



Kontaktori, rele, lämpörele ja moottorinsuojakytkin osana sähkölaitteiston paloturvallisuutta

Valtteri Tuominen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2019

Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka

TUOMINEN, VALTTERI:

Kontaktori, rele, lämpörele ja moottorinsuojakytkin osana sähkölaitteiston paloturvallisuutta

Opinnäytetyö 46 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Toukokuu 2019

If Vakuutus on vuodesta 2013 lähtien kerännyt tilastoa sähköpaloriskien kartoitusten yhteydessä tehdyistä poikkeavista havainnoista. Kontaktoreihin, releisiin, lämpöreleisiin ja moottorinsuojakytkimiin liittyen tehtyjä sähköpaloriskin muodostavia havaintoja tehtiin huolestuttavia määriä tarkastettujen sähkökeskusten määrään suhteutettuna. Tilaston pohjalta on voitu todeta, että sähkölaitteistojen ennakoiva kunnossapito on keskimäärin riittämättömällä tasolla. Sähkölaitteistojen lämpökuvauksen tueksi on syntynyt tarve saada lisää tietoa ja ymmärrystä opinnäytetyössä käsiteltyjen komponenttien vikaantumismekanismeista sekä lämpökäyttäytymisestä.

Laboratoriotutkimuksissa löytyi käytöstä poistettujen komponenttien vikaantumistapoja ja saatiin selville korkean lämpötilan myötä muodostuneiden vaurioiden laajuus komponenttien rakenteissa. Kontaktorien resonoivan äänen ja poikkeavan värinän syyksi paljastuivat korroosio ja epäpuhtaudet kelan rautasydämessä. Ylimenovastusmittausta hyödyntämällä tarkasteltiin kontaktorien ja releiden koskettimien kuntoa. Lämpöreleille ja moottorinsuojakytkimille tehtiin laukaisuaikakoestuksia, joilla todettiin komponenttien suojausominaisuuksien toimivuus. Suojalaitteiden ylivirtatilanteen suuri lämpötila synnytti huolta sähköpaloturvallisuuden vaarantumisesta, vaikka testatuissa suojalaitteissa ei ollut havaittavissa toiminnallista vikaa. Samalla todennettiin kuinka suuri merkitys on asentaa komponentit niin, että ne pääsevät jäähtymään vapaan ilmankierron avulla.

Tutkimustulosten pohjalta sähkölaitteiston lämpökuvaaja voi saada tarkemman ymmärryksen tutkittujen komponenttien normaalista ja epänormaalista toiminnasta. Säännöllisesti suoritettavaa ennakoivaa kunnossapitoa on suositeltavaa lisätä huomattavasti. Tietoutta ja ymmärrystä ennakoivan kunnossapidon suuresta vaikutuksesta sähköpaloturvallisuuteen tulisi saada levitettyä sähköalan ammattilaisille ja sähkölaitteistojen haltijoille. Sähkölaitteiston lämpökuvaus on tehokas apu sähkölaitteiston ennakoivassa kunnossapidossa ja sähköpalojen ehkäisyssä, koska vikoja voidaan havaita jo ennen peruuttamattomien vaurioiden syntyä ja sähköpalovaaran merkittävää kasvua esimerkiksi sulaneiden johdinten tai vakavasti vikaantuneen komponentin vuoksi.

Asiasanat: sähköpaloturvallisuus, lämpökuvaus, sähkökunnossapito

ABSTRACT

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

TUOMINEN, VALTTERI:

The Role of Contactors, Relays, Thermal Overload Relays and Manual Motor Starters in the Fire Safety of Electrical Installations

Bachelor's thesis 46 pages, appendices 3 pages
May 2019

The insurance company If Vakuutus has gathered statistics of abnormalities found during electrical fire safety inspections. Observations associated with contactors, relays, thermal overload relays and manual motor starters have been made in alarming numbers compared with the number of switchboards inspected. Based on this statistic, it can be stated that proactive maintenance of electrical installations is inadequate. More information and understanding of the failure mechanisms and thermal behavior of the components covered in the thesis is needed to support thermal imaging of electrical equipment.

Fault patterns were found during laboratory investigation for malfunctioning components. Findings revealed the extent of damage caused by high temperature in the component structures. Corrosion and foreign matter on coil's armature were found to be the cause for resonant noise and abnormal vibration of contactors. The condition of contactors and relay contacts was examined by contact resistance measurement. Tripping time measurements were made for thermal relays and manual motor starters to verify the working state of components' protection features. High temperature produced by overcurrent in thermal overload devices caused concern about electrical fire safety even though no function failures were found. It was also verified how important it is to install electrical components so that they can cool down by air circulation.

With research results of this thesis, the electrical equipment thermal imager can gain a better understanding of normal and abnormal operation of the above-mentioned components. It is also advised that the frequency of proactive maintenance of electrical installations should be increased. The importance of proactive maintenance should be made clear to electricians and owners of electrical equipment. Thermal imaging is an effective tool to use in the process of proactive maintenance of electrical equipment. It is also an effective way to prevent electrical fires since defects can be detected before irreversible damage, or a significant increase in the risk of electric fire due to e.g. molten conductors or seriously defective components have occurred.

Key words: electrical fire safety, thermal imaging, electrical maintenance

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	SÄHKÖPALOT JA SÄHKÖPALORISKIT TILASTOINA	6
3	KYTKENTÄ- JA SUOJALAITTEET SÄHKÖLAITTEISTOISSA	8
	3.1 Komponenttien rakenne ja käyttökohteet	8
	3.2 Led-valaistuksen aiheuttamat haasteet kytkentälaitteille	9
4	KENTTÄOLOSUHTEISIIN SOVELTUVAT MITTAUKSET	11
	4.1 Virran mittaus käytössä olevasta sähkölaitteistosta	11
	4.2 Ylimenovastuksen määrittäminen	12
5	MITTAUKSET LABORATORIOSSA	14
	5.1 Laboratoriolaitteisto ja käytetyt mittalaitteet	14
	5.2 Kontaktorien vikaantumismekanismit	16
	5.2.1 Kontaktorien ylimenovastukset	16
	5.2.2 Sulaneita johtimia kontaktoreissa	17
	5.2.3 Kontaktorien resonoiva ääni ja värinä	21
	5.3 Releiden paloturvallisuus	23
	5.4 Lämpörele	26
	5.5 Moottorinsuojakytkin	29
	5.5.1 Käytössä ollut kuuma moottorinsuojakytkin	29
	5.5.2 Laukaisuaikakoestus	31
	5.5.3 Lämpökäyttäytyminen ja ylivirta	34
	5.6 Kuormitettujen komponenttien lämpenemä keskuksessa	37
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	41
	LÄHTEET	43
	LIITTEET	44
	Liite 1. Kontaktoreiden ylimenovastusmittaukset	44

1 JOHDANTO

Kontaktorit ja releet ovat lähes jokaisesta sähkölaitteistosta löytyviä ohjaus- ja kytkentäkomponentteja. Vain pienimmät ja yksinkertaisimmin toteutetut sähkölaitteistot on tehty ilman näitä komponentteja. Viime vuosien aikana rele- ja kontaktoriohjaukset ovat yleistyneet myös kodeissa yhä laajemmin käytössä olevan kiinteistöautomaation myötä. Vanhoissa sähkölaitteistoissa muutokset kontaktoriohjauksessa valaistuksessa tai valaistuksen ohjauksessa ovat luoneet uusia haasteita kytkentäkomponenttien sähkömekaaniselle kestävyydelle.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tarkastella kontaktorien ja releiden sekä niihin läheisesti liittyvien lämpöreleiden ja moottorinsuojakatkaisijoiden osuutta sähkölaitteistojen ja kiinteistöjen paloturvallisuuteen. Työssä tarkastellaan saatavilla olevaa tilastotietoa sähköpaloista ja sähköpaloriskeistä sekä tarkastellaan sähkölaitteistoissa tehtävien muutosten vaikutuksia kyseisiin komponentteihin. Laboratoriotutkimuksilla selvitetään todellisten käytettyjen komponenttien vikaantumismekanismia ja pyritään löytämään toimintatapoja ja uutta ymmärrystä vikojen tunnistamiseen, jotta vikaantumisia ja vikaantumisen aiheuttamia sähköpaloriskejä voidaan välttää. Tutkimuksella pyritään myös kasvattamaan tietoa ja ymmärrystä komponenttien lämpökäyttäytymisestä erilaisissa kuormitustilanteissa ja asennustavoissa sekä -ympäristöissä.

Opinnäytetyö on tehty If Vakuutuksen toimeksiannosta. If Vakuutuksen sähköpaloriskejä kartoittava yksikkö on tarkastanut ennaltaehkäisevästi asiakasyritysten sähkökeskuksia nykyisellä laajuudella jo vuodesta 2013 lähtien. Vuosien 2013 ja 2019 välisenä aikana tarkastuksia on tehty yli 35 000:een sähkökeskukseen. Näiden sähköpaloja ennaltaehkäisevien tarkastusten yhteydessä on tehty havaintoja sähköpalon vaaran aiheuttaneista vikaantumisista myös opinnäytetyössä käsiteltäviin komponentteihin liittyen.

2 SÄHKÖPALOT JA SÄHKÖPALORISKIT TILASTOINA

Pelastustoimen PRONTO-rekisterin mukaan vuonna 2018 sähkölaitteesta tai sähköasennuksesta alkaneita tulipaloja oli Suomessa yli 2500 kappaletta. If Vakuutuksen tilaston mukaan sähkö on yleisin yrityspalon syy ja joka kolmas tulipalo on seurausta viallisesta tai ylikuormittuneesta sähkölaitteesta tai sähkölaitteiston kytkennästä.

If Vakuutuksen Turva-akatemia sähköpaloriskejä kartoittava yksikkö on tähän opinnäytetyöhön valitun tarkastelujakson 1.1.2015-31.3.2019 aikana läpikäynyt 22 967 sähkökeskusta. Sähkökeskukset on tarkastettu yhtenäistä toimintamallia noudattaen. Tehdyistä tarkastuksista on koottu jatkuvaa tilastoa tehtyihin havaintoihin liittyen. Tarkastukset on tehty kosketussuojaukset poistettuna silmämääräisesti sekä lämpökameraa apuna käyttäen.

Tarkastetuista keskuksista on tehty tarkastelujaksolla 3081 normaalista poikkeavaa havaintoa kontaktoreihin liittyen ja 856 havaintoa releisiin liittyen. Taulukkoon 1 on laskettu poikkeavien havaintojen määrät suhteessa tarkastelujakson kokonaiskeskusmäärään. Tilastosta selviää, että tarkastettujen keskusten määrää ja tehtyjen havaintojen määrää verratessa pelkästään näihin komponentteihin liittyviä normaalista poikkeavia havaintoja on tehty tilastollisesti yli joka viidennestä tarkastetusta keskuksista. Todellisuudessa lukema olisi vielä suurempikin, jos kokonaiskeskusmäärästä olisi poistettu keskukset, joissa kyseisiä komponentteja ei ole lainkaan.

TAULUKKO 1. Tarkastelujakson 1.1.2015–31.3.2019 poikkeavia havaintoja

Komponentti	Poikkeamia (kpl)	Esiintyvyys (%)
Kontaktori	3081	13,4
Rele	856	3,7
Lämpörele	729	3,2
Moottorinsuojakatkaisija	195	0,8
Jokin yllä mainituista	4861	21,2

Lähes kaikki näihin komponentteihin liittyvät tilastohavainnot ovat sähköpaloriskejä. Tyypillisiä näihin laitteisiin liittyviä poikkeavia havaintoja ovat esimerkiksi

löysät liitokset ja normaalista poikkeava sisäinen lämmönmuodostus. Näin ollen on merkittävä tilastollinen todennäköisyys, että lähes jokaisesta sähkölaitteistosta löytyy jonkin vakavuustason sähköpaloriski liittyen myös näihin komponentteihin, jos sähkölaitteistoa ei ole säännöllisesti tarkastettu ammattitaitoisen sähkökunnossapidon menetelmin.

Lämpökuvausta hyödyntäen tämän tyyppisiä vikoja voi ennaltaehkäisevästi havaita kuormitetuista komponenteista jo ennen kuin silmämääräistä vauriota on havaittavissa. Silmämääräisesti havaittavaksi asti kehittyneet viat ovat esimerkiksi sulaneita johtimia ja suuren lämmönmuodostuksen myötä muuten vaurioituneita komponentteja. Tilastossa on mukana lämpökameralla tehdyt havainnot ja myös lämpökuvauksen yhteydessä silmämääräisesti tehdyt havainnot.

Sähköturvallisuuslaki (2016) velvoittaa sähkölaitteiston haltijaa ylläpitämään sähkölaitteiston kuntoa mm. niin, että laitteistosta ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa. Tässä opinnäytetyössä tutkitut komponentit on saatu valveutuneilta sähkölaitteistojen kunnossapidosta vastaavilta henkilöiltä, jotka ovat yhteistyössä If Vakuutuksen kanssa kartoittaneet vastuullaan olevien sähkölaitteistojen paloriskejä sähkölaitteiston lämpökuvausta hyödyntäen.

3 KYTKENTÄ- JA SUOJALAITTEET SÄHKÖLAITTEISTOISSA

3.1 Komponenttien rakenne ja käyttökohteet

Kontaktori

Kontaktori on sähkölaitteen tai laitteiston päävirtapiiriin tarkoitettu kytkinlaite, jota ohjataan sähköisesti kontaktorin kelaan syötettävän virran avulla. Kela liikuttaa kontaktorin kosketinsilloja niin, että kosketinsillat yhdessä liikkuvien koskettimien kanssa muodostavat johtavan sillan kontaktorin johdinliitosten välille. Kontaktorin rakenne ja koskettimet on suunniteltu tietylle nimellisvirralle. Erilaisia sähkökäyttöjä varten kontaktoreille on käyttöluokitukset kuorman kytkennän kuormittavan vaikutuksen mukaisesti. (Ahoranta, J. 2013.)

Koskettimien sulkeutuessa ja avautuessa koskettimien välille syntyy valokaari, jonka voimakkuus vaihtelee syötettävän laitteen ominaisuuksien mukaisesti. Esimerkiksi induktiivinen sähkömoottorikäyttö kuluttavaa nimellisvirtaan suhteutettuna kontaktorin kosketinkärkiä enemmän kuin resistiivinen lämmityskuorma. Kontaktoreita käytetään yleisesti esimerkiksi moottoreiden, valaistuksen ja lämmityksen kytkentälaitteena. Kontaktori voi olla myös laitekokonaisuuden kytkinlaitteena kuten esimerkiksi suurkeittiön emännänkytkimenä.

Rele

Rele on kontaktorin kaltainen kytkinlaite. Releet ovat kuitenkin suunniteltu pienemmille virroilla sähkölaitteen tai laitteiston ohjauspiiriin. Releillä on kontakteita tyypillisemmin myös normaalisti kiinni asennossa olevia koskettimia. Releitä käytetään pienivirtaisten ohjaustoimintojen lisäksi yleisesti myös esimerkiksi valaistuksen ohjauslaitteena.

Lämpörele

Lämpörele on sähkölaitteen tai laitteiston suojalaite, jonka mekaaninen versio koostuu kontaktoria ohjaavasta koskettimesta ja ohjausmekanismia liikuttavista bimetalliliuskoista. Lämpöreleen kautta kytketyn laitteen virta kulkee bimetalliliuskan ympärille kierretyn vastuslangan kautta. Vastuslangan lämmittävä teho on

riippuvainen vallitsevasta virrasta. Virran kasvaessa bimetalliliuska taipuu ja aiheuttaa kontaktoria ohjaavan koskettimen avautumisen.

Lämpöreleellä on komponenttivalmistajan määrittelemä laukaisuaikakäyrä, josta selviää suunniteltu laukaisuaika eri kuormitusvirran kerrannaisina asetteluvirtaan nähden. Lämpörele ohjaa yleensä kontaktoria, mutta lämpöreleessä voi olla myös omat kuormavirran katkaisevat koskettimet. (Ahoranta, J. 2013.)

Lämpöreleitä käytetään tyypillisesti erilaisten moottoreiden suojalaitteena. Näin ollen lämpöreleitä löytyy esimerkiksi ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmien yhteydestä sekä teollisuuden moottorikäytöistä.

Moottorinsuojakytkin

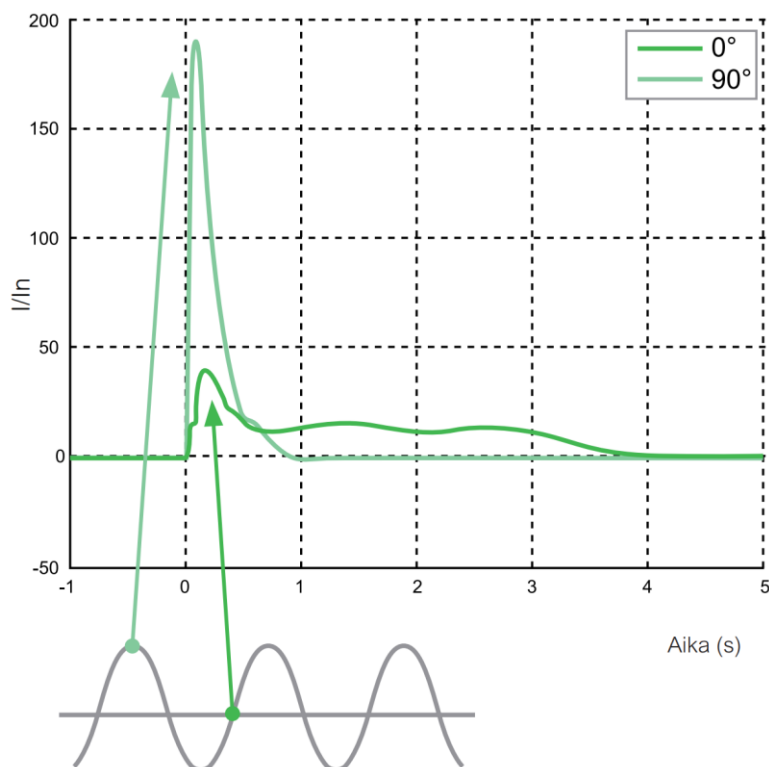
Moottorinsuojakytkimeen tai toisin sanoen moottorinsuojakatkaisijaan on yhdistetty kontaktorin ja lämpöreleen toiminnallisuudet samaan laitteeseen. Moottorinsuojakytkin koostuu kolminapaisesta kosketinyksiköstä, lämpöreleestä ja pikalaukaisimesta. Näin samaan laitteeseen yhdistyy moottorin ohjaus- ja suojaustoiminnot. Manuaalisen virtakytkimen lisäksi laitetta käytetään moottoreiden ja järjestelmien sulakkeettomaan suojaukseen oikosuluilta, ylikuormilta ja vaihekatkoksilta. (ABB Oy. 2014.)

3.2 Led-valaistuksen aiheuttamat haasteet kytkentälaitteille

Viime vuosina jatkuvasti yleistynyt led-valaistus on tuonut valaistuksen ohjaukseen uudenlaisen haasteen. Led-valaisimien muita valaisintekniikoita pienempi energiankulutus voi harhauttaa ajattelemaan, että led-valaistus on myös kytkentälaitteita vähemmän kuormittava ratkaisu.

Todellisuus on kuitenkin päinvastainen, sillä led-valaisimien kytkentähetken virtapiikki on jopa 200-kertainen nimellisvirtaan nähden kuten kuviossa 1 on esitetty. Virtapiikin suuruuteen vaikuttaa led-valaisimen sisäisen virtalähteen toteutustapa ja kytkentähetken jännite eli siniaallon vaihe. Jännitteen nollapisteessä tehdyn kytkennän kytkentävirtapiikki on alle neljäsosan siitä, mitä haitallisimmalla ajan-

hetkellä eli jännitteen korkeimmassa pisteessä tehty kytkentä aiheuttaa. Led-valaisimien kytkentävirtapiikki voi esimerkiksi vaurioittaa kontaktorin tai releen koskettimia tai aiheuttaa johdonsuojakatkaisijan laukeamisen. (Schneider Electric, 2015.)



KUVIO 1. Led-valaisimien kytkentävirtapiikit (Schneider Electric 2015)

Led-valaistuksen ohjaukseen on kehitetty puolijohdetekniikkaan perustuvat kontaktori ja rele, joissa ei ole lainkaan liikkuvia osia. Puolijohdetekniikka mahdollistaa kytkentähetken tarkan määrittelyn, joten kytkentä johtavaan tilaan voidaan tehdä vaihtojännitteen siniaallon ollessa nolapisteesään. Tällöin kolmivaiheisen kontaktorin vaiheet kytkeytyvät johtavaan tilaan hieman eri ajanhetkillä toisin kuin perinteisessä mekaanisessa kontaktorissa.

4 KENTTÄOLOSUHTEISIIN SOVELTUVAT MITTAUKSET

4.1 Virran mittaus käytössä olevasta sähkölaitteistosta

Sähkölaitteiston lämpökuvauksen yhteydessä komponenttien virran suuruuden ja symmetrian tunteminen on tärkeää. Lämpökuvauksen yhteydessä tehtävä kuormitusvirran mittaus on tarpeen tehdä luotettavalla mittalaitteella. Virran mittauksella on usein tärkeä osuus lämpökameralla tehtävän vikadiagnoosin vahvistamisen, tarkentamisen tai havainnon vakavuuden määrittelyn kannalta. Lämpökuvauksen yhteydessä virtamittauksiin käytetään yleensä pihtiampeerimittaria tai haarukkavirtamittaria. Näillä mittareilla virran määrittäminen on mahdollista ilman, että sähkölaitteiston toiminta häiriintyy.

Laboratoriomittausten yhteydessä tuli ilmi, että käytetyt pihtiampeerimittarit eivät ole välttämättä luotettavia tarkkuudeltaan pienien virtojen mittaukseen. Joidenkin mittausten aikana oli huomattavaa, kuinka mittarin läheiset johtimet vaikuttivat mittaustulokseen mittaria ja johtimia liikutellessa. Taulukossa 2 on laboratoriotestien yhteydessä mitattuja pieniä virtoja. Kaikki käytetyt mittalaitteet ovat true rms -mittareita. Fluke 87 on yleismittari, jonka antamiin arvoihin pihtiampeerimittareiden arvoja verrattiin.

TAULUKKO 2. Eräitä mitattuja virta-arvoja eri mittareilla

Fluke 87 (A)	Fluke 324 (A)	Ero (A)	Virhe %	Kaise SK-7600 (A)	Ero (A)	Virhe %
0,23	0,32	0,090	39,1			
0,253	0,35	0,097	38,3			
0,63	0,66	0,030	4,8	0,75	0,120	19,0
0,797	0,83	0,033	4,1	0,93	0,133	16,7
0,81	0,83	0,020	2,5	0,93	0,120	14,8
1,17	1,24	0,070	6,0	1,33	0,160	13,7
1,17	1,18	0,010	0,9	1,32	0,150	12,8
1,18	1,2	0,020	1,7	1,34	0,160	13,6

Fluke 324 pihtiampeerimittarilla noin 0,25 ampeerin virroilla virheeksi muodostui lähes 40%. Yli 0,6 ampeerin virralla virhe oli pääsääntöisesti enää alle 5 %. Yli ampeerin virralla virhe oli jo alle 2 %, mutta poikkeuksellisesti yhden mittauspisteen tapauksessa silti 6 %.

Kaise SK-7600 -pihtiampeerimittarilla virhe oli huomattavasti suurempi koko testatulta virta-alueelta. Virhe oli suurin pienillä virroilla ja väheni virran kasvaessa prosentuaalisesti, mutta ei virheellisen virran määrässä mitattuna. SK-7600 mittarin tulokseen saattaa vaikuttaa mittarin pihtiosan silminnähten heikentynyt kunto useiden vuosien käytön tuloksena.

Pienillä virroilla pihtiampeerimittaria ei mittausten perusteella voi käyttää absoluuttisten arvojen mittaukseen ellei mittarin tarkkuutta ja kuntoa ole varmistettu. Virhe vaikutti kuitenkin olevan toistuvilla mittauksilla hyvin samaa suuruusluokkaa, joten esimerkiksi kolmivaihejärjestelmän symmetrisyyden tarkastamisessa epätarkastakin mittarista voi olla hyötyä lämpökuvauksen yhteydessä.

4.2 Ylimenovastuksen määrittäminen

Kontaktorien, releiden ja myös muiden kytkinlaitteiden koskettimet voivat vaurioitua. Kytkenähetkellä ja erityisesti koskettimien avautumishetkellä muodostuva valokaari kuluttaa kosketinpintoja. Valokaareissa kulkevan virran suuruus vaikuttaa voimakkaasti kosketinpintojen kulumisnopeuteen. Kosketinpintojen kuluessa, likaantuessa tai kosketinpintojen osuessa puutteellisesti tai liian pienellä voimalla vastakkain kosketinpintojen välinen impedanssi kasvaa. Virran kulkiessa kasvaneen impedanssin kautta syntyy jännitehäviö ja kosketinpintoja lämmittävä energiahäviö.

Kontaktoreiden ja releiden lämpökuvauksessa ei aina ole mahdollista päästä täyteen varmuuteen muodostuuko poikkeava lämpö kosketinpintoista komponentin sisältä vai johdinliitoksesta tai johdinliitoksista molemmin puolin komponenttia. Tällaisessa tilanteessa ylimenovastuksen määrittämällä voi varmistua lämmön lähteen eli vian tai puutteellisen liitoksen sijainnista.

Jännitehäviön mittaus ei vaikuta sähkölaitteiston toimintaan, joten ylimenovastukset voi mitata normaalia toimintaa häiritsemättä. Jännite on tärkeää mitata

vain tarkasteltavan liitoksen eli esimerkiksi kontaktorin koskettimien yli. Jos jännite mitataan esimerkiksi kontaktoriin liitettyjen johtimien metallista, tulokseksi saadaan johdinliitosten ja kosketinpintojen yhteenlaskettu jännitehäviö.

Ylimenovastus tai ylimenoimpedanssi lasketaan jännitehäviön ja mitatun virran perusteella ohmin lain mukaisesti kaavalla

$$Z = U/I, \quad (1)$$

jossa U on jännitehäviö tarkasteltavan osan yli ja I on tarkasteltavan osan läpi kulkeva virta. Tarvittaessa jännitehäviön aiheuttama teho voidaan laskea kaavalla

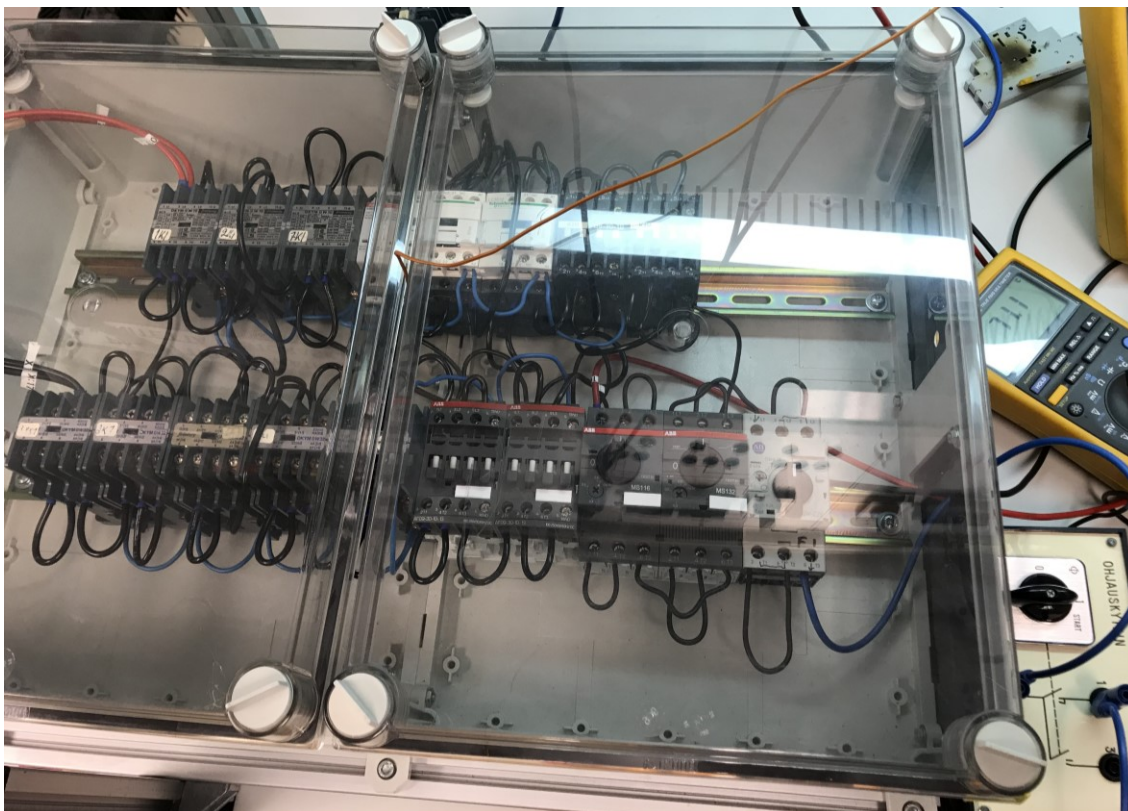
$$P = UI, \quad (2)$$

kuten laboratoriomittausten yhteydessä on tehty. Tehon määrittelemällä saadaan suoraan selville liitoksen ja komponentin lämpöä tuottava teho, jota voidaan vertailla lämpökuvissa näkyviin ilmiöihin.

5 MITTAUKSET LABORATORIOSSA

5.1 Laboriolaitteisto ja käytetyt mittalaitteet

Sähkötekniset mittaukset tehtiin Tampereen ammattikorkeakoulun sähkövoimatekniikan laboratoriossa. Käytetyt eri tavoin vikaantuneet tai vikaantuneeksi epäillyt komponentit sekä uudet verrokkikomponentit kiinnitettiin mittauksia varten muoviseen keskuskoteloon. Kuvassa 1 näkyvässä keskuskotelossa on suljettavat kannet lämpökameran avulla tehtäviä lämpenemäkokeita varten. Suljetulla kotelolla voidaan simuloida normaalia käytössä olevaa tiivistä muovirakenteista keskusta.



KUVA 1. Mittauksissa käytetty muovikotelo

Resistiivisenä keinokuormana käytettiin kuvassa 2 näkyviä säädettäviä vastuksia. Sarjaankytkettynä kuvan punaisilla vastuksilla on mahdollista luoda säädettävä riittävän suuri kuorma, jolla saavutetaan kontaktoreiden nimellisvirta. Lämpöreleiden ja moottorinsuojakytkinten mittauksiin oli tarve käyttää pienempiä ja tarkemmin säädettäviä virtoja, joten lämpösuojien mittauksissa oli

käytössä portaattomasti säädettävä resistiivinen kuorma, joka on kuvassa oleva sinikeltainen laite.



KUVA 2. Säädettäviä vastuskuormia laboratoriossa

Lämpökuvaukseen käytettiin Flir T335 -lämpökameraa, jonka kääntyvällä kuva-päällä sähkökeskusten korkealla ja matalalla olevat osuudet ovat ergonomisesti lämpökuvattavissa. Virta-, jännite- ja lämpötilamittauksissa käytettiin Fluke 87 III sekä Fluke 87 V -yleismittareita. Yli 10 ampeerin virtamittauksiin käytettiin Fluke 324 ja Kaise SK-7600 -pihtiampeerimittareita. Kaikki edellä mainitut mittarit ovat true rms -mittalaitteita. Käytössä olevien sähkölaitteistojen virtamittaukset tehdään yleensä aina käyttäen pihtiampeerimittareita, joten pihtiampeerimittareita käytettiin myös vertailun vuoksi pieniin virtoihin. Pihtiampeerimittarit mahdollistavat virtamittaukset käytössä oleviin laitteistoihin ilman jännitekatkoja, joten virtamittauksia on mahdollista tehdä esimerkiksi tehdasprosessien häiriintymättä.

5.2 Kontaktorien vikaantumismekanismit

5.2.1 Kontaktorien ylimenovastukset

Laboratoriotutkimusten aikana ylimenovastukset mitattiin useasta kymmenestä kontaktorista. Liitteessä 1 on esitelty tutkittujen kontaktoreiden ylimenovastusmitausten tulokset. Uusien kontaktoreiden ylimenovastuksiksi saatiin 1,2-2,6 miljooniamperia. Joidenkin vanhojen kontaktorien ylimenovastuksiksi saatiin lähes yhtä hyviä arvoja, mutta valtaosan ylimenovastus oli suuruusluokkaa 5,5-25 miljooniamperia. Noin 20 ampeerin koestusvirralla tämä tarkoittaa, että uusien kontaktoreiden koskettimissa häviöteho oli noin yksi watti vaihetta kohden ja vanhojen kontaktoreiden koskettimien häviöteho oli noin 3,5-12 wattia. Heikkokuntoisen kontaktorin koskettimissa voi siis esiintyä vaarallisen suurta lämmöntuottoa, joka lämmittää koko kontaktoria ja metalliosia pitkin johtamalla erityisesti johdinliitoksia ja johtimia koskettimien lisäksi.

Eräs Lappeenrannan kaupungintalon valaistusta ohjaava Strömberg OKYM 0 - kontaktori oli vikaantunut niin, että ensimmäisen vaiheen kontakti ei luonut johtavaa kontaktia eikä valot näin ollen syttyneet. Valot syttyivät, kun kontaktorin koskettimien runkoa painettiin. Laboratoriotesteissä kontaktorin ensimmäinen vaihe loi kontaktin noin joka viidennellä kerralla kontaktorin kelan vetäessä.

Kontaktori purettiin laboratorioissa tarkastelua varten. Ensimmäisen vaiheen koskettimet paljastuivat silminnähden heikkokuntoisiksi. Koskettimien kärjet näyttävät siltä, että metalli on päässyt sulamaan valokaaren tai muutoin aiheutuneen suuren lämmön vaikutuksesta. Kuvassa 3 on ylempänä ensimmäisen vaiheen koskettimet ja alhaalla toisen vaiheen koskettimet.



KUVA 3. Kontaktorin koskettimet

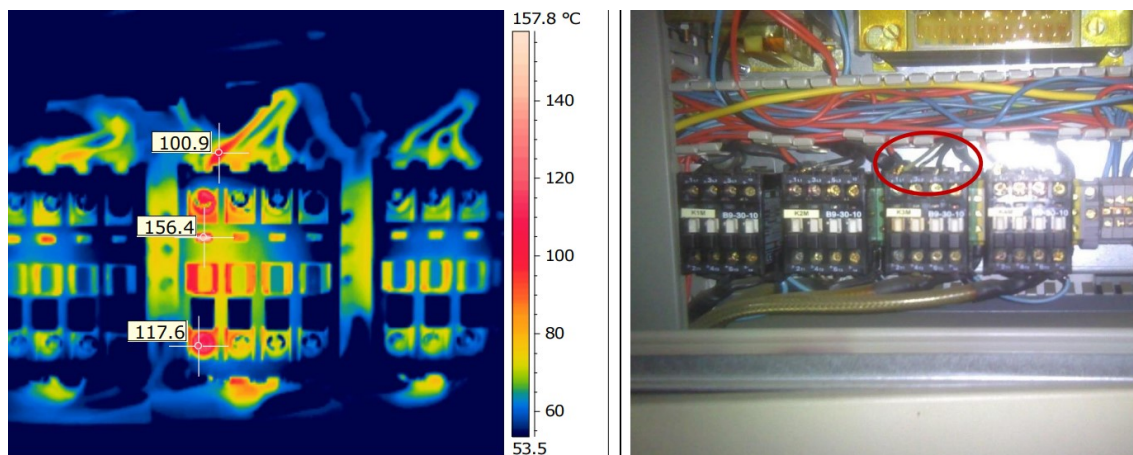
Laboratoriotesteissä havaittiin, että ensimmäisen vaiheen kytkeytyessä sen ylimenovastus oli yllättävän pieni eli noin 10 milliohmia. Liikkuvat koskettimet pääsevät ilmeisesti liikkumaan kytkentäkertojen välissä jousiripustuksessaan niin, että välillä käytössä on hyvin toimiva osa koskettimen liitospintaa ja välillä johtavaa yhteyttä ei synny lainkaan. Vajavaisesti johtava yhteys voi kuumentua voimakkaasti ja aiheuttaa näin sähköpalovaaran.

Tämän kontaktorin tapauksessa ylimenovastus oli vaihtelevasti melko pieni tai äärettömän suuri, jolloin vikaantuminen ei ollut havaintohetkeen mennessä pääsyt etenemään tuhoisin seurauksin. Mikäli vikaantunutta komponenttia ei olisi havaittu sähkölaitteiston lämpökuvauksen yhteydessä olisi vikaantuminen voinut johtaa sähköpaloon.

5.2.2 Sulaneita johtimia kontaktoreissa

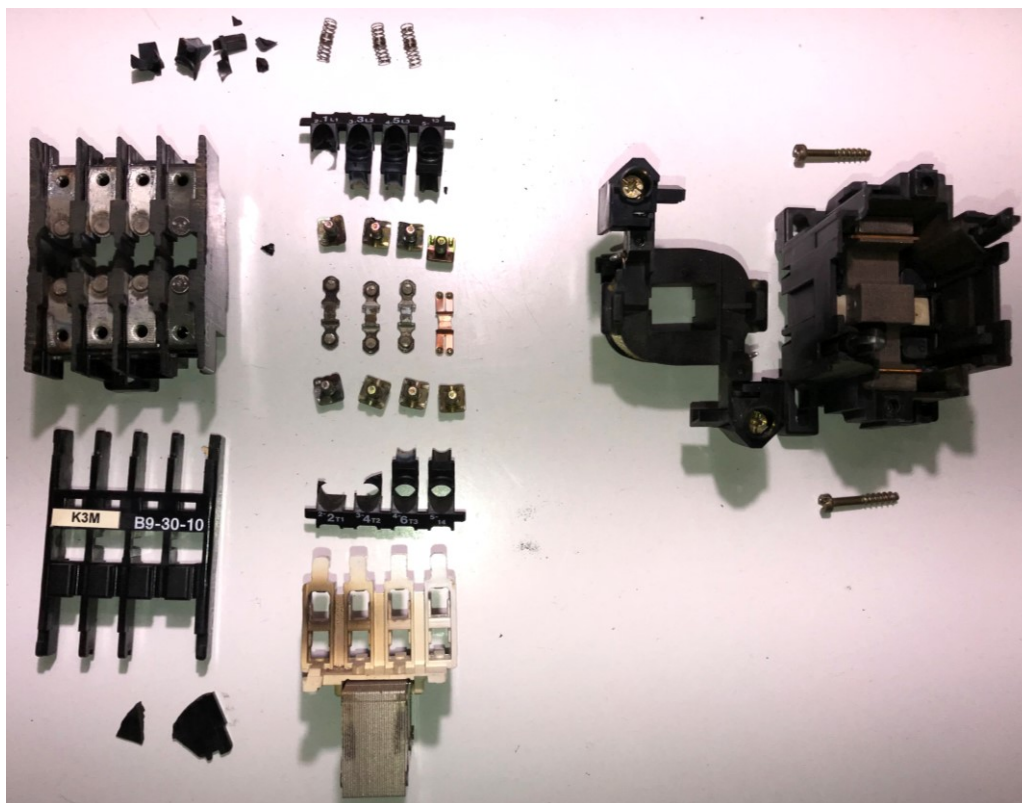
Puuta jalostavan teollisuuden kuivurissa kolme puhaltimien kontaktoria oli vaurioitunut korkean lämmön vaikutuksesta. Kontaktorin K3M johtimet olivat sulaneet usean senttimetrin matkalta. Kontaktorin ensimmäisen vaiheen alueelta suurin havaittu lämpötila oli lähes 160 celsiusastetta kuten kuvan 4 lämpökuvasta on nähtävissä. Kuumat ja vaurioituneet johtimet ja liitokset ovat olleet merkittävä paloriski. Jos keskuksessa olisi ollut puupölyä, olisi sähköpalon riski ollut vielä havaittuakin tilannetta merkittävästi suurempi. Korkean lämmön seurauksena myös kontaktorin muoviosissa oli havaittavissa lämmön aiheuttamia värimuu-

toksia. Myös kontaktoreiden K2M ja K4M johtimet olivat vaurioituneet vastaavasti ja lämpökuvaushetkellä suurimmat havaitut lämpötilat olivat molemmissa noin 80 astetta. Lämpökuvaushetken virtoja ei ole voitu mitata johtimien heikon kunnon ja ahtaan tilan vuoksi.



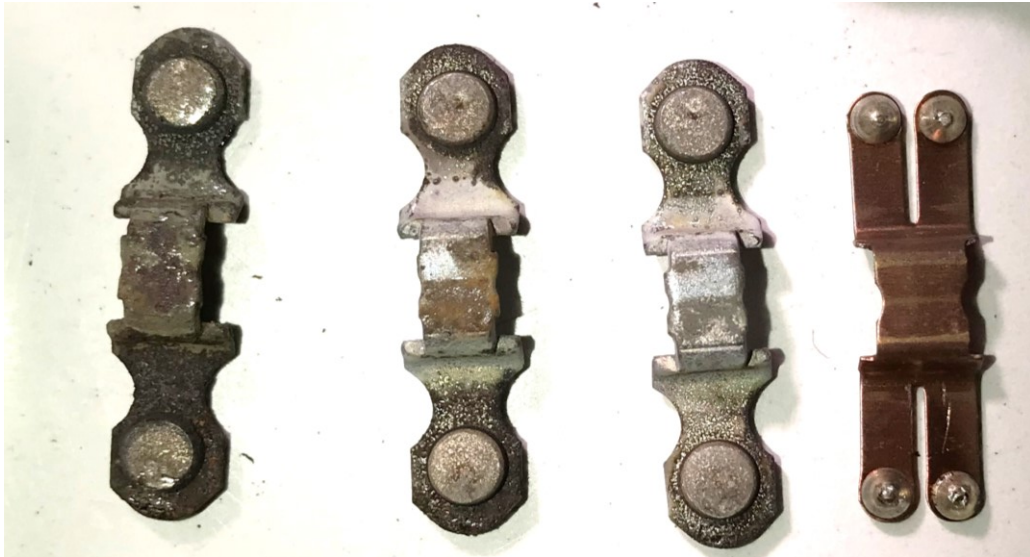
KUVA 4. Kontaktori K3M on vaurioitunut ja johtimet sulaneet (Aki Tainio, 2019)

Kontaktori K3M vaurioita tarkasteltiin tarkemmin purkamalla kontaktori. Ensimmäisen ja toisen vaiheen johdinliitokset olivat kärsineet mittavia korrosiovaurioita. Kuvassa 5 kontaktori on purettuna osiin ja kontaktikärjet on saatu näkyville sahaamalla kontaktorin yläosan muovirunko irti. Kuvassa näkyvä valkoinen koskettimien runko-osa on muuttunut väriltään tummaksi erityisesti ensimmäisen ja toisen vaiheen läheltä. Johdinliitosten ruosteesta osa oli poistettu jo ennen purkamista, jotta ylimenovastukset oli mahdollista mitata.

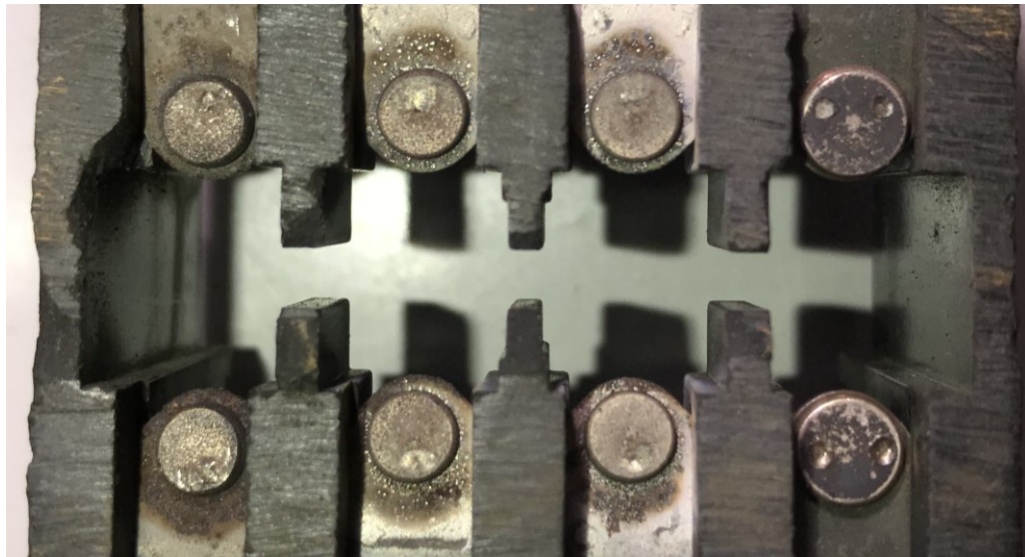


KUVA 5. Kontaktori K3M purettuna ja yläosa sahattuna irti

Kuva 6 esittää kontaktorin liikkuvat kosketinsillat ja niiden kontaktikärjet. Kuvassa 7 on kontaktikärkiä vastaavat kiinteät koskettimet. Korroosiovaurioita on erityisesti ensimmäisen ja toisen vaiheen metalliosissa. Ensimmäisen vaiheen kontaktikärjen takapuolelle oli myös sulanut kiinni pala muovia. Kontaktoria purkaessa kuumimpana olleen reunan liitosruuveja suojaavat muoviosat murenivat pieniksi paloiksi. Tällainen palanen on ilmeisesti irronnut jo normaalin käytön aikana jääden kiinni kuumaan metalliin. Laboratoriossa keskimmäisen vaiheen kärkiä ei saatu johtavaan tilaan useista yrityksistä huolimatta. Syytä ilmiölle ei löytynyt, mutta todennäköisenä voi pitää sitä, että syynä oli pala muovia joka on irronnut kontaktorista.



KUVA 6. Kontaktorin K3M kosketinsillat



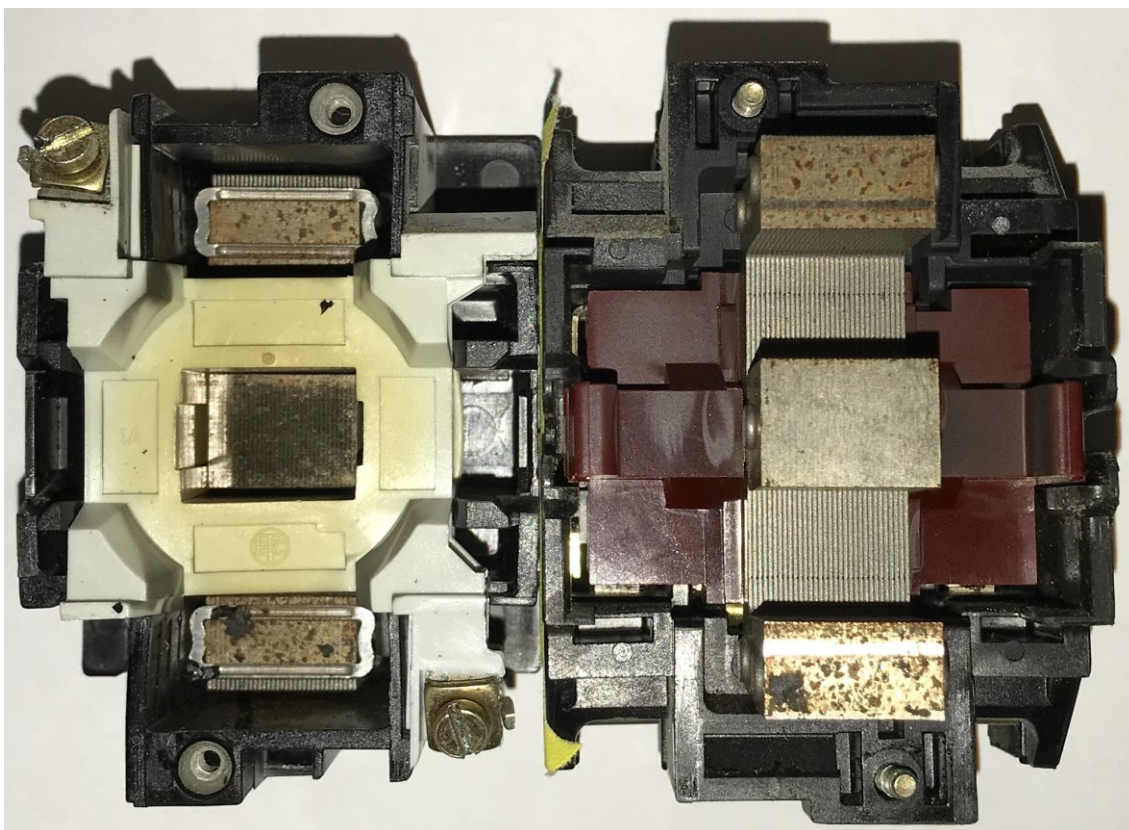
KUVA 7. Kontaktorin K3M kiinteät koskettimet

Kontaktorin sisäisiä vaurioita on hyvin hankalaa tai mahdotonta nähdä kontaktorin ulkopuolelta kontaktoria purkamatta. Poikkeavan suuri lämpötila aiheuttaa korroosiota ja muoviosien heikkenemistä. Tästä syystä on perusteltua aina uusia kontaktori johtimien lisäksi, jos johtimet ovat päässeet sulamaan löysän tai puutteellisen liitoksen seurauksena. Jo maltillisemminkin kohonnut lämpötila voi pitkällä aikavälillä aiheuttaa vastaavia vaurioita mm. käytetyistä muovilaaduista riippuen, vaikka johdineristeissä ei olisi sulamisjälkiä.

5.2.3 Kontaktorien resonoiva ääni ja värinä

Lappeenrannan kaupungintalossa havaittiin kaksi voimakkaasti resonoivaa kontaktoria, jotka olivat käytössä valaisinryhmien etukojeina. Kontaktorit 21K1 ja 21K2 pitivät voimakasta resonoivaa ääntä ja värisivät poikkeuksellisen voimakkaasti. Laboratoriossa kontaktorin 21K1 ylimenovastukset mitattiin. Ylimenovastukset olivat 1,9-3,5 milliohmia eli samaa suuruusluokkaa kuin uusien kontaktoreiden ylimenovastukset. Kaikkien mitattujen kontaktoreiden ylimenovastukset ovat nähtävissä liitteestä 1.

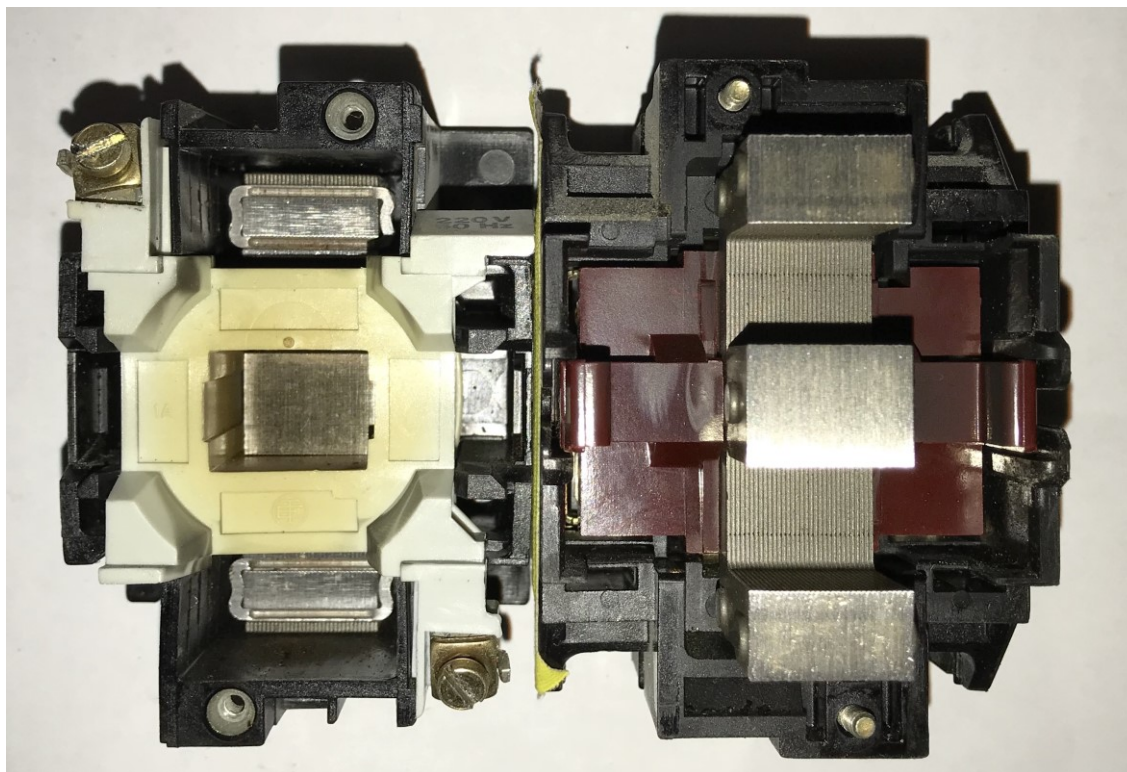
Kontaktorin avaamisen yhteydessä oli havaittavissa, että kelan rautasydämen vastakkain tulevilla osilla oli korroosiovaurioita sekä sulanutta muovia. Korroosion ja epäpuhtauden lisäksi kuvassa 8 on nähtävillä kelan muoviosan värimuutos, josta voi päätellä kelan lämmenneen suunniteltua kuumemmaksi.



KUVA 8. Vaurioitunut Telemechanique LC1-D258 -kontaktori purettuna

Kontaktorin rautasydän huollettiin hiomalla epäpuhtaudet pois. Puhdistettu rautasydän on nähtävissä kuvassa 9. Hiomista varten kontaktorin alaosassa oleva

rautasydämen osa oli tarpeen irrottaa rungosta. Irrottamisen yhteydessä rautasydäntä kiinni pitävät muoviosat murtuivat pieniin osiin, koska muovi oli haurastunut lämmön vaikutuksesta.



KUVA 9. Kontaktorin rautasydän puhdistettuna

Testikäytön aikana oli selkeästi havaittavissa, että kontaktorin resonoiva ääni sekä värinä olivat hävinneet ja kontaktorin toiminta oli näin ollen täysin moitteetonta aistinvaraisesti tarkasteltuna. Huoltotoimenpiteen näennäisestä onnistumisesta huolimatta kontaktoria ei voi pitää enää käyttökuntoisena vaurioituneiden muoviosien vuoksi. Muoviosien puuttuessa mikään ei pidä rautasydämen alaosaa suunnitellusti kiinni rungossa ja heikentyneen muovinrungon palat voivat myös jatkossa joutua vaaraa aiheuttaen kontaktorin liikkuvien osien väliin.

Kontaktorialle 21K1 tehtiin kokeita, joiden tavoite oli selvittää kelan virran ja rautasydämen asianmukaisen asennuksen yhteyttä. Puhdistetun rautasydämen kanssa kontaktori koottuna kela otti 37,1 mA virran eli 8,6 watin tehon 232 voltin jännitteellä. Ohuiden paperinpalojen ollessa rautasydämen puoliskojen välissä virta kasvoi jo 52 %. Kelan ollessa pöydällä ilman rautasydäntä kela otti virtaa

jopa noin 0,5 ampeeria. Näin ollen lämpöä tuottava teho voi kasvaa hyvin jyrkästi, jos rautasydämen osien väliin pääsee korroosiota tai esimerkiksi murtuneen muovin paloja. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Virran kasvu kelassa

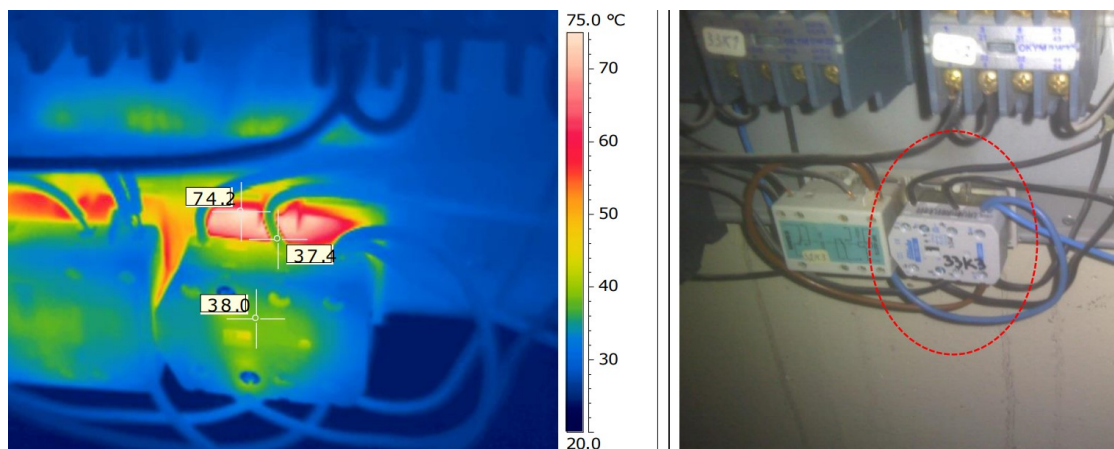
Kontaktori/kela	Virta (A)	Virran kasvu (%)	Teho (W)
Putsattuna, koottuna	0,0371		8,6
Paperinpalat välissä	0,0564	52	13,1
Ilman kontaktorin yläosaa	0,47	1167	109,0
Pelkkä kela	0,507	1267	117,6

Resonoivan kontaktorin kela voi ottaa suurempaa virtaa kuin toimivan kontaktorin kela, koska rautasydän ei toimi avonaisena suunnitellusti. Suurempaa virtaa ottava kela lämpenee vastaavasti voimakkaammin kuin normaalisti, joten on merkittävä riski, että resonoiva kontaktori vaurioituu esimerkiksi muoviosistaan lämmön vaikutuksesta kuten edellä esitetyssä kontaktorissa 21K1. Normaalista suurempi virta ja lämpö voivat myös vaurioittaa kelan käämitystä. Näin ollen poikkeavasti resonoivat kontaktorit on perusteltua uusida kokonaan, jotta toimintavarmuus säilyy ja puutteellisesti toimivan kontaktorin aiheuttama sähköpalon riski poistuu. Suuria huollettavaksi suunniteltuja kontaktoreita voi olla perusteltua kunnostaa, jos vauriot ovat luotettavasti korjattavissa.

5.3 Releiden paloturvallisuus

Lappeenrannan kaupungintalon keskuksessa havaittiin rele, jonka pintalämpötila releen kelan kohdalta komponentin päältä oli noin 75 astetta. Keskus oli rakenteeltaan takaa avoin ja ilma pääsee vaihtumaan keskuksessa vapaasti, joten keskuksen sisäinen lämpötila oli hyvin lähellä huoneenlämpöä. Tällaisen asennusympäristön voi ajatella olevan ihanteellinen komponenttien jäähtymisen kannalta, jos keskukseseen ei pääse kerääntymään pölyä. Edellä mainitun keskuksen rele on nähtävissä lämpökuvassa kuvasta 10. Eltakon releillä on joissain tapauksissa korvattu vanhoja Esmin valmistamia toiminnallisesti vastaavia releitä, jotka ovat vikaantuneet tai muuten tulleet käyttöikänsä päähän. Tällainen Esmin rele näkyy kuvassa Eltakon releen vasemmalla puolella. Vastaavan lämpöisiä releitä on havaittu myös muissa keskuksissa ja

sähkölaitteistoissa. Ympäristön lämpötilan kasvaessa myös releiden lämpötilat ovat olleet vastaavasti suurempia.



KUVA 10. Eltako R81-002 -rele keskuksessa (Ari-Pekka Alatalo 2018)

Käytöstä puretuille Eltakon releille tehtiin laboratoriossa ylimenovastusmittaukset ja sen lisäksi mitattiin kelan ottama virta. Taulukkoon 4 kirjatut arvot olivat keskenään tasaisen yhtäläisiä, joten releiden voi olettaa toimivan suunnitellusti. Ylimenovastukset olivat pieniä ja kelan ottama virta oli kaikissa yksilöissä sama. Mittausten perusteella havaittu lämpenemä ei siis ollut yksittäisistä komponenteista löytyvä vika, vaan kaikki kyseisen malliset releet käyttivät samalla tavoin. Vanhat käytöstä puretut Esmi releet olivat heikossa kunnossa, joten onnistunut mittaus oli mahdollista tehdä vain yhdelle Esmi valmistamalle releelle.

TAULUKKO 4. Releiden mittaustulokset ja tuloksista lasketut tehot

Malli	Jännite (V)	Kelan virta (A)	Kelan teho (W)	Kuormavirta (A)	Jännitehäviö (V)	Ylimenovastus (Ω)	Häviöteho (W)
Eltako R81-002	232	0,0210	4,9	3,68	0,0299	0,00813	0,11
Eltako R81-002	232	0,0210	4,9	3,68	0,0318	0,00865	0,12
Eltako R81-002	232	0,0210	4,9	3,66	0,0295	0,00805	0,11
Eltako R81-002	232	0,0210	4,9	3,66	0,0249	0,00680	0,09
Eltako R81-002	232	0,0210	4,9	3,67	0,0268	0,00730	0,10
ABB ESB20-20N	232	0,0088	2,0	20,63	0,0850	0,00412	1,75
ABB ESB20-20N	232	0,0088	2,0	20,63	0,1000	0,00485	2,06
Esmi NF-8273	60	0,0684	4,1	3,66	0,0139	0,00380	0,05

Taulukkoon 4 on laskettu myös kelojen ottamat tehot. Kelan teho muuttuu releessä lämmöksi, joten kelan tehon voi olettaa vaikuttavan suoraan

komponentin lämpenemään. Verrokkina olleen ABB:n DIN-kiskoon asennettavan releen kelan teho oli vain 2 wattia, kun Eltakon releiden kelat vaativat tehoa 4,9 wattia. Tehon lisäksi muodostuvaan lämpötilaan vaikuttaa myös esimerkiksi komponentin muoto ja jäähdytyspinta-ala sekä läheisten komponenttien sijoittelu ja lämmöntuotto.

Kaikkien uusimista varten purettujen Esmin releiden kelaa ympäröivät muoviosat olivat niin haurastuneita, että muoviosat ovat menneet purkamisen yhteydessä pieniksi kappaleiksi. Vaurioitunut rele on nähtävissä kuvasta 11. Eltakon releen kelaa ympäröivä muovi on vastaavan oloista kirkasta muovia kuin Esmin releissä, joten riskinä on, että myös Eltakon releiden muovi haurastuu lämpötilan vaikutuksesta ajan saatossa. Muovin lämpötilan kesto voi kuitenkin vaihdella käytetyn muovilaadun myötä.



KUVA 11. Esmi NF-8273 -releen lämmön myötä vaurioituneet muoviosat

Edellä mainittujen seikkojen perusteella voi todeta, että tämän tyyppisiä releitä ei ole suositeltavaa käyttää käyttöympäristössä, jossa ympäristön ja keskuksen sisäinen lämpötila pääsee kohoamaan. Komponentin korkean peruslämpötilan voi päätellä johtavan myös siihen, että ylimääräistä varaa lämpötilan nousulle ei jää esimerkiksi lievästi vikaantuneiden relekärkien tai hieman huonon liitoksen aiheuttamalle lämpötilan nousulle. Releen tyyppillisen lämpötilan ollessa noin 75 astetta nousee lämpötila helposti yli sadan, jos releen asentaa esimerkiksi lämpöä tuottavan komponentin yläpuolelle heikommin jäähdyvään keskukseen.

Releiden rakenteen tarkastelu määräjain on näiden releiden perusteella tärkeä toimenpide osana ennakoivaa kunnossapitoa.

5.4 Lämpörele

Laboratoriossa tarkasteltiin vanhoja käytöstä poistettuja Strömberg PATAM 1 D -lämpöreleitä. Lämpöreleet oli poistettu käytöstä vikaantuneiden kontaktoreiden yhteydessä tai muuten poikkeavan lämpenemän vuoksi. Vanhojen lämpöreleiden verrokkina koestettiin uudet ABB TF42 ja ABB EF19 -lämpöreleet. EF19-lämpörele on uudempaa elektronista tekniikkaa. Taulukossa 5 on lämpöreleiden koestusten tuloksena saatuja laukaisuaika-arvoja.

TAULUKKO 5. Lämpöreleiden laukaisuaikakoestustuloksia

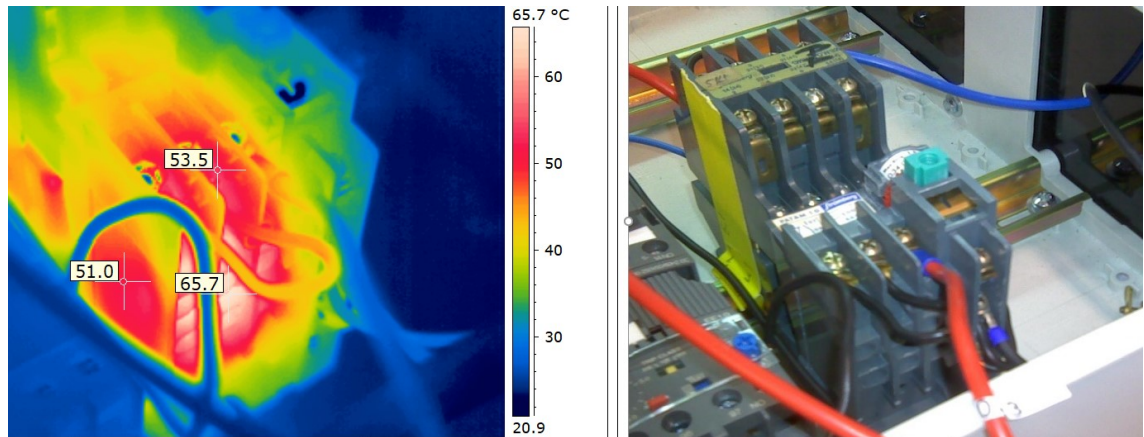
Malli	Asettelu	Fluke 87	Ylivirta (%)	Laukaisu (aika sekunteina)
Strömberg PATAM 1 D	0,84	1,25	48,8	150
Strömberg PATAM 1 D	0,6	1,111	85,2	52
Strömberg PATAM 1 D	0,15	0,23	53,3	122
Strömberg PATAM 1 D	0,18	0,253	40,6	225
ABB TF42	0,31	0,44	41,9	120
ABB TF42	4,2	5,19	23,6	240
ABB TF42	4,2	4,5	7,1	Kyllä
ABB EF19	2	2,873	43,7	27
Strömberg PATAM 1 D	4,2	5,19	23,6	Ei
Strömberg PATAM 1 D	4,2	5,5	31,0	Ei
Strömberg PATAM 1 D	4,2	6	42,9	Kyllä

Kaikki testatut lämpöreleet tekivät laukaisun. Vanhoille lämpöreleille ei löytynyt laukaisukäyriä, mutta laukaisuaikat olivat loogisia ylivirtaprosentin suhteen. Huolestuttavaa kuitenkin oli, että vanha PATAM lämpörele ei lauennut vielä 31 prosentin ylivirralla ja lämpeni kuumaksi. Uudet vertailukohteena käytetyt lämpöreleet olivat hieman nopeampia laukaisuajaltaan.

Elektronisessa EF19-lämpöreleessä on bimetallikomponenteista poiketen tarkemmin säädettävät laukaisuasetukset sekä laajempi asetteluarvoasteikko. Elektroninen lämpörele ei tuottanut lämpöä ylivirralla ollessaan kuten bimetallitekniikkaa hyödyntävät versiot. Laukaisu tapahtui jo pienellä ylivirralla. Samoin

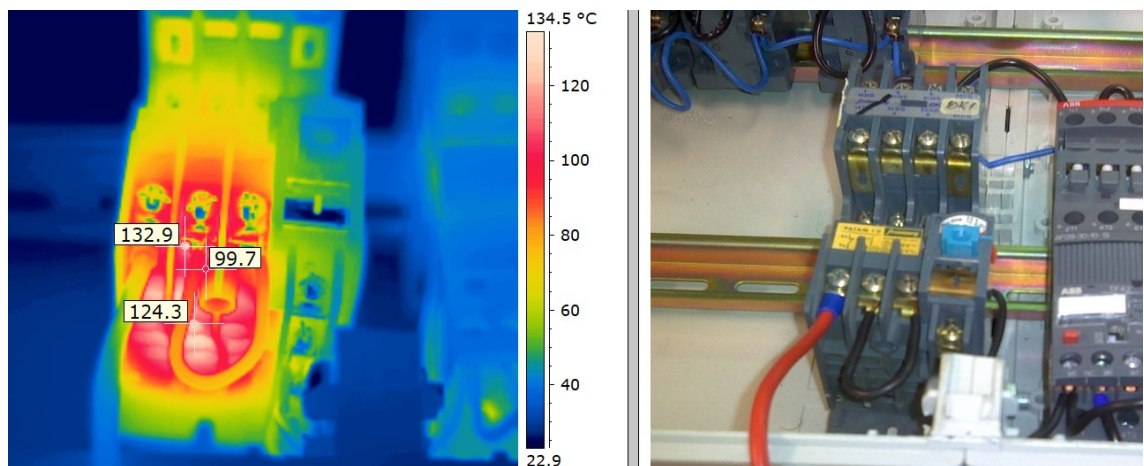
TF42:n laukaisu tapahtui jo pienellä ylivirralla PATAM-lämpöreleisiin verrattuna eikä vastaavan suurta lämpötilaa havaittu muodostuvan.

Kuvassa 12 on Strömberg PATAM 1 D -lämpörele kuormitettuna 0,4 ampeerin virralla aseteluarvon ollessa myös 0,4 ampeeria. Kyseinen lämpörele on aseteltavissa arvojen 0,34-0,5 A välillä. Kotelon sisäinen lämpötila oli noin 25 astetta, kun muita koteloa lämmittäviä komponentteja ei ollut käytössä.



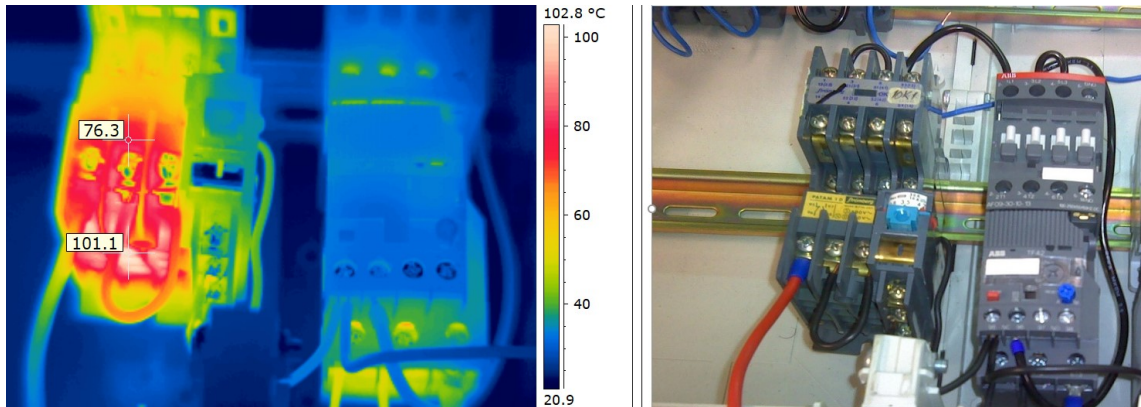
KUVA 12. Strömberg PATAM 1 D nimelliskuormassa 0,4 A:n asetelulla

Kuvassa 13 on Strömberg PATAM 1 D lämpörele kuormitettuna 5,5 ampeerin virralla asetelun ollessa 4,2 A. Tämä 31 % ylikuorma ei vielä aiheuttanut laukaisua lähes tunnin koestuksesta huolimatta. Lämpötila nousi voimakkaasti lämpöreleen pinnalla saavuttaen jopa noin 135 asteen lämpötilan, vaikka kotelon lämpötila oli vain 25 astetta. Tämän jälkeen virta nostettiin 6 ampeeriin, jolloin laukaisu tapahtui noin 43 % ylivirralla.



KUVA 13. Strömberg PATAM 1 D lämpenemä 31 % ylivirralla

Kuvassa 14 sama lämpörele on kuormitettuna 5 ampeerin virralla eli kuvasta näkyy noin 20 %:n ylivirran aiheuttama lämpenemä. Suurin pistemäinen lämpötila oli noin 100 celsiusastetta.



KUVA 14. Strömberg PATAM 1 D lämpenemä 20 % ylivirralla

Lämpöreleen lämpötila kasvoi laukeamatta niin suureksi viileässäkin keskusotelossa, että johdineristeiden vaurioituminen on mahdollista. Kuumemmassa keskusotelossa olleessaan johdineristeet olisivat vaurioituneet, mikäli pieni ympäröivän lämpötilan nousu ei vaikuta laukaisuvirtaan merkittävästi. Tilanteen pitkeytyessä tai komponentin ollessa palovaarallisessa ympäristössä näin voimakkaasti lämpenevä lämpörele on sähköpaloriski. Kyseisen lämpöreleen tyyppikilpi oli muuttunut kellertäväksi toisin kuin muissa vastaavissa lämpöreleissä, joten komponentti on saattanut olla kuuma jo käytössä ollessaan. Käytön aikaisen lämpökuvauksen aikana komponentin suurin lämpötila oli noin 85 celsiusastetta.

Lämpöreleiden asennus- ja huoltotöiden yhteydessä on tärkeää säätää lämpöreleen asetteluarvo oikein. Sähkökeskusten lämpökuvauksen yhteydessä asetteluarvon suhteen ylivirralla olevat lämpöreleet ovat havaittavissa poikkeavan lämpenemän vuoksi. Lämpöreleen asetteluarvoon nähden ylivirralla olevan moottorin tai laitteen kunto ja nimellisarvot tulee ehdottomasti tarkastaa ennen lämpöreleen asettelun muutoksia tai muita korjaavia toimenpiteitä, jotta suojalaitteen väärä asettelu ei vaaranna paloturvallisuutta ja laitteen toimintaa.

Purettujen PATAM-lämpöreleiden yhteydessä oli myös useita poikkeavasti resonoivia kontaktoreita. Aiemmin todettiin, että suurehko lämpötila voi edesauttaa

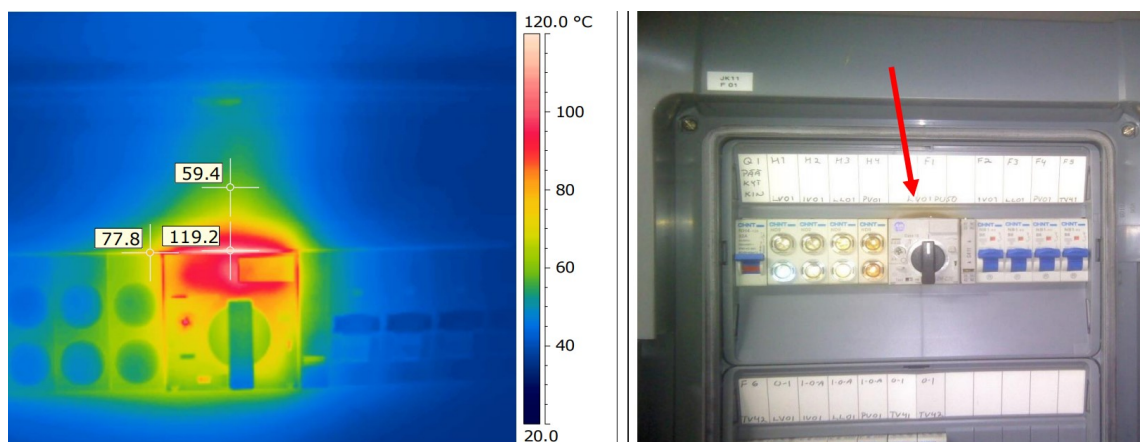
korroosioaurioiden syntymistä metalliosiin ja korroosio kelan rautasydämen pinnoissa voi aiheuttaa resonointia ja lämpötilan kasvua. Lämpöreleet asennetaan yleensä keskukseen kontaktorin alle kuten kyseessä olevat PATAM-lämpöreleet. Tästä päätellen voi olla mahdollista, että ylivirralla lämpenevä lämpörele voi edesauttaa kontaktorin vikaantumista.

5.5 Moottorinsuojakytkin

5.5.1 Käytössä ollut kuuma moottorinsuojakytkin

Kouvolan kaupungin päiväkodin kaukolämpökeskuksessa havaittiin poikkeavan kuuma moottorinsuojakytkin, jonka pintalämpötila oli havaintohetkellä noin 120 asteenen. Moottorinsuojakytkin oli mallia Allen-Bradley 140M-C2E. Moottorinsuojakytkimen kylkien lämpötiloja ei havaintohetkellä päästy kuvaamaan viereisten komponenttien sijoittelun vuoksi. Muovirakenteisen keskuksen sisälämpötila on lämpökuvien mukaan noin 40 astetta.

Muovisessa kosketussuojassa oli havaittavissa muutoksia värissä ja myös muovin muoto oli muuttunut. Moottorinsuojakytkin on nähtävissä lämpökuvassa ja näkyvän valon kuvassa kuvassa 15. Kosketussuojan taustapuolella muovin muutokset olivat vielä huomattavammat kuin etupuolella, kuten kuvasta 16 voi nähdä.

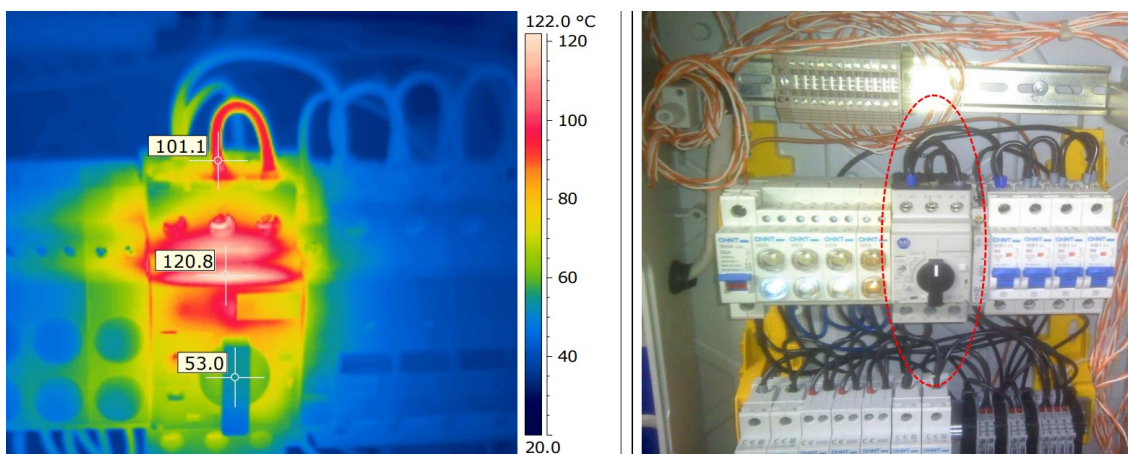


KUVA 15. Kuuma moottorinsuojakytkin keskuksessa (Ari-Pekka Alatalo 2019)



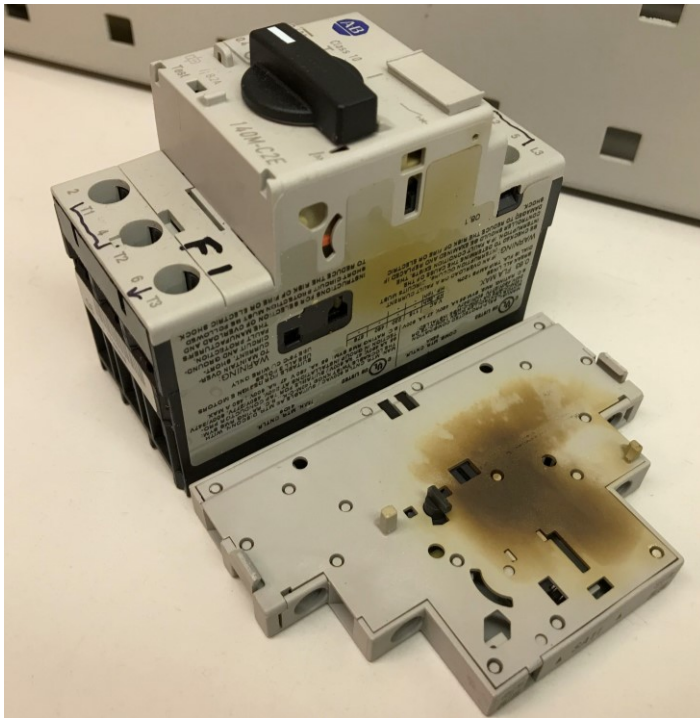
KUVA 16. Lämpövauriot kosketussuojassa (Ari-Pekka Alatalo 2019)

Kuvassa 17 moottorinsuojakytkin on kuvattuna ilman kosketussuojaa. Johtimissa havaittiin kuumuuden aiheuttamia muutoksia. Virraksi mitattiin lämpökuvaushetkellä 0,83 A käyttäen Kyoritsu KEW-2012R true rms -haarukka-virtamittaria. Kyseisen haarukkavirtamittarin mahdollinen käytännön mittauksissa esiintyvä mittavirhe pienillä virroilla ei ole tiedossa.



KUVA 17. Moottorinsuojakytkin ilman kosketussuojaa (Ari-Pekka Alatalo 2019)

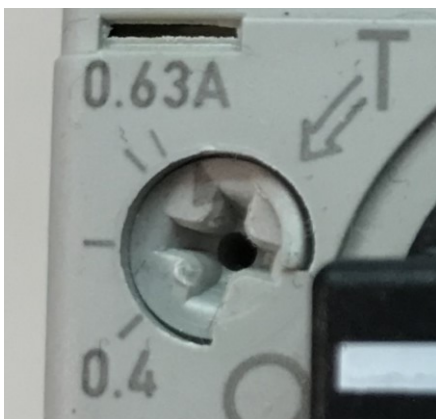
Ulkoisesti tarkasteltuna ainoa havaittava vaurio moottorinsuojakytkimen vasemalla puolella on tyyppikilven lievä värimuutos. Oikean puolen apukosketinpaketin poistamisen jälkeen paljastuu, että apukosketinkoteloinnin muovi on muuttunut huomattavan ruskeaksi. Vaurioitunut muovi on nähtävissä kuvassa 18.



KUVA 18. Moottorinsuojajkytkimen oikea kylki ja vauriot apukosketinpaketissa.

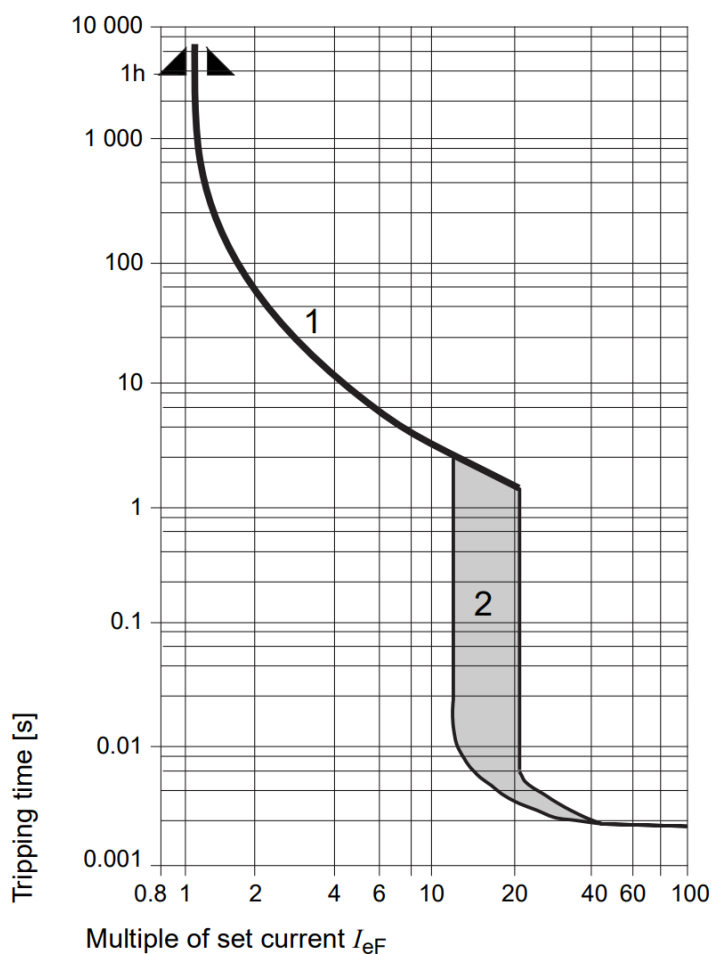
5.5.2 Laukaisuaikakoestus

Moottorinsuojajkytkimen virta-asetteluarvo on säädettävissä nimellisarvoille 0,4-0,63 A. Käytön aikainen virta oli virtamittauksen perusteella 0,83 A, joten moottorinsuojajkytkin oli ylivirralla. Virran asetusarvon säätöä tarkasteltaessa on kuitenkin havaittavissa, että asetusarvo on mahdollista säätää yli 0,63 ampeerin arvon. Epäselväksi jää, mikä todellinen virran suurin asetteluarvo todellisuudessa on. Laitteen valmistajan teknisistä tiedoista ei löydy aiheesta lisätietoa. Asettelu oli käytössä ollessaan kuvan 15 mukaisessa ääriasennossa.



KUVA 15. Moottorinsuojajkytkimen 140M virran asetteluarvon säätö

Jos asetteluarvon voi olettaa olevan edellä mainitussa kuvassa noin 0,66 A, niin 0,83 A:n virralla virta oli noin 1,26-kertainen asetteluarvoon nähden. Jos todellinen virta on ollut mittaustarkkuuden puutteellisuuden vuoksi esimerkiksi 0,8 A, virta on ollut asetteluarvoon nähden kuitenkin 1,21-kertainen. Kuviossa 2 on esitetty kyseisen moottorinsuojakytkinmallin laukaisukäyrä, jonka mukaan ylivirta on aivan laukaisun rajoilla. Laukaisua ei ole kuitenkaan tapahtunut vielä mitatulla virralla pitkälläkään aikavälillä.



KUVIO 2. Allen-Bradley 140M laukaisukäyrä (Rockwell Automation 1999)

Moottorinsuojakytkimelle tehtävällä laukaisuaikakoestuksella oli tarkoitus selvittää toimiiko laukaisu laukaisukäyrän mukaisella ajalla. Lisäksi samalla selvitettiin, onko asetteluarvon 0,63 A ja sen ylittävällä ääriasennolla merkitystä laukaisuajan suhteen. Vertailun vuoksi samat mittaukset tehtiin myös teknisiltä arvoiltaan vastaaville uusille moottorinsuojakytkimille ABB MS132-0.63 sekä ABB MS116-0.63.

Ensimmäisessä laukaisuaikatestissä tavoitteena oli asettaa koestusvirta noin kaksinkertaiseksi nimelliseen maksimivirtaan 0,63 ampeeriin verrattuna, jotta laukaisuaikaa on mahdollista vertailla laukaisuaikakäyrästä luettavaan viitearvoon.

Taulukosta 6 nähtävien koestustulosten ja kuviosta 2 nähtävän laukaisuaikakäyrän mukaan moottorinsuojajytkimet tekivät laukaisun odotetusti. Virran asetteluarvon ollessa ääriasennossa yli suurimman nimellisarvon laukaisuaajat olivat pidemmät kuin suurimpaan nimellisarvoon säädettyinä, joten todellinen suurin asetteluarvo on moottorinsuojajytkimillä käytännössä nimellistä suurempi.

TAULUKKO 6. Moottorinsuojajytkimien laukaisuaikakoestus

Moottorinsuojajytkin	Asettelu (A)	Virta (A)	Ylivirta (%)	Laukaisuaika (s)
Allen-Bradley 140M-C2E-A63	0,63	1,18	87,3	70
Allen-Bradley 140M-C2E-A63	Max eli noin 0,66	1,2	81,8	100
Allen-Bradley 140M-C2E-A63	0,63	0,797	26,5	Noin 7 min
Allen-Bradley 140M-C2E-A63	Max eli noin 0,66	0,81	22,7	Ei laukaisua
ABB MS132-0.63	0,63	1,20	90,5	60
ABB MS132-0.63	Max eli noin 0,68	1,21	77,9	85
ABB MS132-0.63	Max eli noin 0,68	0,81	19,1	Ei laukaisua
ABB MS116-0.63	Max eli noin 0,68	1,17	72,1	75
ABB MS116-0.63	Max eli noin 0,68	0,81	19,1	Ei laukaisua

Laukaisuaikakoestusten välillä moottorinsuojajytkimet ehtivät jäähtyä huoneenlämpöiseksi. Mittauksissa komponentin ympäristön lämpötila oli 20 celsiusastetta. Poikkeuksena edellä mainittuun on 140M-moottorinsuojajytkimen 26,5 % ylivirralla saatu noin 7 minuutin laukaisuaika, jota ennen moottorinsuojajytkintä oli kuormitettu yli tunti nimellisvirralla asettelu ollessa suurin nimellinen arvo eli 0,63 A. Pienemmillä laukaisuun johtamattomilla ylivirroilla koestusaika oli vähintään kaksi tuntia ja ympäröivä lämpötila 28 astetta.

ABB Oy:n ohjeistuksen mukaan asettelualueen ylittämistä ei voida suositella. Käyttöön tulee aina valita kulloiseenkin käyttöön sopiva tuote, jonka asettelualue on riittävä. Moottorin ylikuormitussuojana toimiva moottorinsuojajytkin tai lämpörele valitaan aina moottorin nimellisvirran mukaan. (Voutilainen V. Product Marketing, ABB Oy. 2019)

Laukaisuaikakokeen perusteella tarkasteltu moottorinsuojajytkin Allen-Bradley 140M-C2E toimi laukaisuaikakäyrän osoittamalla tavalla koestuksessa käytetyillä

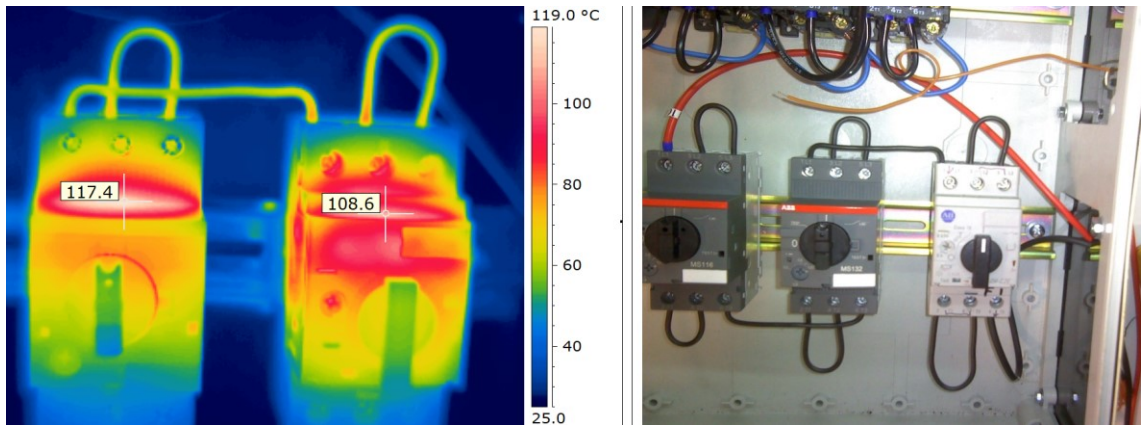
virroilla. Komponentin käytössä ollessa virta on ollut lähellä laukaisun aiheuttavaa ylivirtaa.

5.5.3 Lämpökäyttäytyminen ja ylivirta

Moottorinsuojajytkimien valmistajat antavat komponenteille laajan käyttölämpötila-alueen. Allen-Bradley 140M -moottorinsuojajytkimen käyttö on sallittua ympäröivän lämmön ollessa -25 celsiusasteen lämmöstä jopa 60 celsiusasteen lämpötilaan. ABB MS132-0.63 -mallilla suurin sallittu käyttölämpötila on jopa 70 celsiusastetta.

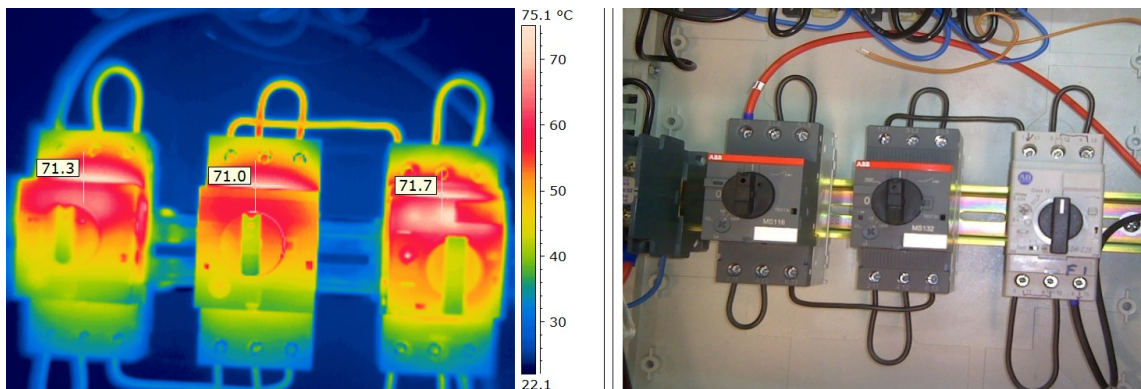
Laboratoriossa tehdyissä kuormitustesteissä osittain suljetun kotelon sisäisen lämmön ollessa 28 astetta moottorinsuojajytkimet lämpenivät kuvan 16 mukaisesti. Kuvanottohetkellä moottorinsuojajytkimet olivat olleet 0,81 ampeerin virralla kuormitettuna kaksi tuntia niin, että asetteluarvot oli käännetty ääriasentoon. Tällöin komponentit ovat noin 19-23 % ylivirralla kuten taulukkoon 4 on laskettu. Kuormitustilanne oli siis mahdollisimman tarkasti vastaava, kuin 140M moottorinsuojajytkimen kuormitus ja asettelu olivat päiväkodissa käytössä ollessaan. 140M moottorisuojan yläpuolen suurin lämpötila oli laboratoriossa 108,6 celsiusastetta. Päiväkodissa käytössä ollessaan vastaava suurin lämpötila oli 120,6 astetta, mutta myös kotelon lämpötila oli melko tarkasti komponenttien lämpötilaeron verran suurempi.

Lämpökuvassa on vasemmalla ABB MS132 ja oikealla Allen-Bradley 140M. Näkyvän valon kuvassa ääri vasemmalla on lisäksi ABB MS116. Tarkasteltujen moottorisuojien lämpökäyttäytyminen oli siis hyvin yhtäläistä, vaikka kyseessä on eri valmistajien komponentit.

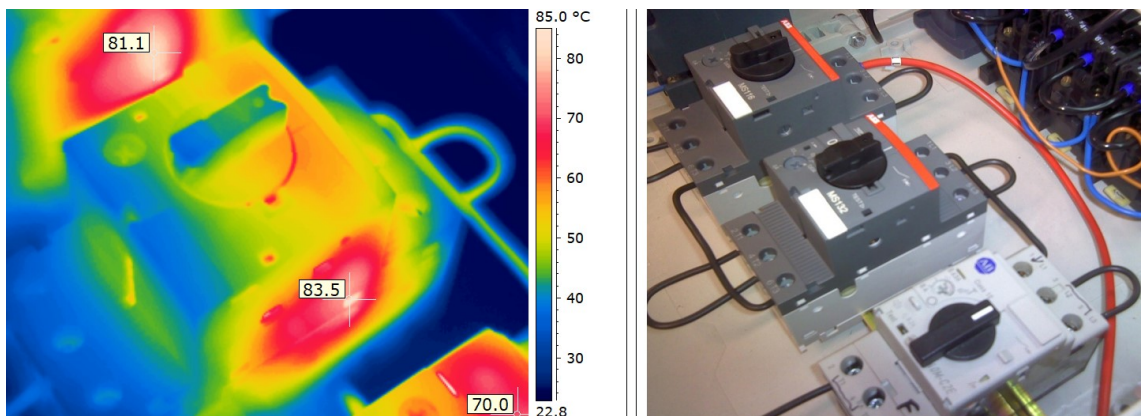


KUVA 16. Moottorinsuojajykimet 19-23 % ylivirralla 28 asteisessa kotelossa

Kuvissa 17 ja 18 moottorinsuojajykimet ovat aseteltuna 0,63 ampeerin suurimpaan nimellisvirtaan ja myös kuormitettuna 0,63 ampeerin virralla. Kotelon lämpötila on sama 28 celsiusastetta kuin edellisessä tilanteessa, jolloin komponenttien suurimmat päältä mitatut lämpötilat ovat pudonneet huomattavasti maltillisempaan lämpötilaan eli noin 70:ään celsiusasteeseen.

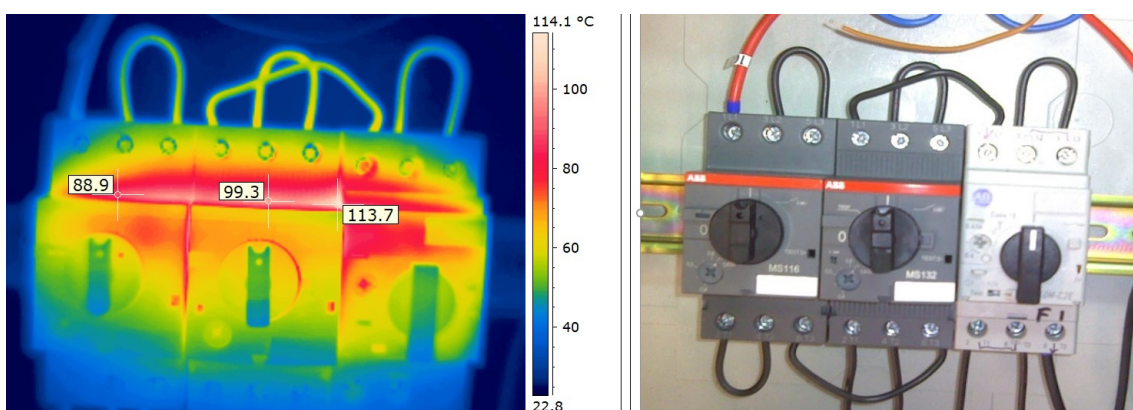


KUVA 17. Lämpötilat virran ja asettelun ollessa 0,63 A 28 asteisessa kotelossa

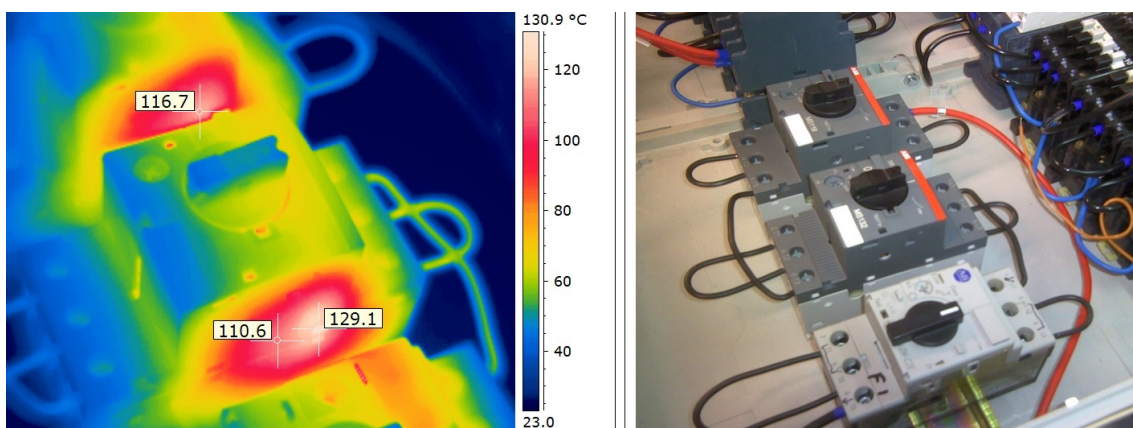


KUVA 18. Komponenttien kylkien lämpötilat edellisen kuvan tilanteessa

Kuvassa 19 kuormavirta ja asetteluarvo ovat samat 0,63 A kuten edellä, mutta moottorinsuojajytkimet on siirretty mahdollisimman lähekkäin. Tällöin komponenttien päältä mitatut lämpötilat ovat lähes yhtä suuret kuin aiemmin käsitellyssä ylivirtatilanteessa ja lisäksi komponenttien välit lämpenevät voimakkaasti. Kuvassa 20 komponentit on levitetty lämpökuvan ottoa varten, jolloin moottorinsuojajytkimen ABB MS132:n suurin pistemäinen lämpötila on lähes 130 celsiusastetta. Kotelon sisäinen lämpötila oli myös näiden lämpenemien tarkkailun aikana sama 28 celsiusastetta.



KUVA 19. Lämpötilan nousu komponenttien etäisyyden muutoksen jälkeen



KUVA 20. Lämpötila komponenttien välissä komponenttien lämmentyä vierekkäin

Lämpenemäkokeilla saatiin toistettua moottorinsuojajytkimen 140M käytön aikainen lämpenemä ja saatiin selville, että ylivirtatilanteessa myös muut vastaavat testissä olleet moottorinsuojajytkimet tuottavat lämpöä samalla tavoin. Lämpökuvista on myös selvästi havaittavissa, kuinka merkittävä kasvu komponenttien lämpötilassa tapahtuu, kun lämpöä tuottavat komponentit ovat kiinni toisissaan.

Saman ilmiön voi olettaa tapahtuvan vaikka vieressä oleva komponentti ei tuotaisi ollenkaan lämpöä, jos ilma ei pääse liikkumaan komponenttien tai esimerkiksi keskuksen runkorakenteen vuoksi komponentin lähellä.

Normaalisti toimivan komponentin korkeat lämpötilat voivat olla sähköpaloriski jo itsessään esimerkiksi puuteollisuudessa tai muuten pölyisässä ympäristössä. Kuumen komponentin päälle kertyvä pöly muodostaa eristävän kerroksen, jolloin lämpötila pääsee entisestään kasvamaan. Seurauksena voi olla puupölyn kytminen ja tulipalo. (Lehtonen, J. 2019)

5.6 Kuormitettujen komponenttien lämpenemä keskuksessa

Muoviseen keskuskoteloon asennetut komponentit kuormitettiin säädettävillä kuormilla niin, että ne olivat lähellä nimellisvirtaansa. Kontaktorit ja releet kuormitettiin 20,63 ampeerin virralla ja moottorinsuojakytkimet 0,696 ampeerin virralla. Moottorinsuojakytkimien asetteluarvot olivat 0,63 ampeeria, jotta voitiin tarkastella pienellä ylikuormalla olevien moottorinsuojakytkimien lämpökäyttäytymistä täydessä keskuskotelossa.

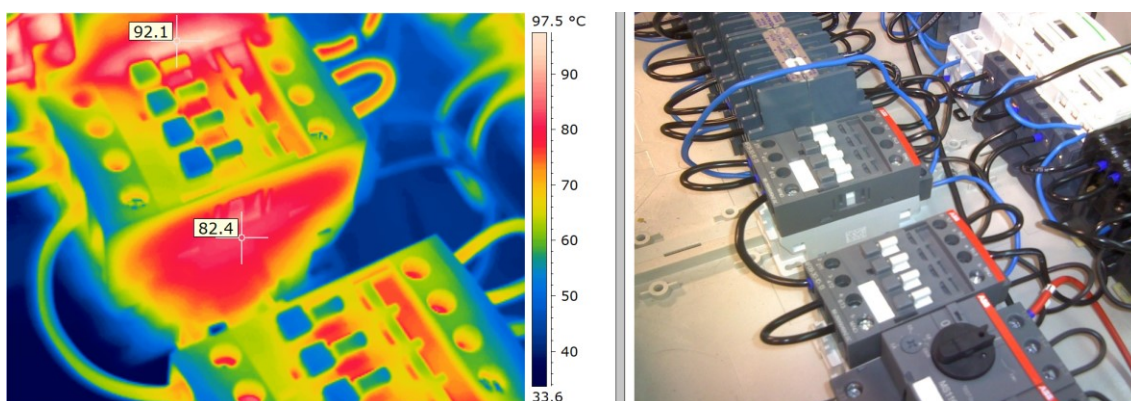
Kontaktorien vaihtelevasta kunnosta johtuen ylimenovastusten aiheuttama lämmittävä teho oli jopa 10 watin suuruusluokkaa yhtä vaihetta kohden. Uusien ja moitteetta kytkeytyvien kontaktoreiden vaihekohtainen hukkalämpö oli noin yhden watin suuruusluokkaa. Kontaktoreiden ylimenovastusmittausten tulokset on esitetty liitteessä 1. Yhteensä kotelossa olevien komponenttien ylimenovastusten häviötehoksi tuli mittauksen perusteella noin 152 wattia. Kelojen kuluttama teho oli noin 95 wattia. Jos kaikki komponentit olisit olleet uusia tai uuden veroisia, olisi keskuksen häviöteho huomattavasti mitattua pienempi. Viidentoista kolmivaihekontaktorin aiheuttama häviöteho yhden watin häviöteholla yhdelle vaiheelle tekisi yhteensä 45 W, joka olisi alle kolmanneksen mitatusta tehosta. Tämä vaikuttaisi suoraan myös kotelon sisäiseen lämpötilaan.

Keskuskotelo oli kuormitettuna niin kauan, että sisäinen lämpötila nousi 70:ään asteeseen. Suuresta häviötehosta johtuen lämpötilan tasaantumista suurimpaan

mahdolliseen lämpötilaan ei odotettu, koska vaarana oli komponenttien ja johtimien vaurioituminen. Osa testeissä käytetyistä laboratoriokäyttöön suunniteltujen johtimien eristeistä oli vaarassa sulaa jo tässä lämpötilassa.

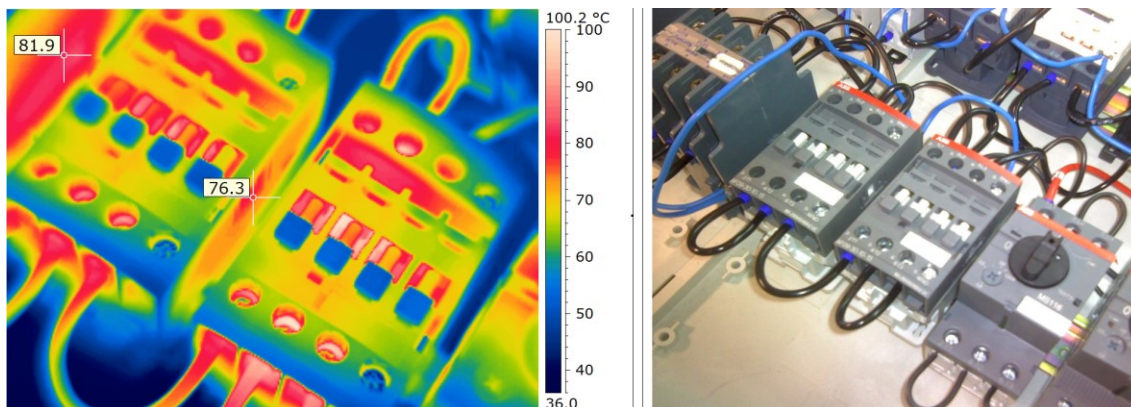
Ensimmäinen testi tehtiin komponentit sijoitettuna vierekkäin niin, että ne olivat aivan kiinni toisissaan. 70 asteen lämpötilan saavuttamisen jälkeen komponenteista otettiin lämpökuvat. Uusi lämmityssykli tehtiin tämän jälkeen niin, että komponentit olivat noin yhden senttimetrin etäisyydellä toisistaan. Uudet kuvat otettiin kotelon sisäisen lämpötilan noustua uudestaan 70:ään celsiusasteeseen.

Kuvassa 21 ABB:n uudet kontaktorit ovat olleet kotelossa kyljet kiinni toisissaan, jolloin ABB:n kontaktorin kyljen lämpötila on 82,4 celsiusastetta. ABB:n kontaktorin yläpuolella on vanha Strömbergin kontaktori, jonka kyljen lämpötila on 92,1 celsiusastetta.



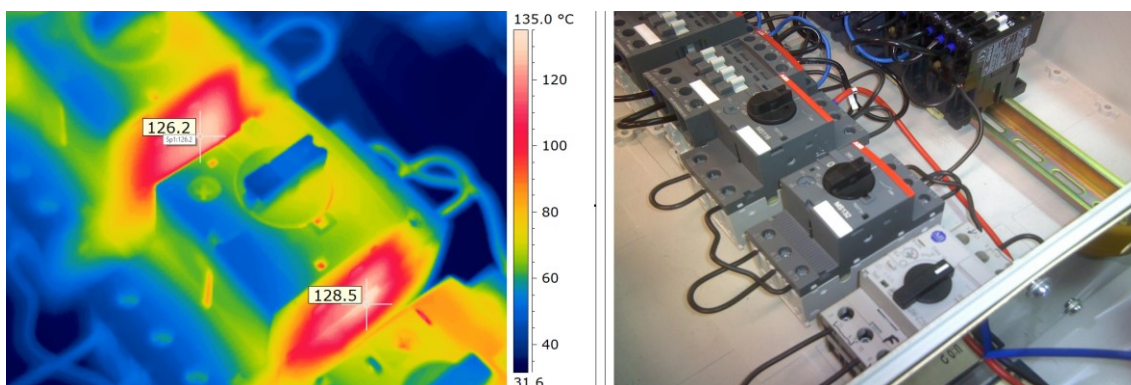
KUVA 21. Uudet ABB AF09-30-10-13 -kontaktorit kiinni toisissaan

Kuvassa 22 on nähtävillä lämpötilat samoista pisteitä sen jälkeen, kun kotelon lämpötilan on uudestaan annettua nousta 70:ään celsiusasteeseen komponentit irrallaan toisistaan. ABB:n kontaktorin lämpötila laski tämän seurauksena noin 6 astetta ja Strömbergin korkeampi lämpötila noin 10 astetta. Kuvien lämpötiloja tarkasteltaessa on tärkeää huomioida keskusotelon suuri sisäinen lämpötila, johon suhteutettuna näiden komponenttien lämpenemä ei ollut huomattavan suurta.

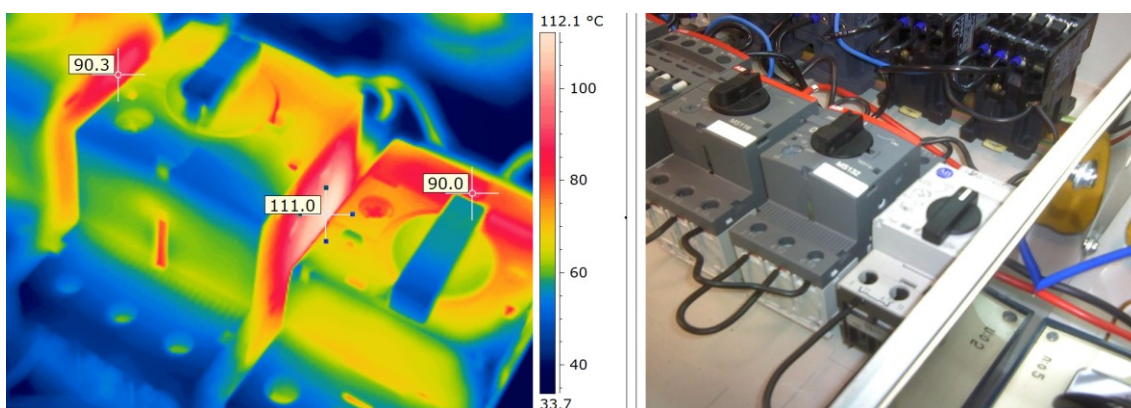


KUVA 22. Uudet ABB AF09-30-10-13 -kontaktorit irti toisistaan

Kuvista 23 ja 24 nähdään, että ABB:n moottorinsuojakytkimien välinen lämpötila laski jopa 36 celsiusastetta ilmaraolla tehdyn mittauksen tuloksena. ABB MS132 ja Allen-Bradley 140M moottorinsuojakytkimien välinen lämpötila laski 17,5 celsiusastetta.



KUVA 23. ABB MS132 ja ABB MS116 vierekkäin kuormituksen tuloksena



KUVA 24. ABB MS132 ja ABB MS116 jäädyttävän ilmavälin kanssa

Lämpenemäkokeiden perusteella täyteen pakatun kotelon lämpötila voi nousta vaarallisen korkeaksi. Myös komponenttien koskettimien ylimenovastukset vaikuttavat suuresti keskukseen kohdistuvaan lämpökuormaan erityisesti jos kuormavirrat ovat suuria kaikissa komponenteissa. Suurin havaittu lämpötila oli 180 astetta sellaisessa kontaktorissa, jonka kontaktikärjet olivat heikossa kunnossa. Lämpötilat olisivat luultavasti edelleen jatkaneet kasvamista jos koetta olisi pidetty.

Ilmavälien jättäminen komponenttien väliin laskee komponenttien lämpötiloja huomattavasti. Kotelo oli testien aikana vaaka-asennossa pöytätasolla. Pystyasennossa tehtävällä kokeella ilmaraon jäähdyttävä vaikutus voisi olla vielä suurempi, kun lämmin ilma pääsisi liikkumaan tehokkaammin pois komponenttien pinnalta.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

If Vakuutuksen sähköpaloriskien kartoitusten yhteydessä keräämä tilasto osoitti, että sähkölaitteistojen ennakoivassa kunnossapidossa on paljon kehitettävää. Opinnäytetyössä käsiteltyjen komponenttien osalta puutteita on löytynyt joka viidennestä keskuksista. Kun tiedetään, että tulipaloja syttyy sähkökeskuksista, voidaan olettaa, että säännölliset ennakoivan kunnossapidon toimet voivat ehkäistä sähköpalojen toteutumista. Säännöllisesti tehtynä sähkökeskusten silmämääräinen tarkastus on hyödyllinen toimenpide vakavien sähköpaloriskien havaitsemisessa, kuten kontaktoreissa kiinni olleet sulaneet johtimet osoittivat. Sulaneet johtimet oltaisiin voitu havaita silmämääräisesti ilman lämpökameraa luultavasti jo paljon aikaisemmin kuin havainto lämpökameran kanssa tehtiin.

Lämpökameran suuri hyöty sähköpaloriskien tunnistamisessa on kuitenkin se, että viat on mahdollista havaita ennen kuin mitään vaurioita ja sitä kautta vakavaa sähköpalovaaraa on päässyt syntymään. Myös korjaukset esimerkiksi pelkäämään kiristyksiä tehden on paljon nopeampi ja taloudellisesti edullisempi toimenpide kuin komponenttien ja johtimien uusiminen, joten säästäminen ennakoivan kunnossapidon pois jättämällä voi todellisuudessa tulla kalliiksi, vaikka kohonnutta sähköpaloriskiä ei huomioitaisi. Korjaustoimenpiteiden onnistumisen tarkastaminen on myös yksi merkittävä lämpökameran hyödyntämistapa kunnossapidossa. Teollisuusympäristössä myös sähkölaitteiston toimintavarmuudesta on mahdollista pitää huolta ennakoivasti lämpökameraa käyttäen.

Lämpöä tuottavien komponenttien lämpökuvaus vaatii lämpökuvaajalta ammattitaitoa ja ymmärrystä lämpökuvien tulkinnasta. Kontaktorien ja releiden kelat tuottavat lämpöä normaalisti toimiessaan ja vastaavasti lämpöreleiden ja moottorinsuojakytkimien suojaus tuottaa lämpöä suunnitellusti. Jos lämpökuvaaja tuntee komponenttien toiminnan ja lämpökäyttäytymisen, voi lämpökameralla tehdä tulkintaa myös esim. ylivirrasta lämpösuojakomponenteissa, kuten moottorinsuojakytkimien ja lämpöreleiden yhteydessä olevat kuvat osoittivat. Lämpökäyttäytyminen voi kuitenkin vaihdella komponentin merkin ja mallin mukaan, joten virtamittaukset ovat tärkeä osa sähkölaitteiston lämpökuvausta.

Laboratoriotestien aikana tehtiin tärkeä huomio virtamittausten mahdollisesta virheestä pihtiampeerimittareita käytettäessä. Väärä virtatieto voi hankaloittaa oikean vikadiagnoosin tekemistä merkittävästi. Opinnäytetyöhön otetut lämpökuvat voivat auttaa sähkölaitteiston lämpökuvaajaa tulkitsemaan komponenttien normaaleja lämpötiloja ja ylikuormitustilanteen tai vikaantumisen aiheuttamaa lämpenemää.

Olemassa oleva sähkölaitteisto on tärkeää ottaa huomioon huolto- ja muutostöitä tehtäessä. Esimerkiksi valaisinhuoltoja tehdään usein ilman, että huoltoon kuuluu valaisimia syöttävän osuuden tarkastus tai huolto. Syöttävän osuuden ei välttämättä ajatella olevan tärkeä osa itse valaistusta ja sen toimivuutta sekä turvallisuutta.

Sähköpaloturvallisuutta voi kasvattaa kohdistamalla erityistä ennakoivaa kunnossapitoa sellaisiin sähkökeskuksiin, joissa on runsaasti kontaktoreita, releitä, lämpöreleitä ja moottorinsuojakytkimiä jatkuvasti kuormitettuna. Rakennuksista löytyvät lämmitys, ilmanvaihto, valaistus ja mahdolliset muut jatkuvasti kuormitettuna olevat laitteet ja moottorilähdöt on syytä tarkastaa säännöllisesti. Tilastot ja käytäntö ovat osoittaneet, että sähkölaitteita syöttävää keskuksen päätä ei usein osata ottaa huomioon ennen kuin vasta siinä vaiheessa, kun jokin vika estää sähkölaitteiston normaalin käytön. Sähköpaloriski on kuitenkin usein ollut suuri ennen hetkeä, kun vikaantunut laite tai liitos lakkaa kokonaan toimimasta.

Valveutuneet maallikotkin ymmärtävät, että esimerkiksi pesukoneet ja kodinkoneet voivat aiheuttaa tulipaloja eikä niitä tule jättää päälle ilman valvontaa. Kuitenkin kiinteistöissä on runsaasti tässä opinnäytetyössä käsiteltyjä komponentteja, jotka voivat vikaantuessaan myös aiheuttaa sähköpalon. Sähkölaitteiston ennakoiva kunnossapito on harvassa sähkölaitteistossa saanut samanlaisen aseman kuin esimerkiksi säännöllinen ilmanvaihtolaitteiden huolto. Ihanteellisessa tilanteessa molemmat toimenpiteet nähtäisiin tasavertaisesti tärkeinä kiinteistön turvallisuutta ja terveyttä ylläpitävinä säännöllisesti tehtävinä toimenpiteinä. Haasteena tulevaisuuteen onkin saada ennakoivasta sähkökunnossapidosta yhtä oleellinen osa kunnossapitoa kuin tällä hetkellä moni muu kunnossapidollinen toimenpide jo on.

LÄHTEET

ABB Oy. 2014. Moottorin ohjaus ja sähkönjakelu. Lyhytkatalogi.

Ahoranta, J. 2013. Sähköasennustekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Alhainen, J. 2014. Jakokeskusten sähköisten liitosten vikaantumismekanismit ja sähköpalot. Tampereen teknillinen yliopisto. Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta. Diplomityö.

If Vakuutus. Sähköpalot voidaan ehkäistä lämpökuvauksella. Tulostettu 20.5.2019. <https://www.if.fi/yritysasiakkaat/vakuutukset/omaisuusvakuutukset/sahkopalot>

Lehtonen, J. 2019. Vahingontorjuntapäällikkö, If Vakuutus. Haastattelut keväällä 2019. Haastattelija Tuominen, V. Tampere.

Schneider Electric. 2015. Led-valaistuksen kytkentä ja säätäminen – Säädinratkaisut ja kytkentäpiikin eliminointi.

Säköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135

Voutilainen, V. 2019. Product Marketing, ABB Oy. Sähköpostiviesti. Luettu 27.5.2019.

LIITTEET

Liite 1. Kontaktoreiden ylimenovastusmittaukset

1 (3)

Malli	Yksilöinti	Vaihe	Jännite-häviö (V)	Virta (A)	Resis-tanssi (Ω)	Häviö-teho (W)
Strömberg OKYM 0W32	JK-C3.1 62K1	1	0,049	21,09	0,0023	1,0
Strömberg OKYM 0W32	JK-C3.1 62K1	2	0,101	21,09	0,0048	2,1
Strömberg OKYM 0W32	JK-C3.1 62K1	3	0,115	21,09	0,0055	2,4
Strömberg OKYM 0W32	JK-B 01.1 s.18	1	0,075	21,09	0,0036	1,6
Strömberg OKYM 0W32	JK-B 01.1 s.18	2	0,077	21,09	0,0037	1,6
Strömberg OKYM 0W32	JK-B 01.1 s.18	3	0,155	21,09	0,0073	3,3
Strömberg OKYM 0W32	JK-B 01.1 3K1	1	0,113	21,09	0,0054	2,4
Strömberg OKYM 0W32	JK-B 01.1 3K1	2	0,086	21,09	0,0041	1,8
Strömberg OKYM 0W32	JK-B 01.1 3K1	3	0,182	21,09	0,0086	3,8
Strömberg OKYM 01W32	JK-A5.1 6K1	1	0,045	21,09	0,0021	0,9
Strömberg OKYM 01W32	JK-A5.1 6K1	2	0,030	21,09	0,0014	0,6
Strömberg OKYM 01W32	JK-A5.1 6K1	3	0,030	21,09	0,0014	0,6
Strömberg OKYM 0W32	JK-A5.1 6K3	1	0,170	21,09	0,0081	3,6
Strömberg OKYM 0W32	JK-A5.1 6K3	2	0,115	21,09	0,0055	2,4
Strömberg OKYM 0W32	JK-A5.1 6K3	3	0,128	21,09	0,0061	2,7
ABB B9-30-10	K3M	1	0,546	21,66	0,0252	11,8
ABB B9-30-10	K3M	2	Ei kyt-keydy			
ABB B9-30-10	K3M	3	0,320	21,66	0,0148	6,9
ABB B9-30-10	K3M pystyssä	1	0,531	21,66	0,0245	11,5
ABB B9-30-10	K3M pystyssä	2	Ei kyt-keydy			
ABB B9-30-10	K3M pystyssä	3	0,327	21,66	0,0151	7,1
ABB B9-30-10	K2M	1	0,335	21,66	0,0155	7,3
ABB B9-30-10	K2M	2	0,354	21,66	0,0163	7,7
ABB B9-30-10	K2M	3	0,066	21,66	0,0030	1,4
ABB B9-30-10	K2M pystyssä	1	0,375	21,66	0,0173	8,1
ABB B9-30-10	K2M pystyssä	2	0,405	21,66	0,0187	8,8
ABB B9-30-10	K2M pystyssä	3	0,080	21,66	0,0037	1,7
ABB B9-30-10	K4M	1	0,393	21,66	0,0181	8,5
ABB B9-30-10	K4M	2	0,307	21,66	0,0142	6,6
ABB B9-30-10	K4M	3	0,280	21,66	0,0129	6,1
ABB B9-30-10	K4M pystyssä	1	0,334	21,66	0,0154	7,2
ABB B9-30-10	K4M pystyssä	2	0,302	21,66	0,0139	6,5
ABB B9-30-10	K4M pystyssä	3	0,282	21,66	0,0130	6,1

(jatkuu)

Liite 1. Kontaktoreiden ylimenovastusmittaukset

2 (3)

Malli	Yksilöinti	Vaihe	Jännite-häviö (V)	Virta (A)	Resis-tanssi (Ω)	Häviö-teho (W)
Schneider LC1D12P7	Uusi	1	0,049	21,66	0,0023	1,1
Schneider LC1D12P7	Uusi	2	0,053	21,66	0,0024	1,1
Schneider LC1D12P7	Uusi	3	0,053	21,66	0,0024	1,1
Schneider LC1D12P7	Uusi (2)	1	0,050	21,66	0,0023	1,1
Schneider LC1D12P7	Uusi (2)	2	0,047	21,66	0,0022	1,0
Schneider LC1D12P7	Uusi (2)	3	0,056	21,66	0,0026	1,2
Strömberg OKYM 0W32	38K1	1	0,270	20,63	0,0131	5,6
Strömberg OKYM 0W32	38K1	2	0,153	20,63	0,0074	3,2
Strömberg OKYM 0W32	38K1	3	0,116	20,63	0,0056	2,4
Strömberg OKYM 0W32	2K1	1	0,092	20,63	0,0045	1,9
Strömberg OKYM 0W32	2K1	2	0,310	20,63	0,0150	6,4
Strömberg OKYM 0W32	2K1	3	0,183	20,63	0,0089	3,8
Strömberg OKYM 0W32	6K3	1	0,123	20,63	0,0060	2,5
Strömberg OKYM 0W32	6K3	2	0,165	20,63	0,0080	3,4
Strömberg OKYM 0W32	6K3	3	0,237	20,63	0,0115	4,9
Strömberg OKYM 0W32	3K1	1	0,109	20,63	0,0053	2,2
Strömberg OKYM 0W32	3K1	2	0,210	20,63	0,0102	4,3
Strömberg OKYM 0W32	3K1	3	0,174	20,63	0,0084	3,6
Strömberg OKYM 0W32	JK-B 01.1 "ei kytkeydy"	1	0,200	20,63	0,0097	4,1
Strömberg OKYM 0W32	JK-B 01.1 "ei kytkeydy"	2	0,305	20,63	0,0148	6,3
Strömberg OKYM 0W32	JK-B 01.1 "ei kytkeydy"	3	0,125	20,63	0,0061	2,6
ABB AF09-30-10-13	Uusi	1	0,028	20,63	0,0014	0,6
ABB AF09-30-10-13	Uusi	2	0,038	20,63	0,0018	0,8
ABB AF09-30-10-13	Uusi	3	0,040	20,63	0,0019	0,8
ABB AF09-30-10-13	Uusi (2)	1	0,047	20,63	0,0023	1,0
ABB AF09-30-10-13	Uusi (2)	2	0,053	20,63	0,0026	1,1
ABB AF09-30-10-13	Uusi (2)	3	0,043	20,63	0,0021	0,9
Strömberg OKYM 0W10	1K1	1	0,096	20,63	0,0047	2,0
Strömberg OKYM 0W10	1K1	2	0,230	20,63	0,0111	4,7
Strömberg OKYM 0W10	1K1	3	0,226	20,63	0,0110	4,7
Strömberg OKYM 0W10	2K1	1	0,218	20,63	0,0106	4,5
Strömberg OKYM 0W10	2K1	2	0,167	20,63	0,0081	3,4
Strömberg OKYM 0W10	2K1	3	0,074	20,63	0,0036	1,5

(jatkuu)

Liite 1. Kontaktoreiden ylimenovastusmittaukset

3 (3)

Malli	Yksilöinti	Vaihe	Jännitehäviö (V)	Virta (A)	Resistanssi (Ω)	Häviöteho (W)
Strömberg OKYM 0W10	7K1	1	0,128	20,63	0,0062	2,6
Strömberg OKYM 0W10	7K1	2	0,200	20,63	0,0097	4,1
Strömberg OKYM 0W10	7K1	3	0,096	20,63	0,0047	2,0
ABB B9-30-10	K2M	1	0,270	20,63	0,0131	5,6
ABB B9-30-10	K2M	2	0,280	20,63	0,0136	5,8
ABB B9-30-10	K2M	3	0,071	20,63	0,0034	1,5
ABB B9-30-10	K4M	1	0,260	20,63	0,0126	5,4
ABB B9-30-10	K4M	2	0,200	20,63	0,0097	4,1
ABB B9-30-10	K4M	3	0,238	20,63	0,0115	4,9
Telemecanique LC1-D258	21K1	1	0,040	21,22	0,0019	0,8
Telemecanique LC1-D258	21K1	2	0,074	21,22	0,0035	1,6