

Maria Nurminen

PUTKISTON RISKIPERUSTEINEN TARKASTUS

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Tammikuu 2018**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Tammikuu 2018	Tekijä/tekijät Maria Nurminen
Koulutusohjelma Kemianteekniikka		
Työn nimi Putkiston riskiperusteinen tarkastus		
Työn ohjaaja Staffan Borg	Sivumäärä 33	
Työelämäohjaaja Kimmo Koskihaara ja Minna Nurmi		
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena on riskiperusteinen putkistotarkastus sekä kyseisen menetelmän hyödyntäminen putkistotarkastusten laajuuden suunnittelussa ja optimoinnissa. Työn toimeksiantajana toimi Neste Oyj ja työ toteutettiin Porvoon jalostamon tarkastusosastolle. Työn tarkoituksena oli esitellä riskiperusteisen tarkastuksen periaatteita sekä tutkia riskimatriisin käytöstä saatavia hyötyjä tarkastusten optimointiin. Käytännön osuuden kohdeyksikkönä toimii Nesteen jalostamon uusin yksikkö SDA, joka sijaitsee tuotantolinja 4:n yhteydessä.</p> <p>Teoriaosuudessa on tuotu esille, kuinka putkistotarkastukset Nesteen tarkastusosastolla suunnitellaan, toteutetaan ja arvioidaan tällä hetkellä. Tarkastuksissa hyödynnetään tälläkin hetkellä riskiperusteista lähestymistapaa, mutta laajuuden määrittäminen perustuu linjatarkastajan kokemukseen ja ammattitaitoon. Teoriaosuudessa on esitelty myös yleisimmät putkistotarkastusmenetelmät sekä kohdeyksikköön liittyvät vauriomekanismit. Käytännön osuutta varten on myös esitelty yleisesti riskiperusteisen tarkastuksen merkitys, korroosionhallintadokumentit sekä putkisto-circuitit.</p> <p>Käytännönsuuden tarkoituksena oli tutkia riskimatriisin käytön hyötyjä tarkastuspisteiden määrittämisessä ja optimoinnissa. Kolmelle virtauskaaville luotiin putkisto-circuitit, joista arvioitiin korroosionopeudet sekä sisällön kriittisyys. Riskimatriisiin syötettävät tiedot perustuivat korroosionopeuksien arviointeihin sekä putkiston sisällön kriittisyysluokitteluun. Matriisista saatavat tulokset antoivat suosituksia circuitin putkistolle sijoitettavien tarkastuspisteiden määristä. Tarkat tulokset ovat luottamuksellisia, mutta yleisellä tasolla voidaan todeta riskiperusteisen tarkastuksen mukaisen matriisin auttavan putkistotarkastuslaajuuden optimoinnissa. Matriisin suositukset voivat toimia hyvänä tukena tarkastusten suunnittelussa tarkastajille varsinkin uusissa yksiköissä, jolloin tarkastushistoriaa ei ole saatavilla ja yksikön toiminta on vielä vierasta. Matriisista saatavat suositukset voivat myös auttaa perustelevaan tehtyjen tai tulevien tarkastuksien tarkastusryhmän ulkopuolisille henkilöille.</p>		

Asiasanat

circuit, korroosio, putkistotarkastus, RBI, riskienhallinta

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date January 2018	Author Maria Nurminen
Degree programme Chemical Engineering		
Name of thesis Risk based piping inspection		
Instructor Staffan Borg	Pages 33	
Supervisor Kimmo Koskihaara ja Minna Nurmi		
<p>This thesis is about the risk based piping inspection and the goal was to optimize the scope of piping inspection using risk based methodology. Neste Oyj was the employer of the thesis and work was for the inspection department of Porvoo. Purpose of the thesis was to introduce principles of risk based inspection and study the benefits of using risk matrix for the piping inspections. Porvoo refinery's newest unit SDA was selected to be the target unit in practical part.</p> <p>Theory part of thesis introduces how inspections are planned and executed to pipelines nowadays. Approach of the inspections is risk based at the moment but the scope of piping inspections is based on inspectors' expertise. The most used inspection methods and damage mechanisms for the target unit are also introduced. Terms like risk based inspection, corrosion control documents and piping circuits are explained before the practical part.</p> <p>The purpose of the practical part was to research the benefits of using risk matrix for the optimizing thickness monitoring locations. Piping circuits were created for the three different flow diagrams. Corrosion rate and the criticality of the fluid stream were evaluated for these circuits. Information which was entered to the matrix was based on criticality class of the fluid and corrosion rates. The recommended amount of the thickness monitoring locations was based on piping circuit risk level in matrix. The exact results are confidential but in general level results can be presented. Risk matrix can be used to help optimizing the scope of inspection. Recommendations can be very good support for the design phase especially in the case of new units when there is no inspection history exists. Recommendations can also help people outside of the inspection department to understand inspections in the past and future.</p>		
Key words circuit, corrosion, inspection, RBI, risk management		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Diffuusio	Ilmiö, joka aiheutuu väkkyyseroista. Väkkyyserot pyrkivät tasoittumaan ja molekyylit siirtyvät korkeamman pitoisuuden alueelta matalamman pitoisuuden alueelle.
Ferriittinen materiaali	Ferriittisiä materiaaleja voidaan magnetisoida.
Hapettumisreaktio	Kemiallinen reaktio, jossa elektronit siirtyvät alkuaineelta toiselle.
Komponentti	Putkiston rakenneosaa, esimerkiksi suora, käyrä tai tyhjennys
MSD	Material Selection Diagram. Virtauskaavioiden pohjalta tehdyt kaaviot, joissa on esitetty yksikön putkiluokat ja putken materiaali värein virtauskaaviotarkkuudella.
OQD -ohje	Nesteen konsernin sisäiset ohjeistukset.
RBI	Riskiperusteinen tarkastus (Risk Based Inspection).
SIP	Site Inspection Plan. Taulukko, jossa on esitetty laitteiden materiaalit, korroosiomekanismit sekä muut oleelliset tiedot liittyen laitosten kuntoon. Taulukko on muodostettu työkaluksi laitteistoa ja putkistoa tarkastaville henkilöille.
TL 1-4	Tuotantolinjat 1-4, jotka sijaitsevat Porvoon jalostamolla Kilpilahden teollisuusalueella.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 NESTE OYJ	2
2.1 Porvoon jalostamo	2
2.2 Tarkastusosasto	4
3 NESTE OYJ PUTKISTOTARKASTUKSET	5
3.1 Tarkastusten suunnittelu, toteutus ja arviointi tällä hetkellä	6
3.2 NDT-tarkastusmenetelmät.....	8
3.2.1 Silmämääräinen tarkastus (VT).....	9
3.2.2 Tunkemanestetarkastus (PT)	10
3.2.3 Magneettijauhetarkastus (MT)	12
3.2.4 Radiografinen tarkastus (RT)	15
3.2.5 Ultraäänitarkastus (UT)	16
4 RISKIPERUSTEINEN TARKASTUS (RBI)	18
4.1 Korroosio- ja putkistocircuit.....	19
4.2 Corrosion control documents (CCD).....	21
5 SDA- YKSIKKÖ	22
5.1 Materiaalit	22
5.2 Vauriomekanismit	23
5.2.1 Yleinen syöpyminen	23
5.2.2 Pistekorrosio.....	23
5.2.3 Kuumarikkikorrosio	24
5.2.4 Vetyvauriot.....	25
5.2.5 Ammoniumbisulfidin aiheuttama korrosio (NH ₄ HS).....	25
5.2.6 Ikääntyminen	26
6 PUTKISTOCIRCUITTEN RISKIPERUSTEINEN TARKASTUSSUUNNITELMA	27
6.1 Putkiston circuitit	27
6.2 Putkiston sisällön kriittisyysluokittelu.....	28
6.3 Korroosionopeuden arviointi	28
6.4 Riskimatriisi	29
7 PUTKISTON TARKASTUSLAAJUUKSIEN VERTAILU	32
7.1 Päätelmät	32
LÄHTEET	34
KUVIOT	
KUVIO 1. Tarkastusmenetelmien valinta.....	9
KUVIO 2. Tunkeumanestetarkastuksen vaiheet.....	11
KUVIO 3. Magneettijauhetarkastuksen edut ja rajoitukset.....	13
KUVIO 4. Magneettijauhetarkastuksen vaiheet	14

KUVIO 5. Radiografimenetelmät.....	16
KUVIO 6. API RP 570 luokittelu.....	28

KUVAT

KUVA 1. Porvoon tuotantolaitokset 2017	3
KUVA 2. Mekaaninen eheys- ja tarkastusosasto	4
KUVA 3. PT-näyttämä putkistotarkastuksissa	12
KUVA 4. Särönäyttämä magneettijauhetarkastuksessa	14
KUVA 5. Riskimatriisi.....	20
KUVA 6. Riskimatriisi arviointi.....	33
KUVA 7. Tarkastuspisteiden lukumäärä	31

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoite on tutkia riskiperusteisen tarkastuksen hyödyntämistä putkistotarkastusten optimoinnissa. Tavoitteena on selvittää, auttaako riskiperusteinen tarkastus sekä riskimatriisin hyödyntäminen optimoimaan tarkastuslaajuutta ja sitä kautta parantamaan tarkastusresurssien optimaalista käyttöä, prosessiturvallisuutta sekä tietoisuutta putkiston kunnosta. Työn toimeksiantajana toimii Nesteen Oyj, ja työ tehdään Porvoon jalostamon tarkastusosastolle. Nesteen tarkastusosasto on siirtymässä riskimatriisien käyttöön, jonka vuoksi opinnäytetyön aihe on hyvin ajankohtainen.

Opinnäytetyö sijoittuu Porvoon jalostamon uusimpaan yksikköön TL4:n alueella, joka on otettu käyttöön 2017 vuoden keväällä. Yksikkö on nimeltään SDA, ja se poistaa asfalteenia TL4:n syötöstä. Työssä yksikön kolmen virtauskaavion pääputkistot jaetaan circuiteihin perustuen esimerkiksi korroosio-olosuhteisiin. Circuiteille suoritetaan riskien arviointi sisällön ja korroosionopeuksien perusteella. Riskien arvioinnin lopputulos määrittelee circuitin kriittisyyden sekä putkiston vaatiman tarkastuslaajuuden. Virtauskaavioiden luottamuksellisuuden vuoksi circuiteja ei voida esittää tässä opinnäytetyössä tarkemmin. Myös prosessin olosuhteisiin, sisältöön sekä korroosionopeuksien arvioihin liittyvät tiedot ovat luottamuksellisia ja niitä ei voida tässä opinnäytetyössä tuoda ilmi.

Merkittävän lähteenä tässä työssä käytetään API (American Petroleum Institute) määrittelemiä standardeja, Nesteen sisäisiä dokumentteja sekä kirjallisuutta liittyen NDT-tarkastuksiin. Riskimatriisi perustuu API RP 580 standardiin, joka käsittelee laitteiden riskiperusteista tarkastusta. Käytetyt Nesteen sisäiset dokumentit ovat pääsääntöisesti ohjeistuksia liittyen tarkastuksiin sekä niiden suorittamiseen, jonka vuoksi ne toimivat hyvänä lähteenä opinnäytetyössä.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa on esitelty toimeksiantajayritystä sekä kohdeyksikköä, johon opinnäytetyö sijoittuu. Putkistotarkastuksista sekä putkiston tarkastusmenetelmistä on myös oma teoriaosuutensa selventämään, kuinka putkiston tarkastukset todellisuudessa tapahtuvat. Teoriaosuuden loppuun on myös koottu tietoa riskiperusteisesta tarkastuksesta, korroosiocircuiteista, SDA:lla esiintyvistä vauriomekanismeista sekä korroosion hallinta-asiakirjoista (CCD).

2 NESTE OYJ

Neste Oyj on öljynjalostus ja markkinointiyhtiö sekä maailman suurin uusiutuvan dieselin tuottaja. Yhtiön liiketoiminta-alueeseen kuuluvat öljytuotteet, uusiutuvat tuotteet sekä Marketing & Service. Nesteen jalostamot sijaitsevat neljässä eri maassa ja yhtiöllä on noin tuhannen huoltoaseman verkosto Itämerellä. Suomessa Porvoon ja Naantalin jalostamot tuottavat öljytuotteita. Uusiutuvat tuotteet valmistetaan Rotterdamissa, Singaporessa ja Porvoossa. Yhtiön omistuksessa on myös osa Bahrainin jalostamosta, joka tuottaa erilaisia perusöljyjä. (Neste Oyj, a.)

Nesteen historia ulottuu vuodelle 1948, jolloin yhtiö perustettiin palvelemaan Suomen öljyhuoltoa. Ensimmäinen jalostamo käynnistettiin vuonna 1957 Naantaliin, joka on edelleen toiminnassa ja osa Nesteen konsernia. Porvoon jalostamo käynnistettiin vuonna 1965 öljyn kulutuksen kasvun seurauksena. Porvoon jalostamon käynnistämisen jälkeen öljynjalostuskapasiteetti kasvoi ja liiketoiminta-alue laajeni. Lopulta yritys listautui pörssiin vuonna 1995. (Neste Oyj, b.)

Öljytuotteiden raaka-aineena yritys hyödyntää erilaisia raakaöljyjä. Nesteen öljytuotevalikoimaan kuuluvat esimerkiksi dieselpolttoaineet, bensiinit, lento- ja laivaliikenteen polttoaineet, kevyet ja raskaat polttoöljyt, perusöljyt ja liuottimet. Öljytuotteiden jalostuskapasiteetti on kaiken kaikkiaan noin 15 miljoonaa tonnia vuodessa. Neste valmistaa polttoaineita myös erilaisista uusiutuvista raaka-aineista, joista noin 80 % on jätteitä tai tähteitä, esimerkiksi paistorasvaa ja teknistä maissiöljyä. Uusiutuvien polttoaineiden tuotantokapasiteetti on vuosittain noin 2,6 miljoonaa tonnia. (Neste Oyj, d; Neste Oyj, e.)

2.1 Porvoon jalostamo

Porvoon jalostamo sijaitsee Kilpilahdessa lähellä Porvoon kaupunkia. Jalostamoalue koostuu neljästä tuotantolinjasta, tonnimääräisesti Suomen suurimmasta satamasta, säiliöalueesta, terminaaleista sekä omasta teknologiakeskuksesta. Eri yksiköt tuottavat yli 100 erilaista tuotetta ja komponenttia. Kaksi Porvoon jalostamolla sijaitsevaa yksikköä tuottavat myös uusiutuvia tuotteita. Kilpilahdessa sijaitsevien säiliöiden varastointikapasiteetti on kahdeksan miljoonaa kuutiometriä. Säiliöalueella varastoidaan niin tuotteita kuin jalostuksessa hyödynnettäviä raaka-aineitakin. Porvoossa sijaitsevan jalostamon vuotuinen kokonaiskapasiteetti on noin 13,5 miljoonaa tonnia vuodessa.

(Kilpilahti; Neste Oyj, c.)



KUVA 1. Porvoon tuotantolaitokset 2017

2.2 Tarkastusosasto

Neste Oyj:llä toimii oma tarkastusosasto. Osaston tehtävänä on huolehtia painelaitteiden toimintavarmuudesta sekä turvallisesta toiminnasta käyntijaksoilla. Tarkastustoimintojen avulla tuotetaan tietoa laitteiden kunnosta erilaisille sidosryhmille, kuten kunnossapidolle ja käytönvalvojille. Raportointi sisältää tiedot laitteen kunnosta, arvion elinkaaren pituudesta sekä mahdolliset toimenpidesuositukset. Toimenpidesuositusten avulla voidaan välttää mahdollisia laite- ja putkistovaurioista aiheutuvia vuotoja ja muita käyttövarmuutta heikentäviä tapahtumia. (Nurmi & Vornanen 2015.)

Alla olevassa kuvassa 2 (KUVA 2) on nähtävissä osaston organisaatiokaavio, jonka päällikkönä toimii mekaanisen eheyden ja tarkastuksen päällikkö. Laitetarkastajia on kaksitoista kappaletta, joiden kesken jalostamon eri vastuualueet on jaettu. Laitetarkastajien tukena toimii tarkastusinsinööri, painelaitearkiston hoitaja sekä materiaali- ja tarkastusasiantuntijoita. (Nurmi & Vornanen 2015.)

Mekaaninen eheys ja tarkastus

Kimmo Koskihaara

Assistentit
Pirjo Lemettilä (Pvo)
Marjaana Naatula-Kauppi (Nli)



KUVA 2. Mekaaninen eheys- ja tarkastusosasto (Neste Oyj 2017)

3 NESTE OYJ PUTKISTOTARKASTUKSET

Putkistotarkastukset perustuvat painelaitelakiin, koska putkisto määritellään laissa painelaitteeksi. Neste on Porvoon jalostamolla korvannut lakisääteiset sisäpuoliset määräaikaistarkastukset sekä painekokeet painelaitteen seurannalla. Seuranta sovelletaan putkistoihin, jotka liittyvät painelaitteisiin, sisältävät ryhmän yksi (1) vaarallisia aineita tai ovat mitoitettu virumis- tai väsymislujuuden perusteella. Kunnonseurannan toteutumista seuraa tarkastuslaitos. Mikäli jokin osapuoli havaitsee, ettei seurantasuunnitelma täytä lain edellyttämiä turvallisuusvaatimuksia, on palattava takaisin perinteisiin määräaikaistarkastuksiin. Turvallisuustasoa voidaan myös yrittää tarvittaessa nostaa kehityksen kautta. (Nurmi 2012.)

Putkistojen seurannan periaatteet määräytyvät toteutetun putkistojen seurannan mukaisesti. Tämä perustuu riskiperusteisen tarkastuksen lähestymistapaan, jossa tarkastusjaksot, menetelmät ja kohteet on määritelty tämänhetkisen tietämyksen mukaan. Eli kunnan seuranta perustuu laadittuun tarkastussuunnitelmaan. Kunnonseurannan vastuut jakautuvat eri tahoille. Seurantasuunnitelman toteuttamisesta vastaa Neste Oyj ja sen kehittäminen on käytönvalvojan vastuulla. Itse suunnitelman toteutus, kirjaaminen sekä raportointi ovat linjatarkastajan vastuulla. (Nurmi 2012; Silvennoinen 2014.)

Putkistojen kunnonseurannan suoritus voidaan jakaa kahteen eri osaan. Operaattorit vastaavat kenttäkierrosta yhteydessä putkistojen kunnan tarkkailusta ja raportoivat havaitsemistaan poikkeamista. Linjatarkastaja puolestaan laatii tarkastussuunnitelman oman alueensa putkistolle. Suunnitelman laadinnan apuna toimivat käytönvalvojat sekä materiaaliasiantuntijat. Materiaaliasiantuntijat ovat laatineet muun muassa MSD-kaaviot sekä SIP-taulukot tarkastajien avuksi. Eri tarkastuskohteille on määritetty tarkastussuunnitelmissa omat tarkastusvälit. Tarkastusvälit vaihtelevat riippuen yksiköstä sekä putkiston kunnosta ja tarkastushistoriasta. Esimerkiksi alkylointiyksikön tarkastusväli on huomattavasti lyhyempi kuin muiden yksiköiden johtuen yksikön kriittisyydestä. Tarkastuksissa saadut tulokset raportoidaan aluetarkastajien omiin dokumentteihin sekä järjestelmiin. (Nurmi 2012; Silvennoinen 2014.)

Seurantasuunnitelmaa valvotaan tarkastuslaitoksen puolelta sekä kehitetään tarvittaessa saatujen tulosten pohjalta. Kehitystä vaaditaan suurien muutosten yhteydessä, jos vanhat toimintatavat eivät enää sovellu kohteille. Seurantasuunnitelmien toteutumista valvotaan muun muassa vuosittaisten

kokousten avulla. Kokouksissa tarkastellaan, miten seurantasuunnitelmaa on ylläpidetty ja toteutettu. Kokouksissa käydään läpi myös mahdolliset muutoksen, tehdyt tarkastukset sekä niiden tulokset, mahdolliset kehitystoimenpiteet sekä katsotaan esimerkkeinä muutama laite sekä putkiston osa ja niiden kunto. (Nurmi 2012)

3.1 Tarkastusten suunnittelu, toteutus ja arviointi tällä hetkellä

Nesteen jalostamolla putkistotarkastuksista on olemassa tarkat ohjeistukset. Ohjeistuksissa määritellään, kuka vastaa putkistotarkastuksista, ja kuinka niihin liittyvät suunnitelmat laaditaan. Tarkastusten kohteina ovat jalostamon hallinnoimat sekä omistamat putkistot. Jokainen linjatarkastaja vastaa omaan alueensa putkiston kunnan seurannasta ja on vastuussa koko tarkastusprosessin läpiviennistä. Linjatarkastajat suunnittelevat, valvovat, organisoivat sekä analysoivat tuloksia liittyen alueensa putkistoihin. Tarkastajien vastuulla on myös vauriotapahtumien tutkinta ja osallistuminen korjausprosesseihin. (Silvennoinen 2014.)

Putkistotarkastukset toteutuvat laitetarkastajien laatiman tarkastussuunnitelman sekä OQD-ohjeen mukaisesti. Kuten aikaisemminkin on mainittu, linjatarkastajat laativat putkistotarkastussuunnitelmat yhdessä käytönvalvojan kanssa ja käytönvalvoja hyväksyy myös suunnitelman lopullisen version. Linjatarkastajat hallinnoivat putkistolle tehtyjä tarkastussuunnitelmia, jotka sijaitsevat tarkastustietokannassa sekä tarkastajien omissa arkistoissa. Tarkastussuunnitelmissa linjatarkastaja määrittelee tarkastuskohteet sekä -menetelmät. Putkistotarkastuksissa hyödynnetään yleensä NDT-menetelmiä. NDT-urakoitsijat suorittavat tarkastukset linjatarkastajan ohjeiden mukaisesti. (Silvennoinen 2014.)

Tarkastussuunnitelmia laadittaessa tulee ottaa huomioon putkiston käyttötarkoitus, olosuhteet, tärkeys toiminnan kannalta, ikä, sisältö, materiaali, prosessin muutokset sekä mahdolliset yhteydet muihin painelaitteisiin. Painelaitteissa ilmenneet ongelmat voivat lisätä myös liittyvän putkiston tarkastuslaajuutta sekä -tiheyttä. Tyypilliset putkistossa ilmaantuvat viat ovat ulko- ja sisäpuolista korroosiota. Tarkastuksia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon edellä listattujen asioiden lisäksi myös tiettyjä putkiston kohteita, joissa on korkeampi riski ilmetä vauriomekanismeja varsinkin putkiston ikääntyessä:

- Tyhjennykset

- Ilmastukset
- Istutetut haarat, T-haarat
- Supistukset
- Käyrät ja käyrien hitsausaummat
- Käyrän sauman jälkeinen kohta virtauksen mukaan käyrästä pois päin
- Sähkösaaton kytkentärasian sijainti putken pystyosalla
- Notkokohdat
- Korrodoiva sisältö
- Putken kosketus maahan
- Suuri virtausnopeus esimerkiksi käyrissä ja yhteissä
- Materiaali suhteessa olosuhteisiin
- Vesien ja höyryjen valuminen putkistojen päälle
- Tuotannossa tapahtuvat prosessimuutokset.

Myös eristeiden ja kannakoinnin kuntoon on kiinnitettävä huomiota eristeiden alla tapahtuvan putkiston ulkopuolisen korroosion varalta. Tärkeää on huomioida eristepeltien kuntoa, siirtymistä, mahdollisia asennusvirheitä, villojen kuntoa sekä kohtia, joissa vesi voi päästä eristeiden sisälle. Kannakoinnissa esiintyvät virheet voivat puolestaan olla esimerkiksi painaumia tai vajoamista, joiden tarkkailu kuuluu myös putkistotarkastusten piiriin. (Silvennoinen 2014.)

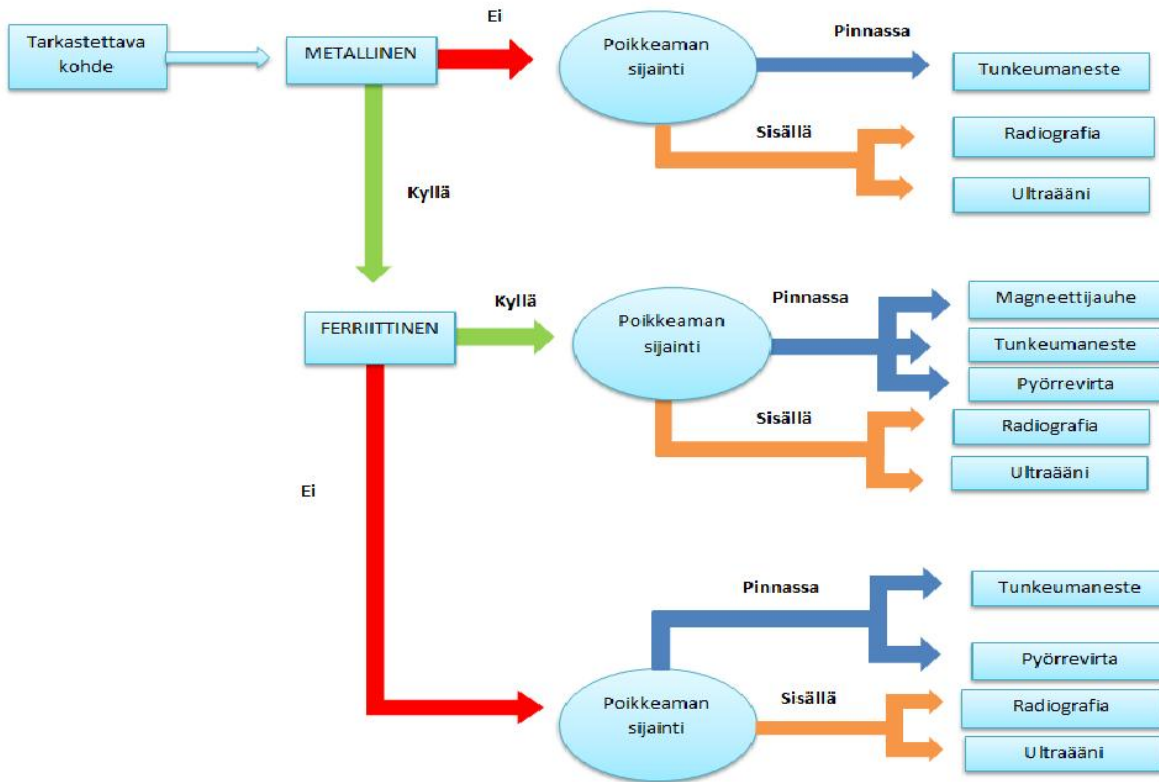
Linjatarkastajan vastuulla on myös tarkastustulosten käsittely. Tarkastaja tarkastaa ja analysoi saadut tulokset hyödyntäen vaihtorajataulukoita, joiden avulla voidaan arvioida putkiston kuntoa. Vaihtorajataulukot ovat Nesteen suunnittelutoimiston laatimia ja niistä käy ilmi esimerkiksi sallitut minimiseinämäpaksuudet sekä korroosiovarat. Tarkastaja myös raportoi M⁺-järjestelmän kautta mahdollisista tarvittavista korjauksista, esimerkiksi putkiston seinämäpaksuuden alittaessa sallitun minimin. M⁺-järjestelmän kautta tehdään vikailmoitus, johon liitetään tarkastusdokumentit, piirustukset sekä valokuvat. (Nurmi 2017; Silvennoinen 2014.)

3.2 NDT-tarkastusmenetelmät

NDT-tarkastusmenetelmät eli non destructive testing tarkoittaa ainetta rikkomattomia tarkastusmenetelmiä. Tarkastusten tavoitteena on antaa mahdollisimman paljon tietoja tarkastettavan kohteen laadusta, ominaisuuksista sekä mahdollisesta virheistä ja poikkeamista ilman, että tarkastettavaa kohdetta tarvitsee rikkoa. Menetelmien avulla pyritäänkin selvittämään kohteen laatua, eheyttä sekä soveltuvuutta halutulle käyttökohteelle. NDT- menetelmiä voidaan hyödyntää monissa eri tuotteen elinkaaren vaiheissa, niin valmistuksen yhteydessä kuin laitteiden käynninkin aikana. Tarkastusmenetelmien monipuolisuus tekee niistä hyvin suosittuja eri teollisuuden aloilla. (Martikainen & Niemi 1993, 14, 21; Kiwa Inspecta.)

NDT-tarkastusmenetelmät voidaan jaotella kahteen eri kategoriaan, jotka ovat perinteinen ja kehittynyt. Perinteiset menetelmät ovat kehittyneet vuosien saatossa ja niihin on olemassa selkeät käytännöt ja ohjeet. Menettelytavat ovat myös hieman yksinkertaisemmat. Kehittyneet tarkastusmenetelmät omaavat hieman edistyneempää tekniikkaa ja vaativat yleensä erikoistuneempaa ammattitaitoa. On myös mahdollisuus, että osa menetelmistä on sekoitus niin perinteistä kuin kehittyntäkin menetelmää. Perinteisiä NDT-tarkastusmenetelmiä ovat esimeikiksi ultraäänitarkastus ja radiografinen tarkastus. Kehittyneempiä tarkastusmenetelmiä ovat taas esimerkiksi erilaiset tietokoneavusteiset radiografiset menetelmät sekä elektromagneettiset testaukset. (Martikainen & Niemi 1993, 14, 21; Kiwa Inspecta.)

Neste Oyj hyödyntää putkistotarkastuksissaan useita eri NDT-tarkastusmenetelmiä. Käytetyimpiä ovat silmämääräinen tarkastus, tunkeumaneste- ja magneettijauhetaarkastus, radiografinen tarkastus sekä ultraäänitarkastus. On otettava kuitenkin huomioon, että tarkastusmenetelmät on aina valittava kohteen, vauriomuodon sekä materiaalin mukaan. Alla olevassa kuviossa (KUVIO 1) on esitetty esimerkkikaavio siitä, kuinka kohteelle voidaan valita sopiva tarkastusmenetelmä. (Martikainen & Niemi 1993, 21; Nurmi & Vornanen 2015.)



KUVIO 1. Tarkastusmenetelmien valinta (Mukaiillen Martikainen & Niemi 1993, 28)

3.2.1 Silmämääräinen tarkastus (VT)

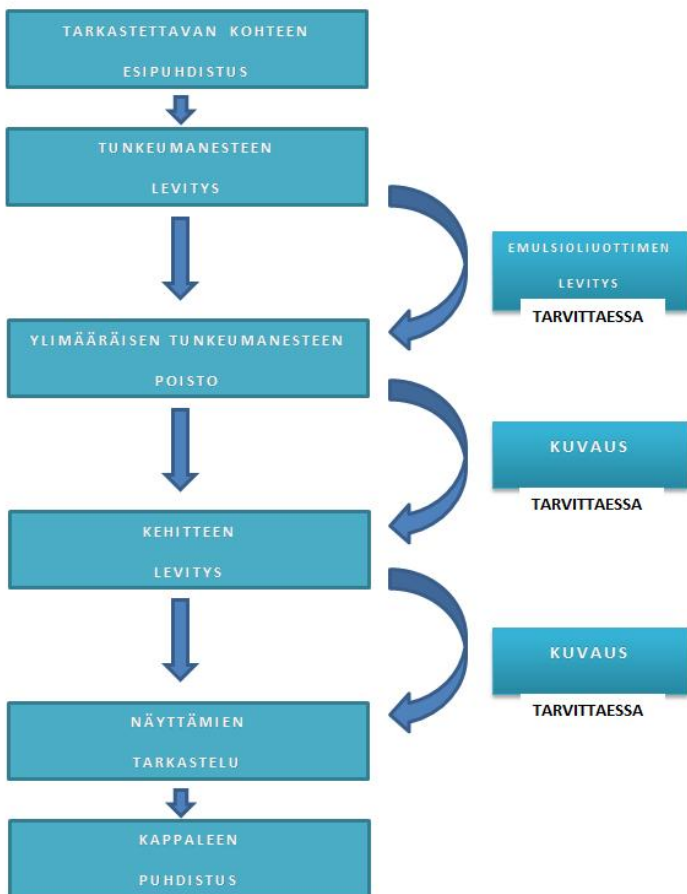
Silmämääräinen tarkastus on tarkastusmenetelmistä yleisin. Tarkastuksia voidaan suorittaa tuotteen elämänkaaren eri vaiheissa niin valmistusvaiheessa, kuin käynninkin aikana. Sen avulla voidaan havaita pinnassa olevia rakenteellisia virheitä, esimerkiksi murtumia. Pätevän henkilön suorittamana huolellisesti suunniteltuna, silmämääräinen tarkastus on erittäin käyttökelpoinen ja riittävä tarkastusmenetelmä monissa tapauksissa. Tarkastusmenetelmän suurin rajoitus onkin, että sen avulla ei voida havaita mahdollisia sisäisiä poikkeamia vaan virheen on avauduttava selkeästi aineen pintaan. Silmämääräisen tarkastuksen tukena voidaan hyödyntää erilaisia välineitä, jotta tarkastustulos olisi mahdollisimman tarkka. Hyödynnettäviä apuvälineitä ovat esimerkiksi peilit, valot, suurennuslasit sekä erilaiset tietokoneavusteiset laitteet.

Onnistuneen silmämääräisen tarkastuksen edellytyksenä on, että valaistus on riittävä, koska hyvän valaistuksen läsnä ollessa ihmissilmä pystyy havaitsemaan pieniä viivamaisia sekä pyöreitä virheitä. Tärkeää on myös, että kohteen luoksepäästävyys on hyvä ja ohjeistukset sekä hyväksymis- ja hylkäämisrajat ovat riittävän tarkat. Mikäli silmämääräinen tarkastus on jostain syystä riittämätön tai epämääräinen, täydennetään sitä muiden tarkastusmenetelmien avulla. (Inspectioneering, c; Martikainen & Niemi 1993, 27–30; SFS 116-1 2011, 88–90.)

3.2.2 Tunkeumanestetarkastus (PT)

Tunkeumanestetarkastus (PT) on NDT-menetelmä, joka soveltuu pintaan asti avautuvien virheiden havaitsemiseen. Tarkastusmenetelmää voidaan kutsua myös silmämääräisen tarkastuksen erikoissovellukseksi, koska lopullinen tulosten arvostelu tapahtuu yleensä silmämääräisesti. Tunkeumanestetarkastus voidaan suorittaa kaikille aineille, jotka eivät ole luonnostaan huokoisia. Etuna on myös se, että tarkastuskohteiksi soveltuvat kaiken kokoiset sekä muotoiset kappaleet ja magneettisuudella ei ole vaikutusta menetelmän toimivuuteen. Tunkeumanestetarkastuksen huonoina puolina ovat virheen koko luokan arviointi, mikäli kyse on alle yhden millimetrin näyttämästä sekä sen herkkyys tarkastettavan pinnan epäpuhtauksille ja mahdollisille pinnan laadun vaihteluille. Virheen kokoluokan arvioitavuus riippuu hyvin paljon imeytyneestä nestemäärästä sekä kehittekerroksen paksuudesta, mikä voi johtaa virhearviointeihin. Yli yhden millimetrin näyttämät ovat kuitenkin sen verran suuria, että niiden löytymistodennäköisyys on lähes 100 %. (Inspectioneering, c; Martikainen & Niemi 1993, 30–31; SFS 116-1 2011, 66–72.)

Tunkeumanestetarkastuksessa oleellisessa asemassa ovat tunkeumanestetarkastusaineet. Käytettävien aineiden yhdistelmää kutsutaan tuoteperheeksi, johon sisältyy itse tunkeumaneste, puhdistin sekä kehite. Tarkastuksen tehokkuuden sekä onnistumisen kannalta on tärkeää, että aineet sopivat keskenään yhteen ja sopivat tarkastettavalle kohteelle sekä sen materiaalille. Esimerkiksi eri valmistajien aineet eivät suurella todennäköisyydellä sovi keskenään yhdisteltäviksi, jolloin tarkastustulos ei ole luotettava. Vääränlaiset ainevalinnat kohteelle voivat vaikuttaa haitallisesti esimerkiksi epämetallisten materiaalien kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. Tämän vuoksi yhteensopivuus on tarkastettava ennen tarkastuksen suoritusta. (Martikainen & Niemi 1993, 30–31; SFS 116-1 2011, 66–72.)

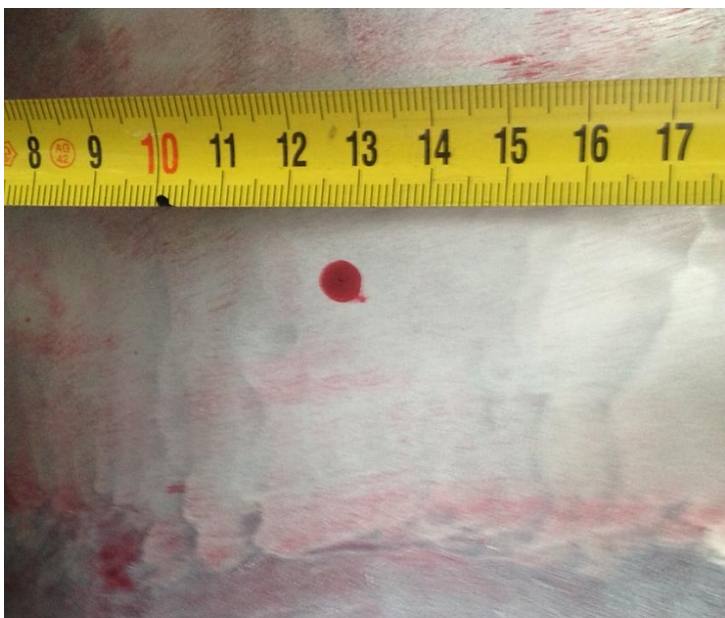


KUVIO 2. Tunkeumanestetarkastuksen vaiheet (Mukaiillen Martikainen & Niemi 1993, 31)

Yllä olevassa kuviossa 2 (KUVIO 2) on esitetty tunkeumanestetarkastuksen eri vaiheet esivalmisteluista tarkastettavan kohteen loppupuhdistukseen. Menetelmän eri vaiheet sisältävät tuoteperheen eri aineiden levitystä sekä poistoa. Tarvittaessa myös kohde kuvataan välissä sekä lisätään emulsioliuotin tekniikan vaatiessa. Tunkeumanestetarkastuksella on kolme erilaista tekniikkaa riippuen siitä, miten ylimääräinen tunkeumaneste poistetaan:

- Liuottimella poistettava
- Vedellä poistettava
- Emulgaattorikäsittelyn vaativa, jolloin emulgointiainetta sisältämättömästä aineesta saadaan vesiliukoista.

Tärkeää on kuitenkin huomata, että puhdistin ei saa poistaa tunkeumanestettä epäjatkuvuuskohdista, mutta loppupuhdistus tulee suorittaa huolellisesti. Loppupuhdistuksen ollessa puutteellinen, voi tukeuma-ainejäämät aiheuttaa jälkikäteen jännitys- tai väsymiskorroosiota. Tarkastuksen kokonaisvaltainen onnistuminen ja tehokkuus riippuvat myös tarkastusaineiden tyypistä sekä laitteista, pinnan esivalmistelusta ja tilasta, materiaalista, olosuhteista sekä tunkeuma- ja kehitysajasta. Tunkeuma-aika määräytyy käytettävän nesteen ominaisuuksista materiaalista sekä etsittävien virheiden tyypistä. Alla esimerkkikuva (KUVA 3), miltä tunkeumanestetarkastuksessa ilmestyvä näyttämä voi putkistotarkastusten yhteydessä näyttää. (Martikainen & Niemi 1993, 30–31; SFS 116-1 2011, 66–72.)

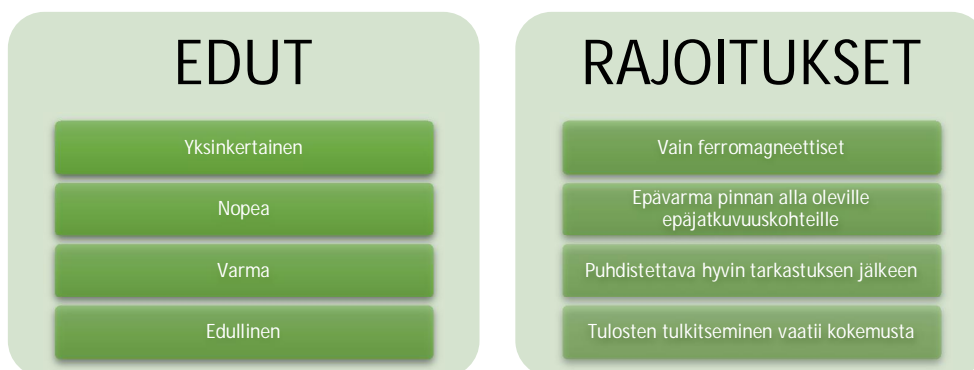


KUVA 3. PT-näyttämä putkistotarkastuksissa (Vornanen 2015)

3.2.3 Magneettijauhetarkastus (MT)

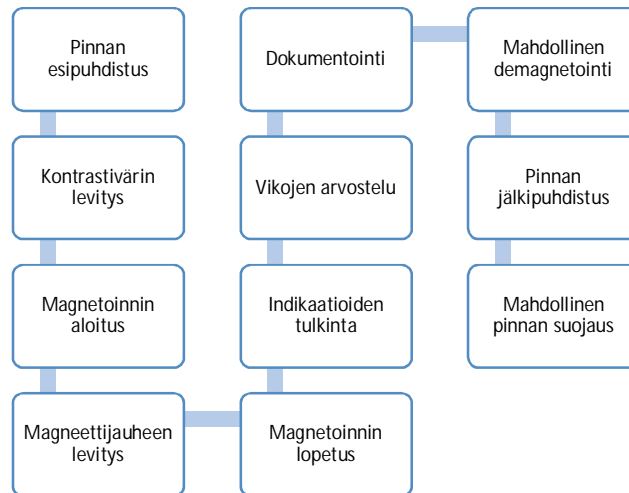
Magneettijauhetarkastus on tarkastusmenetelmä, joka perustuu magnetismiin sekä epäjatkuvuuskohtien synnyttämien magneettisten vuotokohtien havaitsemiseen. Vuotokohdat ovat materiaalin pinnassa tai pinnan läheisyydessä olevia epäjatkuvuuskohtia, kuten esimerkiksi halkeamia, huokosia ja kuonasulkeutumia. Kyseisen vuotokohdan sijainnin, koon ja muodon perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä mahdollisesta vauriosta. Tarkastusmenetelmää voidaan hyödyntää ferromagneettisille aineille ja pinnalla tai pinnan läheisyydessä sijaitsevien virheiden paikantamiseen. (Martikainen & Niemi 1993, 32–33; Niemi 2010, 9–11.)

Kuten aikaisemmin tuli esille, magneettijauh tarkastus perustuu magnetismiin. Tarkastettava kappale magnetisoidaan, ja magneettiset voimaviivat jakautuvat tasaisesti ja pyrkivät pysymään kappaleen sisällä. Mahdollisella virheellä eli vuotokohdalla kappaleen pinnalla tai sen läheisyydessä on vastakkainen napa kappaleeseen nähden. Tällöin manuaalisessa tarkastuksessa levitetyt rautahiukkaset kerääntyvät vuotokenttään (KUVA 4) ja jäljentävät särön sijainnin, muodon ja osittain laajuuden. Vuotokentän havaitseminen vaatii kuitenkin riittävän leveää näyttämää. Näyttämien havaitseminen vaatii myös riittävän optisen kontrastin. Hiukkasten tulee olla värillisiä ja pohja maalattu vaalealla ohuella kontrastiväripohjalla. Magneettijauh tarkastuksesta on olemassa myös automatisoitu versio, jossa pinta käydään läpi magneettivuoanturilla. Anturi havaitsee mahdolliset vuotokentät. Toinen vaihtoehto on käyttää fluoresoivia hiukkasia, jolloin avuksi tarvitaan UV-valoa ja pimeä tila. Fluoresoiva tekniikka on hieman tarkempi ja nopeampi kuin värillinen tekniikka. Alla olevassa kuviossa 3 (KUVIO 3) on vertailtu magneettijauh tarkastuksen etuja ja rajoituksia. (Martikainen & Niemi 1993, 32–33; Niemi 2010, 9–11.)

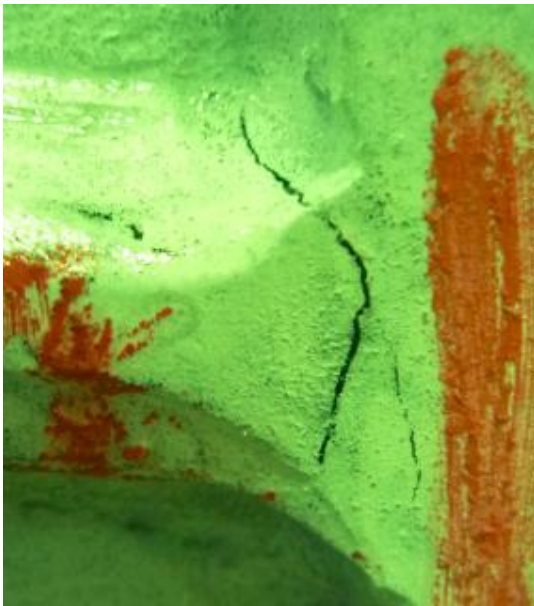


KUVIO 3. Magneettijauh tarkastuksen edut ja rajoitukset (Valuatlas 2015)

Magneettijauh tarkastuksen värillisen tekniikan työvaiheet on esitetty alla olevassa kuviossa 4 (KUVIO 4). Vaiheet ovat lähes samat fluoresoivalla tekniikalla. Fluoresoivaa tekniikkaa käytettäessä kontrastivärin levitystä ei tarvita ja magneettijauheen levityksen jälkeen laitetaan päälle UV-valaistus, joka sammutetaan vasta dokumentoinnin jälkeen. Muuten vaiheet vastaavat täysin toisiaan. (Martikainen & Niemi 1993, 32–33; Niemi 2010, 9–11.)



KUVIO 4. Magneettijauhetarkastuksen vaiheet (Mukaiillen Inspecta Koulutus Oy 2005)



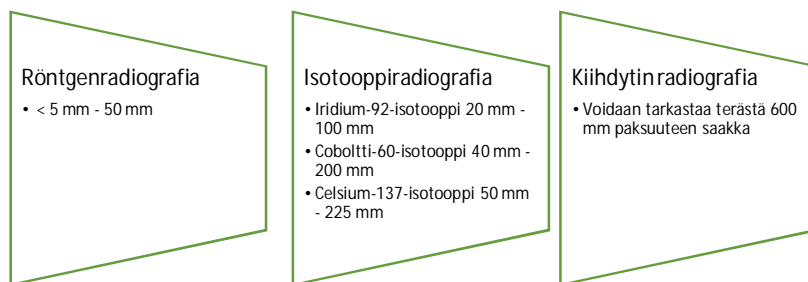
KUVA 4. Särönäyttämä magneettijauhetarkastuksessa (Minna Nurmi 8.4.2012)

3.2.4 Radiografinen tarkastus (RT)

Radiografinen tarkastus on hyvin yleinen menetelmä, jossa hyödynnetään tarkastettavan kohteen kuvauksessa ionisoivaa säteilyä. Kohteeseen kohdistetaan säteilyä sekä samaan aikaan kohteen takana oleva mittalaite, yleensä filmi tallentaa läpäisseen säteilyn voimakkuuden. Ohuemmat ja helpommin säteilyä läpäisevät kohteet piirtyvät filmille tummempina kohtina. Menetelmä perustuu aineen paksuus- ja tiheyseroihin. Filmin lisäksi on olemassa myös useamman kerran käytettävä fosforilevy, joka asetetaan kuvattavan kohteen taakse ja sen avulla otettu kuva saadaan nopeasti digitaaliseen muotoon esimerkiksi tietokoneen näytölle. (AEL; Inspectioneering, d; Martikainen & Niemi 1993, 35–36.)

Radiografisen menetelmän avulla pyritään löytämään materiaalin sisäisiä virheitä ja syöpymiä sekä arvioimaan esimerkiksi putkiston seinämän paksuutta. Menetelmä sopii hyvin myös hitsien tarkastukseen sekä laitteiden osien sijainnin tai muodon selittämiseen. Radiografisen menetelmän avulla havaitaan parhaiten kolmiulotteisia virheitä esimerkiksi huokosia. Tasomaisten virheiden havaitseminen on kyseisellä menetelmällä hieman hankalampaa. (AEL; Inspectioneering, d; Martikainen & Niemi 1993, 35–36.)

Radiografisia tarkastusmenetelmiä ovat röntgenkuvaus, isotooppikuvaus sekä kiihdytin kuvaus. Menetelmät valitaan kuvattavan kohteen mukaan. Kohteessa otetaan huomioon esimerkiksi kohteen seinämän paksuus, materiaali ja muoto. Kuvien laatuun vaikuttaa aine, filmi, käytetty tekniikka, säteilyn laatu sekä laitteisto. Näistä syistä johtuen valitut menetelmät on suunniteltava tarkkaan, jotta kuvan laatu on riittävä virheiden havaitsemiseksi. Menetelmien ero perustuu kuvattavan kohteen paksuuteen. Eri menetelmillä pystytään kuvaamaan hieman eri paksuuden omaavia kohteita. Alla olevassa listassa (KUVIO 5) on listattu esimerkkinä eri radiografiamentelmiä sekä paksuuksia, joihin kyseisillä menetelmillä terästä kuvatessa voidaan tarkastaa. (AEL; Inspectioneering, d; Martikainen & Niemi 1993, 35–36.)



KUVIO 5. Radiografimentelmät

Radiografisella menetelmällä on hyvin paljon etuja, mikä tekeekin siitä hyvin käytetyn teollisuudessa. Tuloksena saadaan pysyvä dokumentti, jota voidaan hyödyntää myös myöhemmin tarvittaessa. Aineella ja pinnanlaadulla on myös hyvin vähäinen vaikutus tarkastuksen luotettavuuteen. Ja kuten edellä mainittu, menetelmän avulla saadaan sisäiset virheet ja rakenteet esille, joita ei pintatarkastusmenetelmillä havaita. Haittapuolia ovat korkea hinta, virheiden tarkan sijainnin hankala määrittäminen, ainepaksuuden vaikutus kuvan laatuun, säteilyvaara sekä säteilysuojelun vaatima tila. Radiografiset menetelmät aiheuttavat säteilyä, joka on vaaraksi ihmisille, joten kuvauksille täytyy olla oma tila tai muut lähistöllä tehtävät työt tulee keskeyttää. (AEL.)

3.2.5 Ultraäänitarkastus (UT)

Ultraäänitarkastuksen avulla voidaan tarkastella ja määrittää kappaleen mittoja, epäjatkuvuuksia sekä joitakin aineominaisuuksia. Ultraäänitarkastusta hyödynnetäänkin hyvin paljon kappaleiden paksuusmittauksissa. Menetelmä perustuu äänisäteiden heijastumiseen mahdollisista epäjatkuvuuskohtista sekä kohteen takaseinästä. Ultraäänin avulla voidaan siis havaita sisäisiä virheitä sekä mahdollisia kappaleen ohentumakohtia. Toiminnan edellytyksenä onkin, että synnytetty ultraääni pääsee tunkeutumaan tarkastettavaan kohteeseen. (AEL; Inspecta Koulutus Oy 2005; Martikainen & Niemi 1993, 37–38.)

Menetelmän hyödyntämisen äänen taajuus tulee olla yli 20 KHz, mutta taajuuden suureudessa pienten virheiden havainnointi saattaa hankaloitua. Toisaalta tunkeutumiskyky pienenee, mitä alhaisempaa taajuutta hyödynnetään, jonka vuoksi päädytään yleensä näiden kahden kompromissiin mahdollisimman tarkan tarkastustuloksen saamiseksi. Tarkastuksessa saatuun näyttämään vaikuttaa myös epäjatkuvuuskohtien muoto, suunta, pinnanlaatu sekä äänen heijastuvuus. Luotettavuus riippuu myös tarkastajasta sekä tarkastajan omista tulkinnoista. (AEL; Inspecta Koulutus Oy 2005; Martikainen & Niemi 1993, 37–38.)

Yleisin ultraäänimenetelmän on kaikumenetelmän, jossa luotain toimii ääniaallon lähettimenä sekä vastaanottimena. Luotaimen ja tarkastettavan kappaleen välissä käytetään kontaktiainetta, joten luotain ei ole suorassa kosketuksessa tarkastettavan pinnan kanssa. Aine poistaa ilman luotaimen ja kappaleen välistä ja auttaa näin saamaan värähtelyn suoraan kappaleen pintaan sekä sisälle. Käytettyjä luotaintyyppisiä on monenlaisia, jotka soveltuvat kaikki tietyille käyttökohteille. Myös tekniikoita on olemassa kolme erilaista: pulssikaiku, läpäisytekniikka ja tandem-tekniikka. Pulssikaiku on kaikista yleisimmin käytetty. Siinä lähetään pulsseja, jotka lähetään ja vastaanotetaan samalla luotaimella. Pulssilla tarkoitetaan lyhykestoista signaalia, joka aiheutetaan ultraäänilaitteen avulla. Läpäisy- ja tandem-tekniikassa hyödynnetään lähetintä ja vastaanotinta. Tarkastus suoritetaan yleensä manuaalisesti eli tarkastaja ja ultraäänilaitte menevät tarkastettavan kohteen luokse paikan päälle. Monet tarkastettavat kohteet ovat ahtaissa paikoissa ja tarkastaja mahtuu ultraäänilaitteen kanssa hankaliinkin paikkoihin. (AEL; Inspecta Koulutus Oy 2005; Martikainen & Niemi 1993, 37–38.)

Ultraäänitarkastuksen suurena etuna on se, että sen avulla on mahdollisuus havaita hyvin halkeamatyypisiä virheitä sekä määrittää virheiden sijainti ja korkeus melko tarkasti. Menetelmä ei myöskään aiheuta terveydellisiä vaaroja tarkastajille tai muille läheisyydessä työskenteleville henkilöille. Menetelmän haittapuolina voidaan mainita, että menetelmällä on rajoitettu soveltuvuus pienten, ohuiden sekä karkeapintaisten kappaleiden tarkastukseen. Se on myös hyvin herkkä aineominaisuuksille, jotka aiheuttavat ääneen vaimenemista. Toistettavuus on myös epävarmempaa kuin esimerkiksi radiografisilla menetelmillä. Ultraäänitarkastuksen käyttö vaatii myös tarkastajalta korkean ammattitaidon. (AEL; Inspecta Koulutus Oy 2005; Martikainen & Niemi 1993, 37–38.)

4 RISKIPERUSTEINEN TARKASTUS (RBI)

Riskiperusteinen tarkastus (Risk based inspection) on riskien arvioinnin ja hallinnan prosessi, joka keskittyy painelaitteiden mekaanisen eheyden menetyksestä aiheutuvien riskien ja tarkastustoimenpiteiden määrittämiseen. Riskiperusteisen tarkastuksen taustalla on riskien tunnistaminen sekä niiden seurausten arviointi. Sen avulla myös arvioidaan, missä kohtaa elämäntaakkaa laite on ja tämän seurauksena voidaan keskittää kunnossapitotoimet sekä tarkastus kohteelle sopivaksi. Riski on yhdistelmä todennäköisyyttä tapahtumaan tietyn ajanjakson aikana sekä siihen liittyvistä seurauksista. Seuraukset ovat yleensä negatiivisia. Riskien arvioinnin tulee olla järkiperäistä sekä loogista. Arvioinnissa on vähintään otettava huomioon, kuinka merkittävä riski on ja onko riski hyväksyttävä. Matemaattisesti riski on esitetty alla olevassa kaavassa (1). (Alvador 2013; API RP 580 2016; Inspectioneering, e.)

$$\text{RISKI} = \text{tapahtuman todennäköisyys} * \text{seuraus} \quad (1)$$

Riskien analysoinnissa hyödynnetään COF- ja POF-analyysijä. POF-analyysillä kartoitetaan mahdollisen vian tai haitallisen tapahtuman todennäköisyyttä (Probability of failure), missä otetaan huomioon läsnä olevat vauriomekanismit sekä niiden mahdollisuus tulevaisuudessa, prosessiolosuhteet sekä aikaisemmin suoritettut tarkastukset. COF-analyysin avulla pyritään määrittämään mahdollisen vian tai vaurion seurauksia (Consequences of failure). COF- analyysissä tulee käydä ilmi laskelmat siitä, mitä seurauksia voi ilmetä painelaitteiden mekaanisen eheyden menetyksestä. Oleellista on myös määrittellä vahingosta aiheutuvat syttyvät tapahtumat, kuten tulipalot tai räjähdykset sekä myrkylliset vuodot tai muut uhkat liittyen mahdolliseen tapahtumaan. (Alvador 2013; API RP 580 2016; Inspectioneering, e.)

Riskiperusteista tarkastussuunnitelmaa varten suoritetaan riskianalyysi tarkastettaville kohteille. Analyysissä otetaan huomioon, esimerkiksi kohteen vauriomekanismit sekä vauriomuodot, herkkyys vaurioille, POF- ja COF -analyysit ja niiden erilaiset skenaariot. Varsinainen suunnitelma sisältää tunnistetut riskitekijät, tarkastusten laajuuden sekä tarkastusväliä sekä mahdolliset muut toimet riskien minimoimiseksi tarkastusten lisäksi. Tarkastussuunnitelmaa varten tunnistetut riskitekijät on muodostettu arvioimalla laitteen suunnittelulämpötilat, -paineet, olosuhteet niin käytössä kuin valmistuksenkin aikana. Riskitekijöitä arvioidessa on hyvä huomioida valmistuksen aikaiset olosuhteet

ja mahdollisesti sieltä juurensa juontavat valmistuksenaikaiset virheet. (Alvador 2013; API RP 580 2016; Inspectioneering, e.)

4.1 Korroosio- ja putkistocircuitit

Korroosiocircuitilla tarkoitetaan laitteiden ja putkiston luokittelua korroosio-olosuhteiltaan samantyyppisiin ryhmiin. Jaottelussa otetaan huomioon myös samanlaiset prosessiolosuhteet, materiaalit sekä vauriomekanismit. Putkistojen osalta voidaan puhua putkistoloopeista tai circuiteista, joihin tässä opinnäytetyössä keskitytään. Korroosio- ja putkistocircuittien avulla prosessi pilkotaan systeemeiksi, joissa on samanlaiset olosuhteet korroosion etenemisen kannalta. Prosessin luokittelu osiin helpottaa ja nopeuttaa tietojen käsittelyä. Tällöin jokaista laitetta ja putkiston osaa ei tarvitse käsitellä erikseen. Circuitit auttavat myös ymmärtämään eri vauriomekanismien esiintymistä ja ilmaantumista prosessin eri olosuhteissa. (Heinämaa 2017b; Hendrix & McKay 2013; Kaley 2009; Mun 2011.)

Putkistolle tehtävät circuitit voidaan luoda esimerkiksi virtauskaavioihin tai PI-kuviin. Eri circuitit merkataan eri värikoodein, jolloin niiden erottaminen toisistaan on helppoa. Nimeäminen tapahtuu esimerkiksi numeroilla. Numeron yhteyteen voidaan liittää tietoa itse circuitista, esimerkiksi materiaalista, prosessiolosuhteista sekä vauriomekanismeista. Circuittien tekoon vaaditaan vähintään seuraavat tiedot:

- Putken materiaali
- Prosessin paine ja lämpötila
- Sisältö
- Teoreettiset vauriomekanismit.

Samaan circuittiin luokitellaan samaa materiaalia ja samoissa olosuhteissa olevat putkistot. Loopeista ja circuiteista ei valitettavasti ole vielä olemassa standarditason ohjeistusta, mutta pian ilmestyvä uusi API RP 970 Corrosion Control Documents tulee sisältämään määrittelyt liittyen korroosiocircuitteihin sekä CCD:hen. (Heinämaa 2017b; Hendrix & McKay 2013; Inspectioneering, a; Kaley 2009; Mun 2011.)

Korroosio- ja putkistocircuitit ovat hyvin oleellinen osa riskiperusteista tarkastusta ja ne tehdään ennen varsinaista riskiarviointia. Ne auttavat tarkastelemaan laitteisiin liittyviä riskejä kokonaisuuksina ja riskitarkastelu voidaan suorittaa circuit-kohtaisesti, joka auttaa suurten yksiköiden riskien hallinnassa. Circuit-kokonaisuuksien ja RBI:n mukaisten riskimatriisien avulla voidaan asettaa minimivaatimukset putkistojen tarkastuspisteiden määrälle sekä optimoida tarkastuspisteiden määrä perustuen circuitin kriittisyyteen. Ohessa esimerkki (KUVA 5) Nesteen tarkastus- ja materiaaliasiantuntijan kehittämästä RBI -riskimatriisista, jota voidaan hyödyntää tarkastuspisteiden lukumäärän määrittämisessä. Riskimatriisissa on eri värikoodeilla osoitettua alueita, jotka kertovat kriittisyyden. Punainen alue on hyvin kriittinen ja sinne sijoittuvat circuitit vaativat enemmän toimenpiteitä seurannan osalta. Oranssi ja keltainen alue puolestaan tarkoittavat kohonnutta rikitasoja. Vihreä puolestaan on matalan riskin alue. Matriisissa arvioinnin pohjana käytetään 570 API luokitusta sisällön vaarallisuudesta, arvioitua korroosionopeutta sekä putkiston käyttöikä. Arvioinnin lopputuloksena circuit sijoittuu johonkin osaan riskimatriisia, jonka perusteella saadaan arvioitua sen kriittisyys ja näin osataan suhtautua oikealla tavalla putkiston tarkastustoimenpiteisiin. (Heinämaa 2017b; Hendrix & McKay 2013; Inspectioengineering, a; Kaley 2009; Mun 2011.)

4	4	8	12	16
3	3	6	9	12
2	2	4	6	8
1	1	2	3	4
	1	2	3	4

KUVA 5. Riskimatriisi (Heinämaa 2017a.)

4.2 Corrosion control documents (CCD)

Corrosion control documents eli CCD on dokumentti, joka sisältää oleellisen tiedon prosessin olosuhteista, mahdollisesta korroosion ja vauriomekanismien esiintymisestä sekä niiden hallinnasta ja ehkäisystä. Oleellisimpia tietoja, jotka kuuluvat dokumentin sisältöön ovat muun muassa korroosio- ja putkistocircuitit sekä kuvaus käsiteltävän yksikön toiminnasta. CCD tarjoaa suuntaviivat ennakoivaan riskien hallintaan esimerkiksi korroosion vuoksi aiheutuvista vaurioista. CCD-dokumenttien avulla voidaan helpommin tunnistaa ja tarkkailla vahinkoja sekä tarjota niiden hallintaan ja ehkäisyyn sopivia vaihtoehtoja niitä tarvitseville sidosryhmille. Näin saadaan varmistettua, että laitosten toiminnot pysyvät käynnissä ja turhia alasajoja laitteistojen rikkoutumisen vuoksi voidaan välttää. Edellä mainittujen syiden vuoksi CCD onkin hyvin tärkeässä osassa yksiköiden riskiperusteista tarkastusta ja korroosionhallintaan liittyvän osaamisen lisäämistä organisaatiossa. Alla on listattu esimerkkejä tiedoista, jotka on esitetty CCD:ssä:

- Tiedot prosessista sekä mahdollisista ongelmista historiassa
- Virtauskaaviot
- Materiaalit
- Korroosio- ja putkistocircuittien kaaviot
- Toimintaolosuhteet
- Lista todennäköisistä ja olemassa olevista vauriomekanismeista
- Suositellut tarkastusmenetelmät sekä tarkastushistoria
- Tiedot mahdollisista muuttujista, jotka voivat vaikuttaa yksikön eheyteen. (Inspectioneering, b.)

5 SDA- YKSIKKÖ

SDA eli Solven DeAsphalting on asfalteenin erotusyksikkö, joka valmistui vuonna 2017 tuotantolinja 4:n yhteyteen. Yksikkö käsittelee tyhjötislauksesta peräisin olevia pohjaöljyjä. Käsittelyn tavoitteena on vähentää asfalteenin osuutta TL4:n pohjaöljy-yksikön syötössä. Päätuotteena on deasfaltoitu öljy (DAO) ja sivutuotteena asfalteenit. Asfalteenit osana syöttöä aiheuttavat likaantumista, joten sen osuuden vähentäminen syötössä mahdollistaa pidemmän käyntijakson sekä konversion noston. Konversion nosto taas mahdollistaa sen, että syötöstä suurempi osuus saadaan muutettua halutuiksi lopputuotteiksi ja näin ei- toivotun raskaan polttoöljyn osuus pienenee. (Mustonen 2017.)

SDA-yksikössä poistettavaa asfalteenia syntyy jalostamalla sivutuotteena. Asfalteenit ovat hyvin suurimolekyylisiä tyydyttymättömiä hiilivetyjä, jotka sisältävät myös rikkiä, typpeä sekä monia eri metalleja. Tämä tekeekin asfalteenista öljyn raskaimpia komponentteja, jotka eivät liukene ympäröivään öljyyn. Liukenemattomuus aiheuttaa laitteiden ja putkistojen likaantumista. SDA-yksikön avulla saadaan syötöstä poistettu asfalteeni hyötykäyttöön pelletointiyksikön tai ohentamisen avulla. Ohentamisessa hyödynnetään TL4 LCF yksikön pohjaöljyä. Pelletoitua asfalteenia taas voidaan polttaa esimerkiksi voimalaitoksilla tai käyttää raaka-aineena sementintuotannossa. Ohennettua asfalteenia puolestaan voidaan saada hyötykäyttöön esimerkiksi bitumin komponenttina. (Mustonen 2017.)

5.1 Materiaalit

SDA:lla putkistojen materiaalit ovat suurimmaksi osaksi ruostumatonta terästä, jonka laatu on valittu käyttöolosuhteiden mukaisesti. Esimerkiksi uunilla käytetään Duplex 2205-terästä, jolla on todella hyvä vahvuus ja sietokyky erilaisia korroosimuotoja kohtaan. Muita materiaaleja ovat PVC-muovi sekä hiiliteräs. Materiaalit on valittu ottaen huomioon käyttöolosuhteet. Materiaalien kestävydestä huolimatta on aina olemassa riski eri vauriomekanismien syntymiseen. SDA-yksikössä onkin eritelty SIP-taulukossa riskit tietynlaisten vauriomekanismien esiintymiseen; yleinen korrosio, kuumarikkikorrosio, ikääntyminen, pistekorrosio sekä ammoniumbisulfidin aiheuttaman korroosion riski. Kyseiset vauriomekanismit on kohdistettu virtauskaavion numeroiduille eri virtauksille.

5.2 Vauriomekanismit

Materiaalien vauriomekanismeilla tarkoitetaan mekanismeja, joiden johdosta materiaalin tila ja laatu heikkenevät. Öljynjalostamoilla esiintyy hyvin paljon erilaisia vauriomekanismeja. Näitä ovat esimerkiksi yleinen ja paikallinen korroosio, metallurgiset viat ja vedyn aiheuttamat vauriot, kuten esimerkiksi vetykuplat/-rakkulat. Korroosio on metallien syöymistä, esimerkiksi ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta, jonka seurauksena metalli hapettuu. Hapettavaa metallia kutsutaan anodiksi. Alla on esitetty esimerkki reaktioyhtälöstä (2), jossa kuvataan raudan hapettumisreaktio. Se aiheuttaa muutoksia metallien ominaisuuksiin, joka voi pahimmillaan johtaa ympäristössä sijaitsevien järjestelmien vaurioihin. Alla on esitelty SDA- yksikössä havaitut merkittävimmät vauriomekanismit. On otettava huomioon, että korroosiotekijöiden ryhmittely sekä käytetty terminologia saattavat vaihdella riippuen lähdeteoksesta. (Kunnossapitoyhdistys ry 2004, 2, 882; Nace International 2011, 1-1 - 1-4.)



5.2.1 Yleinen syöpyminen

Yleinen syöpyminen, jota kutsutaan myös yleiseksi korroosioksi, on metallipinnan tasaista kulumista. Yleisen korroosion tapauksessa metallipinnan eri osat eivät muodostu pysyvästi hapettuvaksi anodiksi tai pelkistyväksi katodiksi. Yleistä korroosiota esiintyy tyypillisesti suojaamattomien metallien pinnoilla olosuhteissa, joissa läsnä on esimerkiksi kemikaaleja. Tasainen korroosiopinta on yleensä teknisesti hyvin helposti havaittavissa paksuusmittausten avulla. (Kunnossapitoyhdistys ry 2004, 23, 102, 193.)

5.2.2 Pistekorroosio

Pistekorroosio on paikallista syöymistä, joka keskittyy yleensä pienemmille alueille. On mahdollista, että syöpymäkohdat peittävät myös laajempia alueita. Pistesyöpymäkohdat ovat ulkonäöltään kuoppamaisia syvänteitä, jotka voivat tehdä metallin pinnasta sienimäisen karheen laajempina esiintyminä. Pistekorroosiota voi esiintyä myös materiaalin pinnan alapuolella, joka tekee sen havaitsemisesta joskus hyvin hankalaa. Korroosio kuitenkin harvemmin etenee massiivisten rakenteiden läpi, koska se pysähtyy tietyn syvyyden saavuttaessaan. Ohuemmissa putkiston seinämissä

syöpymä saattaa kuitenkin läpäistä seinämän ja aiheuttaa vuodon. (Kunnossapitoyhdistys ry 2004, 183, 103; Nace 1-24 - 1-25.)

Pistekorroosio voi aiheutua monista tekijöistä. Näitä ovat esimerkiksi materiaalin pinnalla esiintyvät urat, rakennevirheet, liuoksen voimakas törmäys materiaalin pintaan tai sitten seisovat virtausolosuhteet klorideja sisältävässä ympäristössä. Kloridi-ionit aiheuttavat hyvin usein pistesyöpymää tunkeutumalla metallipinnan päälle syntyneen passiivikerroksen kohtiin ja samalla vetämällä puoleensa lisää kloridi-ioneja. Myös muut halogeeni-ionit, kuten bromidit sekä kupari- ja ferrikloridit voivat aiheuttaa pistesyöpymän alun. Tyypillisiä pistekorroosioesiintymiä on metalleissa, joiden korroosiokestävyys johtuu pintaa suojaavasta passiivikerroksesta tai jalomman metallin pinnoitteesta. Esimerkkinä voidaan mainita ruostumattoman teräksen syöpyminen natriumkloridi (NaCl) liuoksessa. Öljynjalostamoilla pistekorroosiota voidaan havaita esimerkiksi marteensiittisten, ferriittisten sekä ruostumattomien teräspintojen yhteydessä. (Kunnossapitoyhdistys ry 2004, 183, 103; Nace International 2011, 1-24-1-25.)

5.2.3 Kuumarikkikorroosio

Korkean lämpötilan rikkikorroosio on todennäköisesti yksi yleisimmistä korroosimuodoista jalostamoteollisuudessa. Korkean lämpötilan rikkikorroosiota ilmenee yli 230°C lämpötilassa, mikäli läsnä on rikkivetyä tai muita rikkiyhdisteitä. Korroosion voimakkuus riippuu hyvin paljon konsentraatiosta sekä siitä, minkälaisia rikkiyhdisteitä on läsnä. Rikkiyhdisteitä, jotka aiheuttavat korroosiota ovat esimerkiksi alkuainerikki, rikkivety, alifaattinen rikki ja alifaattinen disulfidi. Kaikista voimakkaimmin näistä yhdisteistä korroosiota aiheuttaa rikkivety. Tästä syystä kuumarikkikorroosio on huomattavasti voimakkaampaa vedyn ollessa läsnä prosessissa, koska vety muuttaa orgaanisen rikin yhdisteet rikkivedyksi. Kuumarikkikorroosion on kuitenkin havaittu hidastuvan lämpötilan ylittäessä 454°C, jonka on arvioitu johtuvan koksen muodostumisesta. Pienetkin lämpötilan muutokset voivat vaikuttaa odottamattomasti ja radikaalisti rikkikorroosion ilmenemiseen. (Nace International 2011, 1-37 - 1-41; Reynolds 2004.)

Rikin aiheuttama korroosio voi ilmetä materiaalissa seinämän ohentumisena, paikallisena korroosiona ja kovissa virtausnopeuksissa jopa eroosio-korroosion aiheuttamina vauriona. Kuumarikkikorroosiota sietävät melko hyvin 12 % kromia sisältävät ferriittiset ja martensiittiset teräkset sekä austeniittiset teräkset. Suuria määriä kuumarikkikorroosiota ilmenee varsinkin kaasuöljyn rikinpoistoyksiköissä

verrattuna esimerkiksi muihin yksiköihin. Itse korroosion etenemisnopeutta voidaan arvioida teoriassa käyrien avulla. Vedyn läsnä ollessa voidaan hyödyntää Couper-Gorman käyrää ja muutoin McConomy-käyrää. Käyrien avulla arvioimiseen tarvitaan tieto lämpötilaosuhteista sekä materiaalista. (API RP 571 2003, 5-13, 4-109; Nace International 2011, 1-37-1-41.)

5.2.4 Vetyvauriot

Vety ei suoranaisesti aiheuta korroosiota metalleille, mutta tarpeeksi korkeassa lämpötilassa tai paineenalaisena vety voi aiheuttaa materiaaleille vahinkoa. Vety muun muassa pyrkii tunkeutumaan metallin rakenteeseen, jolloin seurauksena ovat esimerkiksi haurastuminen sekä myötävaikutus jännityskorroosioon. Vedyn tunkeutuminen voi tapahtua muun muassa raerajoja pitkin, diffuusion avulla tai sitä voi päätyä rakenteisiin puikolla hitsatessa. Mahdollista on myös, että vety on päätenyt rakenteisiin jo valmistuksen aikana. (Kunnossapitoyhdistys ry 2004, 189–190 & 423; Nace International 2011, 5-10-5-12.)

Rakenteisiin päästessään vety saattaa kerääntyä sekä reagoida muiden aineiden kanssa, kuten esimerkiksi teräkseen sitoutuneen hiilen kanssa. Reaktioiden seurauksena syntyvät suuremmat molekyylit ovat liian suuria pääsemään ulos materiaalista, joten ne voivat aiheuttaa materiaalissa haurastumista, onteloita ja laminaarisuutta. Vikakohdissa molekyylit, esimerkiksi vetymolekyylit (H_2) sekä metaani (CH_4) muodostavat kaasupainetta, jonka seurauksen viat laajenevat. Kaasunpaineen noustessa tarpeeksi suureksi materiaali voi jopa rikkoutua. Niin kutsuttuja vetyrakkuloita voi syntyä, mikäli useita syntyneitä sulkeumia sijaitsee paljon päällekkäisissä kerroksissa vieri vieressä. Syntyneiden rakkuloiden seurauksena voi materiaaliin aiheutua säröjä ja murtumia. Reaktiot vedyn tunkeutumiseen vaihtelevat eri materiaaleilla. (Kunnossapitoyhdistys ry 2004, 189–190 & 423; Nace International 2011, 5-10-5-12.)

5.2.5 Ammoniumbisulfidin aiheuttama korroosio (NH_4HS)

Voimakkaasti korroosiota aiheuttava ammoniumbisulfidi syntyy hiilivetyjen vetykäsittelyn ja -krakkauksen aikana. Hiiliteräs on hyvin altis ammoniumbisulfidin aiheuttamalle korroosiolle. Tietyn tyyppiset ruostumattomat teräkset ja titaani kestävät kuitenkin melko hyvin olosuhteissa, joissa on läsnä ammoniumbisulfidia. (API RP 571 2003, 5-12; Nace International 2011, 1-29.)

Korroosionopeuden kannalta kriittisiä olosuhteita ovat esimerkiksi suuri virtausnopeus sekä turbulentsisuus. Matalat pitoisuudet eivät aiheuta korroosiota, mutta pitoisuuden kasvaessa aineella on korrodoiva vaikutus. Esimerkki aineen syntyprosessista on vetykäsittelyreaktoreissa, jossa syötön tyyppi reagoi ammoniakiksi, joka edelleen reagoi rikkivedyn kanssa ammoniumbisulfidiksi. Ammoniumbisulfidi voi aiheuttaa esimerkiksi hiiliteräksessä korkeammilla virtausnopeusalueilla laajempaa seinämän ohentumista ja hyvin paikallista seinämän ohentumista virtauksen risteysalueilla tai muuten turbulentsilla virtausalueilla. Pienemmällä virtausnopeuksillakin paikallista korroosiota voi ilmetä NH_4HS -suolojen vuoksi, mikäli vesimäärä ei ole riittävä liuottamaan suoloja. (API RP 571 2003, 5-12.)

5.2.6 Ikääntyminen

SDA- yksikössä ikääntymistä aikojen saatossa esiintyy lähinnä putkistoissa, joiden materiaali on muovia. Muovit ovat alttiita käyttöympäristössä esiintyville vaikutuksille, kuten esimerkiksi auringonvalolle, vedelle sekä lämpötilan vaihteluille. Auringonvalo hajottaa monia muoveja, mutta hajoaminen voi tapahtua muutamissa vuosissa tai sitten se voi kestää jopa tuhansia vuosia. Auringonvalo aiheuttaa muoveissa molekyylien hajoamista takaisin monomeereiksi tai vapaaksi muoviksi. Muita ikääntymiseen liittyviä vauriomekanismeja ovat haurastuminen ja yleinen heikentyminen. (Bruder 2013.)

6 PUTKISTOCIRCUITTIEN RISKIPERUSTEINEN TARKASTUSSUUNNITELMA

Tässä luvussa käsitellään putkisto-circuittien riskiperusteista tarkastusta. Ensin esitellään putkisto-circuitteja sekä millä perusteella ne on tähän opinnäytetyöhön luotu. Putkisto-circuittien kriittisyys voidaan luokitella riskimatriisin avulla, jonka tarkempi toimintaperiaate sekä vaadittavat tiedot käydään tässä luvussa läpi. Riskimatriisia varten putkiston sisällön kriittisyys on luokiteltava sekä korroosionopeus arvioitava. Luokittelun perusteet sekä korroosionopeuden arviointiin vaadittavat tiedot ovat myös esittelyn kohteena.

6.1 Putkiston circuitit

Alla on esitelty vaihe vaiheelta, kuinka tässä opinnäytetyössä olevat circuitit on muodostettu.

1. Etsitään alueen/yksikön virtauskaaviot sekä MSD-kaaviot
2. Kartoitetaan virtauskaavioissa olevat putkijohdat SIP taulukosta. SIP taulukosta käy ilmi virtauskaaviopohjalla olevat virtaukset sekä niiden putkistomateriaalit ja -luokat. SIP taulukkoon on myös eritelty putkiston sisältö sekä mahdolliset epäpuhtaustiedot.
3. Selvitetään prosessiolosuhteet, kuten lämpötila ja paine. Samalla selvitetään myös muut korroosionopeuteen ja sen ilmenemiseen vaikuttavat seikat.
4. Valitaan virtauskaavioista kohta, josta circuittien teko aloitetaan. Seurataan valittua linjaa ja päätetään circuit korroosio-olosuhteiden muuttuessa. Circuittien jaotteluun vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi paine, lämpötila ja putken sisältö.
5. Circuitit merkataan virtauskaavioon eri värein, jotta ne voidaan tarkasteltaessa erottaa toisistaan.
6. Jokaisen circuitin tiedot kootaan lopuksi, esimerkiksi Excel- tai Word-dokumenttiin. Näin jälleenkäin voidaan nähdä, millä perusteella circuit on muodostettu

Tässä opinnäytetyössä putkisto-circuitit luotiin uudelle SDA-yksikölle. Circuittien luomiseen valittiin kolme virtauskaaviota, jotka sisältävät erityyppisiä prosessiputkistoja. Circuitit luotiin yllä esitettyjen ohjeiden mukaisesti. Muodostetuista circuiteista luotiin Excel-tiedosto, josta käy selkeästi ilmi kaikki circuitteihin sekä niiden tekemiseen vaikuttaneet seikat. Samaan tiedostoon on kerätty myös tiedot seuraavaksi tarkemmin esitellyistä korroosionopeuksista, riskimatriisin tuloksista ja kriittisyysluokituksista. Tällöin kaikki tiedot ovat selkeästi saatavilla yhdestä dokumentista sekä muokattavissa tarpeen mukaan.

6.2 Putkiston sisällön kriittisyysluokittelu

Ennen varsinaista riskien arviointia ja riskimatriisiin sijoittelua jaotellaan circuitit sisällön perusteella eri luokkiin. Jaottelu suoritetaan API RP 570:n mukaisesti, jonka esittämät ryhmittelykriteerit on tuotu alla olevassa kuviossa 7 (KUVIO 7) esille:

Ryhmä 1	Ryhmä 2	Ryhmä 3	Ryhmä 4
<ul style="list-style-type: none"> •Hiilivedyt, jotka höyrystyvät helposti ja vapautuessaan muodostavat syttyvän seoksen(C₂, C₃, C₄) •Kiehumispiste alle operointilämpötilan •Operointilämpötila yli itsesyttymispisteen •Myrkyllinen H₂S- /HF-sisältö 	<ul style="list-style-type: none"> •Vahvat hapot ja emäkset •Vety-, polttokaasu- ja makaasulinjat •Hiilivedyt, jotka höyrystyvät hitaasti vapautuessaan, esimerkiksi operoitaessa alle kiehumispisteen, mutta yli syttymispisteen. 	<ul style="list-style-type: none"> •Hiilivedyt, jotka eivät höyrysty eli operoidaan alle leimahduspisteen •Alemman riskin hiilivedyt, jotka eivät sovi muihin luokkiin 	<ul style="list-style-type: none"> •Ei syttyvä ja myrkyllinen sisältö •Höyryt ja höyrylauhteet •Ilma- ja typpilinjat •Vesi, kattilavesi ja stripattu hapanvesi •Voiteluöljy- ja tiivisteöljyputkistot

KUVIO 6. API RP 570 luokittelu (API RP 2003, 46–47)

6.3 Korroosionopeuden arviointi

Sisällön luokittelun jälkeen voidaan suorittaa arvio korroosionopeuksista. Arvioinnissa hyödynnetään tietoja materiaalista, sisällöstä, olosuhteista sekä mahdollisista vanhoista seinämäpaksuuden mittatiedoista. Välttämättömiä tietoja arvioita varten ovat circuitissa olevan putkiston materiaali, lämpötila sekä mahdolliset epäpuhtaudet ja veden läsnäolo. Putkiston materiaaleihin liittyvät tiedot löytyvät esimerkiksi SIP- taulukosta sekä MSD-kaavioista, joissa on tarvittavia tietoja liittyen olosuhteisiin, suunnittelulämpötiloihin ja -paineisiin sekä virtauksen olomuotoon. SIP- taulukon lisäksi ajantasaista tietoa lämpötiloista sekä paineista on saatavilla prosessinohjausjärjestelmistä sekä yksikön käyttöinsinööriltä. (Heinämaa 2017b.)

Uuden ja vanhan yksikön korroosionopeuksien arviointi suoritetaan mittaustuloksien saatavuuden vuoksi hieman eri tavalla. Mittaustuloksista käy yleensä ilmi putken seinämän paksuuden muutos tietyllä aikavälillä, joten mittaustuloksia tulisi olla saatavilla vähintään kahdelta eri vuodelta.

Korroosionopeuden arvoksi tulee tällöin seinämäpaksuuden muutos tietyllä aikavälillä. Riskimatriisia varten arvot tulee kuitenkin muuttaa yksikköön millimetriä vuodessa. Uudella yksiköllä vanhoja seinämäpaksuus mittatietoja ei ole saatavissa, joten korroosionopeuden arviointi joudutaan suorittamaan teoriapohjaisesti tai vertailua hyödyntämällä.

SDA-yksikössä monissa osissa prosessia on läsnä rikkiä sekä korkea lämpötila, joten kuumarikkikorroosion esiintyminen on hyvin todennäköistä. Kuumarikkikorroosiota esiintyy yleensä rikkiä sisältävissä olosuhteissa lämpötilan ylittäessä n. 230°C. Kyseisen korroosionmuodon mahdollinen eteneminen vuositasona voidaan arvioida teoreettisesti McConomy-käyrien avulla. McConomy-käyrien avulla voidaan selvittää teoreettiset korroosionopeudet yleisimmille putkistomateriaaleille, kuten esimerkiksi hiiliteräkselle ja ruostumattomalle teräkselle. Käyrien hyödyntämistä varten on oltava tiedossa putkiston materiaali lämpötila sekä painoprosenttiarvio rikin pitoisuudesta. Rikin pitoisuuden ylittäessä 0,5 wt- % hyödynnetään myös McConomyn korjauskerroinkäyrää, jonka avulla saadaan tarkemmin arvioitua rikin määrän vaikutus korroosionopeuteen. Kyseisiä käyriä hyödynnettiin myös SDA:n putkiston mahdollisten kuumarikkikohteiden korroosionopeuksien arvioinnissa.

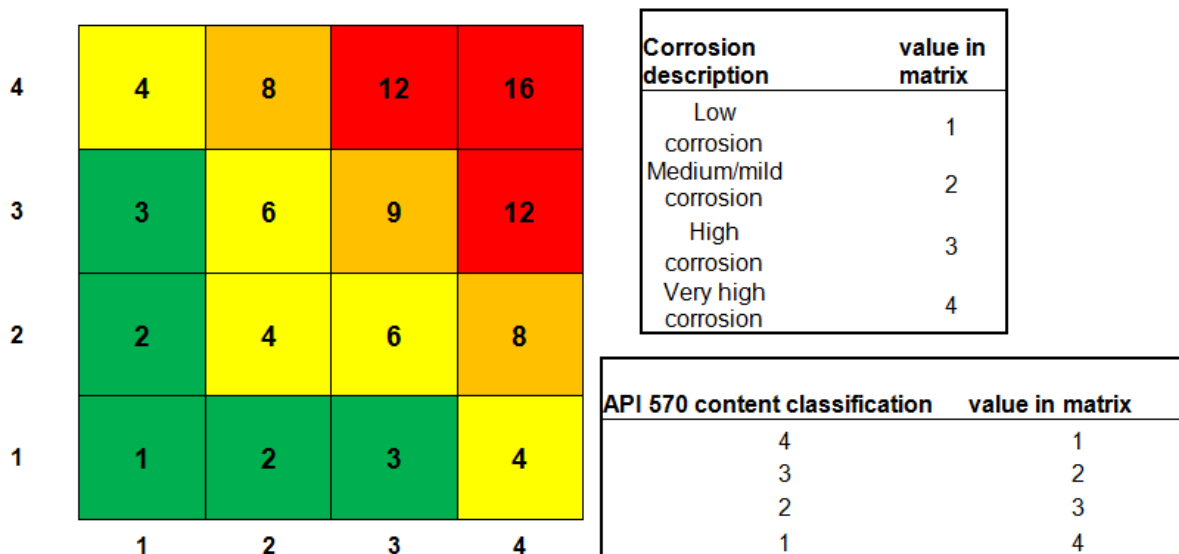
Kuten edellä on tullut jo esille, ei kaikkia arvioita korroosionopeuksista voitu suorittaa täysin teoriapohjaisesti. SDA-yksikkö on hyvin uusi tuotantoyksikkö, joten putkistoista ei ollut saatavilla vanhoja mittaustuloksia. Korroosionopeuksien arviointi olikin tehtävä osittain vertailemalla mahdollisiin vastaaviin olosuhteisiin muualla jalostamalla sekä konsultoimalla materiaaliasiantuntijoita. Apuna hyödynnettiin TL4:llä sijaitsevien vastaavanlaisten kohteiden mittaustuloksia putkiston kunnosta vuosien varrelta. Vaatimuksena tietysti oli, että materiaali, sisältö sekä olosuhteet olivat lähes samanlaiset. Toisen yksikön mittaustuloksia pystyttiin hyödyntämään esimerkiksi höyry- ja hapanvesilinjojen kohdalla.

6.4 Riskimatriisi

Alla kuvassa 6 (KUVA 6) on esitetty riskimatriisi sekä siihen vaikuttaneet arvot. Kyseinen riskimatriisi on luotu perustuen API RP 580 Nesteen materiaaliasiantuntijan toimesta. Vaaka-akselille sijoitetaan API 570 luokitus sisällön vaarallisuudesta ja pystyakselille tieto korroosionopeudesta. Korroosionopeudet jaotellaan tiettyjen raja-arvojen mukaisesti neljään eri luokkaan. Luokat ovat matala korroosionopeus, kohtalainen korroosionopeus, korkea korroosionopeus ja hyvin korkea korroosionopeus. Vanhemmalla yksiköllä on luontaista käyttää riskien arvioinnissa muuttujana myös

putkiston ikää, joka voi vaikuttaa oleellisesti putkiston kuntoon. SDA-yksikön tapauksessa ikä ei olisi vaikuttanut lopputulokseen. Tästä syystä ikä-tekijää ei otettu huomioon riskimatriisissa. Myöhemmin kuitenkin ikä on hyvin tärkeää ottaa mukaan yksikön laitteiden riskiperusteiseen arviointiin.

Edellä mainittujen tietojen pohjalta circuitit sijoittuvat matriisiin eri osioihin ilmaisten kriittisyyden. Matriisissa kriittisyys on ilmaistu eri värikoodein. Punaiselle alueelle sijoittuvat circuitit ovat kaikkein kriittisimpiä. Alueelle sijoittuvien circuittien putkisto vaatii laajempaa tarkastusta korkean korroosioriskin ja vaarallisen sisällön vuoksi. Punaiselle alueelle sijoittuvat putkisto-circuitit, joissa on esimerkiksi herkästi haihtuvia ja syttyviä hiilivetyjä korkeissa lämpötiloissa sekä paineissa. Vihreä alue kuvaa matalan kriittisyyden aluetta, jolloin korroosioriski ei ole korkea ja sisältö ei aiheuta suurta vaaraa ympäristölle tai ihmisille mahdollisen vahingon tapahtuessa. Vihreälle alueelle sijoittuvat esimerkiksi käyttöhyödykelinjoja sisältävät circuitit, joissa aineet eivät ole vaarallisia tai vaarallisissa olosuhteissa. Oranssi ja keltainen sijoittuvat näiden kahden ääripään välille, jolloin riskiluokitus luonnollisesti jää punaisen ja vihreän välille.



KUVA 6. Riskimatriisi arviointi (mukailten Heinämaa 2017a)

Riskimatriisi antaa circuittien kriittisyyteen perustuvan suosituksen tarkastuspisteiden lukumäärästä eli kuinka laajasti kyseisen circuitin alueelle sijoittuvaa putkistoa tulisi tarkastaa. Vihreälle alueelle sijoittuvilla on alhaisin määrä suositeltuja tarkastuspisteitä, kun taas punaiselle alueelle sijoittuvilla on

suurin määrä suositeltuja tarkastuspisteitä. Eri kohteiden sijoittuminen matriisiin eri osiin antaa myös kokonaiskuvan arvioitavan yksikön kunnosta.

Alla olevassa kuvassa 7 (KUVA 7) on esitetty, kuinka tarkastussuositukset saadaan. Lyhenne TML (Thickness Monitoring Location) tarkoittaa suositeltua tarkastuspisteiden määrää. Suositukset voidaan antaa tarkkana lukumääränä circuittia kohden tai sitten komponenttiprosentin avulla. Alla olevassa kuvassa TML-number tarkoittaa tarkastuspisteiden lukumäärää ja TML- % tarkoittaa komponenteille suunnattua prosenttimäärää. Komponenttien tarkastusprosentilla kuvataan, kuinka monta prosenttia kyseisen circuitin komponenteista tulisi tarkastaa. Tarkan tarkastuspistesuosituksen ja komponenttiprosenttiosuuden väliltä valitaan luku, joka tarkasteltavan circuitin kohdalla on suurempi.

Corrosion loop number	Value in RBI-matrix	TML number	TML-%
-	1,2,3	-	-
-	4,6	-	-
-	8,9	-	-
-	12,16	-	-

KUVA 7. Tarkastuspisteiden lukumäärä (Heinämaa 2017a)

7 PUTKISTON TARKASTUSLAAJUUKSIEN VERTAILU

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia voidaanko RBI:n avulla optimoida tarkastuslaajuutta putkiston osalta. Vertailussa haluttiin nähdä, kuinka nykyisellä tavalla suoritettu tarkastuspisteiden määrittely eroaa opinnäytetyössä tutkitusta metodista. Tällä hetkellä tarkastuspisteiden sijoittelu ja määrät ovat linjatarkastajan vastuulla. Linjatarkastaja määrittelee putkiston tarkastuslaajuuden sekä kohdistaa tarkastukset perustuen ammattitaitoon ja kokemukseen.

Linjatarkastaja sijoitteli tarkastuspisteet isometreille, jotka olivat kyseisten circuittien määrittämältä alueelta. Tarkastaja ei ollut tietoinen riskianalyysistä saaduista tuloksista, vaan suoritti pisteiden sijoittelun täysin oman ammattitaitonsa ja kokemuksensa varassa. Vertailun lopputuloksessa on otettava huomioon, että tarkastajan ammattitaidolla pystytään arvioimaan, saadaanko esimerkiksi kaksi vierekkäistä tarkastuspistettä tarkastettua yhdellä kerralla putkistokuvausten yhteydessä. Nesteen jalostamolla iso osa putkistotarkastuksista suoritetaan isotooppikuvauksilla, joten on hyvin mahdollista, että kahdesta lähekkäin sijaitsevasta pisteestä saadaan tulos yhden kuvan avulla. Tästä syystä linjatarkastaja voi asiantuntemuksellaan määrittää tähän kohtaan kahden sijasta yhden pisteen. Näitä seikkoja riskimatriisi ei osaa ottaa huomioon.

7.1 Päätelmät

Vertailun lopputuloksena linjatarkastaja määrittäi yhteen circuittiin vähemmän tarkastuspisteitä ja kahteen enemmän. Vertailussa ero oli muutamia kymmeniä prosentteja kahden matalamman riskin circuitin kohdalla ja korkeamman riskin circuitin tapauksessa ero oli hieman enemmän. Poikkeamat voivat johtua juuri edellä mainitusta kokemuksesta putkistokuvauksen kattavuudesta sekä siitä, että uusia yksiköitä voidaan aluksi tarkastaa hieman enemmän vanhojen tulosten puuttuessa.

Oletuksena oli, että metodin käyttö ohjaisi vähentämään tarkastuspisteiden määrää matalan riskin kohteissa ja korkeamman riskin kohteissa tapahtuisi päinvastoin. Tämä kävi toteen myös tämän vertailun kohdalla. Menetelmä suositteli kriittisemmille linjoille tarkastajan merkintöjä enemmän tarkastuspisteitä ja vähemmän kriittisille kohteille suositus oli luonnollisesti vähemmän.

Lopputuloksesta voidaan todeta, että RBI:n kaltaisesta systemaattisemmasta tarkastelutavasta on apua tarkastuksen laajuuden optimoinnissa varsinkin uusien yksiköiden kohdalla, koska aikaisempia mittaustuloksia tai tarkkoja korroosionopeuksia ei ole saatavilla. RBI:ssä otetaan hyvin laajasti huomioon putkiston sisältö, olosuhteet sekä materiaali, joten sen voi olettaa toimivan hyvänä tukirankana tarkastuksen suunnittelulle yhdessä yksikölle tehtyjen CCD-dokumenttien kanssa. Uudet ja kokemattomammat tarkastajat voivat erityisesti saada hyvää tukea putkistotarkastuksen suunnittelulle kyseisenlaisesta riskiperusteisesta arvioinnista. Myös uudet yksiköt voivat olla erittäin hyödyllisiä kohteita kyseisen metodin hyödyntämiselle, koska tarkastushistoriaa ei ole saatavilla ja kriittisten kohteiden arviointi voi olla hankalaa. RBI:n kautta saadut luvut eivät kuitenkaan ole absoluuttisia totuuksia vaan metodin on tarkoituskin toimia tarkastusten suunnittelun tukena. Tärkeää on myös huomata, että RBI:n mukaiset riskiarviot muuttuvat laitosten vanhetessa ja mittaustulosten lisääntyessä. SDA-yksiköstä tällä hetkellä saadut tulokset on siis päivitettävä tarkastustulosten määrän kasvaessa.

LÄHTEET

AEL. Kansainvälisen hitsaustarkastajan IWI-koulutus NDT- osio. Koulutusmateriaali

Alvador, G. 2013. RBI: Defining Risk (COF/POF). Saatavissa:

<https://inspectioneering.com/blog/2013-05-28/3338/rbi-defining-risk-cof-pof>. Viitattu 20.10.2017.

API RP 571. Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry. 2003.

API RP 580. Risk-based Inspection. 2016. Third edition.

Bruder, U. 2013. Ympäristön vaikutukset muoviin. Hyvä tietää muovista, osa 8. Muovi Plast julkaisu 2/2013. Saatavissa: <http://polymerik.pp.fi/pdf/Osa8-Ympariston-vaikutukset-muoviin.pdf>. Viitattu 3.10.2017.

Heinämaa, T. 2017a. TL5 putkistoprojekti. Työprosessin perehdytysmateriaali

Heinämaa, T. 2017b. Neste Oyj materiaali- ja tarkastusasiantuntijan henkilökohtainen tiedonanto, keskustelu. 27.9.2017

Hendrix, D & McKay, A. 2013. Essential Elements of a Piping Reliability Program: Development and Management of Corrosion Systems and Circuits. Saatavissa: <http://hghouston.com/Portals/0/pdf/1-Essential%20Elements%20of%20a%20Piping%20Reliability%20Program-Development%20and%20Management%20of%20Corrosion%20Systems%20and%20Circuits.pdf>. Viitattu 20.10.2017.

Inspectioneering. a. Overview of Corrosion Circuit. Saatavissa:

<https://inspectioneering.com/tag/corrosion+circuit>. Viitattu 20.10.2017.

Inspectioneering. b. Overview of Corrosion Control Documents (CCDs). Saatavissa:

<https://inspectioneering.com/tag/corrosion+control+documents>. Viitattu 20.10.2017

Inspectioneering. c. Overview of Nondestructive Testing (NDT). Saatavissa:

<https://inspectioneering.com/tag/nondestructive+testing>. Viitattu 22.9.2017.

Inspectioneering. d. Overview of Radiography. Saatavissa:

<https://inspectioneering.com/tag/radiography>. Viitattu 26.9.2017

Inspectioneering. e. Overview of Risk-Based Inspection (RBI). Saatavissa:

<https://inspectioneering.com/tag/risk-based+inspection>. Viitattu 20.10.2017.

Inspecta Koulutus Oy. 2005. NDT-menetelmät. Koulutusmateriaali.

Kaley, L. Piping Circuitization and Risk-Based Inspection Requirements. Saatavissa:

http://www.trinity-bridge.com/sites/default/files/presentations/2009-Summit-Piping-Circuitization-and-RBI_r7.pdf. Viitattu 20.10.2017

Kilpilahti. Yritykset Kilpilahdessa. Neste Oyj. Saatavissa: <https://www.kilpilahti.fi/yritykset-kilpilahdessa/neste/>. Viitattu 5.9.2017.

Kiwa Inspecta. Palvelut. NDT-tarkastus. NDT-tarkastus eli rikkomaton aineenkoetus (NDT, non-destructive testing). Saatavissa: <https://www.inspecta.fi/Palvelut/ndt-tarkastus/Rikkomaton-aineenkoetus-NDT-Non-Destructive-Testing/>. Viitattu 15.9.2017

Kunnossapitoyhdistys ry. 2004. Korroosiokäsikirja. 2. painos. Rajamäki: KP-Media Oy.

Martikainen, J & Niemi, E. 1993. NDT-tarkastus käsikirja. Helsinki: Suomen Hitsaustieto Oy.

McConnell, M. 2013. What to expect from the upcoming API-970 Corrosion Control Document/Manual. Inspectioneering. Saatavissa: <https://inspectioneering.com/blog/2013-12-30/3806/what-to-expect-from-the-upcomi>. Viitattu 20.10.2017

Mun, C. 2011. Risk Based Management. Saatavissa: <http://www.psig.sg/Seminar/S2011-2.pdf>. Viitattu 20.10.2017

Mustonen, S. 2017. SDA-prosessikuvaus. OQD-sisäinen työohje.

Nace International. 2011. Corrosion Control in the Refining Industry. Course manual.

Niemi, P. 2010. Valukappaleen tarkastusmenetelmät. ValuAtlas & Tampereen ammattiopisto-Jälkikäsittelytekniikka Saatavissa: http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_jalkikasittely_E.pdf. Viitattu 25.9.2017

Nurmi, M. 2012. Putkiston määräaikaistarkastusten korvaaminen painelaitteen seurannalla (KTMp 953/1999 18§) Neste Oil Oyj:n Porvoon jalostamolla. Sisäinen suunnitelma.

Nurmi, M. 2017. Neste Oyj tarkastajan henkilökohtainen tiedonanto, keskustelu. 28.9.2017

Nurmi, M & Vornanen, J. 2015. Tarkastustoiminta Neste Oil. Valvojakoulutus tarkastus TA2015

Neste Oyj. 2017. Tuotanto-organisaatio. Esitysmateriaali.

Neste Oyj. a. Tietoa meistä. Liiketoiminta-alueet. Saatavissa:

<https://www.neste.com/fi/fi/konserni/tietoa-meist%C3%A4/liiketoiminta-alueet>. Viitattu 4.9.2017.

Neste Oyj. b. Tietoa meistä. Juuremme. Saatavissa: <https://www.neste.com/fi/fi/konserni/tietoa-meist%C3%A4/juuremme>. Viitattu 4.9.2017.

Neste Oyj. c. Tietoa meistä. Tuotanto. Jalostamot Suomessa. Porvoo. Saatavissa:

<https://www.neste.com/fi/fi/konserni/tietoa-meist%C3%A4/tuotanto/jalostamot-suomessa/porvoo>. Viitattu 5.9.2017.

Neste Oyj. d. Tietoa meistä. Öljytuotteet. Saatavissa: <https://www.neste.com/fi/fi/node/1697>. Viitattu 4.9.2017

Reynolds, J. 2004. 99 Diseases of Pressure Equipment: High Temperature Sulfidation. Saatavissa: <https://inspectioneering.com/journal/2004-07-01/3393/99-diseases-of-pressure-equipm> . Viitattu 4.10.2017

Silvennoinen, R. 2014. Putkiston tarkastusohje. OQD-sisäinen ohje.

SFS 116-1. Hitsien tarkastus. Osat 1: Rikkomaton aineenkoetus. 2011. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

The American Society For Nondestructive Testing. Introduction to Nondestructive Testing.

Saatavissa: <https://www.asnt.org/MinorSiteSections/AboutASNT/Intro-to-NDT>. Viitattu 22.9.2017