



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# SUURVIRTAISTEN KAAPELIKENKÄLITOSTEN ANALYYSI- JA VALINTATYÖ KALLIOPORALAITTEISSA

Teemu Äijö

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2016  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikka



TIIVISTELMÄ  
Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikka

ÄIJÖ, TEEMU:  
Suurvirtaisten kaapelikenkäliitosten analyysi- ja valintatyö kallioporolaitteissa

Opinnäytetyö 59 sivua  
Toukokuu 2016

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kerätä tietoa suurvirtaisista kaapelikenkäliitoksista kallioporolaitteiden näkökulmasta. Työn tietoja voidaan kuitenkin hyödyntää muissakin asennusympäristöissä. Työn toimeksiantaja on Sandvik Mining and Construction Oy. Jaksottaisen käytön aiheuttama liitosten toistuva lämpeneminen ja jäähtyminen sekä laitteiden värinä ja kaivosympäristön olosuhteet aiheuttavat ongelmia sähköliitoksille. Työssä tutkitaan liitoksen laatuun vaikuttavia tekijöitä, kuten johdinstandardeja, kaapelikenkätyyppäjä, kaapelikenkien puristustekniikoita ja -työkaluja sekä pulttiliitosten aluslevyjä. Työ koostuu pitkälti kirjallisesta tutkimuksesta, mutta siihen kuuluu myös liitostekniikoiden tutkimista varten järjestetty virtatesti.

Työssä on kerätty tietoa kaapelikenkäliitosta tehdessä vastaantulevista asioista. Kirjallisen tutkimuksen perusteella on kerrottu, mitkä asiat vaikuttavat liitoksen onnistumiseen ja miksi. Virtatestin tuloksista käy ilmi, mitkä liitostekniikat kuumenevat eniten sähkövirran vaikutuksesta. Testissä oli mukana eri kaapelikenkätyyppäjä, eri puristustekniikoita, erilaisia aluslevyjä sekä tarkoituksella väärin tehtyjä liitoksia.

Työn tekemisen perusteella voidaan todeta, että kaapelikenkäliitokset ovat monimutkaisempi asia kuin voisi kuvitella. Aiheesta on vain vähän tutkimustietoa, ja puolueettoman tiedon hankkiminen on hankalaa. Työhön kuitenkin onnistuttiin keräämään tietoa, joka on hyödyksi liitoksia tehtäessä ja suunniteltaessa. Myös virtatestin tuloksista saadaan arvokasta, puolueetonta tietoa liitostekniikoiden eroista.

---

Asiasanat: kaapelikenkä, puristus, johdinstandardi, virtatesti

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical Engineering  
Option of Electrical Power Engineering

ÄIJÖ, TEEMU:

Analysis and Selection of High Current Cable Lug Connections in Rock Drills

Bachelor's thesis 59 pages

May 2016

---

The purpose of this thesis was to gather information about high current cable lug connections from the perspective of rock drills. However, the information in the thesis can also be utilized in other environments. The thesis was commissioned by Sandvik Mining and Construction Oy. The repeated heating and cooling of electrical connections caused by periodic service, along with vibration and the conditions of mining environment pose challenges for electrical connections. The thesis studies elements that affect the quality of a connection. Such elements are wire standards, cable lug models, cable lug crimping techniques and tools, and washers used in bolted joints. The thesis consists mainly of literature review but it also includes a current test that was arranged to study connection techniques.

This thesis has information about issues with cable lug connections. Based on the literature review information was gathered about things that affect the quality of a connection and why. The results of the current test present connection techniques that cause the most heating when exposed to electrical current. The test included different cable lug models, different crimping techniques and different washers along with purposely faulty connections.

Based on this thesis it can be concluded that cable lug connections are more complicated than you might think. There is little research done about the subject and finding neutral information proved difficult. However, in the end valuable information was found that can be used when planning and making connections. Also valuable, neutral information can be gathered from the results of the current test.

---

Key words: cable lug, crimp, wire standard, current test

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	SANDVIK.....	7
	2.1 Sandvik Mining.....	7
	2.2 Poralaite.....	7
3	SÄHKÖLIITOS.....	9
4	JOHDINSTANDARDIT.....	10
	4.1 Halkaisija ja poikkipinta-ala.....	10
	4.2 International electrotechnical commission, IEC.....	10
	4.3 AWG ja MCM -mitoitukset.....	14
5	KAAPELIKENGÄT JA NIIDEN PURISTUS.....	18
	5.1 Levy- ja putkikaapelikengät.....	18
	5.2 Puristustekniikat.....	18
	5.3 Puristustyökalut.....	21
	5.4 Puristaminen.....	23
6	KAAPELIKENKÄTYYPIT JA VALMISTAJAT.....	25
	6.1 Kaapelikenkästandardit.....	25
	6.2 Kaapelikenkävalmistajat.....	25
	6.3 Kaapelikenkien mittoja.....	28
7	PULTTILIITOS.....	30
	7.1 Liitospinnat.....	30
	7.2 Aluslevyt.....	31
	7.2.1 Jousialuslevyt.....	31
	7.2.2 Lukitusaluslevyt.....	32
	7.2.3 Yhdistelmäaluslevyt.....	33
8	VIRTATESTI.....	35
	8.1 Testijärjestely.....	35
	8.2 Testi 1.....	36
	8.3 Testi 2.....	43
	8.4 Testi 3.....	49
	8.5 Testi 4.....	52
	8.6 Johtopäätöksiä.....	54
	8.6.1 Testi 1.....	54
	8.6.2 Testi 2.....	55
	8.6.3 Testi 3.....	56
	8.6.4 Testi 4.....	57
9	POHDINTA.....	59

LÄHTEET..... 60

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoitus on selvittää kaapelikenkien valinnassa, käytössä ja huollossa huomioitavia asioita. Työssä tutkitaan puristettavia kaapelikenkiä ja niiden kanssa käytettyjä pulttiliitoksia sekä johtimia. Työ on rajattu pääasiallisesti kuparijohtimiin ja -kenkiin. Työn on tarkoitus toimia tukena suurvirtaisten kaapelikenkäliitosten komponenttien valinnassa Sandvik Mining and Construction Oy:llä.

Jaksottainen käyttö aiheuttaa kaapelien ja liitosten toistuvaa lämpenemistä ja jäähtymistä. Virran ollessa suuri, kaapelit ja liitokset lämpenevät ja virran ollessa pieni, kaapelit ja liitokset jäähtyvät. Lämpötilan vaihtelut aiheuttavat laajenemista ja supistumista liitosmateriaaleissa. Liitoksissa käytettävät eri materiaalit laajenevat ja supistuvat eri tahtia. Tämä saattaa aiheuttaa muutoksia liitoksissa, mikä taas voi johtaa liitosten sähkönjohtokyvyn heikkenemiseen, jolloin ne kuumenevat entistä enemmän. Kuumista liitoksista lämpö johtuu myös komponentteihin, mikä saattaa vaurioittaa niitä, sekä johtimiin, joiden eristeet voivat vaurioitua korkeista lämpötiloista. Poralaitteiden sähköliitokset altistuvat myös tärinälle, mikä saattaa myös heikentää liitoksia.

Työssä selvitetään olemassa olevia kaapelikenkätyyppejä, puristustyökaluja ja -tekniikoita sekä niiden ominaisuuksia ja soveltuvuutta. Työ käsittelee myös johdinten mitoitustandardeja ja johtimissa esiintyviä kokovaihteluja, jotka aiheuttavat yhteensopivuusongelmia puristettavien kaapelikenkien kanssa. Työhön kuuluu myös virtatesti, jonka tarkoitus on selvittää eri tekijöiden vaikutus liitoksen laatuun.

## **2 SANDVIK**

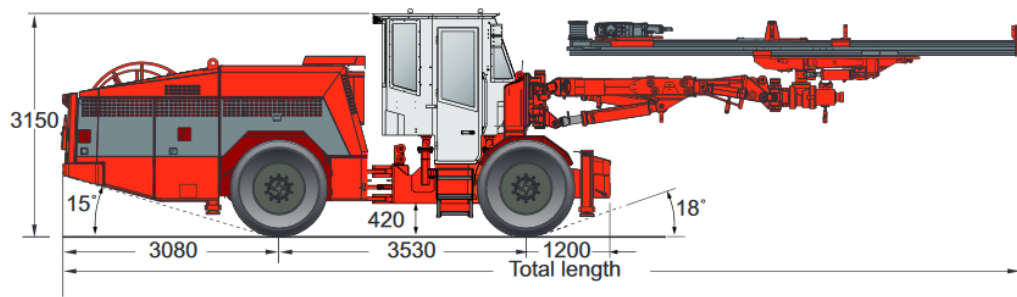
Sandvik on kansainvälinen teollisuuskonserni, jonka tuotteita ovat metallintyöstössä käytettävät työkalut, kaivos- ja maarakennusteollisuuden laitteet ja työkalut, ruostumattomat materiaalit, erikoismetalliseokset, metalliset ja keraamiset kestmateriaalit sekä prosessijärjestelmät. Sandvikin pitkälle kehitetyt tuotteet ovat markkinajohtajia aloillaan. Vuonna 2011 konserni työllisti 50 000 henkilöä yli 130 maassa ja sen liikevaihto oli lähes 94 miljardia Ruotsin kruunua. (Sandvik Mining and Construction Oy 2016.)

### **2.1 Sandvik Mining**

Vuonna 2012 Sandvik-konsernin osa Sandvik Mining and Construction jaettiin erillisiin Sandvik Mining ja Sandvik Construction liiketoiminta-alueisiin. Sandvik Mining tuottaa kaivosteollisuuden laitteita ja työkaluja sekä huolto- ja teknisiä palveluja. Sen tuotteisiin kuuluvat muun muassa poraamisen-, mekaanisen louhinnan- ja materiaalinkäsittelyn laitteet sekä murskaimet ja lastaus- ja kuljetuskoneet. Sandvik Mining toimii yli 130 maassa. (Sandvik Mining and Construction Oy 2016).

### **2.2 Poralaite**

Esimerkkinä maanalaisesta poralaitteesta Sandvik DD421-60C on kaksipuominen sähköhydraulinen kaivosjumbo (kuva 1). Siinä on kaksi 75 kW sähkömoottoria porausta varten, ja sen kokonaissähköteho on 180 kW. Laitetta on normaalisti saatavana 380 – 690 voltin jännitteillä, mutta vaihtoehtona on myös 1000 voltin versio. Liikkumista varten siinä on 110 kW diesel-moottori. (Sandvik Mining and Construction Oy 2013.)



KUVA 1. Sandvik DD421-60C kaivosjumbo (Sandvik Mining and Construction Oy 2013)

Poralaitteen liikkumisesta ja poraamisesta aiheutuu tärinää, joka aiheuttaa haasteita sähköasennusten kannalta. Laitteen tärinässä myös sähköliitokset tärisevät, mikä rasittaa liitoksia ja saattaa aiheuttaa niiden löystymistä. Porattaessa sähkömoottorit ottavat suuren virran, mikä lämmittää sähköjohtoja ja -liitoksia. Liitosten laatu vaikuttaa lämpenemiseen merkittävästi. Poralaitteen sähköliitokset voivat altistua kaivosympäristössä myös kosteudelle ja suolalle sekä suola- ja rikkihapoille.



### 3 SÄHKÖLIITOS

Sähköliitos on kahden virtaa kuljettavan osan liittäminen, jonka tehtävänä on taata virtapiirin jatkuvuus. Virran on päästävä kulkemaan liitoksen läpi mahdollisimman häviöttömästi. Tällainen liitos saavutetaan parhaiten kahden metallin välisellä liitännällä. Metalleja voidaan liittää yhteen muun muassa hitsaamalla, juottamalla, puristamalla ja pulttiliitoksilla. (Braunovic, Konchits & Myshkin 2006.)

Kaapelikenkäliitoksissa kaapelikenkä ensin puristetaan johtimen ympärille, minkä jälkeen kenkä liitetään toiseen kenkään tai muuhun liitospintaan pulttiliitoksella. Yleisimmin käytetyt materiaalit johtimissa ja kaapelikengissä ovat kupari ja alumiini. Kaapelikengät on usein myös päällystetty tinalla. Kuparin etuina ovat sen hyvä muovattavuus ja korkea sähköjohtokyky. Normaalioloissa kuparilla on myös melko hyvä korroosionkesto. Alumiinin on hyvä vaihtoehto kuparille, koska se on kevyttä ja hinnaltaan edullista, ja se johtaa melko hyvin sähköä ja lämpöä. Alumiinin sähkönjohtavuus on kuitenkin heikompi kuin kuparilla, joten kuparijohdinta vastaavan sähkönjohtavuuden saavuttamiseksi tarvitaan poikkipinta-alaltaan 60 % suurempi alumiinijohdin. (Braunovic, Konchits & Myshkin 2006.)

## 4 JOHDINSTANDARDIT

### 4.1 Halkaisija ja poikkipinta-ala

Johtimesta ilmoitetaan usein poikkipinta-ala, mutta kaapelikenkiä valitessa on hyvä tietää myös johtimen halkaisija. Pyöreän johtimen halkaisija saadaan johtimen poikkipinta-alasta ympyrän geometrian mukaisesti kaavalla 1.

$$A = \pi \cdot r^2 = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad (1)$$

josta

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

Kaavassa 1:

$A$  on johtimen poikkipinta-ala

$d$  on johtimen halkaisija

$r$  on johtimen säde

### 4.2 International electrotechnical commission, IEC

IEC on vuonna 1906 perustettu, kansainvälinen, voittoa tavoittelematon järjestö. Sen jäseniä ovat kansalliset komiteat, jotka nimittävät asiantuntijoita ja valtuutettuja, jotka osallistuvat IEC:n toimintaan. IEC on kansainvälisesti johtava järjestö sähköisten ja sähköön liittyvien teknologioiden kansainvälisesti pätevien standardien julkaisemisessa. (IEC 2014.)

IEC 60228 standardissa on määritetty nimelliset poikkipinta-alat erityyppisille johtimille 0,5 mm<sup>2</sup>:sta 2500 mm<sup>2</sup>:iin. Nimellisellä poikkipinta-alalla tarkoitetaan tietyn johtimen kokoa, joka ei ole kuitenkaan suoraan mitattavissa. (IEC 2004.)

Johtimen nimellisellä koolla viitataan johtimen resistanssiin. Johdinkoolle on määritetty suurin sallittu resistanssi, joka ei saa ylittyä (IEC 2004). Parempilaatuisesta kuparista saa

pienemmällä poikkipinta-alalla johtimelle yhtä pienen resistanssin kuin huonompilaatuisesta. Hyvälaatuisesta kuparista valmistettu johdin voi siis olla huomattavasti pienempi kuin sille ilmoitettu nimellinen poikkipinta-ala. Huonolaatuisesta kuparista valmistettu johdin taas voi olla huomattavasti suurempi kuin sille ilmoitettu nimellinen poikkipinta-ala.

IEC-standardissa johtimet on jaoteltu käyttötarkoituksen ja taipuisuuden perusteella neljään luokkaan, jotka ovat luokka 1, luokka 2, luokka 5 ja luokka 6. Luokkien 1 ja 2 johtimet on tarkoitettu pääasiassa kiinteisiin asennuksiin. Luokkien 5 ja 6 johtimet on tarkoitettu taipuisiin kaapeleihin, mutta niitäkin voidaan käyttää kiinteissä asennuksissa. (IEC 2004.)

IEC 60228 -standardissa luokat on määritelty seuraavasti:

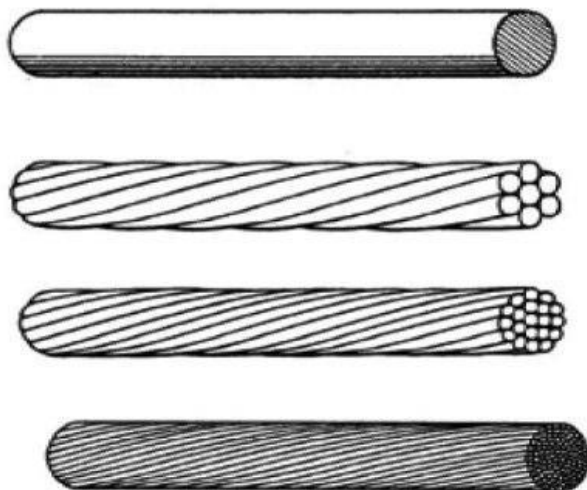
Luokka 1: yksisäikeiset johtimet,

Luokka 2: monisäikeiset johtimet,

Luokka 5: taipuisat johtimet,

Luokka 6: taipuisat johtimet, jotka ovat taipuisampia kuin luokan 5 johtimet. (IEC 2004.)

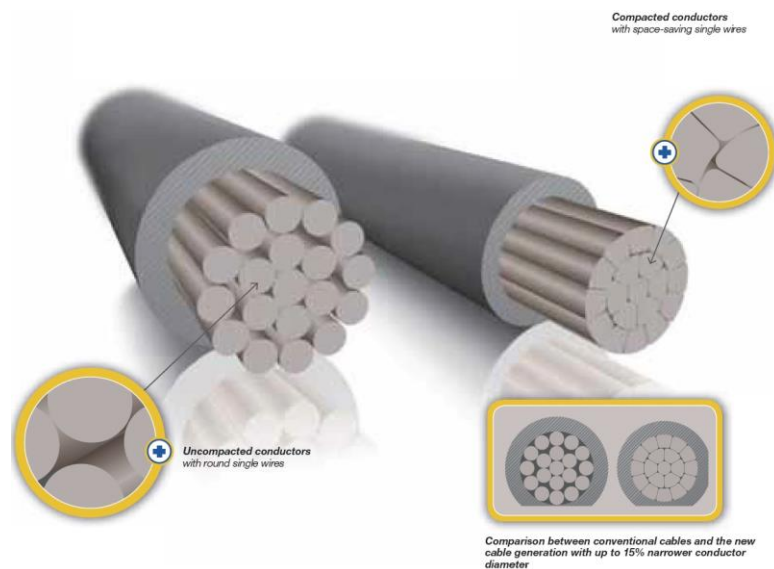
Kuvassa 2 on esitetty periaatekuvat luokkien 1-6 johtimien rakenteesta. Kuvassa on ylhäältä alaspäin luokan 1, luokan 2, luokan 5 ja luokan 6 johtimet.



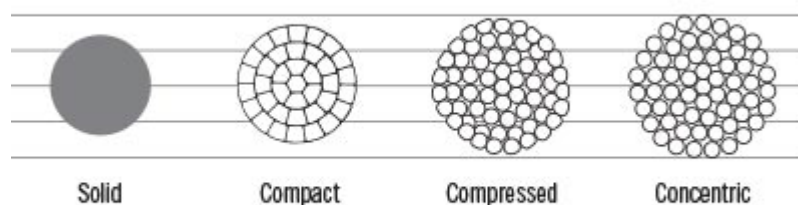
KUVA 2. Havainnollistava kuva johdinluokittelusta (Remmel 2009)

Monisäikeisten johdinten säikeet voivat olla erimuotoisia ja eri tavoin järjestelty. Kompaktoimattomassa johtimessa säikeet ovat pyöreitä ja niiden väliin jää ilmaa. Kompaktissa johtimessa säikeet on muotoiltu ja puristettu yhteen niin, että väliin ei jää juuri yhtään ilmaa vaan johtimen halkaisija on vain hieman suurempi kuin yksisäikeisen johtimen. Kompaktoimaton johdinkin voidaan puristaa tiiviimmäksi, jolloin säikeiden väliin jää vähemmän ilmaa ja halkaisija on pienempi. Säikeet voidaan myös järjestää esimerkiksi keskitetysti niin, että yksi säie on keskellä ja seuraava kerros säikeitä rakentuu sen ympärille ja niin edespäin kerros kerrallaan.

Kuvassa 3 on havainnollistettu kompaktin ja kompaktoimattoman johtimen ero. Kuvassa 4 on havainnollistettu yksisäikeisen, kompaktin, puristetun ja keskitetyn kaapelin kokoeroja.



KUVA 3. Perinteinen ja kompakti monisäikeisen johdin (Gustav Klauke GmbH 2016)



KUVA 4. Erityyppisten johdinten kokoeroja (Anixter)

IEC 60228 standardin mukaan johdinten tulee olla kuparia, pinnoitettua kuparia, alumiinia tai alumiiniseosta. Pinnoitteena voidaan käyttää esimerkiksi tinaa tai tinaseosta. Yksisäikeisten kupari- ja alumiinijohdinten on oltava poikkileikkaukseltaan pyöreitä. Monisäikeisten alumiinijohdinten 10 mm<sup>2</sup>:stä 35 mm<sup>2</sup>:iin tulee olla poikkileikkaukseltaan pyöreitä, suuremmat monisäikeiset alumiinijohtimet voivat olla pyöreitä tai muun muotoisia. Taulukossa 1 on esitetty suurimmat sallitut halkaisijat eri luokkien johtimille. (IEC 2004.)

TAULUKKO 1. Johdinten sallitut enimmäishalkaisijat (IEC 2004)

Nimellinen poikkipinta-ala (mm <sup>2</sup> )	Johtimen halkaisija (mm)		
	Johtimet kiinteisiin asennuksiin		Taipuisat johtimet Class 5 ja 6
	yksisäikeinen Class 1	monisäikeinen Class 2	
0,5	0,9	1,1	1,1
0,75	1	1,2	1,3
1	1,2	1,4	1,5
1,5	1,5	1,7	1,8
2,5	1,9	2,2	2,4
4	2,4	2,7	3
6	2,9	3,3	3,9
10	3,7	4,2	5,1
16	4,6	5,3	6,3
25	5,7	6,6	7,8
35	6,7	7,9	9,2
50	7,8	9,1	11
70	9,4	11	13,1
95	11	12,9	15,1
120	12,4	14,5	17
150	13,8	16,2	19
185	15,4	18	21
240	17,6	20,6	24
300	19,8	23,1	27
400	22,2	26,1	31
500	-	29,2	35
630	-	33,2	39
800	-	37,6	-
1000	-	42,2	-

Taulukosta 1 nähdään, että nimelliseltä poikkipinta-alaltaan samankokoisten johdinten halkaisijassa saattaa olla suuriakin eroja riippuen johtimen tyypistä. Tästä johtuen kaikki nimellisesti samankokoiset johtimet eivät välttämättä mahdu samoihin kaapelikenkiin ja toisaalta voivat olla liian väljiä. Lasketaan esimerkkinä 95 mm<sup>2</sup>:n luokan 1 yksisäikeisen johtimen ja luokan 5 taipuisan johtimen suurinta sallittua halkaisijaa vastaavat poikkipinta-alat kaavalla 1.

$$A_{\text{class 5}} = \frac{\pi}{4} \cdot (15,1 \text{ mm})^2 = 179,0786 \text{ mm}^2 \approx 179 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{class 1}} = \frac{\pi}{4} \cdot (11 \text{ mm})^2 = 95,033 \text{ mm}^2 \approx 95 \text{ mm}^2$$

Kaapeleiden GENELEC-tyyppimerkinnästä käy ilmi kaapelin standardinmukaisuus, nimellisjännite, eristemateriaalit, ja johdinluokka (SFS 4680). Kuvassa 5 on esitetty kaapelimerkintöjen tarkoituksia.

-H = harmonisoitu	-01= 100 V -03= 300/300 V -05 = 300/500 V -07= 450/750 V	-B=EPR kumi -R= synteettinen kumi -S= Silikoni -V = PVC 70 ast. -V2= PVC 90 ast. -V3=PVC alhaiset lämpötilat	D= hitsausjohdin hienosäikeinen E= erittäin hienosäikeinen hitsausjohdin F= hienosäikeinen H= erittäin hienosäikeinen (luokka 6) K = hienosäikeinen (luokka 5) R= harvasäikeinen (luokka 2) I= lanka (luokka 1)
-------------------	---	---	---

KUVA 5. Esimerkkejä johdinmerkintöjen tarkoitukset (Karlsson 2016b)

Kuvaa 5 tutkimalla nähdään, että esimerkiksi merkintä ”H 05 V2 – K” tarkoittaa, että kaapeli täyttää harmonisoidun kaapelityypin standardin vaatimukset, kaapelin nimellisjännite on 300/500 V, kaapelin eriste on PVC-seosta enintään 90 °C jatkuvaan käyttölämpötilaan, ja johtimet ovat hienosäikeisiä luokan 5 johtimia. Nimellisjännitteessä 300 V tarkoittaa vaihejännitettä ja 500 V tarkoittaa vaiheiden välistä jännitettä. (SFS 4680.)

### 4.3 AWG ja MCM -mitoitukset

AWG eli American Wire Gauge on Pohjois-Amerikassa käytetty johdinten kokostandardi, joka on ollut käytössä vuodesta 1857. Se tunnetaan myös nimellä Brown & Sharpe wire gauge. AWG-standardissa johtimen koko ilmoitetaan numerolla, joka pienenee johtimen paksuuden kasvaessa.

AWG-standardissa kokojen 36 ja 0000 halkaisijoiden välinen suhde on 1:92. Koosta 36 kokoon 0000 on 40 johdinkokoa, tai toisin ajateltuna 39 porrasta. Kokoa 0 suuremmat koot, kuten 0000 voidaan ilmaista myös merkintätavalla 4/0. Johtimen halkaisijan suhde edellisen koon johtimen halkaisijaan on  $\sqrt[39]{92} \approx 1,12293$ . Kahden portaan päässä toisistaan olevien johdinten halkaisijoiden suhde on  $1,12293^2 \approx 1,26098$ . AWG-standardin

johdinten halkaisijat millimetreinä voidaan laskea kaavalla 2. Kokoa 0 suurempien johdinten halkaisija lasketaan siten, että kaavaan sijoitetaan  $n = 1 - m$ , kun  $m$  on nollien lukumäärä kokomerkinässä.

$$d_n = 92^{\frac{36-n}{39}} \cdot 0,127 \text{ mm} = e^{2,1104-0,11594 \cdot n} \text{ mm} \quad (2)$$

AWG-standardin johdinten poikkipinta-alojen määrittämiseen voidaan käyttää pyöreän johtimen pinta-alan kaavaa 1 tai laskea ne suoraan AWG-koosta kaavalla 3:

$$A_n = 92^{\frac{36-n}{19,5}} \cdot 0,012668 \text{ mm}^2 \quad (3)$$

Kaavoissa 2 ja 3:

$n$  on AWG-standardin mukainen johtimen koko,

$d_n$  on  $n$ -kokoisen johtimen halkaisija,

$A_n$  on  $n$ -kokoisen johtimen poikkipinta-ala,

Lasketaan esimerkiksi AWG-kokojen 36 ja 0000 halkaisijat ja poikkipinta-alat kaavoilla 1, 2 ja 3.

$$d_{36} = e^{2,1104-0,11594 \cdot 36} \text{ mm} = 0,127016 \text{ mm} \approx 0,127 \text{ mm}$$

$$A_{36} = \frac{\pi}{4} \cdot (0,127016 \text{ mm})^2 = 0,0126709 \text{ mm}^2 \approx 0,0127 \text{ mm}^2$$

$$A_{36} = 92^{\frac{36-(36)}{19,5}} \cdot 0,012668 \text{ mm}^2 = 0,012668 \text{ mm}^2 \approx 0,0127 \text{ mm}^2$$

$$d_{0000} = e^{2,1104-0,11594 \cdot (-3)} \text{ mm} = 11,684 \text{ mm} \approx 11,7 \text{ mm}$$

$$A_{0000} = 92^{\frac{36-(-3)}{19,5}} \cdot 0,012668 \text{ mm}^2 = 107,219 \text{ mm}^2 \approx 107 \text{ mm}^2$$

$$A_{0000} = \frac{\pi}{4} \cdot (11,684 \text{ mm})^2 = 107,22195 \text{ mm}^2 \approx 107 \text{ mm}^2$$

Circular mil on tuumamitoissa käytetty ympyrän pinta-alan mitta. Yksi mil on tuuman tuhannesosa eli 0,0254 mm. Ympyrän, jonka halkaisija on yksi mil, pinta-ala on yksi circular mil. Pinta-ala circular mil -yksikkönä saadaan laskettua kaavalla 4.

$$A = d^2 \quad (4)$$

Kaavassa 4:

$A$  on ympyrän pinta-ala, circular mil,

$d$  on ympyrän halkaisija, mil.

Kcmil-mittaa käytetään muun muassa Kanadassa ja Yhdysvalloissa määrittämään AWG 0000 -kokoja suurempien johtimien kokoja. AWG 0000 -koon jälkeen ensimmäinen kcmil-koko on 250 kcmil, joka voidaan ilmaista myös 250 MCM tai 250 000 circular mils. Yksi kcmil tai MCM tarkoittaa siis tuhatta circular millia. Tämä käy ilmi myös kaavasta 5.

$$1 \text{ kcmil} = 1 \text{ MCM} = 1000 \text{ circular mils} \quad (5)$$

Määritetään koon 250 kcmil -johtimen poikkipinta-ala neliömillimetreinä käyttäen kaavoja 4 ja 5.

$$d = \sqrt{A} = \sqrt{250 \text{ kcmil}} = 500 \text{ mils} = 0,5 \text{ tuumaa} = 12,7 \text{ mm}$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (12,7 \text{ mm})^2 = 126,6787 \text{ mm}^2 \approx 127 \text{ mm}^2$$

AWG- ja kcmil-mitotettujen johdinten kokoja on esitetty ja muunnettu IEC 60228 -standardin mukaisiin mittoihin taulukossa 2.



TAULUKKO 2. AWG- ja kcmil-mittojen muuntotaulukko IEC kokoihin (IEC 2004)

AWG				kcmil			
AWG-koko	Nimellinen poikkipinta-ala mm <sup>2</sup>	AWG-koko	Nimellinen poikkipinta-ala mm <sup>2</sup>	kcmil-koko	Nimellinen poikkipinta-ala mm <sup>2</sup>	kcmil-koko	Nimellinen poikkipinta-ala mm <sup>2</sup>
-	-	-	-	250	127	750	380
-	-	-	-	300	152	800	405
20	0,519	4	21,2	350	177	900	456
18	0,823	3	26,7	400	203	1000	507
16	1,31	2	33,6	450	228	1200	608
14	2,08	1	42,4	500	253	1250	633
12	3,31	1/0	53,5	550	279	1500	760
10	5,26	2/0	67,4	600	304	1750	887
8	8,37	3/0	85,0	650	329	2000	1010
6	13,3	4/0	107	700	355	-	-

## 5 KAAPELIKENGÄT JA NIIDEN PURISTUS

### 5.1 Levy- ja putkikaapelikengät

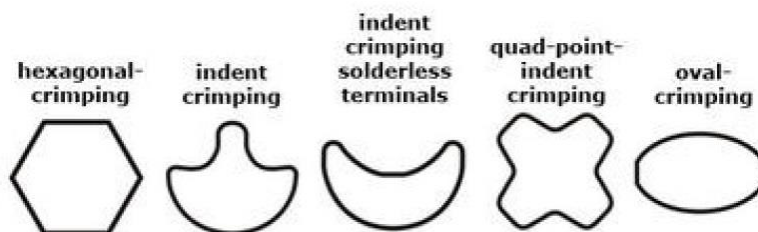
Kaapelikengät ovat hyvä tapa tehdä turvallisia ja luotettavia liitoksia. Kaapelikengät voidaan jakaa valmistustavan perusteella kahteen päätyyppiin, jotka ovat levykaapelikengä ja putkikaapelikengä. Sandvikin tuotteet menevät lähes kaikki vientiin Suomen ulkopuolelle. Tästä johtuen kansainvälisesti tunnetut liitännätavat ja osien saatavuus globaalisti ovat tärkeitä.

Levykaapelikengä valmistetaan levystä leikkaamalla, taivuttamalla ja hitsaamalla. Levykaapelikengät ovat fyysiseltä kooltaan pieniä, joten ne mahtuvat ahtaisiin paikkoihin. Ne ovat kuitenkin rakenteeltaan heikompia kuin putkikaapelikengät, mikä aiheuttaa ongelmia muun muassa mekaanisen kestävyuden ja virrankeston suhteen. (Remmel 2008b.)

Putkikaapelikengä valmistetaan putkesta leikkaamalla ja litistämällä. Rakenteeltaan ne ovat huomattavasti vahvempia kuin levykaapelikengät, joten ne ovat myös mekaanisesti kestävämpiä ja niillä on parempi virranjohtokyky. Niillä on myös erittäin hyvä saatavuus maailmanlaajuisesti. Putkikaapelikengät ovat usein fyysiseltä kooltaan suuria, joten ne eivät välttämättä mahdu ahtaisiin kohteisiin. Niiden koko kuitenkin vaihtelee eri valmistajilla. (Remmel 2008b.)

### 5.2 Puristustekniikat

Kaapelikengien puristustekniikoita on monenlaisia. Kuvassa 6 on esitetty puristustekniikoiden poikkileikkauksia.



KUVA 6. Kaapelikengien eri puristustekniikat (Remmel 2009)

”Hexagonal crimping” eli kuusikulmiopuristus on kenties yleisimmin käytetty tekniikka, koska se soveltuu sekä kupari, että alumiinijohtimille. Se soveltuu luokkien 2, 5 ja 6 johtimille. Kuusikulmiopuristuksessa puristusvoima jakautuu tasaisesti joka suunnalta. Tämän ansiosta johtimen säikeet puristuvat tasaisesti eivätkä vahingoitu. Kuusikulmiopuristuksia on DIN 48083 -standardin mukaisia sekä valmistajakohtaisia. Kuusikulmiopuristuksella ei tavallisesti saada aikaan kaasutiivistä liitosta. Kaasutiivis liitos vaatii täydellisesti johtimen ja kaapelikengän materiaaliin ja mittoihin sopivat puristusleuat ja sitä varten on yleensä oma tuotesarjansa.. Kuvassa 7 on esitetty kuusikulmiopuristettu putkikaapelikengä. (Remmel 2010, 2009)

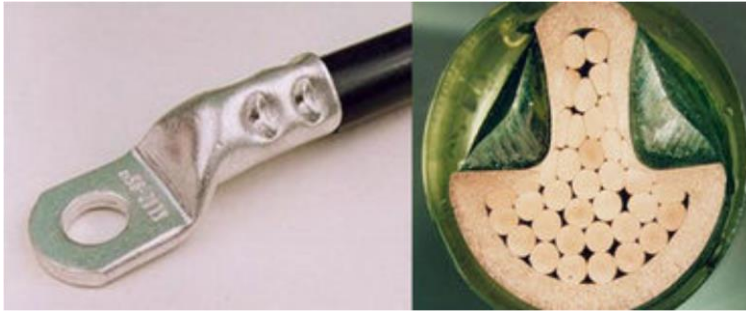


KUVA 7. Kuusikulmiopuristettu putkikaapelikengä (Remmel 2009)

”Indent crimping” eli tuurnapuristustekniikoita on erilaisia. Kuvassa 8 on esitetty levykaapelikengille suositeltu tuurnapuristus. Kuvassa 9 on esitetty kaksoistuurnapuristus. Tuurnapuristukset soveltuvat luokkien 2, 5 ja 6 kuparijohtimille jopa 400 mm<sup>2</sup>:iin asti. Tuurnapuristuksissa itse puristus on yksinkertainen tapahtuma ja usein voidaan käyttää käsikäyttöisiä työkaluja eikä välttämättä tarvita sähkö- ja hydraulikkapuristimia. Tuurnapuristusta käytetään usein silloin kun ei olla varmoja, mitä kaapelikengää ollaan puristamassa ja mikä olisi oikea tapa puristaa. (Remmel 2009.)

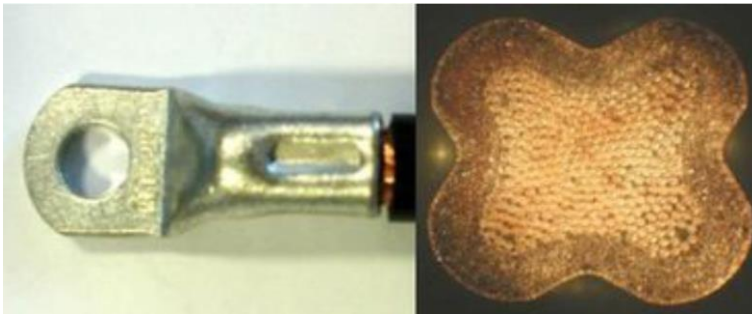


KUVA 8. Tuurnapuristettu levykaapelikengä (Remmel 2009)



KUVA 9. Kaksoistuurnapuristettu putkikaapelikengä (Remmel 2009)

”Quad-point-indent crimping” eli nelipistetuurnapuristustekniikka soveltuu luokkien 2, 5 ja 6 johtimille  $10 \text{ mm}^2$ :stä  $300 \text{ mm}^2$ :iin. Nelipistetuurnapuristuksen etu normaaliin tuurnapuristukseen on puristusvoiman tasainen jakautuminen. Tässä tekniikassa ei myöskään tarvita eri puristusleukoja erikokoisille kaapelikengille vaan samalla puristustyökalulla voidaan puristaa kaikki kaapelikengät. Puristukseen vaikuttaa vain puristusvoima ja käytetyn työkalun laatu. Työkalulla puristetaan kunnes haluttu puristusvoima on saavutettu riippumatta kaapelikengän koosta. Kuvassa 10 on esitetty nelipistetuurnapuristettu putkikaapelikengä. (Remmel 2009)



KUVA 10. Nelipistetuurnapuristettu putkikaapelikengä (Remmel 2009)

Kaasutiiviillä liitoksella tarkoitetaan, että johdin ja kaapelikengä puristuvat yhteen niin tiukasti, että säikeiden väliin ei jää lainkaan ilmaa. Tämän ansioista nesteet ja kaasut eivät pääse liitoksen väliin normaaleissa olosuhteissa ja säikeiden hapettuminen estyy. Kaasutiiviillä liitoksella saadaan myös mahdollisimman pieni ylimenovastus liitokseen. Kaasutiiviin liitoksen voi saada aikaan esimerkiksi ovaalipuristuksella. Kaasutiivis ovaalipuristus on esitetty kuvassa 11. Kuvasta nähdään, että säikeiden välissä ei ole lainkaan havaittavia koloja. (Remmel 2009.)



KUVA 11. Kaasutiivis ovaalipuristus

### 5.3 Puristustyökalut

Kaapelikenkien puristustyökaluja on käsikäyttöisiä, sähkötoimisia, hydraulisia ja paineilmatoimisia. Työkaluja on myös kannettavia ja kiinteästi asennettavia. Kiinteästi asennettavat työkalut ovat hyviä, jos työkalua ei tarvitse siirtää ja toistoja tehdään paljon. Kannettavat työkalut ovat helposti siirrettäviä ja usein halvempia kuin kiinteästi asennettavat. (IEEE Globalspec 2016a.)

Käsikäyttöiset työkalut voivat olla kannettavia tai kiinteästi asennettavia. Kannettavat työkalut ovat helposti siirrettävä ja halpoja, mutta kiinteästi asennettavien työkalujen käyttö vaatii usein huomattavasti vähemmän voimaa. Hydraulisissa työkaluissa pumpataan käsivoimin hydraulikkaöljyä, joka tekee puristuksen. Hydraulisten työkalujen käyttö vaatii huomattavasti vähemmän voimaa kuin tavallisten käsikäyttöisten työkalujen. Paineilmakäyttöiset työkalut ovat käteviä ja vaivattomia, mutta vaativat paineilmaliiitännän. (IEEE Globalspec 2016a.)

Sähkökäyttöiset kiinteästi asennettavat puristustyökalut kykenevät erittäin nopeaan puristustahtiin ja puristuksista saadaan tasalaatuisia. Ne ovat kuitenkin usein kalliita ja hankalia siirtää. Ne ovat hyviä, jos kaikki puristukset voidaan tehdä samassa paikassa. Akkukäyttöiset, kannettavat puristustyökalut ovat helposti siirrettäviä ja niillä saadaan tehdä tasalaatuisia puristuksia. Työskentely on myös nopeampaa kuin käsikäyttöisillä työkaluilla. Akkukäyttöiset puristustyökalut ovat usein kuitenkin kalliimpia kuin käsikäyttöiset työkalut. Kuvassa 12 on esimerkit käsikäyttöisestä, hydraulisesta ja akkukäyttöisesti puristimesta. Kuvassa 13 on esimerkit kiinteästi asennettavasta automatisoidusta paineilmapuristimesta ja kiinteästi asennettavasta käsikäyttöisestä puristimesta. (IEEE Globalspec 2016a.)



KUVA 12. Käsikäyttöinen, hydraulinen ja akkukäyttöinen puristin (Gustav Klauke GmbH 2014)



KUVA 13. Esimerkki kiinteästi asennettavasta automatisoidusta paineilmapuristimesta ja kiinteästi asennettavasta käsikäyttöisestä puristimesta (Quick Cable Corporation 2016)

Nykyaikaisissa akkukäyttöisissä puristustyökaluissa on puristusten lukumäärän laskuri joka havaitsee ja laskee onnistuneiden ja epäonnistuneiden puristusten lukumäärät. Näitä voidaan tutkia tietokoneella. Laskurin perusteella puristustyökalu myös ilmoittaa huollon



tarpeesta tehtyjen puristusten lukumäärän perusteella. Esimerkiksi Klauken akkukäyttöisten puristustyökalujen huoltoväli on 3 vuotta tai 10 000 puristusta. Työkaluille suositellaan kuitenkin tarkistushuoltoa vuosittain. Huoltoaika on noin kaksi viikkoa. (Cablex Oy 2013; Karlsson 2016c.)

#### 5.4 Puristaminen

Puristusliitosta tehtäessä tärkeitä asioita ovat puristusten oikea lukumäärä ja järjestys. Puristusten määrä riippuu kaapelikengän koosta ja puristusleukojen leveydestä. Puristustyökalujen valmistajilla on ohjeet puristusten lukumäärästä erikokoisille kengille erikokoisilla puristusleuoilla. Kuvassa 14 on esitetty oikea puristusjärjestys. Puristaminen tulee siis suorittaa niin, että ensimmäinen puristus suoritetaan kaapelikengän johdintunnelin loppupäähän, jossa johtimen säikeiden päät ovat. Siitä lähdetään tekemään puristuksia kohti johdintunnelin alkupäätä. Tämä johtuu siitä, että puristuksia tehtäessä kaapelikengä hieman venyy pituussuunnassa. Jos puristukset aloitettaisiin johdintunnelin alkupäästä, jäisi loppuun tyhjää tilaa, ja viimeinen puristus saattaisi puristaa pelkkää ilmaa kengän sisällä eikä siis välttämättä puristaisi enää johtimen säikeitä lainkaan.

(Karlsson 2016c)



KUVA 14. Puristusjärjestys (Karlsson 2016b)

Puristettaessa pitää myös varmistua, että käytetyt puristusleuat ovat yhteensopivat kaapelikengän kanssa. Erityyppisille kaapelikengälle tarkoitettujen puristusleuat eivät ole yhteensopivia keskenään. Eri kaapelikengätyyppien erilaisen mitoituksen takia väärillä puristusleuoilla tehty puristus saattaa jäädä liian löysäksi tai puristua liian tiukasti. Puristus-

leukoja on myös eri levyisiä, ja leukojen leveys vaikuttaa puristusten määrään. Valmistajilla on ohjeet eri levyisillä leuoilla tehtävien puristusten määrästä. (Karlsson 2016a, 2016c.)



## 6 KAAPELIKENKÄTYYPIT JA VALMISTAJAT

### 6.1 Kaapelikenkästandardit

Standard-type on Saksalaiseen VDE-normiin perustuva yleisesti tunnettu mitoitusnormi. DIN on saksalainen standardointi-istituutti, jonka standardien mukaisia kaapelikenkiä on yleisesti käytössä Euroopassa. SEN on ruotsalainen kansallinen standardi. DIN-standardien mukaisia kaapelikenkiä on saatavilla muun muassa Klauken ja Elpressin valmistamina. SEN-standardin mukaisia kaapelikenkiä valmistaa muun muassa Elpress ja Ouneva. (Karlsson 2016a.)

### 6.2 Kaapelikenkävalmistajat

Klauke on saksalainen yritys, joka muun muassa valmistaa kaapelikenkiä ja niihin liittyviä työkaluja. Suomessa Klauken tuotteita toimittaa ja huoltaa muun muassa Cablex Oy.

Kuvassa 15 on esitetty Klauken kolme eri kaapelikenkätyyppiä. Vasemmalla on DIN 46235 -standardin mukainen kaapelikenkä, jossa on myös merkattu tarvittavien puristus-ten määrä eri levyisillä puristusleuoilla. Keskellä on Klauken standard-tyyppin putkikaapelikenkä. Klauken standard-tyyppin kaapelikenkä tunnetaan myös R-tyyppin kaapelikenkänä. Oikealla on levykaapelikenkä, joka on DIN 46234 -standardin mukainen. Klauken F-tyyppin kaapelikengissä (kuva 16) on suurempi varren halkaisija ja levitetty kaulus. Klauke suosittelee niiden käyttämistä luokkien 5 ja 6 johtimien kanssa. Ainakin Klauken Standard-tyyppin ja F-tyyppin kaapelikenkiä on saatavilla myös 45° ja 90 ° kulmilla. (Remmel 2008b; Gustav Klauke GmbH 2014.)

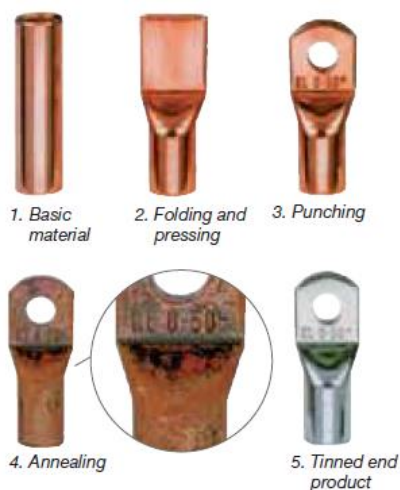


KUVA 15. Klauken DIN 46235, Standard-type ja DIN 46234 -kaapelikengät (Remmel 2008b)



KUVA 16. Klauken F-tyypin kaapelikengä (Gustav Klauke GmbH 2016)

Klauken putkikaapelikengien valmistusprosessi on esitelty kuvassa 17. Alussa on putki, joka sitten taitellaan ja puristellaan kaapelikengän muotoon. Tämän jälkeen kenkä muotoillaan lopulliseen muotoonsa. Sen jälkeen seuraa Klauken erikoisuus kaapelikengävalmistuksessa eli kenkien lämpökäsittely. Klauken kupariset kaapelikengät lämpökäsitellään, minkä ansiosta ne rasittavat puristustyökaluja vähemmän vaatiin pienemmän puristusvoiman. Lämpökäsittely myös vähentää putkesta muotoillun kaapelikengän taipumusta yrittää palautua takaisin putken muotoon. Lämpökäsittelyn jälkeen kaapelikengät vielä päällystetään tinalla korroosion vähentämiseksi. (Gustav Klauke GmbH 2014)



KUVA 17. Klauken putkikaapelikengien valmistusprosessin välivaiheet (Gustav Klauke GmbH 2014)

Ouneva on suomalainen sähköteollisuuden liitinvalmistaja, joka muun muassa valmistaa ja toimittaa kaapelikenkiä. Ouneva ei valmista puristustyökaluja, mutta muilta valmistajilta, kuten Klaukelta ja Elpressiltä löytyy Ounevan kaapelikengille sopivia puristustyökaluja ja -leukoja.

Ounevan kaapelikengät on valmistettu kuparista ja pinnoitettu elektrolyyttisesti tinalla. Ounevan PK- ja PKD-kaapelikenkien puristamiseen voidaan käyttää yleisimpiä puristustyökaluja. PK-sarjan kengät sopivat käytettäväksi erityisesti hienosäikeisten johdinten kanssa. PKD-sarjan kengät sopivat harvasäikeisille ja tiivistetyille johtimille. PKD-sarjan kengissä on pienempi varren halkaisija kuin PK-sarjan kengissä. PKK-sarjan kengät ovat kulmakaapelikenkiä 90° tai 45° kulmalla. PKK-sarjan kenkien puristamiseen voidaan käyttää samoja työkaluja kuin PK-sarjan kengille. Ounevalla on myös selkeät puristusohjeet ja kiristysmomentti ohjeet eri kaapelikenkätyypeilleen. (Ouneva Group 2016.)

Kuvassa 18 on esitetty vasemmalla Ounevan PK-sarjan kaapelikenkiä ja oikealla PKD-sarjan kaapelikenkiä. Kuvassa 19 on esitetty PKK-sarjan kaapelikenkiä 90° ja 45° kulmilla.



KUVA 18. Ouneva PK- ja PKD-sarjojen kenkiä (Ouneva Group 2016)



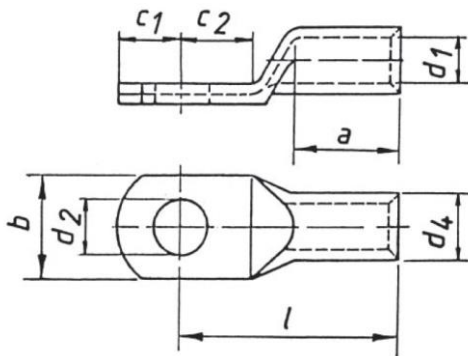
KUVA 19. Ouneva PKK-sarjan kenkiä 90° ja 45° kulmilla (Ouneva Group 2016)

Elpress AB on ruotsalainen yritys, joka on puristusliitosjärjestelmien markkinajohtaja Pohjoismaissa.. Elpressillä on laaja valikoima erilaisia kaapelikenkiä ja työkaluja.

Weitkowitz Kabelschuhe und Werkzeuge GmbH on yksi Saksan johtavista kaapelikenkien ja niihin liittyvien työkalujen valmistajista. Weitkowitzin kaapelikenkiä ja työkaluja Suomeen toimittaa muun muassa OEM Automatic. Sofamel S.L. on espanjalainen yritys, joka muun muassa valmistaa kaapelikenkiä. Suomessa Sofamelin tuotteita edustaa Eurolaite Oy.

### 6.3 Kaapelikenkien mittoja

Taulukkoon 3 on kerätty eri valmistajien kaapelikenkien kokoja. Kuvassa 20 on havainnollistettu taulukossa 3 käytettyjä mittoja. Mitat on kerätty tuoteluetteloista.



KUVA 20. Havainnollistava kuva taulukossa 3 esitetyistä kaapelikenkien mitoista (Gustav Klauke GmbH 2014)

TAULUKKO 3. M8 pultin reiällä olevien 50 mm<sup>2</sup> kaapelikenkien mittoja eri valmistajilta (Gustav Klauke GmbH 2014; Ouneva Group 2016; Elpress AB)

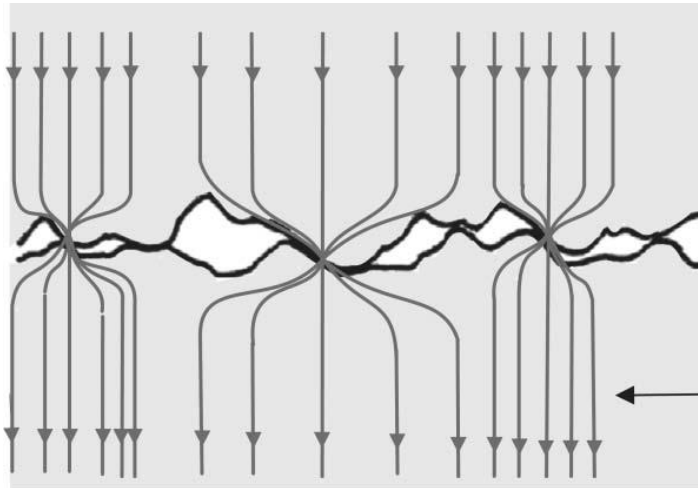
Valmistaja	Tyyppi	Sisähalkaisija $d_1$ (mm)	Ulkohalkaisija $d_4$ (mm)	Johdintunnelin pituus $a$ (mm)	Pituus $l$ (mm)	Leveys $b$ (mm)
Klauke, Elpress, Weitkowitz, Sofamel	DIN 46234 Levykenkä	11	Ei ilmoitettu	16	34	18
Klauke (toimittaja mm. Cables)	Blue connection	9,2	12,4	11	31	19
	Standard type	10	14	19	37	20
	Standard Type kapea	10	14	19	37	17
	F-series	11	15	21	41	21
Klauke, Elpress, Weitkowitz, Sofamel	DIN 46235	10	14,5	28	52	20
Ouneva	PK	11	14,5	Ei ilmoitettu	40	21
	PKD	10	14	Ei ilmoitettu	38,5	21
Elpress	KRF	11	Ei ilmoitettu	Ei ilmoitettu	39	21
	KRT	10	Ei ilmoitettu	Ei ilmoitettu	42	20
	KRD	9,5	Ei ilmoitettu	Ei ilmoitettu	35,5	18
	KRFN	11	14,5	Ei ilmoitettu	40	18
Weitkowitz (toimittaja mm. OEM)	Standard-series	9,6	13,1	18	37	19
	Euro-series	10	14	19	39	20
	For flexible cables	11,2	14,8	21	42	22
	Kapea, for flexible cables	11	14,8	21	41	17
	Kapea, Euro-series	10	14	19	39	17

Verrataan taulukossa 3 esitettyjen kaapelikenkien johdintunnelin sisähalkaisijoita taulukossa 1 esitettyihin maksimihalkaisijoihin 50 mm<sup>2</sup> johtimelle. Luokkien 5 ja 6 nimelliseltä poikkipinta-alaltaan 50 mm<sup>2</sup> johdinten suurin sallittu halkaisija on 11 mm. Voidaan siis todeta, että kaikki luokkien 5 ja 6 johtimet, joiden nimellinen poikkipinta-ala on 50 mm<sup>2</sup> eivät mahdu kaikkiin 50 mm<sup>2</sup> johtimelle tarkoitettuihin kaapelikenkiin. Toisaalta taas johtimille ei ole suoranaisesti määritelty pienintä sallittua halkaisijaa, joten sisähalkaisijaltaan suurimmat kengät eivät välttämättä puristu riittävän tiiviisti kaikkiin johtimiin. Taulukosta 3 havaitaan myös, että Klauke Standard type, Ouneva PKD ja Weitkowitz Euro-series kaapelikengät ovat ainakin johdintunnelin koon osalta hyvin lähellä toisiaan. Sandvikilla tehdyssä vetotestissä havaittiin, että Klauken Blue connection kaapelikengät olivat liian pieniä joillekin käytetyille johtimille.

## 7 PULTTILIITOS

### 7.1 Liitospinnat

Pulttiliitoksessa kaksi metallia liitetään pultilla yhteen sähkön johtamiseksi. Silmämääräisesti katsottuna liitospinnat voivat olla sileitä, mutta lähemmin tarkasteltuna liitos näyttää kuvan 21 mukaiselta. Kuvasta nähdään, että metallien näennäisestä sileydestä huolimatta liitospinnat ovat epätasaisia. Epätasaisuudesta johtuen vain pienet osat liitosmateriaalien pinnoista koskettavat toisiaan. Kuvassa 21 harmailla nuolilla on havainnollistettu sähkövirtaa. Kuvasta nähdään, että virta joutuu liitoskohdassa kulkemaan hyvin kapeita reittejä. (Braunovic, Konchits & Myshkin 2006.)



KUVA 21. Periaatekuva kahden metallin sähköliitoksesta (Braunovic, Konchits & Myshkin 2006.)

Kuvassa 21 havainnollistetaan, kuinka liitosmateriaalien väliin jää koloja. Näihin koloihin jää ilmaa, joka voi aiheuttaa korroosiota liitosmateriaaleissa. Tätä voidaan ehkäistä käyttämällä liitospinnoilla suoja-ainetta, joka täyttää liitospintojen epätasaisuudet, jolloin materiaalien väliin ei pääse jäämään ilmaa. Liian suuri määrä suoja-ainetta voi kuitenkin heikentää liitoksen sähkönjohtavuutta. (Braunovic, Konchits & Myshkin 2006.)

## 7.2 Aluslevyt

Liitettäessä kaapelikenkiä pulteilla suositellaan aluslaattojen käyttöä, jotta kiristettävä mutteri ja pultti eivät painu pehmeämpää materiaalia olevaan kaapelikenkään, ja puristusvoima jakautuu tasaisemmin kengälle. Tärisevissä olosuhteissa on hyvä käyttää myös esimerkiksi jousialuslevyjä. Kiristysmomentit määräytyvät pulttien momenttiohjeiden mukaan. Sähköliitoksissa ei aina voida kuitenkaan käyttää pulttien ohjeiden mukaisia momentteja. Myös tällöin erilaiset jousi- ja lukitusaluslevyt ovat hyödyksi. (Karlsson 2016a.)

Pulttiliitosten kiinnipysymisen kannalta kaksi asiaa ovat tärkeitä. Nämä asiat ovat värinän ja dynaamisten kuormien aiheuttama spontaani avautuminen sekä asettumisesta ja muovautumisesta aiheutuva löystyminen. Spontaania avautumista vastaan voidaan käyttää lukituslaattoja, joiden kiilalukitus estää pultin itsestään avautumisen. Asettumista ja muovautumista vastaan voidaan käyttää painealuslevyjä, jotka pitävät yllä puristusvoimaa vaikka liitosmateriaalit asettuvat ja muovautuvat. (Nord-Lock Finland Oy 2014.)

### 7.2.1 Jousialuslevyt

Jousialuslevyjen tarkoitus on pitää yllä pulttiliitoksen puristusvoimaa liitoksen mahdollisesta löystymisestä huolimatta. Niiden toiminta perustuu siihen, että pulttia kiristettäessä ne litistyvät, mutta pyrkivät kuitenkin koko ajan palautumaan alkuperäiseen muotoonsa. Tästä johtuen liitosmateriaalien asettuessa ja muovautuessa tai pultin avautuessa hieman, puristusvoima kuitenkin säilyy jousialuslevyn jousivoiman ansiosta. Jousialuslevyjä on erimallisia, joista esimerkkeinä kuvan 22 katkaistu jousialuslevy, aaltoaluslevy ja joustolaatta. (IEEE Globalspec 2016b.)



KUVA 22. Katkaistu jousialuslevy, aaltoaluslevy ja joustolaatta (Würth Elektronik Oy 2016)

Aaltoaluslevyjen tuottama jousivoima on melko pieni. Katkaistu jousialuslevy toimii myös lukituslaattana sen katkaisukohdan kärkien pureutuessa liitosmateriaaleihin kiristyksen yhteydessä. Joustolaatta tuottaa suuremman jousivoiman ja niitä käytetään usein lämpölaajenemiselle altistuvissa asennuksissa. (IEEE Globalspec 2016b.)

### 7.2.2 Lukitusaluslevyt

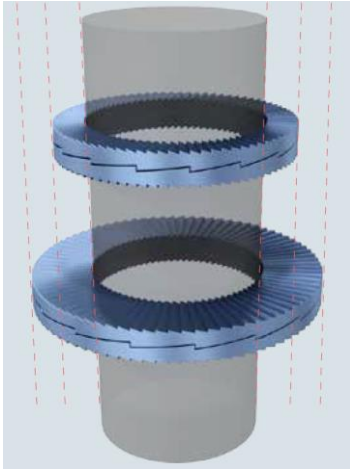
Lukitusaluslevyjen tarkoituksena on estää pulttiliitoksen avautuminen värinästä tai dynaamisesta kuormasta johtuen. Tähtialuslevyjen (kuva 23) ”hampaat” pureutuvat liitosmateriaaleihin ja näin estävät liitoksessa tapahtuvan liikkeen ja avautumisen. (IEEE Globalspec 2016b.)



KUVA 23. Kaksi esimerkkiä tähtialuslevystä (Würth Elektronik Oy 2016)

Lukituslevyparin lukitus perustuu kiilavoimaan. Elementissä on kaksi aluslevyä, jotka on liimattu toisiinsa kiinni. Molempien levyjen sisäpinnalla on kiilat ja ulkopuolella hammastus. Lukitus syntyy kun kierteen nousu on pienempi kuin kiilan nousu. Kuvassa 24 on Nord-Lock lukituslevyparit normaalilla ja suuremmalla ulkohalkaisijalla. (Nord-Lock Finland Oy 2015.)



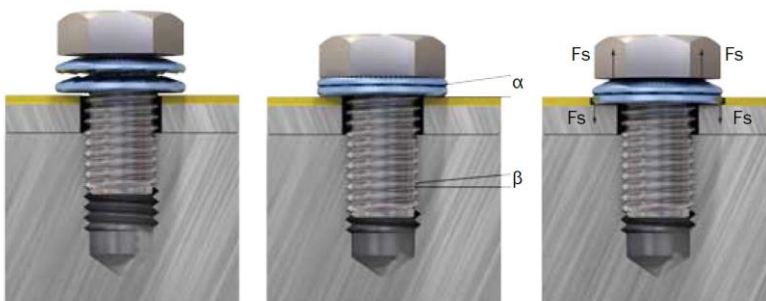


KUVA 24. Nord-Lock lukituslevyparit normaalilla ja suuremmalla ulkohalkaisijalla (Nord-Lock Finland Oy 2015)

Lukituslevyparin kanssa ei saa käyttää muita aluslevyjä. Pehmeiden materiaalien, kuten kuparisten tai alumiinisten kaapelikenkien, yhteydessä suositellaan käytettäväksi suuremmalla halkaisijalla olevaa lukituslevyparia sekä laippakantaista pulttia ja mutteria. (Würth Elektronik Oy 2016.)

### 7.2.3 Yhdistelmäaluslevyt

Nord-Lock X -sarjan lukituslaatassa on yhdistetty jousivoima lukituslevypariin muotoilun avulla. Näin ollen se estää värinän ja dynaamisen kuormituksen aiheuttaman avautumisen ja säilyttää liitoksen puristusvoiman materiaalien muovautumisesta ja asettumisesta huolimatta. Kuvassa 25 on havainnollistettu Nord-Lock X -lukituslaatan toimintaperiaate. (Nord-Lock Finland Oy 2014.)



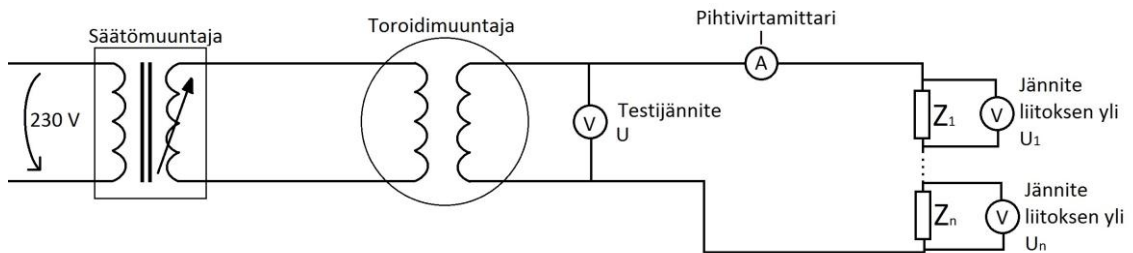
KUVA 25. Nord-Lock X -sarjan lukituslaatan toimintaperiaate (Nord-Lock Finland Oy 2014)

Kuvasta 25 nähdään, kuinka kuperaksi muotoillut lukituslaatat painuvat kasaan kiristetyssä ja pitävät jousivoiman ansiosta liitoksen puristusvoimaa yllä. Samalla kiilavaikutus estää liitoksen avautumisen kiilan nousun ollessa pienempi kuin kierteen nousu. (Nord-Lock Finland Oy 2014.)

## 8 VIRTATESTI

### 8.1 Testijärjestely

Eri kaapelikenkien, puristustekniikoiden ja liitostekniikoiden vertailemiseksi toteutettiin testi Sandvikin laitteistolla. Testissä käytettiin säätömuuntajaa ja toroidimuuntajaa. Säätömuuntajan ensiöön tuli 230 voltin verkkojännite pistorasiasta ja toisio jännite oli säädettävissä. Säätömuuntajan toisio oli kytketty toroidimuuntajan ensiöön. Toroidimuuntajan toisioksi kierrettiin  $50 \text{ mm}^2$  johdinta aluksi 5 kierrosta. Näin toisiojännite jäi turvalliselle, alle yhden voltin tasolle. Säätömuuntajalla säädettiin toroidimuuntajan ensiön jännitettä, ja näin haettiin haluttu testijännite ja -virta liitoksille toroidimuuntajan toisioon. Tutkittavia liitoksia kytkettiin sarjaan toroidimuuntajan toisioon. Näin pystyttiin syöttämään sama virta testattavien liitosten läpi. Testin kytkentä on esitetty kuvassa 26.



KUVA 26. Virtatestin kytkentäkuva

Liitosten läpi kulkeva virta mitattiin Fluke i1010 -virtapihdillä, oli kytketty Fluke 789 -yleismittariin. Virtapihti lähetti virtatiedon jänniteviestinä yleismittarilla muuntosuhteella  $1 \text{ mV/A}$ . Testijännitteitä tarkkailtiin Fluke 77III -yleismittarilla. Lisäksi liitoksia kuvattiin Fluke Ti32 -lämpökameralla ja lämpökuvista seurattiin liitosten lämpötiloja. Liitoksen läpi kulkevasta virrasta ja sen yli olevasta jännitteestä voidaan laskea liitoksen ylimenovastus. Pieni vastus tarkoittaa hyvää liitosta ja suuri vastus tarkoittaa huonoa liitosta. Paljon lämpenevällä liitoksella on korkea ylimenovastus ja vähän lämpenevällä liitoksella on pieni ylimenovastus. Liitosten yli olevia jännitteitä ei pystytty käytössä olleella laitteistolla mittaamaan riittävän tarkasti, että niistä pystyisi päättämään liitosten ylimenovastusten eroja.

Tutkimukseen valittiin  $50 \text{ mm}^2$  johdin. Käyttämällä kaikissa liitoksissa samankokoista johdinta saadaan keskenään vertailukelpoisia tuloksia. Liitokset maalattiin mattamustaksi

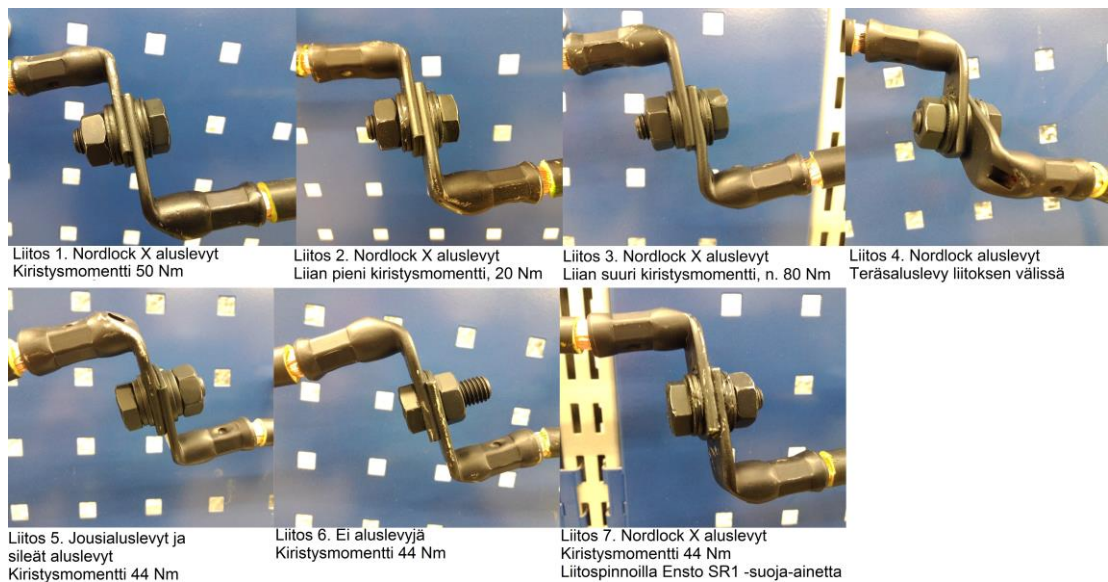
kuumankestävällä spray-maalilla, jotta saatiin lämpökameralla mahdollisimman tarkkoja tietoja liitosten lämpötiloista. Kaapelikenkinä käytettiin Ounevan PKK sarjan 90° kullamalla olevia putkikaapelikenkiä ja Klauken DIN 46234 -standardin mukaisia levykaapelikenkiä. Käytetyt kaapelikengät valittiin niiden hyvän saatavuuden takia. Kaapelikenkien puristustyökaluina käytettiin Klauke EK22 -akkukäyttöistä puristinta ja Elpress T2600-sarjan käsikäyttöistä puristinta. Puristustyökalut on esitetty kuvassa 27. Liitoksissa käytettiin 8.8 lujuusluokan M10 teräspultteja ja -muttereita. Ympäristön lämpötila kaikissa testeissä oli noin 18 °C.



KUVA 27. Testissä käytetyt puristustyökalut

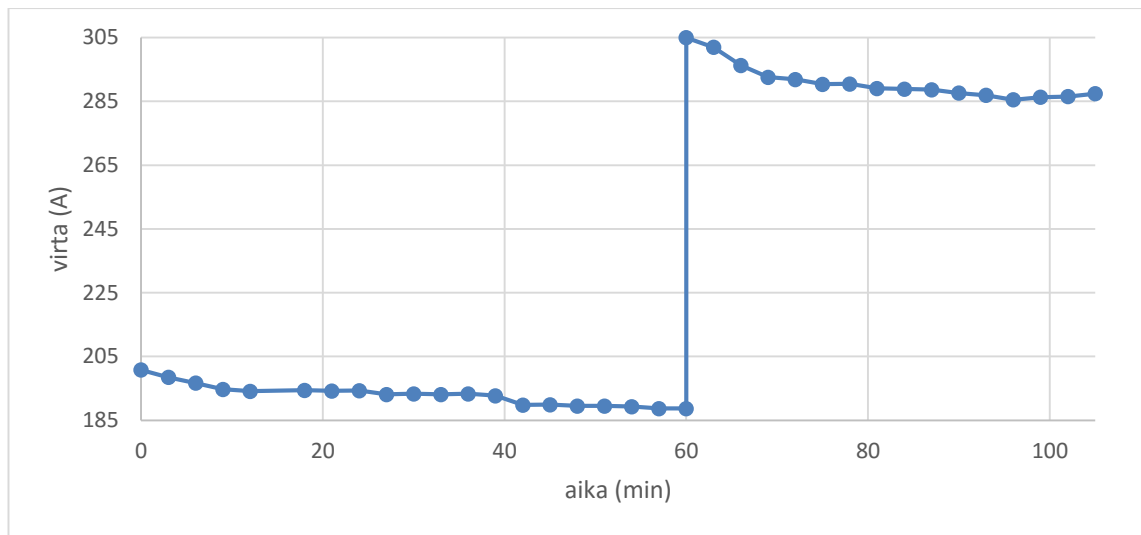
## 8.2 Testi 1

Ensimmäisessä testissä tutkittiin kiristysmomenttien ja erilaisten aluslevyjen vaikutusta kaapelikenkien pulttiliitoksissa. Kaikissa liitoksissa käytettiin tinalla pinnoitettuja, kuparisia Ouneva PKK 90° 50-10F putkikaapelikenkiä. Kaapelikenkien puristuksessa käytettiin Elpress TB14,5 puristusleukoja. Liitokset on esitelty kuvassa 28.

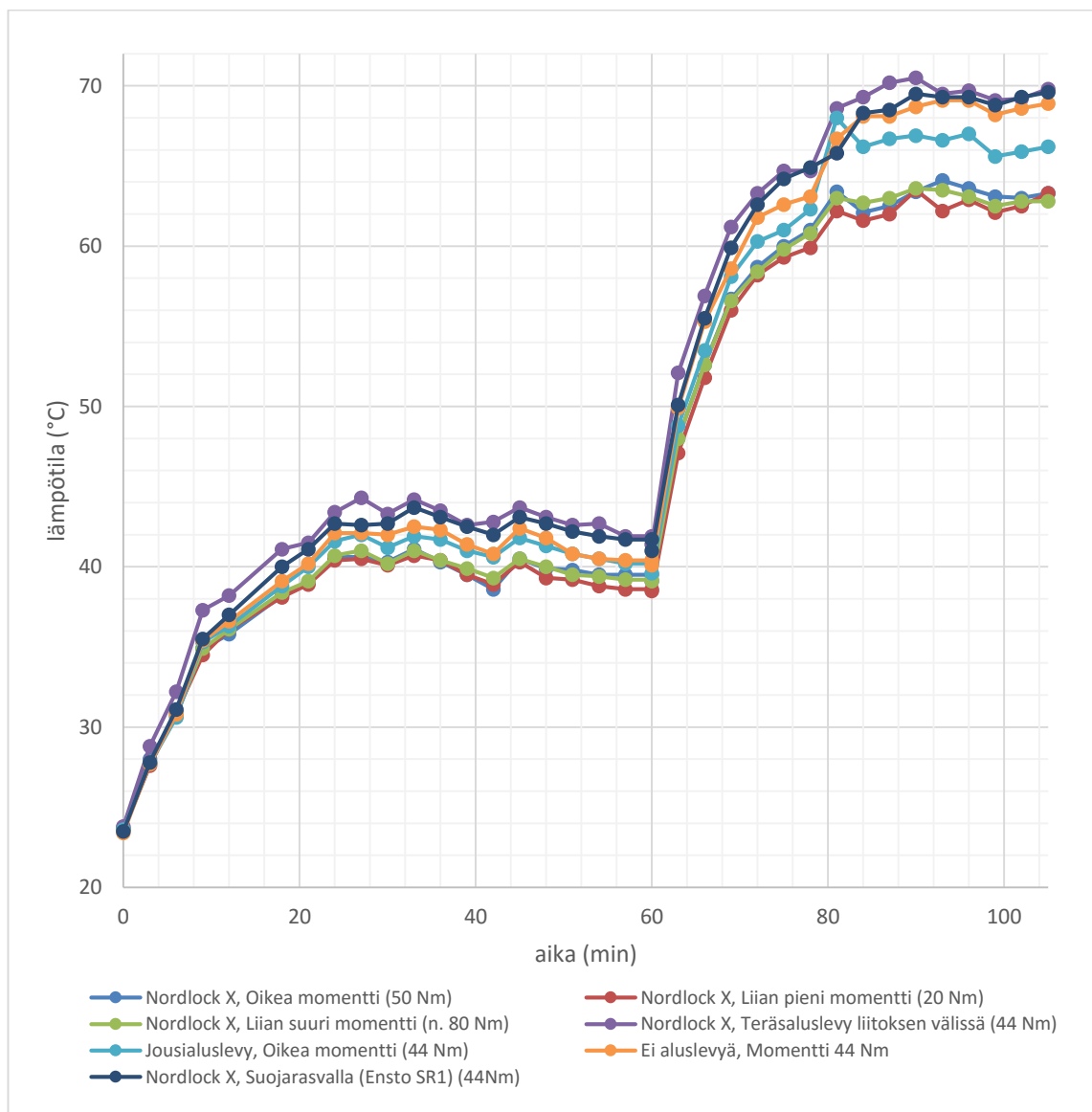


KUVA 28. Testin 1 liitokset

Ensin liitosten läpi kulkeva virta säädettiin noin 200 ampeeriin. Liitoksista otettiin lämpökuva kolmen minuutin välein, kunnes liitosten lämpötila oli tasoittunut. Sen jälkeen virta nostettiin noin 300 ampeeriin, ja liitoksista otettiin jälleen lämpökuva kolmen minuutin välein kunnes liitosten lämpötila oli tasoittunut. Kuviossa 1 on esitetty liitosten läpi syötetty virta ja kuviossa 2 on esitetty liitosten lämpötilat.



KUVIO 1. Virta ajan funktiona testin 1 ensimmäisessä osassa

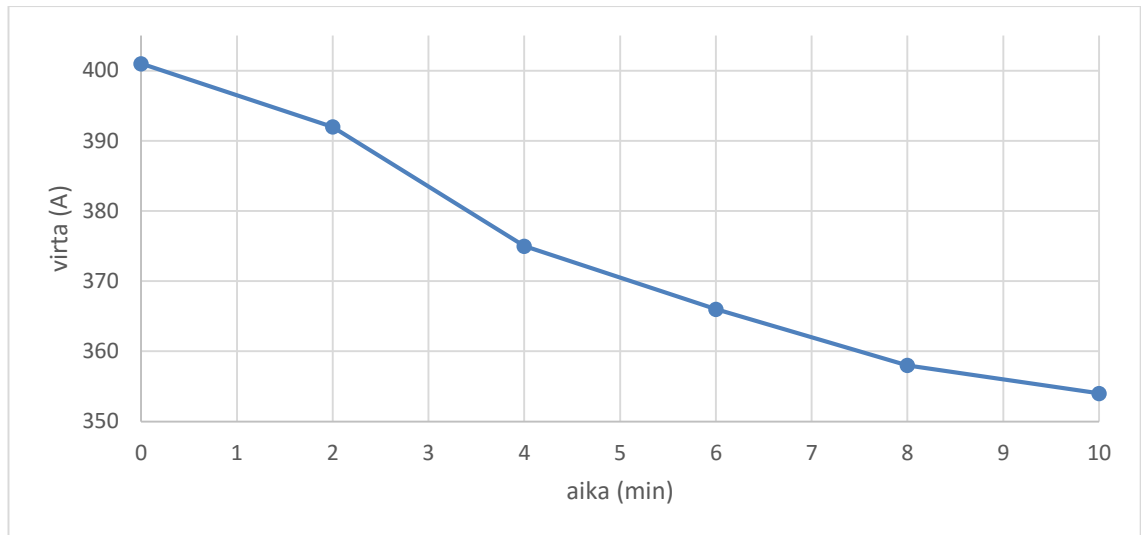


KUVIO 2. Liitosten lämpötilat ajan funktiona testin 1 ensimmäisessä osassa

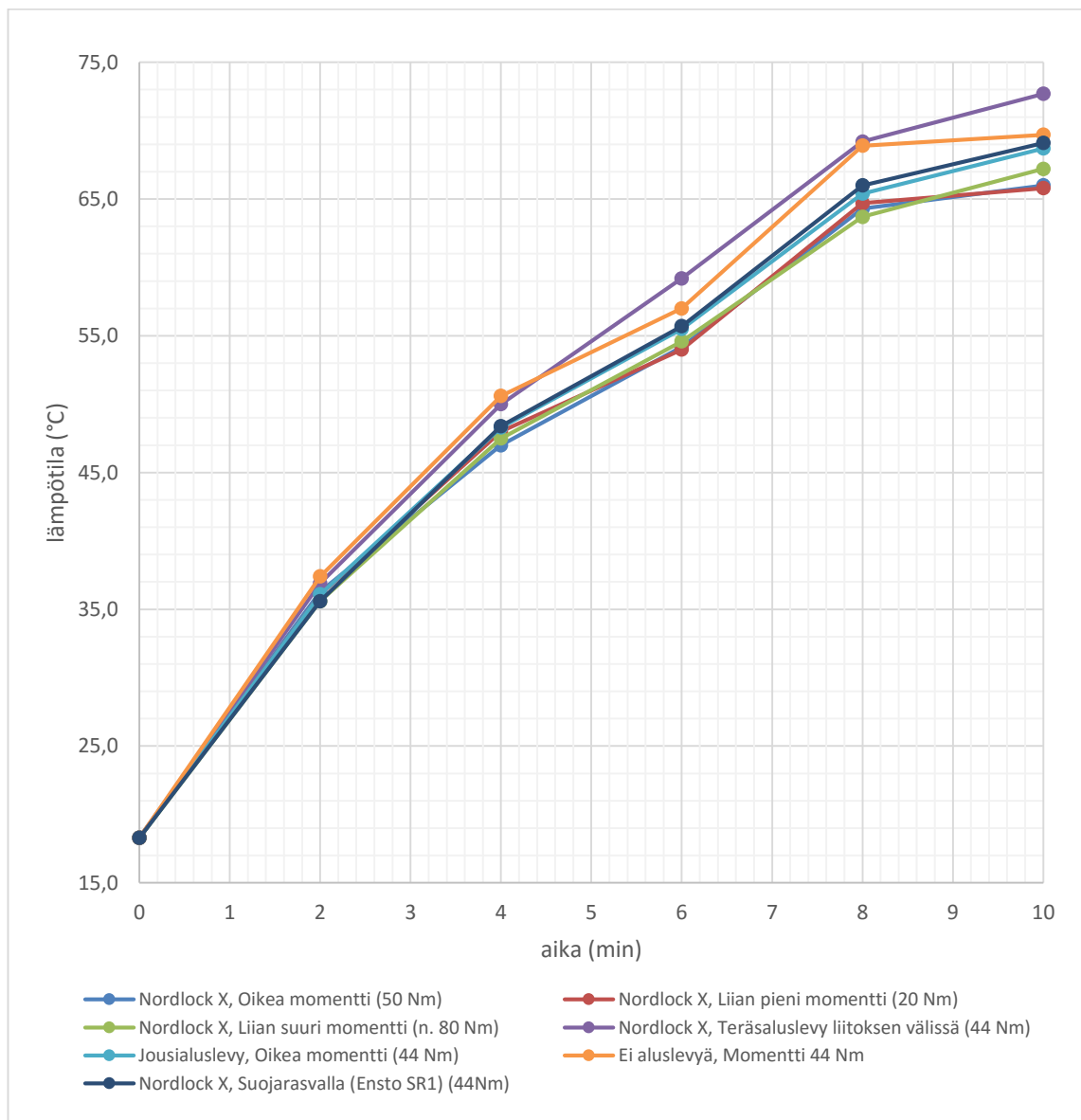
Kuvioista 1 ja 2 nähdään, että 200 ampeerin virralla eri liitosten lämpötila-erot olivat melko pieniä, suurimmillaan noin 5 °C. 300 ampeerin virralla erot olivat hieman suurempia, mutta parhaimmillaan kuitenkin vain 7 °C. 200 ampeerin virralla liitokset kuumentivat noin 38 – 44 °C lämpötilaan ja 300 ampeerin virralla noin 63 – 70 °C lämpötilaan.

Liitos, jossa oli teräsaluslevy kaapelikenkien välissä, kuumentui eniten. Myös suojarasvalla varustettu liitos ja liitos kokonaan ilman aluslevyjä kuumentivat enemmän kuin muut liitokset. Nord-Lock X aluslevyillä tehtyjen liitosten lämpötilat olivat hyvin lähellä toisiaan kiristysmomentista riippumatta. Jousialuslevyillä tehty liitos kuumentui hieman enemmän, kuin Nord-Lock X aluslevyillä tehdyt liitokset, mutta kuitenkin vähemmän kuin liitokset ilman aluslevyjä.

Testin 1 toisessa osassa liitosten läpi kulkeva virta säädettiin 400 ampeerin suuruusluokkaan ja liitoksista otettiin lämpökuva kahden minuutin välein. Virtaa syötettiin 10 minuutin ajan, jonka jälkeen liitosten annettiin jäähtyä. Liitosten jäähtyttyä kolmannessa osassa virta säädettiin uudestaan noin 400 ampeeriin ja liitoksista otettiin lämpökuva kahden minuutin välein. Virtaa syötettiin 14 minuutin ajan. Testin toisen ja kolmannen osan tulokset on esitetty kuvioissa 3 – 6.

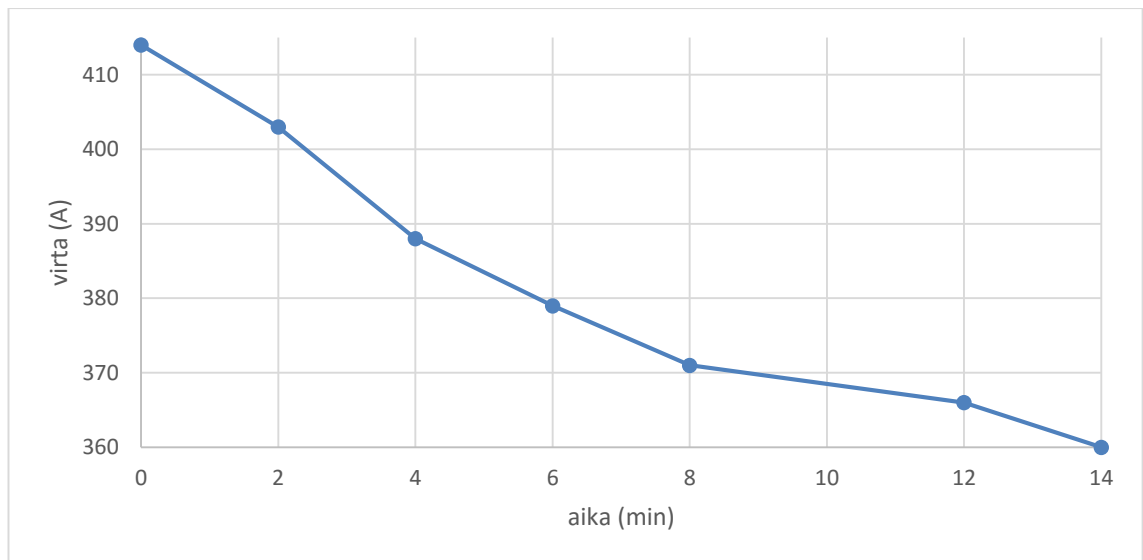


KUVIO 3. Virta ajan funktiona testin 1 toisessa osassa

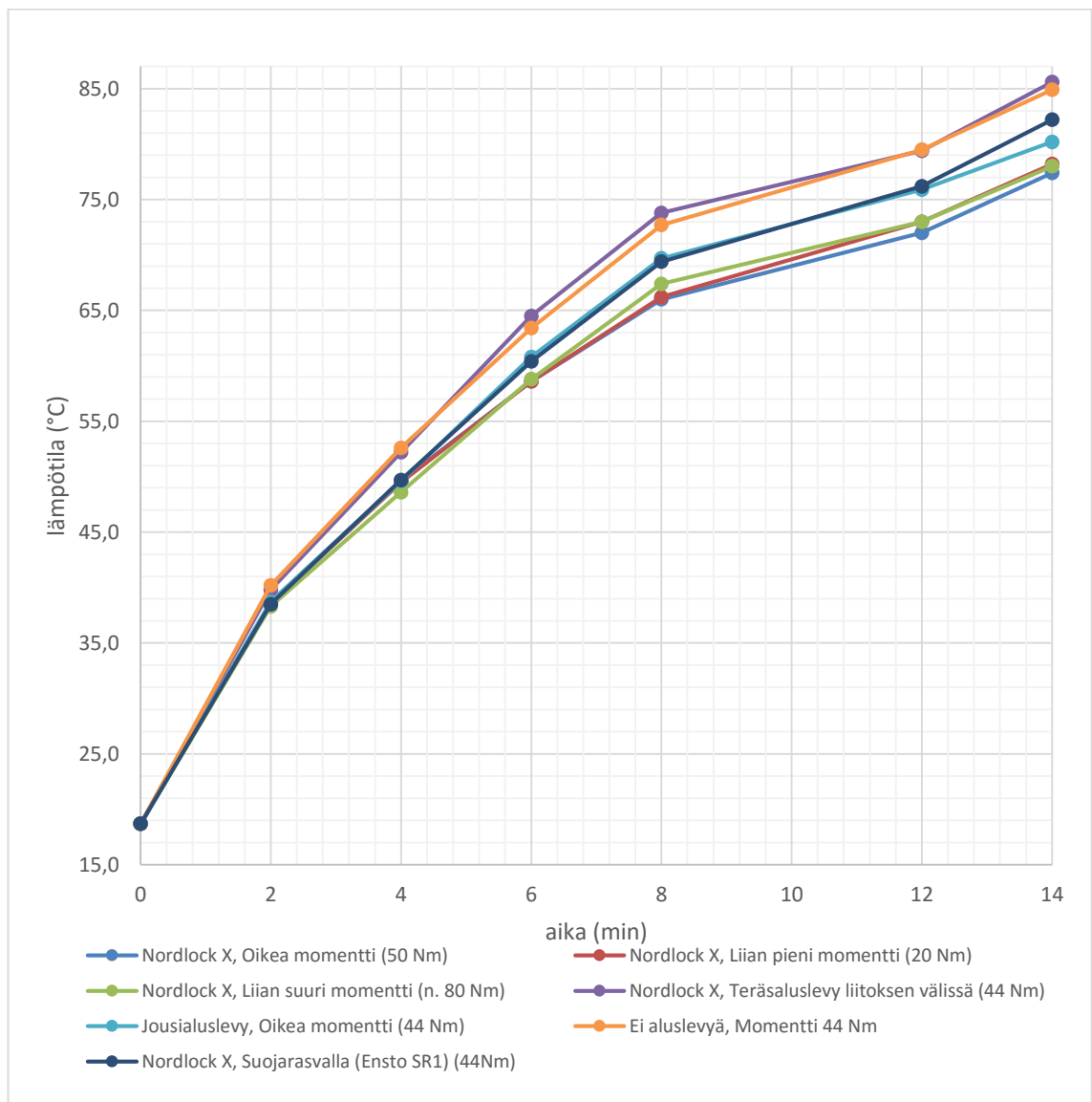


KUVIO 4. Liitosten lämpötilat ajan funktiona testin 1 toisessa osassa





KUVIO 5. Virta ajan funktiona testin 1 kolmannessa osassa



KUVIO 6. Liitosten lämpötilat ajan funktiona testin 1 kolmannessa osassa

Testin toisen ja kolmannen osan 400 ampeerin virralla saadut tulokset olivat samansuuntaisia kuin ensimmäisen osan tulokset. Virran ollessa suurempi lämpötilat nousivat nopeammin, mutta liitosten paremmuusjärjestys pysyi pääasiassa samana. Kylmimmän ja kuumimman liitoksen lämpötilaero oli parhaimmillaan noin 8 °C, joten kovin suuria eroja liitosten lämpötiloihin ei vielääkään saatu. Taulukossa 4 on esitetty liitosten korkeimmat lämpötilat testin 1 eri osissa.

TAULUKKO 4. Liitosten korkeimmat lämpötilat testissä 1

Virta alussa (A)	Liitoksen korkein lämpötila $T_{max}$ (°C)						
	Nord-Lock X	Nord-Lock X	Nord-Lock X	Nord-Lock X	Jousialuslevy	Ei aluslevyjä	Nord-Lock X
	Oikea momentti (50 Nm)	Liian pieni momentti (20 Nm)	Liian suuri momentti (n. 80 Nm)	Teräsaluslevy liitoksen välissä (44 Nm)	Oikea momentti (44 Nm)	Momentti 44 Nm	Suojarasvalla (Ensto SR1) (44Nm)
200,8	41,1	40,7	41,0	<b>44,3</b>	42,0	42,5	43,7
305,0	64,1	63,5	63,6	<b>70,5</b>	68,0	69,1	69,6
401	66	65,8	67,2	<b>72,7</b>	68,7	69,7	69,1
414	77,4	78,2	78	<b>85,6</b>	80,2	84,9	82,2

Taulukon 4 arvoista voidaan havaita samoja asioita kuin lämpötilakäyristä. Teräsaluslevy kaapelikenkien välissä aiheutti suurimman lämpötilan nousun. Nord-Lock X -liitokset lämpenivät vähiten ja jousialuslevyliitos kuumeni hieman enemmän. Myös suojarasvaliitos ja liitos ilman aluslevyjä kuumenivat enemmän kuin Nord-Lock X -liitokset.

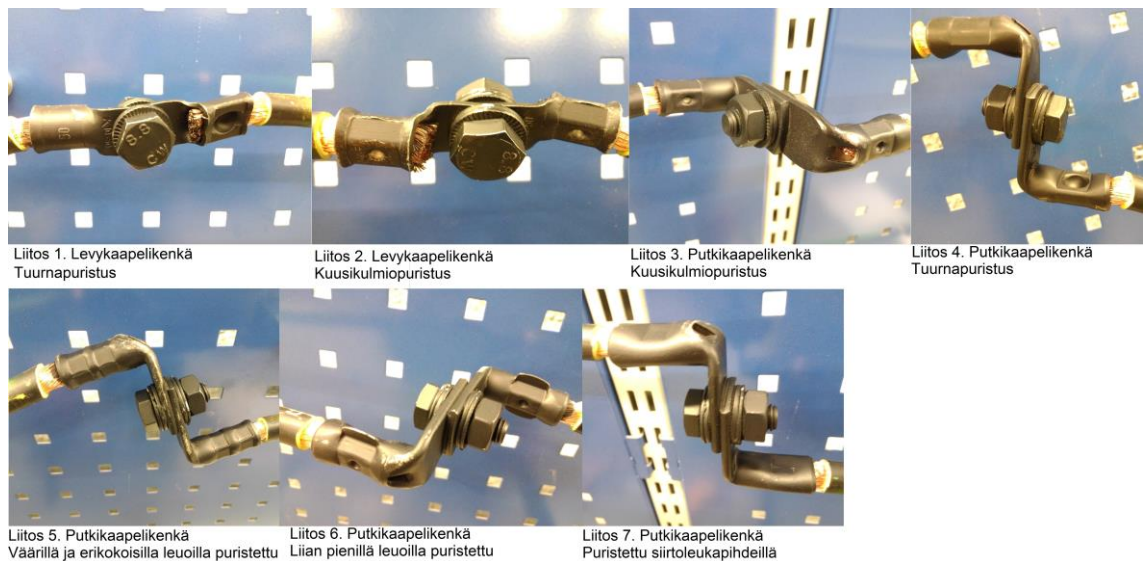
Viimeisen 400 ampeerin testin tuloksissa voi havaita pientä muutosta Nord-Lock X -liitoksessa liian pienellä kiristysmomentilla. Sen lämpötila suhteessa oikean kiristysmomentin liitokseen on hieman korkeampi kuin aikaisemmissa testeissä. Tämä saattaa johtua siitä, että liitos on kuumentunut ja jäähtynyt kolme kertaa. Se saattaa aiheuttaa liitoksen löystymistä lämpölaajenemisesta johtuen. Löystyminen taas voi aiheuttaa ylimenovastuksen suurenemista, joka johtaa liitoksen lämpötilan nousuun. Tässä tapauksessa muutos on kuitenkin niin pieni, että kyseessä saattaa olla mittaustarkkuudesta johtuva ero.

Testin lopuksi liitosten avausmomentti testattiin momenttiavaimella. Tulosten erot olivat kuitenkin melko pieniä ja satunnaisia. Näin ollen niistä voidaan päätellä vain, että lyhytaikaisessa käytössä liitoksessa käytetyillä aluslevyillä ja kiristysmomenteilla ei ole suurta merkitystä liitoksen löystymisen kannalta.

### 8.3 Testi 2

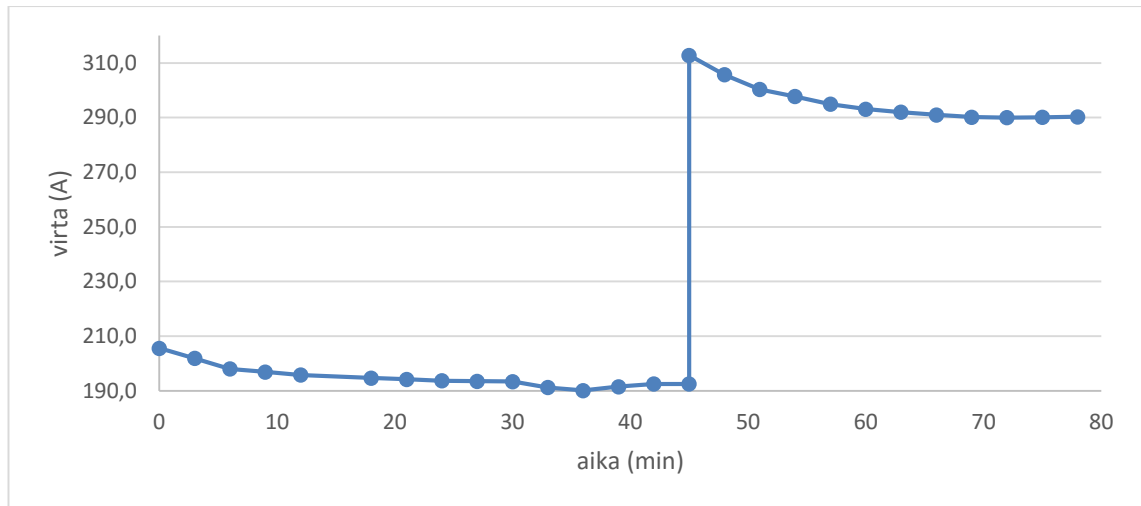
Toisessa testissä tutkittiin erityyppisten kaapelikenkien ja puristustekniikoiden vaikutusta kaapelikenkien pulttiliitoksissa. Levykaapelikenkinä käytettiin tinalla pinnoitettuja, kuparisia Klauke DIN 46234 K10-50 kaapelikenkiä ja putkikaapelikenkinä käytettiin tinalla pinnoitettuja, kuparisia Ouneva PKK 90° 50-10F kaapelikenkiä. Liitokset on esitelty kuvassa 29.

Tuurnapuristuksissa käytettiin Klauke DIN 46234 KL-Cu 50 puristusleukoja. Kuusikulmiopuristuksissa käytettiin Elpress TB14,5 puristusleukoja. Liian pienillä leuoilla puristettaessa käytettiin Elpress TB11 puristusleukoja. Väärillä leuoilla puristettaessa käytettiin alumiinisille kaapelikengille tarkoitettuja Klauke A 22/35 OU ja A 22/25 OU puristusleukoja. Liitoksessa 7. puristamiseen käytettiin tavallisia siirtoleukapihtejä eli ”papakaijapihtejä”.

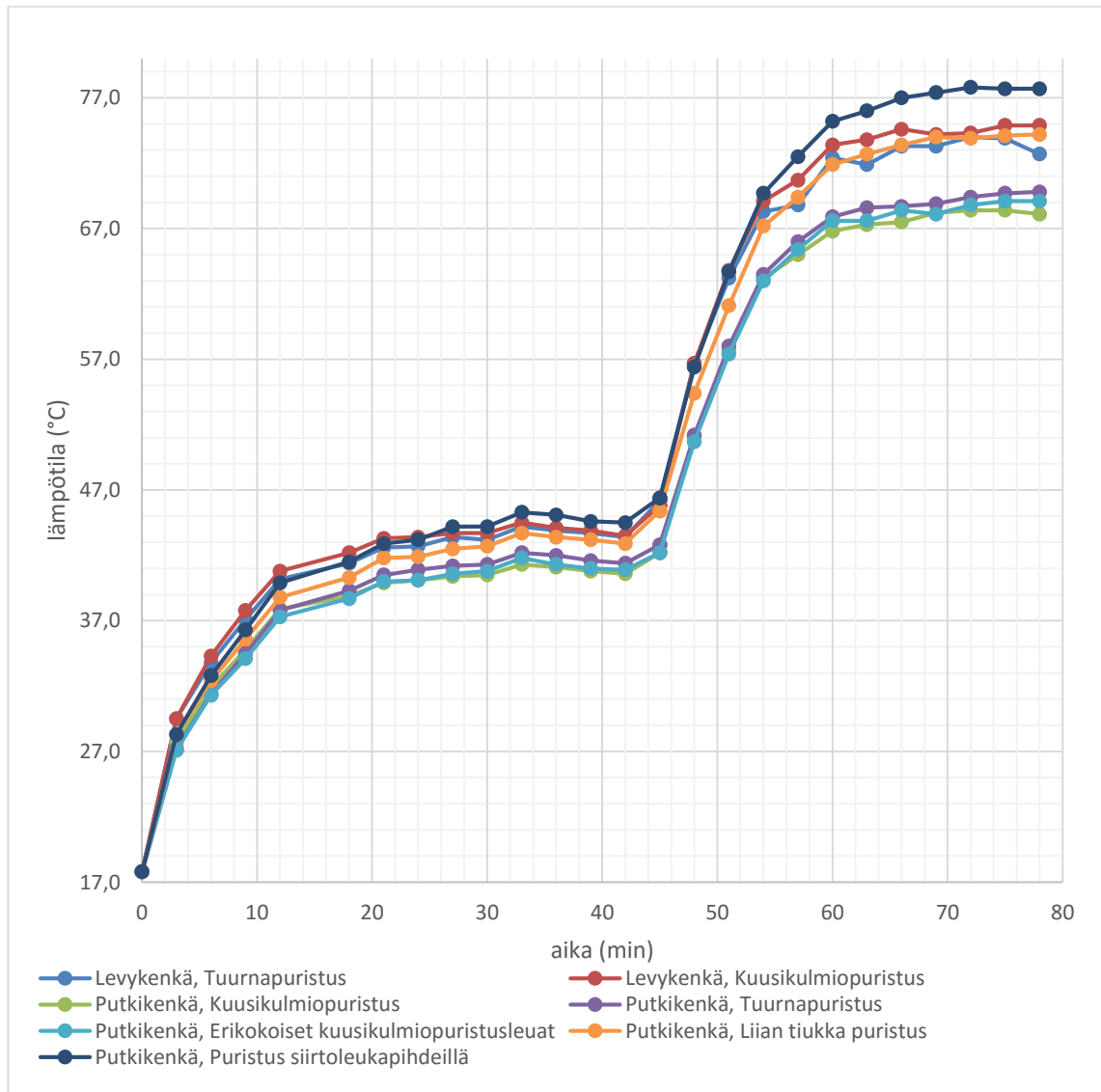


KUVA 29. Testin 2 liitokset

Ensimmäisessä osassa liitosten läpi kulkeva virta säädettiin noin 200 ampeeriin. Liitoksista otettiin lämpökuvat kolmen minuutin välein, kunnes liitosten lämpötila oli tasoittunut. Sen jälkeen virta nostettiin noin 300 ampeeriin, ja liitoksista otettiin jälleen lämpökuvat kolmen minuutin välein kunnes liitosten lämpötila oli tasoittunut. Kuviossa 7 on esitetty liitosten läpi syötetty virta ja kuviossa 8 on esitetty liitosten lämpötilat.



KUVIO 7. Virta ajan funktiona testin 2 ensimmäisessä osassa

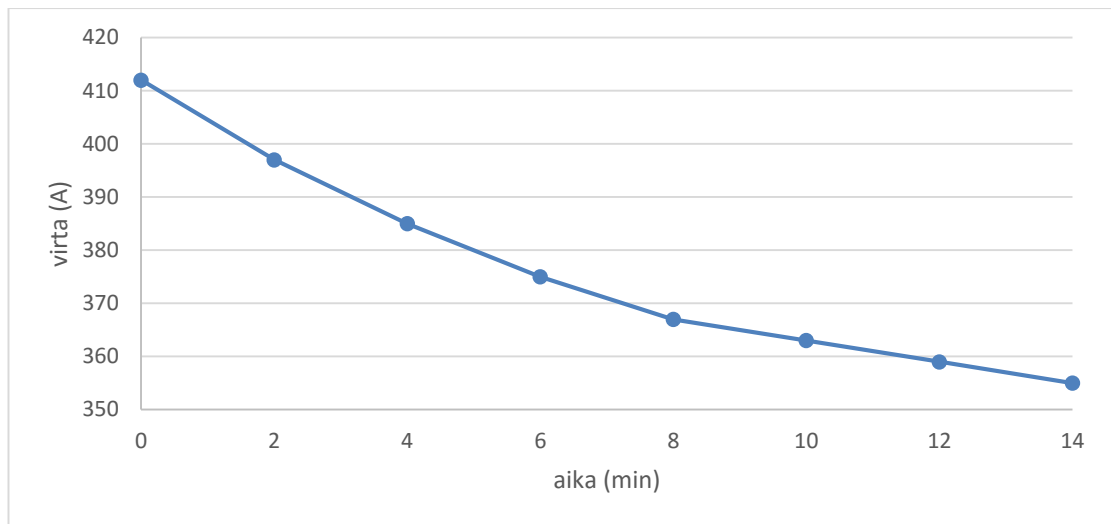


KUVIO 8. Liitosten lämpötilat ajan funktiona testin 2 ensimmäisessä osassa

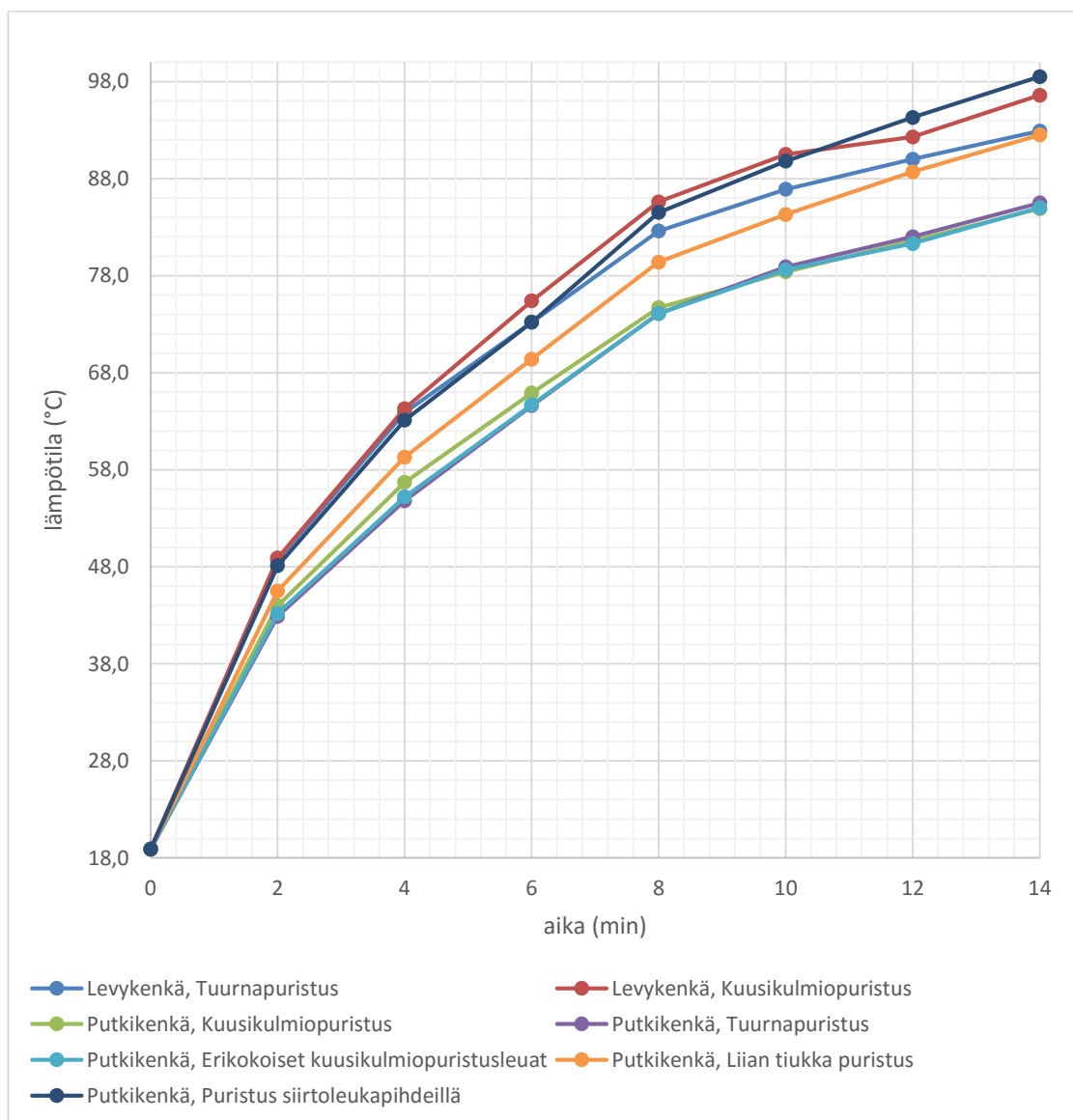
Kuvioista 7 ja 8 nähdään, että 200 ampeerin virralla eri liitosten lämpötila-erot olivat melko pieniä, suurimmillaan noin 5 °C. 300 ampeerin virralla erot olivat hieman suurempia, parhaimmillaan noin 10 °C. 200 ampeerin virralla liitokset kuumentuivat noin 39 – 47 °C lämpötilaan ja 300 ampeerin virralla noin 67 – 79 °C lämpötilaan.

Siirtoleukapihdeillä puristettujen kaapelikenkien liitos kuumentui eniten. Levykaapelikengät kuumentuivat myös enemmän kuin putkikaapelikengät. Liian tiukkaan puristettu putkikaapelikengä kuumentui enemmän kuin muut putkikaapelikengät. Muut putkikaapelikengäliitokset kuumentuivat suunnilleen samaa tahtia riippumatta puristustekniikasta. Erikoisilla, väärillä puristusleuoilla puristetut putkikaapelikengät eivät kuumentuneet juurikaan enempää kuin oikein puristetut putkikaapelikengät.

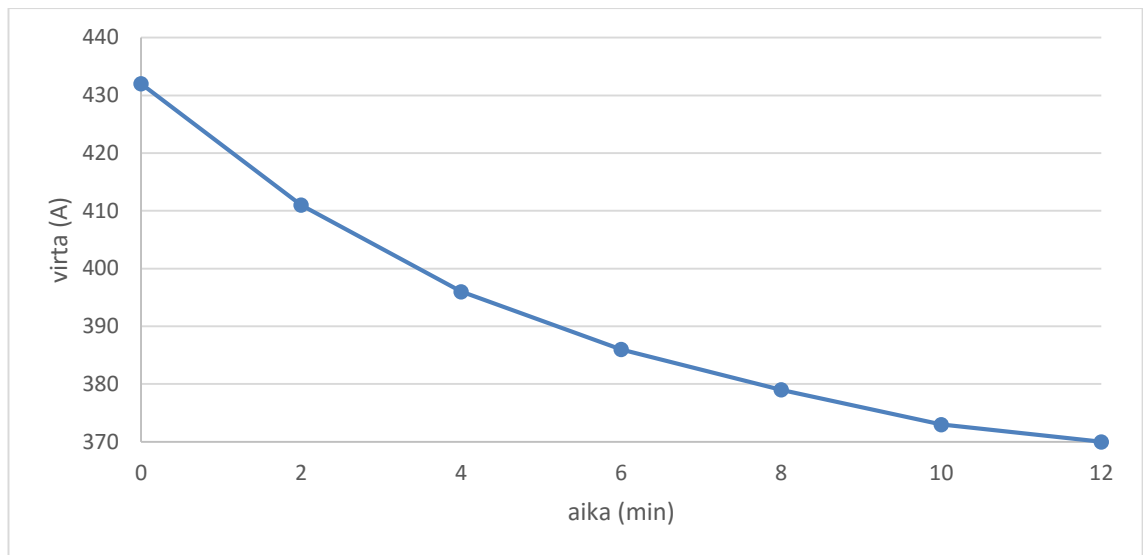
Testin 2 toisessa osassa liitosten läpi kulkeva virta säädettiin 400 ampeerin suuruusluokkaan ja liitoksista otettiin lämpökuva kahden minuutin välein. Virtaa syötettiin 14 minuutin ajan, jonka jälkeen liitosten annettiin jäähtyä. Liitosten jäähtyttyä kolmannessa osassa virta säädettiin uudestaan noin 400 ampeeriin ja liitoksista otettiin lämpökuva kahden minuutin välein. Virtaa syötettiin 12 minuutin ajan. Testin toisen ja kolmannen osan tulokset on esitetty kuvioissa 9 – 12.



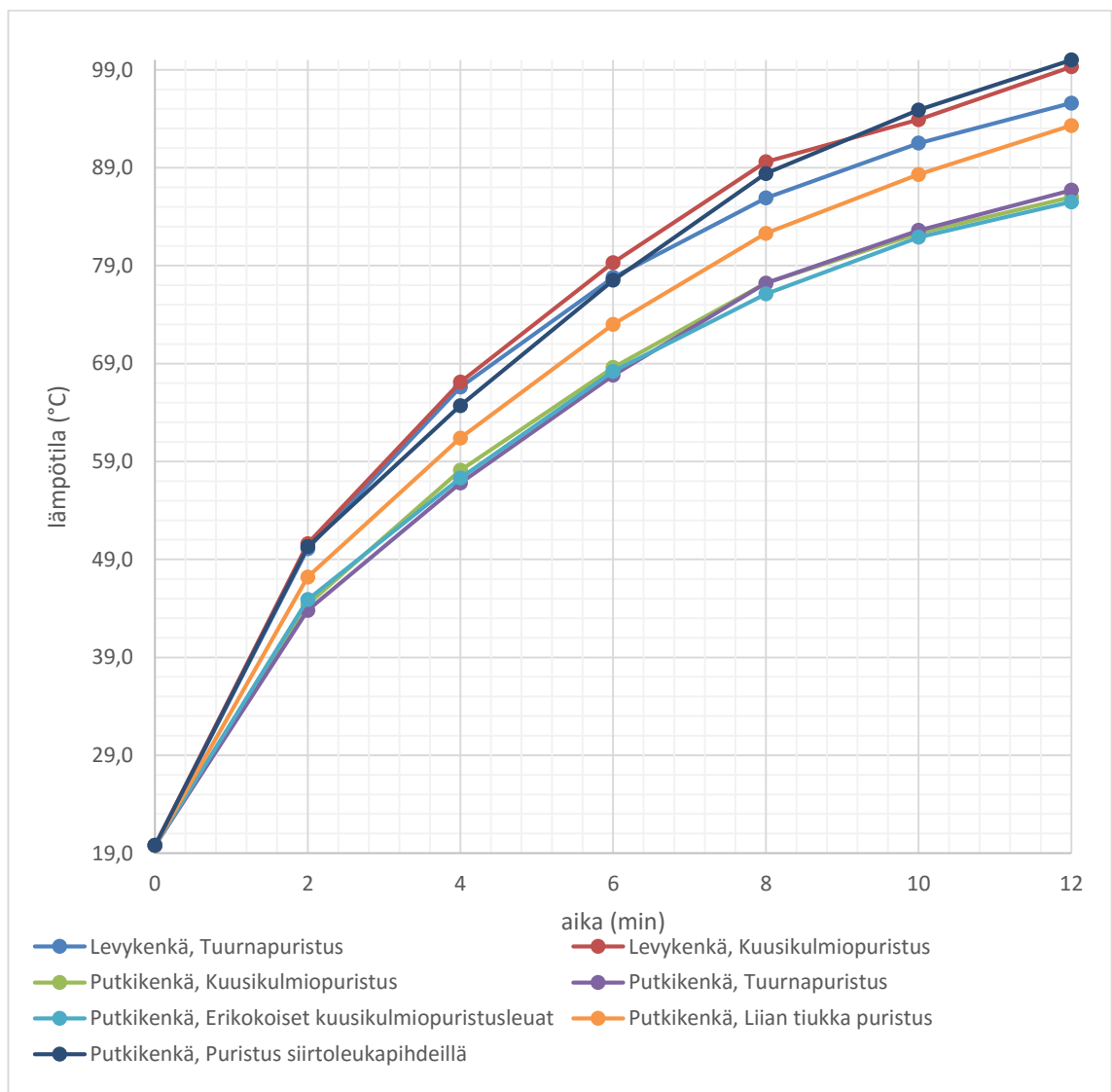
KUVIO 9. Virta ajan funktiona testin 2 toisessa osassa



KUVIO 10. Liitosten lämpötilat ajan funktiona testin 2 toisessa osassa



KUVIO 11. Virta ajan funktiona testin 2 kolmannessa osassa



KUVIO 12. Liitosten lämpötilat ajan funktiona testin 2 kolmannessa osassa

Testin toisen ja kolmannen osan 400 ampeerin virralla saadut tulokset olivat samansuuntaisia kuin ensimmäisen osan tulokset. Virran ollessa suurempi lämpötilat nousivat nopeammin, mutta liitosten paremmuusjärjestys pysyi pääasiassa samana. Kylmimmän ja kuumimman liitoksen lämpötilaero oli parhaimmillaan noin 15 °C, Taulukossa 5 on esitetty liitosten korkeimmat lämpötilat testin 2 eri osissa.

TAULUKKO 5. Liitosten korkeimmat lämpötilat testissä 2

Virta alussa (A)	Liitoksen korkein lämpötila $T_{max}$ (°C)						
	Levykenkä	Levykenkä	Putkikenkä	Putkikenkä	Putkikenkä	Putkikenkä	Putkikenkä
	Tuurnapuristus	Kuusikulmiopuristus	Kuusikulmiopuristus	Tuurnapuristus	Erikokoiset kuusikulmiopuristusleuat	Liian tiukka puristus	Puristus siirtoleukapihdeillä
205,6	44,2	44,5	41,3	42,2	41,8	43,7	<b>45,3</b>
312,8	74,0	74,9	68,4	69,8	69,1	74,2	<b>77,8</b>
412	92,9	96,6	84,9	85,5	85,0	92,5	<b>98,5</b>
432	95,6	99,3	86,0	86,7	85,5	93,3	<b>100,0</b>

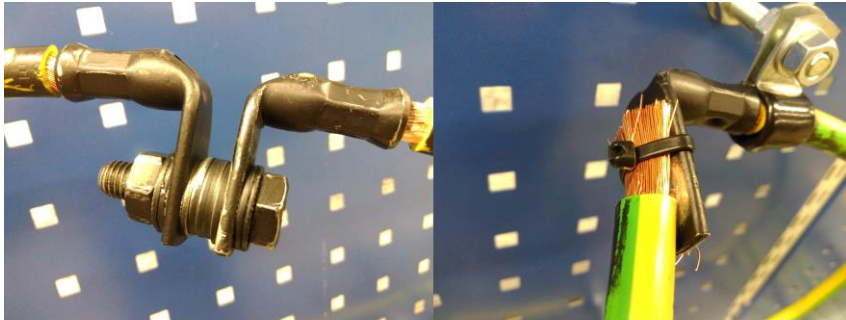
Taulukon 5 arvoista voidaan havaita samoja asioita kuin lämpötilakäyristä. 200 ampeerin virralla liitosten väliset lämpötilaerot olivat pieniä, mutta suuremmilla virroilla erot kasvoivat melko suuriksi. Siirtoleukapihdeillä puristetut kaapelikengät kuumenivat eniten. Levykaapelikengät kuumenivat enemmän kuin putkikaapelikengät, ja kaapelikenkätyyppien välinen ero korostui suuremmilla virroilla. Levykaapelikengillä puristustekniikalla oli suurempi merkitys ja suositusten mukaan ”tuurnapuristettu” levykaapelikengä kuumeni vähemmän kuin kuusikulmiopuristettu levykaapelikengä. Putkikaapelikengillä puristustekniikalla ei ollut yhtä suurta vaikutusta, mutta liian pienillä leuoilla puristetut kengät kuumenivat selvästi enemmän kuin muut putkikaapelikengät, lukuun ottamatta siirtoleukapihdeillä puristettuja kenkiä.

Testin lopuksi liitosten avausmomentti testattiin momenttiavaimella. Tulosten erot olivat kuitenkin melko pieniä ja satunnaisia. Näin ollen niistä voidaan päätellä vain, että lyhytaikaisessa käytössä liitoksessa käytetyillä kaapelikenkätyypeillä ja puristustekniikoilla ei ole suurta merkitystä liitoksen löystymisen kannalta.



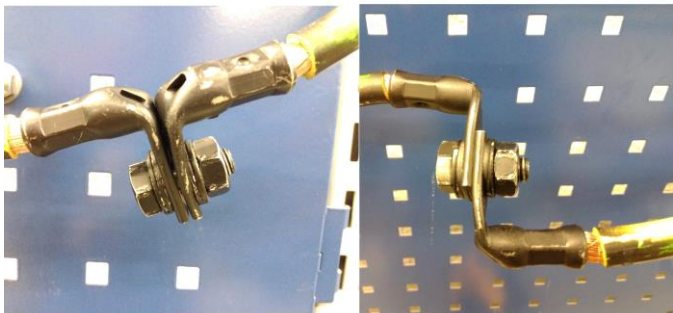
## 8.4 Testi 3

Kolmannessa testissä tutkittiin hieman erilaisia liitoksia. Vertailukohteeksi tehtiin yksi oikeaoppinen liitos. Yksi teräsaluslevy liitoksen välissä ei aiheuttanut merkittävää kuumenemista, joten kokeiltiin onko useammalla aluslevyllä suurempi vaikutus. Nippusiteellä toteutettu liitos voi olla hätätilanteessa ainoa vaihtoehto. Erittäin löysä liitos on sormilla pyöritetty kiinni juuri sen verran, että se näyttää nopealla vilkaisulla valmiilta liitokselta. Liitokset on esitetty kuvassa 30.



Liitos 1. Viisi teräsaluslevyä liitoksen välissä

Liitos 2. Nippusiteellä toteutettu liitos

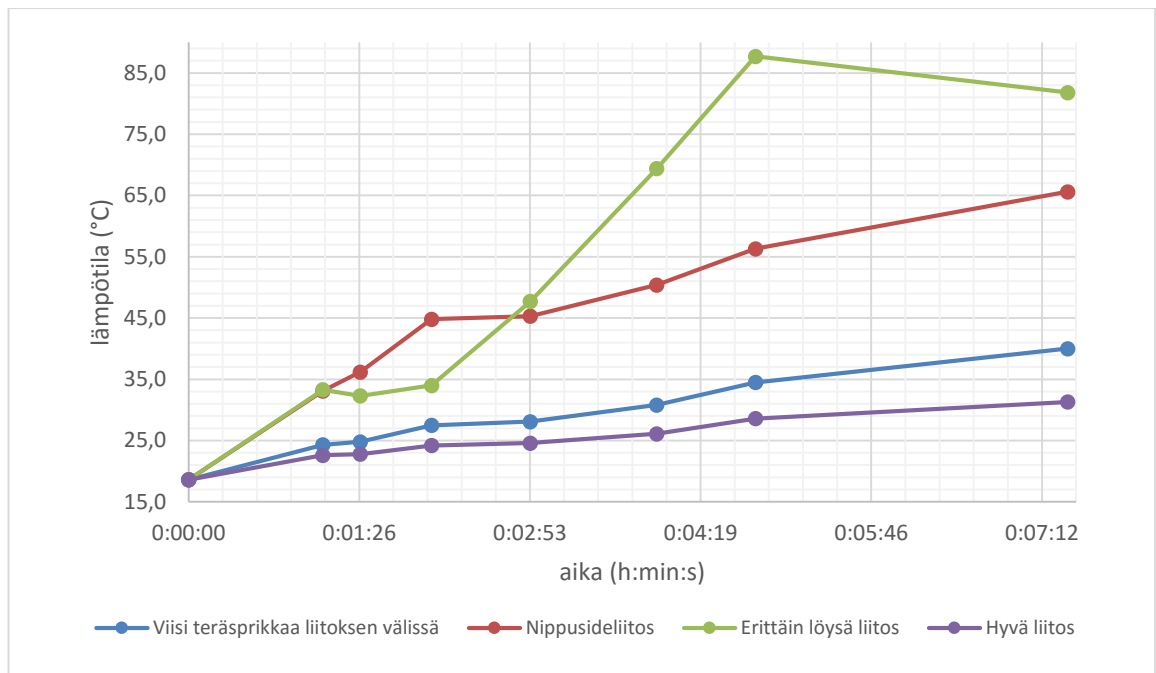


Liitos 3. Erittäin löysä liitos

Liitos 4. Hyvä liitos

KUVA 30. Testin 3 liitokset

Kolmas testi tehtiin hieman vapaamuotoisemmin kuin kaksi ensimmäistä. Liitosten lämpötiloja tarkkailtiin ja virtaa säädettiin sen mukaan. Testin 3 ensimmäisen osan liitosten lämpötilat on esitetty kuviossa 13. Liitosten korkeimmat lämpötilat on esitetty taulukossa 6.



KUVIO 13. Liitosten lämpötilat ajan funktiona testin 3 ensimmäisessä osassa

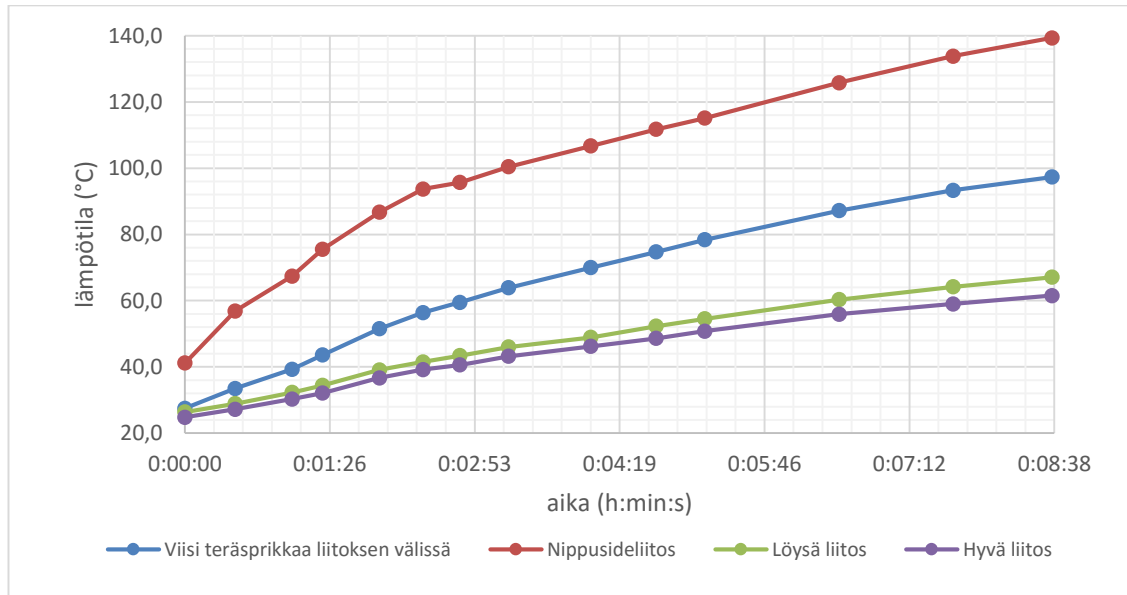
TAULUKKO 6. Liitosten korkeimmat lämpötilat testin 3 ensimmäisessä osassa

Liitoksen korkein lämpötila $T_{max}$ (°C)			
Viisi teräsprikkää liitoksen välissä	Nippusideliitos	Erittäin löysä liitos	Hyvä liitos
40,0	65,6	<b>87,7</b>	31,3

Aluksi liitosten läpi syötettiin 100 ampeerin virta ja havaittiin, että erittäin löysä liitos ja nippusideliitos alkoivat kuumentua. Kun virta nostettiin 200 ampeeriin, myös viiden teräsaluslevyn liitos alkoi kuumentua jonkin verran enemmän kuin hyvä liitos. Erittäin löysä liitos kuumentui selvästi eniten ja nippusideliitoskin selvästi enemmän kuin muut liitokset. Tämä voidaan havaita kuvion 13 ja taulukosta 6.

Erittäin löysään liitokseen simuloitiin tärinää ja havaittiin, että virtapiiri katkeili ja yhdistyi tärinän vaikutuksesta. Liitoksessa havaittiin myös kipinöintiä, vaikka koko kytkennän jännite oli vain 0,5 voltin luokkaa. Todellisessa tilanteessa jännite olisi huomattavasti korkeampi, jolloin kipinöinti olisi myös enemmän. Tärinästä aiheutuen erittäin löysän liitoksen lämpötilan muutokset olivat epätasaisia liitoksen välillä katketessa ja yhdistyessä. Virtapiirin katkeilu vaikutti myös muiden liitosten lämpenemiseen, koska välillä niiden läpi kulki virtaa ja välillä ei. Tämä voidaan havaita kuvion 13 lämpötilakäyrien lievistä epäsäännöllisyydestä.

Testin 3 toisessa osassa erittäin löysää liitosta kiristettiin, jotta virtapiiri ei katkeilisi. Liitosten lämpötiloja tarkkailtiin ja virtaa säädettiin asteittain suuremmaksi. Testin 3 toisen osan liitosten lämpötilat on esitetty kuviossa 14. Liitosten korkeimmat lämpötilat on esitetty taulukossa 7.



KUVIO 14. Liitosten lämpötilat ajan funktiona testin 3 toisessa osassa

TAULUKKO 7. Liitosten korkeimmat lämpötilat testin 3 toisessa osassa

Liitoksen korkein lämpötila $T_{\max}$ (°C)			
Viisi teräsprikkaa liitoksen välissä	Nippusideliitos	Löysä liitos	Hyvä liitos
97,3	<b>139,3</b>	67,1	61,5

Aluksi liitosten läpi syötettiin 200 ampeerin virta. Kuvioista 14 havaitaan, että nippusideliitos lähti kuumenemaan selvästi nopeammin kuin muut liitokset. Myös viiden teräsaluslevyn liitos kuumeni selvästi. Löysä liitos kuumeni vain hieman enemmän kuin hyvä liitos ja huomattavasti vähemmän kuin ennen sen kiristämistä.

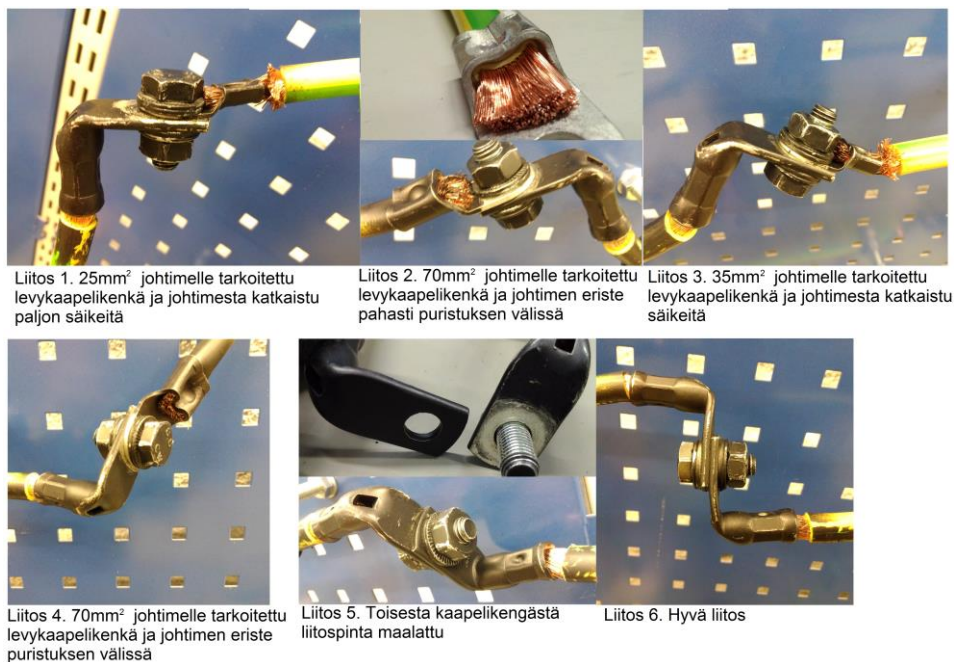
Hetken kuluttua virta nostettiin noin 360 ampeeriin, jotta liitosten lämpötiloihin saatiin selviä eroja. Kuvioista 14 havaitaan, että nippusideliitos kuumeni edelleen selvästi enemmän kuin muut liitokset. Viiden teräsaluslevyn liitos kuumeni myös selvästi. Myös löysä liitos alkoi kuumenemaan enemmän kuin hyvä liitos. Löysän liitoksen kuumeneminen oli kuitenkin erittäin lievää verrattuna testin ensimmäisen osan erittäin löysään liitokseen. Taulukosta 7 nähdäänkin, että löysän liitoksen lämpötila ei ollut kovinkaan paljoa hyvän liitoksen lämpötilaa korkeampi, toisin kuin nippusideliitoksen ja viiden teräsaluslevyn

liitoksen loppulämpötilat. Nippusideliitoksen kuumetessa nippusiteen havaittiin alkavan pehmenemään, mikä saattoi heikentää liitosta entisestään.

## 8.5 Testi 4

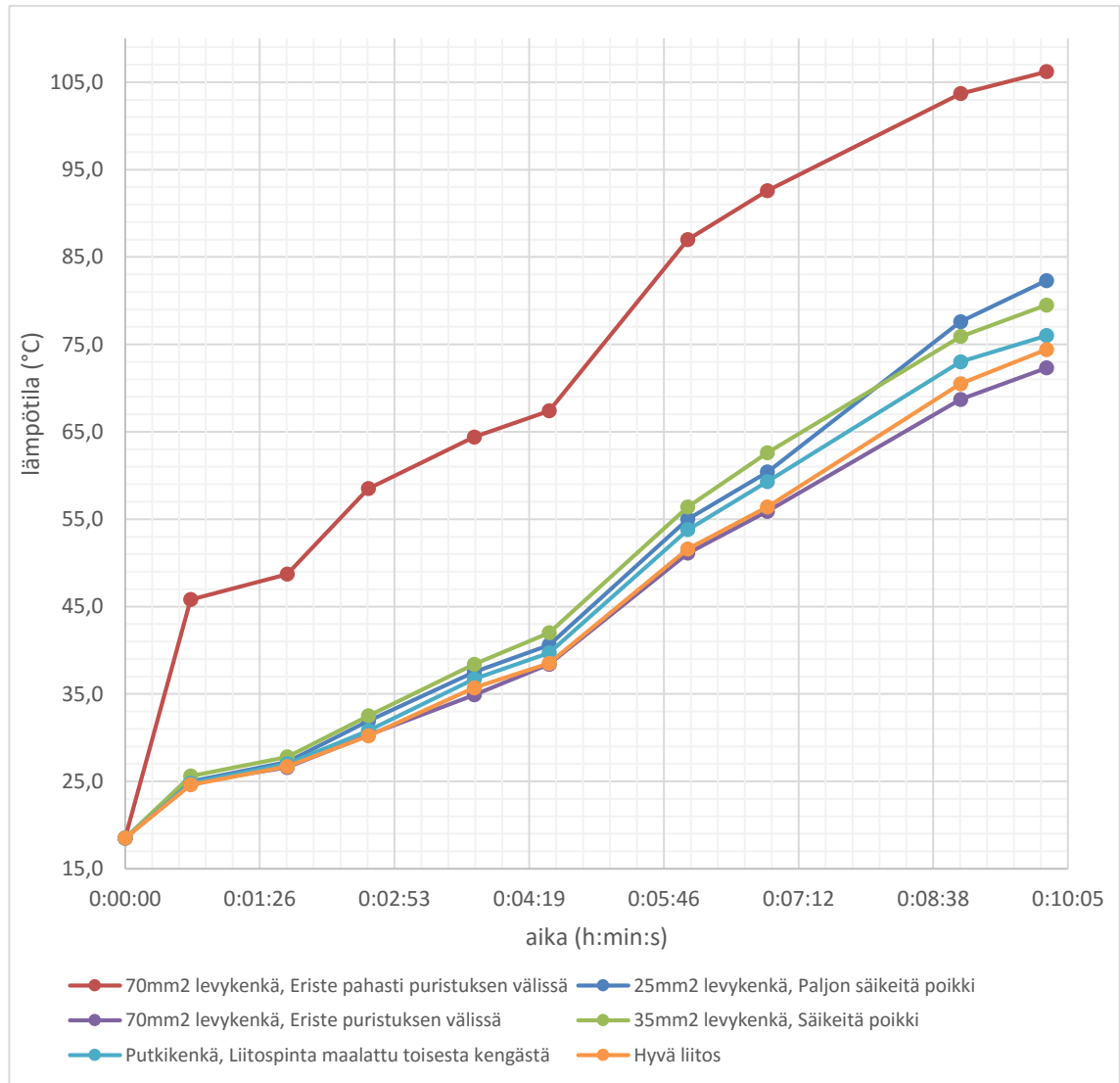
Testissä 4 tutkittiin väärän kokoisten kaapelikengien ja säikeiden katkaisemisen vaikutuksia sekä puristuksen väliin jääneen eristeen vaikutusta. Samalla tutkittiin liitospinnan maalaamisen vaikutusta. Vertailukohteeksi tehtiin yksi oikeaoppinen liitos. Liitokset on esitetty kuvassa 31.

Liitoksessa 1 käytettiin Klauke DIN 46234 K10-25 levykaapelikengää ja 50 mm<sup>2</sup> johtimesta katkaistiin paljon säikeitä, jotta se saatiin mahtumaan kenkään. Liitoksessa 2 käytettiin Klauke DIN 46234 K10-70 levykaapelikengää ja johtimen eriste jätettiin pahasti puristuksen väliin, jolloin johtimen säikeet koskettivat kaapelikengää vain päistään. Liitoksessa 3 käytettiin Klauke DIN 46234 K10-35 levykaapelikengää ja johtimesta katkaistiin jonkin verran säikeitä, jotta se saatiin mahtumaan kenkään. Liitoksessa 4 käytettiin Klauke DIN 46234 K10-70 levykaapelikengää ja johtimen eriste jätettiin puristuksen väliin lievemmin kuin liitoksessa 2. Liitoksessa 5 maalattiin mattamustalla spray-maalilla toisen kaapelikengän liitospinta. Liitos 6 on oikeaoppisesti tehty.



KUVA 31. Testin 4 liitokset

Kuviossa 15 on esitetty testin 4 liitosten lämpötilat ajan funktiona. Taulukossa 8 on esitetty testin 4 liitosten korkeimmat lämpötilat.



KUVIO 15. Liitosten lämpötilat ajan funktiona testissä 4

TAULUKKO 8. Liitosten korkeimmat lämpötilat testissä 4

Liitoksen korkein lämpötila $T_{max}$ (°C)					
25mm2 levykenkä, Paljon säikeitä poikki	70mm2 levykenkä, Eriste pahasti puristuksen välissä	35mm2 levykenkä, Säikeitä poikki	70mm2 levykenkä, Eriste puristuksen välissä	Putkikenkä, Liitospinta maalattu toisesta kengästä	Hyvä liitos
82,3	<b>106,2</b>	79,5	72,3	76,0	74,4

Aluksi liitosten läpi syötettiin noin 200 ampeerin virta. Kuviossa 15 nähdään, että pahasti puristuksen välissä oleva eriste aiheutti liitoksessa heti selvästi nopeampaa kuumenemista kuin muissa liitoksissa. Muut liitokset alkoivat lämpenemään melko samaa tahtia keskenään.

Noin kolmen minuutin kuluttua virta nostettiin 300 ampeeriin ja viiden minuutin kuluttua 400 ampeeriin. Kuvioista 15 havaitaan, että suuremmilla virroilla pahasti puristuksen väliin jääneen eristeen liitos kuumeni edelleen selvästi eniten, mutta muidenkin liitosten lämpötiloissa alkoi esiintymään eroja. Liian pienien kaapelikenkien liitokset, joista oli katkaistu säikeitä, kuumenivat seuraavaksi eniten. Liitos 25 mm<sup>2</sup> kaapelikengällä, josta oli katkaistu paljon säikeitä, kuumeni enemmän kuin liitos 35 mm<sup>2</sup> kaapelikengällä, josta oli katkaistu vähemmän säikeitä. Kaapelikengän liitospinnan maalaaminen vaikutti melko vähän liitoksen kuumenemiseen, mutta maalattu liitos kuumeni kuitenkin hieman enemmän kuin hyvä liitos. Liitos 70 mm<sup>2</sup> kaapelikengällä, jossa eriste oli puristuksen välissä lievästi, kuumeni vähiten. Tämä johtunee siitä, että puristus oli kuitenkin riittävän onnistunut ja kaapelikengä oli tarkoitettu suuremmalle johtimelle ja myös siis suuremmalla virralle.

## **8.6 Johtopäätöksiä**

### **8.6.1 Testi 1**

Testin 1 tuloksista voidaan päätellä, että lyhytaikaisessa käytössä liitoksissa käytettyjen aluslevyjen ja kiristysmomenttien vaikutus liitoksen ylimenovastukseen on melko pieni. Tämän testin perusteella Nord-Lock X -aluslevyillä toteutetut liitokset pärjäsivät kuitenkin parhaiten. Myös jousialuslevy oli parempi vaihtoehto kuin aluslevyjen pois jättäminen.

Testin 1 perusteella liitoksen väliin asetettu teräsaluslevy kasvatti liitoksen ylimenovastusta lievästi, mutta kuitenkin havaittavissa määrin. Tämä oli oletettavissa ottaen huomioon teräksen suuremman ominaisvastuksen kupariin verrattuna. Ensto SR1 -suoja-aineen käyttö liitospinnoilla vaikuttaisi myös kasvattaneen liitoksen ylimenovastusta lähes yhtä paljon kuin teräsaluslevy. Testin perusteella ei voida päätellä pitkäaikaisia vaikutuksia, mutta suoja-aineella varustettu liitos kuumeni testissä kuitenkin enemmän kuin liitokset, joissa ei ollut suoja-ainetta. Taulukossa 9 on esitetty testin 1 liitokset paremmuusjärjestyksessä ja liitosten suurimmat hetkelliset lämpötilaerot vertailukohteeseen verrattuna.

TAULUKKO 9. Testin 1 liitokset paremmuusjärjestyksessä

	Liitos		Lämpötilaero vertailukohteeseen suurimmillaan (°C)
1.	Nord-Lock X	Oikea momentti (50 Nm)	Vertailukohde
2.	Nord-Lock X	Liian pieni momentti (20 Nm)	1,0
3.	Nord-Lock X	Liian suuri momentti (n. 80 Nm)	1,4
4.	Jousialuslevy	Oikea momentti (44 Nm)	4,6
5.	Nord-Lock X	Suojarasvalla (Ensto SR1) (44Nm)	6,3
6.	Ei aluslevyjä	Momentti 44 Nm	7,5
7.	Nord-Lock X	Teräsaluslevy liitoksen välissä (44 Nm)	8,2

### 8.6.2 Testi 2

Testin 2 tuloksista voidaan päätellä, että lyhytaikaisessa käytössä liitoksissa käytettyjen kaapelikenkätyyppien ja puristustekniikoiden vaikutus liitoksen ylimenovastukseen on melko pieni. Tämän testin perusteella putkikaapelikengillä toteutetut liitokset pärjäsivät kuitenkin paremmin kuin levykaapelikengäliitokset. Myös oikeaoppiset, suositusten mukaiset puristustekniikat toimivat paremmin kuin virheelliset puristustekniikat. Levykaapelikengä toimi parhaiten tuurnapuristuksella ja putkikaapelikengä toimi parhaiten oikealla kuusikulmiopuristuksella.

Väärillä, erikokoisilla puristusleuoilla tehdyllä puristuksella ei tässä testissä havaittu olevan juurikaan heikentävää vaikutusta liitoksen ylimenovastukseen. Tilanne saattaisi olla toinen, jos testissä olisi käytetty väljempää puristusleukoja. Liian pienillä puristusleuoilla puristaminen aiheutti selkeästi suuremman ylimenovastuksen verrattuna oikean kokoisiin puristusleukoihin. Tämä havainnoitui testissä liitoksen suurempana kuumenemisena. Testin huonoin liitos oli siirtoleukapihdeillä puristettujen putkikaapelikengien liitos. Tästä voidaan päätellä, että oikeaoppisilla työkaluilla tehty puristus toimii paremmin, vaikka sitä ei tehtäisikään täysin oikeilla puristusleuoilla. Virran pysyessä siedettävällä tasolla siirtoleukapihdeillä tehty puristus vaikutti kuitenkin toimivan melko hyvin lyhytaikaisessa käytössä. Taulukossa 10 on esitetty testin 2 liitokset paremmuusjärjestyksessä ja liitosten suurimmat hetkelliset lämpötilaerot vertailukohteeseen verrattuna.

TAULUKKO 10. Testin 2 liitokset paremmuusjärjestyksessä

	Liitos		Lämpötilaero vertailukoh- teeseen suurimmillaan (°C)
1.	Putkikaapelikenkä	Kuusikulmiopuristus	Vertailukohde
2.	Putkikaapelikenkä	Erikokoiset kuusikulmiopuristusleuat	1,0
3.	Putkikaapelikenkä	Tuurnapuristus	1,7
4.	Putkikaapelikenkä	Liian tiukka puristus	7,6
5.	Levykaapelikenkä	Tuurnapuristus	9,6
6.	Levykaapelikenkä	Kuusikulmiopuristus	13,3
7.	Putkikaapelikenkä	Puristus siirtoleukapihdeillä	14,0

### 8.6.3 Testi 3

Testin 3 tuloksista voidaan päätellä, että erittäin löysälle jäänyt liitos saattaa olla vaarallinen. Testissä se kuumeni todella nopeasti jo melko pienellä virralla. Jo lievä tärinä aiheutti virtapiirin katkeilua, mikä on myös suuri ongelma. Tärinä aiheutti myös kipinöintiä jo alle yhden voltin jännitteellä. Esimerkiksi 400 voltin jännitteellä kipinöinti olisi oletettavasti ollut huomattavasti runsaampaa. Tämä saattaa aiheuttaa muun muassa tulipalon vaaran. Jo pienimuotoinen liitoksen kiristäminen esti virtapiirin katkeilun ja hidasti liitoksen kuumentamista merkittävästi.

Testin 3 perusteella nippusideliitos toimi pienillä virroilla jossain määrin, mutta kuumeni kuitenkin selvästi enemmän kuin oikeaoppinen liitos. Suuremmilla virroilla liitos kuumeni jo erittäin nopeasti. Korkea lämpötila aiheutti muovisen nippusiteen pehmenemistä. Kuumentamisen jatkuminen olisi saattanut johtaa nippusiteen sulamiseen tai liitoksen aukeamiseen nippusiteen löystyessä pehmenemisen johdosta.

Viisi teräsaluslevyä liitoksen välissä aiheutti oletetusti liitokseen suuremman ylimentovastuksen kuin testissä 1 käytetty yksi teräsaluslevy. Viiden teräsaluslevyn liitos kuumeni jo pienillä virroilla huomattavasti enemmän kuin hyvä liitos. Suuremmilla virroilla ero kasvoi. Taulukossa 11 on esitetty testin 3 liitokset paremmuusjärjestyksessä ja liitosten suurimmat hetkelliset lämpötilaerot vertailukohteeseen verrattuna. Taulukon 11 läm-



pötilaeroja tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon, että erittäin löysän liitoksen suurin lämpötilaero on testin 3 ensimmäisestä osasta, jossa käytettiin pienempää virtaa lyhemmän aikaa. Muut suurimmat lämpötilaerot ovat testin 3 toisesta osasta, jossa erittäin löysää liitosta oli kiristetty hieman.

TAULUKKO 11. Testin 3 liitokset paremmuusjärjestyksessä

	Liitos	Lämpötilaero vertailukoh- teeseen suurimmillaan (°C)
1.	Hyvä liitos	Vertailukohde
2.	Viisi teräsaluslevyä liitoksen välissä	35,8
3.	Nippusideliitos	77,8
4.	Erittäin löysä liitos	59,1

#### 8.6.4 Testi 4

Testin 4 tuloksista voidaan päätellä, että oikeankokoisen kaapelikengän valinta on tärkeää. Jos valitaan liian suuri kaapelikengä, saattaa johtimen eriste jäädä puristuksen väliin. Tämä aiheuttaa liitokseen merkittävästi suuremman ylimenovastuksen kuin onnistunut puristus. Suurentunut ylimenovastus näkyi testissä lämpötilan huomattavan nopeana kasvuna.

Valittaessa liian pieni kaapelikengä joudutaan katkaisemaan säikeitä johtimesta. Tämä johtaa myös liitoksen ylimenovastuksen kasvamiseen, mikä taas aiheuttaa kuumenemistä liitoksessa. Mitä pienempi kaapelikengä ja mitä enemmän säikeitä katkaistaan, sitä enemmän liitos kuumenee. Testin tuloksista voidaan havaita, että erot korostuivat suuremmilla virroilla.

Testin 4 perusteella kaapelikengän liitospinnan maalaaminen vaikuttaa melko vähän liitoksen ylimenovastukseen. Suurillakin virroilla liitos maalatulla kaapelikengällä kuumeni vain vähän enemmän kuin maalaamaton liitos. Testissä kuitenkin havaittiin, että jo toisen liitospinnan maalaaminen ohuesti spray-maalilla kasvatti liitoksen ylimenovastusta hieman. Erilaisella maalilla tehty paksumpi maalikerros molemmilla liitospinnoilla saattaisi vaikuttaa ylimenovastukseen enemmän. Taulukossa 12 on esitetty testin 4 liitokset

paremmuusjärjestyksessä ja liitosten suurimmat hetkelliset lämpötilaerot vertailukohteesseen verrattuna.

TAULUKKO 12. Testin 4 liitokset paremmuusjärjestyksessä

	Liitos		Lämpötilaero vertailukohteesseen suurimmillaan (°C)
1.	50 mm <sup>2</sup> putkikaapelikenkä	Hyvä liitos	Vertailukohte
2.	70 mm <sup>2</sup> levykaapelikenkä	Eriste lievästi puristuksen välissä	0,2
3.	50 mm <sup>2</sup> putkikaapelikenkä	Liitospinta maalattu toisesta kengästä	2,9
4.	35 mm <sup>2</sup> levykaapelikenkä	Säikeitä poikki	6,2
5.	25 mm <sup>2</sup> levykaapelikenkä	Paljon säikeitä poikki	7,9
6.	70 mm <sup>2</sup> levykaapelikenkä	Eriste pahasti puristuksen välissä	36,2

## 9 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kerätä tietoa kaapelikenkäliitoksia tehdessä vastaan tulevista asioista. Työn yhtenä lähtökohtana oli lämpölaajenemisesta aiheutuva liitosten sähkönjohtokyvyn heikkeneminen. Muita lähtökohtia olivat johdinten, kaapelikenkien ja kaapelikenkien puristustyökalujen yhteensopivuusongelmat.

Työtä tehdessä kävi nopeasti selväksi, että kaapelikenkäliitokset ovat erittäin moniulotteinen aihe. Erityisesti haastavissa olosuhteissa kuten kaivoksissa, tulee vastaan paljon huomioitavia asioita. Puolueettoman tiedon löytäminen aiheesta osoittautui myös yhdeksi haasteeksi. Aiheesta tutkimusta ovat tehneet lähinnä tuotteiden valmistajat ja toimittajat. Valmistajien ja toimittajien materiaaleja käytettäessä pitää kuitenkin muistaa, että ne on usein tehty markkinointia varten ja saattavat liioitella yritysten omien tuotteiden hyviä puolia.

Aluksi vaikutti, että työ koostuisi ainoastaan kirjallisesta tutkimuksesta. Liitosten tutkimista varten saatiin kuitenkin järjestettyä virtatesti, joka olikin merkittävä tekijä tiedon hankinnassa. Liitoksista voidaan tehdä paljon oletuksia, mutta tämän työn myötä ainakin osaa niistä päästiin testaamaan käytännössä. Tuloksista suurin osa oli ennako-odotusten mukaisia, mutta joitain yllätyksiäkin tuli vastaan.

Tutkimusten perusteella voisi sanoa, että liitoksen tekijällä on suuri vaikutus liitoksen laatuun. Laadukkailla komponenteilla, oikeilla työkaluilla ja hyvillä ohjeilla voidaan kuitenkin melko hyvin varmistaa liitoksen onnistuminen. Parhaalta vaihtoehdolta vaikuttaisi putkikaapelikenkä puristettuna kuusikulmiopuristuksella käyttäen esimerkiksi akkukäyttöistä puristustyökalua puristuslaadun varmistamiseksi. Aluslevyistä paras vaihtoehto vaikuttaisi olevan Nord-Lock X tai vastaavan tyyppinen yhdistelmäaluslevy. Näillä osatekijöillä pitäisi saada aikaan liitos, joka lämpenee mahdollisimman vähän. Tällöin lämpenemisestä ja jäähtymisestä aiheutuva laajeneminen ja supistuminen jäävät mahdollisimman pieneksi, ja liitoksen pitäisi myös kestää tärinää. Vähemmän lämpenevästä liitoksesta johtuu myös vähemmän lämpöä komponentteihin ja johtimiin, jolloin lämpö ei aiheuta vaurioita komponentteihin ja johdinten eristeisiin.

## LÄHTEET

Anixter 2016. Conductor Strand Types. Luettu 11.3.2016

[https://www.anixter.com/en\\_mx/resources/literature/wire-wisdom/conductor-strand-types.html](https://www.anixter.com/en_mx/resources/literature/wire-wisdom/conductor-strand-types.html)

Braunovic, M. Konchits, V. Myshkin, N. 2006. Fundamentals of Electrical Contacts. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Cablex Oy. 2013. Klauke - Greenlee -työkalujen huolto. Huolto-ohje. Luettu 25.5.2016

Elpress AB. System Elpress. Tuoteluettelo. Luettu 20.5.2016.

Hovatta, T. Härkönen, P. Kauppi, V. Koivisto, P. Tiainen, E. 2010. Sähkötekniisiä taulukoita. ST-käsikirja 30. Espoo: Sähkötieto ry

IEC. 2004. IEC 60228. Edition 3.0. Conductors of insulated cables. Kansainvälinen standardi. Geneva, Sveitsi. Luettu 22.2.2016.

IEC. 2014. Welcome to the IEC. Esite. Geneva, Sveitsi. Luettu 11.3.2016.

[http://www.iec.ch/about/brochures/pdf/about\\_iec/iec\\_welcome\\_en\\_2010\\_lr.pdf](http://www.iec.ch/about/brochures/pdf/about_iec/iec_welcome_en_2010_lr.pdf)

IEEE Globalspec. 2016a. Crimp Tools Information. Luettu 19.5.2016.

[http://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing\\_process\\_equipment/electronics\\_microelectronics\\_manufacturing/crimp\\_tools\\_cable\\_strippers](http://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/electronics_microelectronics_manufacturing/crimp_tools_cable_strippers)

IEEE Globalspec. 2016b. Washers Information. Luettu 19.5.2016.

[http://www.globalspec.com/learnmore/mechanical\\_components/mechanical\\_fasteners/washers](http://www.globalspec.com/learnmore/mechanical_components/mechanical_fasteners/washers)

Karlsson, R. Myyntipäällikkö. 2016a. Opinnäytetyö Sandvikille kaapelikengistä. Sähköpostiviesti. reijo.karlsson@cablex.fi. Luettu 29.4.2016.

Karlsson, R. 2016b. Puristusliitokset. Koulutusmateriaali. Luettu 29.4.2016.

Karlsson, R. 2016c. Puristusliitokset. Koulutustilaisuus. 10.5.2016. Sandvik Mining and Construction Oy. Tampere.

Gustav Klauke GmbH. 2014. Catalogue 2015/16. Electrical connection technology / tools and measuring instruments. Esite. Luettu 6.4.2016. <http://klauke.com/fileadmin/flipbooks/electrical-catalogue-2015/files/assets/common/downloads/Klauke%20.pdf>

Gustav Klauke GmbH. 2016. Electrical connection systems. Esite. Luettu 11.3.2016.

[http://www.klauke.com/fileadmin/user\\_upload/pdf/download/catalogue\\_electrical\\_electrical\\_connection\\_systems\\_2015\\_2016.pdf](http://www.klauke.com/fileadmin/user_upload/pdf/download/catalogue_electrical_electrical_connection_systems_2015_2016.pdf)

Nord-Lock Finland Oy. 2014. Nord-Lock X-sarjan lukituslaatat. Tuote-esite.

[http://www.nord-lock.com/wp-content/uploads/2012/09/NLX\\_product\\_brochure\\_70195FI1.pdf](http://www.nord-lock.com/wp-content/uploads/2012/09/NLX_product_brochure_70195FI1.pdf)

Nord-Lock Finland Oy. 2015. Nord-Lock Lukitusaluslevyt. Tuote-esite.

[http://www.nord-lock.com/wp-content/uploads/2015/11/NL-washers\\_product-brochure\\_70025FI1.pdf](http://www.nord-lock.com/wp-content/uploads/2015/11/NL-washers_product-brochure_70025FI1.pdf)

Ouneva Group. 2016. Tuote-katalogi. Sähkökomponentit ja kotelotarvikkeet. Luettu 13.3.2016. <http://www.ounevagroup.fi/fi/ouneva-products/tuotteet/>

Quick Cable Corporation. 2016. Cable crimpers. <http://www.quickcable.com/products.php?pageId=159>

Rommel, L. 2010. Hexagonal crimps for aluminium and copper. Tekninen raportti. Luettu 13.3.2016. [http://www.klauke.com/fileadmin/user\\_upload/pdf/download/report\\_hexagonal\\_crimps.pdf](http://www.klauke.com/fileadmin/user_upload/pdf/download/report_hexagonal_crimps.pdf)

Rommel, L. 2013. Indent crimping: Well-tired yet reliable? Tekninen raportti. Luettu 13.3.2016. [http://www.klauke.com/fileadmin/user\\_upload/pdf/download/report\\_indent\\_crimping\\_benefits\\_limitations.pdf](http://www.klauke.com/fileadmin/user_upload/pdf/download/report_indent_crimping_benefits_limitations.pdf)

Rommel, L. 2008a. Tubular cable lugs for special applications. Tekninen raportti. Luettu 13.3.2016. [http://www.klauke.com/fileadmin/user\\_upload/pdf/download/report\\_tubular\\_cable\\_lugs\\_special\\_applications.pdf](http://www.klauke.com/fileadmin/user_upload/pdf/download/report_tubular_cable_lugs_special_applications.pdf)

Rommel, L. 2008b. Which cable lug suits which application? Tekninen raportti. Luettu 13.3.2016. [http://www.klauke.com/fileadmin/user\\_upload/pdf/download/report\\_which\\_cable\\_lug\\_which\\_application.pdf](http://www.klauke.com/fileadmin/user_upload/pdf/download/report_which_cable_lug_which_application.pdf)

Rommel, L. 2009. Which method is correct? Crimp types at a glance. Tekninen raportti. Luettu 13.3.2016. [http://www.klauke.com/fileadmin/user\\_upload/pdf/download/report\\_crimp\\_types\\_glance.pdf](http://www.klauke.com/fileadmin/user_upload/pdf/download/report_crimp_types_glance.pdf)

Sandvik Mining and Construction Oy. 2016. Yritysinfo. Luettu 20.5.2016.

<http://www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/1181/Internet/FI02071.nsf/Adm/EECEB9B0C1F11225C2257873002AD1F9>

Sandvik Mining and Construction Oy. 2013. Sandvik DD421-60C. Underground Drill Rig. Technical Specification. Luettu 20.5.2016.

[http://www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/0120/Internet/Global/S003713.nsf/Alldocs/Products\\*5CDrill\\*rigs\\*and\\*rock\\*drills\\*5CUnderground\\*drill\\*rigs\\*5CMining\\*jumbos\\*2ADD\\*410/\\$FILE/DD421-60C%206-9485-E.pdf](http://www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/0120/Internet/Global/S003713.nsf/Alldocs/Products*5CDrill*rigs*and*rock*drills*5CUnderground*drill*rigs*5CMining*jumbos*2ADD*410/$FILE/DD421-60C%206-9485-E.pdf)

Würth Elektronik Oy. 2016. Kiinnitystarvikkeet 2016/2017. Tuote-esite.

[http://www.wurthelektronik.fi/site/media/pdf/we/kuvasto/WE\\_Kiinnitystarvikkeet.pdf](http://www.wurthelektronik.fi/site/media/pdf/we/kuvasto/WE_Kiinnitystarvikkeet.pdf)