



Jaakko Rinkinen

# Robustness-testilaitteiston kehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

1.4.2022

## Tiivistelmä

Tekijä:	Jaakko Rinkinen
Otsikko:	Robustness-testilaitteiston kehitys
Sivumäärä:	35 sivua + 1 liitettä
Aika:	1.4.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat:	Laboratoriopäällikkö Janne Lappalainen Yliopettaja Jarno Varteva

---

Insinööriä tehtiin Ensto Finland Oy, Ensto laboratoriolle. Insinööriyössä suunniteltiin ja rakennettiin Ensto laboratoriolle testilaitteisto keskijännitemaakaapelivarusteiden testausta käsittävän HD 629.3 -standardin luonnoksessa kuvattuun B3R (Robustness)-kokeeseen.

Projekti luontoisen insinööriyön tarkoituksena oli tutustua robustness-kokeeseen, siihen liittyviin standardeihin ja rakentaa laitteisto, jolla robustness-koe saataisiin osaksi Ensto laboratorion testiportfoliota.

Robustness-kokeessa koetetaan keskijännitemaakaapelijatkosten toimivuutta vaihtelevissa olosuhteissa ja sähköverkon eri kuormitustilanteissa.

Työ aloitettiin kartoittamalla laitteiston vaatimukset ja sen pohjalta tekemällä suunnitelma laitteistosta. Projektin aikana teetettiin ja rakennettiin laitteisto, jolle päästiin suorittamaan ensimmäinen laitteiston koeajo. Insinööriyön tuloksena Ensto laboratorio sai paljon osaamista robustness-testaamiseen liittyen, sekä lähes valmiin testilaitteiston robustness-koetta varten.

Avainsanat: Robustness-koe, testilaitteisto, keskijännite, maakaapelijatkos.

## Abstract

Author: Jaakko Rinkinen  
Title: Development of Robustness Test Equipment  
Number of Pages: 35 pages + 1 appendix  
Date: 1 April 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Professional Major: Electrical Power Engineering  
Supervisors: Janne Lappalainen, Laboratory Manager  
Jarno Varteva, Principal Lecturer

---

This thesis work was commissioned by Ensto Finland Oy, Ensto laboratory. Purpose of this thesis work was to design and build test equipment for B3R (robustness) test. The B3R test is described in the draft of standard HD 629.3 which contains requirements for testing medium voltage underground cable accessories.

The goal was to get acquainted with robustness testing and related standards, and to build equipment that would make the robustness test part of Ensto's laboratory test portfolio.

The robustness test tests the performance of medium voltage underground cable joints under different load conditions of the distribution network, while encountering varying ambient conditions.

The work was started by mapping the requirements of the equipment and based on this, making a plan for the equipment. During the project, the test equipment was outsourced and assembled in house, after which the first test run of the equipment was performed.

As a result of this work Ensto laboratory gained a lot of expertise in robustness testing and got robustness testing test equipment that was completed for the most part.

Keywords: Robustness test, test equipment, medium voltage, joint

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ensto	2
3	Keskijännitemaakaapelijatko	3
3.1	Yleisimmät jatkot ja niiden käyttökohteet	3
3.2	Jatkon rakenne	3
3.3	Maakaapelijatkon sähkökentänohjaus	5
4	Robustness-koe	9
5	Testilaitteisto	12
5.1	Allas	12
5.2	Veden lämmitys	14
5.3	Veden jäähdytyksen suunnittelu	16
5.4	Jännitelähde	17
5.5	Lämmitysmuuntaja	18
5.6	Laitteiston ohjaus	20
5.7	Mittaus	21
6	Järjestelmän koeajo	22
6.1	Koeajon valmistelu	22
6.2	Lämmitysjakson ajo	25
6.3	Testauksen tulokset	27
7	Yhteenveto	31
	Lähteet	34

## Liitteet

Liite 1: Robustness-altaan CAD-kuvat

## Lyhenteet

AC:	Alternating current. Vaihtovirta.
CAD:	Computer aided design. Tietokoneavusteinen suunnittelu
DC:	Direct current. Tasavirta.
DSO:	Distribution system operator. Jakeluverkko-operaattori.
PID:	Proportional-integral-derivative controller. suhde, integroiva, derivoiva säädin.
Tambient:	Temperature ambient. Ympäristön lämpötila.
Tcw:	Temperature cold water. Vedenlämpötila (kylmä).
Thc:	Temperature high conductor. Johtimen lämpötila (kuuma).
Thw:	Temperature high water. Veden lämpötila (kuuma).
U0:	Nimellinen vaihejännite.

## 1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehtiin Ensto Finland Oy, Ensto-laboratoriolle. Työn tarkoituksena oli kehittää testilaitteisto ja testausmenetelmät keskijännitemaakaapelijatkoihin suoritettavaa robustness-koetta varten.

Robustness-koete on tietyillä markkina-alueilla vaadittu standardoitu testi, joka koestaa maakaapelijatkos vesitiiveyttä ja käyttäytymistä vaihtelevissa olosuhteissa. Aikaisemmin Ensto on teettänyt testin ulkopuolisessa laboratoriossa, mutta jatkossa testi halutaan osaksi Ensto-laboratorion testiportfoliota.

Aluksi laboratoriolle oli tarkoitus saada valmius testata yksivaiheisia maakaapelijatkosia, joiden testaamiseen tässä työssä pääasiassa keskityttiin. Tulevaisuudessa kuitenkin testausta halutaan laajentaa kolmevaiheisiin jatkosin sekä sekajatkosin.

Insinööri työssä tutustutaan testiraportteihin, tarjouskilpailuihin, HD 629.3 standardin luonnokseen ja ranskalaiseen HN 33-E-3 standardiin, joissa robustness-koete on kuvattu. Näiden pohjalta kartoitetaan laitteiston vaatimukset ja aloitetaan laitteiston suunnittelu ja rakentaminen.

## 2 Ensto

Ensto on kansainvälinen perheyrittäjä, joka toimii teknologia-alalla. Ensto tuottaa luotettavia ja älykkäitä ratkaisuja sähkönjakeluun sekä infrastruktuuriin. Yritys on perustettu 1958 ja tänä päivänä se työllistää noin 920 työntekijää Euroopassa ja Aasiassa. [1.]

Ensto DSO (distribution system operator) on Enston yksikkö joka kehittää, tuottaa ja myy pien- ja keskijännitustuotteita sähkönjakeluverkkoihin niin ilmajohtojärjestelmiin kuin maakaapeliratkaisuihin. Yksikön sisäinen tuotekehitysosasto kehittää uusia tuotteita ja ratkaisuja tiiviisti yhteistyössä tuotehallinnan ja laboratorion kanssa, mutta myös jo olemassa olevien tuotteiden kehitys ja uudelleen sertifiointi ovat iso osa yksikön toimintaa.

Ensto-laboratorio on akkreditoitu testauslaboratorio, joka toimii tuotekehityksen tukena kehitystyössä. Laboratorio tekee mekaanisia ja sähköisiä kokeita sekä materiaalitestausta ilmajohto- ja maakaapelituotteille. [2.]

Ensto-laboratorio kykenee tekemään muun muassa standardien: EN 50483, IEC 61238-1, EN 50397-2, IEC 61284 ja EN 50393 mukaiset tyyppitestit pien- ja keskijännitteisille ilmajohto- ja maakaapelivarusteille. Laboratoriossa suoritetaan myös suurin osa standardien IEC 61442 ja HD 629.1 mukaisista tyyppitesteistä keskijännitemaakaapelivarusteille. [2.]

Laboratorioon keväällä 2022 valmistuvan laajennuksen myötä testiportfoliota sekä testauskapasiteettia keskijännitemaakaapelituotteille pystytään kasvattamaan huomattavasti.

### 3 Keskijännitemaakaapelijatko

#### 3.1 Yleisimmät jatkot ja niiden käyttökohteet

Maakaapelijatkoja käytetään liittämään kaksi maakaapelia yhteen. Yleisimmin jatkoja tarvitaan pitkässä kaapelivedossa yhdistämään kaksi kaapelia yhteen, kun vanhaa verkkoa saneerataan tai laajennetaan. Myös vioittunut kaapeli voidaan korjata korjausjatkolla.

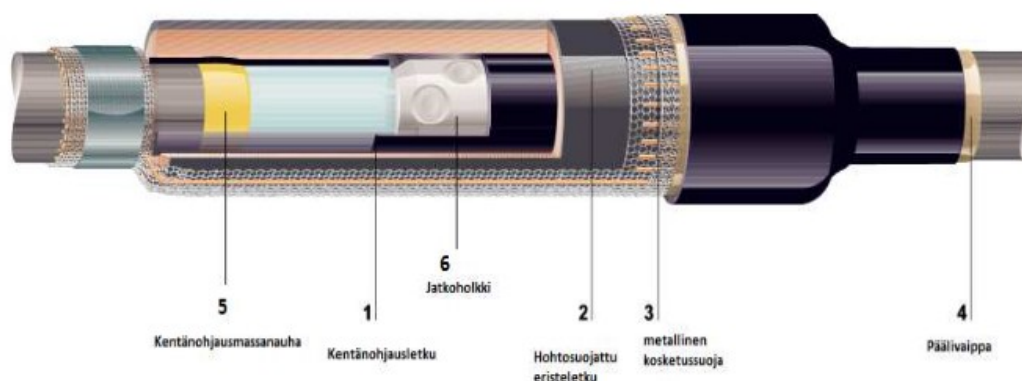
Useimmiten jatkolla liitetään yhteen kaksi muovieristeistä kaapelia, mutta verkon saneeraustyössä eteen voi vielä tulla sekajatko (transition joint), missä liitetään muovi- ja paperieristeinen kaapeli yhteen.

Yleisimpiä keskijännitemaakaapelijatkoksia ovat, lämpökutistejatkokset, kylmäkutistejatkokset ja all-in-one -jatkokset. Käytössä on myös niin sanottuja hybridi-jatkoksia, jotka yhdistävät kylmä- ja lämpökutistetekniikkaa. [3.]

#### 3.2 Jatkon rakenne

Maakaapelijatko rakentuu jatkosholkista, eristeistä, kentänohjauskomponenteista ja maadoituksesta. Jatkon rakenne jäljittelee jatkettavan kaapelin rakennetta ja käytännössä kaikki kerrokset jatketaan kaapelista toiseen. [4, s. 9.] Kuvassa 1 on havainnollistettu maakaapelijatkon rakenne.





Kuva 1. Keskijännitekaapelijatkon rakenne [muokattu lähteestä 4, s. 9].

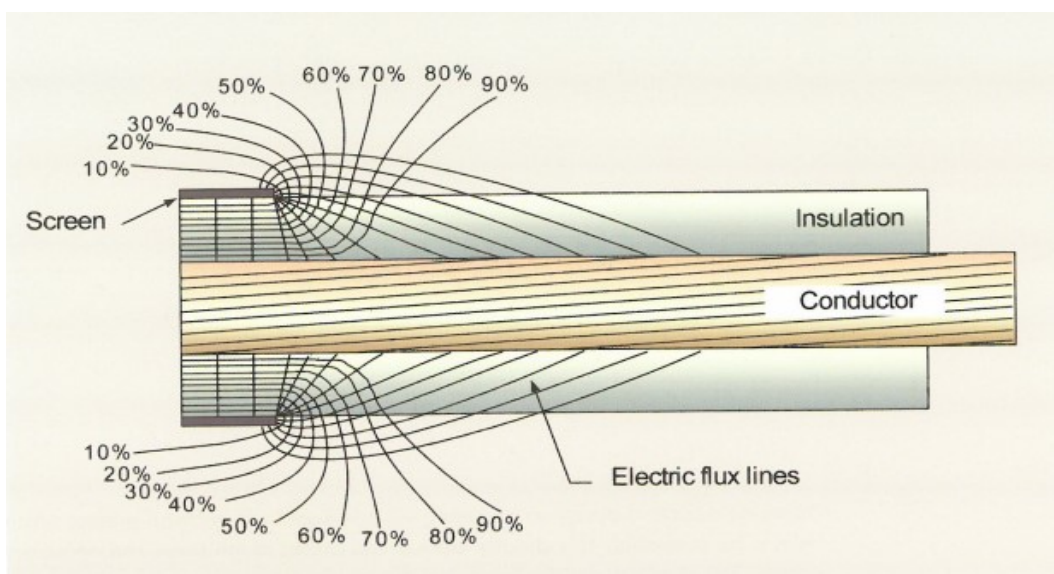
Jatkoholkkeina käytetään pääasiassa kahta tyyppiä, momenttiruuviholkkia ja puristettavaa jatkoholkkia. Puristettava holkki on pitkään ollut suosittu vaihtoehto, mutta momenttiruuviholkin käyttö on yleistynyt laajalti. Momenttiruuviholkin etuna on helppo ja nopea asennettavuus ja laaja kaapelinpoikkipinta-alojen kattavuus, kun taas puristettavan holkin etuja ovat pienihalkaisija ja liitoksen luotettavuus, kun asennus on tehty oikein. Momenttiruuviholkkia asentaessa etenkin poikkipinta-alaskaalan pienemmässä päässä liitin saattaa asemoitua epäsymmetrisesti kaapeliin nähden, jolloin asennuksen kanssa täytyy olla tarkkana. Puristettavan holkin yksikköhinta on usein momenttiruuviholkkia alhaisempi, mutta puristusta varten tarvitaan puristustyökalu, jonka hankintahinta voi olla korkea. [5, s. 96–98.]

Jatkorunkotyyppinä on pääasiassa kahta tyyppiä, kylmäkutistettavat (cold shrink) ja kuumakutistettavat (heat shrink) varusteet. Kylmäkutistettavat rungot eivät kuumakutisteiden tapaan tarvitse lämpöä asennuksessa, vaan kylmäkutisterunko on ladattu muovispiraalin päälle. Kylmäkutisteet on valmistettu silikonista tai vastaavasta elastisesta materiaalista kuten EPDM (Etyleenipropyleeni-dieeni)-kumista, jolloin spiraalia poistettaessa runko kutistuu jatkoksen päälle. [6.] Kylmäkutisteissa kentänohjauskomponentit on valettu jatkorunkoon valmiiksi, jolloin asennus on nopeampaa ja asennusten laatu pysyy tasaisena. Kylmäkutisteiden huonoja ominaisuuksia ovat huono mekaanisen rasituksen kesto ja jatkoksen paksuus.

Kuumakutisteet ovat tehtaalla lämmön avulla laajennettu. Asennettaessa jatkosta kutistetaan uudelleen lämmittämällä tyypillisesti nestekaasuliekillä. Kuumakutiste on asennettuna huomattavasti kylmäkutistetta jäykempi ja kestävämpi mekaanista rasitusta vastaa. Usein myös kylmäkutistejatkoksessa ulko-kerros on kuumakutistetta. Kuumakutiste ei kuitenkaan tuota dynaamista puristusvoimaa kaapelin ympärille kylmäkutisteen tavoin, joten vesitiiveyden takaamiseksi jatkon reunoilla käytetään vesitiivistysmassaa tai kutisteen sisäpinnalla olevaa liimaa. [6.]

### 3.3 Maakaapelijatkon sähkökentänohjaus

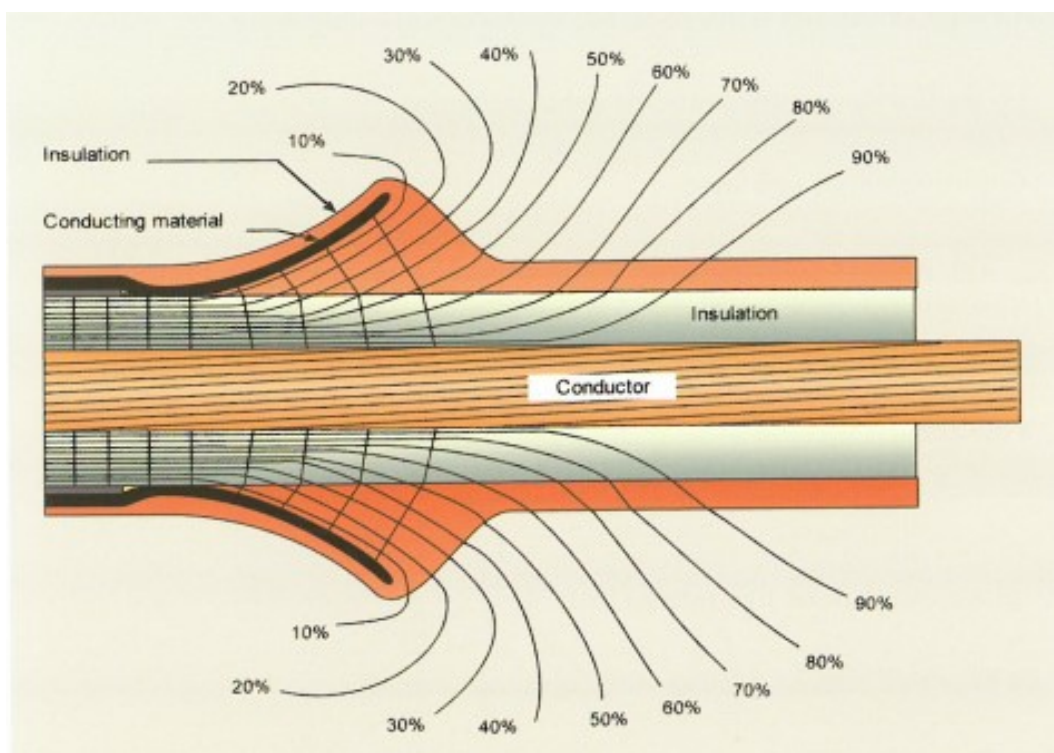
Kaapelissa johtimen ja maadoitetun hohtosuojan välisellä alueella sähkökentänvoimakkuus on jakautunut tasaisesti ja kaapelin eriste kestää sähkökentän rasituksen. Kaapeliin tehtävän jatkoksen kohdalla sähkökenttä ei kuitenkaan enää jakaudu tasaisesti jatkoksen rakenteen vuoksi, jolloin sähkökentänvoimakkuus kasvaa eristeelle liian suureksi. Jatkosta valmisteltaessa kaapelin maadoitettu hohtosuoja on kuorittava riittävän kauas jatkosholkista siten, että niiden välille jää tarpeeksi suuri ryömintämatka ylilyönnin ehkäisemiseksi, tämä aiheuttaa sähkökentän epätasaisen jakautumisen, joka aiheuttaa suuren rasitteen eristykselle hohtosuojan reunalla kuvan 2 mukaisesti. [5, s. 41–42.]



Kuva 2. Sähkökentän vaikutus hohtosuojan reunassa [5, s. 42].

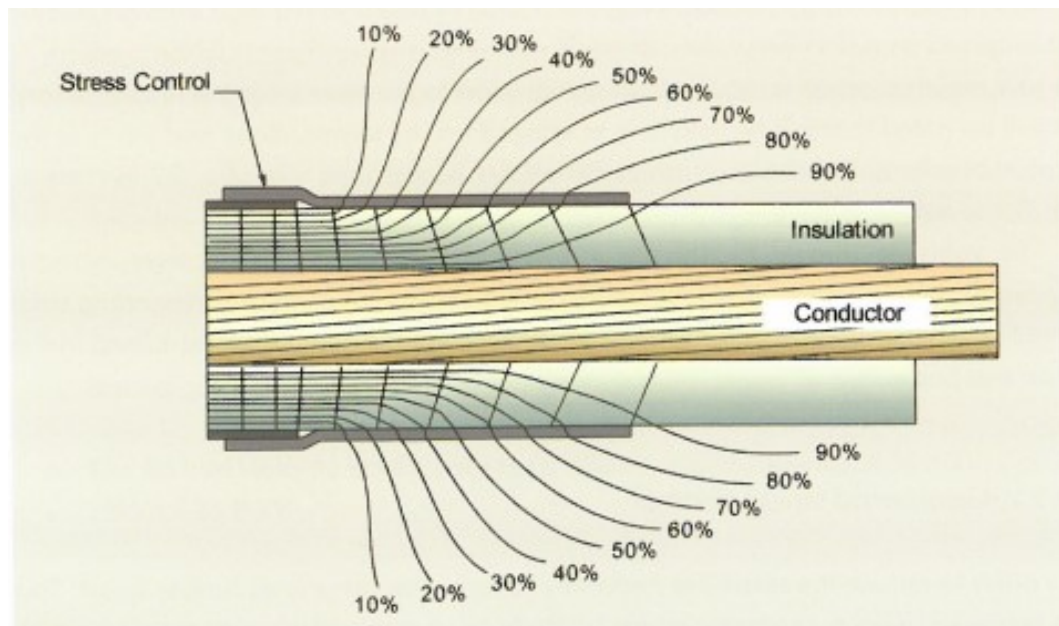
Sähkökentän aiheuttaman rasituksen vaimennukseen hohtosuojan leikkauskohdassa käytetään erilaisia kentänohjausmenetelmiä. Geometrinen kentänohjaus perustuu puolijohtavaan kartiomaiseen elektrodiin, joka hajottaa sähkökentän suuremmalle alalle, alentaen kentän aiheuttamia rasitteita hohtosuojan leikkauskohdassa. [5, s. 43–44.]

Kuvassa 3 esitetty geometrisesti ohjatun sähkökentän vaikutus hohtosuojan leikkauskohdassa.



Kuva 3. Geometrinen kentänohjaus [5, s. 44].

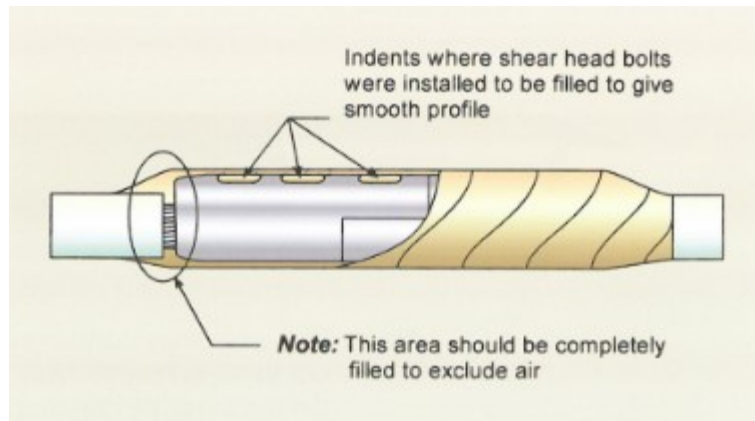
Kentänohjausletkulla ja mastikilla toteutetussa kentänohjauksessa saumakohta peitetään puolijohtavalla materiaalilla, jonka korkea permittiivisyys tasaa sähkökentän vaikutusta. Geometriseen kentänohjaustekniikkaan verrattaessa selkeä etu on jatkoksen pienempi halkaisija, mikä tulee esiin etenkin kolmivaiheisissa jatkoissa. [5, s.44–45.]



Kuva 4. Materiaalin permittiivisyyteen perustuva kentänohjaus [5, s. 44].

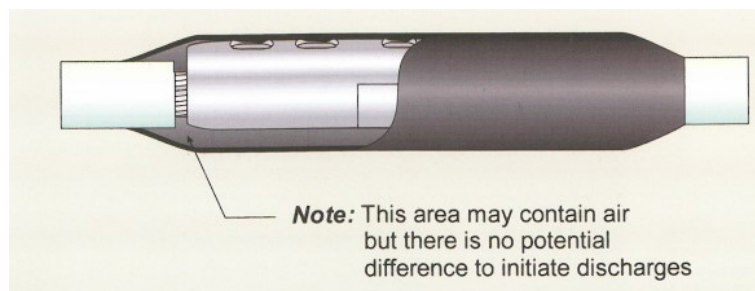
Kuva 4 havainnollistaa sähkökentän jakautumisen permittiivisyyteen perustuvalla kentänohjauksella. Sähkökenttä on jakautunut tasaisemmin suuremmalle alueelle vähentäen kentän aiheuttamaa rasitusta leikkauskohdassa.

Jatkosholkin ja puolijohtavan kentänohjausletkun välillä oleva potentiaaliero aiheuttaa purkauksia, jos holkin ja letkun väliin jää ilmataskuja, ja tämä aiheuttaa taas kovan rasituksen eristykselle. Ilmataskujen eliminointiin on olemassa kaksi yleisesti käytettyä tekniikkaa, joissa jatkosholkin ja kentänohjausletkun väliin jäävät ilmataskut täytetään esimerkiksi teipillä ja massalla, tai holkin päälle asennetaan johtavasta materiaalista valmistettu kerros, joka on jatkosholkin kanssa samassa potentiaalissa. [5, s. 45–46.]



Kuva 5. Teipillä ja massalla täytetty liitin [5, s. 45].

Kuvassa 5 holkin ruuvinreiät ja kaapelin eristeen ja holkin välinen alue on täytetty eristävällä massalla ja holkki on teipattu, jolloin kentänohjausletku kutistuu tiiviisti jatkosholkin ympärille, eikä letkun ja holkin väliin muodostu ilmataskuja.



Kuva 6. Faradayn-häkki [5, s. 46].

Kuvassa 6 jatkosholkin päälle on asennettu johtavasta materiaalista valmistettu Faradayn-häkki, joka on holkin kanssa samassa potentiaalissa. Faradayn-häkin ulkopinta on tasainen, jolloin häkin ja kentänohjausletkun väliin ei muodostu ilmataskuja. Faradayn-häkin sisälle jäävät ilmataskut eivät aiheuta purkauksia koska häkin sisällä ei ole potentiaalieroja. [5, s. 46–47.]

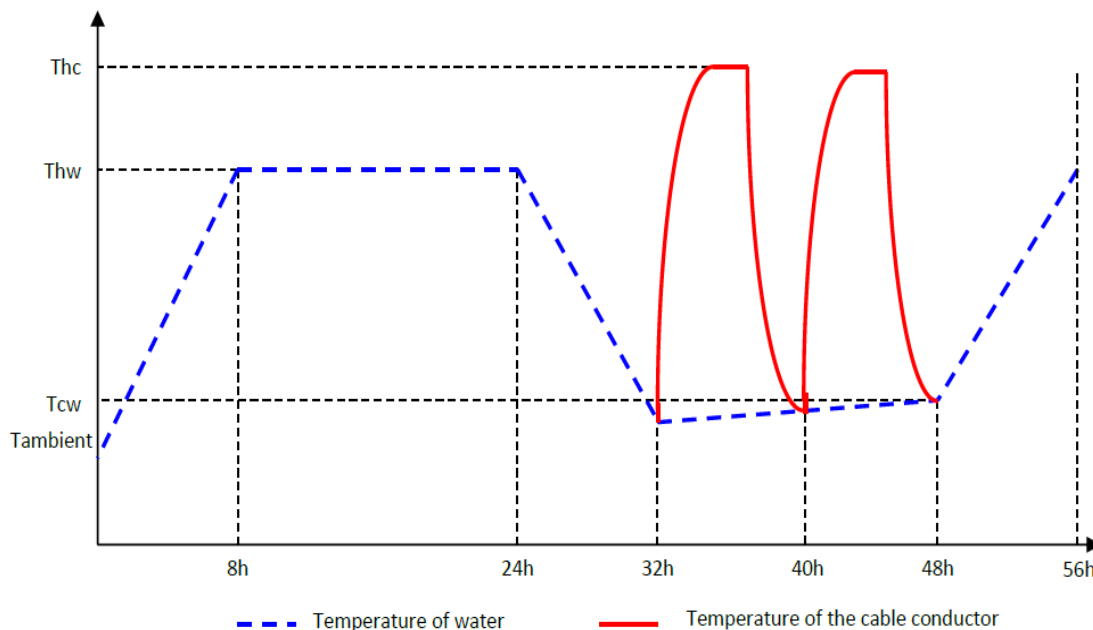
## 4 Robustness-koe

Robustness-koe on kuvattu ranskalaisessa HN 33-E-3 -standardissa ja HD 629.3 standardin luonnoksessa, joissa käsitellään sekajatkosten sekä yksi- ja kolmevaiheisten maakaapelijatkosten testausta. Robustness -kokeen tarkoitus on koestaa kaapeliin asennetun jatkosyöttösuojan vesitiiveyttä asettamalla jatko pitkäaikaiseen testiin veden alle, sekä simuloida verkon käytössä kohtaamaa kuormitusta jännitteellä ja virralla [7, liite E.].

Testausta varten tulee valmistella kaksi erää yksivaiheisia kaapeleita, joissa kussakin erässä on kolme kaapelia, tai vaihtoehtoisesti neljä kolmevaiheista kaapelia [8, s. 6]. Testattavista kaapeleista puolet ovat vertailukappaleita jännitekokeeseen ja puolet testataan robustness -kokeessa.

Ennen varsinaista testiä vertailukappaleille suoritetaan jännitekoe, jossa kappaleet altistetaan portaittain nousevalle vaihtojännitteelle alkaen  $2 U_0$ :n suuruudesta jännitteestä. Jännitettä nostetaan  $5 \text{ kV}$ :n askelissa viiden minuutin välein, kunnes jatkossa tapahtuu läpilyönti. [7, liite E.] Läpilyöntijännitteen tulee kuitenkin olla vähintään  $4,5 U_0$ , jotta testausta voidaan jatkaa [9, s. 2]. Robustness -kokeen jälkeen testatuille kappaleille suoritetaan vastaava jännitekoe, jonka tuloksia verrataan vertailukappaleisiin.

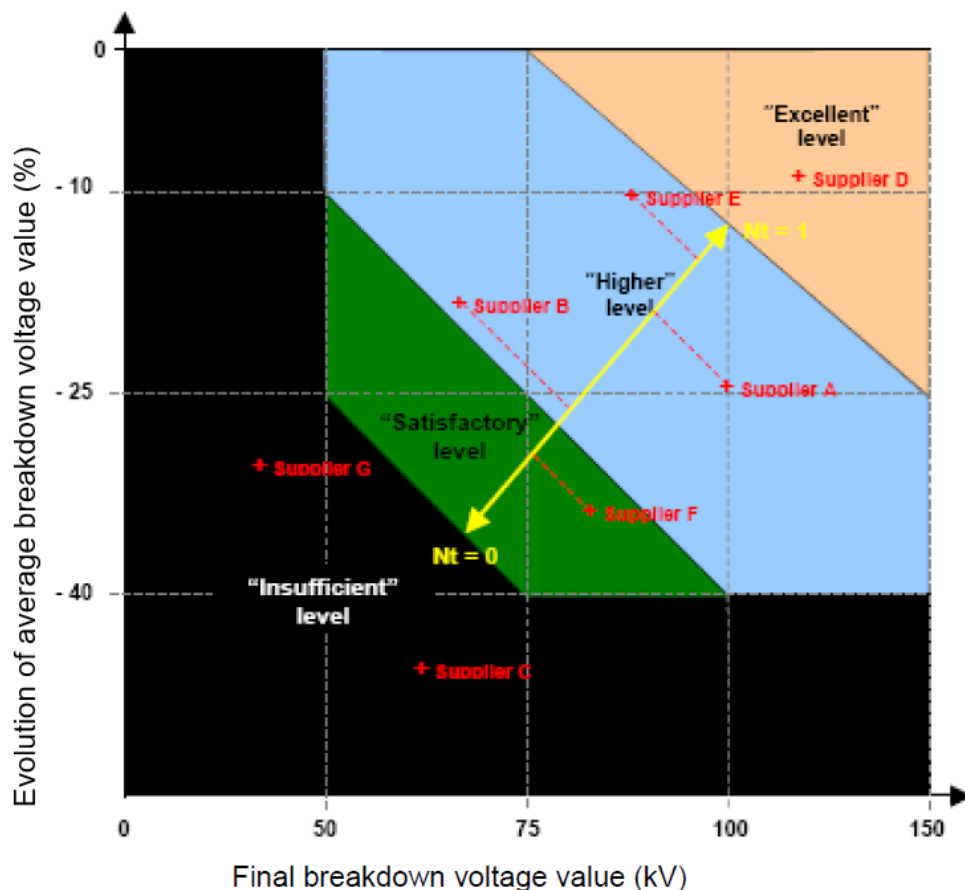
Robustness-kokeessa testattavat jatkot asetetaan  $45$  testausjakson ajaksi  $1 \text{ m}^{+0,1\text{m}}$ :n syvyyteen veden alle, yhden jakson keston ollessa  $48$  tuntia. Jakson aikana kaapelivarusteita rasitetaan syöttämällä piiriin  $2 U_0$ :n suuruinen vaihtojännite, lämmittämällä ja jäädyttämällä vettä, johon kaapelit ovat upotettuna sekä syöttämällä piiriin virtaa kaapeleiden lämmittämiseksi. Veden ja kaapeleiden lämpötilan muutoksilla koestetaan jatkosyöttösuojan vesitiiveyttä muuttuvissa olosuhteissa lämpölaajenemisen ja tiivistysmateriaalien ominaisuuksien muutosten varalta. [7, liite E.] Testipiiriin kytketty jännite koestaa asennuksen laatua ja paljastaa jatkossa tapahtuvat merkittävät viat. Kuvassa 7 esitetään yhden jakson aikana esiintyvät veden ja kaapeleiden lämpötilat.



Kuva 7. Yhden jakson ajoprofiili [muokattu lähteestä 8, s. 9].

Vettä lämmittämällä ja jäähdyttämällä simuloidaan ympäristössä tapahtuvia lämpötilan muutoksia. Piiriin ajettulla jännitteellä ja virralla simuloidaan verkon kuormituksesta aiheutuvaa räsitusta.

Vanhennuksen jälkeen suoritettavan jännitekokeen perusteella arvioidaan jatkoon laatu vertaamalla vanhennettuja jatkoja jännitekestokokeessa testattuihin vertailu kappaleisiin kuvan 8 mukaisesti. Jännitekokeen kolmesta tuloksesta lasketaan läpilyöntijännitteen keskiarvo, jonka tulee olla vähintään 60 % vertailukappaleiden vastaavasta arvosta, mutta kuitenkin yli 50 kV, jotta jatkostyyppi voidaan hyväksyä. [9, s. 2.]



Kuva 8. Jännitekokeen tulosten vertailu [Muokattu lähteestä 9, s. 2].

Jännitekokeen jälkeen vanhennetuille jatkoille suoritetaan silmämääräinen tarkastus, missä jatkot avataan ja tarkastetaan, että jatkokseen ei ole päässyt vettä testin aikana. [9, s. 2].

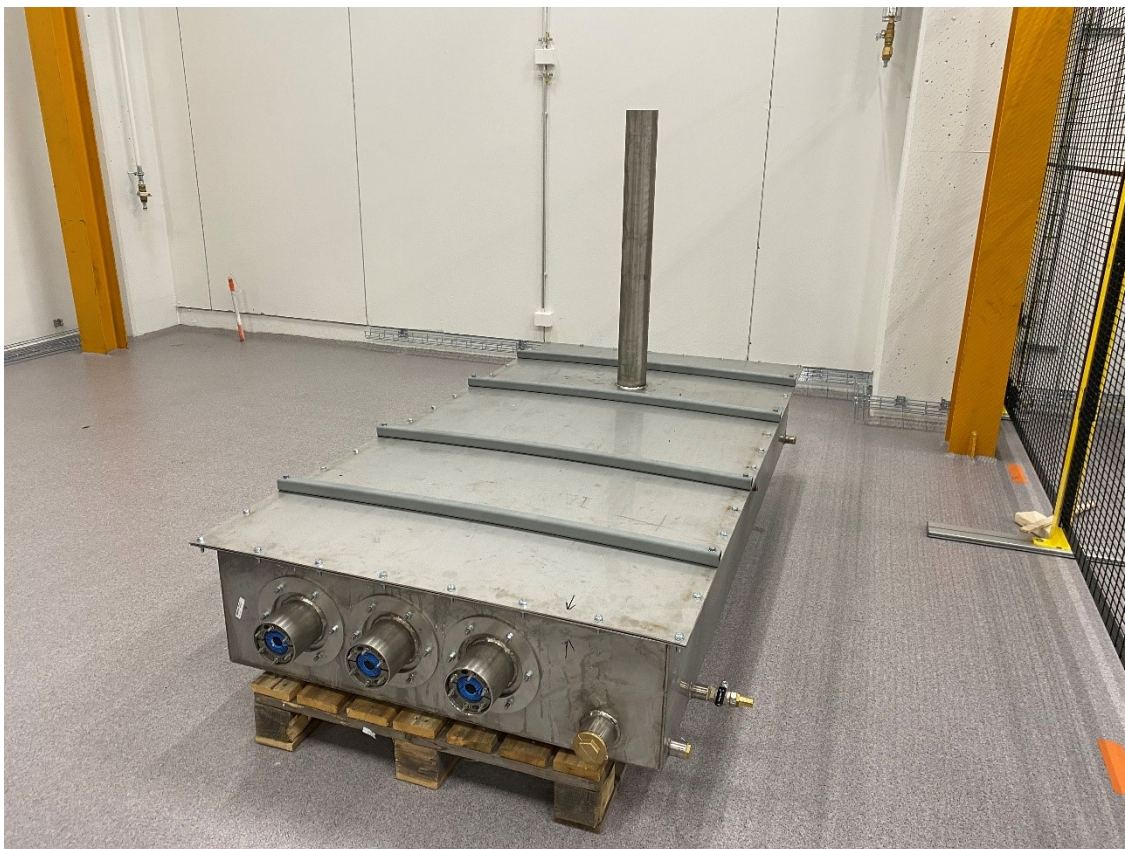
Robustness -kokeen hylkäämiseen johtavia perusteita:

- Ilmenee vika vanhennuksen aikana.
- Eristysvastus ei täytä vaatimuksia.
- Vesi on päässyt jatkon sisälle vanhennuksen aikana.
- Läpilyöntijännite on alle 50 kV.
- Ero vanhennettujen jatkosten vertailukappaleiden läpilyöntijännitteessä on liian suuri (40 % alhaisempi kuin vertailukappaleet) [9, s. 2].





neputki, millä testialtaaseen saadaan 1000 mm:n korkuisen vesipatsaan aiheuttama 0,1 bar:n vedenpaine, samalla pitäen altaan vesitilavuuden mahdollisimman pienenä, jolloin veden lämmitykseen tarvittava teho on mahdollisimman pieni. Testin aikana allas on myös ulkopuolelta lämpöeristetty, jolloin lämmitystehon tarve pienenee ja samalla lämpötila pysyy stabiilina. Kuvassa 10 robustness-allas on kasattuna ja vedellä täytettynä.



Kuva 10. Robustness-allas kasattuna.

Kaapeleiden läpivientien rakenne koostuu kumisista läpivienti holkkitiivisteestä, jotka ovat halkaistavia ja joiden kokoa voidaan säätää tiivistettävän kaapelin halkaisijalle sopivaksi, sekä kahdesta teräslaipasta, jotka asennetaan altaan päätyseinän molemmille puolille. Toiseen laipoista hitsattiin lyhyt läpivientiputki, jonka sisälle holkkitiiviste asennetaan. Läpivientien rakenne mahdollistaa tiivistettävää kaapelia huomattavasti paksumman jatkoksen pujottamisen altaaseen ennen läpivientien asentamista. Läpiviennin rakenne näkyy kuvassa 11.



Kuva 11. Kaapeliläpiviennit vesitankkiin asennettuna.

Allas suunniteltiin niin, että altaaseen mahtuu väljästi kolme yksivaiheista jatkoa, sekä lämmitysvastukset veden lämmitystä varten. Tulevaisuudessa myös pienempien kolmevaiheisten jatkosten testaus on mahdollista tällä altaalla teettämällä uudet tiivistyslaipat.

## 5.2 Veden lämmitys

Testialtaassa olevaa vettä lämmitetään jakson ensimmäisen 24 tunnin ajan. Jakson alussa lämpötila on alle 40 °C josta lämpötila nostetaan 80 °C:seen kahdeksan tunnin kuluessa, jonka jälkeen lämpötilaa ylläpidetään, kunnes 24 tuntia lämmitystä on täyttynyt. [8, s. 8.]

Lämmitys toteutettiin kahdella veteen upotetulla lämmitysvastuksella, jotka asennettiin altaan päädyissä sijaitseviin läpivienteihin.

Veden lämmittämiseen vaadittava lämmitysteho laskettiin alla olevan kaavan 1 mukaan. Lämpötilan noususta ja ylläpidosta huolehtii PID-lämpötilasäädin, joten lämmitysteho pystyttiin mitoittamaan reilulla marginaalilla.

$$P = \frac{\frac{\rho c V (T_2 - T_1)}{3600}}{t} \quad (1)$$

- $P$  on lämmitysteho
- $\rho$  on veden tiheys
- $c$  on veden ominaislämpökapasiteetti
- $V$  on altaan tilavuus
- $T_2$  on lämmitetyn veden lämpötila
- $T_1$  on lämmitettävän veden lämpötila
- $t$  on lämmitysaika
- 3600 on yksikkömuunnoskerroin kJ->kWh.

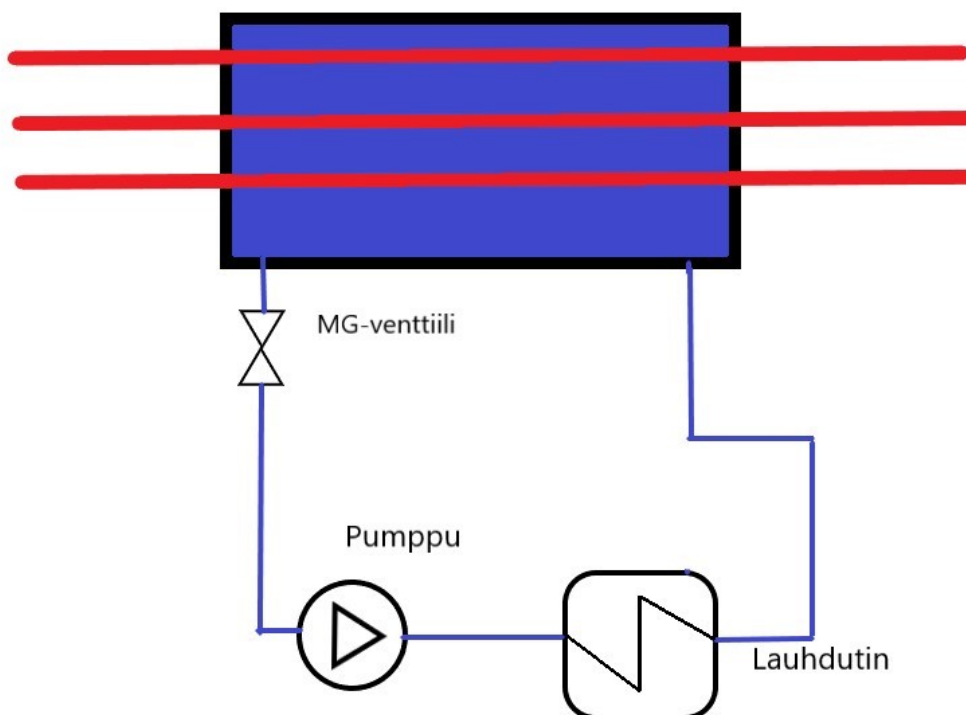
$$P = \frac{\frac{1000 * 4,186 * 660 (80 - 30)}{3600}}{8} = 4796,5 \text{ kW}$$

Laskukaavalla laskettuna 600 l:n veden lämmitykseen tarvittava laskennallinen lämmitysteho olisi noin 3,6 kW. Vesialtaan tilavuuteen lisättiin kuitenkin 10 % veden paineen aiheuttamasta vesitankin pullistumista ja täyttöputken tilavuudesta johtuen. On myös oletettavaa, että lämpötila lämmitysjakson alussa olisi noin 30 °C, joten lämmitystekoksi laskettiin noin 4,8 kW. Laskennan pohjalta järjestelmään valittiin kaksi kappaletta 3 kW:n uppokuumentimia.

### 5.3 Veden jäähdytyksen suunnittelu

Veden lämmitysjakson päätyttyä vesimassan tulee jäähtyä 40 °C lämpötilaan kahdeksan tunnin aikana [8, s. 8]. Altaan lämpöeristyksestä johtuen laitteisto vaatii aktiivisen jäähdytyksen, jolla taataan, että testialtaan vesi ehtii saavuttamaan halutun lämpötilan jäähdytysjakson aikana.

Aktiivinen jäähdytyspiiri suunniteltiin koostumaan ilma-vesi lauhduttimesta, kiertovesipumpusta ja magneettiventtiilistä, kuva 12. Edellä mainittua laitteistoa ohjataan säätömuuntajasta saatavalla ajastetulla 230 V -lähdöllä, jolloin samanaikaisesti lauhduttimen tuuletin alkaa jäähdyttämään vettä, magneettiventtiili vetää ja kiertovesipumppu alkaa kierrättää lämmintä vettä jäähdytyspiirin läpi.



Kuva 12. Havainnekuva jäähdytysjärjestelmästä.

## 5.4 Jännitelähde

Koelaitteiston jännitelähteenä käytettiin laboratorion käytössä ollutta Haefely Hipotronics 60 kV:n AC-testilaitetta. Testilaitteen jänniteulostulo on portaattomasti säädettävissä ja automaattiohjauksella ajettaessa ajastimeen asetetaan testin kesto, jolloin jännite sammuu, kun testi tulee valmiiksi. 60 kV:n jännitelähteellä testipiirin suurin sallittu vuotovirta on 500 mA ja hetkellinen vuotovirta 667 mA.



Kuva 13. Haefely Hipotronics 60 kV:n testilaitteisto.

## 5.5 Lämmitysmuuntaja

Kaapeleiden lämmitykseen käytettävä laitteisto koostuu 15 kVA toroidimuuntajasta ja sitä ohjaavasta säätömuuntajasta, jotka on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Lämmitysmuuntaja ja säätömuuntaja.

Testipiirissä oleva apukaapeli asetetaan kulkemaan rengasmuuntajan läpi, jolloin piiriin indusoituu virta, joka lämmittää kaapelia. Normaalisissa testikäytössä riittää, kun testialtaan ulkopuolella kytketty apukaapeli kierretään muuntajan läpi vain yhden kierroksen, jolloin muuntajasta saadaan ulos 5 V:n jännite ja maksimissaan 3000 A:n virta. Testattavan piirin impedanssin kasvaessa jännitettä voidaan kasvattaa kiertämällä apukaapelilla lisää kierroksia toroidimuuntajan toisiopuolelle virran kustannuksella. Jos lämmitystehoa puolestaan vaaditaan enemmän, voidaan muuntajia asettaa piiriin useampia.

Säätömuuntajalla ohjataan lämmitysmuuntajan ensiöpuolta sekä lämmitysjaksojen pituuksia. Robustness -koetta varten säätömuuntajaan tehtiin valmistajan

toimesta muutoksia siten, että myös testialtaan veden lämmitys- ja jäähdytysjaksojen pituuksien ohjaus voidaan toteuttaa säätömuuntajalla.

Kokeessa käytettävä lämmitysvirta määräytyy käytettävän kaapelin mukaan. Kaapelin johdin tulee lämmitä kyseisen kaapelin valmistajan antamaan maksimi käyttölämpötilaan +5–10 K. Useimmissa muovieristeisissä kaapeleissa maksimi käyttölämpötila on 90 °C. Testin aikana kaapelin lämpötilaa ei voida mitata suoraan johtimesta, koska testissä piiriin on kytketty jännite. Tämän vuoksi testissä käytettävälle kaapelityypille täytyy tehdä kalibrointi lämmittämällä johdin maksimi käyttölämpötilaan +5–10 K. Kun vaadittu lämpötila on saavutettu, kirjataan lämmitysvirta ylös, joka on niin sanottu kalibroitu virta, mitä testissä tullaan käyttämään. Tämän lisäksi kalibroinnissa tarkastellaan kaapelin ulkovaipan lämpötilaa, jolloin varsinaisessa testissä voidaan tarkkailla virtaa ja kaapelin lämpötilaa.

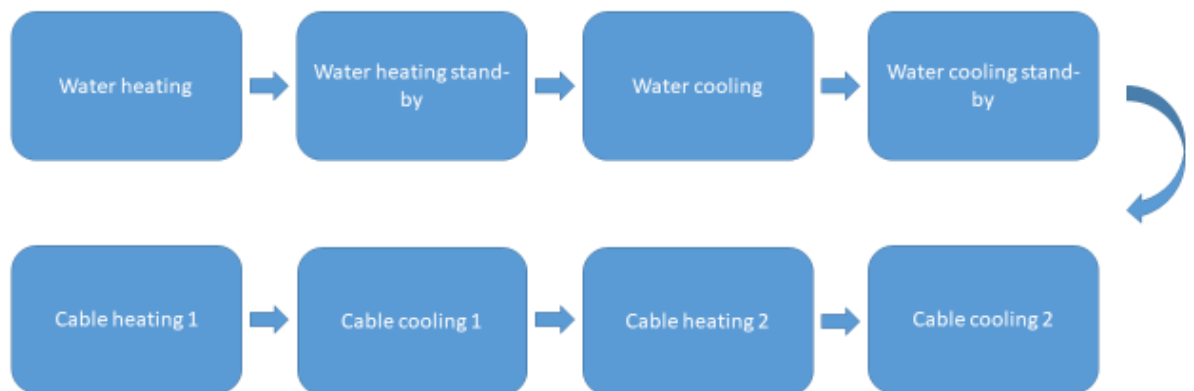


## 5.6 Laitteiston ohjaus

Laitteiston ohjaus toteutettiin pääasiassa muokattua lämmitysmuuntajan säätömuuntajaa käyttäen. Robustness-koetta varten tilattuun säätömuuntajaan tehtiin valmistajalla merkittäviä muutoksia, jotta muuntajalla pystyttiin kaapeleiden lämmityksen ohjauksen lisäksi ohjaamaan veden lämmitys- ja jäähdytysjaksojen pituuksia. Veden lämmitys- ja jäähdytysjaksot haluttiin ohjata kaapeleiden lämmityksen kanssa samalla järjestelmällä, jotta lämmitys- ja jäähdytysjaksojen ajastimet pysyvät tahdissa eikä samanaikainen lämmitys ja jäähdytys ole mahdollista.

Muuntajassa ohjaus on toteutettu ajastimiin ja laskuriin perustuvalla relelogiikalla. Vakiomuuntajassa oli ainoastaan yksi ajastin kaapelin lämmitykselle ja yksi kaapelin jäähdytysjaksolle, nyt muokattuun muuntajaan tuli yhteensä kahdeksan ajastinta. Ajastimet ja niiden toimintajärjestys on kuvattu kuvassa 15.

Ajastimet:



Kuva 15. Ajastinlogiikka.

Logiikka alkaa veden lämmitysjaksoilla, mikä päättyyään käynnistää veden jäähdytysjakson, mikä päättyyään käynnistää kaapeleiden lämmitysjaksoja ja niin edelleen. Kaapelin toisen jäähdytysjakson päättyttyä laskuri laskee kokonaisen jakson ajetuksi ja aloittaa seuraavan jakson ajamisen. Relelogiikkaan suunniteltiin myös päällekkäisten ajojen esto, missä alkava lämmitys- tai jäähdytysjakso estää edellisten jaksojen samanaikaisen ajon.

## 5.7 Mittaus

Testin aikana mitattavia arvoja ovat veden lämpötila, kaapelin ulkovaipan lämpötila, ympäristön lämpötila, lämmitysvirta sekä jännite.

Lämpötilojen mittaukseen käytetään K-typin termopareja ja lämpötilojen tallentamiseen laboratoriossa jo ennestään käytössä olevaa mittauslaitteistoa, joka koostuu Picologger-yksiköstä ja rasperry-pi-tietokoneesta, joista VNC-viewerin kautta saadaan lämpötiloista tallennettua mitatut arvot ja kuvaajat koko testin ajalta.

Lämmitysvirta mitataan testin aikana Rogowski-mittarilla, jonka antamaa virta-arvoa verrataan kalibroituun virtamittariin. Virta-arvoa ei tallenneta aktiivisesti testin aikana, vaan lämmitysvirrasta kirjataan yksittäinen arvo testituloksiin.

Erillistä jännitemittausta piirissä ei ole, vaan jännite asetetaan kalibroidun jännitelähteen jännitemittauksen mukaan. Jännitelähde ylläpitää jännitteen asetuksessa arvossa automaattisesti koko testin ajan.

## 6 Järjestelmän koeajo

### 6.1 Koeajon valmistelu

Järjestelmän koeajossa oli tarkoitus testata testilaitteiston komponenttien yhteensopivuus, logiikan toiminta sekä altaan kannen ja kaapeliläpivientien tiiveys yhden lämmityksen aikana. Koetta varten piiriin ei kytketty standardin mukaisessa testissä vaadittua  $2 U_0$ :n suuruista jännitettä, koska kokeen aikana ei ollut jännitelähteellä varustettua testipaikkaa vapaana, eikä jännitteen kytkemien piiriin olisi vaikuttanut merkittävästi testissä tarkasteltuihin osa-alueisiin. Veden jäähdytysjakson ajaksi altaan lämpöeristyksen poistettiin ja altaan ympärille asetettiin tuulettimia jäähtymisen kiihdyttämiseksi. Muilta osin testissä ajettiin yksi standardin mukainen jakso.

Lämmitysten koeajoa varten altaaseen asennettiin kolme yksivaiheista kaapelia (AHXCMK-WTC 1x150/25), joihin oli asennettu HJ11-kuumakutistejatkokset. Kuvassa 16 on esitetty kaapeleiden asennus altaaseen. Jatkokset ja päätteet mahtuivat helposti läpivienneistä ilman, että laippoja täytyi irrottaa. Läpivienti-putkiin asennettavien tiivisteholkkien sisäreiän koko säädettiin kaapeleille sopivaksi ja tiivisteet asennettiin kaapeleiden ympärille.



Kuva 16. Testattavien kaapeleiden asennus altaaseen.

Kaapeliläpivientien ja laippojen tiiveyttä koestettiin ilman lämmitystä vajaalla vesimäärällä kaapeleiden asennuksen jälkeen eikä vuotoja havaittu. Kuvassa 17 koestetaan läpivientien tiiveyttä.



Kuva 17. Läpivientien tiiveyden koestaminen ennen lämmitystä.

Alustavan tiiveyskokeen jälkeen kansi asennettiin paikalleen, allas täytettiin loppuun asti vedellä ja allas eristettiin polyuretaanilevyillä. Testilaitteisto kasattiin altaan ympärille kuvan 18 mukaisesti.



Kuva 18. Testilaitteisto kasattuna testiä varten.

Läpivientien ja kannen tiiveyttä seurattiin vielä vuorokauden ajan täydellä veden paineella, jonka jälkeen lämmitysjakso aloitettiin.

## 6.2 Lämmitysjakson ajo

Koejakso alkoi 24 tuntia kestäväällä vedenlämmitysvaiheella, jossa altaan vesimassan lämpötila nostettiin 31 °C:sta 80 °C:seen. Lämpötilan nosto kesti noin 7 tuntia, jonka jälkeen veden lämpötila ylläpidettiin 80 °C:ssa 17 tunnin ajan. Jakson aikana veden lämpötilaa mitattiin paineputkesta altaaseen lasketulla K-tyypin termoparilla.

Veden jäähtymisjakson ajaksi altaan lämpöeristeet irrotettiin ja altaan ympärille laitettiin puhaltimia kierrättämään ilmaa, jotta jäähtyminen nopeutui. Puhaltimet

saivat ohjauksen säätömuuntajan ohjatusta pistorasiasta, joka on tarkoitettu veden jäähdytyspiirin ohjaukseen, joten jäähdytyksen logiikan toiminta saatiin samalla todettua toimivaksi. Jäähdytysjaksolla veden tuli jäähtyä 40 °C:seen kahdeksan tunnin aikana, joka kokeessa toteutui.

Kaapeleille ajettiin kaksi identtistä lämmitysjaksoa, joiden aikana kaapeleiden pintalämpötila vaihteli 22–60 °C:een välillä. Kaapeleiden lämmitys toteutettiin toroidimuuntajalla, kuten oli etukäteen suunniteltu. Säätömuuntajaan asetettiin jaksojen pituudet ja säädettiin lämmitysvirta testattaville kaapeleille sopivaksi. Altaaseen asennettujen kaapeleiden lisäksi piiriin kytkettiin apukaapeli, joka asennettiin kulkemaan toroidimuuntajan läpi. Samalla apukaapelilla yhdistettiin altaan eri päistä tulevat kaapelit.

Koestettavalle kaapelityypille oli suoritettu lämpötilakalibrointi jo aikaisemmin, mikä määrittäi käytetyn lämmitysvirran. Kaapelin tiedot ja kalibroinnin tulokset näkyvät taulukossa 1. Lämmitysvirta säädettiin ensimmäisen lämmityksen aikana 488 A:n suuruiseksi ja virtaa ja kaapeleiden lämpötiloja seurattiin ensimmäisen jakson ajan. Toinen lämmitys osui yöaikaan, joten sitä ei päästy aktiivisesti seuraamaan.

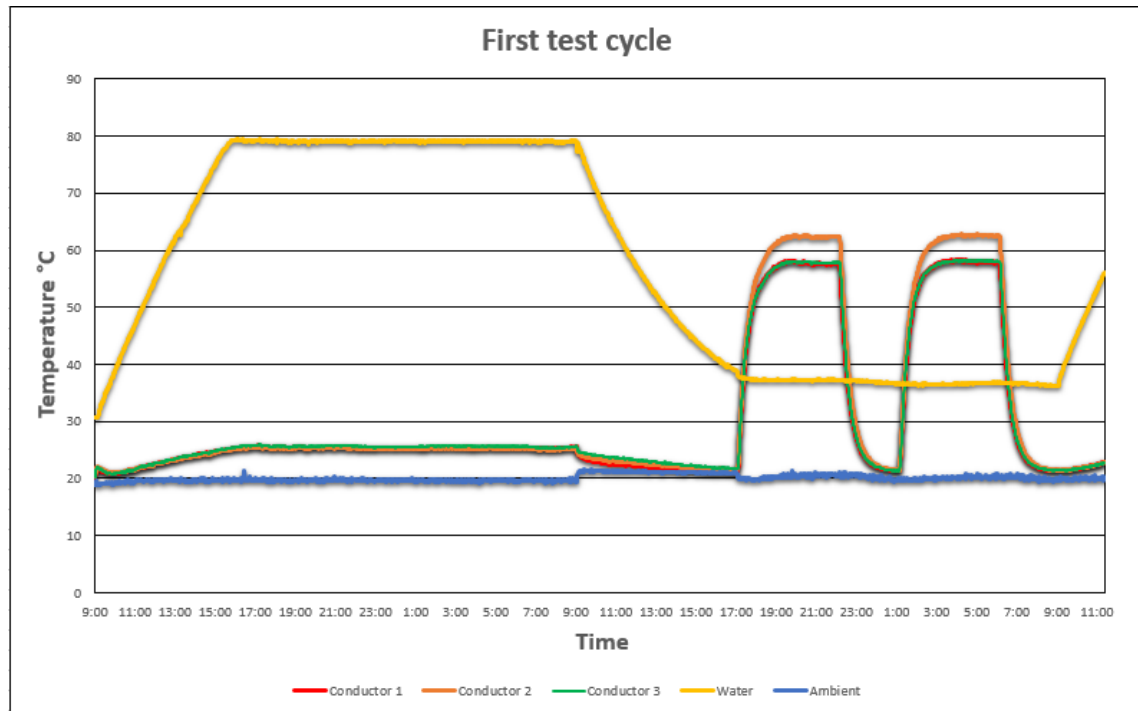
Taulukko 1. Kaapelikalibroinnin tulokset.

Cable	Cable ID	Number of cores	Conductor size [mm <sup>2</sup> ]	Conductor material	Rated Voltage [kV]	Heating current [A]	Conductor temperature [°C]	Over sheath temperature [°C]	Heating time [h]	Cooling time [h]
AHXCMK-WTC 1x150	559	1	x 150	Al	12/20(24)	488	100	66	5	3

Kaapeleiden lämmitysjakson pituus oli viisi tuntia, jonka jälkeen kaapelit jäähtyivät kolmen tunnin ajan passiivisesti. Jakson aikana kaapeleiden pintalämpötilat mitattiin kaapeleiden pintaan asennetuilla K-tyypin termopareilla ja virtaa tarkasteltiin Rogowski-virtamittarilla.

### 6.3 Testauksen tulokset

Kokeen aikana veden, kaapeleiden ja ympäristön lämpötila tallennettiin koko jakson ajalta minuutin välein ja näiden mittausten pohjalta piirrettiin kuvaaja, kuva 19. Kuvaaja vastasi tarkasti HD 629.3 -standardissa esitettyä kuvaajaa, kuva 7.



Kuva 19. Kuvaaja testin aikana tallennetuista lämpötiloista.

Testissä todettiin, että laitteisto täyttää standardissa esitetyt lämpötilojen ja lämmitysaikojen vaatimukset. Testin aikana kuitenkin huomattiin, että veden lämmityksen aikana vedenpinta nousi noin 40 cm, joten altaasta jouduttiin laskemaan hieman vettä pois. Veden jäähtyttyä vedenpinta jäi selvästi vaaditun rajan alapuolelle, joka tarkoitti samalla testialtaassa paineen vaihtelua eri testin osa-alueiden aikana.

Ennen altaan tyhjennystä testatuille kaapelijatkoksille suoritettiin eristysvastusmittaus jatkosten vesitiiveyden tarkistamiseksi. Mittaukset suoritettiin kaapelin maadoitusvaipan ja johtimen väliltä sekä maadoitusvaipan ja testialtaassa olevan veden väliltä. Mittausjännitteenä käytettiin 1000 VDC. Mittauksen tulokset

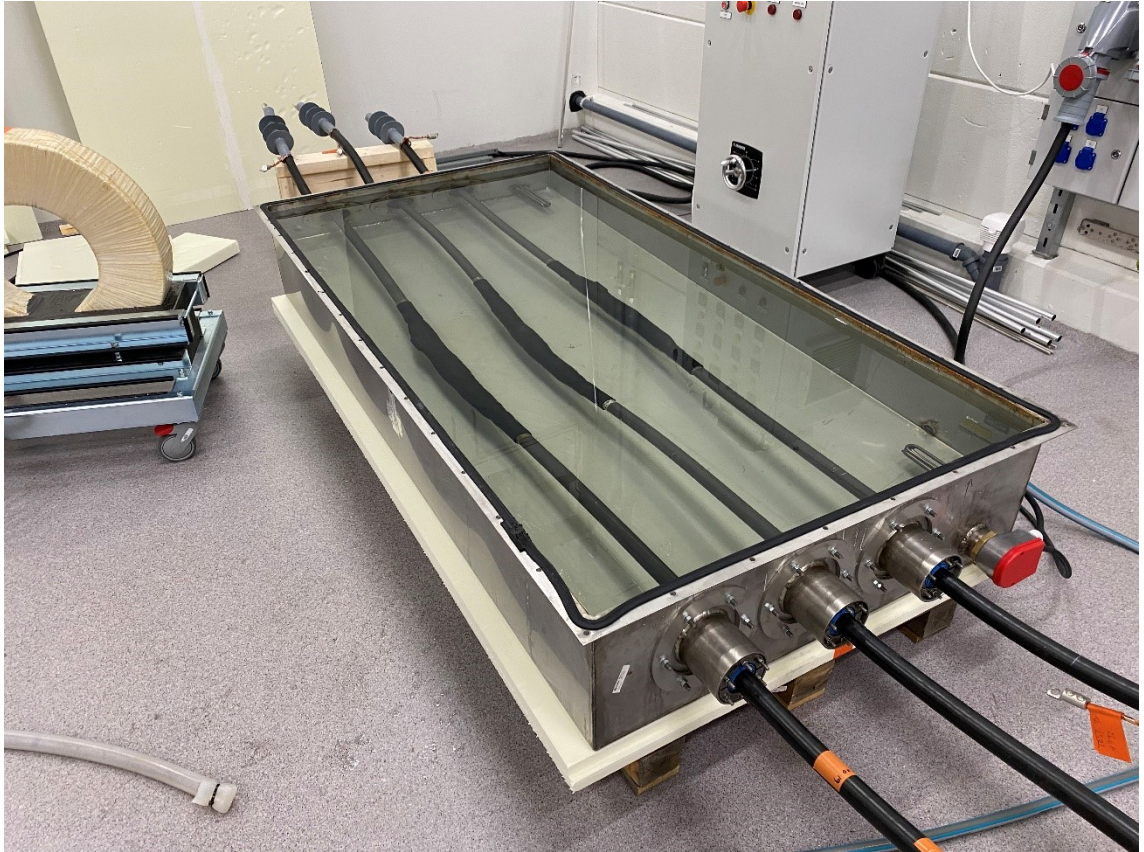


on esitetty taulukossa 2. Vaatimus eristysvastukselle on maadoitusvaipan ja johtimen välillä 1 G $\Omega$  ja maadoitusvaipan ja veden välillä 50 M $\Omega$ , joten jatkokset vaikuttivat olevan kunnossa.

Taulukko 2. Eristysvastusmittauksen tulokset

Insulation resistance after 1 cycle					
Line	Test date	DC voltage [V]	Time of voltage application [min]	Insulation resistance [G $\Omega$ ]	
				Between conductor and screen	Between screen and water
1	4.3.2022	1000	1	124,0	3,36
2	4.3.2022	1000	1	127,4	3,46
3	4.3.2022	1000	1	156,6	2,28

Eristysvastusmittauksen jälkeen altaan veden pinta laskettiin kannen alapuolelle, jotta allas saatiin avattua. Testin aikana altaassa ei ollut tapahtunut mitään normaalia poikkeavaa. Vesi oli pysynyt kirkkaana ja veden seassa ei ollut mitään sinne kuulumatonta. Kuvassa 20 on nähtävissä altaan sisältö testin jälkeen.



Kuva 20. Altaan sisältö kokeen jälkeen.

Kokonaisuudessaan koe oli onnistunut, kokeessa huomattiin, että testilaitteisto ja sen ohjaus toimivat halutulla tavalla. Testin eri osa-alueet toimivat ennalta asetettujen parametrien mukaan ja lämmitysjakson eri osa-alueet toimivat saumattomasti toinen toisensa jälkeen. Testin aikana altaasta ei päässyt vuotamaan vettä, eli läpiviennit, tiivisteet ja allas olivat tiiviit. Lämmitysten aikana veden haihtumisen oletettiin muodostuvan ongelmaksi, mutta kokeessa huomattiin, että haihtuminen oli vähäistä.

Kokeen aikana saatiin tietoa altaan jäähtymisestä, mistä on apua veden jäähtymisjärjestelmän mitoituksessa. Myös testin aikana havaittu vedenpinnan vaihtelu oli tärkeä tieto ja tähän ongelmaan on puututtava ennen, kun laitteistoa aletaan käyttää varsinaisessa testauksessa. Kannen avauksen yhteydessä huomattiin,

että kannentiiviste ei palautunut alkuperäiseen muotoonsa, vaan jäi kasaan painuneeksi, joka voi olla ongelma, kun laitteistolla ajetaan useita peräkkäisiä jaksoja.

## 7 Yhteenveto

Robustness-testilaitteiston kehitysprosessi alkoi keväällä 2021, aluksi tutustuttiin testiä koskevaan standardiin ja muihin aihetta käsitteleviin materiaaleihin. Näistä saatiin hyvä perusta sille mitä eri osa-alueita testiin kuului ja millaisia ratkaisuja muut laboratoriot ovat testilaitteiston osalta tehneet.

Testissä huomattiin olevan monta erillistä osa-aluetta. Selkeiksi omiksi kokonaisuuksiksi muodostuivat: vesiallas, jännitemuuntaja, lämmitysmuuntaja, veden lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät, sekä mittaus- ja ohjauslaitteet. Edellä mainituista voitiin heti yliviivata jännitemuuntaja ja lämpötilan ja virran mittauslaitteet, sillä kyseiset, vaatimukset täyttävät laitteet laboratoriolta oli jo ennestään.

Varsinainen suunnittelutyö aloitettiin vesialtaan suunnittelulla, jossa ensin karotettiin testattavien jatkojen koko, eli toisin sanoen kaapeleiden poikkipinta-alat, jotka haluttiin testata. Testattavien jatkosten ja niitä varten vaadittavien kaapeleiden mukaan voitiin mitoittaa altaan koko ja läpivientilaippojen rakenne.

Vesialtaan alustavan suunnitelman pohjalta altaasta piirrettiin CAD-kuvat, joiden pohjalta altaan teettämisestä tehtiin tarjouspyyntö. Tarjouksen hyväksynnän jälkeen allas tilattiin kesäkuussa.

Altaan suunnittelun jälkeen alkoi testilaitteiston ohjauksen suunnittelu, missä isoimmaksi huolenaiheeksi nousi testin eri osa-alueiden tahdissa pysyminen. Tämän johdosta kaikkien osa-alueiden ajastukset päätettiin toteuttaa samalla ohjauslaitteella. Ohjaus päätettiin toteuttaa muokatulla lämmitysmuuntajan säätömuuntajalla, sillä kyseisessä säätöyksikössä oli jo ohjaus kaapeleiden lämmitykselle. Muuntaja suunniteltiin vastaamaan lämmitys- ja jäähdytysjaksojen pituuksista, uuden jakson aloituksesta, jaksojen lopetuksesta ja jaksojen päällekkäin ajojen estosta. Jakson osien järjestys ja kestot määritettiin standardin mukaan ja niiden mukaan teetettiin tarvittavat muutokset säätömuuntajaan kuitenkin siten, että muokattua säätömuuntajaa voidaan käyttää myös niin sanotun

vakiomuuntajan tilalla perinteisissä lämmitysjaksokeissa. Tarvittavat muutokset ja toiveet kuvattiin tarkasti muuntajan toimittajalle, mikä pohjalta toimittaja teki muokatut piirustukset ja toimitti muuntajan.

Vedenlämmitystä varten altaaseen suunniteltiin uppokuumentimet, jotka mitoitettiin altaan tilavuuden mukaan, huomioiden kahdeksan tunnin lämpötilannousun vaatimuksen. Veden lämpötilan nousua ja ylläpitoa ohjaamaan valittiin PID-säädin, jolla saadaan säädettyä lämpötilan nousuramppi ja ylläpidon hystereesi testiin sopiviksi. PID-säätimessä tuli myös olla ominaisuus, jossa säädin aloittaa lämmityksen automaattisesti, kun säätömuuntaja aloittaa vedenlämmitysjakson ja kytkee sähkön PID-säätimelle.

Covid-19 -pandemiasta johtuen altaan ja säätömuuntajan toimituksessa oli muutamien kuukausien myöhästymisiä, joka hieman venytti projektia.

Allas saatiin viimein marraskuussa 2021 ja allas päästiin kasaamaan ja suorittamaan ensimmäisiä tiiveyskokeita. Ensimmäisen täytön yhteydessä huomattiin, että altaan kansi pullistuu voimakkaasti veden aiheuttamasta paineesta. Pullistuminen aiheutti vaikeuksia saada altaan ja kannen välinen liitos tiiviiksi. Ongelma saatiin ratkaistua asentamalla altaan kanteen teräsvahvistukset ja asentamalla jokaiselle sivulle kannen ja altaan väliin pulttirivin ulkopuolelle 3 mm paksu alumiinilista, joka tasaa kiinnityspulttien painetta ja muodostaa samalla pulttirivin sisäpuolella olevalle tiivisteelle tasaisemman tiivistyspinnan.

Tämän insinööriyön tuloksena Ensto-laboratoriolle saatiin osittain valmis testilaitteisto robustness- testiä varten. Laitteiston suurimmat kokonaisuudet saatiin valmiiksi ja pienemmätkin ovat jo työn alla. Laitteistoa suunnitellessa, rakentaessa ja testatessa laboratoriolle saatiin paljon ymmärrystä ja tietotaitoa robustness -testaukseen liittyen, ja uskallankin väittää, että kirjoitushetkellä maailmasta ei löydy montaa aiheeseen perehtynyttä laboratoriota, saati sellaisia joilla olisi testiä varten tarvittava laitteisto.

Lähitulevaisuudessa laitteistoon tullaan rakentamaan jäähdytysjärjestelmä vedelle sekä ratkaisu, jolla veden pinnankorkeus saadaan pidettyä standardin sallimissa rajoissa koko testin ajan. Laitteiston käytöstä kirjoitetaan kattavat työohjeet, joiden avulla koko laboratoriohenkilöstö pystyy käyttämään laitteistoa itsenäisesti.

Testille tullaan hakemaan akkreditointia, joka takaa, että osaaminen, laitteisto ja testimenetelmät vastaavat standardin mukaisia vaatimuksia.

Ensimmäinen varsinaisesta robustness-koe on myös jo näköpiirissä. Kokeessa tullaan testaamaan sekajatkvoja. Sekajatkoksia testatessa on kuitenkin tyypillistä, että yhteen kaapeliin asennetaan kaksi jatkosta siten, että paperieristeinen kaapeli on jatkosten välissä ja kaapelin päät tuodaan altaasta ulos muovieristeisillä kaapeleilla, joihin on huomattavasti helpompi asentaa päätteet. Koe tullaan tekemään nykyisellä altaalla siten, että peräkkäisistä jatkoksista toinen ei ole testissä mukana ja jää altaan ulkopuolelle. Nykyisellä altaalla testipiiriin asennetaan yhteensä kuusi jatkosta, joka lisää paitsi työmäärää, niin myös kasvattaa mahdollisten vikaantuvien komponenttien määrää. Tämän vuoksi on todennäköistä, että laboratorio tulee teettämään tulevaisuudessa uuden pidemmän altaan, johon mahtuu kaksi peräkkäistä jatkoa.

## Lähteet

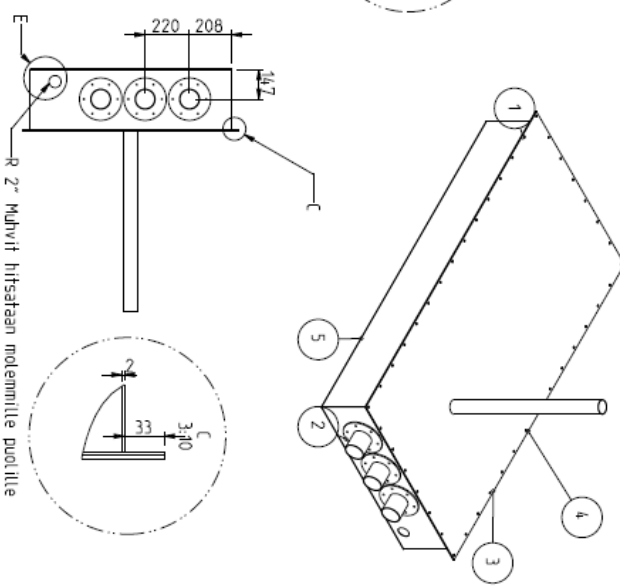
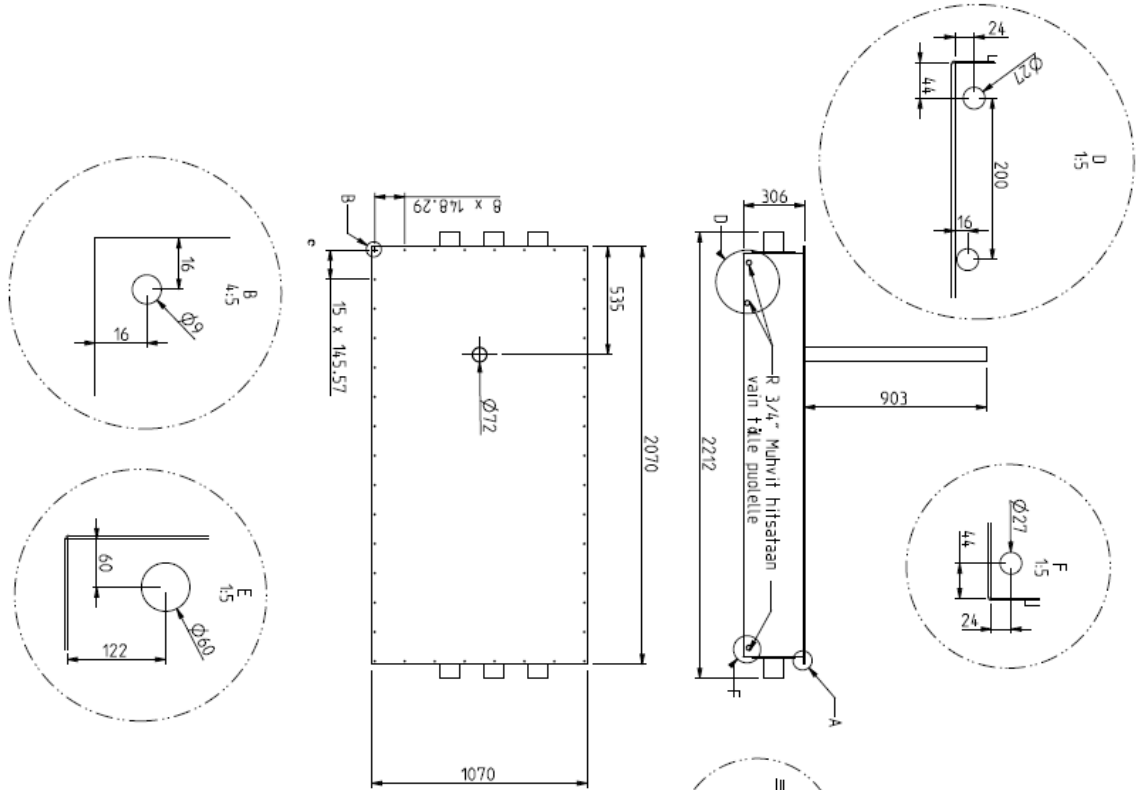
1. Ensto lyhyesti. 2022. Verkkoaineisto. Ensto. <<https://www.ensto.com/fi/sahkoverkonrakennus/tietoa-meista/>>. Luettu 14.3.2022.
2. Ensto Laboratory - testing service. 2020. Verkkoaineisto. Ensto. <<https://www.ensto.com/electricity-distribution-networks/solutions/laboratory/>>. Luettu 14.3.2022.
3. Medium voltage cable accessories. 2022. Verkkoaineisto. Ensto. <<https://www.ensto.com/electricity-distribution-networks/products/under-ground-cable-networks/medium-voltage-cable-accessories/>>. Luettu 12.1.2022.
4. Tyco Electronics. 2004. Power Cable Accessories Catalogue. [https://pro-elektro.eu/userfiles/files/MV\\_Cable\\_Accessories.pdf](https://pro-elektro.eu/userfiles/files/MV_Cable_Accessories.pdf).
5. Goulsbra, Derek. 2012. Medium voltage cable accessories. Nexans power accessories.
6. Heat Shrink Vs Cold Shrink: Knowing When Each One Is More Suitable. 2013. Verkkoaineisto. ETS Cable Components. <<https://www.etscable-components.com/blog/2013/05/heat-shrink-vs-cold-shrink-knowing-one-suitable/>>. Luettu 30.12.2021.
7. HD629.3 S2:2005 draft. Test requirements for accessories for use on power cables of rated voltage from 3,6/6(7,2) kV up to 20,8/36(42) kV Part 3: Transition joints between cables with impregnated paper insulation and cables with extruded insulation. 2021. CENELEC - European Committee for Electrotechnical.
8. HN 33-E-03. Robustness test for medium voltage joints and transitions joints. EDF – 2008. Electricite de France / centre de normalisation.

9. Jarry, Bertrand & Tourcher, Christophe & Tambrun, Roger. 2010. "Best-Offer" purchasing of medium voltage joints based on robustness test. CIREN Workshop – Lyon 7-8 June 2010, Paper0091.



# Robustness -altaan CAD -kuvat

Tolerance	>0,5 =3	> =6	>6 =30	>30 =120	>120 =400	>400 =1000	Maail
ISO 2768-m	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	Drawing VESISÄILIÖ <sub>...</sub>



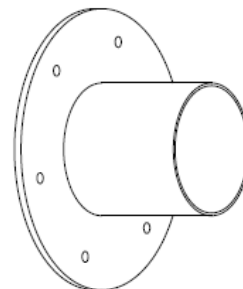
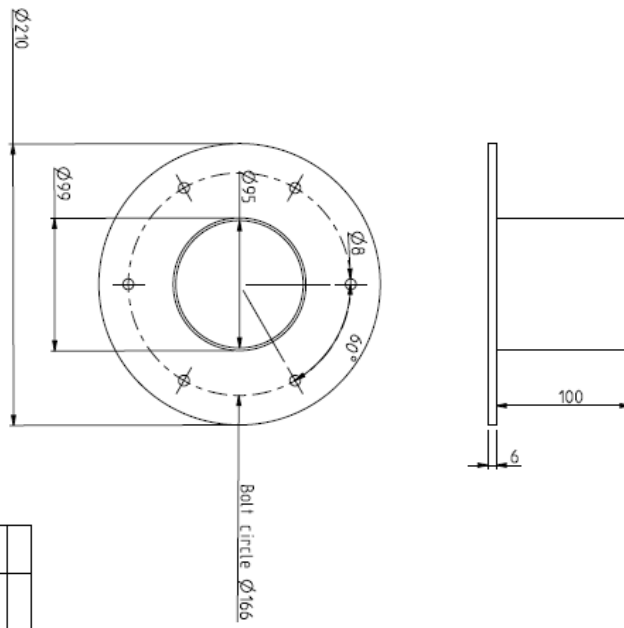
ID	Description	Date	By	Appr.
A		31.05.2021		

5	4	3	2	1
-	-	-	-	-
Säiliö	Kansi	Säiliön laippa	Laippa	Pölkki
1	1	1	6	6
59122	36720	5401	1764	893
1	1	1	6	6
17532				

Scale	1:20	Date	27.11.14
Drawn		By	
Checked		Appr.	
Draw No.	A3	Draw No.	A
Sheet No.	1 (3)	Sheet No.	1

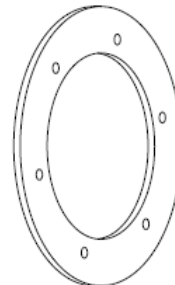
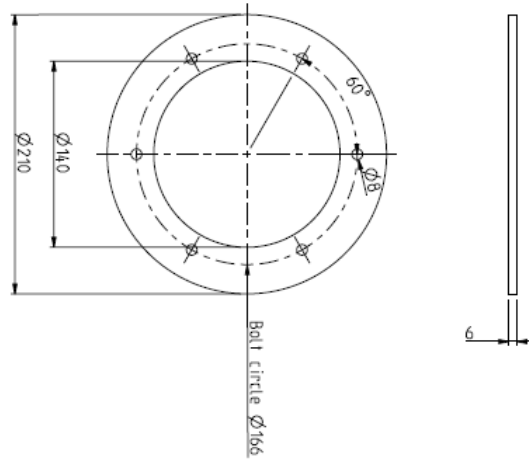
Tolerance ISO 2768-m	>0,5 =3	> 6 =30	>6 =30	>30 =120	>120 =400	>400 =1000	Musi Drawing TIIIVISTE.ppt
	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	



ID	Description	Date	By	Appr.
A				

Part		Code		Description		Volume		Pcs		Määrä	
Serial		Tool No.		Erikois Määr.				1764			
Material				Laitaja							
Scale		Date									
1:3		01.06.21									
A3		By									
C74		Checked									
Sheet no. 1 (1)		C74									

Tolerance ISO 2768-m	>0,5 =3	> =6	>6 =30	>30 =120	>120 =400	>400 =1000	Note Drawing PRIKKA_...
	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	



ID	Description	Date	By	App.
A				

Part	Code	Description		Volume	Fig. No.	Revision
Supplier		Title No.				
Material:		Casting No.:		Material:		
Scale	Date	Priikka		Material		
1:3	01.06.21			Material		
A3	By			Material		
	Checked			Material		
Sheet no. 1 (1)	Ctrl			Material		