

Puristustyökalujen kalibrointi

Johan Haavisto

Insinööri (AMK)-tutkinnon opinnäytetyö

Koulutusohjelma: Automaatiotekniikka ja IT

Raasepori 2015



OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Johan Haavisto

Koulutusohjelma ja paikkakunta: Automaatiotekniikka ja IT, Raasepori

Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot: Sähkösuunnittelu

Ohjaaja: Ulf Lemström

Nimike: Puristustyökalujen kalibrointi

Päivämäärä: 16.4

Sivumäärä: 20

Liitteet: 1

Tiivistelmä

Automaatio- ja sähköjärjestelmissä käytetään yleisesti erilaisia puristettavia liittimiä. Puristukseen käytettävät työkalut kuluvat ajan mittaan, jolloin liitos ei enää ole pitävä ja saattaa aiheuttaa järjestelmässä vikatiloja ja oikosulkuja. Puristustyökaluja on tästä syystä hyvä kalibroida säännöllisesti mittaamalla liittimen pysyvyyttä johtimessa vetotestein.

Tämä opinnäytetyö on tehty ABB Oy:n Drives-yksikölle jonka tuotannon puristustyökalujen kalibrointiohjelmia on parannettu. Työ keskittyy yksikön tuotannossa käytettävien työkalujen kalibrointiin ja käsittelee kyseisten työkalujen vaatimuksia ja kokeissa tehtyjä havaintoja. Työn tuloksena valmistunut kalibrointiohjelma kattaa laajan osan puristusliitokseen vaikuttavia osatekijöitä.

Kieli: Suomi

Avainsanat: Puristustyökalu, liitin, kalibrointi, kunnossapito

EXAMENSARBETE

Författare: Johan Haavisto

Utbildningsprogram och ort: Automationsteknik och IT, Raseborg

Inriktning/alternativ/Fördjupning: Elplanering

Handledare: Ulf Lemström

Titel: Kalibrering av pressverktyg

Datum: 16.4

Sidantal: 20

Bilagor: 1

Abstrakt

Inom automations- och elsystem används vanligen pressbara kontakter. För dessa kontakter används pressverktyg som slits med tiden och kan orsaka feltillstånd eller kortslutningar i systemet då kontakterna inte längre är pålitliga. På grund av detta är det bra att kalibrera pressverktygen med jämna mellanrum med hjälp av dragtest.

Detta examensarbete är gjort för ABB Ab:s Drives-enhet, vars kalibreringsprogram för produktionens pressverktyg förnyades. Arbetet fokuserar sig på verktygen som används inom enhetens produktion och behandlar observationer samt verktygens krav för kalibrering. Det slutliga kalibreringsprogrammet täcker majoriteten av de faktorer som inverkar på pressade kontakter.

Språk: Finska

Nyckelord: Pressverktyg, kontakt, kalibrering, underhåll

BACHELOR'S THESIS

Author: Johan Haavisto

Degree Programme: Automation technology and IT, Raasepori

Specialization: Electrical planning

Supervisor: Ulf Lemström

Title: Calibration of crimp tools

Date: 16.4

Number of pages: 20

Appendices: 1

Abstract

Crimped connections are commonly used in automation and electrical systems. Tools used for crimping wear out over time and can cause failures and short-circuits in various applications. To prevent failed crimp connections from occurring it is good to calibrate the tools regularly with pull-out tests.

This thesis has been done for ABB Ltd Drive's Department, whose calibration program for crimp tools was renewed. The thesis focuses on the type of crimping tools used in the department's production and covers the requirements of the tools and observations made during the project. The finished calibration program covers the majority of factors affecting crimped connections.

Language: Finnish

Key words: Crimp tool, connector, calibration, maintenance

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Toimeksiantaja	1
3	Standardit	2
3.1	IEC 60352-2 Solderless Connections	2
3.2	IEC 60999-1 Connecting Devices	2
4	Kalibrointi	3
4.1	Vetotesteri	3
4.2	Pääteholkit	3
5	Vetolujuus	5
5.1	Pääteholkit	5
5.2	Riviliittimet	6
5.3	Kaapelikenkä	7
5.4	Abiko, Molex	8
5.5	Lattaliitin	8
6	Pääteholkkipuristimen kuluminen	9
7	Kalibroinnin laajuus	13
7.1	Puristusmäärä	13
7.2	Kalibrointi-aika	13
8	Kalibrointimenetelmä	14
8.1	Kuorintapihdit	15
8.2	Avausmekanismin lukitus	16
8.3	Koekappale	16
8.4	Käyttäjä	17
8.5	Tarkastusympäristö	18
8.6	Yhteenveto	18
9	Pohdinta ja arviointi	19
10	Lopuksi	19
	Lähdeluettelo	21
	Liitteet	21
1.	Työkalut	1
2.	Koekappale	1
3.	Silmämääräinen tarkastus	2
4.	Vetotesti	3
5.	Tulokset	3

1 Johdanto

Puristusliitoksia käytetään laajalti automaatio- ja sähköjärjestelmissä, joten puristukseen käytettävät työkalut ovat olennaisia kohteen käyttöön, luotettavuuden ja turvallisuuden kannalta. On olemassa lukuisia eri työkaluvalmistajia sekä malleja eri käyttöasteille, jatkuvaan tai satunnaiseen käyttöön. Jatkuvassa käytössä työkalujen kalibrointi on ehdottomasti tärkeää, sillä käytössä kuluneen työkalun aiheuttamat rahalliset ja ajalliset vahingot voivat olla mittavat.

Tämä opinnäytetyö keskittyy ABB:n Pitäjänmäen taajuusmuuttajien tehdastoimintaan jossa käsikäyttöisten puristustyökalujen kalibrointia parannetaan. Yrityksen tuotannosta on tarkoitus kerätä tietoa ja mittaustuloksia työkalujen kunnosta ja käytöstä.

Kalibrointiohjelma sovelletaan kansainvälisten standardien vaatimusten sekä yrityksen sisäisten standardien ja tuotannossa olevien työkalujen sekä liittimien ja kalibrointilaitteiston mukaan.

Opinnäytetyön tavoitteena on laajentaa ja parantaa ABB:n Pitäjänmäen Drivesin taajuusmuuttajatuotannon kalibrointiohjelmaa. Yrityksen toiveena on että kalibrointiohjelma kattaisi tuotannon kaikki puristustyökalut, kalibrointi suoritettaisiin tietyin määräajoin, mutta se ei aiheuttaisi katkoksia tuotannon valmistuksessa. Työn aikana kerätyt tiedot ja havainnot säilytetään, jotta tulevaisuudessa olisi mahdollista soveltaa kehitettyä kalibrointiohjelmaa yrityksen muulle tuotannolle. Uusi kalibrointiohjelma korvaisi vanhan ja se päivitetäisiin yrityksen tietokantaan, joka ilmoittaisi kalibrointiajankohdan sekä säilyttäisi mittaustulokset.

2 Toimeksiantaja

ABB on vuonna 1988 syntynyt yhtymä joka sai alkunsa ruotsalaisen Asean ja sveitsiläisen Brown Boverin yhtiöiden sulautuessa yhteen. Yhtymästä muodostui maailman johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jossa nykyään työskentelee noin 150 000 henkilöä yli 100 maassa ympäri maailmaa. (ABB 2014).

Suomessa ABB on yksi suurimmista teollisista työnantajista, joka toimii yli 20 paikkakunnalla työllistäen noin 5200 henkilöä. Suomessa ABB:n tuotanto sijaitsee pääasiassa Helsingissä, Vaasassa sekä Porvoossa, jossa valmistetaan moottoreita ja generaattoreita, taajuusmuuttajia, muuntajia sekä sähköasennustuotteita.

ABB Drives tehdas sijaitsee ABB:n Pitäjänmäen tehdaskeskittymässä Helsingissä. Alueella sijaitsee myös moottorien ja generaattorien tehdas entisessä Strömbergin rakennuksessa. Drives yksikkö valmistaa ja kehittää pienjännitetaajuusmuuttajia ja työllistää noin 1300 henkilöä. Henkilöstöstä 400 työskentelee tutkimus- ja tuotekehityksessä, sillä yksikkö vastaa maailmanlaajuisesti taajuusmuuttajien tutkimus- sekä kehitystyöstä. (ABB 2015).

3 Standardit

3.1 IEC 60352-2 Solderless Connections

Standardi sisältää yleistä tietoa puristustyökalujen käytöstä sekä liittimien puristamisesta. Standardi suosittelee, että käytettäisiin saman valmistajan työkaluja ja liittimiä, muuten käyttäjä on vastuussa niiden yhteensopivuudesta. Standardi sisältää yleisen vetolujuustaulukon ($0,05 \text{ mm}^2 - 6 \text{ mm}^2$), jonka liittimien on vähintään kestettävä, mikäli valmistaja ei ole ilmoittanut liittimien vetolujuuksia. (IEC 60352-2).

Drivesin tehtaassa on käytössä monen eri valmistajien työkaluja sekä liittimiä, joten yhteensopivuus varmistetaan vuosittaisen kalibroinnin yhteydessä. Liittimien vetolujuuksissa tullaan pääasiassa käyttämään ABB:n sisäisiä standardeja, jotka ylittävät IEC 60352:n vaatimat vetolujuudet.

3.2 IEC 60999-1 Connecting Devices

Standardi sisältää yleistä tietoa johtimen kiinnityksestä jousi- tai ruuvikiristeiseen liittimeen sekä kuvaa vetotestiä kyseisille liitoksille. Vetotesti voidaan suorittaa joko holkilliselle tai holkittomalle johtimelle, liitoksille on määrätty yhteinen vetolujuustaulukko $0,2 \text{ mm}^2 - 35 \text{ mm}^2$:n kokoisille liittimille. (IEC 60999-1)

Tutkimustyön aikana tehtaassa oli käytössä Weidmüllerin valmistamia holkkiptejä sekä Würth Elektronikin pääteholkkeja. Molemmat valmistajat ovat varmistaneet tuotteidensa toimivan kyseisen standardin mukaan. Holkkiptien kalibroinnissa tullaan käyttämään IEC 60999-1:n vetolujuuksia, jotka korotetaan 30 N, jotta vialliset pihdit havaittaisiin varmemmin (kappale 5.1).

4 Kalibrointi

4.1 Vetotesteri

Puristustyökalujen kalibroinnissa päädyttiin käyttämään olemassa olevaa vetotesteriä, jossa on mitattu kaapelikenkien vetolujuutta. Testerin nimi on mav Prüftechnik EPLV 100 (0-1000 N). Laitteessa on pyöritettävä kiekko, johon asetetaan testattavan johtimen liitin. Kiekossa on tappi tarkoitettu kaapelikengille sekä raot erikokoisille liittimille.

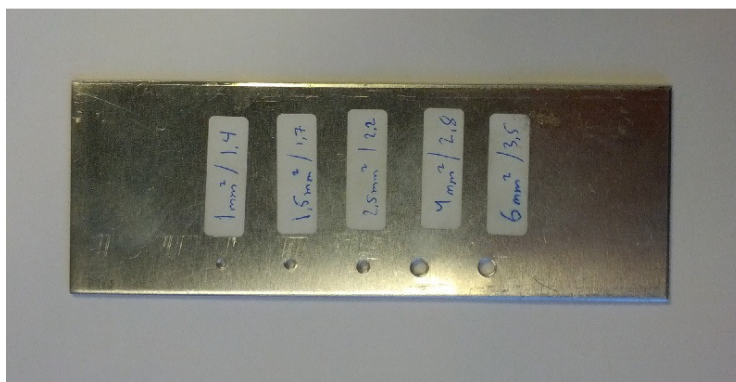


Kuva 1. Vetotesteri

4.2 Pääteholkit

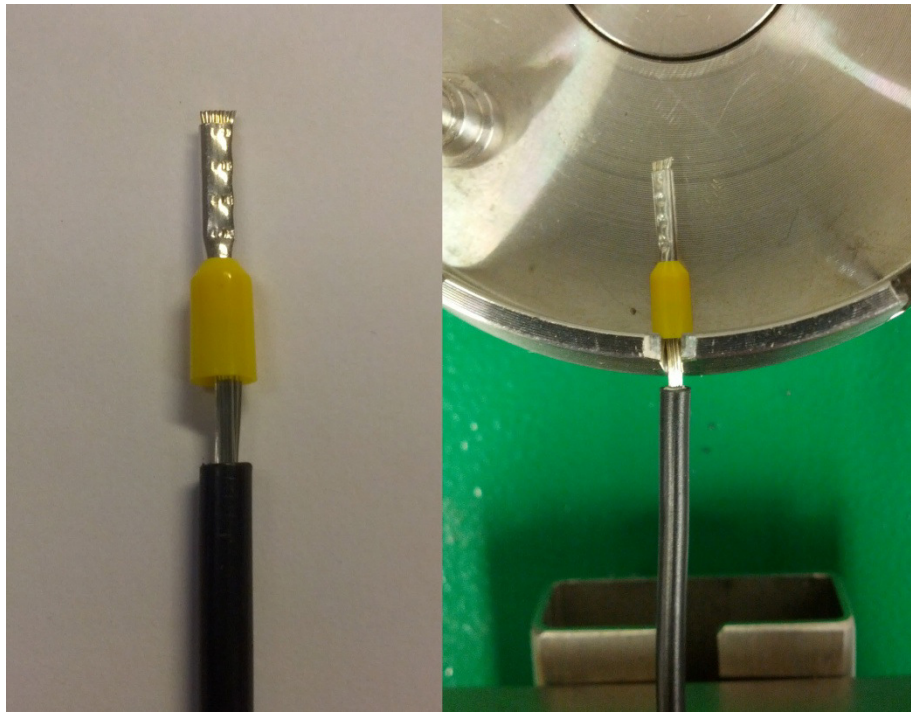
Holkillista johdinta kiinnitettäessä on huomioitava, että holkkia ei puristeta liitoskohdastaan kiinni vetotesteriin. Puristuspihdin tekemän liitoksen vetovoimaa mitattaessa on liitin kiinnitettävä holkin eristeen kannasta.

Tavallisesti puristettuja holkkeja ei voitu luotettavasti testata laitteella ilman, että holkin eriste repeytyi. Tämä johtui siitä, että holkin eristeen ja kiekon kontaktipinta johon vetovoima kohdistuu, oli liian pieni. Havainnoista johtuen päädyttiin tekemään holkkien kiinnityslevyn mallikappale. Alumiinilevyyn porattiin eri läpimittaisia reikiä eri johdinkoille. Kuorittu johdinpää pujotettiin reiän läpi ja holkki puristettiin levyn toiselle puolelle, näin maksimoitiin holkin ja kiinnityslevyn kontaktipinta. Kiinnityslevy asetettiin vetotesterin kiekkoon siten, että vetovoima kohdistuu suorassa kulmassa kiinnityslevyyn nähden. Vetotestit suoritettiin erikokoisilla holkeilla ($1 \text{ mm}^2 - 6 \text{ mm}^2$). Tuloksissa holkki irtosi johtimesta siististi ilman taipumisia tai repeytymisiä. Kokeissa havaittiin tosin, että kuoritun johtimen pujottaminen reikien läpi oli aikaa vievää ja holkin puristaminen hankalaa.



Kuva 2. Pääteholkkien kiinnityslevy.

Vetokokeen nopeuttamiseksi kokeiltiin seuraavaksi kahden edellä mainittujen menetelmien välimuotoa. Johdineristettä leikattiin niin paljon, että holkin eristeen ja johtimen eristeen väliin jäi täysin eristämätön kohta, joka asennettiin testerin kiekon sopivankokoiseen rakoon. Eristämättömän kohdan pituus täytyy olla vähintään 4 mm, jotta holkin tai johtimen eriste ei vaurioidukaan asennettaessa kohdetta testeriin. Menetelmässä holkin ja kiekon kontaktipinta on riittävän suuri, jotta holkin eriste ei vaurioidukaan vaan vedettäessä holkki irtaantuu johtimesta siististi. Menetelmällä voidaan mitata $1 \text{ mm}^2 - 50 \text{ mm}^2$:n holkkien vetolujuuksia.



Kuva 3. Holkin ja johdineristeen väliin jäämä rako sekä asennus testeriin.

5 Vetolujuus

5.1 Pääteholkit

IEC 60352-2:n yleiset vetolujuudet sekä ABB:n sisäisten standardien vetolujuudet eristetyille liittimille eivät sopineet pääteholkkien kalibrointiin. Tämä havaittiin kun testattiin uusien holkipuristimien vetolujuuksia ja havaittiin että kyseisten standardien vetolujuudet olivat liian korkeat. Liittimien valmistaja (Würth Elektronik) ja pihtivalmistaja (Weidmüller) ilmoittivat että heidän tuotteiden vetolujuudet määräytyvät IEC 60999-1 standardin mukaan.

Koska IEC 60999-1:n vetolujuudet määräävät holkillisen tai holkitoman johtimen pysyvyyden jousi- tai ruuvikiristeisessä liittimessä, on pääteholkkien vetolujuuden oltava korkeampi kuin IEC 60999-1. Standardin vetolujuuksia tullaan nostamaan 30 N, jotta kaikkien johdinkokojen vetolujuudet ylittäisivät käsin tehdyn vetotestin vetolujuuden (40 N). Puristusten virhemarginaali vaihtelee 10 – 33 % liittimen koon mukaan, joten 30 N korotus varmistaa että vialliset puristuspihdit havaitaan kalibroinnissa.

IEC 60999-1 ei sisällä 50 mm² liitoksen vetolujuuksia, joten koon on kestävä vähintään 35 mm²:n vaatimat arvot. Testattujen pihtien (Weidmüller PZ50) vetolujuus vaihtelee 276 – 333 N:n välillä (50 mm²).

Tuotannossa on käytössä Weidmüller PZ6 Roto holkkipihtejä joissa on yksi puristuskohta 0,14 – 6 mm² holkkien puristamiseen. Kyseistä mallia kalibroitaessa tullaan käyttämään 1 mm² holkkia, sillä se on pienin ja eniten käytetty koko.

Taulukko 1 – Pääteholkin vetolujuudet

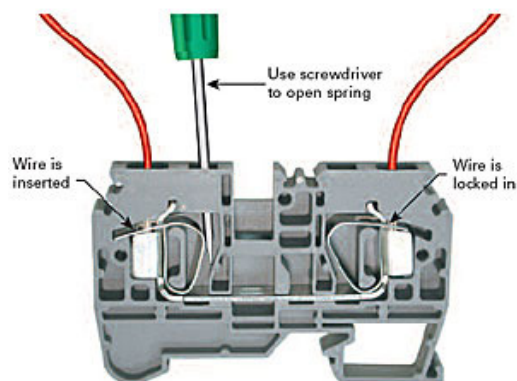
Pinta-ala (mm ²)	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
IEC 60999-1	35	40	50	60	80	90	100	135	190	190
+ 30 N	65	70	80	90	110	120	130	165	220	220

5.2 Riviliittimet

Pääteholkkien kestävyyttä riviliittimissä tutkittiin erillisellä vetotestillä. Testillä haluttiin selvittää riviliittimen vaikutusta holkkien pysyvyyteen johtimissa. Vetotestejä tehtiin 1- 4 mm² holkillisilla johtimilla yhteenkuuluviin jousikiristeisiin riviliittimiin. Holkin kiinnittymistä riviliittimeen simuloitiin heikoimmalla mahdollisella tarttumavalla, eli holkin uraton puoli riviliittimen jousta vasten.

Testeissä havaittiin että riviliittimen vetolujuus on 80 – 130 N välillä holkin ja riviliittimen koon mukaan. Kaikki uudella puristuspihdillä puristetut holkit irtosivat riviliittimistä ennen kuin johtimesta.

Ruuvikiristeisten riviliittimien vetotesteistä luovuttiin, sillä niiden kiristysruuvien kiristysmomenttia ei ole standardisoitu ja vaihtelee käyttäjän mukaan. Ruuvikiristeinen riviliitin litistää myös holkkia liikaa jotta puristustyökalun vaikutusta holkkiin voitaisiin selvittää.



Kuva 4. Jousikiristeinen riviliitin. (Galco, 2015)

5.3 Kaapelikenkä

Kaapelikenkien sekä putkikaapelikenkien liitokset olivat testituloksien kestävimmit. Vetokokeet tehtiin uudella Weidmüller HTN 21 puristimella viidellä erikokoisella johtimella. Kokeessa havaittiin että vetolujuudet ylittivät reilusti standardin vaatimat arvot, lisäksi 6 mm² johtimella arvot ylittävät testerin mitta-asteikon.

Kaapelikenkä- sekä putkikaapelikenkäpuristimien kalibroinnissa tullaan käyttämään ABB:n sisäisiä standardeja. Standardien vetolujuudet ylittävät IEC 60352:n vaatimat rajat.

Taulukko 2. Kaapelikenkäpuristimen testitulokset.

Weidmüller HTN 21

kaapelikenkä johdin	1,5 mm ²	1,5 mm ²	2,5 mm ²	5,5 mm ²	5,5 mm ²
	1 mm ²	1,5 mm ²	2,5 mm ²	4 mm ²	6 mm ²
1	208 N	333 N	483 N	651 N	1000 N*
2	209 N	329 N	450 N	664 N	927 N
3	206 N	330 N	445 N	566 N	859 N
4	199 N	333 N	462 N	572 N	1000 N*
5	210 N	331 N	459 N	695 N	1000 N*
6	216 N	331 N	443 N	575 N	
7	209 N	326 N	447 N	585 N	
8	209 N	330 N	474 N	590 N	
9	214 N	332 N	472 N	611 N	
10	215 N	332 N	464 N	622 N	
keskiarvo	209,5 N	330,7 N	459,9 N	613,1 N	957,2 N
standardi	160 N	220 N	335 N	500 N	730 N

* vetotestilaitteen maksimiarvo = 1000 N

5.4 Abiko, Molex

Tuotannossa on käytössä eristettyjä abikoliittimiä sekä JST:n valmistamia SVH-21T-P1.1 (AWG 22 - 18) liittimiä piirilevyille jotka kulkevat nimellä ”molexliitin”. Molemmat liittimet tullaan vertaamaan yrityksen sisäisten standardien mukaisiin vetoarvoihin avonaisille sekä eristetyille liittimille.

Molex-liittimien puristukseen käytetään Molexin ja Weidmüllerin valmistamia pihtejä. ABB:n sisäiset standardit ylittävät Molexin vaatimat arvot pihdeille ja liittimille. Vetokokeet tullaan tekemään 1 mm² johtimella, joka on liittimellä ainoa käytetty koko tuotannossa. (Molex 2015)



Kuva 5. Molexliitin.

5.5 Lattaliitin

Lattaliittimien puristukseen on käytössä Knipex 97 52 02 mallisia työkaluja. Työkalut kalibroidaan ABB:n sisäisten standardien mukaan, jotka ylittävät standardin ICE 60352:n vaatimat rajat. Uuden työkalun testissä käytettiin kaikkia tuotannossa käytettäviä johdinkokoja kyseisille työkaluille.

Taulukko 3. Lattaliitinpuristimen testitulokset.

Knipex 97 52 05

lattaliitin johdin	0,5-1 mm ²	1,5-2,5 mm ²	1,5-2,5 mm ²	4-6 mm ²	4-6 mm ²
	1 mm ²	1,5 mm ²	2,5 mm ²	4 mm ²	6 mm ²
1	241 N	354 N	530 N	464 N	525 N
2	242 N	348 N	535 N	479 N	578 N
3	254 N	335 N	498 N	489 N	549 N
4	239 N	334 N	499 N	534 N	567 N
5	250 N	344 N	514 N	472 N	540 N
6	245 N	349 N	535 N	470 N	539 N
7	246 N	349 N	524 N	504 N	583 N
8	250 N	352 N	474 N	486 N	491 N
9	253 N	363 N	503 N	517 N	586 N
10	250 N	349 N	492 N	513 N	540 N
keskiarvo	247 N	347,7 N	510,4 N	492,8 N	549,8 N
standardi	110 N	152 N	235 N	310 N	370 N

6 Pääteholkkipuristimen kuluminen

Kokeen tarkoitus oli tutkia Weidmüller PZ6 holkkipuristuspihtien puristusvoimaa sekä kulumista. Kokeessa mitattiin käytöstä poistetun holkkipihtin tekemien liitosten vetolujuudet ja verrattiin samanmalliseen käyttämättömään työkaluun.

Koska sama käyttäjä voi käyttää samoja pihtejä useita vuosia, on mahdollista että pihdit kulumat epätasaisesti. Pihteihin voi muodostua kulumia puristimen hammastukseen sekä eroja puristusvoimaan riippuen siitä kummalta puolelta johdinta syötetään pihtiin.

Kyseisessä mallissa (PZ6 Roto) on lisäksi eroa puristuspään hammastuksen kuvioinnissa.

Toisen puolen kuviointi ei ylety reunaan saakka. Puristuspään päädyt merkattiin 1 ja 2.



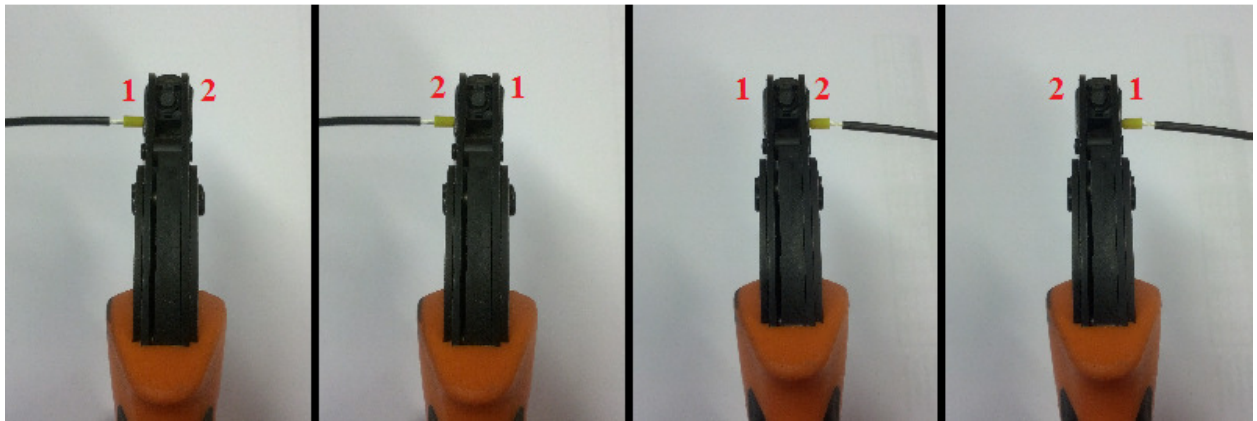
Kuva 6. PZ6 Roto puristuspään hammastuksen kuviointi.

Weidmüller PZ6 Roto sarja nro. 100728-0220 oli käytössä osakokoonpanossa työpisteellä jossa koottiin kääntölevyjä. Puristusepäpäivä arvioitiin noin 200/päivä. Tarkastaja huomasi

johdinten käsin tehdyssä vetotestissä, että osa johtimista irtosi holkeistaan riviliittimistä sekä kojeista. Johdinten pinta-alat vaihtelivat $1 \text{ mm}^2 - 1,5 \text{ mm}^2$.

Vetokokeessa haluttiin selvittää, onko eroja miltä puolelta johdinta syötetään pihteihin, sekä missä asennossa kierrettävä puristuspää on. Kokeen alussa huomattiin että syötettäessä johdinta suoraan edestä oli vetolujuus kaikista suurin, joten lisäkokeita ei suoritettu. Sen sijaan testattiin syöttämällä johdinta sekä vasemmalta, että oikealta puolelta puristuspään ollessa molemmissa asennoissa.

Vetokokeessa kirjattiin ylös lukema jolloin holkki irtosi johtimesta. Kokeet tehtiin eri läpimitoilla (1 mm^2 , $2,5 \text{ mm}^2$ ja 4 mm^2) yhteensopivilla johdin/holkki kombinaatioilla.



Kuva 7. Johtimen syöttö puristimeen eri puolilta puristinpään molemmissa asennoissa.

Tuloksista käy ilmi että syötettäessä johdinta vasemmalta puristuspään 1 pätyyn on vetolujuus alhaisin. Sama kaava toistui kaikilla testatuilla liitinkokoilla. Arvot viittaavat siihen, että pihti on löystynyt sekä puristuspää kulunut epätasaisesti. Kuluminen voi vaikuttaa työkalun kalibrointiin siten, että joudutaan tekemään useampia vetokokeita tai työkalun käyttäjä tekee testattavat liitokset.

Puristuspään kuviointi ei vaikuttanut merkittävästi uuden pihdin vetolujuuteen.

Taulukko 4. Vanhan ja uuden PZ6 Roton vetotestitulokset erikokoisilla holkeilla.

johdin + holkki 1 mm²

VANHA 100728-0220		1	2
		N	N
vasen	1	75	130
	2	83	101
	3	62	126
	4	65	121
	5	74	108
keskiarvo		71,8	117,2
oikea	1	137	81
	2	102	132
	3	129	111
	4	137	132
	5	107	71
keskiarvo		122,4	105,4
yhteenlaskettu keskiarvo			
104,2 N			

johdin + holkki 1 mm²

UUSI		1	2
		N	N
vasen	1	183	189
	2	172	167
	3	184	167
	4	167	174
	5	160	173
keskiarvo		173,2	174
oikea	1	158	146
	2	151	143
	3	174	153
	4	150	161
	5	156	201
keskiarvo		157,8	160,8
yhteenlaskettu keskiarvo			
166,45 N			

johdin + holkki 2,5 mm²

VANHA 100728-0220		1	2
		N	N
vasen	1	70	132
	2	61	104
	3	78	128
	4	38	117
	5	56	95
keskiarvo		60,6	115,2
oikea	1	133	102
	2	135	105
	3	112	
	4		
	5		
keskiarvo		126,7	103,5
yhteenlaskettu keskiarvo			
101,49 N			

johdin + holkki 2,5 mm²

UUSI		1	2
		N	N
vasen	1	141	136
	2	143	156
	3	166	175
	4	167	175
	5	170	146
keskiarvo		157,4	157,6
oikea	1	169	115
	2	148	184
	3	137	
	4		
	5		
keskiarvo		151,3	149,5
yhteenlaskettu keskiarvo			
153,96 N			

johdin + holkki 4 mm²

VANVA 100728-0220		1	2
		N	N
vasen	1	126	205
	2	112	154
	3	126	255
	4	103	173
	5	110	162
keskiarvo		115,4	189,8
oikea	1	185	192
	2	245	191
	3		
	4		
	5		
keskiarvo		215	191,5
yhteenlaskettu keskiarvo			
177,93 N			

johdin + holkki 4 mm²

UUSI		1	2
		N	N
vasen	1	274	256
	2	239	225
	3	214	243
	4	219	228
	5	230	231
keskiarvo		235,2	236,6
oikea	1	208	221
	2	252	335
	3		
	4		
	5		
keskiarvo		230	278
yhteenlaskettu keskiarvo			
244,95 N			

Seuraavissa vetokokeissa tutkittiin neljää käytöstä poistettua PZ6 Rotoa. Vetokokeissa selvitettiin ilmeneekö muissa vastaavissa työkaluissa samanlaista kulumista kuin holkkipihdissä 100728-0220.

Koekappaleet valmistettiin siten, että johdin syötettiin edestä sekä vasemmalta ja oikealta puolelta pihtiin, puristuspään molemmissa asennoissa. Vetokokeet suoritettiin 1 mm² ja 2,5 mm² johtimille.

Tuloksissa yhdessäkään pihdissä ei havaittu samanlaista epätasaista kulumista kuten työkalussa 100728-0220.

Taulukko 5. Neljän eri holkkipihdin testitulokset.

	sarja nro 070411-162	
	1 mm ²	2,5 mm ²
vasen 1	148	141
oikea 1	144	138
vasen 2	131	100
oikea 2	115	107
edestä	165	141

	sarja nro 011220-785	
	1 mm ²	2,5 mm ²
vasen 1	127	113
oikea 1	128	111
vasen 2	127	144
oikea 2	121	114
edestä	119	135

	sarja nro 1 mm ²	060130-457 2,5 mm ²
vasen 1	123	199
oikea 1	128	156
vasen 2	111	129
oikea 2	160	148
edestä	134	130

	sarja nro 1 mm ²	060306-642 2,5 mm ²
vasen 1	141	107
oikea 1	160	153
vasen 2	141	161
oikea 2	130	113
edestä	181	171

7 Kalibroinnin laajuus

7.1 Puristusmäärä

Lähtökohtana puristustyökalujen kalibroinnissa oli että työkalujen jokainen puristuskohta tulisi tarkistettava. Näin ollen kalibroinnissa ei jää huomioitta ne puristuskohdat, jotka ovat eniten käytössä ja saattavat olla kuluneempia kuin muut puristuskohdat.

Sopiva määrä koepuristuksia työkaluja kohden antaa luotettavan tuloksen työkalun puristusvoimasta sekä puristuskohtien kunnosta. Kalibroinnissa tullaan käyttämään yrityksen sisäisen puristustyökalujen vetotestiraportin vaatimaa puristusmäärää. Raportissa ohjeistetaan tekemään kolme koetta työkaluilla, joissa on yksi puristuskohta. Työkaluilla, joissa on useampia puristuskohtia, tehdään kolme koetta pienimmällä koolla sekä yksi koe muilla puristuskohdilla.



Kuva 8. Yksi ja kolme puristuskohtaa.

7.2 Kalibrointi aika

Drivesin kahdelle tuotantolinjalle sekä protolinjalle tehtiin arviot työkalujen yhteenlasketusta puristusmäärästä sekä kalibrointiin kuluva ajasta. Työkalut laskettiin

linjastokohtaisesti ja eri työkalujen mukaan tarvittava määrä puristuksia. Ajan arviointi perustuu kalibrointikokeiluun, jossa kalibroidiin pieni määrä erimallisia työkaluja erikokoisilla johtimilla. Arviot jotka on esitelty taulukossa 6 koskevat yhtä henkilöä. Arviossa ei otettu huomioon, onko kaikkia tarvittavia liittimiä tai johdinkokoja työpisteellä, jossa kalibrointi suoritetaan. Lisäaikaa syntyisi, mikäli jouduttaisiin hakemaan varastosta tarvittavia osia kalibrointia varten. Kalibrointikokeilun suoritti yksi henkilö, joka puristi liitokset, sekä suoritti vetotestin.

Taulukko 6. Ajan arviointi.

	Työkalut	Puristukset yhteensä	Kalibrointiaika (h)
Multidrive	212	952	30
ICD	68	306	10
Proto	39	175	6
Yhteensä	319	1433	46

8 Kalibrointimenetelmä

Tuotannossa kerättyjen tietojen perusteella ilmeni, että moni osatekijä vaikuttaa puristusliitoksen luotettavuuteen. Pelkästään työkalun teettämän liitoksen vetolujuuden tarkistaminen ei varmista, ettei käytössä ilmenisi virheellisiä liitoksia. Tästä syystä tulisi kalibroinnin yhteydessä myös tarkastaa liitoksen muut osatekijät, johdineristeen kuorintapihdit, puristustyökalun avausmekanismin lukitus sekä käyttäjän taito.



Kuva 9. Esimerkki tuotantolinjoilla käytetyistä puristustyökaluista.

8.1 Kuorintapihdit

Johdinliittimien asennuksen yhteydessä käytetään johdineristeen kuorintapihtejä, joilla leikataan tarvittava mitta eristettä pois, jotta liitoksen pysyvyys sekä johtavuus varmistetaan. Tehtaan tuotannossa yleisimmällä kuorintapihdillä on niin sanottu automaattinen eristeen poisto. Kuorintapihti leikkaa ja vetää eristeen irti yhdellä puristusliikkeellä. Kuorintapihdit ovat helppokäyttöisiä, sillä ne sopivat 0,15 – 6 mm²:n johtimille ja käyttäjän tarvitsee ainoastaan säätää leikattavan eristeen haluttu pituus. Käytössä näiden kuorintapihtien terät kuluvat eivätkä leikkaa eristettä tasaisesti. Näin tapahtuessa on mahdollista, että eriste rispaantuu ja liitintä asennettaessa eriste joutuu liittimen ja johtimen säikeiden väliin. Vika heikentää sekä liittimen pysyvyyttä että johtavuutta. Työkalun kuluminen vaikuttaa myös leikkausvoimaan siten, että eristettä leikatessa katkeaa johtimen säikeitä. Säikeiden katkeaminen pienentää johtimen poikkipinta-alaa ja heikentää liitosta.

Eristeen kuorintapihdit olisi mahdollista tarkastaa puristustyökalujen kalibroinnin yhteydessä, jolloin vetokokeen koekappaleiden valmistuksessa käytettäisiin tarkastettavaa kuorintapihtiä.

8.2 Avausmekanismin lukitus

Lähes kaikissa tuotannon puristustyökaluissa on avausmekanismin lukitus. Ominaisuus estää pihtiä avautumasta ennen kuin pihtiä on puristettu loppuun asti. Ominaisuus varmistaa, että puristuksessa on käytetty riittävästi voimaa liitoksen pysyvyyden varmistamiseksi.

Avausmekanismin lukitus on puristustyökalujen kuluvin ja yleisimmin rikkoontuva osa. Kuluessaan mekanismi antaa pihdin aueta ennen aikaisesti, jolloin liitintä ei ole puristettu kunnolla johtimeen ja se saattaa irrota. Osassa puristustyökaluissa on kiristinruuvi, jolla kulunutta työkalua voi kiristää. Mekanismi saattaa myös rikkoontua kokonaan, jolloin lukitus on olematon ja näin ollen puristusvoiman kalibrointi mahdoton.

Avausmekanismin lukitus tulisi tarkastaa puristusvoiman kalibroinnin yhteydessä siten, että työkalua puristetaan niin kauan kunnes lukitus irtoaa ja työkalu aukeaa, jolloin kalibroinnissa ilmenee työkalun heikoin mahdollinen puristusvoima. Vetokokeen perusteella tehdään työkalulle mahdolliset kiristystoimenpiteet.

8.3 Koekappale

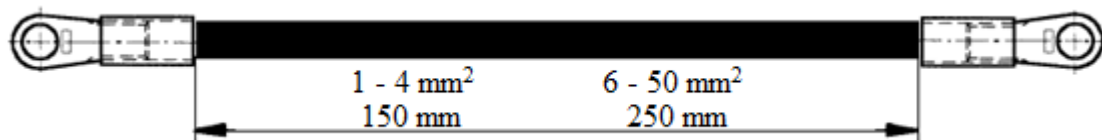
Oikean koekappaleen määrittäminen on tärkeää, jotta vetotestin tulokset olisivat luotettavia. Mittaustulokseen vaikuttaa johtimen tyyppi sekä pituus, lisäksi on varmistettava, että on käytetty yhteenkuuluvia työkaluja sekä liittimiä.

Koekappale koostuu yhteensopivasta johtimesta sekä liittimestä, jotka on puristettu yhteen kalibroitavalla puristustyökalulla. Mikäli työkalulla on useampi puristuskohda, varmistetaan, että puristus tehdään työkalun oikealla kohdalla liittimen koon mukaan. Johdin on oltava säikeistä ja eriste leikataan sopivaksi käytettävän liittimen mukaan. Mikäli liittimellä on johdineristeen pidike, on tämä tehtävä toimimattomaksi yrityksen sisäisten standardien mukaan leikkaamalla ylimääräinen osa eristettä pois. Toimenpide varmistaa, että liittimen sähköjohtava liitos on pitävä eikä eristepidike vaikuta mittaustuloksiin.

Yrityksen sisäisten standardien mukaan $0,15 - 6 \text{ mm}^2$:n koekappaleen tulee olla vähintään 15 cm :n pituinen ja $10 - 1000 \text{ mm}^2$ vähintään 50 cm pitkä. Koekappaleeseen puristetaan

liittimet johtimen molempiin päihin. Koetulosten keräyksen yhteydessä ilmeni, että suurilla vetolujuuksilla, esimerkiksi 6 mm^2 :n kaapelikengillä testattaessa, johtimen ydin liukui ulos eristeestä. Koska kalibroinnissa mitataan vetovoimaa, jolloin liitin irtoaa johtimesta, on oltava mahdollista mitata vetovoimia vetotesterin ylärajaan saakka (1000 N), ilman että eriste antaisi periksi.

Koekappaleen pituutta joudutaan soveltamaan kalibroitavien työkalujen sekä käytössä olevan vetotesterin mukaan. Koska kalibroinnin suurimmat puristuspihdit ovat 50 mm^2 :n johtimille sekä vetotesterin yläraja on 1000 N, joutuvat koekappaleet 6 mm^2 :stä lähtien olemaan vähintään 25 cm pitkiä. Kyseinen pituus on riittävä, jotta johtimen ydin ei liu'u irti eristeestä 1000 N:lla.



Kuva 10. Koekappaleen pituus.

8.4 Käyttäjät

Projektin aikana tutkittiin kahta tapausta, joissa holkkipihdin käyttäjä ilmoitti holkkien irtoavan johtimista vedettäessä. Vetotesteissä havaittiin työkalujen löystyminen mutta vetoarvot eivät alittaneet standardien vaatimia arvoja. Koska tapausten aiheuttamia liittimiä ja johtimia ei voitu tarkistaa, on mahdotonta varmistaa, oliko kyseisissä tapauksissa käytetty vääräkokoisia liittimiä johtimissa.

Suoritetuissa vetotesteissä havaittiin, että holkkien vetovoimaan vaikuttaa suuresti mistä kohdasta liittintä on puristettu. Jo muutaman millin ero, kuinka läheltä holkin eristettä on puristettu, vaikuttaa siihen, irtoaako holkki vedettäessä. Tästä syystä olisi suositeltavaa, että työkalun käyttäjä tekee kalibroinnin liittokset, jotta voitaisiin havaita ilmeneekö työkalun käytössä virheitä.

8.5 Tarkastusympäristö

Puristustyökalujen kalibrointi on mahdollista suorittaa joko yrityksen tuotantolinjalla tai kunnossapidon tiloissa. Vetotesteri on kiinnitetty siirrettävään pöytään, joten se on mahdollista liikutella tuotantolinjan työpisteiden välillä. Tuotantolinjalla kalibroijalla olisi mahdollisuus tarkastaa, että työkaluja käytetään oikein ja virheellisiä koekappaleita olisi helppo uusia kalibroinnin yhteydessä. Kalibroija tarkastaisi, että työkalut, kuten kuorintapihdit sekä puristimet, toimivat luotettavasti eikä niissä ilmeneisi löystymistä tai terien kulumista.

Mikäli kalibrointi suoritettaisiin kunnossapidon tiloissa, vaikeutuisi työkalujen tarkastaminen sekä koekappaleiden hallinta. Koekappaleet voitaisiin valmistaa joko tuotantolinjalla tai kunnossapidon tiloissa. Tuotantolinjalla tehdyt koekappaleet jouduttaisiin siirtämään kunnossapitoon vetotestiin. Siirrossa olisi erityisen tärkeää, että koekappaleet merkittäisiin, millä työkalulla liitokset on tehty, jotta jälkepäin vialliset puristimet löydettäisiin. Toinen vaihtoehto olisi, että työkalut siirrettäisiin kunnossapitoon, jossa koekappaleet valmistettaisiin sekä testattaisiin. Vaihtoehto siirtää käyttäjää ja työkaluja vaikuttaisi liian paljon tuotannon joustavuuteen, lisäksi eri työpisteiden kalibroitavien työkalujen määrät vaihtelevat, mikä vaikeuttaisi siirtoa.

Kun kalibrointi suoritettaisiin tuotantolinjalla, jouduttaisiin ainoastaan siirtämään vetotesteriä. Koekappaleet voisivat olla joko valmiiksi puristettuina kalibrointia varten tai valmistettava kalibroinnin yhteydessä, jolloin esimerkiksi työkalun virheelliseen käyttöön olisi mahdollista puuttua.

8.6 Yhteenveto

Puristustyökalujen kalibrointi on mahdollista suorittaa monella eri tavalla, mutta luotettavimmat tiedot saavutetaan tarkastamalla puristusliitoksen kaikkia osatekijöitä. Omien havaintojen sekä kerättyjen tietojen perusteella kalibroinnin laajuuden sekä luotettavuuden kannalta parhaimpaan kalibrointimenetelmään päädyttiin seuraavaan menetelmään.

Puristustyökalujen kalibrointi suoritetaan tuotantolinjalla, jonne kalibroinnin suorittava henkilö saapuu kunnossapidosta. Vetotesteri tuodaan työpisteelle, missä työkalut on

tarkoitus tarkastaa. Ensin tarkastetaan kuorintapihtien sekä puristustyökalujen yleinen kunto sekä toimivuus, jonka jälkeen työpisteellä toimiva asentaja tekee koekappaleet. Koekappaleet valmistetaan luvuissa 7.1 sekä 8.3 esitettyjen ohjeiden mukaan. Kalibroija suorittaa itse vetotestin, jossa liitin vedetään irti johtimesta. Tuloksia verrataan luvussa 5 annettuihin eri liittimien arvoihin. Vetotestin tulokset kirjataan ylös työkalukohtaisesti ja hyväksytyt työkalut merkitään kalibrointitarralla, jossa ilmenee seuraava kalibrointiajankohta. Mikäli tarkastuksessa havaitaan viallisia työkaluja, on nämä poistettava työpisteeltä ja korvattava uusilla. Menetelmä jatkuu läpi jokaisen työpisteen tuotantolinjalla. Kalibroinnin ohje löytyy liitteessä 1.

9 Pohdinta ja arviointi

Projektin aikana onnistuttiin havaitsemaan ja selvittämään tärkeimmät puristustyökalujen kalibrointiin liittyvät osatekijät. Koska tässä opinnäytetyössä keskityttiin tietyn yrityksen puristustyökalujen kalibrointiin, sovellettiin kalibrointiohjelma tälle sopivaksi. Tästä syystä kaikkia liitinmalleja sekä kokoja ei projektin aikana ollut kiinnostusta ja aikaa selvittää. Lopputuotetta, kalibrointiohjelmaa ei ehditty suorittaa projektin aikana, joten kalibrointiohjelman käytännöllisyyttä on vaikeaa selvittää tässä vaiheessa. Mikäli suoritettujen kalibroinnin jälkeen ilmaantuu puutteita tai komplikaatioita, on mahdollisia muutosaiheita pohdittu luvussa 8.

Kalibroinnin kustannuksia ei tarkemmin selvitetty mutta kalibrointiin kuluva ajasta sekä puristusmäärästä, jota selvitettiin luvussa 7, on mahdollista hahmottaa kuluja. Koska kalibrointimenetelmä toimitaan luvussa 8 mainitulla tavalla, tulee kalibrointiin lisäkustannuksia tuotannon viivästyisestä, koska kalibrointi suoritetaan tuotantolinjalla.

10 Lopuksi

Projekti sai alkunsa siitä, että yritys halusi lisätä päätyholkkipuristimensa kalibrointiohjelmaan. Työn kiinnostavin ja luovuutta vaativin vaihe oli päätyholkin kiinnityksen suunnittelu testeriin. Haastavan siitä teki se, että kiinnitys oli sovellettava olemassa olevaan testeriin ja niin helppokäyttöiseksi kuin mahdollista. Työkalujen kulumista tutkittaessa oli vetotesteri kovassa käytössä, sillä viallisille sekä uusille puristimille tehtiin lukemattomia koepuristuksia ja vetotestejä monilla eri liitinmalleilla

sekä koilla. Liittimien minimi-vetolujuudet olivat sen sijaan valmiiksi määritelty eri standardien toimesta, mutta niitä kuitenkin päädyttiin nostamaan varmemman kiinnipysyvyyden varmistamiseksi.

Lopulta kalibrointimenetelmän suunnittelusta kiehtovan teki se, että on niin monta eri mahdollisuutta suorittaa kyseinen kalibrointi. Räättälöiminen juuri tietylle tuotantolinjalle mahdollisimman yksinkertaisen ja nopean, mutta silti kattavan kalibrointimenetelmän suunnittelu on haastavaa, sillä kompromisseja on jouduttu tekemään ja varmasti muutoksia on tehtävä tuotantolinjan kehityksen myötä.

Projekti oli mielestäni onnistunut ja tähän opinnäytetyöhön on helppo tukeutua, mikäli kalibrointimenetelmään halutaan tulevaisuudessa tehdä muutoksia tai laajentaa muille tuotantolinjoille.

Lähdeluettelo

ABB Oy, 2014, *Historia – Teknologijahtaja vuosikymmenten kokemuksella*. [Online]
<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia> [haettu: 24.2.2014].

ABB Oy, 2015, *Drives – Taajuusmuuttajilla kohti parempaa maailmaa*. [Online]
<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/drives> [haettu: 14.4.2015].

Galco, 2015, *Terminal Blocks* [Online]
<http://www.galco.com/comp/prod/tmbk.htm> [haettu 15.4.2015].

International Electrotechnical Commission, 2015, *IEC 60352-2 – Crimped connections – General requirements, test methods and practical guidance*.

International Electrotechnical Commission, 2015, *IEC60999-1 – Connecting devices – Electrical copper conductors – Safety requirements for screw-type and screwless-type clamping units – Part 1: General requirements and particular requirements for clamping units for conductors from 0,2 mm² up to 35 mm² (included)*.

Molex, 2015, *Quality crimping handbook* [Online]
http://www.molex.com/pdm_docs/ats/TM-638000029.pdf [Haettu 10.4.2013].

Liitteet

Liite 1. Puristustyökalujen kalibrointi.

Puristustyökalujen kalibrointi

Tämä ohje opastaa kalibroitavien puristustyökalujen vetokokeen suorittamiseen. Ohje käsittää työkalujen tarkastamisen, liitosten tekemisen sekä vetokokeen suorittamisen.

1. Työkalut

Luotettavien testituloksien saamiseksi on ennen vetotestin aloittamista tarkistettava käytössä olevien kuorintapihtien kunto. Tärkeintä on varmistaa että kuorintapihti ei leikkaa johtimen säikeitä pienentäen johtimen poikkipinta-alaa.

Kalibroitava puristustyökalu tarkastetaan ensin silmämääräisesti, jotta työkalusta ei puutu osia kuten jousia tai ruuveja. Työkalun tulee toimia sulavasti, puristusliike on tasainen ilman jumittamista. Mikäli työkalussa on puristusliikkeen avautumisen estävä lukitus, on sen toimivuus tarkistettava, jotta työkalulla ei olisi mahdollista tehdä heikkoja liitoksia.

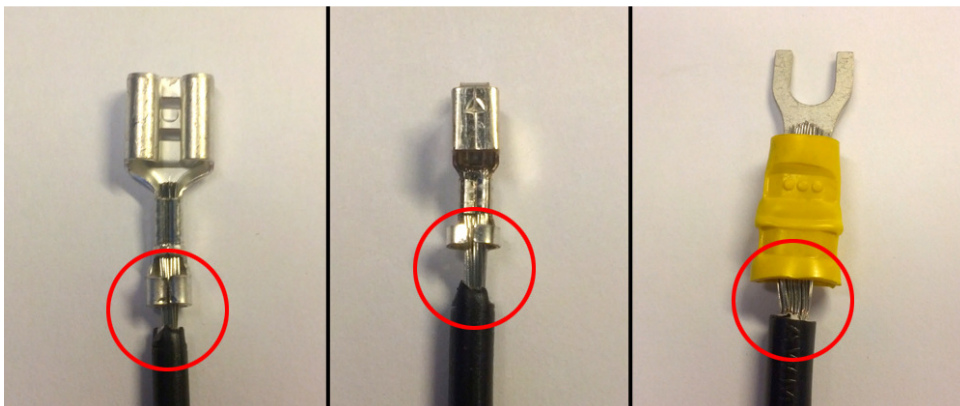
2. Koekappale

HUOM. Työkalun käyttäjä/asentaja tekee kalibroitavat liitokset.

Kalibroitavilla työkaluilla joissa on yksi puristuskohta, tehdään kolme koepuristusta. Työkaluilla joissa on useampia puristuskohtia, tehdään kolme koepuristusta pienimmällä puristuskohdalla sekä yksi koepuristus kaikilla muilla puristuskohdilla.

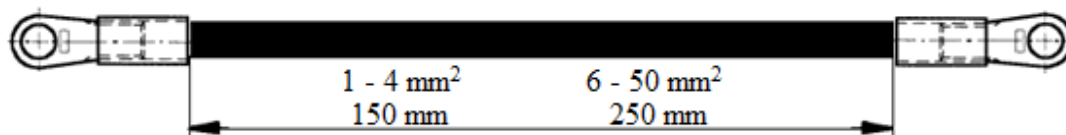
Testattavissa liitoksissa käytetään yhteensopivia liittimiä sekä johdinta puristustyökalujen kanssa.

Mikäli liittimessä on johdineristepidike, on leikattava pidempi osa johdineristettä, jotta liittimen eristepidike ei vaikuttaisi mittaustuloksiin (Kuva 1).



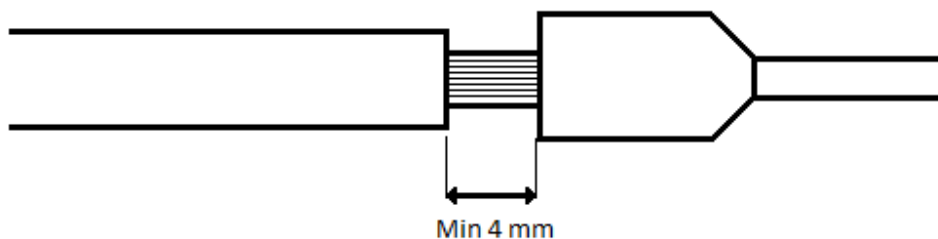
Kuva 1: liittimen johdineristepidike

Testattavan johtimen pituus joka on kooltaan 1 – 4 mm² tulee olla vähintään 150 mm, 6 – 50 mm² tulee olla vähintään 250 mm pitkä, mikäli testiliitokset tehdään johtimen molempiin päihin Kuva 2:n mukaan.



Kuva 2: johtimen pituus

Päätyholkkeja testattaessa on leikattava tavallista pitempi osa johdineristettä, että liitin saadaan asennettua vetotesteriin. Johdineristeen ja päätyholkin eristeen väli tulee olla vähintään 4 mm Kuva 3:n mukaan.



Kuva 3: päätyholkin ja johdineristeen väli

3. Silmämääräinen tarkastus

- Tarkasta että liittokassa on käytetty yhteensopivia liittimiä johtimen kanssa.
- Tarkasta että puristus on tehty liittimen oikeaan kohtaan.
- Tarkasta että kaikki johtimen säikeet ovat liittimen hylsyssä sekä että johtimen eriste ei ole joutunut hylsyyn.
- Tarkasta että liittimen johdineristepidike ei ole puristettu johtimen eristeeseen.
- Tarkasta että liitin ei ole murtunut tai vaurioitunut.

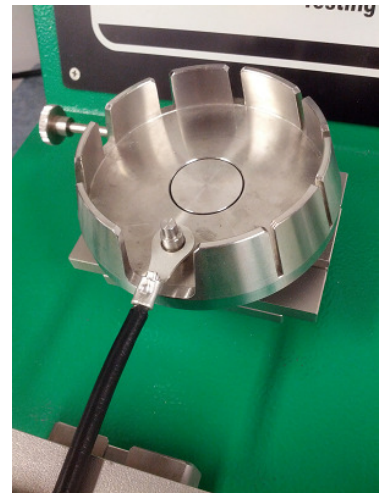
4. Vetotesti

Testattava liitos kiinnitetään vetotesteriin sopivaan rakoon ja varmistetaan että johtimen kummassakin päässä oleva liitin ei vaurioidu.

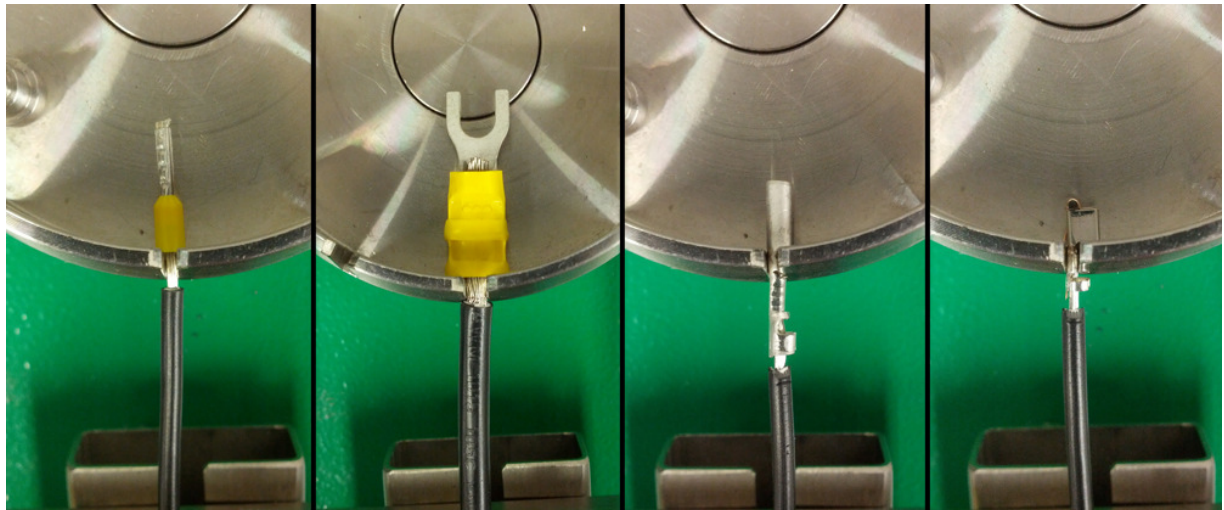
Vetotesti suoritetaan tasaisella voimalla 25 - 50 mm/min. Nykäisyjä on vältettävä että saadaan luotettava tulos.

Vetovoimaa lisätään niin kauan kunnes liitin irtoaa johtimesta, johdin katkeaa tai saavutetaan vetotesterin maksimiarvo.

Kuvissa 4 ja 5 esitetään eri liittimien asennus vetotesteriin.



Kuva 4: kaapelikenkä



Kuva 5: holkki, abiko, lattaliitin, molex

5. Tulokset

Vetotestin tulokset verrataan kunkin liitinmallin suositusarvoihin ja kirjataan ylös työkalukohtaisesti. Tarkastetut työkalut merkitään kalibrointitarralla josta ilmenee seuraava kalibrointiajankohta. Vialliset puristustyökalut kerätään pois ja tilalle tilataan uudet vastaavat työkalut, muutokset kirjataan ylös tietokantaan.

Vetolujuudet

	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
Pinta-ala (mm ²)										
Pääteholkki (N)	65	70	80	90	110	120	130	165	220	220
Kaapelikenkä (N)	160	220	335	500	730	600	960	1500	2100	
Lattaliitin (N)	110	152	235	310	370					
Abiko/molex (N)	102	150	190	275	370					

Johdinkoot

AWG	18	16	14	12	10	8	6	4	2	1
mm²	0,82	1,31	2,08	3,31	5,26	8,37	13,30	21,20	33,60	42,40