

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

2020

Juuso Laine

ERISTEEN ALAISEN KORROOSION HALLINTA JALOSTAMOLLA



Juuso Laine

ERISTEEN ALAISEN KORROOSION HALLINTA JALOSTAMOLLA

Eristeen alainen korrosio eli CUI on vakava ongelma tuotantolaitoksilla ja jalostamoilla, joiden putkilinjat ja laitteet on enimmäkseen valmistettu niukkaseosteisista teräksistä. Eristeen alaista korroosiota havaitaan useimmiten -4 °C:n ja 175 °C:n välillä ja korroosiota voi muodostua aina, kun vettä pääsee tunkeutumaan eristeen ja metallipinnan välille. Eristeen alainen korrosio aiheuttaa suuren osan korroosiosta johtuvista vaurioista tuotantolaitoksilla ja jalostamoilla.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa Nesteen Naantalin öljynjalostamon prosessiyksiköiden CUI-alttiit putkilinjat ja laitteet, sekä laskea näiden kohteiden riskiluokat. Kartoitukseen valittiin raakaöljyntislauksen jakotislausyksikkö, sen vaarallisen sisällön takia. Kartoitus suoritettiin perehtymällä yksikön virtauskaavioon, PI-kaavioihin ja isometreihin ja merkitsemällä niihin riskialttiit putkilinjat. Merkintöjen perusteella koottiin Excel-tiedostoon linjoista ja laitteista kaikki tarvittavat tiedot riskiluokittelun laskemiselle. Riskiluokittelu laskettiin jokaiselle kohteelle yksilökohtaisesti. Jakotislausyksikössä kokonaisuudessaan olevista 24 kohteesta, 12 oli korkean riskin kohteita. Riskiluokitteluja käytettiin tarkastussuunnitelman kehittämiseen CUI-alttiiden linjojen tarkastamiseksi. Mitä korkeampi riskiluokka, sitä enemmän eristeitä joudutaan purkamaan ja tarkastuksien määrä kasvaa. Tarkastukset aloitetaan kohteista, joilla on korkein vaurioitumisriski.

Riskipohjainen tarkastaminen eli RBI on toimintamalli, joka perustuu tarkastettavien kohteiden riskiluokitteluun ja systemaattiseen tarkastamiseen. RBI keskittyy niihin kohteisiin, joilla on korkein vikaantumisen tai vaurioitumisen riski. Tämä tekee RBI:stä hyvän työkalun CUI-riskinalaisten kohteiden kartoitukselle ja tarkastussuunnitelman kehittämiseksi.

Riskiluokittelun lisäksi opinnäytetyössä tehtiin budjetti- ja kustannusarvio jakotislausyksikön CUI-alttiiden linjojen tarkastuksista. Kustannukset eroteltiin arvioihin työvaihekohtaisesti. Työvaiheet CUI-projekteissa on eristeiden purku ja asennus, telinetyöt, tarkastukset ja pintakäsittely. Budjettiarvio pohjautui edellisiin CUI-projekteihin ja arvion tulokseksi saatiin noin 100 000 euroa. Kustannusarvio pohjautui riskiluokittelua varten kerättyyn dataan ja kenttäkierroksilla tehtyihin arvioihin. Kustannusarvioiksi saatiin noin 53 000 euroa, mutta todellisuudessa kustannukset muuttuvat huomattavasti tarkastuslaajuuden tarkentuessa toteutuksen aikana.

Haastattelemalla edellisiin projekteihin osallistuneita Nesteen työntekijöitä ja urakoitsijayritysten työntekijöitä saatiin kuva projektien toteutuksen haasteista ja kehityskohteista. Suurimmaksi ongelmaksi ilmeni projektien toteutuksessa viestintä. Viestintä eri työvaiheiden välillä toimi suurelta osin hyvin, mutta kokonaisuudessa projektin toteutuksen viestinnässä on paranneltavaa.

ASIASANAT:

CUI, Risk-based Inspection, riskiluokittelu, budjettiarvio, kustannusarvio

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juuso Laine

CORROSION UNDER INSULATION MANAGEMENT IN A REFINERY

Corrosion under insulation (CUI) is a severe problem at industrial plants and refineries the pipelines and equipment of which are mostly made from low-alloy steels. Corrosion under insulation is most often detected at temperatures ranging from $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $175\text{ }^{\circ}\text{C}$ and corrosion can always form when there is water ingress between the insulation and metallic surface. CUI causes a significant part of corrosion failures in industrial plants and refineries.

The objective of this thesis was to plot the CUI susceptible pipelines and equipment that are located in Neste Naantali oil refineries' process plants and to calculate the risk rating for these features. Crude oil distillation unit's fractional distillation unit was chosen for the plotting because of its dangerous contents. The plotting was carried out by marking the hazardous pipelines and equipment to the units' process flow diagram, piping and instrument diagrams and isometric drawings. An Excel -file was created to collect all the necessary data of the pipelines and equipment to calculate the risk ratings. The risk ratings were calculated for each feature individually. The fractional distillation unit was found to have 12 high risk features out of the 24 features in the whole unit. The risk ratings were used to make an inspection model for the inspections of the CUI susceptible feature. The higher the risk rating, more insulation will need to be removed and the amount of inspections will rise. The inspections will be started from the features that have the highest risk of failure.

Risk-based inspection (RBI) is an operating model which is based on making a risk rating for the features and systematically inspecting the hazardous features. RBI focuses on the features that have the highest risk of failure. This makes RBI a great tool for plotting the hazardous features and for developing an inspection plan for the necessary inspections.

In addition to the risk ratings, a budget assessment and cost estimations were made for the inspections of the CUI susceptible pipelines and equipment. The costs were separated for each working phase. The different working phases for CUI -projects are removing and installing insulations, scaffolding work, inspections and surface finishing. The budget estimation was based on the last CUI -project and the estimation came to approximately 100,000 euros. More accurate cost estimation was based on the data collected and a field inspection of the CUI susceptible features at the process unit. The cost estimation came to approximately 53,000 euros, but in reality, the costs will increase significantly when the inspection scope changes during the project.

By Interviewing Neste's workers and contractors who worked on the last CUI -project, the problems and areas that need development were collected. The biggest problem was found to be in the communications during the project. Communication between working phases worked well but in a whole the communication inside the project was lacking.

KEYWORDS:

CUI, Risk-based Inspection, risk classification, budget assessment, cost estimate

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	9
1 JOHDANTO	1
2 ERISTEEN ALAINEN KORROOSIO	2
2.1 Aiheuttavat tekijät	2
2.2 Austeniittisessa ruostumattomassa teräksessä	4
3 CUI:N LIEVENTÄMINEN	7
3.1 Suojapinnoitus	7
3.1.1 Termisesti ruiskutettu alumiini, TSA	8
3.1.2 Alumiinifolio	10
3.2 Eristemateriaali	11
4 KÄYTETTÄVÄT TARKASTUSMENETELMÄT	13
4.1 Radiografinen tarkastus	14
4.2 Ultraäänitarkastus	15
5 RISKIPOHJAINEN TARKASTAMINEN	17
5.1 Consequence of Failure	18
5.2 Probability of Failure	18
5.3 Riskimatriisi eli riskitaso	19
6 RT1 JAKOTISLAUSYKSIKÖN RISKIALTTIIDEN KOHTEIDEN KARTOITUS	21
6.1 Prosessivirtauskaavio	22
6.2 PI-kaaviot	23
6.3 Isometrit	26
6.4 Putkistoluokittelu	28

6.4.1 PoF-arvon laskeminen	29
6.4.2 CoF-arvon laskeminen	30
6.5 Kartoitettavien kohteiden riskitaso	31
6.6 Eristeiden kuntokartoitus	31
6.6.1 Tulokset	33
6.6.2 Havainnot	34
6.7 Laitteet	38
7 RT1 JAKOTISLAUSYKSIKÖN TOTEUTUSSUUNNITELMA	42
7.1 Budjettiarvio	44
7.2 Kustannusarvio	45
7.2.1 Eristeiden purku ja asennus	45
7.2.2 Telineet	46
7.2.3 Tarkastukset	47
7.2.4 Pintakäsittely	48
7.2.5 Kokonaisuus	48
8 KUSTANNUSTEHOKKUUDEN PARANTAMINEN	50
8.1 Onnistumiset	52
8.2 Kehityskohteet	52
9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKO	55
10 LÄHTEET	56

LIITTEET

Liite 1: RT1 Jakotislausyksikön virtauskaavio

- Liite 2: RT1 Jakotislausyksikön PI-kaaviot
- Liite 3: RT1 Jakotislausyksikön putkistoluokittelu
- Liite 4: RT1 Jakotislausyksikön eristeiden kuntokartoituslomakkeet
- Liite 5: CUI-projektien toteutuksen haastattelulomakkeet

KUVAT

Kuva 1: Veden tunkeutumisen mahdollistavat viat tyypillisessä eristysjärjestelmässä (Swift, Chmielarski 2019, 10).	3
Kuva 2: Huonosti eristetty ulkonema 16 tuumaisessa putkilinjassa	35
Kuva 3: Huonosti tiivistetty kannake eristetyssä putkilinjassa	36
Kuva 4: Vaurioitunut eristetty putkilinja	37
Kuva 5: Huonosti eristetty putkilinja	38
Kuva 6: EA-162 lämmönvaihtimen eristys	40
Kuva 7: EA-163 lämmönvaihtimen tyhjennys huonossa kunnossa	41

KUVIOT

Kuvio 1: CUI:n aiheuttama syöpymisnopeus lämpötilan funktion (Winnik 2008, 4)	4
Kuvio 2: Pintakeskisen kuution kristallirakenne (Face-centered cubic, FCC) (Eni Generalic 2018)	5
Kuvio 3: Liekkiruiskutetun TSA:n toimintaperiaate (What is TSA Thermal Spray Aluminum - Metalink)	9
Kuvio 4: Radiografisen tarkastuksen toimintaperiaate ja esimerkki filmi (Godavari Technical Services 2014).	15
Kuvio 5: Ultraäänitarkastuksen periaate (Werner Sölken 2019).	16
Kuvio 6: Riskipohjaisen tarkastamisen suunnitteluprosessi (Risk-based Inspection: API Recommended Practices 580. 2016, 19).	17
Kuvio 7: Esimerkki riskimatriisi taulukosta (Risk-based Inspection Methodology: API Recommended Practices 581. 2016, 28).	20
Kuvio 8: Riskialttiiden kohteiden kartoitusprosessi	21
Kuvio 9: RT1 jakotislausyksikön virtauskaavio	23
Kuvio 10: RT1 Jakotislausyksikön PI-kaavio NN3975-22709-1	24

Kuvio 11: RT1 Jakotislausyksikön PI-kaavio NN3975-22710-1	25
Kuvio 12: RT1 Jakotislausyksikön PI-kaavio NN3975-49783-1	25
Kuvio 13: Esimerkki isometristä (vanha)	27
Kuvio 14: Esimerkki isometristä (uusi)	28
Kuvio 15: RT1 jakotislausyksikön CUI-alttiiden kohteiden riskimatriisi	31
Kuvio 16: CUI-projektin toteutuksen asteikkokysymysten vastaukset	51
Kuvio 17: CUI-projektin toteutuksen asteikkokysymysten keskiarvot	52

TAULUKOT

Taulukko 1: 316L ja 321 ruostumattomien terästen materiaalitaulukko (Kiiski 2017,4).	6
Taulukko 2: Eristettävien kohteiden korroosionestomaaliyhdistelmät (Okkonen 2017a, 5).	8
Taulukko 3: Alumiinifolio vs. perinteinen suojamaali (Winnik 2008, 61).	11
Taulukko 4: Riskimatriisin laskentataulukko vaurion seuraamukselle (Winnik 2008, 30).	18
Taulukko 5: CUI-alttius laskentataulukko hiiliteräksessä (Winnik 2008, 34).	19
Taulukko 6: PoF:n laskennassa käytettävä ar/t-taulukko	29
Taulukko 7: Eristeiden kuntokartoituslomake	32
Taulukko 8: PI-kaavion NN3795-22709-1 kuntokartoituslomake	33
Taulukko 9: PI-kaavion NN3795-22710-1 kuntokartoituslomake	33
Taulukko 10: PI-kaavion NN3795-49783-1 kuntokartoituslomake	34
Taulukko 11: RT1 jakotislausyksikön laitteet.	39
Taulukko 12: RT1 jakotislausyksikön korkean riskin kohteet	42
Taulukko 13: RT1 jakotislausyksikön keskikorkean riskin kohteet	43
Taulukko 14: RT1 jakotislausyksikön keskiverto riskin kohteet	44
Taulukko 15: REF-yksikön CUI-projektin kokonaiskustannukset	45
Taulukko 16: RT1 jakotislausyksikön eristeiden hinnat jaoteltu riskiluokittain	46
Taulukko 17: RT1 jakotislausyksikön telinekustannukset jaoteltu riskiluokittain	47
Taulukko 18: RT1 jakotislausyksikön tarkastuskustannukset jaoteltu riskiluokittain	47

Taulukko 19: RT1 jakotislausyksikön pintakäsittelykustannukset jaoteltu riskiluokittain	48
Taulukko 20: RT1 jakotislausyksikön kokonaiskustannukset jaoteltu riskiluokittain	49
Taulukko 21: CUI-projektien kehityskohteiden yhteenveto	54

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys (Lähdeviite)
API RP	American Petroleum Institute Recommended Practices
ASME	American Society of Mechanical Engineers
CI-ESCC	Chloride External Stress Corrosion Cracking
CoF	Consequence of Failure
CUI	Corrosion Under Insulation
ECSCC	External Chloride Stress Corrosion Cracking
FCC	Face-centered cubic
Hz	Hertz (Taajuuden yksikkö)
NMS	Neste Management System
Pa	Pascal (Paineen yksikkö)
PoF	Probability of Failure
Ppm	Parts Per Million
RBA	Risk-based Assessment
RBI	Risk-based Inspection
REF	Bensiinin reformointiyksikkö
RT1	Raakaöljyn tislauksyksikkö 1
SCC	Stress Corrosion Cracking
SWG	Standard Wire Gauge
TSA	Thermal Sprayed Aluminium

1 JOHDANTO

Eristeen alainen korroosio on suuri ongelma tuotantolaitoksilla, joiden putkilinjat ja laitteet on enimmäkseen valmistettu niukkaseoksisista teräksistä. Eristeen alainen korroosio eli CUI voi muodostua aina, kun vettä tai kondensaatiota pääsee tunkeutumaan eristeen ja kohteen teräksisen ulkopinnan välille. Shell Stanlown jalostamolla tehdyn tutkimuksen mukaan, jopa 35 % korroosion aiheuttamista vaurioista johtui CUI:sta (Winnik 2017). Tämän takia CUI on ajankohtainen ongelma tuotantolaitoksien kunnossapidolle ja ennakkohuollolle ja vaatii lisää tutkimuksia ja ehkäisy ratkaisuja. Opinnäytetyössä perehdytään myös eristeen alaisen korroosion havainnoimiseen käytettäviin tarkastusmenetelmiin ja niiden toimintaperiaatteisiin.

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä dataan perustuva riskiluokittelu CUI-riskin alaisille Neste Naantalin prosessin putkilinjoille ja laitteille. Tarkastelua varten valittiin prosessiyksiköksi RT1:n jakotislausyksikkö, sen vaarallisen sisällön takia. Tavoitteena on kerätä yksikön putkilinjoista ja laitteista kaikki oleellinen data, jonka perusteella pystytään tekemään linjakohtainen riskiluokittelu ja tarkastussuunnitelma.

Riskiluokittelun lisäksi tehdään budjetti- ja kustannusarvio RT1 jakotislausyksikön CUI-olttiiden linjojen ja laitteiden tarkastuksien suorittamiselle. Budjettiarvio perustuu edellisiin CUI-projekteihin ja kustannusarvio tarkempaan linjakohtaiseen dataan.

Tutkimalla edellisten projektien toteutusta pyritään myös löytämään kustannustehokkuuteen ja toteutukseen parannusehdotuksia. Haastattelemalla projekteissa mukana olleita Nesteen työntekijöitä ja urakoitsijoita, pyritään löytämään kaikki projektien aikana havaitut ongelmat ja kehityskohdat. Kehityskohteita etsittäessä otetaan myös huomioon Porvoon jalostamolla tehdyt CUI-projektit, haastattelemalla Porvoossa työskentelevää Nesteen henkilökuntaa.

2 ERISTEEN ALAINEN KORROOSIO

Eristeen alaisella korroosiolla eli CUI:lla (Corrosion Under Insulation) tarkoitetaan laitteiseen tai putkilinjastoon muodostavaa korroosiota, joka sijaitsee eristeen alla kohteen metallisella ulkopinnalla. Yleisimpänä CUI:n aiheuttajana pidetään kosteuden muodostumista eristeen ja kohteen ulkopinnan välille. Korroosio itsessään voidaan luokitella useimmiten joko galvaaniseksi, kloridi peräiseksi, happamaksi tai emäksiseksi. (Cavallo 2017, 9.)

Eristeen alaista korroosiota esiintyy hiiliteräksissä tai niukkaseosteisissa teräksissä useimmiten, kun kohteen käyttölämpötila on -4 °C ja $+175\text{ °C}$ välillä. CUI:ta on havaittu ja raportoitu tapahtuneeksi myös korkeammissa lämpötiloissa, mutta useimmiten sitä ilmenee yllä mainitulla lämpötila-alueella. (Winnik 2008, 3.) Voimakkainta ja vakavinta eristeen alaista korroosiota tapahtuu kuitenkin 60 °C:n ja 120 °C:n välillä, jolloin syöpymisnopeus on noin 1 mm vuodessa (Cavallo 2017, 10–11).

Tässä opinnäytetyössä keskitytään enimmäkseen CUI:n aiheuttamiin haittoihin hiiliteräksissä ja ruostumattomissa teräksissä, koska suurin osa Neste Naantalin jalostamon putkilinjoista ja laitteista on valmistettu kyseisistä materiaaleista.

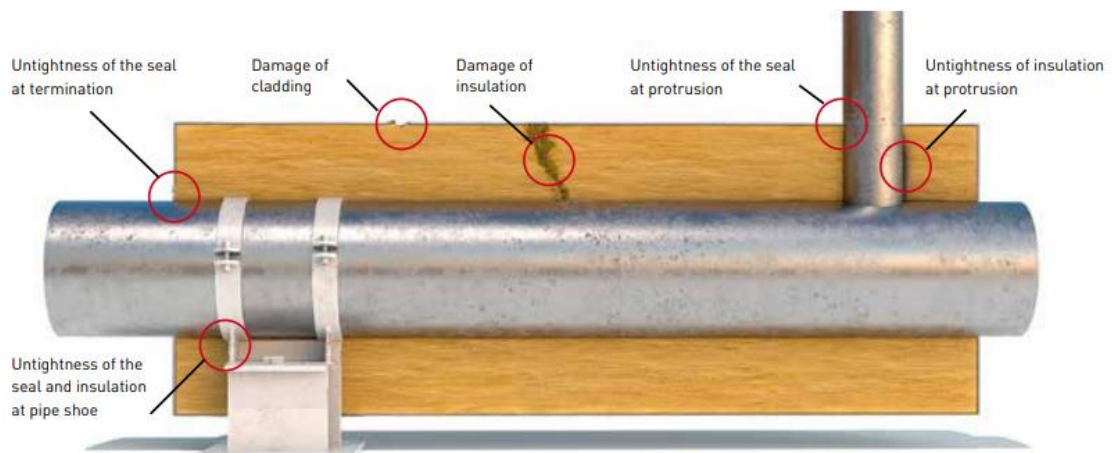
On todettu, että CUI on yksi suurimmista korroosio-ongelmien aiheuttajista, varsinkin ikääntyvissä petrokemian tuotantolaitoksissa. Shell (UK) Stanlown jalostamolla todettiin kahden vuoden mittaisessa tutkimuksessa, että 35 % vaurioon johtaneista korroosiotapauksista oli CUI:n aiheuttamia. Tämä kyseinen jalostamo sijaitsee Luoteis-Englannissa yli 20 kilometrin päässä lähimmästä merestä. (Cavallo 2017, 10) Jalostamot jotka sijaitsevat alueilla, joissa on paljon vuotuisia vesisateita tai lämpimissä meriympäristöissä ovat herkimpiä CUI:n vaikutuksille (Cavallo 2017, 11). Stanlown ilmoittama 35 % lukema, saattaa olla todellisuudessa korkeampi, koska suurin osa jalostamoista sijaitsee meren tai jokien lähetyvillä jäähdytys- ja kuljetusteknisistä syistä.

2.1 Aiheuttavat tekijät

Eristeen alaisen korroosion muodostuminen vaatii aina vettä tai kosteutta kohteen ulkopinnalla. Veden tunkeutuminen kohteen ulkopinnalle johtuu eristeessä, vaipassa tai suojakuoressa olevista vaurioista tai raoista. Rakojen muodostuminen voi tapahtua asennusvaiheessa, kohteen käytön aikana tai yksinkertaisesti kulumisesta

ajansaatossa. Korroosiota aiheuttavan veden alkuperä voidaan jakaa kahteen ryhmään, ulkopuolinen lähde tai kondensaatio. Ulkopuolisena lähteenä voi toimia esimerkiksi sadevesi tai prosessissa oleva vuoto. (Winnik 2008, 2.)

Kuvassa 1 on havainnollistettu mahdollisia paikkoja ja tilanteita jolloin vesi pääsee tunkeutumaan eristeeseen tai eristeen alla olevan putken ulkopinnalle. Kuvassa mainitut kohdat ja tilanteet ovat: epätiiveys eristyksen päätekohtassa, epätiiveys kannakekohdissa, vaurio suojakuoressa, vaurio eristeessä, epätiiveys suojakuoren ja ulkoneman välillä ja epätiiveys eristeen ja ulkoneman välillä. (Kuva 1.)



Kuva 1: Veden tunkeutumisen mahdollistavat viat tyypillisessä eristysjärjestelmässä (Swift, Chmielarski 2019, 10).

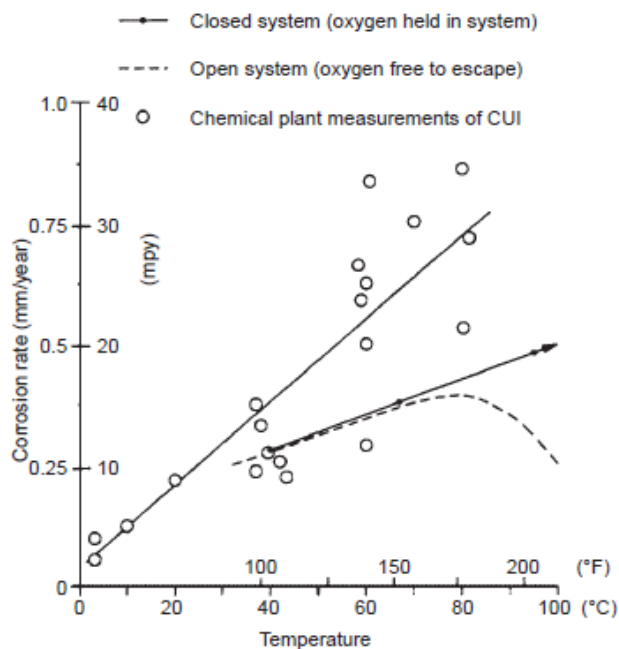
Eristetyypillä ja eristemateriaalin valinnalla pyritään ehkäisemään CUI:n muodostumista, mutta kaikilla tähän mennessä käytetyillä eristeillä on havaittu CUI:n aiheuttamaa syöpymistä. Erilaisten eristeiden yksilökohtaiset ominaisuudet pienentävät CUI-riskiä ja CUI:n aiheuttamaa syöpymisnopeutta. Teoriassa eristetyyppi, joka sitoo mahdollisimman vähän vettä ja kuivuu mahdollisimman nopeasti, aiheuttaa vähiten korroosiosta johtuvaa vaurioita laitteeseen tai putkistoon.

CUI:n aiheuttamaan syöpymisnopeuteen vaikuttavia asioita ovat muun muassa (Winnik 2008, 4)

- hapen määrä

- vedessä olevat epäpuhtaudet (Kloridi, rikki, yms.)
- lämpötila
- metallin lämmönjohtavuus
- metallin pinnan kosteus tai kuivuus.

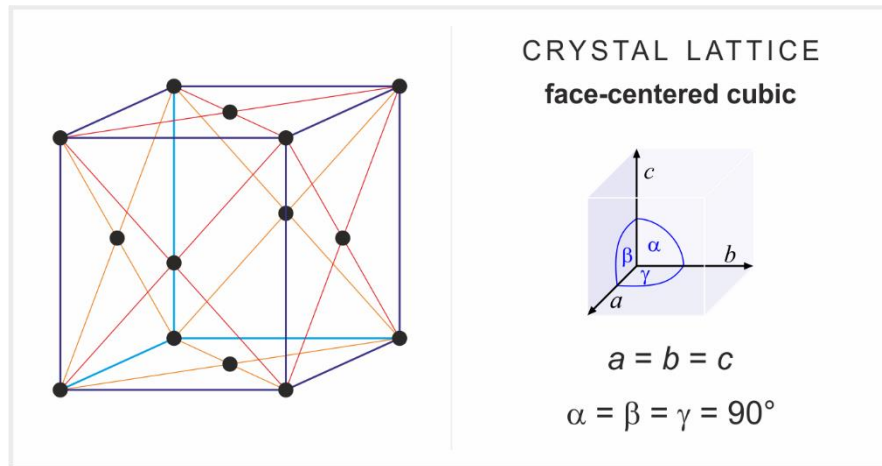
Laitteen tai putkiston käyttölämpötilalla on suuri merkitys syöpymisnopeuteen niin kuin on havainnollistettu kuviossa 1. Kuvioista 1 ilmenee myös Closed system -käsite (Suljettu järjestelmä). Tällä tarkoitetaan eristystapaa, jossa hapettunut vesi ei pääse vapaasti haihtumaan eristemateriaalista johtaen korkeampaan syöpymisnopeuteen.



Kuvio 1: CUI:n aiheuttama syöpymisnopeus lämpötilan funktion (Winnik 2008, 4)

2.2 Austeniittisessa ruostumattomassa teräksessä

Austeniittinen ruostumaton teräs on ruostumaton metalliseos, jonka kristallirakenne on pintakeskinen kuutio (kuvio 2). Pintakeskisessä kuutiossa on yksi atomi kuution joka kulmassa, sekä yksi atomi jokaisen kuution tason keskellä. Rakenne muodostuu, kun ruostumattomaan metalliseokseen lisätään sopiva määrä nikkeliä. (Bell 2019.)



Kuvio 2: Pintakeskisen kuution kristallirakenne (Face-centered cubic, FCC) (Eni Generalic 2018)

Nesteen Naantalin jalostamolla eniten käytettyjä nikkelpohjaisia austeniittisiä teräksiä ovat 300 sarjan teräkset 316L ja 321. 316L- ruostumatonta terästä käytetään sen hyvän korroosiokestävyyden takia ja 321- ruostumatonta terästä sen korkean lämmönkestävyyden takia.

Nesteen työntekijöille käytössä olevassa NMS-sivulla (Neste Management System) on määritetty omat putkiluokat suurimmalle osalle ASME -standardien mukaisista putkiluokista. 316L ruostumaton teräs on Nesteen spesifikaation H102 mukaan putkiluokkaa L1–6L0, A, B tai L1–3K0, B ja 321 ruostumaton teräs on putkiluokkaa L1–9RPB. (Kiiski 2017, 4.)

Taulukossa 1 on esitetty 316L- ja 321- ruostumattomien terästen materiaalitaulukko Nesteen H102- spesifikaatiossa. Taulukossa on ilmoitettu putkimateriaalin spesifikaation liite, putkiluokka, materiaalityyppi, putkimateriaalivandardi ja versio numero. (Taulukko 1.)

Taulukko 1: 316L ja 321 ruostumattomien terästen materiaalitaulukko (Kiiski 2017,4).

Liite nro: Annex no:	Putkiluokka Pipe class	Mat. tyyppi Mat. type	Putki mat. stand. Pipe mat. stand.	Rev. nro: Rev. no:
H102 Annex 3	L1-6D0,A,B L1-3G0,B	Aust. ruost. teräs Austenitic stainless steel	ASME SA-312 TP316L	12
H102 Annex 7	L1-9RB L15FB L25FB	Aust. ruost. teräs Austenitic stainless steel	ASME SA-312TP 321	13

Eristeen alaista korroosiota austeniittisessa ruostumattomassa teräksessä kutsutaan nimellä CI-ESCC (Chloride External Stress Corrosion Cracking) tai ECSCC (External Chloride Stress Corrosion Cracking) eli kloridista johtuvaa ulkoista jännitekorroosiota. API RP 570 -standardi ilmoittaa, että austeniittinen ruostumaton teräs on alttiimmillaan CUI:lle 65 °C:n ja 204 °C:n välillä. (Cavallo 2017, 11.)

ECSCC aiheutuu kun kloridipitoinen kosteus pääsee muodostumaan eristetyn ruostumattoman teräksen pinnalle. Oikein valittu ja asennettu putkiston tai laitteen suojapinnoite antaa hetkellisen suojan ECSCC:lle, mutta suurin osa pinnoitteista vaurioituu 5–15 vuoden aikana. Vähä kloridinen eristemateriaali ja hyvin asennettu sääsuoja auttavat myös ECSCC:een ehkäisyssä. (Inspectioneering 2019.)

3 CUI:N LIEVENTÄMINEN

Lähdettäessä suunnittelemaan tapaa lieventää eristeen alaisen korroosion aiheuttamia ongelmia pitää ensimmäisenä ottaa huomioon tärkeimmät muuttujat. Eri petrokemia-, öljy- ja kaasuyhtiöt ovat kenttäkokemuksen perusteella osoittaneet CUI:n lieventämisen tärkeimmiksi muuttujiksi seuraavat asiat (Winnik 2008, 53.)

- sääsuojan valinta ja suunnittelu
- suojapinnoituksen valinta
- eristemateriaalin valinta
- paikallisen ilmaston vaikutus kohteessa
- asennus toimenpiteet
- käyttölämpötilat (Kylmät tai kuumat kohteet)
- tarkastus ja kunnossapito käytännöt
- elinkaarikustannukset (Life cycle costs, LCC).

Edellä mainituista muuttujista tärkeimmiksi on todettu suojapinnoitus, eristemateriaali ja sääsuoja ja painotettu vähemmän asennus- ja kunnossapitotoimintoja (Winnik 2008, 53).

3.1 Suojapinnoitus

Eristeen alaisen korroosion estämiseksi tai vähintään hidastamiseksi metallinen laite tai putkilinjasto on pakko pinnoittaa suojamateriaalilla, jotta mahdollinen eristeeseen pääsevä vesi ei pääse kosketuksiin metallipinnan kanssa. Yleisiä korroosiota ennalta ehkäiseviä pinnoitusmateriaaleja ovat polymeeripohjainen epoksi, polyuretaani ja siloksaanipohjainen suoja. Nämä suojamateriaalit toimivat vain, jos pinnoitteeseen ei tule minkäänlaisia vaurioita, kuten naarmuja tai irtoavia lastuja. (Different Approach to Managing Corrosion Under Insulation 2018.)

Nesteen jalostamoilla on oma alan standardeihin perustuva spesifikaatio korroosionestomaalaukselle. Kyseinen spesifikaatio on L103 ja siinä on käsitelty kaikki korroosionestomaalaukseen liittyvät asiat tarkasti ja standardien mukaisesti. (Okkonen 2017b.)

Spesifikaation liitteenä on taulukko, jossa on selitetty havainnollistettu mitä maalia ja mitä erikoisvaatimuksia eri lämpötiloissa olevat eristettävät kohteet vaativat (taulukko 2).

Taulukko 2: Eristettävien kohteiden korroosionestomaaliyhdistelmät (Okkonen 2017a, 5).

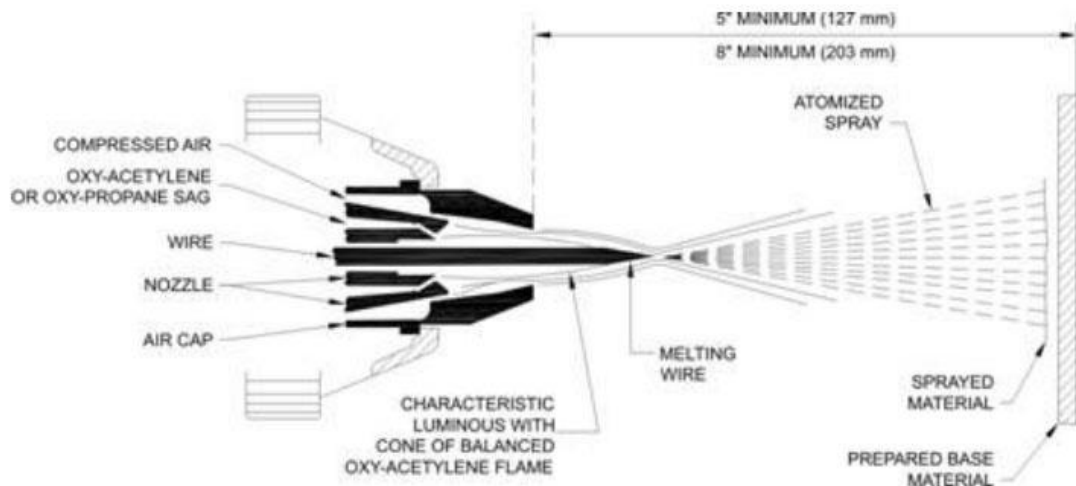
MAALIYHDISTELMÄT ERISTETTÄVILLE PUTKISTOILLE, SAILIOILLE, LAITTEILLE JA TERÄSRAKENTEILLE / PAINT SYSTEMS FOR INSULATED PIPINGS, VESSELS, EQUIPMENTS AND STEEL STRUCTURES							
HUOM/NOTE 9							
Materiaali/ Alloy	Terästyön laatuaste / Q'ty grade of steel work SFS-EN ISO 8501-3	Esikäsittely- aste / Sub- strate prepara- tion SFS-EN ISO 8501-1	Maaliyhdistelmä Paint system.	A Pohjamaa- li/ Primer B Väliemaalii/ Intermediate	Pintamaali/Top- coat	Kuivakalvon nimellis-paksuus (µm) Nominal dry film thickness (µm) (Huom/Note 1)	Maalauskohte / Painting object
CS/Low Alloy steel	P2	Sa 2	N4-EP 120/1 (Mastic)	Mastic epok- si / epoxy 120µm		120	Käyttölämpötila / Operation temperature -45...+120°C
CS/Low Alloy steel	P2	Sa2 ^{1/2}	N4-EP 120/1	Fenolepoksi / Phenol epoxy 120µm		120	Käyttölämpötila / Operation temperature -196...+200°C
CS/Low Alloy steel	P2	Sa2 ^{1/2}	N4-ESI 70/1	Etyylisink- kisiikkaatti / Ethyl zinc silicate 70µm		70	Käyttölämpötila / Operation temperature 201 - 400°C

Taulukossa 2 käsitellään hiiliteräksen tai matalaseosteisen teräksen suojamaalaukseen liittyvät huomiot. Taulukossa on listattu lämpötiloille -45–120 °C, -196–200 °C ja 201–400 °C eri vaatimukset. Esimerkiksi käyttölämpötila-alueelle -45–120 °C on ilmoitettu suojamaaliksi Masticin NP4-EP 102/1 maaliyhdistelmä ja pohjamaaliksi Mastic epoksi 120 µm. Taulukossa on myös ilmoitettu esikäsittelyaste ja terästyön laatuaste SFS-EN ISO 8501-3 -standardin mukaan, sekä kuivakalvon nimellispaksuus. (Taulukko 2.)

3.1.1 Termisesti ruiskutettu alumiini, TSA

Termisesti ruiskutettu alumiini eli TSA (Thermal Sprayed Aluminium) on ohut metallinen kerros, jolla suojaannoitetaan CUI-riskin alainen kohde joko valokaarella tai liekkiruiskutuksella (Cavallo 2017, 66).

Liekkiruiskutetun TSA:n toimintaperiaate on havainnollistettu kuviossa 3. Käytännössä yli 99 %:sta alumiinilankaa syötetään ruiskutustyökaluun ja pehmitetään, jonka jälkeen se ruiskutetaan paineilmalla suojattavan kohteen pinnalle. (Kuvio 3.)



Kuvio 3: Liekkiruiskutetun TSA:n toimintaperiaate (What is TSA Thermal Spray Aluminum - Metalink)

TSA-pinnoituksen menestys ja toimivuus riippuu paljon pinnoitettavan kohteen esi- ja jälkikäsittelystä. Seuraavat asiat on tehtävä ennen kuin TSA-pinnoitus on valmis ja pinnoitettu kohde on käyttövalmis (Tailor 2016.)

- pinnan puhdistus ja esikäsittely hiomalla 16–24 karkeudella
- TSA:n ruiskutus kohteeseen
- pintaprofiilin tarkastus, taivutustesti, tartuntatesti, huokoisuuden arviointi ja pinnoituksen paksuuden tarkastus
- TSA:n jälkikäsittely (Matala viskoosinen lakka ja epoksihartsi)
- lopputarkastus.

Eristeen alaisen korroosion estämiseksi valmistelut ja pinnoitus on tehtävä 100 prosenttisesti koko kohteeseen, koska jopa 1 %:n virhe tai huonolaatuinen pinnoitus voi aiheuttaa vikaantumisen koko laitteessa tai putkistossa. Tämän takia kohdat, joita ei pystytä hiomaan tai muuten esikäsittelemään täydellisesti ennen pinnoitusta täytyy suunnitella uudestaan. Näitä erityishuomioita vaativat kohdat voivat olla esimerkiksi laitekohtaiset yksityiskohdat, kannakkeet, nostokorvakkeet, yms. (Cavallo 2017, 67.)

3.1.2 Alumiinifolio

Austeniittisessa ruostumattomassa teräksessä tapahtuva eristeen alainen kloridista johtuva jännitekorroosio pystytään lähes täysin poistamaan käyttämällä alumiinifoliota suoja-pinnoitusmateriaalina. Alumiinifolio toimii putkistojen lisäksi myös laitteissa ja säiliöissä. Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa tehdyt laskelmat ja testit osoittavat, että alumiinifolion hinta on 60–80 % perinteisen maalatun suoja-pinnoituksen hinnasta. Näistä syistä alumiinifoliota suositellaan kaikkiin kohteisiin, jotka ovat alttiita CUI:n aiheuttamalle CL-ESCC:lle. Alumiinifoliota ei suositella käytettäväksi, jos kohde on altis kondensaatiolle, koska sen elinikä lyhenee huomattavasti kosteuden seurauksesta. Näihin tapauksiin suositellaan TSA:n käyttämistä. (Winnik 2008, 60–62.)

Alumiinifoliolla pinnoittaminen perustuu sen korkeaan lämmönjohtavuuteen eli se on käytännössä samassa lämpötilassa kuin ruostumattomasta teräksestä valmistettu putki tai laite. Tällöin kloridi pitoinen vesi tai muu liuos siirtyy alumiiniin eikä ruostumattomaan teräkseen, jolloin kloridista johtuva jännitekorroosio ei pääse muodostumaan suojattavaan kohteeseen. (V. Mitchell Liss 2010.)

Kohteen käyttölämpötilan ollessa 60–175 °C 0,1 mm:n paksuinen 46 SWG (johdinpaksuusjärjestelmä) alumiinifolio estää Cl-ESCC:n muodostumisen kohteeseen. Suojaa asennettaessa alumiinifolioiden tulisi olla 50 mm limittäin ja kiinnitettävä alumiinista tai ruostumattomasta teräksestä tehdystä langalla kohteeseen. Kylmissä kohteissa, jotka vaativat höyrylämmityksen tulee asentaa kaksi kerrosta alumiinifoliota. Ensimmäinen kerros suoraan suojattavan kohteen pinnalle ja toinen kerros höyryputken ja kohteen päälle. (Hira S. Ahluwalia 2017.)

Taulukossa 3 on havainnollistettu alumiinifolion ominaisuuksien eroavaisuuksia perinteiseen suojamaaliin. Vasemmassa kolumnissa on kerrottu ominaisuus, keskimmaisessä kolumnissa kyseisen ominaisuuden vaikutus, kun käytetään alumiinifoliota ja oikeassa kolumnissa vaikutus, kun käytetään perinteistä suojamaalia. Huomattavimmat erot voidaan todeta olevan käyttöiässä ja sovelluskustannuksissa. Normaaliolosuhteissa käyttöikä alumiinifoliolla on jopa 25–30 vuotta, kun taas perinteisellä suojamaalilla käyttöikä on vain 9–13 vuotta. Sovelluskustannukset ovat kuvattu taulukossa suhteutettuna maalattuun hiili-manganiteräkseen, jonka arvo on 1. Alumiinifolion arvo on ilmoitettu arvot 1,26 kahden tuuman putkelle, 1,54 neljän tuuman putkelle, 2,69 kahdeksan tuuman putkelle, kun taas perinteiselle suojamaalille 2,07, 2,76 ja 4,79 samankokoisille putkille. (Taulukko 3.)

Taulukko 3: Alumiinifolio vs. perinteinen suojamaali (Winnik 2008, 61).

Feature	Aluminum foil	Conventional paint
Corrosion protection for equipment operating in the ambient to moderate temperature range	25–30 years based on ICI reported experience	9–13 years maximum depending on environment (dry)
High temperature > 190 °C (350 °F) cyclic service corrosion protection	No decrease in service life	No effective paint system exists
Upper temperature limit	540 °C (1000 °F) dry	150–230 °C (300–450 °F)*
Chemical resistance	Resistant to all solvents, but narrower pH resistance range (not resistant to strong acids or bases)	Wide pH resistance range, but not resistant to solvents
Cure time between coatings	None	Approximately 24 h between coatings
Environmental impact	None	Must meet volatile organic compounds and disposal regulations
Application cost for piping (painted carbon–manganese steel equal to 1)	1.26 (nominal pipe size, 2 in) 1.54 (nominal pipe size, 4 in) 2.69 (nominal pipe size, 8 in)	2.07 (nominal pipe size, 2 in) 2.76 (nominal pipe size, 4 in) 4.79 (nominal pipe size, 8 in)
Durability	Excellent; minor damage will not result in corrosion	Very susceptible to mechanical abuse. Any damage to coating will result in corrosion
Required surface preparation	None†	Sa 2 1/2 or better
Application method(s)	Overlapping wrap of aluminium foil	Spray, brush and roller
Application accessibility	Same as for insulation	Able to apply to surfaces with restricted access using brushes and rollers
Work permit required	Cold work	Cold work, but it can restrict hot work in the area where painting is taking place
* Typical for most coatings; silicon-based heat-resistant coatings with upper temperature limits of 540 °C are available. † Power water wash or solvent degrease may be needed if surface contains lubricants, grease, dirt or organic residue.		

3.2 Eristemateriaali

Yleisesti teollisuudessa eristemateriaalit voidaan jakaa kahteen ryhmään matalalämpötila käyttökohteet, jotka ovat alle ympäristön lämpötilassa tai korkealämpötila käyttökohteet, jotka ovat yli ympäristön lämpötilassa (Winnik 2008, 67). Eristemateriaalia valittaessa ensimmäinen ja tärkein vaihe on kohteen käyttölämpötilan selvittäminen.

Matalassa lämpötilassa olevien kohteiden eristemateriaalina käytetään yleisesti polyuretaania, polyisosyanuraattia, taipuisia elastomeerisia vaahtoja, fenoleja ja kennomaista lasia. Tämän kaltaiset eristemateriaalit tarvitsevat yleensä erillisen haihtumissuojan sääsuojan alla, jotta voidaan minimoida mahdollinen ilmakehän kosteuden aiheuttama kondensaatio. Korkeassa lämpötilassa olevien kohteiden eristemateriaalina käytetään yleisesti perliittiä, kalsiumsilikaattia, mineraalivillaa, kennomaista lasia ja lasikuitua. Asbestia ei käytetä enää eristemateriaalina terveys- ja turvallisuussyistä. (Winnik 2008, 67–68.)

Nesteen lämpöeristyspesifikaatiossa L101 on annettu omat vaatimukset eristysmateriaalille alan standardien mukaisesti. Spesifikaation mukaan materiaalilla ei saa olla minkäänlaista syövyttävää vaikutusta kohteeseen, materiaalin tulee olla

vettähylykivä, palamaton ja lahoamaton, eikä sen lämmönjohtavuus saa ylittää SFS 3976 standardissa määritettyjä arvoja. Eristemateriaaleina käytetään standardien SFS 3976 ja SFS 3978 käyttösuositusten mukaan mineraalivillakouruja, verkkomattoja ja levyjä. Yllä mainittujen SFS -standardien asettamien vaatimuksien lisäksi L101 spesifikaatiossa ovat listattu seuraavat lisävaatimukset (Mikkola 2018, 10.)

- Eristemateriaalin sulamislämpötila on oltava yli 1000 °C.
- Eristemateriaalin kloridipitoisuus ei saa ylittää 30 ppm.
- Putkistoissa puristusjännitys on oltava vähintään 10 kPa.
- Säiliöiden katoissa puristusjännitys on oltava vähintään 20 kPa.

4 KÄYTETTÄVÄT TARKASTUSMENETELMÄT

Eristeen alaisen korroosion havaitsemiseksi käytetään monenlaisia eri NDT (Non-destructive testing) eli rikkomaton aineenkoetus tarkastusmenetelmiä. Erilaisia NDT-tarkastusmenetelmiä ovat muun muassa (Winnik 2008, 46.)

- visuaalinen/silmämääräinen
- radiografinen
- ultraääni
- ohjattu ultraäänialto
- pyörrevirta
- infrapunalämpökuvaus
- neutroni takasironta
- tunkeuma-aine.

Neste Naantalin jalostamolla eristeen alaiseen korroosion liittyvät tarkastukset tehdään yleisesti ottaen aina käyttäen visuaalista tarkastusta (VT) ja radiografista tarkastusta (RT). Visuaalinen tarkastus tehdään aina ennen ja jälkeen eristeiden purkua. Visuaalisen tarkastuksen perusteella päätetään mihin kohtaan kohdetta suoritetaan radiografinen tarkastus tai ultraäänitarkastus. Erityistapauksissa, kun radiografista tarkastusta ei pystytä suorittamaan kohteessa, käytetään ultraäänitarkastusmenetelmää (UT). UT:ta joudutaan pääosin käyttämään silloin, kun RT:llä ei saada otettua kuvaa kohteesta.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään pelkästään VT-, RT- ja UT-tarkastusmenetelmiin, koska ne ovat ainoat tarkastusmenetelmät joita käytetään tällä hetkellä Neste Naantalin jalostamolla CUI:n aiheuttamien mahdollisten vaurioiden tarkastamiseksi.

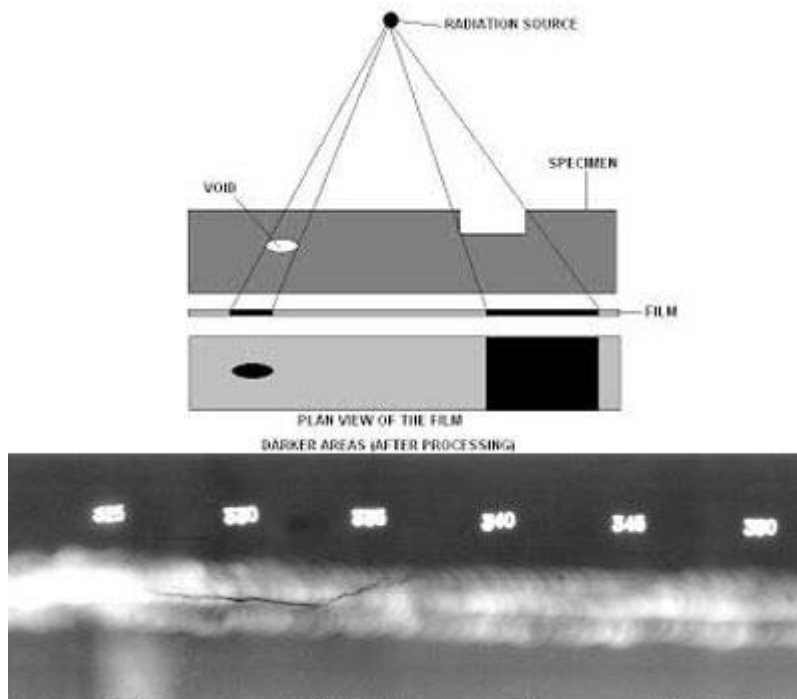
4.1 Radiografinen tarkastus

Radiografinen tarkastusmenetelmä eli RT (Radiographic Testing) hyödyntää röntgensäteilyä tai gammasäteilyä kohteen sisäisen rakenteen kuvaamiseen (Radiographic Testing (RT) 2015). Radiografinen tarkastus on yleisin NDT -menetelmä ja sillä saadaan pysyvä kuva tarkastettavan kohteen ulkopuolisesta ja sisäpuolisesta kunnosta. Pysyvä kuva on erittäin hyödyllinen tapauksissa, kun samaa kohdetta kuvataan myöhemmin uudelleen, jolloin pystytään vertaamaan uutta kuvaa vanhaan kuvaan. Tällöin saadaan käsitys siitä miten kohde on kulunut vuosien saatossa. (LMATS 2015.)

Eristeen alaisen korroosion lisäksi radiografista tarkastusmenetelmää voidaan hyödyntää esimerkiksi (LMATS 2015)

- hitsausseamojen tarkastamiseen
- korroosion kartoitukseen
- valukappaleiden tarkastamiseen
- taottujen kappaleiden tarkastamiseen
- kappaleen näennäistiheyden selvittämiseen
- kappaleen seinämävahvuuden määrittämiseen
- betonisen kappaleen vahvikkeiden tarkastamiseen
- betonisen kappaleen huokuisuuden selvittämiseen
- tukkeuman sijainnin selvittämiseen.

Käytännössä radiografinen tarkastus toimii asettamalla säteilylähde toiselle puolelle tarkastettavaa kohdetta ja filmi toiselle puolelle, jolloin filmille muodostuu kuva kohteesta (kuvio 4). Kuvauksen jälkeen filmi on teetettävä, jotta sitä voidaan tarkastella valaistulla tasolla. Radiograafisen kuvan tulkittavuus ja luotettavuus riippuvat kuvan kontrastista ja tarkkuudesta. Tämän takia kuvaa tulkitsevan tarkastajan täytyy olla ammattilainen ja pystyä tunnistamaan mahdolliset vauriot kuvatussa kappaleessa täsmällisesti. (DACON INSPECTION TECHNOLOGIES CO., LTD. 2019.)

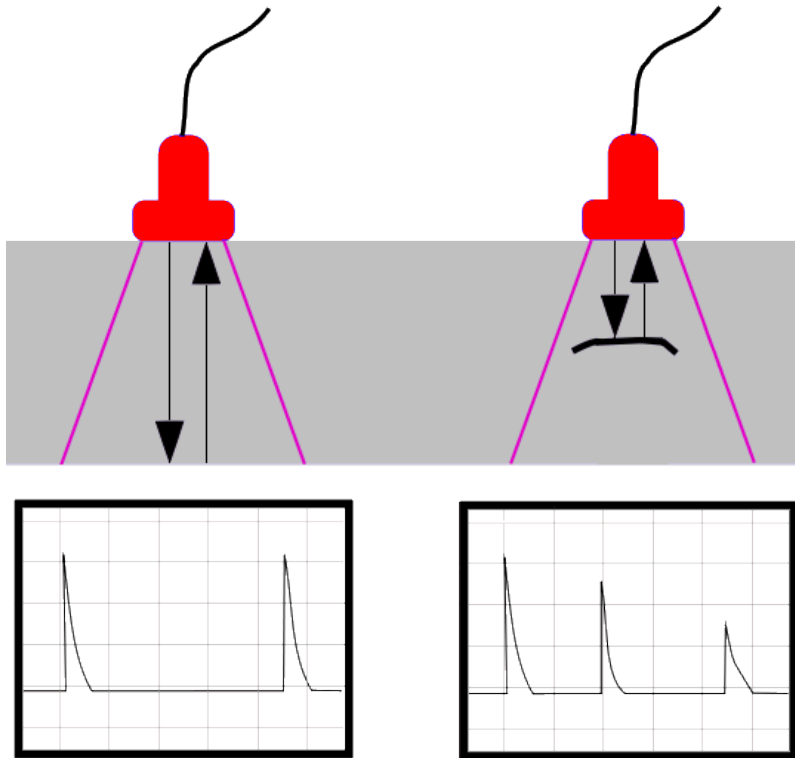


Kuvio 4: Radiografisen tarkastuksen toimintaperiaate ja esimerkki filmi (Godavari Technical Services 2014).

4.2 Ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastus eli UT (Ultrasonic Testing) on NDT -menetelmä, jolla saadaan selville tarkastettavan kappaleen seinämävahvuus tai sisäinen rakenne hyödyntäen korkeataajuisia ääniaaltoja. UT:ssa käytettävä taajuus tai äänentaso on useimmiten 500 kHz ja 20 MHz välillä. (Sölken 2012.)

Kuviossa 5 on esitetty ultraäänitarkastuksen toimintaperiaate. Vasemmalla laite lähettää ääniaallon testimateriaaliin ja saadaan kaksi mittauslukemaa. Ensimmäinen mittauslukema on laitteen tuottama lähtöpulssi ja toinen on takaseinästä syntyvä kaiku. Oikella virhe testikappaleessa tuottaa kolmannen mittauslukeman ja samalla pienentää takaseinän kaiun amplitudia. (Kuvio 5.)



Kuvio 5: Ultraäänitarkastuksen periaate (Werner Sölken 2019).

Ultraäänitarkastus on erittäin monipuolinen ja hyvä tarkastusmenetelmä. Sen etuihin kuuluu muun muassa (NDT Resource Center)

- Vaurioiden lisäksi voidaan mitata seinämävahvuutta.
- Vaurioiden havaitsemisyvyys on isompi kuin muissa NDT -menetelmissä.
- Yksityiskohtaiset kuvat voidaan tuottaa automaattisesti.
- Elektroniset välineet toimittavat välittömästi tulokset kohteesta.
- Tarvitaan vain yhdeltä puolelta pääsy tarkastettavaan kohteeseen.

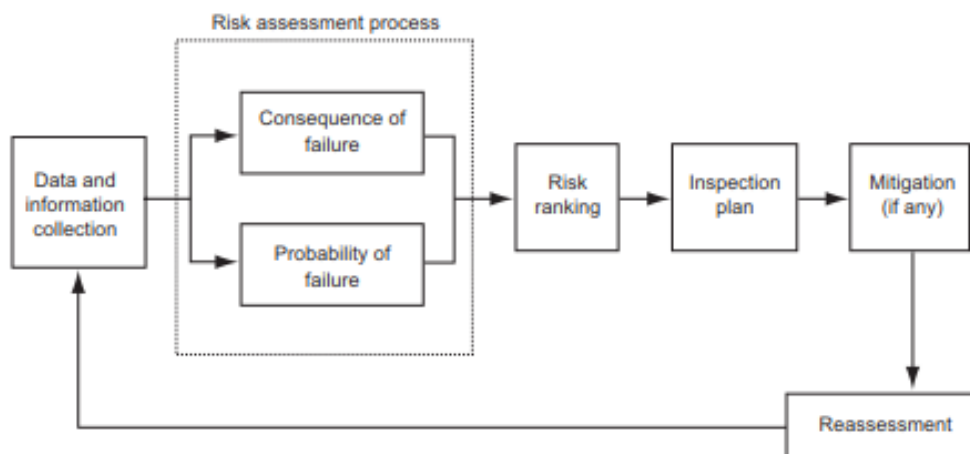
Neste Naantalin jalostamolla CUI:ta tutkittaessa UT-menetelmää käytetään, kun tarkastettavaan kohteeseen ei päästä käsiksi RT-menetelmällä. RT-menetelmä vaatii pääsyn molemmille puolille mitattavaa kohdetta, kun taas UT-menetelmä ei.

5 RISKIPOHJAINEN TARKASTAMINEN

Laitteiden ja putkilinjojen systemaattiseen tarkastukseen on kehitetty riskitasoon perustuva toimintamalli, josta käytetään nimitystä RBI (Risk-based Inspection) eli riskipohjainen tarkastusmenetelmä. RBI on yleisesti hyväksytty toimintamalli jalostamoilla, petrokemian laitoksilla ja avomerellä sijaitsevilla laitoksilla. RBI keskittyy niihin kohteisiin, joilla on korkein vikaantumisen tai vaurioitumisen riski. Tämän takia RBI:n kaltainen lähestymistapa eristeen alaisen korroosion ehkäisemiseksi ja sen aiheuttamien vaurioiden tarkastamiseksi on suositeltavaa. (Winnik 2008, 17.)

RBI-suunnitelma kehitettäessä olennaisin ja tärkein työvaihe on riskipohjainen analysointi. Analysointi koostuu tutkittavan kohteen vaurioitumisriskin todennäköisyydestä (Probability of Failure, PoF) ja mahdollisen vaurioitumisen aiheuttamista seuraamuksista (Consequence of Failure, CoF). (TWI Ltd. 2017.)

Kuviossa 6 on havainnollistettu API RP 580 -standardin mukaista riskipohjaisen tarkastamisen suunnitteluprosessia. Prosessin vaiheet ovat tiedon kerääminen, PoF:n ja CoF:n laatiminen (eli riskin arviointi prosessi), riskitason selvittäminen, tarkastussuunnitelma, mahdollinen lieventäminen ja uudelleen arviointi. Uudelleen arvioinnin jälkeen prosessi alkaa alusta. (Kuvio 6.)



Kuvio 6: Riskipohjaisen tarkastamisen suunnitteluprosessi (Risk-based Inspection: API Recommended Practices 580. 2016, 19).

5.1 Consequence of Failure

Consequence of Failure (CoF) kuvaa vaurioitumisen aiheuttamaa seurausta ja se lasketaan tarkastelemalla ja luokittelemalla mahdollisen vaurioitumisen aiheuttama vaikutus kohteeseen, henkilöstöön ja ympäristöön, sekä sen aiheuttama taloudellinen vahinko (Inspectioneering.)

Taulukossa 4 on havainnollistettu vaurioitumisen seuraamuksen eri tasoja, jotka ovat jaoteltu viidelle eri tasolle. Taulukossa on myös otettu huomioon erikseen vaurion vaikutus työterveyteen ja työturvallisuuteen, liiketaloudellinen vaikutus ja ympäristövaikutus. (Taulukko 4.)

Taulukko 4: Riskimatriisin laskentataulukko vaurion seuraamukselle (Winnik 2008, 30).

Risk assessment matrix level	1	2	3	4	5
Health and safety	<i>No or slight injury</i> First aid case and medical treatment case; does not affect work performance or cause disability	<i>Minor injury</i> Loss time injury. Affects work performance, such as restriction to activities or a need to take a few days to recover fully (maximum 1 week)	<i>Major injury</i> Includes permanent partial disability. Affects work performance in the longer term, such as prolonged absence from work; irreversible health damage without loss of life, e.g. noise-induced hearing loss, or chronic back injuries	<i>Single fatality</i> Also includes the possibility of multiple fatalities in close succession due to the incident, e.g. explosion	<i>Multiple fatalities</i> From an accident or occupational illness, e.g. chemical asphyxiation or cancer (large exposed population)
Economics	<i>No or slight damage</i> No or very slight disruption to operation	<i>Minor damage</i> Brief disruption to operation	<i>Local damage</i> Partial shutdown that can be restarted	<i>Major damage</i> Partial or complete operation loss	<i>Extensive damage</i> Substantial or total loss of operation
Environment	<i>No or slight effect</i>	<i>Minor effect</i>	<i>Localised effect</i>	<i>Major effect</i>	<i>Massive effect</i>

5.2 Probability of Failure

Probability of Failure (PoF) kuvaa vaurioitumisen todennäköisyyttä ja se lasketaan tutkimalla eristeen alaista korroosiota aiheuttavien tekijöiden vaikutusta kohteeseen. Näitä CUI:lle altistavista tekijöistä tärkeimmät ovat kohteen käyttölämpötila ja ulkoympäristö eli kostumisen laajuus ja yleisyys. Näiden lisäksi on paljon muita tekijöitä, esimerkiksi suojapinnoitteen ikä ja kunto, suojakuoren ja eristeen ikä ja kunto,

eristemateriaali, korroosion sallittu toleranssi ja ulkopuoliset kierukka- tai höyrylämmitykset. (Winnik 2008, 29–33.)

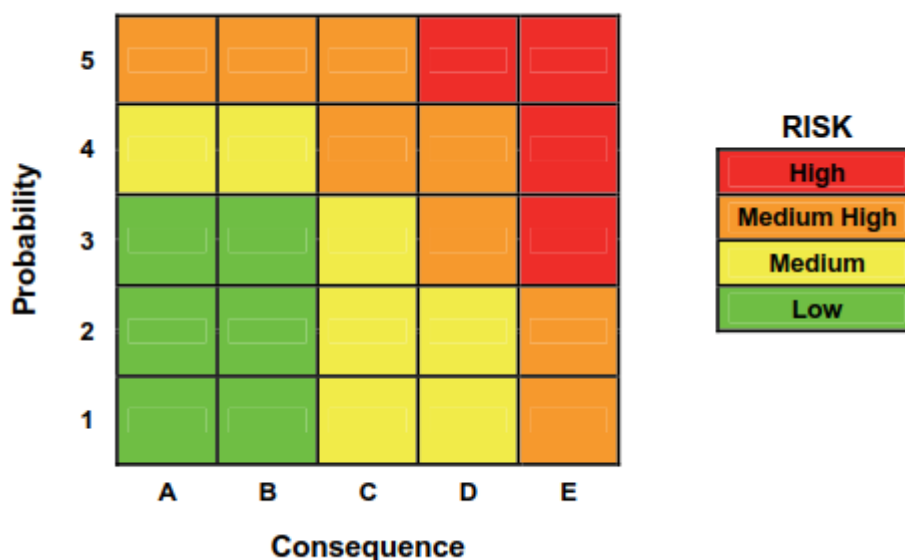
Taulukko 5 on esimerkki mahdollisesta CUI-alttiuden laskemistaulukosta. Taulukkoon on listattu kolumneihin eri CUI-alttiuteen vaikuttavia tekijöitä ja sitä hyödyntäen pystytään laskemaan kohteelle PoF-arvo.

Taulukko 5: CUI-alttius laskentataulukko hiiliteräksessä (Winnik 2008, 34).

Class	Operating temperature	Coating status when new or last applied	Cladding or insulation condition	Insulation type	Remnant corrosion allowance (example values only)	External coil or steam tracing	External environment	Score
CS-1	Constantly >175 °C or < -4 °C	Full quality assurance coating 8 years, or thermally sprayed aluminium coating 15 years	Good to engineering standards or renewed (<5 years)	Contact-free insulation, with regular inspection (every 5 years)	>4 mm	Not present	Inside building, not steam traced and not sweating Default negligible risk	?
CS-2	150–175 °C	Full quality assurance coating 8–15 years or conventional coating 8 years or thermally sprayed aluminium coating 15–20 years	Average condition, overall high-integrity design and construction	Expanded perlite, foam glass, closed-cell foam (good type)	2–4 mm	High-integrity design	Low wetting rate (<20% of the time)	?
CS-3	-4–49 °C and 111–175 °C	Conventional coating 8–15 years or thermally sprayed aluminium coating >20 years	Average condition, conventional design and construction	Fibreglass, asbestos, regular perlite, mineral-rock wool (<10 ppm Cl)	1–2 mm	Medium-integrity design	Medium wetting rate (20–50% of the time)	?
CS-4	50–110 °C or sweating conditions	Full quality assurance or conventional coating >15 years or unpainted or unknown	Poor condition, damaged, wet or broken seals	Calcium silicate, rock wool (no specification), unknown	<1 mm	Low-integrity design or leaking	High wetting rate (>50% of the time) (e.g. cooling-tower or deluge systems)	?

5.3 Riskimatriisi eli riskitaso

Hyödyntäen taulukoiden 4 ja 5 tietoja ja pisteytystä pystytään selvittämään tutkittavalle kohteelle riskimatriisi eli riskitaso. Riskimatriisissa x-akselilla on vaurion seuraamus (CoF) asteikolla A:sta E:hen ja y-akselilla vaurioin todennäköisyys (PoF) asteikolla yhdestä viiteen. Riskimatriisin vieressä on selitykset taulukon väritykselle. Värit kertovat riskitason: punainen on korkea, oranssi on keskikorkea, keltainen on keskisuuri ja vihreä on matala. Esimerkiksi, jos CoF-arvoksi saadaan E ja PoF-arvoksi 3, tällöin riskitaso on matriisin mukaan punainen eli korkea. (Kuvio 7.)



Kuvio 7: Esimerkki riskimatriisi taulukosta (Risk-based Inspection Methodology: API Recommended Practices 581. 2016, 28).

Matriisilla selvitetyn riskitason perustella tehdään tarkastussuunnitelma putkilinjalle tai laitteelle. Tämän hetkessä CUI-projektissa Neste Naantalin jalostamolla tarkastussuunnitelmat ovat seuraavat

- Punainen (Korkea/High): CUI-kriittisistä alueista poistetaan 50 % eristeistä, sekä eristeenalaisen putkiston 100 % visuaalinen tarkastus ja tarvittaessa paksuusmittaus.
- Oranssi (Keskikorkea/Medium High): CUI-kriittisistä alueista poistetaan 25 % eristeistä, sekä eristeenalaisen putkiston 100 % visuaalinen tarkastus ja tarvittaessa paksuusmittaus.
- Keltainen (Keskikokoinen/Medium): CUI-kriittisistä alueista poistetaan 15 % eristeistä, sekä eristeenalaisen putkiston 100 % visuaalinen tarkastus ja tarvittaessa paksuusmittaus.
- Vihreä (Matala/Low): Ei tehdä tarkastuksia.

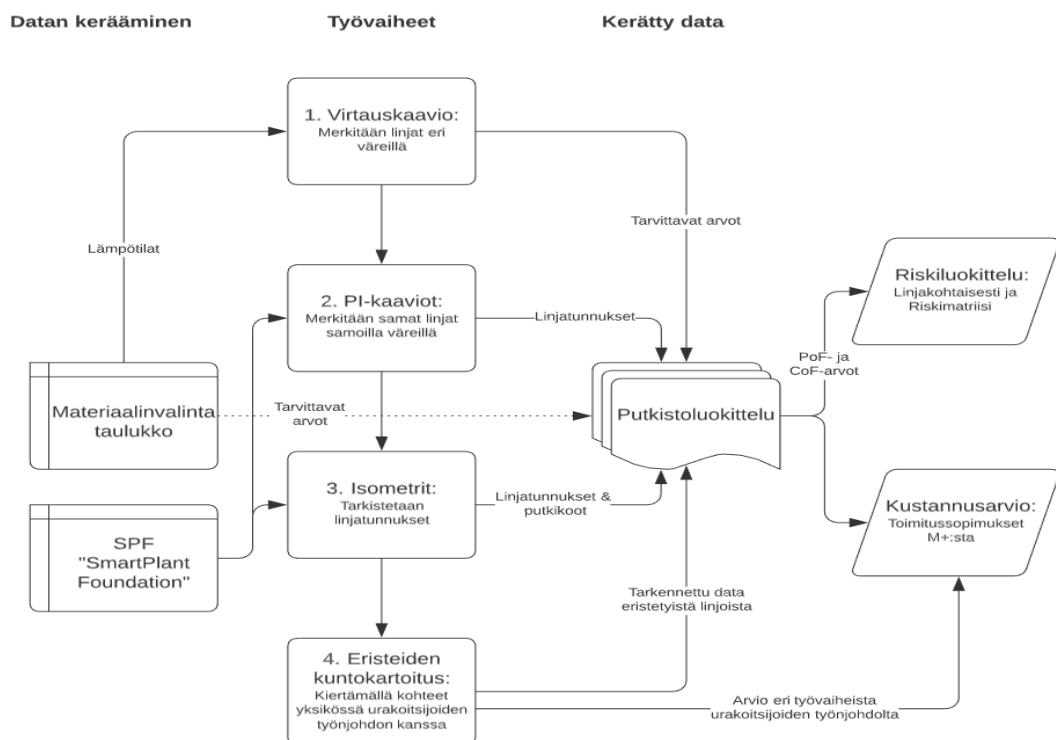
Riskitason ollessa punaisella, oranssilla tai keltaisella tasolla tarkastuslaajuus kaksinkertaistetaan, jos havaitaan merkittäviä korroosiovaurioita.

6 RT1 JAKOTISLAUSYKSIKÖN RISKIALTTIIDEN KOHTEIDEN KARTOITUS

Eristeen alaiselle korroosiolle alttiiden putkilinjojen ja laitteiden kartoitus tehtiin kaikille RT1 jakotislausyksikön kohteille, jotka ovat 0–175 °C:n lämpötila-alueella. Kartoituksessa huomioitiin myös kohteet, jotka ovat lämpötila-alueen ulkopuolella, mutta käyttö ei ole tasaista ja jatkuvaa. Kartoitusprosessin viisi päävaihetta olivat

- prosessivirtauskaavioon riskialttiiden kohteiden merkitseminen
- PI-kaavioihin riskialttiiden kohteiden merkitseminen
- linjakohtaisten isometrien tarkastelu
- linjakohtainen putkistoluokittelu Excel -lomakkeeseen
- kenttätasolla tehtävä eristeiden kuntokartoitus.

Kuviossa 8 on havainnollistettu tehokkain tapa suorittaa kartoitus vaihekohtaisesti. Kartoitusprosessi on jaettu kolmeen pääkohtaan: datan kerääminen, työvaiheet ja kerätty data. Yksittäiset työvaiheet ja kartoituksen toteutus on selitetty yksityiskohtaisesti kappaleissa 6.1–6.7.



Kuvio 8: Riskialttiiden kohteiden kartoitusprosessi

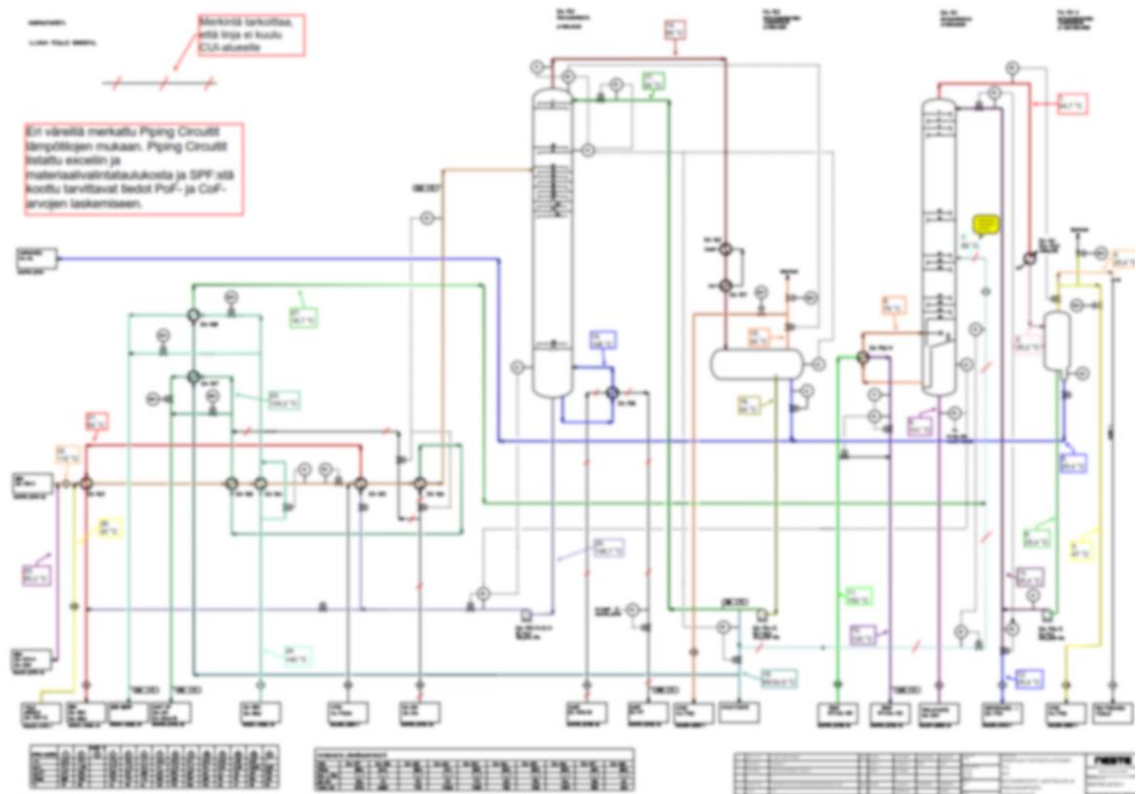
Kartoituksessa käytettiin pääsääntöisesti SPF:ää, M+:saa ja materiaalivalintataulukkoa. SPF (SmartPlant Foundation) on Nesteen omistama dokumenttienhallintajärjestelmä, jossa muun muassa kaikkien jalostamon laitteiden ja putkilinjojen tekniset dokumentit. M+ on IFS:n toimittama toiminnanohjausjärjestelmä, jota käytetään Neste Oyj:n jalostamoilla. Materiaalivalintataulukko on Nesteen sisäinen Excel-lomake, johon on listattu yksikkökohtaisesti kaikki jalostamon laitteet ja niiden väliset linjat. Taulukosta saadaan tarkka tieto laitteiden ja putkilinjojen lämpötiloista, paineista, materiaaleista, virtaavan aineen koostumuksesta, sekä tarkastuksiin ja korjauksiin liittyvistä huomioista.

6.1 Prosessivirtauskaavio

Prosessivirtauskaaviota (Process Flow Diagram) eli PFD:tä hyödynnetään useimmiten kemianteollisuuden suunnittelussa ja muussa prosessisuunnittelussa. PFD:ssä havainnollistetaan tuotantolaitoksen pääkomponenttien yhteys toisiinsa. Sitä käytetään pääsääntöisesti dokumentointiin, prosessin parantamiseen tai uuden prosessin suunnitteluun. Yksittäisen yksikön prosessivirtauskaavio sisältää yleisesti (Lucidchart 2017.)

- päälaitteet
- prosessin putkiston
- säätöventtiilit
- ohivirtausputkistot
- virtaussuunnat
- prosessidatan (lämpötila, paine, massavirta, yms.).

Opinnäytetyössä tehty kartoitusprosessi aloitettiin perehtymällä SPF:stä saatavaan virtauskaavioon. RT1 jakotislausyksikkö on suhteellisen pieni yksikkö, joten sen kaikki laitteet ja putkilinjat mahtuvat yhteen virtauskaavioon. Virtauskaavioon merkittiin eri väreillä eri lämpötiloissa olevat putkilinjat hyödyntäen materiaalivalintataulukoista löytyviä lämpötiloja. Merkitsemisen helpottamiseksi linjat käytiin läpi systemaattisesti laitekohtaisesti. Yhteensä CUI-alttiita linjoja RT1 jakotislausyksiköstä löytyy 27 kappaletta. Jokaisen linjan viereen merkittiin samalla värillä järjestysnumero ja linjan lämpötila celsiusasteina. Yksikön virtauskaavio löytyy liitteestä 1 ja muokattuna kuviosta 9.



Kuvio 9: RT1 jakotislauksyksikön virtauskaavio

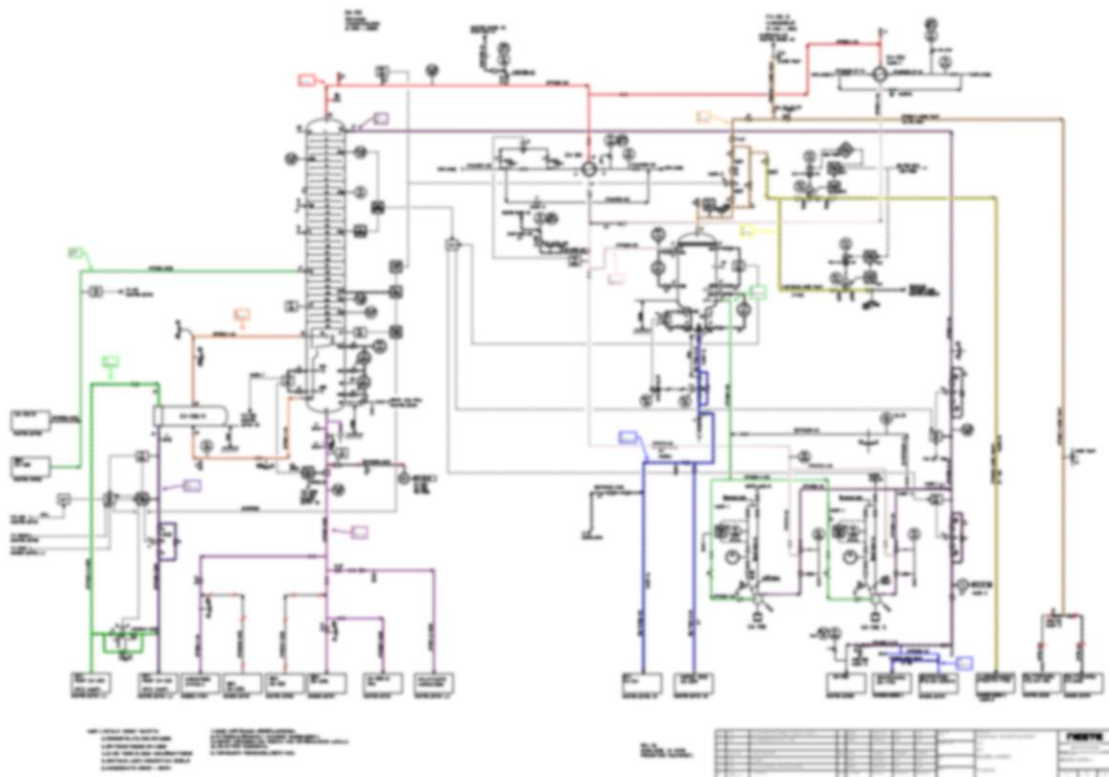
Samalla, kun virtauskaavioon merkittiin riskialttiit linjat, tehtiin putkistoluokittelutaulukko. Putkistoluokittelutaulukkoon merkittiin kaikki samat 27 linjaa, sekä kaikki CoF:n ja PoF:n laskemiseen tarvittavat tiedot. Putkistoluokittelu käydään yksityiskohtaisesti läpi kappaleessa 6.4.

6.2 PI-kaaviot

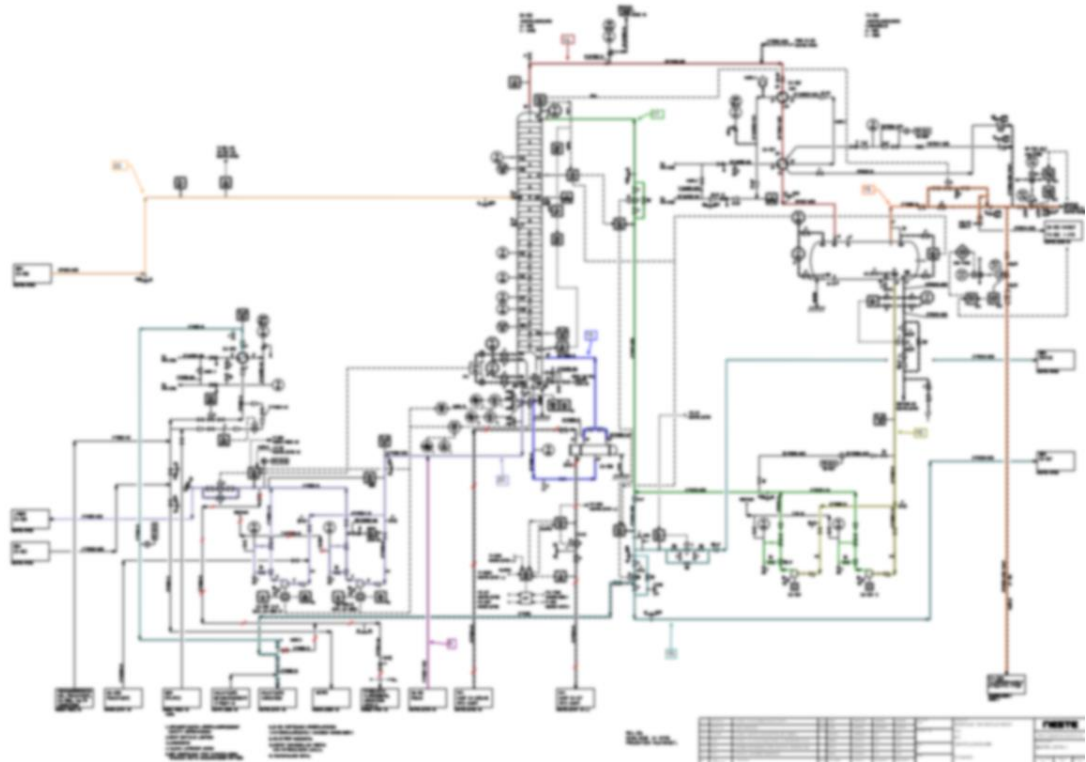
PI-kaaviolla eli prosessi- ja instrumenttikaaviolla tarkoitetaan kaaviota, josta nähdään yksikön tai yksikön osan koko prosessi ja sen laitteiden keskinäisliitännät. PI-kaavion suurin ero prosessivirtauskaavioon on sen tarkkuus ja yksityiskohtaisuus. PI-kaavio sisältää virtauskaaviossa olevien asioiden lisäksi pienemmät putkilinjat, ohituslinjat ja instrumentoinnit. (RFF Electronics) Neste Oyj:n jalostamolla PI-kaaviot sisältävät myös kaikki varalaitteet, kuten varapumput ja lämmönvaihtimet, joita ei välttämättä havaita virtauskaaviosta.

Virtauskaavion merkintöjen valmistuttua aloitettiin samojen putkilinjojen ja laitteiden kartoittaminen PI-kaavioista. PI-kaavioihin merkittiin myös putkilinjojen ja laitteiden

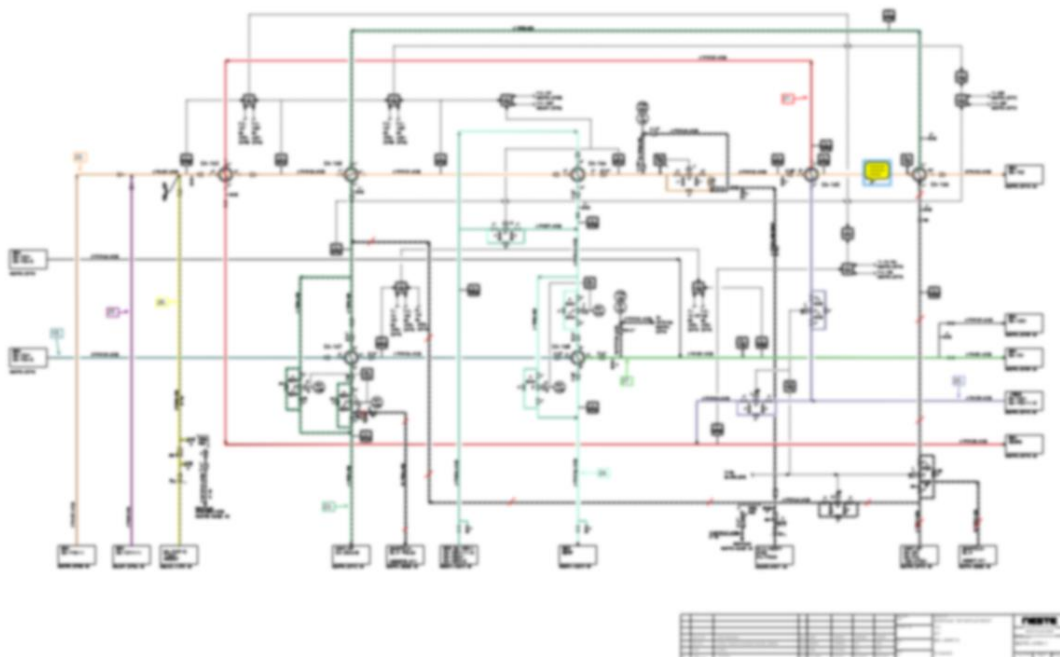
ohituslinjat, joita ei havaita virtauskaaviosta. RT1 jakotislausyksikkö on jaettu kolmeen PI-kaavioon. Ensimmäisessä PI-kaaviossa (NN3795-22709-1) on tärkeimpänä laitteena kevytbensiinin vakiointikolonne (DA-151) ja sen prosessiin liittyvät oheislaitteet kuten ylimenosäiliö, lämmönvaihtimet ja pumput. Toisessa PI-kaaviossa (NN3795-22710-1) on tärkeimpänä laitteena jakotislauskolonne (DA-152) ja sen prosessiin liittyvät oheislaitteet kuten ylimenosäiliö, lämmönvaihtimet ja pumput. Kolmannessa PI-kaaviossa (NN3795-49783-1) on yksikön loput lämmönvaihtimet ja niiden putkilinjat. Yksikön PI-kaaviot löytyvät liitteestä 2 ja muokattuina kuvioista 10–12.



Kuvio 10: RT1 Jakotislausyksikön PI-kaavio NN3795-22709-1



Kuvio 11: RT1 Jakotislausyksikön PI-kaavio NN3975-22710-1



Kuvio 12: RT1 Jakotislausyksikön PI-kaavio NN3975-49783-1

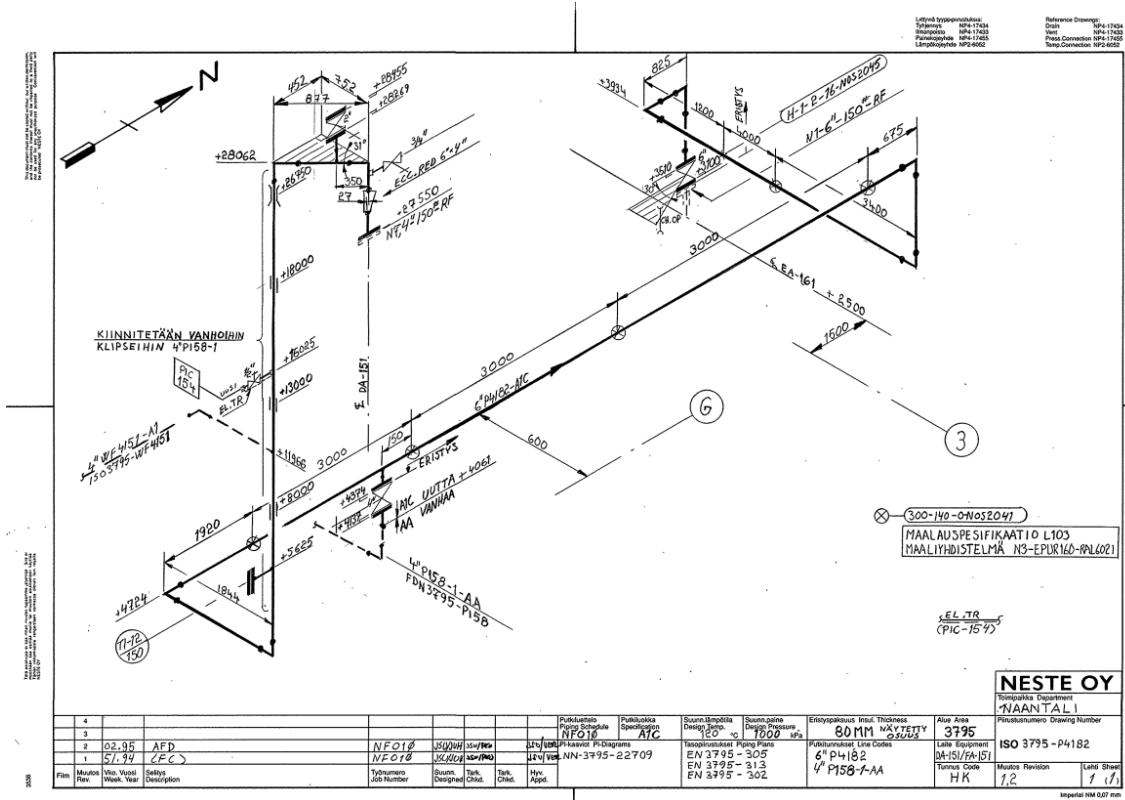
PI-kaavioihin merkittiin samoilla väreillä samat 27 linjaa kuin virtauskaavioon. Samalla, kun linjat merkittiin PI-kaavioihin, kerättiin putkilinjojen tunnukset putkistoluokittelutaulukkoon isometrikohtaista kartoitusta varten. Linjojen tunnuksista havaitaan myös linjan halkaisija tuumina ja putkiluokka, josta saadaan tietää putken valmistusmateriaali.

6.3 Isometrit

Putkistoisometri mahdollistaa yksittäisen putkilinjan piirtämisen niin, että siitä havaitaan putken pituus, leveys ja syvyys yhdestä kuvakulmasta. Isometrejä ei kuitenkaan piirretä oikeissa mittasuhteissa, joten ne vaativat erilliset merkinnät tarkoille pituuksille ja korkeuksille. (Werner Sölken 2010) Putkistoisometreissä havainnollistetaan yksittäisen putkilinjan pituudet, putkipaksuudet, laipat, kannakkeet, hitsaussaumamat ja muut yksityiskohdat, joita ei havaita PI-kaavioista tai virtauskaavioista. Isometrejä käytetään esimerkiksi suunnitellessa uutta linjaa, vanhan olemassa olevan linjan korjauksessa tai ennakoivassa kunnossapidossa.

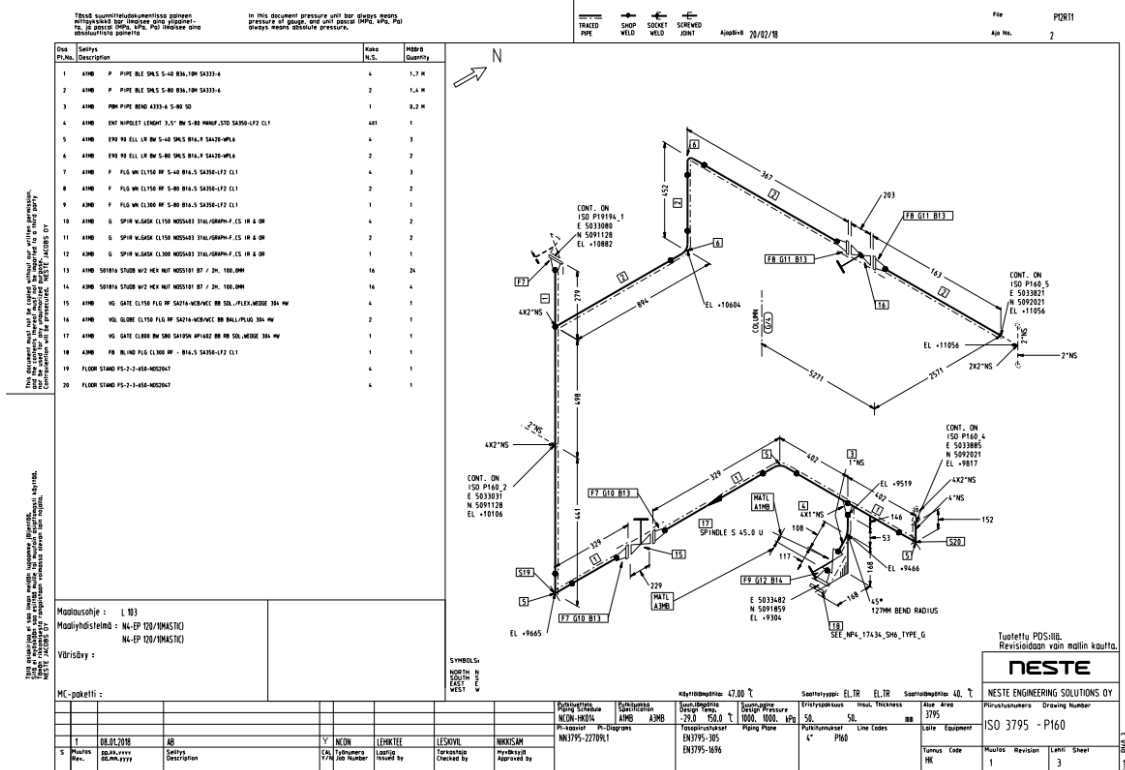
PI-kaavioiden perusteella kerättiin linjakohtaisesti putkistoluokittelulomakkeeseen kaikki isometrit, jotka koskevat CUI-alttiita putkilinjoja ja laitteita. Isometreistä saadaan tietää tarkalleen linjojen halkaisijat tuumina ja pituudet millimetreinä. Kartoituksessa isometrejä hyödynnettiin putkien halkaisijoiden varmistuksessa ja putkien pituuksien selvittämisessä. Yksikön CUI-alttiiden linjojen isometrejä kertyi yhteensä 69 kappaletta ja jokaisen linjan pituus laskettiin yksitellen. Isometriä perusteella kokonaisuudessaan linjojen pituudeksi saatiin 1301,2 metriä.

Kuviossa 13 on esimerkki vanhasta 1994 tehdystä käsin piirretystä isometristä. Kuvioista havaitaan silti putkiston yksityiskohdat, esimerkiksi hitsaussaumamat suorien ja käyrien välissä, venttiilit, supistukset ja kaikki mitat millimetrin tarkkuudella suunnittelua varten.



Kuvio 13: Esimerkki isometristä (vanha)

Kuviossa 14 on esimerkki uudemmassa 2018 tehdystä isometristä. Kuvio on piirretty jollain CAD-ohjelmalla ja sen vieren on myös listattu kaikki isometrissä olevat komponentit, kuten putkien pituudet, materiaalit, laipat, käyrät, venttiilit, supistukset ja yms. Tällaista yksityiskohtaista listaa ei ole vanhemman mallisissa isometreissä, kuten kuviossa 12.



Kuvio 14: Esimerkki isometrissä (uusi)

6.4 Putkistoluokittelu

Kartoituksen joka vaiheessa täydennettiin putkistoluokittelutaulukkoa. Taulukon tarkoitus on mahdollistaa PoF- ja CoF-arvojen laskeminen. Taulukkoon merkityistä asioista tärkeimmät olivat linjan järjestysnumero, mistä laitteesta linja lähtee ja mihin se johtaa, putkilinjan numero, sisällön lämpötila, sisältö, API 570 luokittelu, ikä, seinämävahvuus, putken pituus, tarkennettu korroosionopeus, ar/t-taulukkoarvo, tarkastuksien määrä, tarkastuksien luotettavuus ja vaurioitumiskerroin. Muita taulukkoon merkittyjä asioita olivat putkiluokka, putken materiaali, paine, teoreettinen vaurioitumismekanismi, putken halkaisija, ympäristön kosteusaste, suojaoinnitus, eristemateriaali ja eristeiden kunto. Putkistoluokitteluun listattujen tietojen perusteella pystytään laskemaan PoF- ja CoF-arvot. Tässä tapauksessa PoF-arvo ilmoitetaan välillä 1–4, jolloin arvo 1 on vakavin ja CoF-arvo ilmoitetaan välillä 1–4, jolloin arvo 1 on vakavin.

6.4.1 PoF-arvon laskeminen

PoF-arvon laskemiseen käytettiin API 581 -standardin ar/t- taulukkoa, joka löytyy taulukosta 6. Taulukon vasemmassa reunassa olevassa kolumnissa ilmoitetaan ar/t-arvo, jonka pystyy laskemaan halutulle kohteelle kertomalla kohteen iän korroosionopeudella ja jakamalla kohteen seinämävahvuudella. Taulukon ensimmäinen rivi, jossa on numerot yhdestä kuuteen tarkoittaa kohteelle tehtyjen tarkastuksien määrää. Seuraava rivi, jossa on kirjaimilla merkityt arvot l, m, h tai vh, tarkoittaa tehtyjen tarkastuksien luotettavuutta. (Taulukko 6.)

- l = low eli matala
- m = medium eli keskiverto
- h = high eli korkea
- vh = very high eli todella korkea

Näiden tietojen perusteella pystytään selvittämään taulukosta DF (Damage factor) eli vaurioitumiskerroin. DF-arvo on jotain yhden ja yli tuhannen välillä. PoF-arvo saadaan DF-arvosta seuraavalla tavalla

- PoF on 4, kun $DF \leq 10$
- PoF on 3, kun $10 < DF \leq 100$
- PoF on 2, kun $100 < DF < 1000$
- PoF on 1, kun $DF \geq 1000$.

Taulukko 6: PoF:n laskennassa käytettävä ar/t- taulukko

Corrosion Factors																												
ar/t	0				1				2				3				4				5				6			
	l	m	h	vh	l	m	h	vh	l	m	h	vh	l	m	h	vh	l	m	h	vh	l	m	h	vh	l	m	h	vh
0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
0.04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
0.06	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
0.08	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
0.10	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
0.12	6	5	3	2	1	4	2	1	1	3	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
0.14	20	17	10	6	1	13	6	1	1	10	3	1	1	7	2	1	1	5	1	1	1	4	1	1	1	1	1	
0.16	90	70	50	20	3	50	20	4	1	40	10	1	1	30	5	1	1	20	2	1	1	14	1	1	1	1	1	
0.18	250	200	130	70	7	170	70	10	1	130	35	3	1	100	15	1	1	70	7	1	1	50	3	1	1	1	1	
0.20	400	300	210	110	15	290	120	20	1	260	60	5	1	180	20	2	1	120	10	1	1	100	6	1	1	1	1	
0.25	520	450	290	150	20	350	170	30	2	240	80	6	1	200	30	20	1	150	15	2	1	120	7	1	1	1	1	
0.30	650	550	400	200	30	400	200	40	4	320	110	9	2	240	50	4	2	180	25	3	2	150	10	2	2	2	2	
0.35	750	650	550	300	80	600	300	80	10	540	150	20	5	440	90	10	4	350	70	6	4	260	40	5	4	4	4	
0.40	900	800	700	400	130	700	400	120	30	600	200	50	10	500	140	20	8	400	110	10	8	350	90	9	8	8	8	
0.45	1050	900	810	500	200	800	500	160	40	700	270	60	20	600	200	30	15	500	160	20	15	400	130	20	15	15	15	
0.50	1200	1100	970	600	270	1000	600	200	60	900	360	80	40	800	270	50	40	700	210	40	40	600	180	40	40	40	40	
0.55	1350	1200	1130	700	350	1100	750	300	100	1000	500	130	90	900	350	100	90	800	260	90	90	700	240	90	90	90	90	
0.60	1500	1400	1250	850	500	1300	900	400	230	1200	620	250	210	1000	450	220	210	900	360	210	210	800	300	210	210	210	210	
0.65	1900	1700	1400	1000	700	1600	1105	670	530	1300	880	550	500	1200	700	530	500	1100	640	500	500	1000	600	500	500	500	500	
0.75	2300	2100	1700	1200	1000	2000	1400	1000	1000	1800	1100	1000	1000	1500	1000	1000	1000	1300	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	

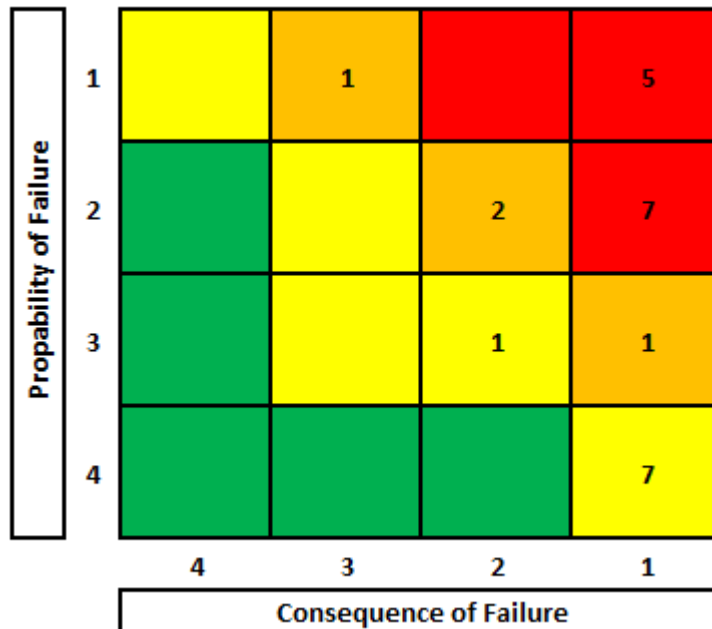
6.4.2 CoF-arvon laskeminen

Kartoitustyössä CoF-arvo laskettiin suoraan putkiston tai laitteen sisällön mukaan API 570 -standardissa ilmoitetun luokittelun avulla. Eri sisällön tai olosuhteiden mukaan CoF-arvot on jaoteltu neljään eri luokkaan (API 570, 2016)

- Luokka 1
 - tulenarka sisältö, joka voi itsejäähtyä ja aiheuttaa haurasmurtuman kohteeseen
 - paineelliset kohteet, joiden sisältö voi nopeasti höyrystyä ja muodostaa räjähdysherkkiä seoksia
 - rikkivety (H_2S)
 - kidevedetön vetykloridi
 - fluorivetyhappo (H_2F_2)
 - tulenarka sisältö, jonka käyttölämpötila on yli sen itsesyttymislämpötilan.
- Luokka 2
 - prosessissa olevat hiilivedyt, jotka höyrystyvät hitaasti vuodon tapahtuessa
 - prosessissa olevat vedyt, polttokaasut ja maakaasut
 - prosessissa olevat vahvat hapot ja emäkset.
- Luokka 3
 - prosessissa olevat hiilivedyt, jotka eivät merkittävästi höyrysty vuodon tapahtuessa
 - prosessin ulkopuoliset tislelinjat ja varastosäiliöiden tuotelinjat
 - varastosäiliöiden putkistot
 - prosessin ulkopuoliset hapot ja emäkset
 - prosessin ulkopuoliset vedyt, polttokaasut ja maakaasut.
- Luokka 4
 - höyry ja lauhde
 - ilma
 - typpi
 - vesi
 - voiteluöljy
 - vesijohdot ja viemäriputket.

6.5 Kartoitettavien kohteiden riskitaso

Putkistoluokittelulomakkeeseen saatujen PoF- ja CoF-arvojen perusteella tehtiin riskimatriisi, josta havaitaan koko RT1 jakotislausyksikön kaikkien CUI-alttiiden putkilinjojen eri riskiluokkien lukumäärä. Riskimatriisissa on eri väreillä ilmaistu eri riskitason kohteet. Punainen väri tarkoittaa korkeaa riskiä, oranssi tarkoittaa keskikorkeaa riskiä, keltainen tarkoittaa keskiverto riskiä ja vihreä matalaa riskiä. Korkean riskin kohteita oli yksikössä 12 kappaletta, keskikorkean riskin kohteita 4 kappaletta, keskiverto riskin kohteita 8 kappaletta ja matalan riskin kohteita 0 kappaletta. (Kuvio 14.)



Kuvio 15: RT1 jakotislausyksikön CUI-alttiiden kohteiden riskimatriisi

Riskimatriisista nähdään, että yksikön vaarallisen sisällön takia (CoF arvo on 1 tai 2) melkein kaikki linjat ovat korkean tai keskikorkean riskin alueella.

6.6 Eristeiden kuntokartoitus

Riskialttiiden putkilinjastojen PI-kaaviotasolla tehdyn kartoituksen jälkeen kohteille tehtiin kenttäkierroksella kuntokartoitukset. Eristeiden kuntokartoitukseen käytettiin taulukossa 7 esitettyä lomakepohjaa. Lomakkeesta voidaan täyttää ennen kenttäkierrosta

tuotantolinjan tunnus, prosessiyksikkö ja sen ikä, tarkastus päivämäärä, kohde (PI-kaavio tunnus) ja tarkastuskierrokseen osallistuvien henkilöiden nimet. Lomakkeeseen on listattu kentällä tarkastettavia asioita, jotka vaikuttavat suoraan eristeen alaisen korroosion muodostumiseen. Tarkastettavan asian viereen merkataan kyllä (K) kohtaan rasti, jos siinä havaitaan puutteita tai ei (E) kohtaan rasti, jos puutteita ei havaita. Excelissä tehty lomake laskee sitten automaattisesti K- ja E-tulosten lukumäärän ja eristeiden kuntoarvion tuloksen prosentteina, sekä näiden lisäksi se laskee kohteelle kuntoluokan. Kuntoluokan arvo on 1, 2 tai 3 ja se perustuu K-tulosten prosenttilukuun. Kuntoluokan arvo on 1, kun $K \leq 15\%$, arvo on 2, kun $15\% < K < 50\%$ ja arvo on 3, kun $K \geq 50\%$. Tämä kuntoluokka vaikuttaa suoraan 5.3 kappaleessa mainitun tarkastussuunnitelman valintaan. (Taulukko 7.)

Taulukko 7: Eristeiden kuntokartoituslomake

NESTE				
Tuotantolinja: TL5	Eristeiden kuntokartoitus	Tarkastustulos K = Havaittu puutteita , E = Ei puutteita		
Prosessiyksikkö ja ikä:	Osallistujat:			
Tarkastus pvm:				
Kohde:	Tarkastettava asia kokonaisuudessa:	K	E	Havainnot/kuvaus kunnosta
1	Epätiivetyys eristyksen päätekohtassa			
2	Epätiivetyys putken kannakekohdissa			
3	Vaurioita eristyspellissä			
4	Vaurioita eristeessä			
5	Epätiivetyys eristepellin ja ulkoneman välillä			
6	Epätiivetyys eristeen ja ulkoneman välillä			
7	Eriste alkaa tai loppuu lattialewyy			
8	Kohteessa näkyvää jäätä tai kondensaatiota			
9	Eristyspellin maalaus huonossa kunnossa tai eristyspellissä ruostetta			
10	Pystyputkessa olevan eristeen lopetuskohtassa puutteita			
11	Sähkösaaton jakorasia kytketty putken päälle ilman tiivistystä			
12	Eristyskotelot asennettu huonosti			
	K/E -TULOSTEN LKM:			ERISTEIDEN KUNTO, K-TULOS (%):
	ERISTEIDEN KUNTOARVION TULOS (%):			-> KUNTOLUOKKA 1-3 (1: K≤15%, 2: 15<K<50%, 3: K≥50%):

Eristeiden kuntokartoitus lomakkeita tehtiin RT1 jakotislausyksikölle 3 kappaletta, jokaiselle PI-kaavioille oma. Kuntokartoituksen yhteydessä tarkastettiin koko yksikön kaikki päälaitteet. Laitteista ja niiden tarkastuksesta on kerrottu tarkemmin kappaleessa 6.7. Eristeiden kuntokartoituksen perusteella koko yksikkö on keskimäärin hyvässä kunnossa. Kuntokartoituslomakkeet ovat Excel-lomakkeena liitteessä 4, sekä taulukoissa 9, 10 ja 11. Excel-lomakkeeseen on merkitty eri välilehdille eri PI-kaavioiden kuntokartoituslomakkeet, sekä erillinen välilehti, johon on kerätty kaikki laitteet ja niiden eristysominaisuudet ja käyttölämpötilat.

6.6.1 Tulokset

Taulukoissa 8, 9 ja 10 on jokaisen RT1 jakotislauksen PI-kaavion kuntokartoituslomakkeet, joihin on kirjattu kentällä tehdyt havainnot ja K-arvon laskentaan liittyvät arvot. Lomakkeista huomataan, että koko yksikön eristetyt putkilinjat ovat keskimäärin hyvässä kunnossa. NN3795-22709-1 ja NN3795-22710-1 PI-kaavioiden laskettu K-arvo eli eristeiden kuntoarvion tulos on 33 % ja NN3795-49783-1 PI-kaavion laskettu K-arvo on 25 %. Näiden prosenttien perusteella saadaan kaikille PI-kaavioille kuntoluokaksi 2 eli K-arvo on yli 15 %, mutta alle 50 %.

Taulukko 8: PI-kaavion NN3795-22709-1 kuntokartoituslomake

NESTE				
Tuotantolinja: TL5	Eristeiden kuntokartoitus	Tarkastustulos		
Prosessiyksikkö ja ikä: RT1 Jakotislauus	Osallistajat: Juuso Laine,	K = Havaittu puutteita , E = Ei puutteita		
Tarkastus pvm: 12.2.2020		Havainnot/kuvasu kunnosta		
Kohde: NN3795-22709-1	Tarkasteltava asia kokonaisuudessa:	K	E	
1	Epätiivisyys eristyksen päätekohtassa		X	-
2	Epätiivisyys putken kannakekohdissa	X		Muutama huono lattarautaa kannakointi
3	Vaurioita eristyspellissä	X		Muutama kohde, yleisesti hyvässä kunnossa
4	Vaurioita eristeessä	X		Muutama kohde, yleisesti hyvässä kunnossa
5	Epätiivisyys eristepellin ja ulkoneman välillä		X	Kaikki ulkonemat eristetty hyvin
6	Epätiivisyys eristeen ja ulkoneman välillä		X	Kaikki ulkonemat eristetty hyvin
7	Eriste alkaa tai loppuu lattialle		X	Ei lattialle loppuvia eristyksiä
8	Kohteessa näkyvää jäätä tai kondensaatiota		X	-
9	Eristyspellin maalaus huonossa kunnossa tai eristyspellissä ruostetta	X		Osittain muutamassa linjassa, yleisesti hyvässä kunnossa
10	Pystyputkessa olevan eristeen lopetuskohtassa puutteita		X	-
11	Sähkösaaton jakorasia kytketty putken päälle ilman tiivistystä		X	-
12	Eristyskotelot asennettu huonosti		X	Eristyskotelot asennettu hyvin
K/E -TULOSEN LKM:		4	8	ERISTEIDEN KUNTO, K-TULOS (%): 33
ERISTEIDEN KUNTOARVION TULOS (%):		33	67	-> KUNTOLUOKKA 1-3 (1: K<15%, 2: 15<K<50%, 3: K<=50%): 2

Taulukko 9: PI-kaavion NN3795-22710-1 kuntokartoituslomake

NESTE				
Tuotantolinja: TL5	Eristeiden kuntokartoitus	Tarkastustulos		
Prosessiyksikkö ja ikä: RT1 Jakotislauus	Osallistajat: Juuso Laine,	K = Havaittu puutteita , E = Ei puutteita		
Tarkastus pvm:		Havainnot/kuvasu kunnosta		
Kohde: NN3795-22710-1	Tarkasteltava asia kokonaisuudessa:	K	E	
1	Epätiivisyys eristyksen päätekohtassa		X	
2	Epätiivisyys putken kannakekohdissa		X	
3	Vaurioita eristyspellissä	X		
4	Vaurioita eristeessä	X		
5	Epätiivisyys eristepellin ja ulkoneman välillä		X	
6	Epätiivisyys eristeen ja ulkoneman välillä		X	
7	Eriste alkaa tai loppuu lattialle		X	
8	Kohteessa näkyvää jäätä tai kondensaatiota		X	
9	Eristyspellin maalaus huonossa kunnossa tai eristyspellissä ruostetta	X		
10	Pystyputkessa olevan eristeen lopetuskohtassa puutteita		X	
11	Sähkösaaton jakorasia kytketty putken päälle ilman tiivistystä		X	
12	Eristyskotelot asennettu huonosti	X		
K/E -TULOSEN LKM:		4	8	ERISTEIDEN KUNTO, K-TULOS (%): 33
ERISTEIDEN KUNTOARVION TULOS (%):		33	67	-> KUNTOLUOKKA 1-3 (1: K<15%, 2: 15<K<50%, 3: K<=50%): 2

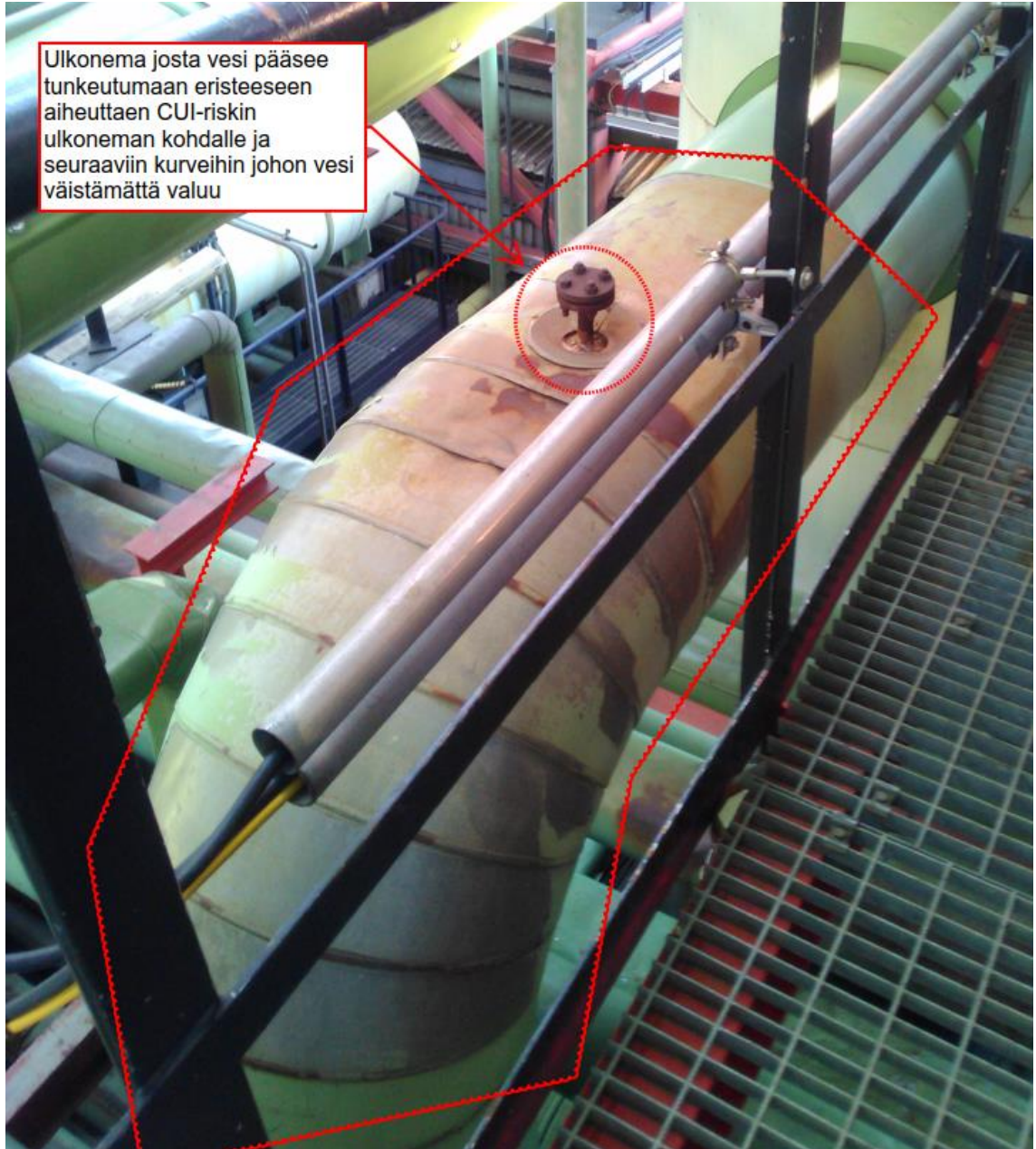
Taulukko 10: PI-kaavion NN3795-49783-1 kuntokartoituslomake

NESTE				
Tuotantolinja: TL5	Eristeiden kuntokartoitus	Tarkastustulos		
Prosessiyksikkö ja ikä: RT1 Jakotilaus	Osallistajat: Juuso Laine,	K = Havaittu puutteita , E = Ei puutteita		
Tarkastus pvm: 12.2.2020				
Kohde: NN3795-49783-1	Tarkastettava asia kokonaisuudessa:	K	E	Havainnot/kuvaus kunnosta
1	Epätiivetyys eristyksen päätekohtassa		X	
2	Epätiivetyys putken kannakekohdassa	X		Muutama huono lattarauta kannakointi
3	Vaurioita eristyspellissä	X		Muutamassa linjassa, yleisesti hyvässä kunnossa
4	Vaurioita eristeessä	X		Muutamassa linjassa, yleisesti hyvässä kunnossa
5	Epätiivetyys eristepellin ja ulkoneman välillä		X	Ulkonemat eristetty hyvin
6	Epätiivetyys eristeen ja ulkoneman välillä		X	Ulkonemat eristetty hyvin
7	Eriste alkaa tai loppuu lattialevyyn		X	Ei lattialevyyn loppuvia eristyksiä
8	Kohteessa näkyvää jäätä tai kondensaatiota		X	-
9	Eristyspellin maalaus huonossa kunnossa tai eristyspellissä ruostetta		X	Yleisesti hyvässä kunnossa
10	Pystyputkessa olevan eristeen lopetuskohtassa puutteita		X	-
11	Sähkösaaton jakorasia kytketty putken päälle ilman tiivistystä		X	-
12	Eristyskotelot asennettu huonosti		X	Eristyskotelot asennettu hyvin
	K/E -TULOSTEN LKM:	3	9	ERISTEIDEN KUNTO, K-TULOS (%): 25
	ERISTEIDEN KUNTOARVION TULOS (%):	25	75	-> KUNTOLUOKKA 1-3 (1: K≤15%, 2: 15<K<50%, 3: K≥50%): 2

6.6.2 Havainnot

Kuntokartoituksen yhteydessä otettiin kuvia kohteista, jotka saattavat olla alttiita CUI:lle. Eristeitä tarkastettaessa käytettiin eristeiden kuntokartoituksen tarkastuslistan lisäksi kappaleessa 2.1 havainnollistettua kuvaa 1.

Kuvasta 2 havaitaan tyypillinen ilmausten ja muiden ulkonemien aiheuttama ongelma eristetyissä putkilinjoissa. Ilmausta ei ole eristetty kunnolla, jolloin vesi pääsee eristepellin alle ja imeytyy eristeeseen. Ongelmaa pahentaa vielä se, että ilmaukset ovat yleisesti linjan korkeimmassa kohdassa, jolloin niiden lähettyvillä on mutkia alaspäin. Tällöin ilmauksen huonon eristyksen takia vesi pääsee tunkeutumaan eristeeseen ja valuu väistämättä seuraavaan mutkaan ja aiheuttaa CUI:ta pitkälle matkalle putkilinjaa. Ilmauksia ja muita ulkonemia suunnitellaan ja tehdessä on tärkeää, että ne eristetään hyvin ja niin tiiviisti, että vesi ei pääse tunkeutumaan eristeeseen.



Kuva 2: Huonosti eristetty ulkonema 16 tuumaisessa putkilinjassa

Kuvasta 3 havaitaan varsinkin vanhoille jalostamoille tyypillinen ongelma putkilinjojen kannakkeisiin liittyen. Eristetty putkilinja, tässä tapauksessa eristetty eristekotelolla, on tuettu kannakkeella ylhäältä päin ja kannakkeen reikää ei ole tiivistetty erikseen. Tämä aiheuttaa sen, että vesi pääsee tunkeutumaan eristeeseen, aiheuttaen CUI-riskin putkilinjaan.



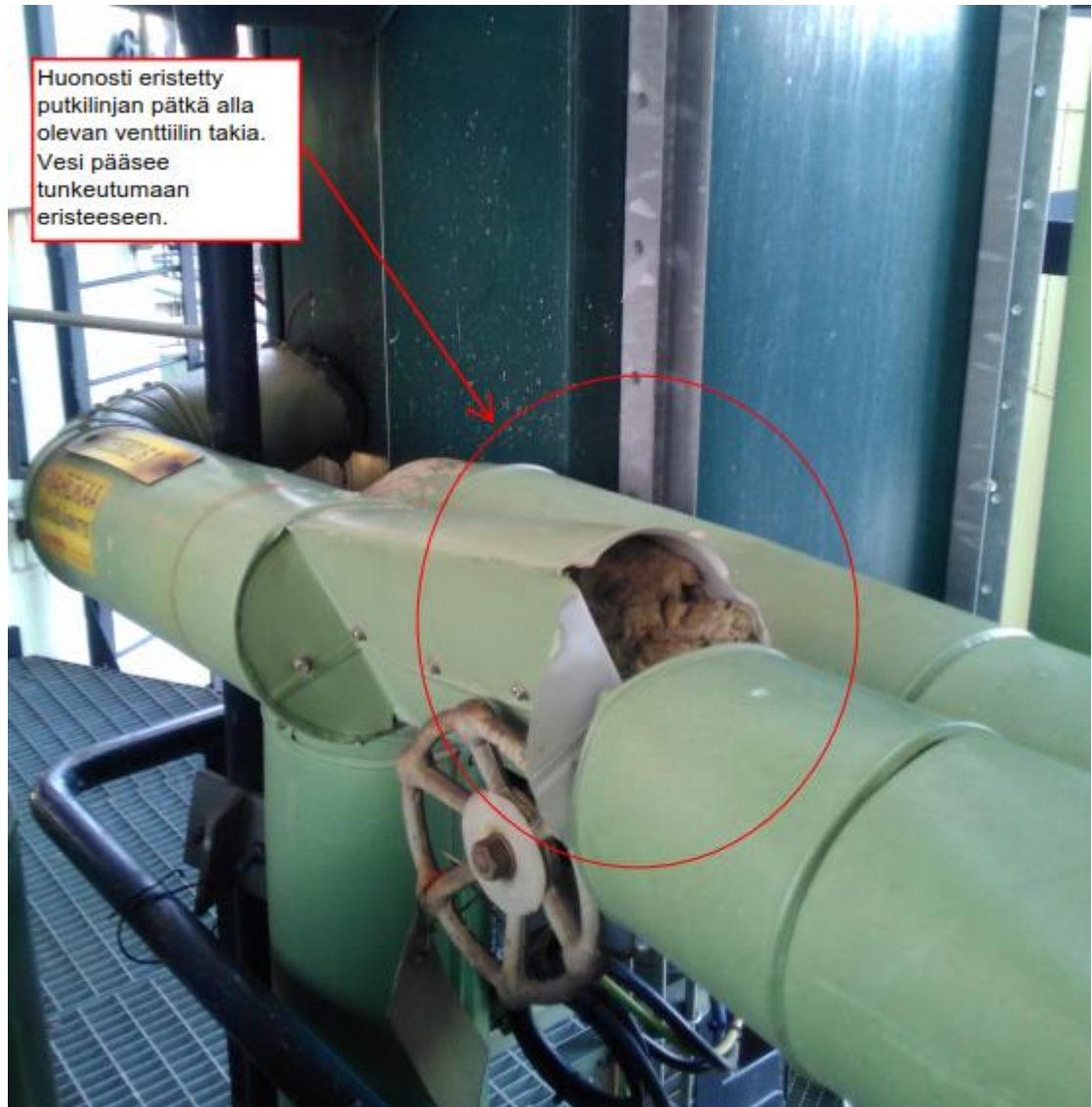
Kuva 3: Huonosti tiivistetty kannake eristetyssä putkilinjassa

Yleinen ongelma jalostamoilla on myös eristettyjen putkilinjojen päällä käveleminen. Tämä aiheuttaa suuren CUI-riskin, koska kun eristeiden päällä kävellään ne menevät lommoille ja mahdollistavat veden tunkeutumisen saumakohdista eristeeseen. (Kuva 4.) Kuvasta 4 havaitaan myös lämpötila-anturi, joka on huonosti eristetty. Tässä tapauksessa eristevilla pääsee pursuamaan eristekotelon välistä altistaen sen vesisateelle tai muulle kosteudelle, joka aiheuttaa CUI-riskin putkilinjaan.



Kuva 4: Vaurioitunut eristetty putkilinja

Jossain tapauksissa eristettävää putkilinjaa tai laitetta on vaikea eristää, koska viereinen linja tai laite on aivan sen vieressä. Kuvassa 5 havaitaan tällainen tapaus. Eristettävän putkilinjan alapuolella on viereisen linjan käsiventtiili, jonka takia putkilinja on eristetty erittäin huonosti. Eriste on todennäköisesti asennettu alun perin oikein, mutta käsiventtiiliä operoidessa eristepelti on päässyt vääntymään pois paikaltaan. Putkilinjassa on myös kaato kuvassa vasempaan päin, jolloin eristeeseen tunkeutuva vesi valuu linjaa pitkin ja aiheuttaa CUI-riskin laajalle alueelle linjaa.



Kuva 5: Huonosti eristetty putkilinja

6.7 Laitteet

RT1 jakotislausyksikössä on 21 kappaletta päälaitteita. Päälaitteisiin lasketaan jakotislauskeskuksessa kolonnit, kolonnien ylimenosäiliöt, lämmönvaihtimet ja pumput. Nesteen jalostamoilla laitteiden etulyhenteet menevät seuraavalla tavalla

- kolonnit, DA
- painesäiliöt, FA
- lämmönvaihtimet, EA
- pumput, GA (Varapumppujen nimikkeen loppuun on lisätty kirjain "S").

Yksikön tärkeimmät laitteet ovat kevytbensiinin vakiointikolonne (DA-151) ja jakotislauskolonne (DA-151). Kaikki muut laitteet, kuten pumput ja lämmönvaihtimet avustavat näiden kolonnien sisällön syöttöä tai poistoa.

Kentällä tehtävän kuntokartoituksen ohessa tarkasteltiin myös laitteiden eristeiden kunto. Kaikkia yksikön laitteita ei kuitenkaan ole eristetty tai eristetty vain osittain. Taulukossa 8 on listattu kaikki yksikön laitteet ja niiden CUI:n kannalta oleelliset ominaisuudet. Taulukosta havaitaan laitteen tunnus, eristys (kyllä tai ei), eristyspaksuus millimetreinä, käyttölämpötila celsiusasteina ja eristeiden silmämääräinen kunto. Punaisella värillä merkatut laitteet eivät ole CUI-riskin alaisia, koska niitä ei joko ole eristetty tai niiden käyttölämpötila on riskialttiin lämpötila-alueen ulkopuolella. Ainut laite, joka on eristetty, mutta riskialttiin lämpötila-alueen ulkopuolella, on lämmönvaihdin EA-163. Kyseisen laitteen matalin lämpötila on 239 °C eli huomattavasti korkeampi, kuin CUI-riskin yläraja. Laitteita, joita ei ole eristetty ovat molemmat kolonnien ylimesosäiliöt FA-151 ja FA-152, lämmönvaihtimet EA-161, EA-152 ja EA-159, sekä kaikki yksikön pumput.

Taulukko 11: RT1 jakotislausyksikön laitteet.

Laite	Eristys (K/E)	Eristyspaksuus (mm)	Käyttölämpötila (°C)	Eristeiden kunto
DA-151	K	40	75-150	OK, eristetty vain osittain
DA-152	K	120	76-143	OK, eristetty vain osittain
FA-151	E	-	38	-
FA-152	E	-	40-115	-
EA-161	E	-	25-58	-
EA-152	E	-	-	-
EA-156/	K	100/140	106-162	OK
EA-158	K	160/200	140-274	OK
EA-159	E	-	-	-
EA-166	K	120/140	114-175	OK
EA-165	K	100/120	108-142	OK
EA-164	K	100-120	95-140	OK
EA-160	K	80/100	72-129	OK
EA-163	K	240	239-388	OK
EA-167	K	140	150-205	OK
EA-168	K	200-220	150-217	OK
EA-162	K	60	33-66	OK, osittain ruostunut ja klommoilla
EA-157	K	200-220	142-233	OK, osittain ruostunut ja klommoilla
GA-156				
GA-156S	E	-	-	-
GA-154				
GA-154S	E	-	-	-
GA-155/				
GA-155S/	E	-	-	-

Kuntokartoituksen yhteydessä otettiin myös kuvia laitteiden eristeiden kunnosta. Suurimmassa osassa laitteista eristeet olivat hyvässä kunnossa tai niitä ei ollut ollenkaan eristetty.

Kuvassa 6 on jakotislauskolonnin (DA-152) ylimenolinjan lämmönvaihdin EA-162. Kuvasta havaitaan, että lämmönvaihtimen eristeet ovat suurelta osalta lommoilla ja eristepellit ovat ruostuneet tai niiden maalit ovat ajansaatossa kuluneet pois lähes kokonaan. Lommojen takia vesi saattaa tunkeutua saumakohtista eristeeseen aiheuttaen CUI-riskin lämmönvaihtimeen.



Kuva 6: EA-162 lämmönvaihtimen eristys

Samalla, kun tarkistettiin laitteiden eristeiden kunto, katsottiin myös tarkasti laitteiden putkilinjat. Kuvassa 7 on EA-163 lämmönvaihtimen tyhjennyslinja. Kuvasta havaitaan,

että tyhjennyksen ensimmäisen kurvin eristepelti on ruostunut ja huonossa kunnossa. Jos vesi pääsee tunkeutumaan huonon pellin saumoista eristeeseen, mutkan jälkeinen putkilinja on myös CUI-riskin alainen, koska linjassa on kaato kuvassa oikealle. Tyhjennyslinjaan on myös tehty jonkinlaisia tarkastuksia tai korjauksia lähiaikoina, koska eristepelti mutkan jälkeen on uusi ja hyvässä kunnossa.



Kuva 7: EA-163 lämmönvaihtimen tyhjennys huonossa kunnossa

7 RT1 JAKOTISLAUSYKSIKÖN TOTEUTUSSUUNNITELMA

Riskialttiiden kohteiden riskitasoa tarkastelemalla pystytään tekemään konkreettiseen dataan perustuva oletus tarkasteltavien linjojen kunnosta. Riskimatriisin tulosten avulla pystytään tekemään koko yksikön CUI-riskialttiille linjoille ja laitteille tarkastussuunnitelma kappaleessa 5.3 mainittujen tarkastussuunnitelmamääritelmien avulla.

RT1 jakotislausyksikön osalta puolet linjoista ovat korkean riskin kohteita ja niiden eristeistä tarkastuskierroksen perusteella poistettaisiin 50 % ja linjoihin tehtäisiin 100 %:esti VT-tarkastukset. Nämä linjat on kuvattu isomeritasolla taulukossa 12.

Taulukko 12: RT1 jakotislausyksikön korkean riskin kohteet

Piping circuit number	From	To	Pipeline number	Pipe size (")	Diameter (m)	Nominal thickness (mm) (t)	Pipe length (m)	Riskiluokka
2	EA-161 (EA-152)	FA-151	4"P4183-A1C, 3"P159-1-AA, 1"P4173-A3	4	0,1143	6,02	44,1	R
8	DA-151	EA-156/	6"P152-1-AA/A1CB, 8"P153-1-AA/A1CB	8	0,2191	8,18	26,2	R
9	DA-151	DA-1251	4"P4151-A1CB, 3"P356-1-AA, 2"P157-2-A1CB, 4"P19157-A1CB	4	0,1143	6,02	42,6	R
10	EA-156/	RT1/EA-133	6"P4106-A3CB	6	0,1683	7,11	17,6	R
13	GA-156+S	DA-151	2"P4156-A3, 2"P4156-2-A3	2	0,0603	3,91	73,4	R
16	FA-152	GA-154+S	6"P4169-A1	6	0,1683	7,11	49,9	R
17	GA-154+S	DA-152	4"P4170-A1CB, 4"P4171-A1CB	4	0,1143	6,02	72,5	R
18	GA-154+S	Hylkytuote EA-167/EA-168	2"P4192, 2"P19140-A1CB, 3"P4162/1-A1, 3"P19139-A1CB, 4"P19134-A1CB	3	0,0889	5,49	64,1	R
21	EA-165	EA-163 BEK DA-1851/DA-1852	4"P19129-A1CB, 4"P19128-A1CB	4	0,1143	6,02	50,7	R
22	BEK GA-110/	EA-163/EA-160/EA-164/EA-165/EA-166 -> DA-152	3"P4107-1-A1CB, 3"P4107-2-A1CB, 3"P4107-3-A1CB, 4"P19130-A1CB, 4"P19131-A1CB, 6"P19132-A1CB, 8"P4153-A1CB	8	0,2191	8,18	92,5	R
24	DA-1851/DA-1852	EA-164 EA-168 BER BERP	4"P1876-A1CB, 4"P1877-A1CB, 4"P19143-A1CB, 4"P19152-A1CB, 4"P19136-A1CB	4	0,1143	6,02	92,5	R
25	BEK GA-1211/ /DA-1201	EA-163	4"P12039-A1CB	4	0,1143	6,02	115,3	R

Taulukon perusteella kerätään isometrit ja suoritetaan kenttäkierros, jossa merkitään linjoihin mistä kohtaa eristeitä aloitetaan purkamaan ja kuinka suurelta alueelta. Samalla, kun eristeitä puretaan, tarkastajat suorittavat tarkastuksia ja määrittävät pitääkö eristeitä purkaa alkusuunnitelmaa laajemmalla alueelta. Kun kaikkien korkean riskin kohteiden eristeet on purettu, siirrytään keskikorkean riskin kohteisiin ja jatketaan samalla kaavalla, kuin korkean riskin kohteissa. Keskikorkean, keskiverto ja matalan riskin kohteet on myös havainnollistettu isometritasolla samalla tavalla kuin taulukossa 12 ja ne löytyvät taulukoista 13 ja 14, sekä putkistoluokittelulomakkeesta (Liite 3).

Taulukko 13: RT1 jakotislausyksikön keskikorkean riskin kohteet

Piping circuit number	From	To	Pipeline number	Pipe size (")	Diameter (m)	Nominal thickness (mm) (t)	Pipe length (m)	Riskiluokka
5	FA-151 FA-152	FA-114	1 1/2"P161-3-A1, 1 1/2"P4186-A1C	2	0,0603	3,91	43,2	O
14	DA-152	EA-162 EA-157 FA-152	18"P4166-A1B, 20"P19124-A1CB, 8"P4167-A1CB	20	0,508	9,53	53,0	O
20	DA-152	GA-155/ +S/ EA-165	6"P4158-A1CB, 4"P4159-A1, 4"P4159-A1CB, 4"P4159-4-A1CB, 4"P19153-A1CB	6	0,1683	7,11	80,7	O
23	EA-166	EA-160/EA- 167/KAKT KP DA- 201/EA-204A/B	4"P19110-A1CB, 4"P19111-A1CB, 4"P19114-A1CB, 4"P19112-A1CB	4	0,1143	6,02	62,0	O

Taulukossa 13 on RT1 jakotislausyksikön kaikki keskikorkean riskin putkilinjat ja näiden linjojen tärkeimmät tiedot. Keskikorkean riskin kohteita on yksikössä 4 kappaletta. Keskikorkean riskin kohteista poistetaan 25 % eristeistä ja tehdään 100 %:esti VT-tarkastukset.

Taulukko 14: RT1 jakotislausyksikön keskiverto riskin kohteet

Piping circuit number	From	To	Pipeline number	Pipe size (")	Diameter (m)	Nominal thickness (mm) (t)	Pipe length (m)	Riskiluokka
3	FA-151	FA-7702	4"P19194-A1MB (PWHT), 4"WF19146-A1MB (PWHT)	4	0,1143	6,02	36,0	Y
4	FA-151	TCC	2"P160-1-A1MB, 2"BD234-1-A1MB (PWHT)	6	0,1683	7,11	21,6	Y
11	RT1/EA-109	EA-156/	6"P4103-3-A3CB, 4"P19141-A3CB	6	0,1683	7,11	8,4	Y
12	GA-156+S	Nestekaasu DA-7701	2"P4156-3-A3, 2"P19199-U3DB	2	0,0603	3,91	119,2	Y
15	FA-152	Soihitu FA-7702	2"P4168-A1, 3"P19195-A1MB (PWHT), 2"P19174-A1CB	10	0,273	9,27	11,7	Y
19	DA-152	EA-158 DA-152	12"P4164-A1, 16"P4165-A1	16	0,4064	9,53	40,3	Y
26	TISLE AROSAT GA-3107+S	EA-163	2"P31010-8-A1NB	2	0,0603	3,91	2,7	Y
27	EA-168	DA-151	4"P4181-A1CB	4	0,1143	6,02	8,0	Y

Taulukossa 14 on RT1 jakotislausyksikön kaikki keskiverto riskin putkilinjat ja näiden linjojen tärkeimmät tiedot. Keskiverto riskin kohteita on yksikössä 8 kappaletta. Keskiverto riskin kohteista poistetaan 15 % eristeistä ja tehdään 100 %:esti VT-tarkastukset.

Tarkastuksien aikana havaittavista mahdollisista vaurioista ilmoitetaan välittömästi mekaanisenkunnossapidon työsuunnittelijalle, jotta korjauksien suunnittelu päästään aloittamaan välittömästi. Linjoihin tehtävät korjaukset aloitetaan välittömästi, kun suunnitelmat ovat valmiit ja ajankohta on sopiva prosessin kannalta.

Linjat joista poistetaan eristeet ja tarkastetaan, mutta jotka eivät vaadi korjauksia puhdistetaan ja pintakäsitellään ennen eristeiden takaisin asennusta.

7.1 Budjettiarvio

Budjettiarvio perustuu kesällä 2019 Nesteen Naantalin jalostamolla tehtyyn REF-yksikön CUI-projektiin. REF:n CUI-projektissa yksikön kokonaiskustannukset olivat noin 95 000 €. Kokonaiskustannukset on jaoteltu eri työvaihekohtaisesti taulukossa 15.

Taulukko 15: REF-yksikön CUI-projektin kokonaiskustannukset

NESTE	Tarkastukset (Dekra)	Eristetyöt (Arme)	Telinetyöt (Arme)	Pintakäsittely (FSP)	Yhteensä
Summa euroina (€)	25 942	43 129	21 504	4 662	95 238
Prosentti osuus kokonaisuudesta (%)	27	45	23	5	100

Taulukosta havaitaan myös kustannushintojen lisäksi prosenttisuudet kokonaistyön kustannuksista. Eristetyöt aiheuttivat huomattavasti eniten kustannuksia CUI-projektissa. Eristetyöt kattoivat 45 % kokonaiskustannuksista. Seuraavaksi suurimmat kustannukset koostuivat tarkastuksista ja telinetöistä, 27 ja 23 prosenttia vastaavasti. Selvästi pienimmät kustannukset tulivat pintakäsittelystä vaikka kaikki kohteet joista purettiin eristeet, putsattiin teräsharjalla ja pinnoitettiin suojamaalilla.

REF:n CUI-projektissa tehtiin kokonaisuudessaan 169 kappaletta tarkastuksia. Tarkastuksista suurin osa tehtiin RT-menetelmällä ja kohteet joihin ei päästy käsiksi RT-menetelmällä tehtiin UT-menetelmällä. Kokonaisuudessaan projektissa tarkastettavien putkilinjojen pituus oli 1032,3 metriä ja tarkastuksia tehtiin 292,9 metrin alueelle. Metrimääräisesti putkea on RT1 jakotislausyksikössä hiukan enemmän kuin REF:ssä, noin 1300 metriä. Suuruusluokaltaan yksiköt ovat siis käytännössä samat.

Budjettiarvio RT1 jakotislausyksikön CUI-projektille olisi siis samaa luokkaa kuin REF:ssä tehdyn CUI-projektin kustannukset.

7.2 Kustannusarvio

Kustannusarvioon on otettu huomioon eristeiden purku ja asennus, telineet, tarkastukset, pintakäsittely ja sähkösaattojen purku ja asennus. Eri työvaiheiden kustannusarviot perustuvat urakoitsijoiden tällä hetkellä käytössä oleviin toimitussopimuksiin ja niissä ilmoitettuihin yksikkö- tai tuntihintoihin.

7.2.1 Eristeiden purku ja asennus

Eristeiden purun ja asentamisen kustannukset arvioitiin suoraan putkilinjakohtaisesti linjan pituuden, putken halkaisijan ja eristyspaksuuden mukaan. Jokaiselle putken

halkaisijalle ja eristyspaksuudelle on määritelty metrikohtainen hinta urakoitsijan toimitussopimuksessa. Putkilinjat eriteltiin halkaisijoiden ja eristyspaksuuden mukaan Excel-lomakkeeseen, jotta saatiin helposti laskettua eristeiden purku- ja asennushinnat linjakohtaisesti. Liitteen 3 välilehdellä ”Isometrics” on eroteltu kaikki eristyshinnat linjakohtaisesti.

Taulukossa 15 on jaoteltu koko RT1 jakotislausyksikön eristeiden hinnat riskiluokittain. Taulukkoon on listattu myös erikseen hinta, jos kohteisiin uusitaan uudet eristepellit ja eristevillat, sekä jos käytetään vanhat eristepellit ja eristevillat. Tapauksissa, joissa eristepelti on hyvässä kunnossa tai melko uusi ja eristevilla ei ole vaurioitunut voidaan käyttää vanhoja peltejä ja villoja. Koko yksikön kustannusarvion laskemiseksi käytetään kuitenkin uusien eristepeltien ja eristevillojen hintaa. RT1 jakotislausyksikön tapauksessa koko yksikön CUI-alttiiden kohteiden eristeiden purkaminen ja uusien asentaminen urakkana tulee maksamaan noin 24 tuhatta euroa. Lisähintaa arvioon saattaa tuoda vaikeasti eristettävät kohteet, kuten ohituslinjat ja monimutkaiset venttiili kokonaisuudet.

Taulukko 16: RT1 jakotislausyksikön eristeiden hinnat jaoteltu riskiluokittain

	Korkean riskin kohteiden hinta (€)	Keskikorkean riskin kohteiden hinta (€)	Keskiverto riskin kohteiden hinta (€)	Hinta yhteensä (€)
Arme				
Uudet pellit ja villat	18020	3688	2216	23924
Vanhat pellit ja villat	8113	4584	920	10614

7.2.2 Telineet

Telinetöiden kustannukset arvioitiin kenttäkierroksen avulla. Kenttäkierroksella käytiin läpi yksikön kaikki CUI-riskin alaiset linjat ja arvioitiin kuutioina telinetarpeet eristeiden purkua ja tarkastuksia varten. Taulukossa 17 on listattu arvioidut telinekustannukset koko yksikölle kohteiden riskiluokittelun mukaan.

Taulukko 17: RT1 jakotislausyksikön telinekustannukset jaoteltu riskiluokittain

Yritys ja työvaihe	Korkean riskin kohteiden hinta (€)	Keskikorkean riskin kohteiden hinta (€)	Keskiverto riskin kohteiden hinta (€)	Hinta yhteensä (€)
Arme				
Telineet m3	3780	2100	2520	8400
Telineet tuntityöt	997	554	665	2216

Taulukossa on myös jaoteltu telineiden kuutiokustannukset ja tuntityöt erikseen. Tuntityökustannuksiin on otettu huomioon kahden työntekijän kustannukset ja työnjohtajan kustannukset. Kokonaisuudessaan kenttäkartoituksen perusteella telineiden kustannuksiksi tulisi noin 10 000 euroa.

Todellisuudessa tämä arvio on liian vähän, koska tarkastuksia tehdessä ilmenee useasti telinemuutostarpeita. Tarkastuslaajuus saattaa myös muuttua, joka tarkoittaa uusien telineiden tekoa tai ainakin valmiina olevien laajentamista.

7.2.3 Tarkastukset

Tarkastuksien kustannusarvio tehtiin perustuen riskialttiiden putkilinjojen määrään ja niiden isometrien kompleksisuuteen. Arvioita tehdessä otettiin myös huomioon REF:n CUI-projektissa tehtyjen tarkastuksien määrä. Taulukossa 18 on listattu arvioidut tarkastuksien kustannukset koko yksikölle riskiluokittain.

Taulukko 18: RT1 jakotislausyksikön tarkastuskustannukset jaoteltu riskiluokittain

Yritys ja työvaihe	Korkean riskin kohteiden hinta (€)	Keskikorkean riskin kohteiden hinta (€)	Keskiverto riskin kohteiden hinta (€)	Hinta yhteensä (€)
Dekra				
Tarkastukset NDT	7176	2340	2418	11934

Tarkastuksien arvioiduksi kokonaiskustannuksiksi tulisi noin 12 000 euroa. Todellisuudessa tämä arvio on liian vähän, koska projektin edetessä tulee lisätarkastuksia ja muutoksia alkuperäiseen tarkastuslaajuuteen.

7.2.4 Pintakäsittely

Pintakäsittelyjen kustannukset arvioitiin laskemalla tuntihinta jokaiselle kohteelle josta puretaan eristeet. Kustannusarvio perustuu siis yksikön CUI-alttiiden putkilinjojen määrään ja arvioon pintakäsittelyn kestosta. Pintakäsittelylle laskettiin myös yksikköhinnoilla kustannukset, mutta todellisuudessa yksittäiset kohteet ovat niin pieniä, että ne joudutaan tekemään tuntihinnoilla. Yksikköhintaisten töiden minimiraja on toimitussopimuksen mukaan 50 m². Tällaisia kohteita ei CUI-tarkastuksissa ilmene, joten pintakäsittelytyöt tehdään kokonaisuudessaan toimitussopimuksessa ilmoitetuilla tuntihinnoilla. Taulukossa 19 on listattu koko yksikön pintakäsittelyiden arvioidut kustannukset riskiluokittain.

Taulukko 19: RT1 jakotislausyksikön pintakäsittelykustannukset jaoteltu riskiluokittain

Yritys ja työvaihe	Korkean riskin kohteiden hinta (€)	Keskikorkean riskin kohteiden hinta (€)	Keskiverto riskin kohteiden hinta (€)	Hinta yhteensä (€)
FSP				
Pintakäsittely (tuntihinnoilla)	3927	1280	1323	6530
Pintakäsittely (yksikköhinnoilla)	4604	404	480	2182

Taulukosta havaitaan, että RT1 jakotislausyksikön kohdalla pintakäsittelyiden kustannuksiksi tulisi noin 6 500 euroa. Tuntihinnat laskettiin toimitussopimuksen mukaan kahdelle työntekijälle ja työnjohtajalle. Todellisuudessa kustannukset voivat muuttua, jos tarkastuslaajuus muuttuu projektin toteutuksen aikana.

7.2.5 Kokonaisuus

Taulukossa 20 on RT1 jakotislausyksikön arvioidut kokonaiskustannukset riskiluokittain jaoteltuna. Kokonaisuudessaan yksikön kustannuksiksi tulisi kappaleiden 7.2.1–7.2.4 arviointien mukaan noin 53 000 euroa.

Taulukko 20: RT1 jakotislausyksikön kokonaiskustannukset jaoteltu riskiluokittain

Yritys ja työvaihe	Korkean riskin kohteiden hinta (€)	Keskikorkean riskin kohteiden hinta (€)	Keskiverto riskin kohteiden hinta (€)	Hinta yhteensä (€)
Arme				
Uudet pellit ja villat	18020	3688	2216	23924
Vanhat pellit ja villat	8413	4584	929	40614
Telineet m3	3780	2100	2520	8400
Telineet tuntityöt	997	554	665	2216
FSP				
Pintakäsittely (tuntihinnoilla)	3927	1280	1323	6530
Pintakäsittely (yksikköhinnoilla)	4604	404	480	2182
Dekra				
Tarkastukset NDT	7176	2340	2418	11934
Kokonaisuudessaan	33899	9963	9142	53004

Niin kuin edellisissä kappaleissa mainittiin, todellisuudessa kustannukset ovat enemmän tarkastuslaajuuden muuttumisen takia. Kustannusarvio on kuitenkin suuntaa antava arvio siitä, kuinka paljon RT1 jakotislaukseen tehtävä CUI-projekti tulisi minimissään kustantamaan. Kustannusarviossa ei myöskään ole otettu huomioon Nesteen oman henkilökunnan työstä tulevia kustannuksia.

8 KUSTANNUSTEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Kartoitustyön ohella pyrittiin löytämään parannusehdotuksia nykyisen CUI-projektin kustannustehokkuuteen ja toteutukseen liittyen. Kustannustehokkuuteen ja projektien toteutukseen liittyen tehtiin haastattelukysely edellisissä projekteissa mukana olleille Nesteen omalle henkilökunnalle ja urakoitsijayrityksille.

Kesällä 2019 Neste Naantalin jalostamolla suoritettiin pilotti projekti eristeen alaisen korroosion aiheuttamien vaurioiden tarkastamiselle. Kyseinen CUI-projekti kohdistui jalostamon prosessialueella sijaitsevaan bensiinin reformointiyksikköön (REF). CUI-projektin toteutuksesta tehtiin opinnäytetyöhön haastattelukysely, joka kohdistettiin projektiin osallistuneille urakoitsijoille ja Nesteen henkilökunnalle. Kysely tehtiin Google Forms työkalulla helpon vastaamisen ja vastausten keräämisen takia. Kyselypohja löytyy liitteestä 5. Kyselyyn osallistuneet urakoitsijat olivat

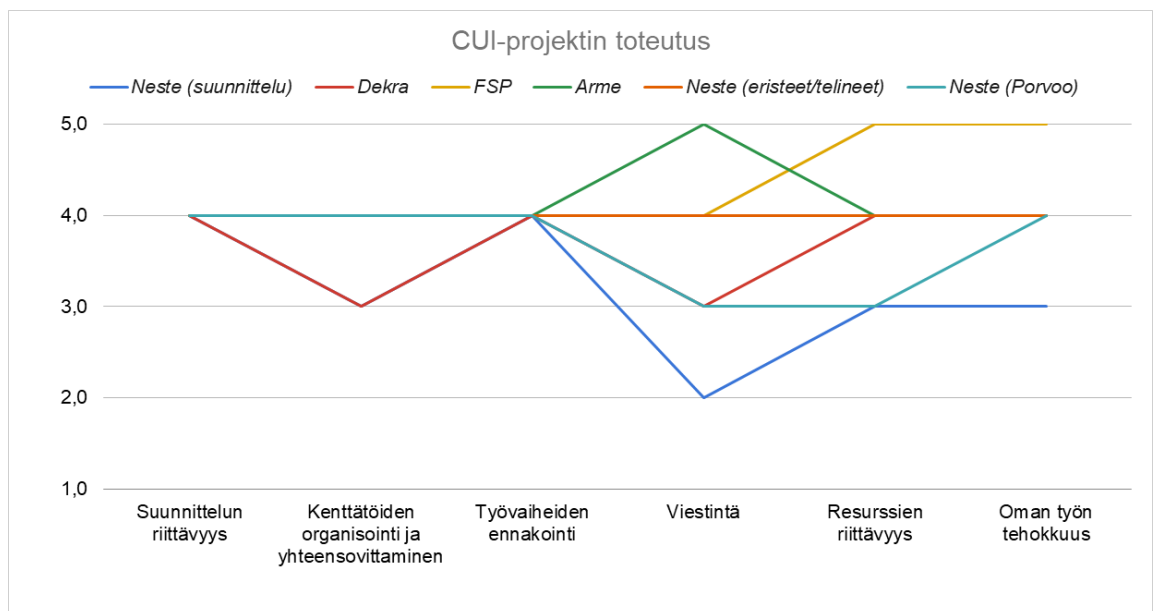
- Dekra Industrials Oy
 - riskialttiiden kohteiden tarkastukset.
- Arme Oy
 - riskialttiiden kohteiden eristeiden purku ja asennus
 - tarvittaessa telineiden teko kohteiden tarkastusta varten.
- FSP Finnish Steel Painting Oy
 - riskialttiiden kohteiden pintakäsittely.
- Raison Sähkö-INSTO Oy
 - tarvittaessa riskialttiiden kohteiden sähkösaattojen purku ja asennus.

Kyselyyn kasattiin 8 kysymystä, joista 6 oli lineaariasteikko kysymyksiä 1–5 ja loput 2 vapaamuotoisia. Asteikkokysymyksissä numero 1 tarkoittaa, että työssä tai osa-alueessa on epäonnistuttu ja numero 5 tarkoittaa, että työ tai osa-alue on onnistunut todella hyvin. Asteikkokysymykset olivat

- suunnittelun riittävyys
- kenttätöiden organisointi ja yhteensovittaminen
- työvaiheiden ennakointi
- viestintä
- resurssien riittävyys
- oman työn tehokkuus.

Vapaamuotoisista kysymyksistä ensimmäinen oli ideaalitalanteessa työsuuksien toteuttaminen mahdollisimman tehokkaasti ja toinen oli vapaamuotoinen kommentti CUI-projektin toteutuksesta.

Haastattelukysymysten vastaukset koottiin Excel-lomakkeeseen ja tehtiin vastausten perusteella kuvio havainnollistamaan eri toimialojen vastausten riippuvuutta toisiinsa. Kuviossa on eri väreillä eri henkilöiden vastaukset ja värien selityksen kuvion yläpuolella. X-akselilla on kysymykset ja y-akselilla henkilön kysymykseen antama vastaus asteikolla 1–5, jossa 1 on huonoin ja 5 paras. (Kuvio 15.)



Kuvio 16: CUI-projektin toteutuksen asteikkokysymysten vastaukset

Kuviossa 16 on koottu kaikkien haastatteluun osallistuneiden henkilöiden vastausten keskiarvot. Samalla tavalla kuin kuviossa 15, x-akselilla on kysymykset ja y-akselilla henkilön antamien vastaukset asteikolla 1–5.



Kuvio 17: CUI-projektin toteutuksen asteikkokysymysten keskiarvot

Kuvioiden 15 ja 16, sekä vapaamuotoisten kysymysten vastauksia on analysoitu kappaleissa 8.1.1 ja 8.1.2

8.1 Onnistumiset

Kaikkien projektissa mukana työskennelleiden mukaan ennakkosuunnittelu ja eri työvaiheiden ennakointi onnistui toivotulla tavalla ja ilman suurempia vastoinkäymisiä. Myös oman työn tehokkuudeksi kaikki antoivat hyvän arvon, joka kuvaa sitä, että työvaiheet olivat selkeät ja kaikista pienistä vastoinkäymisistä selviydyttiin hyvin.

Dekran tarkastustöiden työnjohtajan mukaan projektista saatiin erittäin paljon arvokasta tietoa CUI-alttiista kohteista. Varsinkin tietoa siitä, kuinka odottamattomissakin kohteissa saattaa olla CUI-vaurioita. Tämä vahvistaa tiedon siitä, että CUI-vauriot eivät aina näy eristekuoreissa tai pellissä, vaan voivat ilmaantua myös kohteissa, jotka päältä päin vaikuttavan olevan moitteettomassa kunnossa.

Kokonaisuutena kaikki toimialat olivat sitä mieltä, että pilottiprojektiksi REF:n CUI-projekti oli onnistunut ja viestinnän alkukankeutta lukuun ottamatta onnistunut hyvin.

8.2 Kehityskohteet

Kuviosta 15 voidaan päätellä, että suurin kehityskohde on viestinnässä eri toimialojen välillä. Viestintä ei ole toiminut halutulla tasolla varsinkaan tarkastuksen ja valmistuksen

välillä, joka ilmenee Nesteen suunnittelijan ja Dekran vastauksista kuviosta 15, sekä Nesteen suunnittelijan vapaamuotoisesta kommentista. Nesteen suunnittelijan mukaan viestintä ongelmat eri toimialojen välillä saatiin korjattua yhteisellä palaverilla projektin toteutuksen aikana. Viestinnän parantamiseksi olisi hyvä pitää kerran viikossa, tai aina kun todetaan tarpeelliseksi, palaveri eri toimialojen kanssa, jotta kaikki mahdolliset ongelmat ja muutokset tulevat kaikkien tietoon välittömästi.

Projektin suunnittelusta ja toteutuksesta vastaavan henkilön mukaan projektiin varatut resurssit olisivat olleet riittävät, mutta kahden pumpun (GA-4005 ja GA-4005S) ympäröivien linjojen eristys koitui haastavaksi. Tämän takia Armeelta ei ollut varattu tarpeeksi työntekijöitä suorittamaan lopulliset eristämiset aikatauluun mennessä. Tästä johtuen projektin lopetus venyi muutamalla viikolla. Tulevissa projekteissa pitää siis suunnitteluvaiheessa ja kenttäkierroksia tehtäessä ottaa huomioon eristeiden määrän lisäksi myös vaativat kohteet, joihin kuuluu normaalia enemmän työaika.

Porvoon jalostamolla työskentelevän Nesteen työntekijän mielestä CUI-projektin toteuttaminen onnistuneesti vaati, että projektin suunnittelusta ja toteutuksesta vastaava henkilö ei samalla keskity muihin työtehtäviin. Tämä pitää myös Naantalın jalostamolla ottaa huomioon, kun tulevia projekteja suunnitellaan ja toteutetaan. REF:n CUI-projektissa tämä oli onnistunut, koska suunnittelusta ja toteutuksesta vastaavalla henkilöllä ei ollut projektin aikana muita työtehtäviä.

Taulukkoon 21 on kerätty haastatteluiden perusteella selvitetty kehityskohteet, niiden toimenpiteet ja saavutettavat hyödyt. Haastatteluiden perusteella tärkeimmät kehityskohteet olivat viestintä valmistukselle, viestintä projektin toteutuksessa, vaikeat eristyskohteet, priorisointi ja eristeiden kuntokartoituslomake. Nämä viisi kehityskohdetta on listattu taulukon ensimmäisessä kolumnissa. Toisessa kolumnissa on tarvittava toimenpide ja kolmannessa kolumnissa saavutettava hyöty.

Taulukko 21: CUI-projektien kehityskohteiden yhteenveto

NESTE Kehityskohteet CUI-projekteissa		
Kehityskohde	Toimenpide	Saavutettava hyöty
Viestintä valmistukselle	Tarkastajien ja valmistuksen välistä viestintää tehostettava, jotta projektin toteutuksen aloitus sujuu mallikkaasti ja ilman turhaa odottelua.	Mahdollistaa projektin etenemisen suunnitellussa aikataulussa heti alkuvaiheista lähtien. Vähentää päällekkäistä työskentelyä tarkastuskohteissa muiden töiden kanssa.
Viestintä projektin toteutuksessa	Pidetään palavareita vähintään kerran viikossa projektin toteutumisesta. Palaverissa mukana toteutuksesta vastaava henkilö ja urakoitsijoiden työnjohtajat.	Pysytään ajantasalla työvaiheiden kulusta ja tulevista työvaiheista. Toteutus tehostuu, kun kaikki tietävät, koska edellinen työvaihe päättyy.
Vaikeat eristyskohteet	Vaikeasti eristettävien kohteiden arviointi ennen projektin toteutuksen aloitusta. Hyödynnetään urakoitsijoita kartoitusvaiheessa, jotta mahdolliset kohteet saadaan selville ennen toteutusta.	Saadaan ongelmakohtat huomioitua jo suunnitteluvaiheessa, jolloin kustannusarvio ja aikatauluarvio tarkentuu.
Priorisointi	Projektin toteutuksesta vastaava henkilö ei suorita muita työtehtäviä projektin toteutuksen aikana.	Projekti etenee suunnitellu tavalla ja toteutuksesta vastaava henkilö pystyy keskittymään mahdollisiin ongelmakohtiin välittömästi. Mahdollistaa projektin toteutuksen aikataulussa.
Eristeiden kuntokartoituslomake	Poistettu ylimääräisiä tarkasteltavia kokonaisuuksia, sekä lisätty muutama. Tehty pohjasta selkeämpi ja lisätty havainnollistava kuva eristeiden kunnan tarkastelusta.	Tekee kentällä tehtävästä kierroksta tehokkaamman ja riskialttiiden kohteiden havaitsemisesta helpompaa.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKO

Perehtymällä eristeen alaisesta korroosiosta tehtyyn kirjallisuuteen löydettiin tärkeää tietoa ilmiön suurimmista riskeistä, muodostumisesta ja ehkäisymenetelmistä. Tärkeimpinä ja kattavampina lähteinä käytettiin NACE Internationalin julkaisemaa kirjaa ”CorrCompilation: Corrosion Under Insulation” ja European Federation of Corrosion Publications julkaisemaa kirjaa ”Corrosion-under-insulation (CUI) guidelines”.

Riskialttiiden kohteiden kartoitus RT1 jakotislausyksikön osalta onnistui Porvoon avustuksella odotettua nopeammin. Virtauskaavioiden, PI-kaavioiden ja isometrien tutkiminen ja systemaattinen putkilinjojen merkitseminen mahdollisti riskiluokitteluun tarvittavan datan keräämisen onnistumisen. Nesteen jalostamoiden putkilinjoista kerätty ns. materiaalinvalintataulukko mahdollisti myös tarvittavan datan keräämisen massana. Putkilinjakohtaisen riskiluokittelun perusteella saatiin tehtyä suuntaa-antava kustannusarvio yksikön tarkastussuunnitelmaa varten. Jatkossa kustannusarviota tehdessä olisi kannattavaa ottaa kenttäkierroksille mukaan urakoitsijayritysten työnjohto, jotta saadaan vielä tarkemmat arviot tarkastuslaajuuksista ja varsinkin telinetarpeista. Budjettiarvioista saadaan jatkossa myös tarkempia vertaamalla useamman CUI-projektin kustannuksia ja tarkastuslaajuuksia tulevan projektin laajuuteen.

Budjettiarvioksi RT1 jakotislausyksikön osalta saatiin edellisen CUI-projektin pohjalta noin 100 000 euroa. Mahdollisten tarkastuslaajuuksien muuttumisen ja telinemuutos tarpeiden takia budjettiin kannattaa lisätä vähintään 10–20 % muuttumisvaraa. Putkilinjakohtaisen tarkastelun avulla kustannusarvioksi yksikölle saatiin noin 53 000 euroa. Tarkempi kustannusarvio vaatisi kenttäkierroksen tekemisen yksikön tarkastuslaajuudesta urakoitsijoiden työnjohdon kanssa, jotta he voivat antaa oman arvion kunkin työvaiheen kustannuksista.

CUI-projekteissa mukana olleiden urakoitsijoiden ja Nesteen oman henkilökunnan haastatteluista saatiin hyvää tietoa projektien toteutuksesta. Haastatteluiden perusteella onnistuttiin keräämään tehostusideoita tuleville CUI-projekteille. Näitä ideoita ja ehdotuksia tullaan hyödyntämään tulevissa CUI-projekteissa, jotta projektien toteutus olisi vielä kustannustehokkaampaa kuin ennen.

10 LÄHTEET

API 570. 2016. 4 edn. 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005: API Publishing Services.

Different Approach to Managing Corrosion Under Insulation 2018-last update. Available: <https://www.paint.org/article/different-approach-to-managing-corrosion-under-insulation/> [Jan 8, 2020].

, Radiographic Testing (RT) Apr 19, 2015-last update. Available: <https://inspectioneering.com/tag/radiography> [Jan 10, 2020].

What is TSA Thermal Spray Aluminum - Metalink. Metalink Metalizing Systems.

BELL, T., April 03, 2019-last update, Characteristics of and Uses for Austenitic Stainless Steel. Available: <https://www.thebalance.com/metal-profile-austenitic-stainless-2340126> [Dec 31, 2019].

CAVALLO, J.R., 2017. *CorrCompilations: Corrosion Under Insulation.* United States of America: NACE International.

DACON INSPECTION TECHNOLOGIES CO., LTD., 2019-last update, Radiographic Testing (RT). Available: <https://www.dacon-inspection.com/inspection-services/conventional-ndt/radiographic-testing-rt/> [Jan 2, 2020].

ENI GENERALIC, 2018-last update, Face-centered cubic lattice. Available: <https://glossary.periodni.com/glossary.php?en=face-centered+cubic+lattice> [Dec 31., 2019].

GODAVARI TECHNICAL SERVICES, 2014. Radiography Testing - Godavari Technical Services.

HIRA S. AHLUWALIA, 2017. *Corrosion Under Insulation: Prevention Measures.*

INSPECTIONEERING, L., 2019-last update, Radiographic Testing (RT). Available: <https://inspectioneering.com/tag/radiography> [Dec 31, 2019].

INSPECTIONEERING, L., , Overview of Risk-Based Inspection. Available: <https://inspectioneering.com/tag/risk-based+inspection> [Jan 10, 2020].

KIISKI, A., 2017. *H102 Putkistomateriaalit laippaliitoksilla.* 15 edn. Neste Oyj.

LMATS, Dec 17, 2015-last update, NDT - Radiographic Testing (RT). Available: <https://lmats.com.au/resource-centre/ndt-non-destructive-testing/ndt-radiographic-testing-rt> [2.1., 2020].

MIKKOLA, V., 2018. *L101 Lämpöeristysspesifikaatio.* 17 edn. Neste Oyj.

NDT RESOURCE CENTER, , Basic Principles of Ultrasonic Testing. Available: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Introduction/description.htm>.

OKKONEN, P., 2017a. *L103 Korroosionestomaalauspesifikaatio: Liite 4.* 15 edn. Neste Oyj.

OKKONEN, P., 2017b. *L103 Korroosionestospesifikaatio.* 15 edn. Neste Oyj.

SÖLKEN, W., 2012. Ultrasonic Testing.

SWIFT, M. and CHMIELARSKI, J., 2019. *Corrosion Under Insulation*. Armacell.

TAILOR, S., 2016. *Thermal Spray Aluminum (TSA) Coating*.

TWI LTD., Jul 30, 2017-last update, What is Risk-Based Inspection?. Available: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-risk-based-inspection-rbi> [Jan 3, 2020].

V. MITCHELL LISS, Dec 27, 2010-last update, The National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors. Available: <http://www.nationalboard.org/> [Jan 9, 2020].

WERNER SÖLKEN, Jul. 29, 2019-last update, Principle of ultrasonic testing [2.1., 2020].

WINNIK, S., 2008. *European Federation of Corrosion Publications Number 55: Corrosion Under Insulation (CUI) Guidelines*. Abington Hall, Abington, Cambridge CB21 6AH, England: Woodhead Publishing Limited.

LUCIDCHART, Feb 8, 2017-last update, What are Piping & Instrumentation Diagrams. Available: <https://www.lucidchart.com/pages/tutorial/p-and-id> [Jan 22, 2020].

RFF ELECTRONICS, , Process Flow Diagrams (PFDs) and Process and Instrument Drawings (P&IDs). Available: <https://www.rff.com/process-flow-diagrams.php> [Feb 10, 2020].

WERNER SÖLKEN, Oct 10, 2010-last update, Piping Coordination System - Piping Isometrics, Isometric views and Orthographic views. Available: <http://www.wermac.org/documents/isometric.html> [Feb 10, 2020].