

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotantotekniikka ja kunnossapito

Anssi Kuusijärvi

Sellu- ja paperitehtaan kemikaalisäiliöiden tarkastussuunnitelma

Opinnäytetyö 2013

Tiivistelmä

Anssi Kuusijärvi

Sellu- ja paperitehtaan kemikaalisäiliöiden tarkastussuunnitelma, 44 sivua, 3 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tuotantotekniikka ja kunnossapito

Opinnäytetyö 2013

Ohjaajat: lehtori Veli-Pekka Jurvanen, Saimaan ammattikorkeakoulu, kunnossapidon kehityspäällikkö Tero Junkkari, UPM- Kymmene Oyj, Kaukas

Opinnäytetyössäni oli tarkoituksena järjeistää ja vaiheistaa UPM-Kymmenen Kaukaan paperi- ja sellutehtaan kemikaalisäiliöiden määräaikaistarkastukset sekä luoda kunnossapitojärjestelmä SAPiin strategiaohjatut huoltosuunnitelmat sellutehtaan kaustistamon alueelle. Työn ohessa päivitettiin myös vanha säiliö-tarkastuspöytäkirja.

Opinnäytetyön teoriaosassa käsitellään kemikaaleista ja niiden varastoinnista asetettuja säädöksiä, sekä säiliöiden rakenteisiin liittyviä säädöksiä. Teoriaosassa käydään läpi myös erilaisia korroosionmuotoja, ainetta rikkomattomia tarkastusmenetelmiä, korroosion ehkäisymenetelmiä sekä säiliöiden korjaukseen liittyviä säädöksiä. Soveltamisosassa käydään läpi tarkastuksen kulku sekä menetelmät, joiden avulla tarkastuksien vaiheluettelo ja tarkastusväli määritettiin. Tarkastuksen aikana havaittujen vikojen korjaamismenettely käydään läpi sen osalta, mitä tulee tehdä, kun vika havaitaan ja korjaustöitä aletaan suunnitella.

Työssä laadittiin esimerkkityönä muulle tehtaalle kaustistamon alueen säiliöiden ja niihin liittyvien oheislaitteiden huoltosuunnitelmat tavalla, jota ei vielä Kaukaan tehtailla ole suuremmissa määrin harjoitettu. Tavoitteena oli tehdä myös selkeät ohjeet strategiaohjauksen luomiselle.

Avainsanat: Kemikaalilaki, kemikaalisäiliö, määräaikaistarkastus, korroosio, NDT-tarkastukset

Abstract

Anssi Kuusijärvi

Inspection plan of chemical tanks for the pulp and paper mill, 44 pages, 3 appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Mechanical Engineering and Production Technology

Maintenance and Production Technology

Bachelor's Thesis 2013

Instructors: Lecturer Veli-Pekka Jurvanen, Saimaa University of Applied Sciences, Maintenance Development Manager Tero Junkkari, UPM-Kymmene Ltd, Kaukas

The purpose of the bachelor's thesis was to make inspection plans of chemical tanks more logical at UPM-Kymmene Oyj Kaukas and also to create strategy driven maintenance plans in maintenance and business management software SAP. The strategy driven maintenance plans were made for pulp mill's recausticizing area.

The theoretical part of the work handles directives about handling and storage of dangerous and flammable chemicals and the structures of storage tanks. The theoretical part also handles different types of corrosion types and inspection methods. Furthermore prevention of corrosion and directives about repairing the faults found in tanks. The application part presents the inspection of tank and the methods used to set the time between inspections and the different stages of inspection. In the theoretical part is also described how to act when faults are found.

In this study a strategy-driven pilot planning for the recausticizing area was carried out in a way that has hardly ever been realized at Kaukas mills before.

Keywords: Chemical act, chemical tank, maintenance planning, inspection plan, corrosion, Non-Destructive Testing (NDT)

Sisältö

| | |
|--|----|
| 1 Johdanto | 6 |
| 2 Yritysesittely | 8 |
| 2.1 UPM-Kymmene Oyj | 8 |
| 2.2 UPM-Kymmene Oyj Kaukaan tehtaat | 8 |
| 2.2.1 Historia | 9 |
| 2.2.2 Kaukas tänä päivänä | 9 |
| 3 Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa | 11 |
| 4 Kiinteiden varastosäiliöiden rakenne ja tarkastukset | 14 |
| 4.1 Rakenne | 14 |
| 4.2 Korroosiosuojaus | 15 |
| 4.3 Tarkastukset | 16 |
| 4.4 Säiliöiden korjaukset | 17 |
| 5 Korrosio | 19 |
| 5.1 Korrosiotyypit | 19 |
| 5.1.1 Kemiallinen korrosio | 19 |
| 5.1.2 Sähkökemiallinen korrosio | 19 |
| 5.2 Korroosion esiintymismuodot | 20 |
| 5.2.1 Yleinen syöpyminen | 20 |
| 5.2.2 Paikallinen syöpyminen | 20 |
| 5.2.3 Galvaaninen korrosio | 21 |
| 5.2.4 Eroosio- ja kavitaatiokorrosio | 22 |
| 5.2.5 Hiertymiskorrosio | 25 |
| 5.2.6 Raerajakorrosio | 25 |
| 5.2.7 Valikoiva liukeneminen | 26 |
| 5.2.8 Jännityskorrosio | 27 |
| 5.2.9 Korroosioväsyminen | 29 |
| 6 Korroosion torjunta | 30 |
| 6.1 Rakenneaineiden merkitys korroosiossa | 31 |
| 6.2 Suojapinnoitteet | 31 |
| 7 Tarkastusmenetelmiä | 33 |
| 7.1 NDT- tarkastukset | 33 |
| 7.1.1 Silmämääräinen tarkastus | 33 |
| 7.1.2 Magneettijauhetarkastus | 34 |
| 7.1.3 Tunkeumanestetarkastus | 36 |
| 7.1.4 Radiografinen tarkastus | 37 |
| 7.1.5 Ultraäänitarkastus | 38 |
| 7.1.6 Vuotokoe | 38 |
| 8 Tarkastussuunnitelman toteutus | 40 |
| 8.1 Suunnittelu | 40 |
| 8.3 Tarkastuksen kulku | 42 |
| 8.4 Tarkastuksissa havaittujen vikojen korjaaminen | 44 |
| 8.5 Tarkastuspöytäkirjojen dokumentointi | 45 |
| 9 Yhteenveto | 46 |
| Kuvat | 48 |
| Lähteet | 49 |

- Liite 1. Eräiden kemikaalien vaikutus yleisimpiin rakenneaineisiin
- Liite 2. Eräiden kemikaalien vaikutus yleisimpiin rakenneaineisiin
- Liite 3. Eri pinnoitusmenetelmien jaottelu

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on järkeistää UPM-Kaukaan tehtaiden kemikaalisäiliöiden määräaikaistarkastuksia. Aikaisemmin tarkastuksia on tehty ilman kunnollista suunnitelmallisuutta, joten työn tavoitteena on luoda jokaiselle kemikaalisäiliölle strategiaohjattu määräaikaistyö kunnossapitojärjestelmä SA-Piin sekä tarkastuksen eri vaiheita kuvaava vaiheluettelo. Säiliöiden tarkastussuunnitelma tehdään ensiksi sellutehtaan kaustistamolle, josta saatujen kokemusten ja ohjeiden mukaan tehdään tarkastussuunnitelmat muuallekin sellutehtaalle ja paperitehtaalle.

Turvatekniikan keskus edellyttää toiminnanharjoittajalta säiliöiden tarkastussuunnitelman, mutta erona esimerkiksi painelaitteisiin on, että tarkastuksen ja tarkastuksen välin saa toiminnanharjoittaja määritellä itse.

Työ rajataan koskemaan vain kemikaalisäiliöitä, joten työstä jätetään pois putkistot, rekisteröidyt painelaitteet sekä vaarattomalla sisällöllä olevat säiliöt, jos niiden tarkastusta ei koeta tarpeelliseksi. Tarkastusohjelman päivityksellä pyritään parantamaan turvallisuutta sekä ehkäisemään mahdolliset ympäristövaingot. Työn pohjana ovat Turvatekniikan keskuksen ohjeistukset ja asetukset sekä kemikaalilainsäädäntö.

Työ tehdään käyttöhenkilöstön avustuksella. Säiliöiden seasta rajataan kemikaaleja sisältävät säiliöt sekä säiliöt, joita on kokemusten perusteella hyvä tarkastaa vaikka ne eivät kemikaalia sisältäisikään. Säiliöille määrätään tarkastusväli huomioiden säiliön sisältö sekä materiaali, josta säiliö on tehty. Tarkastuksen vaiheluettelo tehdään myös haastattelemalla sekä pitämällä palavereita. Vaiheluetteloihin listataan myös tarpeelliset tarvikkeet, joita tarkastuksessa tarvitaan.

Säiliöt löytyvät SAP-järjestelmästä, ja säiliöiden jakaminen eri käytönvalvojille toteutetaan lisäämällä laitetietoihin kemikaalikäytönvalvojan numero, jolla hakemalla löytää alueen säiliöt. Näin säiliöiden haku tulevaisuudessa helpottuu.

Teoriaosassa selvitetään kemikaalisäädöksiä ja kemikaalien varastosäiliöiden rakennetta, niiden tarkastuksia ja korjauksia. Lisäksi esitellään eri kor-

roosiotyyppejä sekä kunnonvalvontaan liittyviä tarkastusmenetelmiä. Soveltamisosassa käsitellään työn tekoa suunnittelusta aina työn toteutukseen.

2 Yritysesittely

2.1 UPM-Kymmene Oyj

UPM syntyi syksyllä 1995, kun Kymmene Oy ja Repola Oy sekä sen tytäryhtiö Yhtyneet Paperitehtaat Oy (United Paper Mills) ilmoittivat yhdistymisestään. UPM:llä on pitkät perinteet metsäteollisuudessa, sillä konsernin ensimmäiset puuhiomot ja paperitehtaat sekä sahalaitekset käynnistyivät jo 1870-luvun alkupuolella. Sellun valmistaminen aloitettiin 1880-luvulla ja paperin jalostus 1920-luvulla. Vaneria konsernissa alettiin valmistaa 1930-luvulla. (1.)

Nykyisin maailmanlaajuisen myyntiverkoston omaava UPM-konserni muodostuu kaikkiaan noin sadasta aikoinaan itsenäisesti toimineesta yhtiöstä. UPM työllistää noin 22 000 henkilöä, joista Suomessa työskentelee noin 9 000. Valmistuslaitoksia on kaikkiaan 17 maassa. (1; 2; 3.)

UPM:n kulmakiviä nykyisin ovat kuituun ja biomassaan pohjautuvat liiketoiminnot sekä uusiutuvat raaka-aineet ja tuotteet. Yhtiö koostuu kuudesta itsenäisestä liiketoiminta-alueesta: Energia, Sellu, Metsä ja sahat, Paperi, Tarrat sekä Vaneri. (1.)

UPM-konserniin kuuluu nykyisin neljä sellutehdasta ja 23 paperitehdasta. Liiketoimintavaihtoista kaksi kolmannesta kuuluu paperille, noin kuudennes sellulle ja loput teknisille materiaaleille ja muulle toiminnalle. Alueittain suurimpia markkina-alueita ovat Eurooppa (67 %), Aasia (15 %) ja Pohjois-Amerikka (11 %). UPM on maailman suurin graafisten papereiden valmistaja 12 210 t/v tuotantokapasiteetilla. (1; 2; 3.)

2.2 UPM-Kymmene Oyj Kaukaan tehtaat

Lappeenrannassa sijaitsevat Kaukaan tehtaat ovat olleet toiminnassa jo yli 130 vuotta. Kaukaan tehdasintegraattiin kuuluu paperitehdas, sellutehdas, saha ja jalostetehdas, tutkimuskeskus, Kaukaan Voiman biovoimala sekä vuonna 2014 valmistuva biojalostamo. Koko integraatissa työskentelee noin 1200 henkilöä. (2.)

2.2.1 Historia

Kaukaalla toiminta on alkanut vuonna 1873, jolloin toiminta keskittyi lankarullien valmistukseen. Nykyisellä tehdasalueella toiminta alkoi vuonna 1892 ja ensimmäinen sulfiittiselluloosatehdas valmistui viisi vuotta myöhemmin. Toinen sulfiittiselluloosatehdas alkoi toimia vuonna 1905. Sahatoiminta alkoi Parkkarilan höyrysahan toimesta vuonna 1898. (2.)

Ensimmäinen sulfaattisellutehdas otettiin käyttöön 1964. Paperikone 1 käynnistyi vuonna 1975 ja paperikone 2 vuonna 1981. Nykyinen soodakattilalaitos (SK3) valmistui 1991 ja vuotta myöhemmin mukaan tuli myös biologinen puhdistamo. Vuonna 1996 nimi muuttui edellisenä syksynä tehtyjen fuusioitumisten myötä UPM-Kymmene Oyj Kaukaan tehtaiksi. (2.)

2.2.2 Kaukas tänä päivänä

Kaukaalla, niin kuin koko UPM-konsernissa, panostetaan yhä enemmän energiatehokkuuteen ja kestävään kehitykseen. UPM:n vision, The Biofore Companyn, tarkoitus on yhdistää bio- ja metsäteollisuuden ja rakentaa uutta, kestävää ja innovaatiovetoista tulevaisuutta. Visiota tukee vahvasti myös vuonna 2014 valmistuva maailman ensimmäinen puupohjaisia liikenteen biopolttoaineita valmistava biojalostamo, jossa on tarkoitus alkaa valmistaa korkealaatuista toisen sukupolven biodieseliä. Biodieselin raaka-aineena käytetään raakamäntööljyä, jota hyödynnetään aikaisempaa tehokkaammin ja tuotantotavoite on 100 000 tonnia valmista tuotetta vuodessa. Litroiksi muutettuna se vastaa noin 120 miljoonaa litraa biodieseliä. (2.)

Kaukaan paperitehtaalla on kaksi paperikonetta ja kolme päällystyskonetta. Paperituotteita ovat MWC- ja LWC-paperi. MWC-paperi on kaksoispäällystettyä ja LWC-paperi kertaalleen päällystettyä hiokepitoista aikakauslehtipaperia. Tuotantokapasiteetti on 580 000 t/v. Henkilöstöä paperitehtaalla on noin 330. Paperin valmistuksessa käytettävä kemiallinen massa eli sellu saadaan viereisestä sellutehtaasta, mekaaninen massa omalta hiomolta. (2.)

Vuonna 1996 modernisoidussa sellutehtaassa valmistetaan valkaistua havu- ja koivusellua 720 000 t/v tuotantokapasiteetilla. Koivusellua käytetään hienopape-

reiden (kopio-, kirjoitus- ja taidepaperit) ja tarrapapereiden valmistuksessa. Havusellu antaa aikakausipaperille lujutta. Osa tuotannosta menee suoraan pumppumassana putkea pitkin paperitehtaaseen. Sellu- ja paperitehtaan sijaitseminen toisiinsa liitettyinä lisää kilpailukykyä. (2.)

Kaukaan saha ja jalostetehtaalla käytetään raaka-ainetta reilut miljoona kuutiometriä vuodessa. Mäntysahatavaraa tuotetaan vuodessa 530 000 m³/v ja höylättyjä ja kyllästettyjä tuotteita 30 000 m³/v. Tuotteita käytetään puusepänteollisuudessa, huonekaluteollisuudessa ja rakentamisessa. Henkilöstöä saha- ja jalostetehtaalla on noin 180. (2.)

UPM:n kaikkien liiketoimintaryhmien yhteistä tutkimus-, teknologia- ja kehitystoimintaa johdetaan Lappeenrannasta. Tutkimusalueita ovat muun muassa energian säästö, nykyaikaiset sellun- ja paperinvalmistusprosessit, biopolttoaineet ja kemikaalit sekä nanoteknologia. Tuotantoyksiköitä tuetaan tehokkuustavoitteiden saavuttamisessa tehdaskohtaisten projektien ja tuotannon tuen avulla. Henkilöstöä koko tutkimus, teknologia ja kehitystoiminnassa on noin 300, joista 160 Lappeenrannassa. (2.)

Energiaa Kaukaalla tuotetaan soodakattilassa, apukattiloissa ja Kaukaan Voiman biovoimalaitoksessa. Polttoaineina käytetään muun muassa mustalipeää, puun kuoria, raaka-aineeksi kelpaamattomat puujakeet, kannot, oksat ja turve. Uusiutuvien biopolttoaineiden määrä energiantuotannossa on noin 80 %. Sähkötarpeesta noin puolet tuotetaan itse ja toinen puoli hankitaan konsernin muilta energiantuotantolaitoksilta. Kaukaan Voiman biovoimalasta saadaan myös prosessihöyryä tehtaille sekä sähköä ja kaukolämpöä Lappeenrannan Energialle. (2.)

Integraatti käyttää noin 5 miljoonaa m³ puuta vuodessa, joka muutettuna rekka-kuormiksi on noin 270 päivässä. Kaukaan Voima käyttää biomassaa ja turvetta noin miljoona m³ vuodessa. Puolet puusta tulee autolla, loput junalla, aluksilla tai uittamalla. (2.)

3 Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa

Teollisuudessa käytettävien kemikaalien turvallista käsittelyä ohjataan kemikaalilaissa, jossa annetaan velvoitteita valmistajille ja maahantuojille muun muassa kemikaalien luokitteluun ja merkitsemiseen sekä velvoitteita kemikaalien käsittelystä ja varastoinnista. Kemikaalilain tarkoituksena on ehkäistä ja torjua kemikaalien aiheuttamia terveys- ja ympäristöhaittoja sekä palo- ja räjähdysvaaroja. (4.)

Kemikaalilaissa kemikaalilla tarkoitetaan alkuaineita ja niiden yhdistelmiä sellaisina kuin ne esiintyvät luonnossa tai teollisesti tuotettuina. Terveydelle vaaralliset kemikaalit voivat jo pieninä määrinä elimistöön joutuessaan aiheuttaa haittaa terveydelle. Vastaavasti ympäristölle haitalliset kemikaalit voivat aiheuttaa ympäristöön joutuessaan elolliselle luonnolle haittaa. Kemikaalilaissa toiminnanharjoittajaksi määritellään kemikaaleja valmistava, maahantuova, markkinoille luovuttava, maasta vievä, varastoiva, pakkaava, jakeleva, luovuttava, hallussa pitävä, säilyttävä, käytävä tai muilla kemikaalilaissa tarkoitetulla tavalla kemikaaleja käsittelevä taho. (4.)

Kaikkia toiminnanharjoittajia koskevia yleisiä velvollisuuksia:

- Toiminnanharjoittajan tulee noudattaa kemikaalin määrä ja vaarallisuus huomioon ottaen riittävää huolellisuutta ja varovaisuutta terveys- ja ympäristöhaittojen ehkäisemiseksi.
- Rakenteet tai ympäristö on puhdistettava sellaiseen kuntoon, ettei niistä aiheudu vaaraa terveydelle tai ympäristölle jos saastumista pääsee tapahtumaan.
- Kemikaalista aiheutuvien haittojen ehkäisemiseksi toiminnanharjoittajan on valittava käyttöön olemassa olevista vaihtoehdoista kemikaali, josta aiheutuu vähiten vaaraa.

- Toiminnanharjoittajan tulee olla selvillä käytössä olevien kemikaalien fyysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista sekä niiden terveys- ja ympäristöhaitoista.

Suurten teollisuuslaitosten on lisäksi otettava käyttöön turvallisuusjohtamisjärjestelmiä, joihin kuuluu yksityiskohtaisen riskin arvioinnin laatiminen mahdollisista onnettomuuksista. Teollisuutta veloitetaan myös tiedottamaan yleisölle riskeistä ja oikeasta käyttäytymisestä onnettomuustapauksissa. (5.)

Toiminnan laajuus määritellään kahdessa ryhmässä: laajamittainen ja vähäinen toiminta. Laajamittaista toimintaa valvoo Turvatekniikan keskus (TUKES) ja vähäistä toimintaa alueellinen pelastusviranomaisen. Määrittely tapahtuu kemikaalien määrän ja vaarallisuuden perusteella ja siinä käytetään apuna suhdelukua. Suhdelukujen summa lasketaan kullekin kolmelle vaararyhmälle erikseen.

Vaararyhmät:

- *terveydelle vaaralliset kemikaalit (erittäin myrkylliset, myrkylliset, syövyttävät, ärsyttävät, haitalliset ja muut kemikaalit, jotka saavat varoitusmerkinnän Xi tai Xn)*
- *ympäristölle vaaralliset kemikaalit*
- *palo- ja räjähdysvaaralliset kemikaalit (palavat nesteet ja kaasut, hapettavat aineet, räjähtävät kemikaalit ja veden kanssa voimakkaasti reagoivat kemikaalit) (5.)*

Kaukaan tehtailla harjoitettu toiminta on kemikaalien laajamittaista teollista käsittelyä ja varastointia. Laajamittainen toiminta edellyttää toiminnanharjoittajalta kemikaalien käytönvalvojien nimittämistä. Käytönvalvojan tulee olla henkilö, joka tuntee kemikaaleja koskevat säännökset ja määräykset. Suurissa tuotantolaitoksissa voi käytönvalvojia olla useita ja heidän tehtävänsä on huolehtia, että tuotantolaitoksessa toimitaan kemikaaleja koskevien säännösten ja määräysten mukaisesti. Käytönvalvojien on suoritettava TUKESin järjestämä koe. (5.)

3.1 Suhdelukujen summa

Toiminnan laajuuden määräävä suhdelukujen summan laskenta tapahtuu kaavassa 1 esitetyllä tavalla:

$$s = \frac{q_1}{Q_1} + \frac{q_2}{Q_2} \dots \frac{q_n}{Q_n} \quad (1)$$

q_n tarkoittaa tuotantolaitoksessa olevan vaarallisen kemikaalin määrää ja Q_n tarkoittaa kullekin kemikaalille tai kemikaaliluokalle olevaa vähimmäismäärää. Vähimmäismäärä (Q) saadaan asetuksen 855/2012 liitteestä I. (5.)

Kemikaalien teollinen käsittely ja varastointi on laajamittaista, jos

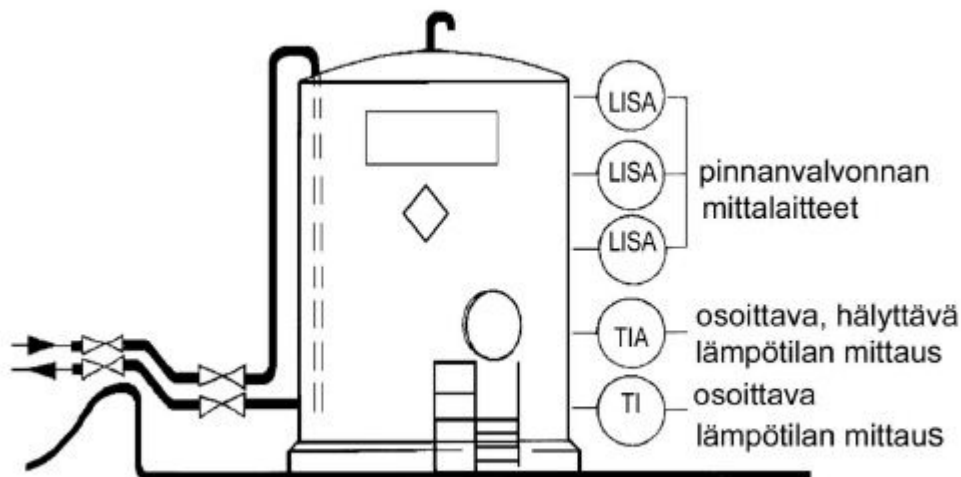
- *tuotantolaitoksessa on yhtä vaarallista kemikaalia vähintään liitteen 1 osan 1 taulukon sarakkeessa 2 ilmaistu vähimmäismäärä tai keskenään samaan luokkaan kuuluvia kemikaaleja vähintään liitteen 1 osan 2 taulukon sarakkeessa 2 ilmaistu vähimmäismäärä*
- *tuotantolaitoksen terveydelle vaarallisten kemikaalien 2 momentissa tarkoitettu suhdelukujen summa on yhtä suuri tai suurempi kuin 1*
- *tuotantolaitoksen ympäristölle vaarallisten kemikaalien suhdelukujen summa on yhtä suuri tai suurempi kuin 1*
- *tuotantolaitoksen palo- ja räjähdysvaarallisten kemikaalien suhdelukujen summa on yhtä suuri tai suurempi kuin 1. (6.)*

Turvallisuus- ja kemikaaliviraston tekemissä tarkastuksissa toiminnanharjoittajan tulee osoittaa, että turvallisuusselvityksessä, hakemuksessa, ilmoituksessa ja muussa Turvallisuus- ja kemikaalivirastoon toimitetussa selvityksessä esitetyt tiedot pitävät paikkansa. Tarkastuksissa tulee myös osoittaa, että lupapäätöksessä annetut ehdot täyttyvät, tuotantolaitoksella tehdyt muutokset on toteutettu säädösten mukaisesti ja toimintaperiaatteita onnettomuuksien ehkäisemiseksi noudatetaan. (6.)

4 Kiinteiden varastosäiliöiden rakenne ja tarkastukset

Kemikaaleja varastoidaan sekä paineellisissa että paineettomissa säiliöissä. Paineettomissa säiliöissä painetta on enintään 0,5 bar. Jos kemikaaleja varastoidaan paineenalaisena, tulee säiliön täyttää myös painelaitteista annetut määräykset. (7; 8.)

Turvatekniikan keskuksen mukaan säiliö koostuu pohjasta, vaipasta ja katon tukirakenteista, makaava lieriömäinen säiliö taas vaipasta ja päädyistä. Säiliön rakenteisiin kuuluvat myös kaikki sisäpuoliset putkistot, pohja-, katto- ja vaippalevyihin hitsaamalla liitetyt laitteet ja varusteet sekä säiliön jalusta. Lisäksi rakenteeseen kuuluvat umpilaput ja miesluukkujen kannet kiinnityksineen sekä säiliön sisä- ja ulkopuolinen korroosiosuojaus. (9.)



Kuva1. Esimerkki säiliön varustelusta (8.)

4.1 Rakenne

Säiliön rakenneaineen on kestävä ulkopuolista ja sisällön aiheuttamaa korroosiota, eikä rakenneaine saa reagoida sisällön kanssa. Tarvittaessa säiliön voi pinnoittaa kemikaalia paremmin kestäväällä materiaalilla. Rakenneaineen valintaan vaikuttavat myös varastoitavan kemikaalin lisäksi lämpötila, paine, kemikaalin sisältämät epäpuhtaudet, pH, virtausnopeus sekä kiintoainepitoi-

suus. Turvatekniikan keskuksen mukaan alumiinia ei ole hyväksyttävää käyttää yli 1,5 m³ maanpäällisen palavan nesteen säiliön rakenneaineena sen terästä heikomman palonkestävyyden takia. Yleisimmin käytettävä rakenneaine on teräs. Jos säiliö valmistetaan austeniittisestä ruostumattomasta teräksestä tai muusta vastaavasta korroosionkestävästä teräksestä, voidaan seinämävahvuuksia vähentää 1 mm siitä, mitä ohjeistetaan terässäiliöstandardeissa. Edellytyksenä seinämävahvuuden vähentämiselle on kuitenkin, että säiliön käyttötarkoitus on sellainen, ettei valitulla seinämateriaalilla esiinny syöpymisvaaraa ko. käyttökohteessa. (8; 9) Liitteissä 1 ja 2 on esitetty eräiden vaarallisten kemikaalien vaikutus yleisimpiin teräslaatuihin.

Mikäli kemikaalin ominaisuuksista tai muista syistä on varauduttava räjähdysvaaraan, säiliön heikoimmaksi rakenteeksi tehdään sen katto. Katon on kuitenkin oltava tiivis ja kestävä sekä voimassa olevien ohjeiden mukainen. Tuuli- ja lumikuormat määritetään Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeistuksen mukaisesti.(8.)

Turvatekniikan keskus ylläpitää voimassa olevien vaarallisten kemikaalien säiliöitä, laitteita ja käyttöä koskevien standardien luetteloa. Lähtökohtaisesti standardeissa määritetään minimiarvo seinämän paksuudelle säiliön koon mukaisesti, mitat yhteiden sijoitukseen ja kokoon, sekä säiliölle tehtävät rakennetarkastukset. Turvatekniikan keskuksen mukaan kuitenkin säiliöstandardeista poikkeavankaan säiliön seinämäpaksuus ei voi alittaa standardeissa määritellyjä minimiarvoja. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen 313/1985 mukaan markkinoille voidaan luovuttaa standardien SFS 2733, SFS 2736, SFS 2737, SFS 2740 ja SFS 2770 mukaisesti valmistettuja säiliöitä niin kauan, kun päätös on voimassa. (9;10.)

4.2 Korroosiosuojaus

Palavia sekä vesiä pilaavia palamattomia nesteitä sisältävien säiliöiden käytössä olevat standardit voidaan edellyttää säiliön korroosiosuojausta käytössä olevan materiaalin ja kemikaalin korroosio-ominaisuuksien perusteella. Esimerkiksi standardissa SFS 2734 edellytetään teräksisen säiliön ulkopuolista korroosiosuojausta sekä sisäpuolista osittain tai kokonaan, jos säiliön sisältö aihe-

uttaa korroosiota. Korroosiosuojaus on toteutettava aina standardeja noudattaen, sekä suojauksen kuntoa on valvottava säiliötarkastuksen yhteydessä. (9;11.)

Ulkopuolista korroosiota vastaan säiliö voidaan suojata pinnoittamalla tai käyttämällä sähköistä suojausta. Säiliöt voidaan tarvittaessa myös eristää esimerkiksi lämpöhäviöiden estämiseksi sopivalla eristemateriaalilla. Eristemateriaali tulee valita niin, ettei se reagoi mahdollisessa vuototapauksessa sisällön kanssa aiheuttaen vaaratilanteita. (8.)

4.3 Tarkastukset

Säiliötä ei saa luovuttaa käyttöön tai myytäväksi ennen kuin se on tarkastuslaitoksen tekemässä rakennetarkastuksessa todettu olevan rakenteeltaan säännösten mukainen. Rakennetarkastuksesta laaditaan tarkastustodistus, joka annetaan tarkastuksen tilaajalle edelleen säiliön tulevalle omistajalle toimitettavaksi. Lisäksi on huolehdittava, että säiliön rakennepiirustukset, rakentamis- ja tarkastusasiakirjat sekä tarvittaessa perustusta ja sen tarkastusta koskevat asiakirjat sekä huolto- ja tarkastussuunnitelma löytyvät ja ovat kunnossa. (8.)

Säiliön kunnostusta ja tarkastuksia varten tulee pienissä säiliöissä olla vähintään 200 mm tarkastusaukko ja yli 3 m³ säiliöissä kulkuaukko, joka on halkaisijaltaan vähintään 600 mm, ellei standardissa ole muuta mainittu. (8.)

Laitoksen turvallisuuden varmistamiseksi tulee toiminnanharjoittajan laatia säiliöille kunnossapitosuunnitelma. Kunnossapitosuunnitelma sisältää lainsäädännöllisten vaatimusten kuvauksen, riskien arvioinnin, käytönaikaisen valvonnan ja määräajoin tehtävät tarkastukset, dokumentoinnin säiliökirjaan sekä muutostöitä koskevat ohjeistukset. (8.)

Kunnossapitosuunnitelma voi riskien, kokemusten, tarkastustulosten ja valmistajan ohjeiden mukaisesti sisältää erilaisia tarkastuksia. Näitä ovat esimerkiksi säiliön ulko- ja sisäpuolinen tarkastus, varusteiden ja mittalaitteiden tarkastus ja kalibrointi, muutostöihin liittyvät tarkastukset sekä paine- ja tiiviyskokeet. Lisäksi säiliötä valvotaan valvontakierrosten ja valvomonäyttöjen avulla. Lakisäätteiset

painelaitteen tarkastukset tulevat kyseeseen, jos säiliö on rekisteröity painelaite. (8.)

Säiliöiden tarkastusten on oltava suunnitelmallisia ja ohjeistettuja. Tarkastusohjelma perustuu riskeihin, kokemuksiin, havaintoihin ja aiempiin tarkastustuloksiin. Tarkastuksien suunnittelussa tulee määrittää muun muassa säiliön puhdistustaso, telineiden tarve ja rakentaminen, riittävän valaistuksen järjestäminen, käytettävät tarkastusmenetelmät, tarkastuskohteet, työsuojelliset seikat (säiliötyöohjeet) sekä tarkastustuloksen dokumentointi. (8.)

Mikäli silmämääräisessä tarkastuksessa havaitaan henkilökohtaista pätevyyttä edellyttäviä tarkastusmenetelmiä (NDT-tarkastukset), on henkilöllä oltava kyseisen menetelmän edellyttävät pätevyydet. Tarkastukset voi suorittaa käyttöhenkilöstö ohjeistuksen mukaan. (8.)

Säiliötarkastukseen kuuluu aina varusteiden sekä mitta-, hälytys- ja turvalaitteiden toiminnan ja kunnan tarkastaminen. Säiliöiden nestepintaa tulee valvoa kaikissa säiliöissä. Valvonnassa yleisimmin käytetään mekaanisella uimurilla tai sähköisellä tutkapintamittarilla tapahtuvaa mittausa, mutta joissakin tapauksessa (esim. kiinteät aineet) mittaus perustuu säiliön massan seurantaan vaa'alla tai säiliön kyljessä olevaan näkölasin kautta. (8.)

4.4 Säiliöiden korjaukset

Säiliöiden hitsaus tulee tehdä rakennestandardien mukaisesti muotoilun ja mitoituksen osalta. Hitsaus tulee suorittaa asiantuntevasti ja huolellisesti niin, ettei pysyvissä liitoksissa saa olla laitteiden turvallisuutta vaarantavia pinta- tai sisäisiä vikoja. Lujuuteen ja tiivyyteen vaikuttavien osien ja niihin välittömästi kiinnitettyjen osien liitoksia tekevillä henkilöillä on oltava asianmukainen pätevyys. Liitosten ominaisuuksien tulee vastata liitettävien materiaalien vähimmäisominaisuuksia, ellei suunnittelussa ole otettu huomioon muita vastaavia ominaisuuksia. (8.)

Säiliötä käyttävä toiminnanharjoittaja on vastuussa siitä, että käytön aikana vaurioitunut tai syöplynyt säiliö korjataan täyttämään säiliölle asetetut vaatimukset. Säiliön saa korjata ilman erillistä lupaa tai hyväksyntää, jos säiliön rakenne ei

muutu korjauksessa. Rakenteen muuttuessa rakenteelle on haettava hyväksyntä tarkastuslaitokselta. (9.)

Turvatekniikan keskuksen mukaan, kun standardien SFS 2737 ja SFS 2740 mukaisen säiliön pohjaa tai vaippaa korjataan muulla tavoin kuin täytehitsaamalla tai säiliön putkiyhteitä nestepinnan alapuolelta uusitaan, on kysymys säiliön rakenteen niin olennaisesti vaikuttavista muutoksista, että säiliölle on tehtävä tarkastuslaitoksen rakennetarkastus ennen sen käyttöönottoa. (9.)

5 Korroosio

Korroosiotyyppejä on monenlaisia, ja ne ovat riippuvaisia syövyttävästä ympäristöstä ja materiaalin ominaisuuksista. Mekaaniset rasitukset yhdessä syövyttävän ympäristön kanssa tehostavat myös rakenteiden heikentymistä, sillä korroosion myötä ainevahvuus pienenee ja pinnanlaatu heikkenee. Korroosio on useimmille tuttu näkyvänä ruskeana ruosteena rautarakenteissa, mutta korroosiota tapahtuu myös vaikeammin havaittavilla tavoilla. (12.)

Metallin pintaan hapettumisen seurauksena syntyvällä oksidikalvolla on hyvin suuri merkitys korroosiossa. Oksidikalvon tiiviys, kiinnipysyvyys ja jalous saattavat lisätä korroosiokestävyyttä huomattavasti. Esimerkiksi ruostumattoman teräksen pinnalle hapettavissa olosuhteissa syntyy oksidikalvo, jolloin terästä sanotaan passivoituneeksi. (12.)

5.1 Korroosiotyypit

5.1.1 Kemiallinen korroosio

Metallien korroosioreaktiot voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään: kemiallisiin ja sähkökemiallisiin korroosioreaktioihin. Kemiallisessa korroosiossa metallipinta reagoi suoraan ympäristön kanssa. Reaktioon ei liity sähkövarausten liikettä eikä pinnalle muodostu korroosiotuotekerrosta. Kemiallista korroosiota tapahtuu metallin ja kaasujen välillä reaktiotuotteiden ollessa kaasumaisia, esimerkiksi raudan tai alumiinin reagointi kloorin kanssa. Nestemäisten aineiden ja metallien välillä kemiallisia korroosioreaktioita ovat kiinteän ja sulan metallin väliset reaktiot, esimerkiksi alumiinin liukeneminen elohopeaan. (13.)

5.1.2 Sähkökemiallinen korroosio

Sähkökemiallinen korroosio esiintyy useissa eri muodoissa, jotka vaihtelevat materiaalin ominaisuuksien, kemiallisten ja mekaanisten ympäristötekijöiden, syöpymiselle alttiin konstruktion valmistuksen, rakenteen ja toimintamekanismin mukaan. Esiintymismuodot voidaan jakaa ulkonäön tai korroosioon vaikuttavien tekijöiden perusteella eri tavoin, joita käsitellään seuraavaksi. (14.)

5.2 Korroosion esiintymismuodot

5.2.1 Yleinen syöpyminen

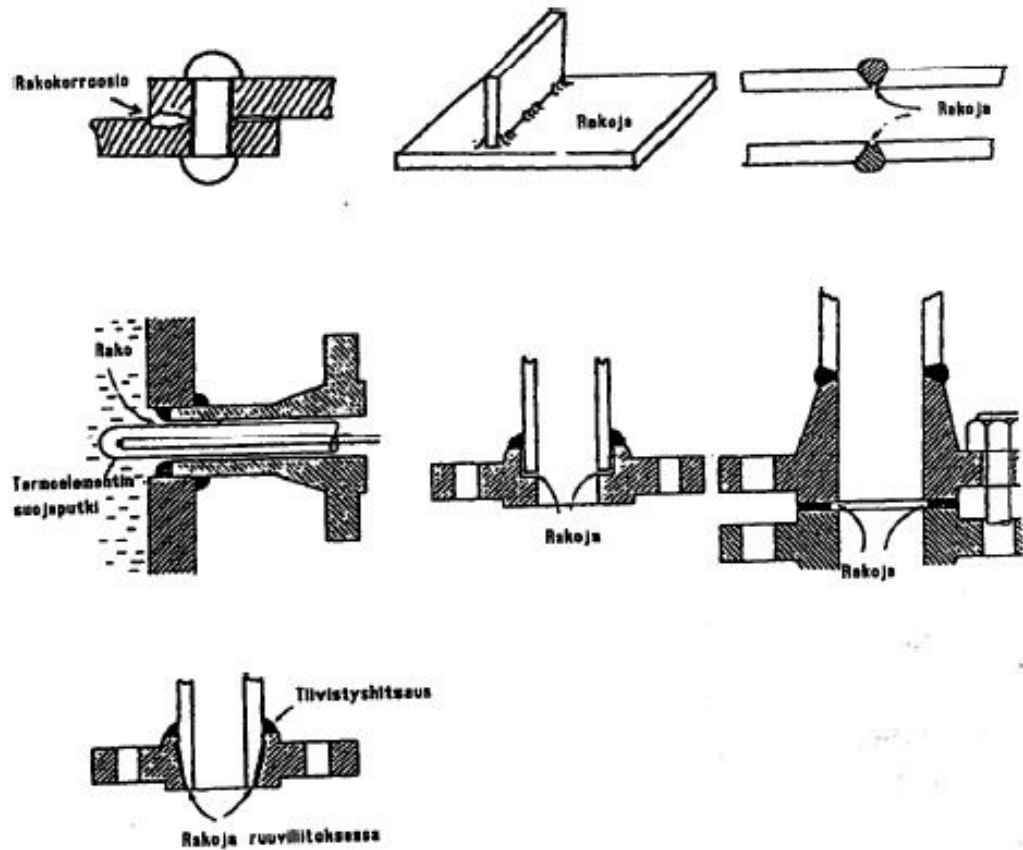
Yleisessä syöpmisessä koko metallin pinta syöpyy tasaisella nopeudella, ja se onkin hyvin tyypillinen korroosimuoto suojaamattomille ja useissa tapauksissa myös kemikaaleille altistetuille metallipinnoille. Yleisen syöpmisen voi havaita painohäviö- tai seinämäpaksuusmittausten avulla. (13.)

5.2.2 Paikallinen syöpyminen

Paikallisia syöpmismuotoja ovat pistesyöpyminen sekä rako- eli piilokorroosio. Ohutseinämaisissä säiliöissä ja putkistoissa pistesyöpyminen voi edetä jopa rakenteiden läpi aiheuttaen vuodon. Pistesyöpyminen on aluekohtaista muodostaen paikallisia kuoppamaisia syvänteitä. Sellaisilla metalleilla, joiden korroosiokestävyys perustuu pintaa suojaavaan passiivikerrokseen, pistesyöpyminen on yleinen korroosimuoto. Esimerkiksi ruostumattoman teräksen passiivikerrosta liuottava kloridiliuos tunkeutuu passiivikerroksen virhekohdasta lävitse ja alkaa syövyttää pistemäisesti terästä. Kuitenkin ruostumattomilla teräksillä pistesyöpmistä tapahtuu vain tietyillä pH- ja potentiaali-alueilla. (13.)

Pistesyöpyminen voi alkaa erilaisista pinnan heterogeenisuuksista. Näitä ovat esimerkiksi urat, pintakalvojen rakennevirheet ja pinnalla olevat elektrolyyttipisarot. Syöpmisen voi käynnistää myös liuoksen voimakas törmäys pintaan. (13.)

Ahtaisiin rakoihin tunkeutunut liuos, joka ei pääse vaihtumaan samalla nopeudella kuin muilla metallipinnan alueilla, aiheuttaa rakokorroosiota. Ahtaita rakoja muodostuu esimerkiksi hitsi-, pultti- ja niittiliitoksiin. Rakokorroosion aiheuttaa liuoksen koostumuksen muuttuminen raossa korroosiota kiihdyttäväksi happipitoisuuserojen johdosta. Raossa oleva happiköyhempi alue happamoituu, jolloin erityisesti oksidikerroksen avulla korroosiokestävien materiaalien suojakerros muuttuu raossa epästabiiliksi. Kuvassa 2 on esitetty erilaisia rakenteellisia ratkaisuja, jotka edesauttavat rakokorroosiota. (13.)



Kuva 2. Rakokorroosiota edesauttavia rakenteita (13.)

5.2.3 Galvaaninen korroosio

Galvaanista korroosiota esiintyy silloin, kun samassa johdeaineessa kaksi eri-alaista metallia on sähköisessä kontaktissa toisiinsa. Epäjalempi metalli muodostuu tällöin anodiksi ja syöpyy. Jalempi metalli toimii katodina, ja sen syöpyminen pysähtyy lähes täysin. Galvaanisen parin syöpyriskäyttäytymistä voidaan arvioida merivedessä määritellyn potentiaalisarjan avulla. Mitä kauempana metallit ovat toisiaan potentiaalisarjassa, sitä todennäköisempää on galvaanisen korroosioparin ja näin ollen myös syöpyymisen muodostuminen. (13.)

Galvaanisessa parissa tapahtuvan korroosion nopeuteen vaikuttavat lähinnä seuraavat tekijät:

- Metallien elektrodipotentialit korroosio-olosuhteissa. Suurempi elektrodipotentialiero nopeuttaa toisen metallin syöpyymistä. Potentialiero ei

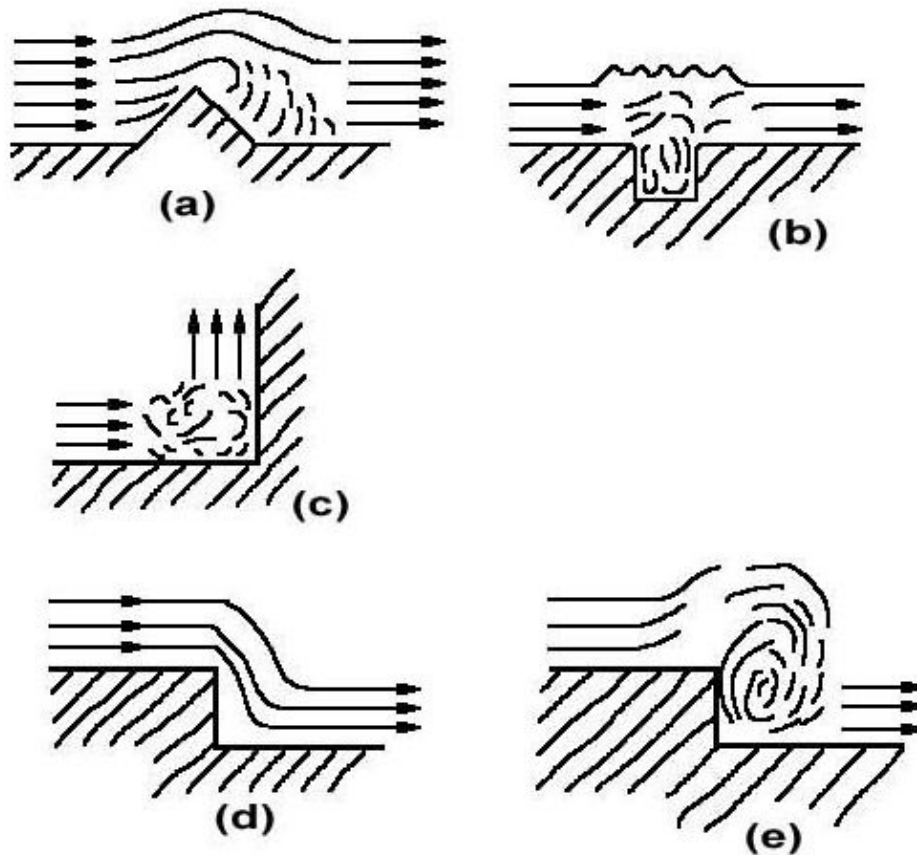
kuitenkaan sinänsä määrää korroosionopeutta, vaan sen määrää lähinnä katodisen reaktion kinetiikka jalomman metallin pinnalla.

- Metallin pinta-alojen suhde. Erittäin vaarallinen on tilanne, jossa epäjalomman metallin pinta-ala on pieni verrattuna jalomman metallin pinta-alaan. Tästä syystä esimerkiksi niittiliitoksessa on vältettävä tilannetta, jossa niittimateriaali on epäjalompi kuin liitettävät materiaalit.
- Elektrolyytin luonne ja sen johtavuus. Kun johdeaineen johtavuus on suuri (esim. merivesi), epäjalompi metalli syöpyy tasaisemmin koko pinta-alalta. Kun johdeaine taas on huonompi johtavuudeltaan, keskittyy korrosio metallien rajapinnan lähistölle. (13.)

Galvaanista korroosioparia voidaan hyödyntää myös korroosionestossa. Tällöin suojattava metalli kytketään epäjalompaan metalliin, esimerkiksi teräksen suojaaminen sinkki tai magnesiumanodilla merivedessä, tai pinnoittamalla metalli epäjalommalla metallilla (teräksen suojaus sinkkipinnoitteella ilmastollisessa rasituksessa). Olosuhteiden muuttuessa voi galvaaninen jalousjärjestys muuttua aiheuttaen muutoksia korroosiossa. Näin käy esimerkiksi rauta-sinkkiparille talousveden noustessa yli 60 °C, jolloin napaisuus muuttuu. (13.)

5.2.4 Eroosio- ja kavitaatiokorroosio

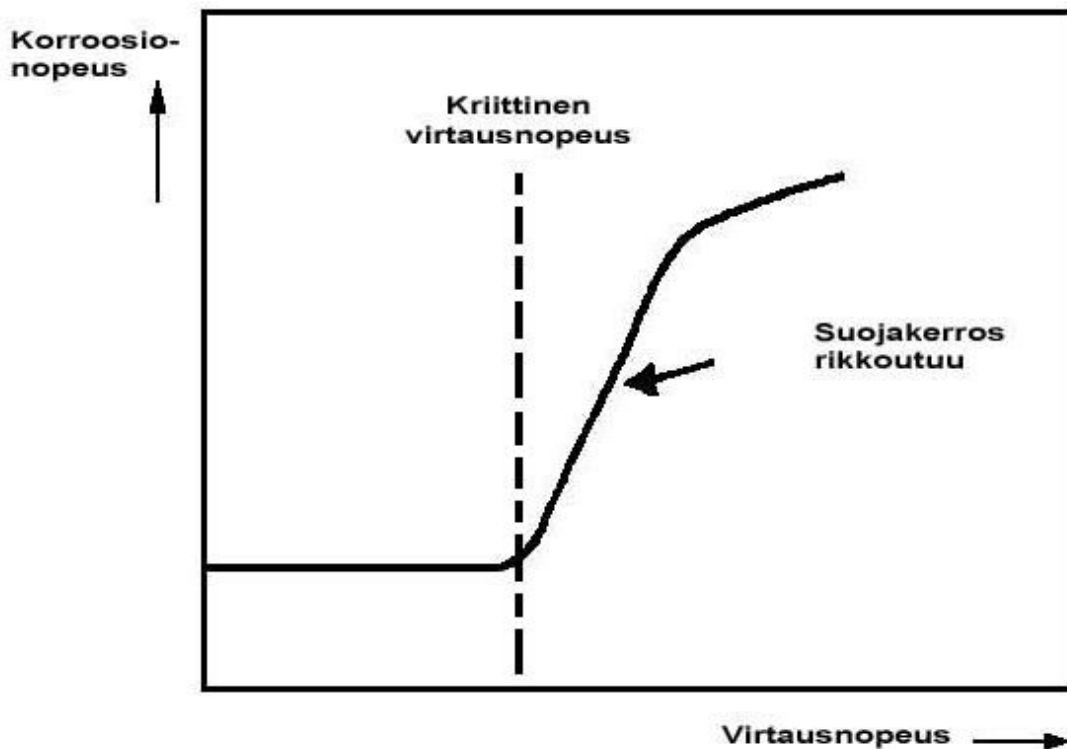
Kun liuksen liikenopeus kasvaa riittävän suureksi, pystyy se irrottamaan metallin pintaa suojaavia korroosiosuojakerroksia ja korroosionopeus kiihtyy. Tavallisesti eroosiokorroosiota aiheuttavat virtauksen epäjatkuvuuskohtat, jotka aiheuttavat pyörteitä virtaukseen ja kriittisen nopeuden ylityksen. Putkistovirtauksessa erityisen alttiita eroosiokorroosiolle ovat mutkat, haarat sekä putkien suuaukot. Kuvassa 3 on esitelty esimerkkejä pyörteitä aiheuttavista virtauspinnan epätasaisuuksista. (13.)



Kuva 3. Pyörteitä synnyttäviä epätasaisuuksia. Pienillä virtausnopeuksilla (d) ei pyörteitä muodostu niin helposti kuin suurilla nopeuksilla (e). (14.)

Virtauksen mukana kulkeutuvat kiinteät partikkelit lisäävät kuluttavaa vaikutusta aiheuttamalla niin sanottua partikkelieroosiota. Nämä pienet partikkelit voivat rikkoa korroosiosuojakerrokset metallin pinnalta jo kriittistä virtausnopeutta pienemmillä virtausnopeuksilla. Suurilla nopeuksilla partikkelikorroosio aiheuttaa metallipinnan mekaanista kulumista, jolloin materiaalin alkuperäisellä korroosiokestävyydellä ei ole merkitystä. (13.)

Kriittisen virtausnopeuden voi esittää kaaviollisesti kuvassa 4 esitetyllä tavalla, jossa on tarkkailtu veden vaikutusta kupariseosten korroosioon.



Kuva 4. Veden virtausnopeuden vaikutus kupariseosten korroosioon (14.)

Kavitaatiokorroosiossa nestevirtaukseen syntyneet kaasukuplat luhistuvat äkillisesti, jolloin nesteeseen syntyy voimakkaita paineaaltoja. Paineaaltojen iskeytyessä ne voivat rikkoa metallin pintaa suojaavan oksidikerroksen tai muun korroosiotuotekerroksen paljastaen uutta metallia korroosiolle alttiiksi. Riittävän kovat paineiskut voivat rikkoa mekaanisesti metallipinnan, jolloin kyseessä on kavitaatioeroosio. (13.)

Kavitaatiokorroosiota esiintyy hydraulilaitteissa, laivojen potkureissa, pumppujen siipipyörissä, putkistoissa sekä laitteissa, joissa nesteen virtausnopeus on suuri sekä paineen vaihteluja esiintyy. Kavitaatiokupla muodostuu kiehumispisteen alennuttua paineen äkillisesti laskiessa. Kupla luhistuu paineen taas noustessa ja voi aiheuttaa jopa tuhansien N/mm² suuruisia paikallisia paineiskuja sekä voimakasta paikallista kuumenemista. (13.)

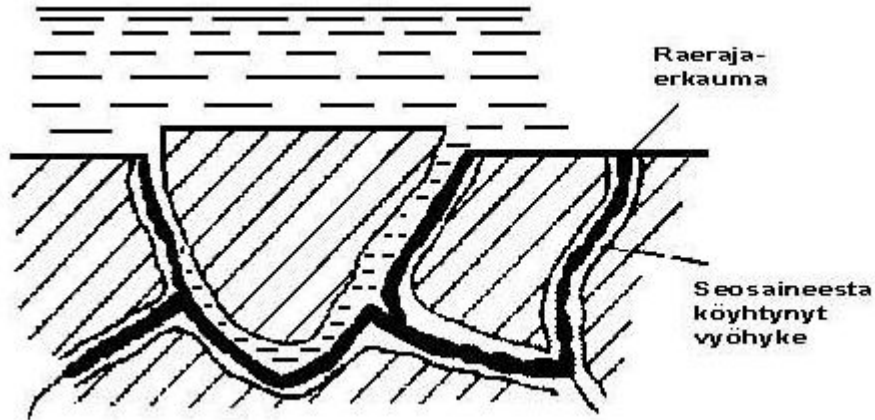
5.2.5 Hiertymiskorroosio

Hiertymiskorroosiota tapahtuu kahden toisiaan vastaan puristetun pinnan välissä silloin, kun pinnat värähdellessään pääsevät liikkumaan hieman toistensa suhteen. Hiertymiskorroosion mekanismista ei olla täysin selvillä, mutta siitä on esitetty erilaisia teorioita. Erään teorian mukaan pintojen profiilihuippujen kosketuskohdissa kosketusjännitykset nousevat hyvin suuriksi ja pintojen profiilihuiput voivat hitsautua yhteen ja murtua liikkeen ansiosta. Murtumisessa irtoavat metallipartikkelit hapettuvat, ja oksidipartikkelit metallipintojen välissä aiheuttavat edelleen hiertymiskulutusta. Toisen teorian mukaan kuluminen voi olla myös seurausta pinnan oksidikerrosten murtumisesta ja uudelleen hapettumisesta. Käytännössä hiertymiskorroosioon vaikuttanee yhdistelmä edellä mainituista mekanismeista. (13.)

Hiertymiskorroosiota esiintyy tavallisesti pinnoilla, joita alun perin ei ole suunniteltu liikkuviksi, mutta esimerkiksi kiristyksen löystyessä ovat alkaneet liikkua toistensa suhteen. Tyypillisiä hiertymisvaurioille alttiita koneenosia tai rakenteita ovat puristussovitteet, pultti-, niitti-, kitka- ja kiilaliitokset, lautas- ja lehtijouset, laakerit sekä lankojen tai vaijerien kosketuskohdat. Säiliössä tällaisia kohteita voivat olla putkiyhteiden liitokset sekä esimerkiksi sekoittimen kiinnitys säiliöön. (13.)

5.2.6 Raerajakorroosio

Raerajoille voi metalliseosten jähmettymisen, lämpökäsittelyn, hitsauksen tai korkean lämpötilan käytön yhteydessä muodostua korroosiokestävyyttä heikentäviä yhdisteitä, jolloin syöpymistä voi tapahtua syövyttävissä olosuhteissa raerajoja pitkin. Kuvassa 4 on kuvattu syöpymisen eteneminen raerajaa pitkin. (13.)



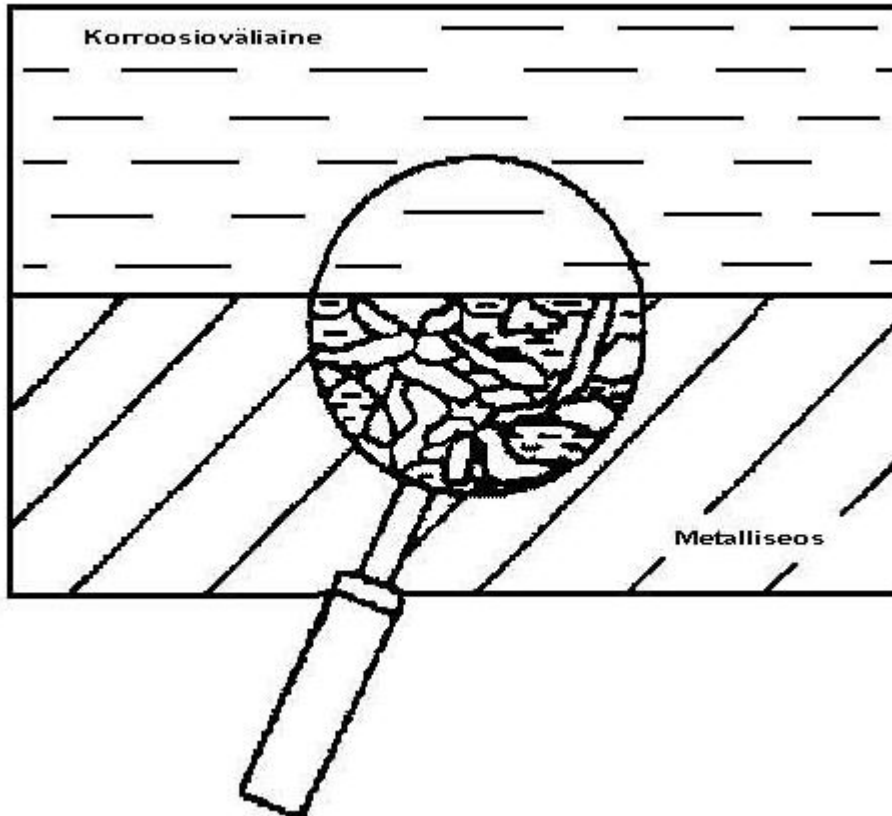
Kuva 5. Raerajakorroosio on syntynyt erkaumien aiheuttaman seosaineista köyhtyneen vyöhykkeen takia. (14.)

Raerajoille suotautuvat epäpuhtaudet ja tietyn seosaineen rikastuminen tai köyhtyminen matriisista raerajojen läheisyydessä voivat aiheuttaa raerajaerkautumien vuoksi raerajakorroosiot. Esimerkiksi jos alumiinissa on epäpuhtautena rautaa, jonka liukoisuus matriisiin on pieni, se suotatuu raerajoille ja aiheuttaa raerajakorroosiot. (13.)

Käytännössä ruostumattomilla teräksillä merkityksellisin raerajakorroosion muoto on niin sanottu herkistyminen. Esimerkiksi hitsauksen tai lämpökäsittelyn yhteydessä raerajoille muodostuu kromikarbida, johon sitoutuu runsaasti kromia raerajojen läheisyydestä. Karbidin viereen muodostuu hyvin kapea kromiköyhä vyöhyke, johon ei muodostu passivaatiokerrosta normaaliolosuhteissa. Näin syntyy tilanne, jossa anodisen alueen pinta-ala on hyvin pieni verrattuna katodiin, ja raerajat syöpyvät nopeasti. Hiilipitoisuutta vähentämällä voidaan pienentää teräksen herkistymistäipumusta. (13.)

5.2.7 Valikoiva liukeneminen

Valikoivassa eli selektiivisessä liukenemisessä kyse on metalliseoksen jonkin seosaineen tai mikrorakenneosan muita nopeampi liukeneminen, jolloin lopputuloksena voi olla esimerkiksi sienimäinen reikiä täynnä oleva rakenne, jota on kuvassa 6 havainnollistettu. (13.)



Kuva 6. Valikoiva liukeneminen (14.)

Tunnetuin valikoivan liukenemisen muoto on messingeissä tapahtuva sinkinkato, mutta samalla tavalla tapahtuu alumiinin syöpymistä alumiinipronseissa happoliuoksissa, piipronseissa piin liukenemista ja koboltin liukenemista Co-W-Cr-seoksissa. Käytännön kannalta merkittävä valikoivan liukenemisen muoto on lisäksi suomugrafiittivaluraudoissa tapahtuva ns. grafitoituminen, jossa rauta syöpyy jättäen jäljelle grafiittisuomurungon. (13.)

5.2.8 Jännityskorroosio

Jännityskorroosio aiheuttaa murtumia metalliin korroosion ja pinnassa vaikuttavan vetojännityksen vaikutuksesta. Jännityskorroosiomurtumaan johtava korroosioympäristö on jokaisella materiaalilla yksityiskohtainen. Vetojännitystilä voi puolestaan olla seurausta ulkoisesta kuormituksesta sekä sisäisistä jännityksistä. Ulkoinen kuormitus voi aiheutua muun muassa staattisesta kuormasta, termisistä mittamuutoksista, ruuviliitosten kiristysvoimasta, staattisesta paineesta, pyörimisliikkeen hitausvoimista tai värähtelyistä. Sisäisiä jännityksiä aiheuttavat

esimerkiksi kylmämuokkaus, lastuaminen, leikkaus ja lävistäminen sekä lämpökäsittely ja hitsaus. (13.)

Sisäiset jännitykset ovat erityisen vaarallisia niiden vaikeasti ennustettavuuden kannalta. Suuruutta on vaikea arvioida, sillä ulospäin ei rakenteesta saata näkyä minkään näköisiä merkkejä. Sisäisten jännitysten suuruus voi olla lähellä myötölujuutta. Erittäin vaarallinen tilanne on kuitenkin, kun sisäiset ja ulkoiset jännitykset vaikuttavat samanaikaisesti. (13.)

Tyypillisiä esimerkkejä jännityskorroosiosta ovat messingin varastorepeäminen ja teräksen lipeähauraus. Messinkien varastorepeäminen tapahtuu valmistuksen aikana rakenteeseen syntyneiden sisäisten jännitysten, ammoniakkin ja muiden tyyppä sisältävien aineiden korroosion vaikutuksesta. Repeämiseen vaadittava ammoniakkin määrä on äärimmäisen pieni ja se tiivistyy varastoinnin aikana ilman vesihöyryn mukana messingin pinnalle. Lipeähaurautta puolestaan esiintyy kylmämuokatuissa kattilateräksissä emäksisissä olosuhteissa. (13.)

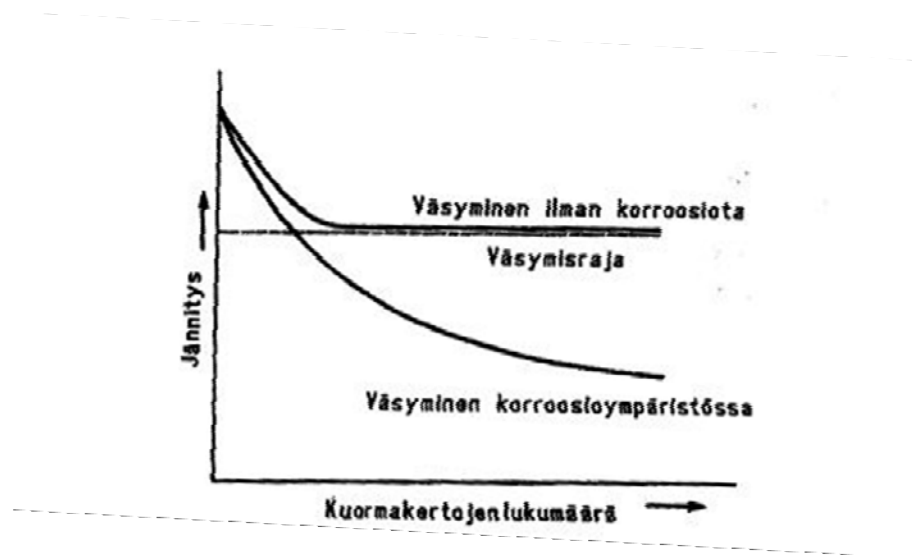
Jännityskorroosiosta syntynyt murtopinta muistuttaa hauraan murtuman murtopintaa, vaikkakin sen aiheuttaja on paikallinen korroosio. Kappaleen poikkipinnan pienentyessä kuormitus lisääntyy, jolloin murtuminen saa mekaanisen luonteen. (13.)

Voimakkaat hapettajat ja happi lisäävät jännityskorroosioherkkyyttä. Tavallisella austeniittisella ruostumattomalla teräksellä esiintyy jännityskorroosiota pelkätään hapettavissa kloridiliuoksissa. Lämpötilan nousu vaikuttaa myös jännityskorroosioon kiihdyttävästi. (13.)

Huolimatta siitä, että jännityskorroosio on käytännössä hyvinkin yleinen ja haitallinen korroosionmuoto, joka aiheuttaa vaurioita, ei sen mekanismia ole vielä täysin selvitetty. Osittain syy tähän on siinä, että eri materiaalien ja ympäristöjen yhdistelmillä mekanismi on erilainen riippuen myös siitä, onko korroosio vai jännitys määräävä tekijä. (13.)

5.2.9 Korroosioväsyminen

Kun rakenne on alttiina värähtelyjen, vaihtosuuntaisen kuormituksen tai termisten vaihteluiden alaiseksi, materiaalin väsymislujuus määrää kestoiän. Väsymiskestävyyttä kuvataan jännitysamplitudin ja kuormavaihtokertojen avulla, eli ns. Wöhler- tai S-N- käyrillä, jota selvennetään kuvassa 7. (13.)



Kuva 7. Väsymiskestävyyttä kuvaava S-N-käyrä (13.)

Jos korroosion vaikutusta ei oteta huomioon, voidaan käyrästä havaita materiaalille niin sanottu väsymisraja, jota pienemmät jännitysamplitudit eivät aiheuta murtumaa. Jos korroosion vaikutus otetaan huomioon, ei vastaavaa rajaa esiinny, vaan hyvinkin pienet jännitysvaihtelut johtavat murtumaan kuormanvaihtokertojen lisääntyessä. (13.)

Vastaavasti kuin jännityskorroosiossa, korroosioväsymisessä korroosion ja jännityksen osuus vaurion syntyyn vaihtelee. Korroosioväsyminen on hyvin todennäköistä ympäristöissä ja olosuhteissa, joissa materiaali on altis muille paikallisen korroosion muodoille, esimerkiksi pistekorroosiolle. Tällöin paikalliset pinnan korroosiovauriot toimivat jännityksen keskittäjinä. Erityisesti austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat alttiita korroosioväsymiselle kloridipitoisessa ympäristössä. (13.)

Korroosioväsymistä esiintyy kuitenkin myös olosuhteissa, joissa materiaalin syöpyminen ilman dynaamista rasitusta on tasaista syöpymistä, tai korroosio-

ympäristö on hyvin lievä. Tällöin paikalliset muodonmuutokset, joita jännitys- vaihtelut aiheuttavat materiaalin pintaan, voivat rikkoa passivaatiokerroksen ja/tai muodostavat muuhun pintaan nähden epäjalomman alueen, joka anodisena syöpyy. (13.)

Korroosioväsymystä aiheuttavia jännitysmuutoksia voi syntyä esimerkiksi

- putkistojen ja säiliöiden sisäpaineen vaihteluista
- epätasaisesta höyry- tai nestevirtauksesta venttiileissä sekä venttiilien käyttöön liittyvistä paineiskuista
- putkistojen ja säiliöiden lämpölaajenemiskäyttäytymisen eroista
- laitoksen tai prosessin ylös- ja alasajoista
- oheislaitteiden, kuten pumppujen kompressorien tai venttiilien aiheuttamista värähtelyistä
- paikallisista lämpötilavaihteluista.

Kaikkein yleisimpiä korroosioväsymyksestä aiheutuvat murtumat ovat kuitenkin erilaisissa pyörivissä koneenosissa, kuten esimerkiksi akseleissa. (13.)

6 Korroosion torjunta

Korroosion torjunta perustuu huomattavan suurelta osalta käytännön kokemuksiin ja niistä opittuihin osaamisiin. Korroosion eston kannalta tärkeää on ymmärtää korroosion teorioista korroosion sähkökemiallinen luonne, korroosioprosessien termodynamiikka sekä korroosion ilmenemismuodot. Käytännön korroosioneston tärkeä mutta usein puutteellisesti hoidettu edellytys on korroosioympäristöjen ja niissä olevien kemikaalien korroosioon vaikuttavien riippuvuussuhteiden tunteminen. (13.)

Liuosten ja kaasujen korroosio-ominaisuudet riippuvat usein niissä olevien kemikaalien pitoisuuksista, lämpötilasta, virtausolosuhteista, happipitoisuudesta, hapettavista tai pelkistävästä ja muista epäpuhtauksista, syntytilassa olevista yhdisteistä ja niin edelleen. Korroosion estämiseksi riippuvuussuhteiden ymmärtämistä voidaan hyödyntää esimerkiksi säätämällä prosessin pH-arvoja, liuosten ja kaasujen väkevyyttä ja lämpötiloja, estämällä ilman ja kosteuden pääsyä pro-

sessiin, säätämällä virtausnopeudet oikeiksi sekä huolehtimalla, ettei korroosio pääse yllättämään seisokin aikana. (13.)

6.1 Rakenneaineiden merkitys korroosiossa

Korroosion ehkäisyn kannalta suurimmalta osin tärkeintä on oikean rakenneaineen valinta. Olemassa olevien rakenneaineiden tunteminen niiden korroosionkeston, koostumuksen, fysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien ja rakenteiden valmistusmenetelmien vaikutuksien kannalta on myös tärkeää korroosion eston kannalta. Usein kuitenkin kustannukset ajavat parhaimman korroosionkeston edelle, jolloin vaikeissa korroosioympäristöissä saattaa esiintyä sinne huonommin soveltuvia rakenneaineita. (13.)

Rakenteiden valmistuksessa korroosion huomioiminen on myös tärkeää. Valmistuksessa tehdään korroosion kestävyuden kannalta usein tietämättömyydestä ja kokemuksen puutteesta johtuvia virheitä. Yleisesti on tiedossa hitsien korroosiokestävyyden olevan lähes aina huonompi kuin oikeassa käsittelytilassa olevalla perusaineella, mutta korroosiokestävyyteen voidaan vaikuttaa oikeilla täyteaineilla ja menetelmillä, joista tulisi olla perillä niin korjaustöissä kuin valmistuksessakin. (13.)

6.2 Suojapinnoitteet

Metallisten ja metalleja suojaavien pinnoitteiden valmistustekniikat kattavat monenlaisia ja monimuotoisia valmistustapoja sen mukaan, mihin pinnoitetta käytetään. Liitteessä 3 on yleisjaotteluna esitetty T. Mäntylän (TTKK) taulukko. (13.)

Metalleja pinnoitetaan, jotta niille saadaan perusaineeseen nähden uusia ominaisuuksia. Pinnoitteen avulla voidaan parantaa perusmetallin ulkonäköä, lisätä sen käyttöikä, säästää perusmetallia, keventää rakennetta tai saavuttaa sellaisia teknisiä ominaisuuksia joita ei muutoin voitaisi aikaansaada. Pinnoittamisen syytä voidaan ryhmitellä seuraavalla tavalla:

- perusmateriaalin korroosionkesto
- tuotteen ulkonäön säilyttäminen (värisävy, kiilto jne.)

- tiettyjen fysikaalisten erityisominaisuuksien aikaansaaminen (pintakovuuden lisääminen, kulutuksen ja repeilyn kesto, tartuntakerroksen aikaansaanti jne.)
- elintarviketeollisuuden tiettyyn prosessiin tai käsittelyyn sopivaksi tai hygieeniseksi
- korjaus-, huolto- ja kunnossapito
- taloudellisuus (hinta, saatavuus)
- tilapäissuojan aikaansaaminen
- erikoistekniikan tarpeet, kuten elektroniikan piiritekniikka). (13.)

Ennen itse pinnoittamista tulee pinnat puhdistaa rasvoista, liasta ja korroosiotuotteista. Standardissa SFS- EN ISO 8501-1 määritellään pintojen ruostumisaste sekä puhdistusasteet. Puhuttaessa teräsharjauksesta käytetään lyhennettä St ja aste ilmaistaan lukuarvolla 2 tai 3 (puhtain). Hiekkapuhalluksesta käytetään lyhennettä Sa, ja asteet ovat 2, 2 ½ tai 3. Nykyisin tosin hiekkapuhalluksesta käytetään termiä suihkupuhallus, sillä puhdistusväliaine ei aina ole hiekkaa. (14.)

Yleisin pinnan korroosiokeston parannusmenetelmä on maalaaminen. Korroosionestomaalauksen tarkoituksena on suojata metallialusta ympäristön syövyttävältä vaikutukselta ja antaa rakenteen pinnalle haluttu ulkonäkö. Korroosionestomaalauksen korroosionestomekanismi perustuu vastusinhibointiin, anodiseen tai katodiseen inhibointiin tai katodiseen suojaukseen. Maalauksen tarkoituksena on luoda eristävä kerros korroosiota aiheuttavan ympäristön ja perusaineen välille. Riittävän tiiviyn takaamiseksi voidaan maalikerroksia levittää useita, jotta paksuutta saadaan riittävästi. (13.)

7 Tarkastusmenetelmiä

Ainetta rikkomattomat tarkastusmenetelmät eli NDT-menetelmät (Non Destructive Testing) ovat olennainen osa erilaisten tuotteiden, tuotannon alojen ja materiaalien laadunvarmistusta. Tarkoituksena on varmistaa tuotteen täyttävän tarpeet, jotka käyttäjä niille asettaa, sekä tarkastuksen kohteen vastaavuus sille asetettuihin normeihin. (15.)

7.1 NDT- tarkastukset

NDT- tarkastukset ovat merkittäviä turvallisuuden kannalta. Laitteistojen ja materiaalien turvallisuusvaatimusten tulee täytyä niin uusien tuotteiden kuin vanhojen käytössä olevien välineistöjenkin kohdalla. Tarkastuksillakaan ei voida täydellisesti varmistaa sitä, että tuote täyttää sille asetetut vaatimukset, mutta omalta osaltaan se kuitenkin lisää luotettavuutta. (15.)

NDT-tarkastusta käytetään laajasti aina perusteellisuudesta lähtien pitkälle jalostettujen tuotteiden tarkastukseen saakka. Laajinta NDT-toiminta on metallirakenteiden ja -tuotteiden tarkastuksissa esimerkiksi raskaassa metalliteollisuudessa, energiatekniikassa ja prosessiteollisuudessa. (15.)

NDT-tarkastus voi olla yritysten vapaaehtoista, sopimus pohjaista tai viranomaisen määräämää toimintaa halutun laatutason ja tuotteen turvallisuuden takaamiseksi. Tarkastusta käytetään useimmiten tuotteiden jälkitarkastuksissa, mutta myös tuotannon aikaisten tarkastusten ja prosessinvalvontasovellusten merkitys on suuri. (15.)

7.1.1 Silmämääräinen tarkastus

Yleisimmin käytetty NDT-menetelmä on silmämääräinen tarkastus. Se on perustarkastusmenetelmä, joka liittyy useaan vaiheeseen tuotteen elinkaareissa. Silmämääräisen tarkastuksen mahdollisuudet aliarvioidaan usein, mutta huolellisesti suunniteltuna ja suoritettuna se on kuitenkin erittäin käyttökelpoinen ja riittävä menetelmä monessa tapauksessa. (15.)

Valaistuksen ollessa riittävä pystyy ihmissilmä havaitsemaan viivamaisen virheen, jonka leveys on vähintään noin 0,05 mm, ja pyöreän virheen, jonka hal-

kaisija on minimissään noin 0,10 mm. Virheiden havaittavuutta voi parantaa merkittävästi, jos apuna käytetään optisia apuvälineitä, kuten esimerkiksi suurenuslasia tai mikroskooppia. Vaikeasti nähtäviin kohteisiin voidaan ottaa avuksi esimerkiksi endoskooppi tai peilejä, mutta tällöin erotuskyky yleensä heikkenee. (15.)

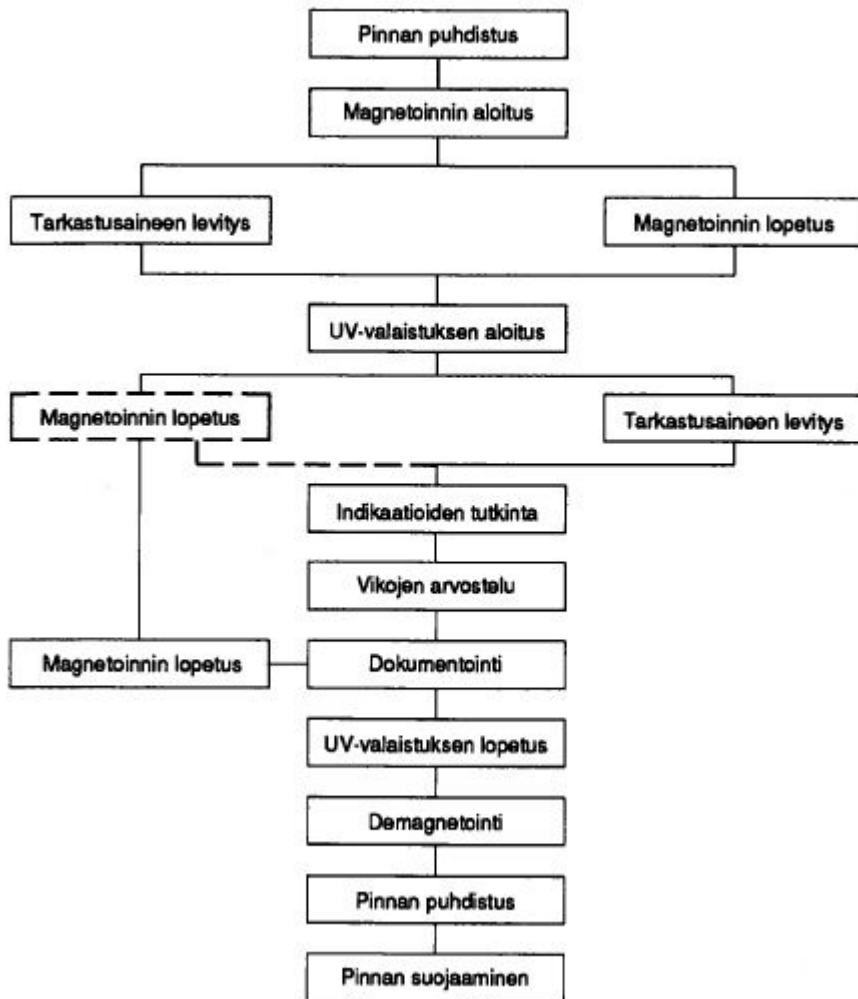
Koska silmämääräinen tarkastus tuntuu yksinkertaiselta, sen luotettavuuden takaamiseksi tulee tarkastuksen olla suunnitelmallinen ja tarkka sekä hyväksymis- ja hylkäämisrajojen tulee olla selkeästi tiedossa. (15.)

7.1.2 Magneettijauhetarkastus

Magneettijauhetarkastus soveltuu ferromagneettisten aineiden pinnan läheisyydessä tai pinnalla olevien virheiden, kuten halkeamien, ylivalssautumien, huokosten tai kuonasulkeumien havaitsemiseen. Menetelmä perustuu materiaalissa olevien epäjatkuvuuskohtien synnyttämien magneettisten vuotokenttien toteutukseen. Epäjatkuvuuskohdan luoma vuotokenttä kerää ympärilleen magneettijauheen, jonka sijainnin, koon ja muodon perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä. (15.)

Magneettijauhetarkastus on suoritettava aina kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa, ellei etsittävien halkeamien suunta ole etukäteen tiedossa. Tämä johtuu siitä, että halkeaman ollessa täysin voimaviivojen suuntainen ei sen reunoihin ohjautu yhdistäviä voimaviivoja eikä halkeaman ilmaisevaa magneettista siltaa synny. Parhaiten erottuvat halkeamat, jotka ovat kohtisuorassa magneettikentän voimaviivojen suuntaa vastaan. (15.)

Tarkastuksessa käytetään joko värillistä tai fluoresoivaa menetelmää. Värillistä menetelmää käytettäessä tarkastettavalle pinnalle levitettävien rautajauhehiukasten ja taustan välisen kontrastin parantamiseksi käytetään värillisiä hiukasia vaalealla ja ohuella kontrastiväripohjalla. Fluoresoivassa menetelmässä fluoresoivat hiukkaset ovat ilman kontrastiväripohjaa. Kuvassa 8 on esitetty fluoresoivan menetelmän suoritusperiaate. Värillisen menetelmän kulku on vastaava, mutta UV-valon käyttö jää pois. (15.)



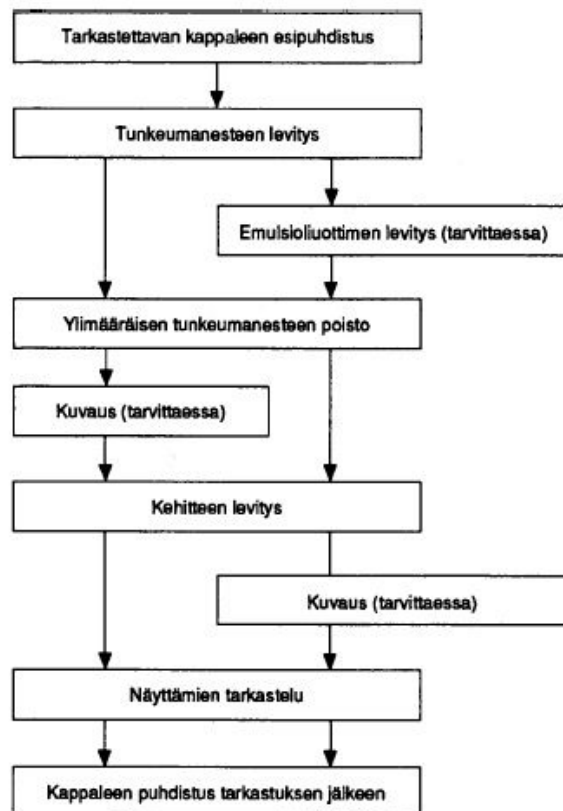
Kuva 8. Fluoresoivan magneettijauhetarkastuksen kulku

Magneettijauhetarkastus ja tunkeumanestetarkastus ovat tarkkuusluokaltaan samankaltaisia. Normaaliolosuhteissa löydetään luotettavasti 1µm levyinen ja 25 µm syvyinen halkeama. Magneettitarkastuksen herkkyys ja luotettavuus pienenee virhekoon pienetessä ja etäisyyden pinnasta kasvaessa. Myös piste-mäisten vikojen havaitseminen on vaikeata magneettijauhetarkastuksessa, ja tämä tekee syöpmien aiheuttamien vuotokohtien etsinnästä lähes mahdotonta. (15.)

7.1.3 Tunkeumanestetarkastus

Tunkeumanestetarkastus soveltuu pintaan asti avautuvien virheiden havaitsemiseen kappaleissa, joiden aine ei ole luonnostaan huokoista. Se soveltuu kaikille aineille, myös ei-magneettisille, joille muun muassa magneettijauhetarkastusta ei voi käyttää. Menetelmä on selkeä ja helppo soveltaa erikokoisille ja muotoisille kappaleille. (15.)

Kuvassa 9 esitellään tunkeumanestetarkastuksen kulku. Tarkastettava kohde täytyy puhdistaa hyvin, jonka jälkeen värillinen tai fluoresoiva tunkeumaneste levitetään kohteen pinnalle, josta se tunkeutuu kapillaarivoiman johdosta virheisiin. Vaadittavan tunkeuma-ajan kuluttua ylimääräinen neste pestään pois ja pinnalle levitetään kehite, johon imeytyy ja leviää osa virheisiin jääneestä tunkeumanesteestä. Virheestä voidaan tehdä johtopäätöksiä kehitteeseen imeytyneen näyttämän koon, muodon ja sijainnin perusteella. (15.)



Kuva 9. Tunkeumanestetarkastuksen kulku. (15.)

Virheen koon määrittelyssä tunkeumanestetarkastusta ei voida luotettavasti käyttää, koska virheestä kehitteeseen muodostuneen näyttämän leveys riippuu virheen todellisen leveyden lisäksi virheeseen imeytyneestä nestemäärästä ja kehitekerroksen paksuudesta. Hyvässä valaistuksessa voidaan havaita halkeamia, joiden leveys on 0,2 µm, kunhan niiden pituus on samalla suurempi kuin 1mm ja syvyys vähintään 10–20 µm. (15.)

Tunkeumanestetarkastus on herkkä epäpuhtauksille ja pinnanlaadussa oleville urille. Karhea pinta aiheuttaa usein virhenäyttämiä samoin kuin esimerkiksi hiekkapuhalluksessa uriin tunkeutuneet vieraat aineet. Tunkeumanestetarkastuksen käyttölämpötila on yleisesti 5–50 °C, mutta erikoisaineilla voidaan tarkastus suorittaa +200 °C saakka. (15.)

7.1.4 Radiografinen tarkastus

Radiografisessa tarkastuksessa tutkittavaan kappaleeseen kohdistetaan ionisoivaa säteilyä ja kohteen takana olevalla mittalaitteella, useimmiten filmillä, tallennetaan kohteen läpäisseen säteilyn voimakkuus. Ohuet ja enemmän säteilyä läpäisevät kohdat näkyvät filmillä tummempina kohtina. Tummuus-, eli mustaerojen perusteella voidaan aineen eheyttä arvioida muun muassa erilaisten vertailukuvastojen avulla. (15.)

Radiografisia tarkastusmenetelmiä ovat esimerkiksi röntgenkuvaus, gammakuvaus erilaisilla isotoopeilla ja kiihdytinkuvaus. Radiografialla havaitaan hyvin kaikki kolmiulotteiset virheet, esimerkiksi huokoset, kuonasulkeumat ja erilaiset muotovirheet. Tulosten edellytys on, että virheen koko säteilyn suunnassa on vähintään 1-2 % aineenvahvuudesta. Tasomaisten virheiden kuten esimerkiksi halkeamien havaitseminen on epävarmaa, mikäli ne ovat epäedullisesti säteen suuntaisia. (15.)

Radiografinen tarkastus perustuu aineenpaksuus- ja tiheyseroihin. Se on ohuilla aineenpaksuuksilla hyvin käyttökelpoinen sisävirheitten tarkastusmenetelmä. Säiliöiden tarkastuksessa se on kuitenkin työläs ja koska se soveltuu enemmän sisävirheiden tarkastamiseen, ei se korroosionestossa ole niin hyödyllinen. (15.)

7.1.5 Ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastusta käytetään tutkittaessa ja määrittäessä kappaleen mittoja, sen sisältämiä epäjatkuvuuksia sekä eräitä aineominaisuuksia kuten kimmova-kiota. Ultraäänitarkastus perustuu tutkittavaan kohteeseen suunnatun ja siinä etenevän äänisäteiden heijastumiseen sisäisistä epäjatkuvuuksista tai kohteen takaseinästä. Heijastumista voidaan tulkita epäjatkuvuuskohdan sijainti, laatu ja koko. (15.)

Ultraäänitarkastuksissa käytetään yleisimmin taajuuksia 0,5–25 MHz. Mitä suurempi taajuus on käytössä, sitä pienempiä virheitä voidaan havaita. Suuremmalla taajuudella menetetään kuitenkin tunkeutumiskykyä. Yleisin ultraäänitarkastusmenetelmä on kaikumenetelmä, jossa luotain toimii samalla lähettimenä ja vastaanottimena. Tällöin tarkastus voidaan suorittaa yhdeltä puolelta kappaletta. (15.)

Ultraäänitarkastuksen etuina ovat muun muassa mahdollisuus havaita hyvin halkeamatyyppiset virheet ottaen huomioon kuitenkin virheen suuntaisuus, mahdollisuus määrittää virheen sijainti tarkasti, mahdollisuus määrittää virheen korkeus, hyvä tunkeutumiskyky, sekä se seikka, ettei se sisällä terveydellisiä vaaroja (15).

Ultraäänitarkastuksen haittoja ovat muun muassa rajoitettu soveltuvuus karkeapintaisten, pienten, ohuiden ja geometrialtaan mutkikkaiden kappaleiden tarkastukseen, herkkyys aineominaisuuksille, toistettavuus epävarmempaa kuin radiografisilla menetelmillä sekä ultraäänitarkastuksen vaatima korkea ammattitaito sekä tarkastajalta kuin tarkastuksen suunnittelijalta. (15.)

Luotettavuus perustuu tarkastajaan ja hänen ammattitaitoonsa. Tämän takia luotettavuusaste on paljon pienempi kuin radiografisilla menetelmillä. Virhenäyttämät perustuvat myös aina vertailuun ja kokemukseen, joten menetelmän käyttö säiliöiden tarkastuksissa on monimutkaista. (15.)

7.1.6 Vuotokoe

Vuoto- tai tiiveyskokeella paikannetaan mahdollisia vuotoja ja määritetään niiden suuruuksia. Vuotokoe voidaan käyttää muun muassa ydinvoimaloissa,

avaruusteollisuudessa, kaasu- ja lämpöverkostoissa, tyhjötekniikassa, autoteollisuudessa sekä elektroniikan komponenteissa (15).

Vuodon suuruus määritellään yleensä yksikköinä mbar 1/s tai Pa m³/s, joilla tarkoitetaan, että vuotokohdasta virtaa sekunnissa tietty kaasumäärä. Vuotokoemenetelmiä ovat muun muassa vesi- ja kaasupainekoe, tyhjökoe, halogeeni- tai heliumvuotokoe sekä massaspektrometrikoe. Vesipainekokeessa tutkittavaan astiaan pumpataan vettä niin, että paine nousee esimerkiksi paineastian testauksessa vähintään sen rakennepaineeseen. Näin saadaan selville vuodot sekä rakenteen kestävyys paineelle. (15.)

Painelaitteiden lakisääteisissä määräaikaistarkastuksissa käytetään usein painekokeena vesipainekoetta. Säiliöiden matalampi käyttöpaine kuitenkin ei vaadi vuotokokeen tekemistä määräaikaistarkastuksissa, joten työlään ja monivaiheisen vuotokokeen tekeminen matalapaineisille säiliöille ei ole järkevää.

8 Tarkastussuunnitelman toteutus

Kemikaalisäiliöiden tarkastussuunnitelma tulee toteuttaa Turvatekniikan keskuksen kemikaalisäiliöille asettamien ohjeistuksien mukaisesti. Säiliöiden tarkastussuunnitelmasta tulee ilmetä tarkastusjaksot, käytettävät menetelmät ja tarkastuspöytäkirjojen dokumentointi.

Kaukaalla tarkastussuunnitelma tulee kokonaisuudessaan käsittämään noin 430 säiliötä. Opinnäytetyöni tarkoitus on luoda sellutehtaan kaustistamolle malli, jota lähdetään soveltamaan koko tehdasalueelle. Kaustistamon alueella on 27 säiliötä, joille tarkastussuunnitelma luodaan. Alueella on mm. viher-, ja valkoli-peäsäiliöitä, kaustisointisäiliöitä sekä tuhka- ja kalkkisiiloja.

8.1 Suunnittelu

Tarkastussuunnitelman järjeistäminen aloitettiin etsimällä kunnossapitojärjestelmä SAPista säiliöt, joille tarkastusta lähdetään mahdollisesti suorittamaan. Aluksi säiliöistä koostuneessa listassa oli noin tuhat säiliötä. Listaan merkittiin joka säiliölle kemikaalikäytönvalvojan numero ja nimi, jotta jaottelu aluekohtaisesti helpottuisi sekä olisi helpompi ottaa yhteyttä käyttöhenkilöihin säiliöiden läpikäyntiä ajatellen. Käyttöhenkilöiden kanssa poistettiin listasta säiliöt, jotka eivät kemikaalisäiliöitä olleet tai olivat painelaitteita niiden sisältämän paineen takia.

Tarkastusjaksot määritettiin samalla säiliöitä läpikäydessä. Joissakin säiliöissä käydään vuosittain sisällä niissä olevien oheislaitteiden tai sisällön takia. Säiliössä saatetaan käydä vuosittain myös puhdistamassa säiliön sisäpintoja ja pohjaa sinne kertyneestä sakasta, jolloin tarkastus on mahdollista suorittaa. Joidenkin säiliöiden kohdalla oli vuosittain valmiiksi määritelty, että esimerkiksi sisäpinnan maalaus tarkastetaan ja uusitaan tarvittaessa. Vuoden välein tapahtuvan tarkastuksen ongelmaksi muodostuu kuitenkin sen tarkkuus ja dokumentointi. Päädyimme ratkaisuun, jossa säiliöissä tehdään tarvittavat työt, kun niille on tarvista, mutta täysi säiliön tarkastus dokumentoinnin kanssa tehdään esimerkiksi neljän tai kahdeksan vuoden välein. Dokumentit tullaan siirtämään SAPIin, joten sinne ei ole käytännön syistä järkevää laittaa vuosittain uutta dokumenttia säiliön kunnosta vaikka tarkastus tehtäisiinkin. Kuitenkin, jos työtä

tehdessä huomataan puutteita säiliön rakenteessa, korjataan tilanne mahdollisuuksien mukaisesti. Suurelle osalle säiliöistä tullaan tarkastus tekemään pelkästään neljän, kuuden tai kahdeksan vuoden välein. Tarkastusjaksoa voidaan tulevaisuudessa tulla joko lyhentämään tai jatkamaan, jos koetaan, että säiliön kunnonvalvonta sitä vaatii.

Säiliöiden tarkastusten ajoittamisella on suuri merkitys siihen, voidaanko säiliötä tarkastaa. Yhdelle vuodelle ei voi laittaa liian montaa säiliötä, sillä yleisesti säiliön tarkastaminen vaatii seisokin, eikä seisokeissa aina saada joka säiliötä tyhjäksi. Esimerkiksi jätevesilaitoksen säiliöitä ei voida tyhjentää ja tarkastaa, ellei koko tehdasalue ole seisokissa. Jaksotuksessa tuli huomioida myös säiliöiden sijainti, sillä osa säiliöistä voidaan ajaa tyhjäksi koko linjasta, jolloin säiliöitä voidaan tarkastaa usean samalla kerralla. Joidenkin säiliöiden kohdalla tarkastus on mahdollista tehdä tehtaan toimiessa täydellä kapasiteetilla.

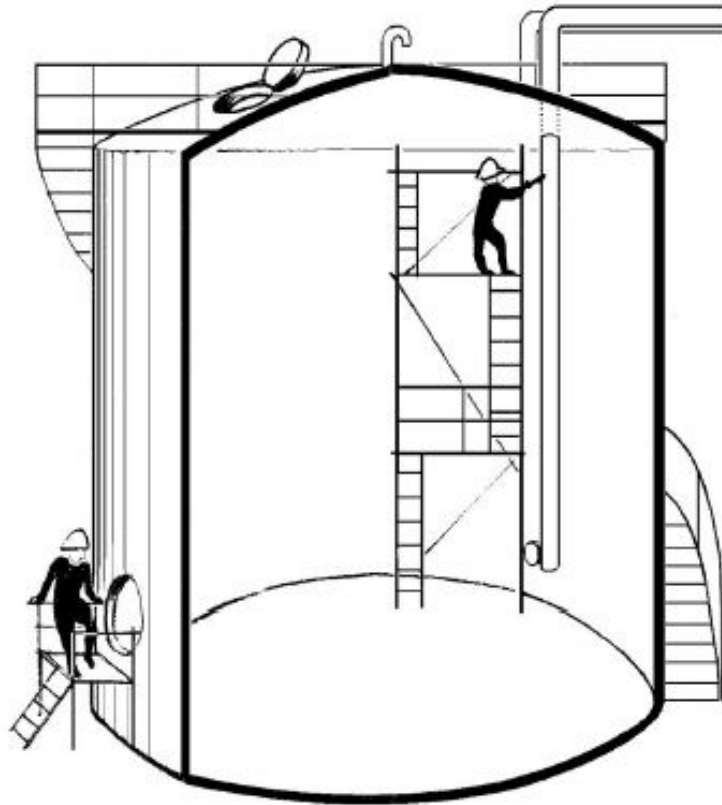
Tarkastuksen ennakkohuoltotyöhön liitettiin myös vaiheluettelo, jossa kuvataan tarkastuksen eri vaiheet alkaen turvallistamisesta ja säiliön pesusta aina itse säiliön käyttökuntoon saattamiseen. Tarkastuksen kulku yleisesti säiliöissä on hyvin samankaltainen riippumatta säiliöstä. Säiliön koko saattaa vaatia telineiden rakentamisen jotta saadaan luotettava kuva säiliön kunnosta yleisesti. Vaiheluetteloon merkittiin myös arviot siitä, kuinka kauan eri työvaiheissa menee ja montako henkilöä tarvitaan kyseistä vaihetta tekemään.

Strategiaohjatussa huoltosuunnitelmassa on mahdollista sijoittaa useat eri vaiheluettelot samaan huoltosuunnitelmaan. Tietyillä jaksoilla olevat huoltotyöt tehdään paketteihin, joihin voidaan liittää eri töitä ilman, että tarvitsee tehdä montaa huoltosuunnitelmaa samalle laitteelle. Kuten edellä on mainittu, tehdään säiliöille useita eri töitä muun muassa pinnoituksen tai oheislaitteiden osalta. Tällöin on järkevää käyttää strategiaohjausta ja paketteja, jolloin määräaikaistöiden määrä pysyy järkevänä. Strategiaohjausta ei Kaukaan tehtailla ole aikaisemmin käytetty, joten selkeän esimerkkityön tekeminen yhdelle alueelle on tärkeää.

8.3 Tarkastuksen kulku

Säiliön tarkastus alkaa yleisesti säiliön tyhjennyksellä, pesemisellä ja turvallis-
tamisella. Riittävä tuuletus säiliöön tulee myös järjestää, sekä mittaukset mah-
dollisten vaarallisten kaasujen pitoisuuksista. Sisällöstä riippuen tyhjennyksen
jälkeen voidaan joutua odottamaan säiliön jäähtymistä. Suuriin säiliöihin täytyy
myös rakentaa telineet pesua ja tarkastamista varten. Tarkastusta tekevällä
henkilöllä tulee olla mukana kamera mahdollisten vikojen dokumentointia var-
ten. Säiliöissä tehtäviä töitä varten tulee myös olla säiliötyölupa, joka on edelly-
tys säiliössä työskentelylle. Säiliötyöluvan voi myöntää organisaation määräämä
vastuhenkilö, joka tarkastaa, että säiliölle on tehty tarvittavat toimenpiteet en-
nen säiliöön menoa.

Kun säiliö on saatettu tarkastuskuntoon, tulee kohteessa olla riittävästi valais-
tusta, jotta mahdolliset virheet säiliöstä voidaan havaita. Tarkastus suoritetaan
aluksi riittävällä tarkkuudella silmämääräisesti. Säiliön sisällä olevalla henkilöllä
tulee säiliötyöohjeiden mukaisesti olla apuna luukkumies, joka varmistaa että
kaikki kulkee suunnitelman mukaisesti. Kuvassa 10 on kuvattu tarkastustapah-
tuman järjestelyjä. Tarkastuksessa tulee käydä läpi huolellisesti yhteet ja niiden
ympäristö, hitsisaumat, pohja, mahdolliset välikatot sekä turvalaitteet. Joka säi-
liössä ei välttämättä ole automaattisia turvalaitteita, mutta niissä, joissa ne ovat,
tulee nekin todeta toimiviksi tarkastuksen yhteydessä. Säiliön vaippaosa tulee
myös tarkastaa mahdollisten syöpymien ja halkeamien varalta. Joissakin säili-
öissä voi olla pinnoitus, esimerkiksi betonointi, säiliön sisäpuolella. Näissä säili-
öissä tulisi pinnoituksen kunto tarkastaa huolellisesti, jotta huomataan, onko
sisällön mahdollista päästä kosketuksiin säiliön rakenneaineen kanssa. Myös
varoaltaiden kuntoa tulee valvoa säännöllisesti.



Kuva 10. Säiliötarkastuksessa tulee noudattaa turvaohjeita, kuten esimerkiksi luukkumiehen läsnäolo ja tuuletuksen järjestäminen (8.)

Jos säiliön rakenteissa havaitaan puutteita tai muita poikkeamia, tulee ottaa käyttöön tarkemmat NDT-menetelmät. Tällaisia puutteita ovat esimerkiksi näkyvät syöpyvät, halkeamat tai pahimmassa tapauksessa vuodot. Jos voidaan epäillä seinämävahvuuden pientymistä huomattavasti, voidaan säiliön seinämävahvuus mitata ultraäänitarkastuksella. Myös tapauksissa, joissa on paksu pinnoite eikä sisäpuolelta voida havaita mahdollisia vaurioita perusrakenteissa, mitataan säiliön seinämävahvuus ulkopuolelta. Ultraäänitarkastus sopii myös tilanteisiin, joissa säiliötä ei voida tyhjentää tarkastuksen ajaksi. Ultraäänitarkastuksen tuloksia tulee verrata säiliön alkuperäiseen seinämävahvuuteen tai edellisen mittauksen tulokseen, jotta nähdään, kuinka paljon seinämä on ohentunut.

Halkeamien ja pienien syöpyvien sekä rakorrodion paikantamiseen voidaan käyttää tunkeumanestetarkastusta. Tunkeumanesteellä tulisi myös tarkastaa yhteiden ja toimilaitteiden kiinnitysten ympärökset, jotta löydetään mahdolliset

silmällä havaitsemattomissa olevat virheet. Hitsisaumojen ympärykset ovat myös alttiita pienille halkeamille ja rakokorroosiolle, joten riittävän useasta kohdasta tulisi myös saumat tarkastaa.

Tunkeumaneste- ja ultraäänitarkastukset sopivat parhaiten säiliöiden tarkastukseen, sillä ne ovat suhteellisen nopeita suorittaa ja sopivat ennakkohuolto-osaston tehtäviksi. Teoriaosassa käydyistä tarkastusmenetelmistä ne sopivat parhaiten myös siksi, että muut tarkastusmenetelmät sopivat enemmänkin putkistojen kunnontarkkailuun.

Kun tarkastuksissa havaitaan korjausta vaativia puutteita, tehdään säiliön korjaustöistä työtilaus. Työtilaukseen tulee kirjata vian laatu tarkasti, jotta oikeanlaisen korjaustapaan päästään.

Jos säiliön todetaan olevan kunnossa tarkastuksen jäljiltä, voidaan alkaa palauttaa säiliötä käyttökuntoon. Ensin täytyy varmistua, että säiliö on tyhjä ylimääräisistä tavaroista. Jos säiliöön jää ylimääräisiä komponentteja, ne voivat aiheuttaa vaurioita sekä ongelmia prosessissa. Auki olleiden luukkujen täytyy tulla tiiviisti ja huolellisesti kiinni. Tiivisteet vaihdetaan uusiin avauksen jälkeen, samoin pulkit, jos ne ovat joko venyneet tai muuten vaurioituneet esimerkiksi irrotuksen yhteydessä. Säiliön ollessa kiinni ja varmistettu voidaan alkaa poistamaan turvallistamista. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että mahdollisten toimilaitteiden turvakytkimien lukitukset avataan, sokeoinnit poistetaan tai venttiilit avataan.

Tarkastuksesta tulee täyttää tarkastuspöytäkirja, joka siirretään sähköiseen muotoon SAP-järjestelmään.

8.4 Tarkastuksissa havaittujen vikojen korjaaminen

Tarkastuksessa havaituista puutteista tulee tehdä vikailmoitus SAPIin. Vikailmoituksessa kuvataan vika tarkasti, jolloin päästään suunnittelemaan korjauksen tekoa ja tekemään työtilaus. Teoriaosassa kohdassa 4.4 on käsitelty säiliöiden korjaukseen liittyviä säädöksiä ja vaatimuksia, joita tulee noudattaa niin korjauksen suunnittelun kuin itse korjauksen osalta. Tarkastuksessa havaitun vian ollessa pienimuotoinen niin, ettei säiliön rakenne muutu, voidaan korjaustyöt suorittaa ilman erillistä lupaa. Esimerkiksi säiliön pohjan tai vaipan vuotojen

korjaaminen täytehitsaamalla ei vaadi erityistä lupaa, vaan sen saa suorittaa pätevä hitsaaja sillä edellytyksellä, että korjaus dokumentoidaan asianmukaisesti ja esitetään tarvittaessa valvontaviranomaiselle. Jos rakenne muuttuu standardeista poikkeavaksi korjausten laajuuden vuoksi, täytyy säiliölle tehdä rakennetarkastus tarkastuslaitoksen toimesta ennen käyttöönottoa.

8.5 Tarkastuspöytäkirjojen dokumentointi

Säiliön tarkastuksesta täytetään pöytäkirja, johon merkitään ulkopuolisen tarkastuksen tulokset, sisäpuolisen tarkastuksen tulokset, käytetyt tarkastusmenetelmät, korjattavat kohteet ja aikataulu, turvalaitteiden toimivuus, tarkastuksen tulos, ajankohta, tarkastuksen suorittaja sekä valvoja, joka on tarkastusta ollut valvomassa.

Tehty pöytäkirja skannataan allekirjoituksineen ja liitetään säiliön dokumentteihin SAP-järjestelmään.

9 Yhteenveto

Opinnäytetyössä tutustuttiin kemikaalisäiliöitä koskevaan lainsäädäntöön, kemikaalisäiliöiden rakenteisiin, korroosion ehkäisemiseen, tarkastusmenetelmiin ja säiliöiden korjaukseen. Teoriaosassa syvennyttiin myös eri korroosionmuotoihin ja niiden syntymekanismeihin. Opinnäytetyön tavoite oli laatia Kaukaan tehtaiden kaustistamosta esimerkkityö säiliöiden tarkastussuunnitelmien strategiaohjauksesta. Jatkossa strategiaohjaus laajenee koko tehdasaluetta koskevaksi alue kerrallaan.

Työssä määriteltiin kullekin säiliölle tarkastusjaksot ja –menetelmät sekä tarkastusta kuvaava vaiheluettelo. Apuna määrittelyissä ja luonnissa olivat tuotantohenkilöt, joten säiliöiden nykytilasta ja tarkastusten tarpeista saatiin luotettavat tiedot. Tarkastusjaksoiksi määräytyi yhdestä kymmeneen vuotta riippuen säiliön sisällöstä, säiliön rakenneaineesta, rakenteesta sekä kokemuksesta, miten säiliö on aikaisemmin kestänyt. Tarkastusmenetelmistä sopivimmiksi säiliöille tehtäviin tarkastuksiin todettiin silmämääräinen sekä ultraääni- ja tunkeumanestetarkastukset. Nämä menetelmät ovat tehtaalla jo aikaisemmin toimiviksi todettu, ja ne voidaan suorittaa ilman ulkoista työvoimaa. Kokemuksesta tiedetään myös silmämääräisen tarkastuksen olevan tärkein ja aina saatavilla oleva menetelmä.

Osalle säiliöistä löytyi kunnossapitojärjestelmästä valmiit tarkastussuunnitelmat, joiden sisältöä muokattiin ja tullaan muokkaamaan työn edetessä kaustistamosta eteenpäin. Tärkeimpänä päivityksenä oli vaiheluettelon lisääminen tarkastusta varten. Siinä kuvataan työvaiheet ja tarvittavat materiaalit sekä henkilömäärät. Vaiheluetteloitten luontiin mallia otettiin kattiloille tehdyistä vaiheluetteloista. Suurin ero painelaitteiden ja paineettomien säiliöiden tarkastuksissa on painekokeen puuttuminen paineettomissa säiliöissä, joten paineettomien säiliöiden tarkastaminen on näennäisesti helpompaa. Säiliön tarkastaminen on enemmän silmämääräisen tarkastuksen varassa, joten sen ohjeistaminen luotettavan tuloksen saamiseksi on tärkeää.

Vaikka vaarallisten kemikaalien käsittelyä ja varastointia koskevien säädösten ja tarkastussuunnitelmien noudattaminen saatetaan kokea joissakin yrityksissä turhaksi ja resursseja vieväksi toimenpiteeksi, on siitä hyötyä kuitenkin yrityksel-

le. Säiliöiden tarkastamisilla voidaan havaita vikoja ennen vahinkojen syntymistä ja näin välttyä tuotannon menetyksiltä sekä onnettomuuksilta, joilla voi olla vaikutusta niin ihmisiin kuin ympäristöönkin. Säiliön tarkastus on kuitenkin monivaiheinen ja melko paljon työtä vaativa prosessi, jonka menetelmiä ja tapoja kannattaa kehittää aina kokemuksen karttuessa. Suunnitelmallisuus on pääosassa, kun puhutaan seisokeista ja kustannuksista, jotka joko suoraan tai välillisesti vaikuttavat tehtaan toimintaan.

Työn yhteydessä myös säiliöiden tarkastuspöytäkirja päivitettiin ja siihen lisättiin automaatiolaitteiden tarkastaminen. Kaikissa säiliöissä ei automaatiolaitteita ole, mutta vaiheluetteloon merkittiin, mikäli automaatiolaitteita on ja ne tulee tarkastaa. Automaatiolaitteita ovat muun muassa ylitäyttösuojat, joiden toiminta voidaan varmistaa esimerkiksi täytön yhteydessä.

Opinnäytetyölle asetettuihin tavoitteisiin pääsin mielestäni hyvin. Strategiaohjausta huoltosuunnitelmille ei ole toteutettu vielä moneenkaan paikkaan eikä selkeitä ohjeita ole vielä julkaistu, joten paljon jouduttiin tekemään kokeilemisen kautta. Huoltosuunnitelmia tehtiin yhdessä samaan aikaan diplomityötä tehneen henkilön kanssa, jolloin laitekokonaisuuksille saatiin mahdollisimman kattavat ja yksityiskohtaiset suunnitelmat. Strategiaohjauksen luonnista valmistimme yhdessä ohjeet, joiden avulla huoltotöitä voi luoda ja muokata.

Työssä lähdetietoina käytin niin Turvatekniikan keskuksen internetpalveluja kuin aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Palaverit ja haastattelut olivat myös suurin tekijä työn onnistumisen kannalta. Palavereissa päätettiin, mitä tulee tehdä seuraavaksi ja keneltä apua kannattaa kysyä. Palavereiden muistiot kirjoitin kokouksen yhteydessä ja sen siistittyäni jaoin sen osallistujien ja kutsuttujen kesken, jotta kaikki pysyivät projektissa mukana.

Kuvat

Kuva 1. Esimerkki säiliön varustelusta, s. 14

Kuva 2. Rakokorroosiota edesauttavia rakenteita, s. 21

Kuva 3. Pyörteitä synnyttäviä epätasaisuuksia, s. 23

Kuva 4. Veden virtausnopeuden vaikutus kupariseosten korroosioon, s. 24

Kuva 5. Raerajakorroosio on syntynyt erkaumien aiheuttaman seosaineista köyhtyneen vyöhykkeen takia, s. 26

Kuva 6. Valikoiva liukeneminen, s. 27

Kuva 7. Väsymiskestävyyttä kuvaava S-N- käyrä, s. 29

Kuva 8. Fluoresoivan magneettijauhetarkastuksen kulku, s. 35

Kuva 9. Tunkeumanestetarkastuksen kulku, s. 36

Kuva 10. Säiliötarkastuksessa tulee noudattaa turvaohjeita, kuten esimerkiksi luukkumiehen läsnäolo ja tuuletuksen järjestäminen, s. 43

Lähteet

1. UPM Historia
<http://www.upm.com/FI/UPM/UPM-Lyhyesti/Pages/default.aspx>
2. UPM ja Kaukas yleisesittely 2013
3. UPM vuosikertomus 2012
<http://www.upm.com/FI/SIJOITTAJAT/Documents/UPMVuosikertomus2012.pdf>
4. Työpaikan kemikaalilainsäädäntö. 2005. Edita Publishing, Helsinki.
5. Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa, Turvatekniikan keskus. 2005.
http://www.tukes.fi/tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_oppaat/vaaralliset_kemikaalit_esite.pdf
6. Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 20.12.2012/855
<http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/20120855>, Luettu 01.04.2013
7. Kemikaalisäiliöt, Turvatekniikan keskus
<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-ja-kaasu/Kemikaalisailiot/>,
Luettu 01.04.2013
8. Vaarallisten kemikaalien varastointi, Turvatekniikan keskus, 2011
http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/Vaarallisten_kemikaalien_varastointi_2011.pdf
9. Tukes-ohje K7-2004, Palavien nesteiden kiinteät varastosäiliöt - Rakenne ja tarkastukset
http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/tukesohje_K704.pdf
10. Vaarallisten kemikaalien säiliöitä, laitteita ja käyttöä koskevat standardit, TUKES, 7.2.2011
http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/ohjeet/kemikaalistandardit.pdf
11. Palavien nesteiden varastointi ja käsittely. Teräksinen maanpäällinen lie-riömäinen pystysäiliö. Standardi SFS 2734
12. Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P. & Tuomikoski, J. 2008. Konetekniikan materiaalioppi, 12. painos. Edita Publishing. Helsinki.
13. Korroosiokäsikirja, Kunnossapitoyhdistys ry, 2004, 2. painos
14. Kunnossapito–menestystekijä, Opetushallitus
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_f1_korroosionesto_perusteet.html, Luettu 11.04.2013
15. Martikainen, J. & Niemi, E. 1993. NDT-Tarkastus käsikirja, Yleinen osa, 1. painos. Suomen hitsausteknillinen yhdistys r.y. NDT-komitea. Helsinki.

| RAKENNEAINE | | | | | | |
|------------------------|------------------|----------------------|---|--|--|---|
| Kemikaali | Lämpötila | Väkevyys | EN 1.4016 Fe 37 Fe 44 Fe 52 RAEX-laadut | EN 1.4307 austeniittinen ruostumaton teräs: SIS 2352, AISI 304L, Cr 17,5%, Ni 8,0 % | EN 1.4404 austeniittinen haponkestävä teräs: SIS 2348 AISI 316 L C 0,03 % Cr 16,5%, Ni 10,0% Mo 2,1 % | EN 1.4547 austeniittinen haponkestävä erikoisteräs: SIS 2378 S31254 Cr 19,5%, Ni 17,5%, Mo 6,0 %, Cu |
| Ammoniakki vedetön | 0 °C -KP | Kaikki väkevyydet | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ammoniakki- vesi | 0 C – KP | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Etanoli | 20° C - KP | Kaikki väkevyydet | | 0 | 0 | 0 |
| Etikkahappo | 20°C | 10 % | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | | 50 % | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | | 100 % | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Fluorivety | 20°C | 10 % | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | 30°C | 75 % | 0 | 2 | 2 | 2 |
| | 20°C | 100 % | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Fosforihappo | 20°C | 5 % | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | | 50 % | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | | 80 % | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Kalsium- hydroksidi | 20°C - KP | Kaikki väkevyydet | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kalsium- kloridi | 20° C | 5 % | 2 | 0 p | 0 p | 0 p |
| | 20° C | 10 % | 2 | 0 p | 0 p | |
| | 100°C | 40 % | 2 | 0 p | 0 ps | 0 pc |
| Kloori | 70° C | kuiva kaasu 100 % | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 20°C - 60°C | märkä kaasu | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | 20°C | vesiliuos 1 mg/l | 1p | 0 | 0 | 0 |
| Kloori- dioksidi | 20° C | kuiva kaasu | | 0 | 0 | 0 |
| | 20 °C | märkä kaasu | | 2 | 2 | 2 |
| Kloorivety | 20° C - 40° C | kuiva kaasu | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kromihappo | KP | 2 % | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | 40°C | 10 % | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 20°C | 50 % | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Muurahais- happo | 20°C | 5 % | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | | 50 % | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | | 100 % | 1 | 0 | 0 | 0 |

Liite 1. Eräiden kemikaalien vaikutus yleisimpiin rakenneaineisiin

| | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------|---------------------------------|---|----|----|------|
| Natriumhydroksidi | 20°C | 10 % | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 20°C | 50 % | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 100°C | 50 % | 2 | 1 | 1 | 0 |
| Natriumkloraatti | KP | 10 %- 20 % | | 0 | 0 | 0 |
| | 20° C | 30 % | | 0 | 0 | 0 |
| Natriumhypokloraatti | 20°C | 5 % | 2 | lp | lp | 0p |
| | KP | 5 % | 2 | lp | lp | 1ps |
| Polttoöljyt | 20 °C - KP | | | 0 | 0 | 0 |
| Rikki dioksidi | 25°C | nestemäinen | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 20°C' | kaasu | 2 | 1 | 0 | |
| | 100°C | kosteaa kaasu | 2 | 1 | 0 | |
| Rikkihiili | 20 °C - 48°C | 100 % | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Rikkihappo | 20°C | 1 % | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | 85°C | 1 % | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | 20°C | 50 % | 2 | 2 | 2 | 0 |
| | 70°C | 50 % | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | 20° C | 96 % | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 50°C | 96 % | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Suolahappo | 20°C | 5 % | 2 | 2 | 2 | 1 ND |
| | | 30–37% | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Typpihappo | 20°C | 5 % | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | 20°C | 60 % | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | 60°C | 60 % | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Typpihapon ja fluorivetyhapon seos | 25°C | HNO ₃ 20 % HF 4 % | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | 70°C | HNO ₃ 10 % HF 3 % | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Vetyperoksidi | 20°C | 5 % | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 40°C | 50 % | | 0 | 0 | 0 |

SELITYKSET:

KP = kiehumispiste

ND = ei tietoa

p = piste- ja piilokorroosiovaara

s = jännityskorroosiovaara

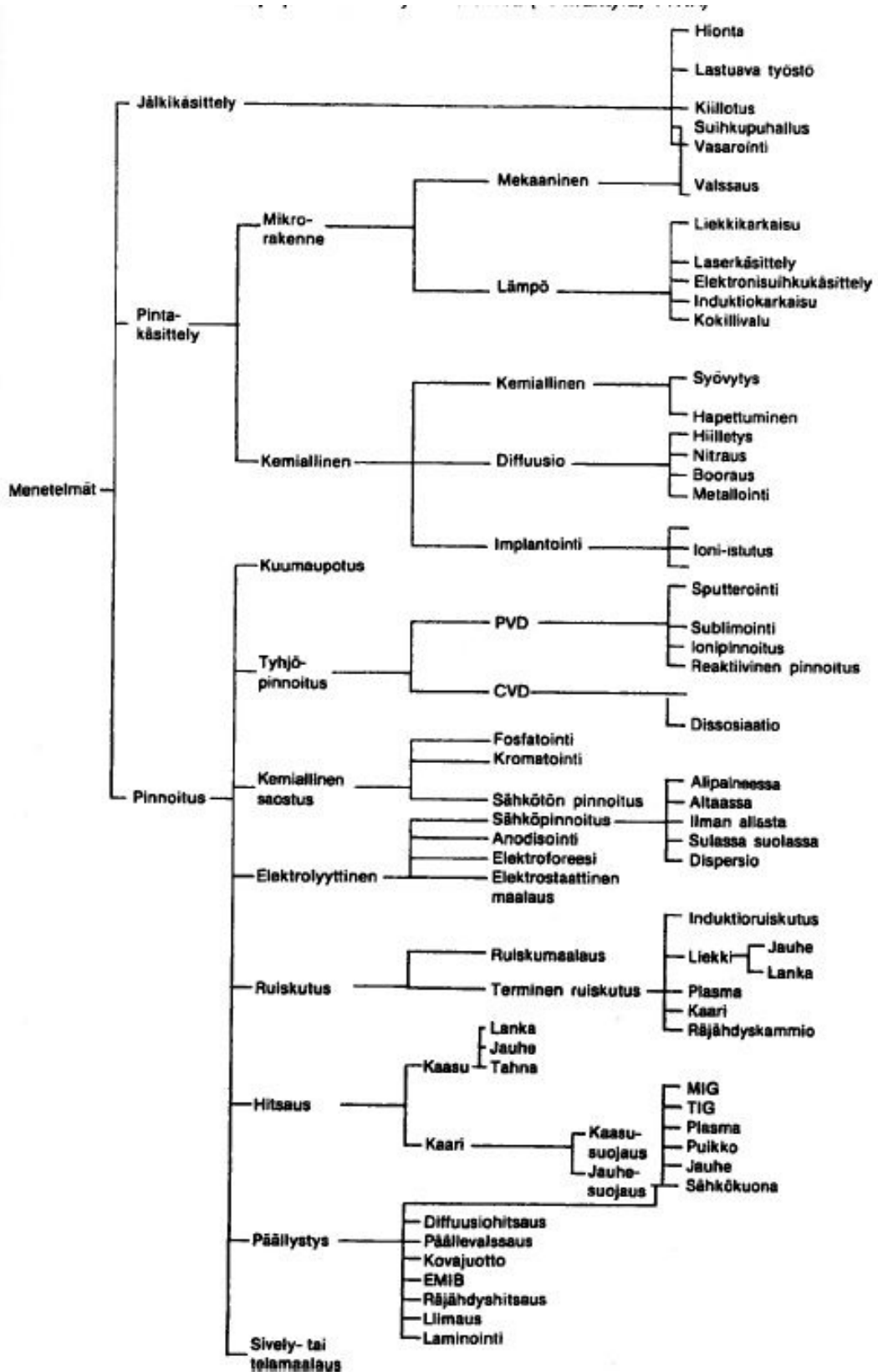
c = piilokorroosiovaara

| <u>symboli</u> | <u>korroosionopeus</u> | <u>symboli</u> | <u>materiaalin käyttökelpoisuus</u> |
|----------------|------------------------|----------------|---|
| 0 | < 0,1 mm/vuosi | 0 | täysin kestävä |
| 1 | 0,1 - 1,0 mm/vuosi | 1 | ei kestävä, käyttökelpoinen tietyissä tapauksissa |
| 2 | > 1,0 mm/vuosi | 2 | voimakas korrosio, ei käyttökelpoinen |

Lähde: Korroosiotaulukot, Outokumpu Stainless, Corrosion Handbook, Ninth Edition.

Ammoniakki: Korroosio käsikirja 2007.

Liite 2. Eräiden kemikaalien vaikutus yleisimpiin rakenneaineisiin



Liite 3. Eri pinnoitusmenetelmien jaottelu