat toisiaan täydentäviä ja vain harvoin toisiaan täysin korvaavia. Tästä syystä tarkastusmenetelmien valinta ja tarkastuksien oikea kohdentaminen ovat avainasemassa kohteessa, jonka 100 %:n tarkastaminen ei ole edes mahdollista. Toteutettu tarkastus on usein kompromissi, joka huomio vikatyypin, tarkastusedellytykset ja tarkastuksen laajuuden. Tarkastusmenetelmän valinnassa onkin syytä käyttää ndt-asiantuntijaa.

1.2 Lyhyesti NDT-menetelmistä

Tärkeimmät tarkastusmenetelmät on standardisoitu. Lisätietoja saa internet-osoitteesta www.sfs.fi.

Menetelmistä tilaajan on syytä tietää ominaisuuksien lisäksi myös niiden rajoitukset. Tarkastuksen luotettavuus on aina riippuvainen tarkastusolosuhteista.

Menetelmät voidaan jakaa kolmeen ryhmään; visuaalinen tarkastus, pintamenetelmät ja volumetriset menetelmät.

Tärkein menetelmä on visuaalinen eli silmämääräinen tarkastus. Kattilaympäristössä silmämääräinen tarkastus ohjaa usein muiden menetelmien käyttöä. Huolestuttava piirre on ollut NDT-tarkastuksien teettäminen urakalla sen perusteella, mikä tarkastusyritys mittaa paksuusmittaukset halvemmalla. Urakkapohjalta ympärille ei paljoa vilkuilla, joten kunnollinen visuaalinen tarkastus jää tekemättä. Tämän välttämiseksi tilaajan tulisikin aina vaatia visuaalisesta tarkastuksesta kirjallista raporttia.

Silmämääräisen tarkastus vaatii ehdottomasti kunnollisen valaistuksen. Lähes yhtä tärkeä apuväline on digitaalinen kamera.

1.2.1 Pintamenetelmät

Tärkeimmät pintamenetelmät ovat tunkeumaneste- ja magneettijauhetarkastus.

Tunkeumanestetarkastus soveltuu erityisen hyvin pintaan avautuvien huokosten ja vastaavien pintavikojen toteamiseen silloinkin kun tarkastetaan ei-magnetoituvaa materiaalia (esim. ruostumaton teräs). Menetelmä ei ole riippuvainen tarkastettavan kohteen materiaalista. Tarkastettava materiaali ei saa kuitenkaan olla huokoinen.

Tunkeumanestetarkastuksen onnistumisen edellytys on pinnan huolellinen puhdistus metallipinnalle. Puhdistuksen lisäksi on varmistuttava, ettei säröihin jää kosteutta estämään tunkeumanesteen tunkeutumisen säröihin. Esim. soodakattilan pohjan tarkastus vaatii pohjan huolellisen kuivauksen.

Magneettijauhetarkastus soveltuu hyvin pintasäröjen etsimiseen. Menetelmän rajoituksena on se, että materiaalin tulee olla magnetoituva teräs. Magneettijauhetarkastus indikoi huonosti huokostyyppisiä vikoja, joten magneettijauhetarkastus ei takaa hitsin tiiveyttä ohuilla ainepaksuuksilla.

Molempia menetelmiä voidaan tehdä fluoresoivana, jolloin tarkastus tehdään uv-valossa. Tunkeumanestetarkastuksessa ylimääräisen tunkeumanesteen poisto on hallitumpaa fluoresoivalla kuin värillisellä menetelmällä. Poiston hallittavuus

korostuu isoilla tarkastuspinnoilla, kun käytetään vedellä poistettavaa tunkeumanestettä. Fluoresoivalla menetelmällä isommat viat näkyvät jo tunkeumanesteen poistovaikossa.

Pintamenetelmänä voidaan käyttää myös pyörrevirtatarkastusta.

1.2.2 Volumetriset tarkastukset

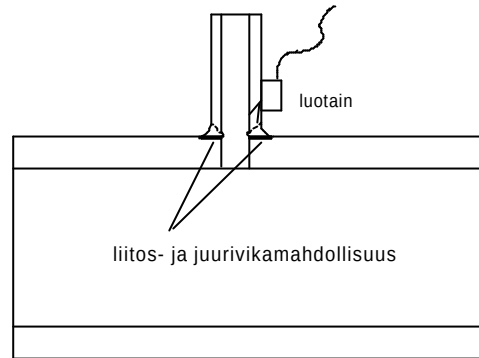
Menetelmillä etsitään materiaalin sisäisiä vikoja. Tärkeimmät volumetrisiä menetelmät ovat röntgenkuvaus ja ultraäänitarkastus.

Röntgenkuvaus soveltuu erityisen hyvin tilavuusvikojen kuten huokosten ja kuonavikojen toteamiseen. Lineaarisen vian kuten liitosvian toteaminen vaatii, että säteilytys tehdään vian suuntaisesti. Tästä syystä esim. pesän seinäputken hitsin täysin kattava röntgenkuvaus vaatii 4 valotusta. Nykyisin käytetty kahden valotuksen tekniikka ei takaa, ettei hitsiin voisi jäädä liitosvikaa, sillä molempien evien vierialue vaatii erilliset valotukset hitsien railopintojen suunnassa. Röntgenkuvauksen luotettavuus ja kattavuus tuleekin aina arvioida uudelleen, jos röntgenkuvauksessa todetaan liitosvikaa railopinnalla.

Ultraäänitarkastus soveltuu hyvin lineaaristen (tasomaisten) vikojen toteamiseen edellytyksellä, että äänikeila osuu lähes kohtisuoraan vikaan (heijastajaan). Tämän johdosta hitsisauman tarkastus tehdään yleensä vähintään kohdella kulmaluotaimella. Ultraäänitarkastus indikoi huonosti tilavuusvikoja kuten huokosia. Ääniaallon on palattava viasta luotaimen ja pallomainen pinta on huono heijastaja. Standardit eivät suosittele ultraäänitarkastusta alle 8 mm:n ainepaksuuksille, koska ultraäänitarkastus yksistään ei takaa hitsin tiiveyttä. Jos kuitenkin ohuella ainepaksuudella valitaan ultraäänitarkastus, tarkastuksesta on oltava kunnolliset tarkastusohjeet ja tarkastajalla tulee olla ohuen aineen tarkastuksesta kokemusta. Tässä tapauksessa suositellaan ultraäänitarkastuksen täydentämistä tunkeumanestetarkastuksella ja/tai pistokoemaisella röntgenkuvauksella.

Hyvä esimerkki volumetrisistä tarkastuksista on jakotukin yhteen hitsi, jossa todennäköisiä vikoja ovat juuri- ja liitosvika. Sisäpinnan vikoina ko. viat ovat riski

peittauksessa, sillä mikään ei takaa ettei vikoihin jää peittaushappoja. Käytännössä yhteen ainoaksi volumetriseksi tarkastusmuodoksi jää ultraäänitarkastus, jota täydennetään tunkeumaneste- tai magneettijauhetarkastuksella.



Kuva 1. Jakotukin hitsi

1.2.3 Paksuusmittaus

Paksuusmittari toimii kaikuluotausperiaatteella aivan kuten ultraäänitarkastuslaite. Riisutussa versioissa paksuus osoitetaan numeronäytöllä, mutta kehittyneimissä mittareissa on ns. a-näyttö (kuvat 7 ja 8) aivan kuten ultraäänitarkastuslaitteissa. A-kuvassa x-akselilla mitataan äänen kuluaikaa, joka muutetaan matkaksi. Y-akseli kertoo heijastajan amplitudin. A-kuvassa olevien taustakaikujen kerrannaisten perusteella voidaan varmistua, että mitataan todellista materiaalipaksuutta eikä heijastaja johdu esim. valmistusviasta. A-kuvasta voidaan arvioida myös sisäpinnan tilaa.

1.2.4 Muita NDT-menetelmiä ja sovellutuksia

Lähes käyttämätön tarkastusmuoto soodakattilaympäristössä on ollut ns. korroosiokuvaus, jossa putken syöpymää voidaan arvioida suoraan seinämän profiilista ja muulta alueelta röntgenkuvan mustumista. Syöpynyt kohta näkyy kuvassa tummempana. Menetelmän luotettava käyttö vaatii aina koekuvaukset, sillä kuvan jyrkkyyteen (seinämän muutoksen vaikutus mustumaan) vaikuttaa myös säteilyn ”kovuus”. Kuvausta voidaan tehdä normaalilla röntgenkoneella, mutta

paksummat ainepaksuudet vaativat isotoopin säteilylähteeksi. Yleensä kuvaus tehdään eristeitä purkamatta.

Materiaalin virumisaste voidaan arvioida jäljenteiden avulla silloin, kun lämpötila ylittää + 400 °C materiaalista riippuen. Jos näytepalaa ei jostain syystä voida ottaa, voi jäljenteen avulla jossakin tapauksessa yrittää selvittää esim. säröilyn syytä.

Endoskooppitarkastus paljastaa kohteen sisäpuolisen kunnon. Kattilaympäristössä menetelmää käytetään seinäputkien sisäpuolisen kunnon ja kerrostumien toteamiseen. Tarkastuksessa tv-kuva on osattava suhteuttaa todellisuuteen, joten tässäkin tarkastuksessa näytepalat ovat joskus välttämättömiä. Jos muuta näytepalaa ei ole, vertaa kuvaa neitseellisen putken kuvaan.

Pyörrevirtatarkastusta käytetään pintamenetelmänä, mutta sen yleisin käyttö on lämmönvaihtimien lämpöpintaputkien tarkastus silloin kun lämpöpintaputken materiaali on sähköä johtava ei-ferriittinen (ei-magnetoituva). Menetelmästä on kehitetty sovellutuksia myös ferriittisille lämpöpintaputkille, jolloin toisena vaihtoehtona on ultraäänitarkastus ns. Iris-laitteella.

Kovuusmittauksilla voidaan selvittää materiaali muutoksia vaurio tilanteessa.

Lämpökuvauksella voidaan selvittää esim. vedenkiertoa kattilan eri osissa starttivaiheen ja käytön aikana.

Akustinen emissiovalvonta auttaa ohjaamaan muiden ndt-menetelmien kohdentamista. Rakenteen akustisessa emissiovalvonnassa rakennetta ”kuunnellaan” aaltoputkien avulla n. 150 kHz:n taajuudella.

EMAT ultraäänisovellutus (electromagnetic-acoustic-transducer), jossa ultraääni johdetaan materiaaliin sähkömagneettisesti, joten menetelmä ei vaadi väliaineen käyttöä. Eräs sovellutus on ollut soodakattilan seinäputkien tarkastus.

Ultraäänitarkastussovellutus magnetiittikerroksen paksuuden mittaukseen vaatii erikoisanturin ja magnetiitin paksuus on oltava vähintään 150 µm.

Menetelmän käyttöä rajoittaa se, että magnetiitin paksuus 150 µm on todella huonon vedenkäsittelyn merkki ja menetelmä ei kerro putkea suojaavan kerroksen ominaisuuksista.

1.3 Tarkastuksien dokumentointi

Kaikista tarkastuksista mukaan lukien toteamisluonteisista tarkastuksista on syytä tehdä pöytäkirja, jonka ulkopuolinenkin ymmärtää. Pöytäkirjat tehdään heti tarkastuksen jälkeen, jolloin asiat ovat vielä hyvin muistissa.

Tarkastuksista ja korjauksista tulee tehdä yhteenveto, joka auttaa myöhemmissä tarkasteluissa.

1.4 Ainetta rikkovat menetelmät / näytepalat

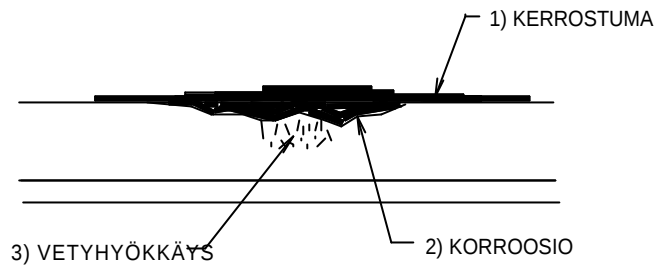
Vauriotapauksessa otetaan vauriosta kunnolliset näytepalat myöhempää tutkimista varten. Vaurion luotettava selvittäminen vaatii näytepalojen ainetta rikkovat tutkimukset. Näytepalojen turhaa käsittelyä ja puhdistusta on vältettävä.

Kattilan osia kuten tulistimia tai seinän aukkoja vaihdettaessa tarkastetaan aina putken sisäpinnan suojakerroksen (magnetiittikerroksen) paksuus ja koostumus.

1.5 Lämpökuorman ja vedenlaadun vaikutus

Polttoprosessin siirtyminen yhä alemmas pesään ja polton tehostaminen ovat lisänneet lämpövuota tulipesän alaosassa. Suuren lämpövuon johdosta vedenkäsittelyltä vaaditaan entistä enemmän. Termisen hapenpoiston pitää toimia ja veden puhtausasteen tulee olla entistä parempi.

Kattilavedessä olevat epäpuhtaudet kiteytyvät ylikuumille pinnoille. Kuvassa 1 on esitetty huonon vesikemian aiheuttamat sisäpinnan vikaantumisvaiheet. Ensimmäisessä vaiheessa pinnalle alkaa kiteytymään kerrostumaa, kerrostuman alla alkaa korroosiovaihe ja kolmannessa vaiheessa korroosiosta vapautunut vety aiheuttaa vetykorroosion.



Kuva 1

Varma merkki vedenkäsittelyongelmista on likaantumisongelmat lieriöissä ja/tai jakotukeissa. Myös turpiinin likaantuminen antaa viitteitä vedenkäsittelyn puutteista.

Kuva 2 on vaurioituneen kattilan lieriöstä. Lieriössä on epäpuhtauksia ja sisäpinta on punertava. Kuva 3 on erään toisen kattilan lieriöstä. Lieriössä on jauhemaista punaista jauhetta, joka ei kuulu kattilaveteen millään vesikemikaalilla.



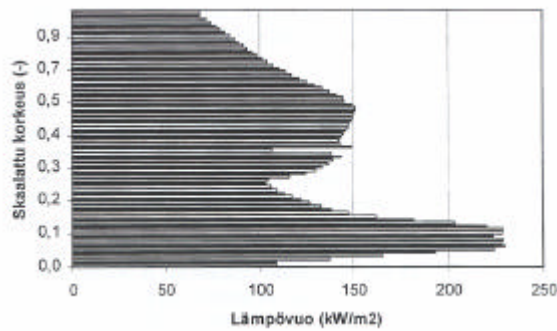
Kuva 2 Punertava lieriön sisäpinta



Kuva 3 Jauhetta lieriön sisäpinnalla

Lieriöpinnan punerrus ja kerrostumat haittaavat kaiken lisäksi silmämääräistä tarkastusta, sillä isommat säröt näkyvät normaalisti harmaalla magnetiittipinnalla ruostejälkinä.

Kuvassa 4 on lämpövuon jakautuminen etuseinän keskellä primääritason alapuolelta nokan tasolle kattilassa, jossa perinteisesti laskettuna keskimääräinen lämpövuoto on 90 kW/m^2 . Primaari-ilma-aukkojen alueella lämpövuoto on kuitenkin luokkaa 230 kW/m^2 , mikä asettaa uusia vaatimuksia vedenkäsittelylle.



Kuva 4

Kattilan seinällä paikallisesti lämpövuotoa nostaa erityisesti ylileveä evärakenne. Riskiä lisää virtauksen häiriintyminen. Riskialttiita kohtia ovat aukkojen ohitusmutkat ja hitsit, joissa on ylisuuri juurikupu.

Kuvan 5 vetykorroosion yhtenä syynä on ylisuuri juurikupu. Lämpövuotoa ovat nostaneet etuseinän kuormapolttimet kattilassa, jonka pohja-ala on pieni.



Kuva 5 Vetykorroosion aiheuttama vuotokohta
takaseinällä hitsin yläpuolella, n. 2,5. m pohjasta



Kuva 6 Ilma-aukon taivutukset, viat nuolien kohdalla

Aukkojen putkitaivutuksissa olevia korroosiovaiheen vikoja (kuva 6) todettiin eräässä vauriotapauksessa kaikkiaan n. 50 kpl. Viat sijoittuivat satunnaisesti eri aukkoihin ja yksi vioista oli niinkin korkealla pohjasta kuin tertiä äri-ilma-aukossa.

Vauriokattilan seinällä olevista vikakohdista osa oli mustunut. Ylisuuren lämpövuon aiheuttamaa riskiä voikin aluksi kartoittaa silmämääräisellä tarkastuksella. Ylikuumentuneet ylileveät evät ja mustumat pesän seinäputkissa vaativat aina lisäselvityksen, varsinkin jos kattilassa on todettu merkkejä huonosta vedenlaadusta ja/tai polttotapaa on tehostettu. Jopa seinäputken pinnalla oleva pistekorroosio saattaa olla merkki sisäpinnan ylipaksusta kerrostumasta.

Vaurion yhteydessä tehdyissä tarkastuksissa todettiin, että vedenkäsittelyongelmaa voidaan selvittää ultraäänitarkastuksella. Kuvassa 7 on ehjältä putkelta saatu takaseinäkaikujen verhokäyrä. Kuvassa 8 on sama mittaus tehty vetykorroosiokohdasta, jolloin taustakaiut häviävät.



Kuva 7 Normaali kaikujono



Kuva 8 Vikaa, taustakaiut häviää

Tarkastuksissa todettiin, että kaikujen verhoikäyrä putoaa myös kohdissa, jossa sisäpinnan magnetiittikerros ei ole normaali ("hötöä" ja/tai paksu). Menetelmä sopiikin epänormaalin magnetiittikerroksen etsimiseen.

Jos taustakaikukerrannaiset häviävät, pitää selvittää johtuuko ilmiö sisäpinnan kerrostumasta vai sisäpinnan korroosiosta. Tämä tehdään tarkalla paksuusmittauksella. Erityisesti aukkojen putkitaivutuksissa paksuusmittauksen tulkinta on ongelmallista, sillä putken seinämä voi olla ohentunut myös pintatarkastuksien johdosta tehtyjen ylitehostettujen hiontojen vuoksi. Joissakin tapauksissa tarkastus vaatii pinnoitteen paksuudenmäärityksen kalvonpaksuusmittarilla tai pyörrevirtatarkastuslaitteella. Jos tulkinnessa on epävarmuutta, selvitetään taustakaikujen kerrannaisten puuttumisen syy näytepalanotolla. Myös em. korroosiokuvausta on käytetty selvitykseen.

1.6 Tarkastukset

Lieriöiden sisäpuolinen tarkastus on syytä tehdä vähintään kahden vuoden välein. Suurimmat säröt voidaan nähdä ruostejälkinä harmaalla magnetiittipinnalla. Silmämääräinen tarkastus tehdään ennen kuin lieriössä tehdään puhdistus- tai muita töitä.

Alkava lieriöpinnan punertaminen voi indikoida kaasunpoistimen toimimattomuudesta. Toisin sanoen ndt-tarkastuksilla voidaan ohjata jopa

vedenkäsittelyä. Tämän johdosta valokuvienotto on aina suositeltavaa, kun lieriössä tehdään tarkastuksia tai käydään. Valokuvista voidaan todeta jälkikäteen milloin vedenkäsittelyongelmat ovat alkaneet.

Tarkastajan keinoin lieriön magnetiittikerroksen laatua voidaan tutkia raaputtamalla pintaa. Jos punertavan värin alla on harmaa kiinteä magnetiittikerros, voidaan todeta korroosiosuojauksen olevan kunnossa lieriössä. Valitettavasti tämä ei kerro seinäputkien tilasta. Magnetiitin päällä oleva ”hötö” saattaa olla kiteytynyt ylikuumille pinnoille tulipesän seinäputkissa. Tämän johdosta epäpuhtaudet lieriöissä edellyttävät aina tarkastuksia jakotukeissa ja pesäalueella.

Jakotukit tarkastetaan endoskoopilla tai tarkastukseen soveltuvalla viemärikameralla.

Tulipesän seinille tehdään 100 %:n silmämääräinen tarkastus. Jos tarkastuksessa todetaan värimuutoksia, epätavallista korroosiota, evien palamisia tai säröytymiä, selvitetään onko syynä sisäpinnan kerrostuma tai korroosio edellä kuvatulla ultraäänitarkastusmenetelmällä

Kattilan seinien paksuusmittaukset tehdään akuvalla varustetulla mittalaitteella. Jos tarkastuksessa todetaan normaalista poikkeavaa taustakaikujen vaimenemista, selvitetään vaimenemisen syy.

Jos epäpuhtauksia on todettu lieriöissä, jakotukeissa tai turpiinissa, tarkastetaan kaikkien aukkojen putkitaivutuskohdat evän vierestä ja korkean lämpövuon alueella tehdään tarkastuksia hitsien yläpuolelta (kuva 5). Erityisesti pienissä kattiloissa tarkastuksessa on syytä huomioida kuormapolttimoiden vaikutus (vastakkainen ja viereiset seinät).

Jos tarkastuksissa edes epäillä sisäpinnan korroosiota, niin kyseinen kohta on poistettava lisätutkimuksia varten. Korroosiovaiheessa (putken sisäpinta) olevaa vikakohtaa ei saa missään tapauksessa jättää kattilaan. Vikaantumisen eteneminen korroosiovaiheesta vetykorroosioksi ja vuodoksi saattaa vaatia vain päiviä tai viikkoja.

Seinäputkien kerrostumaongelman laajuudesta saa hyvän kuvan lieriöstä käsin tehdyllä viemärikamerakuvauksella.

1.7 Yhteenveto

Peittaustarpeen arviointi tehdään aina näytepalasta, josta tutkitaan sisäpuolisen kerrostuman paksuus ja ominaisuudet. Kerrostuman paksuus voidaan määrittää karkeammin kalvonpaksuusmittarilla ja tarkemmin optisella mikroskoopilla. Ominaisuuksien määrittäminen voidaan tehdä elektronimikroskoopilla (SEM-tarkastelu ja EDS-analyysi).

Mikään ndt-menetelmä ei kerro seinäputken magnetiittikerroksen ominaisuuksista eikä magnetiittikerroksen tarkkaa paksuutta rakennetta purkamatta. NDT-menetelmillä voidaan ohjata näytepalanottoa ja selvittää ongelman laajuutta. Kerrostumat saattavat olla hyvinkin paikallisia, joten satunnaisesti otettu näytepala ei välttämättä anna oikeaa kuvaa vedenkäsittelyn tasosta ja peittaustarpeesta.

DNV Ruotsista on tehnyt seinäputkien korroosiotarkastusta ns. EMAT-laitteella, jolloin ultraääni saatetaan tutkittavaan materiaaliin ilman väliainetta. Soodakattilaolosuhteissa menetelmän rajoituksena on luoksepäästävyys aukkojen ohitusputkissa.

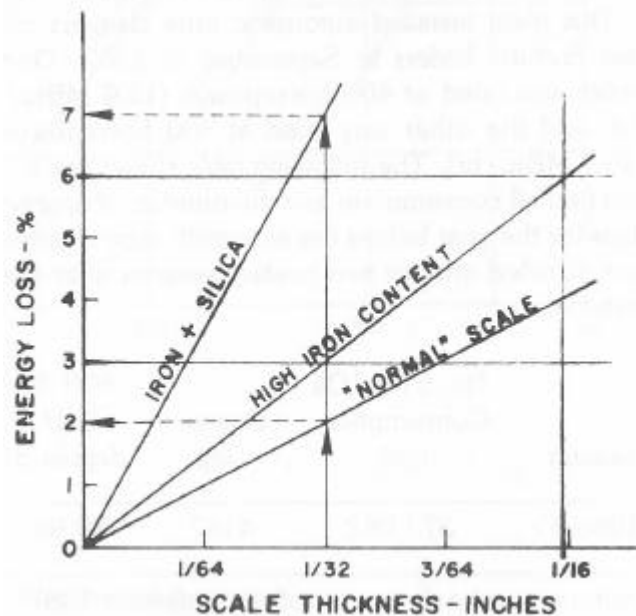
2 SOODAKATTILAN PEITTAUKSEN TEORIA

2.1 Miksi kattiloita peitataan

Kattilan peittauksella tarkoitetaan kattilaputkistojen ja lämpöpintojen sisäpuolista kemiallista puhdistamista erilaisista saostumista ja kerrostumista, jotka nostavat kattilan käyttökustannuksia (kuva 1) sekä altistavat lämpöpinnat ja putket korroosiolle ja ylikuumenemiselle heikentyneen lämmönsiirron takia.

Uudet kattilat puhdistetaan ennen käyttöönottoa putkien valmistuksessa sekä rakennus- ja asennusvaiheessa syntyneestä liasta, rasvasta, öljystä, ruosteesta, valssihilseestä ja hitsausjäänteistä niin, että puhtaaseen teräspintaan voidaan kehittää sitä suojaava magneettiikalvo. /1-3/

Käytönaikana kattilan vesi- ja höyrypuolen lämpöpinnoille syntyy ajan kuluessa kerrostumia ja saostumia, jotka vaikuttavat magneettiikalvon pysyvyyteen tai muuten heikentävät lämmönsiirtoa altistaen materiaalit ylikuumenemiselle ja korroosiolle. Kerrostumien muodostumista voidaan estää ja kasvunopeutta hidastaa hyvällä kattilalaitoksen syöttö- ja kattilaveden käsittelyllä. Putkien sisäpinnalle syntyneellä magneettikerroksella on kuitenkin taipumus kasvaa ylipaksuksi pitkän ajanjakson kuluessa, vaikka vesien ja höyryn laatu on ohjearvojen mukainen. Kerrostumien syntymistä edesauttavat kattilan käyttö suunnitteluarvoa suuremmilla kuormilla ja suuret kuorman vaihtelut. /1-4/

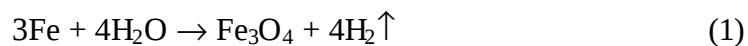


Kuva 1. Kattilaputkien sisäpuolisen kerrostumapaksuuden ja kerrostumatyyppin vaikutus kattilan energiahäviöön /5/.

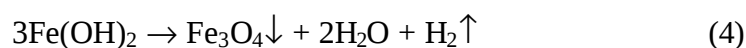
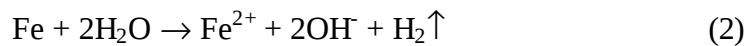
2.2 Magnetiittikerroksen synty

Hiiliteräksiä ja niukkaseosteisia teräksiä voidaan käyttää kattiloiden vesi- ja höyrykierrossa, koska terästen pinnalle muodostuu hapettomassa neutraalissa tai lievästi alkalisessa vedessä korkeissa lämpötiloissa ja paineissa ohut tiivis magnetiittikalvo (Fe_3O_4), joka suojaa teräksiä syöpymiseltä /4, 6-8/.

Normaaleissa käyttöolosuhteissa kattilaputkien magnetiittikalvon muodostumien tapahtuu seuraavan kokona isreaktion mukaisesti:



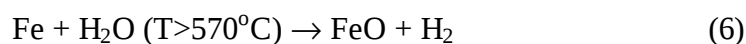
Reaktion välituotteena syntyy rautahydroksidia ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) (3), joka yli 100°C :n lämpötiloissa muuttuu nk. Schikorr-reaktion (4) mukaan edelleen magnetiitiksi /6, 7/. Magnetiitin muodostumisreaktioissa syntyy vetyä, joten muodostumisreaktion etenemistä voidaan seurata vetymittauksella.



Yli 350°C :n lämpötiloissa magnetiitti muodostuu suoraan teräspinnalla kuuman höyryn vaikutuksesta (5), eikä välituotteena esiinny rautahydroksidia. Muodostumismekanismi on yleinen voimakattiloiden tulistimissa ja esilämmittimissä (reheater).



Hyvin korkeissa lämpötiloissa, $T > 570^\circ\text{C}$, magnetiitti ei enää ole pysyvä ja rauta reagoi suoraan höyryn kanssa muodostaen rautaoksidia (FeO) (6).



Kokemusten mukaan paras magnetiittikalvo (Fe_3O_4) syntyy puhtaalle teräspinnalle neutraalilla pH-alueella, pH 7-8. Neutraalilla pH-alueella magnetiittikalvon muodostumisnopeus on suhteellisen hidas, mutta muodostuva kalvo on pienikiteinen ja tiivis, joka suojaa hyvin korroosiolta. Emäksissä olosuhteissa magnetiitin muodostumisnopeus on suurempi, mutta muodostuva magnetiittikalvo ei ole tiivis ja sen raekoko on suuri eikä se siten kykene suojaamaan teräspintoja yhtä hyvin korroosiolta, kuin tiivis ja pienikiteinen kalvo. Lisäksi isokiteinen magnetiittikalvo kasvaa huokoisempana helpommin ja nopeammin paksuutta. Tämä taas voi aiheuttaa ennenaikaisen uusintapeittaustarpeen.

2.3 Magnetiitin pysyvyys

Magnetiittikerroksen kyky suojata terästä korroosiolta on riippuvainen useista eri tekijöistä, kuten veden happipitoisuudesta, pH-arvosta ja veden sisältämistä epäpuhtauksista kuten liuenneista suoloista ja suspendoituneista aineista. Hapettomassa ja neutraalissa tai lievästi alkalisessa vedessä, teräksisten kattilaputkien pinnalla on magnetiittikalvo (Fe_3O_4), joka suojaa putkia syöpymiseltä. Happamissa ja voimakkaasti alkalisissa olosuhteissa magnetiittikerros on epästabiili ja voi liueta eikä se siten kykene suojaamaan teräsputkia korroosiolta (kuvat 2 ja 3). Veden happipitoisuuden kasvu kiihdyttää korroosiota. Happikorroosion takia kattilaveden happipitoisuus pyritään pitämään hyvin pienenä. Happi voi kuitenkin myös pieninä pitoisuuksina hidastaa korroosiota hyvin puhtaassa vedessä. Tätä käytetään hyväksi mm. konventionaalisten voimalaitosten neutraalivesikemiassa /6, 9/.

Useat epäpuhtaudet, jotka ovat liukoisia syöttövedessä voivat saostua lämmönsiirtopinnoille kattilavedestä, kun niiden liukoisuus pienenee lämpötilan kasvaessa. Syntyvät kerrostumat ja saostumat voidaan luokitella esimerkiksi kovuustyyppin kerrostumiin ja pehmeisiin huokoisiin kerrostumiin /10/. Kovuustyyppin kerrostumat, kuten kalsium-, magnesium- ja silikaattikerrostumat, ovat vettä läpäisemättömiä ja huonosti lämpöä johtavina yhdisteinä heikentävät lämmönsiirtoa, jolloin materiaalit altistuvat ylikuumenemiselle, taulukko 1. Myös huokoiset kerrostumat heikentävät lämmönsiirtoa (taulukko 1), mutta ne voivat altistaa materiaalit myös korroosioaurioille, kun kerrostumissa tai niiden alla tapahtuu esimerkiksi vedenkäsittelykemikaalien tai epäpuhtauksien konsentroitumista. Konsentroitumisen takia olosuhteet saostuman alla tai itse saostumassa voivat muodostua sellaisiksi, että magnetiitti ei enää ole pysyvä. Esimerkiksi happamat suolat, kuten magnesium- ja kalsiumkloridi, voivat aiheuttaa saostumien alle happamat olosuhteet, jolloin seurauksena on vetyhyökkäys. Vastaavasti lipeä voi konsentroitua saostumissa siten, että pH-arvo nousee paikallisesti niin korkealle, että korroosio on mahdollista.

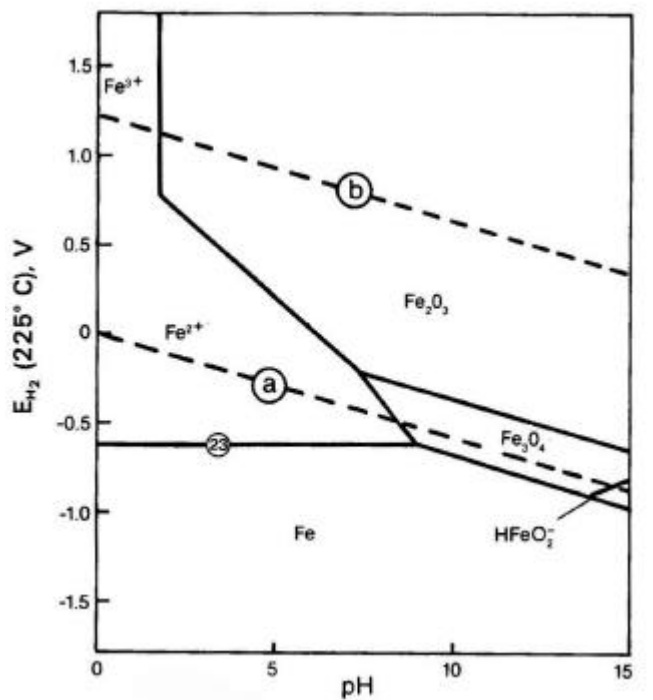
Epäpuhtaudet kerrostuvat helpoimmin kohtiin joissa vesi-/höyryvirtaus häiriintyy, kuten putkien mutkiin, supistuksiin, hitsausliitosten lähelle tai vaakasuoriin osiin, sekä kaikkein kuumimmille putkipinnoille eli kohtiin joissa lämpövuoto on suurin. Vedenkäsittelykemikaalien tai epäpuhtauksien konsentroituimista edesauttavat paksu kerrostuma ja suuri lämpövuoto.

	Thermal conductivity	
	W/(m ² · °C)	(Btu · ft.)/(h · ft ² · °F)
<i>Alloys</i>		
304 Stainless	22(500°C), 16(1000°)	12.5(932°F), 9.4(212°F)
410 Stainless	28(400°C), 25(1000°C)	16.1(752°F), 14.4(212°F)
Alloy steel (0.34 C, 0.55 Mn, 0.78 Cr, 3.53 Ni, 0.39 Mo, 0.06 Cu)	36*	21*
Copper	420*	240*
Carbon steel (0.23 C, 0.64 Mn)	55*	32*
Aluminum	235*	136*
<i>Deposits</i>		
Aluminum oxide, fused (Al ₂ O ₃)	3.60	2.1
Analcite (Na ₂ O · Al ₂ O ₃ · 4SiO ₂ · 2H ₂ O)	0.19	0.76
Calcium carbonate (CaCO ₃)	0.14	0.56
Calcium phosphate [Ca ₃ (PO ₄) ₂]	0.55	2.20
Calcium sulfate (CaSO ₄)	0.21	0.83
Ferric oxide (Fe ₂ O ₃)	0.09	0.35
Magnesium oxide (MgO)	0.17	0.69
Magnesium phosphate [Mg ₃ (PO ₄) ₂]	0.33	1.30
Magnetite (Fe ₃ O ₄)	0.45	1.8
Porous materials	0.01	0.06
Quartz (SiO ₂)	0.24	0.97
Serpentine (3MgO · 2SiO ₂ · 2H ₂ O)	0.16	0.63

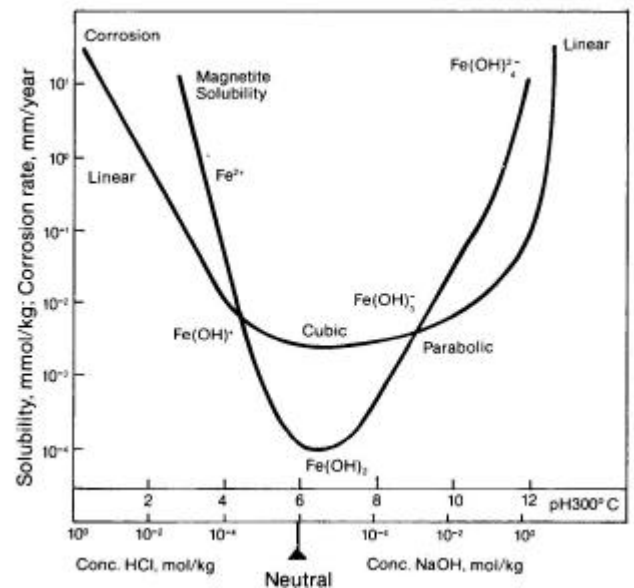
* Room temperature.

NOTE: (Btu · ft.)/(h · ft² · °F) = 1.73 W/(m² · °C)

Taulukko 1. Eri metallien ja kerrostumien lämmönjohtavuuksia /2/.



Kuva 2. Magnetiitin (Fe_3O_4) ja hematiitin (Fe_2O_3) termodynaamiset stabiilisuusalueet puhtaassa vedessä lämpötilassa $+225^\circ\text{C}$ /6/.



Kuva 3. pH-arvon vaikutus magnetiitin pysyvyyteen ja teräksen korroosionopeuteen vedessä lämpötilassa 300°C /6/.

2.4 Peittauskemikaalien valinta ja toimintaperiaate

Uusien kattiloiden peittäus on suhteellisen helppo toimenpide, sillä pinnoille ei ole vielä muodostunut vaikeasti poistettavia kupariyhdisteitä, silikaatteja tai karbonaatteja. Jo käytössä olleen kattilan peittäminen on huomattavasti vaativampi tapahtuma, sillä peittauskemikaalin valinta on riippuvainen putkien pinnoilla olevien kerrostumien ja saostumien koostumuksesta (taulukot 2 ja 3). Peittauskemikaalien valinnassa on huomioitava myös kattilassa käytetyt rakennemateriaalit (taulukko 4). Peittauskemikaalin valintaa varten kattilasta tulee ottaa putkinäytteet, jotka analysoidaan kerrostumien kemiallisen koostumuksen määrittämiseksi ja peittäuskäsittelyn toimivuuden varmistamiseksi. Esikokeilla varmistetaan myös se, että peittäus ei ole liian syövyttävä perusmateriaalille.

Peittauskemikaalin vaikutustapa on riippuvainen käytetyistä kemikaaleista (taulukko 5). Mineraalihapot, kuten suolahappo (HCl), fluorivetyhappo (HF , H_2F_2)

ja fosforihappo (H_3PO_4), reagoivat saostumien kanssa jolloin syntyy liukoisia metalliyhdisteitä. Liuotusreaktiossa syntyy myös vetyä, joka edesauttaa saostumien irtoamista.

Suolahappo on eniten käytetty peittauskemikaali, mutta se ei sovellu käytettäväksi kohteissa, joissa on austeniittisia ruostumattomia teräksiä, niiden jännityskorroosioriskin takia. Se liuottaa hyvin raudan-, nikkelin- ja sinkinoksideja sekä kalsium- ja magnesiumkarbonaatteja, mutta ei silikaatteja eikä metallista kuparia. Silikaattien liuottamiseksi suolahappoliuokseen lisätään usein ammoniumbifluoridia (NH_4HF_2 (ABF)), joka kykenee liuottamaan useita eri silikaattiyhdisteitä. Vastaavasti kuparin poistamiseksi suolahappoon lisätään tioureaa. Suolahappoliuokseen lisätään myös orgaanisia korroosioinhibiittejä kattilaputkien korroosion minimoimiseksi.

Fluorivetyhappo liuottaa hyvin magnetiittia, valssihilsettä ja silikaatteja. Fluoridi-ioni (F^-) toimii peittaustapahtumassa katalyyttinä nopeuttaen kerrostumien liukenemista. Fluorivetyhappoa voidaan käyttää joko yksinään tai yhdessä muiden happojen kanssa. Myöskään fluorivetyhappo ei sovellu käytettäväksi kohteissa, joissa on käytetty ruostumattomia teräksiä. Inhiboitua fosforihappoa voidaan käyttää raudanoksidien liuottamiseen kohteissa, joissa on austeniittisia ruostumattomia teräksiä. Fosforihappo liuottaa huonosti kalsium- ja magnesiumpitoisia kerrostumia. Sulfamiinihappo liuottaa hyvin kalsiumkarbonaattia ja raudan oksideja, mutta ei kalsiumsulfaattia eikä silikaatteja. Sulfamiinihapon korkein käyttölämpötila on $70\text{ }^\circ\text{C}$, jonka yläpuolella happo hydrolysoituu jolloin muodostuu rikkihappoa.

Orgaaniset hapot, kuten sitruunahappo, voivat poistaa saostumia sekä liuottamalla että muodostamalla metallikomplekseja. Orgaanisten happojen käsittely on turvallisempaa ja helpompaa kuin mineraalihappojen. Lisäksi mm. austeniittisten ruostumattomien kloridikorroosion riski on orgaanisia happoja käytettäessä pieni, kun happoliuosten kloridipitoisuus pidetään riittävän alhaisena. Orgaanisten happojen haittapuolina ovat korkea hinta ja se, että peittaus pitää tehdä korkeassa lämpötilassa. Sitruunahappo liuottaa hyvin raudanoksideja ja sitä käytetään

yleisesti uusien kattiloiden käyttöönottopeittauksessa. Ammoniakki-sitruunahappo liuottaa raudanoksidien lisäksi kuparia ja kuparioksidia. Hydroksyylietikkahappo - muurahaishappo liuosta käytetään lähinnä valssihilseen ja magnetiitin poistoon.

Kelatointiaineet, esim. EDTA, vaikuttavat saostuman kemialliseen tasapainoon ja kykenevät liuottamaan saostumia muodostamalla saostuman metalli-ionien kanssa liukoisia metallikomplekseja. Markkinoilla on useita erilaisia EDTA-pohjaisia kelatoivia peittauskemikaaleja, jotka ovat tehokkaita mutta kalliita. Esimerkiksi ammoniakki-EDTA kykenee poistamaan mm. raudanoksidit, kuparin, kuparioksidin ja kalsiumkarbonaatin, mutta ei silikaatteja. Lisäksi haittapuolena on se, että peittaus vaatii korkean lämpötilan.

Deposit	Solvents	Temperature, °C (max)
Iron Scales	5 - 15 % HCl	80
	1 % HF + NH_4HF_2 (ABF)	80
	2 % Hydroxyacetic + 1 % Ferric/Acid + .3 % ABF	100
	NH_4OH -EDTA Citric Acid	150
Copper Deposits	Hydroxide-Bromates	80
	NH_4 -EDTA	80
	Ammonium Persulfate	40
	HCl + Thiourea (For Low Cu Loadings)	80
Hardness Chemicals	Na-EDTA	150
	7 - 10 % Sulfamic Acid	65
Silicates	0.5 - 1 % Soda Ash with HCl and F^-	Boil at 50 - 100 psi

ABF = ammoniumbifluoridi, soda ash = Na_2CO_3

Taulukko 2. Esimerkkejä kattilaputkien peittauksessa käytetyistä kemikaaleista /11/.

Peittauskemikaali	Poistettavat kerrostumat	Muuta
Suolahappo	raudanoksidit (lähinnä magnetiitti ja hematiitti) kalsiumkarbonaatti	Ei sovellu ruostumattomille teräksille
Suolahappo + Tiourea	raudanoksidit fosfaatit kuparioksidi	Ei sovellu ruostumattomille teräksille
Suolahappo + ammoniumbifluoridi (ABF)	raudanoksidit silikaatit fosfaatit karbonaatit	Ei sovellu ruostumattomille teräksille
Fluorivetyhappo	magnetiittia valssihilse silikaattit	Ei sovellu ruostumattomille teräksille
Fosforihappo	raudanoksidit karbonaatit	
Sulfamiinihappo	raudanoksidit karbonaatit	
Sitruunahappo	raudanoksidit	Vaatii korkean peittauslämpötilan
Ammoniakki-sitruunahappo	raudanoksidit kuparioksidi kupari	Vaatii korkean peittauslämpötilan
Hydroksyylietikka ($C_2H_5O_3$) - muurahaishappo (CH_2O_2)	raudanoksidit (magnetiitti, valssihilse)	
Ammoniakki-EDTA	raudanoksidit (magnetiitti, hematiitti) kuparioksidi kupari karbonaatit	Vaatii korkean peittauslämpötilan

Taulukko 3. Yhteenvedo eri peittauskemikaalien puhdistuskyvystä /1, 3, 12, 13/.

Solvent* Formulation	Carbon Steel	Low Alloy Steel	12% Chromium Steel	Cast Iron	Austenitic Steel	Copper Alloys	Aluminum
Alkaline Detergents	0	0	0	0	0	0	Δ
HCl ± ABF	0	Δ	Δ	Δ	X	0 ^b	X
HCl + Copper Complexor	0	Δ	Δ	Δ	X	X	X
Hydroxyacetic Formic Acid	0	0	0	0	0	0	0
Mono Ammonium Citrate	0	0	0	0	0	X	Δ
Sulfuric Acid	0	Δ	Δ	Δ	0	0	Δ
Ammonium Bromate	0	0	0	0	X	X	X
Ammonium EDTA	0	0	0	0	0	*	X
Phosphoric Acid	0	0	0	0	0	0	Δ

Notes:
^a Acid and EDTA solvents are inhibited.
^b Do not use in the presence of Ferric ions.
Δ Care required for satisfactory use.
* May find limited use.
0 Can be used safely.
X Do not use.

Taulukko 4. Kattilamateriaalien vaikutus peittauskemikaalien valintaan /1/.

<u>Hydrochloric Acid</u> $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_2 + 2\text{FeCl}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$ $8\text{HCl} + \text{NiFeO}_4 \rightarrow \text{NiCl}_2 + 2\text{FeCl}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{Fe}^{+++} + \text{Cu} \rightarrow \text{Fe}^{++} + \text{Cu}^{++}$ $\text{Fe} + \text{Cu}^{++} \rightarrow \text{Fe}^{++} + \text{Cu}^0$ $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ $\text{Mg(OH)}_2 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{MgCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{NH}_4\cdot\text{HF} + \text{HCl} \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl} + 2\text{HF}^c$ <u>Hydroxyacetic-Formic Acid</u> $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{HCOOH} \rightarrow 2\text{Fe(HCOO)}_3 + 4\text{H}_2\text{O} + \text{Fe(HCOO)}_2$ $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{CH}_2\text{OHCOOH} \rightarrow 2\text{Fe(CH}_2\text{OHCOO)}_3 + \text{Fe(CH}_2\text{OHCOO)}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ <u>Ammoniated Citric Acid</u> $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\text{NH}_4\text{H}_2(\text{cit}) \rightarrow \text{NH}_4\text{Fe(cit)} + 2\text{NH}_4\text{Fe(cit) OH} + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{Cu}^{++} + 4\text{NH}_3 \rightarrow \text{Cu(NH}_3)_4^{++d}$ <u>Ammoniated EDTA</u> $3(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{EDTA} + \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{FeEDTA} + 2(\text{NH}_4)\text{FeEDTA} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NH}_4\text{OH}$

^a Metallic copper removal.
^b Copper dissolution and plating.
^c Required for silica removal: $\text{SiO}_2 + 4\text{HF} \rightarrow \text{SiF}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$.
^d Copper oxide removal.

Taulukko 5. Esimerkkejä eri peittauskemikaalien vaikutustavoista /1/.

2.5 Peittaustarpeen arviointi

Peittaustarpeen arviointi edellyttää tietoja putkien sisäpuolisten kerrostumien määrästä sekä niiden tyypistä ja koostumuksesta. Voimakattiloilla käyttöpaine vaikuttaa kriittiseen kerrostumapaksuuteen/saostuman määrään (taulukko 6). B&W:n mukaan soodakattilat tulisi peitata käyttöpaineesta riippumatta, kun sisäpuolisten saostumien määrä ylittää 12...21 mg/cm². Keskimääräisellä oksidikerroksen tiheydellä 2500 mg/cm² /14/ peittausrajaksi tulee 50...80 µm kerrostumapaksuus. Perusteluna B&W:n suositukselle on, että soodakattiloissa tulipesän puoleinen korroosio voi muodostua käytettävyyttä rajoittavaksi ennen kuin saostumien määrä saavuttaa taulukossa 4 mainitut rajat.

Suositus on, että kattiloiden peittaustarvetta seurataan säännöllisesti /1, 10/. Yleensä peittaustarvetta seurataan ottamalla kattilasta putkinäytteitä säännöllisin väliajoin. Aikaväli päätetään kokemusten perusteella. Sisäpuolisten kerrostumien määrää ja mahdollista korroosioriskiä voidaan seurata myös ainetta rikkomattomin tarkastusmenetelmin (ultraääni ja emat (electromagnetic acoustic transducer)). Näiden menetelmien etuna näyteputkiin verrattuna on se, että kerrostumien muodostumista pystytään seuraamaan laajalla alueella. Ainetta rikkomattomilla menetelmillä ei kuitenkaan saada tietoja syistä miksi kerrostumia syntyy ja miten niiden muodostumista voidaan estää.

Käyttöpaine (bar)	Saostuman määrä (mg/cm ²) ^{A)}
< 69	21,4 ... 42,8
69 ... 138 (Kaikki sooda- ja jätteenpolttokattilat paineesta riippumatta)	12,8 ... 21,4
> 138	10,7 ... 12,8

^{A)} Määrittäminen standardin ASTM D3483 Method A mukaisesti

Taulukko 6. Yleissuositus kattiloiden peittausrajoista /10/

2.6 Putkinäytteet ja niiden analysointi

Ennen peittauspäättöstä kattilasta tulee ottaa putkinäytteet, jotka analysoidaan kerrostumien kemiallisen koostumuksen määrittämiseksi ja oikean peittauskemikaalin valitsemiseksi. Näytteet otetaan kohdista, joissa lämpökuorma on suurin tai kohdista joissa epäillään häiriöitä vesi-/höyryvirtauksessa. Mikäli kokonaisen putkinäytteen ottaminen ei ole mahdollista tai järkevää voidaan putken yläpinnasta tarvittaessa leikata vain pala. Yksityiskohtaiset ohjeet näytteenotosta on esitetty mm. ASTM D3483 standardissa /15/.

B&W suosittaa /10/, että näytteistä määritetään saostumien määrä pinta-alayksikköä kohden (ASTM D3483) ja kerrostumien kemiallinen koostumus. Pelkkä kerrostumien alkuaineanalyysi ei ole riittävä, sillä se ei anna tietoa siitä mitä kemiallisia yhdisteitä pinnoilta löytyy (taulukko 7). Kemiallisten analyysien lisäksi näytteille tehdään visuaalinen ja metallografinen tarkastus, jossa kiinnitetään

huomiota mm. kerrostumien ulkonäköön, kerrostuneisuuteen, väriin ja kiinnipysyvyyteen ja perusmateriaalin kuntoon. Analyysit ja tarkastukset on tehtävä erikseen näytteiden kuumille ja kylmille pinnoille.

TABLE 1.5 Components of Water-Formed Deposits

Mineral	Formula	Nature of deposit	Usual location and form
Acmite	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	Hard, adherent	Tube scale under hydroxyapatite or serpentine
Alpha quartz	SiO_2	Hard, adherent	Turbine blades, mud drum, tube scale
Amphibole	$\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	Adherent binder	Tube scale and sludge
Analcite	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Hard, adherent	Tube scale under hydroxyapatite or serpentine
Anhydrite	CaSO_4	Hard, adherent	Tube scale, generating tubes
Aragonite	CaCO_3	Hard, adherent	Tube scale, feed lines, sludge
Brucite	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	Flocculant	Sludge in mud drum and waterwall headers
Copper	Cu	Electroplated layer	Boiler tubes and turbine blades
Cuprite	Cu_2O	Adherent layer	Turbine blades, boiler deposits
Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Hard, adherent	Tube scale, generating tubes
Hematite	Fe_2O_3	Binder	Throughout boiler
Hydroxyapatite	$\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$	Flocculant	Mud drum, waterwalls, sludge
Magnesium phosphate	$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_6$	Adherent binder	Tubes, mud drum, waterwalls
Magnetite	Fe_3O_4	Protective film	All internal surfaces
Noselite	$3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$	Hard, adherent	Tube scale
Pectolite	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 4\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Hard, adherent	Tube scale
Serpentine	$3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Flocculant	Sludge
Sodalite	$3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{NaCl}$	Hard, adherent	Tube scale
Xonotlite	$5\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Hard, adherent	Tube scale

SOURCE: Courtesy of Chemical Publishing Company, *The Chemical Treatment of Boiler Water*, James W. McCoy, New York, 1981.

Taulukko 7. Esimerkkejä vesipuolen kerrostumista /2/

VIITTEET

- /1/ Siegemund J.W. Chapter 13: Chemical cleaning of utility equipment. In: Cohen, P. (ed. - in-chief) *The ASME handbook on water technology for thermal power systems*. American Society of Mechanical Engineers, New York, NY . 1989. s.1749-1794.
- /2/ Port, R.D., Herro H.M. 1991. *The Nalco guide to boiler failure analysis*. McGraw-Hill, New York, 1991. 293s.
- /3/ Dooley, R.B. 1986. Corrosion of steam/Water-side boilers. *Metals Handbook*. Vol. 13. s. 990-993.
- /4/ Venturini, T. & Duncan, N. 2003. *The chemical cleaning of boilers in Australia*. Corrosion 2003. Paper No 03589. 10s.
- /5/ Dukelow, S.G. 1985. *Improving boiler efficiency*. Instrument Society of America. Research Triangle Park, N.C., USA. 1985. 174s.

- /6/ MacDonald, D.D. & Cragnolino, G.A. 1989. Chapter 9: Corrosion of steam cycle materials. In: Cohen, P. (ed. -in-chief) The ASME handbook on water technology for thermal power systems. American Society of Mechanical Engineers, New York, NY . 1989. s. 659-1031.
- /7/ Kelly J. & Banweg, T. 1998. Hydrogen analysis as it realates to boiler life expectancy. Corrosion 1998. Paper No. 723.
- /8/ Cotton, I.J. 2000. Refinery boiler feedwater systems: corrosio n and control. Materials Performance June 2000. s. 46-51.
- /9/ Kurkela, S. 1988. Höyry ja lauhdevesi, turbiini. Teoksessa: Korroosiokäsikirja. SKY 1988. Hangon kirjapaino, Hanko 1988. s. 271-303.
- /10/ Babcock & Wilcox. 2003. Plant service bulletin 44 - Chemical cleaning guide.
<http://www.babcock.com/pgg/tt/plantservicebulletins.html#PSB44>
- /11/ Theus, G.J. & Daniel, P.I. 1984. Corrosion in steam generating systems. In: Speidel, M.O. & Atrens, A. (eds.). Corrosion in power generating equipment. International Brown Boveri Research Symposium on Corrosion in Power Generating Equipment. Baden, Switzerland 1983. s.185-232.
- /12/ Horvath, J. & McGraw, J. 2000. Criteria for succesfully cleaning a boiler. Tappi Engineering Conference 2000.
- /13/ MacDonald, S. 2003. Preoperational chemical cleaning of heat recovery steam generators. Corrosion 2003. Paper No. 03582. 8s.
- /14/ Karjunen, T. 2002. Vetyhyökkäys ja kattilavesinormit. Suomen soodakattilayhdistys ry. Raportti 6/2002.
- /15/ ASTM D3483. Standard test method for accumulated deposition in a steam generator tube.

3 SOODAKATTILAN PEITTAUS JA MAGNETIIKKALVON AJO - SUORITUS JA VALVONTA

3.1 Yleistä

Kattilan peittaus on toimenpide, missä kattilan vesipuoli puhdistetaan hapoilla ja emäksillä sekä puhtaille teräspinnoille kehitetään suojaava magnetiittikalvo. Soodakattilat ovat sitä kokoluokkaa, että niiden peittauksen suorittaa aina tähän työhön erikoistuneet firmat. Pieniä kattiloita voi peitata laitoksen oma henkilökunta.

Ennen peittausta on laadittu peittaussuunnitelma, jonka tilaaja hyväksyy. Suunnitelmasta tulee ilmetä koko peittauksen yksityiskohtainen aikataulu vaihe vaiheelta. Siinä tulee olla selvitys käytettävistä peittauskemikaloista, niiden määrät ja selvitys työmaan varoitusmerkinnöistä happokäsittelyn aikana. Myös jätevesien neutralointi ja paikka, mihin ne johdetaan, tulee käydä peittaussuunnitelmasta ilmi.

Silloin kun on kyseessä jo käytössä olleen soodakattilan uusintapeittaus, vastaavanlaisen suunnitelman peittäaja tekee kattilasta otettujen koepalojen kerrostuma-analyysien perusteella.

Koska peittaus on kemiallinen tapahtuma, tulee tilaajan kemistin olla koko ajan mukana seuraamassa tilanteita ja antamassa tarvittavaa anayysiapua. Hän valvoo myös peittäajien tekemät analyysit, inhibiittitestit ja lämpötilamittaukset.

3.2 Peittauskemikaalit

Peitattaessa uutta kattilaa, kemikaalien valinta on suhteellisen yksinkertaista, mutta vanhan kattilan uusintapeittausta suunniteltaessa on otettava putkinäytteitä, jotta varmistutaan putkien sisäpintojen kerrostumien laadusta ja paksuuksista. Laboratoriokokeiden perusteella valitaan peittausmenetelmä, -kemikaalit sekä lasketaan kierrätysajat.

3.3 Rasvanpoistokemikaalit

Uuden kattilan valmistuksen eri vaiheissa käytetään taivutusrasvoja ja suojaöljyjä, jotka tulee poistaa ennen happopeittausta, jotta kemikaalit pääsevät vaikuttamaan toivotulla tavalla.

Yleisimmät rasvanpoistokemikaalit ovat trinitriumfosfaatti (Na_3PO_4), sooda (Na_2CO_3) ja lipeä (NaOH) tai näistä tehty seos. Lisänä käytetään jotain detergenttiä alentamaan liuoksen pintajännitystä ja näin parantamaan pesutehoa.

3.4 Peittaushapot

3.4.1 Suolahappo (HCl)

Suolahappo on hinnaltaan edullinen ja irrottaa hyvin erilaisia kerrostumia. Se liuottaa useimpia oksideja jo $65\text{--}85\text{ }^\circ\text{C}$:ssa ja muodostaessaan vesiliukoisia klorideja metalli-ionien kanssa. Se pilkkoo saostumia liuottamalla jonkin kerrostumakomponentin ja loppu kerrostuma murenee irti putkipinnalta. Peittauksessa happoväkevyys on n. 3-5 % ja ei siten ole kovin hankala eikä vaarallinen käsitellä.

Suolahapolla peitattaessa systeemejä, joissa on austeniittista terästä, saa peittausliuoksen lämpötilan olla enintään $60\text{ }^\circ\text{C}$, koska suolahappo (tai paremminkin sen kloridi-ionit) aiheuttavat korkeammissa lämpötiloissa austeniittisissa teräksissä jännityskorroosiota.

Suolahappokäsittelyssä kierrätysliuokseen lisätään inhibiittejä, jotka ovat orgaanisia yhdisteitä ja kestävät vain n. $85\text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilan hajoamatta.

3.4.2 Fluorivetyhappo (H_2F_2)

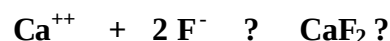
Fluorivetyhappo toimii peittauksessa normaaliin tapaan happona, mutta sen fluoridi-ioni (F^-) toimii myös katalyyttinä, nopeuttaen pajahilseen ja magnetiitin liukenemista. Fluorivetyhappo liuottaa myös silikaattia, mutta peittauksessa käytettävän hapon väkevyys (2-4 %) on niin laimea, ettei silikaatti ehdi käytännöllisesti katsoen juurikaan liueta.

Fluorivetyhapolla on samat rajoitukset austeniittisten terästen peittauksessa kuin suolahapolla.

Peitattaessa fluorivetyhapolla peittauslämpötila tulee olla 55-70 °C mikäli peittauspiirissä ei ole austeniittisiä putkia tai putken osia. Mikäli austeniittisiä materiaaleja on, ei hapon lämpötila saa olla yli 60 °C.

Koska fluorivetyhappo on huomattavasti suolahappoa reaktiivisempi, peitataan austeniittisiä materiaaleja käsittävät piirit fluorivetyhapolla, sillä se puhdistaa jo 60 °C:ssa hyvin kerrostumia, mihin tässä lämpötilassa suolahappo ei pysty.

Joissakin tapauksissa on peittaushappojen ja huuhteluvesien hävittämiselle asetettu ympäristönsuojelullisia rajoituksia. Tällöin yleensä valitaan fluorivetyhappo peittaushapoksi, sillä neutraloitaessa fluoridi-pitoiset vedet kalkilla, saostuu kalsiumfluoridi:



Saostuva kalsiumfluoridi (maasälpä) on käytännössä liukenematon ja voidaan viedä kaatopaikalle.

3.4.3 Sitruunahappo ($\text{HOOCCH}_2\text{C}(\text{OH})(\text{COOH})\text{CH}_2\text{COOH} \times \text{H}_2\text{O}$)

Sitruunahappo on luonteeltaan jonkinasteinen kompleksinmuodostaja ja soveltuu siten liuottamaan esim. ruostetta. Peittausliuoksen lämpötila tulee olla 80- 95 °C, jolloin se muodostaa ruosteen rauta-ionin kanssa liukoisia rauta-sitraattikomplekseja.

Sitruunahappo on orgaaninen elintarvikehappo, joten sen ja sen yhdisteiden hävittäminen biologisissa jätevedenpuhdistusprosesseissa käy riskittömästi.

3.4.4 Sulfamiinihappo (NH_2HSO_3), Glykolihappo (CH_2OHCOOH)

Uusia kattiloita peitattaessa voidaan käyttää hellävaraista, mutta silti hyvän peittaustuloksen antavaa menetelmää, missä orgaanisten, glykoli- ja sulfamiinihapon seokseen lisätään ammoniumbifluoridia (NH_4HF_2). Koska käytettävät hapot ovat heikkoja, niiden seoksessa inhibiitit kestävät yli 100 °C:n lämpötilassa. Hyvä peittaustulos vaatiikin heikoilla hapoilla peitatessa yli 80 °C:n lämpötilan. Peittausliuosta voidaan lämmittää peittauksen kuluessa.

3.5 Kuparinhoito

Vanhojen kattiloiden peittauksen yhteydessä poistetaan kupari, jos on tarpeellista, annostelemalla peittausliuokseen tioureaa (NH_2CSNH_2), joka liuottaa metallista kuparia. Kupari muodostaa liukenevia komplekseja peittausliuoksen kanssa.

3.6 Inhibiitit

Happopeittausinhibiitit ovat orgaanisia yhdisteitä, jotka suojaavat terästä syöpymältä, koska ne pystyvät adsorbautumaan metallin pinnalle hidastaen peittausliuoksen syövyttävää hyökkäystä itse perusmateriaaliin. Eri happoja varten samoin kuin eri metalleille on melkoinen valikoima korroosioinhibiittejä, joista peittaajat valitsevat kokemuksiensa mukaan tehokkaimmat

Mitkään inhibiitit eivät suojaa sataprosenttisesti syöpymältä. Suojausteho on riippuvainen:

- peittausliuoksen virtausnopeudesta
- happoväkevyydestä ja hapon laadusta
- lämpötilasta
- muista kemikaaleista, joita on kiertoliuoksessa

3.7 Passivointi- ja neutralointikemikaalit

Happokäsittelyn jälkeen tyhjennetään kattila happojen neutralointia varten osoitettuun altaaseen tai kanaaliin: Hapot neutraloidaan lipeällä (NaOH) tai kalkilla (Ca(OH)_2).

3.7.1 Ammoniakki (NH_4OH) ja sitruunahappo ($\text{COOHCH}_2\text{C}(\text{OH})\text{COOHCH}_2\text{COOH} \times \text{H}_2\text{O}$).

Kun kattila on tyhjennetty se huuhdellaan lämpimällä vedellä (50-60 °C), jonka jälkeen kierrätetään kattilassa 50 °C:ista sitruunahappoliuosta raudan sitomiseksi liukoiseen kompleksimuotoon. Sitruunahapon syövyttävä happovaikutus eliminoidaan annostelemalla kiertoliuokseen ammoniakkia kunnes pH on 8,5-9.

3.7.2 Natriumnitriitti (NaNO_2) ja vetyperoksidi (H_2O_2)

Hapolla puhdistetut teräspinnat täytyy passivoida, jotteivät ne ruostuisi. Passivoinnissa käytetään natriumnitriittiä tai vaihtoehtoisesti vetyperoksidia. Molemmat passivoivat tehokkaasti, mutta natriumnitriittiä käytetään useimmiten sen helpon käsiteltävyyden vuoksi.

3.8 Peittauksen suoritus

3.8.1 Valmistavat työt

Ennen kuin peittaus voidaan aloittaa, tehdään peittausputkiston asennustyöt ja kattilassa muutostöitä, jotka riippuvat kattilan rakenteesta ja peittauksen laajuudesta. Nykykäytännön mukaan tulistimia ei yleensä peitata, jos siihen ei ole erityistä tarvetta.

Tulistimet voidaan peitata, jos siihen on tarvetta, mutta silloin tulee varmistaa, että peittaajilla on käytössään niin tehokkaat kierrätyspumput, että niillä saadaan jokaiseen tulistinputkeen kiertoliuoksen nopeudeksi vähintään 2 m/s. Tämä siksi, että putkien seinämistä irronneet kiintopartikkelit saadaan virtauksella poistettava tulistinputkien alalenteista.. Jos niihin jää sakkaumia, ne palavat käytön aikana putkiin kiinni ja saavat aikaan tulistinvaurioita.

Mikäli tulistajia ei peitata, ne täytetään kattilan ensitäytön yhteydessä vedellä, jotteivät peittaushapot pääse tulistinputkiin.

3.8.2 Peittauskierto

Peittauspumpun painepuoli yhdistetään syöttövesilinjaan. Ennen yhdistämistä poistetaan pumpun jälkeinen takaiskuventtiili. Näin saadaan toisen syöttövesipumpun linjan kautta kierrätys ekonomaiseriin. Peittauspumpun imupuolelle otetaan paluut laskuputkien ja pääjakokammion mutatakuista. Paluuvirta otetaan myös verhoputkien mutatakuista sekä keittopinnan ja sivuseinien jakokammioiden tarkastusyhteistä.

Peittauspumpun nostokorkeus pitää olla suurempi, kuin peitattavan kattilan korkeus. Kun peitataan vain kattila, ilman tulistimia, pitää veden kiertää kaksi kertaa tunnissa, eli jos kattilan vesitilavuus on esim. 200 m³ pitää pumpun virtaama olla ainakin 400 m³/h. Jos peittauskiertoon otetaan mukaan myös tulistimet, on pumpun virtaaman oltava niin suuri, että tulistinputkissa saadaan peittausliuokselle 2 m/s virtausnopeutta.

Muutostyöt:

1. Minimikierto / takaiskuventtiili irroitetaan syöttövesipumpun painepuolelta ja peittauspumpun painepuoli yhdistetään syöttövesilinjaan.
2. Katkaistaan laskuputkien ja pääjakokammion mutatakut, joista kytketään yhteys peittauspumpun imupuolelle. Samoin katkaistaan keittopinnan tarkastusyhteet ja verhoputkien mutatakut sekä sivuseinien jakokammioiden tarkastusyhteet ja ne yhdistetään peittauspumpun imupuolelle.
3. Höyrylieriöön asennetaan väliaikainen miesluukku, josta johdetaan ylijuuksuputki esim. ulospuhallussäiliöön.
4. Peittauksen kontrollointia varten teetetyt koepalat asennetaan peittauspumpun sivukiertoon.

5. Lieriön molemmista päistä poistetaan 4 - 5 sykklonia taustalevyineen.
 - Laskuputkiin asennetaan kuristuslevyt, joissa n. 40 mm:n reät.
Kuristuslevyillä tehostetaan kiertoa seinäputkissa.
6. Asennetaan jätehapon neutralointiputkisto ja neutralointiallas. Ekonomaiserin tyhjennysputki katkaistaan ja yhdistetään neutralointialtaaseen menevään putkeen.
7. Ykkös-ekonomaiserin tyhjennystä varten on poistettava syöttövesilinjan takaiskuventtiilistä sisäkalut.
8. Tarkistetaan peittauspiiriin kuuluvien venttiilien asennot. Suljetaan näytteenottolinjojen juuriventtiilit. Suljetaan analysaattoreille ja mittareille menevien linjojen juuriventtiilit ja mielellään irrotetaan näyteputket, jottei vahingossa happoa pääse analysaattoreihin.

3.8.3 Rasvanpoisto

Kattila täytetään 100 °C:lla syöttövedellä ja huuhdellaan sillä irtolika pois, ja jätevedet johdetaan viemäriin.

Huuhtelun jälkeen kuumaan syöttövedeen lisätään rasvanpoistoa varten esim. trinatriumfosfaattia tai soodaa ja pinta-aktiivista pesuainetta. Tätä liuosta kierrätetään 6-8 tuntia ja se tyhjennetään välialtaaseen, mistä se johdetaan valvotusti jäteveden puhdistamolle.

Kattila huuhdellaan mieluiten lämpimällä vedellä, kunnes huuhteluveden pH on lähellä neutraalia. (~pH 8).

3.8.4 Happokäsittely

Kattila täytetään 100 °C:lla vedellä, jonka jälkeen kiertoon annostellaan inhibiittori ja sen jälkeen peittaushappo. Kierrätetään happoa 6-10 h. Kierrätysliuoksesta analysoidaan kerran tunnissa:

- hapon väkevyys
- rautapitoisuus
- inhibiittoritestit

Kierrätyksen jälkeen tyhjennetään kattila neutralointialtaaseen, ja happo neutraloidaan lipeällä tai kalkilla (pH 6-9). Tämän jälkeen allas voidaan tyhjentää valvotusti jätevedenpuhdistamolle.

Kattila huuhdellaan lämpimällä (40-50 °C), kunnes huuhteluvesi on lähes neutraalia.

3.8.5 Neutralointi ja passivointi

Kattila täytetään n. 50 °C vedellä ja lisätään kiertoon ammoniakkivesi, sitruunahappo ja natriumnitriitti/vetyperoksidi. Kierrätetään liuosta 3-5 h.

Huom! Tässä vaiheessa tulee selvittää aikataulusta, voidaanko kattilan tarkastuksen jälkeen aloittaa välittömästi sen entisöinti. Jos ei, niin neutralointi/passivointiliuos jätetään kattilaan kunnes tarkastuksen jälkeen voidaan aloittaa viivyttelämättä entisöinti.

Jos entisöinnin aloittamiselle ei ole estettä kattila tyhjennetään ja vedet johdetaan välialtaaseen tai johonkin muuhun niille osoitettuun paikkaan.

Lieriöiden miesluukut ja alakokoomakammioiden päät avataan. Jos havaitaan irtonaista sakkaa, se huuhdellaan pois ja magnetiittikalvon kunto tarkastetaan endoskoopilla. Jos on tarpeen, niin jossain tapauksessa on otettu putkista koepaloja, joskin se on erittäin harvinaista..

Koepalojen painohäviöstä voidaan hyvin pitkälti päätellä happokäsittelyn tehokkuus.

3.8.6 Kattilan entisöinti

Välittömästi, kun mahdollinen irtolika on poistettu, tulisi aloittaa kattilan entisöinti.

Nopea aloittaminen on välttämätöntä, sillä puhtaaksi happopeitattu teräspinta reagoi aktiivisesti ilman hapen kanssa, jolloin pinnoille syntyy ruostetta.

Puretaan väliaikaiset peittausyhteet, miesluukku jne. Asennetaan syklonit paikoilleen sekä hitsataan tarkastusyhteet ja mutataskut alkuperäiseen kuntoonsa.

3.8.7 Instrumentti- ja näytelinjojen huuhtelu ja vesipainekoe

Kattilan tyhjennysventtiileitä avataan n. 50 % ja aloitetaan kattilan täyttö syöttövedellä tai puhtaalla lauhteella.. Venttiilit pidetään avattuina niin kauan kunnes ulostuleva vesi on puhdasta.

Tiiveyskoetta ja sitä seuraavaa mahdollista päivän - kahden säilöntää varten kattila täytetään syöttövedellä tai lauhteella, jonka lämpötila on 40-50 °C. Täyttöveteen lisätään hydratsiinia, Elimin-Ox´ia tai vastaavaa 0,5 kg/m³ hapensidontakemikaaliksi ja ammoniakkia niin paljon, että pH on yli 10,5.

Suoritetaan kattilan tiiveyskoe. Kun kattilassa on vielä painetta 40-50 bar. puhalletaan analysaattori- ja mittariyhteet sekä näytteenottolinjat.

Kattila tyhjennetään ja huuhdellaan.

Kattila täytetään syöttövedellä ja aloitetaan magnetiittikalvon kehitysajo.

3.8.8 Jo käytössä olleiden kattiloiden uusintapeittaus

Useimmiten kattilan uusintapeittaukseen johtaa magnetiittikalvon kasvu liian paksuksi. Kriittisenä paksuutena pidetään paineesta riippuen 0,1-0,3 mm.

Kalvon epätavalliseen paksuuntumiseen on useimmiten syynä kattilavesikemian taitamaton seuranta.

Peittaustarvetta synnyttää myös vieraiden aineiden, kuten mustalipeän, öljyn, pre-coat -suotimen päällystysmassan tms. joutuminen kattilaveteen.

Nämä orgaaniset aineet palavat kiinni ja koksautuvat putkipinnoille ja ne täytyy poistaa peittaamalla.

Kerrostumia muodostavat myös epäorgaaniset suolat, joista vaikeimmin poistettavia ovat silikaatit. Monesti suolakerrostumat sisältävät **kalsiumia (Ca)**, joka on peräisin mitä ilmeisimmin lauhteisiin vuotaneesta raakavedestä, **fosfaattia (PO₄)** kattilaveteen syötetystä trinatriumfosfaatista (Na₃PO₄). Kerrostumien **silikaatti (SiO₂)** johtuu vahvan kationivaihtimen silikaattivuodosta ja osittain raakaveden vuotamisesta lauhteisiin, **rauta (Fe)** tulee kattilaveteen ja siitä kerrostumiin syöttöveden mukana sekä teräksen ja magnetiitin liukenemistuotteina.

Silikaatti liukenee helposti **väkevään** fluorivetyhappoon, mutta peittauksessa ei ole mahdollista käyttää sitä, sillä kattilamateriaalit eivät kestä syöpymättä. Laimeaan happoon silikaattien liukoisuus on hyvin hidasta, mutta liuottamalla laimeaan happoon joitain muita saostuman komponentteja, saadaan kerrostumat murenemaan ja irtonainen sakka poistetaan tyhjennyksien kautta.

Peitattaessa vanhaa kattilaa, rasvanpoistoa ei tarvitse suorittaa, joten peittausaika on lyhyempi, kuin puhdistettaessa uutta kattilaa.

Happokäsittelyn kemikaalit valitaan kattilasta otettujen koepalojen kerrostuma-analyysin perusteella.

3.8.9 Peittauksen ja siihen liittyvien töiden aikataulu

Peittaukseen liittyviä väliaikaisia kierrätysputkistoja voidaan rakentaa hyvissä ajoin ennen varsinaisen peittauksen alkua. Samoin voidaan useassa tapauksessa tuoda kierrätyspumput- ja säiliöt niille varatuille paikoille.

Peittausputkiston runkolinjan rakentaminen	4-5 päivää
---	-------------------

Putkiston kytkeminen kattilapiiriin	n. 1 päivä
--	-------------------

Rasvanpoisto. happokäsittely, kuparipoisto ja passivointi täyttöineen tyhjennyksineen ja huuhteluineen	1½ -2 vrk
---	------------------

Entisöinti	n. 1½ vrk
Vesipainekoe	1 päivä
Kattilan täyttö ja tyhjennys	½ päivää
Magnetiittikalvon ajo	2-2½ vrk

Peittausaikataulussa tulee huomata, että asennustöitä ja vastaavia voidaan tehdä päivätyönä, mutta itse peittauskäsittelyt ja magnetiittikalvon ajo ovat keskeytymättömiä.

3.8.10 Vedentarve peittauksessa

Vedentarve vaihtelee peitattaessa uutta tai jo käytössä ollutta kattilaa. Käytössä ollutta kattilaa peitattaessa ei tehdä rasvanpoistoa, jos siihen ei ole erityistä tarvetta. Saattaa kuitenkin olla, että vanhasta kattilasta joudutaan poistamaan erilaisia kerrostumia, joten käsittelyjen määrä kasvaa ja sitä myöten vedentarve.

Uusi kattila:

Itse peittauksessa vedentarve on:

- alkuhuuteluun mekaanisesti puhdistettua vettä n. 2 kertaa peitattavan kattilaosan tilavuus
- ionivapaata vettä muihin käsittelyihin n.7-8 kertaa peitattavan kattilanosan tilavuus
- magnetiittikalvon ajossa kuluu ionivapaata vettä 2-4 kertaa peitattavan kattilanosan tilavuus.

Vanhan kattilan uusintapeittaus

- peittaukseen ja huuhteluihin kuluu ionivapaata vettä 5-8 kertaa peitattavan kattilanosan tilavuus
- magnetiittikalvon ajossa kuluu ionivapaata vettä 2-4 kertaa peitatun kattilanosan tilavuus

3.9 Peittauksen valvojan tehtävät

Valvova kemisti pitää kirjaa kaikista tapahtumista tarkkoine kellonaikoineen. Käytetyt kemikaliomäärät, eri peittausvaiheiden lämpötilat, pH:t ja kemikalioiden kiertoajat hän kirjaa ylös.

Valvoja, yhdessä peittaajien kanssa, tarkistaa peittaussuunnitelman mukaisen venttiililuettelon, jossa on määritetty positioittain mitkä venttiilit ovat peittauksen aikana auki ja mitkä kiinni.

Valvojan tulee huolehtia siitä, ettei asiattomia ihmisiä ole paikalla peittauksen aikana. Samoin hän huolehtii, että peittaukseen osallistuvat käyttävät asianmukaisia suojarusteita happeja ja emäksiä purettaessa autosta tai kuljetuskonteista.

Soodakattilaa, joka on ollut jo käytössä, uusintapeitattaessa tulee valvojan tarkistaa, että liuottaja on tyhjä ja huuhdeltu samoin lattiakanaalit. Niissä ei saa olla viherlipeää eikä sulaa.

Peittaushappo hajottaa viherlipeän ja sulan sulfidin erittäin myrkylliseksi rikkivedyksi (H₂S -kaasu)

Vaikkakin peittaushapon neutraloinnissa käytetään ohjeellisina pH-rajoina 6-9, niin suositeltavaa on käyttää neutralointiin niin paljon lipeää tai kalkkia, että pH nousee selvästi alkaaliseksi, sillä kanaaleissa saattaa olla tai sinne saattaa tulla muilta osastoilta esim. valkolipeää, joten on olemassa rikkivedynkehittymisvaara..

Kun kattilasta tyhjennetään peittaushappo, seuraa ja huolehtii peittauksen valvoja, että hapon neutralointi tapahtuu asiallisesti ja neutraloitu liemi johdetaan ennalta

sovittuun paikkaan. Neutraloidusta haposta olisi hyvä ottaa näyte, joka säilytetään mahdollisia myöhempiä keskusteluja varten. (Ympäristökysymykset)

Jos peittausohjelmaa joudutaan syystä tai toisesta muuttamaan joko peittaajan, valvojan tai tehtaan muun toiminnan vuoksi tulee valvojan punnita muutoksen välttämättömyys ja sen vaikutukset peittaustapahtumaan sekä tehdasprosesseihin.

Peittauksessa joudutaan kattila täyttämään ja tyhjentämään useita kertoja, joten vedenkulutus on suuri. Valvojan tulee informoida vesilaitosta ja seurata vedenvalmistusta sekä vesivarastojen riittävyyttä.

Koska happokäsittelyn jälkeen kattilan teräspinnat ovat puhtaat ja erittäin helposti ruostuvat, kemisti seuraa, että neutralointi ja passivointi tehdään nopeasti ja huolella.

3.9.1 Peittaustuloksen arviointi

Kun kattila on passivoitu, se tyhjennetään. Lieriöiden luukut avataan ja tarkastetaan kattilan puhtaus. Jos tarpeellista huuhdellaan lieriöistä ja jakokammioista irtonainen lika pois. Putkien puhtautta voidaan tarkastella endoskoopilla ja videoida endoskooppikuvat. Joissain tapauksissa otetaan peittaustuloksen toteamiseksi putkinäytteet.

Peittaaja antaa kattilalle syöpymistakuun, jonka toteamiseksi pannaan peittauskiertoon koepalat. Kaikista eri happokäsittelyn alaisista materiaaleista on peittauskiertoon pantu **kirkkaaksi hiotut** koepalat, jotka pestään rasvattomiksi, kuivataan ja punnitaan laboratoriova´alla. Koepaloista on tehty tarkat piirustukset mittoineen. Paloihin ei saa tehdä stanssilla eikä tussilla mitään merkintöjä, vaan eri materiaalit erotetaan toisistaan mittojen perusteella. Koepalat asetetaan kiertoliuokseen niin, etteivät ne kosketa toisiinsa eivätkä muihin metalleihin. Peittauksen valvoja kuivaa ja punnitsee koepalat happokäsittelyn jälkeen. Painohävikkien ja kappaleista tehtyjen piirustusten perusteella hän laskee eri materiaalien syöpymät. Koska syöpymät ilmoitetaan g/m^2 , on ensiarvoisen tärkeää, että koepalat ovat hiotut täysin kirkkaiksi. Jos pinnat ovat karkeat, ei kappaleiden tarkkaa pinta-alaa voida mitata.

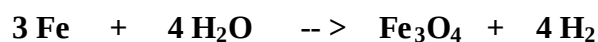
Syöpymän kannalta katsotaan peittäus hyväksytyksi jos materiaalihävikki on $< 20 \text{ g/m}^2$. Jos koepalojen materiaalihävikki on $< 5 \text{ g/m}^2$, saattaa kattilan puhdistumisessa olla toivomisen varaa.

Kun tarkastus on suoritettu ja peittaustulos dokumentoitu, entisöidään kattila. Höyrylieriöstä poistetut sykloonit asennetaan paikoilleen ja jakokammioiden katkaistut päät hitsataan kiinni, miesluukut suljetaan ja täytetään kattila lämpimällä vedellä ja tehdään vesipainekoe. Vesipainekokeella todetaan kattilan tiiveys. Jos on tiedossa tai epäily, ettei tiiveyskokeen jälkeen lähes välittömästi päästä aloittamaan magnetiittikalvon kehitysajoa, säilötään kattila lisäämällä koeponnistusveteen ylimäärin hapensidontakemikaalia ja nostamalla veden pH ammoniakilla kymmeneen (pH 10).

3.9.2 Magnetiittikalvon kehitysajo

Vesipainekokeen jälkeen kehitetään kattilan peitatuille teräspinnoille, niitä suojaava magnetiittikerros. Magnetiitti on raudan oksidi, jonka kemiallinen kaava on Fe_3O_4 . Se on väriltään tummanharmaa tai jopa musta, siksi sitä sanotaankin "mustaksi ruosteeksi"

Magnetiittia syntyy veden ja raudan reagoidessa keskenään. Kalvo syntyy monen reaktiovaiheen jälkeen ja summareaktio on:



Oikein kehitetty magnetiittikalvo on tiiviisti kiinni teräspinnassa, se on ohut ja pienikiteinen. Jotta kalvo muodostuisi edellä kuvatuunlaiseksi, tulee kalvon kehitysajo tehdä valvotuissa, oikeissa olosuhteissa.

3.9.3 Ennen kalvon kehitysajoa

Ennen kuin magnetiittikalvoa aletaan kehittää, varmistutaan, että:

- vesilaitos on varautunut suureen vedenkulutukseen kehitysajan aikana
- laboratorio on koko ajan käytössä
- pohjapuhalluksia suorittamaan on nimetty joka vuoroon henkilöt
- valvomohenkilökunta on hyvin informoitu tulevasta ajosta

Kehitysajo:

Magnetiittikalvo kehitysajossa käytetään kaasupoistettua suolavapaata vettä, jonka pH säädetään hieman alkaaliseksi hydratsiinilla, Elimin Ox:illa tai vastaavalla haihtuvalla alkaalilla, joka sitoo myös jäännöshappea.. Parhain pH-alue kunnollisen kalvon kehittymiselle on pH 7-8. Tällä pH-alueella magnetiitin muodostuminen tapahtuu hitaasti, kiteet ovat pieniä ja tiiviisti pinnoissa kiinni.

Jos kalvo kehitetään pH:ssa, joka on > 8 , muodostuu magnetiittia nopeasti. Tällöin kuitenkin kiteet ovat suuria ja niiden väliin jää paljasta metallipintaa. Kun normaaliajon aikana kattilaveden pH nostetaan välille 9-10, kiihtyy isojen kiteiden muodostuminen. Isokiteinen kalvo on harva, eikä suojaa metallipintoja, koska vesi pääsee tihkumaan kiteiden välistä kosketuksiin teräksen kanssa.

Näin syntyy uutta ja uutta isokiteistä magnetiittia, kalvo paksuneee ja huonoimmassa tapauksessa joudutaan poistamaan liian paksuna uusintapeittauksella.

Magnetiittikalvon kehitysajoa aloitettaessa täytetään kattila suolavapaalla vedellä, jonka happipitoisuus on alle 0,01 mg/kg ja pH on säädetty välille 7-8 haihtuvalla alkaalilla. ja täyttövettä vaihdetaan niin paljon, että kattilavesi näyttää kirkkaalle.

Tämän jälkeen sytytetään kattilaan öljytulet ja aletaan nostaa kattilan painetta. Paine nostetaan hitaasti 15-20 bariin ja pidetään tässä n 20 tuntia. Tänä aikana tapahtuvat magnetiitin muodostuksen esireaktiot. Kattilavettä vaihdetaan koko

kalvonajon ajan mahdollisimman paljon. Jatkuva ulospuhalluslinja tulee olla täysin auki ja pohjapuhalluksia tehdään niin, että kukin pohjapuhallusventtiili pidetään täysin auki puolen tunnin välein puolesta minuutista minuuttiin.

Kun ajo on kestänyt 15-20 barin paineessa n. 20 tuntia nostetaan paine n. 30-35 bariin ja jatketaan tässä paineessa, edelleen vettä tehokkaasti vaihtaen 30-35 tuntia.

Magnetiittikalvon kehittymistä seurataan laboratorioanalyysien. Valvova kemisti pitää kirjaa kaikista tapahtumista ja ohjaa kattilan ajoa.

Ajon aikana analysoidaan ja mitataan:

- Näyte: Syöttövesi, kattilavesi, kylläinen höyry
- Suure: pH
 - Sähkönjohtavuus mS/m
 - Rauta (Fe) mg/kg
 - Silikaatti (SiO₂) mg/kg

Aika ajoin tarkistetaan syöttöveden happi (O₂).

Kun kattilaveden ja höyryn analyysiarvot ovat hyväksyttävällä tasolla, voidaan päätellä kalvon olevan valmis ja kattilassa voidaan aloittaa puhtaaksi puhallukset irtonaisten partikkelien poistamiseksi kattilasta.

Kalvon kehittymistä voidaan seurata myös vetymittauksilla. Nykyisin tähän on hyvät mahdollisuudet, sillä Suomessa on asiantuntemusta ja laitteet tällaista seurantaan varten. Koska raudan ja veden reagoidessa keskenään, syntyy kaikissa magnetiitin esivaiheiden ja itse magnetiitin muodostumisreaktioissa yhtenä reaktiotuotteena vetykaasua, mitataan syntyvän vedyn määrää kylläisessä höyryssä. Kalvonajon alkuvaiheessa vedyn kehittyminen on voimakasta, mutta ajon kestäettyä 40 - 45 h. alkaa se vähetä. Kun vetypitoisuus on lähellä nollaa, merkitsee tämä, että vesi ja rauta eivät ole kosketuksissa keskenään vaan niiden välillä on magnetiittikalvo ja kehitysajo voidaan lopettaa.

Kattilan säilöntä:

Kun magnetiittikalvo on kehitetty, suoritetaan puhtaaksi puhallukset. Kun höyryn riittävä puhtausaste on saavutettu, voidaan kattila kytkeä höyryverkkoon. On myös mahdollista, ettei kytkentää voida heti tehdä, joten kattila pitää säilöä. Kattilaveteen annostellaan hapensidontakemikaalia, hydratsiini tai vastaava, $0,5 \text{ kg/m}^3$ ja ammoniakkia niin, että veden pH on yli 10,5. Kattilavettä kierrätetään joko, lämmittämällä kattilaa öljypolttimilla kerran - kaksi viikossa sen verran, että saadaan aikaan luonnonkiertoa, vesi lämpenee ja kemikaalit pysyvät tasaisesti sekoittuneena. Jos kattilassa on säilöntää varten erillinen ulkoinen säilöntäpumppu ja lämmönvaihdin näillä lämmitetään ja kierrätetään vettä pari - kolme kertaa viikossa niin, että veden lämpötila pysyy n. $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$:n paikkeilla

Kierrätys on tärkeää kemikalioiden sekoittumisen kannalta ja siksi, että seurattaessa analyysin säilöntäveden hapensidontakemikaalin pitoisuutta ja pH:ta saadaan analyysiin ja mittaukseen edustava näyte. Jos sekoittumista ei saada aikaan, saattaa jostakin laipasta tai vastaavasta diffundoitua veteen ulkoilman happea, joka kuluttaa hapensidontakemikalion ja seisovassa vedessä kasvaa happipitoisuus aiheuttaen syöpymää.

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
SUOSITUS

- 1 Suomen Soodakattilayhdistys ry

Hajukaasujen polttosuositus
Jaakko Pöyry Oy/Esa Vakkilainen
(16A0913-E0031)
30.5.2002
- 2 Suomen Soodakattilayhdistys ry

Soodakattilan turva-automaation suositus
Suomen Soodakattilayhdistys ry:n Automaatiotyöryhmä/Mauri Heikkinen
(16A0913-E0044)
15.1.2003
- 3 Suomen Soodakattilayhdistys ry

Soodakattilan tarkastus- ja peittaussuositus/Esa Ilves, Pekka Pohjanne, Jorma Kiimalainen
(16A0913-E0061)
15.12.2004