

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

2019

Jesse Virtanen

PYÖRREVIRTATEKNIIKAN HYÖDYNTÄMINEN ERISTEEN ALAISEN KORROOSION HAVAITSEMISESSA

TURKU AMK 
TURKU UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

Jesse Virtanen

PYÖRREVRTATEKNIIKAN HYÖDYNTÄMINEN ERISTEEN ALAISEN KORROOSION HAVAITSEMISESSÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia pyörrevirtatekniikan hyödyntämistä eristeen alaisen korroosion havaitsemisessa Nesteen Naantalin jalostamolla. Menetelmän soveltuvuutta testattiin käytännön testeillä, joiden kohteena oli kaksi testiputkea, yksi putkiston kenttäkohde sekä nestekaasusäiliön palosuojattu jalka.

Teoriaosa kostuu eristeen alaisen korroosion syntymekanismeista sekä missä sitä useimmiten esiintyy. Teoriaosassa käsitellään myös tavanomaisimmat tarkastusmenetelmät eristeen alaisen korroosion havaitsemiselle, pääpaino on kuitenkin pyörrevirtatekniikassa. Teoriaosuuden lähteinä toimivat pääasiassa yhdysvaltalaisen öljy- ja kaasu yhdistyksen (API) julkaisut, Euroopan korroosioiliiton (EFCP) julkaisu, sekä maailmanlaajuisen asiantuntija yhteisön julkaisut (NACE), jotka opinnäytetyön kirjoittaja on vapaasti suomentanut.

Työssä käytiin pyörrevirtatekniikan lisäksi läpi yleisimmät tarkastusmenetelmät eristeen alaisen korroosion havaitsemiselle sekä esitettiin eri menetelmien hyvät ja huonot puolet.

Menetelmän validointi sekä pätevyyskokeen hyväksymisstandardit perustuvat API 563:een. API 563:n antama hyväksymisstandardi on tarkoitettu säiliön pohjalevyä varten mutta se soveltui myös putkistolle.

Opinnäytetyössä saatiin tietoa pyörrevirtatekniikan soveltuvuudesta jalostamo käyttöön eristeen alaisen korroosion havaitsemista varten. Tässä työssä esitettyjen tietojen pohjalta voidaan tehdä pätevä arviointi menetelmän soveltuvuudesta ja sen mahdollisesta käyttöönotosta jalostamolla. Opinnäytetyössä esitetään myös pyörrevirtatekniikatarkastukseen liittyvät rajoitteet, jotka tulee ottaa huomioon tarkastuksia suorittaessa.

ASIASANAT:

Korroosio, Pyörrevirta, Tarkastus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical engineering

4/2019 | 56

Jesse Virtanen

UTILIZATION OF PULSED EDDY CURRENT TECHNOLOGY FOR DETECTING CORROSION UNDER INSULATION

The aim of the thesis was to investigate the use of eddy current technology in detecting corrosion under insulation at Neste's Naantali refinery. The suitability of the method was tested by practical tests on two test tubes, one pipeline field target and a LPG tank's fireproofed leg.

The theoretical part consists of the mechanisms of the formation of corrosion under the insulation, and where it usually occurs. The theoretical part also discusses the most common inspection methods for detecting corrosion under insulation, but the focus is on eddy current technology. The sources of the theoretical part are mainly the publications of the American Oil and Gas Association (API), the publication of the European Corrosion Association (EFCP), and the worldwide expert community publications (NACE), freely translated by the author of the thesis.

In addition to eddy current technology, the thesis examined the most common inspection methods for detecting corrosion under insulation and presented the pros and cons of various methods.

The validation of the method and the standards for the validation of the proficiency test are based on API 563. The API 563 approval standard is for the tank bottom plate, but it is also suitable for piping.

The thesis provided information on the applicability of eddy current technology to the refinery for detecting corrosion under insulation. Based on the information presented in this work, a valid assessment of the suitability of the method and its possible introduction at the refinery can be made. The thesis presents the limitations of the method that should be considered when performing the inspections

KEYWORDS:

Corrosion, Eddy Current, Inspection

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
2 ERISTEEN ALAINEN KORROOSIO ELI CUI	10
2.1 Eristeen ja palosuojauksen alainen korroosio hiili- ja niukkaseosteräksessä	11
2.2 Eristeen alainen korroosio ruostumattomissa teräksissä	13
2.3 Vauriolle alttiit alueet	14
2.3.1 Yleiset vaurioalueet	14
2.3.2 Painelaitteiden vaurioalueet	15
2.3.3 Putkiston vaurioalueet	17
2.3.4 Putkien kannattimet	20
2.3.5 Säiliöiden ja pallosäiliöiden vaurioalueet sekä lämpösaattojärjestelmät	21
3 CUI- JA CUF-VAURIOIDEN TARKASTAMINEN	25
3.1 Riskiperusteinen tarkastus (RBI)	25
3.2 Tarkastusmenetelmät	28
3.2.1 Visuaalinen tarkastus (VT)	28
3.2.2 Tunkeumanestetarkastus (PT)	28
3.2.3 Guided-wave (GWT)	29
3.2.4 Radiograafinen tarkastus (RT)	30
3.2.5 Lämpökuvauus (IR)	30
3.3 Pyörrevirtatarkastus (PEC)	31
4 PYÖRREVRTATARKASTUSMENETELMÄ (PECT)	32
4.1 Pyörrevirtatekniikan periaate	32
4.2 Eri palveluntoimittajien laitteiston vertailu	34
5 KÄYTETTY LAITTEISTO	36
5.1 Laitteisto	36
5.2 Tekniset tiedot	37
6 MENETELMÄN TESTAUS	40
6.1 Pätevyyskokeen hyväksymisstandardit	40
6.2 Nesteen testiputki	41

6.2.1 Eddyfin testiputki	45
6.2.2 Putkiston kenttäkohde	47
6.2.3 Nestekaasusäiliön palosuojattu teräsjalka	50
7 SOVELTUVUUS JALOSTAMOLLE	55
LÄHTEET	56

KAAVAT

Kaava 1. Luotaimen jalanjäljen koon laskemiseen käytettävä kaava (Eddyfi.)	38
--	----

KUVAT

Kuva 1. Esimerkki painesäiliön alueista, joista vesi yleensä pääsee eristeen sisälle. (NACE International Standard Practice-Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Materials- A Systems Approach 2013, 11)	16
Kuva 2. Esimerkki putkistoalueista, joissa CUI-vaurio on mahdollinen. (European Federation of Corrosion Publications Number 55 Corrosion-Under-Insulation (CUI) guidelines 2008, 41.)	17
Kuva 3. Eristetty putkisto, jonka eristevaipan vauriosta vesi pääsee imeytymään eristeen läpi (yläkuva), aiheuttaen eristeen alla olevan putken korrodoitumista (alempi kuva). (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 14.)	20
Kuva 4. Eristeen tukirenkaan CUI-vaurio. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 17.).....	22
Kuva 5. Pallosäiliön luhistuminen CUF-vaurion vuoksi. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 17.)	22
Kuva 6. Esimerkki tankin alueista, joita CUI erityisesti koskee. (European Federation of Corrosion Publications Number 55 Corrosion-Under-Insulation (CUI) guidelines 2008, 43.)	23
Kuva 7. Esimerkki kuva luotaimen jalanjäljestä, kahdella eri lift-offilla (innospection 2017.)	31
Kuva 8. PEC-tekniikan toiminta periaate (innospection 2017.).....	33
Kuva 9. Pyörrevirtatekniikan toimintaperiaate. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 47.)	34
Kuva 10. Testiputken leikkauskuva, johon on merkattu keinotekoisien vaurioiden sijainnit, koko ja syvyys (Dekra Industrial.).....	42
Kuva 11. Tarkastuksessa välittömästi havaitut vauriot, sekä jäljellä oleva prosentuaalinen seinämävahvuus. Vaurioiden järjestys: 5, 8, 6, 7.	43

Kuva 12. Tarkastuksessa saadut tulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta, joita on tarkennettu compensated wall thickness-työkalun avulla. Vaurioiden järjestys: 5, 8, 6, 7.....	44
Kuva 13. Eddyfin testiputki ja siinä olevat keinotekoiset vauriot	45
Kuva 14. Eddyfin testiputkesta PECA-luotaimella saadut tarkastustulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta	46
Kuva 15. Eddyfin testiputkesta PECA-luotaimella saadut ja CWT-työkalulla tarkennetut tarkastustulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta.....	47
Kuva 16. Putkiston kenttäkohteen vaakasuoran osuuden tarkastustulokset.....	48
Kuva 17. Putkiston kenttäkohteen pystysuoran osuuden tarkastustulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta.	49
Kuva 18. Putkiston kenttäkohteen pystysuoran osuuden tarkastustulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta CWT-työkalulla tarkennettuna.....	50
Kuva 19. Nestekaasupallon palosuojatun teräsjalan laajin mahdollinen tarkastuslaajuus.....	51
Kuva 20. Pallosäiliön jalan yläosan tarkastustulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta.....	52
Kuva 21. Pallosäiliön jalan keskiosan tarkastustulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta.	53
Kuva 22. Pallosäiliön jalan alaosan tarkastustulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta.....	54

TAULUKOT

Taulukko 1. Potentiaaliset sijainnit CUI:lle prosessilaitteissa. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 12.).....	14
Taulukko 2. Säiliöiden potentiaaliset CUI/CUF-vaurion sijainnit. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 12.).....	15
Taulukko 3. CUI/CUF-vaurioille alttiit paikat putkistossa. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 15.)	18
Taulukko 4. CUI/CUF-vaurioille herkät paikat putkistossa, joka toimii kastepisteen alapuolella. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 16.).....	19
Taulukko 5. Pallosäiliöiden ja tankkien CUI- ja CUF-vaurioiden mahdolliset sijainnit. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 16.).....	21
Taulukko 6. Riskitasot ryhmittäen ja poistettavien eristeiden osuus.	26
Taulukko 7. PECA-luotaimen käyttöalue (Eddyfi.).....	37
Taulukko 8. PECA-luotaimen käyttöalue (Eddyfi.).....	37
Taulukko 9. PECA-luotaimen footprint eri liftoffeilla (Eddyfi.)	38
Taulukko 10. PEC-GS-luotaimen footprint eri liftoffeilla (Eddyfi.).....	38
Taulukko 11. PECA:lla havaittavien eri syvyisten vaurioiden vähimmäishalkaisijat (Eddyfi.).....	39
Taulukko 12. PEC-GS:llä havaittavien eri syvyisten vaurioiden vähimmäishalkaisijat (Eddyfi.).....	39

Taulukko 13. Seinämässä oleville vaurioille asetetut havaitsemisprosentit vaurion koon mukaan. (API 653 Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction 2014, 145.)	41
Taulukko 14. Testiputken keinotekoisten vaurioiden havaitseminen on merkitty vihreällä pohjavärillä, havaitsemattomuus punaisella pohjavärillä.	44

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

CUF	Palosuojauksen alainen korroosio(API Recommended Practice 583)
CUI	Eristeen alainen korroosio (API Recommended Practice 583)
Footprint	Pyörrevirtaluotaimen tarkastusalue, jonka luotain luo alapuolelleen.
Jännityskorroosio	Rakenne aineen murtuminen staattisen tai vaihtelevan vetojännityksen alaisena ilman huomattavaa rakenteen syöpmistä (Korroosio käsikirja)
Kastepiste	Ilman lämpötila, jossa ilman sisältämän vesihöyryn tiivistyminen alkaa (Ilmatieteenlaitos)
Liftoff	Mittalaitteen ja mittakohteen välinen välimatka
MOC	Management of Change suom. Muutoksen hallinta (API.org)
NDT	Non Destructive Testing suom. ainetta rikkomaton testaus
NPS	Putken nimellinen koko tuumissa (Wikipedia)
Pistemäinen syöpymä	Paikallinen pistemäinen rakenneaineen syöpyminen (Korroosio käsikirja)
Schedule	Putken paksuuden tunnus (hardhatengineer.com)
Yleinen syöpyminen	Syövyttävässä ympäristössä olevan rakenneaineen pinnan lähes tasainen syöpyminen (Korroosio käsikirja)

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella pyörrevirtatekniikan soveltuvuutta Nesteen Naantalin jalostamolla eristeen alaisen korroosion havaitsemiseen. Eristeen alainen korrosio on aiheuttanut jalostamolla useita vuototapauksia, niistä johtuvia vaaratilanteita sekä suunnittelemattomia tuotannon menetyksiä. Pyörrevirtatekniikan saaminen osaksi putkiston ja laitteiden tarkastuksia toisi Nesteelle liiketoiminnallisia hyötyjä, koska tekniikkaa hyödyntämällä pystyttäisiin tunnistamaan ja reagoimaan eristeen alaiseen korroosioon riittävän ajoissa. Eristeenalaisen korroosion tarkastaminen on tämän hetkisillä tarkastusmenetelmillä hidasta ja kustannuksiltaan kallista johtuen muun muassa eristeiden poistotarpeesta. Pyörrevirtatarkastusmenetelmää hyödyntämällä eristeiden poistoa ei tarvita, josta johtuen eristeenalaisen korroosion tarkastaminen nopeutuisi ja kustannukset mahdollisesti alenisivat. Työn tuloksia voidaan hyödyntää CUI-tarkastusstrategioiden suunnittelussa ja toteutuksissa.

Teoriaosassa käsitellään eristeen alaisen korroosion syntymekanismeja sekä yleisimpiä esiintymispaikkoja. Teoriaosassa käydään läpi myös tavanomaisimmat tarkastusmenetelmät eristeen alaisen korroosion havaitsemiselle, pääpaino on kuitenkin pyörrevirtatekniikassa. Teoriaosuuden lähteinä toimivat pääasiassa yhdysvaltalaisen öljy- ja kaasu yhdistyksen (API) julkaisut, Europan korroosioiliiton (EFCP) julkaisut, sekä maailmanlaajuisen asiantuntijayhteisön (NACE) julkaisut. Lähteet ovat luonteeltaan asiantuntevia sekä puolueettomia. Pyörrevirtatekniikan toimintaperiaatteen teorian lähteenä ovat toimineet korroosioikäkirjan lisäksi myös kaupalliset toimijat mutta sen ei voi olettaa vaikuttavan puolueellisesti, koska kaikki pyörrevirtatekniikkaan perustuvat mittalaitteet toimivat samalla periaatteella. Eristeen alainen korrosio on maailmanlaajuisesti tiedostettu ongelma mutta siitä huolimatta luotettavaa lähdetietoa ilmiöön liittyen, ei ole saatavilla ilman, että niiden pohjana ei olisi käytetty jo tässä työssä käytettyjä lähteitä.

Opinnäytetyön käytännön testissä saatiin aikaan tieto pyörrevirtatekniikan soveltuvuudesta jalostamo käyttöön eristeen alaista korroosion havaitsemista varten. Tässä työssä esitettyjä tietoja hyödyntämällä voidaan tehdä arviointi menetelmän soveltuvuudesta ja sen mahdollisesta käyttöönotosta jalostamolla. Opinnäytetyö esittää myös menetelmän rajoitukset, jotka tulee ottaa huomioon tarkastuksia suorittaessa.

2 ERISTEEN ALAINEN KORROOSIO ELI CUI

Eristeen alainen korroosio (CUI) tarkoittaa teräksestä valmistetun putkiston tai laitteen ulkopuolista korroosiota, joka esiintyy pinnoitteen tai eristevaipan alla. Vaurio syntyy, kun vesi pääsee tunkeutumaan pinnoitteen tai eristevaipan alle. Eristeen alaisen korroosion luonteen vuoksi vaurio pysyy yleensä piilossa, kunnes eristyspinnoite poistetaan, joka mahdollistaa tarkastuksen tai vaihtoehtoisesti vaurio havaitaan vasta kun vuoto on jo syntynyt. Ilmiötä pidetään yleisesti merkittävänä maailmanlaajuisena ongelmana, joka koskettaa esimerkiksi lähes kaikkia voimalaitosaloja, sekä petrokemian aloja. (European Federation of Corrosion Publications Number 55 Corrosion-Under-Insulation (CUI) guidelines 2008, 1.)

NACE Internationalin mukaan ongelmat liittyen eristeen alaiseen korroosioon on ollut olemassa niin kauan kuin laitteistoja on eristetty lämpösuojausta, energiansäästöä tai prosessin tasapainottamista varten. CUI-vaurioista johtuvat ongelmat ovat aiheuttaneet merkittäviä laitteiden pysäytyksiä, tuotantotappioita ja odottamattomia ylläpitokustannuksia jalostamoilla, kaasulaitoksissa ja kemian laitoksissa, mikä on lisännyt ilmiöön liittyvää huolta ja kiinnostusta ongelman ratkaisemiseen. (NACE International Corrosion Control In The Refining Industry Volume 2 2013, 470.)

ExxonMobilin vuonna 2003 julkaiseman raportin mukaan CUI on vastuussa 40 % - 60 %:sta putkien kokonaiskunnossapitokustannuksista ja putkisto vastaa 55 %:sta kaikista kiinteän kaluston kunnossapitokustannuksista. Sama raportti kertoo, että 84 % CUI:n aiheuttamista vuodoista tapahtuu putkistoissa ja 81 % niistä on putkissa, joiden NPS on pienempi kuin 4 tuumaa. Putkisto, jonka NPS on pienempi kuin 4 tuumaa, kärsii CUI:sta johtuvan vuodon useimmiten, kun sen käyttöikä on 16–20 vuotta, 6 tuuman putkelle vastaava käyttöikä on yli 25 vuotta. (A Corrosion under Insulation Prevention Strategy for Petrochemical Industry Piping 2004, 7–9.)

2.1 Eristeen ja palosuojauksen alainen korroosio hiili- ja niukkaseosteräksessä

CUI-vaurio esiintyy useimmiten paikallisena pintapuolisena korroosiona hiili- ja niukkaseosteräksissä. API 583:n (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 8) mukaan vaurion laajuuteen eristeen alla vaikuttaa

- kosteudelle altistumisen kesto
- kosteudelle altistumisen toistuvuus
- kostean ympäristön syövyttävyyys
- laitteiston suunnitteluvirheet
- käyttölämpötila
- eristetyyppi
- pinnoitteen kunto sekä tiiveys
- ilmastotyyppi
- kohteen kunnossapitotoiminta
- vuotavat höyrysaattojärjestelmät
- lähetyillä olevat, kosteutta tuottavat laitteet, kuten jäähdytystornit
- lähellä oleva suolavesi esimerkiksi meri
- teollisuusalueen hapana sade.

CUI-vaurio on laadultaan joko yleistä metallin kulumista tai pistemäistä syöpymää. Vaurio syntyy, kun vesi imeytyy tai kerääntyy vaurioituneen eristeen tai pinnoitteen alle ja kosteus on kosketuksissa eristeen alla olevan teräksen kanssa (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 8). Vesi pääsee eristetyyn metallin pinnalle pääasiassa eristeen pinnoitteessa olevien aukkojen kautta. Aukot voivat olla seurausta huonosta suunnittelusta, virheellisestä asennuksesta tai huonoista kunnossapitokäytännöistä. (NACE International Standard Practice Control of Corrosion under Thermal Insulation and Fireproofing Materials – A Systems Approach 2010, 2.) Metallin pinnat voivat kastua alueilta, joiden eriste on vaurioitunut tai puutteellinen myös ilmassa olevan vesihöyryn vuoksi, joka sopivassa lämpötilassa tiivistyy metallin pinnalle. Pintojen voidaan katsoa olevan märkiä ilman näkyvää kosteutta jos ilman suhteellinen kosteus on 80–90 %. Teräksen syöpyminen kiihtyy rikkidioksidipitoisessa ilmassa, kun suhteellinen ilmankosteus on yli 60 %. Jos syöpyminen on jo alka-

nut, niin syöpymisen jatkumiseen riittää matalampikin ilmankosteus. Tämän lisäksi teräs voi syöpyä suhteellisen ilman kosteuden ollessa 40 %, jos sen pinnalla on kloridipitoista ruostetta. (Kaunisto 2004, 224–225.)

Määrittäessä laitteen herkkyyttä eristeen alaiselle korroosiolle tulee huomioida laitteen käyttölämpötila-alue, joka CUI-tapauksissa on yleensä -12°C :n ja $+175^{\circ}\text{C}$:n välillä. Eristeessä olevat epäpuhtaudet, kuten kloridit ja sulfidit, voivat myös myötävaikuttaa toimintaympäristön syövyttävyyteen. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 9.)

Lämpötilojen eroavaisuudet johtuvat pääosin siitä, että käyttäjät ilmoittavat laitteen opeointi lämpötiloja eri tavalla. Eri käyttäjät ilmoittavat joko metallin pinnan-, prosessin- tai turvamarginaalin lämpötilan. Tämä on kasvattanut lämpötilarajoja, joissa eristeen alaista korroosiota tapahtuu ja näin vaikeuttanut vauriokohteiden kartoittamista. Lämpötila-alue, jossa CUI-vauriot ovat voimakkaimpia, riippuvat monesta tekijästä, mutta usein metallipinnan lämpötila on ollut 77°C – 110°C , jolloin korroosioreaktio on nopeimmillaan. Ei voida kuitenkaan määrittää mitään tiettyä lämpötila-aluetta, jonka ulkopuolella eristeen alaista korroosiota ei esiintyisi, koska vaurioita on esiintynyt myös metallipinnoilla, joiden lämpötila on ollut jopa 316°C . Korkean lämpötilan CUI-vauriot ovat johtuneet pääosin veden pääsemisestä metallin pinnalle huoltoseisokin yhteydessä, joka on haihtunut laitteen käynnistyksen yhteydessä jättäen epäpuhtauksia metallin pinnalle. Tärkeämpää onkin selvittää, että pääseekö vesi eristeiden läpi, kuin miettiä, mikä on eristetyn metallipinnan normaali käyttölämpötila. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 9.)

Palosuojausta käytetään rakenneterästen, putkiston ja painesäiliöiden tukemisessa. Palosuojauksen tarkoituksena on minimoida tulipalon vaikutukset, mikä voisi syttyä rakenneteräksen, putkikannakkeen tai painesäiliön rikkoutuessa. Palosuojaus on suunniteltu pidentämään aikaa, joka teräksellä kestää saavuttaa 540°C lämpötilan ja tarjoamaan laitoksen henkilökunnalle lisäaikaa palon sammuttamiseen. 540°C :ssa teräksen vetomurtolujuus putoaa noin 50 % verrattuna huonelämpötilaan. Tukirakenteiden enenaikainen murtuminen tulipalon yhteydessä saattaa johtaa laitteen tai putkiston romahtamiseen, joka voi pahentaa tulipaloa. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 11.)

CUI-vaurioita esiintyy teollisuuden alueilla, joiden ilmassa on korkea rikkidioksidi pitoisuus sekä meriympäristössä opeointilämpötilan ollessa jaksottain tai jatkuvasti -4°C –

121 °C. Lämpötilan ollessa alle 121 °C on eristeen alaisen korroosion riski suurimmillaan, koska silloin metallin lämpötila ei nouse tarpeeksi korkeaksi, jotta vesi pääsisi haihtumaan sen pinnalta (NACE International Corrosion Control in the Refining Industry 2010, 36). Palosuojauksen alaisen metallin voi katsoa lähes aina olevan lämpötilaltaan alttiina CUF-vauriolle.

Palosuojauksenalainen korroosio ilmenee yleensä palosuojauksen murtumina tai lohkeiluna. Tämä tapahtuu, koska muodostuneiden korroosiotuotteiden (erityisesti rautaksidit Fe_2O_3 ja Fe_3O_4) tiheys on noin 33 % pienempi kuin hiiliteräksellä. Tästä johtuen korrodoitunut metalli ottaa haltuunsa suuremman tilan kuin alkuperäinen korrodoitumaton teräs aiheuttaen palosuojauksen vetorasitusta. Palosuojaja murtuu, kun riittävä määrä korroosiotuotetta kasaantuu palosuojan ja alla olevan teräksen väliin. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014,11.)

2.2 Eristeen alainen korroosio ruostumattomissa teräksissä

CUI esiintyy ruostumattomilla teräksillä, joita operoidaan alle 175 asteen lämpötilassa, kloridien aiheuttamana jännityskorroosiona (NJ CUI report 2014, 1). Murtuminen tapahtuu kun jännityskorroosiolle herkkä metalli altistuu staattiselle jännitykselle sekä korroosiolle. Syövyttävä ympäristö syntyy, kun eristeen alla olevat kloridit tiivistyvät ruostumattoman teräksen pinnalle eristeen kastuessa.

Useimmat CUI-vauriot ruostumattomilla teräksillä tapahtuu metallin lämpötilan ollessa 60 °C ja 175 °C välillä. Annetun lämpötila-alueen ulkopuolella syntyvä CUI on harvinaista, koska alle 50 °C metallin pinnalla merkittävän määrän kloridien on vaikea tiivistyä ja yli 175 °C metallin pinnalla ei normaalisti esiinny vettä. (NACE International Standard Practice Control of Corrosion under Thermal Insulation and Fireproofing Materials – A Systems Approach 2010, 8.) On syytä huomioida, että austeniittiset teräkset, joiden normaali operointilämpötila on yli 260 °C, voivat kärsiä rajusta kloridien aiheuttamasta jännityskorroosioista käynnistyksen jälkeen, jos eristeet ovat kastuneet esimerkiksi vesisateen vuoksi huoltoseisokin aikana. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014,9–10.)

2.3 Vauriolle alttiit alueet

CUI- tai CUF-vaurio voi tapahtua missä tahansa paikassa, joka on eristetty tai tulelta suojattu, jos lämpötila on vaurion syntymiselle otollinen. Tästä johtuen CUI- ja CUF-vaurioiden havaitseminen riittävän ajoissa on haasteellista. CUI ja CUF-vaurioita on löydetty paikoista, jotka ovat kaukana ennustettavissa olevista ja alttiimmista paikoista. Käytännön kokemukset ovat kuitenkin osoittaneet tiettyjen alueiden olevan muita alueita alttiimpia vaurioille. Yleisesti, alueet, joissa on vakava CUF-vaurio, on helpompi tunnistaa visuaalisesti kuin CUI-vauriot, koska CUF-vauriot aiheuttavat halkeamia ja värjäytyksiä palosuojauksessa. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 11–12.)

2.3.1 Yleiset vaurioalueet

Öljy- tai kemikaalikäsittelylaitoksissa on useita alueita, joissa CUI- tai CUF-vauriolle on muita suurempi todennäköisyys. Kaikille laitetyppeille yleiset alueet esitetään taulukossa 1.

Taulukko 1. Potentiaaliset sijainnit CUI:lle prosessilaitteissa. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 12.)

LAITETYYPPI	POTENTIAALINEN SIJAINTI
KAIKKI LAITTEET	Jäähdytystornin sumulle altistuvat alueet
	Suuttimet ja muut ulkonevat komponentit
	Alueet, joiden eristysvaippa on vaurioitunut tai puutteellinen
	Alueet, joilla tiivistys puuttuu tai eristevaippa on karkaistunut
	Alueet, joissa eriste on kupera tai värjäytynyt
	Alueet, joiden eristeen sideraudoitus puuttuu
	Alueet, joilla värinä on aiheuttanut vahinkoa eristysvaipalle
	Alueet, joilla on aukko höyrysaattoa varten
	Alueet, jotka ovat alttiina prosessipäästöille, kosteuden tunkeutumiselle tai happohöyryille

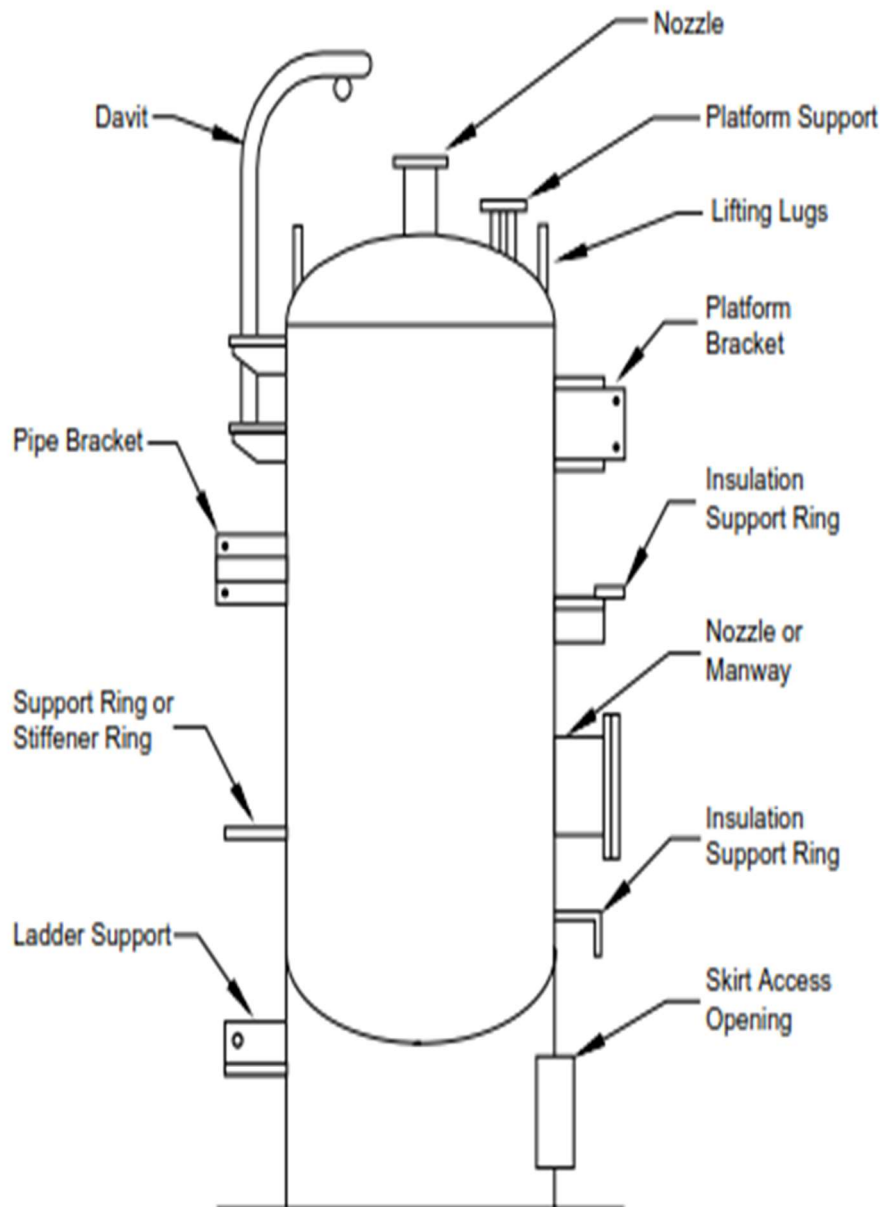
	Aluelaukaisujärjestelmän, eli sprinklerin läheisyydessä olevat alueet
	Alueet, jotka on eristetty henkilöstön suojaamiseksi
	Eristeen alla olevat alueet joiden pinnoitteet ovat heikentyneet
	Alueet, joissa on vuotava höyrysaatto
	Paineensäätöventtiilien putket ja laipat
	Järjestelmät, jotka toimivat jaksoittain yli 120 °C: n lämpötilassa
	Ilmakehän kastepisteen alapuolella toimivat järjestelmät
	Jatkuvasti jäätyvät ja sulavat järjestelmät

2.3.2 Painelaitteiden vaurioalueet

Säiliöille tyypilliset CUI/CUF sijainnit on esitetty taulukossa 2. Kuvassa 1 esitetään alueet, joista vesi useimmiten pääsee eristeen sisään.

Taulukko 2. Säiliöiden potentiaaliset CUI/CUF-vaurion sijainnit. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 12.)

LAITETYYPPI	POTENTIAALINEN SIJAINTI
PAINESÄILIÖ	Eristeen tukirenkaat, vaurioituneiden tai riittämättömästi tiivistettyjen eristeiden takana pystysuorilla päillä ja pohjalla
	Eristettyjen säiliöiden / kolonnien tiivistysrenkaiden ympäröivä alue
	Helmahitsin eristeen alainen alue
	Pienten säiliöiden eristetyt jalkatuet
	Tikkaiden ja alustan liitoskohdat
	Suuttimien ja kannakkeiden eristysten liitoskohdat
	Palosuojauksen helmat
	Ankkuripultit
	Vaakatasossa olevan säiliön pohja (ts. alemmasta kolmanneksesta puoleenväliin säiliötä)
	Epäsäännölliset muodot, jotka johtavat monimutkaiseen eristysasennuksiin (nostimien tuet, nostokorvakkeet, runkolaipat jne.)



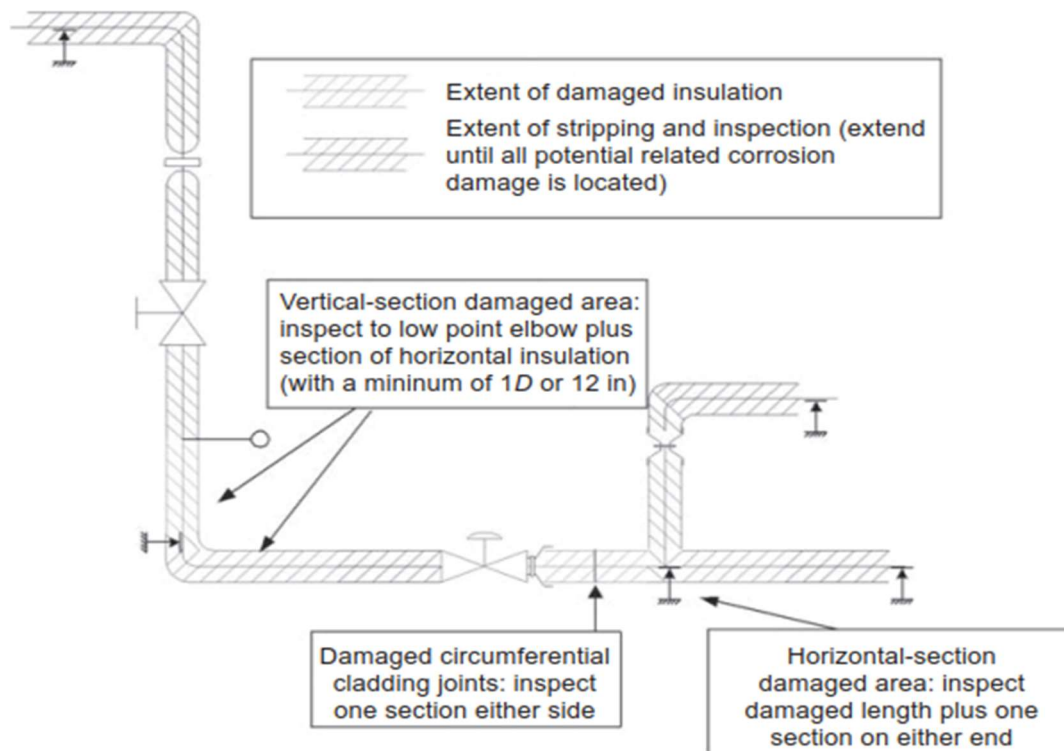
Kuva 1. Esimerkki painesäiliön alueista, joista vesi yleensä pääsee eristeen sisälle. (NACE International Standard Practice-Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Materials- A Systems Approach 2013, 11)

Vaikka on olemassa alueita, joilla eristeen alainen korroosio onkin todennäköisempää, tulee ottaa huomioon, että kaikki laitteet ovat jossain vaiheessa poissa käytöstä huolto-
seisokeista johtuen. Seisokkien kesto ja toistuvuus vaikuttavat aikaan, jonka laitteet ovat samassa lämpötilassa ympäristön kanssa lisäten laitteiston eristeen alaisen korroosion mahdollisuutta ja mahdollistaen CUI-vaurion myös epätodennäköisimmille alueille. Pois-

tettaessa laitteen tai putken eristeitä esimerkiksi huoltoa varten tulisikin kiinnittää huomiota eristeiden varastointiin. Jos poistettuja eristeitä on tarkoitus käyttää uudelleen, tulisi ne varastoida huollon ajaksi siten, että ne ovat turvassa kosteudelta. Märän eristeen asentaminen kohteelle, jossa ei muuten olisi eristeen alaisen korroosion vaaraa, saattaa aiheuttaa ennalta arvaamattomia ongelmia juuri sen vuoksi, että vaurio syntyy kohteessa, jossa ei normaalisti olisi CUI-vaurion riskiä ja siksi asiaa ei huomioida.

2.3.3 Putkiston vaurioalueet

CUI- ja CUF-vaurioille herkät alueet putkistossa ovat listattuna taulukossa 3. CUI- ja CUF-vaurioille herkät alueet putkistossa, jonka operointilämpötila on kastepisteen alapuolella, ovat listattuna taulukossa 4. Kuvassa 2 on esitetty esimerkki alueita, joissa CUI-vaurio on muita alueita todennäköisempi, sekä kohtien tarkastusalueet. Esimerkki eristevaipan vauriosta, josta vesi pääsee imeytymään eristeen sisälle, johtaen putken korrodoitumiseen on esitetty kuvassa 3.



Kuva 2. Esimerkki putkistoalueista, joissa CUI-vaurio on mahdollinen. (European Federation of Corrosion Publications Number 55 Corrosion-Under-Insulation (CUI) guidelines 2008, 41.)

Taulukko 3. CUI/CUF-vaurioille alttiit paikat putkistossa. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 15.)

LAITETYYPPI	POTENTIAALINEN SIJAINTI
PUTKISTO	Ilmauskanava, tyhjennys tms. putken osa, jossa ei ole virtausta (dead leg)
	Putkien ripustimet ja kannattimet, varsinkin jos ne ovat kiinnitetty putkeen eristeen alapuolelta
	Venttiilit ja putkiyhteet
	Pulttatut putken kiinnikkeet
	Höyry- ja sähkösaaton läpiviennit
	Laippojen ja muiden putkiosien eristysten päätekohdat
	Hiili- ja matalaseosteiset teräslaipat, pultit ja muut komponentit korkeaseosteisessa putkistossa
	Vaippakerroksen sauma vaakasuoran putken päällä
	Eristeen päättymiskohta pystysuorassa putkessa
	Alueet, joissa pienemmät putken haaraliitokset leikkaavat suuremman halkaisijan putkilinjoja
	Matalat kohdat putkistossa, jossa eristys on vaurioitunut
	Veden ja/tai maaperän läheisyys, aiheuttaa kosteuden lisääntynyttä imeytymistä eristeeseen
	Märkä eriste
	Eristekohta, jossa on päällä kulkemisesta johtuva vaurio

Taulukko 4. CUI/CUF-vaurioille herkät paikat putkistossa, joka toimii kastepisteen alapuolella. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 16.)

LAITETYYPPI	POTENTIAALINEN SIJAINTI
KYLMÄPUTKET	Putkikannakkeet
	Eristyksen päätepiisteet, kuten putken ja laipan paikat
	Vaarnapultilliset laipat, joissa eristyskotelot on asennettu, muttei tiivistetty
	Putkisto vedenpinnan alapuolella, jossa nouseva vesi tunkeutuu eristysvaippaan, joka jäätyessään turpoaa aiheuttaen pinnoitteen vaurioitumista
	Alueet, joissa runsas eristeiden päällä kulkeminen on vaurioittanut niitä
	Eristysvaipan alueet, jotka osoittavat merkkejä jatkuvasta pinnan kondensaatiosta tai homeesta
	Reiät ja leikkauskohdat eristeen höyryeristeessä tai -vaipassa
	Jää-ilma-rajapinnat



Kuva 3. Eristetty putkisto, jonka eristevaipan vauriosta vesi pääsee imeytymään eristeen läpi (yläkuva), aiheuttaen eristeen alla olevan putken korrodoitumista (alempi kuva). (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 14.)

2.3.4 Putkien kannattimet

Putkien kannattimien kohdalla, kuten muissakin potentiaalisissa CUI-kohteissa, tulee huomioida, että vaikka eristeessä olisi selvä reikä tai aukko, saattaa vesi kerääntyä jonkin aivan muualle. Tämä voi tapahtua esimerkiksi vaakasuoralla linjalla putken kannattimien välissä, jossa kannatinkohdat ovat eristämättömiä. Haihtunut vesi voi kulkeutua myös eristetyn järjestelmän läpi ja tiivistyä alueille, joilla on alhaisempi pintalämpötila. Mainit-

tujen seikkojen vuoksi onkin tärkeää, että putkien kannattimet olisivat aina eristeiden ulkopuolella ja näin vähennettäisiin veden eristeen sisäänpääsyn riskiä. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 16.)

2.3.5 Säiliöiden ja pallosäiliöiden vaurioalueet sekä lämpösaattojärjestelmät

Taulukossa 5 luetellaan säiliöiden ja pallosäiliöiden alttiita paikkoja CUI- ja CUF-vaurioille. Tämä sisältää operointilämpötilaltaan sekä kuumat että kylmät eristetyt säiliöt. Kuvassa 4 on esitetty eristeen tukirenkaan CUI-vaurio. Kuvassa 5 on esitetty seuraus pallosäiliön jalan CUF-vauriosta. Kuvassa 6 on esimerkki tankin alueista, joissa CUI-vaurio on todennäköisin.

Taulukko 5. Pallosäiliöiden ja tankkien CUI- ja CUF-vaurioiden mahdolliset sijainnit. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 16.)

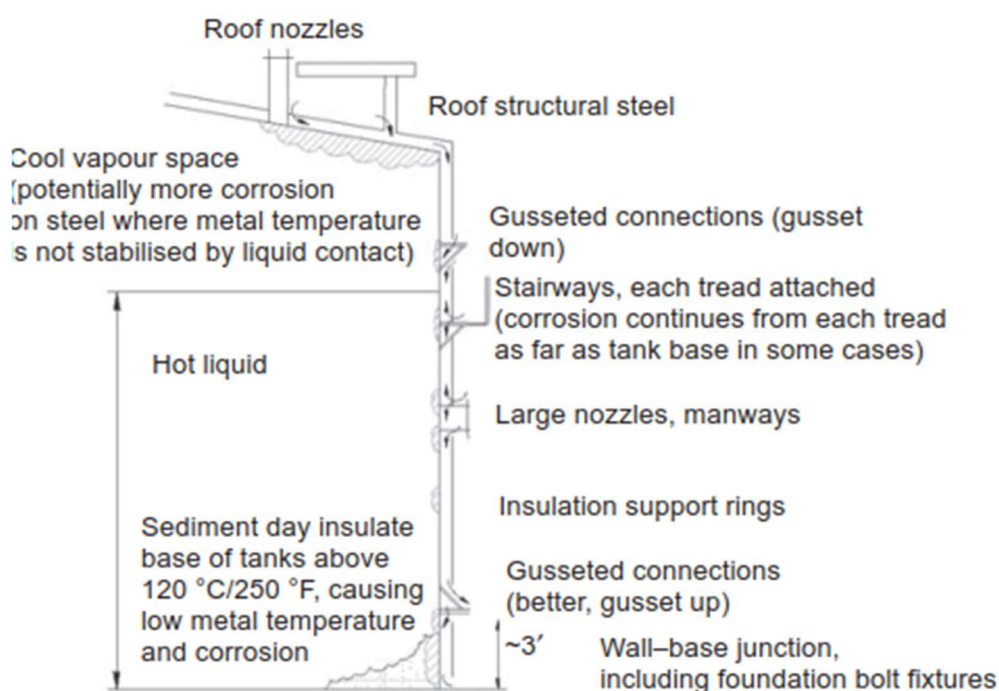
LAITETYYPPI	POTENTIAALINEN SIJAINTI
TANKKI, PALLOSÄILIÖ	Kuningaslevyn yläpuolella olevat alueet Vaurioituneiden tai puutteellisten eristepinnoitteiden alapuolinen alue Portaikon kiinnityskohdat Eristeen tukirenkaat Palosuojatut pallosäiliönjalat (CUF) Eristeen läpiviennit, kuten suuttimet ja muut ulokkeet



Kuva 4. Eristeen tukirenkään CUI-vaurio. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 17.)



Kuva 5. Pallosäiliön luhistuminen CUI-vaurion vuoksi. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 17.)



General notes:

- 1 Water entering roof insulation can cause severe corrosion of walls as well as roof, where impediment to drainage exists. Seriously defective roof weatherproofing can quickly destroy a tank if metal temperatures permit.
- 2 Prolonged flooding of tank area basin due to environmental restrictions on draining is a cause of severe corrosion around base of tank.
- 3 Routinely inspect weatherproofing and steel. Repair insulation damage resulting from inspection.
- 4 Weatherproofing and design corrections are essentially the same as for vessels, except for roof-wall joint.

Kuva 6. Esimerkki tankin alueista, joita CUI erityisesti koskee. (European Federation of Corrosion Publications Number 55 Corrosion-Under-Insulation (CUI) guidelines 2008, 43.)

Lämpösaattojärjestelmiä käytetään suojaamaan putkia jäätymiseltä tai prosessin lämpötilan ylläpitämisessä putkistossa, joka kuljettaa aineita, jotka kiinteytyvät tai menettävät viskositeettiaan ympäristön lämpötiloissa. Lämpösaattojärjestelmät on jaettu keskenään sähkö- ja höyrösaattojärjestelmiin. Suunnittelun näkökulmasta sähkösaattojärjestelmät, joissa on kloriditon (ts. ei-PVC-päällysteinen) sähköeristys olisi ensisijainen valinta, jotta voidaan minimoida CUI-vaurioiden syntymisen riskit. Todellisuudessa suurin osa käytetyistä lämpösaattojärjestelmistä on kuitenkin höyrösaattettuja. Kun höyrösaatto pettää, se ohittaa kaikki toimenpiteet, jotka on tehty CUI-vaurioiden estämiseksi. Höyrösaaton rikkoutuessa se tuo kosteutta, tuhoaa mahdollisen suojapinnoitteen ja nostaa metallin pintalämpötilan CUI-vaurioille suotuisaksi, jollei se sitä jo ole. Nämä järjestelmät pettävät

yleensä eristeiden alla olevista liitoskohdista. Tämän lisäksi samat olosuhteet voivat aiheuttaa ulkopuolista kloridien aiheuttamaa jännityskorroosiota (ECSCC) ruostumattomasta teräksestä valmistetusta putkesta. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 16–17.)

3 CUI- JA CUF-VAURIOIDEN TARKASTAMINEN

3.1 Riskiperusteinen tarkastus (RBI)

RBI: n tarkoituksena on tunnistaa painelaitteita, putkistoja ja palosuojattuja rakenteellisia tukia, jotka kuuluvat CUI- tai CUF-vaurion riskin piiriin, tarkastusten priorisoimiseksi ja tarkastussuunnitelman laatimiseksi riskinhallintaa varten. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 51.) Riskiperusteisen tarkastamisen avulla merkittävä osa laitoksen riskistä voidaan ratkaista keskittymällä suhteellisen vähään laite- tai putkistomäärään. RBI-analyysissä yleensä huomioitavia tekijöitä ovat: laitteiden sijainti, lämpötila, rakennusmateriaalit, laitteiston ikä, pinnoitteiden tyyppi ja kunto, eristystyyppi ja riskipotentiaali prosessin-, liiketoiminnan- ja ympäristön turvallisuutta koskien (API 580 Strategy management 2016, 65–91).

Riskiperusteisen CUI-tarkastussuunnitelman soveltamisessa käytetään neljää(4) vaihetta, jotka ovat: 1. yksikötason priorisointi 2. eristämisen tarpeen kyseenalaistaminen, koska ilman eristettä ei ole eristeen alaista korroosiota 3. tietojen validointi 4. yksityiskohtainen riskiperusteinen tarkastusanalyysi. (European Federation of Corrosion Publications Number 55 Corrosion-Under-Insulation (CUI) guidelines 2008, 17–18.)

Tiedot, joita tarvitaan CUI- tai CUF-vaurioista johtuvan laiterikon todennäköisyyden arvioimiseksi ovat: (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 51-52.)

- tarkka sijainnin ympäristö
- rakennusmateriaali
- komponentin ikä
- toimintaprosessin lämpötila
- altistuminen ajoittaiselle /sykliselle käynnissä ololle
- aiempien tarkastusten historia/tulokset
- alueet, joilla on puuttuva eristys
- eristeen/palosuojauksen tyyppi

- eristeen/palosuojauksen ikä
- käytettävän pinnoitteen tyyppi
- pinnoitteen ikä
- höyrysaaton läsnäolo ja kunto

Tarvittavat tiedot voidaan saada useista eri lähteistä ja ne voivat sisältää alkuperäiset tekniset tiedot, MOC-tietokannat, huoltotöiden tilausrekisterit ja tarkastustiedot. Muut tiedot, jotka liittyvät komponentin fyysiseen kuntoon saadaan selville kenttätarkastuksella. Nämä tarkastukset voidaan sisällyttää suunniteltuun API 510, API 570 ja API 653:ssa esitettyyn ulkopuolisiin tarkastusohjelmiin tai ne voivat olla oma itsenäinen kokonaisuus CUI-tarkastushankkeessa. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 52.)

Suunnitellessa tarkastustarvetta ja sen laajuutta tulee kohteet jakaa arvioidun riskitason mukaan omiin ryhmiinsä. EFCP jakaa kohteet viiteen eri ryhmään. Tarkastuslaajuus sekä eristeiden poistotarve määräytyy riskiarvion mukaan. Taulukkoon 6 on merkitty laitteen tai putkiston riskitasot ryhmä kohtaisesti sekä niiden mukaiset eristeiden poistotarpeet.

Taulukko 6. Riskitasot ryhmittäen ja poistettavien eristeiden osuus.

Riskitaso	Ryhmä	Poistettavien eristeiden osuus
korkea	1	100 %
korkea keskitaso	2	40 %, sekä kaikki kriittiset ja vaurioituneet alueet
keskitaso	3	20 %, sekä kaikki kriittiset ja vaurioituneet alueet
matala	4	Kaikki kriittiset kohteet, joissa on merkkejä mahdollisesta vauriosta
mitätön	5	0 %

Kaikkiin alueisiin, joista poistetaan eriste, tehdään täydellinen visuaalinen tarkastus korroosion havaitsemista ja pinnoitteen kunnan tarkastamista varten. Tämän lisäksi suoritetaan korroosioalueiden arviointi kuoppamittarilla, ultraäänitestauksella tai radiografialla sekä tehdään juurisyyanalyysi vaurioista, jotka ovat kriittisillä alueilla. Tarkastusten jälkeen tehdään kohteen riskien uudelleen arviointi. (European Federation of Corrosion Publications Number 55 Corrosion-Under-Insulation (CUI) guidelines 2008, 44.)

Laitteen tai putkiston eristeet saattavat näyttää olevan hyvässä kunnossa mutta se ei tarkoita, ettei CUI-riskiä olisi olemassa. Tämän vuoksi on tärkeää, että jos tarkastusten yhteydessä havaitaan eristeen alaista korroosiota, tarkastajan tulee tarkastaa myös putkiston muut vastaavat alueet huolimatta eristeen kunnosta. (API 570 Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems 2016, 35)

Putkiston tarkastaminen mahdollisten CUI-vaurioiden osalta voi tulla hyvin kalliiksi, jos kaikki eristemateriaalit pitää poistaa tarkastuksen suorittamiseksi. Tämän takia eristeen poisto tarvetta harkittaessa API 570 suosittelee ottamaan huomioon ainakin (API 570 Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems 2016, 36)

- Onko kyseisessä tai vastaavassa putkistossa ollut aikaisemmin CUI-vaurioita
- Eristeen tai pinnoitteen kunto; ruoste, eristepellin kohoumat, biologinen kasvusto kuten sammal
- Todisteet nestevuodoista
- Onko putkijärjestelmä jaksottaisessa käytössä
- Pinnoitteen ikä/kunto
- Todisteet märästä eristeestä
- Kuinka paljon käytetty eristetyyppi imee vettä
- Taipuneiden putkistojen alaosat
- Pystysuoran putken alaosa
- Läheisyys laitteisiin, jotka voivat lisätä paikallista kosteutta (esim. jäähdystornit)
- Alueet, joilla lämpötila vaihtelee CUI-lämpötila-alueen sisään ja ulos

Käytettävissä on useita eri tapoja eristeen alaisen korroosion havaitsemiseen ja jokaisella on omat hyvät ja huonot puolensa, joita käsitellään tässä työssä myöhemmin. Ennen NDT-menetelmän valitsemista CUI:n havaitsemiseksi tulee huomioida ainakin käytetty metallurgia, käyttöolosuhteet, eristetyyppi ja eristeen paksuus. NDT-tekniikan valitseminen CUI:n havaitsemiseksi vaatii myös yksityiskohtaista tietoa putkistojärjestelmästä tai laitteiden asettelusta, valitun tekniikan hyödyt ja haitat, sekä kustannustehokkuuden kunkin tekniikan osalta (European Federation of Corrosion Publications Number 55 Corrosion-Under-Insulation (CUI) guidelines 2008, 39.)

3.2 Tarkastusmenetelmät

Eristeen alaisen korroosion havaitsemiseen käytettävät menetelmät voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin menetelmiin. Suoralla tarkastusmenetelmällä tarkastus suoritetaan ilman eristeitä ja menetelmä vaatii kosketuksen tarkastettavan laitteen tai putken pinnan kanssa. Epäsuorat menetelmät taas voidaan suorittaa eristeestä huolimatta ja näin ollen ne ovat yleensä halvempia ja nopeampia mutta epätarkempia kuin suorat menetelmät. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 35.)

3.2.1 Visuaalinen tarkastus (VT)

Luotettavin menetelmä CUI:n ja CUF:n havaitsemiseksi hiili- ja niukkaseosterästen teräsjärjestelmien osalta on poistaa eristeet tai palosuojaukset ja silmämääräisesti tarkastettava pinta vahingoittumisen varalta. Visuaalinen tarkastus on ainoa menetelmä, jolla voidaan havaita 100 % kaikista pinnan vaurioista. Menetelmän huonona puolena pidetään sen kustannuksia, jotka syntyvät, kun eristeitä poistetaan ja asennetaan uudelleen, joka myös altistaa henkilöstön kuumille pinnoille. Jos järjestelmä on asbestisuojattu, se edellyttää myös erityisiä varotoimia. Eristeen poisto saattaa aiheuttaa myös prosessihäiriöitä, jos putkisto tai laite on eristeiden poiston aikana käytössä. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 35–36.) Tarkastaessa kohdetta visuaalisesti tulee myös huomioida, että korroosiotuotetta laitteen pinnalla saattaa olla 5-10 kertaa enemmän, mitä seinämä on tosiasiallisesti syöpynyt (European Federation of Corrosion Publications Number 55 Corrosion-Under-Insulation (CUI) guidelines 2008, 130).

3.2.2 Tunkeumanestetarkastus (PT)

Tavallisesti eristettyjen, ruostumattomasta teräksestä valmistettujen laitteiden kloridien aiheuttamaa ulkopuolista jännityskorroosiota ei yleensä havaita ennen kuin vuoto tapahtuu. Kun tämä tapahtuu, alue pystytään tarkastamaan tehokkaasti PT:llä vahingon laajuuden määrittämiseksi. Pintalämpötilan tulee yleensä olla alle 49 °C jos käytetään tunkeumanestettä. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fi-

reproofing 2014, 36.) Menetelmän hyvänä puolena voidaan pitää sen tarkkuutta huomata jopa pistekorrosiota sekä jännityskorrosiota, haittapuolena menetelmällä taas on sen hitaus sekä sen riippuvuus tarkastettavan alueen pinnasta, koska menetelmä ei havaitse murtumia voimakkaasti korrodoituneilta alueilta. (European Federation of Corrosion Publications Number 55 Corrosion-Under-Insulation (CUI) guidelines 2008, 51). Penetrantit syttyvät helposti altistuessaan korkeille lämpötiloille ja kylmät pinnat vaativat pidemmän tunkeutumisajan, jotta penetrantilla on riittävästi aikaa vetäytyä halkeamaan (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 36).

3.2.3 Guided-wave (GWT)

GWT:tä voidaan käyttää ulko- ja sisäpuolisen korroosion havaitsemiseen putkistossa ja sillä voidaan myös tarkastaa kattavasti pitkiä matkoja putkilinjaa oikeissa olosuhteissa. GWT käyttää matalan taajuuden ultraääniantureita, jotka on kiinnitetty putken kehän suuntaan ja se lähettää aksiaalisesti symmetrisiä aaltoja molempiin suuntiin pois anturiyhmästä. GWT:tä käytetään enemmän seulontamenetelmänä CUI-vaurioiden mahdollisten alueiden tunnistamiseksi ja tarkastus voidaan suorittaa ilman laajaa eristysjärjestelmän poistamista. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 37.)

GWT:n hyvinä puolina voidaan pitää pientä eristeiden poisto tarvetta sekä, että menetelmällä pystytään tarkastamaan jopa 60 metriä putkistoa yhdellä kerralla. GWT:n avulla pystytään havaitsemaan myös vauriot, jotka maan alla tai muuten luokse päästämättömissä (European Federation of Corrosion Publications Number 55 Corrosion-Under-Insulation (CUI) guidelines 2008, 134). Putkikoko on vain harvoin rajoittava tekijä, koska menetelmää voidaan soveltaa putkikoon ollessa 2-48 tuumaa. Menetelmän huonoina puolina voidaan pitää, että sitä ei voi käyttää kohteissa, joiden lämpötila on yli 125 °C. Suuriviskositeettiset nesteet ja raskaat ulkoiset päällysteet, kuten betoni rajoittaa tarkastuksen kattavuutta, paikallista pistesyöpymää tai korrosioita ei menetelmä välttämättä havaitse, jos sitä esiintyy aivan hitsin läheisyydessä. Tekniikka on myös hyvin käyttäjä riippuvainen, joka vaikuttaa tarkastusten toistettavuuteen ja aiempien tulosten vertailukelpoisuuteen. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 38.)

3.2.4 Radiograafinen tarkastus (RT)

Radiografia vaatii olennaisesti säteilylähteen havaitsemisalustaa vasten, joka tallentaa säteilyn filmille tai digitaalisena kuvana. On olemassa erilaisia tekniikoita, joissa käytetään radiograafisia menetelmiä, joita voidaan käyttää havaitsemaan CUI-vauriot. Näitä ovat profiiliradiografia, filmin tiheysradiografia, radiometrinen profilointi, reaaliaikainen radiografia, laskennallinen radiografia (CR) ja digitaalinen radiografia (DR). (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 38.)

Menetelmän hyvinä puolina on, ettei eristeitä tarvitse poistaa kuvauksia varten, tarkastus pystytään suorittamaan kohteen ollessa käynnissä/käytössä ja se näyttää korroosion aiheuttaman sisäisen ja ulkoisen oheneman. Menetelmää rajoittaa, että kuva näyttää seinämästä vain pienen osan, sekä turvallisuus-, terveysseikat. Tämän lisäksi tulee huomioida, että testialueet vaativat esteitä, joilla rajoitetaan alueelle pääsyä säteilyn vuoksi. Menetelmä on myös hidas ja sopii luotettavasti vain putkille, joiden NPS on pienempi kuin 8 tuumaa. (European Federation of Corrosion Publications Number 55 Corrosion-Under-Insulation (CUI) guidelines 2008, 48.)

3.2.5 Lämpökuvaus (IR)

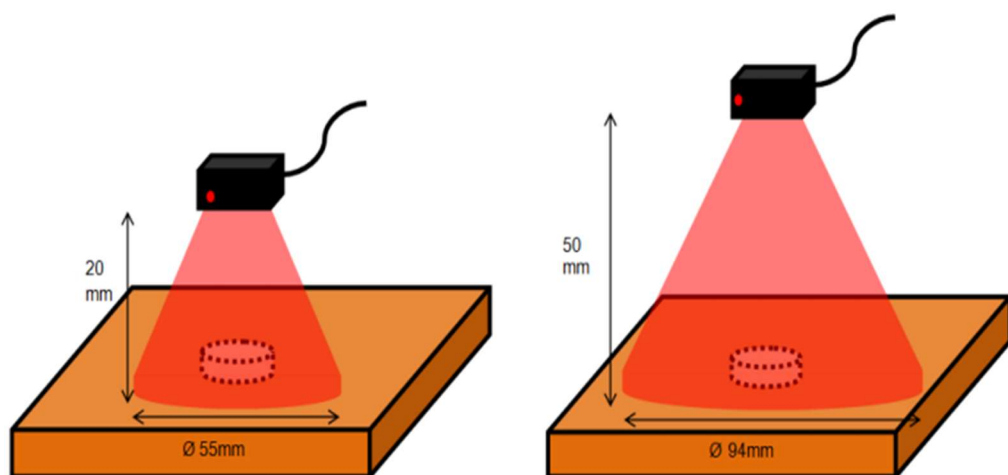
Lämpökuvausta ei ole suunniteltu eristeen alaisen korroosion havaitsemiseen mutta oikeissa olosuhteissa sillä voidaan havaita märät eristeet, koska kuivan ja lämpimän eristeen välillä on yleensä lämpötila ero. Märkä eriste ei kuitenkaan välittömästi tarkoita, että eristeen alla on korroosiota mutta se on merkki siitä, että märkä eriste tulee vaihtaa mahdollisimman nopeasti ennen, kuin korroosiota alkaa syntymään. (European Federation of Corrosion Publications Number 55 Corrosion-Under-Insulation (CUI) guidelines 2008, 137.) Menetelmä on nopea tapa havaita märkä eriste eikä se vaadi eristeiden poistamista. Lämpökuvaus on myös helppokäyttöinen menetelmä, jolla korostetaan tarkastus seurantaa vaativia alueita. Menetelmän huonoina puolina se ei havaitse itse korroosiota, eikä se ole tehokas tapa märän eristeen havaitsemiseen, jos eristeellä on ollut aikaa kuivua. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 50.)

3.3 Pyörrevirtatarkastus (PEC)

Vaiheistetulla pyörrevirtatekniikalla voidaan mitata ferromagneettisen materiaalin jäljellä olevaa suhteellista seinämävahvuutta eristeen läpi (European Federation of Corrosion Publications Number 55 Corrosion-Under-Insulation (CUI) guidelines 2008, 135).

Menetelmän hyvinä puolina voidaan pitää sen laajaa käyttölämpötila-alueetta, joka on yleensä -100 °C ja $+550\text{ °C}$ asteen välillä (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 46). Menetelmä ei vaadi kosketusta tarkastettavan pinnan kanssa, eikä tarkastuspinta vaadi myöskään valmisteluja. Sähköä johtamattomat ja ei magneettiset, kuten eristevilla ei häiritse PEC-signaalia, myöskään korrosiotuotteet eivät estä mittaamista, eivätkä vääristä mittatuloksia. (Innospection 2017.)

Menetelmän suurimpana heikkoutena voidaan pitää, että seinämän paksuuden mittaaminen on keskiarvo luotaimen ”footprintin” alapuolisesta alueesta, ts. karkeasti ympyränmuotoinen alue, jossa pyörrevirrat virtaavat. Footprintin halkaisija on suunnilleen sama kuin kaksi kertaa luotaimen ja mittakohteen välinen etäisyys. Käytännössä tämä merkitsee sitä PEC soveltuu yleiseen seinämähäviön havaitsemiseen eikä menetelmä pysty havaitsemaan pieniä paikallisia korrosiokuoppia. Luotaimen footprintin koko vaikuttaa myös siihen, että kuinka pienen vaurion luotaimella voi havaita, mitä suurempi footprint, sitä suurempi vaurion on myös oltava, jotta se voidaan luotettavasti havaita



Kuva 7. Esimerkki kuva luotaimen jalanjäljestä, kahdella eri lift-offilla (Innospection 2017.)

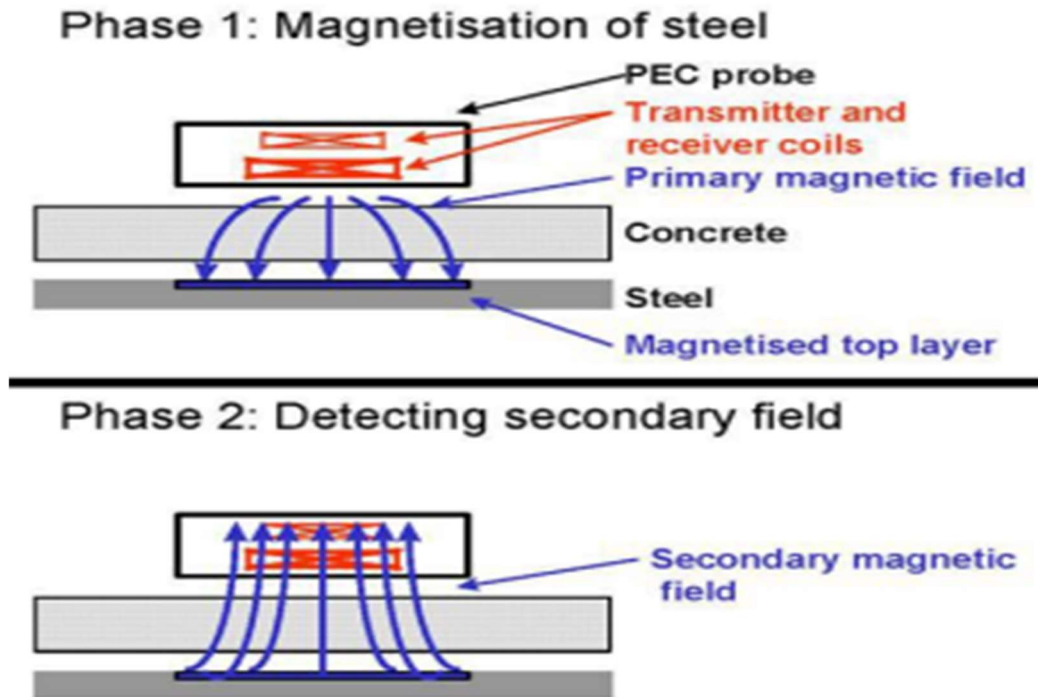
4 PYÖRREVIRTATARKASTUSMENETELMÄ (PECT)

4.1 Pyörrevirtatekniikan periaate

Vaiheistettu pyörrevirta eli PEC on eristeiden alaista korroosiota varten käytetty tarkastustekniikka, jota voidaan soveltaa teräsrakenteisissa putkissa, painesäiliössä, varastosäiliöissä ja pallosäiliöiden jaloissa ilman tarvetta koskettaa teräspintaa. PECT on sähköstaattinen tekniikka, jolla pystytään mittaamaan teräspaksuuden vaihteluväliä minkä tahansa sähköä johtamattoman ja ei-magneettisen materiaalin läpi. PEC on vertailutekniikka, jossa kohteelle mitattuja vaihteluita verrataan kalibrointiarvoon, jonka oletetaan aina olevan koko seinämän paksuus. (Innospection 2017.)

PEC-mittaukset voidaan jakaa kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa lähetinkelaan syötettävä virta synnyttää magneettikentän luotaimen ympärille, jota kutsutaan "primaarikentäksi". Ensisijaiseen kenttään ei vaikuta sähköä johtamattomien ja ei-magneettisten materiaalit ja se tunkeutuu pinnoitteen läpi ilman kosketusta alla olevan teräspinnan kanssa. Tällä tavalla suoraan luotaimen kelojen alla oleva hiiliteräs magnetoituu. (Innospection 2017.)

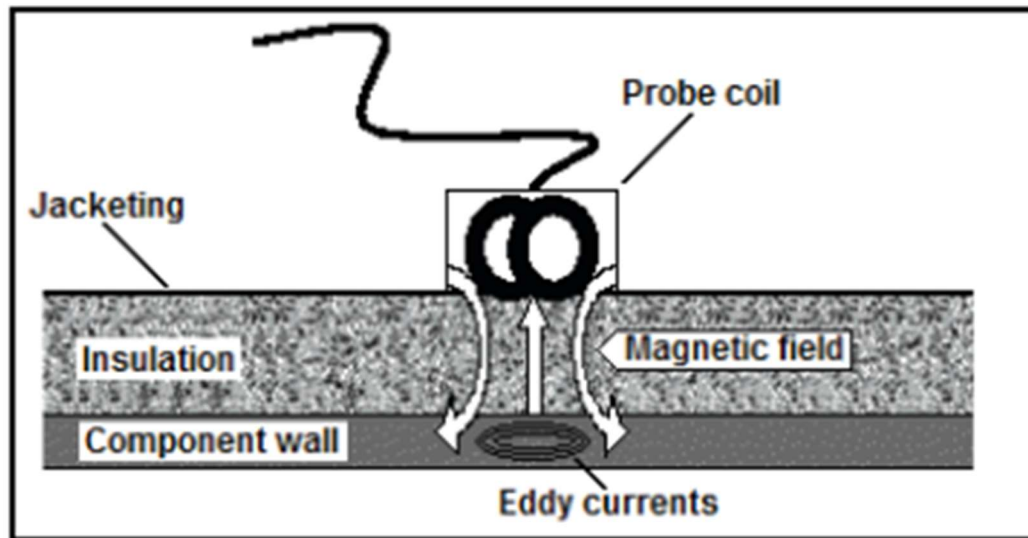
Mittauksen toisessa vaiheessa lähetinkeloissa oleva virta katkaistaan ja sen seurauksena primaarinen magneettikenttä romahtaa. Muuttuva magneettikenttä indusoi sähköistä pyörrevirtaa teräsmateriaalin pinnalla ja nämä pyörrevirrat aiheuttavat toissijaisen magneettisen kenttä, joka saavuttaa PEC-luotaimen vastaanottokelat, jotka aiheuttavat siihen jännitteen. Tämän jännitteen suuruutta ajan funktiona kutsutaan "PEC-signaaliksi". (Innospection 2017.)



Kuva 8. PEC-tekniikan toiminta periaate (Innospection 2017.)

PEC-signaali kertoo teräksen paksuudesta ja siinä on sekä sisempänä että ulompana oleva pinta. Aluksi pyörrevirrat rajoittuvat luotainta lähempänä olevaan pintaan, liikkuen kohti kauempana olevaa pintaa. Kun se on saavuttanut kauempana olevan pinnan, pyörrevirran voimakkuus pienenee nopeasti ja tätä kutsutaan ”siirtymäpisteeksi”. Siirtymäpisteen pääsyyn käytetty kertoo siis jäljellä olevan seinämän paksuuden, eli mitä nopeammin siirtymäpisteeseen päästään niin sitä ohuempi tarkastettavan seinämän on oltava. (Innospection 2017.)

Koska vaiheistettu pyörrevirta vertaa seinämän paksuutta kalibroituun seinämävahvuuteen, joka on yleensä seinämän nimellispaksuus, se ei kerro absoluuttista jäljellä olevaa seinämävahvuutta vaan kuinka monta prosenttia asetetusta kalibrointi mitasta on jäljellä. Pyörrevirtatekniikka soveltuu parhaiten sellaisten epäjatkuvuuksien etsintään, jotka ovat kohtisuoraan pyörrevirtakentän voimaviivoja vastaan ja aiheuttavat äkillisen muutoksen kappaleen poikkipinnassa, muussa tapauksessa näyttämät voivat olla heikkoja tai niitä ei saada lainkaan. Tarkastaessa putkea saattavat poikkisuuntaiset halkeamat jäädä havaitsematta, jonka vuoksi on suositeltavaa selvittää syöpymisien ilmenemismuodot ennen tarkastusta. (Barck 2004, 831.)



Kuva 9. Pyörrevirtatekniikan toimintaperiaate. (API Recommended Practice 583 Corrosion Under Insulation And Fireproofing 2014, 47.)

4.2 Eri palveluntoimittajien laitteiston vertailu

Vaiheistettua pyörrevirtatekniikkaa käytetään laajasti eri käyttökohteille, kuten paksuusmittaukseen ja korroosion havaitsemiseen esimerkiksi putkistossa tai painelaitteissa. Menetelmän monipuolisuuden ja vaivattomuuden vuoksi siitä, onkin tullut suosittu tarkastusmenetelmä ja useat tarkastuslaitokset tarjoavat kyseistä palvelua. Vaikka toimintaperiaate pyörrevirtatekniikalle onkin kaikilla sama, laitteistossa on kuitenkin eroja, jotka on hyvä käydä läpi huolellisesti ja arvioida, mikä sopii omiin tarpeisiin parhaiten ja on kustannustehokkain.

Innospectionin käyttämällä laitteistolla luvataan pienimmän havaittavan vaurion 6” putkella, jonka seinämävahvuus on 7,11mm, olevan 40mm \varnothing , jos vaurion syvyys 50 % seinämävahvuudesta, kun eristepaksuus on 50mm. Tarkastusnopeus on sitä hitaampi mitä suurempi putken halkaisija on, tarkastusnopeus 2” putken koko ympärysmitalle on noin 12 metriä tunnissa ja 8” putkelle 5 metriä tunnissa. (Innospection 2017)

Eddyfi taas lupaa oman luotaimensa havaitsevan vaurion, jonka halkaisija on 33mm, jos eriste paksuus on 50 mm ja vaurion syvyys 50 % nimellisestä seinämävahvuudesta, nimellinen seinämävahvuus ei vaikuta havaittavan vaurio kokoon. Tarkastusnopeus 8”

putken kokoympärysmitalle on noin 8 metriä tunnissa. Valittavana Eddyfin tarjoamista laitteista on myös Pulsed Eddy Current Array-laite (PECA). PECA on periaatteessa putken ympärille laitettava panta, jossa on 6 pyörrevirtaluotainta, jolla tarkastusnopeus paranee merkittävästi. PECA kykenee Eddyfin mukaan luotettavasti havaitsemaan vaurion, jonka halkaisija on 65 mm jos eristepaksuus on 50 mm ja vaurion syvyys 50 % seinämän nimellisvahvuudesta. Tarkastusnopeus 8” putken koko ympärysmitalle voi olla jopa 26 metriä tunnissa. (Eddyfi.)

5 KÄYTETTY LAITTEISTO

5.1 Laitteisto

Menetelmän testaamista varten laitteistoksi valittiin Eddyfin kehittämä PECA-6CH-MED-luotain, joka on periaatteessa kuudesta yksittäisluotaimesta koostuva panta, joka kiinnitetään putken ympärille ja sillä pystytään tarkastamaan 457 mm leveä alue yhdellä kertaa. Pienin putkikoko kokonaishalkaisijaltaan, jonka laitteella pystyy tarkastamaan, on 152mm. Tarkemmin putken ulkohalkaisijan tulee olla vähintään 102mm ja liftoffin 25mm. Valmistajan mukaan pienin jäljellä oleva seinämävahvuus tulee olla 15 % nimellisvahvuudesta, jotta laite havaitsee vaurion, reikiä laite ei siis havaitse. Pienin vaurio, jonka laite havaitsee, on 15 % luotaimen jalanjäljestä, jos vaurio on tarpeeksi syvä. Ohjelma, jota käytetään mittausten lukemiseen, pystyy käsittelemään 50 % vaihtelun eristepaksuudessa. Tämä on hyödyllistä, koska silloin ei tarvitse huomioida eristeessä mahdollisesti olevia kuoppia tai muita vaurioita. Laitteen soveltuvuutta Naantalin jalostamolle rajoittaa sinkityt hiiliteräksiset eristepinnoitteet. PECA ei pysty luotettavasti havaitsemaan vaurioita, jos eristepinnoite on sinkitty. Naantalin jalostamolla suurin osa eristepinnoiteista on kuumasinkittyä, puralpinnoitettua hiiliterästä, joka rajaa PECA:n käytön lähes olemattomiin.

Toiseksi laitteeksi valittiin PEC-GS-089-G2-yksittäisluotain. PEC-GS on laite, joka on kehitetty nimenomaan sinkityille eristepinnoitteille. Koska sinkityt pinnat eivät ole tälle luotaimelle ongelma se soveltuu Naantalin jalostamolle huomattavasti paremmin kuin PECA. Yksittäisluotaimen luonteesta johtuen, putken koko ympärysmittan tarkastaminen on huomattavasti hitaampaa kuin PECA:lla. PEC-GS kykenee noin 8 m/tunnissa tarkastusnopeuteen, jos tarkastettava putki on halkaisijaltaan 8 tuumaa ja tarkastus suoritetaan putken koko kehälle. Luonnollisesti putken halkaisija vaikuttaa tarkastusnopeuteen, mitä suurempi putken halkaisija, sitä kauemmin kestää putken tarkastaminen sen koko ympärysmitalta. Toisaalta PEC-GS soveltuu putkille, joiden halkaisija on 1” ja se soveltuu paremmin myös kannakkeiden ympäristön tarkastamiseen paremmin kuin PECA-luotain. Käytännön kokemus on myös osoittanut, että eristeen alaisesta korroosiosta johtuvat vauriot ovat yleensä syntyneet putken alapinnalle. Tämän vuoksi ei putken koko kehän mitalta suoritettava tarkastus ole välttämätön.

5.2 Tekniset tiedot

Valituilla laitteilla on tiettyjä rajoituksia käyttöalueen suhteen, jotka tulee ottaa huomioon harkittaessa laitteen soveltuvuutta omiin tarpeisiin ja mahdollisiin käyttökohteisiin. Alla olevaan kuvaan on maalattu vihreällä rajat seinämävahvuksille sekä eristepaksuudelle, joiden sisällä laitetta voidaan käyttää.

Taulukko 7. PECA-luotaimen käyttöalue (Eddyfi.)

		Liftoff									
		mm	0	25	38	51	64	76	89	102	127
Seinämävahvuus	3										
	6										
	10										
	13										
	16										
	19										
	25										
	32										

Taulukko 8. PECA-luotaimen käyttöalue (Eddyfi.)

		Liftoff														
		mm	0	6	13	19	25	38	51	64	76	89	102	127	152	178
Seinämävahvuus	3															
	6															
	10															
	13															
	16															
	19															
	25															
	32															
	38															
	51															
	64															

Eristepaksuus vaikuttaa luotaimen jalanjälkeen, joka taas määrittää pienimmän mahdollisen koon vauriolle, joka voidaan luotettavasti havaita. Laitteen liftoff on 0 mm ilman eristettä ja silloin PECA:n footprint on 46 mm ja PEC-GS:n 62 mm. Tätä mitta käytetään, kun lasketaan laitteen jalanjälkeä eri eristepaksuuksille. Seuraavaa kaavaa voidaan, jos halutaan laskea footprint jollekin tietyille liftoffille.

*Jalanjälki, mm $\cong 0.65 * \text{liftoff} + \text{pienin mahdollinen jalanjälki}$*

Kaava 1. Luotaimen jalanjäljen koon laskemiseen käytettävä kaava (Eddyfi.)

Eddyfi tarjoaa myös valmista taulukkoa, jolla voi tarkistaa luotaimen jalanjäljen eri eris-
tepakkuuksille. Taulukko vähentää arviointivirheiden määrää sekä auttaa arvioimaan tar-
kastuksen tarkkuutta.

Taulukko 9. PECA-luotaimen footprint eri liftoffeilla (Eddyfi.)

Footprint	mm	Liftoff									
		0	25	38	51	64	76	89	102	127	
PECA-6CH-MED	mm	46	62	70	79	87	95	104	112	112	-

Taulukko 10. PEC-GS-luotaimen footprint eri liftoffeilla (Eddyfi.)

Footprint	mm	Liftoff												
		0	13	25	38	51	64	76	89	102	127	152	203	254
PEC-GS-089-G2	mm	-	70	79	87	95	103	112	120	128	145	161	194	-

Tärkeimpänä asiana menetelmää käyttäessä tulee ottaa huomioon pienimmät mahdolli-
set havaittavat vauriot eri liftoffeilla. Vaurion havaittavuuteen vaikuttaa liftoffin lisäksi
myös vaurion syvyys. Tämä tulee huomioida tarkastusten yhteydessä eikä sokeasti luot-
taa tarkastustulokseen. Vaurioiden havaitsemiseen vaadittava vähimmäishalkaisija on
nähtävistä Eddyfin tarjoamasta taulukosta.

Taulukko 11. PECA:lla havaittavien eri syvyisten vaurioiden vähimmäishalkaisijat (Eddyfi.)

		Vaurion syvyys seinämän nimellisvahvuudesta						
		10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	
Liftoff	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Vaurion vähimmäishalkaisija
	0	76	54	44	38	34	31	
	12	92	65	53	46	41	38	
	25	107	76	62	53	48	44	
	38	120	85	69	60	54	49	
	50	131	92	75	65	58	53	
	64	142	101	82	71	64	58	
	75	151	107	87	75	67	62	
	90	162	114	93	81	72	66	
	102	170	120	98	85	76	69	

Taulukko 12. PEC-GS:llä havaittavien eri syvyisten vaurioiden vähimmäishalkaisijat (Eddyfi.)

		Vaurion syvyys seinämän nimellisvahvuudesta						
		10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	
Liftoff	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Vaurion vähimmäishalkaisija
	0	-	-	-	-	-	-	
	12	86	61	49	43	38	35	
	25	98	69	57	49	44	40	
	45	110	78	64	55	49	45	
	60	122	87	71	61	55	50	
	75	135	95	78	67	60	55	
	90	147	104	85	73	66	60	
	105	159	113	92	80	71	64	
	120	171	121	99	86	77	70	
	135	184	130	106	92	82	75	
	150	196	139	113	98	88	80	

Taulukkoa lukemalla nähdään, että osa vaurioista saattaa jäädä havaitsematta, jonka takia onkin tärkeää ymmärtää, että pyörrevirtatarkastus sopii parhaiten vain yleisen korroosion havaitsemiseen. Jos eriste on vaurioitunut tai on vahva epäily eristeiden alaisesta korroosiosta, on suositeltavaa poistaa eriste, vaikka tarkastuksen mukaan eristeiden alla oleva teräspinta olisikin vaurioitumaton. Eristeen paksuus vaikuttaa myös suuresti vaurioiden havaittavuuteen. Naantalin jalostamon putkiston eristeet ovat paksuudeltaan pääasiassa 50-120mm, joten taulukkoa lukemalla voidaan nähdä minkä kokoista vaurion tulisi olla, että se voidaan luotettavasti havaita.

6 MENETELMÄN TESTAUS

Menetelmän testaus suoritettiin Nesteen Naantalin jalostamolla 12–13.3.2019. Testauksen suoritti Larbi Hallal ja Michel Bezemer, molemmat olivat Eddyfin edustajia. Saaduilla tuloksilla arvioitiin menetelmän ja laitteiden soveltuvuutta jalostamo käyttöön ja osaksi Naantalin jalostamon CUI-kartoitusta. Menetelmän hyväksymisstandardia sovellettiin ainoastaan Nesteen testiputkelle. Testimäärien vähyyden vuoksi saatuja vaurioiden havaitsemisprosentteja ei voi pitää luotettavana. Muut kohteet olivat mukana, jotta saatiin arvio laitteen soveltuvuudesta muille jalostamolla käytössä oleville laitteille.

Menetelmän demoa varten pyrittiin saamaan mahdollisimman monipuoliset kohteet, jotta menetelmän soveltuvuutta pystyttäisiin kattavasti arvioimaan. Kohteita olivat: kaksi testiputkea, yksi putkiston kenttäkohde, sekä nestekaasusäiliön palosuojattu teräsalka. Nesteen 4” testiputkeen oli hiottu erikokoisia, sekä -syvyisiä kuoppia, joiden oli tarkoitus jäljitellä korroosion aiheuttamaa syöpymää.

6.1 Pätevyyskokeen hyväksymisstandardit

Nesteellä ei ollut aiempaa kokemusta pyörrevirtatekniikan hyödyntämisestä eristeen alaisen korroosion havaitsemisesta, jonka vuoksi piti luoda menetelmää varten hyväksymisstandardit, joiden perusteella pystyttäisiin arvioimaan menetelmän ja testatun laitteen soveltuvuus jalostamolle. Tässä työssä hyväksymisstandardeina käytettiin API 653 esitettyä taulukkoa, joka on tarkoitettu säiliöiden pohjalevyä varten mutta se sopii hyvin putkistolle, koska siinä esiintyvät seinämävahvuudet ovat suhteellisia eivätkä absoluuttisia mittoja. Taulukon määrittämiä havaitsemisprosentteja voidaan pitää hyvänä mittarina putkistotarkastuksiin ja jos annetut ehdot täyttyvät, voidaan menetelmää pitää luotettavana ja luotettavuuden kannalta soveltuvaksi jalostamolle. Menetelmän lopullista luotettavuutta ei voida tässä työssä suoritettulla otannalla pätevästi kertoa, koska vähäinen testimäärä saattaa vääristää tuloksia.

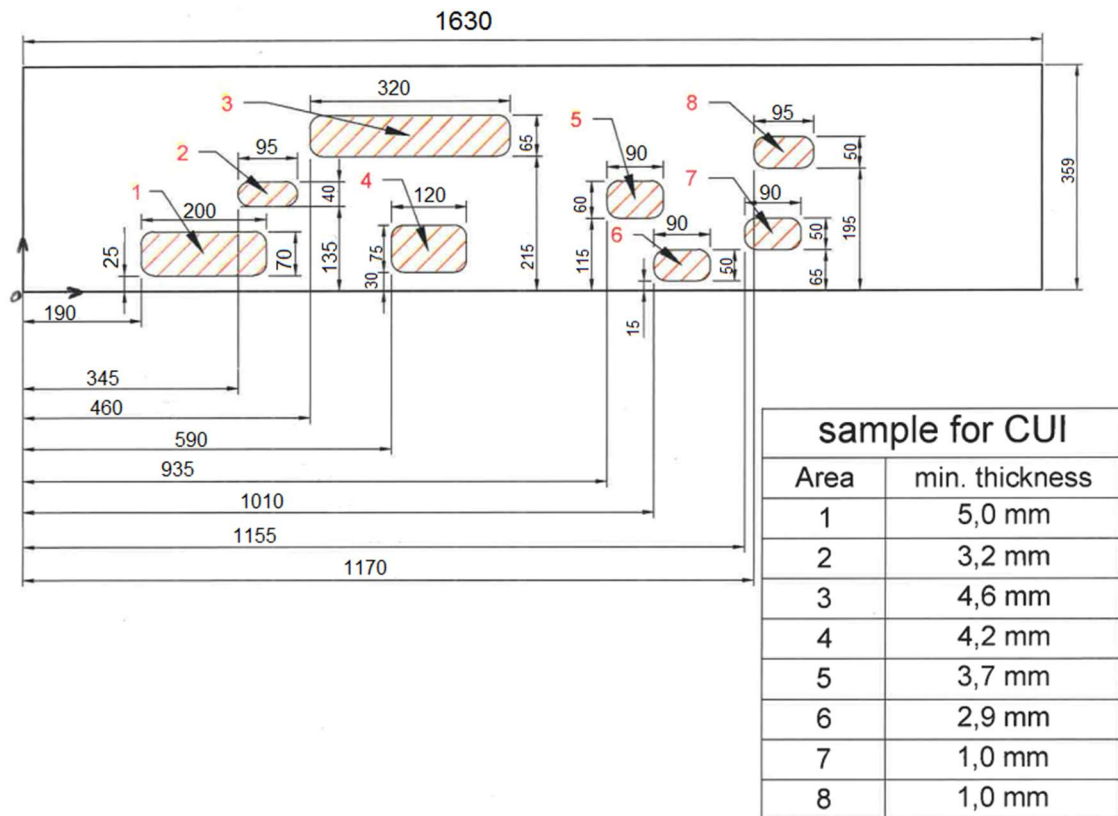
Seuraavat hyväksymiskriteerit tulee täyttää, kun määritetään tarkastusmenettelyn pätevyttä. Jos kaikki hyväksymiskriteerit täyttyvät, menettelyä voidaan pitää pätevänä. Tilaajat/käyttäjät voivat käyttää korvaavia vaihtoehtoisia hyväksymiskriteerejä, jotka voivat olla enemmän tai vähemmän konservatiivisia, perustuen heidän erityistarpeisiin ja vaatimuksiin. (API 653 Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction 2014, 144)

Taulukko 13. Seinämässä oleville vaurioille asetetut havaitsemisprosentit vaurion koon mukaan. (API 653 Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction 2014, 145.)

Jäljellä oleva seinämän paksuus (t), nimellinen seinämän paksuus (T)	Vaurioista tulee löytyä
$t < 1,27$	90 % -100 %
$1,27\text{mm} < t < \frac{1}{2}T$	70 % - 90 %
$\frac{1}{2}T < t < \frac{2}{3}T$	40 % - 60 %
Yleisen korroosion alue	100 %

6.2 Nesteen testiputki

Eristepaksuus Nesteen testiputkelle oli 50 mm, seinämävahvuuden ollessa 6,02 mm. Kuvassa 10 on esitetty putkeen hiotut vauriot sekä niiden syvyudet. Keinotekoisista vaurioista tehtiin taulukko, johon oli merkitty vaurion ala, todellinen jäljellä oleva seinämävahvuus sekä saadut tarkastustulokset. Taulukkoon merkittiin myös prosentuaalinen jäljellä oleva seinämävahvuus, koska käytettävät laitteet ilmoittavat seinämän suhteellisen paksuuden eivätkä absoluuttista jäljellä olevaa seinämävahvuutta. Vaurion havaitseminen merkittiin vihreällä pohjavärillä ja havaitsemattomuus merkittiin punaisella pohjavärillä. Eddyfin edustajille ei kerrottu vaurioiden sijaintia, kokoa tai syvyyttä, näin testi oli luotettavampi.

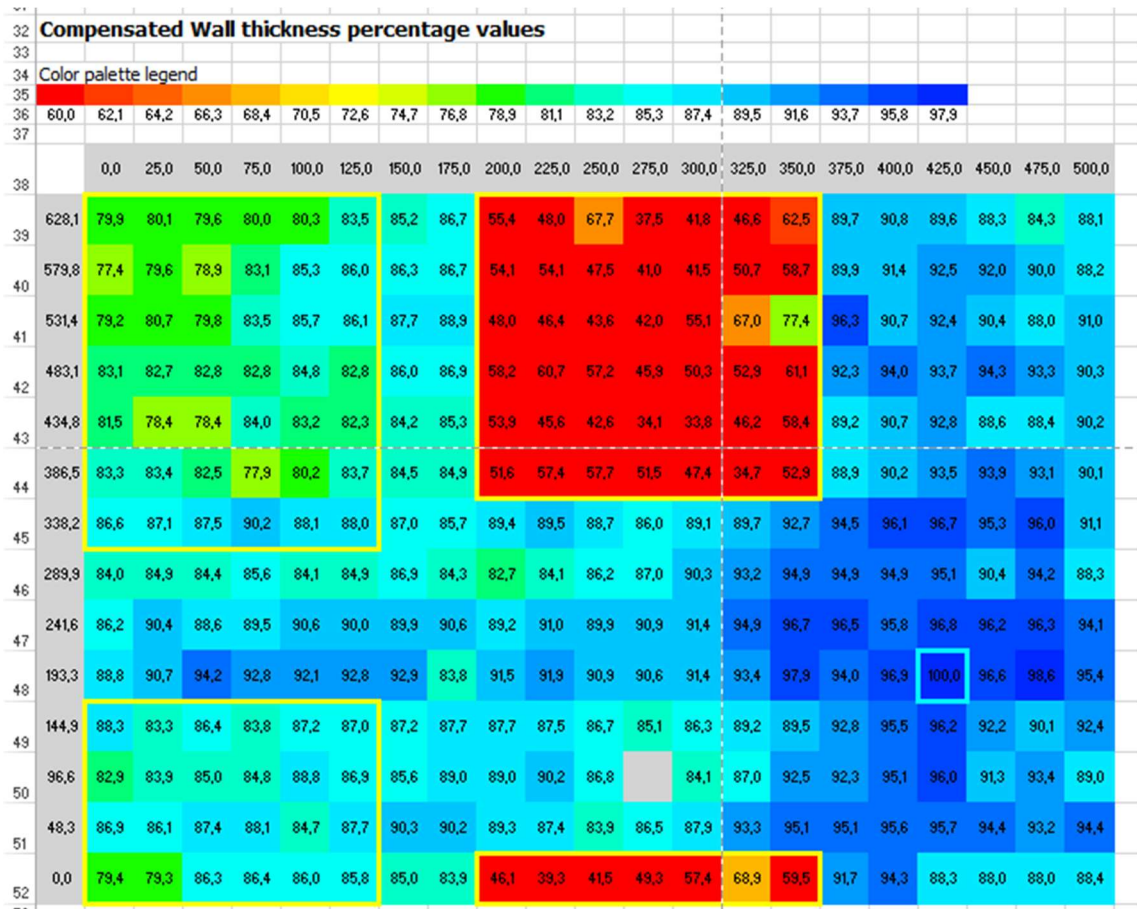


Kuva 10. Testiputken leikkauskuva, johon on merkattu keinotekoisten vaurioiden sijainnit, koko ja syvyys (Dekra Industrial.)

Testin yhteydessä havaittiin, että sinkitty hiiliteräspelti heikentää vaurioiden havaitsemistarkkuutta. Laitte havaitti vauriot 5,6,7 ja 8 mutta laitteen ilmoittama jäljellä oleva seinämävahvuus oli suurempi kuin todellinen seinämävahvuus. Havaitut vauriot on merkitty taulukkoon 14. Eristepinnoitteen ja eriste villan välissä oli myös alumiinifolioon käärittyä kanaverkkoa, joka myös vaikeutti tarkastuksen suorittamista. Eddyfin ilmoittama tarkastusnopeus yksittäisluotaimella ei pitänyt täysin paikkansa. Tarkastusnopeudeksi voidaan sanoa noin 5 metriä tunnissa, jos tarkastettava kohde on luokse päästävyydeltään hyvä ja ympärillä on tarpeeksi tilaa tarkastuksen suorittamiselle. Sinkitystä hiiliteräspelistä johtuneen havaitsemisherkkyuden heikentymisen vuoksi, keskityttiin testiputkessa vain toiseen puolikkaaseen, jossa sijaitti syvemmät vauriot. Laitte havaitti neljä aluetta, joista on seinämävahvuus pienentynyt. Tämän jälkeen saadut tulokset käytiin tarkemmin läpi tietokoneella käyttäen apuna compensated wall thickness-työkalua (CWT). Työkalun avulla pystytään pienentämään mittausaluetta, jonka seinämävahvuuden keskiarvoa laite on mitannut ja siten saamaan tarkempia tuloksia kiinnostusta herättäneiltä alueilta. Kuvassa 11 on esitetty havaitut vauriot heti tarkastuksen yhteydessä. Kuvassa 12 on tuloksia tarkennettu compensated wall thickness-työkalun avulla.

55	Wall thickness percentage values																					
56	Color palette legend																					
57	60,0	62,1	64,2	66,3	68,4	70,5	72,6	74,7	76,8	78,9	81,1	83,2	85,3	87,4	89,5	91,6	93,7	95,8	97,9			
58	0,0	25,0	50,0	75,0	100,0	125,0	150,0	175,0	200,0	225,0	250,0	275,0	300,0	325,0	350,0	375,0	400,0	425,0	450,0	475,0	500,0	
62	628,1	79,9	80,1	79,6	80,0	80,3	83,5	85,2	86,7	86,4	84,2	90,2	81,0	82,3	83,7	88,6	89,7	90,8	89,6	88,3	84,3	88,1
63	579,8	77,4	79,6	78,9	83,1	85,3	86,0	86,3	86,7	86,0	86,0	84,0	82,0	82,2	85,0	87,4	89,9	91,4	92,5	92,0	90,0	88,2
64	531,4	79,2	80,7	79,8	83,5	85,7	86,1	87,7	88,9	84,2	83,7	82,8	82,3	86,3	90,0	93,1	96,3	90,7	92,4	90,4	88,0	91,0
65	483,1	83,1	82,7	82,8	82,8	84,8	82,8	86,0	86,9	87,3	88,0	87,0	83,5	84,9	85,7	88,2	92,3	94,0	93,7	94,3	93,3	90,3
66	434,8	81,5	78,4	78,4	84,0	83,2	82,3	84,2	85,3	86,0	83,4	82,5	79,9	79,8	83,6	87,3	89,2	90,7	92,8	88,6	88,4	90,2
67	386,5	83,3	83,4	82,5	77,9	80,2	83,7	84,5	84,9	85,3	87,0	87,1	85,2	84,0	80,1	85,7	88,9	90,2	93,5	93,9	93,1	90,1
68	338,2	86,6	87,1	87,5	90,2	88,1	88,0	87,0	85,7	89,4	89,5	88,7	86,0	89,1	89,7	92,7	94,5	96,1	96,7	95,3	96,0	91,1
69	289,9	84,0	84,9	84,4	85,6	84,1	84,9	86,9	84,3	82,7	84,1	86,2	87,0	90,3	93,2	94,9	94,9	94,9	95,1	90,4	94,2	88,3
70	241,6	86,2	90,4	88,6	89,5	90,6	90,0	89,9	90,6	89,2	91,0	89,9	90,9	91,4	94,9	96,7	96,5	95,8	96,8	96,2	96,3	94,1
71	193,3	88,8	90,7	94,2	92,8	92,1	92,8	92,9	83,8	91,5	91,9	90,9	90,6	91,4	93,4	97,9	94,0	96,9	100,0	96,6	98,6	95,4
72	144,9	88,3	83,3	86,4	83,8	87,2	87,0	87,2	87,7	87,7	87,5	86,7	85,1	86,3	89,2	89,5	92,8	95,5	96,2	92,2	90,1	92,4
73	96,6	82,9	83,9	85,0	84,8	88,8	86,9	85,6	89,0	89,0	90,2	86,8		84,1	87,0	92,5	92,3	95,1	96,0	91,3	93,4	89,0
74	48,3	86,9	86,1	87,4	88,1	84,7	87,7	90,3	90,2	89,3	87,4	83,9	86,5	87,9	93,3	95,1	95,1	95,6	95,7	94,4	93,2	94,4
75	0,0	79,4	79,3	86,3	86,4	86,0	85,8	85,0	83,9	83,6	81,5	82,2	84,6	87,0	90,5	87,7	91,7	94,3	88,3	88,0	88,0	88,4
76																						

Kuva 11. Tarkastuksessa välittömästi havaitut vauriot, sekä jäljellä oleva prosentuaalinen seinämävahvuus. Vaurioiden järjestys: 5, 8, 6, 7.



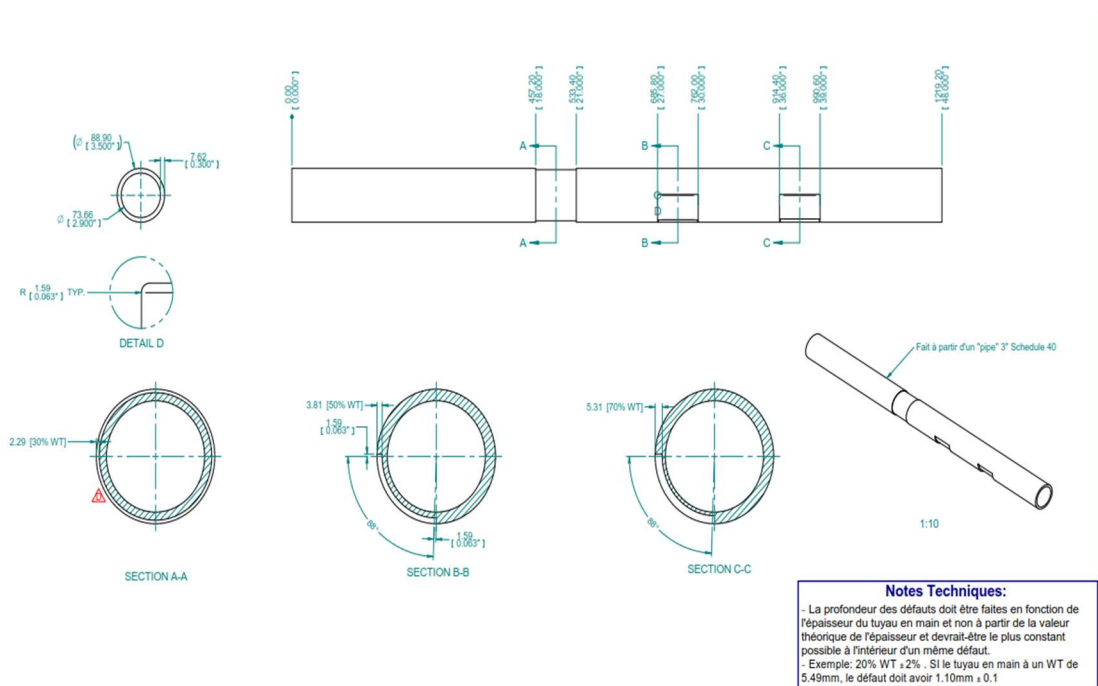
Kuva 12. Tarkastuksessa saadut tulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta, joita on tarkennettu compensated wall thickness-työkalun avulla. Vaurioiden järjestys: 5, 8, 6, 7.

Taulukko 14. Testiputken keinoitekoisten vaurioiden havaitseminen on merkitty vihreällä pohjavärillä, havaitsemattomuus punaisella pohjavärillä.

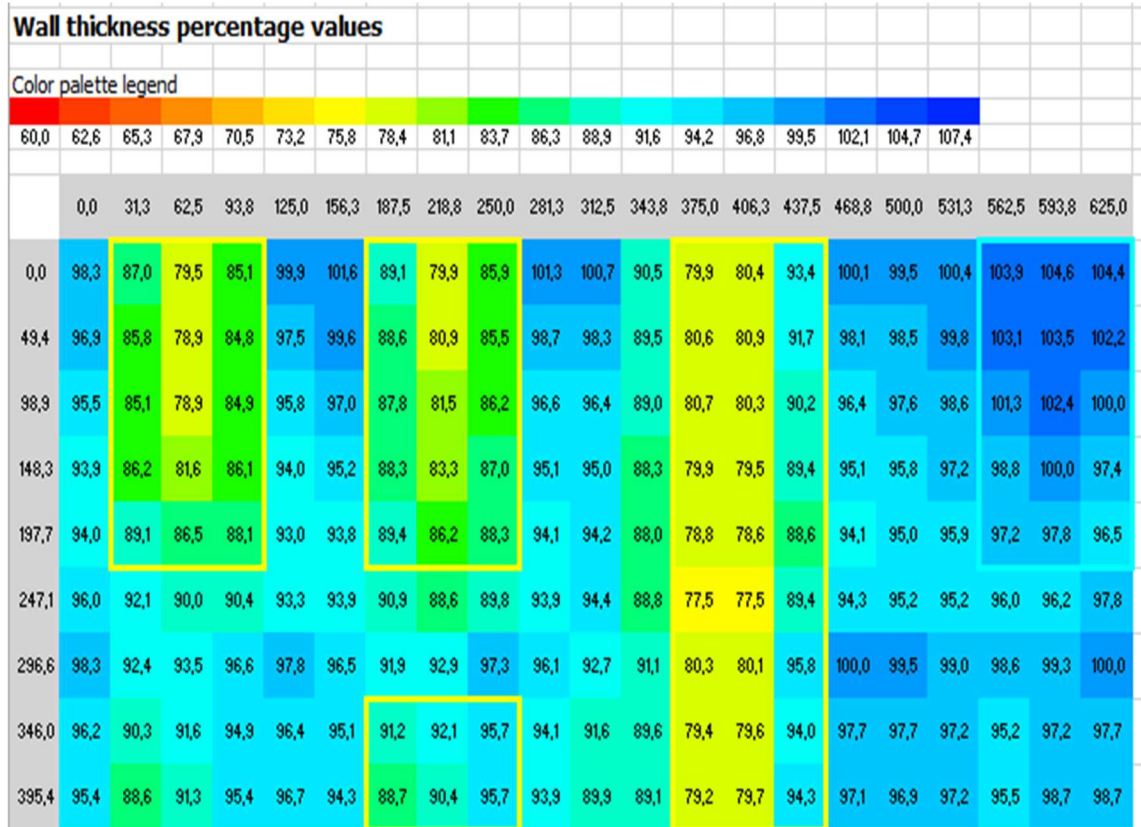
Vaurio nro	ala, cm ²	todellinen jäljellä oleva seinämävahvuus	mitattu seinämävahvuus	tarkennettu mittatulos CWT-työkalulla
1	140	5,0 mm / 83 %	-	-
2	38	3,2 mm / 53 %	-	-
3	208	4,6 mm / 76 %	-	-
4	90	4,2 mm / 70 %	-	-
5	54	3,7 mm / 61 %	4,66 mm / 77,4 %	4,66 mm / 77,4 %
6	45	2,9 mm / 48 %	4,77 mm / 79,3 %	4,77 mm / 79,3 %
7	45	1,0 mm / 17 %	4,90 mm / 81,5 %	2,34 mm / 39,3 %
8	48	1,0 mm / 17 %	4,80 mm / 79,8 %	2,03 mm / 33,8 %

6.2.1 Eddyfin testiputki

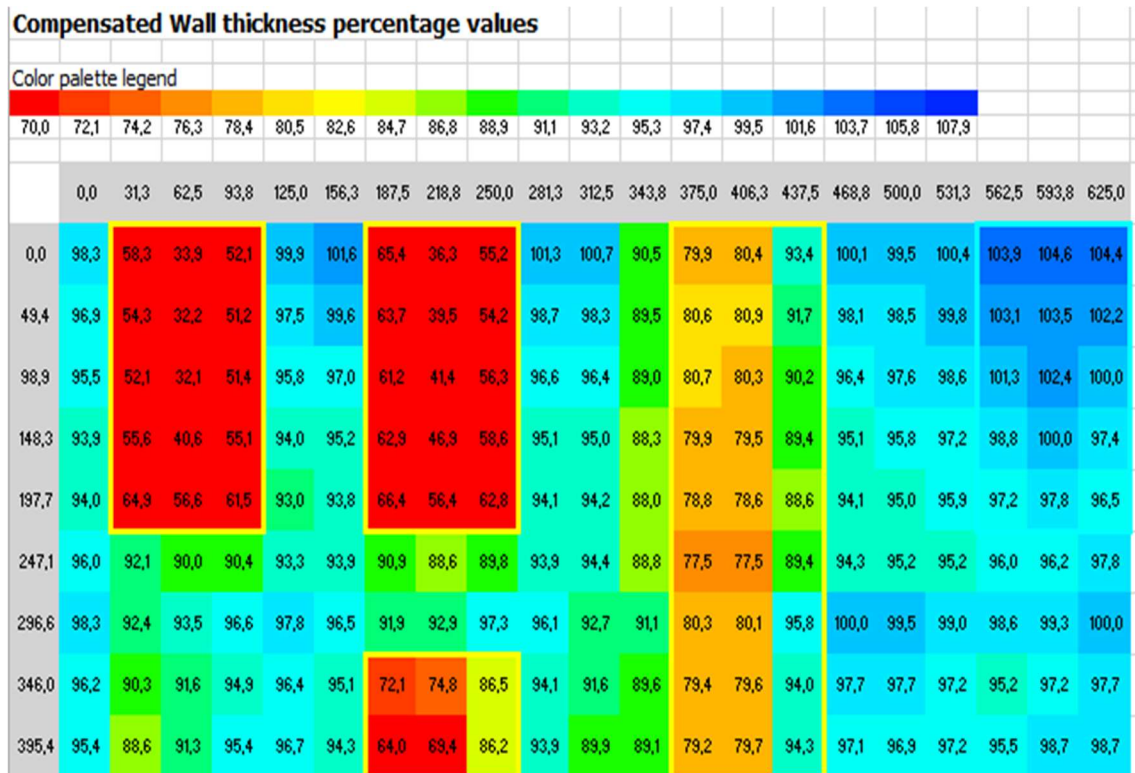
Eddyfi toi mukanaan myös oman testiputken mutta sitä ei käytetä menetelmän luotettavuuden arvioinnissa, koska Eddyfin edustajat tietävät missä vauriot sijaitsevat ja eristepinnoitteen materiaalina oli alumiini, jota ei Nesteen jalostamoilla käytetä. Testiputki oli halkaisijaltaan 3 tuumaa, seinämävahvuus 7,62 mm ja eristepaksuus 25,4 mm. Eddyfin oman putken eristepinnoite oli alumiinia, minkä vuoksi se soveltui PECA-6CH-MED-luotaimelle. PECA:lla tehty pyörrevirtatarkastus oli huomattavasti nopeampi ja tarkempi, kuin PEC-GS:llä suoritettu tarkastus. Kuvassa 13 on esitetty Eddyfin toimittama testiputki sekä siinä olevat vauriot. Kuvassa 14 on PECA-luotaimella saadut tarkastustulokset ja kuvassa 15 CWT-työkalan avulla tarkennetut tulokset.



Kuva 13. Eddyfin testiputki ja siinä olevat keinotekoiset vauriot



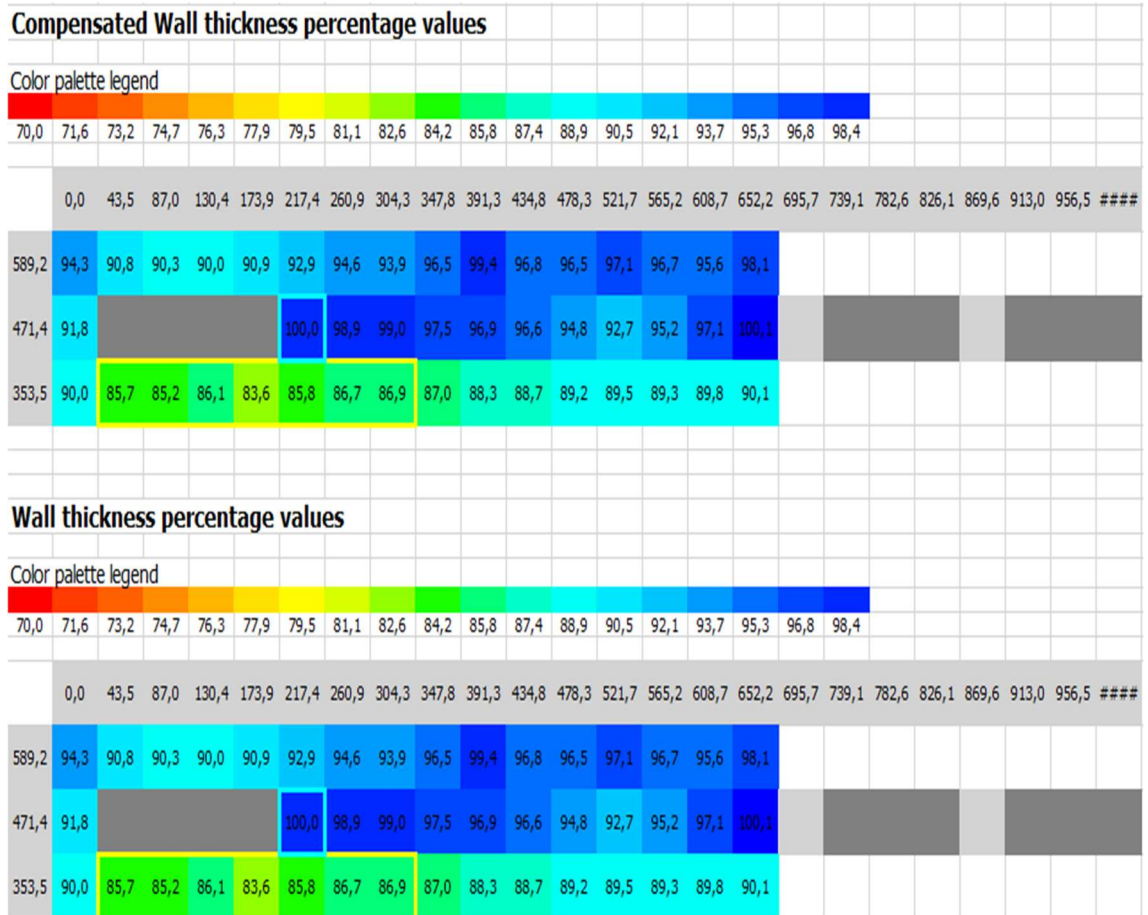
Kuva 14. Eddyfin testiputkesta PECA-luotaimella saadut tarkastustulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta.



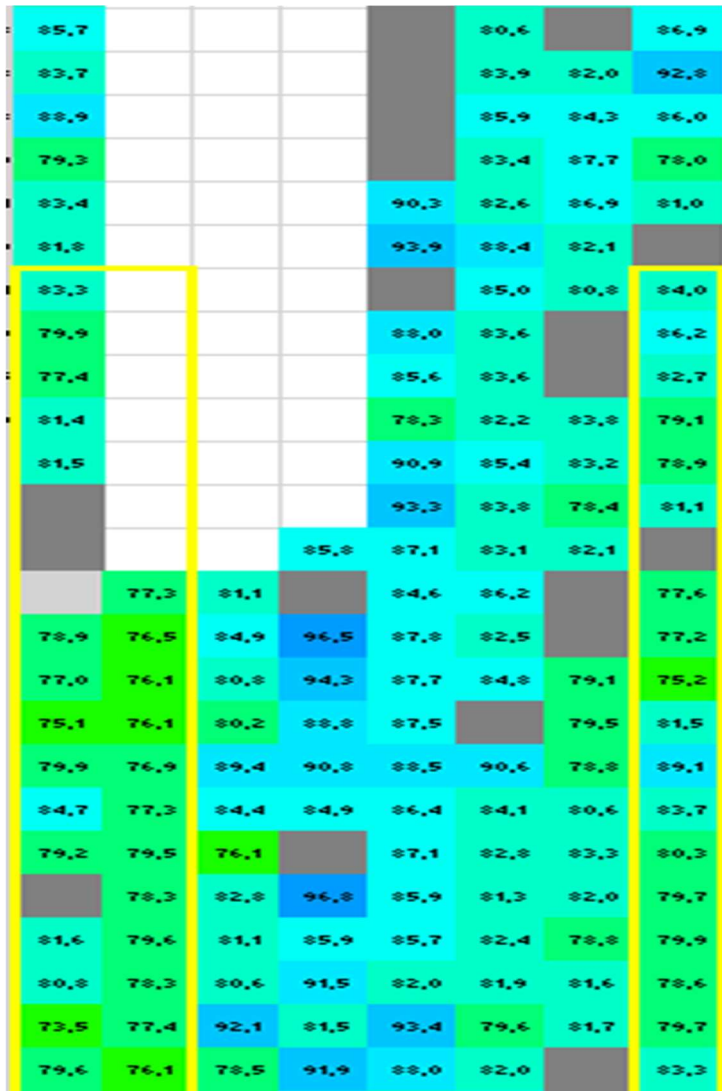
Kuva 15. Eddyfin testiputkesta PECA-luotaimella saadut ja CWT-työkälulla tarkennetut tarkastustulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta.

6.2.2 Putkiston kenttäkohde

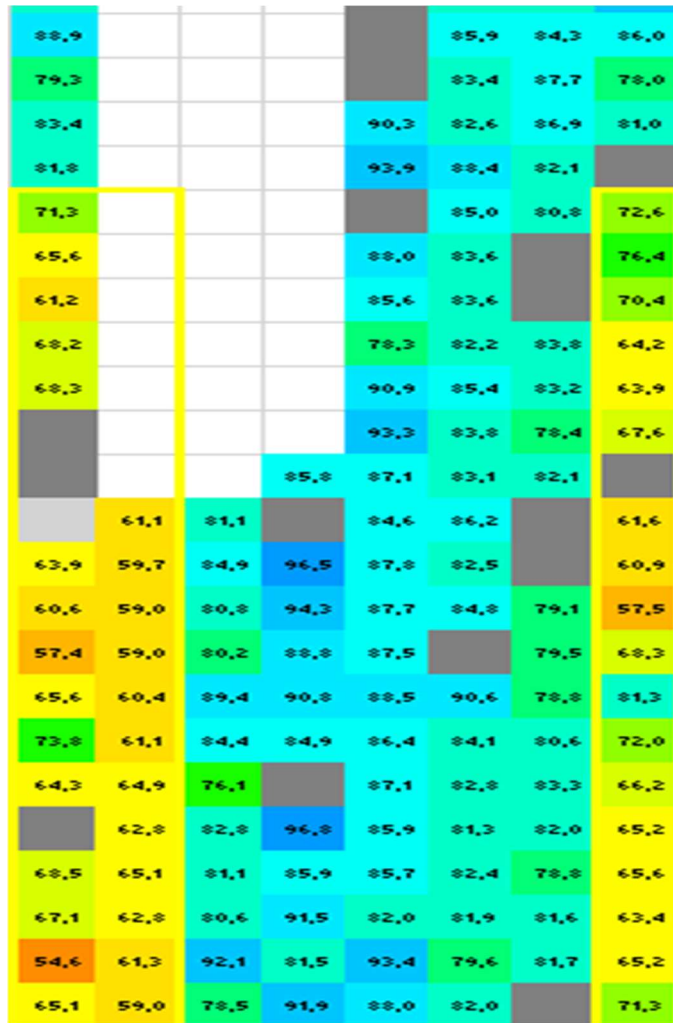
Putkiston kenttäkohteen demo suoritettiin BEL-yksikön kohteessa, jossa tiedettiin olevan eristeen alaista korroosiota. Kenttäkohde oli pituudeltaan yhteensä 5500 mm. 8” tuuman putken eristepaksuus oli 40 mm ja seinämävahvuus 8,18 mm. Kohde koostui pystysuorasta sekä vaakasuorasta putken osasta. Pystysuorassa putkessa tiedettiin olevan eristeen alasiesta korroosiosta johtuvia vaurioita juuri siinä kohtaa, josta niitä kenttätestissäkin löydettiin. CWT-työkälulla saatu tarkastustulos näytti jäljellä olevaksi seinämävahvuudeksi noin 55 % eli 4,5 mm. Todellinen jäljellä oleva seinämävahvuus oli kohteessa noin 6 mm tai 75 %, joten saatu tarkastustulos ilman CWT-työkälyä oli tässä kohtaa todennukaisempi. Vaakasuorassa putkessa todellinen jäljellä oleva seinämävahvuus oli noin 6,5 mm ja siten saadut tulokset vastasivat todellisuutta. Kuvassa 16 on vaakasuoran putken tarkastustulokset CWT-työkälulla tarkennettuna, sekä ilman tarkennusta. Kuvassa 17 on esitettyä pystysuoran putken tarkastustulokset ja kuvassa 18 tulokset CWT-työkälulla tarkennettuna.



Kuva 16. Putkiston kenttäkohteen vaakasuoran osuuden tarkastustulokset



Kuva 17. Putkiston kenttäkohteen pystysuoran osuuden tarkastustulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta.

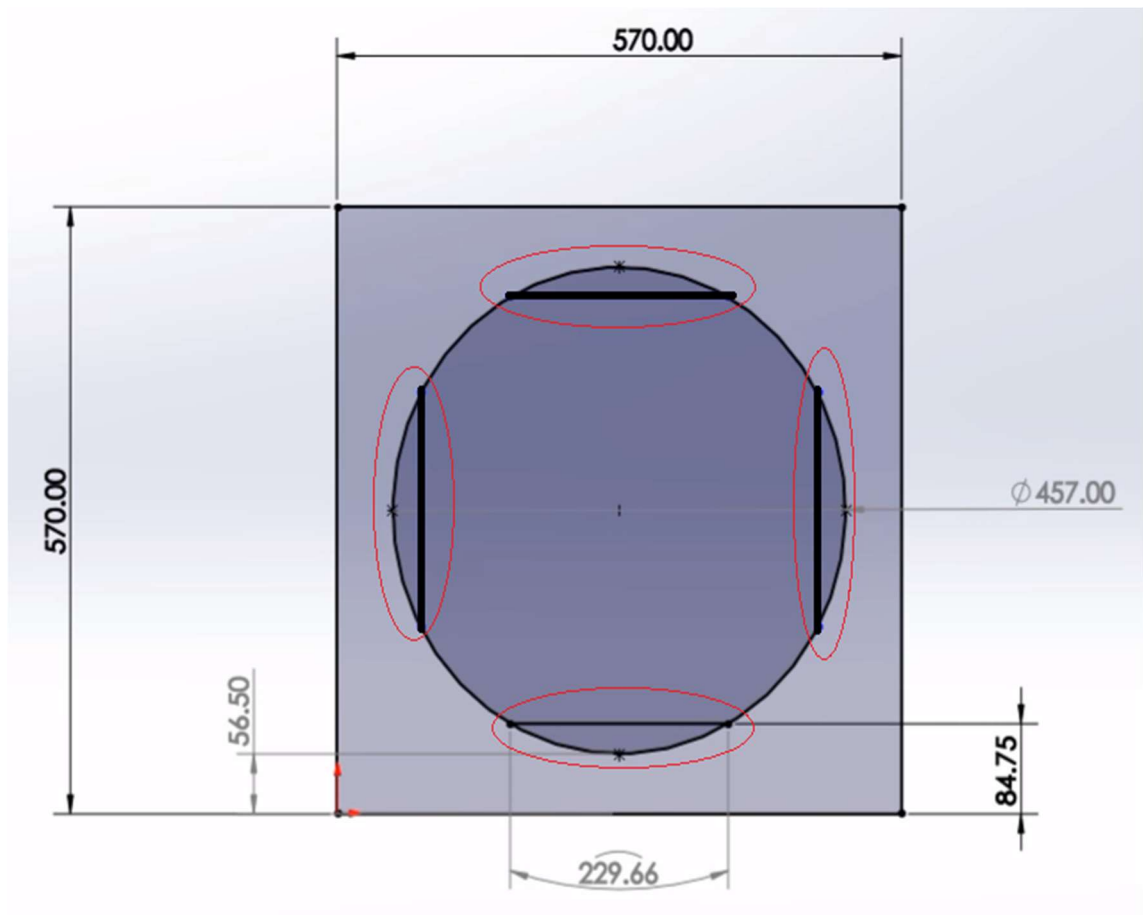


Kuva 18. Putkiston kenttäkohteen pystysuoran osuuden tarkastustulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta CWT-työkalulla tarkennettuna.

6.2.3 Nestekaasusäiliön palosuojattu teräsjalka

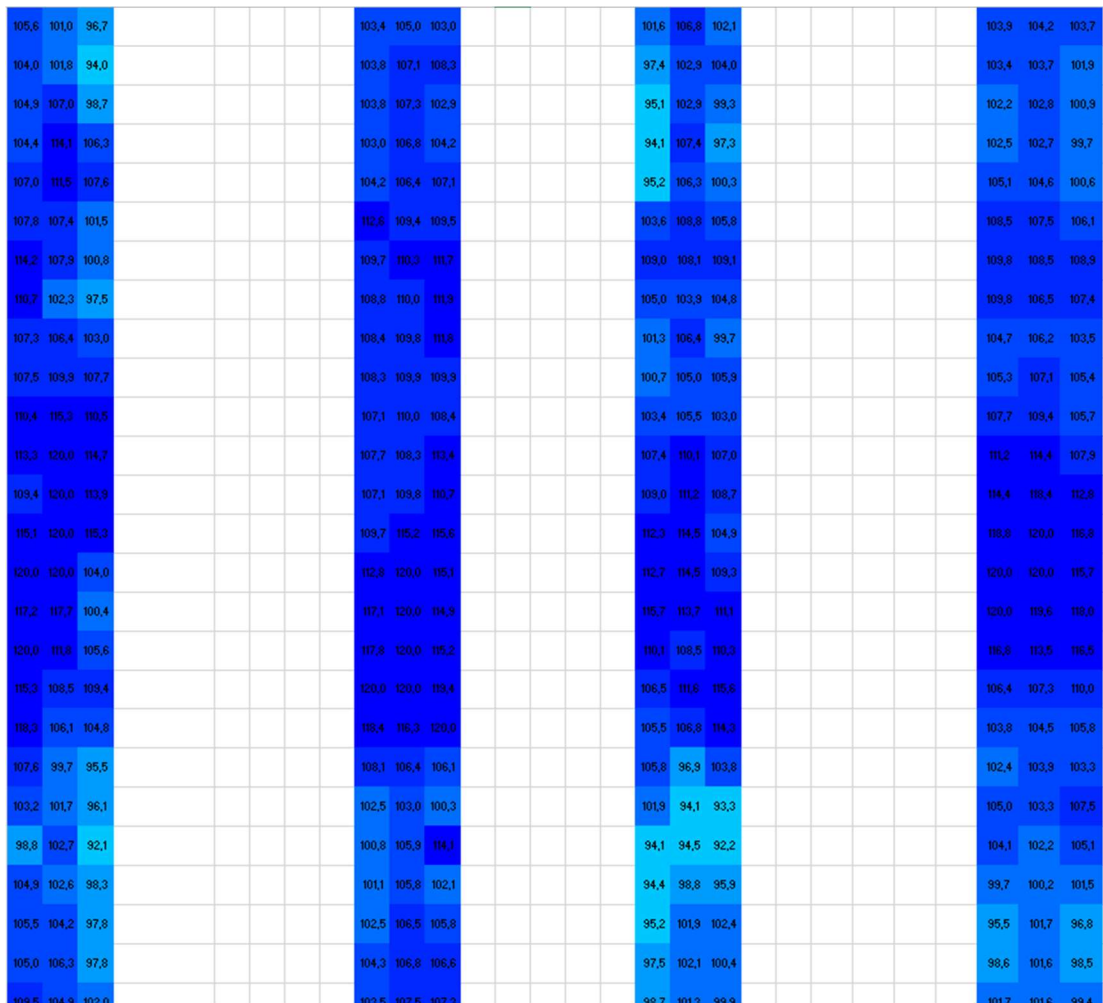
Nestekaasusäiliön jalan seinämä vahvuus oli 7 mm ja teräksisen jalan ympärillä olevan betonisen palosuojauksen paksuus vähintään 56,5 mm. Pallosäiliön jalan tarkastamisessa tuli huomioida teräsjalan ja palosuojauksen eri muoto. Teräsjalka oli muodoltaan putkimainen ja palosuojaus neliö. Muotojen eroavaisuudesta johtuen, säiliön jalkaa ei pystytä tarkastamaan kokonaan, koska Eddyfin pyörrevirtalaitteen käyttämä Lyft-ohjelmisto pystyy käsittelemään 50 % vaihtelun liftoffissa, joka aiheutuu kohteen eri muodoista. Testikohteen palosuojaus oli kooltaan 570mm*570mm ja sisällä olevan teräsjalan halkaisija 457mm. Palosuojauksen paksuus oli ohkaisimmillaan 56,5 mm, joten 50 % liftoffin vaihtelulla pystyttiin tarkastamaan alue, joka oli enintään 84,75 mm etäisyydellä

palosuojauksen ulkoreunasta. Tämä tarkoitti, että teräsjalan kokonaisympärysmittasta pystyttiin tarkastamaan n. 64 %. Tarkastuslaajuutta voidaan pitää varsin hyvänä, koska aiemmin palosuojauksen alapuolista teräsjalkaa ei ole pystytty lainkaan tarkastamaan rikkomatta palosuojausta. Tarkastuslaajuudesta johtuen menetelmä pystyy kertomaan, jos palosuojauksen alla on korroosiota mutta se voi myös jättää havaitsematta mahdollisia vaurioita, jos ne sijaitsevat sen 36 % alueella, jota ei pystytä tarkastamaan. Kuvassa 19 on Solidworksin avulla piirretty havainnekuva tarkastuslaajuudesta. Alueet, jotka pystytään tarkastamaan, on ympyröity punaisella.

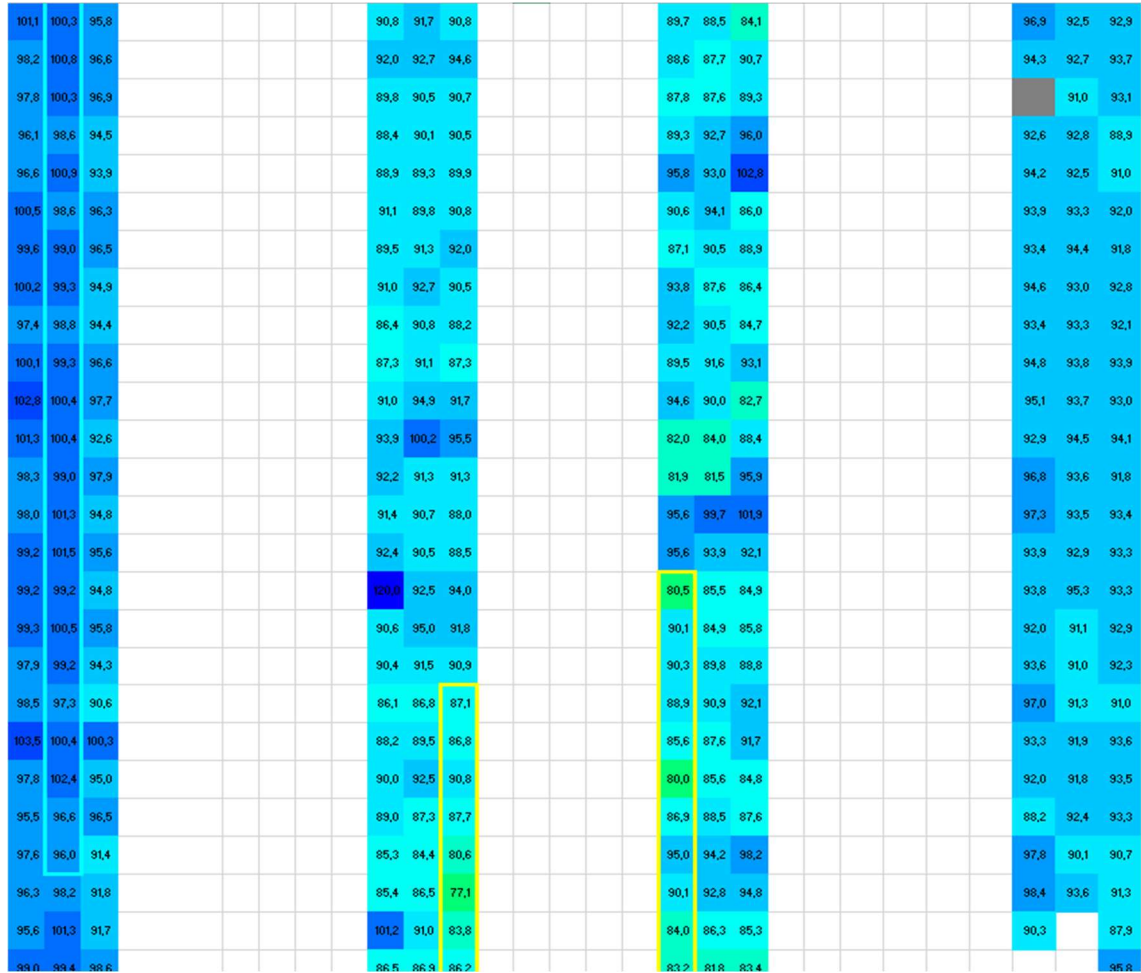


Kuva 19. Nestekaasupallon palosuojatun teräsjalan laajin mahdollinen tarkastuslaajuus.

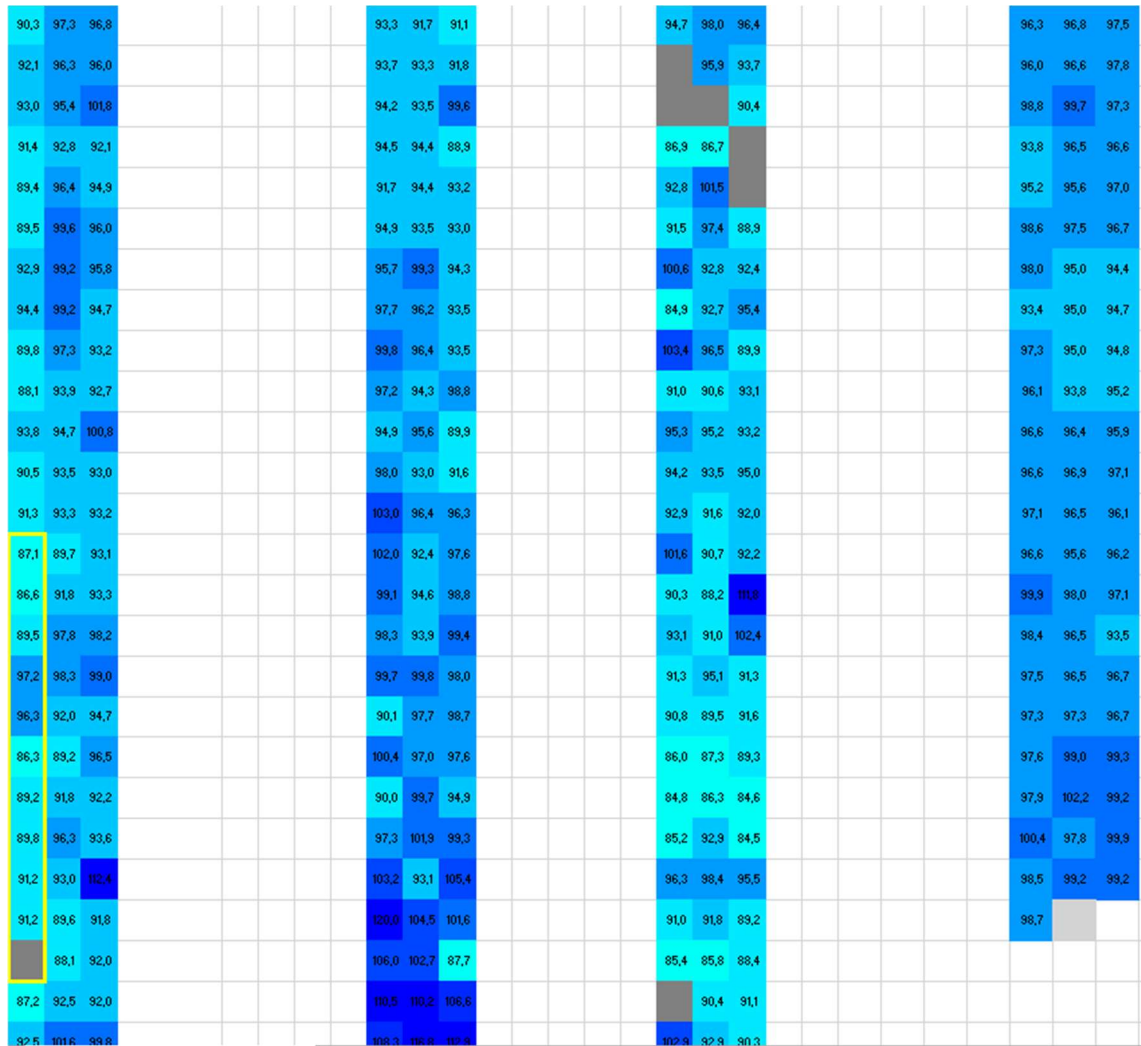
Jalka tarkastettiin kaikilta neljältä puolelta ja jokaiselta puolelta löytyy omat tarkastustulokset. Tulokset ovat järjestyksessä pohjois-, itä-, etelä- ja länsipuoli. Ilmansuunnat ovat alueilmansuuntia. Tarkastusten perusteella seinämävahvuus on ohentunut eniten jalan itä- ja eteläpuolelta. Suurin ohenema on puolella välissä jalkaa sen korkeus suunnassa. Vaurion kohdalla on palosuojauksessa sauma, jonka välistä vesi on todennäköisesti päässyt valumaan palosuojauksen sisälle. Arvioitu seinämävahvuuden ohenema on korkeintaan 23,8 % eli jäljellä oleva seinämävahvuus on suunnilleen 5,3 mm. Kuvissa 20,21 ja 22 on pallosäiliön jalan tarkastustulokset.



Kuva 20. Pallosäiliön jalan yläosan tarkastustulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta.



Kuva 21. Pallosäiliön jalan keskiosan tarkastustulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta.



Kuva 22. Pallosäiliön jalan alaosan tarkastustulokset jäljellä olevasta prosentuaalisesta seinämävahvuudesta.

7 SOVELTUVUUS JALOSTAMOLLE

Pyörrevirtatekniikkaa ja käytettyjä laitteita voidaan yleisesti pitää soveltuvana eristeen alaisen korroosion havaitsemiseen. Menetelmän on tarkoitus toimia nimenomaan vaurioiden seulontatyökaluna, eikä sitä ole tarkoitus käyttää esimerkiksi putkiston absoluuttisen seinämävahvuuden mittaamiseen. Jos pyörrevirtatekniikan avulla suoritettu tarkastus antaa merkkejä mahdollisesta vauriosta eristeen alla, tulee mitatulta alueelta poistaa eristeet ja varmistaa putkiston kunto silmämääräisesti sekä esimerkiksi paksuusmittauksella.

Koska Nesteen käyttämä eristepinnoite on materiaaliltaan sinkittyä hiiliterästä, mittalaitteen vaurioiden havaitsemisherkkyys kärsii etenkin pienempien vaurioiden osalta. Jotta menetelmä voidaan ottaa osaksi tarkastusmenetelmiä putkiston kunnon kartoittamiseen, tulisi mittalaitteen herkkyyttä sekä tarkastusnopeutta parantaa. Testin perusteella laite soveltuu putkiston yleisen korroosion havaitsemiseen mutta se saattaa jättää näyttämättä vaurioita, jotka voivat päästää kehittymään vuodoiksi asti. Testimäärän vähyyden vuoksi tästä ei voi kuitenkaan tehdä lopullisia päätelmiä. Tarkastusnopeus tulisi myös saada samalle tasolle, kuin PECA:lla suoritettava tarkastus. Tällä hetkellä sinkityille pinnoille ei kuitenkaan ole tarjolla kuin yksittäisluotain.

Palosuojauksen alaisen korroosion havaitsemiseen pyörrevirtatekniikka soveltui testin perusteella hyvin. Yhden jalan tarkastamiseen kului noin 45 minuuttia, jota voidaan pitää hyvänä tarkastusnopeutena. Positiivisena asiana voidaan myös pitää, että palosuojauksen ja teräsjalan eri muoto ei tuottanut ongelmia, vaikka laitetta ei erimuotoisille pinnoille olekaan ennen testattu. Koska menetelmä oli meille täysin uusi eikä tietoa teräsjalan todellisesta jäljellä olevasta seinämävahvuudesta ole, tulee saadut tulokset todentaa jollain toisella NDT- tai DT-menetelmällä. Jos saadut tulokset osoittautuvat todellisiksi, voidaan menetelmä ottaa osaksi tarkastusmenetelmiä palosuojauksen alaisen korroosion havaitsemiseen. Positiivisista kokemuksista palosuojauksen alaisen korroosion havaitsemiseen liittyen, voidaan pyörrevirtatekniikkaa soveltaa myös esimerkiksi kolonnien palosuojattujen helmojen tarkastamiseen. Näissä tapauksissa ei myöskään palosuojauksen ja sen alla olevan teräksen erimuoto olisi ongelmana ja tulokset olisivat todennäköisesti tarkempia.

LÄHTEET

API 653 2014. Tank Inspection, Repair and Reconstruction

API 570 2016. Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems

API RP 571 2011. Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry.

API 574 2016. Inspection Practices for Piping System Components

API 580 2016. Risk-based Inspection

API 583 2014. Corrosion Under Insulation and Fireproofing

Eddyfi Technologies Eddies and Currents. Viitattu 8.2.2019 <https://www.eddyfi.com/technology/pulsed-eddy-current-array/inspecting-pipes-for-cui-how-choosing-the-right-tech-affects-the-bottom-line/>

Eddyfi Technologies PEC reinvented. Viitattu 6.2.2019 <https://www.eddyfi.com/wp-content/uploads/2018/10/specifications-sheet-lyft.pdf>

Eddyfi Technologies Understanding Lyft PEC probe selection and footprint. Viitattu 6.2.2019 <https://www.eddyfi.com/wp-content/uploads/2018/11/lyft-pec-footprints-hd-SXSC2016I.pdf>

European Federation of Corrosion (EFC) publications Number 55 2008. Corrosion-under insulation (CUI) guidelines

Exxon Mobil Chemical Company 2004. A Corrosion Under Insulation Prevention Strategy For Petrochemical Industry Piping

Innospection Pulsed Eddy Current Testing. Viitattu 6.2.2019 <http://www.innospection.com/images/PDF/corrosion/Technology - Pulse Eddy Current Testing PECT Technique-min.pdf>

Inspectioneering Overview of Pulsed Eddy Current (PEC). Viitattu 7.2.2019 <https://inspectioneering.com/tag/pec>

Barck, H & Kaunisto, T, Kunnossapitoyhdistys 2004. Korroosiokäsikirja, 2nd ed. KP-Media, Rajamäki.

NACE International 2013. Corrosion Control in The Refining Volume 2.

Nace International 2010. Standard Practice Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Materials – A Systems Approach

Castren, L Neste Jacobs 2014. CUI report