



Anni Julin

Kaapelien polttotestien soveltuvuus jatkoksien ja päätteiden testaami- seen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pinnoitetekniikka

Insinöörityö

2.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Anni Julin
Otsikko:	Kaapelien polttotestien soveltuvuus jatkoksien ja päätteiden testaamiseen
Sivumäärä:	40 sivua + 1 liite
Aika:	2.5.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine:	Materiaali- ja pinnoitetekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Timo Laitinen Laboratoriopäällikko Janne Lappalainen

Maakaapelien jatkosten ja päätteiden palo-ominaisuuksista on vain vähän tietoa, eikä niille ole standardoituja polttotestejä tai asetettu vaatimuksia. Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia, mitä kaapelien polttotestejä voidaan soveltaa myös jatkojen ja päätteiden testaamiseen. Insinööriyö tehtiin Ensto Finland Oy:lle.

Tarkasteltaviksi menetelmiksi kirjallisuuskatsaukseen valikoitui savukaasun halogeenipitoisuuden, pH:n ja johtokyvyn määrittäminen, yksittäispoltto, IEC-nippupoltto sekä savun tiheys. Insinööriyössä selvitettiin myös laitteistojen hinnat ja ulkoiset testaajat. Työn ulkopuolelle rajattiin palossa toimivuus sekä EN 50399 -nippupoltto.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella päädyttiin testaamaan halogeenien, pH:n ja johtokyvyn määrittämistä sekä yksittäispoltton ja savun tiheyden soveltuvuutta jatkoksille ja päätteille. Testattaviksi tuotteiksi valittiin keskijännitekaapeleihin käytetyt yksijohdin-jatkokset ja päätteet. Menetelmiä testattiin yhdelle kylmä-, lämpö- ja hybridijatkokselle sekä kylmä- ja lämpökutistepäätteelle. Testit suoritettiin Reka Kaapeli Oy:n CTC-polttolaboratoriossa.

pH ja johtokyky pystyttiin mittaamaan suoraan standardin mukaisella menetelmällä eri materiaaleista. Halogeenien määrittäminen jäi covid-19-pandemian aiheuttaman aikataulun viivästymisen takia insinööriyön ulkopuolelle. Yksittäispolttoa pystyttiin soveltamaan asentamalla jatkokset ja päätteet kaapelin päälle. Kaikki testatut tuotteet suoriutuivat yksittäispoltosta hyväksytysti. Savun tiheyden määrittäminen pystyttiin soveltamaan jatkoksille asentamalla ne alumiiniputken päälle. Ainoastaan hybridijatkos suoriutui savuntiheydestä hyväksytysti.

Tämän työn tuloksena saatiin tietoa, mitä kaapelien polttotestejä kannattaa jo hyödyntää myös jatkosten ja päätteiden testaamisessa ja mitkä testit vaativat lisää kehittämistä. Lisäksi saatiin tietoa tuotteiden palo-ominaisuuksista.

Avainsanat: jatkos, pääte, polttotestaus

Abstract

Author: Anni Julin
Title: Suitability of Cable Burning Tests for Testing Joints and Terminations
Number of Pages: 40 pages + 1 appendice
Date: 2 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major: Materials Technology and Surface engineering
Supervisors: Timo Laitinen, Principal Lecturer
Janne Lappalainen, Laboratory Manager

There are no standardized combustion tests or requirements for the fire properties of underground cable joints and terminations. The aim of this thesis was to study which cable burning tests can also be applied to test joints and terminations. This bachelor's thesis was made for Ensto Finland Oy.

Determination of halogen acid content, acidity and conductivity, a test for vertical flame propagation of a single cable, a smoke density and test for vertical flame spread of vertically mounted bundled cables were selected as methods to be considered. Circuit integrity and the EN 50399 burning of bunched cable were excluded from the thesis.

After the literature review, it was decided to test the suitability of halogen content, pH, conductivity, vertical flame propagation and smoke density for joints and terminations. The single-conductor joints and terminations used for medium-voltage cables were selected as the products to be tested. The methods were tested for one cold shrink, heat shrink and hybrid joints and a cold shrink and heat shrink terminations. The tests were performed in Reka Kaapeli Oy's CTC fire testing laboratory.

PH and conductivity could be measured by a standard method from non-metallic materials. The determination of halogen content was excluded from the thesis due to the schedule delay caused by the corona virus. Vertical flame propagation for a single insulated cable could be applied by installing joints and terminations on the reference cable. All the tested products passed the test. Determination of the smoke density could be applied to the joints by installing them on an aluminum pipe. Only the hybrid joint passed the test.

As a result of this thesis, it can be concluded, which cable burning tests could already use in the testing of joints and terminations, and which tests require further development. In addition, information was obtained on the fire properties of the products.

Keywords: joint, terminations, fire testing

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ensto yrityksenä	1
3	Testimenetelmät	2
3.1	Savukaasun halogeenipitoisuus	3
3.1.1	Halogeenihapon määrittäminen yli 5 mg/g:n pitoisuuksille	3
3.1.2	Halogeenipitoisuuden määrittäminen alle 5 mg/g:n pitoisuuksille	5
3.1.3	Sovellettavuus jatkokoksille	6
3.2	Savukaasun pH ja johtavuus	7
3.2.1	pH:n ja johtavuuden määrittäminen	7
3.2.2	Sovellettavuus jatkokoksille	7
3.3	Yksittäisen kaapelin polttaminen	7
3.3.1	Yksittäispoltton testimenetelmä	8
3.3.2	Sovellettavuus jatkokoksille	11
3.4	Savun tiheys	12
3.4.1	Savun tiheyden määrittäminen	13
3.4.2	Sovellettavuus jatkokoksille	15
3.5	Kaapelien polttaminen nipussa	15
3.5.1	Nippupoltton testimenetelmä	15
3.5.2	Sovellettavuus jatkokoksille	18
4	Laitteistojen kustannukset ja ulkoiset testaajat	18
5	Testatut tuotteet	19
5.1	Kylmäkutistejatkos	19
5.2	Lämpökutistejatkos	22
5.3	Hybridijatkos	24
5.4	Kylmäkutisteulkopääte	25
5.5	Lämpökutisteulkopääte	27
6	Työn suoritus	28
6.1	Halogeenipitoisuus	28

6.2	Savukaasun pH ja johtavuus	29
6.3	Yksittäispoltto	30
6.4	Savun tiheys	32
7	Tulokset	33
7.1	Savukaasun pH ja johtavuus	33
7.2	Yksittäispoltto	35
7.3	Savun tiheys	36
8	Yhteenveto	38
9	Pohdinta ja jatkokehitys	39
	Lähteet	41
	Liitteet	
	Liite 1: Savun tiheydet ajan funktiona	

Lyhenteet

CPR: EU:n rakennustuotteiden turvallisuutta sääntelevä rakennustuoteasetus EU/305/2011.

EN: Eurooppalaiset standardit.

IEC: Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.

LLDPE: Lineaarinen matalatiheksinen polyeteeni.

PEX: Ristisilloitettu polyeteeni.

PTFE: Polytetrafluorieteeni. Kauppanimeltä teflon.

PVC: Polyvinyylikloridi.

1 Johdanto

Kaapelit eivät itsessään aiheuta kovin suurta palokuormaa, mutta syttyessään palamaan tai jo syttyneessä palossa kaapelit voivat levittää paloa nopeasti [1, s. 44]. Maakaapelien varusteiden, kuten jatkoksien ja päätteiden palo-ominaisuuksista ei ole juuri tietoa, eikä niille ole kehitetty polttotestausstandardeja tai asetettu samoja vaatimuksia kuin kaapeleille. Usein kuitenkin asiakkaat haluavat tietää, täyttävätkö myös varusteet kaapeleille asetetut palovaatimukset. Erityisesti Venäjän ja Australian markkinoilla on ollut toiveena, että metrotunneleihin menevät kaapelien varusteet ovat halogeenittomia ja muodostavat palaessaan vain vähän savua. [2.]

Jatkoksia käytetään kahden kaapelin yhdistämiseen. Päätteitä käytetään suurja keskijännitekaapelien päissä tiivistämään kaapelin pää, ohjamaan sähkökenttää sekä mahdollistamaan kytkentä esimerkiksi ilmaeristeisiin järjestelmiin. [3.]

Tämä insinöörityö tehtiin Ensto Finland Oy:lle, ja sen tarkoituksena oli tutkia, mitä kaapelien polttotestejä voidaan soveltaa myös kaapelien varusteiden testaamiseen. Lisäksi tavoitteena on testata ja saada tietoa Enston tuotteiden palo-ominaisuuksista, jotta tulevaisuudessa tuotteita voidaan kehittää paloturvallisempaan suuntaan.

2 Ensto yrityksenä

Ensto on Ensio Miettisen vuonna 1958 Porvooseen perustama perheyritys, jonka tuotanto aloitettiin pienten metalliosien sorvauksesta. Nykyään Ensto toimii kansainvälisesti työllistäen 920 ammattilaista Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Aasiassa. Kuvassa 1 Enston Porvoon tehdas, jonka yhteydessä toimii nykyäänkin Enston pääkonttori. [4.]



Kuva 1. Enston Porvoon tehdas 1970-luvulla [4].

Ensto DSO (Distribution System Operators) tarjoaa tuotteita sekä ratkaisuja sähkön laatuun, verkostoautomaatioihin sekä ilmajohto- ja maakaapeliverkkoihin. [4.]

Enston missio on ”Better life. With electricity.” Missiossa korostuu sähkön vaikutus ihmisten elämään ja arkeen sekä parempaa elämää sähköllä ja kestävämpää huomista. [4.]

3 Testimenetelmät

Kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltaviksi menetelmiksi valittiin yleisimmistä kaapelien polttotesteistä halogeenien määräitys, savukaasun pH:n ja johtokyvyn määräitys, yksittäispoltto, IEC-nippupoltto sekä savun tiheys. Kaapeleille käytetty IEC 60331-21 Circuit Integrity rajattiin pois tarkastelusta, koska Enston valikoimassa ei ole palon aikana toimivia tuotteita. Lisäksi insinööriyöstä rajattiin pois rakennustuoteasetuksen (CPR) mukainen EN 50399 -nippupolttotesti.

3.1 Savukaasun halogeenipitoisuus

Materiaalit, jotka sisältävät halogeeniryhmän alkuaineita, kuten klooria, bromia, jodia tai fluoria, muodostavat palaessaan runsaasti tummaa savua sekä myrkyllisiä happamia kaasuja yhdistyessään kosteuden kanssa. Lisäksi voi muodostua dioksiinien ja muiden myrkyllisten kemikaalien seoksia, jotka vaurioittavat keuhkoja. [5.] Kaapelien savukaasujen halogeenihappopitoisuus testataan standardin IEC 60754-1 mukaan titraamalla. Alle 5 mg/g:n pitoisuudet määritetään ionikromatografilla standardin IEC 60754-3 mukaan. [6, s. 5.]

Halogeenejä sisältäviä materiaaleja ovat mm. polyvinyylidikloridi PVC ja polytetrafluorieteeni PTFE. Halogeenejä käytetään myös muovien lisäaineina.

3.1.1 Halogeenihapon määrittäminen yli 5 mg/g:n pitoisuuksille

Testi suoritetaan kuvan 2 mukaisella laitteistolla, jossa synteettinen ilma johdetaan paineensäätimen ja virtausmittarin kautta kvartsituubiin. Tuubin keskelle laitetaan keraaminen näytelaiva, johon on pilkottu 750 ± 250 mg näytettä [6, s. 9]. Tuubi liitetään kahteen 0,1 M natriumhydroksidia sisältävään pesupulloon. Näyte poltetaan uunissa kuumentamalla tasaisesti 40 minuutin ajan lämpötilaan 800 ± 10 °C, jonka jälkeen lämpötilaa pidetään yllä 20 minuutin ajan. [6, s. 7;11.]

<i>A</i>	Näytteeseen käytetty ammonintiosyanaatin määrä (ml)
<i>B</i>	tyhjään näytteeseen käytetty ammonintiosyanaatin määrä (ml)
<i>C</i>	halogeenihapon määrä mg/g
<i>m</i>	näytteen massa
<i>M</i>	ammoniumtiosyanaatin molaarisuus
36,5	vetykloridin moolimassa. [6, s. 12.]

Halogeenihappopitoisuus otetaan kahden näytteen keskiarvosta. Menetelmää ei voida käyttää alle 5 mg/g:n pitoisuuksille, eikä menetelmällä voi havaita fluori- vetyhappoa. [6, s.12.]

3.1.2 Halogeenipitoisuuden määrittäminen alle 5 mg/g:n pitoisuuksille

Poltto suoritetaan samalla laitteistolla kuin halogeenihapon määrittämisessä. Mikäli näytteestä halutaan määrittää fluori, näyteveeneen tulee olla kvartsilasia. Pesupulloissa käytetään ionivaihdettua vettä. [7, s. 9.] Materiaalista leikataan 1000 ± 5 mg:n pala näytettä, joka pilkotaan pieneksi ja laitetaan näyteveeneeseen. Uuni kuumennetaan 935–965 °C:seen. Näyte asetetaan keskelle tuubia ja polttoa pidetään yllä 30 minuutin ajan. [7, s. 11–12.]

Polton jälkeen pesupullot irrotetaan ja liuos siirretään 1000 ml:n mittapulloon. Pullot ja liitokset huuhdellaan ionivaihdetulla vedellä mittapulloon ja pullo täytetään viivaan saakka. [7, s. 12.]

Halogeenipitoisuus määritetään ionikromatografilla. Ionikromatografi kalibroidaan viidellä 0,1–1 mg/g kalibroitiliuoksella, jonka jälkeen näytteistä mitataan näytteen jodi-, kloori-, bromi- ja fluoripitoisuus. [7, s. 13.]

Jokaisen halogeenin pitoisuus lasketaan kaavalla

$$X_i = \frac{C_i * V}{m} \quad (2)$$

jossa on standardin IEC 60754-3 mukaiset merkinnät

X_i Halogeenipitoisuus (i= Cl, Br, I tai F)

C_i alkuaineen i pitoisuus näytteessä

V näytteen tilavuus

m näytteen massa. [7, s. 13.]

Halogeenipitoisuus otetaan kahden näytteen keskiarvosta. Jokaisen halogeenin pitoisuus tulee olla $\leq 1,0$ mg/g. [7, s. 13.]

Menetelmää ei voida käyttää yli 10 mg/g:n pitoisuuksille. Menetelmällä pystytään määrittämään vain osa halidi-ionien määrästä, koska osa halogeeneista saattaa muodostaa kovalenttisiä sidoksia tai kiinteitä halideja, joita ei pystytä havaitsemaan. Osasta mineraalitäytteisistä yhdisteistä pystytään havaitsemaan vain 10–20 % halogeenien määrästä. [7, s. 20.]

3.1.3 Sovellettavuus jatkokoksille

Halogeenien määrittäminen tehdään kaapelien ei-metallisille materiaaleille eikä kokonaiselle kaapelille, joten sitä voidaan käyttää sellaisenaan myös jatkokosten materiaalien testaamisessa. Jatkoksen kaikki komponentit testataan erikseen.

3.2 Savukaasun pH ja johtavuus

Savukaasujen happamuutta voidaan mitata pH:n ja johtokyvyn avulla. Savukaasujen happamuus ja johtavuus mitataan standardin IEC 60754-2 mukaan. Menetelmä havaitsee myös fluorivetyhapon, ja sillä voidaan arvioida epäsuorasti kaasujen korrodoivaa vaikutusta. [8, s.6.]

3.2.1 pH:n ja johtavuuden määrittäminen

Poltto suoritetaan samalla laitteistolla ja menetelmällä kuin halogeenipitoisuuden määrittämisessä alle 5 mg/g:n pitoisuuksille [7, s.6].

Polton jälkeen pesupullot irrotetaan ja liuos huuhdotaan 1000 ml:n mittapulloon ja täytetään ionivaihdetulla vedellä. Liuoksesta mitataan pH ja johtokyky. [7, s. 11–12.] Mikäli muita vaatimuksia ei ole annettu, hyväksyttävänä rajoina voidaan pitää, kun pH on yli 4,3 ja johtokyky alle 10 $\mu\text{s}/\text{mm}$ [8, s. 19].

3.2.2 Soveltuvuus jatkoksille

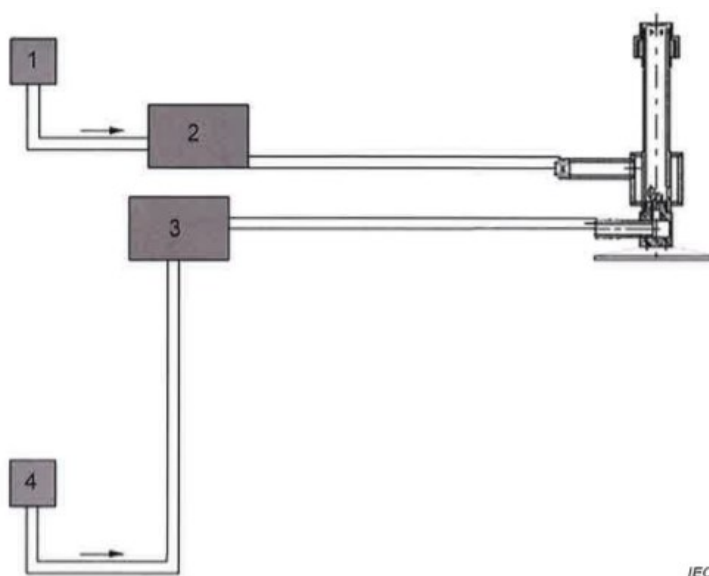
pH:n ja johtokyvyn määrittäminen tehdään kaapelien ei-metallisille materiaaleille eikä kokonaiselle kaapelille, joten sitä voidaan käyttää sellaisenaan myös jatkosten materiaalien testaamisessa. Halogeenipitoisuus alle 5 mg/g pitoisuuksille, pH ja johtokyky voidaan määrittää samasta liuoksesta.

3.3 Yksittäisen kaapelin polttaminen

Yksittäispoltossa testataan yhden kaapelin liekin pystysuuntaista leviämistä. Testi suoritetaan 1 kW:n liekillä standardin IEC 60332-1-2 mukaan. Palavia muovipisaroita voidaan arvioida standardin IEC 60332-1-3 mukaan.

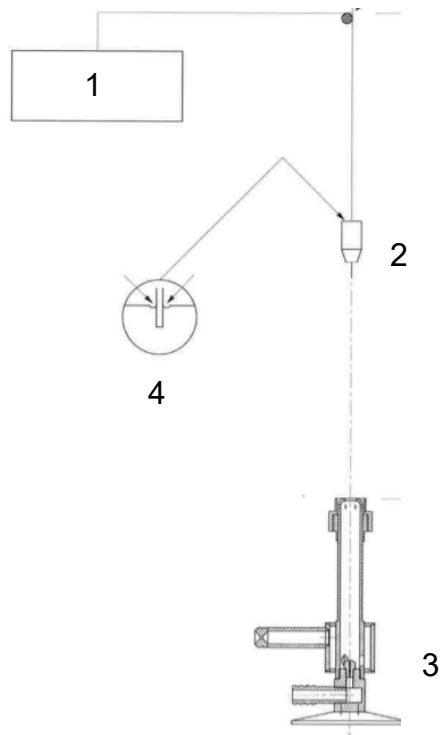
3.3.1 Yksittäispolton testimenetelmä

Laitteisto koostuu standardin IEC 60332-1-1 mukaisesta 300 mm x 1200 mm x 450 mm:n kokoisesta metallikaapista, jonka etummainen sivu on auki ja standardin IEC 60695-11-2 mukaisesti valmistetusta polttimesta [9, s. 6]. Poltin kiinnitetään kuvan 3 mukaisesti kaasun syöttöön ja paineilmaan. Kaasuna käytetään vähintään 95-prosenttisesti puhdasta propaania [10, s.17].



Kuva 3. Polttimen ja kaasunsyötön periaatekuva. 1. ilman syöttö 2. virtausmittari ja säädin ilmalle 3. virtausmittari ja säädin kaasulle 4. kaasun syöttö [10, s. 17].

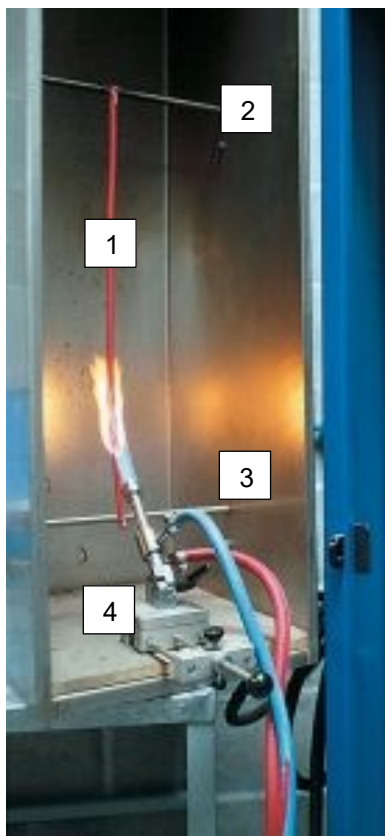
Polttimen liekin teho varmistetaan kuparista valmistetun blokin avulla. Termopari painetaan kiinni kupariblokin reikään. Blokki asetetaan kuvan 4 mukaisesti liekin yläpuolelle. Kaasu ja ilma avataan sekä poltin sytytetään. Liekin sinisen osan tulee olla 46–78 mm sekä liekin kokonaispituuden 148–208 mm. Liekin annetaan tasaantua 5 minuutin ajan. [10, s.10.]



Kuva 4. Liekin varmistamisen osat 1. termopari 2. kupariblokki 3. poltin. Testi-asettelussa liekin tehon varmistetaan painamalla termopari kiinni kupariblokin reikään (4.) ja asettamalla liekin yläpuolelle roikkumaan [10, s 19].

Liekki asetetaan blokin alle, ja kun blokin lämpötila on 100 °C , käynnistetään kello. Liekin tulee nousta $100 \pm 5\text{ °C}$:sta $700 \pm 3\text{ °C}$:een ajassa $46 \pm 6\text{ s}$. Määrittäminen tehdään kolme kertaa, joiden välillä blokin annetaan jäähtyä luonnollisesti alle 50 °C :een. Kolmen testin läpäistyä, liekki on tarkistettu. [10, s. 10.]

Testissä 600 mm pitkä kaapelinäyte kiinnitetään metallikaapin ylä- ja alatukeen kuparilangalla. Poltin asetetaan 45° :n kulmassa kaapelin keskelle $475 \pm 5\text{ mm}$ ylemmän tuen alareunasta kuvan 5 mukaisesti. [11, s. 6–7.]



Kuva 5. Yksittäispolton testiasettelu kaapelille. 1. Kaapeli kiinnitetään metallikaappiin 2. ylä- ja 3. alatukeen kuparilangalla ja 4. poltin asetetaan 45°:n kulmassa kaapelin keskelle [12].

Testiliekkin pitoaika määräytyy kaapelin paksuuden mukaan taulukon 1 mukaan [11, s. 7].

Taulukko 1. Yksittäispolton testiliekkin pitoaika kaapelin halkaisijan mukaan [11, s. 7].

halkaisija (mm)	kesto (s)
$D \leq 25$	60 ± 2
$25 < D \leq 50$	120 ± 2
$50 < D \leq 75$	240 ± 2
$D > 75$	480 ± 2

Testin lopuksi liekki poistetaan ja sammutetaan. Palon loputtua näyte pyyhitään ja mitataan etäisyys ylätuen alareunasta hiiltymisen ylempään alkuun ja etäisyys ylätuen alareunasta alempaan hiiltymiskohtaan. [11, s. 8.] Mikäli muita vaatimuksia ei ole annettu kaapelistandardissa, testi katsotaan hyväksytyksi, jos ylätuen alareunasta palon yläreunaan on matkaa yli 50 mm ja jos ylätuen alareunasta palon alareunaan on alle 540 mm. Mikäli testi epäonnistuu, voidaan tehdä kaksi uusintatestiä. [11, s. 10.]

Yksittäispoltossa voidaan myös tarvittaessa arvioida putoavan palavan materiaalin määrää asettamalla kaksi kerrosta kuivattua suodatinpaperia palavan kaapelin alle. Testi katsotaan läpäistyksi, mikäli paperi ei ole syttynyt. [13, s.8.]

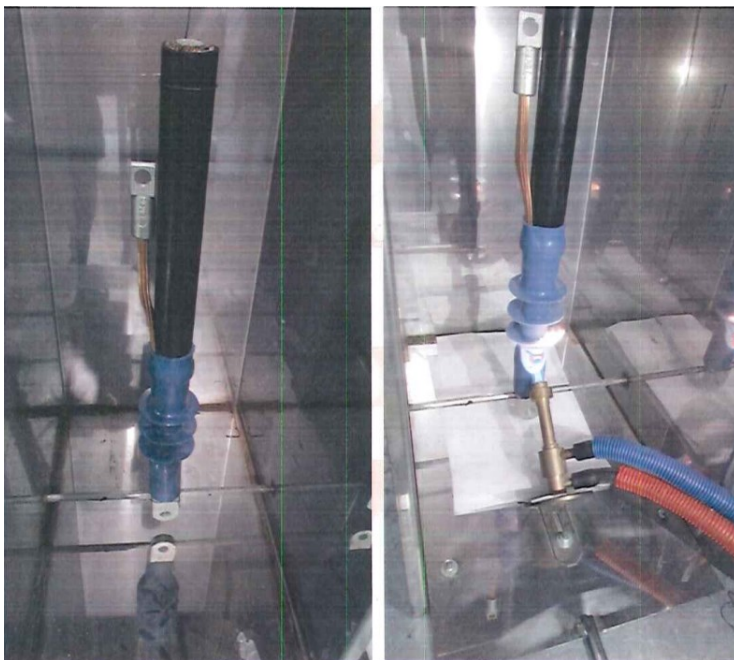
3.3.2 Sovellettavuus jatkoksille

Yksittäispoltto voidaan tehdä myös jatkoksille. Venäjällä yksittäispolttoa tehdään jatkoksille asentamalla ne kuvan 6 mukaisesti kaapelin päälle [14].



Kuva 6. Venäjällä käytetty tapa testata jatkos yksittäispoltolla [14]. Jatkos on asennettu PE-ulkovaippaisen kaapelin päälle. Testiasettelu vastaa muuten yksittäispoltton testiasettelua.

Menetelmää käytetään myös päätteiden testaamiseen kuvan 7 mukaisesti [15].



Kuva 7. Venäjällä käytetty tapa testata päätte yksittäispoltolla [15]. Pääte on asennettu PE-ulkovaippaisen kaapelin päälle. Testiasettelu vastaa muuten yksittäispoltton testiasettelua.

Tässä tavassa pitää huomioida kaapelin mahdollinen osallistuminen paloon testaamalla ensin pelkkä kaapeli. Venäjän testeissä käytetty kaapeli on 12/20 kV:n PE-ulkovaippainen maakaapeli. Toinen tapa olisi tukea yksittäinen jatkoskomponentti metallitangolla, jolloin kaapeli ei osallistu paloon.

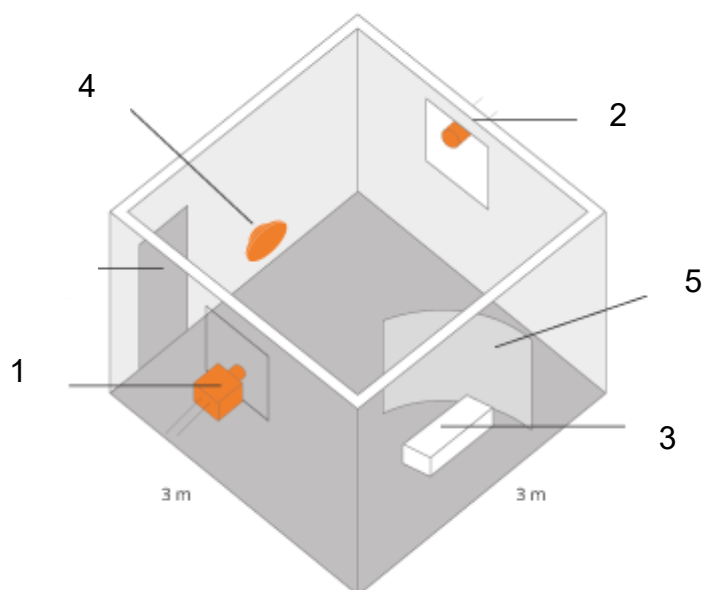
Kaapin koko rajoittaa isompien jatkosten testaamista. Kaappia ja testiä voisi myös skaalata ylöspäin isommille jatkoksille. [16.]

3.4 Savun tiheys

Savun tiheydellä määritetään kaapeleita poltettaessa syntyvän savun määrää [17]. Savun tiheys on tärkeä näkökulma arvioitaessa kaapelien palokäyttäytymistä, koska se vaikuttaa evakuointiin sekä palokunnan toimintaan [18, s.5]. Savuntiheys määritetään standardien IEC 61034-1–2 mukaan.

3.4.1 Savun tiheyden määrittäminen

Savun tiheyden laitteisto koostuu kuvan 8 mukaisesti 3 m x 3 m x 3 m metallisesta testikaapista, fotometrisestä mittausjärjestelmästä, tuulettimesta sekä polttimesta. Polttimena käytetään metalliastiaa, jossa on 1,00 l ± 0,1 l 90 % etanolia, 4 % metanolia ja 6 % vettä. Valonlähteenä käytetään halogeenilamppua, jossa on volframifilamentti. [18, s. 6–8.]



Kuva 8. Savun tiheyden mittauslaitteisto, johon kuuluu 1. valonlähde 2. vastaanotin 3. näytteen pidin ja sen alapuolella oleva astia, jossa on polttoliuos 4. tuuletin ja 5. metallinen sermi [17].

Testattavien kaapelien määrä riippuu kaapelin halkaisijasta taulukon 2 mukaisesti. Näytteiden pituus on 1,0 m ± 0,05 m. [19, s. 7.]

Taulukko 2. Savun tiheydessä testattavien kaapelien määrä kaapelin halkaisijan mukaan [19, s. 7].

halkaisija (mm)	kpl
$D > 40$	1
$20 < D \leq 40$	2
$10 < D \leq 20$	3

Kaapelit sidotaan päistään yhteen ja asetetaan kuvan 9 mukaisesti. Alkoholiliuosta sytytetään ja annetaan palaa 40 minuutin ajan. [20.]



Kuva 9. Savun tiheyden testiasettelu, jossa ylempänä näkyy valo, joka läpäisee testikuution. Alempana tarkempi kuvaus miten kaapeli asetetaan näytteen pitimeen polttoliuosastin yläpuolelle. [20.]

Testi on hyväksytty, jos valonläpäisy on minimissään 60 %, jolloin savuntiheyden arvo on enintään 40 % [20]. Savun tiheyttä ei yleensä määritetä materiaaleille, jotka sisältävät halogeeneja, koska niistä tuleva musta savu peittää valkoisen valonsäteen kokonaan [17].

3.4.2 Sovellettavuus jatkoksille

Savun tiheyden määrittäystä voidaan soveltaa jatkoksille tukemalla jatkoksen komponentit metallitangolla tai putkella, jolloin kaapelin osuutta savun määrään ei tarvitse ottaa huomioon. Jatkosten määrä valitaan asennetun jatkoksen halkaisijan mukaan.

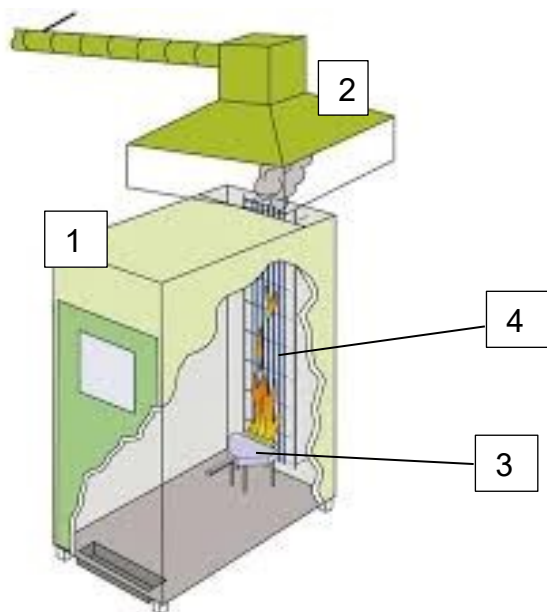
3.5 Kaapelien polttaminen nipussa

Nippupoltossa tutkitaan palokäyttäytymistä standardin IEC 60332-3-21–25 mukaan polttamalla useampaa pystyssä olevaa kaapelia leveällä polttimella.

3.5.1 Nippupolton testimenetelmä

Nippupolton laitteisto määritellään standardissa IEC 60332-3-10, ja se koostuu kuvan 10 mukaisesti

- 1 m x 2 m x 4 m kokoisesta testikaapista. Kaapin katolla on 1 m x 0,3 m kokeinen aukko palokaasujen poistumista varten.
- metallisista tikkaista, joihin kaapelit kiinnitetään. Tikkaat on 3,5 m pitkät ja 0,5 m leveät.
- propaanikäyttöisestä polttimesta
- kaasujen poistosta. [21, s. 7–8.]



Kuva 10. Havainnekuva nippupolton laitteistosta, jossa näkyy 1. kaapin muoto 2. kaasujen poisto 3. poltin 4. tikkaat, joihin testattavat kaapelit on kiinnitetty [22].

Kaapelien määrä riippuu ei-metallisen materiaalin määrästä. Näytteiden pituuden on oltava vähintään 3,5 m. Kaapelit kiinnitetään tikkaille, jotka nostetaan pystyyn kaapin takaseinälle kuva 11 mukaan. [23, s. 7,9.]



Kuva 11. Käynnissä oleva nippupoltto, jossa näkyy kaapelien asettelu tikkaissa takaseinälle testin aikana ja testiliekkin kohta [20]. Tikkaiden pituus on 3,5 m ja leveys 0,5 m.

Paloaika määräytyy kategorian mukaan taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 3. Nippupoltossa haluttuun kategoriaan vaadittu paloaika [20].

		ei-metallinen
Katego- ria	Aika (min)	materiaali (l/m)
A	40	7
B	40	3,5
C	20	1,5

Testin jälkeen hiiltynyt palo mitataan polttimen alareunasta hiiltymän yläreunaan. Testi on hyväksytty, mikäli hiiltymä on alle 2,5 m ja palo sammuu itsestään. [23, s. 10.]

Laitteella voidaan lisäksi mitata lämmönvapautumista sekä kokonaissavuntuottoa modifioimalla laitetta lisäämällä lämmön- ja savunpäästömittalaitteet [22],

jolloin voidaan luokitella kaapelit EN 13501-6 pääluokkien mukaan CPR-rakennustuoteasetusta varten [24].

3.5.2 Sovellettavuus jatkoksille

Testissä kaapelin määrä on suuri, joten jatkosten tai päätteiden testaus ei onnistu ilman, että myös kaapeli osallistuu paloon. Nippupoltolla voitaisiin kuitenkin testata, pääseekö kaapeli samaan paloluokkaan jatkoksen kanssa. Jatkos kannattaa sijoittaa polttimen yläpuolelle. Poltinta ei pystytä liikuttamaan pystysuunnassa, joten jatkoksen paikka kaapelissa tulee huomioida asennusvaiheessa.

Päätteiden testaamiseen menetelmä ei sovellu, koska päätteet jäisivät joko polttimen alapuolelle tai niin korkealle, ettei palo pääse päätteisiin asti ilman kaapelien kokonaan palamista.

4 Laitteistojen kustannukset ja ulkoiset testaajat

Tässä insinööriyössä selvitettiin myös pienempien laitteistojen hankintakustannukset sekä ulkoiset testaajat.

Laitteiden hankintakustannukset selvitettiin halogeenihapon määrittämiseen sekä pystypolttoon. Mikäli halogeenihapon määrittämiseen tarvittavat laitteistot hankitaan, pH:n ja johtokyvyn mittaus ei vaadi lisähankintoja. Hintatiedot ovat luottamuksellista tietoa, ja niitä ei esitetä tässä insinööriyössä.

Kaupallisia kaapelien polttotestauslaboratorioita on Suomessa yksi, CTC Cable test center Keuruulla. CTC:n testausvalikoimaan kuuluu halogeenihapon määrittäminen, savukaasun pH:n ja johtokyvyn määrittäminen, yksittäispoltto, IEC-nippupoltto, savun tiheys sekä EN50399-nippupoltto. Lisäksi CTC:llä voidaan suorittaa akkreditoituja testejä SGS Fimkon tekemänä. [24.] Akkreditoituja testejä voidaan suorittaa myös Risen polttotestauslaboratoriossa Ruotsissa [25].

5 Testatut tuotteet

Testattaviksi tuotteiksi valittiin Enston keskijännitekaapeleihin käytetyt yksijohdin jatkokset ja päätteet. Jatkoksista valittiin yhdet kylmä-, lämpö- ja hybridijatkokset. Päätteistä valittiin yhdet kylmä- ja lämpökutistepäätteet.

Jatkokset soveltuvat korkeintaan 24 kV PEX-eristeisen, kuparilankasuojalla varustetun yksijohdinkaapelin jatkamiseen. Johtimen materiaali voi olla kuparia tai alumiinia ja poikkipinta-ala 70–240 mm². Päätepakkaukset soveltuvat korkeintaan 24 kV PEX-eristeisen, kuparilankasuojalla varustetun yksi tai kolmejohdinkaapelin päättämiseen ulkotiloissa.

Lisäksi hybridijatkoksen päällä testattiin ulkoisen toimittajan palonestokangasta. Palonestokangas on valmistettu lasikuitukankaasta, ja sen ulkopuolella on polyuretaanipinnoite ja sisäpuolella lämmössä turpoava palosuojapinnoite. Palosuojakankaan EN 13501-1:n mukainen paloluokka on B-s1, d0. [26.]

5.1 Kylmäkutistejatkos

Kylmäkutistejatkoksilla pystytään jatkamaan maakaapeleita ilman lämpöä, jolloin niitä voidaan käyttää paikoissa, joihin on vaikea saada tulityölupaa tai tulitöitä ei voida toteuttaa. Jatkoksen kylmäkutistettava eristysletku ja vaippaletku on mekaanisesti venytetty spiraalille. Asennuksessa spiraali poistetaan ja letku tiivistyy kaapelin päälle. [27.] Kuvassa 12 on insinööriyössä testattava kylmäkutistejatkos asennettuna referenssikaapelille.



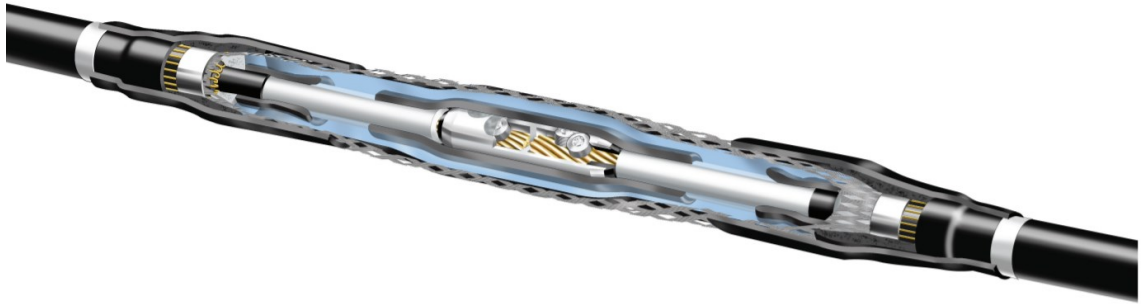
Kuva 12. Kylmäkutistejatkos asennettuna referenssikaapelille.

Jatkokseen kuuluu kylmäkutistettava eristysletku kentänohjauslementeillä, kylmäkutistettava vaippaletku, silikonirasva, momenttiruuvijatkosholkki, kupariverkko, itsesulautuva teippi, vakiovoimajouset, alumiini- ja kupariteippi, tiivistysmassa [28]. Kuvassa 13 on jatkospakkaukseen kuuluvat komponentit.



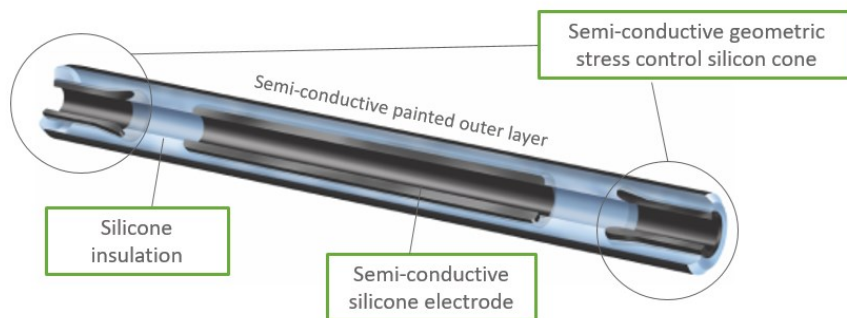
Kuva 13. Jatkospakkauksen komponentit vasemmalta: kylmäkutistettava vaippaletku, kylmäkutistettava eristysletku kentänohjauslementeillä, itsesulautuva teippi, momenttiruuvijatkosholkki, vakiovoimajouset, kupariverkko ja asennukseen tarvittava hiomapaperi ja puhdistusliina. Lisäksi pakkaukseen kuuluu silikonirasva.

Pakkauksiin kuuluu myös asennuksiin tarvittavat kertakäyttökäsineet, kaapelinpuhdistusliinan ja hiomapaperia. Kylmäkutistejatkon asennus ei vaadi muita erikoistyökaluja [28]. Kuvassa 14 on läpileikkauskuva asennetusta jatkoksesta.



Kuva 14. Kylmäkutistejatkoksen läpileikkaus [28].

Kuvassa 15 on kylmäkutistejatkoksen eristysletkun läpileikkaus. Eristysletkuun kuuluu silikoninen eristys, johtavasta silikonista valmistettu geometrinen kentänohjauskartio, elektrodi sekä johtava ulkokerros. [27.]



Kuva 15. Eristysletkun läpileikkaus, jossa näkyy eristävän silikonin sisällä olevat puolijohtavat geometriset kentänohjauskartiot ja elektrodi. Eristysletkun pinta on puolijohtavaa silikonista. [27.]

Jatkoksen asennuksessa kaapelin päältä poistetaan johdineristyksen hohtosuoja, jolloin sähkökentän voimakkuus nousee hohtosuojan reunalla. Geometrisen kentänohjauskartion tehtävä on rajoittaa sähkökentän voimakkuutta, ettei-

vät ilman ja materiaalien läpilyöntilujuuden ylittyessä syntyvät sisäiset osittaispurkaukset ja ulkoiset pintapurkaukset hajota kaapelin tai jatkoksen eristettä. [29.]

5.2 Lämpökutistejatkos

Lämpökutisteissa käytetään ristosilloitettua muovia, jota voidaan laajentaa tai kutistaa lämmöllä. Letku toimitetaan laajennettuna ja se kutistetaan liekillä asennuksen yhteydessä. [30.] Kuvassa 16 on testattava lämpökutistejatkos asennettuna.



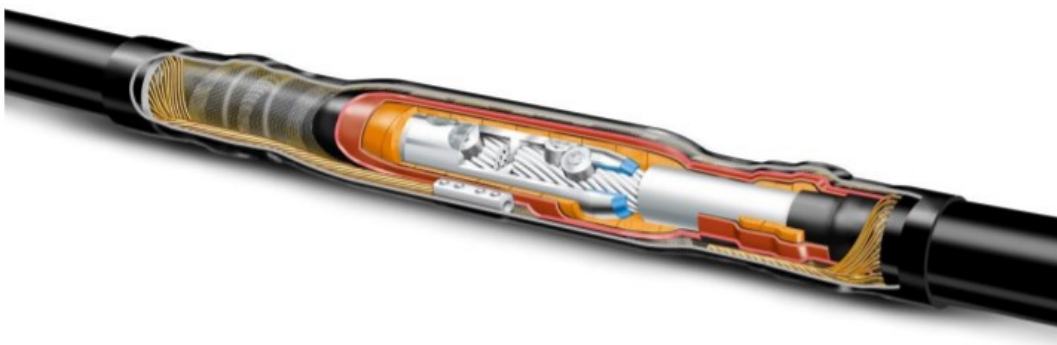
Kuva 16. Lämpökutistejatkos asennettuna referenssikaapelille.

Jatkokseen kuuluu lämpökutistettava vaippaletku, eristävä letku johtavalla ulko-kerroksella, eristävä letku sähkökenttää ohjaavalla sisäkerroksella, momentti-ruuvijatkosholkki, tiivistys- ja kentänohjausmassa, kentänohjausteippi, kupari-verkkonauha ja liitin [17; 31, s.24]. Kuvassa 17 on jatkospakkaukseen kuuluvat komponentit.



Kuva 17. Jatkospakkauksen tarvikkeet: lämpökutistettava vaippaletku, eristävä letku johtavalla ulkokerroksella, eristävä letku sähkökenttää ohjaavalla sisäkerroksella, momenttiruuvijatkosholkki, PVC-teippi, tiivistys- ja kentänohjausmassa, kentänohjausteippi, kupariverkkonauha. Lisäksi pakkauksen mukana tulee hio-mapaperia ja puhdistuspyyhe asennukseen.

Pakkaukseen kuuluvaa PVC-teippiä käytetään ainoastaan asennuksessa apuna [16]. Kuvassa 18 on läpileikkauskuva jatkoksesta asennettuna.



Kuva 18. Lämpökutistejatkoksen läpileikkaus asennettuna. [31, s. 23].

Lämpökutistettavassa eristysletkussa käytetään lisäaineena fluoropolymeerejä parantamaan prosessoitavuutta ja vähentämään sulamurtumia ja ekstruuderin

vääntömomenttia [33]. Lämpökutisteissa sähkökentänvoimakkuutta rajoitetaan kentäsohjausletkun materiaalin korkeammalla permittiviteetillä [30].

5.3 Hybridijatkos

Kylmäkutisteiden materiaalit eivät kestä ympäristön kulutusta niin hyvin kuin lämpökutisteiden materiaalit. Tämän takia käytetään hybridijatkoksia, joissa eristysletku on kylmäkutistettava ja vaippaletku lämpökutistettava. Hybridijatkoksen sähköiset ominaisuudet ovat samanlaiset kuin kylmäkutistejatkoksella, mutta mekaaninen kestävyys on parempi. [31, s. 25.] Kuvassa 19 on testattava hybridijatkos asennettuna.



Kuva 19. Hybridijatkos asennettuna testikaapelille.

Jatkokseen kuuluu momenttiruuvijatkosholkki, kylmäkutistettava eristysletku kentänohjauslementeillä, lämpökutistettava vaippaletku, kuparinen kosketussuoja, silikonirasva, itsesulautuva teippi, vakiovoimajouset, tiivistysmassa, alumiini- ja kupariteippi [34]. Kuvassa 20 on hybridijatkospakkaukseen kuuluvat komponentit.

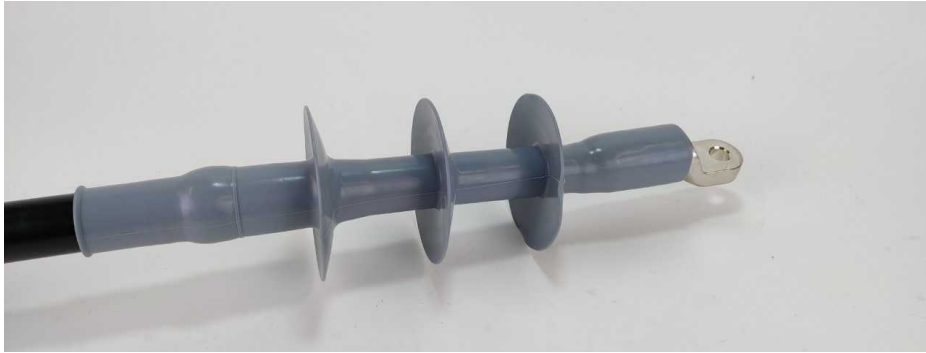


Kuva 20. Hybridijatkospakkauksen komponentit vasemmalta: lämpökutistettava vaippaletku, kylmäkutistettava eristysletku kentänohjaus-elementeillä, itsesulautuva teippi, tiivistysmassa, kuparinen kosketussuoja, momenttiruuvijatkosholkki, vakiovoimajouset, silikonirasva ja asennuksessa käytettävät puhdistuspyyhkeet ja hiomapaperi.

Pakkaus sisältää myös asennukseen tarvittavan hiomapaperin ja kaapelinpuhdistuspyyhkeen.

5.4 Kylmäkutisteulkopäätte

Kylmäkutistepäätte toimii samalla asennusperiaatteella kuin jatkos. Päätte on mekaanisesti venytetty spiraalin päälle, joka asennuksessa poistetaan [27]. Kuvassa 21 on testattava kylmäkutistepäätte.



Kuva 21. Kylmäkutistettava ulkopäätte asennettuna.

Päätteeseen kuuluu kylmäkutistettava päätteletku, momenttiruuvikaapelikengät, tiivistysmassa, silikonirasva, PVC-teippi sekä asennukseen puhdistuspyyhe ja hiomapaperia [35]. Kuvassa 22 on pakkaukseen kuuluvat komponentit.



Kuva 22. Kylmäkutistepäätepakkauksen komponentit kylmäkutistettava päätteletku, momenttiruuvikaapelikengät, tiivistysmassa, PVC-teippiä sekä asennukseen puhdistuspyyhe ja hiomapaperia. Lisäksi pakkaukseen kuuluu silikonirasva.

Kylmäkutistepäätteet valmistetaan pintavirrankestävästä nestemäisestä silikonista [31]. PVC-teippiä käytetään kaapelikengän ja vaipan päällä [15].

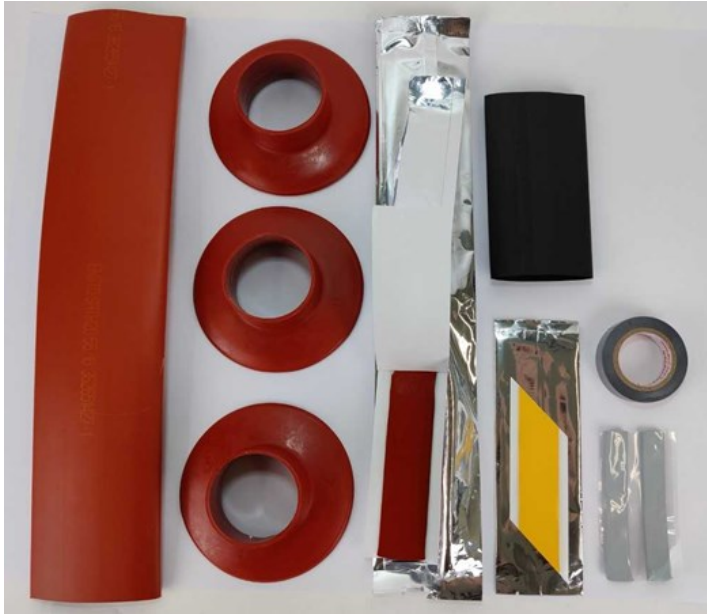
5.5 Lämpökutisteulkopäätte

Lämpökutistepäätte toimii samalla periaatteella kuin lämpökutistejatkos. Päätte kutistetaan kuumentamalla liekillä. Kuvassa 23 on testattava lämpökutistepäätte.



Kuva 23. Lämpökutistettava ulkopäätte asennettuna.

Päätteeseen kuuluu lämpökutistettava kentänohjausletku, eristävä pintavirrankestäväletku, laipat, momenttiruuvikaapelikengä, kentänohjausteippi, tiivistysmassat [36]. Kuvassa on lämpökutisteulkopäättepakkauksen komponentit.



Kuva 24. Lämpökutistepäätte komponentit vasemmalta päin: kentänohjausletku, laipat, kentänohjaus- ja tiivistysmassat, eristysletku. Lisäksi pakkaukseen kuuluu samanlainen momenttiruuvikenkä kuin kylmäkutistepäätteeseen.

Pakkauksen PVC-teippiä käytetään apuna asennuksessa, ja se ei jää lopulliseen asennukseen [16]. Lisäksi pakkauksessa on asentamiseen tarvittavat puhdistuspyyhkeet ja hiomapaperi.

6 Työn suoritus

Kirjallisuuskatsauksen jälkeen testausmenetelmiksi valittiin sovellettavuuden perusteella halogeenipitoisuus, pH ja johtokyky, yksittäispoltto ja savuntiheys. IEC-nippupoltto jätettiin pois, koska se todettiin soveltumattomaksi. Testit suoritettiin CTC-polttotestaustaliossa.

6.1 Halogeenipitoisuus

Covid-19-pandemian aiheuttaman aikataulun venymisen vuoksi halogeenipitoisuuden määrittäminen tehdään insinööriyön ulkopuolella. Halogeenipitoisuus tehdään kaikille luvun 5 jatkos- ja pätepakkausten ei-metallisille komponenteille.

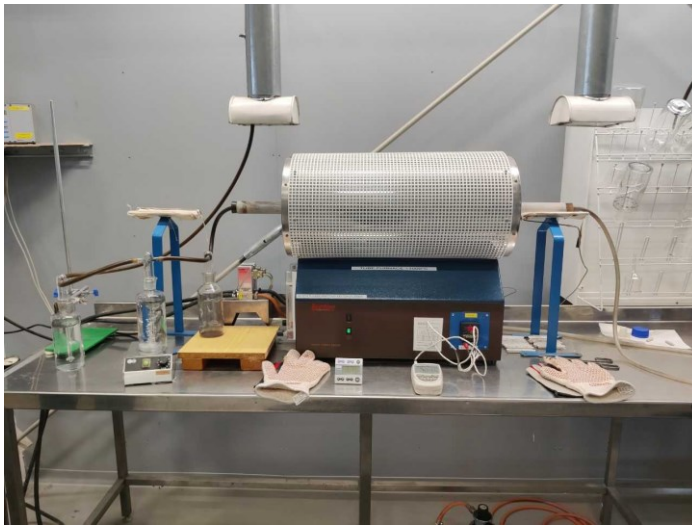
Määrittystä ei tehdä asennuksessa apuna käytettäville tuotteille eikä PVC-teipille.

Halogeenipitoisuus määritetään ionikromatografilla suoraan standardin IEC 60754-3 mukaisella menetelmällä, joka on kuvattu luvussa 3.1.2 Halogeenipitoisuuden määrittäminen alle 5 mg/g pitoisuuksille.

6.2 Savukaasun pH ja johtavuus

Savukaasun pH ja johtavuus tehtiin kaikille luvun 5 jatkos- ja päätepakkausten ei-metallisille komponenteille. Määrittystä ei tehty asennuksessa apuna käytettäville tuotteille eikä PVC-teipille. Testattavia komponentteja oli yhteensä 23 kpl.

pH ja johtokyky määritettiin suoraan standardin IEC 60754-2 mukaisesti luvussa 3.2.1 pH:n ja johtavuuden määrittäminen mukaisella menetelmällä. Kuvassa 25 on materiaalien polttamiseen käytetty laitteisto.



Kuva 25. Materiaalien polttoon käytetty kuvan 2 s. 4 mukainen putkiuuni, johon yhdistetty kaksi pesupulloa.

Covid-19-pandemian aiheuttaman aikataulun venymisen vuoksi tähän insinöörityöhön ehdittiin määrittämään 19 komponentin savukaasun pH ja johtavuus. Loput testit tullaan suorittamaan insinöörityön ulkopuolella.

6.3 Yksittäispoltto

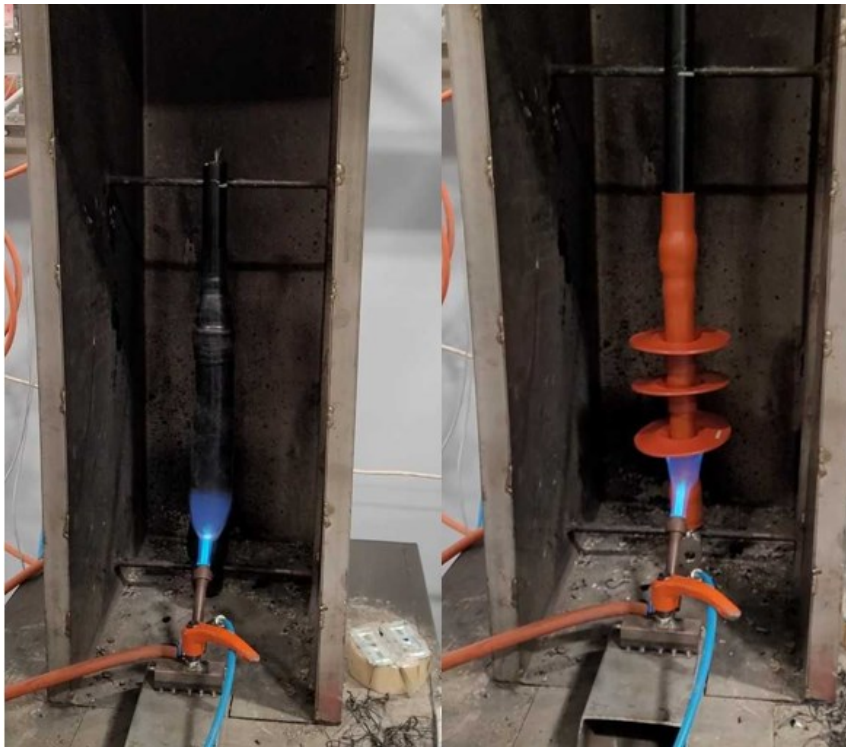
Yksittäispoltto tehtiin kaikille luvun 5 jatkoksille ja päätteille asennettuna PEX-eristetyille ja LLDPE-vaippaiselle referenssikaapelille.

Referenssikaapeli poltettiin luvun 3.3.1 yksittäispoltton testimenetelmä mukaisesti. Kuvassa 26 on referenssikaapeli palamassa. Referenssikaapeli paloi kokonaan eikä läpäissyt yksittäispolttoa.



Kuva 26. Referenssikaapelin yksittäispoltossa kaapeli paloi kokonaan.

Päätteet asetettiin testikaappiin kuvan 27 mukaisesti. Liekki kohdistettiin samalla tavalla kuin luvussa 3.3.2 Sovellettavuus jatkoksille Venäjällä tehdyissä testeissä jatkoksen paksuimman osan alareunaan, jossa on eniten jatkoksen palavaa materiaalia. Päätteissä liekki kohdistettiin myös samalla tavalla kuin luvussa 3.3.2 Sovellettavuus jatkoksille kaapelikengän ja alimman laipan väliin.



Kuva 27. Vasemmalla on jatkoksen testiasettelu ja oikealla päätteen testiasettelu.

Tuotteiden halkaisijat ja testiaika ovat taulukossa 4. Testiaika määräytyy taulukon 1 mukaan.

Taulukko 4. Tuotteiden halkaisijat ja testiaika standardin IEC 60332-1-3 mukaan.

Näyte	Halkaisija (mm)	Aika (s)
Referenssikaapeli	32	120 ± 2
Kylmäkutistejatkos	50–61	240 ± 2
Hybridijatkos	52–61	240 ± 2
Kuumakutistejatkos	50–60	240 ± 2
Kylmäkutistepääte	31–45	120 ± 2
Kuumakutistepääte	30–40	120 ± 2

Jatkosten ja päätteiden halkaisijat vaihtelivat mutta pysyivät jokaisessa näytteessä taulukon 1 mukaisten rajojen sisäpuolella. Muuten testi suoritettiin luvun 3.3.1 Yksittäispoltton testimenetelmä mukaisesti.

6.4 Savun tiheys

Savun tiheyden määrytykset tehtiin kylmäkutiste-, hybridi-, ja hybridijatkokselle, joka on suojattu palonestokankaalla. Jatkokset testattiin asennettuna alumiini-putkelle, jolloin kaapelin vaikutusta ei tarvinnut huomioida. Kuvassa 28 testatut jatkokset.



Kuva 28. Savun tiheyden mittausta varten metallitangolle asennetut jatkokset. Ylimpänä hybridi + palonsuojakangas, keskellä lämpökutistejatkos ja alimpana kylmäkutistejatkos.

Kaikkien tuotteiden halkaisija asennettuna oli yli 40 mm, joten taulukon 2 s.14 mukaisesti kaikkia tuotteita poltettiin yksi kappale. Tuotteet aseteltiin kuvan 29 mukaisesti samalla tavalla kuin kaapelitkin aseteltaisiin.



Kuva 29. Savun tiheyden testiasettelu. Vasemmalla puolella hybridijatkos ja oikealla hybridijatkos suojattuna palonsuojakankaalla.

Testi suoritettiin luvussa 3.4.1 Savun tiheyden määrittäminen kuvatulla tavalla.

7 Tulokset

7.1 Savukaasun pH ja johtavuus

Savukaasun pH ja johtavuuden mittaus suoritettiin 19 eri komponentille. Hyväksyttävät rajat ovat pH yli 4,3 ja johtokyky alle $100 \mu\text{s}/\text{cm}$ [8, s. 19]. Taulukossa 5 on näytteen massa, savukaasun pH ja johtavuus sekä mittauslämpötila.

Taulukko 5 Savukaasun pH:n ja johtavuuden määrittämisen tulokset. Tulokset, joissa pH alle 4,3 ja johtokyky yli 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ merkitty punaisella.

Näyttenro.	Näyte	Näytteen massa (g)	pH	Johtokyky ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Mittauslämpötila ($^{\circ}\text{C}$)
1	Palonsuojakangas	1,0000	6,88	173,5	18,9
		1,0004	6,97	160	18,9
3	Lämpökutisteliimaletku	1,0001	5,21	3,043	18,9
		1,0005	5,26	3,023	18,9
4	Eristävä silikoniletku	1,0012	5,38	2,795	21
		1,0007	5,37	2,596	20,7
7	Tiivistysmassa	1,0002	5,32	3,300	20,2
		1,0007	5,48	3,115	21,5
8	Silikonirasva	1,0005	5,23	4,423	20,8
		1,0006	5,02	4,645	20,5
9	Pintavirrankestävä lämpökutisteletku	1,0006	5,91	3,835	19,8
		1,0003	5,4	3,915	19,9
10	Haaroitussuoja	1,0005	6,09	5,683	19,9
		1,0002	5,93	5,22	19,9
11	Kaksikerroslämpökutisteletku	1,0002	5,83	3,929	20,9
		1,0003	5,85	3,843	19,9
13	Lämpökutistelaippa	1,0010	5,39	4,035	20,2
		1,0002	5,69	3,169	20,4
14	Itsesulautuva teippi	1,0009	5,09	4,018	20,4
		1,0009	5,13	4,130	20,6
15	Haaroitussuoja 2	1,0005	5,32	3,984	20,4
		1,0002	5,24	4,292	21,2
16	Kentänohjausmassa	1,0010	3,10	487,7	20,9
		1,0001	3,13	432,1	21,6
17	Puolijohtava lämpökutisteletku	1,0003	5,05	5,039	19,9
		1,0004	5,11	4,958	20,5
18	Puolijohtavateippi	1,0009	4,36	19,47	20,0
		1,0009	4,33	20,66	20,0
19	Eristäveteippi	1,0008	5,07	4,226	20,6
		1,0003	4,96	4,805	20,5
20	Öljynkestävä tiivistysmassa	1,0014	5,25	2,685	21,8
		1,0004	5,30	2,845	21,9
21	Öljynkestävä lämpökutisteletku	1,0008	6,00	4,726	22,3
		1,0007	5,66	5,240	20,3
22	Kaksikerroslämpökutisteletku 2	1,0000	3,54	166	20,4
		1,0002	3,47	184,4	20,4
23	Kentänohjausletku	1,0000	3,10	470,5	18,6
		1,0002	3,09	540,2	18,6

Tuotteita, jotka ylittävät reilusti hyväksyttävät rajat, ei tulla analysoimaan ionikromatografilla kolonnin tukkeutumista takia ja koska niiden sisältämien halogeenien vaikutukset näkyvät jo tuloksissa. Kentänohjausmassan sisältämä kloori ja lämpökutistettavan eristysletkun ja kentänohjausletku 2 sisältämä fluoropolymeeri laskevat savukaasun pH:ta ja nostavat johtokykyä.

7.2 Yksittäispoltto

Yksittäispolttoa pystyttiin soveltamaan jatkoksille ja kaapeleille. Yksikään tuote ei palanut kaapelin eristeeseen tai vaippaan asti, joten voidaan olettaa, että kaapeli ei vaikuttanut tuotteiden palamiseen. Kuvassa 30 on referenssikaapeli ja tuotteet polton jälkeen.



Kuva 30. Vasemmalta alkaen referenssikaapeli, kylmäkutistepääte, lämpökutistepääte, kylmäkutistejatkos, lämpökutistejatkos ja hybridijatkos yksittäispoltton jälkeen.

Taulukossa 6 on yksittäispoltton tulokset. Testi on hyväksytty, jos ylätuen alareunasta palon yläreunaan on matkaa yli 50 mm ja jos ylätuen alareunasta palon alareunaan on alle 540 mm [10, s. 10].

Taulukko 6. Yksittäispoltton tulokset.

Tuote	Kylmä- kutiste- jatkos	Hybridi- jatkos	Kuumaku- tistejatkos	Kylmäku- tistepäätte	Kuumaku- tistepäätte	Refe- renssi
Matka ylätuen alareunasta palon yläreunaan (mm)	390	325	345	440	350	Hy- lätty
Matka ylätuen alareunasta palon alareunaan (mm)	500	500	500	500	500	Hy- lätty
Paloaika liekin poistamisen jälkeen (s)	35	1054	516	146	624	>360 0
Kokonaispalo (mm)	110	175	155	60	150	600

Referenssikaapeli paloi kokonaan eikä suoriutunut yksittäispoltosta hyväksytysti. Kaikki muut tuotteet suoriutuivat hyväksytysti.

Hybridijatkos on testattu myös Venäjällä tuloksin 416 mm ja 498 mm [13], joten tulokset ovat yhteneviä. Tästä voidaan päätellä, ettei jatkon alla olevalla referenssikaapelilla ole suurta vaikutusta tulokseen.

7.3 Savun tiheys

Savun tiheyden määrittämistä pystyttiin soveltamaan jatkoksille, ja testi vastasi pitkälti standardin mukaista testiä. Savun tiheyden osalta ei ole aikaisempaa materiaali, johon verrata. Savun tiheydestä saatiin liitteessä 1 olevat valonläpäisy ajan funktiona. Taulukossa 7 on savun tiheyden tulokset.

Taulukko 7. Savuntiheyden tulokset. Tiheys määritetään valonläpäisyn avulla.

Tuote	Valonläpäisy
Kylmäkutistejatkos	49,3 %
Hybridijatkos	64,6 %
Hybridijatkos + palonsuojakangas	19,3 %

Savun tiheyden vaatimuksena on, että valonläpäisy on vähintään 60 %, jolloin savuntiheys on enintään 40 %. Ainoastaan hybridijatkos suoriutui testistä hyväksytysti.

Kuvassa 32 on tuotteet savun tiheyden jälkeen.



Kuva 31. Testatut tuotteet savun tiheyden jälkeen. Vasemmalla hybridijatkos suojattuna palonsuojakangalla, hybridijatkos ja kylmäkutistejatkos.

Hybridijatkoksen suojaaminen palonsuojakankaalla lisäsi savunmuodostusta runsaasti. Palonsuoja-aineet saavat aikaan epätäydellisen palon, jolloin savua muodostuu runsaammin. Lisäksi orgaanisten palonsuoja-aineiden hajoaminen palossa lisää savun määrää. [37, s.16.]

8 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia, mitä kaapelien polttotestejä voidaan soveltaa kaapelien varusteiden testaamiseen. Lisäksi tavoitteena oli saada tietoa tuotteiden palo-ominaisuuksista.

Kirjallisuuskatsauksessa selvitettiin, voidaanko halogeenipitoisuuden, pH:n ja johtokyvyn määrittämistä, yksittäispolttoa, IEC-nippupolttoa sekä savun tiheyden määrittämistä soveltaa jatkoksille ja päätteille sekä laitteistojen hinnat ja ulkoiset testaajat. Testimenetelmistä IEC-nippupoltton todettiin kirjallisuuskatsauksen jälkeen soveltumattomaksi, koska kaapelin osuus on testissä suuri. Lisäksi päätteitä ei pystytä sijoittamaan polttimen kohdalle.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella testattiin halogeenipitoisuuden, pH:n ja johtokyvyn määrittämistä, yksittäispolttoa sekä savun tiheyden soveltuvuutta keskijännitekaapeleissa käytettävillä yksijohdin jatkoksilla ja päätteillä. Testit suoritettiin Reka Kaapeli Oy:n CTC-polttolaboratoriossa Keuruulla.

pH ja johtokyky pystyttiin mittaamaan suoraan standardin mukaisella menetelmällä eri materiaaleista. Halogeenien määrittäminen jäi liuosten toimitusvaikeuden ja covid-19-pandemian aiheuttaman aikataulun viivästymisen takia insinööriyön ulkopuolelle. Halogeenipitoisuuden määrittäminen kuitenkin pystytään suorittamaan jatkosten ja päätteiden materiaaleille suoraan standardin mukaisella menetelmällä.

Yksittäispolttoa pystyttiin soveltamaan asentamalla jatkokset ja päätteet referenssikaapelin päälle. Referenssikaapeli paloi kokonaan eikä suoriutunut testistä hyväksytysti. Kaikki testatut tuotteet kuitenkin suoriutuivat yksittäispoltosta

hyväksytysti. Tulokset olivat yhteneviä muualla tehtyjen testien kanssa, joten voidaan olettaa, että jatkon alla oleva referenssikaapeli ei vaikuta tuloksiin.

Savun tiheyden määrittämistä pystyttiin soveltamaan jatkoksille asentamalla ne alumiiniputken päälle, jolloin kaapelin vaikutusta ei tarvitse ottaa huomioon. Testatuista tuotteista ainoastaan hybridijatkos suoriutui savuntiheydestä hyväksytysti.

Tämän työn tuloksena saatiin tietoa, mitä kaapelien polttotestejä voidaan hyödyntää jatkosten ja päätteiden testaamisessa ja mitkä testit vaativat lisää kehittämistä. Lisäksi saatiin tietoa tuotteiden palo-ominaisuuksista.

9 Pohdinta ja jatkokehitys

Tämän insinööriyön perusteella pystyttiin onnistuneesti soveltamaan kaapelien standardoituja polttokokeita yksittäispoltton ja savun tiheyden määrittämisen osalta sekä määrittämään pH ja johtokyky suoraan standardin mukaisella menetelmällä. Lisäksi halogeenipitoisuus pystytään määrittämään standardin mukaisella menetelmällä.

Kuitenkin IEC- ja EN-nippupoltton osalta tarvitaan vielä jatkotyötä tai kokonaan oma standardoitu menetelmä, koska ne eivät sovellu sellaisinaan jatkoille ja päätteille. Tulevaisuudessa tulisi kehittää menetelmä, jolla kaapelien varusteita voitaisiin luokitella eurooppalaisiin kaapelien CPR-asetuksen mukaisiin paloluokkiin. Muut CPR-paloluokkien määrityksessä käytetyt EN-standardit ovat pitkälti yhteneväisiä tässä insinööriyössä käytettyihin IEC-standardeihin.

Jatkossa Enstolla voisi olla oma testausmahdollisuus ainakin savukaasun halogeenipitoisuuden osalta. Lisäksi olisi hyvä olla joku polttomahdollisuus, joko poltin yksittäispolttoon tai materiaalien testaamiseen standardin IEC 60695-11-10 mukainen 50 W:n liekki.

Tuotteista saadaan vielä lisää tietoa, kun halogeenipitoisuuksien määritykset valmistuvat. Insinööri työ toimii esiselvityksenä mahdollisiin testausmenetelmiin, ja sen perusteella jatketaan kehittämistä.

Lähteet

- 1 Sähköiset paloriskit ja niiden torjunta. 2003. Verkkoaineisto. <https://saty.fi/wp-content/uploads/Sahkoiset_paloriskit_ja_niiden_hallinta.pdf> Luettu 28.1.2022.
- 2 Kuusisto, Olli. 2021. Project Manager, Ensto Finland Oy, Porvoo. Keskustelu 13.12.2021.
- 3 Kaapelisanasto. Verkkoaineisto. Reka Kaapeli. <<https://www.reka.fi/kaapelitietoa/kaapelisanasto/>> Luettu 14.12.2021.
- 4 Tietoa meistä. Verkkoaineisto. Ensto Finland Oy. <<https://www.ensto.com/fi/yhtio/tietoa-meista/>> Luettu 26.10.2021
- 5 HALOGEN-FREE CABLES – HOW, WHAT, WHEN AND WHY. Verkkoaineisto. Lapp worldwide. <<https://products.lappgroup.com/online-catalogue/products-by-specs/halogen-free.html>> Luettu 12.11.2021.
- 6 IEC 60754-1. Test on gases evolved during combustion of materials from cables – Part 1: Determination of the halogen acid gas content. 2019.
- 7 IEC 60754-3. Test on gases evolved during combustion of materials from cables – Part 3: Measurement of low level of halogen content by ion chromatography. 2018.
- 8 IEC 60754-2. Test on gases evolved during combustion of materials from cables – Part 2: Determination of acidity (by pH measurement) and conductivity. 2019.
- 9 IEC 60332-1-1: Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-1: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Apparatus. 2015.
- 10 IEC 60695-11-2: Fire hazard testing – Part 11-2: Test flames – 1 kW nominal pre-mixed flame – Apparatus, confirmatory test arrangement and guidance. 2017.
- 11 IEC 60332-1-2: Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-2: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for 1 kW pre-mixed flame. 2015.

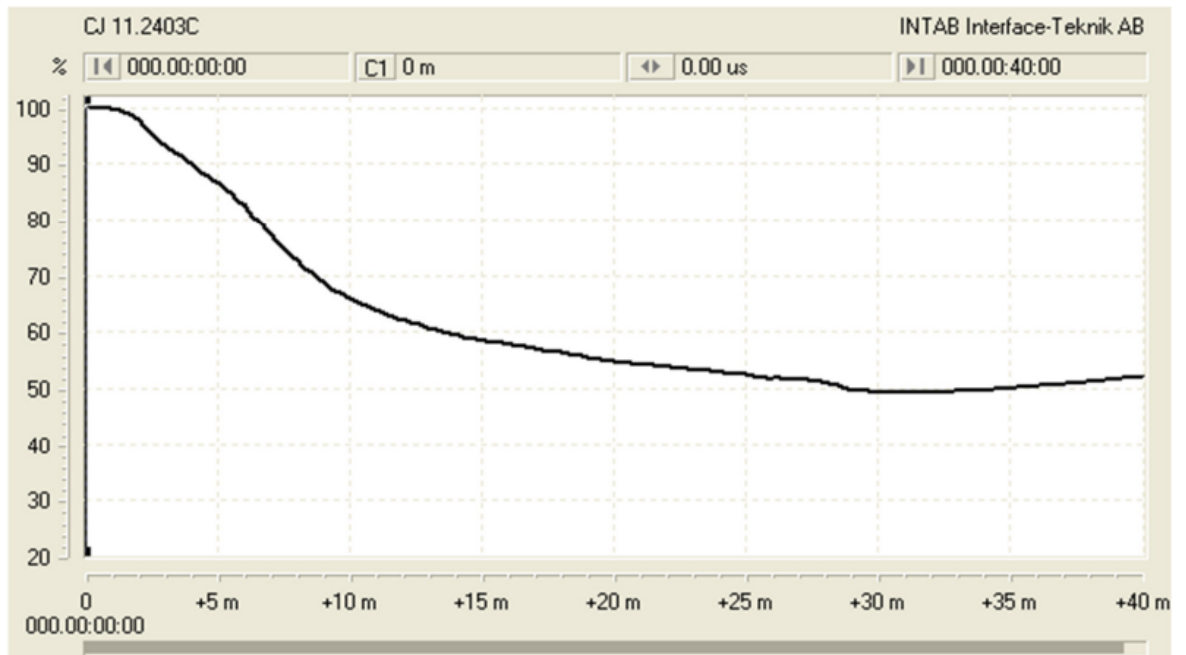
- 12 Firetests. Verkkoaineisto. Cables Britain Limited. <<https://cablesbritain.com/cables-accessories/fire-performance-cables/fire-performance-standards/>> Luettu 11.11.2021.
- 13 IEC 60332-1-3: Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-3: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for determination of flaming droplets/particles. 2015.
- 14 Pozharnaya Sertifikatsionnaya Kompaniya Qualification test protocol. 796/12-2016. 2016.Yrityksen sisäinen dokumentti. Ensto Finland Oy.
- 15 Pozharnaya Sertifikatsionnaya Kompaniya Qualification test protocol. 795/12-2016. 2016.Yrityksen sisäinen dokumentti. Ensto Finland Oy.
- 16 Alkila, Kauko. 2021. Senior Advisor, Ensto Finland Oy, Porvoo. Sähköpostikeskustelu 15.11-15.12.2021
- 17 Smoke density testing for cables. Verkkoaineisto. Eland cables. <<https://www.elandcables.com/the-cable-lab/independent-cable-testing-and-inspection-services/smoke-density-testing-for-cables/>> Luettu 12.11.2021
- 18 IEC 61034-1: Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 1: Test apparatus. 2019.
- 19 IEC 61034-2: Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 2: Test procedure and requirements. 2019.
- 20 Test Procedures of the Behaviour of Cables in Case of Fire. Verkkoaineisto. <https://www.quail.com/content/Quail/pdf/Test_procedures_Cable_Fire.pdf> Luettu 12.11.2021.
- 21 IEC 60332-3-10: Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 3-10: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables – Apparatus. 2018.
- 22 Burning Behaviour of Bunched Cables. Verkkoaineisto. Firetesting technology. <<https://www.fire-testing.com/burning-behaviour-of-bunched-cables/>> Luettu 12.11.2021
- 23 IEC 60332-3-22: Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 3-10: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables – Category A. 2018.

- 24 Nopeaa ja luotettavaa polttotestausta. Verkkoaineisto. Cable Test Centre. <<https://www.ctc.fi/wp-content/uploads/2020/03/CTC-tuote-esite.pdf>>. Luettu 12.11.2021.
- 25 Acidity in flue gases from cables EN IEC 60754-2. Verkkomateriaali. Rise. <<https://www.ri.se/en/what-we-do/services/acidity-in-flue-gases-from-cables-en-iec-60754-2>>. Luettu 13.12.2021
- 26 PYRO-SAFE palosuoja kangas. Verkkoaineisto. PK-tuote Oy. <<https://pktuote.fi/wp-content/uploads/sites/17/2020/04/PYRO-SAFE-DG-CR-07mm.pdf>> Luettu 16.12.2021
- 27 UG cold shrink training. 2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Ensto Finland Oy. Porvoo.
- 28 CJ11.2403C tuotekortti. Verkkoaineisto. Ensto Finland Oy. <file:///C:/Users/annij/Downloads/CJ11.2403C.pdf> Luettu 13.12.2021
- 29 Kenneth Väkeväinen. Kylmäkutistetuotteet –Esittely, Valmistus ja teknologia. Kenneth Väke Yrityksen sisäinen dokumentti. Ensto Finland Oy. Porvoo.
- 30 UG heat shrink. 2012. Yrityksen sisäinen dokumentti. Ensto Finland Oy. Porvoo.
- 31 Kuusisto, Olli. 2016. The effects of installation-based defects in medium voltage cable joints. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Thesis-tietokanta.
- 32 HJ11.2403C tuotekortti. Verkkoaineisto. Ensto Finland Oy. <file:///C:/Users/annij/Downloads/HJ11.2403C%20(1).pdf>. Luettu 14.12.2021
- 33 Baarman, Minna. Product development engineer. Ensto Finland Oy. 2021. Keskustelu 15.12.2021
- 34 CJH11.2403C tuotekortti. Verkkoaineisto. Ensto Finland Oy. <file:///C:/Users/annij/Downloads/CJH11.2403C.pdf> Luettu 14.12.2021
- 35 COT1.2403L tuotekortti. Verkkoaineisto. Ensto Finland Oy. <file:///C:/Users/annij/Downloads/COT1.2403L.pdf>. Luettu 14.12.2021
- 36 HOT1.2403L tuotekortti. Verkkoaineisto. Ensto Finland Oy. <file:///C:/Users/annij/Downloads/HOT1.2403L.pdf> Luettu 14.12.2021

- 37 Ryynänen, Tii; Kallonen, Rajja & Ahonen, Eino. 2001. Palonsuojatut tekstiilit. Ominaisuudet ja käyttö. Verkkoaineisto. VTT.
<<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2001/T2116.pdf>>. Luettu 2.3.2022

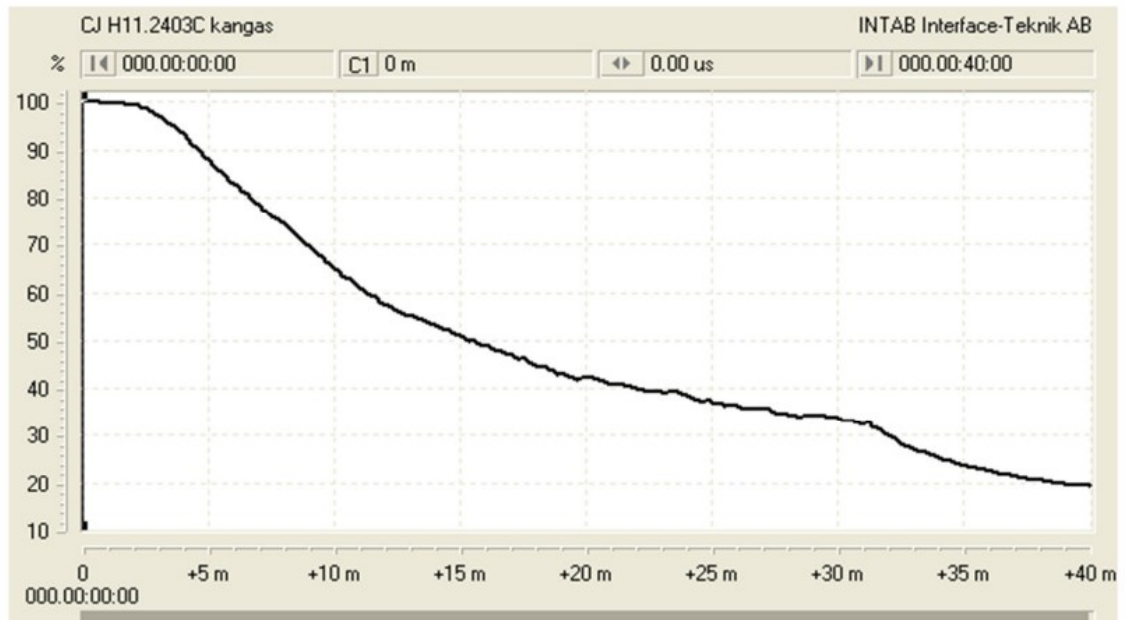
Savun tiheydet ajan funktiona

- minimum light transmittance: **49,3 %**



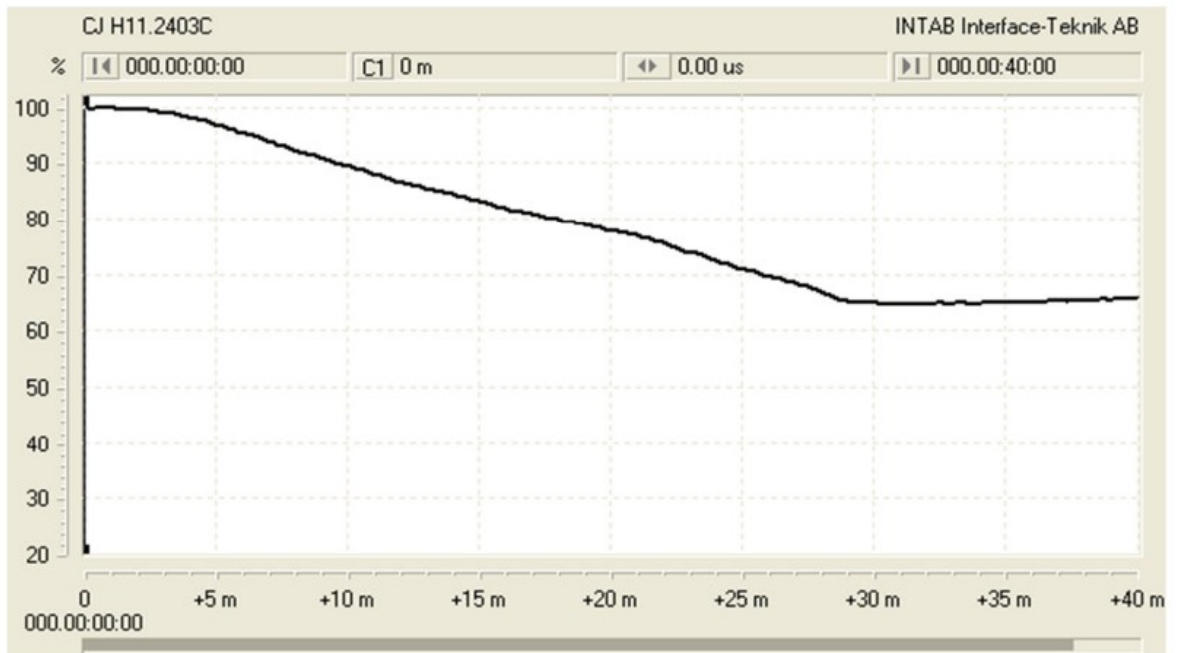
© Reka Kaapeli Oy. Oikeudet muutoksiin pidätetään.

- minimum light transmittance: **19,3 %**



© Reka Kaapeli Oy. Oikeudet muutoksiin pidätetään.

- minimum light transmittance: **64,6 %**



© Reka Kaapeli Oy. Oikeudet muutoksiin pidätetään.