

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutus  
Kone- ja tuotesuunnittelu

Samu Myllärinen

## **Putkistojen tarkastussuunnitelma kemikaalitehtaalla**

Opinnäytetyö 2019

## Tiivistelmä

Samu Myllärinen

Putkistojen tarkastussuunnitelma kemikaalitehtaalla, 41 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikan koulutus

Kone- ja tuotesuunnittelu

Opinnäytetyö 2019

Ohjaajat: yliopettaja Seppo Toivanen, Saimaan ammattikorkeakoulu, kunnossa-pitopäällikkö Tero Viinikainen, Kemira Chemicals Oy

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää putkistojen tarkastussuunnitelma Kemira Chemicals Oy:n Joutsenon tehtaalle. Tarkoituksena oli selvittää lain asettamat vaatimukset tarkastussuunnitelmalle ja kehittää vaatimusten mukainen suunnitelma, joka olisi myös käyttäjäystävällinen. Suunnittelun jälkeen tehtävänä oli ajaa suunnitelma ennakkoHUoltotoiksi tehtaaseen SAP-järjestelmään.

Työn teoriaosuudessa käsitellään kemikaalien käsittelyä ja varastointia koskevaa lainsäädäntöä teollisuuslaitoksen näkökulmasta sekä putkistoiden vaurioitumista korroosion takia. Tarkastussuunnitelman tekemisen prosessi käydään läpi suunnitteluvaiheesta toteuttamisvaiheeseen.

Opinnäytetyön tuloksena saatua tarkastussuunnitelmaa voidaan pitää onnistuneena. Tehdas sai opinnäytetyönä tehdyn tarkastussuunnitelman, joka täyttää lain asettamat vaatimukset ja on käyttäjilleen selkeä käyttää. Tarkastussuunnitelman avulla myös alkavat vauriot voidaan huomata ajoissa ja siten tehdään tehtaasta turvallisempi sekä säästetään korjauskustannuksissa.

Asiasanat: putkisto, tarkastus, kemikaali

## **Abstract**

Samu Myllärinen

Pipeline inspection plan at a chemical plant, 41 pages

Saimaa University of Applied Sciences

Faculty of Technology, Lappeenranta

Bachelor's Degree Programme in Mechanical Engineering

Designing

Bachelor's Thesis 2019

Instructors: Mr Seppo Toivanen, Principal lecturer, Saimaa University of Applied Sciences, Mr Tero Viinikainen, Maintenance manager, Kemira Chemicals Oy

The purpose of this thesis was to develop a pipeline inspection plan that fills the requirements of the law and is intuitive to use for the inspectors. The goal was to research the requirements of the law and develop an inspection plan that meets the requirements and is comfortable to use. The task was also to run the inspection plan to the plant's SAP-system.

The information for this thesis was gathered from literature, the Internet, and interviewing the staff at the plant. The requirements of the law were collected from the website of Tukes (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto). The theory part of this thesis covers the corrosion of metals and polymers that are used as pipeline materials at the plant, and the law regarding handling chemicals. Making of the inspection plan is discussed from the planning phase to the execution.

The result of the thesis can be considered successful. The inspection plan meets the requirements of the law and is intuitive to use by the staff. The routine inspections of the pipelines also improve the safety of the plant because any damage in the pipelines is noticed before they break down completely. This also saves on maintenance costs.

Keywords: pipeline, inspection, chemical

## Sisällys

1	Johdanto .....	5
2	Lainsäädäntö koskien vaarallisten kemikaalien käsittelyä .....	6
2.1	Putkistojen hankinta ja muutostyöt .....	7
2.2	Putkistojen luokitus .....	7
2.3	Vaatimustenmukaisuus .....	12
3	Metallien korroosio .....	18
3.1	Yleinen korroosio .....	18
3.2	Rakokorroosio .....	18
3.3	Pistekorroosio .....	19
3.4	Eroosiokorroosio .....	19
3.5	Hiertymiskorroosio .....	21
3.6	Raerajakorroosio .....	22
3.7	Galvaaninen korroosio .....	23
3.8	Valikoiva syöpyminen .....	24
3.9	Jännityskorroosio .....	25
3.10	Korroosioväsyminen .....	26
4	Polymeerien ja elastomeerien korroosio .....	27
4.1	Polymeerien permeaatio .....	27
4.2	Polymeerien ja elastomeerien absorptio .....	28
4.3	Säteilyn vaikutukset .....	29
5	Tehtaalla putkistoissa virtaavat kemikaalit .....	29
5.1	Natriumkloratti $\text{NaClO}_3$ .....	29
5.2	Natriumhydroksidi (natronlipeä) $\text{NaOH}$ .....	30
5.3	Natriumhypokloriitti $\text{NaOCl}$ .....	31
5.4	Suolahappo $\text{HCl}$ .....	32
5.5	Kloori $\text{Cl}$ .....	33
5.6	Vetyperoksidi $\text{H}_2\text{O}_2$ .....	34
5.7	Vety $\text{H}$ .....	34
6	Tarkastussuunnitelman toteutus .....	35
6.1	Tarkastettavien kokonaisuuksien suunnittelu .....	35
6.2	Tarkastusmenetelmät .....	36
6.3	Dokumentointi .....	37
6.4	Määräaikaistarkastusten aikataulutus .....	38
7	Yhteenveto .....	38
	Lähteet .....	40

# 1 Johdanto

Kemira Chemicals Oy on globaali kemiantuotteiden kehitykseen ja myyntiin keskittynyt yritys. Kemira tuottaa asiakkailleen tuotteita ja palveluita kuten kemiallisia ratkaisuja, sovellusosaamista ja älykästä prosessinhallintaa massanvalmistuksesta paperintuotantoon ja vedenkäsittelyyn. (Kemira. 2019.)

Kemiran Joutsenon tehdas tuottaa kemikaaleja sellu- ja paperiteollisuuden käyttöön. Kemiran Joutsenon tehtaan tuotteet ovat natriumkloraatti, natriumhydroksidi, natriumhypokloriitti, suolahappo, AKD, vety ja vihreä energia. Joutsenon tehdasalue koostuu natriumkloraattitehtaasta, kloorialkalitehtaasta ja vetyvoimalasta.

Vaarallisia kemikaaleja käsittelevän ja varastoivan yrityksen on noudatettava kemikaalilainsäädännössä asetettuja vaatimuksia. Vaarallisten kemikaalien käsittelyä ja varastointia koskevat useat säädöksiä, joiden avulla on tarkoitus ehkäistä mahdollisia kemikaaleihin liittyviä onnettomuuksia ja rajoittaa niiden vaikutuksia ihmisille, omaisuudelle tai ympäristölle.

Työskennellessäni tehtaalla kunnossapitomestarina oli tapauksia, joissa putken vaurioituminen olisi voitu estää tai putken vaihtotyöhön olisi voitu varautua etukäteen, jos ne olisi huomattu ajoissa. Monet putkiston osat ovat sellaisissa paikoissa, joissa työntekijät harvemmin liikkuvat tai ovat muuten vain vaikeasti näkyvillä, ellei niihin erityisesti kiinnitä huomiota. Tällaisissa paikoissa vauriot voivat helposti jäädä huomaamatta ilman erillistä suunnitelmaa niiden tarkastamiseksi. Kaikilla kemikaaleja käsittelevillä laitoksilla on myös lakisääteinen vaatimus tarkastussuunnitelmalle.

Työn teoriaosuudessa käydään läpi kemikaalien käsittelyä ja varastointia koskevaa lainsäädäntöä laajamittaisen teollisen toiminnan kannalta sekä selvitetään putkistoissa tyypillisesti ilmeneviä vauriomuotoja. Lisäksi esitellään tehtaan putkistoissa virtaavat kemikaalit. Teoriaosuuden jälkeen selvitetään tarkastussuunnitelman toteutusta.

Tarkastussuunnitelman piti sisältää tarkastettavat putkistot positioineen jaettuna tarkastusten kannalta järkeviin kokonaisuuksiin ja tarkastusten aikataulu. Kokonaisuudet jaettaisiin vuoroille, jotka toteuttaisivat tarkastukset suunnitelman mukaan ja ilmoittaisivat mahdollisista vaurioista tai epäkohdista kunnossapidon esmiehelle. Tarkastussuunnitelma myös kirjataan yrityksen kunnossapitojärjestelmään, joka ilmoittaa tämän jälkeen automaattisesti määräaikaistarkastuksista tarkastuksen tekeville vuoroille.

## **2 Lainsäädäntö koskien vaarallisten kemikaalien käsittelyä**

Tukes (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto) valvoo vaarallisten kemikaalien laajamittaista varastointia ja käsittelyä. Laajamittainen toiminta edellyttää myös Tukesin myöntämää lupaa. Kemikaalilainsäädännön tarkoituksena on ehkäistä kemikaalionnettomuuksia ja rajoittaa onnettomuuksista aiheuttamia seurauksia ihmisille, omaisuudelle ja ympäristölle. (Tukes, a.)

Kemikaalilaitoksia koskevat säädökset:

- Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden turvallisesta käsittelystä (390/2005)
- Valtioneuvoston asetus kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta (685/2015)
- Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista (856/2012)
- Valtioneuvoston asetus nestekaasulaitosten turvallisuusvaatimuksista (858/2012)

Säädökset sisältävät SEVESO III -direktiivin (2012/18/EU) vaatimukset suuronnettomuusvaaran torjunnasta. (Tukes, a.)

Lähtökohdan myös kemikaaliputkistojen turvallisuudelle muodostaa laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden turvallisesta käsittelystä (390/2005). Asetuksissa (685/2015) kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta ja (856/2012)

vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista täydennetään turvallisuusvaatimuksia ja onnettomuuksiin varautumiseen liittyviä velvoitteita. (Tukes, a.)

## **2.1 Putkistojen hankinta ja muutostyöt**

Putkistoiden valmistaminen kuten myös muutosten teettäminen edellyttävät tiettyjä asioita. Tilaajan ja toimittajan on määritettävä hankinta ja tilaukseen on kirjattava vastuullinen valmistaja, toimituslaajuus, tekninen erittely ja vaaditut asiakirjat. Lisäksi riskien arvioinnin suorittaja tulee tulla ilmi. Riskien arvioinnilla pyritään tunnistamaan ja määrittämään mahdolliset vaaratilanteet putkistojen sijoituksen tai kuormituksen vaikutuksesta. Vaaratilanteita aiheuttavia olosuhteita tai ilmiöitä voivat olla esimerkiksi paine, putkiston sisältö, korroosio, lämpötila, putkien tuenta sekä liikenne- ja lumikuormat. (Tukes, b.)

Riskien arvioinnissa on noudatettava vähennysperiaatteita seuraavasti:

1. Vaarojen poistaminen ja pienentäminen
2. Suojaustoimenpiteet vaarojen osalta, joita ei ole mahdollista poistaa kokonaan
3. Asiakirjojen laatiminen käyttäjälle jäljelle jäävistä vaaroista ja turvallisesta käytöstä (käyttöohjeet, huolto- ja tarkastusohjeet, laitemerkinnät jne.)

Riskien arvioinnin tekijän on oltava pätevä ja kokenut laatimaan selvitys riskeistä kyseessä olevassa teollisuuslaitoksessa. Putkistojen tilaajan on hankkeen alussa varmistuttava asianmukaisen riskiarvioinnin teosta kyseessä olevalla putkistolle tai laitekokonaisuudelle. Lisäksi on valvottava, että valittuja turvallisuusratkaisuja noudatetaan suunnittelussa, valmistuksessa ja asennuksessa. On suositeltavaa, että riskien arvioinnit tehdään yhteistyössä valmistajan ja toiminnanharjoittajan kesken. (Tukes, b.)

## **2.2 Putkistojen luokitus**

Painelaitesäädöksen mukaan putkistojen sisällöt jaetaan ryhmiin 1 ja 2. Ryhmään 1 kuuluvat sisällöt koostuvat (EY) N:o 1272/2008 2 artiklan 7 ja 8 kohdassa määritellyistä aineista ja seoksista, jotka on määritelty vaarallisiksi (Taulukko 1).

Ryhmään kuuluvat lisäksi myös aineet ja seokset, joiden korkein sallittu lämpötila on suurempi kuin niiden leimahduspiste. (Tukes, b.)

CLP-vaaraluokat ja kategoriat (PED, artikla 13)	CLP-asetuksen vaaralausekkeet (H-lausekkeet)
1) Epästabiilit räjähteet tai vaarallisuusluokkiin 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 ja 1.5 kuuluvat räjähteet	H200, H201, H202, H203, H204, H205
2) Syttyvät kaasut, kategoria 1 ja 2	H220, H221
3) Hapettavat kaasut, kategoria 1	H270
4) Syttyvät nesteet, kategoria 1 ja 2	H224, H225
5) Syttyvät nesteet, kategoria 3, jos suurin sallittu lämpötila on korkeampi kuin leimahduspiste	H226
6) Syttyvät kiinteät aineet, kategoria 1 ja 2	H228
7) Itsereaktiivinen aine tai seos, tyypit A–F	H240, H241, H242
8) Pyroforiset nesteet, kategoria 1	H250
9) Pyroforiset kiinteät aineet, kategoria 1	H250
10) Aineet ja seokset, jotka veden kanssa kosketuksiin joutuessaan kehittävät syttyviä kaasuja, kategoria 1, 2 ja 3	H260, H261
11) Hapettavat nesteet, kategoria 1, 2 ja 3	H271, H272
12) Hapettavat kiinteät aineet, kategoria 1, 2 ja 3	H271, H272
13) Orgaaniset peroksidit, tyypit A–F	H240, H241, H242
14) Välitön myrkyllisyys suun kautta: kategoria 1 ja 2	H300
15) Välitön myrkyllisyys ihon kautta: kategoria 1 ja 2	H310
16) Välitön myrkyllisyys hengitysteiden kautta: kategoria 1, 2 ja 3	H330, H331
17) Elinkohtainen myrkyllisyys – kerta-altistuminen, kategoria 1	H370

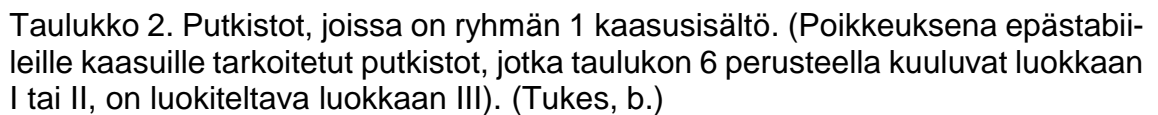
Taulukko 1. Ryhmään 1 kuuluvat sisällöt (Tukes, b)

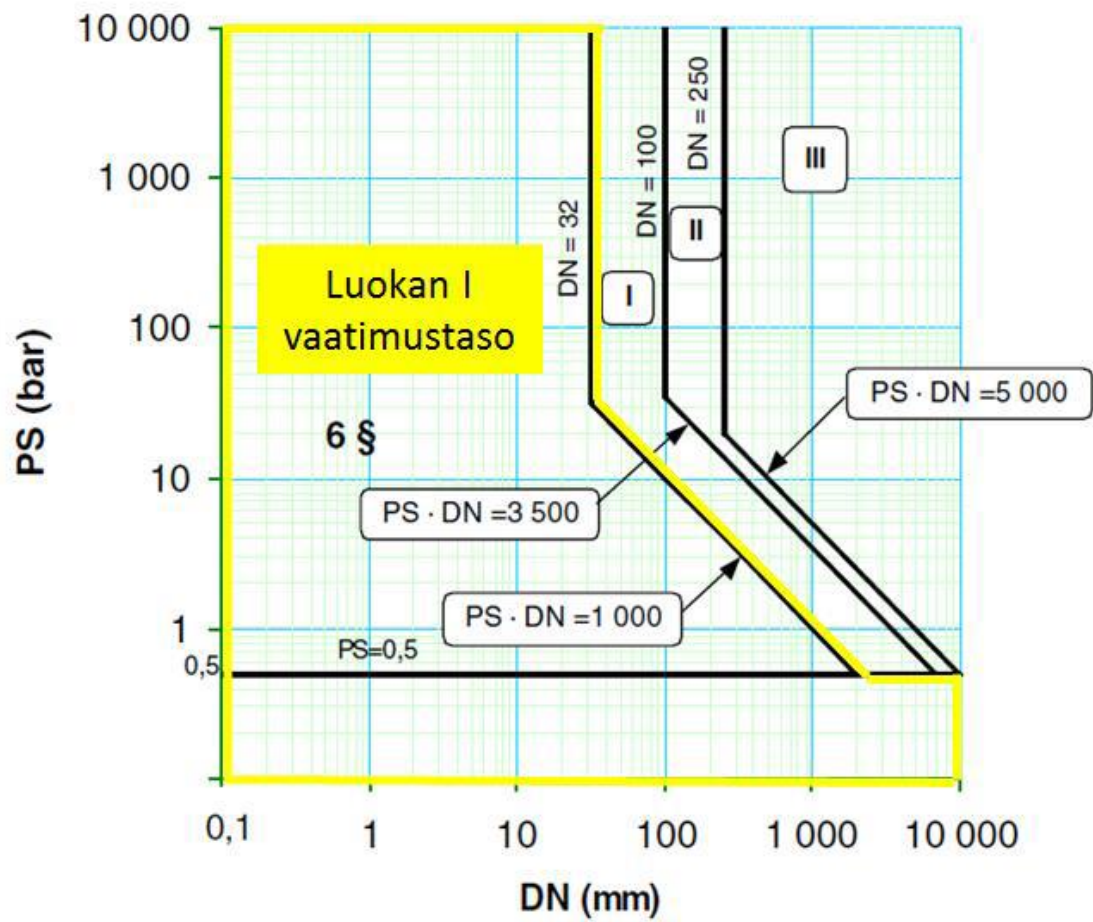
Ryhmään 2 kuuluvat ne aineet ja seokset, jotka eivät sisälly ryhmään 1 (Tukes, b).

Vaarallisten kemikaalien putkistoihin sovelletaan aina vähintään painelaitesäädöksen luokan I vaatimuksia vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden turvallisuusvaatimuksia koskevan asetuksen (856/2015) 47§:n mukaan. Luokan I vaatimuksia sovelletaan, vaikka putkistot eivät painelaitesäädöksen mukaan kuuluisi-

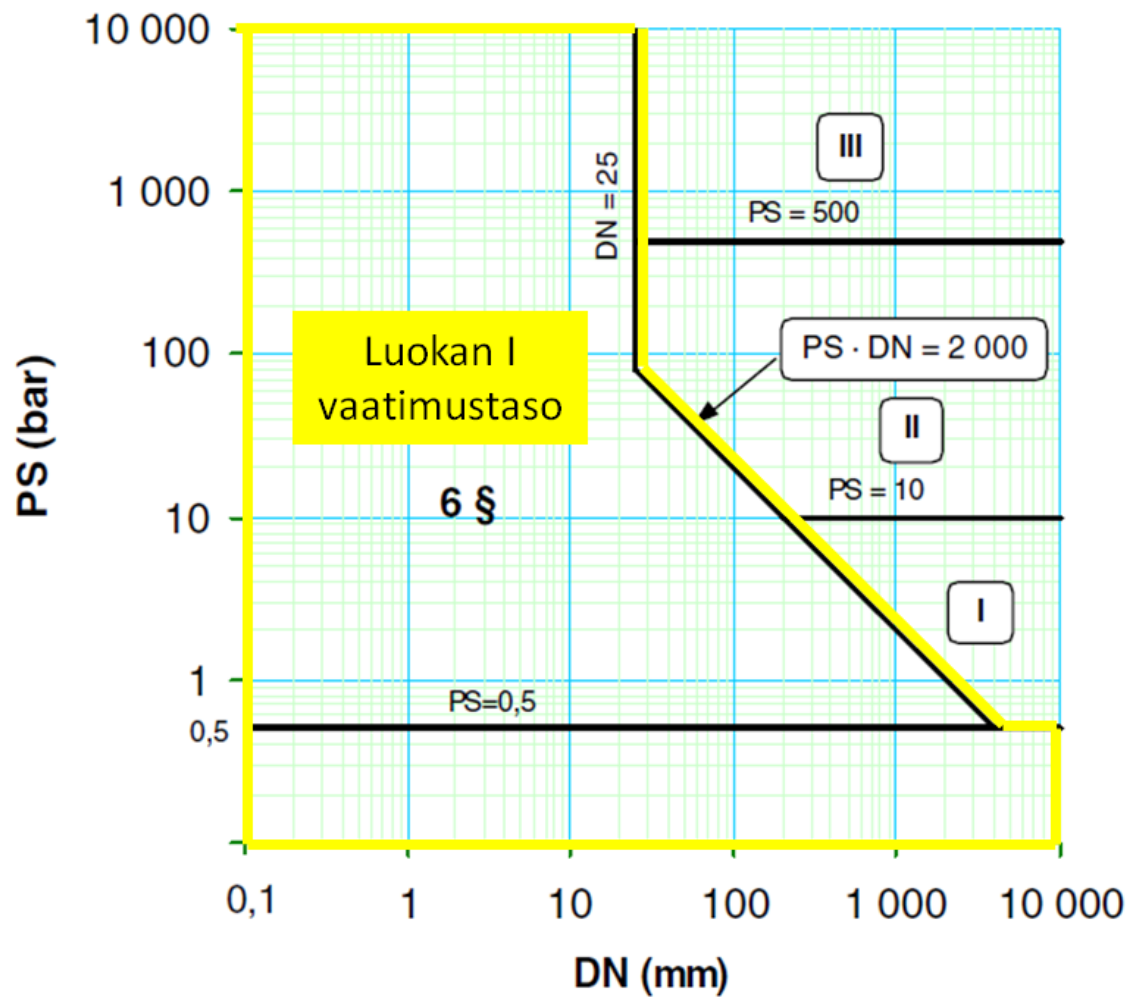


Seuraavana putkistojen vaatimustenmukaisuuden arviointitaulukot (Taulukot 2–5).

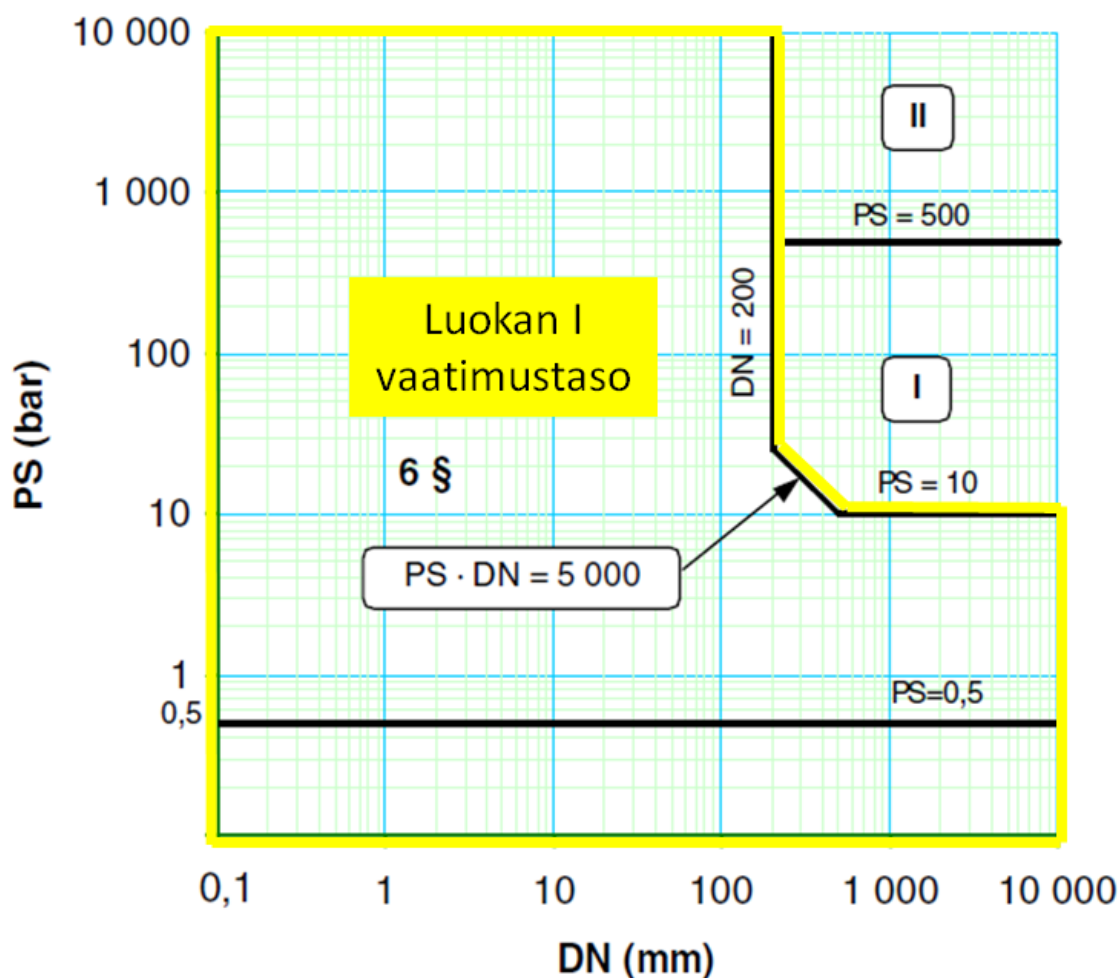




Taulukko 3. Putkistot, joissa on ryhmän 2 kaasusisältö. (Poikkeuksena putket, joiden sisältö on yli 350 °C ja jotka kuuluisivat luokkaan II, on luokiteltava luokkaan III). (Tukes, b.)



Taulukko 4. Painelaitedirektiivin liitteen II luokittelutaulukko 8 putkistoille, joissa on vaarallinen nestemäinen sisältö (Tukes, b)



Taulukko 5. Putkistot, joissa on ryhmän 2 nestesisältö (Tukes, b)

### 2.3 Vaatimustenmukaisuus

Arviointimenettely (=moduuli tai moduuliyhdistelmä), jota sovelletaan putkistoon, määräytyy luokittelutaulukon (luokat I, II, III) perusteella. Moduuleissa on kuvattuna valmistajan ja tarkastuslaitoksen tehtävät (taulukko 6). Tehtävät kattavat putkiston suunnittelun ja valmistuksen/tuotannon. Moduulien tarkoitus on osoittaa, että putkistojen suunnittelu ja valmistus täyttävät painelaitesäädösten turvallisuusvaatimukset ennen käyttöönottoa. (Tukes, b.)

Valmiille putkistolle annetaan CE-merkintä ja sen lisäksi valmistaja laatii EU-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen (Kuva 1) putkistolle. Myös kaikki asiakirjat ja käyttöohjeet, jotka on laadittu suunnittelun ja valmistuksen aikana luovutetaan tilaajalle. (Tukes, b.)

EU-VAATIMUSTENMUKAISUUSVAKUUTUS (nro XXXX) ( 1 )
1. Painelaite tai laitekokonaisuus (tuote-, tyyppi-, erä- tai sarjanumero):
2. Valmistajan tai tapauksen mukaan valmistajan valtuutetun edustajan nimi ja osoite:
3. Tämä vaatimustenmukaisuusvakuutus on annettu valmistajan yksinomaisella vastuulla.
4. Vakuutuksen kohde (jäljitettävyyden mahdollistava painelaitteen tai laitekokonaisuuden tunnistus; tähän voi kuulua kuva, kun se on tarpeen painelaitteen tai laitekokonaisuuden tunnistusta varten) — painelaitteen tai laitekokonaisuuden kuvaus — vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely, jota on sovellettu — laitekokonaisuuksien osalta niiden painelaitteiden kuvaus, joista ne koostuvat, sekä vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt, joita on sovellettu.
5. Edellä kuvattu vakuutuksen kohde on unionin asiaankuuluvan yhdenmukaistamislainsäädännön vaatimusten mukainen:
6. Viittaus niihin asiaankuuluviin yhdenmukaistettuihin standardeihin, joita on käytetty, tai viittaus muihin tekniisiin eritelmiin, joiden perusteella vaatimustenmukaisuusvakuutus on annettu:
7. Tarvittaessa vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyn suorittaneen ilmoitetun laitoksen nimi, osoite ja numero sekä annetun todistuksen numero ja viittaus EU-tyyppitarkastustodistukseen – tuotantotyyppi, EU tyyppitarkastustodistukseen – suunnittelutyyppi, EU-suunnitelmatarkastustodistukseen tai vaatimustenmukaisuustodistukseen:
8. Lisätietoja: puolesta allekirjoittanut (antamisaika ja -päivämäärä): (nimi, tehtävä) (allekirjoitus): (Tarvittaessa sen henkilön yksilöinti, jolla on valmistajan tai valmistajan valtuutetun edustajan allekirjoitusvaltuus.)

Kuva 1. EU-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen vaatimukset (Tukes, b)

Jos kemikaaliputkiston luokittelukaavioissa vaatimustaso päättyy hyvän konepajakäytännön (SEP) alueelle tai paine putkistossa on alle 0,5 bar, noudatetaan putkistojen suunnittelussa ja valmistuksessa kuitenkin vähintään luokan I vaatimustasoa (moduuli A). Tässä tapauksessa putkistolle ei anneta CE-merkintää, mutta valmistaja vaatii putkistolle vaatimustenmukaisuusvakuutuksen (Kuva 2). Myös kaikki suunnittelun ja valmistuksen aikana laaditut asiakirjat sekä käyttöohjeet toimitetaan tilaajalle. (Tukes, b.)

## Vaatimustenmukaisuusvakuutus

Putkistonvalmistajat Oy  
PL 123  
01234 TEHDASMAA

vakuuttaa, että kemikaaliputkisto

Kemikaaliputkisto P200  
valmistusnumero 2100  
jonka suunnitteluarvot ovat:

Paine, max / min	5,0 / -1 bar
Halkaisija	DN 100
Sisältö	NaOH
Lämpötila max / min	+ 80 / +10 °C

**on suunniteltu ja valmistettu vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista annetun valtioneuvoston asetuksen (856/2012) 47 § mukaisesti ja vastaten painelaitteasetuksen (1548/2016) luokan I vaatimustasoa (moduuli A)**

Sovelletut standardit  
SFS EN-13480-1-5

Muut standardit ja tekniset eritelmät:

Pääpiirustuksen No: xxx

Piirustuksessa esitetään putkistokokonaisuus ja yksilöidään putkilinjat ja painelaitteet suunnitteluarvoineen

Kemikaaliputkiston suunnittelu, valmistus ja tarkastukset täyttävät asetetut vaatimukset.

Tehdasmaalla \_\_. \_\_. \_\_\_\_

Allekirjoitus

Allekirjoitusvaltuutusasema

Kuva 2. Esimerkki putkiston vaatimustenvakuutuksesta (Tukes, b)

Luokan I putkistojen kevein arviointimenettely on moduuli A. Moduulin A vaatimuksenmukaisuuden arviointi ei edellytä erillisen kolmannen osapuolen eli ilmoitetun laitoksen osallistumista arviointiin. Putkistojen valmistaja varmistaa ja vakuuttaa itse, että putkisto täyttää sille asetetut vaatimukset. (Tukes, b.)

Valmistajan tulee laatia suunnitteluvaiheessa moduulin vaatimat tekniset asiakirjat. Asiakirjojen perusteella on pystyttävä arvioimaan, ovatko painelaitteet säädösvaatimusten mukaisia. Teknisten asiakirjojen on katettava painelaitteen suunnittelu, valmistus ja toiminta. Kuvassa (3) lista vaadittavista asiakirjoista. (Tukes, b.)

1. Valmistajan vaatimustenmukaisuusvakuutus siitä, että putkisto on suunniteltu, rakennettu ja tarkastettu säädösten mukaisesti
2. Putkiston suunnittelun lähtötiedot (kemikaalit, lämpötilat, paineet), sovelletut standardit
3. Vaara-analyysi ja sen tulokset
4. Putkiston varusteluun ja sijoitukseen liittyvät piirustuksia (PI-kaaviot, lay-out-kaaviot kaikkine yksityiskohtineen, kannakointi, sijoittelu putkisillalla)
5. Varusteluettelo kaikkine varusteiden toimittajilta saatuine tietoineen, tiivisteiden tiedot
6. Putkiston rakentamisasiakirjat:
  - a. Aineistodistukset
  - b. Hitsausohjeet ja hitsauskartta
  - c. Hitsauspiirustukset tarvittavine yksityiskohtaisine kuvineen
  - d. Luettelo hitsaajista ja heidän pätevyyksistään (pysyvät liitokset)
  - e. Hitsauslisäaineseelvitykset
  - f. Selvitykset mahdollisista lämpökäsittelyistä
7. Putkiston tarkastusasiakirjat:
  - a. Tarkastussuunnitelma
  - b. Pöytäkirjat paine- ja tiiviyskokeesta
  - c. Pöytäkirjat ainetta rikkomattomista tarkastuksista kaavioineen
  - d. NDT-henkilöstön pätevänti
8. Merkintävaatimukset
9. Putkiston huolto- sekä sisä- ja ulkopuolinen tarkastussuunnitelma sekä pöytäkirjat tehdyistä tarkastuksista havaintoineen
10. Varusteiden korjaukset, muutokset ja lisäykset yms.
11. Putkistoon tehdyt korjaustoimet ja mahdolliset rakenteen muutokset (tarvittaessa niistä tehdään erillinen lisäasiakirjat sisältävä kansio)

Muutostilanteiden jälkeen tulee muistaa päivittää kansioon kaikki piirustukset ja muut selvitykset siten, että putkistokansio vastaa kaikilta osin nykyistä putkistoa hävittämättä kuitenkaan historia-tietoa.

Kuva 3. Kemikaaliputkistokirjan sisältö (Tukes, b)

Valmistajan on tehtävä tarvittavat toimenpiteet, jotta valmistusmenetelmät ja tarvittavat asiakirjat valmistettavista putkistoista ovat painelaitesäädösten vaatimusten mukaiset. Kemikaaliputkistojen tarkastusvaatimukset kuvassa (4). (Tukes, b).



Taulukko 1

Luokan I putkiston tarkastusvaatimukset, kun putkistolle tehdään nestepainekoe:

Materiaaliryhmä	Kaikki hitsit	Kehähitsit
	Visuaalinen (silmämääräinen)	RT tai UT
1.1, 1.2 ja 8.1	100 %	5 %

Jos putkisto toimii alle 0,5 bar paineessa, riittää 2 % RT tai UT kehähitsille.

Taulukko 2

Luokan I putkiston tarkastusvaatimukset, kun putkistolle tehdään vain kaasupainekoe (1.1 kertaa suurin sallittu käyttöpaine):

Materiaaliryhmä	Kaikki hitsit	Kehähitsit	Yhdehitsit
	Visuaalinen (silmämääräinen)	RT tai UT	Pintatarkastus MT tai PT
1.1, 1.2 ja 8.1	100 %	10 %, jos halkaisija yli 5 mm	5 %

Huom 1: Kaasupainekokeella tarkastettavan putkiston pituus- ja kierresaumahitsille tehdään 100 % RT tai UT, jos hitsille ei ole tehty aineettarikkomatonta testausta tai painekoetta jo putken valmistajan toimesta.

#### Taulukkojen merkinnät:

RT tarkoittaa röntgentarkastusta, UT ultraäänitarkastusta, MT magneettijauhutarkastusta ja PT tunkeumanestetarkastusta.

Materiaaliryhmä on tarkemmin esitetty standardissa CEN ISO/TR 15608.

Materiaaliryhmällä 1.1 tarkoitetaan teräksiä, joiden ylempi myötöraja on alle 275 N/mm<sup>2</sup>. Yleisesti tähän ryhmään kuuluvat normaalit seostamattomat teräkset (kuten P235).

Materiaaliryhmällä 1.2 tarkoitetaan teräksiä, joiden ylempi myötöraja on välillä 275 N/mm<sup>2</sup> - 360 N/mm<sup>2</sup>. Yleisesti tähän ryhmään kuuluvat normaalit seostamattomat teräkset, joilla on melko suuri myötöraja (kuten P355N).

Materiaaliryhmällä 8.1 tarkoitetaan austeniittista ruostumatonta terästä, jossa kromipitoisuus (Cr) on enintään 19 %. Yleisesti tähän ryhmään kuuluvat normaalit austeniittiset teräkset (kuten SS304, SS304L, SS306, SS306L, SS316, SS316L).

Kehähitsillä tarkoitetaan putkien päittäishitsejä, joilla putket liitetään toisiinsa.

Yhdehitseillä tarkoitetaan yhteiden liitoshitsejä putkiin.

Taulukko on täydellisemmin ja tarkemmin esitetty standardissa SFS-EN 13480-5, taulukko 8.2.1.

Kuva 4. Kemikaaliputkistojen tarkastusvaatimukset (luokka I) tyypillisille materiaaleille (Tukes, b)

Laitekokonaisuuden (koostuu useista painelaitteista esimerkiksi putkista, säiliöistä, varusteista ja varolaitteista) tapauksessa vaatimustenmukaisuuden arviointi suoritetaan kokonaisuuteen kuuluvan painelaitteen korkeimman luokan mukaisesti. Kokonaisuus voi kuitenkin sisältää tätä alemman luokan omaavia laitteita. Tässäkin tapauksessa kemikaaliputkistot valmistetaan vähintään luokan I



vaatimusten mukaisesti. Vaatimuksenmukaisuuden arviointimenettelyt taulukossa (6). (Tukes, b.)

VAATIMUSTENMUKAISUUDEN ARVIOINTIMENETTELYT PAINELAITTEEN LUOKKA - MODUULI TAI MODUULIYHDISTELMÄ			
LUOKKA I	LUOKKA II	LUOKKA III	LUOKKA IV
A	A2	B (suunnittelutyyppi) + D	B (tuotantotyyppi) + D
	D1	B (suunnittelutyyppi) + F	B (tuotantotyyppi) + F
	E1	B (tuotantotyyppi) + E	G
		B (tuotantotyyppi) + C2	H1
		H	

ARVIOINTIMENETTELY (MODUULI)		KUVAUS
A	Sisäinen tuotannonvalvonta	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat ja tekee loppuarvioinnin
A2	Sisäinen tuotannonvalvonta ja valvotut painelaitetarkastukset satunnaisin väliajoin	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat ja tekee loppuarvioinnin, jota ilmoitettu laitos valvoo
B	EU-tyyppitarkastus - tuotantotyyppi	Ilmoitettu laitos tarkastaa tyyppin vaatimustenmukaisuuden
	EU-tyyppitarkastus - suunnittelutyyppi	Ilmoitettu laitos tarkastaa suunnitelman vaatimustenmukaisuuden
C2	Sisäiseen tuotannonvalvontaan perustuva tyyppimukaisuus ja satunnaisin väliajoin suoritettavat valvotut painelaitetarkastukset	Valmistaja tekee loppuarvioinnin, jota ilmoitettu laitos valvoo
D	Tuotantoprosessin laadunvarmistukseen perustuva tyyppimukaisuus	Valmistaja soveltaa valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos
D1	Tuotantoprosessin laadunvarmistus	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat sekä soveltaa valmistuksessa testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos
E	Painelaitteiden laadunvarmistukseen perustuva tyyppimukaisuus	Valmistaja soveltaa testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos
E1	Painelaitteiden lopputarkastuksen ja testauksen laadunvarmistus	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat sekä soveltaa testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos
F	Painelaitteen tarkastukseen perustuva tyyppimukaisuus	Ilmoitettu laitos tekee tuotekohtaisen loppuarvioinnin
G	Yksikkökohtaiseen tarkastukseen perustuva vaatimustenmukaisuus	Ilmoitettu laitos tekee tuotteen suunnitelma- ja loppuarvioinnin
H	Täydelliseen laadunvarmistukseen perustuva vaatimustenmukaisuus	Valmistaja soveltaa suunnittelussa, valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos
H1	Täydelliseen laadunvarmistukseen ja suunnittelun tarkastukseen perustuva vaatimustenmukaisuus	Valmistaja soveltaa suunnittelussa, valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos. Lisäksi ilmoitettu tekee suunnitelmataarkastuksen ja valvoo loppuarviointia

Taulukko 6. Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt eli moduulit (Tukes, b)

### **3 Metallien korroosio**

#### **3.1 Yleinen korroosio**

Yleisessä korroosiossa syöpyvän aineen koko pinta syöpyy tasaisesti. Yleinen korroosio on tyypillistä suojaamattomille syöpyville metalleille ja myös kemikaaleille altistuville metalleille. Tasaisen syöpymisnopeuden vuoksi ilmiön seuraaminen on helppoa esimerkiksi seinämäpaksuusmittauksilla. (Opetushallitus.) Prosessiteollisuudessa syöpymisnopeuden nyrkkisääntönä voidaan pitää seuraavaa (Aromaa 2005, 65):

- Ei haitallinen yleisen korroosion nopeus 0,01 mm vuodessa.
- Huoltotoimenpiteitä ja korroosiovaraa vaativa yleisen korroosion nopeus 0,1 mm vuodessa.
- Käyttökelvoton materiaali, kun yleinen korroosionopeus 1 mm vuodessa, jollei ole erityisiä perusteita materiaalin käyttämiselle.
- Täysin sopimaton materiaali kohteeseen, kun yleinen korroosionopeus 10 mm vuodessa.

#### **3.2 Rakokorroosio**

Rakokorroosiota esiintyy ahtaissa raoissa, joissa liuos ei pääse vaihtumaan samalla nopeudella kuin muualla metallipinnalla. Tapaukset, joissa rakoja pääsee syntymään, ovat tyypillisesti hitsaus-, pultti- ja niittiliitokset sekä metallin ja epämetallin kosketuspinnat esimerkiksi tiivisteliitokset. Liuoksen virtausta metallin pinnalla voi myös häiritä hiekka, lika ja saostumat, mikä aiheuttaa rakokorroosiota. (Opetushallitus.) Rako on pahimmillaan korroosiota ajatellen, kun se on tarpeeksi iso päästämään liuoksen tunkeutumaan ragoon, mutta tarpeeksi pieni ettei liuos huuhtoudu pois (0,025–0,1 mm) aiheuttaen seisovan liuoksen (Aromaa 2005, 75).

Rakokorroosiolle ovat erityisen herkkiä metallit, joiden korroosiosuoja perustuu passivaatioon (ruostumattomat teräkset). Rakokorroosiota esiintyy kuitenkin useimmilla metalleilla, niin jaloilla (kupari) kuin epäjaloilla (titaani, alumiini). (Opetushallitus.)

Rakokorroosio aiheutuu raossa olevan liuoksen koostumuksen muutoksen seurauksena. Liuos muuttuu sellaiseksi, joka aiheuttaa korroosion kiihtymisen. Usein korroosion kiihtymisen syynä on liuoksen sisäiset happipitoisuuden erot, joka aiheuttaa happiköyhemmän alueen muodostumisen anodiksi. Raossa myös tapahtuu hydrolyysireaktio, joka aiheuttaa liuoksen happanemista raon sisällä. Tämän seurauksena esimerkiksi ruostumattoman teräksen passiivikerros muuttuu epästabiiliksi, mikä altistaa korroosiolle. Erityisesti rakokorroosiota esiintyy aggressiivisten liuosten yhteydessä. Vaarallisimpia liuoksia rakokorroosion kannalta ovat kloridi-ioneja sisältävät liuokset. (Opetushallitus.)

### **3.3 Pistekorroosio**

Paikallisen korroosion muoto, jossa metallin pinnalle muodostuu paikallisia kuoppamaisia syvänteitä pienelle alueelle syöpymisen seurauksena. Erityisesti ohutseinämaisissä putkistoissa ja säiliöissä pistekorroosio voi päästä seinämän läpi ja aiheuttaa vuotoja. (Opetushallitus).

Pistekorroosio alkaa usein erityyppisistä pinnan heterogeenisuuksista, esimerkiksi pinnankarheudesta tai rakennevirheistä. Pistesyöpymää aiheuttavat myös aggressiiviset anionit, kuten  $\text{Cl}^-$  ja hypokloriittianionit. (Opetushallitus.) Pistekorroosio alkaa, kun kriittinen arvo ylittyy lämpötilassa, redox-potentiaalissa tai aggressiivisten anionien pitoisuudessa. (Aromaa 2005, 74). Tyypillinen esiintymismuoto on esimerkiksi ruostumaton teräsputki merivedessä. Pistekorroosio on tyypillinen korroosionmuoto metalleille, joiden korroosionkestävyys perustuu passiivikerrokseen tai perusmetallia jalompaan pinnoitteeseen. (Opetushallitus.)

Pistesyöpymisherkyyteen vaikuttaa aikaisemmin mainittujen kloridipitoisuuksien lisäksi liuoksen pH, teräksen elektrodipotentiaali, liuoksen virtausnopeus ja lämpötila. Pistesyöpymisen vaara on pieni emäksisissä, yli 12 pH-arvon, liuoksissa ja suurin happamissa liuoksissa. (Opetushallitus.)

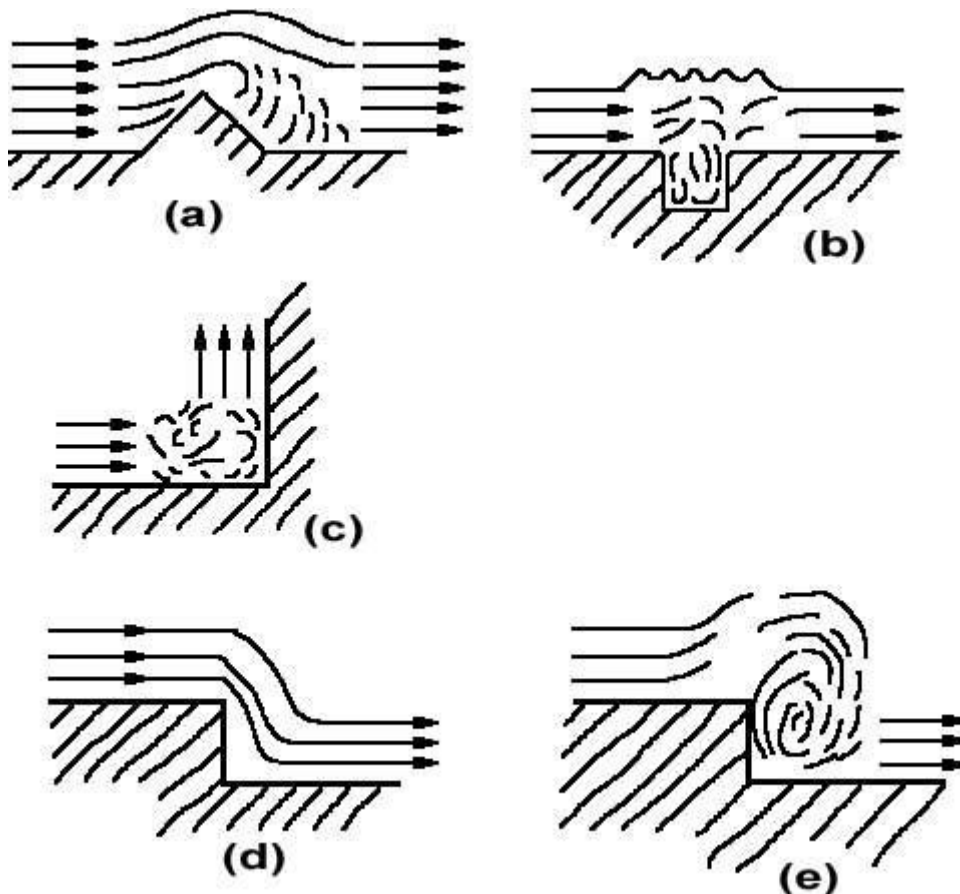
### **3.4 Eroosiokorroosio**

Eroosiokorroosio on korroosiota, jossa olosuhteissa normaalisti korroosionkestävä materiaali syöpyy virtauksen myötävaikutuksella (Aromaa 2005, 69). Eroo-

siokorroosiota voi tapahtua puhtaalla tai kiinteitä partikkeleita sisältävällä liuoksella. Puhtaan nesteen tapauksessa liuos liikkuu riittävän nopeasti irrottamaan metallin pintaa suojaavia korroosiotuotteita siten nopeuttamalla korroosiota. Virtauksessa mukana olevat kiinteät partikkelit pahentavat virtauksen kulutusvaikutusta aiheuttamalla partikkelieroosiota. Partikkelieroosio aiheuttaa suurilla nopeuksilla metallin mekaanista kulumista. (Opetushallitus.) Eroosiokorroosio on siis yhdistelmä liuoksen aiheuttamaa mekaanista kulumista ja sähkökemiallista/kemiallista syöpymistä (Aromaa 2005, 69).

Yleisimmin eroosiokorroosion syynä ovat epäjatkuvuuskohdat virtauksessa, jotka aiheuttavat pyörteistä virtausta, joka ylittää kriittisen virtausnopeuden aiheuttaen suojakerroksen rikkoutumisen. Esimerkkejä virtauspinnan epätasaisuuksista on kuvassa 5. Eroosiokorroosiolle alttiita kohteita ovat putkien mutkat, haarat ja putkien suuaukot. Epäjatkuvuuskohdat yhdistettynä suuriin virtausnopeuksiin voivat aiheuttaa myös kavitaatiota. (Opetushallitus.)

Kavitaatiossa kaasukuplat luhistuvat nesteessä ja aiheuttavat voimakkaita paineaaltoja. Kaasukuplat muodostuvat, kun virtaavan nesteen paine laskee paikallisesti, jolloin myös kiehumispiste laskee. Kupla luhistuu paineen taas kasvaessa ennalleen aiheuttaen jopa tuhansien N/mm<sup>2</sup> paineiskuja ja kuumenemista paikallisesti. Paineaallot voivat rikkoa metallin pinnalle syntyneen korroosiotuotekerroksen, mikä paljastaa uutta metallia korroosiolle tai metallia suojaavan passivaatiokalvon. Paineaaltojen ollessa tarpeeksi voimakkaita, voivat ne myös rikkoa metallipinnan mekaanisesti, mitä kutsutaan kavitaatioeroosioksi. (Opetushallitus.) Kavitaation seurauksena aiheutuneet vauriot muistuttavat pistesyöpymää, mutta muodostuneet pisteet ovat hyvinkin lähellä toisiaan ja pinta näyttää karhealta (Aromaa 2005, 71).



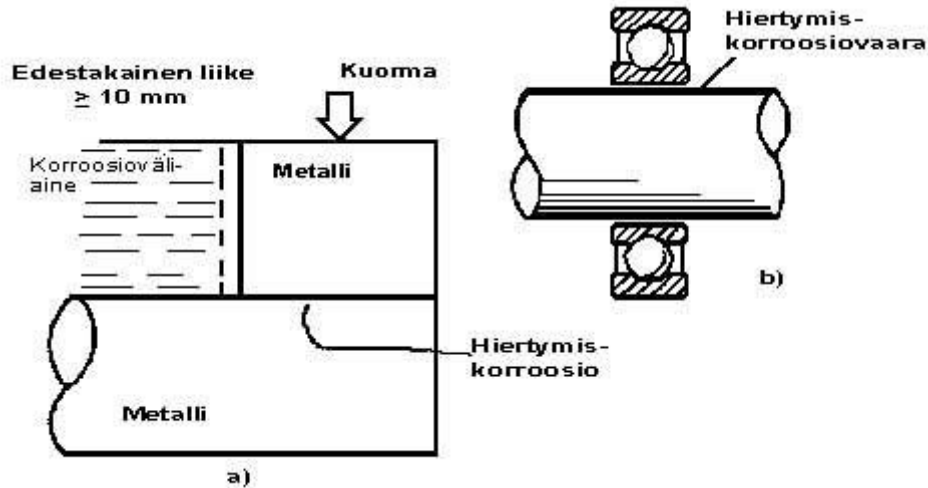
Kuva 5. Virtauspinnan epätasaisuuudet, jotka voivat aiheuttaa pyörteitä (Opetushallitus)

### 3.5 Hiertymiskorroosio

Hiertymiskorroosio tapahtuu, kun kaksi yhteen puristettua pintaa pääsevät liikkumaan värähtelyn vaikutuksesta. Pintojen profiilihuiput voivat hitsautua yhteen suurien kosketusjännitysten takia ja murtua värähtelyn aiheuttaman liikkeen vaikutuksesta. Murtumisessa materiaaleista irtoaa metallipartikkeleita, jotka hapetuvat. Metallipintojen välissä olevat oksidipartikkelit jatkavat abrasiivisen kulumisen (hiertymiskulumisen) aiheuttamista. Pinnan murtuminen ja uudelleen hapettuminen voi myös aiheuttaa kulumista, jolloin kyseessä on hiertymiskorroosio. Värähtelevä liike voi aiheuttaa pinnan väsymistä, joka edesauttaa partikkelien irtoamista. Tätä kutsutaan hiertymisväsymiseksi. (Opetushallitus.)

Yleensä hiertymiskorroosiota esiintyy kohteissa, joita ei ole tarkoitettu liikkuviksi, mutta jotka ovat esimerkiksi pulttiliitoksen löystyessä päässeet värähtelemään.

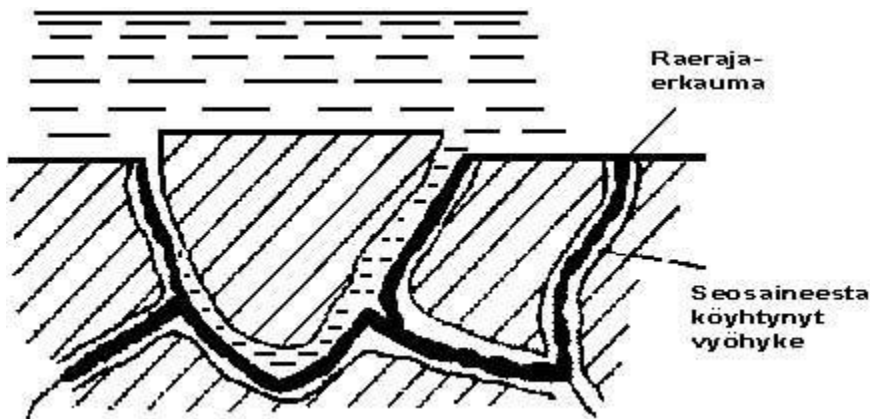
Tällaisia kohteita ovat tyypillisesti esimerkiksi puristussovitteet, laakerit, pulttiliitokset ja lautas-/lehtijouset. Kuva 6 esittää hiertymiskorroosiotilannetta. (Opetushallitus.)



Kuva 6. Hiertymiskorroosiotilanne (Opetushallitus)

### 3.6 Raerajakorroosio

Raerajakorroosiota esiintyy, kun metalliseokseen on muodostunut korroosionkestävyyttä heikentäviä yhdisteitä hitsauksen, lämpökäsittelyn, korkean lämpötilan käytön tai jähmettymisen myötä. Metalliseos syöpyy muodostuneita raerajoja pitkin syövyttävissä oloissa (Kuva 7). (Opetushallitus.)



Kuva 7. Raerajakorroosio (Opetushallitus)

Merkityksellisin raerajakorroosion muoto on ruostumattomilla teräksillä tapahtuva herkistymisilmiön aiheuttama raerajakorroosio. Hitsauksen tai lämpökäsittelyn seurauksena raerajoille muodostuu kromikarbida. Kromikarbidi sitoo itseensä

kromia raerajojen läheisyydessä, jolloin sen viereen muodostuu kapea kromiköyhä vyöhyke. Kromiköyhä alue ei muodosta terästä suojaavaa passivaatiokerrosta, jolloin anodisen alueen pinta-ala on pieni katodiseen alueeseen verrattuna, mikä aiheuttaa raerajojen nopeaa syöpymistä. (Opetushallitus.)

Herkistymistä tapahtuu austeniittisella ruostumattomalla teräksellä lämpötilassa 550–800 C. Tällä lämpötila-alueella raerajoille muodostuu  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ -karbidia. Lämpökäsittelmällä teräs 1050 C lämpötilassa ja jäähdyttämällä nopeasti huoneenlämpöön voidaan karbidit liuottaa takaisin matriisiin. (Opetushallitus.)

Ruostumattoman teräksen hitsauksessa lämpötila voi nousta herkistymistä aiheuttavalle tasolle perusaineen lämpövyöhykkeessä. Teräksen hiilipitoisuutta alentamalla voidaan alentaa myös herkistymistaipumusta. Teräs voidaan myös seostaa lisäämällä seosainetta kuten titaani ja niobi, jotka muodostavat karbideja kromia helpommin. Tätä kutsutaan stabiloinniksi. (Opetushallitus.)

### **3.7 Galvaaninen korroosio**

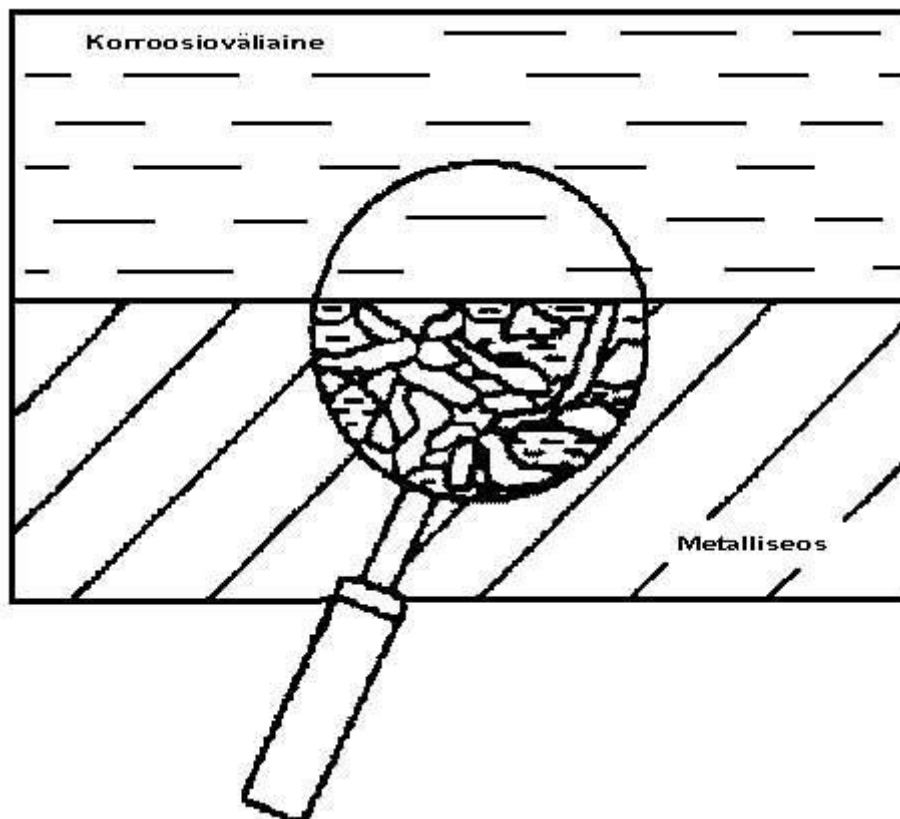
Galvaaninen korroosio esiintyy tapauksissa, joissa kaksi eri metallia ovat sähköisessä kontaktissa samassa elektrolyytissä. Epäjalompi metalli, joka omaa alhaisemman elektrodipotentiaalin muodostuu anodiksi ja alkaa syöpyä. Galvaanista korroosiota voi myös esiintyä tapauksissa, joissa metalli on kontaktissa jalomman ei-metallisen materiaalin kanssa, joka on sähköä johtava. Esimerkkinä tästä on teräs kosketuksissa grafiitin kanssa. (Opetushallitus.)

Korroosionopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat metallien elektrodipotentiaalit, metallien pinta-alojen suhde ja elektrolyytin ominaisuudet. Elektrodipotentiaalien ero ei itsessään määrää korroosionopeutta, vaan tekee epäjalomman metallin nopeasta syöpmisestä todennäköisempää. Pinta-alojen suhteessa pieni anodin (epäjalompi) pieni pinta-ala verrattuna katodiin (jalompi) aiheuttaa nopeaa syöpymistä anodiin. Elektrolyytin johtavuudella on myös vaikutusta korroosionopeuteen. Hyvin johtava elektrolyytti aiheuttaa tasaisemman epäjalomman metallin syöpmisen koko pinta-alalta. Elektrolyytin johtavuuden ollessa alhaisempi korroosio keskittyy metallien rajapinnoille. (Opetushallitus.)

### 3.8 Valikoiva syöpyminen

Valikoivassa syöpmisessä jokin materiaalin seosaine tai mikrorakenneosa liukenee muita osia nopeammin. Seurauksena voi olla sienimäinen reikäinen rakenne. Yleisimmin tunnettu valikoivan syöpmisen muoto on messingeissä esiintyvä sinkinkato. Myös suomugrafiittivaluraudoissa voi esiintyä ns. grafitoitumista, jonka seurauksena rauta syöpyy rakenteesta pois jättäen jäljelle grafiittisuomurungon (Kuva 8). (Opetushallitus.)

Materiaalin koostumus ja mikrorakenne ovat suuressa merkityksessä valikoituvan syöpmisen esiintymisessä. Valikoiva syöpyminen voi tapahtua kahdella eri mekanismilla, joko vain epäjalompi metalli liukenee tai koko seos liukenee, mutta jalompi metalli saostuu takaisin metallin pintaan. (Aromaa 2005, 82)



Kuva 8. Valikoiva syöpyminen (Opetushallitus)



### 3.9 Jännityskorroosio

Jännityskorroosiossa metallin pintaan muodostuu murtumia pinnassa vaikuttavan vetojännityksen ja korroosion seurauksena. Vetojännitys voi olla seurausta rakenteen ulkoisesta kuormituksesta tai materiaalin sisäisistä kuormituksista. Ulkoista kuormitusta voivat aiheuttaa esimerkiksi staattinen kuorma tai paine, ruuviliitosten kiristysvoima ja lämpötilan muutoksen aiheuttama mittojen muutos. Sisäisiä jännityksiä voivat aiheuttaa esimerkiksi hitsaus, kappaleen koneistaminen ja kylmämuokkaus. (Opetushallitus.)

Erityisesti sisäiset jännitykset ovat vaarallisia korroosion kannalta, koska niiden suuruuksia on vaikea ennustaa tai mitata. Sisäiset jännitykset ovat usein myös suuria kokoluokaltaan, mahdollisesti lähes metallin myötölujuuden suuruisia. Kun vielä lisätään samaan kappaleeseen mahdollisesti vaikuttavat ulkoiset jännitykset, alkaa tilanne olla vaarallinen kappaleen keston kannalta. Jännityskorroosion edetessä materiaalin poikkipinta-ala alkaa pienentyä ja sen seurauksena myös kuormitus kasvaa ja vauhdittaa murtumista. (Opetushallitus.)

Yleisiä jännityskorroosiota aiheuttavia ympäristöjä ovat kuumat lipeäliuokset teräksille sekä kuumat lipeäliuokset ja kuumat kloridiliuokset ruostumattomille teräksille (Aromaa 2005, 77). Tyypillinen esimerkki teräksien jännityskorroosiosta on lipeähauraus. Lipeähaurautta esiintyy emäksisissä olosuhteissa kylmämuokatuille kattilateräksille. Seostetuilla teräksillä tyypillinen esiintymismuoto on vetyhauraus. Vetyhauraudessa rakenne on haurastunut teräkseen diffundoituneen vedyn seurauksena. Vedyn alkuperä materiaalissa voi olla esimerkiksi ympäristö, peittäus, hitsaus tai pinnalla tapahtuvat korroosioreaktiot. (Opetushallitus.)

Jännityksen on oltava tarpeeksi suuri, jotta jännityskorroosiota voi esiintyä eli jännityksen on ylitettävä ns. rajajännitys. Rajajännitys voi olla joissain tapauksessa niinkin pieni kuin 10 % myötörajasta. Rajajännityksen suuruus riippuu kuitenkin suuresti kyseessä olevasta materiaalista ja ympäristöstä. (Opetushallitus.)

Jännityskorroosioherkkyyttä lisäävät voimakkaat hapettajat ja happi. Austenittisella ruostumattomalla teräksellä jännityskorroosiota esiintyy vain kloridiliuoksissa, jotka ovat hapettavia. Jännityskorroosion riskiä voidaan vähentää poista-

mallalla liuoksesta happi. Jännityskorroosio myös tapahtuu yleensä tietyllä potentiaalialueella liuoksen ja materiaalin välillä. Potentiaalimuutoksella anodiseen tai katodiseen suuntaan voidaan välttää jännityskorroosiota. Jännityskorroosion esiintymiseen vaikuttaa lämpötila. Lämpötilan nouseminen kiihdyttää korroosiota ja edellytyksenä useimmissa tapauksissa onkin korotettu lämpötila. Joissain tapauksissa jännityskorroosiota voi tapahtua jo huoneenlämmössä, esimerkiksi magnesiumseoksilla. (Opetushallitus.)

Metallin mikrorakenne vaikuttaa myös oleellisesti jännityskorroositaipuvuuteen. Mikrorakenteessa vaikuttavat raekoko, erkaumat, sulkeumat, orientaatio, dislokaatorakenne ja faasien termodynaaminen stabiilisuus. Mikrorakenteeseen vaikuttavat tekijät, kuten lämpökäsittely ja muokkausaste sekä niiden määräävät ominaisuudet (esimerkiksi lujuus ja kovuus) määräävät joillain seoksilla suoraan jännityskorroosioherkkyyden. (Opetushallitus.)

### **3.10 Korroosioväsyminen**

Materiaalin väsymistä aiheuttavat värähtelyt, kuormituksen suunnanvaihtelut ja termiset vaihtelut. Väsymisen tapauksessa väsymislujuus ratkaisee kappaleen kestoiän. Ympäristössä, jossa materiaali altistuu korroosiolle, on väsymiskestävyys usein pienempi kuin ilman korroosioympäristöä. (Opetushallitus.)

Kuten jännityskorroosiossakin, jännityksen ja korroosion osuus korroosioväsymisessä vaihtelee tapauksen mukaan. Korroosioväsymys on todennäköistä, kun materiaali on sellaisessa ympäristössä, missä se on alttiina muillekin paikallisen korroosion muodoille kuten pistekorroosiolle. Tällaisessa tapauksessa paikalliset korroosioauriot keskittävät jännityksen pienemmälle alueelle ja altistavat korroosioväsymiselle. Kloridipitoisessa ympäristössä austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat erityisen alttiita korroosioväsymiselle. (Opetushallitus.)

Korroosioväsymistä voi ilmetä sellaisissakin olosuhteissa, joissa ilman dynaamista kuormitusta syöpyminen olisi tasaista korroosiota eli mahdollisesti hyvinkin lievissä korroosioolosuhteissa. Näissä tapauksissa dynaamisen kuorman aiheuttamat muodonmuutokset muodostavat muuta materiaalia epäjalomman alueen, joka anodisena syöpyy tai rikkovat passivaatiokerroksen. Jännitysmuutoksia voi syntyä kappaleeseen esimerkiksi

- paikallisista lämpötilavaihteluista
- värähtelyistä
- sisäpaineen vaihteluista säiliöissä ja putkistoissa
- venttiilien aiheuttamista epäjatkuvuuskohdista virtauksessa, tai paineiskuista venttiilin käyttöönoton yhteydessä.

Yleisimmin korroosioväsymistä aiheuttamia murtumia esiintyy kuitenkin pyörivissä koneenosissa kuten akseleissa. (Opetushallitus.)

## 4 Polymeerien ja elastomeerien korroosio

Polymeerien korroosio eroaa metallien korroosiosta siten, että polymeerien korroosionopeutta ei ole mahdollista ennustaa tarkasti. Polymeerit ovat joko täysin korroosionkestäviä tasaisessa lämpötilassa tai rapistuvat nopeasti. Rapistumisen syynä on joko kemikaaliset reaktiot tai korroosiota aiheuttavan aineen liukeneminen polymeerin rakenteeseen. Polymeerien korroosioon johtavat ilmiöt voidaan listata seuraavasti (Schweitzer 2007, 16):

- hajoaminen tai degradaatio fyysisten ilmiöiden, esimerkiksi absorptio tai permeaatio, seurauksena
- hapettuminen, jossa kemialliset sidokset vaurioituvat
- hydrolyysi, jossa esterisidokset vaurioituvat
- säteily
- lämpötilan aiheuttama degradaatio, mikä johtaa polymeerin hajoamiseen ja mahdollisesti toistopolymerointiin
- kuivuminen
- mikä tahansa yhdistelmä yllä olevista.

### 4.1 Polymeerien permeaatio

Permeaatio on fyysinen ilmiö, jossa molekyylit kulkeutuvat rakenteen läpi läpäisen sen. Molekyylit, jotka ovat kaasuna, nesteinä tai höyrynä voivat aiheuttaa permeaatiota polymeereissä. Polymeerien yhteydessä ilmiö on liioiteltu verrattuna esimerkiksi metalleihin polymeerin rakenteessa olevien mikroskooppisten

tyhjiä tiloja vuoksi. Permeaatio ei aiheuta suoraa kemiallista vahinkoa polymeeriin. (Schweitzer 2007, 290.)

Lämpötilan kasvaessa permeaatin liukeneminen polymeeriin ja polymeeriketjun liike kasvavat, mikä edesauttaa permeaatiota. Alttius permeaatiolle ei välttämättä kasva lineaarisesti, jos permeaatti on hyvin polymeeriin liukenevaa, koska diffuusio vähenee väkvyysgradientin laskun myötä. Kaasumaisten permeaattien tapauksessa osittainen paine-ero on diffuusion pääasiallinen edesauttaja. Useiden kaasujen permeaationopeus seuraa lineaarisesta kasvua osittaisen paine-eron kanssa. (Schweitzer 2007, 9–11.)

Polymeerin tiheyden kasvu vaikuttaa permeaatioon, koska suuremman tiheyden myötä polymeerin rakenteessa on vähemmän ja pienempiä tyhjiä tiloja, jotka päästäisivät molekyylit rakenteen läpi. Polymeeriseinämän paksuuden lisääntyminen vähentää permeaatiota potenssiin kaksi. (Schweitzer 2007, 11–12.)

Polymeerillä pinnoitetuissa putkistoissa permeaatio voi aiheuttaa perusaineen pettämisen korroosion, sidosten pettämisen ja kuplanmuodostuksen takia, jos perusaine on vähemmän läpäisevä kuin polymeeripinnoite. Myös polymeeripinnoite voi luhistua, jos permeaattihöyryt jäävät loukkuun perusaineen ja pinnoitteen väliin. Pinnoitteen paksuuden kasvattaminen permeaation hillitsemiseksi voi aiheuttaa negatiivisia sivuvaikutuksia kuten lämpötilaeron kasvamista. Lämpötilaeron kasvu voi johtaa sidosten pettämiseen rajapinnalla lämmön aiheuttaman jännityksen vuoksi. (Schweitzer 2007, 12.)

## **4.2 Polymeerien ja elastomeerien absorptio**

Nesteen imeytyessä polymeerirakenteeseen, kyseinen rakenne alkaa turvota. Nesteen molekyylit sulautuvat polymeerien väliin ja pakottavat polymeerin makromolekyylit kauemmas toisistaan. Polymeeriketjujen erotessa materiaalista tulee pehmeämpää ja joustavampaa. Absorptio myös alentaa lasisiirtymän lämpötilaa ja voi muuttaa vahvan materiaalin heikoksi ja kumimaiseksi. (Aromaa 2005, 15.)

Absorption mekanismi piilee lämpötilan ja paineen muutoksessa. Kun pinnoite altistetaan korkeammalle paineelle ja lämpötilalle, nesteen imeytyminen alkaa

polymeerissä. Jos paine tippuu, neste saattaa höyrystyä ja aiheuttaa mikrohuokosen ja lopulta kuplan. Absorptiota voidaan vähentää eristämällä perusaine, mikä vähentää lämpötilan muutosnopeutta ja lämpötilan muutosten suuruutta. (Schweitzer 2007, 13.)

### **4.3 Säteilyn vaikutukset**

Pääasiallinen syy polymeerien mekaanisten ominaisuuksien heikkenemiseen, ulkonäön muuttumiseen ja iskukestävyyden vähenemiseen ulkokäytössä on ultraviolettisäteily. UV-valo aiheuttaa valokemiallista heikkenemistä fotonien rikkoessa kemiallisia sidoksia. Lyhytaaltainen UV-säteily on haitallisempaa ja haitalliset aallonpituudet voidaan määrittää materiaalikohtaisesti. UV-A (aallonpituudet 400–315 nm) ja UV-B (aallonpituudet 315–200 nm) aiheuttavat vahinkoa polymeereille. Lyhemmän aallonpituuden UV-B säteily aiheuttaa vakavia vahinkoja polymeereille, mutta pysähtyy lasi-ikkunoihin. (Schweitzer 2007, 17.) Polymeerit voidaan päällystää UV-säteilyltä suojelevalla maalikerroksella. Maalikerros kuitenkin tekee perusaineen visuaalisesta tarkastamisesta vaikeampaa tai jopa mahdotonta. (Schweitzer 2007, 15.)

## **5 Tehtaalla putkistoissa virtaavat kemikaalit**

### **5.1 Natriumkloraatti $\text{NaClO}_3$**

Natriumkloraatti on hajuton, valkoinen ja kiteinen aine, jonka vesiliuos on väritöntä. Natriumkloraatti on voimakkaasti hapettava happamissa ja neutraaleissa olosuhteissa sekä muodostaa klooria sekä klooridioksidia vahvojen happojen kanssa. Aine syövyttää sinkkiä ja joitain teräslaatuja. (Työterveyslaitos 2017 d.)

Natriumkloraatin sekoittuessa palavien nesteiden tai kiinteiden aineiden kanssa se aiheuttaa vakavan palo- ja räjähdysvaaran. Myös liuoksen kastelema palavat materiaalit ovat kuivana erittäin helposti syttyviä. Natriumkloraattipölyn ja väkevän liuoksen roiskeet aiheuttavat nenän, kurkun, ihon ja silmien ärsytystä. Suurien määrien hengittäminen tai natriumkloraatin nieleminen aiheuttaa pahoinvointia, ripulia, oksentelua ja vatsakipua. Suuret määrät elimistössä (50–500 mg/kg)

saattavat aiheuttaa munuais- ja maksavaurion, kouristuksia, syvän tajuttomuuden tai jopa kuoleman. Jos altistuu toistuvasti natriumkloraatille, aiheutuvat oireet muistuttavat välittömiä vaikutuksia. (Työterveyslaitos 2017 d.)

Jos natriumkloraattia joutuu maahan, se on käytännössä haihtumatonta. Se vaikuttaa haitallisesti kasvillisuuteen. Natriumkloraatti liukenee hyvin veteen ja voi siten kulkeutua pohjaveteen helposti. Natriumkloraatti on lievästi myrkyllistä kaloille ja äyriäisille, ja sen on todettu hajoavan jokivedessä noin kahdessa viikossa. (Työterveyslaitos 2017 d.)

Natriumkloraatille asetetut varoitusmerkinnät kuvassa 9.



Kuva 9 Natriumkloraatille asetetut CLP-asetuksen ((EY) N:o 1272/2008) mukaiset varoitusmerkinnät (Työterveyslaitos 2017 d)

## 5.2 Natriumhydroksidi (natronlipeä) NaOH

Natriumhydroksidi on vaalea, hajuton ja kiinteä aine. Sitä käytetään kuitenkin useimmiten vesiliuoksena. Natriumhydroksidi on vahvasti emäksinen ja se syövyttää metalleja kuten sinkkiä, magnesiumia ja alumiinia ja vapauttaa samalla vetykaasua. Iholle päätyessään liuos tai kiinteä natriumhydroksidi syövyttävät voimakkaasti ihoa aiheuttaen syviä haavaumia ja vakavia palovammoja. Vaurioita alkaa syntyä iholle heti, vaikkakin ärsytyksen tunne voi viivästyä pitkälläkin ajalla riippuen liuoksen väkevyydestä. Ärsytyksen tunnetta iholla alkaa aiheutua 3 minuutin kuluessa yli 25-prosenttisella liuoksella ja tunnin kuluessa 4-prosenttisellä liuoksella. Silmiin joutuessaan natriumhydroksidi syövyttää silmää voimakkaasti ja aiheuttaa pahoja syöpymävammoja sekä mahdollisesti sokeutumisen, jos silmää ei saa heti huuhdeltua. (Työterveyslaitos 2015 b.)

Natriumhydroksidi ei kiinteässä muodossa ja yli 75-prosenttisena liuoksena imeydy helposti maaperään. Alle 50-prosenttinen liuos imeytyy maaperään ja siten voi myös imeytyä pohjaveteen. Natriumhydroksidi on haitallista vesieliöille

sen vahvan emäksisyyden takia. Natriumhydroksidia ei kuitenkaan luokitella ympäristölle vaaralliseksi. (Työterveyslaitos 2015 b.)

Natriumhydroksidille asetetut varoitusmerkinnät kuvassa 10.



Kuva 10 Natriumhydroksidille asetetut CLP-asetuksen ((EY) N:o 1272/2008) mukaiset varoitusmerkinnät (Työterveyslaitos 2015 b).

### 5.3 Natriumhypokloriitti NaOCl

Natriumhypokloriitti on liuksena väritöntä tai kellertävää ja haisee kloorimaiselle. Natriumhypokloriitti on voimakas hapetin ja reagoi palavien aineiden kanssa vahvasti. Se myös reagoi happojen kanssa muodostaen kloorikaasua. Liuos syövyttää metalleja heikosti ja liuottaa terästä, betonia ja eräitä muoveja. Yli 5-prosenttisen natriumhypokloriittiliuoksen roiskeet voivat aiheuttaa syöpymisvammoja, jos liuosta ei heti pestä pois iholta. Liuoksen sumu ärsyttää silmiä ja ihoa. (Työterveyslaitos 2017 c.)

Maahan päässyt natriumhypokloriittiliuos ei käytännössä haihdu. Natriumhypokloriitti hapettaa orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä muodostaen mahdollisesti ympäristölle haitallisia klooriyhdisteitä. Natriumhypokloriitti liukenee kokonaan veteen ja on pysyvä emäksisissä olosuhteissa, mutta nopeasti hajoava neutraaleissa ja happamissa oloissa. Natriumhypokloriitti on erittäin myrkyllistä vesieliöille ja on siksi luokiteltu ympäristölle vaaralliseksi. (Työterveyslaitos 2017 c.)

Natriumhypokloriitille asetetut varoitusmerkinnät kuvassa 11.



Kuva 11 Natriumhypokloriitille asetetut CLP-asetuksen ((EY) N:o 1272/2008) mukaiset varoitusmerkinnät (Työterveyslaitos 2017 c)

#### 5.4 Suolahappo HCl

Suolahappo on veteen liuotettua kloorivetyä, joka on kirkasta, väritöntä tai vaalean kellertävää pistävän hajuista nestettä. Suolahappo on vahva happo, ja se syövyttää metalleja. Kloorivety reagoi vahvasti hapettavien aineiden kanssa muodostaen kloorikaasua. Suolahapposumu ja kloorivetykaasu ovat vahvasti syövyttäviä ja ärsyttävät silmiä. Suurina pitoisuuksina ne voivat aiheuttaa syöpymiä tai pysyvän silmävamman. Iholla suuret kloorivetypitoisuudet ja suolahapposumu voivat aiheuttaa ärsytystä, punoitusta ja jopa syöpymiä pitkäaikaisemmassa altistumisessa. Suolahapporoiskeet saattavat aiheuttaa silmien ja ihon syöpymisvammoja. (Työterveyslaitos 2017 b.)

Ilmaan päästessään kloorivety sitoo kosteutta ja muodostaa suolahapposumua, joka on erittäin hapanta ja haitallista kasvillisuudelle sekä eliöstölle. Suolahappo on maaperässä kulkeutuvaa ja liuottaa maaperästä aineksia liuoksen väkevydestä riippuen. Suolahapon haitallisuus vesieliöille perustuu happamuuteen, mutta sitä ei ole luokiteltu ympäristölle haitalliseksi. (Työterveyslaitos 2017 b.)

Suolahapolle ja kloorivedylle asetetut varoitusmerkinnät kuvissa 12 ja 13.



Kuva 12 Suolahapolle asetetut CLP-asetuksen ((EY) N:o 1272/2008) mukaiset varoitusmerkinnät (Työterveyslaitos 2017 b)





Kuva 13 Kloorivedylle asetetut CLP-asetuksen ((EY) N:o 1272/2008) mukaiset varoitusmerkinnät (Työterveyslaitos 2017 b)

## 5.5 Kloori Cl

Kloorikaasu on pistävän ja helposti tunnistettavan hajuinen ja haisee voimakkaasti jo pieninä pitoisuuksina. Kloori ei itsessään ole räjähtävä kaasu mutta voi muodostaa räjähtävän seoksen vetykaasun kanssa ja voi myös aiheuttaa räjähdyksen yhdistettynä tiettyihin hiilivetyihin. Yhdistettynä vesihöyryyn kloori muodostaa kloorivetyä, joka on myrkyllistä ja syövyttävää teräkselle sekä useimmille metalleille. Nestekloorilla on vahingoittava vaikutus muoveihin. (Työterveyslaitos 2017 a.)

Kloori on myrkyllistä ihmiselle ja ympäristölle. Kloorikaasu aiheuttaa hengityselimistön ärsytystä sekä silmien voimakasta ärsytystä kirvelyn ja kyynelehtimisen muodossa. Nesteklooriroiskeet, jotka osuvat silmään, saattavat aiheuttaa sokeuden tai muita pysyviä silmävaurioita. Kloorikaasu myös aiheuttaa suurina pitoisuuksina ihon ärsytystä. Korkeille kloorikaasupitoisuuksille (100–150 ppm) altistuminen 5–10 minuutiksi voi aiheuttaa hengenvaarallisen keuhdoödeeman eli keuhkopöhön. Erittäin suurille pitoisuuksille (1000 ppm) altistuminen voi aiheuttaa kuoleman vain muutamalla hengenvedolla. (Työterveyslaitos 2017 a.)

Maahan valunut nestekloori haihtuu ilmaan mutta tulee sateen mukana takaisin maahan. Kloori on erittäin myrkyllistä vesieliöille ja onkin sen vuoksi luokiteltu ympäristölle vaaralliseksi. (Työterveyslaitos 2017 a.)

Kloori voidaan jakaa kolmeen kategoriaan korroosiovaikutustensa perusteella. Kolme muotoa ovat nestekloori, kuiva kloorikaasu ja märkä kloorikaasu. Kloorikaasu on märkää, kun sen vesipitoisuus on yli 20 mg H<sub>2</sub>O/kg Cl<sub>2</sub> ja kun vesipitoisuus alittaa kyseisen lukeman, on kloorikaasu kuivaa. (Euro Chlor 1995, 5.)

Kloorille asetetut varoitusmerkinnät kuvassa 14.



Kuva 14 Kloorille asetetut CLP-asetuksen ((EY) N:o 1272/2008) mukaiset varoitusmerkinnät (Työterveyslaitos 2017 a)

## 5.6 Vetyperoksidi $H_2O_2$

Vetyperoksidi on väritön, pistävän hajuinen neste. Laimeana liuksena se on hajutonta. Vetyperoksidi on voimakkaasti hapettava aine ja sen kastelemat vaatteet sekä kengät voivat syttyä palamaan itsestään. Väkevä vetyperoksidi aiheuttaa räjähdysvaaran. Hengitysteitse altistuminen suurille vetyperoksidihöyrypitoisuuksille (satoja  $mg/m^3$ ) aiheuttaa hyvin voimakasta nenän ja kurkun ärsytystä. Myös keuhkopöhön kehittyminen on mahdollista. Väkevien, yli 10 %, liuosten roiskeiden osuminen silmään voi aiheuttaa syöpymävammoja ja yli 15 % liuoksen liuoksen joutuminen iholle voi aiheuttaa punoitusta ja rakkuloiden muodostumista, jos nestettä ei huuhdota pois. (Työterveyslaitos 2015 a.)

Vetyperoksidi hajoaa sekä ilmassa että maassa suhteellisen nopeasti. Vetyperoksidi on hyvin vesiliukoista ja hajoaa luonnonvesissä melko nopeasti biologisesti sekä kemiallisesti. Vetyperoksidi on haitallista vesieliöille. Vetyperoksidia ei olla luokiteltu ympäristölle vaaralliseksi. (Työterveyslaitos 2015 a.)

Vetyperoksidille asetetut varoitusmerkinnät kuvassa 15.



Kuva 15 Vetyperoksidille asetetut CLP-asetuksen ((EY) N:o 1272/2008) mukaiset varoitusmerkinnät (Työterveyslaitos 2015 a)

## 5.7 Vety H

Vety on erittäin helposti syttyvä, hajuton, väritön ja mauton kaasu. Vain 0,02 mJ energiaa vaaditaan sytyttämään vedyn ja ilman seos. Vetykaasu ei ole myrkyllistä, mutta syrjäyttää hapen suurina pitoisuuksina ja voi aiheuttaa tukehtumisen

suljetussa tilassa. Vetyliekki on miltei näkymätön ja vaikea havaita, mutta erittäin kuuma. Vedyllä ei ole haitallisia ympäristövaikutuksia. (Työterveyslaitos 2017 g.)

Vedylle asetetut varoitusmerkinnät kuvassa 16.



Kuva 16 Vedylle asetetut CLP-asetuksen ((EY) N:o 1272/2008) mukaiset varoitusmerkinnät (Työterveyslaitos 2017 g)

## 6 Tarkastussuunnitelman toteutus

Lähtökohtana oli tuottaa tarkastussuunnitelma, joka on tarkastusten suorittajille selkeä ja helppo käyttää ja samalla täyttää lain asettamat vaatimukset tarkastussuunnitelmalle. Tarkastussuunnitelman tuli sisältää tarkastettavat putkilinjat positiointeen, tarkastusmenetelmät ja tarkastusaikataulu. Suunnitelma piti myös ajaa tehtaan SAP-järjestelmään määräaikaistöiksi. Aikaisemmin oli uudelle klooraattitehtaan laajennukselle tehty jonkinlainen tarkastussuunnitelma, mutta se ei ole palvellut tarkoitustaan epäkäytännöllisyyden vuoksi, joten lähdettiin tekemään selvästi selkeämpää ja toimivampaa kokonaisuutta.

### 6.1 Tarkastettavien kokonaisuuksien suunnittelu

Suunnitelmassa lähdettiin liikkeelle tarkastettavien kokonaisuuksien suunnittelemisesta. Olisi tärkeää, että tarkastettavat putkilinjat olisivat esitetty selkeästi, jotta tarkastuksen tekevät henkilöt tietävät, mistä etsiä kyseisiä putkilinjoja. Jos putkilinjojen etsimiseen kuluisi liikaa aikaa, ei tarkastuksia ehdittäisi edes suorittaa. Aluksi oli ideana käydä sopivia tarkastettavia kokonaisuuksia läpi tehtaan sisällä ja sen jälkeen selvittää, mitkä putkistot kuuluvat näihin kokonaisuuksiin. Nopeasti kävi kuitenkin ilmi, että työstä olisi mennyt aivan liikaa aikaa putkistojen ja niiden positoiden etsimiseen, jos niitä olisi lähdetty yksitellen hakemaan tehdasalueen suuren putkimäärän vuoksi.

Erinäisten pohdintojen jälkeen tehtaan kunnossapitopäällikkö Tero Viinikainen ehdotti tarkastuskokonaisuuksien sitomista PI-kaavioihin. Idea kuulosti hyvältä, koska siten kaikki tarkastukseen kuuluvat putkistot olisivat selkeästi näkyvillä putkistopositioineen PI-kaaviossa. Lisäksi putkistojen löytyminen helpottuisi, koska PI-kaaviossa näkyy selkeästi, mihin laitteeseen tai säiliöön putkilinjat ovat yhteydessä. Ideaa lähdettiin ehdottamaan tehtaan prosessi-insinööreille, jotka myös pitivät ideaa hyvänä. He kuitenkin totesivat, että PI-kaavioiden välisten putkilinjojen tarkastukset tulee selventää, ettei samoja putkia tule tarpeettomasti tarkastettua moneen kertaan, mikä lisäisi jo valmiiksi kiireisten prosessimiesten työmäärää.

PI-kaavioihin perustuvat kokonaisuudet hyväksyttiin ja sen seurauksena alettiin keräämään tarvittavia tietoja Excel-taulukkoon. Ensiksi listattiin kaikki PI-kaaviot tehtaittain listaksi, jonka pohjalta tehtiin pohja aikataulutukselle. Sen jälkeen oli käytävä kaikki PI-kaaviot läpi ja listata niiden sisältämät putkipositiot erilliseen listaan. Tarkastettavat putkipositiot oli listattava erikseen, koska pelkkä viittaus PI-kaavioon ei olisi ollut riittävä. Erillisestä listauksesta on mahdollista hakea tiettyä putkipositiota, löytää sen sisältävä PI-kaavio ja nähdä onko putkisto tarkastettu sekä nähdä mihin tarkastettavaan kokonaisuuteen se kuuluu. Putkipositioiden listaus myös auttaa päivittäistä kunnossapitoa ja prosessinohjausta putkilinjojen ja PI-kaavioiden hakemisessa.

## **6.2 Tarkastusmenetelmät**

Tarkastusmenetelmänä tässä tarkastussuunnitelmassa on visuaalinen tarkastus eli putkistot käydään läpi ilman erillisiä tarkastusvälineitä tehtaan ollessa käynnissä. Visuaalinen tarkastus on hyvä menetelmä käynnin aikana tapahtuviin tarkastuksiin. Vuodot on usein helppo nähdä silmämääräisesti ja putkistojen sekä niihin liittyvien osien kunto voidaan tarkastaa tarpeeksi tarkasti jatkuvaan tarkkailuun. Erillisille tarkemmille NDT-tarkastuksille on erilliset tarkastussuunnitelmat.

Putkilinjoissa on kohtia, jotka ovat alttiimpia vaurioille kuin muut putkiston osat, joten sellaisiin kohtiin on syytä kiinnittää erityistä huomiota. Vaurioalttiita kohtia ovat putkiston kannakoinnit, yhteet, käyrät, liitokset ja korroosiolle alttiit kohdat.

Tarkastettaville kokonaisuudelle annetaan tietty aikamääre, jonka sisällä tarkastettavat putkistot on käytävä läpi. Tarkastus voidaan suorittaa mahdollisuuksien mukaan joko kerralla tai useammassa osassa riippuen työtilanteesta ja tarkastettavan putkiston laajuudesta.

Turvallisuuskriittisille kemikaaliputkille tehdään lisäksi tarkempi periodinen tarkastus. Metalliputkien tarkastus voidaan suorittaa seinämävahvuusmittauksena ultraäänen avulla. Lujitemuoviputkien tapauksessa on tehtävä sisäinen tarkastus, sillä niiden kuntoa ei voida kunnolla mitata seinämävahvuusmittauksilla lujitemuovin korroosiokäyttämisen vuoksi. Lujitemuoviputkien lisätarkastukset on siis tehtävä seisokkien yhteydessä, kun putkessa ei liiku kemikaaleja. Metalliputket voidaan sen sijaan kuvata prosessin ollessa käynnissä.

Putkistojen suunnittelussa olisi tulevaisuudessa kiinnitettävä huomiota tarkastusten suorittamiseen käytännössä. Esimerkiksi putkistoihin voitaisiin valmistaa ja asentaa lyhyt tarkastettava putkiosa, joka voidaan helposti irrottaa tarkastusta varten. Tarkastettava putkiosa olisi asennettava sellaiseen paikkaan, joka kuvaisi hyvin koko putkiston kuntoa.

### **6.3 Dokumentointi**

Tarkastusten tulokset on dokumentoitava, jotta tarkastuksien suorittamisesta jää kirjallinen tieto. Lisäksi voidaan seurata putkistojen kulumista tai muuten vaurioitumista tarkastustulosten perusteella. Myös vaurioiden sattuessa voidaan todeta edellisten tarkastusten perusteella vaurioiden toistuvuus. Vaurion ollessa toistuva voidaan vaurion aiheuttavaa syytä lähteä tutkimaan ja korjaamaan parantaen putkiston käyttöikä.

Tarkastuksista tulee työntekijöille SAP-järjestelmässä ilmoitus määräaikaistarkastuksesta. Ilmoitus sisältää tarkastuksessa läpi käytävän PI-kaavion, tarkastusmenetelmät, PI-kaavion sisältämät putkipositiot ja ohjeet tulosten kirjaamiseen. Tarkastuksen eteneminen merkataan esimerkiksi yliviivaustussilla tulostettuun PI-kaavioon. Lisäksi huomiot putkistojen tai niihin liittyvien osien kunnosta merkitään tulostettuun PI-kaavioon. Selvistä puutteista tai vaurioista tehdään kyseiselle putkilinjalle kohdistettu kunnossapitoilmoitus SAP-järjestelmään. Kun koko tarkastettava alue on käyty läpi, viedään täytetty PI-kaavio arkistoitavaksi

kunnossapitomestarille ja kuitataan SAP-järjestelmässä määräaikaistarkastus tehdyksi.

#### **6.4 Määräaikaistarkastusten aikataulutus**

Aikataulutuksesta tehtiin alkuun suunnittelun pohjaksi oma Excel-taulukko. Taulukkoon listattiin PI-kaaviot listaksi tehtaittain omille välilehdilleen. Jokaiselle PI-kaaviolle annettiin PI-kaavion numerokoodin lisäksi nimi, joka kuvaa mistä kokonaisuudesta on kyse. Tämä helpottaa tarkastajan työtä selkeyttämällä työnantoa. Taulukosta tulee myös ilmi kokonaisuuden tarkastava vuoro ja seuraavan tarkastuksen ajankohta.

Tarkastettavien kokonaisuuksien jakoa varten pidettiin palaveri tehtaiden prosessi-insinöörien kanssa. Palaverissa tuli ilmi, että vuoroilla on olemassa vastuualueita, joista vuorot ylläpitävät käyttöohjeita. Tuntui loogiselta perustaa kokonaisuuksien jako näihin ylläpitokokonaisuuksiin. Päättiin siis pitää kyseistä jakoa pohjana ja jakaa jäljelle jäävät kokonaisuudet vuoroille, joilla on vähiten kokonaisuuksia tarkastettavana.

Itse aikataulutus toteutettiin kuukausipohjaisena. Jokaisen vuoron vastuualueisiin kuuluvat tarkastuskokonaisuudet jaettiin vuodelle kuukausittain tasan. Pyrittiin kuitenkin tekemään jako niin, että ulkoalueiden tarkastukset sijoittuvat kesäkauteen, ettei tarkastuksen tekevien työntekijöiden tarvitse kovalla pakkasella yrittää tarkastaa putkilinjoja ulkona.

### **7 Yhteenveto**

Kokonaisuutena opinnäytetyö yllätti työn laajuudella ja työn määrällä. Tehtaalla on suuri määrä putkistoja ja niiden jakaminen kokonaisuuksiin sekä aikatauluttaminen ei ollut pieni työ. Uskon, että työ kuitenkin kannatti. Suunnitelmallisen tarkastussuunnitelman avulla vauriot huomataan toivottavasti jatkossa ajoissa ja niihin osataan varautua. Kun putket paremmassa kunnossa, on myös tehtaalla turvallisempaa tehdä töitä.

Tarkastussuunnitelman teko opetti paljon. Oli oltava yhteydessä moniin tahoihin tehtaalla, jotta suunnitelmasta tulisi vaatimukset täyttävä ja mielekäs itse tarkastusten tekijöille. Lisäksi oli vielä Tukes, jonka vaatimukset tuli täyttää, että suunnitelma olisi lain mukainen. Oli siis monia asioita, joita ottaa huomioon, mutta tuntuu, että onnistuin siinä hyvin.

Työn tekoa helpottivat tehtaalla työskentelevien henkilöiden auttavainen asenne, kun heidän tukensa oli tarpeen. Lisäksi tuttu ympäristö kolmen kesän ajalta oli hyödyksi.

## Lähteet

Aromaa, J. 2005. Korroosionestotekniikan perusteet. Espoo: Teknillisen korkeakoulun materiaalitekniikan julkaisuja.

Euro Chlor. 1995. The natural chemistry of chlorine in the environment. Bryseli. Euro Chlor.

Kemira. Konserni. <https://www.kemira.com/fi/konserni/>. Luettu 1.6.2019.

Malinen, K. 2019. Energy management software for sodium chlorate and chlor-alkali processes. Master's thesis. <http://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158977/Master%27s%20Thesis%20Malinen%20Kalle.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 1.6.2019.

Malinen, K. 2019. Prosessi-insinööri. & Inkilä, T. 2019. Prosessi-insinööri. Kemira Chemicals Oy. Lappeenranta. Haastattelu 10.5.2019.

Opetushallitus. Korroosionesto: Esiintymismuodot. [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_f2\\_korroosionesto\\_esiintymismuodot.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_f2_korroosionesto_esiintymismuodot.html). Luettu 24.2.2019.

Schweitzer, P.A. 2007. Corrosion of polymers and elastomers. New York: Taylor and Francis Group, LLC.

Tukes a. Kemikaalilaitokset. <https://tukes.fi/teollisuus/kemikaalilaitokset>

Tukes b. Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset. [https://tukes.fi/documents/5470659/6372605/Kemikaaliputkistojen\\_turvallisuusvaatimukset.pdf/b2bc9865-b89c-4231-9a36-38c90f60814c/Kemikaaliputkistojen\\_turvallisuusvaatimukset.pdf.pdf](https://tukes.fi/documents/5470659/6372605/Kemikaaliputkistojen_turvallisuusvaatimukset.pdf/b2bc9865-b89c-4231-9a36-38c90f60814c/Kemikaaliputkistojen_turvallisuusvaatimukset.pdf.pdf). Luettu 16.4.2019.

Tukes c. Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa. <https://tukes.fi/documents/5470659/6406815/Vaaralliset+kemikaalit+teollisuudessa/df6719c6-5ffe-4d76-8522-1ad3000283a3/Vaaralliset+kemikaalit+teollisuudessa.pdf>. Luettu 14.4.2019.

Työterveyslaitos 2015 a. OVA-ohje: Vetyperoksidi. <https://www.ttl.fi/ova/vetypero.html>. Luettu 19.4.2019.

Työterveyslaitos 2015 b. OVA-ohje: Natriumhydroksidi. <https://www.ttl.fi/ova/naoh.html>. Luettu 19.4.2019.

Työterveyslaitos 2017 a. OVA-ohje: Kloori. <https://www.ttl.fi/ova/kloori.html>. Luettu 19.4.2019.

Työterveyslaitos 2017 b. OVA-ohje: Kloorivety ja suolahappo. <https://www.ttl.fi/ova/kloovety.html>. Luettu 19.4.2019.

Työterveyslaitos 2017 c. OVA-ohje: Natriumhypokloriitti. <https://www.ttl.fi/ova/nathyklo.html>. Luettu 19.4.2019.



Työterveyslaitos 2017 d. OVA-ohje: Natriumkloraatti.  
<https://www.ttl.fi/ova/natrkle.html>. Luettu 19.4.2019.

Työterveyslaitos 2017 e. OVA-ohje: Vety. <https://www.ttl.fi/ova/vety.html>. Luettu 19.4.2019.