

Janne Helminen

KOMPAKTIKATKAISIJOILLA TOTEUTETTU SÄHKÖKESKUS

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2013

KOMPAKTIKATKAISIJOILLA TOTEUTETTU SÄHKÖKESKUS

Helminen, Janne
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2013
Ohjaaja: Pulkkinen, Petteri, Kemikangas, Markus
Sivumäärä: 44
Liitteitä: 5

Asiasanat: Kompaktikatkaisija, Sähkökeskus, Lämpenemä, Lämmönsiirto, Selektiivisyys

Tässä opinnäytetyössä tehtiin tarkastelua koskien uudentyyppistä sähkökeskusta.

Työn keskeisin osuus ja painopiste oli keskuksen termisten ominaisuuksien ja lämpenemien selvittämisessä. Teoreettisen lämpenemätarkastelun laskennassa apuna käytettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaa.

Työssä tarkasteltiin kompaktikatkaisijoiden käyttöä, ja tehtiin vertailua kompaktikatkaisijan ja kytkinvarokkeen kesken.

Kompaktikatkaisijoiden käyttöä silmällä pitäen työssä otettiin esille lyhyesti myös selektiivisyys.

ELECTRIC-CENTER IMPLEMENTED BY MCCB'S

Helminen, Janne

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical engineering

May 2013

Supervisor: Pulkkinen, Petteri, Kemikangas, Markus

Number of pages: 44

Appendices: 5

Keywords: MCCB, Electric-center, Temperature rise, Heat transfer, Selectivity

This thesis made a review of a new kind of electric-center.

The main part of this thesis was about thermic designing of the electric-center. We used Excel to do the theoretical calculations about temperature rise.

We reviewed usage of MCCB's and made comparison between MCCB's and switch fuses.

Eye on MCCB's systems selectivity we took short sight about selectivity.

.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TYÖN TILAAJAN ESITTELY	6
2.1	Historia.....	6
2.2	UTU group.....	6
3	KOMPAKTIKATKAISIJA JA KYTKINVAROKE KESKUKSESSA.....	7
3.1	Ylikuormitussuojaus	7
3.2	Oikosulkusuojaus.....	7
3.3	Kytkinvaroke.....	8
3.4	Kompaktikatkaisija	9
3.5	Kompaktikatkaisija vs. Kytkinvaroke.....	10
4	KESKUSRAKENNE	11
5	SELEKTIIVISYYS	14
6	TERMINEN SUUNNITTELU JA LÄMPENEMÄT	20
6.1	Standardien vaatimukset	21
6.2	Keskuksen jäähdytysmenetelmät	23
6.3	Keskuksen tehohäviöt	26
6.4	Lämmönsiirtymisen yleisiä periaatteita	27
6.5	Lämpenemän laskenta.....	31
6.6	Tulosten tarkastelu	37
7	YHTEENVETO	41
	LÄHTEET	43
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on avustaa yritystä kehittämään uudentyyppinen sähkökeskus, jossa kytkinvarokkeiden sijaan käytetään kompaktikatkaisijaa suojaus- ja erotuslaitteena.

Lähtökohtana on korvata keskusvalmistuksessa tavallinen kytkinvaroke kompaktikatkaisijalla. Tähtäimessä on mahdollisuudet kompaktikatkaisijan käytössä suurempiin kiinteistöihin tarkoitetuissa jakokeskuksissa, kuten kerrostalon alakeskus.

Työ keskittyy pääasiassa valmistettavaan keskuksen messumalliin, joka esitellään verkostomessuilla Tampereella.

Tulevaisuudessa suunnitelmissa korvata kaikki kytkinvarokkeet kompaktikatkaisijoilla pää- ja ryhmäkeskustasolla.

Kompaktikatkaisijoiden käytön ongelmallisimpia kohtia ovat, selektiivisyyheitojen täytyminen, ja kompaktikatkaisijoiden hukkalämmön hallinta.

Työ keskittyy keskuksen termiseen suunnitteluun. Työssä otetaan katsaus myös selektiivisyysasioihin.

Vertailemme lisäksi, uusia sekä vanhoja keskusrakenteita, kompaktikatkaisijoiden ja kytkinvarokkeiden ominaisuuksia, sekä kompaktikeskuksen käyttökohteita.

Tehtäväni tuotekehityksessä on huolehtia keskusvalmistukseen liittyvien laskelmien ja teoreettisten päätelmien pohjatyöstä.

2 TYÖN TILAAJAN ESITTELY

Tein insinööriyötäni UTU Oy nimiselle sähköalalla toimivalle yritykselle. Nykypäivänä yhtiön toiminta on keskittynyt kahdelle toimialalle, joihin kuuluvat – sähkötekeminen kauppa sekä sähköverkkojen ja sähkökojeistojen solmupisteiden tuotteet. /1/

2.1 Historia

Urho Tuominen -konsernilla on pitkä historia. Yrityksen on perustanut Urho Tuominen 1. kesäkuuta 1919. Silloin yritys toimi nimellä Porin Sähkö- ja Telefooniliike Urho Tuominen Oy, joka sijaitsi Porin kauppatorin kupeessa. Alunperin yritys keskittyi sähkökoneiden ja -tarvikkeiden myyntiin. Vuodesta 1945 asti UTU on valmistanut sähkökeskuksia sekä sähköurakoinnin että teollisuuden ja sähkön jakelun tarpeisiin. /18/

2.2 UTU group

UTU konsernin emoyhtiönä toimii Urho Tuominen oy, jonka konsernihallinto ja toimipaikka sijaitsee Ulvilassa. UTU konsernilla on kaksi tytäryhtiötä suomessa: UTU powel oy ja UTU elec oy, jotka ovat perustettu 2001. Ne yhdistyivät vuoden 2012 alussa ja muodostavat nykyisen UTU oy:n. Yrityksen toimitusjohtajana on Tuhkanen Panu Olavi.

Urho Tuominen –konsernilla on toimintoja Suomessa sekä Baltian maissa (Viro, Latvia ja Liettua). Suomessa Urho Tuominen konserni työllistää henkilöstöä Ulvilassa, Vantaalla, Tampereella ja Oulussa. Baltian maiden toiminta on UTU oy:n alaisuudessa, kuten myös operatiivinen toiminta Suomessa. Vuonna 2012 Urho Tuominen –konsernin liikevaihto oli 30 miljoonaa euroa. Yrityksellä on korkein AAA-luokan luottoluokitus. /18/

3 KOMPAKTIKATKAISIJA JA KYTKINVAROKE KESKUKSESSA

Jakokeskus tulee yleensä varustaa erotuslaitteella, jolla jakokeskus voidaan tehdä jännitteettömäksi. Erotukseen käytetään erotuskytkintä. Erotus voidaan toteuttaa esimerkiksi keskuksen pääkytkimen avulla silloin, kun se täyttää erotuslaitteelle asetetut vaatimukset. Erotuslaitteena voidaan käyttää esimerkiksi kytkinvaroketta. Tässä keskuksessa käytettävät Hager kompaktikatkaisijat soveltuvat erotuslaitteeksi. /2/

Ylivirtasuojaus koostuu kahdesta osa-alueesta oikosulkusuojauksesta ja suojauksesta ylikuormitusta vastaan. Ylivirtasuojaus voidaan toteuttaa esimerkiksi sulakkeen tai katkaisijan avulla.

3.1 Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojan tarkoituksena on suojata johtimia, kiskoja ja kaapeleita normaalia kuormitusvirtaa suuremmilta ylikuormituksilta. Ylikuormitussuojan tehtävä on suojata virtapiiri liialliselta virran aiheuttamalta lämpenemiseltä. Suojan on pystyttävä katkaisemaan ylikuormitusvirta ennen, kuin ylikuormituksen aiheuttama lämpötila vaurioittaa johtimia tai niiden ympäristöä. Kaapelit on aina suojattava ylikuormituksesta, lukuunottamatta muutamia poikkeus tilanteita. /13/

3.2 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojauksen tehtävä on katkaista piirissä esiintyvät oikosulkuvirrat. Suojata kojeisto ja sen osat oikosulkuvirtojen termisiltä ja dynaamisilta voimavaikutuksilta. Oikosulkusuoja mitoitetaan prospektiivisen oikosulkuvirran I_p mukaan eli suojalaitteen katkaisukyvyyn on riitettävä kyseisen virran katkaisuun. Suojalaitteen poiskytkentä on tapahduttava ennen suojalaitteen suojaamien piirien vaurioitumista. /16 s. 72, 165/

3.3 Kytkinvaroke

Kytkinvaroke on kuormakytkin, jonka suojaus perustuu kojeeseen asetettavaan sulakkeeseen. Kytkinvarokkeita käytetään keskuksessa pääkytkimenä, sekä suojaamaan lähtöjä. Kytkinvaroketta käytetään mm. suojaamaan kaapeleita oikosulkuvirroilta ja ylikuormilta. Kytkinvarokkeita käytetään teollisuuden pienjännitekojeistoissa, sekä suurempien kiinteistöjen pää- ja nousukeskuksissa. Kytkinvarokkeita on saatavilla useille nimellisvirroille väliltä 16 -630 A. Kytkinvarokkeita löytyy myös yli 1000 A virroille valmistajasta riippuen. Kytkinvarokkeita on saatavilla 1-4 napaisina, ja niihin on saatavilla apukoskettimia. Kytkinvarokkeet ovat kohtalaisen edullinen ja turvallinen suojausmenetelmä, ne ovat suhteellisen pitkäikäisiä ja rakenteeltaan yksinkertaisia. Sähköinen elinikä luokkaa 2000 jaksoa ja mekaaninen elinikä luokkaa 20000 katkaisua. Vaatii aina sulakkeenvaihdon suojan toimittua. /7 s. 49-51/



Kuva 3.1. KATKO KVKE 63-160 /7 s. 50/

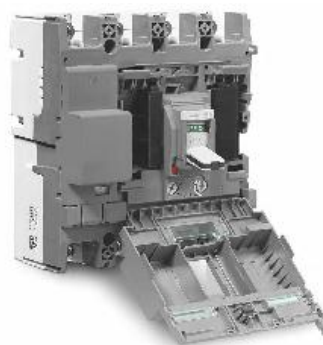
3.4 Kompaktikatkaisija

Kompaktikatkaisija on kytkinlaite, jota käytetään pienjännitesovelluksissa lähtöjen pääkatkaisijana tai keskuksen pääkytkimenä, suojaa kaapeleita ja kiskoja ylikuormituksilta ja oikosulkuvirroilta. Käytettäessä keskuksen pääkytkimenä yleensä enintään 630 A katkaisija. Kompaktikatkaisijassa on termomagneettinen laukaisuyksikkö (suojarele), jossa on joko kiinteä tai säädettävä termisen ja/tai magneettisen laukaisuarvon asetus. Suojareleen ylivirtasuojaus perustuu termiseen ylikuormitussuojaukseen (yleensä säädettävä), ja magneettisen pikalaukaisun oikosulkusuojaukseen. Kompaktikatkaisijoita on saatavilla myös elektronisella laukaisuyksiköllä varustettuna. Elektronisen laukaisuyksikön avulla oikosulkuvirtojen laukaisuarvot on säädettävissä, mikä parantaa mahdollisuutta saavuttaa aika- ja/tai virtaselektiivinen toiminta. Sulakkeisiin verrattuna kompaktikatkaisijoilla on hankalaa saavuttaa selektiivinen toiminta. /14/9/

Kompaktikatkaisijoilla on hyvä oikosulkuvirran katkaisukyky ja niitä on saatavana nimellisvirta-arvoille välillä 16 – 1600 A . Kompaktikatkaisijoiden sähköinen elinikä on luokkaa 10000 jaksoa ja mekaaninen elinikä luokkaa 20000 katkaisua. Kompaktikatkaisijoita on saatavilla 1-4 napaisina. Vikatilanteessa kompaktikatkaisija katkaisee virran kaikista navoista, mikä on etu 1- tai 2- vaiheisen oikosulun sattuessa. Kompaktikatkaisijoihin on saatavilla erilaisia apumoduleita, kuten vikavirtamoduli, apukoskettimia, hälytyskoskettimia, työvirtalaukaisin, alijännitelaukaisin ja hidastettu alijännitelaukaisin. Apumodulit mahdollistavat kompaktikatkaisijan monipuoliset käyttömahdollisuudet. Työvirtalaukaisimen avulla on mahdollista toteuttaa katkaisijan käyttö etänä. /7 s. 230-265/



Kuva 3.2. MCCB X160. /7 s. 242/



Kuva 3.3. MCCB X250. /7 s. 230/

3.5 Kompaktikatkaisija vs. Kytkinvaroke

Otetaan vertailun kohteeksi kytkinvarokkeet ja kompaktikatkaisijat. Tarkoituksena tässä on vertailla rakennetta, ominaisuuksia ja selvittää mitä hyviä ja huonoja puolia kummastakin löytyy.

Vertaillaan Katkon valmistamaa kytkinvaroketta KVKE 63-160 A ja Hagerin valmistamaa kompaktikatkaisijaa X160.

Kompaktikatkaisija on korkeudeltaan 130mm, leveydeltään 75mm ja syvyydeltään 68mm, kun kytkinvarokkeen mitat ovat: korkeus 163mm, leveys 146mm ja syvyys 118mm. Kompaktikatkaisija painaa 0,715 kg ja kytkinvaroke 1,66 kg. Kompaktikatkaisija on siis fyysisiltä mitoiltaan pienempi ja kevyempi koje, joka helpottaa sen sijoittamista keskukseen.

Kompaktikatkaisijassa laukaisu tapahtuu termomagneettisen tai elektronisen releen avulla, joten toisin kuin kytkinvarokkeessa suojan toimittua ei tarvitse vaihtaa sulaketta. Sulaakkeettoman suojauksen etuna on myös vaiheiden kaikkinaikainen katkaisu.

Kompaktikatkaisijassa toiminta-ajat ja katkaisut ovat tarkkoja laukaisuyksikön ansiosta. Sulakkeilla laukaisu-ajoissa ja toimintavirroissa saattaa esiintyä poikkeavuutta iän ja käytön seurauksena. Sulakkeen lävitse kulkeva virta voi käydä lähellä sulakelangan sulamisvirtaa, joka aiheuttaa langan kulumista.

Kompaktikatkaisijan etuna on suurempi oikosulkuvirran katkaisykyky. Esimerkiksi KVKE 160 A kytkinvarokkeen nimellinen oikosulkuvirran katkaisykyky on 1kA, kun taas x160 kompaktikatkaisijasta on kolme eri mallia, joiden nimelliset oikosulkuvirran katkaisukyvyt ovat: 18, 25 ja 40 kA. Kytkinvarokkeessa olevan sulakkeen katkaisukyky on kuitenkin luokkaa 50 tai 100 kA. Kompaktikatkaisijan oikosulun katkaisukyky heikkenee jännitteen kasvaessa. Kytkinvarokkeen ja kompaktikatkaisijan mekaaniset eliniät ovat samaa luokkaa. Kytkinvarokkeen selkeä etu on edullisuus. Liite 2, Liite3 /7 s. 48-52/

4 KESKUSRAKENNE

Utun valikoimasta löytyy tällä hetkellä kytkinvarokekeskuksia ILVES, AHMA, N400 runkomalleihin. Ilves-malli on kosketussuojattu kuivan tilan keskus. Ahma on koteloitu keskus, joka sopii kosteisiin tiloihin. N400 on teollisuuden raskaampi keskus. /18/

Kompaktikatkaisijoilla toteutettu kytkinvarokkeet korvaava sähkökeskus suunniteltiin aluksi toteutettavaksi kaikkiin vanhoihin rakenteisiin, mutta sittemmin ajatusta muokattiin ja päädyttiin toteuttamaan keskus alustavasti Ilveksen rakennetta hyväksi käyttäen. Liite 1

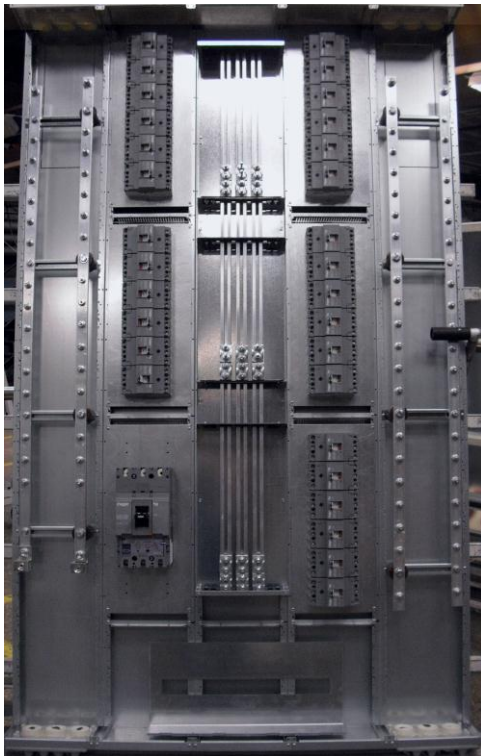
Kytkinvarokkeet ovat melko suuria ja raskaita komponentteja keskuksessa. Korvaamalla kytkinvarokkeet kompaktikatkaisijoilla voidaan säästyneen tilan lisäksi saavuttaa kevyempi paino. Tilansäästö on arvokasta kiinteistörakentamisen kannalta, keskuksille varattavien tilojen koontarpeen pienetessä.

Tilan ja painon säästöön vaikuttavat muunmuassa keskuksessa tarvittavien katkaisijoiden lukumäärä ja runkokoko, katkaisijaan liitettävät laitteet ja varustelu, kuten vikavirtalohko.

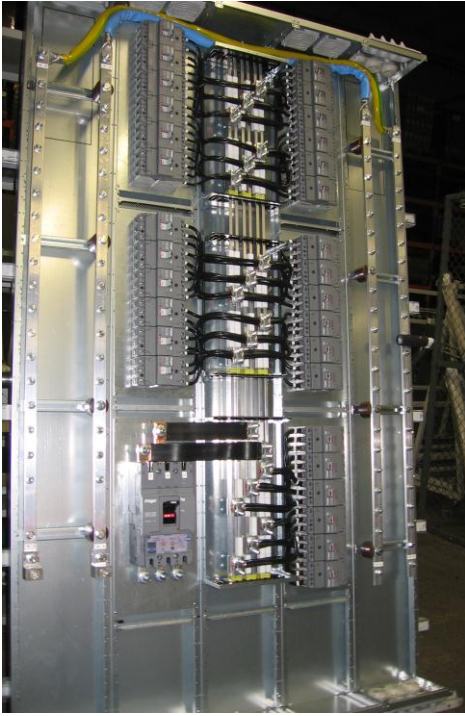
Kompaktikatkaisijat ovat kokonsa ja muotonsa puolesta hyvin asennettavissa ja sijoitettavissa keskukseseen. Kiinnittämällä huomiota kompaktikatkaisijoiden sijoitteluun ja keskusrakenteen hyödyntämiseen, saadaan aikaan materiaalisäästöjä. Kokonsa puolesta pienempi keskus on myös helpompi käsitellä, kuljettaa ja sijoittaa. Koon lisäksi saavutetaan myös kevyempi paino.



Kuva 4.1. Keskuksen messumalli. Takalevyt, päädyt ja kiskosto kasattuna.



Kuva 4.2. Kompaktikatkaisijat sekä nolla- ja vaihekiskot kiinnitetty.



Kuva 4.3. Keskus kytkentävaiheen jälkeen.



Kuva 4.4. ja 4.5. Keskus viimeistelyvaiheen jälkeen kansitettuna. ILVES-HD

5 SELEKTIIVISYYS

Selektiivisyyden tarkoitus on varmistaa ylivirtasuojauksen järkevä toiminta, jotta vian aiheuttama häiriö rajoittuu mahdollisimman pienelle alueelle. Epäselektiivinen toiminta ei normaalisti aiheuta mitään vaaraa, mutta huonosti mitoitetussa piirissä pahimmillaan voi johtaa sähköpaloon, koska ylivirtasuoja ei laukea. Epäselektiivinen toiminta voi myös olla suojien laukeamista väärässä järjestyksessä, tämä taas aiheuttaa turhia keskeytyksiä ja häiriöitä sähkönjakeluun. Epäselektiivinen toiminta voidaan välttää huolellisella ylivirtasuojauksen suunnittelulla. /13/

Selektiivinen toiminta on siis sitä, että oikea ylivirtasuoja laukeaa oikeaan aikaan ja oikeasta virtapiiristä. Käytännössä niin, että vain lähinnä vikakohtaa oleva suoja laukeaa ja näin ollen, vain viallinen piiri irroitetaan verkosta. Näin vältetään turhilta sähkökatkoilta ja vika rajoittuu mahdollisimman pienelle alueelle. /14/

Selektiivisyyttä on helpointa tarkastella virta-aika koordinaatistolla. Peräkkäisten suojien toiminta-aikakäyrät tulee asettaa samaan virta-aika koordinaatistoon, jos käyrät eivät leikkaa eivätkä sivua toisiaan on toiminta selektiivistä. Sulakkeilla toteutetussa suojauksessa selektiivisyys on hyvin saavutettavissa. Sulakkeita käytettäessä selektiivisyys toteutuu useinmiten, kun peräkkäiset sulakkeet valitaan siten, että niiden väliin jätetään yksi sulakekoko. Kompaktikatkaisijoilla selektiivisyyden saavuttaminen ei ole yhtä yksinkertaista. /14/

Valmistajilta löytyy selektiivisyystaulukoita ja toiminta-aikakäyriä tuotteilleen sekä valmistajien antamia käyttösuosituksia. Toiminta-aikojen ja selektiivisyyden tarkasteluun on olemassa sähköverkkojen laskentaan tarkoitettuja ohjelmia. Hagerin tuotteille tarkoitettua ohjelmaa ei löytynyt. Laittevalmistajasta riippuen toiminta-ajoista löytyy eroavaisuuksia.

Selektiivisyystaulukko							
Peräkkäinasennusarvot käytettäessä taulukon mukaisia katkaisijoita.							
Icc (kA)	Yläpuoli	h630 Lsi	X160 TM				
Alapuoli	(A)	630	63	80	100	125	160
MCCB	63	T	-	-	2,15	2,15	2,2
	80	T	-	-	2,15	2,15	2,2
X160 TM	100	T	-	-	-	-	2,1
	125	T	-	-	-	-	2,1
	160	T	-	-	-	-	-
Rajoitus (kA)							
JSK	6	T	<u>3,2</u>	<u>4,4</u>	<u>5,4</u>	T	T
	10	T	2,2	2,7	<u>3,2</u>	<u>3,9</u>	<u>5,1</u>
	16	T	1,9	2,2	2,6	<u>3</u>	<u>3,7</u>
MBN	20	T	1,9	2,2	2,6	<u>3</u>	<u>3,7</u>
B-käyrä	25	T	1,7	1,8	2	2,3	2,9
	32	T	1,7	1,8	2	2,3	2,9
	40	T	1,3	1,4	1,5	1,8	2,2
	50	T	-	1,1	1,5	1,5	1,8
	63	T	-	-	1,5	1,5	1,6
JSK	1	T	<u>4,5</u>	T	T	T	T
	2	T	<u>4,5</u>	T	T	T	T
	3	T	2,7	<u>3,8</u>	<u>4,6</u>	<u>5,4</u>	T
MCN	4	T	2,7	<u>3,8</u>	<u>4,6</u>	<u>5,4</u>	T
C-käyrä	6	T	2,7	<u>3,8</u>	<u>4,6</u>	<u>5,4</u>	T
	10	T	2	2,4	2,8	<u>3,4</u>	<u>4,5</u>
	16	T	1,7	1,9	2,1	2,6	<u>3,3</u>
	20	T	1,7	1,9	2,1	2,6	<u>3,3</u>
	25	T	1,4	1,6	1,8	2,1	2,6
	32	T	1,4	1,6	1,8	2,1	2,6
	40	T	1,05	1,2	1,5	1,6	2
	50	T	-	1	1,5	1,5	1,7
	63	T	-	-	1,5	1,5	1,6

Taulukko 5.1. Peräkkäisten suojien välinen selektiivisyys. /3 s. 664-673/

Taulukossa on huomioitu, tämän keskuksen kannalta oleelliset kompaktikatkaisijat ja yleisimmin käytössä olevat johdonsuojakatkaisijatyypit.

Icc – arvo kuvastaa ehdollista tai odotettavissa olevaa oikosulkuvirran arvoa.

Johdonsuojakatkaisijoiden kohdalla annetaan virran rajoitus- arvo.

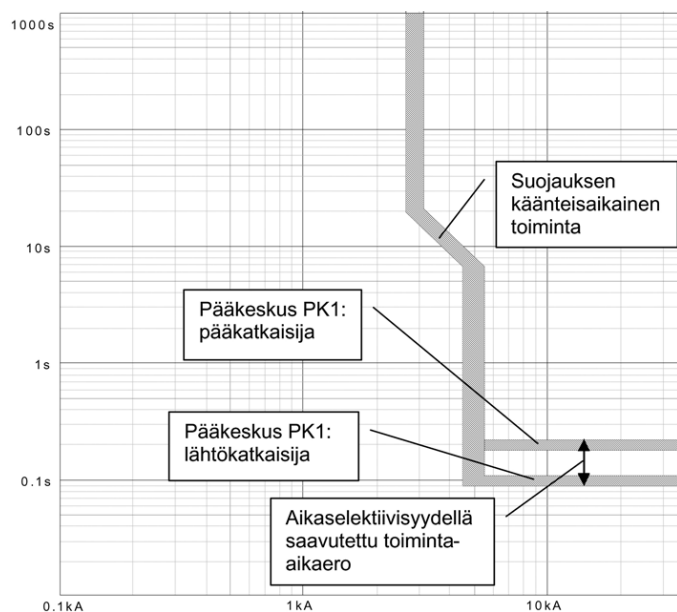
Johdonsuojakatkaisijoille on annettu erikseen katkaisukyvyt standardin IEC 60947-2 mukaan. Jokainen alleviitattu arvo voidaan ajatella täydeksi selektiivisyydeksi, jos se on johdonsuojakatkaisijan katkaisukykyalueen yli. /3 s.636-638/

Selektiivisyys ehdot voidaan täyttää, joko virtaselektiivisyydellä tai aikaselektiivisyydellä. Aikaselektiivisyyttä käytetään varmistamaan piirin peräkkäisten suojiin selektiivinen toiminta, kun virtaselektiivisyydellä on saavutettavissa vain osittain selektiivinen toiminta.

Virtaselektiivisyydellä kuvastetaan peräkkäisten suojiin selektiivistä toimintaa tietyillä virran arvoilla.

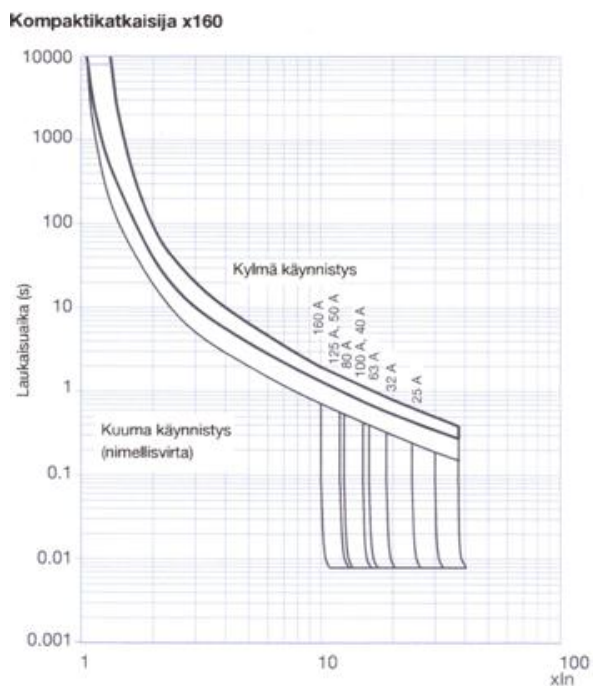
Aikaselektiivisyydellä tarkoitetaan selektiivisyyden täyttymistä, kun syötönpuoleisen suojan katkaisu on aikahidastettu.

Kompaktikatkaisijakeskuksessa sarjassa olevien kompaktikatkaisijoiden välinen selektiivinen toiminta saavutetaan valitsemalla syöttökentän kompaktikatkaisija elektronisella laukaisuyksiköllä varustettuna, jolloin laukaisuaikaa voidaan hidastaa asettelemalla sopiva viive.



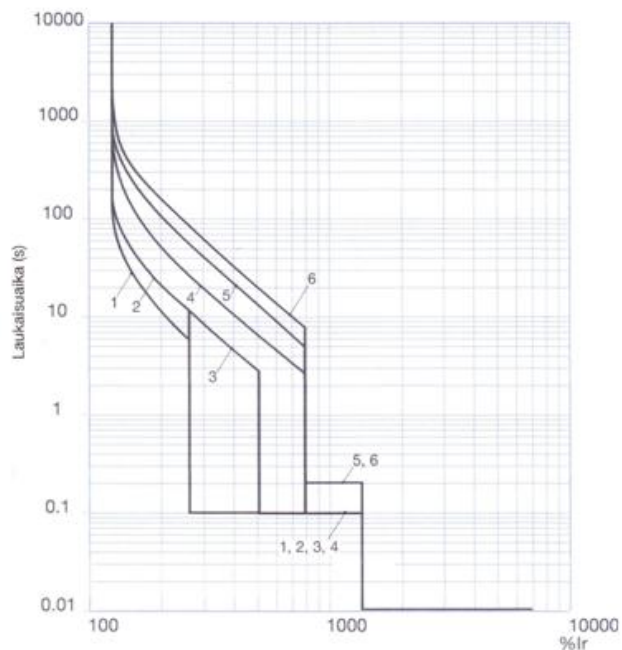
Kuva 5.1. ”Esimerkkikuva aikaselektiivisyydestä, ylivirtasuojien toimintakäyrät ($U = 400 \text{ V}$)” /17 s. 3/

Hagerin luettelosta löytyy virta-aika koordistolle piirretyt toiminta-aika käyrät kompaktikatkaisijoille. Toimintakäyrien asettaminen samaan virta-aikakoordinaatistoon voisi olla mahdollista esimerkiksi Paint-kuvankäsittelyohjelmalla, Excel- taulukkolaskentaohjelmiston avulla, kuten varmasti myös Matlab-ohjelmistolla. Selektiivisyys tarkastelua voi myös tehdä perinteisin laskennan menetelmin. Selektiivisyyteen liittyvissä laskelmissa olisi hyvä tuntea oikosulkuvirrat asennuspaikalla, verkon impedanssi ja kaapelilyypit. Olettaen verkko täysin resistiiviseksi, voidaan selvittää yksinkertaisella laskennalla selektiivisyysrajoja. Vian sattuessa xx etäisyydellä keskuksesta, käytettäessä kaapelityyppiä x, niin virta pysyy rajan x alapuolella, joten toiminta on selektiivistä. Helppointa olisi, kun valmiit katkaisijakohtaiset toiminta-aikakäyrät saataisiin integroitua Cadsiin siten, että katkaisijoiden väliset toiminta-aikakäyrät asettuisivat samaan koordinaatistoon. Silloin selektiivisyyden virta- ja aika-asettelut olisi helposti havaittavavissa tavallisen suunnittelun yhteydessä.



Kuva 5.2. Laukaisukäyrät termomagneettisella releellä varustetuista kompaktikatkaisijoista (x160) 25-160 A. /3 s. 609/

Kompaktikatkaisija h630 LSI (630A elektroninen)



Kuva 5.3. Elektronisella releellä varustetun kompaktikatkaisijan (h630 Lsi) toiminta-aikakäyrät eri asetteluarvoilla. /3 s. 638/

Katkaisijassa mahdollisuus hidastaa oikosulun pikalaukaisua, ja valita asetteluarvot pidemmistä viiveistä ylikuormitus-suojukselle, sekä mahdollista suojata myös N-johdin ylikuormitukselta.

Elektronisen laukaisuyksikön asettelu (LSI)

Kompaktikatkaisija h630 LSI (630A elektroninen)

		I/R (A)									
Raja-arvovirta pitkä vilje		IR	x/n	0,4	0,5	0,63	0,8	0,85	0,9	0,95	1
Käyrä			No.	1	2	3	4	5	6		
Käyrä	Pitkä vilje	tR	(s)	11	21	21	5	10	16		
				200% x I R			600% x I R				
	Lyhyt vilje	Isd	x/R	2,5		5	8				
		tSd	(s)	0,1		0,2					
	Välitön	II	x/R	14 (max : 13 x In)							
Valittavissa	nollasuojaus	IN	x/n	0 - 0,5 - 1							
		tN	(s)	tN = tR							

Kuva 5.4. Hager MCCB h630 Lsi asetteluarvot arvot. /3 s. 638/

Raja-arvovirran avulla voidaan vaikuttaa ylikuormituksen katkaisu aikaan. Kaapeli voidaan valita suoraan kompaktikatkaisijan kuormitettavuuden mukaan.

Kuvassa 5.3 on annettu asetteluarvot oikosulku- ja ylikuormitussuojauksen asetteluun, ja ne on numeroitu vastaamaan koordinaatistossa 5.2 esitettyjä toiminta-aikakäyriä. Nolla-johdinten ylikuormitussuojaukseen on vaihtoehdot päälle, pois tai puolet kuormitusvirrasta.

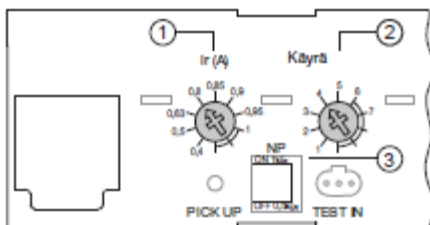


Kuva 5.5. Keskuksen ILVES-HD pääkatkytkin HND630H.

L - pitkä vilve - suojaus ylikuormitusta vastaan -
Ir ja tr asettelu

S - lyhyt vilve - suojaus oikosukuja vastaan -
Isd ja tsd asettelu

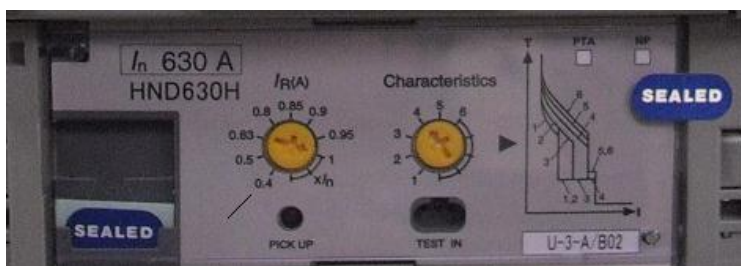
I - välitön - maks. hetkellinen raja-arvo (<10 ms)
oikosukutilanteissa: 2,5 - 10 x Ir (250 - 400A) ja
2,5 - 8 x Ir (630A)



Nolla-asettelu:

- ① Pitkän vilveen asettelu virralle Ir
- ② Muu käyräarvoasettelu (tr, Isd, tsd)
- ③ Nollasuojauksen asettelu ylikuormitusta vastaan

Kuva 5.6. Kuva ja ohjeistus h630 kompaktikatkaisijan Lsi- releyksikön asettelusta.
/3 s. 636/



Kuva 5.7. Keskuksen pääkytkimenä toimivan kompaktikatkaisijan elektronisen releyksikön asettelut.

6 TERMINEN SUUNNITTELU JA LÄMPENEMÄT

Käyttöolosuhteet huomioiden on keskuksen oltava termisesti, mekaanisesti ja sähköisesti riittävän kestävä. Sähköiseen, mekaaniseen ja termiseen kestävyysliittyviä vaatimuksia ja määrittelyitä on esitetty sähkökeskuksia koskevissa standardeissa, kuten standardisarjassa SFS-EN 60439, joka koskee matalajännitekojeistoja.

Tekniikan kehittyessä ja uudistuessa monesti kojeiden koko pienenee, mikä mahdollistaa kojeiden sijoittelun kojeistossa pienempään tilaan. Kojien pienentyessä, niistä tulee usein kuitenkin, termisesti hankalampia ja helpommin rikkoontuvia. Tilan koko vaikuttaa tilan lämpenemiseen sekä lämmön poistoon, ja lämpötila vaikuttaa kojeen toimintaan ja elinikään.

Termisen suunnittelun tarkoituksena on selvittää keskusta koskevat vaatimukset ja määrittelyt lämpötilojen osalta, ja suunnitella sekä toteuttaa keskus siten, että se täyttää sille asetetut vaatimukset.

Termisessä suunnittelussa on huomioitava keskuksessa käytön aikana aiheutuvat lämpötilan nousut, sekä selvittää, miten keskuksen jäähtytys toteutetaan, jotta lämpötilan nousut ei ylittäisi sallittuja rajoja. Tarkastellaan lähinnä keskuksessa aiheutuvia häviötehoja ja niiden lämpövaikutusta käyttöympäristö huomioon ottaen, ja sitä kuinka tämä lämpöteho saadaan siirrettyä keskukselta ulos.

6.1 Standardien vaatimukset

Standardissa SFS 6000 sanotaan, että "ihmiset, kotieläimet, kiinteästi asennetut laitteet ja kiinteät materiaalit sähkölaitteiden läheisyydessä, on suojattava sähkölaitteiden lämpenemisen tai lämpösäteilyn aiheuttamalta vaurioitumiselta. Erityisesti seuraavia vaikutuksia vastaan:

- materiaalien palaminen, syttyminen tai huononeminen
- palovammojen riski
- asennettujen laitteiden turvallisen toiminnan huononeminen" /15 s. 149/

Standardissa SFS-EN 60439-1 on annettu taulukko, jossa on määritelty sähkökeskuksen lämpenemisrajat. Lämpenemisrajat tarkoittavat lämpötilan nousua käyttöympäristöön nähden (lämpenemä). Standardissa on annettu matalajännitekojeiston käyttöympäristön suurimmat sallitut lämpötilat. Ympäristön lämpötila ei saa ylittää +40 °C, eikä sen 24h keskiarvo saa ylittää +35 °C.

Kosketeltavissa olevien ulkoisten koteloiden ja kansien lämpenemät: metallipinnoille 30 °C ja eristeaineisille pinnoille 40 °C, jos koteloita tai kansia ei tarvitse kosketella normaalikäytössä sallitaan 10 °C lisälämpenemä. Ulkoisten eristettyjen johtimien liittimien lämpenemäksi standardi 60439-1 määrittää 70°C, mutta paljaille johtimille ja kiskostoille keskuksen sisällä annetaan lämpenemärajaksi 105 °C. 105 °C liittyy lämpötilaan, jossa kupari ja alumiini alkavat menettää sähköisiä ominaisuuksiaan. Ohjaukahvoille ja käyttöelimeille on annettu lämpenemät: 15 °C (metalli) ja 25 °C (eristeaine), jos käyttöelin on keskuksen sisällä ja, se on kosketeltavissa vasta kannen aukaisemisen jälkeen sallitaan suuremmat lämpenemät. Kojeiston sisäisten komponenttien lämpenemät määräytyvät edellämainittujen vaatimusten mukaan tai valmistajan ilmoittamien arvojen tai ohjeiden mukaan. Esimerkiksi hager ilmoittaa luettelossa kompaktikatkaisijoidensa käyttölämpötilaksi -25...+70 °C. Hager antaa myös prosentti arvot lämpötilan vaikutuksesta kuormitettavuuteen. Arvoja on annettu ka-librintilämpötilaa suuremmille lämpötiloille. Liite 2, Liite 3 /16 s. 56/

Kiskoston liitospisteet ovat yleisesti toiminnan kannalta kriittisimmät kohdat. Pienjännitekojeiston kiskoston lämpenemäraajat on määritelty pienjännitekojeistoa koskevassa standardissa IEC 60947-1. Lämpenemät on annettu liitoksessa käytetyn pintamateriaalin perusteella ja siten, että ympäröivän ilman lämpötila ei ylitä 40 °C. Paljas kupari 60 °C, hopea tai nikkeli päällysteinen kupari tai messinki 70 °C, paljas messinki ja tinattu messinki tai kupari, sekä muut materiaalit 65 °C. /5 s. 105/

Standardinmukaiseen keskusvalmistukseen liittyvät tietyt tarkastukset, testaukset ja rakenteelliset vaatimukset, joiden on täyttyttävä, jotta jakokeskuksen voidaan todeta olevan standardien mukaan tyyppitestattu tai osittain tyyppitestattu. Tyyppitestatun ja osittain tyyppitestatun keskuksen tarkastuksista ja testeistä löytyy tietoa standardeista ja ST-kortistosta (IEC 60947-1 ja ST- 53.34) . Keskuksen voidaan todeta olevan osittain tyyppitestattua mallia, kun osoitetaan esimerkiksi laskennallisesti keskuksen täyttävän määrättyt kriteerit.

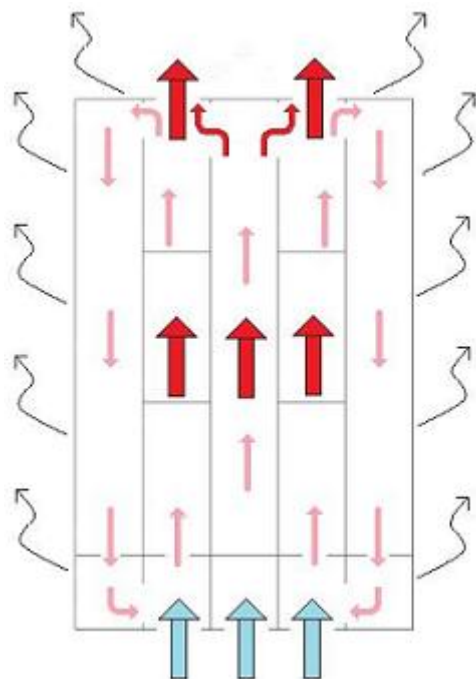
6.2 Keskuksen jäähdytysmenetelmät

Keskuksen jäähdytys voi olla toteutettu koneellisesti tai luonnolliseen ilmankiertoon perustuen. Kyseisen kompaktikatkaisijakeskuksen kohdalla tutkimme vain keskuksen runkorakenteen avulla toteutettuja luonnollisia jäähdytysmenetelmiä.

Keskuksen lämmönsiirto tapahtuu säteilyn, johtumisen ja kuljettamisen (konvektion) avulla. Umpinaisissa keskusrakenteissa (>IP 34), keskus jäähtyy ulkokuoren eli vaipan kautta. Vaipan läpi virtaava lämpöteho (lämpövirta) on oikeastaan seurausta kaikkien kolmesta lämmönsiirtotavasta.

Kojeistossa kennojen välit on aukotettu ja ilma pääsee kiertämään kojeiston sisällä ylhäältä ja alhaalta. Sisäinen ilmankierto varmistaa, että koko vaippapinta-ala toimii jäähdytysalueena.

Jos keskukselta ei vaadita umpinaista rakennetta, keskukseseen voidaan tehdä tuuletusaukot ylös ja alas, jolloin keskukseseen saadaan aikaan luonnollinen veto, ja keskuksen jäähdytys tehostuu. Tuuletusaukollisessa keskuksessa lämpö siirtyy, sekä vaipan kautta, että keskuksen läpi virtaavan ilman (veto) avulla (konvektio). /9/



Kuva 6.1. Keskuksen ilmankiertoa ja jäähdytystä havainnollistava kuva.

Keskuksessa olevien kojeiden jäähtytys tapahtuu osittain kiskoston avulla. Kojoiden liittospisteet lämpenevät yleensä muuta kiskostoa enemmän, jolloin lämpö liittospisteistä johtuu kiskostoon. UTU Oy:n normaali kiskoston mitoitus perustuu 30 °C lämpenemään. /9/10/

Taulukko 19.2a. Kuparilattakiskojen (E-Cu F30) kuormitettavuus (sähkönjohtavuus 56 m/Ω mm²).

Mitat mm	Poikkipinta mm ²	Nimellisvirta/A 50Hz					
		Maalattut kiskot			Kirkkaat kiskot		
		Kiskojen lukumäärä			Kiskojen lukumäärä		
		I	II	III	I	II	III
20x5	99	319	560	728	274	500	690
20x10	199	497	924	1320	427	825	1180
30x5	149	447	760	944	379	672	896
30x10	299	678	1200	1670	573	1060	1480
40x5	199	573	952	1140	482	836	1090
40x10	399	850	1470	2000	715	1290	1770
50x5	249	697	1140	1330	583	994	1260
50x10	499	1020	1720	2320	852	1510	2040
60x10	599	1180	1960	2610	985	1720	2300
80x10	799	1500	2410	3170	1240	2110	2790
100x10	999	1810	2850	3720	1490	2480	3260
120x10	1200	2110	3280	4270	1740	2860	3740
160x10	1600	2700	4130	5360	2220	3590	4680

Taulukko 19.2b. Alumiinilattakiskojen (E-AlMgSi-T6) kuormitettavuus (sähkönjohtavuus 31.9 m/Ω mm²).

Mitat mm	Poikkipinta mm ²	Nimellisvirta/A 50Hz					
		Maalattut kiskot			Kirkkaat kiskot		
		Kiskojen lukumäärä			Kiskojen lukumäärä		
		I	II	III	I	II	III
20x5	99	240	420	535	200	370	505
20x10	199	370	690	1000	310	605	885
30x5	149	335	570	695	275	495	650
30x10	299	505	900	1260	420	780	1130
40x10	399	640	1115	1560	526	970	1380
50x10	499	770	1320	1830	630	1140	1615
60x10	599	895	1520	2075	730	1310	1830
80x10	799	1150	1890	2510	930	1620	2245
100x10	999	1400	2250	2935	1125	1935	2630
100x15	1500	1700	2750	3520	1370	2360	3040
120x10	1200	1630	2590	3340	1315	2230	3020
120x15	1800	1970	3130	4000	1585	2690	3445
160x10	1600	2090	3265	4135	1675	2785	3765

Kuva 6.2. Abb:n TTT-käsikirjasta löytyvä virtakiskojen mitoitus ohjeistava taulukko. /1 s. 25/

Taulukot pohjautuvat DIN43671 dez,-75 –kuparilattakiskot ja DIN 43670 dez,-75 - alumiinilattakiskot standardien tietoihin, Kuvan taulukossa olevat arvot on redusoitu vastaamaan Suomessa yleisesti käytettyä E-AlMgSi –T6 metalliseosta. Taulukon arvot on ilmoitettu ympäristön lämpötilan ollessa +35 °C, jolloin kiskojen lämpenemä on 30 °C. /1 s. 24/

ILVES-HD keskuksen virtakiskoissa käytettiin E-AlMgSi-T6 metalliseosta ja kiskot ovat pystysuoraan asennetut ja maalaamattomat. Keskukseseen asennettiin kaksi virtakiskoa kutakin vaihetta kohti. Keskukseseen asennetut kiskot vastaavat suoraan kyseis-

tä taulukkoa. Kiskot mitoitettiin kuitenkin keskuksen nimellisvirtaa suuremmiksi, jotta ne jäädyttäisivät kojeistoa tehokkaammin.



Kuva 6.3. Kuva keskuksesta tarkastusvaiheen jälkeen, ennen kansitusta.

Kuvassa, ylhäällä katossa näkyvät tuuletusritilät poistoilmalle, ja keskellä keskusta kulkevat virtakiskot, joista liittynät katkaisijoihin. Kummallakin sivulla ovat vaihe- sekä nolla- kiskot. Sivulla oleviin kenttiin tulee asiakkaan liittynät. Keskuksessa on myös alhaalla ovissa tuuletusaukot (ilman sisäänotto). Ilma pääsee kiertämään melko vapaasti keskuksen sisällä. Keskuksessa on myös eräänlainen, tuulettuva välipohja alhaalta ylös. Kompaktikatkaisijat ovat kiinnitetty asennuslevyille, joissa din- kiskot.

6.3 Keskuksen tehohäviöt

Keskuksen lämpeneminen johtuu keskuksessa aiheutuvista tehohäviöistä. Kaikki keskuksessa aiheutuvat tehohäviöt on käytännössä lämpötehoa. Mitä suurempi on kojeistossa aiheutuva tehohäviö sitä suurempi on keskuksen lämpenemä.

Hager kompaktkatkaisijoiden nimellisvirran mukaiset tehohäviöt on ilmoitettu katkaisijakohtaisesti hagerin luettelon teknisissä tiedoissa. Liite 2, Liite 3

Hager kompaktkatkaisijoiden ilmoitetut tehohäviöt perustuvat yksittäisille kojeille tehtyihin mittauksiin, joten on kojeistovalmistajan vastuulla selvittää kojeiston ja kojeistossa olevien komponenttien lämpökäyttäytyminen.

Laskennassa huomioidaan kojeiden aiheuttamat tehohäviöt (katkaisijat), ja kojeiston kiskostossa syntyvä tehohäviö. Kiskoston tehohäviöiden ajatellaan muodostuvan kokonaisuudessaan virtalämpöhäviöistä.

Kiskoston tehohäviöt kasvavat suhteessa kuormitusvirran neliöön, joten alimitoituksessa tehohäviöt voivat olla huomattavasti suurempia.

Kiskoston tehohäviö

$$P_h = 3 * R * I^2 \quad (6.3.1)$$

Resistanssi

$$R = \rho * \frac{l}{A} \quad (6.3.2)$$

ρ = resistiivisyys [$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$, Ωm],

l = pituus [m] ja

A = poikkipinta-ala [m^2].

/11 s. 120/

6.4 Lämmönsiirtymisen yleisiä periaatteita

Kappale on koottu lähteistä, joiden viitteet ovat kappaleen lopussa.

Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan. Lämpö siirtyy aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan, eikä lämmön siirtymistä toiseen suuntaan voi itsestään tapahtua.

Lämpöenergiaa voi siirtyä konvektiolla eli kuljettumalla, konduktiolla eli johtumalla, ja säteilemällä eli emissiolla, sekä näiden yhteisvaikutuksella. Konvektiossa ja johtumisessa lämpöenergiaa siirtyy aineen välityksellä ja olennaista lämmönsiirtymisen kannalta on lämpötilaero. Säteililyssä olennaista on itse säteilevän kappaleen pinta-lämpötila. Säteily ei tarvitse väliainetta siirtääkseen lämpöä.

Konvektio on lämmön siirtymistä virtaavassa nesteessä tai kaasussa. Etenkin konvektiolla kuvastetaan lämmön siirtymistä kiinteän pinnan ja virtaavan nesteen tai kaasun välillä.

Pinnasta virtaavaan väliaineeseen siirtyvää lämpövirtaa P tai Φ [W] voidaan laskea kaavalla

$$\Phi = \alpha_k * A * (T_s - T_a) , \quad (6.4.1)$$

missä

α_k = konvektion lämmönsiirtymiskerroin [W/(m²*K)]

A = pinnan ala [m²]

T_s = pinnan lämpötila [K]

T_a = virtaavan aineen lämpötila [K]

Konvektio on mutkikas tapahtuma ja sen kuvastamiseksi ei ole yksinkertaista yhtälöä.

Johtuminen on lämmön siirtymistä kiinteässä kappaleessa tai liikkumattomassa nesteessä tai kaasussa. Johtuminen on molekyylien välittämää lämmönsiirtymistä korkeammasta lämpötilasta matalampaan lämpötilaan. Lämpöenergia siirtyy molekyylien törmäyksissä (liikkumaton neste tai kaasu), atomin liikkeen aiheuttamissa hilavärähtelyissä (kiinteä aine) ja vapaiden elektronien kuljettamana (johde aine).

Johtumisen aiheuttamaan lämpövirran suuruuteen, esimerkiksi tasapaksussa tasomaisessa kappaleessa, vaikuttaa aineen lämmönjohtavuus λ [W/(m*K)], ainekerroksen pinta-ala A [m²], lämpötilaero $\Delta T = T_2 - T_1$ [K], ja kappaleen paksuus d [m]. Lämpövirtaa voidaan tutkia seuraavalla kaavalla

$$\Phi = \lambda * A * \frac{\Delta T}{d} \quad (6.4.2)$$

Lämmönsiirtyminen rajapinnan yli eli ympäröivästä virtaavasta aineesta kappaleen pintaan, riippuu virtaavasta aineesta ja sen nopeudesta, sekä pinnan laadusta ja asennosta. Näihin liittyy lämmönsiirtokerroin h [W/(m²*K)]. Lisäksi, kun tiedetään väliaineen ja pinnan välinen lämpötilaero ja seinämän pinta-ala, voidaan lämpövirta laskea kaavalla

$$\Phi = h * A * \Delta T \quad (6.4.3)$$

Samoin perustein voidaan tutkia lämpövirtaa kokonaisuudessaan tasoseinämän läpi väliaineesta toiseen. Tällöin h -arvon sijasta puhutaan rakennustekniikassakin käytettyä U -arvosta (lämmönläpäisykerroin), joka määräytyy seinämän muodostavista materiaaleista ja niiden paksuuksista, pinnan laadusta, seinämää ympäröivästä väliaineesta ja sen virtausnopeudesta. Lämpötilaero muodostuu nyt seinämän eri puolilla virtaavien väliaineiden lämpötiloista.

Lämpösäteilyllä tarkoitetaan kappaleen pinnalta lähettämää (emittoivaa) sähkömagneettista säteilyä. Kaikki absoluuttista nollapistettä korkeammassa lämpötilassa olevat kappaleet emittoivat lämpösäteilyä ympäristöönsä. Kappaleeseen osuva lämpösäteily heijastuu, absorboituu (imeytyy), tai menee läpi.

Ideaalinen säteilijä on täysin musta pinta, jonka emissiivisyys on 1, todellisuudessa täysin mustaa pintaa ei ole. Hyvä säteilijä on myös hyvä absorboija.

Säteilemisvoimakkuus M [W/m²] saadaan, kun pinnasta puoliavaruuteen emittoituva säteilyteho jaetaan pinnan alalla A .

$$M = \frac{P}{A} \quad (6.4.4)$$

Säteilemisvoimakkuus voidaan esittää kaavalla

$$M = \sigma * T^2 \quad (6.4.5)$$

$\sigma = 5,67051 * 10^{-8}$ [W/(m²*K⁴)] = Stefan-Bolzmännin vakio

T = Pinnan lämpötila [K]

Todellisen kappaleen emittoima säteilyteho saadaan kaavasta

$$P = \varepsilon * \sigma * A * T^2 \quad (6.4.6)$$

ε = emissiivisyys, joka riippuu huomattavasti lämpötilasta

Kappaleiden keskimääräisiä emissiivisyyksiä on esitetty taulukoissa.

Käsiteltäessä kappaleen kykyä absorboida säteilytehoa ympäristöstä puhutaan emissiivisyyden sijasta absorptiosuhteesta α , joka on kappaleen ja ympäristön ollessa termisessä tasapainossa yhtä suuri, kuin emissiivisyys. Ympäristöstä absorboituva säteilyteho saadaan kaavasta

$$P_o = \alpha * \sigma * A * T_o^4 \quad (6.4.7)$$

T_o = Ympäristön lämpötila [K]

Kappaleen ollessa korkeammassa lämpötilassa, kuin ympäristö saadaan netto säteilyteho kaavalla

$$P = \varepsilon * \sigma * A * (T^4 - T_o^4) \quad (6.4.8)$$

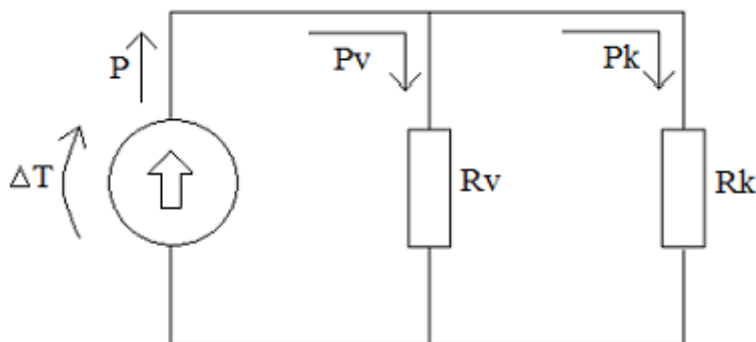
/6 s. 407-427/ 19 s. 15,51,117/ 8 s. 1-9/

6.5 Lämpenemän laskenta

Tässä työssä tarkastellaan levyrakenteisen pienjännitekojeiston sisäilman lämpenemän ja lämpötilan laskentaa. Lähtötietoina on ympäristön lämpötila, keskuksen sisällä aiheutuva lämpöteho, keskuksen vaipan pinta-ala, sekä jäähdytysilma-aukkojen välinen korkeusero ja ilma-aukkojen pinta-ala.

Lämpenemän tarkka laskenta on monimutkaisimpia asioita sähköteknisessä suunnittelussa, jotta laskenta pysyy riittävän yksinkertaisena tehdään muutamia laskentaa yksinkertaistavia oletuksia.

Lämpövirta keskukselta ulos tapahtuu, vaipan kautta "johtumalla", ja keskuksen läpi virtaavan ilman kuljettamana konvektiolla, joten lämpövirta jakautuu vain kahteen lämpöresistanssiin. Kokemusperäisesti tiedetään, että kojeiston seinän eli vaipan kyky jäähdyttää on n. $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Tämän arvon oletetaan vastaavan lämmönläpäisykerrointa eli ns. U-arvoa, joka on verrannollinen seinämän eri puolilla virtaavien aineiden väliseen lämpötilaeroon eli keskuksen sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon. Arvo ottaa huomioon lämmönsiirtymiset rajapinnoilla, sekä itse aineessa. Läpivirtaavan ilman mukana kulkeutuva lämpövirta on verrannollinen ilmamäärään, joka riippuu paine-eron aiheuttamasta ilman nopeudesta (vedosta), ja ilmavirtauksen läpäisemästä pinta-alasta. Ilma-aukkojen ei oleteta tässä tarkastelussa aiheuttavan vastuskerrointa. Oletamme, tarkastelun yksinkertaistamiseksi, että keskuksen sisälämpötila jakautuu keskuksen sisällä tasaisesti eli käytämme yhtä lämpötilaa. Ilman tiheys ja ominaislämpökapasiteetti otetaan vakioiksi. Näillä oletuksilla päästään riittävän tarkkaan mitoituseseen. /10/



Kuvio 6.1. Lämpöverkko. P_v =lämpövirta vaippa ja P_k =lämpövirta konvektio

Laskennan runkona käytetyt kaavat ja perustelut

Kiskoston resistanssin ja tehohäviöiden laskennassa käytettiin kaavoja 6. 3.1 ja 6.3.2.

Lämpötilan kasvaessa metallijohteiden resistanssi kasvaa. Lämpötilan vaikutus kiskoston resistanssiin huomioitiin laskemalla uusi resistanssi kiskoston lämpötilan perusteella kaavalla

$$R_2 = R_1 * \frac{225+T_2}{225+T_1} \quad (6.5.1)$$

T_1 [°C] = kiskon alkulämpötila (20 °C)

T_2 [°C] = kiskon loppulämpötila

R_1 [Ω] = lämpötilaa T_1 vastaava resistanssi

R_2 [Ω] = lämpötilaa T_2 vastaava resistanssi

Alumiinin ns. suprapiste on -225 °C

/4 s. 27/

Konvektiota sanotaan vapaaksi, jos virtaus syntyy lämpötilaeron aiheuttaman tiheyden muutoksen seurauksena, jossa lämmennyt kevyempi ilma nousee ylös ja kylmempää ilmaa virtaa tilalle.

Tämän keskuksen kohdalla voidaan tarkastella tilannetta, jossa konvektio on pakotettua, koska keskuksessa ajatellaan syntyvän ns. savupiippuvaikutus. Savupiippuvaikutuksessa aiheutuu paine-eron aikaansaama ilman virtaus eli veto. Savupiippuvaikutuksen lisäksi esimerkkejä pakotetusta konvektiosta on mm. puhaltimien ja pumppujen käyttö ilman liikkeelle saamiseksi. Pakotetussa konvektiossa siirtyvää lämpövirtaa voidaan tutkia massavirran avulla $P=qm*c*\Delta T$, kun massavirta muutetaan tilavuusvirraksi, niin saadaan $P=qv*\rho*c*\Delta T$. /19 s.82/6 s. 408/

Laskelmissa ajatellaan kaiken systeemiin tuodun tehon siirtyvän systeemistä ulos eli keskuksessa syntynyt lämpöteho on sama, kuin keskuksesta ulos siirtyvä lämpövirta, jolloin voidaan ajatella, että tilavuusvirta on verrannollinen keskuksessa syntyvään tehohäviöön.

Otetaan huomioon keskuksesta vaipan kautta siirtyvä lämpövirta, jolloin tilavuusvirtaa voidaan arvioida kaavalla /9/

$$\frac{V}{t} = qv = \frac{P - \Delta T * Av * U}{c * \Delta T * \rho} \quad (6.5.2)$$

qv [m³/s] = Tilavuusvirta

P [w] = keskuksessa syntynyt lämpöteho

ΔT [°C tai K] = Lämpötilan nousu keskuksen sisällä

Av [m²] = Vaipan pinta-ala

c [J/(kg*°C)] = ominaislämpökapasiteetti (ilma)

ρ [kg/m³] = tiheys (ilma)

Savupiippuvaikutuksen aiheuttama paine-ero keskuksen sisä- ja ulkoilman välillä lasketaan kaavalla /9/ 12 s. 1-4/

$$\Delta p = g * h * T_o * (T_u^{-1} - T_i n^{-1}) \quad (6.5.3)$$

Δp [Pa] = Paine-ero

g [m/s²] = gravitaatiovakio (9,81 m/s²)

h [m] = korkeusero ilmanvaihtoaukkojen välillä

T_o [K] = ilman lämpötila normaaliolosuhteissa (273,15 K)

T_u [K] = ulkoilman lämpötila

$T_i n$ [K] = sisäilman lämpötila

Ilmavirtauksen nopeutta tarkastellessa ajatellaan paine-energian muuttuvan liike-energiaksi. Virtaava aine on kaasua (ilma), jolloin potentiaalienergian muutos on niin pieni, että se voidaan jättää huomiotta. Pitää huomioida, että kyseessä on bernoullin yhtälöön pohjautuva tarkastelu, jolloin sen mukaiset tietyt yksinkertaistukset ovat voimassa. Paine-eron aiheuttama teoreettinen ilmavirtauksen nopeus v [m/s] voidaan laskea kaavalla /6 s. 325,328/ 9/

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (6.5.4)$$

Keskuksen sisälle syntynyttä ilman virtausnopeutta heikentää keskuksen sisällä olevat muodot ja seinämien rakenteet, joista aiheutuu painehäviöitä. Esimerkiksi kitka ja tuuletusaukkojen ritilät.

Massavirta qm [kg/s] saadaan kaavalla /6 s. 320/

$$qm = \rho * v * A \quad (6.5.5)$$

A [m²] = Massavirran läpäisemä pinta-ala

Lämpövirta vaipan läpi tarkastellaan kokonaisilmionä U -arvon avulla. Lämpövirta vaipan läpi saadaan kaavalla /6 s. 415/

$$P = \Phi = U * Av * \Delta T \quad (6.5.6)$$

Av [m²] = Vaipan pinta-ala

ΔT [°C tai K] = seinän eri puolilla virtaavien aineiden lämpötilaero eli tässä tapauksessa sisä- ja ulkolämpötilan välinen ero.

Konvektiossa vedon mukana kulkeutuva lämpövirta saadaan kaavalla /6 s. 408/

$$P = \Phi = qm * c * \Delta T \quad (6.5.7)$$

ΔT [°C tai K]:n ajatellaan tässä olevan ylhäältä kanavasta poistuvan ja alhaalta kana-vaan tulevan ilman välinen lämpötilaero, joka otetaan sisä- ja ulkolämpötilan välisestä lämpötilaerosta.

/6 s. 408-415/9/

Lämpenemän laskenta suoritetaan Excel taulukkolaskentaohjelman avulla. Excel taulukon matematiikka tehdään siten, että ohjelma skaalautuu tehohäviöiden, vaipan pinta-alan, ja jäähdytysaukotuksen pinta-alan muuttuessa. Tuloksena Excel- laskentaohjelma antaa keskuksen sisäilman lämpenemän, kun keskuksen lämpövirta ulos on sama kuin keskuksessa syntynyt tehohäviö. Excel asetuksista on sallittava iteratiivinen laskenta.

Keskuksen sisälämpötilaa ei tiedetä. Lämpötilaa ei voi myöskään ratkaista perinteisin yhtälön ratkaisun menetelmin, koska tuntemattomia muuttujia esiintyy aina useampia. Lämpötila voidaan kuitenkin ratkaista kokeilemalla tai iteroimalla, jolloin riittävä tarkkuus laskentaan saavutetaan.

Lämpenemä on haettu kasvattamalla itse arvoa loopilla, kunnes lämpövirta keskukselta ulos on sama kuin keskukseseen tuotu lämpöteho. Käytännössä laskentaohjelma ei anna täysin tarkkaa lämpötilaeroa, mutta virhe on niin pieni, että se ei laskentaa haittaa. Todellinen lämpötilaero on jotain laskennassa käytetyn ΔT_1 ja laskennasta saadun ΔT_2 lämpötilojen väliltä.

Laskennasta saatujen tulosten avulla laskettiin vielä uudestaan lämpenemiä ja lämpötiloja keskuksen eri rakenneratkaisuilla ja kuormituksilla. Näin saadaan laskelmiin luotettavuutta ja vertailupohjaa. Tulokset useammista tilanteista helpottavat tulosten arvioimista ja johtopäätösten tekemistä termisen suunnittelun osalta.

Standardi SFS-EN 60439-1+A1 sallii kojeiston useita pääpiirejä sisältäville osille nimellisten tasoituskertoimien käytön. Standardissa on annettu taulukko tasoituskerroimille pääpiirien lukumäärästä riippuen. Tasoituskertoimien käyttö on myös hyvin kojevalmistajien tiedossa.

Tasoituskertoimet otettiin huomioon kojeelle ilmoitetun tehohäviön ja nimellisvirran avulla. Osassa Hager kompaktikatkaisijoista tehohäviöt ovat samat riippumatta kojeen nimellisvirrasta. Tulimme tulosityksikön päällikön Pasi Laurin kanssa tulokseen, että nimellisvirraltaan pienemmässä katkaisijassa releen käämityksen resistanssi on suurempi, jolloin tehohäviöt ovat samaa luokkaa.

Tasoituskertoimellisten virtojen ja tehohäviöiden laskenta suoritettiin kaavalla /9/

$$P2 = \left(\frac{I2}{I1}\right)^2 * P1 \quad (6.5.8)$$

P1 = Tehohäviö

I1 = Nimellisvirta

I2 = Virta (Tasoituskerroin huomioitu)

P2 = Tehohäviö (Tasoituskerroin huomioitu)

Virtakiskoston lämpenemän ja lämpötilan selvittämiseksi laskentaohjelmaan lisättiin iterointiin perustuva laskenta luuppi, joka toimii osana koko laskentaohjelmaa. Virtakiskojen lämpenemä voidaan laskea seuraavan yhtälön avulla /9/

$$dT = dTr * \left(\frac{Ik}{Ir}\right)^2 * \frac{(225+Ty+dT)}{(225+Ty+dT)} \quad (6.5.9)$$

dTr = Kiskoston mitoitukseen perustuva lämpenemä. (ks. kappale 6.2)

dT = Laskettu lämpenemä

Ik = Kuormitusvirta

Ir = Taulukkovirta (ks. kappale 6.2)

Ty = Ympäristön lämpötila

225 = alumiinille ominainen lämpötila (ks. kaava 6.5.1)

6.6 Tulosten tarkastelu

Lämpenemälaskennassa on laskettu kaksi perustilannetta. Tilanne (a), kun keskus on umpinainen ja tilanne (b), kun keskus on varustettu helposti saavutettavalla aukotuksella.

Edellämäinitut tilanteet on laskettu, kun keskuksessa on täysi kuormitus eli jokainen katkaisija on kuormitettu nimellisvirralla. Käytännössä tilanne on epätodennäköinen, koska lähtökatkaisijoiden ottama yhteenlaskettu virta olisi tällöin huomattavasti suurempi kuin syöttökatkaisijan sallima virta. Teoriassa tilanne on mahdollinen, jos osassa lähdöistä on induktiivista loisvirtaa ja osassa on kapasitiivista loisvirtaa.

Keskuksen useita pääpiirejä sisältävälle osalle on annettu standardissa tasoituskerroimet. Lasketaan myös tilanteita (a) ja (b) vastaava lämpenemä, kun katkaisijakentöjen virroissa on huomioitu tasoituskerroimet.

Ote tulosten arvioinnin kannalta keskeisistä tiedoista				
Keskuksen lämpenemistä tarkastellaan yhtenä tilana				
Keskuksessa täysi kuormitus		Tasoituskerroimet huomioitu		
Keskus	Keskus	Keskus	Keskus	
(a) Umpinainen	(b) Aukotettu	(a) Umpinainen	(b) Aukotettu	
Kiskoston tehohäviö Ph _{kiskot} [W]	87,05633636	82,7439087	83,71742518	81,484772
Kennojen tehohäviö yhteensä Ph _{1kennot} [W]	1320	1320	1320	1320
Tasoituskerroin huomiota Ph _{2kennot} [W]	723,3	723,3	723,3	723,3
Jäähdyttävän vaipan ala sijainnin mukaan [m ²]	5,25	5,25	5,25	5,25
Ympäristön lämpötila T _y °C	35	35	35	35
Tehohäviö yhteensä Ph [W]	1407,056336	1402,74391	807,0174252	804,78477
Laskennan lämpötilaero ΔT ₁ [°C]	26,81	12,06	15,38	7,74
Ilmanotto ja -poisto aukkojen korkeusero h [m]	0	1,85	0	1,85
Ilma-aukotuksen ala A [m ²]	0	0,045	0	0,045
Lämpövirta vaipan läpi P [W]	1407,525	633,15	807,45	406,35
Vedon aiheuttama lämpövirta P [W]	0	770,656104	0	398,93359
Lämpövirta yht. P [W]	1407,525	1403,8061	807,45	805,28359
Laskettu lämpötilaero ΔT ₂ [°C]	26,80107307	12,0397677	15,37176048	7,7304986
Sisälämpötila T ₂ [°C]	61,80107307	47,0397677	50,37176048	42,730499
Kiskon lämpenemä ΔT [°C]	11,93321067	11,8963976	11,90503167	11,884932
Kiskon lämpötila T [°C]	73,73428374	58,9361653	62,27679215	54,61543

Taulukko 6.1. Ote laskentaohjelman keskeisistä tuloksista. Liite 4, Liite 5

Tämän tarkastelun perusteella keskuksen sisäilman lämpenemä on alhainen, vaikka keskus olisi rakenteeltaan umpinainen. Kiskostonkaan lämpötila ei ylitä standardin vaatimuksia. Keskuksessa oleva kiskosto on mitoitettu nimellistä kuormitusvirtaa (630A) suuremmalle virralle (970A), jonka vuoksi kiskoston lämpenemä on alhaisempi, kuin normaali kiskostonmitoitukseen perustuva 30 °C lämpenemä. Sisäilman lämpötilan perusteella voidaan todeta, että myöskään keskuksen sisällä olevat käyttöelimet eivät ylitä lämpenemisrajoja, eikä myöskään katkaisijoiden suurin annettu käyttölämpötila +70 °C ylity. Huomioidaan kuitenkin, että x160 runkoiselle kompak-tikatkaisijalle on annettu 93% kuormitettavuus 60 °C:ssa ja 90% kuormitettavuus 65 °C:ssa. Liite 2, Liite 3

Edellisen (Taulukko 6.1) saatujen lämpenemien avulla lasketaan vielä yksittäisen kennon lämpenemistä tilanteessa, jossa kuormitusvirtajakauma on pahin mahdollinen. Pahin mahdollinen tilanne on, kun kaikki virta on jakautunut yhteen kennoon. Tarkastellaan yksittäisen kennon lämpenemistä, kun kenno on umpinainen, ja kun kenno on avoin eli ilmavirta pääsee kulkemaan kennon läpi. Ympäristön lämpötilaksi oletetaan nyt keskuksen sisäilman lämpötila tilanteessa, jossa tasoituskertoimet on huomioitu.

Ote tulosten arvionnin kannalta keskeisistä tiedoista	Keskus umpinainen (a)		Keskus aukotettu (b)	
	Tarkastellaan yksittäisen kennon lämpenemistä			
	Kennossa täysi kuormitus		Kennossa täysi kuormitus	
	Kenno	Kenno	Kenno	Kenno
	Umpinainen	Ilmankierrolla	Umpinainen	Ilmankierrolla
Kiskoston tehohäviö Phkiskot [W]	-	-	-	-
Kennojen tehohäviö yhteensä Ph1kennot [W]	234	234	234	234
Tasoiuskerroin huomiota Ph2kennot [W]	-	-	-	-
Jäähdyttävän vaipan ala sijainnin mukaan [m ²]	0,613	0,613	0,613	0,613
Ympäristön lämpötila Ty °C	50,37176048	50,3717605	42,73049865	42,7304986
Tehohäviö yhteensä Ph [W]	234	234	234	234
Laskennan lämpötilaero ΔT1 [°C]	38,18	14,01	38,18	14,01
Ilmanotto ja -poisto aukkojen korkeusero h [m]	0	0,57	0	0,57
Ilma-aukotuksen ala A [m ²]	0	0,0125	0	0,0125
Lämpövirta vaipan läpi P [W]	234,0434	85,8813	234,0434	85,8813
Vedon aiheuttama lämpövirta P [W]	0	148,329511	0	148,329511
Lämpövirta yht. P [W]	234,0434	234,210811	234,0434	234,210811
Laskettu lämpötilaero ΔT2 [°C]	38,17292007	13,97561	38,17292007	13,97561
Sisälämpötila T2 [°C]	88,54468054	64,3473705	80,90341871	56,7061087
Kiskon lämpenemä ΔT [°C]	-	-	-	-
Kiskon lämpötila T [°C]	-	-	-	-

Taulukko 6.2. Ote laskentaohjelman keskeisimmistä tuloksista. Liite 4, Liite 5

Tulokset umpinaisen(a) ja tuuletusaukotetun(b) keskuksen yksittäisen kennon lämpenemistä, kun kennossa on täysi kuormitus. Lämpenemät on laskettu, kun ilma pääsee kiertämään kennossa, ja kun kennon oletetaan olevan täysin umpinainen.

Tulokset on laskettu noudattamalla samaa laskentaperiaatetta, kuin edelläkin. Oletuksena on, että kennon seinämien läpi siirtyvä lämpövirta tapahtuu samalla kertomella, kuin keskuksen vaipankin kautta.

Tuloksista voidaan päätellä, että umpinaisessa ja tuuletusaukollisessa keskusrakenteessa kennon ollessa umpinainen lämpötilat nousisivat liian korkeiksi.

Käytännössä kenno ei ole rakenteeltaan umpinainen. Varmistamalla, että kennossa on ylhäällä ja alhaalla n. 12,5 neliösenttimetrin kokoinen reitti ilmavirralle päästään vielä hyväksyttäviin lämpenemiin ja lämpötiloihin.

Kaiken laskennan perusteena on käytetty suurinta sallittua ympäristön lämpötilaa 35 °C. Käytännön tilanne keskuksen asennuspaikoilla yleensä on, että ympäristön lämpötila on 20 – 25 °C, jolloin keskuksen lämpötilat ovat luonnollisesti matalampia.

7 YHTEENVETO

Yhteenvetona todettakoon, että mielestäni valmistettu ILVES-HD sähkökeskus täyttää vaatimukset termisiltä ominaisuuksiltaan, sekä on kaikin puolin järkevä ja kilpailukykyinen sähkökeskusmalli, etenkin verrattaessa vastaavaan kytkinvarokkeilla toteutettuun keskukseen. Kompaktikatkaisijoita tullaan tulevaisuudessa käyttämään todennäköisesti yhä enenevässä määrin kaikkialla pienjännitteisissä kojeistoissa. Työ oli kokonaisuudessaan erittäin mielenkiintoinen ja uutta tietoa kertyi valtavasti. Kytkinvaroke, kompaktikatkaisija, terminen suunnittelu, standardit, selektiivisyys, keskusrakenteet ja etenkin tuotekehitys ja projektitoiminta, kaikki enemmän tai vähemmän entuudestaan ns. kokemattomia tai jokseenkin vieraita asioita. Toivottavasti tämä työ on avuksi ja valottaa kompaktikatkaisijakeskuksen valmistukseen liittyvissä asioissa, kuten hukkalämmönhallinnassa. Selektiivisyys tarkastelu jäi pintapuoliseksi, eikä tällä erää työkalua suunnittelun tueksi toimestani tehty. Suurin työ oli lämpenemälaskennassa ja Excel- ohjelman tekemisessä. Kertaamaan kyllä joutui runsaasti, etenkin lämmönsiirtoon liittyviä asioita, mutta niin se kertaus on opin äiti. Olen erittäin tyytyväinen työni aihepiiriin. Työn aihealue oli todella laaja, mutta lopulta jonkinlainen selkeys ja linjat alkoivat hahmottua. Suurin osa työstä oli uutta tai selvittelyä ja kertaamista vaativaa. Tuskailua ja syviä huokauksia, mutta en lannistu, vaan loppuun kunnialla. Aikaa se vaati, vaikka loppujen lopuksi, sitä oli itselle ehkä liiankin rutosti. Toisaalta taas on hyvä antaa ajatusten hautua välillä. Kevät oli myös erittäin vaiherikasta aikaa. Kaiken kaikkiaan sain työltä paljon ja toivon sen olevan myös hyödyksi Utulle.

Kiitokset

Kiitos Utu Oy ja erikoiskeskussuunnittelun Esimies Markus Kemikankangas antamastanne aiheesta. Kiitos Markukselle ohjauksesta ja joustavuudesta työn suhteen. Suuret kiitokset Utu Oy:n tulosityksikön Päälikkö Pasi Lauri kehittävistä keskusteluista, tiedosta ja opastuksesta, ajasta ja ymmärryksestä. Suuret kiitokset Samk. Eri-tyiskiitokset työni ohjaajalle energia- ja rakentaminen- osa-alue Johtaja Petteri Pulkkinen, että olet jaksanut neljä vuotta katsella, kuunnella, ymmärtää ja opettaa. Neljä vuotta sitten orientaatiotilaisuudessa ajattelin, että olette samalle luokalle tulossa. No niinhän siinä kävi, tosin te olitte siellä opettajan roolissa. Kiitos hienosta asenteesta, opetuksesta, neuvoista ja ajasta. Helminen kiittää, kuittaa ja suuntaa eteenpäin. Ilo oli minun puolellani. Kiitokset vielä kaikille työn mahdollistaneille. Näkemiin.

LÄHTEET

1. ABB TTT- käsikirja. 2000. Luku 19: Sähköjohtojen mitoittaminen. Ulvila: Utu Oy
2. D1. 2009. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 17.p. Helsinki: Painokurki
3. Hager 2012. Keskusjärjestelmät Kiinteistöautomaatio Luettelo. Utu Oy
4. IEC 60076-2. 1993. Power transformers – Part2: Temperature rise. Determination of average winding temperature. 2.p. International electrotechnical commission. Switzerland:IEC
5. IEC 60947-1. 2007. Low-voltage switchgear and controlgear. 5.p.International electrotechnical commission. Switzerland:IEC
6. Inkinen, P & Tuohi, J. 1999. Momentti 1 Insinöörifysiikka. 4.p. Helsinki: Otava
7. Katko Catalogue 2012 Finnish. Viitattu 16.11.2012. www.katko.fi
8. Laitesuunnittelu. 2007. Elektronisen laitteen lämpösuunnittelu. Viitattu 25.1.2013. <http://web.kamk.fi/loader.aspx?id=e11af958-2d26-42ba-b896-f38caf064fd9>
9. Lauri,P. 2012. Tulosityksikön päällikkö, UTU oy. Ulvila. Palaveri 20.11.2012. Dokumentit yrityksen hallussa.
10. Lauri,P. Pienjännitekeskuksen lämpenemien laskennasta. Vastaanottaja: janne.helminen@student.samk.fi Lähetetty 17.1.2013 klo 16:22. - Viitattu 7.2.2013
11. Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2010. Tekniikan kaavasto. 9.p. Tampere: Tammertekniikka
12. Remes,M. 2008. Laskuharjoitus7-Ilmatekniikka. Viitattu. 11.2.2013. www.aalto.fi
13. Ruppaa, E. Ylivirtasuojauksen selektiivisyys. Viitattu 16.11.2012. <http://salabra.tp.samk.fi/er/siirto/selektiivisyys.doc>
14. Ruppaa, E. Ylivirtasuojaus. Viitattu 16.11.2012. <http://salabra.tp.samk.fi/er/siirto/ylivsuoj.doc>
15. SFS 600. Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus. Suojaus lämmön vaikutuksilta. 2007. 2.p. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki:SFS

16. SFS-EN 60439-1+A1. Jakokeskukset. Osa 1: Tyypitettujen ja osittain tyypitettujen keskusten vaatimukset. 2005. 3.p. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki:SFS. Viitattu 23.1.2013. <http://www.sfs.fi/>
17. ST 53.13. Kiinteistön sähköverkon suojauksen selektiivisyys. 2008. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 22.2.2013. <http://sahkoinfo.fi/severi>
18. Utu oy:n www-sivut. 2012. Viitattu 16.11.2012. www.utu.eu
19. Wagner, W. 1994. Lämmönsiirto. 2.p. Helsinki: Painatuskeskus

Kompaktikatkaisijat: tekniset tiedot

Runko	x160				x250	
	Kytkin	Kompaktikatkaisija			Kytkin	Kompaktikatkaisija
Tyyppi	HCA	HDA	HHA	HNA	HCB	HNB
Napojen määrä	[No.]	3-4	3-4	3-4	3-4	
Sähköiset ominaisuudet						
Nimellisvirta	In [A]	160			250	
Virran nimellisarvo	I _n [A]	125-160	16-125 (1P), 16-160 (2,3,4P)		250	100-250
Nimelliskäyttöjännite, (AC)	U _e [V]	220-440			220-440	
Taajuus	f [Hz]	50/60			50/60	
Nimellinen eristysjännite	U _i [V]	800			800	
Nimellinen impulssinkestojännite	U _{imp} [kV]	8			8	
Nimellinen enimmäisokosulun katkaisukyky, (I _{cu})						
(AC) 50-60 Hz 220/230 V	I _{cu} [kA]	-	25	35	85	-
(AC) 50-60 Hz 380/415 V	I _{cu} [kA]	-	18	25	40	-
(AC) 50-60 Hz 480/500/525 V	I _{cu} [kA]	-	-	-	-	-
(AC) 50-60 Hz 660/690 V	I _{cu} [kA]	-	-	-	-	-
(DC) 250 V - 2 napaa sarjassa	I _{cu} [kA]	-	10	10	10	-
Nimellinen käyttö okosulukatkaisukyky, (I _{cs})						
(AC) 50-60 Hz 220/230 V	I _{cs} [kA]	-	25	25	40	-
(AC) 50-60 Hz 380/415 V	I _{cs} [kA]	-	18	20	20	-
(AC) 50-60 Hz 480/500/525 V	I _{cs} [kA]	-	-	-	-	-
(AC) 50-60 Hz 660/690 V	I _{cs} [kA]	-	-	-	-	-
(DC) 250 V - napaa sarjassa	I _{cs} [kA]	-	5	5	5	-
Nimellinen okosulunkytkentäkyky	I _{cm} [kA]	2,3	-	-	-	9
Nimellinen lyhytkaajan virran kesto	I _{ow} [kA]	2	-	-	-	3
Käyttökategoria (EN 60947-2)		-	A	-	-	A
Kalibrointilämpötila		-	50°C	-	-	50°C
Äänama	40°C	-	100%	-	-	100%
	50°C	-	100%	-	-	100%
	55°C	-	95%	-	-	94%
	60°C	-	93%	-	-	91%
	65°C	-	90%	-	-	88%
Soveltuvuus erotukseen		ok			ok	
Sähköinen kesto jaksojen määrä		10000			10000	
Mekaaninen kesto toimintojen määrä		20000			20000	
Käyttölämpötila		-25 ... +70°C			-25 ... +70°C	
Varastointilämpötila		-35 ... +70°C			-35 ... +70°C	
Tehonäyttö (In/3P)	[W]	39			60	
Standardin mukaisuus		IEC 60947-3	IEC 60947-2		IEC 60947-3	IEC 60947-2
Vapautus: kytkin		ok	-		ok	-
Vapautus: TM (termomagneettinen)		-	ok		-	ok
T kiinteä, M kiinteä		-	ok		-	ok
T säädettävä, M kiinteä		-	ok		-	-
T säädettävä, M säädettävä		-	-		-	ok
Terminen säätöarvo		-	0,63 - 1 x In		-	0,63 - 1 x In
Magneettinen säätöarvo		-	-		-	6-8-10-13 x In (200A) 5-7-9-11 In (250A)
Vapautus: LSI elektroninen		-	-		-	-
Ptkä viive		-	-		-	-
Lyhyt viive		-	-		-	-
Viiveaika		-	-		-	-
Läitymät						
Vakio liittintyyppi		tunneli			kaapelikengät	
Maksimi liittopikkupinta		95 mm ²			185 mm ² (tunneli)	
Liittimen leveys	mm	-			25	
Liittinsuojat		ok			ok	
Tunnellin		integroitu			ok	
Jalkopalaletäntä		ok			ok	
Takalitäntä		ei			ok	
Mitat						
Korkeus	mm	130			165	
Leveys	1N mm	-	25	-	-	
	2N mm	-	50	-	-	
	3N mm	-	75	-	105	
	4N mm	-	100	-	140	
Syvyys	mm	68			68	
Paino	1N kg	-	0,29	-	-	
	2N kg	-	0,48	-	-	
	3N kg	-	0,715	-	1,3	
	4N kg	-	0,95	-	1,6	



h250 LSI		h400		h630			h1000			h1600		
Kompaktikatkaisija		Kompaktikatkaisija		Kytkin	Kompaktikatkaisija		Kytkin	Kompaktikatkaisija		Kytkin	Kompaktikatkaisija	
HNC	HEC	HHD	HND	HCD	HND	HED	HCE	HNE	HEE	HCF	HNF	HEF
3-4		3-4		3-4			3-4			3-4		
250		400		630			1000			1600		
40-125-250		250-400		400-630 250-630-400			800-1000			1250-1600		
220-690		220-690		220-690			220-690			220-690		
50/60		50/60		50/60			50/60			50/60		
800		800		800			800			800		
8		8		8			8			8		
85	100	35	85	-	85	100	-	85 (800A) 75 (1000A)	100	-	100	100
50	70	25	50	-	50	70	-	50	70	-	50	70
25	45	10	30	-	30	30	-	30	30	-	45	65
7,5	20	7,5	20	-	20	20	-	20	20	-	25	45
-	-	25	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
85	100	35	85	-	85	85	-	85 (800A) 75 (1000A)	100 (800A) 75 (1000A)	-	75	75
25	70	25	50	-	50	50	-	50	50	-	50	50
10	45	10	30	-	30	30	-	30	30	-	45	50
7,5	15	7,5	15	-	15	15	-	20	20	-	25	34
-	-	25	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	9	-	-	20	-	-	45	-	-
-	-	-	-	5 (0,3s)	-	-	10 (0,3s)	-	-	20 (0,3s)	-	-
A	A	-	B (250A) - A (630A)	-	B (800A) - A (1000A)	-	B					
40°C	50°C	-	40°C	-	40°C	-	40°C					
100%	100%	-	100%	-	100%	-	100%					
95%	100%	-	100%	-	100%	-	100%					
90%	95%	-	95%	-	95%	-	95%					
80%	92%	-	90%	-	90%	-	90%					
80%	89%	-	80%	-	80%	-	80%					
ok	ok	-	ok	-	ok	-	ok					
10000	4500	-	4500	-	4500	-	4500					
30000	15000	-	15000	-	15000	-	15000					
-25 ... +70°C	-25 ... +70°C	-	-25 ... +70°C	-	-25 ... +70°C	-	-25 ... +70°C					
-35 ... +70°C	-35 ... +70°C	-	-35 ... +70°C	-	-35 ... +70°C	-	-35 ... +70°C					
75	75	-	150	-	150	-	170					
IEC 60947-2	IEC 60947-2	-	IEC 60947-3 IEC 60947-2	-	IEC 60947-3 IEC 60947-2	-	IEC 60947-3 IEC 60947-2					
-	-	-	ok	-	ok	-	ok					
-	ok	-	-	-	-	-	-					
-	-	-	-	-	-	-	-					
-	-	-	-	-	-	-	-					
-	ok	-	-	-	-	-	-					
-	0,63 ... 1 x ln	-	-	-	-	-	-					
-	6-8-10-12 x ln	-	-	-	-	-	-					
-	-	-	ok	-	ok	-	ok					
0,4 - 1 x lr	-	-	0,4 - 1 x lr	-	0,4 - 1 x lr	-	0,4 - 1 x ln					
2,5 - 10 x lr	-	-	2,5 - 10 x lr (250A) 2,5 - 8 x lr (630A)	-	2,5 - 10 x lr (800A) 2,5 - 8 x lr (1000A)	-	2,5 - 10 x lr					
0,1 - 0,2s	-	-	0,1 - 0,2s	-	0,1 - 0,2s	-	0,1 - 0,2s					
kaapelikengät	kaapelikengät	kaapelikengät	kaapelikengät	kaapelikengät	kaapelikengät	kaapelikengät	kaapelikengät					
120 mm ² (tunneli)	240 mm ² (tunneli)	-	-	-	-	-	-					
25	30	-	30	-	45	-	45					
ok	ok	-	ok	-	ok	-	ok					
ok	ok	-	-	-	-	-	-					
ok	ok	-	integroitu	-	integroitu	-	integroitu					
ok	ok	-	ok	-	ok	-	ok					
165	260	-	260	-	273/433	-	370/570					
-	-	-	-	-	-	-	-					
-	-	-	-	-	-	-	-					
105	140	-	140	-	210	-	210					
140	185	-	185	-	280	-	280					
97	97	-	97	-	99,5	-	140					
-	-	-	-	-	-	-	-					
-	-	-	-	-	-	-	-					
2,5	4,2	-	4,3	-	11	-	27					
3,3	5,6	-	5,7	-	14,8	-	31					

LIITE 5

Kiskojen lämpenemän laskenta (E-AI/MgSi-T6)	2*40*10 p	2*40*10 p	2*40*10 p	2*40*10 p
Tymp. (Ts)	61,80107307	47,03976771	50,37176048	42,73049865
Lämpenemä (dT)	30	30	30	30
Taulukkovirta (I _r)	970	970	970	970
Kuormitusvirta I _k	630	630	630	630
Laskettu lämpenemä dT	11,93321067	11,89639759	11,90503167	11,88493181
LT riippuvuus (225.235)	225	225	225	225
Kiskom LT (T ₂)	73,73428974	58,93616529	62,27679215	54,61543046
Laskenta dT	11,93321067	11,89639759	11,90503167	11,88493181

Excel – ohjelma virtakiskojen lämpenemän ja lämpötilan laskemiseksi.