

Sami Piittisjärvi

IEC 61439-standardisarjan soveltaminen teollisuusnostureissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

17.11.2015

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Sami Piittisjärvi IEC 61439-standardisarjan soveltaminen teollisuusnostureissa 42 sivua + 8 liitettä 17.11.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Ari Redlig, pääsuunnittelija Jukka Karppinen, lehtori
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli kirjoittaa yksiselitteinen ohje Konecranesin käyttöön IEC 61439-standardisarjan soveltamisesta raskaissa teollisuusnostureissa. Opinnäytetyö jakautui kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa standardisarjan ja sen velvoittavien standardien vaatimuksia tutkittiin ja tehdyt löydökset kirjattiin suoraan opinnäytetyön raporttiosuuteen. Toisen osan tarkoituksena oli kirjoittaa varsinainen suunnitteluohje Konecranesin sähkösuunnittelijoiden käyttöön. Suunnitteluohjeen on tarkoitus toimia myös jatkossa myyntiorganisaation tukidokumenttina.</p> <p>Ensimmäisen vaiheen aikana löydettiin useita standardisarjan vaatimuksia, joita oli hankala täyttää Konecranesin käyttämillä vakioratkaisuilla. Suurimmat eroavaisuudet olivat Konecranesin tavoissa laskea keskuksen lämpenemä ja oikosulkukestoisuus. Lämpenemän laskemiseksi luotiin uusi laskentapohja. Oikosulkukestoisuuden vaatimuksia tutkiessa työn ensimmäisessä vaiheessa selvisi, että Konecranesin nykyisillä ratkaisulla ei ole mahdollista tarkastaa oikosulkukestoisuutta standardin mukaisesti. Ratkaisuksi tähän esiteltiin useita eri ratkaisuja sähköjen rakenteen muuttamiseksi.</p> <p>Toisen vaiheen tuloksena syntyi selkeä suunnitteluohje. Suunnitteluohje sisältää useita esimerkkejä todellisista tilanteista. Näin sähkösuunnittelijan on helpompi ymmärtää IEC 61439-standardisarjan vaatimuksia. Liikesalaisuuksien turvaamiseksi suunnitteluohje poistettiin opinnäytetyön julkisesta versiosta.</p>	
Avainsanat	IEC 61439, teollisuusnosturi

Author(s) Title	Sami Piittisjärvi Designing an Industrial Crane According to IEC 61439
Number of Pages Date	42 pages + 8 appendices 17 November 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electric power engineering
Instructor(s)	Ari Redlig, Electrical Leading Engineer Jukka Karppinen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to create an unambiguous design instruction for Konecranes about designing an industrial crane according to IEC 61439 standard series. The study was divided to two stages. The purpose of the first stage was to study all requirements given by the standard series and all of its normative references. Results were written to the thesis report. The purpose of the second stage was to sum up the results and write a lucid design instruction which will guide Konecranes' electrical engineers through IEC 61439 projects. Design instruction will also act as a support document for sales organization.</p> <p>During the first stage several requirements were discovered that were difficult to cover with Konecranes' standard solutions. Biggest differences between standard series and practices used by Konecranes were in temperature rise and short-circuit withstand verification. For temperature rise verification a calculation template was created. During the first stage of the thesis it appeared that it was not possible to verify the short-circuit strength of assemblies with Konecranes' standard solutions. As a solution several alternatives for the assembly structure were presented.</p> <p>As a result of the second stage a clear design instruction was created. The design instruction contains several examples from real-life situations which will help designers to understand the requirements given by IEC 61439. The design instruction is removed from the public version of the thesis because it contains Konecranes' trade secrets.</p>	
Keywords	IEC 61439, Industrial cranes

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Teollisuusnosturit	2
2.1	Nostureiden pääkomponentit	2
2.2	Nostureiden sähköjärjestelmät	3
3	IEC 61439-standardisarja yleisesti	7
3.1	Vastuunjako	8
3.2	Keskuksen rakenteen todentaminen	9
4	Rakenteen todentaminen	11
4.1	Materiaalin ja osien vahvuus	12
4.1.1	Korroosionkestävyys	12
4.1.2	Eristävien materiaalien ominaisuudet	14
4.1.3	Ultraviolettisäteilyn kestävyys	14
4.1.4	Nostaminen	15
4.1.5	Mekaaninen isku	16
4.1.6	Merkinnät	16
4.2	Kotelointiluokka	16
4.2.1	Sisäinen osastointi	17
4.3	Ilmavälit ja pintavälit	18
4.4	Suojaus sähköiskulta ja suojapiirien eheys	19
4.5	Kytkinlaitteiden ja komponenttien sijoittaminen	21
4.6	Sisäiset sähköpiirit ja liitokset	22
4.7	Ulkoisten johtimien liittimet	23
4.8	Sähköiset ominaisuudet	23
4.8.1	Käyttötaajuinen kestoajännite	24
4.8.2	Impulssikestoajännite	24
4.9	Lämpenemisrajat	25
4.9.1	Todentaminen testaamalla	26
4.9.2	Todentaminen johtamalla samankaltaisesta rakenteesta	29
4.9.3	Todentaminen laskemalla	29
4.10	Oikosulun kestävyys	36
4.11	Sähkömagneettinen yhteensopivuus	40

4.12	Mekaaninen toiminta	40
5	Rakenteen dokumentointi	40
5.1	Keskuksen nimellisarvot	40
5.2	Rakenteen dokumentointi	41
6	Yhteenveto	42
	Lähteet	44
	Liitteet	
	Liite 1. IP-luokitukset	
	Liite 2. Esimerkkejä sisäisen osastoinnin muodoista	
	Liite 3. Suunnitteluohje	
	Liite 4. Lupa IEC/TR 60890 kuvaajien käyttämiseksi	
	Liite 5. IEC 60890 mukaiset kotelokertoimet k ja jakautumiskertoimet c	
	Liite 6. Esimerkki lämpenemälaskennan tuloksista	
	Liite 7. Keskukselta ilmoitettavat arvot	
	Liite 8. Dokumenttipohja rakenteen kansilehdelle ja tyyppitodistukselle	

Lyhenteet

ASRS	<i>Automated storage and retrieval system.</i> Automaattinen varastohallintajärjestelmä.
EOT	<i>Electronic Overhead Traveling.</i> Yleinen nimitys sähköisille siltanostureille
Festooni	Nosturin ja vaunun virransyötössä käytetty riippukaapelijärjestelmä.
Genelec	<i>European Committee For Electrotechnical Standardization.</i> Eurooppalainen sähköalan standardointijärjestö, joka laatii eurooppalaisia EN-standardeja.
IEC	<i>International Electrotechnical Commission.</i> Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.
Kaappiletka	Kojekaappijono, joita nosturissa voi projektista riippuen olla 1-3 kappaletta.
Pendantti	Nostureiden ohjaukseen käytetty johdollinen riippuohjain
SESKO	Suomen sähköteknillinen standardisoimisyhdistys. Suomalainen sähköalan standardointijärjestö, joka vastaa kansallisten SFS-standardien laatimisesta.
Toimintayksikkö	Keskuksen osa, joka sisältää saman toiminnan toteutumiseen tarvittavat keskuksen pää- ja apupiirien sähköiset ja mekaaniset laitteet mukaan luettuna kytkinlaitteet
WTE crane	<i>Waste To Energy crane.</i> Konecranesin applikaationimitys jätteenkäsittelynostureille.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tilaajana toimi Konecranes Finland Oyj:n teollisuusnostureiden toimitussuunnittelun sähköosasto. Konecranes Oyj on suomalainen vuonna 1994 Kone Oyj:stä irtautunut nostolaitteita ja kunnossapitopalveluita tuottava yritys. Laitteet liiketoiminta-alueen osuus liikevaihdosta vuonna 2014 oli 58 % ja kunnossapidon osuus 42 %. Työntekijöitä Konecranesilla on yhteensä noin 12 000 kuudessa sadassa eri toimipisteessä, jotka sijaitsevat 50 maassa. Vuoden 2014 liikevaihto oli 2011 miljoonaa euroa. [1, s.7.]

IEC 61439 on pienjännitekojeistoja ja jakokeskuksia koskeva standardisarja, joka marraskuusta 2014 lähtien korvasi vanhan 60439-sarjan. Uuden standardisarjan päätavoite on varmistaa ja dokumentoida jakokeskusten ja kojeistojen turvallinen ja toimiva toteutus. IEC 61439 on vahvistettu eurooppalaiseksi EN- ja suomalaisiksi SFS-standardiksi. Tämä insinööriyö on tehty standardisarjan vuoden 2011 painokseen pohjautuen.

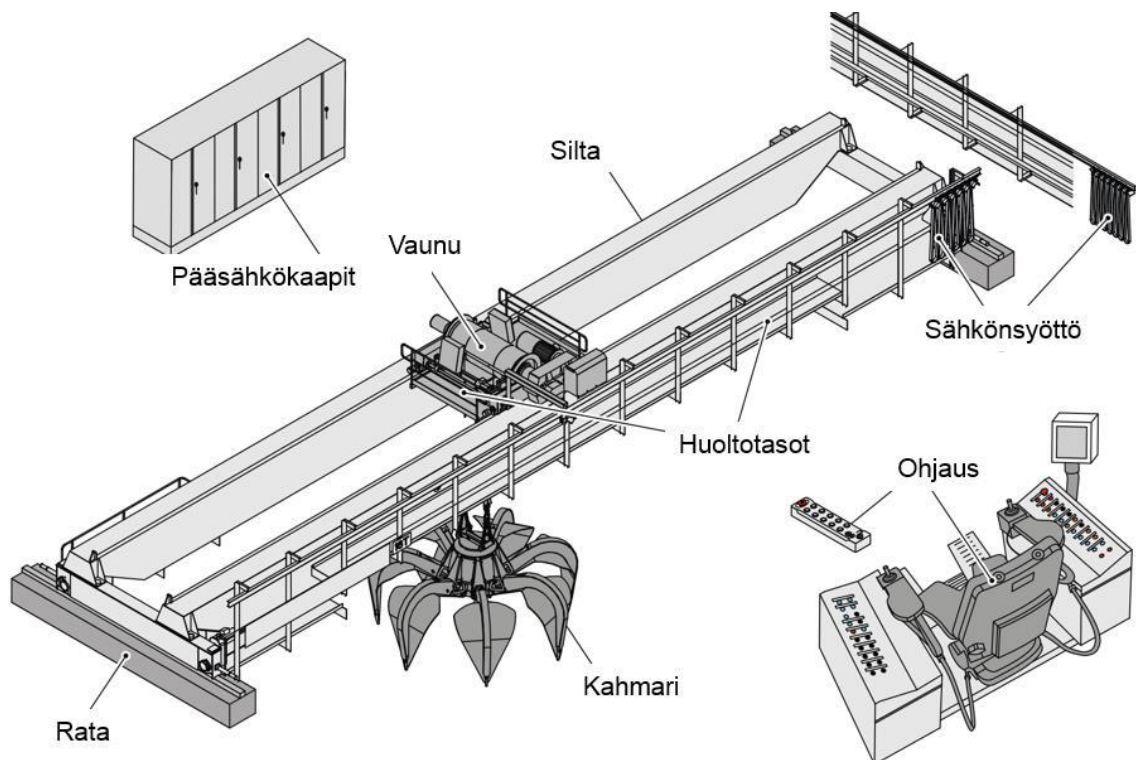
Tämä insinööriyö on kaksiosainen. Ensimmäisessä osassa selostetaan IEC 61439-standardisarjan vaatimukset selkokieelisesti esimerkkien avulla auki niin, että jokainen ymmärtää standardin tarkoitukset. Toisessa osassa kaikki ensimmäisen osan aikana selvinneet asiat viedään käytäntöön kirjoittamalla yksiselitteinen ohje sähkösuunnittelun käyttöön. Suunnitteluohjeen lisäksi on tarve muokata Konecranesin laskentaohjelmia, sekä luoda uusia. Tämä työ on tehty erityisesti raskaille teollisuusnostureille eivätkä esitetyt väittämät ja ratkaisut välttämättä päde pienemmissä nostolaitteissa. Yrityssalaisuuksien suojaamiseksi vain ensimmäinen osa työstä tullaan julkaisemaan julkisesti ja täydellinen työ, jossa toisen osan dokumentit ovat liitteinä, toimitetaan vain Konecranesin käyttöön. Edellä mainitusta syystä myös ensimmäisessä osassa joudutaan viittaamaan tietyin osin liitteenä oleviin dokumentteihin.

2 Teollisuusnosturit

Teollisuusnostureilla tarkoitetaan tässä työssä erilaisissa tehtaissa ja varastoissa käytettyjä niin kutsuttuja EOT-nostureita (electronic overhead traveling) eli suomeksi sähköisiä siltanostureita. Teollisuusnosturi voi olla yksinkertainen manuaalisesti radiolla tai pendantilla (riippuohjain) ohjattava kappaletavaran siirtelyyn tarkoitettu nosturi, tai toisaalta erittäin monimutkainen täysin automatisoitu nosturi. Täysin automaattisia nostureita voivat olla esimerkiksi WTE- eli jätteenkäsittelynosturit, sekä ASRS- eli automaattivarastonosturit. Kappaleissa 2.1 ja 2.2 on esitelty nostureiden yleistä mekaanista ja sähköistä rakennetta.

2.1 Nostureiden pääkomponentit

Teollisuusnosturin tyypistä tai käytöstä riippumatta ovat sen mekaaniset pääkomponentit lähes samat. Yleisemmin muuttuvia tekijöitä ovat sillalla olevien vaunujen määrä, sähkökeskusten sijainti ja virransyötön tyyppi. Kuvassa 2-1 on esitelty WTE-nosturin pääkomponentit.



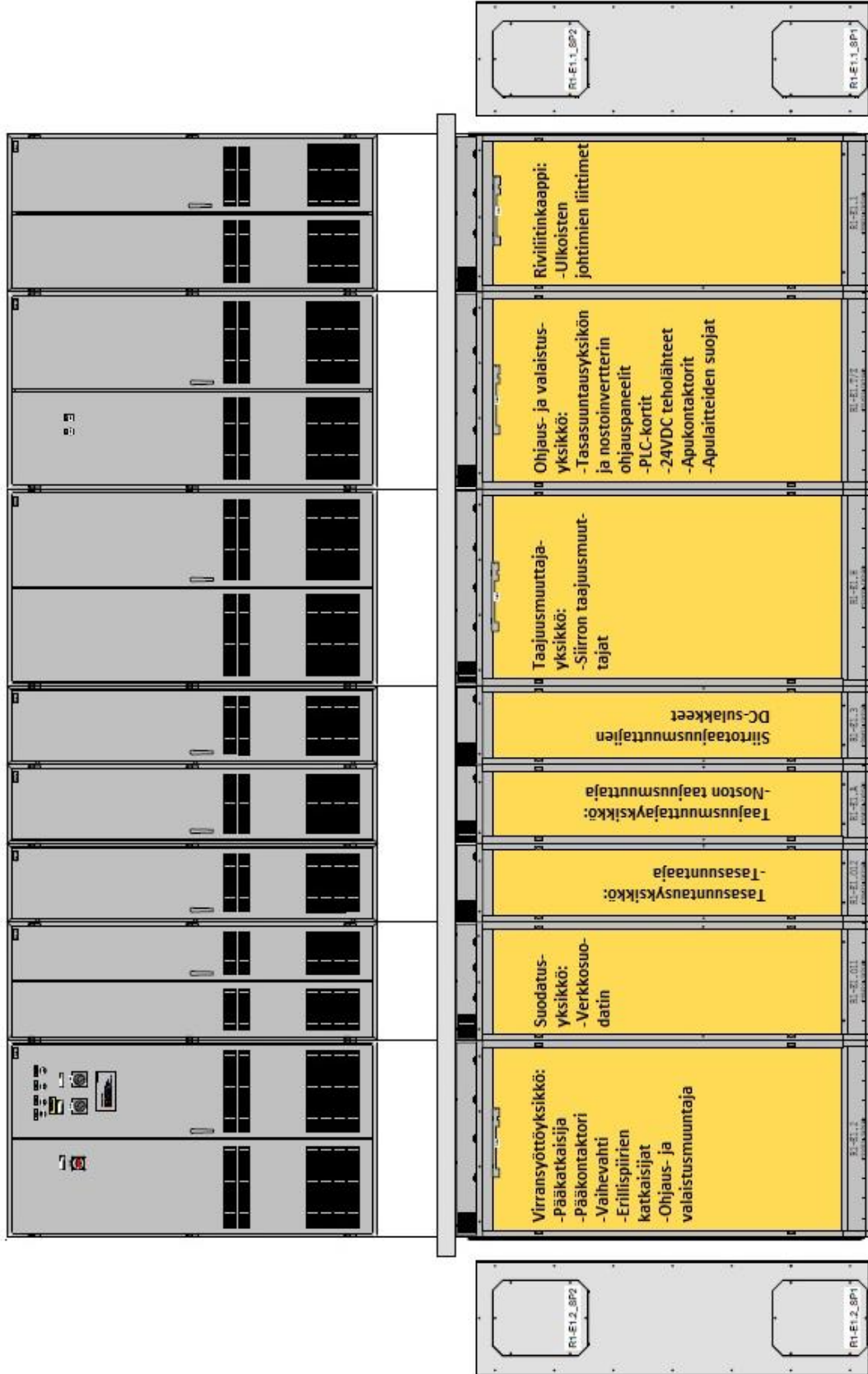
Kuva 1 WTE-nosturin pääkomponentit [2, s. 9]

Kuvan 2-1 esimerkistä nähdään, että nimensä mukaisesti suurin osa siltanosturin komponenteista on sijoitettu sillalle. Tämä silta kulkee siirtomoottoreiden avulla rakennuksen seinille rakennetulla radalla. Samalla radalla voi olla useita nostureita ja samalla sillalla voi olla useita vaunuja. Vaunut, joita yleensä on 1-3 kappaletta, taas kulkevat siltaa pitkin omien siirtomoottoreidensa avulla. Vaunussa sijaitsee varsinaiseen nostoon käytetyt moottorit. Vaunun sähkönsyöttö tapahtuu joko festoonin tai energiansiirtoketjun avulla. Koko nosturin virransyöttötapa riippuu sähkökeskusletkan sijainnista. Jos letka sijaitsee nosturin sillalla, syötetään nosturia yleensä virtaradan kautta. Jos letka taas sijaitsee rakennuksessa, kuten kuvan 2-1 WTE-esimerkissä, syötetään nosturin sillalla sijaitsevia sähkölaitteita festoonilla tai energiansiirtoketjulla.

IEC 61439-standardisarjan kannalta merkityksellisiä komponentteja nosturissa ovat vain ja ainoastaan nosturin rakennukseen tai sillalla sijaitsevaan erilliseen sähköhuoneeseen rakennetut pääsähkökaappiletkat. Kaikki muut komponentit määritellään ulkoisiksi johtimiksi tai nosturin komponenteiksi, joihin sovelletaan nostolaitestandardia IEC 60204-32. Kappaleessa 4 esiteltyä rakenteen tarkastamista ei tarvitse siis tehdä muille rakennuksen koteloille tai nosturissa sijaitsevalle sähkökeskusletkalle.

2.2 Nostureiden sähköjärjestelmät

Nykyaikaisissa teollisuusnostureissa lähes kaikkia nosturin käyttöjä ohjataan taajuusmuuttajilla. Poikkeuksena voivat olla esimerkiksi pienet apunostimet, jotka ovat niin sanottuja suoria käyttöjä eli kontaktoriohjattuja. Konecranesin valmistamat nosturit voidaan sähköjen näkökulmasta jakaa kahteen ryhmään: verkkoon jarruttavat ja vastusjarruttavat. Näistä ensimmäinen syöttää nosturin käyttöjen hidastustilanteissa tuottaman sähköenergian takaisin verkkoon ja jälkimmäinen kuluttaa tehon erillisiin jarruvastuksiin. Kaikki nosturin pääsähkökomponentit sijoitetaan niin sanottuun sähköletkaan. Teollisuusnostureille ei ole olemassa tiettyjä standardikeskuksia, vaan letkan sisältö ja koko vaihtelee käytännössä täysin projektikohtaisesti. Kuvassa 2 on esitetty erään verkkoon jarruttavan WTE-nosturin letkan kokoonpano. Kuvaan on myös merkitty jokaisen kaapin pääasiallinen sisältö. Projektista ja nosturista riippuen nosturin kaappiletka voidaan myös jakaa kahteen tai jopa kolmeen osaan riippuen käyttöjen ja lisälaitteiden määrästä.



Kuva 2 Esimerkki nosturin kaappiletkan kokoonpanosta [10, Layout sheet 1, muokattu]

IEC 61439-standardisarjan osan 2 kannalta merkittävää on määritellä käsite toimintayksikkö. Standardisarjan tarkka määritelmä toimintayksikölle on seuraava:

keskuksen osa, joka sisältää saman toiminnan toteutumiseen tarvittavat keskuksen pää- ja apupiirien sähköiset ja mekaaniset laitteet mukaan luettuna kytkinlaitteet [4, s. 30].

Standardisarja ei esitä muita tarkennuksia määritelmään, vaan jättää lopullisen tulkinnan keskuksen valmistajalle. Nosturin sähköjärjestelmä voidaan täten määritellä melko mielivaltaisesti kokoontuvan kuvan 2 esimerkkiprojektissa seuraavista toimintayksiköistä:

- Virransyöttöyksikkö: yksikkö, joka muuntaa ja jakaa sähkötehon muille nosturin toimintayksiköille.
- Suodatusyksikkö: suodattaa muiden yksiköiden verkkoon takaisin syöttämää sähköenergiaa.
- Tasasuuntausyksikkö: tasasuuntaa verkon syöttöjännitteen muille toimintayksiköille sopivaksi tasasähköksi.
- Taajuusmuuttajayksikkö (nosto): ohjaa nosturin nostomoottoreita.
- Taajuusmuuttajayksikkö (siirto): ohjaa nosturin siirtomoottoreita.
- Ohjaus- ja valaistusyksikkö: sisältää nosturin ohjaukseen tarvittavat komponentit.

Tämä listaus ei ole nostureiden kannalta absoluuttinen, sillä on mahdollista valmistaa esimerkiksi erilliset toimintayksiköt sillan ja vaunun siirtoon (kuvan 2 esimerkissä ne ovat yhdessä toimintayksikössä). Myös ohjaus- ja valaistusyksikkö voidaan tarvittaessa valmistaa erillisenä yksiköinä.

3 IEC 61439-standardisarja yleisesti

IEC 61439-standardisarja on vuonna 2014 voimaan tullut pienjännitejakokeskuksia (myöhemmin keskus) koskeva standardisarja. Nostureiden sähkökeskukset mielletään usein sähkökoneiden osaksi. Tällaisia keskuksia valmistettaessa noudatetaan yleensä IEC 60204-32 ”Safety of Machinery: Requirements for hoisting machines” -standardin vaatimuksia. IEC 60204-standardisarja sisältää jo kaikki tarvittavat vaatimukset nosturin turvallisuuden ja toiminnan takaamiseksi, joten nosturin sähkökeskukset suunnitellaan ja valmistetaan IEC 61439:n mukaisesti vain, jos asiakas niin erikseen vaatii. Standardisarjaan on kuitenkin suunnitteilla erikseen sähkökoneiden osana olevia sähkökeskuksia koskeva lisäosa, jonka julkaisupäivä on toistaiseksi tuntematon. Tämän lisäosan tarpeellisuutta on kuitenkin kyseenalaistettu, joten sitä ei välttämättä koskaan tulla julkaisemaan. [3.] Jos sähkökoneita koskeva lisästandardi kuitenkin julkaistaan, tulee standardisarjan noudattaminen nostureissa varmasti yleistymään huomattavasti. Tällöin tässä työssä esitetyt vaatimukset ja ratkaisut tulee arvioida uudelleen.

IEC 61439-standardisarja koostuu seitsemästä osasta:

1. IEC 61439-1: Yleisvaatimukset
2. IEC 61439-2: Ammattikäyttöön tarkoitetut kojeistot
3. IEC 61439-3: Maallikkokäyttöön tarkoitetut jakokeskukset
4. IEC 61439-4: Työmaakeskukset
5. IEC 61439-5: Jakeluverkkokeskukset
6. IEC 61439-6: Jakelukiskot
7. IEC/TR 61439-0 Guidance to specifying assemblies.

Kuten jo mainittu, tämä lista ei ole täydellinen, vaan standardisarjaan kehitetään jatkuvasti uusia osia tarpeen mukaan. Listatuista standardeista mikään ei ole täysin kattava yksinään, vaan jokaiselle keskukselle tarvitaan kaksi osaa:

- osa 1: Yleisvaatimukset (myöhemmin perusstandardi)
- yksityiskohtainen keskusstandardi keskuksen suunnitellun käytön mukaan.

Teollisuusnostureiden sähkökeskukset suunnitellaan aina ammattihenkilöiden käytettäväksi, joten nostureita suunniteltaessa on tulkittava sekä osaa 1 että osaa 2. Sekä perusstandardin että ammattikäyttöön tarkoitettuja keskuksia koskeva standardin vaatimukset velvoittavat usein noudattamaan jonkin muun standardin vaatimuksia. Näitä eri standardeja kutsutaan IEC 61439-sarjan velvoittaviksi standardeiksi.

3.1 Vastuunjako

IEC 61439-standardisarja esittelee kaksi määritelmää: alkuperäisen valmistajan ja keskuksen valmistajan. Nämä määritelmät ovat erittäin tärkeitä, kun mietitään, kuka on vastuussa keskuksen standardinmukaisuuden tarkastamisesta. Alkuperäinen valmistaja on usein komponentti- tai keskusvalmistaja, jonka tulee tarkastaa valmistamansa laitteet standardin vaatimilta osin, kun taas keskuksen valmistaja on organisaatio, joka kasaa keskuksen alkuperäisen valmistajan valmistamilla komponenteilla ohjeiden mukaisesti. Jos keskuksen valmistaja poikkeaa alkuperäisen valmistajan ohjeista tai muokkaa komponentteja millään tapaa, tulee keskuksen valmistajasta alkuperäinen valmistaja. Tällöin keskuksen valmistajan, eli uuden alkuperäisen valmistajan, on todennettava kaikki muokkaamansa komponentit standardin mukaisesti. [4, s. 96.] Joissain tapauksissa alkuperäinen valmistaja voi olla sama organisaatio kuin keskuksen valmistaja [5, s. 28].

Raskaat teollisuusnosturit ovat sähkökoneita, joiden standardoiminen on käytännössä erittäin vaikeaa, sillä jokaisella asiakkaalla on erilaiset vaatimukset. Tämän johdosta nosturivalmistajasta tulee IEC 61439:n näkökulmasta käytännössä aina alkuperäinen valmistaja ja keskuksen rakenne on osittain todennettava joka kerta projektikohtaisesti.

3.2 Keskuksen rakenteen todentaminen

Standardisarja IEC 61439:n mukaisen keskuksen rakenteen todentaminen koostuu 13 erillisestä tarkastuksesta. Tarkastukset on listattu mahdollisine tarkastusmenetelmineen taulukkoon 1.

Taulukko 1 Suoritettavat rakenteen tarkastukset [5, Liite D]

Tarkastelun kohde	Kappale	Hyväksytty tarkastustapa		
		Testaamalla	Vertaamalla referenssirakenteeseen	Arvioimalla
1 Materiaalien ja osien lujuus	4.1			
-Korroosionkestävyys	4.1.1	x		
-Eristävien materiaalien ominaisuudet	4.1.2			
-Terminen pysyvyys		x		
-Sähköisistä vioista johtuvan tulen ja lämmön kesto		x		x
-UV kestävyys	4.1.3	x		x
-Nostaminen	4.1.4	x		
-Mekaaninen isku	4.1.5	x		
-Merkinnät	4.1.6	x		
2 Keskusten kotelointiluokka	4.2	x		x
3 Ilmavälit	4.3	x		
4 Pintavälit		x		
5 Suojaus sähköiskulta ja suojaapiirien eheys	4.4			
-Maadoituksen jatkuvuus		x		
-Suojaapiirin oikosulunkestävyys		x	x	
6 Kytkinlaitteiden ja komponenttien sijoittaminen	4.5			x
7 Sisäiset sähköpiirit ja liitokset	4.6			x
8 Ulkoisten johtimien liittimet	4.7			x
9 Sähköiset ominaisuudet	4.8			
-Käyttötaajuinen kestoajännite	4.8.1	x		
-Syöksyjännitteen kestävyys	4.8.2	x		x
10 Lämpenemisen tarkastus	4.9	x	x	x
11 Oikosulunkestävyys	4.10	x	x	
12 Sähkömagneettinen yhteensopivuus	4.11	x		x
13 Mekaaninen toiminta	4.12	x		

Taulukossa 1 on listattu kaikki tarkastukset, jotka täytyy käydä läpi, jotta keskus on todennettu standardisarjan mukaiseksi. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että

nosturivalmistajan tulisi jokaisen projektin kohdalla testata jokainen kohta erikseen, sillä nosturivalmistaja ei yleensä ole kaikkien keskuksessa käytettyjen komponenttien alkuperäinen valmistaja.

Kappaleessa ”3.1 Vastuunjako” esitettiin, kuinka keskuksen valmistajasta voi tulla alkuperäinen valmistaja ja toisaalta keskuksen valmistaja ja alkuperäinen valmistaja voivat olla yksi ja sama organisaatio. Tämä muutos voi tapahtua myös toisinpäin. Esimerkiksi, jos nosturivalmistaja testaa valmistamiensa kaappien mekaanisen iskun kestävyuden hyväksytysti, voidaan nosturivalmistaja ajatella jatkossa kaappien mekaanisen iskun kestävyuden osalta keskuksen valmistajaksi. Jatkossa mekaanisen iskun testejä ei tarvitse siis toistaa projektikohtaisesti, kunhan käytetyt kaapit ovat samantyyppisiä ja samanlailla asennettuja, kuin testatut kaapit. Koska nostureiden sähköjärjestelmät muuttuvat projektikohtaisesti, ei kaikkia taulukon 3-1 kohtia voida järkevästi testata niin laajasti, että testi kattaisi kaikki tulevat projektit. Kappaleessa ”4 Rakenteen t” esitellään jokainen taulukon 1 erikseen vaatimuksiin ja mahdollisine testaustapoineen.

Tarkastustavat

Kuten taulukosta 1 voi huomata, IEC 61439-standardisarja esittelee kolme mahdollista tarkastustapaa: testaus, vertaus referenssirakenteeseen ja arviointi. Näitä tarkastusmenetelmiä pidetään täysin tasa-arvoisina ja nosturin valmistaja saa itse valita haluamansa menetelmän [4, s. 96]. Taulukoista voi kuitenkin huomata, että standardisarja ei salli kaikkia tarkastusmenetelmiä jokaiselle tarkastuksen kohteelle. Esimerkiksi suurimman osan keskuksen mekaanisista vaatimuksista voi tarkastaa vain testaamalla.

Testaamalla tarkastaminen tarkoittaa luonnollisesti, että tarkastuksen kohteelle tulee tehdä IEC 61439-standardisarjan, tai jonkin sen velvoittavan standardin, esittelemä testi. Joillekin tarkastuksen kohteille standardisarja mahdollistaa vain yhden testausmenetelmän, kun taas joillekin kohteille sarja esittelee useita eri menetelmiä. Jos menetelmiä on useita, pidetään niitä tasa-arvoisina ja testimenetelmän valinta kuuluu nosturin valmistajalle. Jotkin testit voivat vaikuttaa huomattavasti keskuksen suorituskykyyn. Näitä testejä ei tulisi suorittaa keskuksille, jotka ovat tulossa käyttöön, vaan testit suoritetaan erikseen testiä varten rakennetuille keskuksille [4, s. 96].

Vertaaminen referenssirakenteeseen esitellään vaihtoehtoisena tarkastusmenetelmänä vain oikosulkukestoisuuden ja lämpenemän tarkastuksissa. Referenssirakenteella tarkoitetaan rakennetta, joka on samankaltainen kuin uusi tarkastettava keskus ja jonka oikosulkukestoisuus tai lämpeneminen on tarkastettu testaamalla [4, s. 96]. Referenssirakenteena ei voida siis käyttää keskusta, jonka lämpeneminen on tarkastettu laskemalla. Käytännössä tämä tarkoittaa, että nostureiden sähköjärjestelmien suuren muuttuvuuden vuoksi vertaaminen referenssirakenteeseen ei ole nostureiden keskuksia tarkastaessa mahdollinen vaihtoehto.

Arvioinnilla tarkoitetaan tarkastamista silmämääräisellä tarkastuksella, laskelmilla ja suunnittelusäännöillä. Silmämääräisen tarkastuksen suorittaa tarvittaessa koeajo. Laskemalla voidaan tarkastaa keskuksen lämpenemä ja oikosulkukestoisuus. Oikosulkukestoisuuden laskemalla tarkastaminen vaatii kuitenkin jo testaamalla todennetun referenssirakenteen [4, s. 132]. Lämpenemän tarkastus voidaan suorittaa laskemalla keskuksille, joiden mitoitusvirta on enintään 1600 A [4, s. 230]. Lisää lämpenemän laskemisesta kappaleessa 4.9.3 ”Todentaminen laskemalla”. Suunnittelusäännöillä voidaan tarkastaa useita rakenteen osia (katso taulukko ”Taulukko 1 Suoritettavat rakenteen tarkastukset [5, Liite D]”). Suunnittelusäännöillä tarkoitetaan esimerkiksi oikeiden liittimien käyttämistä oikeissa katkaisijoissa tai tietynlaisen materiaalin käyttämistä kiskostojen tukien valmistamiseen. Eritellyt suunnittelusäännöt esitellään asiaankuuluvissa luvun 4 alakappaleissa.

4 Rakenteen todentaminen

Seuraavissa kappaleissa esitellään jokainen IEC 61439-standardisarjan tarkastuksen kohde erikseen. Kappaleissa esitetyt vaatimukset ja ehdot perustuvat standardisarjan vuoden 2011 painokseen. Jotta keskus tulee todennetuksi standardin mukaisesti oikein, tulisi nosturivalmistajan aina tarkistaa standardisarjan uusin painos. Tarkastuksen kohteiden yksityiskohtaisissa selityksissä keskitytään niihin vaatimuksiin ja tarkastuksen menetelmiin, jotka katsotaan sopivimmiksi nostureiden sähkökeskuksia ajatellen.

4.1 Materiaalin ja osien vahvuus

Materiaalin ja osien vahvuuden tarkastamisella on tarkoitus varmistaa, että keskus kestää mahdolliset mekaaniset, sähköiset sekä lämmöstä ja ympäristöstä johtuvat rasitukset. Vahvuusvaatimuksista ainoastaan sähköisistä vioista johtuvan tulen ja lämmön kestävyys ja ultraviolettisäteilyn kestävyys voidaan tarkastaa suunnittelusäännöin. Kaikille muille alakohdille tulee tarvittaessa suorittaa standardin vaatimat testit.

4.1.1 Korroosionkestävyys

Korroosionkestävyys toteutetaan käyttämällä korroosionkestäviä materiaaleja tai pinnoittamalla keskuksen rakenneosat korroosionkestävällä pinnoitteella. Tällainen pinnoite voi olla esimerkiksi maali tai anodisointi. Korroosionkestävyys voidaan testata, joko kokonaisella keskuksella tai erikseen keskuksen tyypillisille osille (tai niiden näytekappaleille). IEC 61439 esittelee kaksi eri testiä vaatimusasteen mukaan: vaatimusasteen A testin ja vaatimusasteen B testin.

Vaatimusasteen A testi

Vaatimusasteen A testi koostuu kuudesta 24 tunnin IEC 60068-2-30:n mukaisesta kostean kuumuuden jaksosta lämpötilassa 40 ± 3 °C ja 95 % ilmankosteudessa, sekä kahdesta 24 tunnin IEC 60068-2-11 mukaisesta suolasumukokeesta 35 ± 2 °C lämpötilassa. Vaatimusasteen A testiä sovelletaan seuraaville osille:

- metalliset sisätilojen koteloinnit
- sisätilojen keskusten ulkoiset metalliosat
- sisä- ja ulkotilojen keskusten sisäiset osat, joista keskuksen mekaaninen toiminto voi riippua. [4, s. 98.]

Viimeinen kohta tarkoittaa käytännössä, että esimerkiksi kaikki keskuksen sisällä olevat komponenttien kiinnittämiseen tarkoitetut osat tulee testata vaatimusasteen A mukaisella testillä. Tällainen osa on esimerkiksi kojelevy.

Vaatimusasteen B testi

Vaatimusasteen B testi on huomattavasti vaatimusastetta A vaativampi. Se pitää sisällään kaksi identtistä 12 päivän testausjaksoa, joista kukin pitää sisällään viisi kostean kuumuuden jaksoa ja seitsemän suolasumutestiä. Testien lämpötilat ja kosteudet ovat samat, kuin vaatimusasteen A testeissä. Vaatimusasteen B testit tulee suorittaa:

- metallisille ulkotilojen koteloinneille
- ulkotilojen keskusten ulkoisille metalliosille. [4, s. 98.]

Vaatimusasteesta riippumatta testikeskukset tai niiden näytteet pestään testien jälkeen vesijohtovedellä, huuhdellaan tislattulla tai demineralisoidulla vedellä ja kuivataan ravistelemalla tai puhaltamalla. Kuivauksen jälkeen näytteitä säilytetään normaaliolosuhteissa 2 tuntia. Korroosionkestävyys katsotaan tarkastetuksi, jos silmämääräisessä tarkastuksessa seuraavat ehdot täyttyvät:

- Näytteessä ei ole näkyvissä ruostetta, halkeamia tai muita vahingoittumia enempää kuin ISO 4628-3 ruostumisluokka Ri1 sallii.
- Näytteen mekaaninen eheys ei ole vahingoittunut.
- Tiivisteet eivät ole vahingoittuneet.
- Ovet, saranat, lukot ja kiinnityslaitteet toimivat ilman epänormaalia voimankäyttöä. [4, s. 98.]

Huomioitavaa on, että vaikka näytteille tehdään suolasumukoe, ei tämä tarkoita, että keskus sopisi suolapitoiseen ilmastoon. Suolasumulla saadaan aiheutettua testiä varten ilmasto, joka kiihdyttää näytteissä tapahtuvaa korroosiota. [4, s. 98.]

Korroosiotestin tuloksena nosturivalmistaja saa hyväksynnän käytetyille komponenteille tai mahdollisesti käytetyille suojausmenetelmille. Tämä tarkoittaa, että kun maalipinta on läpäissyt korroosionkestävyyden tarkastuksen, voidaan samaa maalia ja maalaustapaa käyttää jatkossa muissakin rakenteissa eikä uusia testauksia vaadita.

Toisaalta pinnoite voidaan myös ostaa valmistajalta, joka on teettänyt tuotteelleen vaadittavat testaukset. Tällöin nosturinvalmistajan ei tarvitse ollenkaan suorittaa korroosiotestejä, kunhan pinnoitteen valmistajan ohjeita noudatetaan.

4.1.2 Eristävien materiaalien ominaisuudet

Eristävien materiaalien ominaisuuksien tarkastukseen kuuluu kaksi kohtaa: eristävästä materiaaleista tehtyjen koteloiden termisen vakauden tarkastus ja sisäisistä sähköisistä ilmiöistä johtuva eristysaineiden poikkeuksellisen lämmön ja tulen kestävyys tarkastaminen. Eristävistä materiaaleista valmistetuiden koteloiden terminen vakaus tulee tarkastaa kuivan lämmön testillä IEC 60068-2-2:n mukaisesti [4, s. 100]. Käytännössä nosturin sähkökeskukset ovat aina valmistettu metallista, joten testiä ei tarvitse tehdä. Jos jossakin yksittäisessä projektissa on tarve käyttää esimerkiksi muovikoteloita, on nosturinvalmistajan edullisempaa käyttää kaupallisia, jo standardin mukaisesti testattuja, koteloita.

IEC 61439-sarjan ensimmäinen osa [4, s. 64] vaatii, että kaikki eristeenä käytetyt materiaalit tulee valita joko viittaamalla eristyslämpötilaindeksiin (IEC 60216 menetelmin määriteltynä), tai standardin IEC 60085 mukaisuudella. Eristeille, joita käytetään kannattamaan virtaa johtavia osia, kuten virtakiskoja, ja joiden heikkeneminen voi huonontaa keskuksen turvallisuutta, tulee vielä erikseen suorittaa IEC 60695-2-11 standardissa esitelty hehkulankatesti [4, s. 100]. Testin tarkoituksena on tarkastaa, että eristemateriaali on paloa edistämätön, eli se sammuttaa tietyn ajan kuluessa itsensä ja näin varmistaa esimerkiksi virtakiskojen kiinnityksen ja estää mahdolliset oikosulkutilanteet kiskojen irrotessa. Kuten taulukosta 1 voi huomata, IEC 61439 mahdollistaa epänormaalin lämmön ja tulen kestävyys tarkastamisen arvioimalla. Tässä tapauksessa arviointi tarkoittaa eristeiden ja tukien valmistamisen materiaalista, jonka alkuperäinen valmistaja on jo testannut asianmukaisten standardien mukaisesti [4, s. 102]. Eristeiden ja tukien valmistuksessa on noudatettava alkuperäisen valmistajan ilmoittamaa minimipaksuutta.

4.1.3 Ultraviolettisäteilyn kestävyys

Ulkokäyttöön tarkoitetuille eristävästä materiaaleista valmistetuille tai synteettisillä materiaaleilla päällystetyille keskuksille tulee tehdä ISO 4892-2 mukainen UV-testi.

Testissä näytekappale altistetaan 500 tunnin altistusjaksolle, jonka jälkeen näytteen taivutuksenkestävyys (ISO 178:n mukainen) ja Charpyn iskulujuus (ISO 179:n mukainen) tarkistetaan. Tuloksien on oltava vähintään 70 % minimiarvosta. [4, s. 102.] Kuten jo kappaleessa 4.1.2 todettiin, nostureiden sähkökeskukset ovat aina metallisia ja toisaalta kappaleessa 2.1 todettiin IEC 61439 sarjan vaatimusten koskevan ainoastaan nosturin sähkökaappiletkää, joka sijaitsee rakennuksessa tai erillisessä sähköhuoneessa nosturin sillalla. Toisin sanoen UV-kestävyyttä ei käytännössä tarvitse nostureissa testata. Jos sähkölaitteistojen osana olevia sähkökeskuksia koskeva lisäosa julkaistaan, tulee myös UV-kestävyys tarkastaa. Tällöin on kuitenkin syytä käyttää kaupallisia, jo testattuja, koteloida.

4.1.4 Nostaminen

Keskuksille, joissa on nostomahdollisuus, tulee suorittaa nostotesti. Testi on suositeltavaa suorittaa suurimmalle mahdolliselle keskusrakenteelle (nosturivalmistajan määrittämä maksimimäärä kennoja samassa keskuksessa) varustettuna komponenteilla tai painoilla, joilla saavutetaan 1,25-kertainen maksimitoimituspaino [4, s. 102]. Tällaiselle valmistajan suurimmalle keskukselle hyväksytysti suoritettu nostotesti on voimassa kaikille pienemmille keskuskominaatioille, joiden nostotapa ja -ohjeet ovat samankaltaiset kuin testatussa rakenteessa. Nostotesti pitää sisällään kolme osaa:

1. Keskus nostetaan lattiasta ilman nykäyksiä vähintään metrin korkeuteen ja lasketaan samalla tavalla alas. Testi toistetaan kaksi kertaa.
2. Keskus nostetaan irti lattiasta ja jätetään riippumaan paikalleen 30 minuutiksi.
3. Keskus nostetaan pehmeästi vähintään metrin korkeuteen, jonka jälkeen keskusta siirretään $10 \pm 0,5$ metriä vaakatasossa ja lasketaan takaisin alas. Testi toistetaan kolme kertaa vakionopeudella siten, että jokainen jakso kestää enintään yhden minuutin. [4, s. 102.]

Nostotesti katsotaan hyväksytyksi jos silmämääräisessä tarkastuksessa keskuksista ei löydy halkeamia tai vääntymiä, jotka huonontavat keskuksen ominaisuuksia [4, s.102].

4.1.5 Mekaaninen isku

IEC 61439-standardisarja ei esitä vaatimusta keskusten mekaanisen iskun kestävyydelle [6, s. 40]. Jos nosturinvalmistaja kuitenkin haluaa ilmoittaa valmistamalleen keskukselle mekaanista kestävyyttä kuvaavan IK-luokituksen, tulee keskukselle suorittaa IEC standardin 62262:2002 kohdan 9.6 mukainen testi [6, s. 22]. Vaatimus IK-luokituksesta voi tulla myös asiakkaalta. Kuten jo kappaleessa 3.2 todettiin, mekaanisen iskun kestävyuden tarkastuksen testitulokset ovat voimassa kaikille samankaltaisille keskuksille. Nosturinvalmistajan ei siis tarvitse toistaa testejä projektikohtaisesti, kunhan käytetään saman malliston kaappeja kuin testattu kaappi.

4.1.6 Merkinnät

Jotta vältytään ylimääräiseltä testauksella jokaisen projektin yhteydessä, kannattaa kaikki sähkökeskuksen merkinnät tehdä jollakin seuraavista tavoista: kaivertamalla, puristamalla, valamalla tai laminoimalla. Tällöin merkintä katsotaan kulutuksen kestäväksi, eikä sitä tarvitse erikseen testata. Jos kuitenkin halutaan käyttää esimerkiksi tarrakirjoitinta, tulee merkinnälle tehdä pyyhkäisytesti. Testi suoritetaan hankaamalla näytekappaletta käsin ensin 15 sekuntia veteen kastetulla liinalla ja sen jälkeen 15 sekuntia petrolibensiiniin kastetulla liinalla. Testi katsotaan hyväksytyksi, jos merkintä on luettavissa normaalilla tai korjatulla näöllä ilman suurennusta. [4, s. 104.]

4.2 Kotelointiluokka

Keskuksen kotelointiluokalla on kaksi tarkoitusta: ihmisten ja laitteiden suojaus. Koteloinnin avulla voidaan esimerkiksi ulkotiloihin asentaa laitteita, jotka eivät itsessään kestä vettä. Kotelointi myöskin suojaa laitteen käyttäjää sähköiskuilta. IEC 61439-standardisarja sallii ammattikäyttöön kotelointiluokat IP00, 2X, 3X, 4X, 5X ja 6X [6, s. 40]. Keskuksen valmistaja voi kuitenkin ilmoittaa valmistamille keskuksilleen IP-luokituksen vain jos, kyseinen kaappimalli on testattu IEC 60529 standardin mukaisesti [4, s. 66]. IP-luokitusten selitykset on koottu liitteen 2 taulukkoon 1.

Turvallisuussyistä Konecranes ei valmista ollenkaan standardin sallimia IP00-luokan avokeskuksia, vaan vähintään IP21 luokiteltuja koteloituja keskuksia. Koteloitu keskus on keskus, joka on suojattu kaikilta sivuilta. Poikkeuksena voi kuitenkin olla

asennusalustaa oleva pinta, kuten esimerkiksi keskuksen pohja [4, s. 34]. Tällaisille koteloituille keskuksille IEC 61439:n ensimmäinen osa vaatii vähintään koteloituluokan IP2X [4, s. 66].

4.2.1 Sisäinen osastointi

IEC 61439-standardisarjan toinen osa, ammattikäyttöön tarkoitetut kojeistot, esittelee sisäisen osastoinnin käsitteen. Sisäisen osastoinnin tarkoituksena on parantaa keskuksen turvallisuutta saavuttamalla yksi tai useampi seuraavista:

- suojaus jännitteisten osien koskettamiselta (koteloituluokka vähintään IPXXB)
- suojaus vieraiden esineiden sisään tunkeutumiselta (koteloituluokka vähintään IP2X). [6, s. 20.]

Taulukko 2 Sisäisen osastoinnin muodot [6, s. 28]

Pääkriteeri	Lisäkriteerit	Osastointi muoto
Ei sisäistä osastointia		1a
Kokoomakiskot on osastoitu eroon kaikista toimintayksiköistä	Ulkoisten johtimien liittimiä ei ole osastoitu eroon kokoomakiskoista	2a
	Ulkoisten johtimien liittimet on osastoitu eroon kokoomakiskoista	2b
-Kokoomakiskot on osastoitu eroon kaikista toimintayksiköistä -Kaikki toimintayksiköt on osastoitu eroon toisistaan	Ulkoisten johtimien liittimiä ei ole osastoitu eroon kokoomakiskoista	3a
	Ulkoisten johtimien liittimet on osastoitu eroon kokoomakiskoista	3b
-Ulkoisten johtimien liittimet on osastoitu eroon toimintayksiköistä, mutta ei toisten toimintayksiköiden ulkoisten johtimien liittimistä		
	-Kokoomakiskot on osastoitu eroon kaikista toimintayksiköistä -Kaikki toimintayksiköt on osastoitu eroon toisistaan	Ulkoisten johtimien liittimet ovat samassa kennossa kuin niihin liittyvä toimintayksikkö
-Toimintayksikön osana olevat ulkoisten johtimien liittimet on osastoitu eroon muista toimintayksiköistä ja kokoomakiskoista	Ulkoisten johtimien liittimet eivät ole samassa kennossa kuin niihin liittyvä toimintayksikkö, vaan	

-Ulkoiset johtimet on osastoitu eroon kiskoista -Toimintayksiköiden osana olevat ulkoiset johtimet on osastoitu eroon kaikista muista toimintayksiköistä ja niiden liittimistä -Ulkoisia johtimia ei tarvitse erottaa toisistaan	omassa erillisessä koteloidussa suojatussa tilassa tai kosketussuojatussa kennossa	4b
--	--	----

Taulukkoon 3 on listattu kaikki osan 2 esittelemät sisäisen osastoinnin muodot. Standardi ei esitä mitään vähimmäisvaatimusta sisäisestä osastoinnista, vaan se jättää asian sovittavaksi keskuksen valmistajan ja asiakkaan välille. Usein asiakkaalta tuleekin pyyntö vähintään muodon 3b mukaisesta sisäisestä osastoinnista [7]. Liitteessä 2 on annettu esimerkkikuvat taulukossa 3 listatuista osastoinnin muodoista.

Kappaleessa ”2.2 Nostureiden sähköjärjestelmät” esiteltyä Konecranesin käyttämää nosturin sähköjen rakennetta ajatellen asiakkaiden yleisin vaatimus 3b ei ole ongelma, kunhan kaappien väliin asennetaan esimerkiksi pleksistä valmistetut väliseinät. Tällöin ulkoisten johtimien riviliittimet on erotettu kokonaan muusta keskukselta omaan riviliittinkaappinsa ja kaikki toimintayksiköt on erotettu toisistaan. Käytettäessä kokoojakiskoja tulee kiskot suojata esimerkiksi plekseillä muista komponenteista. Pelkästään kosketussuojana käytettyjen pleksien ei tarvitse täyttää kappaleessa 4.1.2 ”Eristävien materiaalien ominaisuudet” esitettyjä vaatimuksia, kunhan kosketussuoja ei kannattele tai kosketa virtaa johtavia osia. Ilman väliseiniä tai kokoojakiskojen kosketussuojia sisäinen osastointimuoto jää muotoon 1. Sisäisen osastoinnin valinnassa täytyy pitää mielessä, että mitä tiukempi osastointimuoto, sitä huonommin ilma kiertää keskuksen sisällä ja lämpenemän laskeminen hankaloituu.

4.3 Ilmavälit ja pintavälit

IEC 61439:n mukainen keskus tulee olla valmistettu siten, että kaikkien keskuksen eri piirien ilma- ja pintavälit täyttävät standardisarjan vaatimukset. Näin varmistetaan keskuksen eristyskoordinaatio. Välimatkat pätevät vaiheiden välillä, vaiheen ja nollan välillä sekä nollan ja maan välillä. Eri piirien väliset etäisyydet määräytyvät suuremman mitoitusyöksyjännitteen (ilmavälit) ja mitoitusyöksyjännitteen omaavan piirin mukaan. [4, s. 68,]

Suunnitteluvaiheessa keskuksen ilma- ja pintaväleihin on käytännössä mahdoton puuttua ja asia jääkin kokoonpanon ja testauksen vastuulle. Jotta ylimääräiseltä

testaukselta välttyttäisiin, tulisi keskus kasata siten, että ilmavälit olisivat 1,5 kertaa ilmoitettu minimiarvo. Tällöin syöksyjännitteenkestoisuus voidaan kuitata tarkastetuksi suorittamalla fyysinen ilmavälien mittausta [4, s. 112].

230/400 V syöttöjännitteellä olevan nosturin sähkökeskuksen minimipintaväli on 6,3 mm ja minimi-ilmaväli liittymiskohdassa 5,5 mm ja jakelutasolla 3,0 mm [4, s. 144, liite G]. Näiden minimiarvojen toteutuminen on todennettava mittaamalla kaikista tarvittavista piireistä. Liitteeseen 3 on taulukoitu muiden jännitetasojen vastaavat ilma- ja pintavälit. Nostureissa käytetään käytännössä vain kaupallisia, eristettyjä, komponentteja, jolloin ilma- ja pintavälien vaatimukset täytetään lähes automaattisesti. Mitattavia kohteita voivat olla kuitenkin katkaisijoiden ja kontaktoreiden liittynät, joihin kaapeli liitetään kaapelikengin, eikä käytössä ole erillisiä vaihe-erottimia. Ohjeita ilma- ja pintaväliden mittaamiseen annetaan IEC 61439-1:n liitteessä F.

4.4 Suojaus sähköiskulta ja suojapiirien eheys

Keinoja sähköiskulta suojautumiseen on useita: perussuojaus, vikasuojaus, sähköinen erotus ja suojaerotus [4, s. 70–76]. Teollisuusnostureissa ei käytetä sähköistä erotusta, sillä kaikki nosturin sähköjärjestelmät ovat maadoitettuja. Myöskään suojaerotus ei ole nostureiden sähköissä pääasiallinen suojaustapa, vaikka yksittäiset kaupalliset komponentit voivat ollakin suojaerotettuja.

Perussuojaus

Perussuojaus voidaan toteuttaa kahdella tapaa: peittämällä vaaralliset jännitteiset osat eristävillä materiaaleilla tai käyttämällä suojuksia tai koteloiteja. Molempia tapoja voidaan käyttää myös yhdessä. [4, s. 70.] Teollisuusnostureiden suunnittelussa tulee huomioida erityisesti keskukseen asennettavat mahdolliset virtakiskot ja komponentit, joiden valmistaja ei ole toimittanut virallista todistusta koteloitiluokasta IPXXB (tai suuremmasta). Tällainen komponentti on usein esimerkiksi ohjausvirtapiirien syöttömuuntaja. Koska kiskoja ja muuntajaa ei voida käytännössä peittää eristävällä materiaalilla heikentämättä kyseisten komponenttien toimintaa, tulee niiden ympärille rakentaa riittävät suojuukset tai kotelot. Suojien rakentamisessa on kuitenkin huomioitava komponenttien jäähdytys.

Perussuojauksena käytettyjen suojuksien ja koteloiden vaakasuorien alle 1,6 metrin korkeudessa sijaitsevien pintojen tulee täyttää vähintään kotelointiluokka IPXXD. Muille osille vaaditaan luokitus IPXXB. Suojuksien ja koteloiden tulee olla myös mekaanisesti kestäviä ja vain avaimella tai työkalulla avattavia. Poikkeuksena voidaan kuitenkin pitää suojaa, jonka avaaminen on mahdollista vain jännitteiden katketessa. [4, s. 70-72.] Nosturin suunnittelijalla on siis kaksi vaihtoehtoa perussuojauksen toteuttamiseen: suunnitella kaikkien vaarallisten osien ympärille suojuukset tai kotelot tai valita keskuksen oviksi työkalulla tai avaimella avattavat mallit.

Vikasuojaus

IEC 61439:n mukaisissa keskuksissa vikasuojaus on toteutettava IEC 60364-4-41 standardissa esitellyin tavoin. Käytännössä standardin esittelemät tavat ovat automaattinen syötön poiskytkentä ja lisäsuojausena käytetty vikavirtasuojaus [11, s. 5]. Automaattinen syötön poiskytkentä voidaan toteuttaa sulakkeella tai johdonsuojakatkaisijalla. Suojalaitteen valinnassa nosturin sähkösuunnittelijan on huomioitava piirien suurimmat mahdolliset oikosulkuvirrat, jotka suojalaitteiden on kyettävä katkaisemaan. Suojien oikeaa valintaa ei käydä tässä työssä tarkemmin läpi, sillä vuonna 2010 Konecranes:in käyttöön on tehty päättötyö aiheesta ”Nosturin oikosulkusuojauksen koordinointi”. Päättötyön yhtenä osana on luotu Konecranesin käyttöön suunnitteluohje, joka neuvoo oikeiden suojalaitteiden valinnassa.

Oikosulkukestävyuden lisäksi suunnittelijan tulee huomioida suojalaitteiden toimintaajat. IEC 60204-32-standardin mukaisesti nostolaitteille sallitaan vikatilanteissa automaattisen syötön katkaisun suurimmaksi ajaksi 5 sekuntia. Poikkeuksena ovat kuitenkin laitteet, jotka ovat kädessä pidettäviä tai siirrettäviä. Tällaisille laitteilla suurin sallittu suojalaitteen toiminta-aika on 0,4 sekuntia. [18, s. 196.] 0,4 sekunnin toiminta-aika voidaan varmistaa käyttämällä vikavirtasuojia. Huomioitavaa on, että nostureissa käytetty painikeohjain on kädessä pidettävä laite. Toiminta-aikojen toteutumisen tarkastukseen annetaan kaksi vaihtoehtoa: oikosulkuvirtojen laskeminen tai mittaaminen [18, s. 196]. Edellisin keinoin saatuja oikosulkuvirtoja tulee verrata suojalaitteiden valmistajan ilmoittamiin katkaisukäyriin, jotta varmistutaan toiminta-aikojen toteutumisesta. Nostureiden käyttöönoton yhteydessä oikosulkuvirtojen mittaaminen on käytännössä hyvin hankalaa, joten toiminta-aikojen tarkastelu tulee suorittaa jo suunnitteluvaiheessa laskennan avulla. Laskentaa varten on olemassa

useita valmiita ohjelmistoja kuten ABB DOC ja Neplan. Halutessaan sähkösuunnittelija voi tehdä myös laskennan käsin.

Vikasuojauksen perustana on riittävä maadoitus, joka estää suurien kosketusjännitteiden syntyminen. Keskuksen kaikki jännitteelle alttiit osat tulee maadoittaa. Myös ovet, joihin on kiinnitetty nimellisjännitteeltään pienoislaitteen ylittäviä komponentteja, tulee maadoittaa [4, s. 72–74]. Taulukon 1 mukaisesti maadoituksen jatkuvuus voidaan todentaa vain testaamalla. Testaus suoritetaan Konecranesin sähkölaitetehtaan koeajossa. Jotta testi suoritettaisiin standardin mukaisesti, käytiin päättötyön ohessa sähkölaitetehtaan työohjeistus läpi ja siihen tehtiin tarvittavat muutokset. IEC 61439-standardin mukaisesti maadoituksen jatkuvuuden mittaus tulee tehdä mittalaitteella, joka pystyy syöttämään vähintään 10 A vaihto- tai tasavirtaa [4, s. 106]. Herkkien piirien suojaamiseksi testiaikaa on syytä rajoittaa. Mitattu resistanssi jännitteelle alttiin osan ja sähkökeskuksen maadoituskiskon välillä ei saa ylittää $0,1 \Omega$ [4, s. 106]. Toiston välttämiseksi taulukossa 1 mainittua suojapiirin oikosulkukestoisuutta käsitellään kappaleessa ”4.10 Oikosulun kestävyys”.

4.5 Kytkinlaitteiden ja komponenttien sijoittaminen

Kuten taulukko 1 ilmoittaa, kytkinlaitteiden ja komponenttien sijoittaminen voidaan tarkastaa vain arvioimalla. Tämä toteutetaan yhteistyössä sähkösuunnittelun ja kokoonpanolinjan kanssa. Sähkösuunnittelun tehtävä on valita keskuksessa käytettävät komponentit siten, että ne ovat asianmukaisten IEC standardien ja keskuksen suunniteltujen olosuhteiden mukaisia. Kokoonpanolinjan tehtävänä on asentaa valitut komponentit alkuperäisen komponenttivalmistajan ohjeiden mukaisesti.

IEC 61439-standardisarjan ainoat omat vaatimukset kytkinlaitteiden ja komponenttien sijoittamisesta ovat seuraavat:

- a) jollei kojeiden käyttösuunta ole merkitty standardin IEC 60447 mukaisesti, tulee se merkitä muilla tavoin selkeästi.

- b) Liittimet, pois lukien suojaohjaintien liittimet, tulee sijoittaa 20 senttimetrin korkeudelle keskuksen pohjasta. Liittimien sijoituksessa on huomioitava myös kaapeleiden helppo kytkentä.
- c) Keskuksen oviin ja kansiin kiinnitettävät käyttäjän käytettäväksi tarkoitetut komponentit on sijoitettava 0,2-2,0 metrin korkeudelle keskuksen pohjasta. Poikkeuksena voidaan kuitenkin pitää harvoin (harvemmin kuin kerran kuussa) käytettäviä ohjauslaitteita ja mittalaitteita, joille suurin sallittu asennuskorkeus on 2,2 metriä.
- d) Hätäkytkentälaitteet, kuten hätä-seis-painikkeet, tulee sijoittaa 0,8-1,6 metrin korkeudelle keskuksen pohjasta. [4, s. 82.]

Listauksessa mainitut vaatimukset voidaan korvata myös keskuksen valmistajan ja käyttäjän välisellä sopimuksella toisenlaisista menetelmistä [4, s. 82]. Konecranesin nykyisin käyttämät komponenttien asennustavat ja keskusrakenteet täyttävät jo standardin vaatimukset, joten tämä IEC 61439-standardisarjan vaatimus ei aiheuta muutoksia suunnittelun tai kokoonpanon ohjeistukseen.

4.6 Sisäiset sähköpiirit ja liitokset

Myös sisäiset sähköpiirit ja niiden liitokset voidaan tarkastaa vain arviointimenetelmällä. Teoriassa itse tarkastus tarkoittaa silmämääräistä tarkastusta loppukoestuksen yhteydessä, missä todetaan kaikkien piirien noudattavan standardin vaatimuksia ja komponenttien alkuperäisen valmistajan ohjeita [5, s. 38]. Loppukoestuksella kuitenkin harvoin on käytettävissään kaikkia standardeja ja projektien lähtötietoja, joten käytännössä sähkösuunnittelijan tulee suunnitella kuviin kaikki oikeat komponentit tarvittavine liittimineen ja lisälaitteineen sekä annettava mahdollisia lisäohjeistuksia kokoonpanolle.

Pääasiassa IEC 61439-standardisarjan vaatimukset sisäisille sähköpiireille ja liitoksille ovat samat, kuin nostureissa yleisimmin noudatettavassa IEC 60204-32-standardissa, jonka vuoksi niitä ei tässä työssä tarkemmin esitellä. Huomioitavaa on kuitenkin IEC 61439-standardisarjan erityisehdot, jotka on täytettävä jotta johtimen poikkipinta-ala voidaan pienentää jo ennen oikosulku- ja ylikuormitussuojaa. Taulukkoon 3 on listattu

vaatimukset, jotka erityyppisten johtimien tulee täyttää, jotta johtimen valinnassa voidaan käyttää johtimen perässä olevan suojalaitteen arvoja.

Taulukko 3 Suojaamattomien johtimien erityisvaatimukset [4, s. 146]

Johtimen tyyppi	Vaatimukset
Paljaat tai peruseristetyt (IEC 60227-3 mukaiset) johtimet	Johtimet on eristettävä toisistaan ja kaikista johtavista osista
Peruseristetyt johtimet, joiden suurin sallittu käyttölämpötila on vähintään 90 °C	Johtimiin ei saa kohdistua ulkoista puristusta ja ne on suojattava teräviltä reunoilta
Peruseristetyt johtimet, jotka on varustettu lisäeristyksellä kuten kutistesukilla tai muoviputkilla	Ei lisävaatimuksia
Johtimet, joiden eriste on valmistettu erityislujasta materiaalista (esimerkiksi EFTE-eristys)	
Kaksoiseristetyt johtimet, joiden vaipan mitoituseristysjännite on vähintään 3 kV	
Vaipalliset yksi- tai monijohdinkaapelit	

Kun taulukon 3 ehdot on täytetty, voidaan johtimen perässä enintään 3 metrin päässä olevan suojan rajoittamaa oikosulkuvirtaa ja nimellisvirtaa käyttää johtimen poikkipinta-alan mitoituksessa [4, s. 84].

4.7 Ulkoisten johtimien liittimet

IEC 61439-standardisarjan mukaisesti kaikki ulkoisten johtimien liittinten koko tulisi sopia joko erikseen tai käyttää sarjan ensimmäisen osan liitteen A mukaisia liittimiä [4, s. 88]. Käytännössä suurin osa teollisuusnostureiden sähkökeskusten ulkoisista kaapeleista on nosturin omia kaapeleita, joiden liittimistä ei tarvitse asiakkaan kanssa sopia erikseen. Asiakkaan järjestelmistä liittyvät kaapelit taas sovitaan aina projektikohtaisesti, eikä standardin liitteen mukaista taulukko tarvitse täten käyttää.

4.8 Sähköiset ominaisuudet

Sähköisten ominaisuuksien tarkastuksen tarkoituksena on tarkoitua varmistaa keskuksen tilapäisten ylijännitteiden ja transienttiylijännitteiden kestoisuus. Tarkastus koostuu käyttötaajuisesta kestojännitekokeesta ja impulssikestoajännitekokeesta. [4, s.

90.] Kummatkin testit ovat tehtaan koeajon vastuulla, mutta suunnittelijan tehtävänä on määrittää arvot, joiden mukaan testit tehdään.

4.8.1 Käyttötaajuinen kestoajännite

Käyttötaajuisen kestoajännitekokeen testijännite määräytyy keskukselle määritellyn mitoituseristysjännitteen U_i :n mukaan. Konecranesin vakioratkaisussa keskuksen pääpiirien mitoituseristysjännite on 500 V ja ohjauspiirien 230 V. Näitä vastaava testijännite on 1890 Vac [4, s. 150]. Jos asiakas vaatii suurempia eristysjännitteitä tai käytettäessä eri ohjausjännitettä, tulee testijännite tarkastaa standardista. Tällaisissa erityistapauksissa suunnittelijan on syytä kirjoittaa uusi testijännite asennusohjeisiin, jotta keskus tulee koestettua oikein.

Testin aikana jännitteen tulee olla mahdollisimman sinimuotoista ja sen taajuuden tulee olla 45-65 Hz. Testijännite kohdistetaan viideksi sekunniksi vaiheiden ja maan välille, eri vaiheiden välille, pääpiirin ja ohjauspiirin välille sekä ohjauspiirin ja maan välille. Testijännitteen arvo ei saa olla aloitustilanteessa yli 50 % koko testiarvostaan. Kaikkien ohjauslaitteiden pääkoskettimien tulee olla kiinni-asennossa tai oikosuljettuina. Poikkeuksellisesti testattavasta piiristä voidaan kuitenkin erottaa laitteet jotka on mitoitettu alhaisimmille jännitteille ja jotka voivat vioittua testijännitteestä. Tällaisia laitteita voivat olla esimerkiksi käämitykset, mittalaitteet ja ylijännitesuojat. [4, s. 108.]

Käyttötaajuinen kestoajännitekoe katsotaan hyväksytyksi jos vähintään 100 mA:riin asetettu ylivirtarele ei laukea eikä keskuksessa tapahdu vahingollista purkausta [4, s. 110].

4.8.2 Impulssikestoajännite

Taulukon 1 mukaisesti keskuksen impulssijännitteen kestävyys voidaan tarkastaa testaamalla tai arvioimalla. Kuten kappaleessa ”4.3 Ilmavälit ja pintavälit” jo todettiin, impulssijännitekestävyyden arviointi tarkoittaa käytännössä ilmavälien mittaamista. Kun keskuksen ilmavälit ovat kauttaaltaan vähintään 1,5 kertaa kappaleessa 4.3 mainitut minimi-ilmavälit, voidaan impulssikestoisuus todeta tarkastetuksi. 400 V nimellijännitteellä olevan keskuksen minimi-ilmaväli olisi tällöin 8,25 millimetriä. Jos ilmaväli on pienempi, tulee tarkastus suorittaa testaamalla. Tällöin vaihtoehtoina ovat

syöksyjännitetesti, käyttötaajuisen jännitteen testi tai tasajännitetesti [4, s. 110, s. 112]. Käyttämällä kaupallisia komponentteja toteutuu 8,25 millimetrin ilmaväli käytännössä aina. Tällöin on edullisempaa ja nopeampaa suorittaa impulssikestoisuuden tarkastus arviointimenetelmällä, sillä mitattavia välejä ei ole montaa ja toisaalta testeihin vaaditut mittalaitteet ovat kalliita.

4.9 Lämpenemisrajat

Keskuksen lämpenemisen todennus on IEC 61439-standardisarjaan liittyvistä tarkastuksista kaikista työläin ja aikaa vievin. Lämpenemisen todentamisen tarkoituksena on varmistaa lämpötilan vakiintuvan arvoon, josta ei aiheudu keskuksen merkittävää huononemista tai vanhenemista, liiallista lämpöä ulkoisiin johtimiin tai keskuksen lähellä oleville henkilöille, käyttäjille tai eläimille palovammoja. Todentamisessa tarkastetaan myös, että kaikki keskuksen sisäiset komponentit on valittu oikein. Standardi antaa kolme vaihtoehtoa tarkastuksen suorittamiseksi:

- testaamalla tarkastaminen
- testatun rakenteen mitoitusarvoista samanlaisiin rakenteisiin johtaminen
- laskeminen
 - yksiosastoiselle korkeintaan 630 A keskukselle
 - yksi- tai moniosastoiselle enintään 1600 A keskukselle [4, s. 232].

Testaamalla tarkastettuja rakenteita voidaan käyttää myöhemmin todennettaviin keskuksiin referenssirakenteena, mikä nopeuttaa huomattavasti uusien keskusrakenteiden todentamista. Johtamalla tarkastamisen ehtona on kuitenkin, että tarkastettavat toimintayksiköt kuuluvat samaan ryhmään, eli ovat muun muassa samaa runkokokoa ja sarjaa [4, s. 124]. Käytännössä tämä tarkoittaisi kaikkien mahdollisten nostureissa käytettävien taajuusmuuttajasarjojen jokaisen mahdollisen runkokoon erikseen testaamista. Johtamalla todentamisen ehtona on myös, että keskuksen ulkomitat ovat samat [4, s. 124]. Kuten kappaleessa 2.2 ”Nostureiden sähköjärjestelmät” todettiin, teollisuusnostureiden sähkökeskuksia on mahdoton

vakioida täysin ja esimerkiksi kaappiletkan pituus voi olla hyvinkin projektikohtainen. Nostureissa käytetään myös taajuusmuuttajia useista eri sarjoista useita eri runkokokoja, mikä johtaisi erittäin suureen määrään vaadittavia testejä. Koska IEC 61439-standardisarja ei tätä työtä kirjoittaessa pidä sisällään varsinaista nosturistandardia, eikä siten ole vaatimuksena jokaisessa nosturiprojektissa, on keskuksien suurimittainen testaus turha investointi liian pitkän takaisinmaksuajan vuoksi.

Edellä mainittujen seikkojen vuoksi tässä työssä keskitytään syvällisemmin vain laskemalla todentamiseen ja testaamisen ja johtamisen peruseriaatteet käydään vain pintapuolisesti läpi, eikä esimerkiksi tarkkoja testimenetelmiä esitetä.

4.9.1 Todentaminen testaamalla

Testaamalla todentaminen perustuu toimintayksiköiden ryhmän kriittisen yksikön ja kriittisen rakennevaihtoehdon määrittämiseen. Toimintayksiköt kuuluvat samaan ryhmään jos ne täyttävät seuraavat ehdot:

- pääpiirin toiminta ja perusjohdotuskaavio ovat samoja.
- Laitteet ovat samaa runkokokoa ja kuuluvat samaan sarjaan.
- Kiinnitysrakenne on samaa tyyppiä.
- Laitteiden keskinäinen sijoittelu on sama.
- Johtimien tyyppi ja järjestelyt ovat samoja.
- Toimintayksikön pääpiirin johtimien poikkipinta on vähintään samanlainen kuin piirin heikoimmin mitoitettulla laitteella. [4, s. 116.]

Korkeintaan 630 A toimintayksiköillä ryhmän kriittinen yksikkö on suurimman kokonaishäviötehon tuottava yksikkö. Yli 630 A toimintayksiköillä kriittinen yksikkö on se, jolla on suurin mitoitusvirta. Tämä varmistaa mahdollisten hystereesi- ja pyörrevirtahäviöiden huomioimisen. [4, s. 116.]

Jotta valittua ryhmän kriittistä yksikköä voidaan käyttää näytekappaleena myöhemmissä todennuksissa, tulee se testata kriittisessä rakennevaihtoehdossa. Kriittinen rakennevaihtoehto määritetään seuraavasti:

- pienin suojattu tila (jos sellainen on olemassa), jossa toimintayksikköä mahdollisesti käytetään
- pahin mahdollinen sisäinen osastointi ottaen huomioon ilmanvaihtoaukkojen koot
- pienin mahdollinen kotelo, johon toimintayksikkö asennetaan
- huonoin mahdollinen ilmanvaihdon rakenne suhteessa ilmanvaihtoon (luonnollinen tai koneellinen) ja ilmanvaihtoaukkojen kokoon.

Edellisten lisäksi on huomioitava toimintayksikön asento: testit on toteutettava kaikkein vaativimmalla sijoituksella. [4, s. 116.]

Kun kriittinen yksikkö ja rakennevaihtoehto on määritelty, standardi antaa kolme eri mahdollisuutta testin suorittamiseksi:

1. kokonaisen keskuksen testaaminen
2. erikseen yksittäisten toimintayksiköiden ja koko keskuksen testaaminen
3. erikseen yksittäisten toimintayksiköiden ja pää- ja haarakiskojen sekä koko keskuksen testaaminen. [4, s. 228.]

Tavan 1 mukainen kokonaisen keskuksen testaaminen on nopein ja pienimmällä testimäärällä suoritettava testaus. Se on myös hyvin varovainen testitapa, sillä lämpenemätestissä kaikkia toimintayksiköitä kuormitetaan suoraan mitoitusvirrallaan, eli tasoituskertoimen ajatellaan olevan yksi. Tällainen kuormitus on hyvin epärealistinen, sillä erittäin harvoin kaikki keskuksen piirit olisivat samaan aikaan täysin kuormitettuna [4, s. 228]. Keskusta siis ylikuormitetaan verrattuna suunniteltuun käyttöön, mikä johtaa helposti turhan suuren jäähdytyksen valintaan. Tavalla 1 testattujen keskuksien tuloksia ei voi myöskään soveltaa keskussarjaan, vaan ne ovat

voimassa vain testatulle rakenteelle [4, s. 228]. Ainoastaan toimintayksiköitä voidaan tietyin ehdoin vaihtaa ryhmän sisällä. Tapa sopii siis vain yksinkertaiselle vakiokeskukselle, jota ei tarvitse muokata.

Tapa 2 ottaa huomioon toimintayksiköiden tasoituskertoimet testaamalla ensin toimintayksiköt erikseen kriittisessä rakenteessa mitoitusvirrallaan ja sen jälkeen koko keskuksen. Koko keskuksen testissä syöttöpiiri kuormitetaan mitoitusvirtaansa ja toimintayksiköt tasoituskertoimella kerrottuun mitoitusvirtaan [4, s. 122]. Kuten tapa 1, myös tämän tavan mukaiset tulokset ovat voimassa vain testatussa rakenteessa. Keskusta ei voida siis juurikaan muuttaa. Tavan 2 etu verrattuna tapaan 1 on kuitenkin tasoituskertoimen huomioiminen, mikä mahdollistaa kevyemmän ja halvemman jäähdytyksen käytön. Suurissa tuotantomäärissä halvempi jäähdytys voi säästää huomattaviakin tuotantokustannuksia ja parantaa valmistajan katetta.

Testausmenetelmä 3 mahdollistaa keskukselle modulaarisen rakenteen, ilman että kaikkia mahdollisia piiriyhdistelmiä tarvitsee testata. Tavan 3 mukaisesti lämpenemätestit tehdään mitoitusarvojen määrittelemiseksi erikseen seuraaville osille:

- toimintayksiköt
- pääkiskot
- haarakiskot
- koko keskus [4, s. 122].

Kokonaisen keskuksen todentamiseksi tulee kaikki komponentit vielä testata edustavassa keskusrakenteessa, joka toimii myöhemmin referenssirakenteena (katso kappale 4.9.2). Tavan 3 mukaisia testauksia vaaditaan siis erittäin paljon, mutta menetelmän etuna on, että siinä todennetaan modulaarirakenne, eikä tiettyä tarkkaa keskusrakennetta [4, s. 228]. Tämän ansiosta keskuksen sisäistä rakennetta voidaan muokata projektikohtaisesti ja esimerkiksi käyttää erikokoisia virtakiskoja.

4.9.2 Todentaminen johtamalla samankaltaisesta rakenteesta

Jotta keskus voidaan todentaa johtamalla arvot samankaltaisesta rakenteesta, on todennettavan keskuksen täytettävä seuraavat vaatimukset:

- toimintayksiköiden pitää kuulua samaan ryhmään, kuin testatussa rakenteessa.
- Keskuksen rakenteen on oltava samantyyppinen.
- Keskuksen ulkomittojen on oltava samat tai suuremmat kuin testatun keskuksen.
- Johdettavan keskuksen jäähdytysolosuhteiden on oltava samat tai paremmat.
- Johdettava keskus on rakennettava samaa sisäisen osastoinnin luokkaa noudattaen, kuin testatussa keskuksessa.
- Samassa kennossa on oltava enintään yhtä suuret tehohäviöt, kuin testatussa rakenteessa. [4, s. 124.]

Kun edelliset ehdot täyttyvät, voidaan uusi rakenne todentaa käyttämällä toimintayksiköille uudelleenmitoituskertoimia ja kiskoille testattujen kiskojen virrantiheyttä kertoimena. Toimintayksiköt voidaan korvata toisen sarjan samanlaisilla laitteilla edellyttäen, että laitteen tehohäviöt ja liittimien lämpeneminen ovat testattuina laitestandardien mukaisesti samat tai alhaisemmat.

4.9.3 Todentaminen laskemalla

IEC 61439 ensimmäisessä osassa esitellään kaksi laskentatapaa: yksiosastaisen enintään 630 A keskuksen ja moniosastaisen enintään 1600 A keskuksen. Kumpikin perustuu kaikkien piirien tehohäviöistä johtuvan likimääräisen ilman lämpötilan nousun laskentaan.

Jotta kumpaakaan laskentatavoista voidaan käyttää, tulee seuraavien ehtojen täyttyä:

- a) Kaikista sisäänrakennetuista komponenteista on saatavilla tehohäviötiedot.

- b) Tehohäviöiden jakautuma koteloiden sisällä on suunnilleen tasainen.
- c) Keskuksen piirien mitoitusvirta ei saa ylittää 80 % piiriin kuuluvien laitteiden avoimen tilan termisestä virrasta I_{th} (jos määritelty) tai nimellisvirrasta I_n .
- d) Keskuksen sisäiset komponentit on järjestetty siten, ettei ilmakierto ole huomattavasti hankaloitunut.
- e) Yli 200 A virtoja johtavat johtimet on sijoitettu siten, että pyörrevirtojen ja hystereesin aiheuttamat häviöt minimoituvat.
- f) Kaikkien johtimien poikkipinta perustuu 125 % liittyvän piirin sallittuun virtaan. [4, s. 126, s. 128.]

Ehdot c) ja f) ovat standardin esittelemiä varmuuskertoimia, joilla varmistetaan kaikkien piirien kaikkien komponenttien toiminta keskuksen sisällä vallitsevassa lämpötilassa. Ohjeita näiden ehtojen täyttämiseksi teollisuusnostureissa annetaan liitteessä 3.

Yksiosastoinen keskus, jonka mitoitusvirta ei ylitä 630 A:

Kun edellä mainitut yleiset ehdot on täytetty, voidaan yksiosastoinen enintään 630 A keskus todentaa kolmella eri tavalla. Lämpenemisen arvot voidaan selvittää joko kotelon valmistajalta, testaamalla kotelo tehohäviöitä vastaavilla lämmitysvastuksilla tai jäähdytyslaitteen valmistajan antamista tiedoista. [4, s. 126.]

Pienille keskuksille lämpenemää ei siis varsinaisesti tarvitse laskea, vaan keskuksen asennettavia häviötehoja verrataan keskuksen tietoihin tai jäähdytysjärjestelmän tehoon. Tapa on erittäin kätevä yksittäisien koteloiden todentamiseksi. Ongelmaksi voi kuitenkin muodostua luonnollisella ilmanvaihdolla jäähdytetyissä koteloissa häviötehoja vastaavien lämpötilojen saanti kotelon valmistajalta. Tällöin tulee koteloon joko asentaa jäähdytys tai laskea kotelon lämpenemä standardisarjan esittelemällä enintään 1600 A keskuksille tarkoitetulla menetelmällä.

Keskus, jonka mitoitusvirta ei ylitä 1600 A:

Keskuksille, joiden mitoitusvirta on alle 1600 A ja mitoitustaajuus maksimissaan 60 Hz, voidaan lämpenemän todentaminen suorittaa laskennallisesti, jos yleisten ehtojen lisäksi seuraavat lisäehdot täyttyvät.

- Luonnollisella ilmanvaihdolla varustetuilla koteloilla ilman ulosvirtausaukkojen pinta-ala on vähintään 1,1 kertaa sisääntuloaukkojen pinta-ala.
- Keskuksessa tai keskuksen kennossa on enintään kolme vaakatasoista väliseinää.
- Luonnollisella ilmanvaihdolla varustetuissa koteloissa ilmanvaihtoaukkojen pinta-ala kussakin vaakatasoisessa väliseinässä on vähintään 50 % suojatun tilan vaakatasoisesta poikkipinta-alasta.

Nosturin kaappiletkan mitat, sisäinen osastointi ja jäähdytystapa määrittävät, miten lämpenemä tulee laskea. IEC:n teknisen raportin 60890:2014 [12, s. 8] mukaisesti keskus tulee jakaa kuvitteellisiin osastoihin, jos sen yhteenlaskettu jäähdytyspinta-ala ylittää 11,5 m² tai keskuksen leveys on yli 1,5 m. Nosturin kaappiletkassa nämä ehdot ylittyvät poikkeuksetta. Kaappiletkan rakenteesta johtuen on luonnollista jakaa keskus kaappiletkan muodostavien kaappien mukaisesti. Letkan sisäinen osastointi taas määrittää, tuleeko jokaisen kaapin häviötehot laskea erikseen, vai voidaanko viereisten kaappien tehot jakaa tasaisesti kaappien välille. Kappaleessa 4.2.1 ”Sisäinen osastointi” mainituilla ratkaisuilla osastointimuoto 3b vaatii jokaisen kaapin laskennan erikseen, kun taas muoto 2b sallii tehohäviöiden jakamisen useaan kaappiin.

Seuraavaksi esitettävät kaavat ja kuvaajat ovat julkaistu IEC:n erityisluvalla. Kirjallinen lupa kiitosteksteineen on nähtävissä liitteessä 4. Ennen kuin standardin mukainen lämpenemälaskelma voidaan aloittaa, seuraavat lähtötiedot tulee olla selvillä:

- keskuksen/osaston fyysiset mitat
- keskuksen asennustapa
- ilmanottoaukkojen koko
- sisäisten vaakasuorien väliseinien lukumäärä

- komponenttien ja laitteiden häviötehot
- johtimien ja kiskojen häviötehot. [12, s. 8.]

Keskuksen fyysisten mittojen ja asennustavan avulla voidaan laskea niin sanottu tehokas jäähdytyspinta-ala. Tehokas jäähdytyspinta-ala on keskuksen pinta-ala, jonka kautta keskus voi jäähtyä tehokkaasti. Jäähdytyspinta-ala lasketaan yhtälöstä

$$A_e = \Sigma(A_o * b), \quad (1)$$

jossa A_e on tehokas jäähdytyspinta-ala, A_o on keskuksen ulkosivujen pinta-ala ja b on asennustavasta riippuva pintakerroin. Pintakerroin b määräytyy taulukosta 4.

Taulukko 4 Asennustavasta riippuvat pintakertoimet [12, s. 12]

Asennustapa	pintakerroin b
Avoin yläpinta	1,4
Peitetty yläpinta	0,7
Avoimet sivupinnat (kyljet, etu- ja takasivu)	0,9
Peitettyt sivupinnat	0,5
Keskikaappien sivupinnat	0,5
Lattiapinta	Ei huomioida

WTE-nostureissa, joita IEC 61436-vaatimus yleisimmin koskee, nosturin kaappiletkat asennetaan vapaasti seisoviksi rakennuksessa sijaitsevaan sähköhuoneeseen. Tällöin taulukon 4 mukaiset pintakertoimet letkan päädyissä oleville kaapeille ovat 1,4 yläpinnalle, 0,9 takaseinälle ja avoimelle sivulle. Letkan puoleisen sivun pintakerroin riippuu käytetystä sisäisen osastoinnin muodosta. Jos käytössä on Konecranesin asennustapojen mukainen osastointimuoto 2b, kaapin letkan puoleista sivua ei huomioida tehokasta jäähdytyspinta-alaa laskiessa [12, s. 12]. Osastointimuodolla 3b sen sijaan letkan voidaan ajatella koostuvan useasta toisissaan kiinni olevasta erillisestä kaapista, sillä kappaleen 4.2.1 "Sisäinen osastointi" mukaisesti muoto 3b saavutetaan eristämällä kaapit toisistaan pleksi- tai metallilevyin. Tällöin myös kaappien välinen pinta voidaan laskea mukaan tehokkaaseen jäähdytyspinta-alaan käyttäen taulukon 4 mukaista kerrointa 0,5.

Seuraava vaihe lämpenemän määrittämisessä on laskea keskuksen korkeuden ja pohjan suhde f keskuksille, joiden tehokas jäähdytyspinta-ala on yli 1,25 m² tai korkeuden ja leveyden suhde g keskuksille joiden jäähdytyspinta-ala on alle 1,25 m². Suhteet f ja g lasketaan kaavoin

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b} \text{ ja} \quad (2)$$

$$g = \frac{h}{w}, \quad (3)$$

joissa f on korkeuden ja pohjan suhde, h keskuksen tai kaapin korkeus, A_b keskuksen pohjan pinta-ala, g korkeuden ja leveyden suhde ja w keskuksen leveys [12, s. 9].

Lämpenemän laskemiseksi tarvitaan vielä vaakasuorien väliseinien lukumäärästä riippuva kerroin d , eksponentti x , kotelokerroin k sekä lämmön jakautumiskerroin c . Kerroin d ja eksponentti x määritetään taulukosta 5 ja kotelokerroin k ja jakautumiskerroin c tulkitaan liitteen 5 kuvaajista jäähdytyspinta-alan ja edellisen kohdan suhteiden avulla.

Taulukko 5 Kerroin d ja eksponentti x [12, s. 11-12]

	Kerroin d , kun väliseiniä vaaka- tasossa:				Eksponentti x
	0	1	2	3	
Jäähdytyspinta-ala $A_e > 1,25 \text{ m}^2$, umpikaappi	1,00	1,05	1,15	1,30	0,804
Jäähdytyspinta-ala $A_e > 1,25 \text{ m}^2$, kaapissa ilma-aukot	1,00	1,05	1,10	1,15	0,715
Jäähdytyspinta-ala $A_e < 1,25 \text{ m}^2$	-	-	-	-	0,804

Kun kaikki edellä mainitut tekijät tiedetään, voidaan keskuksen tai kotelon keskimääräinen lämpenemä puolessa välissä keskusta laskea kaavalla 4

$$\Delta t_{0,5} = k * d * P^x, \quad (4)$$

Jossa P on keskuksen sisälle asennettujen laitteiden ja komponenttien aiheuttama häviöteho. Keskuksen yläosan keskimääräinen lämpenemä voidaan laskea kaavalla 5

$$\Delta t_{1,0} = c * \Delta t_{0,5}. \quad (5)$$

Kuten kaavoista voi huomata, IEC 60890-testiraportin mukainen laskentatapa ei ota huomioon ollenkaan keskuksen todellista materiaalia. Erityisesti umpikaappien lämpenemää laskiessa tämä on keskuksen valmistajan kannalta epäedullista ja johtaa helposti tavallista pienemmillä tehoilla jäähdytyksen lisäämiseen.

Laskentapohja

Konecranesin käyttämällä laskentatavoilla oli erittäin hankala laskea kaappiletkan lämpenemää standardin mukaisesti, joten päättötyön aikana Konecranesin käyttöön oli luotava uusi laskentapohja. Tavoitteena oli tehdä laskentapohjasta mahdollisimman helppokäyttöinen, jotta sitä osaisi käyttää suunnittelijat joka puolella maailmaa ilman erityisiä koulutuksia. Myös helppo päivitettävyyys ja kehitettävyyys olivat tärkeitä tekijöitä pohjaa tehdessä.

Luodun laskentapohjan avulla suunnittelija pystyy määrittämään pohjaan 1-3 kaappiletkan kokoonpanon sekä sisällön. Jokaiselle erilliselle kaapille voi antaa nimen, valita Konecranesin mallistosta oikean kaappityypin, määrittää vaakatasossa olevien väliseinien (kotelokeskuksessa) lukumäärän, määrittää suurimman sallitun lämpötilan ja valita yhteensä 17 riviä erilaisia komponentteja ja laitteita. Valittujen laitteiden ja niille määriteltyjen kuormitusarvojen perusteella pohja laskee standardinmukaisen lämpötilan kaapin keskivaiheilla ja yläosassa. Kuva 3 esittää erään esimerkkiprojektin virransyöttökaapin laskentaa.

Cubicle 15						
Cubicle name:		R1-E1.5				
Cubicle model:		C2N14 IP31				
Cubicle width:		1400 mm				
Horizontal partitions:		0				
Cooling		Maximum admissible internal temperature			55°C	
Fan	k					
Device	Type	QTY	I/In	P/Pn	ED	Powerloss
NSX_Breaker	NS800N	1	0,8		100 %	29W
Tesys_F	LC1-F800	1	0,8		100 %	255W
NSX_Breaker	NSX160	1	0,781		100 %	26W
NSX_Breaker	NSX630	3	0,339		100 %	41W
NSX_Breaker	NSX160	1	0,656		100 %	18W
Transformer	3 kVA	1	0,6		100 %	119W
Tesys_D	LC1-D12	5			100 %	38W
Relay	CAD ac	10			100 %	80W
MiniCB	0,3-25A	18			100 %	45W
GV_Breakers	GV2P	23			100 %	173W
Phase_Monitor	400V	1			100 %	10W
						-
						-
						-
						-
						-
						-
						-
Temperature inside cubicle						
Mid Temperature		38,3°C				
Top Temperature		45,9°C				

Kuva 3 Esimerkkiprojektin virransyöttökaapin lämpenemä

Kuten kuvasta 3 voi huomata, on laskentapohjaan mahdollista määrittää myös jokaiselle kaapille jäähdytyspuhallin ja jäähdytysvakio k. Näihin määriteltävät arvot perustuvat käytännön kokemukseen, joita Konecranesin tuotteilla on aikaisemmin saatu. Jäähdytysarvojen määrittäminen ohjeistetaan laskentapohjan ohjesivulla.

Laskentapohjan ensimmäinen versio perustuu sisäisen osastoinnin muotoon 3b, sillä verrattuna osastointimuotoon 2b kaapit lämpenevät enemmän, koska kaappien sisälle muodostuvia tehohäviöitä ei voi jakaa viereisille kaapeille. Jatkossa on kuitenkin tarve kehittää pohjaan valinta jolla osastointimuotoa voidaan vaihtaa, sillä keskuksien sisälle asennetaan jatkuvasti enemmän ja enemmän häviötehoja tuottavia komponentteja. Tällöin saattaa tulla eteen tilanne, jossa lämpenemän laskenta ei mene hyväksytysti läpi väärästä osastointimuodosta johtuen. Laskentapohjaan luotiin myös niin sanottu

Output-välilehti, jolle pohja automaattisesti kokoaa kaikki laskennassa käytetyt termit ja laskennan tulokset. Tämä välilehti voidaan esimerkiksi esittää tarvittaessa asiakkaan tarkastajalle. Liitteessä 6 on erään esimerkkiprojektin lämpenemälaskelman Output-sivut.

Saavutetut tulokset

Keskuksen lämpenemä katsotaan tarkastetuksi, jos lasketut lämpötilat eivät ylitä laitevalmistajien määrittelemiä suurimpia sallittuja ympäristönlämpötiloja [4, s. 128]. Laskentapohjaa luodessa huomattiin yllättävästi lähimmäksi raja-arvoa menevän usein PLC-kaapit, sillä niissä on paljon johdonsuojakatkaisijoita, joiden yleisin suurin sallittu käyttölämpötila on vain 45 °C [13, s. 6] ja toisaalta ohjauskaapit sisältävät usein paljon lämpöhäviöitä tuottavia releitä ja kontaktoreita. Testilaskelmien pohjalta kaikissa IEC 61439-projekteissa suositellaan asetettavaksi sähköhuoneen lämpötilaksi enintään 30 °C.

4.10 Oikosulun kestävyys

Oikosulun kestävyden tarkastuksessa on tärkeää määrittää keskuksen oikosulkukestoisuus oikein. IEC 61439-standardisarjan mukaisesti keskuksen valmistajalla on kaksi tapaa ilmoittaa keskuksen oikosulkukestoisuus:

1. ilmoittamalla lyhytaikainen mitoituskestovirta I_{cw} , mitoituskestovirran huippuarvo I_{pk} sekä suurin sallittu oikosulun kesto aika
2. ilmoittamalla ehdollinen mitoitusoikosulkuvirta I_{cc} [4, s. 94].

Valitsemalla vaihtoehdon 1 valmistaja jättää keskusta suojaavan suojalaitteen valinnan käyttäjälle. Tällöin keskuksen valmistaja ei myöskään pääse hyötymään mahdollisista suojalaitteiden virranrajoitusominaisuuksista. Tavan 2 valitessaan keskuksen valmistajan tulee määrittää oikea oikosulkusuoja. Valmistaja voi esimerkiksi ilmoittaa, että keskus tulee suojata tietyn kokoisella gG-sulakkeella. Tällöin keskuksen valmistaja voi käyttää hyväkseen sulakkeen virranrajoitusominaisuuksia ja mitoittaa keskuksen komponentit pienemmille oikosulkuvirroille.

IEC 61439-standardisarjan mukaisesti keskuksen oikosulkukestoisuus tulee tarkastaa kaikilta keskuksen piireiltä pois lukien seuraavat:

- keskuksat, joiden lyhytaikainen mitoituskestovirta tai ehdollinen oikosulkuvirta ei ylitä 10 kA r.m.s
- piirit, joiden oikosulkuvirran tehollisarvo on rajoitettu virtaa rajoittavien suojalaitteiden enintään 17 kA:iin
- ohjauspiirit, jotka on liitetty muuntajiin, joiden teho ei ylitä 10 kVA toisiojännitteen ollessa vähintään 110V tai 1,6 kVA toisiojännitteen ollessa alle 110 V ja suhteellinen oikosulkuimpedanssi on vähintään 4 % [4, s. 131].

Kaikkien muiden piirien oikosulkuvirran aiheuttamien dynaamisten ja termisten rasitusten kestävyys tulee tarkastaa. Käyttämällä virtaa rajoittavia katkaisijoita ja sulakkeita voidaan nosturin oikosulkuvirta rajoittaa jo syöttöyksikön sisällä alle 17 kA:iin. Näin ollen vain nosturin syöttöyksikön oikosulkukestävyys täytyy tarkastaa. Oikeiden virransyöttökomponenttien valitseminen ohjeistetaan liitteessä 3. Käytännössä kuitenkin nosturinvalmistajan on syytä käyttää mahdollisimman paljon kaupallisia, jo testattuja komponentteja, sillä oikosulkukestävyyden testaaminen on erittäin kallista. Seuraavaksi esitellään muutamia laskentatapoja, joiden avulla kaupallisia komponentteja voidaan valita.

Terminen rasitus johtuu suuren oikosulkuvirran aiheuttamasta äkillisestä lämpötilan noususta johtimessa. IEC testiraportin 61912 [14, s. 13] mukaisesti kaapelia suojaava suojalaite tulee valita siten, että sääntö

$$(I_k''^2 t)_{SCPD} \leq (k^2 S^2),$$

jossa I_k'' on prospektiivinen oikosulkuvirta, t suojalaitteen toiminta-aika, k kaapelin materiaalista ja eristyksestä riippuva kerroin ja S kaapelin poikkipinta-ala, toteutuu. Sääntö voidaan muuttaa myös kaavaksi, jolla saadaan laskettua kaapelin minimipoikkipinta-ala:

$$S \geq \frac{I_k'' \sqrt{t}}{k}. \quad (6)$$

Tämä kaava on voimassa enintään 5 sekuntia kestäville oikosuluille. 5 sekunnin jälkeen kaapeli alkaa luovuttaa lämpöä ympäristöön, jolloin laskenta ei ole enää riittävän tarkka. Kaapelista johtuvat kertoimet saadaan taulukosta 6.

Taulukko 6 Äärijohtimen ominaisuuksista riippuva k [15, s. 10]

Ominaisuus/ olosuhde	Johtimen eristys							
	PVC Kestomuovi		PVC Kestomuovi 90 °C		EPR PEX Kertamuovi	Kumi 60 °C	Mineraali	
	≤ 300	> 300	≤ 300	> 300			PVC päällystämätön	Paljas päällystetty
Johtimen poikki-pinta-ala mm ²								
Alkulämpötila °C	70		90		90	60	70	105
Loppulämpötila °C	160	140	160	140	250	200	160	250
Johtimen materiaalit:								
Kupari	115	103	100	86	143	141	115	135 -115 ^a
Alumiini	76	68	66	57	94	93	-	-
Kuparijohtimien tinajuotetut liitokset	115	-	-	-	-	-	-	-

Johtimen valmistaja saattaa myöskin ilmoittaa omille tuotteilleen tarkemmat k kertoimet, joita tulee käyttää ensisijaisesti. Keskuksen terminen kestävyys siis voidaan tarkastaa käyttämällä oikein mitoitettuja kaupallisia kaapeleita, johtimia ja kiskoja, jotka on testattu asianmukaisten standardien mukaisesti.

Dynaamiset voimat aiheutuvat oikosulun ensihetkillä tapahtuvasta oikosulkuvirran huippuarvosta I_{pk} . IEC 61439-standardisarjan mukaisesti oikosulkuvirran tehollisarvon ja huippuarvon suhde voidaan katsoa taulukosta 7.

Taulukko 7 Tehollisarvon ja huippuarvon suhde n [4, s. 150]

Oikosulkuvirran tehollisarvo [kA]	cos φ	n
$I \leq 5$	0,7	1,5
$5 < I \leq 10$	0,5	1,7
$10 < I \leq 20$	0,3	2
$20 < I \leq 50$	0,25	2,1
$50 < I$	0,2	2,2

Nämä arvot pätevät suurimmalle osalle tapauksista. Jos tehokertoimen arvo on kuitenkin jotain muuta, kuin taulukon 7 tapauksissa voidaan oikosulkuvirran huippuarvo laskea IEC 60909-0 mukaisesti kaavalla

$$i_p = \kappa * \sqrt{2} * I_k'' \quad (7)$$

jossa i_p on oikosulkuvirran huippuarvo, κ on kaavan 8 mukainen kerroin ja I_k'' on oikosulkuvirran tehollisarvo [16, s. 77]. Kun tiedetään verkon tarkka reaktanssi ja resistanssi, voidaan kerroin κ laskea yhtälöllä

$$\kappa = 1,02 + 0,98 * e^{-3*(R/X)}, \quad (8)$$

jossa e on Neperin luku, R on verkon resistanssi ja X on verkon reaktanssi [16, s. 77]. Oikosulkuvirran huippuarvo saadaan usein myös virtaa rajoittavan suojalaitteen virranrajoituskäyristä. Kun oikosulun huippuarvo tiedetään, voidaan yksijohtimisien kaapeleiden ja kiskojen kiinnikkeisiin muodostuvat suurimmat dynaamiset voimat laskea kaavalla

$$F_m = \frac{\mu_0}{2*\pi} * \frac{\sqrt{3}}{2} * i_p^2 * \frac{l}{a_m}, \quad (9)$$

jossa F_m on kiinnikkeisiin kohdistuva voima, μ_0 on tyhjiön permeabiliteetti $4\pi*10^{-7}$, i_p on oikosulkuvirran huippuarvo, l on etäisyys kiinnikkeiden välillä ja a_m johtimien väli keskeltä keskelle [17, s. 10]. Tätä laskettua voimaa voidaan käyttää valmiiksi testattujen kaupallisten kiinnikkeiden valintaan. Myös käyttämällä kolmivaihekaapeleita vältetään ylimääräiseltä testaukselta, sillä rasiuksien keston tarkastaminen on kaapelivalmistajan vastuulla. Kolmivaihekaapeleita valitessa on kuitenkin varmistuttava niiden dynaamisten rasiuksien kestävydestä. Tätä arvoa ei yleensä ilmoiteta yleisesti kaapeleille, sillä kaapelin terminen kestävyys muodostuu usein rajoittavaksi tekijäksi ennen kuin dynaamisten voimien kestävyys ylittyy. Suunnittelijan on kuitenkin varmistettava kaapelin kestävyys alkuperäiseltä valmistajalta.

4.11 Sähkömagneettinen yhteensopivuus

Taulukon 1 mukaisesti keskuksen sähkömagneettinen yhteensopivuus voidaan tarkastaa joko testaamalla tai arvioimalla. Arviointi tarkoittaa oikein valittuja, jo testattujen, komponenttien valitsemista. Käytännössä nosturin sähköletkat valmistetaan valmiista komponenteista tai osakokoonpanoista, jotka ovat EMC-direktiivin alaisia. Näin ollen nostureiden keskuksien sähkömagneettinen yhteensopivuus tarkastetaan aina arviointimenetelmällä.

4.12 Mekaaninen toiminta

Jos keskus sisältää mekaanisia toimintoja, kuten lukituksia tai saranointeja, tulee niiden toiminta testata IEC 61439-standardisarjan mukaisesti 200 kertaa [4, s. 140]. Testi katsotaan läpäistyksi jos kojeiden toiminta ei ole huonontunut eikä sen suorittaminen vaadi suurempaa voimaa, kuin ennen testiä. Vaatimus ei koske kojeita, kuten ulosvedettäviä katkaisijoita, jotka on jo tyyppitestattu niitä koskevien tuotestandardien mukaisesti.

Konecranesin käyttämät saranat ja lukitukset ovat testattu, joten mekaanisen toiminnan tarkastus ei vaadi sähkösuunnittelijalta toimenpiteitä tulevissa projekteissa.

5 Rakenteen dokumentointi

5.1 Keskuksen nimellisarvot

IEC 61439-standardisarjan mukaisesti keskuksen valmistajan tulee ilmoittaa valmistamastaan keskukselta liitteeseen 7 kootut arvot silloin kun ne ovat käytössä. Liitteeseen 7 on myös merkitty dokumentti, jossa arvo asiakkaalle ilmoitetaan.

Standardisarjan mukaisesti myös kaappiletkaan on kiinnitettävä vähintään yksi tyyppikilpi, joka pitää sisällään vähintään seuraavat tiedot:

- keskuksen valmistajan nimi tai tavaramerkki

- tyypimerkintä tai tunnistusnumero
- valmistusajankohta
- merkintä ”IEC 61439-2” [4, s. 58].

Esimerkki Konecranesin käyttämästä tyypikilvestä löytyy liitteestä 3.

5.2 Rakenteen dokumentointi

Jotta keskus olisi todennettu täydellisesti, tulee suunnittelijan täyttää seuraavat dokumentit:

- rakenteen kansilehti
- rakenteen todennusraportti
- EU-vaatimuksenmukaisuustodistus [5, s. 78].

Standardin mukaisesti edellisten lisäksi pitäisi täyttää myös pöytäkirja kappaletarkastuksesta. Teollisuusnostureita valmistetaan kuitenkin käytännössä vain uniikkeja kappaleita, joten rakenteen todennuksessa tehtävät testit kattavat myös kappaletestauksen. Työn aikana Konecranesille luotiin listatuille dokumenteille, pois lukien vaatimuksenmukaisuustodistus, pohjadokumentti, joka löytyy liitteestä 8. Tätä dokumenttia, kuten myös kaikkia muita rakenteen tarkastuksessa käytettyjä laskelmia ja datalehtiä tulee säilyttää vähintään 10 vuotta [5, s. 78]. Ohjeita dokumenttien säilytykseen ja täyttöön annetaan liitteessä 3.

6 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää IEC 61439-standardisarjan vaatimukset ja pohtia, miten sarjaa tulisi soveltaa teollisuusnostureille. Työtä aloittaessa Konecranes oli jo tehnyt pilottiprojektin SGS Fimkon tarkastajan avulla. Pilottiprojektin dokumentoinnin avulla insinööriyön ensimmäinen vaihe saatiin nopeasti käyntiin. Insinööriyön tuloksena syntynyt kattava selvitys yhdistää IEC 61439-standardin ja sen velvoittavien standardien vaatimukset yhteen dokumenttiin. Tämä helpottaa huomattavasti Konecranesin tulevia kehitysprojekteja, joissa standardisarjan vaatimukset tulee ottaa huomioon.

Insinööriyön sivutuotteena tuotettiin Konecranesin käyttöön yksilöity lämpenemälaskentaohjelma. Laskentaohjelman avulla suunnittelija pystyy hyvinkin nopeasti laskea projektikohtaisesti kaappiletkan lämpenemän, sillä ohjelmaan on syötetty kaikkien Konecranesin yleisimmin käyttämät komponentit ja kojekaapit. Laskentapohjassa on myös huomattavan paljon kehityspotentiaalia ja siitä voikin tulevaisuudessa kehittyä Konecranesin pääasiallinen häviöteho- ja lämpenemälaskentatyökalu. Nykyisessä muodossaan ohjelma sopii vain IEC 61439-standardin mukaiseen laskentaan.

Niin sanotusti päätuotteena insinööriyöstä syntyi suunnitteluohje sähkösuunnittelijoiden käyttöön. Suunnitteluohjeen avulla sähkösuunnittelija pystyy yksiselitteisesti suunnittelemaan nosturin sähköletkat standardisarjan mukaisesti. Kuten liitteestä 3 löytyvästä suunnitteluohjeesta voi huomata, tarvitsee suunnitteluohjeeseen vielä lisätä muutamia yksityiskohtia. Näiden yksityiskohtien puutos ei kuitenkaan ole insinööriyön kannalta merkittävää, sillä kaikki suunnitteluvaiheet löytyvät jo ohjeesta. Suunnitteluohje toimii jo nykyisessä muodossaan myös tukidokumenttina myynnille ja testaukselle, mutta jatkossa voisi olla syytä kehittää edellä mainittujen käyttöön omat dokumentit IEC 61439-standardisarjasta.

Lopuksi haluaisin kiittää Konecranesia ja esimiestäni Jani Päivistä mahdollisuudesta tehdä haastava ja mielenkiintoinen insinööriyö. Erityiskiitokset haluan antaa insinööriyön ohjaajalleni pääsuunnittelija Ari Redligille, joka loputtomalla kärsivällisyydellä jaksoi vastata kysymyksiini ja olla loppuun asti kiinnostunut aiheesta.

Lähteet

1. Konecranes yritysesittely. 2015. Verkkodokumentti. Konecranes Oyj. <http://www.konecranes.fi/sites/default/files/download/konecranes_corporate_presentation_2015_fi.pdf> Viitattu 14.9.2015
2. Niko Kuhlberg. 2015. WTE-Nostureiden sähkösuunnittelun vakioiminen. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.
3. Tapani Nurmi. 5.10.2015. Tekninen johtaja. Sesko Ry. Helsinki. Sähköpostikeskustelu
4. SFS-EN 61439-1 Pienjännitekeskukset osa 1: Yleisvaatimukset. 2013. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki
5. Rittal technical library. 2013. Standard-compliant switchgear and controlgear production: Application of IEC 61439. Rittal GmbH & Co. Kg. Herborn.
6. SFS-EN 61439-2 Pienjännitekeskukset osa 2: Ammattikäyttöön tarkoitetut kojeistot. 2013. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki.
7. Juha Räikkönen. 6.10.2015. Product Manager. Konecranes. Hyvinkää. Keskustelu
8. Technical Application Papers No. 11: Guidelines to the construction of a low-voltage assembly complying with the standards IEC 61439 Part 1 and Part 2. 2010. ABB SACE. Bergamo, Italia
9. SFS-EN 60529 + A1 Sähkölaitteiden kotelointiluokat (IP-koodi). 2000. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki
10. Hertfordshire B5101A4 sähkökuvat revisio 4. 25.3.2015. Konecranes. Hyvinkää
11. SFS-EN 6000-4-41 Suojausmenetelmät: Suojaus sähköiskulta. 2012. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki.

12. IEC Technical Report 60890: A method of temperature-rise verification of low-voltage switchgear and controlgear assemblies by calculation. 2014. The International Electrotechnical Commission (IEC). Geneve.
13. Miniature Circuit Breakers Configuration Manual. 2011. Siemens. Saatavilla: <
http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt_is/tuotteet/pienjannitekojeet/kytkenta_suojaus_ja_ohjaus/johdonsuojat-kaesikirja-teknistae-tietoa-englanti-.pdf> Viitattu 17.11.2015
14. IEC Technical Report 61912-1 Low-voltage switchgear and controlgear – Over-current protective devices – Part 1: Application of short-circuit ratings. 2007. The International Electrotechnical Commission (IEC). Geneve.
15. SFS-EN 6000-4-43 Suojausmenetelmät: Ylivirtasuojaus. 2012. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki.
16. Short-circuit currents. 2008. Jürgen Schlabach. The Institution of Engineering and Technology. Lontoo.
17. IEC Technical Report 60865-2: Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 2: Examples of calculation. 2015. The International Electrotechnical Commission (IEC). Geneve.
18. SFS-EN 60204-32 Koneturvallisuus: Koneiden sähkölaitteistot osa 32: Vaatimukset nostokoneille. 2008. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki.

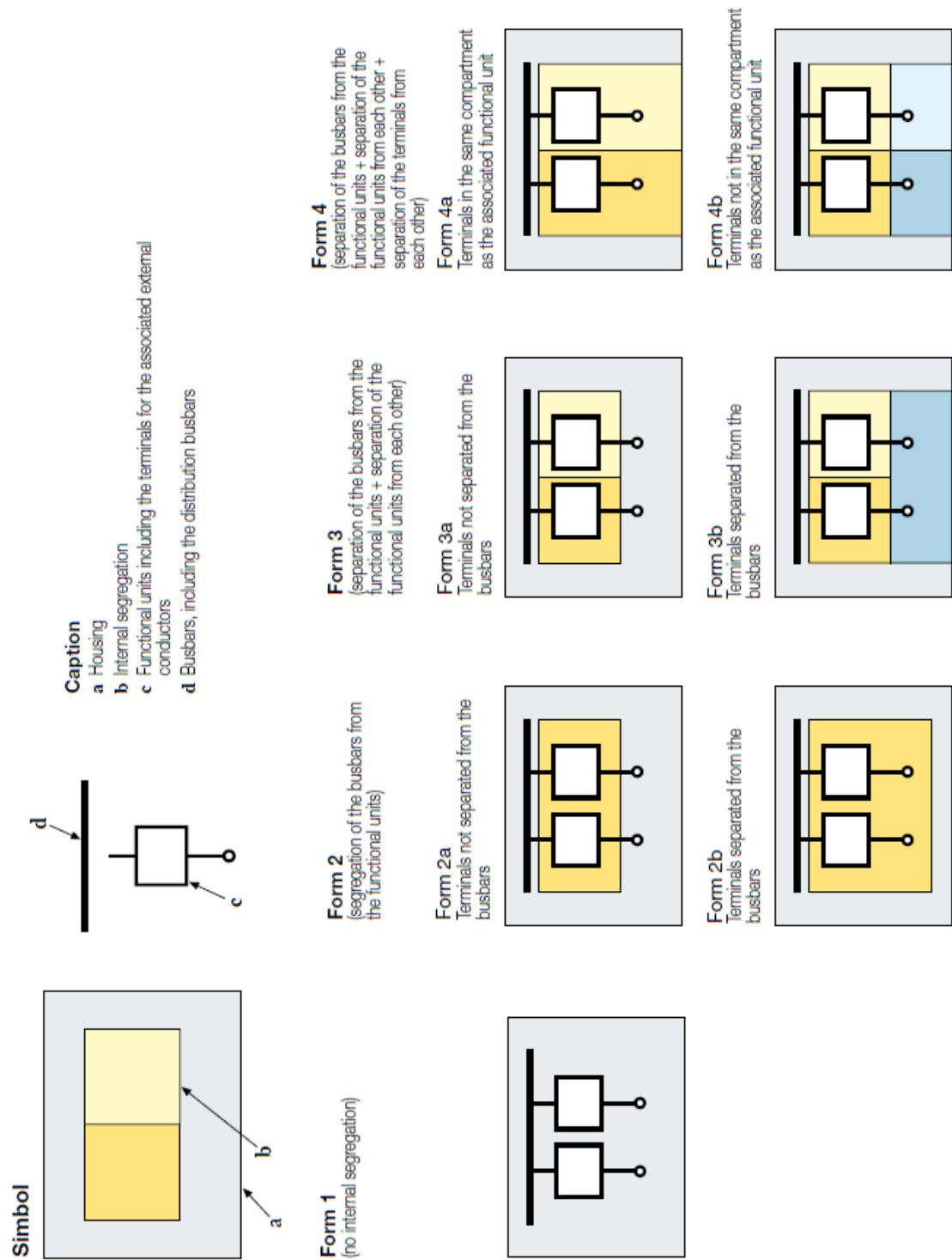
IP-luokitukset

IP-luokitukset määritellään IEC standardissa 60529. Kyseinen standardi on vahvistettu myös eurooppalaiseksi EN- ja suomalaisiksi SFS-standardiksi. Taulukkoon 1 on listattu IP-luokitukset selityksineen.

Taulukko 1 IP-luokitukset [9, s. 24]

Tunnuksen osa	Numero/ Kirjain	Merkitys laitesuojauksessa	Merkitys henkilösuojauksessa
Ensimmäinen tunnusnumero		Suojattu vieraiden esineiden ja pölyn sisäänkäsymä	Vaaralliset osat suojattu koskettamiselta
	0	suojaamaton	suojaamaton
	1	kun halkaisija \geq 50 mm	nyrkillä
	2	kun halkaisija \geq 12,5 mm	sormella
	3	kun halkaisija \geq 2,5 mm	työkalulla
	4	kun halkaisija \geq 1 mm	langalla
	5	pölysuojatusti	langalla
Toinen tunnusnumero		Suojattu veden sisäänkäsymä haitalliselta vaikutukselta	
	0	suojaamaton	
	1	pystysuoraan tippuvalta vedeltä	
	2	tippuvalta vedeltä (15 °)	
	3	satavalta vedeltä	
	4	roiskuvalta vedeltä	
	5	vesisuihkulta	
	6	voimakkaalta vesisuihkulta	
	7	lyhytaikaiselta upotukselta	
8	jatkuvalta upotukselta		
Lisäkirjain			Vaaralliset osat suojattu koskettamiselta
	A		nyrkillä
	B		sormella
	C		työkalulla
	D		langalla
Täydentävä kirjain (vapaaehtoinen)		Täydentävän tiedon merkitys	
	H	Suurjännitelaite	
	M	Vesisuojaus testattu laitteiston käydessä	
	S	Vesisuojaus testattu laitteiston ollessa pysähdyksissä	
	W	Laite on testattu erityisiin sääolosuhteisiin	

Esimerkkejä sisäisen osastoinnin muodoista



Kuva 4 Sisäisen osastoinnin muodot [8, s. 17]

Suunnitteluohje

Liite poistettu insinööriyön julkisesta versiosta.

Lupa IEC/TR 60890 kuvaajien käyttämiseksi



Metropolia University of Applied Sciences
Attn.: Mr. Sami Piittisjärvi
Vanha Maantie 6
FI-02650 Espoo
FINLAND

Email : sami.piittisjarvi@metropolia.fi

2015-10-07

Ref: gnf/permission

Subject: Permission to publish extracts from IEC International Standard

Dear Mr. Piittisjärvi,

I acknowledge receipt of your mail related to the above.

I confirm that we grant you the permission to use the following extracts and copyrighted texts from:

IEC/TR 60890 ed. 2.0 (2014)

Figure 3	Enclosure constant k for enclosures without ventilation openings, with an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$
Figure 4	Temperature distribution factor c for enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$
Figure 5	Enclosure constant k for enclosures with ventilation openings and an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$
Figure 6	Temperature distribution factor c for enclosures with ventilation openings and an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$
Figure 7	Enclosure constant k for enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface $A_e \leq 1,25 \text{ m}^2$
Figure 8	Temperature distribution factor c for enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface $A_e \leq 1,25 \text{ m}^2$

This could be included in your publication on condition that it mentions the following acknowledgment where appropriate:

"The author thanks the International Electrotechnical Commission (IEC) for permission to reproduce Information from its International Standards. All such extracts are copyright of IEC, Geneva, Switzerland. All rights reserved. Further information on the IEC is available from www.iec.ch. IEC has no responsibility for the placement and context in which the extracts and contents are reproduced by the author, nor is IEC in any way responsible for the other content or accuracy therein."

In addition the quotation from IEC Standard should include the following footnote:

IEC/TR 60890 ed.2.0 "Copyright © 2014 IEC Geneva, Switzerland. www.iec.ch"

As with such permission, we would require if possible copy of your publication for our files.

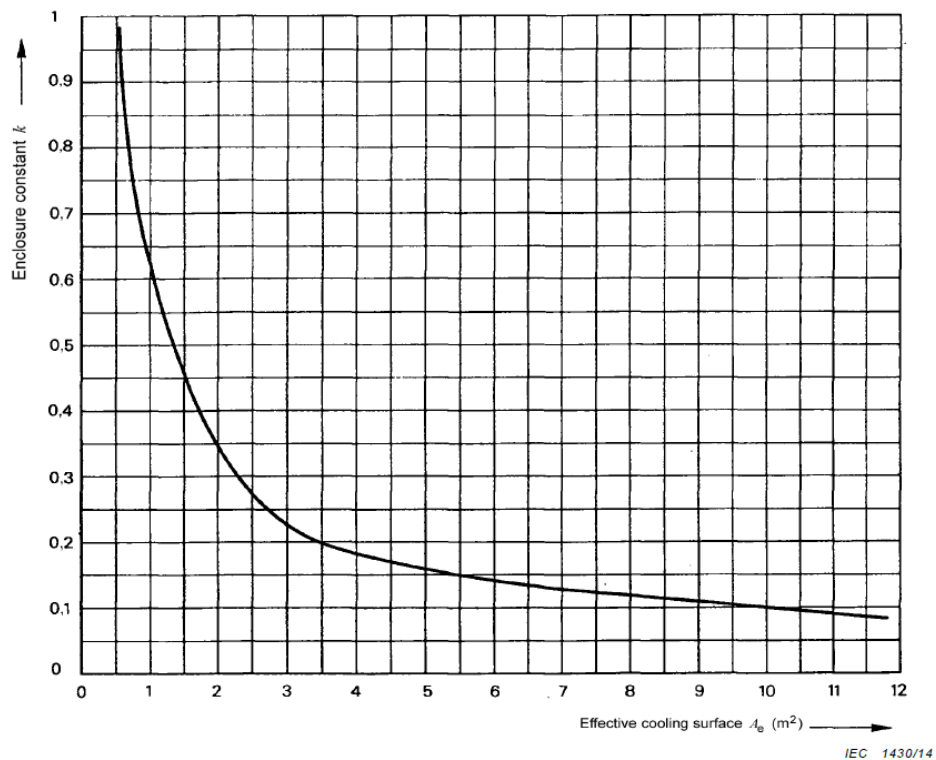
Yours sincerely,



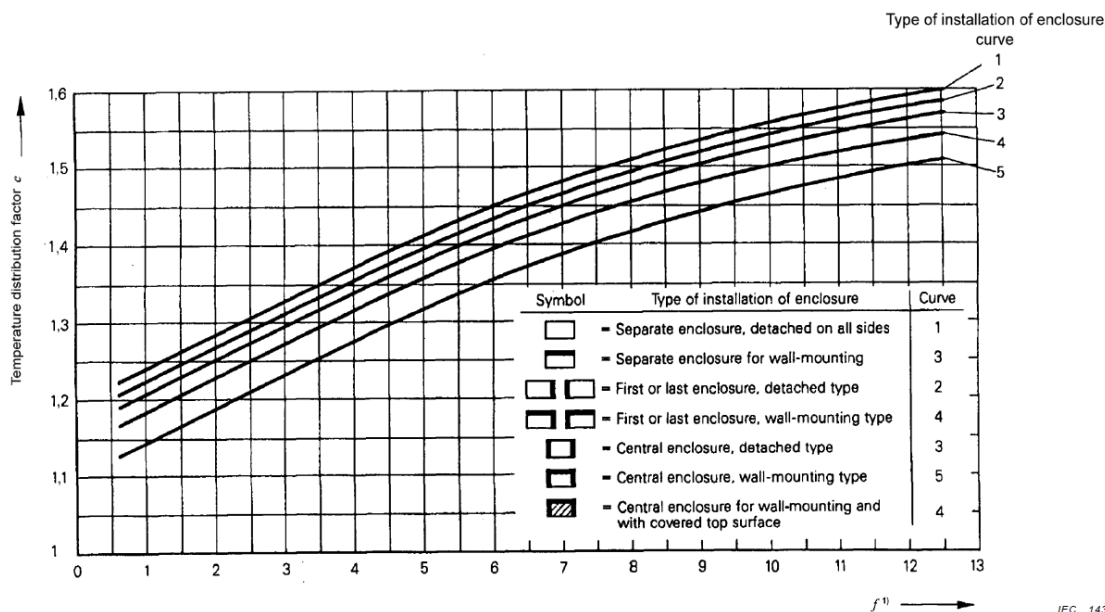
Guilaine Fournet (Ms)
Head of Sales and Business Development

IEC 60890 mukaiset kotelokertoimet k ja jakautumiskertoimet c

Umpikeskus, jonka jäähdytyspinta-ala $A_e > 1,25 \text{ m}^2$

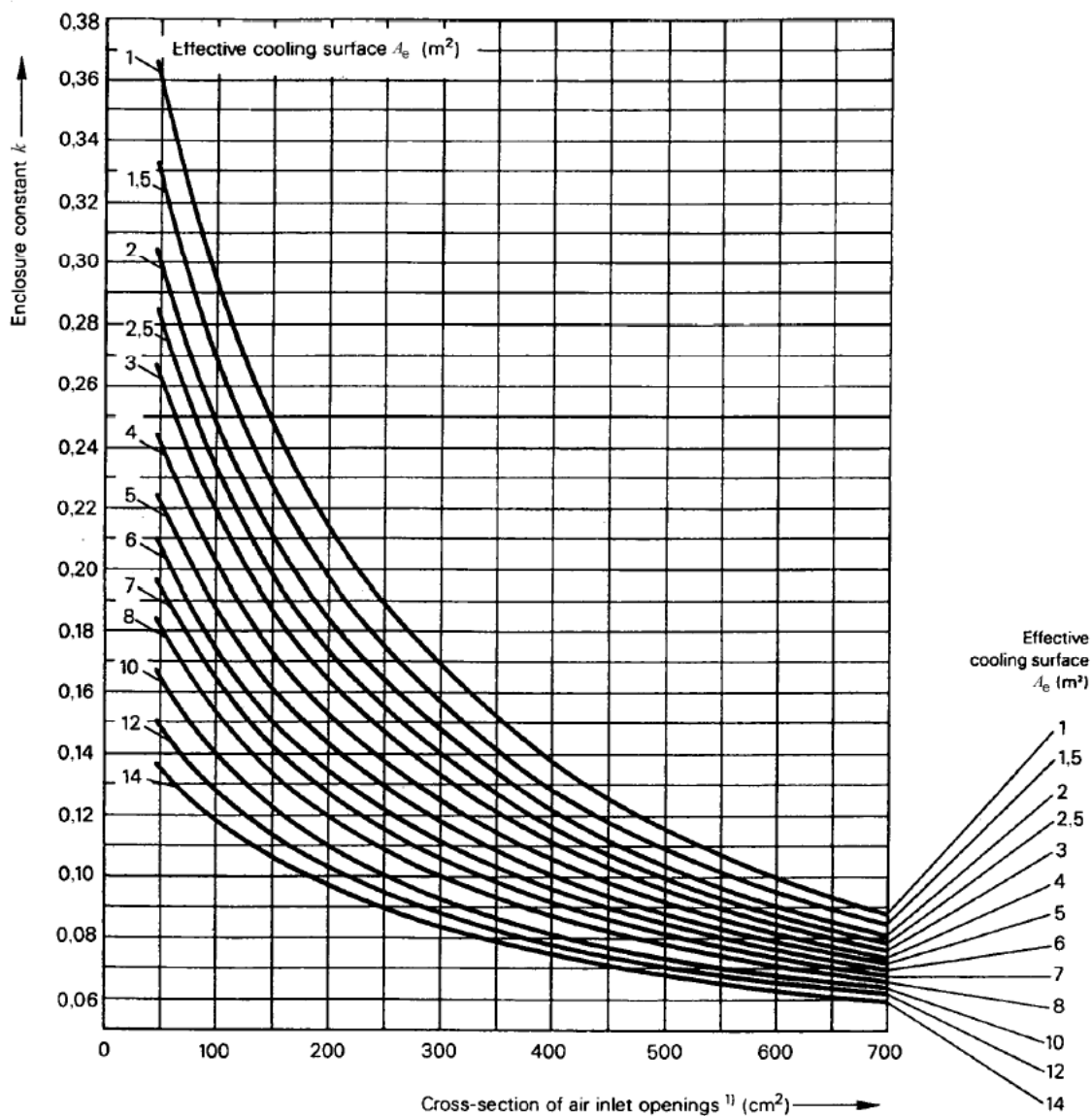


Kuvaaja 1 Kotelokerroin k suurille umpikeskuksille [12, s. 13]

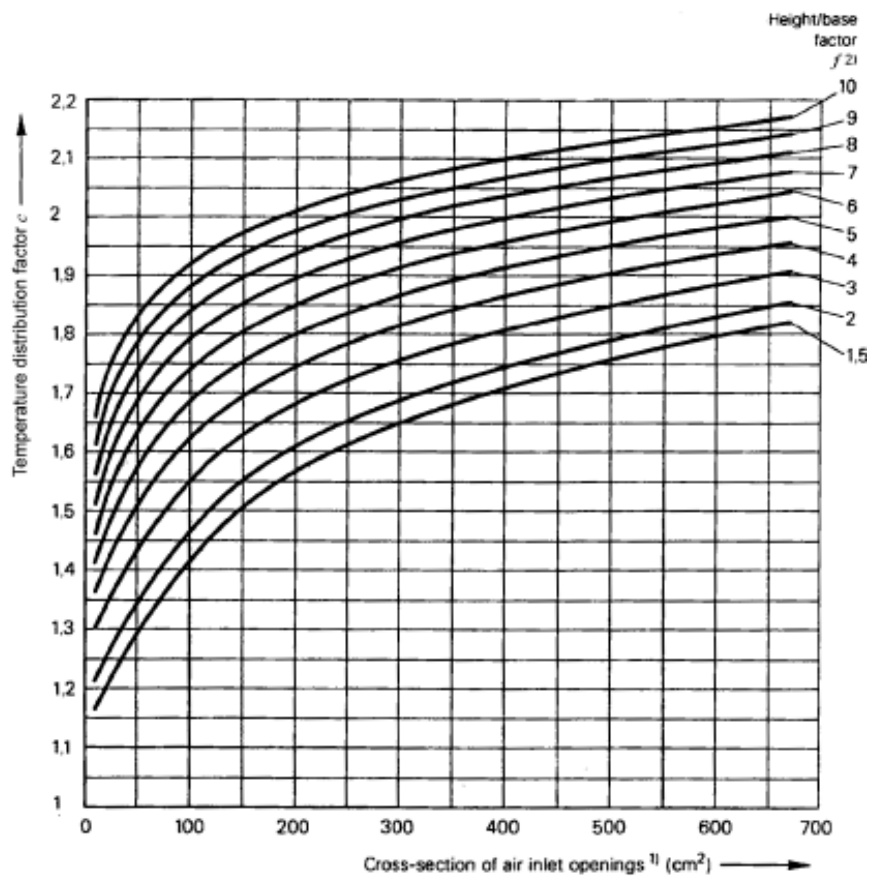


Kuvaaja 2 Jakautumiskerroin c suurille umpikeskuksille [12, s. 14]

Keskuksset, jossa ilma-aukot ja jäähdytyspinta-ala $A_e > 1,25 \text{ m}^2$

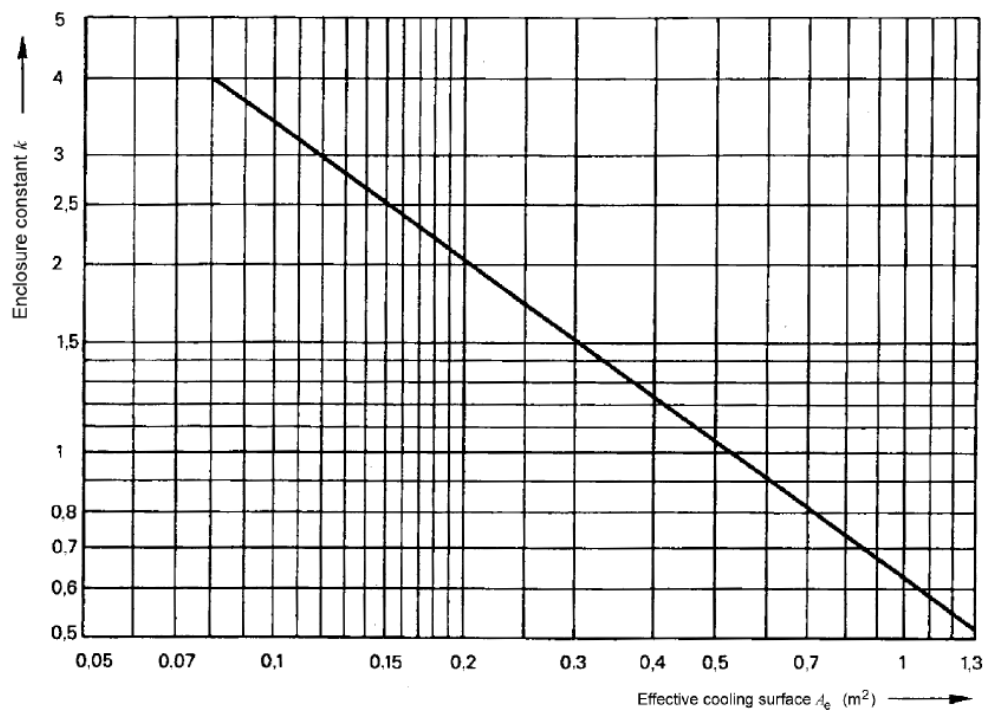


Kuvaaja 3 Kotelokerroin k suurille keskuksille, joissa ilma-aukot [12, s. 15]

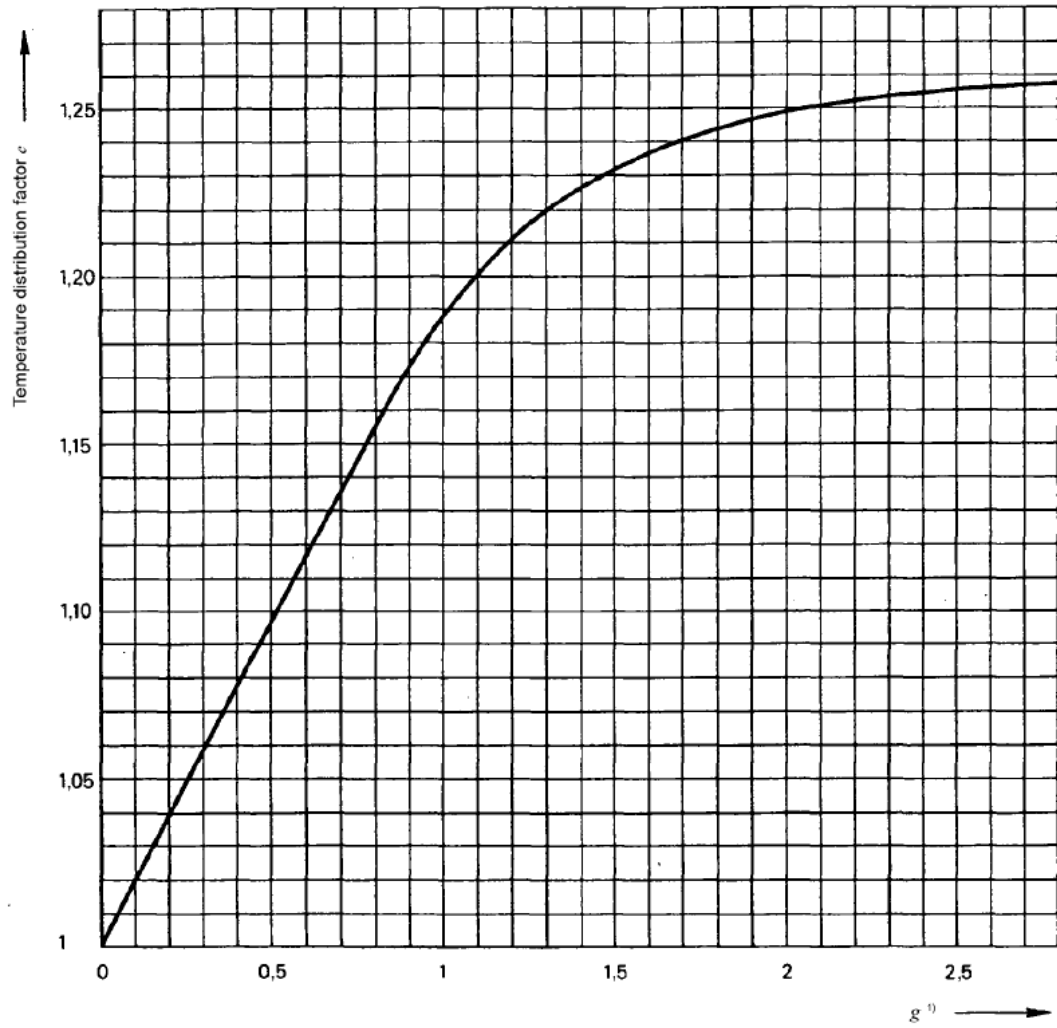


Kuvaaja 4 Jakautumiskerroin c suurille keskuksille, joissa ilma-aukot [12, s. 16]

Keskuksset ja kotelot, joiden jäähdytyspinta-ala $A_e < 1,25 \text{ m}^2$



Kuvaaja 5 Kotelokerroin k pienille keskuksille [12, s. 17]



Kuvaaja 6 Jakautumiskerroin c pienille keskuksille [12, s. 18].

Esimerkki lämpenemälaskennan tuloksista

Liite poistettu insinööriyön julkisesta versiosta.

Keskuksesta ilmoitettavat arvot

Liite poistettu insinööriyön julkisesta versiosta.

Dokumenttipohja rakenteen kansilehdelle ja todennusraportille

Liite poistettu insinööriyön julkisesta versiosta.