



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# KESKUSTEN RAKENTEET SÄHKÖSUUNNITTELIJAN NÄKÖKULMASTA

Juho Poutala

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2018  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Sähkövoimatekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Sähkövoimatekniikka

POUTALA, JUHO:

Keskusten rakenteet sähkösuunnittelijan näkökulmasta

Opinnäytetyö 43 sivua  
Toukokuu 2018

---

Tässä opinnäytetyössä kerättiin tietoa yleisimmin sähkönjakelussa käytettävien pienjännitekeskusten rakenteista ja kerrottiin niiden ominaisuuksista. Tavoitteena on auttaa sähkösuunnittelijoita hahmottamaan, milloin ja missä kohteissa kannattaa käyttää mitään rakennetta. Lisäksi työssä tehtiin erillinen, tiivistetty tietopaketti keskusrakenteista Insinööri-toimisto AX-LVI Oy:lle.

Keskusten eri rakenteista on saatavilla hyvin vähän tietoa, minkä takia työ nähtiin ajan-kohtaisena ja tarpeellisena. Standardeja ja muuta kirjallisuutta tutkimalla ei löydetty tarpeeksi tietoja rakenteista, joten niihin käytiin tutustumassa suoraan keskusvalmistajilla, Jonator:lla ja UTU:lla. Vierailukäynnillä saatiin hyvin kattavasti tietoa ja valokuvia tätä työtä varten.

Lopputuloksena saatiin koottua monipuolinen katsaus erityyppisten keskusten nykypäivän rakenteista ja standardeista. Tämä helpottaa sähkösuunnittelijaa työkohteessa hahmottamaan keskusrakenteen ja sen tyypillisimmät ominaisuudet. Työssä myös vertaillaan keskusten ominaisuuksia, mikä nopeuttaa suunnittelijaa valitsemaan kohteeseen oikeanlaisen keskuksen.

Opinnäytetyön osana tehty dokumentti keskusrakenteista on salattu asiakkaan pyynnöstä.

## **ABSTRACT**

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

POUTALA, JUHO:  
Electricity Distribution Centres in the Eyes of an Electrical Engineer

Bachelor's thesis 43 pages  
May 2018

---

The purpose of this thesis was to gather data about different low-voltage electrical distribution centers and how they are used in electrical distribution. This thesis is primarily about differences between different distribution centers, but a summary of research results is delivered to Insinööritoimisto AX-LVI.

Subject of this thesis was chosen because information regarding electrical distribution centers is not easily accessible and there is a demand for it. Data for the thesis was collected by visiting electrical distribution center manufacturers, Jonator and UTU, in addition to information from different standards and other literature.

As a result, a summary of research results was created, which contains all necessary information for different types of distribution centers from various manufacturers. This summary includes details about the structure of the distribution centers and standards behind them. This summary will make electrical engineering easier and faster due to allow the designer to easily compare different designs.

Summary of the research results is made confidential due to customers request.

---

Key words: distribution switchboard, switchgear, low voltage, structures

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	KESKUKSET.....	7
2.1	Standardointi.....	7
2.2	Käyttöolosuhteet.....	9
2.3	Rakennevaatimukset.....	10
2.3.1	Kotelointi.....	10
2.3.2	Vikasuojaus.....	14
2.3.3	Osastointimuodot.....	14
2.3.4	Kytkinlaitteet ja komponentit.....	19
2.3.5	Jäähdytys.....	21
2.3.6	Koteloinnin iskulujuus.....	22
2.3.7	Likaantumisaste.....	22
2.3.8	Sähkömagneettinen yhteensopivuus.....	23
2.4	Suojarakenteet eri käytöissä.....	24
2.4.1	Maallikko.....	24
2.4.2	Opastettu henkilö.....	25
2.4.3	Sähköalan ammattihenkilö.....	26
3	KESKUSRAKENTEET.....	27
3.1	Kennokeskus.....	27
3.2	Kotelokeskus.....	32
3.3	Kehikkokeskus.....	35
4	VERTAILU.....	39
5	YHTEENVETO.....	42
	LÄHTEET.....	43

## ERITYISSANASTO

Ammattihenkilö	Henkilö jolla on soveltuva koulutus ja kokemus, jonka perusteella hän kykenee arvioimaan riskit ja välttämään sähkön mahdollisesti aiheuttamat vaarat.
Apupiiri	Keskuksen osat (muut kuin pääpiiri), jotka on tarkoitettu ohjaukseen, mittaukseen, merkinantoon, säätöön, jne.
Kenno	Kentän kahden vaakasuoran tai pystysuoran linjan välissä oleva keskuksen rakenneyksikkö.
Kenttä	Keskuksen kahden vierekkäisen pystysuoran linjan välinen rakenneyksikkö.
Keskitetty lähtö	Lähtöyksikkö, joka syöttää sähköenergiaa useaan ulkoiseen virtapiiriin.
Kosketussuojaus	Suojaus suoralta koskettamiselta.
Lähtöyksikkö	Toimintayksikkö, jonka kautta sähköenergia syötetään yhteen tai useampaan ulkoiseen virtapiiriin.
Maadoituselektrodi	Johtava osa, joka on sähköisessä yhteydessä maahan.
Maallikko	Henkilö, joka ei ole ammattihenkilö tai opastettu henkilö.
Modulaarinen	Moduuleista koostuva, joista voi koota erilaisia kokonaisuuksia.
Opastettu henkilö	Henkilö, jonka sähköalan ammattihenkilöt ovat opastaneet siten, että hän kykenee arvioimaan riskit ja välttämään sähkön aiheuttamat vaarat.
Osittainen kosketussuojaus	Suojaus epäsuoralta koskettamiselta.
Perussuojaus	Suojaus sähköiskulta tilanteessa ilman vikaa.
Pienjännite	Alle 1000 voltin jännite.
Pääpiiri	Keskuksen osat, jotka on tarkoitettu energian siirtoon.
Syöttöyksikkö	Toimintayksikkö, jonka kautta sähköenergia syötetään keskuksen.
Toimintayksikkö	Keskuksen osa, joka sisältää saman toiminnan toteutumiseen tarvittavat keskuksen pää- ja apupiirien sähköiset ja mekaaniset laitteet.
Yksikkölähtö	Lähtöyksikkö, joka syöttää sähköenergiaa yhteen ulkoiseen virtapiiriin.

## 1 JOHDANTO

Keskukset ovat sähköjakelun kannalta välttämättömiä verkon osia, joiden avulla saadaan sähkö toimitettua loppukäyttäjälle. Siksi onkin hyvin tärkeää, että keskus on käyttäjäänsä palveleva ollen toimintavarma ja turvallinen. Tämä voidaan varmistaa oikeanlaisella suunnittelulla ja sitä varten onkin hyvä tuntea keskukset läpikotaisin.

Vuosien varrella pienjännitteen sähköjakeluun tarkoitetuille keskuksille on muodostunut käyttötarkoituksen mukaan rakenteellisesti yhteneväisiä piirteitä, jotka on sitten nimetty niitä kuvaavimmalla tavalla. Tänä päivänä yleisimmin käytettyjen keskusten nimetykset ovat kenno-, kotelo- ja kehikkokeskus. Nämäkin keskusten rakenteet ovat muuttuneet ajan saatossa ja siksi onkin hyvä päivittää tiedot vastaamaan tätä päivää. Työn tavoitteena onkin auttaa sähkösuunnittelijoita hahmottamaan uusimpien kenno-, kotelo- ja kehikkokeskusten rakenteet ja sitä kautta auttaa heitä valitsemaan oikean tyyppiset keskukset rakennuskohteisiin.

Keskusten eri rakenteista on saatavilla hyvin vähän tietoa, minkä takia työ nähtiin ajankohtaisena ja tarpeellisena. Standardeja ja muuta kirjallisuutta tutkimalla ei löydetty tarpeeksi tietoja rakenteista, joten niihin käytiin tutustumassa suoraan keskusvalmistajilla, Jonator:lla ja UTU:lla.

Opinnäytetyössä käydään ensin läpi keskusten standardien historiaa, jonka jälkeen keskitytään keskeisimpiin rakennetta koskeviin standardeihin. Ne auttavat tarkemmin ymmärtämään keskusten rakennevaatimuksista ja pohjustavat sitä, minkä tyyppisiä keskusten pitäisi olla. Standardien jälkeen keskitytään varsinaisiin keskusrakenteisiin, jossa hyödynnetään keskusvalmistajilta kerätty tieto ja otetut valokuvat. Viimeisimpänä vertaillaan keskusten ominaisuuksia.

Työ tehtiin Insinööri-toimisto AX-LVI Oy:n toimeksiantona. Yrityksestä käytetään myös nimeä AX-suunnittelu, joka on neljän eri yhtiön muodostama teknisen alan suunnittelu- ja konsulttitoimisto. Opinnäytetyön pohjalta tehtiin yritykselle dokumentti keskeisimmistä sähkökeskusten rakenteista, palvelemaan ja parantamaan suunnittelutoimintaa.

## 2 KESKUKSET

Keskukset ovat eräitä sähköverkon tärkeimmistä peruselementeistä ja niitä tarvitaan ensisijaisesti sähköenergianjaossa johtoverkon haaroituspaikaksi, jotta saadaan minimoitua verkon rakentamiskustannukset. Keskuksen huolella suoritettu suunnittelu, valmistaminen sekä asennus varmistavat sähköverkon toiminnan luotettavuuden ja turvallisen käytettävyyden. Keskuksien sijoitukseen vaikuttaa niiden käytettävyys ja siksi usein onkin hyvä sijoittaa keskus lähelle sähkön käyttöpaikkaa. (Sähköasennukset 2 2013, 112.)

### 2.1 Standardointi

Keskuksia koskevat rakennevaatimukset annetaan SFS-EN 61439 standardisarjassa. Suomalainen SFS-EN standardisarja ja eurooppalainen EN-standardisarja vastaavat sisällöltään maailmanlaajuista IEC 61439-standardisarjaa. IEC-standardien tekninen sisältö on otettu Euroopassa suoraan käyttöön, vain joitain direktiivien täyttämiseen liittyviä liitteitä on lisätty. Eli silloin kun puhutaan IEC-, EN- tai SFS-EN keskusstandardeista, samannumeroiset standardit ovat sisällöltään samoja. Standardisarjasta löytyvät osat on esitetty alla olevassa taulukossa. (Promaint-lehti 2014.)

TAULUKKO 1. SFS-EN 61439 standardisarjan osat

SFS-EN 61439-1 Pienjännitekeskukset. Osa 1: Yleisvaatimukset
SFS-EN 61439-2 Pienjännitekeskukset. Osa 2: Ammattikäyttöön tarkoitettut kojeistot
SFS-EN 61439-3 Pienjännitekeskukset. Osa 3: Maallikoiden käyttöön tarkoitettut keskukset
SFS-EN 61439-4 Pienjännitekeskukset. Osa 4: Erityisvaatimukset työmaakeskuksille
SFS-EN 61439-5 Pienjännitekeskukset. Osa 5: Jakeluverkkovaatimukset
SFS-EN 61439-6 Pienjännitekeskukset. Osa 6: Jakelukiskot (ei käännetty suomeksi)

Suomessa on pitkät perinteet kansallisten keskusstandardien ja –määräysten laadinnasta ja soveltamisesta. Ensimmäiset keskusten komponentteja käsittelevät standardit valmistuivat 1940-luvun lopulla ja puolestaan ensimmäinen Sähkötarkastuslaitoksen keskusten rakenne- ja koestusmääräyksiä koskeva E-3 julkaistiin vuonna 1955. E-3 uusittiin useampaan kertaan ja viimeisin versio on vuodelta 1985. Kansainvälisellä tasolla, myös SFS-EN-standardiksi vahvistettu standardi IEC 60439 julkaistiin vuonna 1973 ja on ollut siitä asti käytössä tähän vuosikymmeneen asti, tosin useamman kerran päivitettyinä. (Promaint-lehti 2014.)

Nykypäivän vaatimuksia paremmin täyttävää standardia oli valmisteltu pitkään ja loppuvuodesta 2012 julkaistiin toinen painos korvaavasta standardista. Suomessa tämä uusi standardi on vahvistettu tunnuksella SFS-EN 61439, jonka sisältö on käytännössä suoraan IEC 61439 -standardista. Siirtymäaika annettiin marraskuuhun 2014 asti, josta eteenpäin voimassa oli vain uusi standardi. SFS-EN 61439 on suunnattu kattamaan kaikki keskusten kokoonpanot. (Promaint-lehti 2014.)

Erona vanhaan standardiin on esimerkiksi luokitusten TTA (tyyppitarkastettu kokoonpano) ja PTTA (osittain tyyppitarkastettu kokoonpano) poistuminen. Tämä tarkoittaa, että kaikkia keskuksia käsitellään kokonaisuuksina ja tulkitaan yhdenmukaisesti, oli keskuksen käyttökohde sitten mikä tahansa. Uudessa standardissa jaetaan keskusten valmistukseen liittyvät osapuolet kahteen eri kategoriaan, keskuksen valmistaja ja alkuperäinen valmistaja (OEM). Alkuperäinen valmistaja on usein laite- tai komponenttivalmistaja, joka on todentanut valmistamiensa osien ja rakenteiden standardinmukaisuuden. Standardissa määritellään seitsemän testiä rakenteellisille ominaisuuksille ja viisi testiä toiminnalle. Modulaarisissa keskusrakenteissa keskusvalmistajat voivat usein käyttää alkuperäisen valmistajan testituloksia omassa dokumentoinnissaan. Keskusten valmistajat ovat kuitenkin aina vastuussa standardinmukaisen dokumentoinnin toimittamisesta sekä keskusten turvallisuudesta. (Promaint-lehti 2014.)

Standardi SFS-EN 61439-1 antaa yleisvaatimukset pienjännitekeskuksen rakenteelle, eikä pelkästään sen perusteella voida rakentaa keskusta. Tämän lisäksi pitää noudattaa jotain standardin osista 2-6. Aikaisempi standardi poikkesi soveltamisalaltaan siten, että pelkästään SFS-EN 60439-1 perusteella voitiin rakentaa esim. teollisuuden tarkoitettu keskus. Nykyään teollisuuskäyttöön rakennettava keskus noudattaa SFS-EN 61439-1



yleisvaatimuksia ja SFS-EN 61439-2 ammattikäyttöön tarkoitettujen keskusten vaatimuksia. Vastaavasti maallikkokäyttöön tarkoitetut keskuksset rakennetaan soveltaen SFS 61439-1 ja SFS-EN 61439-3 vaatimuksia. (Promaint-lehti 2014.)

## 2.2 Käyttöolosuhteet

Keskusten ympäristön lämpötila ei saisi ylittää + 40 °C, eikä lämpötilan keskiarvo 24 tunnin ajalta saisi olla yli + 35 °C. Näin korkea lämpötila vaikeuttaa huomattavasti keskusten jäähtymistä. Alin lämpötila sisäasennuskeskuksilla saisi olla – 5 °C ja puolestaan ulos asennettavien keskusten – 25 °C. Nämä pitää muistaa, ellei käyttäjän/tilaajan kanssa sovita asiasta toisin. (SFS-käsikirja 640 2016, 19.)

Ulkotilaan tai kosteaan/märkään sisätilaan asennettavan keskuksen käyttöpaikan ilma voi olla kosteaa, vaikka keskustilassa olisi lämmityslaite. Keskuksen tiiviskään kotelointi ei yleensä estä kosteuden sisäänpääsyä, joka on otettava huomioon kojeiden valinnassa ja sijoituksessa sekä keskuksen kondenssivesiaukkojen sijoituksessa ja sen sijoitustilan ilmanvaihdossa. Ilman suhteellinen kosteus sisätiloissa ei saisi ylittää 50 % maksimilämpötilassa + 40 °C. Suurempia suhteellisen kosteuden arvoja voidaan sallia alhaisemmissa lämpötiloissa, esimerkiksi 90 % lämpötilassa + 20 °C. Ulkoasennuksissa suhteellinen kosteus voi tilapäisesti olla 100 % lämpötilan ollessa enintään + 25 °C. (SFS-käsikirja 640 2016, 19.)

Erityiset ympäristöolot poikkeavat normaaleista lämpötilan, kosteuden ja mm. värinän osalta. Tilatessa keskuksia erityisiin ympäristöoloihin valmistaja ja käyttäjä/tilaaja voivat käyttää apuna standardisarjaa SFS-EN 60721, josta löytyy useita alastandardia ympäristötilojen luokituksille. Niitä ovat mm. tuuli, värinä, hiekka, auringonsäteily ja tuotteen sisäinen mikroympäristö. Ympäristöarastusten testausmenetelmät esitetään standardisarjassa SFS-EN 60068, jossa kullekin menetelmälle on oma alastandardinsa. (SFS-käsikirja 640 2016, 19.)

## 2.3 Rakennevaatimukset

Keskuksia joudutaan asentamaan mitä erilaisimpiin tiloihin, siksi onkin erityisen tärkeää, että keskuksat suojataan ympäristön edellyttämien henkilöturvallisuusnäkökohtien ja laitteiden suojaustarpeiden mukaan. Seuraavissa kappaleissa on kerrottu keskeisimpiä standardin mukaisia rakennevaatimuksia.

### 2.3.1 Kotelointi

Sisälle tulevan keskuksen tulisi olla asennettuna kotelointiluokalta vähintään IP2X ja maallikoille tarkoitetuilla IP2XC. Puolestaan ulos asennettavan keskuksen tulisi olla vähintään IP34D tai IP44 ja ovi avattuna keskuksen käyttö- ja huoltotoimenpiteitä vaativien osien tulee olla suojattu ylhäältä putoavalta vedeltä. Joissakin tapauksissa voidaan keskuksen kotelointiluokka jättää esim. tuuletusritilöiden osalta alhaisemmaksi kuin keskuksen. Standardin mukaan tämä on mahdollista, kunhan kotelointiluokka ilmoitetaan kaikille osille. Esimerkiksi: keskus on IP44 ja tuuletusaukot ovat IP24D. Kyseiselle ratkaisulle on saatava käyttäjän/tilaajan suostumus. (SFS-käsikirja 640 2016, 20.)

Keskuksen tiivistämistä korkeaan kotelointiluokkaan ei yleensä voida tehdä luotettavasti asennuspaikalla lukuun ottamatta kaapeliläpivientien- ja asennuspintojen tiivistämistä. Siksi keskuksat pyritään rakentamaan mahdollisimman tiiviiksi jo valmistuksen aikana. Keskuksat suositellaan varustettavaksi keskuksen rakenteeseen kuuluvalla takaseinällä ja tarkoituksenmukaisilla läpivienneillä. Mikäli keskus on takaa avoin, on valmistajan annettava ohjeet, joilla voidaan varmistaa keskuksen paloturvallisuus ja kotelointiluokka. Vastaavat ohjeet pitäisi antaa myös lattialla seisovaksi tarkoitettulle keskukselle. Näihin ohjeisiin kuuluu mm. asennuspinnan tasaisuuden määrittely, ohjeet mahdollisesti tarvittavasta tiivistämisestä, keskuksen takana mahdollisesti tarvittavat palonsuojalevyt, paloa estävät tai pidättävät kaapeliläpiviennit. (SFS-käsikirja 640 2016, 20.)

Koska koteloinnilla ei pystytä estämään veden kondensoitumista keskuksen sisälle, tärkeintä olisi sijoittaa keskus niin, ettei suoraan keskuksen yläpinnalle kerry lunta tai jäätä. On myös mahdollista eristää keskuksen yläpinnan sisäpuoli niin, että lämpötilan vaihteluista aiheutuva kondensoituminen keskusten yläpinnalla jää vähäiseksi. (SFS-käsikirja 640 2016, 20.)

Kondenssiveden poistamiseksi tehdään kotelointiluokan IPX1...X5 keskuksiin yksi tai useampi kondenssiveden poistoaukko. Aukon halkaisijan tulisi olla vähintään 5 mm tai pinta-alan vähintään 20 mm<sup>2</sup>, jotta vesi pintajännityksestä huolimatta poistuisi. Kondenssivesiaukko voidaan tehdä labyrinthimaiseksi, sillä aukko ei saa heikentää keskuksen kotelointiluokkaa. Kondenssivesiaukkoja tehdään tarpeellisiin kohtiin ja ne sijoitetaan keskuksen alapäätyyn, mikäli vesi ei kerääny muualle. Näin ollen kennokeskuksiin tarvitaan yleensä kenttäkohtaiset kondenssivesiaukot ja kotelokeskuksiin aukot kaikkiin alarivin koteloihin. Kotelointiluokan IP6X...8X keskuksiin ei voida tehdä kondenssivesiaukkoja, koska kotelointiluokka ei silloin täyty. Mikäli tällainen keskus asennetaan tilaan, jossa esiintyy kondensoitumista, on veden poistomenetelmistä sovittava käyttäjän/tilaajan kanssa erikseen. (SFS-käsikirja 640 2016, 20.)

Keskusten kotelointiluokat määritellään IP-koodilla, jota usein kutsutaan kotelointiluokaksi tai IP-luokaksi. Koodi muodostuu kirjaimista IP, kahdesta numerosta sekä mahdollisesta lisäkirjaimesta ja täydentävästä kirjaimesta. Joissain tilanteissa, voidaan numero korvata X:llä, mikäli sitä ei ole tarpeen esittää. Koodi muodostetaan seuraavasti:

IP34DH,

jossa

- IP on International Protection,
- 3 on ensimmäinen numero, joka kertoo kosketussuojausasteen (numero 0...6),
- 4 on toinen numero, joka kertoo vesisuojausasteen (0...8),
- D on lisäkirjain (vapaaehtoinen) (A, B, C tai D),
- H on täydentävä kirjain (vapaaehtoinen) (H, M, S tai W).

IP-koodin numerot on selitetty seuraavan sivun taulukoissa.

TAULUKKO 2. IP-koodin ensimmäinen numero

IP-koodin ensimmäinen numero		
IP	Vaatimukset	Esimerkki
0	Ei suojausta	Suojaamaton
1	Suojaus suuria (50 mm) kappaleita vastaan	Nyrkki
2	Suojaus keskikokoisia (12,5 mm) kappaleita vastaan	Sormi
3	Suojaus pieniä (2,5 mm) kappaleita vastaan	Työkalu
4	Suojaus erittäin pieniä (1 mm) kappaleita vastaan	Lanka
5	Suojattu pölyltä (rajoitettu pölynkertymä sallittu)	Johdinlanka
6	Täysin pölyltä suojattu	Johdinlanka

TAULUKKO 3. IP-koodin toinen numero

IP-koodin toinen numero		
IP	Vaatimukset	Esimerkki
0	Ei suojausta	Suojaamaton
1	Suojaus pystysuoraan putoavalta sadevedeltä	Pystysuora pisaroina tippuva vesi
2	Suojaus pystysuoraan, kun kotelo on 15 asteen kulmassa pystysuorasta	Korkeintaan 15 asteen kulmassa tippuva vesi
3	Suojaus korkeintaan 60 asteen kulmassa tippuvalta vedeltä	Rajoitettu satava vesi
4	Suojaus joka suunnasta tulevalta roiskevedeltä	Roiskuva vesi joka suunnasta
5	Suihkuveden pitävä	Suihkuvesi joka suunnasta
6	Korkeapaineisen suihkuveden pitävä	Voimakkaasti suihkuava vesi joka suunnasta
7	Suojaus syvyydeltään 1 m veden alle joutumiselta	Lyhytaikainen veden alle upottaminen
8	Suojaus pitkäaikaiselta veden alle joutumiselta	Jatkuva veden alle upottaminen

Normaalissa IP-koodissa suojauksen tasosta kerrotaan kahdella numerolla, jotka esitettiin taulukoissa 2 ja 3.

Lisäkirjain antaa seuraavat vaatimukset (taulukko 4) kosketukselta suojaamiseen. Testikappale voi mennä laitteen sisään, mutta ei saa ulottua jännitteisiin osiin. Niitä voidaan käyttää täydentämään IP-luokitusta. Esimerkiksi IP2XC suojaa työkalun ulottumiselta jännitteeseen osaan, mutta ei täytä IP3X vaatimusta.

TAULUKKO 4. IP-koodin lisäkirjain

IP-koodin lisäkirjain		
IP	Vaatimukset	Esimerkki
A	Halkaisijaltaan 50 mm esineen tunkeutumisen sisään esteeseen saakka ei saa johtaa vaarallisen osien koskettamiseen	Nyrkki
B	Koesormen tunkeutuminen sisään enintään 80 mm etäisyydelle ei saa johtaa kosketukseen vaarallisiin osiin	Sormi
C	Halkaisijaltaan 2,5 mm ja pituudeltaan 100 mm lanka ei saa koskettaa vaarallisia osia, kun pallomainen pysäytyspinta on osittain saavutettu	Työkalu
D	Halkaisijaltaan 1 mm ja pituudeltaan 100 mm lanka ei saa koskettaa vaarallisia osia, kun pallomainen pysäytyspinta on osittain saavutettu	Lanka

Täydentävät kirjaimet kertovat seuraavaa:

TAULUKKO 5. IP-koodin täydentävä kirjain

IP-koodin täydentävä kirjain	
IP	Vaatimukset
H	Kyseessä on suurjännitelaitte
M	Laitteen kotelointiluokka on testattu laitteen ollessa käynnissä
S	Laitteen kotelointiluokka on testattu laitteen ollessa pysähdyksissä
W	Laite on testattu erityisiin sääoloihin

Joissain tapauksissa IP-koodissa käytetään suojausta tarkentavia tietoja, jotka muodostuvat taulukoiden 4 ja 5 kirjaimilla.

### 2.3.2 Vikasuojaus

Vikasuojauksena keskuksissa käytetään suojamaadoitusta (suojausluokka I) tai suojaeristystä (suojausluokka II). Mikäli keskuksen vikasuojamenetelmä poikkeaa pääasiallisesta suojaustavasta, merkitään se niin, että siihen kiinnitetään huomiota keskuksen huollon, korjausten ja mahdollisten muutosten yhteydessä. Eri suojaustapojen käyttöä samassa keskuksessa pyritään välttämään mahdollisten väärinkäsitysten vuoksi. (SFS-käsikirja 640 2016, 34.)

Suojamaadoitus keskukseen pitäisi toteuttaa siten, että vian sattuessa tapahtuu syötön automaattinen poiskytkentä, joko keskuksen tai viallisen osan syötössä. Siksi kaikki keskuksen jännitteelle alttiit osat maadoitetaan. Mikäli keskukselta joudutaan poistamaan osia, maadoituksen jatkuvuuden tulee säilyä. (SFS-käsikirja 640 2016, 34.)

Suomessa rakennetaan sähköliittymille maadoituselektrodi, joka liitetään maadoitusjohtimella päämaadoituskiskoon. Sieltä se tuodaan suojamaadoitusjohtimella pääkeskuksen suojakiskoon tai -liittimeen. Liitin voi olla erityisesti merkitty tätä tarkoitusta varten, mutta se ei ole välttämätöntä, vaan tärkeintä on johtava yhteys. Jos keskuksen runko suojamaadoitetaan jossain tietyssä kohdassa, tulisi se merkitä maadoitusmerkillä. PEN-johtimella syötetyissä TN-S-järjestelmän keskuksissa pitäisi olla eristysresistanssin mittaamista helpottava nollan ja suojamaan erottamiskohta. Tällainen erottamiskohta sijoitetaan tilaan, jossa erottaminen onnistutaan tekemään turvallisesti. (SFS-käsikirja 640 2016, 34.)

Harvinaisempi suojaamisen menetelmä, jossa ei tarvita maadoitusta, on suojaeristys. Tässä suojaustavassa laitteet suojataan vahvistetulla eristyksellä tai peruseristykseen lisäksi lisäeristyksellä, joka suojaa sähköiskulta peruseristykseen pettämisen jälkeenkin. Menetelmä on suojamaadoitusta harvinaisempi ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi koje-koteloissa. (SFS-käsikirja 640 2016, 36.)

### 2.3.3 Osastointimuodot

Standardissa SFS-EN 61439-2 määritellään osastointimuodot, joita käytetään keskuksessa yhtä tai tarpeen mukaan useampia. On suositeltavaa käyttää vähintään osastointi-

muotoa 2, jossa kiskot on erotettu muista tiloista. Osastointi on kuitenkin myös mahdollista toteuttaa kosketussuojatuilla kiskoilla. Keskitetyissä lähdoissä voidaan käyttää osastointimuotoa 2 ja yksikkölähdoissä osastointimuotoa 3 tai 4. (SFS-käsikirja 640 2016, 33.)

Osastointi toteutetaan väliseinämillä, jotka ovat riittävän tiiviitä ja lujia. Kotelokeskuksissa tämä tapahtuu luonnostaan, sillä koteloiden väleissä käytetään usein erotuslaippoja tai tippusuoja. Kennokeskuksissa tehdään kennojen väleihin erillisiä seinämiä, jolloin voi olla tarkoituksenmukaista sijoittaa osastoidut tilat omien oviensa taakse. (SFS-käsikirja 640 2016, 33.)

Osastoinnin tiiveys riippuu tilassa suoritettavista toimenpiteistä. Perustasona voidaan pitää IPXXB vaatimusten mukaista suojausta, mutta tarpeen vaatiessa voidaan käyttää tiiviimpää IPXXD-kotelointia, joilla estetään irtoavien ruuvien putoaminen alempana olevaan tilaan. Paljaat liittimet, joita ei voida tehdä jännitteettömiksi pääkytkimellä, osastoidaan eroon lähtevien johtojen liittimistä IPXXB kotelointiluokan mukaisesti. Standardi ei ota kantaa tilojen osastointitarpeen ja komponenttien suojausasteeseen suhteesta. Koska osastoinnilla saadaan lisättyä turvallisuutta, vaikuttaa sen tarpeeseen jännitteisten komponenttien sijainti ja suojausaste. Tämän perusteella keskuksen osastointia voidaan keventää jännitteisten osien sijoituksen ja suojauksen avulla sekä käyttämällä koteloituja komponentteja. (SFS-käsikirja 640 2016, 33.)

Jos samaan runkoon halutaan rakentaa useampia keskuksia, niin niiden väliset seinät tehdään täyttämään vähintään suojauksen IP2X. Keskuksset tulisi myös erottaa toisistaan selvästi rajaamalla ne esimerkiksi keskuksen perusväristä selvästi erottuvalla värillä. (SFS-käsikirja 640 2016, 18.)

Mitoitusvirraltaan yli 125 A keskuksissa suojataan kokoojakiskot, niissä olevat liittimet sekä muut paljaat jännitteiset osat. Suojaus saadaan tehtyä tehokkaaksi niin, että peitetään kiskot ja liittimet eristävällä suojauskella tai varustetaan kisko- ja liittintilojen yläpuolella olevat aukot esimerkiksi levyllä tai suojaverkolla. Näin ollen yläpuolella olevista osista mahdollisesti irtoavat ja putoavat tarvikkeet eivät aiheuta jännitteisten osien välille oikosulua. (SFS-käsikirja 640 2016, 33.)

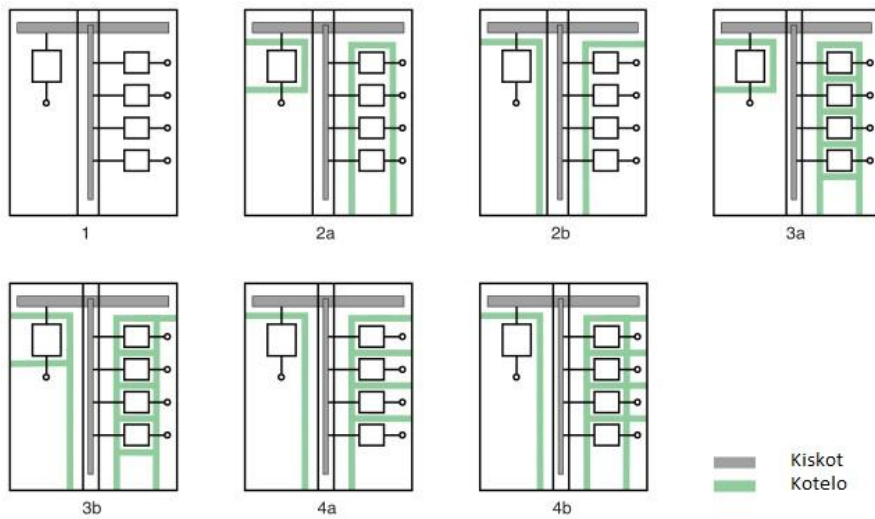
Seuraavan sivun taulukossa on kerrottu osastointimuotojen standardin vaatimat kriteerit.

TAULUKKO 6. Osastointimuodot

Pääkriteeri	Lisäkriteerit	Osastointimuoto
Ei sisäistä osastointi		1
Kokoojakiskot on osastoitu eroon kaikista toimintayksiköistä	Ulkoisten johtimien liittimiä ei ole osastoitu eroon kokoojakiskoista	2a
	Ulkoisten johtimien liittimet on osastoitu eroon kokoojakiskoista	2b
-Kokoojakiskot on osastoitu eroon kaikista toimintayksiköistä -Kaikki toimintayksiköt on osastoitu eroon toisistaan -Ulkoisten johtimien liittimet osastoitu eroon toimintayksiköistä, mutta ei toisten toimintayksiköiden ulkoisten johtimien liittimistä	Ulkoisten johtimien liittimiä ei ole osastoitu eroon kokoojakiskoista	3a
	Ulkoisten johtimien liittimet ja ulkoiset johtimet on osastoitu eroon kokoojakiskoista	3b
-Kokoojakiskot on osastoitu eroon kaikista toimintayksiköistä -Kaikki toimintayksiköt on osastoitu eroon toisistaan -Toimintayksikön osana olevat ulkoisten johtimien liittimet on osastoitu eroon kaikista muista toimintayksiköistä ja kokoojakiskoista -Ulkoiset johtimet on osastoitu eroon kiskoista -Toimintayksikön osana olevat ulkoiset johtimet on osastoitu eroon kaikista muista toimintayksiköistä ja niiden liittimistä -Ulkoisia johtimia ei tarvitse erottaa toisistaan	Ulkoisten johtimien liittimet samassa kennossa kuin niihin liittyvä toimintayksikkö	4a
	Ulkoisten johtimien liittimet eivät ole samassa kennossa kuin niihin liittyvä toimintayksikkö, vaan omassa erillisessä koteloidussa suojatussa tilassa tai kosketussuojatussa kennossa	4b

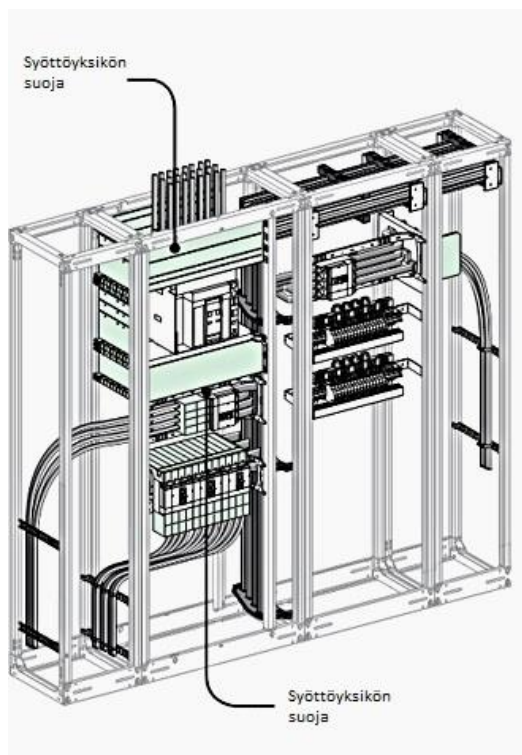
Keskuksen osastointimuodot määritellään taulukon 6 kriteerein. Seuraavien kuvien 1-5 avulla on yritetty havainnollistaa eri osastointien käytännön erot.





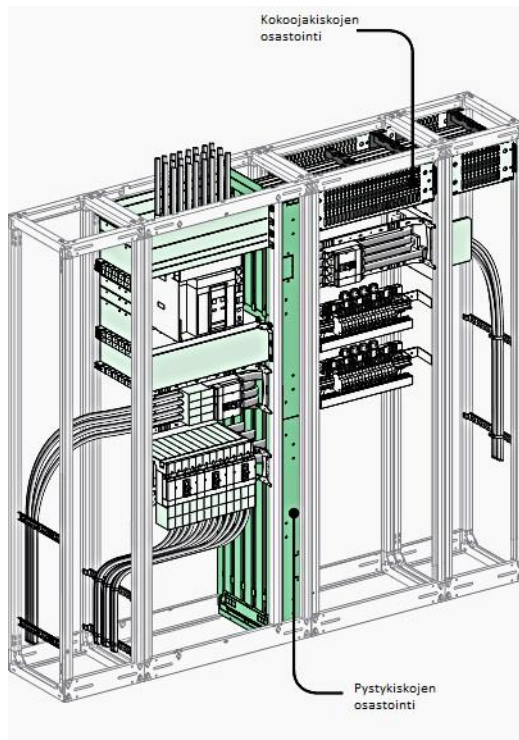
KUVA 1. Osastointimuodot (Eidetec 2017, muokattu)

Kuvassa 1 keskukset on kuvattu edestäpäin, jossa vihreät viivat edustavat osastointia ja harmaat viivat kokoojakiskoja.



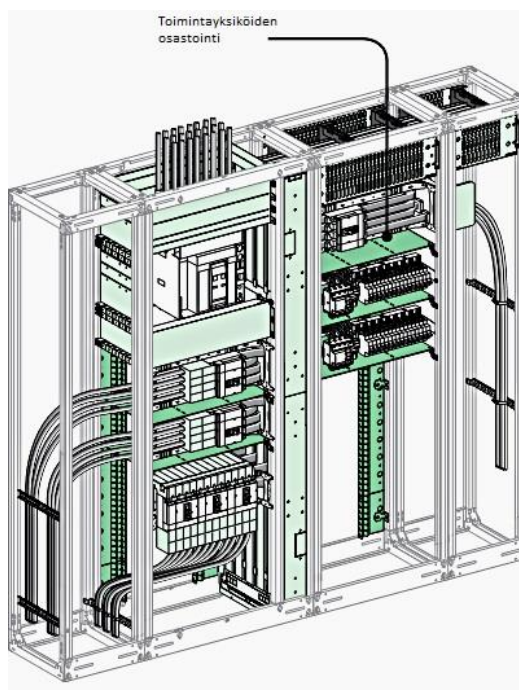
KUVA 2. Osastointimuoto 1 (EEP 2015, muokattu)

Kuvassa 2 on esitetty osastointimuodon 1 vaatimukset, joita käytännössä ei ole. Ainoastaan syöttöyksiköllä on suojalevyt.



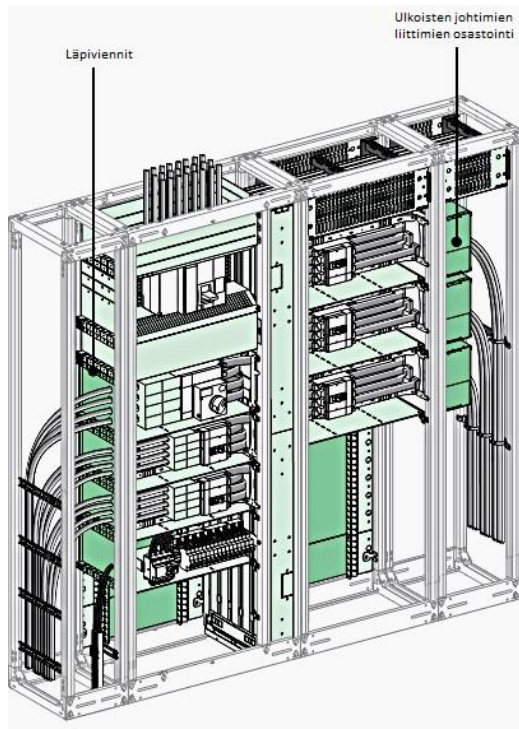
KUVA 3. Osastointimuoto 2 (EEP 2015, muokattu)

Kuvassa 3 on esitetty osastointimuodon 2 vaatimus, joka on kokoojakiskotilan erilleen osastointi muista tiloista.



KUVA 4. Osastointimuoto 3 (EEP 2015, muokattu)

Kuvassa 4 on esitetty osastointimuoto 3, jossa on kokoojakiskojen osastoinnin lisäksi toimintayksiköt omissa tiloissaan.



KUVA 5. Osastointimuoto 4 (EEP 2015, muokattu)

Kuvassa 5 on esitetty osastointimuodot 4a ja 4b. Vasemmalla on muoto 4a, jossa on osastoitu kokoojakiskot ja toimintayksiköt. Tässä on käytetty läpivientilaippoja, jolloin saadaan täysin eristetty rakenne. Oikealla on muoto 4b, jossa on edellisten osastointien lisäksi ulkoisten johtimien liittimet omissa tiloissaan.

#### 2.3.4 Kytkinlaitteet ja komponentit

Komponentit tulisi sijoittaa keskukseen selväpiirteisesti ja ryhmitellä ne loogisesti. Jokaisen tilan oveen tai kanteen sijoitetaan yksi lukituksella varustettu kytkin, joka estää oven/kannen avaamisen laitteiden ollessa jännitteisiä. Kytkimessä kuitenkin pitäisi olla lukituksen ohitusmahdollisuus. (SFS-käsikirja 640 2016, 38.)

Keskusstandardi esittää lattialle asennettavien keskusten komponenttien minimikorkeudeksi 0,2 m, mutta tämä on kuitenkin käytännössä liian alhainen. Sen takia suositellaan käytettäväksi seuraavia asennuskorkeuksia. Keskuksen merkinnät, kytkimet, varokkeet ja käyttötoimenpiteinä vaativat kojeet asennetaan yleensä vähintään 0,4 m ja enintään 2,0 m korkeudelle. Jännitteisenä käsiteltävät kahvavarokkeet olisi hyvä sijoittaa käsittelyssä esiintyvän vaaran vuoksi 1,5-1,8 m korkeuteen. (SFS-käsikirja 640 2016, 39.)

Keskukseen liitettävien ulkoisten johtojen liitäntätilat pyritään sijoittamaan keskuksen ulkoreunoille ja kaapelointikenttien viereen niin, ettei johtoja jouduttaisi viemään liittimiin muiden tilojen kautta. Jos tämä ei ole mahdollista, varataan tila, jonka kautta johdotukset on mahdollista viedä. Näiden kulku ja kiinnitys voidaan toteuttaa esimerkiksi johdotuskourulla tai eristysputkella. (SFS-käsikirja 640 2016, 39.)

Toimintayksikkö voidaan toteuttaa joko kiinteänä tai ulosvedettävänä (kuva 6) yksikönä. Kiinteässä yksikössä komponentit asennetaan nimensä mukaan kiinteästi ja ne sijoitetaan siten, että ne ovat helposti luokse päästävissä, jotta huolto ja vaihtotoimenpiteiden yhteydessä ei jouduta haitallisessa määrin irrottamaan tai purkamaan muita komponentteja eikä niiden johtimia. (SFS-käsikirja 640 2016, 224.)



KUVA 6. Ulosvedettävä lähtöyksikkö (UTU 2018a)

Ulosvedettävät yksiköt ovat irrotettavia, jonka takia ne on helpompi vaihtaa. Niiden liittämiseen käytetään yleensä pistokeliittimiä. Ulosotettavat yksiköt rakennetaan niin, että ne voidaan turvallisesti poistaa tai kytkeä jännitteisenä. Ne pitäisi varustaa laitteella, joka varmistaa, että yksikkö voidaan kytkeä vain sen jälkeen, kun pääpiiri on irrotettu kuormituksesta. Yksiköt voidaan varustaa lukituslaitteilla, joilla ne saadaan lukittua yhteen tai useampaan asentoon, luvattoman käytön ehkäisemiseksi. (SFS-käsikirja 640 2016, 224.)

Jos olemassa olevaan keskuksen tehdään muutoksia, esimerkiksi lisätään lähtöjä tai kalustetaan olemassa olevia varatiloja, noudatetaan vastaavia vaatimuksia tai keskuksen al-

kuperäisen rakenteen mukaisia käytäntöjä. Merkinnot ja piirustukset on muutettava muutunutta rakennetta vastaaviksi ja keskusmuutoksen tekijän pitäisi kiinnittää keskuksen tai keskuksen muutettuun osaan kilpi, joka ilmoittaa muutoksen tekijän ja muutospäivämäärän. Tarvittaessa korjataan myös arvokilven tiedot. Yksittäisiä standardien mukaisia komponentteja voidaan lisätä niille varattuihin paikkoihin, vaikka valmistajan kokoonpano-ohjetta ei olisi käytettävissä. Tällaisissa tapauksissa riittää keskuksen merkintöjen ja kaavioiden täydentäminen. (SFS 6000-7-729.)

### 2.3.5 Jäähdytys

Lähes kaikki keskuksiin sijoitettavat komponentit ja laitteet tuottavat lämpöä. Jotta keskuksen sisäinen lämpötila ei kohoaisi liian korkeaksi, se on johdettava pois. Mikäli jäähdytys ei onnistu keskuksen luonnollisen ilmankierron (kuva 7) ja rakenneosien avulla, käytetään koneellista tuuletusta. (SFS-käsikirja 640 2016, 51.)



KUVA 7. Jäähdytys toteutettu luonnollisella ilmankierrolla (UTU 2018a)

Luonnollinen ilmankierto onnistuu, kun keskuksen ala- ja yläreunaan sijoitetaan tuuletusritilät. Tällöin saadaan ilma kiertämään luonnollisesti, sillä keskuksessa tuotettu lämmin ilma nousee ylöspäin.

Keskuksen ilmanvaihto voi vaikeutua huomattavasti sen sijoituksen vuoksi. Tämän takia valmistaja antaa ohjeet keskuksen asennuksesta varmistaakseen, että ilmanvaihto säilyy

riittävänä. Valmistaja voi sopia erikseen käyttäjän/tilaajan kanssa mahdollisista poikkeuksista standardissa annettuihin keskuksen ympäristöolojen mukaisiin lämpötiloihin. (SFS-käsikirja 640 2016, 51.)

### **2.3.6 Koteloinnin iskulujuus**

Keskuksen koteloinnin on kestävä riittävästi iskuja ja oltava siten kokoonpantu, että se kestää vahingoittumattomana kuljetuksen, asennuspaikalla siirtelyn, noston, asennuksen sekä asiallisen käytön yhteydessä esiintyvät mekaaniset rasitukset. Jos esimerkiksi keskus on tarkoitettu teollisuustilaan ilman lisäsuojasta, voidaan altistumista pienille kolhuille pitää asiallisena käytönä. (SFS-käsikirja 640 2016, 19.)

Keskuksen koteloinnin mekaaninen kestävyys ilmoitetaan standardin SFS-EN 62262 mukaisella IK-koodilla. Koteloinnin iskulujuudeksi on syytä valita riittävän korkea luokka, jotta se varmasti kestää käytetyn tilan mahdolliset iskut. Esimerkiksi keskus, joka on tarkoitettu sisäkäyttöön ympäristöoloihin, joissa se voi joutua kovillekin iskuille alttiiksi, tulisi sen kestää IK 07 edellyttämät iskut (iskuenergia 2 J). Tällaisia oloja esiintyy teollisuuden tuotantotiloissa ja tiloissa, joihin yleisöllä on vapaa pääsy. Ulos ilman lisäsuojaa asennettaessa keskuksen tulisi kestää ainakin IK 08 edellyttämät iskut (iskuenergia 5 J). IK-koodi on yleensä ilmoitettu keskusvalmistajan toimitusasiakirjoissa ja tuote-esitteissä. (SFS-käsikirja 640 2016, 19.)

Myös keskuksen sisäinen suojaus on oltava riittävän luja. Sen on kestävä työkalun aiheuttamia iskuja, eivätkä suojat saa irrota paikaltaan tai muutoin aiheuttaa vaaraa asennuksen tai käytön yhteydessä. Sisäisen suojauksen riittävänä iskunkestävyysluokkana voidaan yleensä pitää luokkaa IK 04 (Iskuenergia 0,5 J). (SFS-käsikirja 640 2016, 19.)

### **2.3.7 Likaantumisaste**

Keskuksille määritellään likaantumisaste, joka kertoo pölyn, ionisoidun kaasun, suolan ja suhteellisen kosteuden määrän. Se viittaa niihin olosuhteisiin, joihin keskus on tarkoitettu asennettavaksi. Pinta- ja ilmvälisarvoja varten määritellään seuraavat neljä likaantumisastetta:

- Likaantumisaste 1: Ei likaantumista tai esiintyy vain kuivaa sähköä johtamatonta likaantumista. Likaantumisella ei ole merkitystä,
- Likaantumisaste 2: Normaalisti esiintyy sähköä johtamatonta likaantumista. Kuitenkin on odotettavissa, että silloin tällöin syntyy kondensoitumisesta johtuva hetkellinen johtavuus,
- Likaantumisaste 3: Esiintyy sähköä johtavaa likaantumista tai kuivaa, sähköä johtamatonta likaantumista, joka tulee johtavaksi kondensoitumisen seurauksena,
- Likaantumisaste 4: Likaantuminen kehittyy pysyvästi johtavaksi esimerkiksi johtavan pölyn, sateen tai lumen aiheuttamana. (SFS-käsikirja 640 2016, 116.)

Ellei toisin ole määrätty, teollisuuden keskuksset ovat yleisesti tarkoitettu käytettäväksi likaantumisasteen 3 ympäristössä. Erityisestä ympäristöstä riippuen voidaan harkita muidenkin likaantumisasteiden käyttöä. (SFS-käsikirja 640 2016, 116.)

### **2.3.8 Sähkömagneettinen yhteensopivuus**

Tänä päivänä keskuksset saattavat sisältää paljon elektroniikkaa ja siksi olisikin hyvä kiinnittää tähän huomiota jo suunnitteluvaiheessa. Keskuksset saadaan rakennettua koteloilta häiriötiiviksi, jolloin kaapeleiden sisäänviennissä käytetään metallisia holkkitiivisteitä ja muita vaatimukset täyttäviä tarvikkeita. Suurinta osaa keskusrakenteista käsitellään kahdella ympäristöolosuhteiden joukolla, joita kutsutaan Ympäristö A:ksi ja Ympäristö B:ksi. (SFS-käsikirja 640 2016, 189.)

Ympäristö A viittaa sähköverkkoon, jota syötetään keskijännitemuuntajasta ja joka on usein tarkoitettu teollisuuslaitokselle tai vastaavalle rakennukselle. Kyseiselle ympäristölle tunnusomaista piirteitä ovat esimerkiksi tilat, joissa käytetään teollisia ja (lääke)teollisia laitteita. Näissä kohteissa usein kytketään raskaita induktiivisia tai kapasitiivisia

kuormituksia virrat ja niihin liittyvät magneettikentät ovat suuria. (SFS-käsikirja 640 2016, 189.)

Ympäristö B viittaa julkisiin pienjännitejakeluverkkoihin eli tiloihin joille on luonteenomaista suora syöttö yleisestä jakeluverkosta. Tähän sisältyvät esimerkiksi asunto-, liike- ja kevyet teollisuusympäristöt sekä sisä- että ulkotiloissa. Käytännössä tilat, jotka eivät kuulu ympäristö A:han ovat ympäristö B:n tiloja. (SFS-käsikirja 640 2016, 189.)

## **2.4 Suojarakenteet eri käytöissä**

Keskuksen perussuojaus toteutetaan ympäristöolojen ja sen mukaan millainen sähköalan ammattitaito ja vaarojen tuntemus on henkilöllä, joka hoitaa keskusta. Suojaus saavutetaan keskuksen koteloinnilla, jonka tulisi Suomessa olla vähintään IP20. Avaimella tai työkalulla avattava kotelon sisällä ei vaadita suojausta, jos siellä ei tarvitse tehdä käyttötoimenpiteitä. Tällaisissa tiloissa erilaiset irrotettavat suojaukset ovat yleensä enemmänkin haitallisia, sillä niiden irrottaminen ja kiinnittäminen ovat ylimääräisiä toimenpiteitä ja ne lisäksi lisäävät lämpenemistä. (SFS-käsikirja 640 2016, 28.)

Jos keskuksen avattavan kannen alla tarvitsee tehdä käyttötoimenpiteitä esimerkiksi vaihtaa sulakkeita tai kuitata suojalaitteita, tilojen kosketussuojaus riippuu keskuksen käyttäjän sähköalan ammattitaidosta. Standardin SFS 6002 mukaan henkilöt jaetaan osaamisen perusteella ammattihenkilöihin, opastettuihin henkilöihin ja maallikoihin. Suositeltavat keskuksen kosketussuojauksen rakenteet on kerrottu seuraavissa kohdissa. (SFS-käsikirja 640 2016, 28.)

### **2.4.1 Maallikko**

Maallikon käyttöön tulevan keskuksen on täytettävä standardin SFS-EN 61439-3 vaatimukset. Ulkoinen kotelointi valitaan sijoituspaikan mukaan, mutta ollen vähintään IP2XXC. Käyttötoimenpiteitä vaativat tilat keskuksen avattavan kannen alla pitäisi olla suojattu vähintään IPXXB kotelointiluokan mukaisesti, eivätkä peruseristetyt johtimet eivät saa olla kosketeltavissa. (SFS-käsikirja 640 2016, 29.)



Lähtöpiireissä pitäisi olla maallikoiden käyttöön tarkoitettuja suojalaitteita. Tällaisia voivat olla esimerkiksi kotitalous- ja vastaaviin käyttöihin tarkoitettut johdonsuojakatkaisijat, vikavirtasuojat, ylivirtasuojalla varustetut vikavirtasuojat (ns. henkilösuojat) ja D-tyypin tulppavarokkeet. Jotta pikkulapset eivät pääse irrottamaan tulppavarokkeiden kansia, ne pitäisi sijoittaa vähintään 1,7 metrin korkeudelle tai lukittavan kannen alle. Jos keskuksessa on suojalaitteita, joiden virta-asettelua pystytään muuttamaan, ne pitäisi sijoittaa siten, ettei niihin pääsee käsiksi ilman avainta tai työkalua. (SFS-käsikirja 640 2016, 29.)

Maallikon käsiteltäväksi tarkoitettuihin keskuksiin voidaan sijoittaa myös päävarokkeina toimivia kahvavarokkeita, mikäli niiden kosketussuojauksen poisto onnistuu vain työkalulla. Tällöin suositellaan suojauksen läheisyyteen lisättäväksi teksti, esimerkiksi: ”Vain sähköalan ammattihenkilö tai tehtävään opastettu henkilö saa poistaa kahvavarokkeiden kosketussuojan ja vaihtaa sulakkeen”. (SFS-käsikirja 640 2016, 29.)

Jos keskuksessa on pääsulakkeita, joita ei voida tehdä jännitteettömiksi ennen niiden vaihtoa, suositellaan varokkeiden läheisyyteen lisättäväksi esimerkiksi seuraavanlainen teksti: ”Katkaise sähkösyöttö pääkytkimellä ennen kuin vaihdat pääsulakkeet”. Tällaiset saa asiaan riittävästi perehtynyt maallikko vaihtaa. (SFS-käsikirja 640 2016, 29.)

#### **2.4.2 Opastettu henkilö**

Ulkoinen kotelointi valitaan sijoituspaikan mukaan, kotelointiluokan kuitenkin oltava vähintään IP2X. Käyttötoimenpiteitä vaativilla laitteilla pitäisi olla IPXXB suojaus tai vähintään osittainen kosketussuojaus. Keskuksen kansien alla oleva kosketussuojaus toteutetaan joko edellä mainituilla tavoilla tai kiinteillä suojauksilla, joita ei tarvitse poistaa käyttötoimenpiteiden aikana. Suojausta ei kannattaisi toteuttaa sellaisilla suojauksilla, jotka joudutaan poistamaan mittausten tai tarkistusten ajaksi. (SFS-käsikirja 640 2016, 29.)

Opastetun henkilön käyttämä keskus saa sisältää myös kahvavarokkeita, mitkä pitäisi pystyä vaihtamaan jännitteettömänä tai virrattomana. Näistä suositeltavin tapa on jännitteettömänä vaihto. Varoke saadaan jännitteettömäksi kytkinvarokkeessa tai avaamalla syötön puoleinen erotuskytkin. Vaihto voidaan myös suorittaa jännitteisenä, mutta sen pitäisi tapahtua virrattomana ja lisäksi varokkeissa sekä maadoitetuissa osissa tulisi olla

riittävän korkeat välilevyt. Vaihtoehtoisesti vaiheissa olevien varokkeiden etäisyys toisistaan ja maadoitetusta osista tulisi olla riittävän suuri niin, että oikosulun vaara on pieni. Kytkinvarokkeiden jännitteisen puolen liittimet suositellaan suojattavaksi, mutta tämä suojaus ei kuitenkaan ole pakollinen. (SFS-käsikirja 640 2016, 30.)

Jos ammattihenkilöiden tai opastettujen henkilöiden käyttöön tarkoitettu keskus sijaitsee paikassa, johon myös maallikoilla on pääsy, keskuksen suositella lisättäväksi kilpi: ”vain sähköalan ammattihenkilö tai tehtävään opastettu henkilö saa vaihtaa sulakkeet”. (SFS-käsikirja 640 2016, 30.)

### **2.4.3 Sähköalan ammattihenkilö**

Keskuksen ulkoinen kotelointi sijoituspaikan mukaan, tulisi olla vähintään IP2X. Käyttötoimenpiteitä edellyttävät tilat keskuksen kannen alla varustetaan osittaisella kosketussuojauksella, jolla estetään jännitteisen osien tahaton koskettaminen. Erikoistilanteissa suojaus voi olla vielä lievempi, jolloin käyttötoimenpiteitä voidaan tehdä erikoismenettelyillä. (SFS-käsikirja 640 2016, 30.)

Keskuksen tilausvaiheessa määritellään, minkä tasoinen suojaus eri tiloihin edellytetään. Tämä koskee erityisesti sellaisia keskuksia, joita käyttävät ammattihenkilöt. Kun keskuksen oven takana oleva tila on suojattu vähintään IPXXB tai IP20 koteloitiluokan mukaisesti, voidaan oven avaamisen käyttää kiinteästi asennettua käsialpaa. Mikäli kosketussuojaus on tätä huonompi, käytetään työkalulla tai avaimella avattavaa salpaa. (SFS-käsikirja 640 2016, 30.)

### 3 KESKUSRAKENTEET

Ennen keskuksen rakentamista valmistajan on hyvä tietää, millaisen keskusrakenteen tilaaja haluaa kohteeseen. Tätä varten sähkösuunnittelijan tehtävä on määrittää keskukselle sopiva rakenne, ympäristöolot ja käyttötarkoitus huomioiden. Kun suunnittelija on valinnut kohteeseen sopivan rakenteen, se merkitään keskuksen pääkaavion etulehteen keskusvalmistajaa varten.

Varsinaista tietoa näistä keskusrakenteista löytyy hyvin vähän, eikä standardeissakaan kuvata kotelo- ja kennokeskusta, kuin muutamalla lauseella. Koska rakennetyyppejä ei ole kunnolla standardeissa määritelty, niin valmistajillakin saattaa olla hieman eri käsitteet tietyistä rakenteista. Tässä luvussa käydään kuitenkin läpi keskusten rakenteille tyypillisimpiä piirteitä. Näistä käydään läpi kenno-, kotelo- ja kehikkokeskuksia, jotka ovat teollisuudessa ja julkisessa rakentamisessa eniten käytettyjä rakenteita.

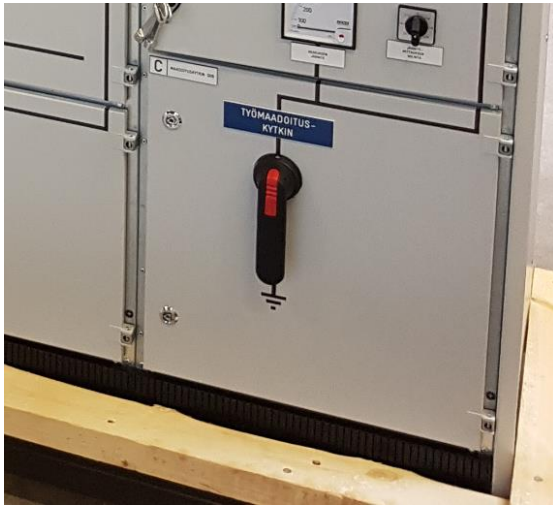
#### 3.1 Kennokeskus

Kennokeskuksia (kuva 8) käytetään erityisesti teollisuudessa pää-, nousu ja alakeskuksina, moottorien ohjauskeskuksina tai näiden yhdistelminä, mutta niitä voidaan myös käyttää kiinteistöjen pääkeskuksina. Ne ovat lattialla seisovia rakenteita, jotka voivat olla tarpeen mukaan seinään kiinnitettyjä. Kennokeskukset ovat kotelointiluokaltaan yleensä IP31, mutta ne saadaan tiivistettyä perusratkaisuilla jopa IP55 asti.



KUVA 8. Tyypillinen kennokeskus (POK 2018a)

Keskusten nimellisjännite on tarpeen mukaan, joko 400 tai 690 voltia ja niitä valmistetaan useiden tuhansien ampeerien nimellisvirroille saakka. Standardi SFS 6002 edellyttää, että keskukset on voitava työmaadoittaa (kuva 9), jos niiden nimellisvirta ylittää 1000 amperia.



KUVA 9. Kennokeskuksen työmaadoituskytkin

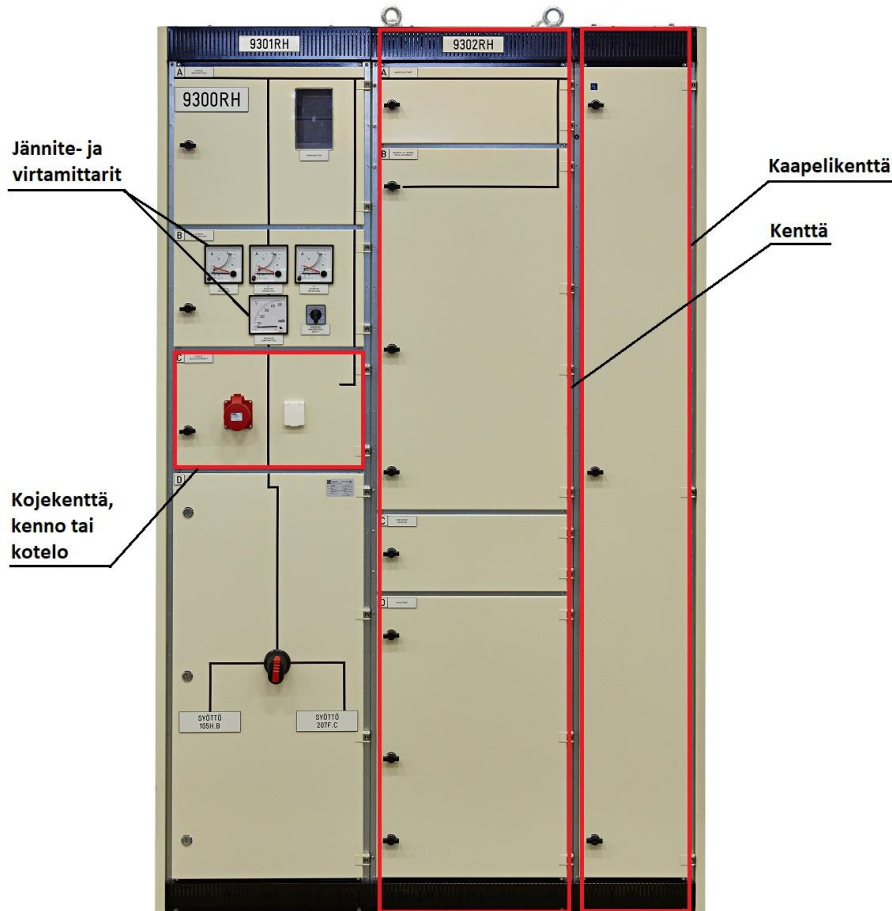
Hyvin turvallinen ja helppo toteutustapa, on keskukseen sijoitettava maadoituskytkin.

Kennokeskuksen runko valmistetaan modulaarisista toisiinsa liitettävistä metalliosista, jotka kootaan sokkelirakenteen päälle ja joiden osastointi tapahtuu kentillä ja kennoilla. Kentät (kuva 11) ovat rakenteessa pystysuuntaisesti rajattuja tiloja ja vaakasuuntaisesti rajattu kenttä muodostaa kojekentän, jota kutsutaan kennoksi (kuva 10 ja 11).



KUVA 10. Kenno/kojekenttä kansi avattuna

Kentässä on yksi tai useampia kenno, joissa voi olla syöttö- tai lähtöyksikkö ja tarvittaessa erilaisia komponentteja. Kennot saadaan kaapeloitua kaapelikenttien (kuva 11) kautta turvallisesti, vaikka keskuksessa olisi jännite. Kaapelikentissä voi olla myös lähtöyksikköjen tarvitsema PE-kisko. Kenttien ja kennojen väliset läpiviennit tehdään muovisten läpiviennitilaippojen kautta, jolloin kaapelien eriste ei ole kosketuksessa metallirunkoon. Keskuksat varustetaan kennokohtaisilla saranoiduilla ja tarpeen mukaan tiivistetyillä ovilla.

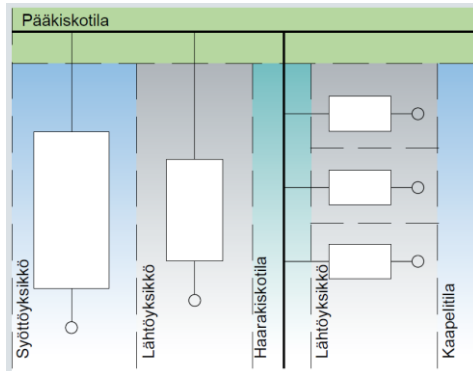


KUVA 11. Kennokeskus (UTU 2018b, muokattu)

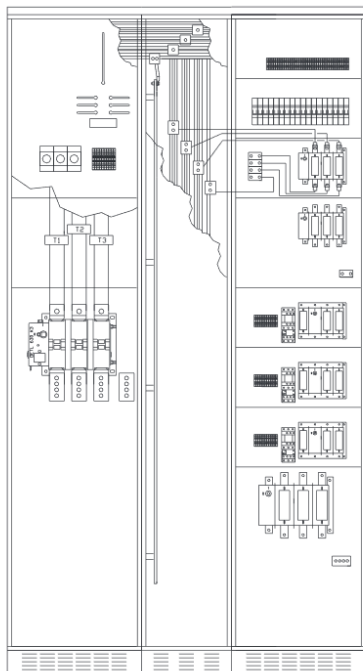
Syöttökentän kannesta löytyy pääkatkaisijan ohjauspaneeli tai kuormankytkimen kahva. Keskuksen kannessa voi olla myös jännite ja virtamittarit (kuva 11), jotta kuormitusta pystytään seuraamaan. Mittaus voidaan myös tehdä monitoimimittarilla, joka mittaa tarvittavat sähkösuureet. Tällainen mittalaite voidaan liittää esimerkiksi automaatiojärjestelmään.

Kennokeskuksen sähkönjakelu toteutetaan alumiinisilla tai kuparisilla virtakiskoilla. Syöttöyksikkö syöttää keskuksen vaakasuuntaisia kokoojakiskoja, joista ne yhdistetään

pystysuuntaisiin haarakiskoihin (kutsutaan myös pystykiskoiksi) ja niistä haaroitetaan johtimilla tai kiskoilla lähtöyksiköihin. Keskuksen runko muodostaa näille virtakiskoille oman erillisen syvyysuuntaisen tilansa, joka on osastoitu kojettilan taakse. Kiskotila voi muodostua, joko kahdesta tai yhdestä osasta (kuva 14). Mikäli keskus on mitoitettu isoille virroille, niin kokooja- ja haarakiskoille rakennetaan omat syvyysuuntaiset tilansa, kun taas pienemmille virroille riittää yksi yhteinen tila. Seuraavissa kuvissa on hahmotettu kennokeskuksen sisäistä osastointia.

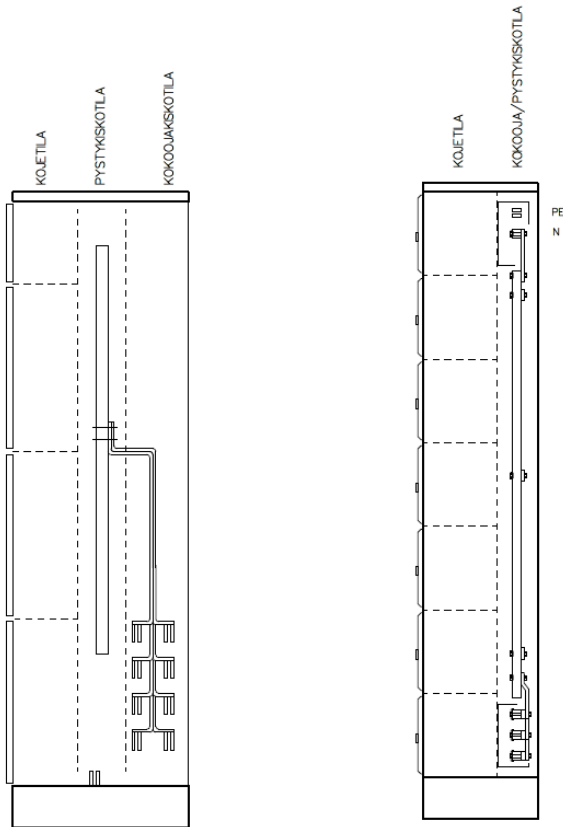


KUVA 12. Kennokeskuksen osastointi (UTU 2018a)



KUVA 13. Kennokeskus ovet auki (Norelco 2018)

Kuvassa 12 ja 13 on esitetty periaatteellisesti kennokeskuksen osastointi. Kuvista poiketen pääkisko- ja haarakiskotila sijaitsevat keskuksen takaosassa. Haarakiskot ovat yleensä kojettilan takana.



KUVA 14. Poikkileikkauskuva kennokeskuksista (Jonator 2017)



KUVA 15. Kojetilan ja kiskotilan osastointia

Kuvissa 14 ja 15 on kennokeskusten poikkileikkauskuvat, joista näkee hyvin virtakiskojen sijainnin.

Kennokeskuksissa on suurista virroista johtuen mahdollista syntyä valokaari ja siksi katorakenne tehdään niin, että valokaaripaine pääsee purkautumaan sieltä ulos (kuva 16).



KUVA 16. Valokaaripaineen purkautuminen (UTU 2018a)

Jotta valokaaripaine ei purkaudu keskuksen eteen täytyy kaikkien kansien olla lukittuna.

### 3.2 Kotelokeskus

Kotelokeskuksia (kuva 17) käytetään kiinteistökohteissa pää- ja nousukeskuksina sekä teollisuudessa nousu-, ala-, ilmastointi- ja erikoiskeskuksina. Ne voidaan asentaa seinäpintaa vasten telinerautojen varaan tai vapaasti seisovaksi rakenteeksi. Kotelokeskukset ovat kotelointiluokaltaan yleensä IP44, mutta tarpeen vaatiessa ne saadaan tiivistettyä perusratkaisuilla jopa IP55 asti.



KUVA 17. Tyypillinen kotelokeskus (POK 2018b)



Keskusten nimellisjännite on tarpeen mukaan, joko 400 tai 690 voltia ja niitä valmistetaan yleisesti 630 amperin nimellisvirralle saakka. Jotkin valmistajat rakentavat tarvittaessa niitä jopa yli 1000 amperiin saakka. Tällöin täytyy muistaa, että SFS 6002 edellyttää 1000 amperin ylittyessä keskuksen työmaadoitusmahdollisuuden.

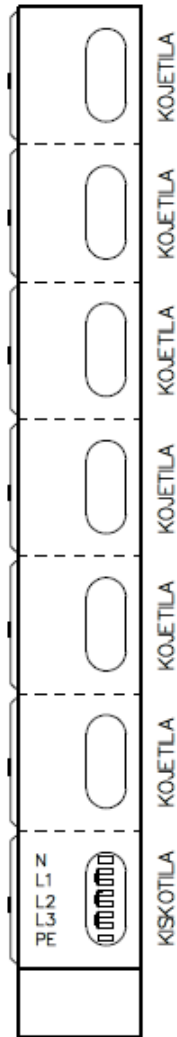
Kotelokeskus muistuttaa hyvin paljon ulkonäöllisesti kennokeskusta. Runko valmistetaan yhtä lailla modulaarisista toisiinsa liitettävistä metalliosista ja pystysuuntaisesti rajatuista kentistä (kuva 11), mutta kotelokeskuksessa vaakasuuntaiset rajaukset toteutetaan usein muovisilla tippusuojilla (kuva 18). Kentät ja tippusuojat muodostavat kojekentät, joita kutsutaan koteloksi (kuva 18).



KUVA 18. Kotelu/kojekenttä kansi avattuna

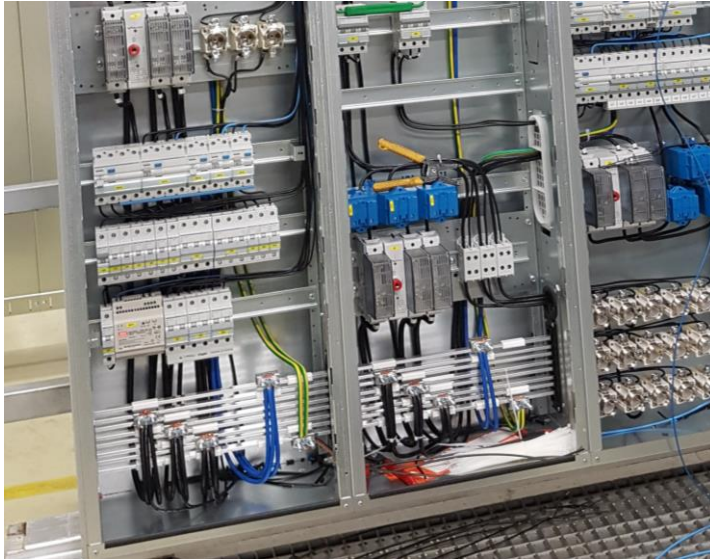
Kotelossa sijaitsee kennokeskuksen tapaan syöttö- tai lähtöyksikkö ja tarvittaessa erilaisia komponentteja. Kenttien väliset läpiviennit tehdään muovisten läpivientilaippojen kautta. Kotelot saadaan johdotettua takaseinää pitkin turvallisesti eri kenttien ja koteloiden välillä. Keskuksia varustetaan kotelokohtaisilla saranoiduilla ja tiivistetyillä ovilla. Syöttökentän kannesta löytyy pääkatkaisijan ohjauspaneeli tai kuormankytkimen kahva. Keskuksen kannessa voi olla myös jännite ja virtamittarit (kuva 11), jotta kuormitusta pystytään seuraamaan. Mittaus voidaan myös tehdä monitoimimittarilla, joka mittaa tarvittavat sähkösuureet. Tällainen mittalaite voidaan liittää esimerkiksi automaatiojärjestelmään.

Kotelokeskuksen sähkönjakelu toteutetaan alumiinisilla tai kuparisilla virtakiskoilla. Syöttöyksikkö syöttää keskuksen vaakasuuntaisia kokoojakiskoja (kuva 19 ja 20), joista ne haaroitetaan johtimilla lähtöyksiköille. Keskuksen runko muodostaa näille virtakiskoille oman erillisen tilansa keskuksen ylä- tai alapuolelle, syöttösuunasta riippuen.



KUVA 19. Poikkileikkaus kotelokeskuksesta (Jonator 2017)

Kuvassa 19 on kotelokeskuksen poikkileikkauskuva, josta näkee kiskotilan sijainnin.



KUVA 20. Kotelokeskus rakenteilla

Kuvasta 20 näkee, miten johdotukset on toteutettu kotelokeskuksissa. Tähän kuitenkin vielä lisätään yksiköiden väliset tippusuojat ja virtakiskojen osastointi.

### 3.3 Kehikkokeskus

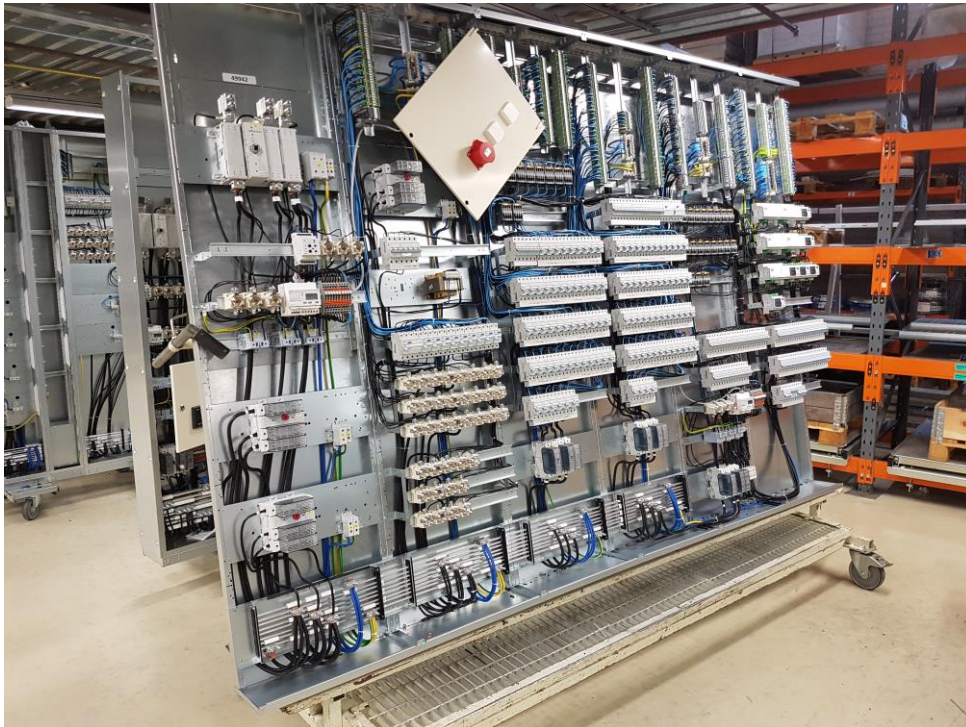
Kehikkokeskuksia (kuva 21) käytetään kiinteistökohteissa pää-, nousu- ja ryhmäkeskuksina sekä teollisuuskohteissa valaistus-, ilmastointi- ja erikoiskeskuksina. Ne voidaan asentaa suoraan seinäpintaa vasten ruuvikiinnityksellä. Vaihtoehtoisesti ne voidaan asentaa telineraudoilla seinää vasten, jos kyse on raskaammasta keskuksista. Kehikkokeskukset ovat kotelointiluokaltaan yleensä IP20, mutta tarpeen vaatiessa ne saadaan tiivistettyä perusratkaisuilla IP30 asti.



KUVA 21. Tyypillinen kehikkokeskus (POK 2018c)

Keskusten nimellisjännite on yleensä 400 voltia, mutta tarpeen vaatiessa se voidaan valmistaa isommalle jännitteelle. Nimellisvirraltaan kehikkokeskuksia valmistetaan yleisesti 630 amperiin asti, tosin jotkin valmistajat rakentavat tarvittaessa niitä jopa yli 1000 amperiin saakka. Tällöin täytyy muistaa, että SFS 6002 velvoittaa yli 1000 amperin keskuksiin työmaadoitusmahdollisuuden.

Kehikkokeskus valmistetaan modulaarisista toisiinsa liitettävistä metalliosista, joka koostuu pohjalevyistä, päätylevyistä ja suojaovista tai -kansista. Keskukseen muodostuu yksi tai useampi kenttä, mutta niitä ei ole osastoitu kenttä- eikä kojekohtaisesti vaan kaikki komponentit ovat samassa tilassa. Tämä nopeuttaa huomattavasti johdotusta, kun johtimia ei tarvitse viedä kenttäkohtaisesti läpivientien kautta vaan ne voi viedä suoraan takaseinää pitkin kojeelta kojeelle (kuva 22).



KUVA 22. Kehikkokeskus rakenteilla

Keskukset ovat ja kannet ovat saranoituja tai kokonaan irrotettavia (kuva 23).



KUVA 23. Kehikkokeskus kannet avattuna

IP-luokitus sallii käyttötoimenpiteitä vaativien kojeiden (esimerkiksi johdonsuojakatkaisijat ja vikavirtasuojat), asentamisen keskuksen niin, että niitä voidaan käyttää ilman kannen avausta.

Kehikkokeskuksen sähkönjakelu toteutetaan, keskuksen koosta riippuen, virtakiskoilla (kuva 24) tai haaroitusaluustoilla (kuva 25).



KUVA 24. Kehikkokeskuksen kokoojakiskot





KUVA 25. Kehikkokeskuksen haaroitusalusat

Isommalla nimellisvirralla varustetussa keskuksessa syöttöyksikkö syöttää keskuksen vaakasuuntaisia kokoojakiskoja, joista ne haaroitetaan johtimilla lähtöyksiköille. Pienemmän nimellisvirran omaavissa keskuksissa syöttöyksikkö syöttää haaroitusalusastoja, joista ne johdotetaan lähtöyksiköille. Kokoojakiskon omaavissa keskuksissa näille virtakiskoille tehdään oma erillinen tilansa keskuksen ylä- tai alapuolelle, syöttösuunasta riippuen.

## 4 VERTAILU

Keskusta käyttökohteeseen valitessa on hyvä tietää sen ominaisuuksia sekä hyviä ja huonoja puolia, siksi niitä on yritetty tässä luvussa taulukoida sähkösuunnittelijoita varten. Ison ongelman kuitenkin tuottaa se, että monella valmistajalla on hieman erilaisia valmistustapoja ja määritelmiä eri keskustyypeille. Esimerkiksi keskuksen leveys- ja korkeusmitat poikkeavat valmistajakohtaisesti niin paljon, että niitä ei kannata vertailla. Siksi suunnittelijan kannattaakin varmistaa aina suoraan keskusvalmistajalta tarkat tiedot tilattavasta keskuksista. Taulukoissa 7-16 on esitetty suuntaa antavasti kenno-, kotelo ja kehikkokeskusten ominaisuuksia.

TAULUKKO 7. Keskusten käyttökohteita

	<b>Käyttökohteet</b>
Kennokeskus	Teollisuudessa pää-, nousu ja alakeskuksina, moottorien ohjauskeskuksina tai näiden yhdistelminä, voidaan käyttää myös kiinteistöjen pääkeskuksina.
Kotelokeskus	Kiinteistökohteissa pää- ja nousukeskuksina sekä teollisuudessa nousu-, ala-, ilmastointi- ja erikoiskeskuksina.
Kehikkokeskus	Kiinteistökohteissa pää-, nousu- ja ryhmäkeskuksina sekä teollisuuskohteissa valaistus-, ilmastointi- ja erikoiskeskuksina.

TAULUKKO 8. IP-luokitus

	<b>IP-luokitus</b>	
	Vakiona	Saavutettavissa perusratkaisuilla
Kennokeskus	31	55
Kotelokeskus	44	55
Kehikkokeskus	20	30

TAULUKKO 9. Nimellisvirrat

	<b>Nimellisvirta</b>
Kennokeskus	<5000 A
Kotelokeskus	<630 (1000) A
Kehikkokeskus	<630 (1000) A

TAULUKKO 10. Keskusten syvyys

	<b>Keskuksen koko syvyys suunnassa</b>
Kennokeskus	>450 mm
Kotelokeskus	>180 mm
Kehikkokeskus	>100 mm

TAULUKKO 11. Osastointimuodot

	<b>Osastointimuoto</b>
	Vakiona
Kennokeskus	3/4
Kotelokeskus	3
Kehikkokeskus	2

TAULUKKO 12. Kiinnitys

	<b>Kiinnitys</b>
Kennokeskus	Sokkeli
Kotelokeskus	Tukiraidoilla seinälle tai sokkeli
Kehikkokeskus	Seinälle tukiraidoilla tai ilman

TAULUKKO 13. Lähtöyksiköt

	<b>Lähtöyksiköt</b>
Kennokeskus	Yksikkölähtöjä tai keskitettyjä lähtöjä
Kotelokeskus	Yksikkölähtöjä tai keskitettyjä lähtöjä
Kehikkokeskus	Keskitettyjä lähtöjä



TAULUKKO 14. Ulosvedettävät yksiköt

	<b>Ulosvedettävät yksiköt</b>
Kennokeskus	Onnistuu
Kotelokeskus	Joissain tapauksissa
Kehikkokeskus	Ei onnistu

TAULUKKO 15. Sähkönjakelu

	<b>Sähkönjakelu</b>
Kennokeskus	Virtakiskot, jotka erilleen osastoitu omaan syvyys-suuntaiseen tilaansa
Kotelokeskus	Virtakiskot, jotka erilleen osastoitu
Kehikkokeskus	Virtakiskot, jotka erilleen osastoitu tai haaroitus-alustat

TAULUKKO 16. Laajennettavuus

	<b>Laajennettavuus</b>
Kennokeskus	Onnistuu
Kotelokeskus	Onnistuu (vaikeampi)
Kehikkokeskus	Ei onnistu

Jos keskusta halutaan myöhemmin laajentaa, pitää valmistajan tietää asiasta ennen rakentamista. Tällöin keskus valmistetaan niin, että kaapelikuilu rakennetaan siihen reunaan, mistä halutaan jatkaa ja virtakiskot sijoitetaan helposti jatkettaviksi.

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kerätä tietoa sähkönjakelussa käytettävien pienjännitekeskusten rakenteista ja kertoa niiden ominaisuuksista. Aihe oli ajankohtainen, sillä näistä yleisimmin käytetyistä rakenteista, kenno-, kotelo- ja kehikkokeskuksista, löytyy päivitettyä tietoa hyvin niukasti. Sähkösuunnittelijan ammattitaitoa lisää huomattavasti, jos hän osaa työkohteessa hahmottaa keskuksen rakenteet ja sen tyypillisimmät ominaisuudet. On myös suunnitteluvaiheessa tärkeää osata valita oikea keskusrakenne kohteen mukaan.

Työssä lähdettiin liikkeelle tutustumalla keskusten standardeihin, joihin on tullut hieman muutoksia uusimman standardisarjan myötä. Suurin käytännön ero uudella standardisarjalla vanhaan verrattuna on niiden soveltaminen keskuksen rakentamiseen. Vanhassa sarjassa keskus voitiin rakentaa yhtä osaa käyttämällä, mutta uudessa pitää käyttää vähintään kahta osaa. Ensimmäisenä osassa on keskusten yleisvaatimukset ja toisessa on täydentäviä vaatimuksia, jotka riippuvat keskuksista tai käyttäjästä.

Standardien jälkeen perehdyttiin varsinaisiin keskusrakenteisiin. Se osoittautui työn suurimmaksi haasteeksi, sillä kirjallisuutta ei aiheesta ollut juurikaan saatavilla, eikä standardeissakaan oteta asiaan suuremmin kantaa. Ainoa järkevä vaihtoehto oli käydä tutustumassa rakenteisiin suoraan keskusvalmistajilla. Siitä kiitokset Jonator:lle ja UTU:lle, jotka suostuivat uhraamaan aikaansa rakenteiden läpikäymiseen ja opastettuun tehdaskierrokseen. Heiltä saatiin kallisarvoista tietoa työtä varten ja hyviä valokuvia rakenteilla olevista keskuksista.

Viimeisimpänä tehtiin taulukoita, joissa vertailtiin keskusten tyypillisimpiä ominaisuuksia. Taulukon tekemistä hankaloitti kuitenkin se, että kaikilla valmistajilla on usein hieman erilaisia ominaisuuksia ja vaatimuksia keskusten suhteen. Näistä tiedoista kuitenkin pyrittiin luomaan suuntaa antavia tutkimalla useita eri lähteitä. Taulukot auttavat sähkösuunnittelijaa päättämään minkä rakenteen omaava keskus kannattaa suunniteltavaan kohteeseen valita.

Työssä saatiin kasattua laaja tietopaketti yleisimpien keskuksen rakenteista, jonka vuoksi asetetut tavoitteet täyttyivät vähintäänkin hyvin.

## LÄHTEET

EEP. 2015. 4 Low Voltage Switchboard Partitioning Forms Defined By IEC 61439-2. Electrical engineering portal. Luettu 20.4.2018. <http://electrical-engineering-portal.com/4-low-voltage-switchboard-partitioning-forms-defined-by-iec-61439-2>

Eidetec. 2017. Electrical Panel Installation Guide. Luettu 20.5.2018. <http://eidetec.com/electrical-panel-installation-guide>

Jonator. 2017. Rakennekuva. Sähköpostilla saatu materiaali. Vastaanotettu 14.5.2018.

Norelco. 2016. Kennokoteloitu keskusjärjestelmä. PDF-esite. Luettu 20.5.2018. <http://www.norelco.fi/wp-content/uploads/2016/03/NorPower1250-1.pdf>

POK. 2018a. Kennokeskukset. Luettu 20.5.2018. <http://www.pok.fi/products.php?catid=39>

POK. 2018b. Kotelokeskukset. Luettu 20.5.2018. <http://www.pok.fi/products.php?catid=38>

POK. 2018c. Kehikkokeskukset. Luettu 20.5.2018. <http://www.pok.fi/products.php?catid=37>

Promaint-lehti. 2014. Uusi standardi muuttaa sähköjakokeskusten valmistusta. Luettu 18.3.2011. <https://promaintlehti.fi/Laite-ja-korjaustekniikat/Uusi-standardi-muuttaa-sahkojakokeskusten-valmistusta>

SFS-käsikirja 640. 2016. Sähkökeskukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1. painos. SFS Helsinki.

SFS-6000-7-729. 2017. Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Jakokeskusten asentaminen. Pienjännitesähköasennukset. 2. painos. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

Sähköasennukset 2. 2013. Sähköinfo Oy. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 3. painos. Helsinki: Painokurki.

UTU. 2018a. Teollisuuden pienjännitekojeistot. PDF-esite. Luettu 20.5.2018. [https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/2018\\_teollpienjannite\\_n400\\_final.pdf](https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/2018_teollpienjannite_n400_final.pdf)

UTU. 2018b. Teollisuuden pienjännitekojeistot. Luettu 20.5.2018. <https://www.utu.eu/sahkokeskukset/teollisuuskojeistot>