



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Alexi Lepistö

UL 508A standardin vaatimukset ja soveltaminen pienjännitekeskuksissa

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö
Sähkötekniikan diplomityö
Energia- ja informaatiotekniikka, DI

Vaasa 2023

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö**

Tekijä:	Aleksi Lepistö		
Tutkielman nimi:	UL 508A standardin vaatimukset ja soveltaminen pienjännitekeskuksissa		
Tutkinto:	Diplomi-insinööri		
Oppiaine:	Sähkötekniikka		
Työn valvoja:	Kimmo Kauhaniemi		
Työn ohjaajat:	Anssi Litmanen ja Sami Hurin		
Työn tarkastaja:	Hannu Laaksonen		
Valmistumisvuosi:	2023	Sivumäärä:	75

TIIVISTELMÄ:

Tämä diplomityö on tehty VEO oy:lle. Tämän työn tarkoituksena on tehdä kirjallinen selvitys pienjännitekeskusten turvallisuusstandardin UL 508A vaatimuksista. Pienjännitekeskukset ovat tärkeä osa teollisuuden sähkönjakelu- ja automaatiojärjestelmiä, joten on tärkeää valmistaa ne alan turvallisuusstandardeja noudattaen. Tässä työssä keskitytään pienjännitekeskusten vaatimukseen Yhdysvalloissa, jossa kyseinen UL 508A standardi on yleisesti käytössä. Työn tavoitteena on selvittää pienjännitekeskusten viennin vaatimuksia Yhdysvaltojen markkinoille tutustumalla sen lakeihin, standardeihin ja organisaatioihin. Aihetta täydennetään myös yleisellä katsauksella teollisuuden prosessiohjaukseen sähkönjakelu- ja automaatiojärjestelmiin.

Työ on toteutettu kirjallisuuskatsauksena perustuen voimassa oleviin standardeihin, verkkosivuihin ja aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen. Työssä tuodaan esiin pienjännitekeskusten tärkeys teollisuuden laitoksissa ja luodaan ajankohtainen käsitys Yhdysvalloissa voimassa olevista laeista, keskeisistä standardeista ja organisaatioista pienjännitekeskuksiin liittyen. Organisaatioista työssä käsitellään eniten Underwriters Laboratoriesia, jonka luoma standardi UL 508A on ja joka voi antaa sertifiointin ja hyväksynnän standardin mukaiselle pienjännitekeskukselle. Työn pääpaino on UL 508A standardin vaatimuksissa ja niistä on nostettu esiin keskeisimmät vaatimukset, joihin tulee kiinnittää erityisesti huomiota keskuksien valmistuksessa. UL 508A standardia verrataan myös SFS-EN IEC 61439 standardisarjaan, joka on Suomessa käytössä oleva pienjännitekeskusstandardi.

Työn tuloksena on kattava selvitys pienjännitekeskusten valmistamiseen liittyvistä laeista, organisaatioista ja standardeista Yhdysvaltojen markkinoilla, pienjännitekeskusten merkityksestä teollisuuslaitoksissa ja UL 508A standardin keskeisimmistä vaatimuksista sekä sen keskeisistä eroista SFS-EN IEC 61439 standardisarjaan. Lait antavat yleiset vähimmäisvaatimukset sähkölaitteistojen turvallisuusvaatimuksille ja näiden lisäksi on luotu laitekohtaisia standardeja, joissa on yksityiskohtaisemmin kerrottu kyseiseltä laitteelta tai laitteistolta vaaditut ominaisuudet. Pienjännitekeskukset ovat tärkeä osa teollisuuslaitosten sähkönjakelu- ja automaatiojärjestelmiä, sillä niihin järjestelmien keskeiset komponentit ovat useimmiten sijoitettuina. UL 508A standardi on turvallisuusstandardi pienjännitekeskuksille ja se sisältää yksityiskohtaisia vaatimuksia keskusten valmistamiseen liittyen.

AVAINSANAT: UL 508A, pienjännitekeskus, teollisuus, Yhdysvallat, pienjännite, standardi, turvallisuus

Sisällys

1	Johdanto	8
1.1	Työn tausta ja tavoitteet	9
1.2	Työn tutkimuskysymykset, metodit ja rakenne	10
2	Yhdysvaltojen viranomaiset, organisaatiot, lait ja standardit pienjännitekeskuksiin liittyen	12
2.1	Yhdysvaltojen keskeiset lait, viranomaiset ja organisaatiot sähkölaitteiden valvonnassa	12
2.2	Pienjännitekeskuksiin liittyvä standardointi Yhdysvalloissa	16
2.3	Underwriters Laboratories	18
3	Pienjännitekeskusten rakenne ja toiminta osana teollisuuslaitoksia	23
3.1	Prosessinohjaus ja automaatiojärjestelmä	23
3.2	Teollisuuden sähköjakelu	27
3.3	Teollisuuden pienjännitekeskuksen yleinen rakenne ja toiminta	31
4	UL 508A standardin vaatimukset	39
4.1	Vaatimusten soveltaminen	40
4.2	Kaikkien pienjännitekeskusten rakenteeseen liittyen	40
4.2.1	Ilma- ja pintavälit	41
4.2.2	Eristävät esteet ja eristemateriaalit	44
4.2.3	Maadoitus	44
4.3	Koteloidut pienjännitekeskukset	46
4.3.1	Ovet	46
4.3.2	Kotelon aukotus	46
4.3.3	Ilmanvaihto ja koteloinnin sisäisen olosuhteen säätö	48
4.4	Komponentit	49
4.5	Pääpiirit	50
4.5.1	Kenttäkaapelointi	50
4.5.2	Sisäinen johdotus	51
4.5.3	Katkaisijat ja kytkimet	52

4.5.4	Haarapiirien suojaus	53
4.6	Apupiirit	54
4.6.1	Kenttäkaapelointi	54
4.6.2	Sisäinen johdotus	55
4.6.3	Rajoitetun energian pienjännitepiiri	57
4.6.4	Luokan 2 apupiiri	57
4.7	Syöttöpiirin mitoitus	58
4.8	Pienjännitekeskuksen merkinnät	58
5	UL 508A standardin ja SFS-EN IEC 61439 standardisarjan vertailu	59
5.1	SFS-EN IEC 61439 standardisarjan tausta ja sisältö	59
5.2	UL 508A standardin ja SFS-EN IEC 61439 standardisarjan keskeiset eroavaisuudet	61
6	Yhteenveto	65
	Lähteet	69
	Liitteet	71
	Liite 1. UL 508A standardissa mainitut laitestandardit	71
	Liite 2. UL 508A standardin mukaiset merkinnät ja niiden sijoittelu	74

Kuvat

Kuva 1.	NEC:n eri versioiden voimassaolo Yhdysvaltojen eri osavaltioissa tammikuussa 2023. (NFPA, 2023).	14
Kuva 2.	Yhdysvaltojen keskeiset viranomaiset, lait ja standardit pienjännitekeskusten valmistukseen liittyen sekä niiden keskinäiset yhteydet (Siemens, 2021, s. 32).	15
Kuva 3.	Havainnollistava kuva UL 508A, NFPA 79 ja NEC standardien soveltamisalueista teollisessa ympäristössä (Siemens, 2021, s. 40).	18
Kuva 4.	Erilaiset UL-listattu-merkit Yhdysvaltojen, Kanadan ja Yhdysvaltojen sekä Kanadan markkinoille (Underwriters Laboratories, 2023b).	19
Kuva 5.	Erilaiset UL-tunnistettu-merkit Yhdysvaltojen, Kanadan ja Yhdysvaltojen sekä Kanadan markkinoille (Underwriters Laboratories, 2023b).	21
Kuva 6.	Lohkokaavio suljetusta säätöpiiristä. Piirretty Mäkisen ja muiden (2009, s. 220) kirjan mukaisesti.	24
Kuva 7.	Havainnekuva keskitetystä, porrastetusta ja hajautetusta pienjännitejakelusta. Piirretty lähteen Mäkinen ja muut (2009, s. 31) pohjalta.	30
Kuva 8.	UL 508A standardin mukaisen terminologian kuvaus (UL 508A, 2018, s. 19).	32
Kuva 9.	UL 508A standardin mukainen pääpiirin jako syöttö- ja haarapiireihin (UL, 2018, s. 21).	33
Kuva 10.	UL 508A mukainen luokan 1 ja luokan 2 apupiirejä havainnollistava kuva (UL, 2018, s. 20).	34
Kuva 11.	Eräs pienjännitekaappikeskus (UL, 2023a).	35
Kuva 12.	Pakotetun ilmanvaihdon suuntaamisen ja ohjauslaitteiden käyttöalueiden poikkeus. Käännetty ja muokattu UL 508A (2018, s. 38) standardin kuvasta 21.1.	48

Taulukot

Taulukko 1. Enintään 600 V:n haara- ja apupiirien ilma- ja pintavälien minimipituudet. Koottu UL 508A (2018, s. 23–24) taulukon 10.1 mukaisesti.	42
Taulukko 2. 601–1000 V:n haarapiirien ilma- ja pintavälien minimipituudet. Koottu UL 508A (2018, s. 24) taulukon 10.1A mukaisesti.	43
Taulukko 3. Enintään 1000 V:n syöttöpiirien ilma- ja pintavälien minimipituudet. Koottu UL 508A (2018, s. 24) taulukon 10.2 mukaisesti.	43
Taulukko 4. Maadoitusjohtimien minimikoot. Taulukko koottu UL 508A (2018, s. 29) taulukon 15.1 mukaisesti.	45
Taulukko 5. Eri johdinkokojen virtakestoisuudet lämpötilan mukaan. Koottu UL 508A (2018, s. 46) taulukon 28.1 mukaisesti.	51
Taulukko 6. Kooltaan alle 14 AWG (2,1 mm ²) kenttäkaapeloinnin liittimen mitoitus ja mahdollisen merkinnän tarpeellisuus apupiirin virran mukaan. Koottu UL 508A (2018, s. 79) standardin taulukon 37.1 mukaisesti.	54
Taulukko 7. Apupiirin johtimien minimikoot piirin maksimivirran mukaan. Koottu UL 508A (2018, s. 80–81) standardin taulukon 38.1 mukaisesti.	56
Taulukko 8. Rajoitetun energian pienjännitepiirin suurin ylivirtasuojaus jännitteen mukaan. Koottu UL 508A (2018, s. 87) standardin taulukon 43.1 mukaisesti.	57
Taulukko 9. Yhteenveto tähän työhön nostetuista UL 508A standardin ja SFS-EN IEC 61439 standardisarjan keskeisistä eroista.	64

Lyhenteet

AC	Alternating current, vaihtovirta
AHJ	Authority having jurisdiction, toimivaltainen viranomainen
ANSI	American national standard institute, Yhdysvaltalainen yksityinen organisaatio, joka valvoo standardien kehittymistä
CCN	Category code number, UL:n luoma luokitusnumerointi eri komponenteille

CFR	Code of federal regulation, Yhdysvaltojen liittovaltion säännöstö
CSA	Canadian standards association, Kanadalainen standardiliitto
DC	Direct current, tasavirta
DCS	Distributed control system, hajautettu automaatiojärjestelmä
DOL	Department of labor, Yhdysvaltojen työministeriö
IEC	International electrotechnical comission, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
ISO	International organization for standardization, kansainvälinen standardisointiorganisaatio
NEC	National electrical code, kansallinen sähkösäännöstö
NFPA	National fire protection association, Yhdysvaltalainen paloturvallisuusjärjestö
NRTL	Nationally recognized testing laboratories, Yhdysvaltojen kansallisesti tunnistettu testauslaboratorio
OSHA	Occupational safety and health administration, Yhdysvaltojen työturvallisuus- ja työterveysvirasto
UL	Underwriters Laboratories, Yhdysvaltalainen yksityinen standardoimisorganisaatio ja kansallisesti tunnistettu testauslaboratorio

1 Johdanto

Yhteiskunnat ovat globaalisti yhä enenevässä määrin siirtyneet laajasti sähkölaitteiden käyttöön. Toimiva ja luotettava sähköenergian siirto ja jakelu ovat nyky-yhteiskuntien kulmakiviä. Myös teollisuuden eri prosessit ovat nykyisin suurelta osin ohjattu ja säädetty sähköisten toimilaitteiden, mittausten ja ohjainten avulla. Sähköiset toimilaitteet tarvitsevat sekä ohjauslaitteita että sähkönsyöttöä suojauksineen, jotta ne voivat toimia tarkoituksenmukaisesti.

Sähköjärjestelmiin liittyy kuitenkin vakavia turvallisuusriskejä ja sähköisku voi olla hengenvaarallinen. Suomessa Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) tilastoi sähkötapaturmia ja -paloja. Tukesin (2022) tilaston mukaan vuonna 2021 Suomessa tapahtui 503 sähköpaloa, joiden syttymisen aiheuttaneena energialähteenä oli sähkö. Näissä sähköpaloissa kuoli tilaston mukaan 11 henkilöä vuonna 2021. Sähkötapaturmia, eli sähköiskuja tai valokaarionnettomuuksia, tapahtui Suomessa vuonna 2020 Tukesin (2022) tilaston mukaan 676 kappaletta, joista sähköalan ammattilaisille tapaturmia sattui 168 kappaletta. Tilaston mukaan vuonna 2020 sähkötapaturmien seurauksena ei Suomessa kuollut kukaan, mutta niistä aiheutui jopa useiden päivien kestäneitä poissaoloja töistä. Vuoden 2021 alustavan tilaston mukaan sähkötapaturmissa on kuollut yksi henkilö. Tukes tähdentää verkkosivuillaan, että sähköalan ammattilaisten ja maallikoiden sähkötapaturmat sattuvat lähes aina alle 1000 V kojeistossa tai laitteella, eli pienjännitekeskuksissa tai -laitteilla.

Sähkö on siis vaarallista, joten sähköjärjestelmien turvallisuutta tulee säädellä ja valvoa. Eri valtioissa on säädetty sähkölaitteistojen turvallisuuteen liittyviä lakeja ja asetuksia, jotta voidaan valtiolliselta taholta määrittää oikeudellisesti sitovat vähimmäisturvallisuusvaatimukset sähkölaitteiden turvallisuudelle. Lainsäädännön lisäksi useat standardoimisorganisaatiot ovat luoneet ja kehittäneet sähköstandardeja, jotka kattavat lakia paremmin ja tarkemmin eri sähkölaitteiden ja -järjestelmien turvallisuuteen ja ominaisuuksiin liittyvät asiat. Eri yritykset, organisaatiot ja jopa valtiot velvoittavat yleensä näiden standardien noudattamista.

Yhdysvallat on Suomen tärkeä kauppakumppani. Tullin (2022) tilaston mukaan Suomen vienti Yhdysvaltoihin oli vuonna 2021 yli 4,5 miljardia euroa, joka oli 6,8 % Suomen kokonaisviennistä. Vuonna 2021 Yhdysvaltojen kanssa käydystä kaupasta kertyi Tullin mukaan kauppataseen ylijäämää jopa 2,3 miljardia euroa, mikä tekee Yhdysvalloista Suomen suurimman kaupan ylijäämämaan. Vuoden 2022 alustavien Tullin tilastojen mukaan Suomen tavaravienti Yhdysvaltoihin nousi tammi-kesäkuussa 42,7 % vuoden 2021 vastaavaan ajanjaksoon verrattuna.

Voidaan siis todeta, että Yhdysvallat on todella tärkeä kauppakumppani Suomen kansantaloudelle. Viennin edistämistä Yhdysvaltoihin pitää tukea. Tästä syystä tässä työssä keskitytään Yhdysvalloissa voimassa oleviin vaatimuksiin ja standardeihin pienjännitekeskuksille, jotta niiden vientiä Yhdysvaltoihin voidaan tehostaa ja lisätä.

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Tämä diplomityö on tehty yhteistyössä VEO oy:n kanssa. VEO oy on vaasalainen yritys, joka tarjoaa kansainvälisesti asiakkailleen monipuolisia sähköistys- ja automaattioratkaisuja. VEO oy:n pääkonttori ja kojeistotehdas sijaitsee Vaasassa, mutta sillä on toimipisteitä myös muualla Suomessa, Ruotsissa, Norjassa ja Yhdistyneessä kuningaskunnassa työllistäen noin 500 työntekijää (VEO, n.d.).

Tämän työn päätavoitteena on selvittää, mitä vaatimuksia on pienjännitekeskusten valmistamiselle ja myymiselle Yhdysvaltojen markkinoilla. Työn pääpaino on Pohjois-Amerikassa yleisesti käytössä olevan pienjännitekeskusten turvallisuusstandardin UL 508A vaatimuksissa. Pohjois-Amerikan markkinoiden sisällä on erilaisia käytäntöjä ja säädöksiä esimerkiksi Kanadan ja Yhdysvaltojen välillä. Tähän työhön on tarkoituksena kerätä UL 508A standardin keskeisimmät vaatimukset, jotka tulee huomioida pienjännitekeskusten valmistuksessa, jotta niitä voidaan hyväksytysti viedä Yhdysvaltojen markkinoille. Tässä työssä ei käsitellä Yhdysvaltojen lisäksi muita Pohjois-Amerikan markkina-alueita.

Työn tavoitteena on luoda kattava yhteenveto UL 508A standardin keskeisimmistä vaatimuksista, joita pienjännitekeskuksen suunnittelussa ja valmistuksessa tulee huomioida, kuitenkin menemättä standardin jokaiseen yksityiskohtaan. Pienjännitekeskukset ovat yleensä projektikohtaisesti räätälöityjä, joten jokaisen projektin yhteydessä tulee tarkastaa kyseistä toteutusta vastaavat vaatimukset voimassa olevasta virallisesta UL 508A standardista.

Tämän työn pohjalta tullaan myöhemmin luomaan pienjännitekeskusten suunnitteluohjelmaan UL 508A standardin mukaiset standardipohjat erityyppisille useimmiten käytössä oleville teollisuuden pienjännitekeskusratkaisuille, jotta Pohjois-Amerikkaan suuntautuvien projektien toteutus tulee helpottumaan. VEO oy:n sisäisiä prosesseja tai nykyisiä pienjännitekeskustoteutuksia ei käsitellä tässä työssä. Työssä esitellyt kuvat ja piirikaaviot eivät ole osia todellisista käynnissä olevista projekteista.

1.2 Työn tutkimuskysymykset, metodit ja rakenne

Tämän työn tutkimuskysymykset liittyvät pääasiassa teollisuuden pienjännitekeskusten viennin mahdollistamiseen Pohjois-Amerikkaan, tarkemmin sanottuna Yhdysvaltoihin.

Työn tutkimuskysymykset ovat:

- Mitkä lait ja standardit ovat käytössä Yhdysvalloissa teollisuuden pienjännitekeskuksille?
- Mikä on UL 508A standardin mukainen pienjännitekeskus ja mikä merkitys pienjännitekeskuksilla on teollisuuslaitoksissa?
- Mitkä ovat UL 508A standardin keskeisimmät vaatimukset?
- Mitkä ovat UL 508A standardin ja SFS-EN IEC 61439 standardisarjan keskeisimmät erot?

Tämä työ on kirjallisuuskatsaus. Pääasiallisena lähteenä on käytetty UL 508A standardin kolmatta painosta vuodelta 2018, mutta myös muita aihetta tukevia lähdeaineistoja on

käytetty, kuten eri organisaatioiden verkkosivustoja, SFS-EN IEC 61439 standardisarjaa ja muuta aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Englanninkielisen UL 508A standardin termistöä tulkittaessa suomen kielelle tätä työtä varten on käytetty apuna SFS-EN 61439-1 (2022, s. 10–27) standardin *termit ja määritelmät* -lukua, josta on etsitty lähin vastaava käännös eri asioille. Esimerkiksi UL 508A standardin keskeisin englanninkielinen termi *industrial control panel* on käännetty tässä työssä *pienjännitekeskukseksi*.

Tämän työn luvussa 2 käsitellään Yhdysvalloissa käytössä olevia vaatimuksia liittyen teollisuuden pienjännitekeskuksiin esitellen eri viranomaiset, organisaatiot, lait ja standardit, jotka liittyvät teollisuuden pienjännitekeskuksiin. Luvussa 3 kuvataan teollisuuden pienjännitekeskusten yleistä toimintaa osana teollisuuslaitoksia ja rakennetta UL 508A standardin määritelmien mukaisesti. Luku 4 on tämän työn keskeisin luku, sillä siinä tarkastellaan UL 508A standardin vaatimuksia. Standardin vaatimuksista nostetaan esiin keskeisimmät asiat, joihin tulee pienjännitekeskuksen suunnittelussa kiinnittää erityisesti huomiota. Luvussa 5 tehdään lyhyt vertailu Pohjois-Amerikassa käytetyn UL 508A standardin ja SFS-EN IEC 61439 standardisarjan välillä, joka on IEC standardien lähin vastaava UL 508A standardille. Jokainen luvusta 2–5 pyrkii vastaamaan yhteen tutkimuskysymykseen. Lopuksi luvussa 6 on yhteenveto tästä tutkimuksesta, jossa kiteytetään tutkimuksen tulokset ja todetaan, saavutettiinko tutkimustavoitteet.

2 Yhdysvaltojen viranomaiset, organisaatiot, lait ja standardit pienjännitekeskuksiin liittyen

Tässä luvussa käsitellään Yhdysvaltojen keskeisimpiä viranomaisia, organisaatioita, lakeja ja standardeja, jotka liittyvät sähkölaitteisiin ja -asennuksiin. Näistä toimijoista esitellään sellaiset, joiden toimialueisiin kuuluu tämän työn keskeisin aihe, eli teollisuuden pienjännitekeskusten rakenteeseen, toimintaan ja valmistamiseen liittyvät vaatimukset.

Luvun tarkoitus on luoda työn lukijalle ymmärrys Yhdysvalloissa toimivien sähkötekniikkaan liittyvien organisaatioiden, lakien ja standardien keskinäisistä yhteyksistä sekä niiden asemista toisiinsa nähden. Luvussa keskitytään tarkemmin tämän työn keskeisimpään organisaatioon eli Underwriters Laboratoriesiin (UL), sen asemaan ja sen tuottamiin sertifiointeihin ja standardeihin. Työn lukijalle pyritään tuomaan esille UL standardien tärkeys näiden eri organisaatioiden ja standardien joukossa.

2.1 Yhdysvaltojen keskeiset lait, viranomaiset ja organisaatiot sähkölaitteiden valvonnassa

Tässä alaluvussa käydään läpi Yhdysvaltojen keskeisimmät lait, viranomaiset ja organisaatiot sähkölaitteiden valvonnassa ja niitä koskevat säädökset. Alaluvun tarkoitus on luoda lukijalle yleiskuva eri viranomaisten ja organisaatioiden toiminnasta sekä keskeisimmistä laeista ja säädöksistä, jotka koskevat pienjännitekeskusten valmistusta ja vientiä Yhdysvaltoihin.

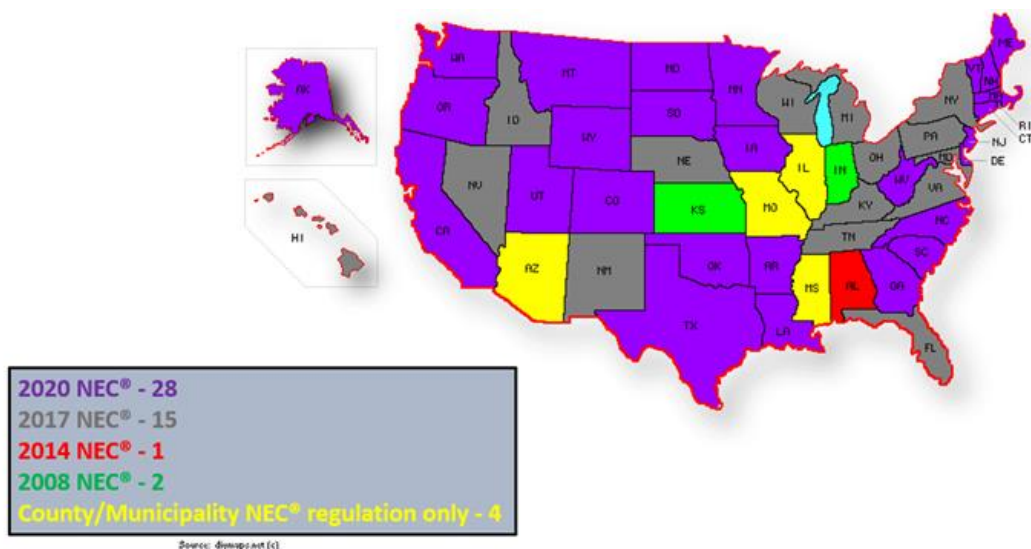
Yhdysvallat on Pohjois-Amerikassa sijaitseva liittovaltio. Liittovaltion hallituksen alaisuudessa toimii työministeriö (eng. department of labor, DOL), jonka osana toimii työturvallisuus- ja työterveyshallinto (eng. occupational safety and health administration, OSHA). OSHA antaa sitovat lakisääteiset työturvallisuusmääräykset, jotka ovat osana liittovaltion säännöstöä (eng. code of federal regulations, CFR). Nämä ovat

vähimmäisvaatimuksia ja ne sitovat kaikkia liittovaltion osavaltioita. Osavaltioiden omat lait voivat olla liittovaltion lakeja tiukempia. (Siemens, 2021, s. 28).

Useat tuotteet ovat Yhdysvalloissa liittovaltion säännösten alaisia. Liittovaltion säännöstö on liittovaltion laki ja joissain tapauksissa se edellyttää tuotteiden hyväksyntää ennen markkinoille tuloa. Liittovaltion säännösten CFR artikla 29, luku 1910, alaluku S koskee sähköisiä järjestelmiä. OSHA edellyttää myös tiettyjen sovellusten yhteydessä, että kaikki sähkölaitteet ovat kansallisesti tunnistettujen koestuslaboratorioiden (eng. nationally recognized testing laboratories, NRTL) hyväksymiä. OSHA:n yksi tehtävistä on myös sertifioida näitä kansallisesti tunnistettuja koestuslaboratorioita ja vain hyväksytty koestuslaboratorio voi hyväksyä ja sertifioida sähkölaitteita ja -järjestelmiä. (Siemens, 2021, s. 30).

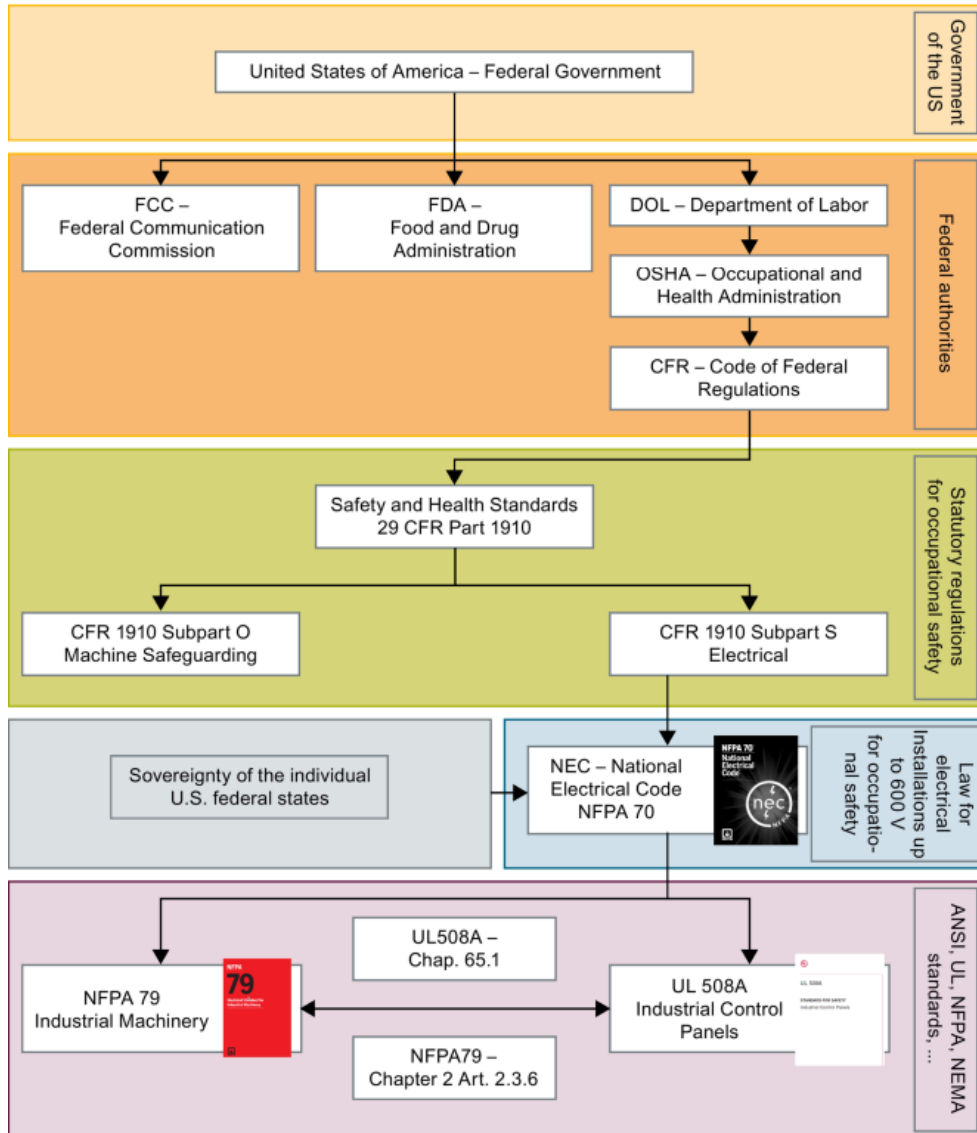
Osavaltioissa paikalliset toimivaltaiset viranomaiset (eng. authority having jurisdiction, AHJ) ovat vastuussa standardien ja lakien seurannasta ja täytäntöönpanosta laitteiden, materiaalien ja järjestelmien sertifiointissa. Viranomaiset ovat ulkoistaneet tämän laitteiden koestuksen ja sertifiointin kolmansille osapuolille, kansallisesti hyväksytyille koestuslaboratorioille, jotka tarjoavat koestus- ja sertifiointipalveluita sähkölaitteille. Tunnetuin kansallisesti hyväksytty koestuslaboratorio, joka tarjoaa koestus- ja sertifiointipalveluita, on Underwriters Laboratories (UL). (Siemens, 2021, s. 30).

Siemensin (2021, s. 33) oppaan mukaan sähköasennuksien valvonnassa käytetään yleisesti kansallisen sähkösäännösten (eng. national electrical code, NEC), eli ANSI/NFPA 70 standardin, vaatimuksia. NEC ei itsessään ole liittovaltion laki, mutta se on National fire protection associationin (NFPA) (2023) verkkosivujen mukaan otettu käyttöön osavaltioiden tasolla. Eri osavaltiot käyttävät eri versioita NEC:stä kuvan 1 mukaisesti.



Kuva 1. NEC:n eri versioiden voimassaolo Yhdysvaltojen eri osavaltioissa tammikuussa 2023. (NFPA, 2023).

Kuten kuvassa 1 on nähtävissä, kaikilla Yhdysvaltojen osavaltioilla ei ole voimassa uusin NEC. Jotkut osavaltiot käyttävät vanhempia versioita NEC:stä ja kuvan 1 mukaan neljässä osavaltiossa NEC:iä ei ole osavaltiotasolla otettu käyttöön, vaan lääni- ja kuntatasolla. Tässä alaluvussa on esitelty pääpiirteittäin Yhdysvaltojen valvovat viranomaiset, liittovaltiotason lait ja osavaltioiden omat vaatimukset sähkölaitteiden valmistukseen ja myyntiin liittyen. Siemens (2021, s. 32) on kerännyt pienjännitekeskuksiin liittyvät eri tahot ja säädökset graafiseen koontiin, josta viranomaisten, lakien, organisaatioiden ja standardien keskinäiset suhteet näkyvät. Tämä graafi on esitettyä kuvassa 2.



Kuva 2. Yhdysvaltojen keskeiset viranomaiset, lait ja standardit pienjännitekeskusten valmistukseen liittyen sekä niiden keskinäiset yhteydet (Siemens, 2021, s. 32).

Kuten edellä esitetystä käy ilmi, Yhdysvalloissa lait ja vaatimukset sähkölaitteiden valmistukselle, toiminnalle ja testaukselle vaihtelevat osavaltioittain käytössä olevien lakien ja asetusten mukaisesti. Pienjännitekeskusten viennissä Yhdysvaltoihin onkin hyvä olla tietoinen juuri sillä hetkellä voimassa olevista laeista ja vaatimuksista. On myös huomioitava, että asiakkailta voi olla sähkölaitteille ja -järjestelmille käytössään tiukemmat standardit, kuin lainsäädännössä vaaditaan. Yhdysvalloissa yleisesti käytetyistä standardeista on kerrottu lisää seuraavassa alaluvussa.

2.2 Pienjännitekeskuksiin liittyvä standardointi Yhdysvalloissa

Tämän alaluvun tarkoitus on tuoda lukijalle ilmi standardien keskeinen tarkoitus ja tavoite. On tärkeä ymmärtää, miksi standardeja luodaan ja kehitetään jatkuvasti. Alaluvussa esitellään myös muutamat keskeiset standardoimisorganisaatiot, jotka toimivat Yhdysvalloissa ja jotka liittyvät pienjännitekeskusten valmistamiseen. Tarkoituksena on korostaa eri standardoimisorganisaatioiden tekemää yhteistyötä ja standardien yhtenevyyttä.

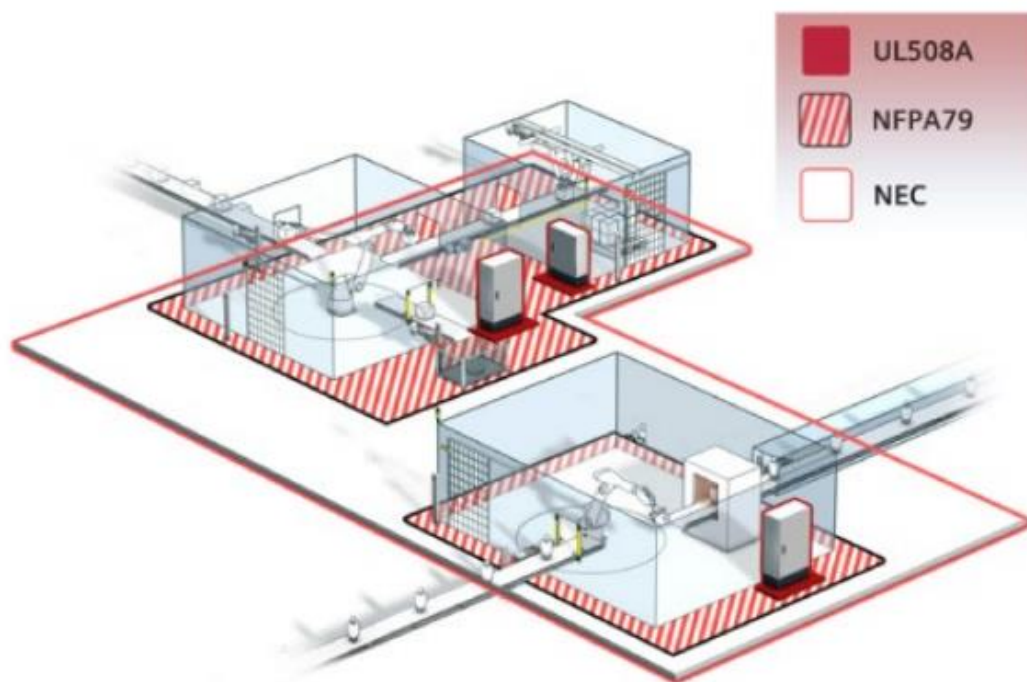
Suomen standardoimisliitto SFS ry (n.d.) määrittelee verkkosivuillaan standardien olevan julkaisuja, joihin on kirjattu eri tahojen yhteisesti sovitut vaatimukset, suositukset tai ominaisuudet tuotteille, niiden valmistukselle tai testaukselle. Standardeja on myös määritelty palveluille ja järjestelmille. Heidän mukaansa standardien käyttäminen on vapaaehtoista, mutta viranomaiset voivat suositella niiden käyttöä ja organisaatiot voivat edellyttää alihankintaketjuiltaan standardien noudattamista. Standardit parantavat heidän mielestään yhteensopivuutta ja turvallisuutta, mikä vähentää yllätyksiä ja riskejä sekä helpottaa ja sujuvoittaa toimintaa. He mainitsevat myös, että osa standardeista liittyvät läheisesti toisiinsa muodostaen standardisarjoja.

American national standard institute (ANSI) on Siemensin (2021, s. 25) oppaan mukaan yksityinen voittoa tavoittelematon teollisten käytänteiden standardointiorganisaatio Yhdysvalloissa. Oppaan mukaan ANSI on kansainvälisen standardointi organisaation (eng. international organization for standardization, ISO) jäsen. Sen tarkoituksena on olla Yhdysvaltojen äänenä standardointijärjestelmässä ja vahvistaa Yhdysvaltojen taloutta globaaleilla markkinoilla. Samaan aikaan ANSI pyrkii oppaan mukaan edistämään kuluttajien terveys- ja turvallisuusasioita sekä ympäristönsuojelua seuraamalla kehitystä, julkaisuja ja tuhansien standardien ja direktiivien käyttöä. Oppaassa kerrotaan, että ANSI toimii lähes kaikilla toimialoilla, mukaan lukien sähkönjakelu, rakennuskoneet, elintarviketuotanto ja useat muut toimialat.

Siemensin (2021, s. 25) oppaan mukaan ANSI ei itse laadi standardeja vaan arvioi ja sertifioi yksityisten standardoimisorganisaatioiden, kuten UL ja NFPA, laatimia standardeja. ANSI:n (2023) verkkosivuilla he mainitsevat tarjoavansa puitteet oikeudenmukaisten standardien kehittämiseksi ja laadun arviointimenetelmille kokoamalla yhteen yksityisen ja julkisen sektorin asiantuntijat ja sidosryhmät. ANSI:n sertifioimia pienjännitekeskuksiin liittyviä standardeja ovat Siemensin (2021, s. 25) oppaan mukaan esimerkiksi sähköasennuksiin liittyvä ANSI/NFPA 70 eli NEC, turvallisuusmerkintöihin ja -symboleihin liittyvä ANSI/NEMA Z535 ja pienjännitekeskusten standardi ANSI/UL 508A, jonka kolmas painos on ollut ANSI-standardi vuodesta 2018 lähtien ja on myös tämän työn keskeinen tutkimuskohde.

Kuten aiemminkin mainittu, standardit eivät ole Yhdysvalloissa lain nojalla pakollisia noudattaa, mutta tähän poikkeuksena on ANSI/NFPA 70 eli NEC, joka on pienjänniteasennuksille sovellettu säännös ja se on määrätty noudatettavaksi osavaltioiden lailla (Siemens, 2021, s. 33). NFPA 70 (2017, s. 265) standardin eli NEC:n artiklassa 409 mainitaan, että UL 508A standardi on pienjännitekeskusten turvallisuusstandardi. Tämän vuoksi tässä työssä on keskeisessä osassa juuri UL 508A standardi.

Yhdysvalloissa toimivista standardoimisorganisaatioista ja niiden toiminnasta voi nostaa esiin niiden vahvan yhteyden toisiinsa. Standardeissa viitataan usein muihin alan standardeihin. Siemensin (2021, s. 40) oppaassa tuodaan myös esiin NEC:n artikla 409, jossa viitataan UL 508A standardiin pienjännitekojeistojen turvallisuusstandardina. NEC:n artiklassa 670 taas viitataan NFPA 79 standardiin, joka on suunnattu teollisiin koneisiin. UL 508A ja NFPA 79 ovat oppaan mukaan päällekkäisiä monissa teknisissä aiheissa ja ovat jopa identtisiä useissa tapauksissa. Kuvassa 3 on esitettyinä näiden kolmen keskeisen standardin käyttökohteita teollisessa ympäristössä.



Kuva 3. Havainnollistava kuva UL 508A, NFPA 79 ja NEC standardien soveltamisalueista teollisessa ympäristössä (Siemens, 2021, s. 40).

Kuvan 3 mukaisesti NEC on siis yleisesti käytetty pienjännitesähköasennuksiin liittyvä standardi ja se on osavaltioittain laissa määrätty käytettäväksi. NFPA 79 taas on käytössä teollisille koneille ja UL 508A on teollisuuden pienjännitekeskusten standardi. Tässä työssä keskitytään UL 508A standardiin. UL:llä on myös laaja kirjo erilaisia laitestandardeja, joihin viitataan UL 508A standardissa. Tällaisia standardeja ovat UL 508A (2018, s. 49–50) standardin mukaan esimerkiksi pistotulppien ja -rasioiden standardi UL 498 ja joustavien johtimien ja kaapelien standardi UL 62. UL 508A standardin liitteessä A luetellut laitestandardit on esitetty tämän työn liitteessä 1.

2.3 Underwriters Laboratories

Tässä aluvussa keskitytään Underwriters Laboratoriesiin (UL) organisaationa ja sen tuottamiin sertifiointipalveluihin. Aluvussa käsitellään UL:n toimintaa ja merkitystä yleisesti ja pienjännitekeskuksiin liittyen. Aluvun tarkoituksena on luoda työn lukijalle ymmärrys UL:n toiminnasta ja merkityksestä sähköisten komponenttien ja sähkölaitteiden ja -järjestelmien turvallisuusstandardoinnista Yhdysvaltojen markkinoilla.

Kuten aiemmin jo todettu, UL on OSHA:n sertifioima kansallisesti tunnistettu koestuslaboratorio (NRTL), joka voi hyväksyä ja sertifioida sähkölaitteita ja -järjestelmiä niin, että niitä voidaan käyttää Yhdysvalloissa. Siemensin (2021, s. 24) oppaassa mainitaan, että UL on itsenäinen organisaatio, joka tarkastaa ja sertifioi tuotteita niiden turvallisuuden perusteella ja laatii merkittäviä ja tarpeellisia standardeja useille komponenteille ja järjestelmille. Oppaan mukaan UL testaa tuotteita, materiaaleja, komponentteja ja järjestelmiä, ja jos ne täyttävät UL:n omien tai muiden hyväksytyjen standardien vaatimukset, ne saavat UL-sertifikaatin ja UL-merkin. UL-merkkejä on erilaisia. Siemensin (2021, s. 46) oppaan ja UL:n (2023b) verkkosivun mukaan UL-merkityt tuotteet voidaan jakaa kahteen pääkategoriaan, jotka ovat UL-listatut (eng. UL-listed) ja UL-tunnistetut (eng. UL-recognized) tuotteet.

UL-listatut tuotteet ovat UL:n (2023b) verkkosivujen mukaan tuotteita, jotka täyttävät UL-vaatimukset. UL-listattu-merkintä nähdään heidän mukaansa komponenteissa ja tuotteissa, jotka soveltuvat käyttöön sellaisenaan tehdas- ja kenttäasennuksiin. Siemensin (2021, s. 47) oppaassa mainitaan myös UL-listattujen laitteiden olevan kokonaisuuksia, jotka voidaan asentaa ja käyttää sellaisenaan ilman erillistä ohjeistusta. Myös UL-listattu-merkkejä on erilaisia ja kuvassa 4 on esitettyinä muutama erilainen UL-listattu-merkki.



Kuva 4. Erilaiset UL-listattu-merkit Yhdysvaltojen, Kanadan ja Yhdysvaltojen sekä Kanadan markkinoille (Underwriters Laboratories, 2023b).

Kuten kuvasta 4 nähdään, Yhdysvaltojen ja Kanadan markkinoille on olemassa erilaiset merkinnät UL-listatuissa tuotteissa. Pelkästään Yhdysvaltojen markkinoille UL-listatuissa tuotteissa on kuvassa 4 esitetty vasemmanpuoleisin UL-merkki. Keskimäinen UL-listattu-merkki on pelkästään Kanadan markkinoille hyväksytty, jonka tunnistaa merkin vasemmalla reunassa olevasta C-kirjaimesta. Oikean puolimmainen merkki on sekä Kanadan että Yhdysvaltojen markkinoille hyväksytty ja sen tunnistaa C- ja US-kirjaimista. UL-listattu-merkkejä on vielä useita muitakin erilaisia, mutta niitä ei tässä työssä esitellä. (Underwriters Laboratories, 2023b).

Koska pienjännitekeskusvalmistajat valmistavat yleensä useita erilaisia pienjännitekeskusvariaatioita, jotka ovat projektikohtaisesti räätälöityjä, on UL ottanut käyttöön pienjännitekeskusvalmistaja -ohjelman (UL, 2023a). Ohjelma mahdollistaa UL:n mukaan pienjännitekeskusten valmistajille tuotteisiinsa UL-hyväksynnän ja UL-listattu-merkin joustavasti ilman, että jokainen pienjännitekeskusvariaatio tulee erikseen tarkastaa standardin mukaiseksi. UL:n mukaan tähän ohjelmaan osallistuakseen pienjännitekeskusten valmistajien on suoritettava pakollinen UL 508A koulutus ja ylläpidettävä henkilöstön pätevyyttä standardin vaatimuksista. Jokaisessa valmistuspaikassa tulee olla vähintään yksi UL 508A pätevyyden hankkinut valmistajan tekninen edustaja, joka pystyy tulkitsemaan ja soveltamaan standardin vaatimuksia. Siemensin (2021, s.42) oppaassa mainitaan myös, että tämänkaltainen UL-hyväksyntä edellyttää keskusteltaalla suoritettavia tarkastuksia, joissa UL:n tarkastaja tarkastaa sillä hetkellä tuotannossa olevien tuotteiden UL 508A standardin mukaisuuden. Oppaan mukaan pienjännitekeskusvalmistaja maksaa tällaisesta UL-hyväksynnästä vuosittaista maksua sekä lisäksi jokaisesta tarkastuksesta aiheutuneet maksut.

UL-tunnistettu-merkintää ei UL:n (2023b) verkkosivujen mukaan tavallinen kuluttaja usein näe, sillä UL-tunnistettu-merkillä varustetut komponentit ovat usein osa suurempaa kokonaisuutta, jolla on oma UL-listattu-merkki. UL-tunnistetuilla komponenteilla voi olla verkkosivun mukaan rajoituksia niiden toiminnassa tai niiden rakenne on keskeneräinen. Tällaiset komponentit ovat UL:n verkkosivujen mukaan

tarkoitettuja asennettavaksi toisiin laitteisiin, järjestelmiin tai lopputuotteisiin. Ne on asennettava tehtaalla ja niiden käyttöön saattaa vaikuttaa rajoituksia, mutta UL-tunnistettu-merkittyjen komponenttien käyttö voi sujuvoittaa lopullisen tuotteen UL-hyväksyntää ja UL-listattu-merkin saamista. Siemensin (2021 s. 48) oppaassa mainitaan myös UL-tunnistettujen komponenttien olevan vain osa lopputuotetta, jolle voi saada UL-hyväksynnän. Muutama UL-tunnistettu-merkeistä on esiteltyä kuvassa 5. UL-tunnistettu-merkeissä maiden väliset erot näkyvät samalla tavalla, kuin UL-listattu-merkeissä.



Kuva 5. Erilaiset UL-tunnistettu-merkit Yhdysvaltojen, Kanadan ja Yhdysvaltojen sekä Kanadan markkinoille (Underwriters Laboratories, 2023b).

UL-hyväksytyt (listattuja tai tunnistettuja) komponentteja ei voi kuitenkaan Siemensin (2021, s.48–49) oppaan mukaan asentaa automaattisesti pienjännitekeskukseen. Oppaan mukaan kutakin komponenttia saa käyttää vain sille tarkoitettussa toiminnossa tuoteluokkien mukaisesti. Tuoteluokkaa ei välttämättä näe yksiselitteisesti käytössä olevasta UL-merkistä, joten UL on ottanut oppaan mukaan käyttöön *category code numberin* (CCN), joka on neljän kirjaimen ja mahdollisesti lisänumeron muodostama tunnistekoodi. Tämä tunnistekoodi kertoo oppaan mukaan komponentin tuoteluokan. Esimerkiksi koodi NITW tarkoittaa UL-listattua pienjännitekeskusta, joka täyttää UL 508A vaatimukset Yhdysvaltojen markkinoille ja jonka on valmistanut UL:n pienjännitekeskusvalmistaja -ohjelmaan kuuluva valmistaja. NITW7 taas on saman tuoteluokan hyväksytyt tuotteet Kanadan markkinoille. Kaikki UL-hyväksytyt tuotteet ja niiden sertifikaatit ovat listattuna UL:n tietokannassa, johon pääsee heidän verkkosivuiltaan.

Underwriters Laboratories on siis yksityinen organisaatio, joka on kansallisesti tunnistettu koestuslaboratorio (NRTL) ja voi hyväksyä ja sertifioida sähkölaitteita ja -järjestelmiä. UL-hyväksytyt tuotteet saavat joko UL-listattu tai UL-tunnistettu-merkin. UL-listatut tuotteet ovat sellaisenaan käytettävissä osana suurempaa järjestelmää, esimerkiksi pienjännitekeskuksia. UL-tunnistettu-merkillä varustetut tuotteisiin voi liittyä rajoituksia tai niiden rakenne ei ole itsessään UL:n vaatimuksia täyttävä, mutta sellaisten komponenttien käyttö voi sujuvoittaa lopputuotteen UL-hyväksynnän saamista. Täytyy kuitenkin huomioida, että lopputuotteessa käytetyt komponentit ovat hyväksytyjä juuri siihen käyttötarkoitukseen, mihin ne on asennettu.

3 Pienjännitekeskusten rakenne ja toiminta osana teollisuuslaitoksia

Tässä luvussa käsitellään erilaisten pienjännitekeskusten yleistä rakennetta ja toimintaa osana teollisuuden laitoksia ja niiden prosesseja. Luvun alkuosassa tehdään lyhyt katsaus yleisesti teollisuuden prosessinohjauksen peruseräiteisiin ja automaatiojärjestelmän osuuteen teollisuuden prosesseissa. Tämän jälkeen on lyhyt yleinen katsaus teollisuuslaitosten sähkönjakeluun. Lopuksi määritellään pienjännitekeskuksen käsite UL 508A standardin mukaisesti ja käydään läpi pienjännitekeskusten yleistä rakennetta ja toimintaa.

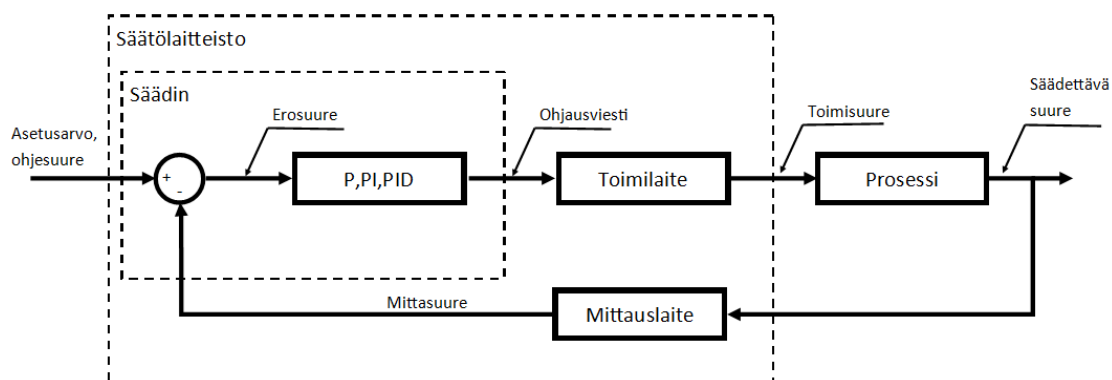
Pienjännitekeskusten rakennetta läpi käytäessä käytetään tässä luvussa UL 508A standardin mukaista termistöä. Luvussa käydään läpi myös, miksi pienjännitekeskukset ovat tärkeä osa useita erilaisia sovellutuksia ja teollisuuden laitoksia. Tämän luvun tavoite on saada tutkielman lukija tuntemaan yleisellä tasolla pienjännitekeskusten perusrakennetta, käyttöä, toiminnan peruseräiteita ja UL 508A mukaista termistöä. Luvun tavoitteena on myös korostaa pienjännitekeskusten tarpeellisuutta osana erilaisia teollisuuden laitoksia ja teollisuuden prosessien eri osa-alueilla.

3.1 Prosessinohjaus ja automaatiojärjestelmä

Sheel (2013, s. 16–18) toteaa kirjassaan, että kaikki teolliset prosessit tarvitsevat mitattavia suureita, jotka tuottavat tietoa prosessista ja joiden avulla voi valvoa, ohjata ja analysoida prosessia ja sen toimintaa. Hänen mukaansa prosessissa olevia mittauksia tehdään erilaisilla instrumenteilla. Kaikissa teollisissa prosesseissa ei ole hänen mukaansa lainkaan samanlaiset instrumentointivaatimukset, vaan ne määräytyvät eri prosesseille määriteltyjen prioriteettien mukaan. Hän mainitsee esimerkiksi, että voimalaitoksen ja sääseman prosesseilta vaaditaan erilaisia asioita, jolloin myös prosessinohjauksessa vaadittavat mittaukset eroavat suuresti toisistaan. Hän tähdentää, että prosessin instrumentoinnilla ja prosessinohjauksella pyritään yleensä

teollisuuslaitoksen tasaiseen toimintaan, lopputuotteen laadun varmistamiseen, laitoksen ja henkilöstön turvallisuuteen, ympäristön suojelemiseen, laitteiden suojaukseen, tuotannon tarkkailuun ja tulosten analysointiin.

Altman ja muut (2005, s. 1–2) kiteyttävät hyvän prosessinohjauksen suunnittelun perustuvan hyvään ymmärrykseen ohjatusta prosessista. Heidän mukaansa on tärkeää ymmärtää prosessinohjausta suunniteltaessa, kuinka kyseinen prosessi toimii. He mainitsevat, että on tärkeää löytää tapoja esittää prosessin toimintaa yksinkertaisesti, sillä yksityiskohtainen prosessituntemus vaatisi usein esimerkiksi kemian tai prosessitekniikan syvällistä osaamista. Heidän mukaansa esimerkiksi lohkokaavio on hyvä tapa kuvata prosessin toimintaa. Yksinkertainen prosessinohjaus koostuu esimerkiksi suljetusta säätöpiiristä (eng. closed loop control), joka on esitetty lohkokaaviona kuvassa 6.



Kuva 6. Lohkokaavio suljetusta säätöpiiristä. Piirretty Mäkisen ja muiden (2009, s. 220) kirjan mukaisesti.

Mäkinen ja muut (2009, s. 220) kiteyttävät suljetun säätöpiirin toiminnan perustuvan säädettävän suureen pitämiseen asetusrvon eli ohjesuureen mukaisena. Heidän mukaansa suljetussa säätöpiirissä on takaisinkytkentä prosessista, eli mittausuure, jolloin säätölaitteisto voi kompensoida prosessiin kohdistuneita häiriöitä pitäen säädettävää suuretta halutussa arvossa. Altmanin ja muiden (2005, s. 2) mukaan yksinkertainen prosessinohjauksen suljettu säätöpiiri koostuu neljästä pääosasta:

1. Prosessin tilan eli säädettävän suureen mittaamisesta mittalaitteella,
2. Säätimen määrittämästä erosuureesta, joka perustuu mittasuureen ja ohjesuureen erotukseen,
3. Säätimen ohjausviestistä, joka muuttaa toimilaitteen tilaa,
4. Toimilaitteen tilanmuutoksesta eli toimisuudesta, joka muuttaa koko prosessin säädettävää suuretta.

Altman ja muut (2005, s. 2) toteavat prosessinohjauksen tärkeimpien signaalien olevan mittasuure ja toimisuude. Mittasuure on heidän mukaansa kenttäinstrumentilla mitattu suure prosessista ja toimisuude on toimilaitteen tilan vaikutus prosessiin. Esimerkiksi virtausmittarilla mitataan veden virtausta, joka on mittasuure, prosessin tietyssä osassa. Mitattu mittasuure toimii säätimen syötteenä ja säädin päättää täytyykö toimilaitteelle lähettää ohjausviesti, jolla toimilaitteen tilaa voidaan muuttaa. Säädin tekee päätöksensä sille annetun ohjesuureen ja mittasuureen välisen erosuureen mukaisesti. Esimerkiksi, jos mitattu virtaus on liian vähäistä, voidaan säätimellä lähettää ohjausviesti toimilaitteelle, jolla toimilaitetta käsketään avaamaan venttiiliä, jolloin veden virtaus mittauspaikassa kasvaa.

King (2016, s. 1) taas esittelee prosessinohjausta sen eri tasojen mukaan. Hän määrittelee alimman tason olevan prosessi itse, jonka dynamiikkaa on myös hänen mukaansa tärkeä ymmärtää prosessinohjausta suunniteltaessa. Prosessista seuraava taso on hänen mukaansa kenttäinstrumentointi, joka koostuu erilaisista mittauslaitteista, ohjausventtiileistä ja muista toimilaitteista. Kenttäinstrumentoinnin yllä on hänen mukaansa usein hajautettu prosessiautomaatiojärjestelmä (eng. distributed control system, DCS).

Mäkinen ja muut (2009, s. 156) taustoittavat teollisuuden prosessiautomaatiojärjestelmien olleen ennen digitaalitekniikan kehittymistä pääasiassa analogisista sähköisistä ja pneumaattisista kenttä- ja valvomolaitteista koostuvia keskitettyjä järjestelmiä. He mainitsevat, että prosessiautomaatiojärjestelmät ovat

1980-luvulta lähtien siirtyneet suurimmaksi osaksi hajautettuun prosessiautomaatioon. Hajautetun prosessiautomaation ydin on heidän mukaansa tietojen käsittelyn ja prosessin eri toimintojen jakaminen useille itsenäiseen toimintaan kykeneville tietokoneille. Itsenäiseen toimintaan kykeneviä tietokoneita ovat heidän mukaansa nykyaikaisen automaatiojärjestelmän valvomoasemat, prosessiasemat, kenttäväylät ja niihin liittyvät älykkäät kenttälaitteet, ohjelmointilaitteet ja etäkäyttöasemat.

Mäkinen ja muut (2009, s. 156) kertovat hajautetun prosessiautomaation suurena etuna olevan se, että yksittäisen prosessiaseman rikkoutuminen ei välttämättä pysäytä koko järjestelmän toimintaa. Prosessiasema käsittelee heidän mukaansa itsenäisesti kenttälaitteilta tulleet signaalit ja tekee niiden perusteella mittaus-, ohjaus- ja säätötoimintoja. Prosessiasema on heidän mukaansa yhteydessä, paitsi kenttälaitteisiin (antureihin ja toimilaitteisiin) kenttäväylän avulla, myös muihin prosessiasemiin ja valvomoasemaan. He mainitsevat, että prosessiasemat lähettävät mittauksia muille asemille ja vastaanottavat näiltä asetusarvoja. Valvomon henkilökunta pystyy heidän mukaansa tarkkailemaan prosessin toimintaa, säätämään asetusarvoja ja lukemaan mittasuureita valvomoaseman laitteiden ja ohjelmistojen avulla.

Mäkinen ja muut (2009, s. 218) kiteyttävät, että automaatiojärjestelmää käytetään siis prosessinohjauksissa, joissa prosessista kerätään mittaus- ja tilatietoja ja ne esitetään valvomopäätteellä. Prosessinohjaukset sisältävät myös heidän mukaansa mittauksia ja säätöjä, mutta lisäksi myös erilaisia sekvenssi- ja sähkömoottorihjauksia. Automaatiojärjestelmää käytetään heidän mukaansa myös prosessin toiminnan raportointiin ja historiatietojen keräämiseen. He toteavat, että prosessiasemat ovat usein fyysisesti sijoitettuna kaappikeskuksiin teollisuuslaitoksen erillisessä automaatiotilassa. Kaappikeskukset ovat Mäkisen ja muiden (2009, s. 83) mukaan yleisesti sähköisten toimilaitelähtöjen ja automaatiojärjestelmän kotelointiin käytettyjä lattialla seisovia kosketussuojattuja keskuksia. Prosessiasema kaappikeskuksessa tarvitsee yleensä pienjännitesyöttöä esimerkiksi prosessiaseman virtalähteille, jolloin UL

508A standardin vaatimukset koskevat automaatiojärjestelmän pienjännitekeskuksiksi luokiteltavien kaappikeskusten valmistamista.

Tässä alaluvussa käsitellyt teollisuuden prosessinohjaus ja automaatiojärjestelmät ovat tärkeitä kokonaisuuksia teollisuuslaitoksissa. Ilman suurta määrää toimilaitteita, antureita, sähkömoottoreita ja ohjainlaitteita monimutkaisten prosessien ohjaus olisi mahdotonta. Teknologia kehittyy alalla jatkuvasti ja Rubin (2016, s. 13) muistuttaakin kirjassaan, että prosessinohjausta ja automaatiojärjestelmiä suunniteltaessa tulee erityisesti huomioida alan viimeaikaisin kehitys niin toimilaitteissa, moottoreissa, sensoreissa kuin ohjauslaitteissakin.

Mittausten, ohjausten, sähkönsyötön ja suojausten toteuttamiseen vaaditaan usein suuri määrä erilaisia sähköisiä komponentteja kuten ohjattavia logiikoita, antureita, mittalaitteita, johdonsuojakatkaisijoita, virtalähteitä, releitä ja monia muita laitteita ja komponentteja kulloisenkin prosessin mukaan. Prosessinohjauksen, kenttälaitteiden ja automaatiojärjestelmän sähkönsyötön ja ohjauksen keskeiset komponentit ovat usein keskitetty pienjännitekeskuksen määritelmän täyttäviin keskuksiin, joita tämän työn keskeinen tutkimuskohde UL 508A standardi koskee.

3.2 Teollisuuden sähkönjakelu

Kuten edeltävässä alaluvussa on todettu, prosessinohjauksen ja teollisuusautomaation keskeiset komponentit ovat usein sijoitettuna pienjännitekaappikeskuksiin, jotka täyttävät seuraavassa alaluvussa esitetyn UL 508A standardin määritelmän pienjännitekeskukselle. Teollisuuslaitokset tarvitsevat yleensä toimiakseen paljon sähköenergiaa ja -tehoa. Tämän vuoksi tässä alaluvussa on syytä tarkastella myös teollisuuslaitosten sähkönjakelua yleisellä tasolla ja tuoda työn lukijalle ilmi, että myös teollisuuslaitosten sähkönjakelussa käytetään UL 508A standardin mukaisia pienjännitekeskuksia.

Mäkinen ja muut (2009, s. 23–24, 31) toteavat teollisuuslaitosten sähkönjakelun alkavan useimmiten keskijännitesyötöstä, joka on esimerkiksi jännitteeltään 20 kV. He jakavat teollisuuslaitoksen sisäisen sähkönjakelun suurjännitteiseen (yli 1000 V_{AC}) ja pienjännitteiseen (enintään 1000 V_{AC}) sähkönjakelujärjestelmään. Suurjännitejakelujärjestelmä kattaa heidän mukaansa kaikki suurjännitekaapelit, suurjännitekojeistot varusteineen ja yhden tai useamman jakelumuuntajan varusteineen. Suurjännitejakelujärjestelmä alkaa heidän määritelmänsä mukaisesti kiinteistöön tuodusta keskijännitesyötöstä ja päättyy jakelumuuntajan tai -muuntajien yläjännitepuolen liittimiin. Suurjännitekojeistot ovat heidän mukaansa yleensä moduulimittaisia, jotta niistä voidaan koota haluttuja yhdistelmiä. Ne sisältävät heidän mukaansa erilaisia kytkin- ja suojalaitteita ja ohjaukseen, säätöön ja valvontaan liittyviä laitteita. Tässä työssä ei käsitellä enempää yli 1000 V jakelujärjestelmää tai kojeistoja, sillä ne eivät ole UL 508A standardin vaatimusten alaisia.

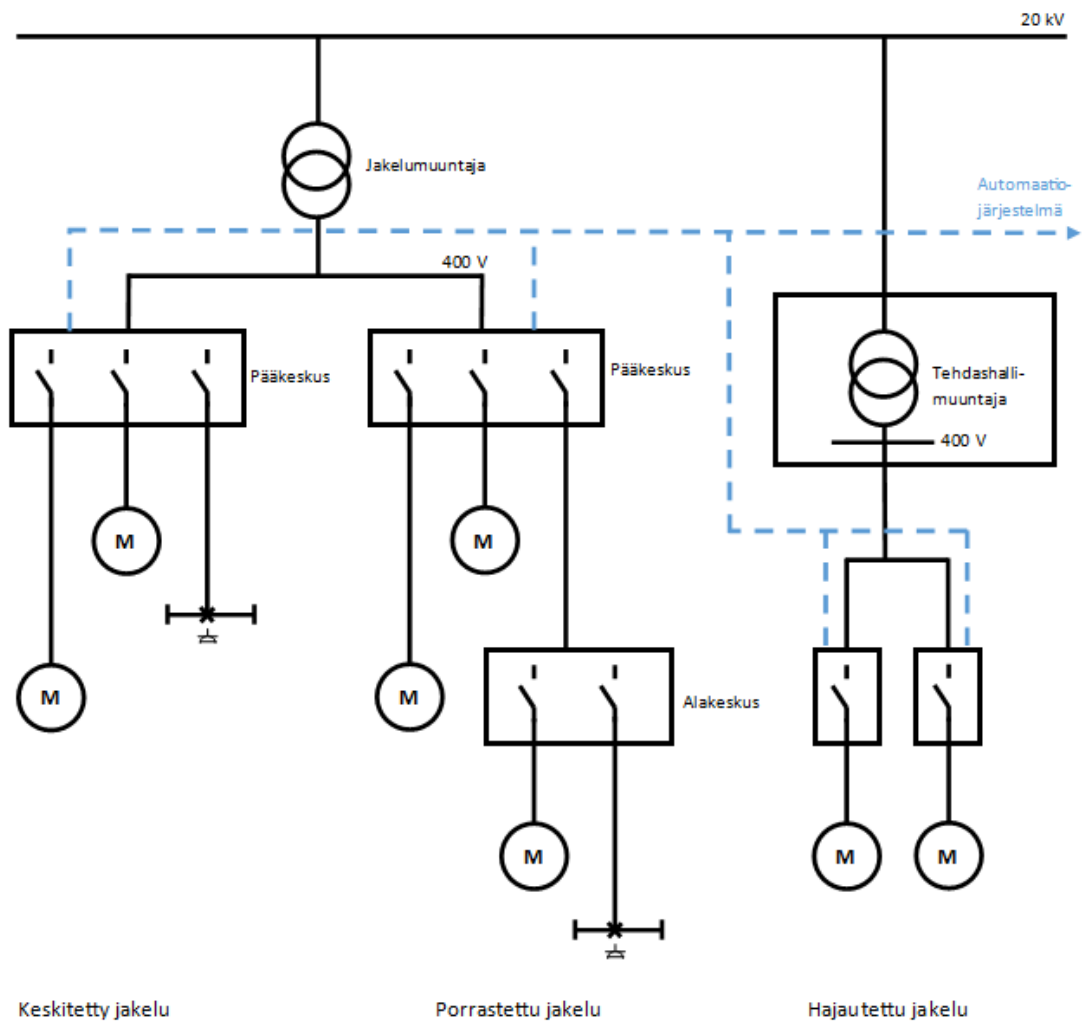
Suurjännitekojeistosta syötetään Mäkisen ja muiden (2009, s. 26, 30) mukaan jakelumuuntajaa, jonka alajännitepuolen liittimistä alkaa heidän jaottelunsa mukaisesti pienjännitteinen, enintään 1000 V, sähkönjakelujärjestelmä, joka ulottuu jakelumuuntajalta aina kiinteistön kauimmaiseen pistorasiaan tai kulutuskojeeseen asti. Pienjännitteisen sähkönjakelujärjestelmän jakelu- ja haaroituspisteinä käytetään pienjännitekeskuksia, joissa on Mäkisen ja muiden (2009, s. 79) mukaan erilaisia kytkin- ja ohjainlaitteita ja jotka kuuluvat UL 508A standardin vaatimusten piiriin. He kertovat, että pienjännitekeskuksia käytetään moottorikäynnistimien keskittämiseen, kiinteistösähkön jakeluun ja automaatiojärjestelmien kotelointiin. Heidän mukaansa kiinteistön pää- ja apukeskukset ovat asennettuna usein lukittuihin sähkötiloihin, joissa keskukset ovat suojassa. Sähkötieto ry (2020, s. 124) täydentää, että sähkötilat ovat lukittuja alueita tai huoneita, joihin vain sähköalan ammattihenkilöt tai opastetut henkilöt pääsevät.

Mäkinen ja muut (2009, s. 30–31) jakavat teollisuuden sähköverkkojen pienjännitesähkönjakelutyypit keskitettyyn, porrastettuun ja hajautettuun

sähkönjakelujärjestelmään. Heidän mukaansa keskitetyssä jakelussa kaikki johtolähdöt ovat sijoitettuna pääkeskuksiin ja niitä ohjataan valvomon automaatiojärjestelmästä. He kertovat, että keskitetyn jakelun hyviä puolia ovat sen selväpiirteisyys ja sähkötyöturvallisuutta parantava komponenttien keskittäminen samaan sähkötilaan. Keskitetyn jakelun huonoina puolina he mainitsevat olevan pääkeskukselta vedetyt pitkät johtolähdöt, joissa voi tulla ongelmia suojausten oikosulkuvirran riittävyyden kanssa, pääkeskuksen moottorilähtöjen kokema suuri oikosulkuvirta-erä, koska ne sijaitsevat lähellä jakelumuuntajaa, ja sähköverkossa tapahtuvat häiriöt voivat vaikuttaa keskitetyssä järjestelmässä kerralla koko järjestelmään ja heikentää näin laitoksen käytettävyyttä ja toimintavarmuutta.

Mäkinen ja muut (2009, s. 31) kertovat porrastetussa jakelujärjestelmässä johtolähtöjen sijaitsevan sekä pääkeskuksessa että sen alakeskuksissa. He toteavat, että myös pää- ja alakeskusten johtolähtöjä ohjataan päälle ja pois valvomon automaatiojärjestelmässä. Porrastetussa jakelujärjestelmässä pää- ja alakeskukset voivat heidän mukaansa sijaita fyysisesti samassa sähkötilassa tai niin, että alakeskukset sijaitsevat omissa sähkötiloissaan lähempänä kulutuskohteita. Suuritehoiset sähkömoottorilähdöt sijoitetaan heidän kertomansa mukaan pääkeskukseen ja pienitehoiset alakeskuksiin. Porrastetun järjestelmän etuna on heidän mukaansa se, että alakeskusten komponenteilla on pienemmät oikosulkuvirran kestoisuusvaatimukset kuin pääkeskuksen komponenteilla.

Kolmantena sähkönjakelujärjestelmänä Mäkinen ja muut (2009, s. 31) tuovat esiin hajautetun jakelujärjestelmän. Hajautetulle jakelujärjestelmälle on heidän mukaansa ominaista, että moottoreiden käynnistimet ovat sijoitettuna moottoreiden välittömään läheisyyteen ja niitä ohjataan kenttäväylän avulla. He tuovat esiin, että hajautetussa järjestelmässä moottorilähtöjä syötetään tehdashallimuuntamoista, joissa on tarvittavat suojalaitteet ja liitännät. Havainnekuva näistä edellä esitellyistä kolmesta eri pienjännitejakelujärjestelmästä on havainnollistettu kuvassa 7.



Kuva 7. Havainnekuva keskitetystä, porrastetusta ja hajautetusta pienjännitejakelusta. Piirretty lähteen Mäkinen ja muut (2009, s. 31) pohjalta.

Kuten edellä esitetystä käy ilmi, UL 508A standardin kattamat pienjännitekeskukset ovat tärkeä osa myös teollisuuden sähkönjakelua. Sähkönjakelu- ja automaatiojärjestelmä ovat kietoutuneet toisiinsa vahvasti, kuten kuvassa 7 on havaittavissa. Pienjännitekeskukset sisältävätkin hyvin usein sekä sähkönjakeluun käytetyn pääpiirin että ohjaukseen ja automaatioon käytetyn apupiirin komponentteja. Pienjännitekeskuksen määritelmä, rakenne ja piirien jaottelu on käyty tarkemmin läpi seuraavassa alaluvussa.

3.3 Teollisuuden pienjännitekeskuksen yleinen rakenne ja toiminta

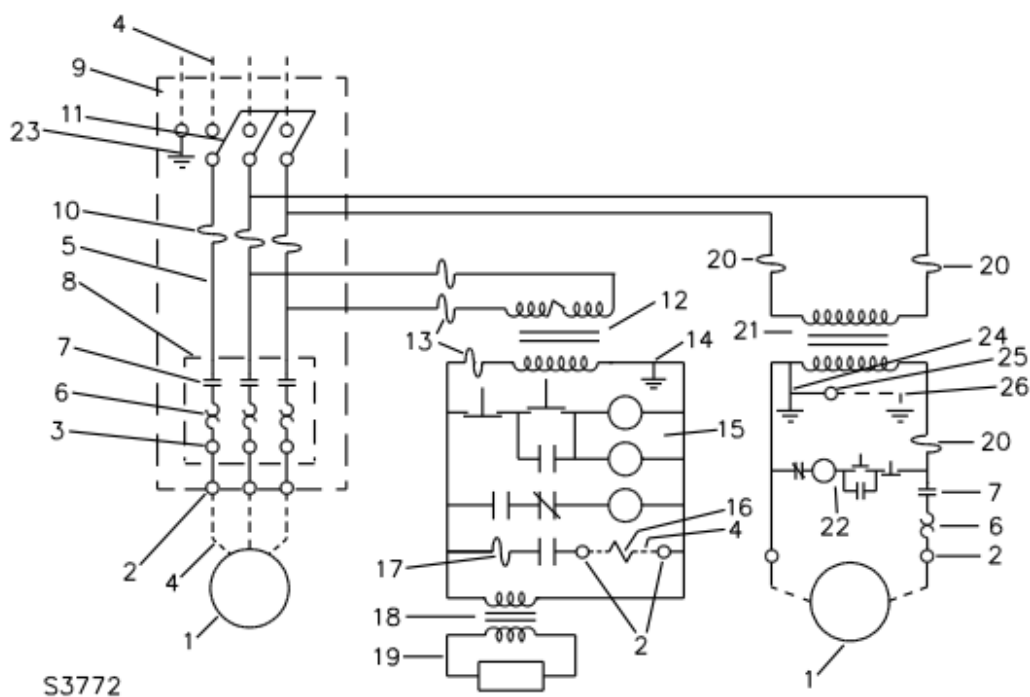
Tässä alaluvussa kuvataan pienjännitekeskusten rakennetta ja toimintaa. Alaluvussa esitetään UL 508A standardin määritelmä pienjännitekeskukselle ja käytetään UL 508A standardin mukaista termistöä, jota on esitelty kuvassa 8. Kyseisen standardin mukainen virtapiirien jaottelu on esitetty kuvissa 9 ja 10. On tärkeää tiedostaa, että tässä alaluvussa esitellyt rakenteet ja toiminnot ovat vain yleisiä esimerkkejä. Todellisuudessa pienjännitekeskukset voivat olla käyttötarkoituksensa mukaisesti hyvinkin moninaisia rakenteeltaan, komponenteiltaan ja toiminnoiltaan kuten aiemmista alaluvuista käy ilmi.

UL 508A (2018, s. 11) ja ANSI/NFPA 70 (2017, s. 41) määrittelevät teollisuuden pienjännitekeskuksen (eng. industrial control panel) olevan käyttäjännitteeltään enintään 1000 V ja koostuvan kahdesta tai useammasta pääpiirin (eng. power circuit) tai apupiirin (eng. control circuit) komponentista. Esimerkiksi suojareleet ja katkaisijat ovat pääpiirin komponentteja, kun taas esimerkiksi painonapit, ajastimet ja ohjausreleet ovat apupiirin komponentteja. Pienjännitekeskus voi olla standardin mukaan myös yhdistelmä pää- ja apupiireistä sisältäen useiden eri komponenttien välistä johdotusta ja liittimiä. Nämä komponentit ja johdotukset ovat asennettuna koteloon tai paneeliin, joka luokitellaan pienjännitekeskukseksi.

Englanninkielisten termien käänöksessä on käytetty apuna SFS-EN IEC 61439-1 standardin *termit ja määritelmät* -lukua (Suomen standardoimisliitto SFS ry, 2022, s. 11–27). Suomenkielisistä termeistä on etsitty mahdollisimman samaa asiaa tarkoittava suomenkielinen vastine englanninkielisille termeille, vaikka suora kirjaimellinen käänös olisi erilainen. Esimerkiksi *industrial control panel* on käännetty termiksi *pienjännitekeskus* ja termi *control circuit* on suomennettu termillä *apupiiri* standardien määritelmien samankaltaisuuden perusteella.

UL 508A (2018, s. 21) standardissa mainitaan, että teollisuuden pienjännitekeskuksen tulee olla valmistettu niin, että se täyttää ANSI/NFPA 70 standardin vaatimukset sähköasennuksille ja -käytöille. Käytetyt materiaalit ja komponentit tulee olla standardin

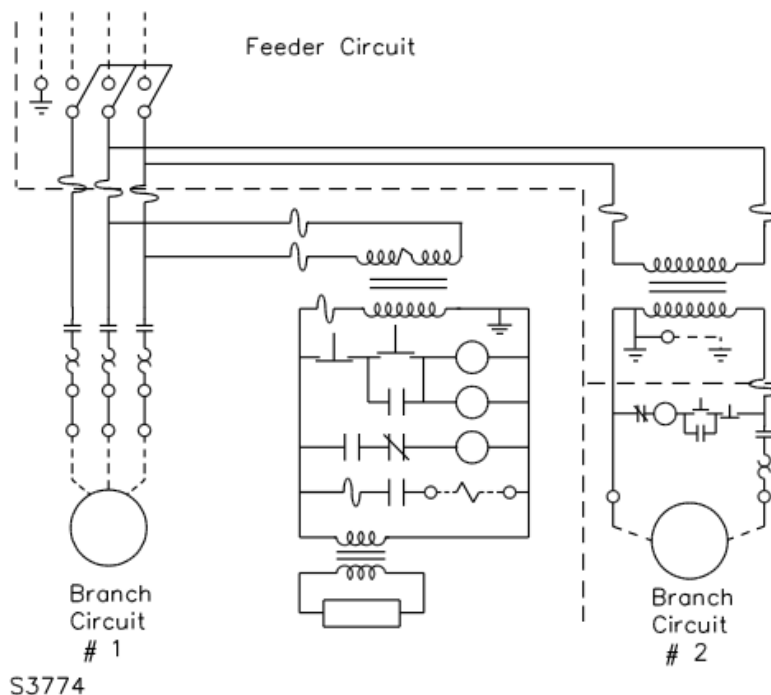
mukaan määriteltyjä käytettäväksi juuri siinä käyttötarkoituksessa, johon ne on asennettu. UL 508A standardin mukaista pienjännitekeskuksen sisäistä terminologiaa on esitelty kuvassa 8.



- | | |
|--|--|
| 1. Kuorma (kentällä) | 14. Apupiirimuuntajan (Max 1000 VA) maadoitus |
| 2. Kenttäkaapeloinnin riviliitin | 15. Apupiirin laitteet ja johdotus/luokan 1 apupiiri/eristetty toisiopiiri |
| 3. Kenttäkaapeloinnin riviliitin | 16. Solenoidi tai muu ohjauslaite (kentällä) |
| 4. Kenttäkaapelointi | 17. Lisäsuojus |
| 5. Pääpiirin sisäinen johdotus | 18. Luokan 2 virtalähde tai muuntaja |
| 6. Ylikuormitus rele & lämpösuoja | 19. Luokan 2 apupiiri |
| 7. Kontaktori/moottorinohjain | 20. Tehomuuntajan sulake/Haarapiirin suojaus |
| 8. Käynnistin | 21. Moottorikuorman ja apupiirin tehomuuntaja |
| 9. Yhdistetty moottorinohjain | 22. Luokan 1 apupiiri/yleinen apupiiri |
| 10. Haarapiirin suojaus | 23. Laitemaadoitus ja maadoitusliitin |
| 11. Sulakkeellinen erotuskytkin tai katkaisija | 24. Liitosjohdin |
| 12. Apupiirin muuntaja | 25. Maadoituselektrodin liitin |
| 13. Apupiirin muuntajan sulake/lisäsuojus | 26. Maadoituselektrodin johdin (kentällä) |

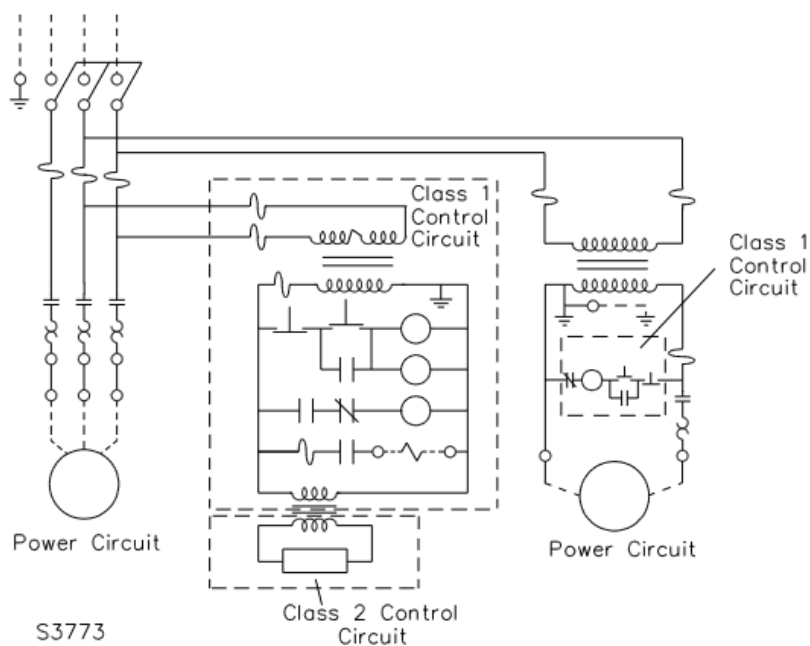
Kuva 8. UL 508A standardin mukaisen terminologian kuvaus (UL 508A, 2018, s. 19).

UL 508A (2018, s. 13–16) standardin mukaan pääpiiri jakautuu kahteen osaan: syöttöpiiriin (eng. feeder circuit) ja haarapiiriin (eng. branch circuit) kuvan 9 mukaisesti. Haarapiiri koostuu standardin mukaan johtimista ja komponenteista, jotka ovat kuorman puolisisimmän ylivirtasuojan jälkeen kuorman puolella. Syöttöpiiri koostuu taas johtimista ja komponenteista, jotka ovat ennen kyseistä ylivirtasuojaa syötön puolella.



Kuva 9. UL 508A standardin mukainen pääpiirin jako syöttö- ja haarapiireihin (UL, 2018, s. 21).

Apupiiri on UL 508A (2018, s. 13) standardin mukaan virtapiiri, joka kuljettaa ohjaukseen tarkoitettuja sähköisiä signaaleja. Apupiirit ovat standardin mukaan usein myös virtarajoitettuja, esimerkiksi virtaa on rajoitettu 15 A:iin. Apupiirit jakautuvat UL 508A standardin mukaan luokan 1 ja luokan 2 apupiireihin kuvan 10 mukaisesti. Luokan 1 apupiirit ovat ylivirtasuojan kuorman puolella olevat, enintään 600 V:n tehorojoittamattomat tai tehorojoitetut apupiirit. Luokan 2 apupiirit ovat jännitteeltään rajoitettu alle 30 V tehollisarvoon UL-hyväksytyllä luokan 2 teholähteellä.



Kuva 10. UL 508A mukainen luokan 1 ja luokan 2 apupiirejä havainnollistava kuva (UL, 2018, s. 20).

UL 508A (2018, s. 15) standardissa mainitaan apupiiriksi myös rajoitetun energian pienjännitepiiri (eng. low-voltage limited energy circuit), joka on määritelmän mukaisesti apupiiri, jonka avoimen piirin jännite on vaihtojännitteen tehollisarvolta enintään 30 V tai tasajännitteeltä 60 V syötettynä akustosta tai teholähteen maasta erotetulla toisiopiirillä. Rajoitetun energian pienjännitepiirissä on standardin määritelmän mukaisesti myös oltava virtaa rajoittava ylivirtasuojia, kuten sulake, tai piiriä syöttävän muuntajan tai virtalähteen on oltava tehorajoitettu. Siemens (2021, s. 175) tähdentää oppaassaan, että Yhdysvaltojen kansallinen sähkösäätö NEC eli NFPA 70 standardi tunnistaa vain luokan 1 ja 2 apupiirit, jolloin rajoitetun energian pienjännitepiiri tulkitaan luokan 1 apupiiriksi pienjännitekeskuksen ulkopuolisilta osuuksiltaan ja piirin kenttäkaapelointiliittimet tulee merkata luokan 1 apupiiriin kuuluviksi. Tämä mainitaan myös UL 508A (2018, s. 104) standardin kohdassa 54.6.

UL 508A standardin määritelmä pienjännitekeskukselle on siis hyvin laeva ja erilaisia keskusvariaatioita on mahdollista valmistaa todella paljon. Esimerkiksi Mäkinen ja muut (2009, s. 79–85) luettelevat pienjännitekeskustyyppinä olevan kennokeskus,

kotelokeskus, kaappikeskus, ohjauspulpetti ja pistorasiakeskus. Keskuksien tyyppijaottelun lisäksi niiden sisältämät komponentit vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan suuresti. Pienjännitekeskuksien rakenteesta on kuitenkin tärkeä tunnistaa eri virtapiirien jaottelu UL 508A standardin mukaisesti, sillä standardissa on määritetty erityyppisille virtapiireille erilaisia vaatimuksia, joista kerrotaan seuraavassa luvussa tarkemmin. Kuvassa 11 on esitettyä kuva eräästä pienjännitekaappikeskuksesta.



Kuva 11. Eräs pienjännitekaappikeskus (UL, 2023a).

Kuvan 11 ovellinen pienjännitekaappikeskus on esimerkki kohtalaisen yleisestä teollisuuden ohjauskeskusratkaisusta, joka sisältää esimerkiksi teholähteitä, ohjattavia logiikoita, I/O-kortteja, johdonsuojakatkaisijoita ja riviliittimiä. Keinänen ja Sumujärvi (2019, s. 69) kertovat kirjassaan automaatiojärjestelmien komponenttien sijoittelusta pienjännitekeskukseen. Heidän mukaansa laitteiden ja johdotuksen on mahdollista tarkoituksenmukaisesti ja väljästi keskuksen sisään. He mainitsevat, että keskuksen takaseinällä olevaan irrotettavaan asennuslevyyn kiinnitetään yleensä DIN-kiskoja, joihin

eri komponentit ja riviliittimet saa helposti kiinnitettyä, sillä DIN-kiskot ovat standardikokoisia ja useat komponentit ovat valmistettu siihen kiinnitettäväksi. DIN-kiskojen väliin asennetaan johdotuskourut, joita pitkin komponenttien välinen johdotus kulkee.

Komponenttien sijoittelusta Keinänen ja Sumujärvi (2019, s. 69) mainitsevat myös, että lämpöä tuottavat laitteet, kuten teholähteet, tulee sijoittaa keskuksen yläosaan. Yläosassa sijaitsevien lämmönlähteiden lämpö on näin helpompi johtaa ulos keskukselta, eikä lämpö näin ollen rasita muita keskuksessa olevia komponentteja, sillä lämpö nousee ylöspäin. He mainitsevat myös, että esimerkiksi taajuusmuuttajat tulisi pienjännitekeskuksissa sijoittaa keskuksen alaosiin, sillä tällöin keskuksen alakautta kytketyt sähkömoottoreiden suurivirtaiset kenttäkaapelit eivät pääse aiheuttamaan sähkömagneettisia häiriöitä muiden komponenttien toimintaan.

Keinänen ja Sumujärvi (2019, s. 69) toteavat, että pienjännitekeskuksen koteloinnissa voidaan käyttää erilaisia muovi- tai metallikoteloita. Heidän mukaansa kuitenkin paras kotelotyyppi on maalatusta teräksestä valmistettu kotelo, sillä se vaimentaa sähkövirtojen synnyttämiä magneettikenttiä. Gibson stainless & specialty inc. (2023) mainitsevat verkkosivuillaan, että UL käyttää keskusten koteloinnin tiiveyden luokituksissa UL TYPE-luokituksia, jotka on määritelty UL 50 ja UL 50E standardeissa. UL TYPE-luokitus perustuu heidän mukaansa NEMA TYPE-luokitukseen, mutta on kuitenkin hieman erilainen. UL TYPE-luokitus on määritelty heidän verkkosivuillaan seuraavasti:

- TYPE 1 on sisätiloihin tarkoitettu kotelointi, jossa on kosketussuojaus ja suojaus putoavalta lialta.
- TYPE 2 on sisätiloihin tarkoitettu kotelointi, jossa on kosketussuojaus, suojaus putoavalta lialta ja roiskesuojaus.
- TYPE 3R on sisä- tai ulkotiloihin tarkoitettu kotelointi, jossa on kosketussuojaus, suojaus putoavalta lialta ja sadevedeltä. Kotelointi kestää myös ulkoisen jään muodostumisen.

- TYPE 3RX on TYPE 3R:n mukainen kotelointi, jossa on lisäksi korroosiosuojattu.
- TYPE 3 on TYPE 3R:n mukainen kotelointi, jossa on lisäksi suojaus tuulen puhaltamalta lialta.
- TYPE 3S on TYPE 3:n mukainen kotelointi, jossa on ulkoisesti muodostunut jää ei estä keskuksen operointia.
- TYPE 3X on TYPE 3:n mukainen kotelointi, joka on korroosiosuojattu.
- TYPE 3SX on kotelointi, joka sisältää TYPE 3S:n ja TYPE 3X:n ominaisuudet.
- TYPE 4 on sisä- tai ulkotiloihin tarkoitettu kotelointi, jossa on kosketussuojaus, suojaus putoavalta ja tuulen mukana tulevalta lialta sekä suojaus sadevedeltä, vesiroiskeilta ja suoralta vesisuihkulta. Kestää myös ulkoisen jään muodostumisen.
- TYPE 4X on TYPE 4:n mukainen kotelointi, joka on korroosiosuojattu.
- TYPE 5 on sisätiloihin tarkoitettu kotelointi, jossa on kosketus-, pöly- ja roiskesuojaus.
- TYPE 6 on sisä- tai ulkotiloihin tarkoitettu kotelointi, jossa on kosketussuojaus, suojaus putoavalta lialta, vesisuihkutiivis ja kestää väliaikaisen osittaisen upotuksen veteen. Kotelointi kestää myös ulkoisen jään muodostumisen.
- TYPE 6P on TYPE 6:n mukainen kotelointi, joka on korroosiosuojattu.
- TYPE 12 on sisätiloihin tarkoitettu ilman aukotuksia oleva kotelointi, jossa on kosketussuojaus, suojaus tippuvalta ja pyörteiseltä lialta ja kevyt roiskesuojaus vedeltä, öljyltä ja syövyttämättömiltä nesteiltä.
- TYPE 12K on TYPE 12:sta mukainen kotelointi, jossa on myös aukotuksia.
- TYPE 13 on sisätiloihin tarkoitettu kotelointi, jossa on kosketussuojaus, suojaus tippuvalta ja pyörteiseltä lialta ja suojaus vedeltä, öljyltä ja syövyttämättömiltä nesteiltä.

Tämän alaluvun keskeinen sanoma on se, että on tärkeää tunnistaa pienjännitekeskusten yleinen rakenne ja niiden sisältämät eri virtapiirit. Rakenteen variaatioita ja kotelotyyppisiä eri luokituksineen on useita, mutta kaikkien pienjännitekeskuksiksi luokiteltavat keskuksat sisältävät pää- ja/tai apupiirin komponentteja ja komponenttien

välistä johdotusta. Komponenttien sijoitteluun kotelon sisään kannattaa kiinnittää huomiota, sillä esimerkiksi edellä mainitut komponenttien lämpeneminen tai sähkömagneettiset ilmiöt voivat aiheuttaa haittaa keskuksen muille osille ja komponenteille. Erilaisten virtapiirien ja niiden määritelmien tunteminen on tärkeää varsinkin UL standardin mukaisten keskusten valmistamisessa, sillä standardissa on eri piireille erilaisia vaatimuksia.

4 UL 508A standardin vaatimukset

Nyt, kun tässä työssä on käsitelty pienjännitekeskusten merkitystä teollisuuslaitosten sähköistyksessä ja niiden prosessien ohjaamisessa sekä tutustuttu Yhdysvaltojen lakeihin ja käytäntöihin pienjännitekeskuksiin liittyen, on hyvä tutustua UL 508A standardiin tarkemmin. Tässä luvussa keskitytään vain Underwriters Laboratoriesin laatimaan UL 508A standardiin, joka on pienjännitekeskusten turvallisuusstandardi. Luvun tavoite on nostaa esiin kyseisen standardin keskeisimpiä vaatimuksia teollisuuden yleiskäytössä oleviin pienjännitekeskuksiin liittyen, jotta voidaan suunnitella ja valmistaa pienjännitekeskus, jolla on edellytykset UL-hyväksynnän saamiseen ja myymiseen Yhdysvaltoihin.

Tässä työssä esitetyt vaatimukset ovat UL 508A standardista poimittuja keskeisiä vaatimuksia pienjännitekeskuksille. Standardi sisältää tässä työssä käsiteltyjen vaatimusten lisäksi muitakin vaatimuksia sekä lukuisia huomioita ja poikkeuksia, joita ei ole käsitelty tässä työssä. On siis tärkeää huomioida, kuten jo aiemminkin tässä työssä on todettu, että pienjännitekeskusten suunnittelussa ja valmistuksessa tulee tarkastaa kyseiseen toteutukseen liittyvät vaatimukset ja poikkeukset sillä hetkellä voimassa olevasta UL 508A standardista.

Yleiskäyttöön soveltuvia pienjännitekeskuksia käsitellään UL 508A (2018, s. 11–107) standardin ensimmäisessä osassa, joka on tämän luvun pääasiallinen tarkastelun kohde. Tämän luvun tärkeimpänä lähteenä on käytetty englanninkielistä UL 508A standardin kolmatta painosta vuodelta 2018, joka on revisioitu vuonna 2022. Termien kääntämisessä suomen kielelle on myös tässä luvussa käytetty apuna SFS-EN IEC 61439-1 standardin *termit ja määritelmät* -lukua (Suomen standardoimisliitto SFS ry, 2022, s. 11–27).

4.1 Vaatimusten soveltaminen

UL 508A (2018, s. 11) standardi on suunnattu pienjännitekeskuksille, jotka ovat teollisuuden yleisessä käytössä. Standardi kattaa pienjännitekeskukset, joiden käyttöjännite on enintään 1000 V ja jotka ovat asennettuna tavanomaisiin paikkoihin sähköjohtimien ja -laitteiden turvallisen asennusstandardin NFPA 70 (National electrical code, NEC) luvun 4 mukaisesti. Pienjännitekeskusten ympäristön lämpötila tulee standardin mukaan olla välillä 5–40 °C, ellei ympäristön lämpötilaa ole keskukselle erikseen muuksi merkitty. Tarkempi UL 508A standardin mukainen määrittely pienjännitekeskukselle ja sen perusrakenteelle esitettiin tämän työn edellisessä luvussa.

Standardin toisessa osassa esitetään vaatimuksia myös tietyille erityiskäyttöön tarkoitetuille pienjännitekeskuksille, kuten esimerkiksi nosturien, laivojen ja teollisuuden työstökoneiden omille pienjännitekeskuksille. Näitä erityiskäyttöihin tarkoitettuja pienjännitekeskuksia ja niiden vaatimuksia ei käsitellä tässä diplomityössä. UL 508A (2018, s.1) standardin mukaan pienjännitekeskus ei sisällä pääpiiriin kytkettyjä ohjattavia laitteita, kuten sähkömoottoreita, lämmittimiä tai valoja, ellei keskuksen piirikaavioissa ole erikseen niin mainittu. Standardi ei myöskään arvioi hallinta- tai suojalaitteiden riittävyyttä kuormien ohjaamiseen ja suojaamiseen.

4.2 Kaikkien pienjännitekeskusten rakenteeseen liittyen

Kaikkien pienjännitekeskusten rakenteeseen vaikuttavia vaatimuksia ovat UL 508A (2018, s. 21–30) standardin kohdat 7–17. Pienjännitekeskusten rauta- ja teräsosat tulee olla UL 508A (2018, s. 21–22) standardin mukaan suojattuna korroosiolta galvanoinnilla, pinnoituksella tai muulla vastaavalla korroosiosuojaus keinolla, jotta varmistetaan osien mekaaninen kestävyys. Tämä korroosiosuojausvaatimus ei koske standardin mukaan laakereita, lämpöelementtejä, saranan liukupintoja, akseleita tai vastaavia osia, joissa korroosiolta suojaaminen on epäkäytännöllistä. Standardissa mainitaan myös, että korroosiosuojaus ei koske pieniä rauta- tai teräsosia, kuten aluslevyjä, ruuveja, pultteja tai vastaavia osia, joiden ei ole tarkoitettu johtaa sähkövirtaa tai tukea ja pitää paikoillaan

eristämätöntä jännitteellistä osaa tai komponenttia. Korroosiosuojaus ei koske myöskään ruostumattomasta teräksestä valmistettuja osia.

4.2.1 Ilma- ja pintavälit

UL 508A (2018, s. 22–25) standardi sisältää tarkat vaatimukset pienjännitekeskusten jännitteellisten osien ilma- ja pintaväliden minimipituuksille eri virtapiirien ja jännitetasojen mukaisesti. Ilmaväli tarkoittaa lyhintä mitattua etäisyyttä kahden johtavan osan välillä, kun taas pintaväli tarkoittaa kahden johtavan osan välistä lyhintä kiinteän eristysaineen pintaa pitkin mitattua etäisyyttä (Suomen standardoimisliitto SFS ry, 2022, s. 16). UL 508A mukaiset enintään 600 V:n haara- ja apupiirien yleiset ilma- ja pintaväliden minimivaatimukset ovat esitettyinä taulukossa 1. Haarapiirien, jotka ovat jännitteeltään välillä 601 V – 1000 V, ilma- ja pintaväliden minimivaatimukset on esitetty taulukossa 2. Enintään 1000 V:n syöttöpiirien ilma- ja pintaväliden minimivaatimukset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 1. Enintään 600 V:n haara- ja apupiirien ilma- ja pintaväliden minimipituudet. Koottu UL 508A (2018, s. 23–24) taulukon 10.1 mukaisesti.

Jännite ($V_{rms, ac}$ tai V_{dc})	Välin minimipituus							
	0–50**		51–150		151–300		301–600	
Mittayksikkö	Tuumaa	mm	Tuumaa	mm	Tuumaa	mm	Tuumaa	mm
Ilmaväli eri polariteettisten jännitteisten osien ja maapotentiaalin välillä	1/16*	1,6*	1/8*	3,2	1/4	6,4	3/8	9,5
Pintaväli eri polariteettisten jännitteisten osien ja maapotentiaalin välillä	1/16*	1,6*	1/4	6,4	3/8	9,5	1/2	12,7
Etäisyys eristämättömän jännitteisen osan ja metallisen kotelon osan välillä	1/4	6,4	1/2	12,7	1/2	12,7	1/2	12,7
<p>* Vastakkaisen polariteetin omaavat kenttäkaapelointiliittimien ja kenttäkaapelointiliittimen ja maadoitetun metalliosan välin oltava 1/4 tuumaa (6,4 mm). Enintään 50 V kenttäkaapelointiliittimien ilmaväli voi olla 1/8 tuumaa (3,2 mm) ja pintaväli 1/4 tuumaa (1,6 mm).</p> <p>** Ilma- ja pintavälivaatimukset eivät koske rajoitetun tehon pienjännitepiiriä eikä luokan 2 apupiiriä.</p>								

Taulukko 2. 601–1000 V:n haarapiirien ilma- ja pintavälien minimipituudet. Koottu UL 508A (2018, s. 24) taulukon 10.1A mukaisesti.

	Välin minimipituus	
Jännite ($V_{rms, ac}$ tai V_{dc})	601–1000	
Mittayksikkö	Tuuma	mm
Ilmaväli eri polariteettisten jännitteisten osien ja maapotentiaalin välillä	0,55	14,0
Pintaväli eri polariteettisten jännitteisten osien ja maapotentiaalin välillä	0,85	21,6
Ilmaväli eristämättömän jännitteisen osan ja metallisen kotelon osan välillä	0,80	20,3
Pintaväli eristämättömän jännitteisen osan ja metallisen kotelon osan välillä	1,00	25,4

Taulukko 3. Enintään 1000 V:n syöttöpiirien ilma- ja pintavälien minimipituudet. Koottu UL 508A (2018, s. 24) taulukon 10.2 mukaisesti.

	Välin minimipituus					
Jännite	< 125		126–250		251–1000	
Mittayksikkö	Tuuma	mm	Tuuma	mm	Tuuma	mm
Ilmaväli eri polariteettisten jännitteisten osien välillä	1/2	12,7	3/4	19,1	1,0	25,4
Pintaväli eri polariteettisten jännitteisten osien välillä	3/4	19,1	5/4	31,8	2,0	50,8
Ilma- ja pintaväli jännitteisen osan ja maadoitetun metalliosan välillä	1/2	12,7	1/2	12,7	1,0	25,4

Tämän työn taulukoissa 1–3 esitetyt ilma- ja pintavälien vähimmäisvaatimukset koskevat yleisiä asennuksia. UL 508A (2018, s. 22–25) standardi sisältää myös useita muita huomioita, poikkeuksia ja lisäyksiä yllä esitettyjen taulukoiden lisäksi. Näitä poikkeamia ei esitellä tässä työssä, mutta ne ovat nähtävissä itse standardista.

4.2.2 Eristävät esteet ja eristemateriaalit

UL 508A (2018, s. 26) määrittelee eristävien esteiden (eng. insulating barriers) olevan eristeitä, joita käytetään, jotta saadaan täytettyä aiemmin esitetyt standardin ilma- ja pintavälivaatimukset. Standardin mukaan eristävän esteen materiaalin tulee täyttää UL 508A standardin taulukossa 12.1 esitetyt minimipaksuudet eri eristeille, standardin kohdassa 29.2.2 mainitut UL 1441, UL224 tai UL 510 standardit tai eristemateriaali tulee testata eristäväksi esteeksi ja hyväksyttävä standardin UL 508 mukaisesti. Eristävän esteen materiaali tulee standardin mukaan olla sellaista, että se voi olla kosketuksissa jännitteellisten osien kanssa, mutta eristävä este ei saa olla käytettynä jännitteellisen osan fyysiseen kiinnitykseen tai tukemiseen.

Eristemateriaalien, joita käytetään jännitteellisten osien suoraan tukemiseen, tulee olla UL 508A (2018, s. 27) standardin mukaan minimipaksuudeltaan standardin taulukon 13.1 mukaisia ja standardin ilma- ja pintavälivaatimusten tulee täytyä. Jännitteellisten osien suoralla tukemisella standardissa tarkoitetaan jännitteellisiin osiin suoraan kontaktissa olevia ja niiden fyysiseen kiinnittämiseen tai suhteellisen asennon säilyttämiseen käytettyjä tukia. Standardin taulukon 13.1 minimivaatimukset eristemateriaaleille eivät koske rajoitetun energian pienjännitepiiriä tai luokan 2 apupiiriä. Taulukon 13.1 materiaalien lisäksi voidaan käyttää myös muita eristemateriaaleja, mutta ne tulee olla testattu ja hyväksytty UL 508 standardin mukaisesti.

4.2.3 Maadoitus

UL 508A (2018, s. 28–29) standardissa todetaan, että kaikkien pienjännitekeskusten virtaa kuljettamattomien metalliosien tulee olla maadoitettuja, jos ne voivat olla kosketuksissa ihmiseen tavallisen toiminnan tai muutostöiden aikana, ovat paljaana tai voivat sähköistyä eristevian, löysän johtoliitoksen tai sähköisen häiriön seurauksena. Kaikkien maadoitustarvikkeiden tulee olla UL 467 standardin mukaisesti hyväksytyjä ja maadoitusjohtimien sekä -kenttälaiteliittimien tulee täyttää standardin taulukon 15.1

mukaiset poikkipinta-ala vaatimukset. Standardin taulukosta 15.1 on kerätty osa tämän työn taulukkoon 4.

Taulukko 4. Maadoitusjohtimien minimikoot. Taulukko koottu UL 508A (2018, s. 29) taulukon 15.1 mukaisesti.

Kenttäkaapelointia syöttävän ylivirtasuojan maksimi virta	Kenttäkaapeloinnin maadoitusjohtimen minimikoko			
	Kupari		Alumiini	
	AWG	mm ²	AWG	mm ²
15	14	2,1	12	3,3
20	12	3,3	10	5,3
30	10	5,3	8	8,4
40	10	5,3	8	8,4
60	10	5,3	8	8,4
100	8	8,4	6	13,3
200	6	13,3	4	21,2

UL 508A (2018, s. 28–29) standardin mukaan laitemaadoitusliitosten ja muiden keskuksen metalliosien välillä tulee olla jatkuva sähköinen johtavuus. Standardissa sanotaan, että pienjännitekeskuksessa on oltava kenttälaitemaadoituksille varatut kenttäkaapelointiliittimet, joiden tulee olla kooltaan taulukon 15.1 johtimien minimivaatimukset täyttäviä ja UL 467 standardin mukaisesti hyväksytyjä. Kenttäkaapeloinnin ylivirtasuojan koko tulee olla merkittynä joko keskuksen tai keskuksen piirikaavioon, jolloin kenttäkaapeloinnin maadoitusjohtimen koko voidaan määrittää.

UL 508A (2018, s. 30–31) standardissa on mainittuna, että kenttälaitemaadoitusliittimien tulee olla merkitty standardin kohdan 54.5 mukaisesti. Kohdassa 54.5 on mainittu muun muassa vihreä väri, sana *Ground* tai kirjaimet *GRD*. Maadoitusjohtimien tulee lisäksi olla standardin mukaan vihreitä tai vihreitä yhdellä tai kahdella keltaisella raidalla. Missään muussa käyttötarkoituksessa ei standardin mukaan saa näitä johdinväriytyksiä käyttä.

4.3 Koteloidut pienjännitekeskukset

UL 508A (2018, s. 31–32) standardin kohdassa 18.1 mainitaan, että avoimien pienjännitekeskusten tulee täyttää standardin vaatimukset kohtien 7–17 ja 28–61 mukaisesti. Koteloitujen pienjännitekeskusten, jotka luokitellaan suljetuiksi laitteiksi, on näiden kohtien lisäksi täytettävä standardin kohdat 18–27 ja pienjännitekeskuksen kotelon on täytettävä standardin kohtien 62–64 vaatimukset tai olla UL 50 tai UL 50E standardien mukainen.

4.3.1 Ovet

Jos pienjännitekeskus sisältää pääpiirin sulakkeita, kotelon sisällä olevia katkaisijoita, sähkömoottoreiden ylikuormitusuojia tai muita laitteita kuten ajastimia tai tallentimia, jotka vaativat huoltoa tai nollausta, on pienjännitekeskuksen kotelo varustettava ovella UL 508A (2018, s. 32) standardin kohdan 18.4 mukaisesti. Ovien tulee standardin mukaan avautua vähintään 90° suljetusta asennosta.

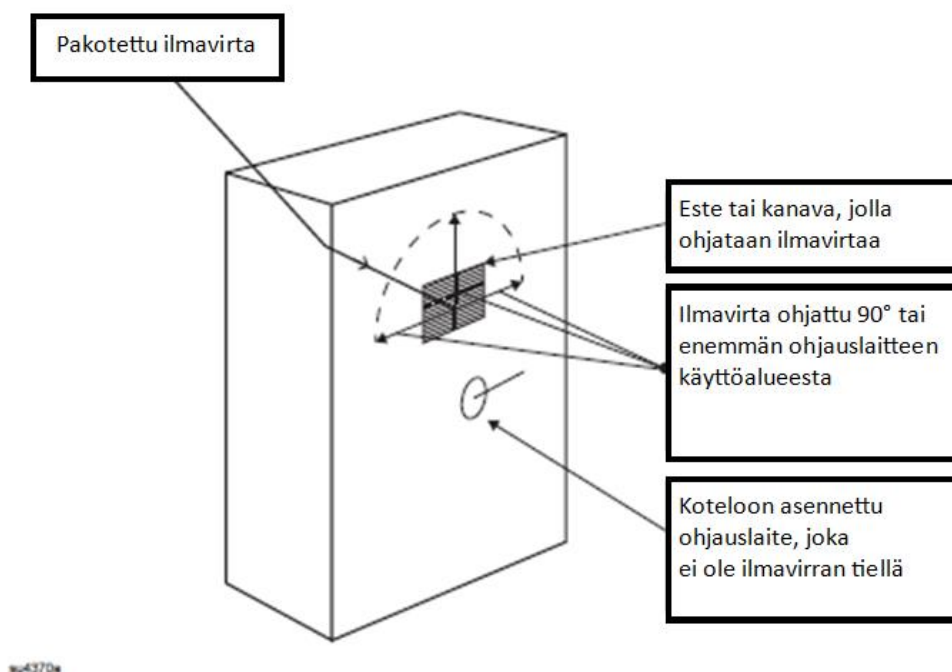
4.3.2 Kotelon aukotus

UL 508A (2018, s.32) standardin mukaan kotelon muut aukot, jotka ovat tarkoitettu kenttäkaapelointien läpivientiin, on oltava standardikokoisia. Kun aukkoihin on asennettu läpivientiholkkit, tulee niiden olla UL 514B standardin mukaisia ja kotelon TYPE-luokituksen mukaisesti tiiviitä. Muiden kuin TYPE 1:n tiiveysluokitusten mukaiset vaatimukset läpivientien tiiveydelle on esitetty UL 508A (2018, s. 33) standardin taulukossa 19.1.

Standardissa UL 508A (2018, s. 36) on myös määritetty minimietäisyydet jännitteisten tai liikkuvien osien ja kotelossa olevien eri kokoisten aukkojen välillä standardin taulukossa 20.1. Aukon koon halkaisija määritetään standardin mukaan aukosta läpi menevän pienimmän sylinterin muotoisen kappaleen halkaisijan mukaan. Esimerkiksi 0,5 tuuman (12,7 mm) kokoisesta aukosta on oltava vähintään 4,0 tuumaa (101,6 mm) lähimpään jännitteelliseen tai liikkuvaan osaan kotelon sisällä. Standardin taulukon 20.1

minimietäisyydet eivät kuitenkaan koske alle 30 V_{AC} tai 42,4 V_{DC} virtapiirejä tai tilannetta, jossa lattia-asennettujen pienjännitekeskusten alaosassa kotelointi on auki enintään 6 tuumaa (152 mm) lattiapinnasta ja keskuksen paljaat jännitteelliset osat ovat kotelon alareunaa ylempänä vähintään 6 tuumaa (152 mm).

UL 508A (2018, s. 37–38) standardin mukaan pienjännitekeskuksen katolla sijaitseva ilmanvaihtoon käytetty aukko tulee suojata hupulla tai suojakilvellä, jos aukon alla on suojaamattomia jännitteisiä osia. Tuuletusaukko, josta pakotetaan ilmaa ulos puhaltimella, tulee olla standardin mukaan suunnattu pois keskuksen kotelossa olevien ohjauslaitteiden käyttöalueesta. Tämä ohjauslaitteiden käyttöalue määritetään standardin kohdan 21.2.2 mukaisesti olevan vaakasuorassa 30 tuumaa (76,2 cm) ohjauslaitteen, näytön tai erotuskahvan keskikohdasta. Pystysuunnassa ohjauslaitteiden käyttöalue on koko keskuksen mitta seinään asennettujen keskuksien kohdalla ja lattia-asennetuissa keskuksissa 6,5 jalkaa (198,1 cm) lattiapinnasta. Poikkeuksena on, jos ilmavirta ohjataan pakotetusti poispäin ohjauslaitteen käyttöalueelta 90° tai enemmän kuvan 12 mukaisesti.



Kuva 12. Pakotetun ilmanvaihdon suuntaamisen ja ohjauslaitteiden käyttöalueiden poikkeus. Käännetty ja muokattu UL 508A (2018, s. 38) standardin kuvasta 21.1.

4.3.3 Ilmanvaihto ja koteloinnin sisäisen olosuhteen säätö

Tuulettimien, ilmastointilaitteiden ja lämmittimien tulee UL 508A (2018, s. 42–44) standardin mukaan täyttää kullekin komponentille vaaditut komponenttikohtaiset UL laitestandardit. Esimerkiksi tuulettimien tulee täyttää UL 507, ilmastointilaitteiden UL 484 tai UL 1995 ja lämmittimien UL 499 tai UL 508 standardien vaatimukset ja olla näiden mukaan UL-hyväksytyjä. Lisäksi standardin mukaan pienjännitekeskuksen sisäistä lämmitintä ei saa asentaa alle 2 tuuman (50,8 mm) päähän polymeerisistä eristemateriaaleista pois lukien keskuksen sisäisen johdotuksen lämmittimeen kytketyt johtimet. Ilmanvaihtoaukossa tulee standardin mukaan olla Ilmansuodattimet sellaisissa keskuksissa, joissa on pakotettu ilmanvaihto ja tehomuuntimia, ohjelmoitavia ohjainlaitteita, teholähteitä tai tietotekniikkaa.

Pienjännitekeskuksen sisäisen huoltovalaistuksen tulee UL 508A (2018, s. 44) standardin mukaan täyttää lampunpitimen osalta UL 496 standardin ja loisteputkivalaisimien osalta

UL 1598 standardin vaatimukset ja olla näiden mukaan hyväksytyjä. Valaistuksen virtapiirin jännite ei saa standardin mukaan ylittää 150 V ja lampunpidin tulee maadoittaa. Huoltovalaistuspiiri luetaan standardin mukaan pääpiiriksi ja sen tulee täyttää pääpiirin vaatimukset. Poikkeuksena, jos huoltovalaistuspiiri on syötetty erotusmuuntajan toisiopiirillä ja piirin jännite on 120 V ja se täyttää apupiirin vaatimukset, on huoltovalaistuspiiri tällöin apupiiriksi luettava. Apupiiriksi luetaan myös LED-valaisimia käyttävät huoltovalaistuspiirit.

4.4 Komponentit

UL 508A (2018, s. 11, 17–18) ei kata ohjauskeskuksen ohjaamien kuormien, komponenttien tai laitteiden vaatimuksia, vaan ne on esitetty muissa käyttölaitteisiin liittyvissä laitestandardeissa. Standardin mukaan teollisuuden ohjauskeskuksissa käytettyjen komponenttien tulee täyttää standardin liitteen A ja tämän työn liitteen 1 mukaiset laitestandardit. Standardin mukaan komponentteja tulee käyttää sen valmistajan määrittelemien ehtojen mukaisesti valmistajan määrittelemissä olosuhteissa sekä juuri siinä käyttötarkoituksessa, mihin komponentti on UL-hyväksytty.

Joillain komponenteilla voi olla standardin (UL 508A, 2018, s. 17) mukaan tiukennettuja toimintavaatimuksia tai rakenneominaisuuksia tietyissä rajoitetuissa olosuhteissa kuten korkeissa lämpötiloissa. Tällöin komponentteja tulee käyttää vain valmistajan määrittelemissä olosuhteissa. Komponentit ovat UL 508A (2018, s. 22) standardin mukaan kiinnitettävä tukipintaan tukevasti. Samaa kiinnitystarviketta (ruuvia tai pulttia) ei tule samanaikaisesti käyttää komponentin eri osien kiinnittämiseen toisiinsa ja koko komponentin kiinnittämiseen asennuslevyyn. Jännitteellistä kiinnitysruvia tai -mutteria on standardin mukaan estettävä löystymästä tähti- tai lukkoaluslevyllä ja se tulee olla eristetty asennuslevystä eristeellä tai riittävällä ilma- ja pintavälillä.

Eristämättömiä jännitteellisiä osia sisältävät komponentit ovat UL 508A (2018, s. 22) standardin mukaan kiinnitettävä jollain muulla kuin pelkän kitkan avulla niin, että niiden liikkuminen tai kääntyminen estetään. Tällaisia kiinnityskeinoja standardissa mainitaan

olevan esimerkiksi kahden tai useamman ruuvin tai niitin kiinnitys asennuslevyyn ja asennuskiskoon asentaminen. Komponenttien kiinnittämisessä tulee huomioida myös standardin mukaisesti jännitteellisten osien ilma- ja pintavälivaatimukset.

4.5 Pääpiirit

4.5.1 Kenttäkaapelointi

Jokaiselle kentältä pienjännitekeskukseen tulevalle johtimelle on UL 508A (2018, s. 44–45) standardin mukaan oltava liitin, kuten esimerkiksi riviliitin. Kenttäkaapeloinnin liittimet tulee standardin mukaan olla sijoitettuna keskukseen niin, että niitä pystyy tarkastelemaan ja johtimien liittäminen ja irrottaminen on mahdollista tehdä ilman keskuksen sisäisen johdotuksen, virtakiskojen tai muiden komponenttien kiinnitysruuvien löysäämistä. Kenttäkaapeloinnin liitin tulee standardin mukaan olla tarkoitettu kuparisille, alumiinisille tai näille molemmille materiaaleille. Kaikki kenttäkaapeloinnin liittimet tulee merkitä standardin kohdan 54.11 mukaisesti, eli merkintä "Use copper conductors only", "Use aluminum conductors only", "Use Copper or Aluminum Conductors" tai "Use Copper or Copper-Clad Aluminum Conductors" tulee olla näkyvässä kunkin kenttäkaapelointiliittimen ohessa tämä työn liitteenä 2 olevan taulukon mukaisessa paikassa.

UL 508A (2018, s. 45–48) standardin mukaan keskuksessa käytettyjen riviliittimien on oltava UL 1059 standardin mukaisesti UL-hyväksytyjä. Muiden liitinmallien on oltava oman laitestandardinsa mukaisesti UL-hyväksytyjä. Pienjännitekeskusten ilma- ja pintavälien minimietäisyydet tulee myös liittimien asennuksessa täyttyä. Kenttäkaapeloinnin liittimet pääpiirissä eivät saa standardin mukaan olla kooltaan alle 14 AWG (2,1 mm²) ja liittimien koon määrittämisessä on laskettava kenttäkaapeloinnin johtimien virtakestoisuus eri kuormien virta-arvoille standardin kohtien 28.3.2–28.3.6 mukaisesti. Esimerkiksi standardin kohdassa 28.3.2 on mainittu, että moottorikuormille, kiinteille lämmitys- ja valaistuskuormille kenttäkaapelien virtakestoisuus on oltava 125 % niiden jatkuvan kuormituksen virrasta. Kenttäkaapeloinnin liittimen koko määräytyy

kenttäkaapeloinnin virtakestoisuutta vastaavan kaapelikoon mukaan standardin taulukon 28.1 mukaisesti, josta on koottu osa tämän työn taulukkoon 5.

Taulukko 5. Eri johdinkokojen virtakestoisuudet lämpötilan mukaan. Koottu UL 508A (2018, s. 46) taulukon 28.1 mukaisesti.

Johtimen koko		Johtimen virtakestoisuus			
		60 °C (140 °F)		75 °C (167 °F)	
AWG	mm ²	Kupari	Alumiini	Kupari	Alumiini
14	2,1	15	-	15	-
12	3,3	20	15	20	15
10	5,3	30	25	30	25
8	8,4	40	30	50	40
6	13,3	55	40	65	50
4	21,2	70	55	85	65
3	26,7	85	65	100	75
2	33,6	95	75	115	90
1	42,4	110	85	130	100

4.5.2 Sisäinen johdotus

UL 508A (2018, s. 51–53) standardin mukaisesti kaikkien pienjännitekeskuksen sisäisten johtimien ja virtakiskojen tulee olla valmistettu kuparista ja niiden eristys on mitoitettava keskuksen suurimman jännitteen mukaisesti. Jokaisen keskuksen sisäisten johtimien tulee lisäksi olla mitoitettu 90 °C (194 °F) lämpötilaan ja olla UL-hyväksytty UL 1063, UL 44, UL 83, UL 758 tai UL 486A–486B standardin mukaisesti. Kaikkien sisäisten johtopäätteiden tulee olla mekaanisesti varmistettuja ja taata sähkön johtavuuden jatkuvuus. Useamman kuin yhden johtimen sisältävissä liittimissä tulee myös olla luotettava sähköinen ja mekaaninen kytkentä. Jos ei erikseen ole mainittu muuta, keskuksen sisällä vaihejärjestys on standardin mukaan kolmivaiheisessa järjestelmässä A, B ja C keskuksen etuosasta takaosaan, ylhäältä alas tai vasemmalta oikealle keskusta edestäpäin katsottaessa.

Sisäisen johdotuksen reitityksestä on UL 508A (2018, s. 54–55) standardissa mainittu, että johdotus tulee olla reititetty niin, ettei sen eristeet pääse vaurioitumaan esimerkiksi

terävien kulmien, liikkuvien osien tai lämmittimien vuoksi. Liikkumiselle alttiit johdotukset tulee olla tehty säikeisiä johtimia käyttäen ja reititetty, varmistettu ja suojattu niin, että johto ei pääse vaurioitumaan esimerkiksi oven avaamisen tai sulkemisen aikana. Pääpiirin sisäisessä johdotuksessa käytetyt johtimet eivät saa UL 508A (2018, s. 55–56) standardin mukaan olla kooltaan alle 14 AWG (2,1 mm²) ja niiden koko tulee mitoittaa virrankestoisuuden perusteella samoin perustein kuin kenttäkaapeloinninkin tapauksessa.

4.5.3 Katkaisijat ja kytkimet

Virtapiirin katkaisemiseen käytettyjen laitteet tulee olla UL 508A (2018, s. 57) standardin mukaan kyseisen laiteluokan oman UL standardin mukaan hyväksytyjä. Esimerkiksi käänteisaikatoiminnolla varustetun katkaisijan tulee olla UL 489 standardin ja kuormakytkimen UL 98 standardin mukaisesti UL-hyväksytyjä. UL 508A standardissa mainitaan myös, että käänteisaikatoiminnolla tai välittömällä laukaisulla varustettua katkaisijaa ei saa kuormittaa jatkuvasti yli 80 % virralla sen nimellisvirta-arvosta, ellei jatkuvaa nimellisvirtakestävyyttä ole erikseen komponentissa valmistajan toimesta mainittu.

Virtapiirin katkaisuun tarkoitettu laite tulee UL 508A (2018, s. 58) standardin mukaan olla jokaisessa pienjännitekeskukseen tulevassa syöttöpiirissä ja sen tulee katkaista syöttöpiirin jokainen maadoittamaton johdin. Katkaisulaitetta ei kuitenkaan ole välttämätöntä sijoittaa kyseisen pienjännitekeskuksen sisään, mikäli se sijaitsee syöttöpiirissä ennen pienjännitekeskusta ja keskukseen on merkattu standardin kohdan 60.1 mukaisesti vaaditun syöttöpiirin suojauslaitteen koko ja tyyppi. Jos keskuksessa on useampia syöttäviä piirejä, niiden katkaisulaitteet tulee olla ryhmitettynä samaan osaan keskusta ja kunkin katkaisulaitteen kohdalle on merkittävä, minkä laitteen sähkönsyötön ne katkaisevat.

Jos pienjännitekeskuksen pääkatkaisijan kahva liikkuu pystysuorassa, se tulee UL 508A (2018, s. 58–59) standardin mukaan asentaa niin, että se on johtavassa tilassa kahvan

ollessa yläasennossa. Katkaisulaitteissa tulee muutenkin olla standardin mukaan esitettyinä selkeästi, milloin sen ohjaama virtapiiri on auki tai kiinni. Lisäksi standardin mukaan katkaisulaitteen kahva tulee olla mahdollista lukita auki asentoon. Katkaisulaitteen kahvaa ei myöskään saa standardin mukaan asentaa yli 79 tuuman (201 cm) korkeudelle lattiapinnasta.

4.5.4 Haarapiirien suojaus

Haarapiirien suojauslaitteiden, kuten muidenkin virtapiirin katkaisuun tarkoitettujen laitteiden, tulee UL 508A (2018, s. 59) standardin mukaan olla kyseisten komponenttien UL laitestandardien mukaisesti hyväksytyjä. Haarapiirin suojauksessa ei saa standardin mukaan kuitenkaan käyttää UL 1077 standardin mukaisia lisäsuojaukseksi hyväksytyjä suojalaitteita, UL 248-14 standardin mukaisia pienois- tai mikrosulakkeita eikä UL 508 standardin mukaisia välittömällä laukaisulla varustettuja manuaalisia moottorinohjaimia.

Haarapiirin suojauslaitteen tulee UL 508A (2018, s. 60–64) standardin mukaisesti katkaista kaikki maadoittamattomat johtimet, jotka menevät kuormalle. Erilaisia kuormia sisältävien haarapiirien suojauksen mitoitukseen on esitetty sääntöjä standardin kohdissa 31.3–31.8. Esimerkiksi kohdassa 31.3.2 mainitaan, että taajuusmuuttajaohjatun sähkömoottorin sisältävän haarapiirin suojauksen koko määräytyy taajuusmuuttajavalmistajan asennusohjeiden mukaisesti. Kohdissa 31.5.1 ja 31.5.2 mainitaan, että yksittäisen yleiskäyttöisen pistorasian sisältävä haarapiiri tulee ylivirtasuojata enintään pistorasian nimellisen virta-arvon mukaisesti ja useamman pistorasian sisältävässä haarapiirissä ylivirtasuojauksen tulee olla enintään yksittäisen pistorasian virta-arvon suuruinen. Poikkeuksellisesti standardin mukaan voidaan erityiskäyttöön tarkoitettu pistorasia varustaa pistorasian nimellistä virta-arvoa pienemmällä ylivirtasuojalla, mutta se on merkittävä kyseiseen pistorasiaan standardin kohdan 59.1 mukaisesti merkiten ylivirtasuojan virta-arvo ja pistorasian käyttötarkoitus pistorasian oheen.

4.6 Apupiirit

4.6.1 Kenttäkaapelointi

Apupiirien kenttäkaapelointiliittimien tulee UL 508A (2018, s. 78–79) standardin mukaan täyttää samat vaatimukset ja UL laitestandardit, kuin pääpiiriinkin kuuluvien kenttäkaapelointiliittimien. Pienjännitekeskukseen tulevien apupiirien kenttäkaapelointiliittimet tulee olla vähintään 14 AWG (2,1 mm²) kokoisia ja ne tulee mitoittaa kenttäkaapeleita syöttävän piirin ylivirtasuojauksen mukaan. Pienjännitekeskuksesta lähtevien apupiirien kenttäkaapelointiliittimien koot määräytyvät standardin mukaan apupiirimuuntajan toisiopuolen tai keskuksessa olevan apupiirin ylivirtasuojauksen mukaan. Alle 10 A virralle mitoitettujen apupiirien kenttäkaapelointiliittimien kokovaatimukset ja liittimien koon mahdolliset merkintävaatimukset standardin kohdan 54.9 mukaisesti on esitetty standardin taulukossa 37.1 ja siitä osa on nähtävissä tämän työn taulukossa 6. Standardin kohdan 54.9 merkintävaatimus tarkoittaa kyseisen kenttäkaapelointiliittimeen sopivien kaapelikokojen merkkäamista liittimen oheen.

Taulukko 6. Kooltaan alle 14 AWG (2,1 mm²) kenttäkaapeloinnin liittimen mitoitus ja mahdollisen merkinnän tarpeellisuus apupiirin virran mukaan. Koottu UL 508A (2018, s. 79) standardin taulukon 37.1 mukaisesti.

Apupiirin maksimi virta [A]	Liittimen terminaalien minimi koko		Merkintä vaaditaan
	AWG	mm ²	
10	16	1,3	Kyllä
10	16–14	1,3–2,10	Ei
7	18	0,82	Kyllä
7	18–14	0,82–2,10	Ei
5	20–18	0,52–0,82	Kyllä
5	20–14	0,52–2,10	Ei
3	22–18	0,32–0,82	Kyllä
3	22–14	0,32–2,10	Ei
2	24–18	0,20–0,82	Kyllä
2	24–14	0,20–2,10	Ei
1	26–18	0,13–0,82	Kyllä
1	26–14	0,13–2,10	Ei

Poikkeuksena näihin vaatimuksiin kenttäkaapelointiliittimille on UL 508A (2018, s. 79) standardin mukaan luokan 2 apupiirit ja rajoitetun energian pienjännitepiirit. Standardin mukaan luokan 2 apupiirin ei tarvitse täyttää standardissa esitettyjä vaatimuksia kenttäkaapelointiliittimille, mutta sen tulee noudattaa standardin kohtien 28.4.1 ja 28.4.2 mukaista virtapiirien erottelua eri piirien välisellä esteellä tai riittävällä välillä eri piirien johtimien välillä. Lisäksi luokan 2 kenttäkaapelointiliittimet tulee merkitä vain luokan 2 apupiirissä käytettäviksi standardin kohdan 54.7 mukaisesti.

Rajoitetun energian pienjännitepiiriä koskee UL508A (2018, s. 79) standardin vaatimukset kenttäkaapeloinnille, jos sitä ei ole standardin kohtien 28.4.1 ja 28.4.2 mukaisesti erotettu muista virtapiireistä. Tällöin kyseinen rajoitetun energian pienjännitepiiri luokitellaan luokan 1 apupiiriksi ja on merkittävä luokkaan 1 kuuluvaksi standardin kohdan 54.6 mukaisesti. Jos kuitenkin rajoitetun energian pienjännitepiiri on erotettu muista luokan 1 ja 2 apupiireistä sekä pääpiireistä standardin kohtien 28.4.1 ja 28.4.2 mukaisesti, ei sen tarvitse täyttää kenttäkaapelointiliittimille esitettyjä vaatimuksia. Tällöin rajoitetun energian pienjännitepiiriä voi standardin mukaan käyttää luokan 2 apupiirin tapaan.

4.6.2 Sisäinen johdotus

Pienjännitekeskusten apupiirien sisäinen johdotus on UL 508A (2018, s. 80) standardin mukaan oltava pääpiirien johdotuksen tavoin valmistettu kuparista ja johtimien eristys on oltava korkeimman jännitetason mukaan mitoitettu. Apupiirien sisäisen johdotuksen tulee lisäksi olla lämpötilamitoidettu 90 °C (194 °F) ja täyttää samat johtojen UL standardit kuin pääpiirinkin johdotus. Apupiiri saa kuitenkin standardin mukaan olla enintään 16 AWG (1,3 mm²) kokoisten johtimien osalta lämpötilamitoidettu 60 °C (140 °F). Lisäksi luokan 2 apupiiri tai rajoitetun energian pienjännitepiiri, muista virtapiireistä erotettuna standardin kohdan 29.5 mukaisesti, saa olla UL 13 tai UL 444 standardin mukaisesti hyväksytyistä johtimista valmistettu.

Apupiirin sisäiset johtimet tulee UL 508A (2018, s. 80–81) standardin mukaan mitoittaa piirin ylivirtasuojauksen, piiriä syöttävän muuntajan toisiopiirin tai teholähteen virran rajoituksen mukaisesti. Sisäisen johdotuksen minimikoko määräytyy piirin maksimivirran mukaisesti standardin taulukon 28.1 ja 38.1 mukaisesti, jotka ovat osittain esitettynä tämän työn taulukoissa 5 ja 7.

Taulukko 7. Apupiirin johtimien minimikoot piirin maksimivirran mukaan. Koottu UL 508A (2018, s. 80–81) standardin taulukon 38.1 mukaisesti.

Apupiirin maksimi virta [A]	Johtimen minimikoko	
	AWG	mm ²
10	16	1,3
7	18	0,82
5	20*	0,52
3	22*	0,32
2	24*	0,2
1	26*	0,13
* Nämä johdinkoot ovat vain elektronisten ohjaus- laitteiden liittämiseen tulo- ja lähtösignaaleihin		

UL 508A (2018, s. 81) standardin mukaan apupiirien johdotuksessa, samoin kuin pääpiirien, kaikkien sisäisten johtopäätteiden tulee olla mekaanisesti varmistettuja ja taata sähkönjohtavuuden jatkuvuus. Useamman kuin yhden johtimen sisältävissä liittimissä tulee myös olla luotettava sähköinen ja mekaaninen kytkentä. Sisäisen johdotuksen reitityksessä johdotus tulee olla reititetty niin, ettei sen eristeet pääse vaurioitumaan esimerkiksi terävien kulmien, liikkuvien osien tai lämmittimien vuoksi.

UL 508A (2018, s. 81–82) standardin mukaan jokaiseen apupiiriä syöttävän haarapiirin maadoittamattomaan johtimeen tulee asentaa haarapiirin suojaukseen hyväksytty suojalaite. Apupiiriä syöttävän piirin ylivirtasuoja ei saa kuitenkaan olla standardin mukaan suurempi kuin 20 A.

4.6.3 Rajoitetun energian pienjännitepiiri

UL 508A (2018, s. 86–87) standardin mukaisesti rajoitetun energian pienjännitepiiri saa olla avoimen piirin jännitteeltä enintään $30 V_{\text{rms, AC}}$ tai $60 V_{\text{DC}}$. Piirissä on lisäksi oltava standardin mukaan ylivirtasuojaus, joka on mitoitettu standardin taulukon 43.1 ja tämän työn taulukon 8 mukaisesti. Piiriä tulee syöttää standardin kohdan 43.1.1 vaatimusten mukaisilla laitteilla, joita ovat esimerkiksi standardin kohdassa 42.1 määritetyt ohjausmuuntajat, kohdassa 42.2 määritetyt teholähteet ja UL 1642 standardin mukaisesti hyväksytyt litiumakut.

Taulukko 8. Rajoitetun energian pienjännitepiirin suurin ylivirtasuojaus jännitteen mukaan. Koottu UL 508A (2018, s. 87) standardin taulukon 43.1 mukaisesti.

Avoimen piirin jännite [V]	Suurin ylivirtasuojaus [A]
0–20 (AC huippu tai DC)	5
20,1–42,4 (AC huippu tai DC)	$100/V^*$
42,5–60 (DC)	$100/V^*$
* V on avoimen piirin huippu- tai tasajännite (DC). Esim. 50 V piirissä suurin ylivirtasuojaus saa olla $100 / 50 \text{ V} = 2 \text{ A}$.	

Rajoitetun energian pienjännitepiirin vaatimukset täyttävän apupiirin komponenttien tai johdotusten, jotka ovat kokonaan kyseisen piirin sisällä, ei tule UL 508A (2018, s. 87) standardin mukaan olla UL-hyväksytyjä. Piirin sisäisen johdotuksen tulee täyttää standardin kohdan 29.5 mukaiset eri piirien erotusvaatimukset ja kenttäkaapeloinnin liittimien tulee olla aiemmin tässä työssä mainittujen rajoitetun energian pienjännitepiirin kenttäkaapelointiliitinvaatimusten mukaisia.

4.6.4 Luokan 2 apupiiri

UL 508A (2018, s. 13) standardin määritelmän mukaisesti luokan 2 apupiiri saa olla enintään $30 V_{\text{rms}}$ ja sen virran tulee olla rajoitettu. Luokan 2 apupiiriä saa standardin (s. 87–88) mukaan syöttää vain luokan 2 apupiiriä syöttäväksi laitteeksi hyväksytyllä laitteella. Tällaisia ovat standardin mukaan esimerkiksi UL 5085–1, UL 1310 ja UL 60950–1 standardien mukaiset laitteet. Myöskään luokan 2 apupiirin sisäisten laitteiden tai johdotuksen ei tarvitse olla UL-hyväksytyjä. Piirin sisäisen johdotuksen tulee täyttää

standardin kohdan 29.5 mukaiset eri piirien erotusvaatimukset ja kenttäkaapeloinnin liittimet aiemmin tässä työssä mainittujen luokan 2 apupiirin kenttäkaapelointiliitinvaatimusten mukaisia.

4.7 Syöttöpiirin mitoitus

Pienjännitekeskuksen syöttöliittimet tulee UL 508A (2018, s. 94) standardin mukaan mitoittaa syötön jännitteen, keskuksen täyden kuormituksen virran, vaiheiden lukumäärän ja verkon taajuuden mukaan. Täyden kuormituksen virran mitoitus tulee olla standardin mukaan vähintään kaikkien keskuksen yhtäaikaisesti toimivien kuormien yhteenlaskettu kuormitusvirta, johon on lisätty myös apupiiriä syöttävien ohjausmuuntajien ensiöpiirien nimellisvirta-arvot. Syöttöjännite ei saa myöskään ylittää minkään syöttävän pääpiirin komponentin nimellisjännitettä.

4.8 Pienjännitekeskuksen merkinnät

Jokaisessa pienjännitekeskuksessa tulee UL 508A (2018, s. 98) standardin mukaan olla tyyppikilpi, joka sisältää valmistajan nimen, sähkönsyötön sähköluokitukset, oikosulkuvirran kestävyys, kotelon kotelointiluokan ja sallitut ympäristöolosuhteet. Standardissa on myös vaatimuksia useille merkinnöille, jotka tulee merkitä joko itse keskuksen tai keskuksen mukana toimitettaviin dokumentteihin tai piirikaavioihin. Vaadittujen merkintöjen yleinen kuvaus ja standardin mukainen vaatimus merkinnän sijainnista on esitetty koottuna standardin taulukossa 52.1, joka on suomennettuna tämän työn liitteessä 2. Jokaisen merkinnälle on taulukossa myös mainittuna standardin kohta, josta löytyy tarkempi kuvaus vaaditusta merkinnästä. Näitä ei kuitenkaan käydä sen tarkemmin tässä työssä läpi vaan ne tulee tarkastaa standardista.

5 UL 508A standardin ja SFS-EN IEC 61439 standardisarjan vertailu

Tässä luvussa on tarkoitus vertailla Pohjois-Amerikassa käytössä olevaa pienjännitekeskusten turvallisuusstandardia UL 508A ja SFS-EN IEC 61439 standardisarjan, joka on IEC:n laatima standardisarja pienjännitekeskusten vaatimuksille. Eurooppalainen sähköalan standardisointijärjestö CENELEC on vahvistanut IEC 61439 standardisarjan eurooppalaiseksi EN-standardiksi. Koska Suomi on CENELEC:n jäsenmaa, on Suomen otettava EN-standardit käyttöön sellaisenaan ja vahvistettava ne suomalaisiksi SFS-EN-standardeiksi, jolloin SFS-EN IEC 61439 standardisarja on käytössä myös Suomessa. (Suomen standardoimisliitto SFS ry, 2016, s. 5).

Tässä luvussa on tarkoitus nostaa esille standardien keskeisimpiä eroja ja tuoda tekstin lukijalle yleinen käsitys standardien sisältöeroista käymättä läpi niiden välisiä yksittäisiä eroavaisuuksia. Pienjännitekeskusten valmistuksessa tai standardien eroja tulkittaessa on siis kuitenkin tutustuttava kyseisten standardien viimeisimpiin versioihin, eikä nojata pelkästään tässä työssä esiin nostettuihin huomioihin standardeista.

5.1 SFS-EN IEC 61439 standardisarjan tausta ja sisältö

Suomen standardoimisliitto SFS ry:n (2016, s. 5) oppaan mukaan sähkölaitteistojen laillisesti sitovissa säädöksissä annetaan vain perusvaatimukset ja tarkemmat yksityiskohtaiset vaatimukset esitetään kutakin aihealuetta koskevissa standardeissa. Heidän mukaansa esimerkiksi EU:n alueella sähkölaitteistojen perusvaatimukset ovat esitettynä EU direktiiveissä, jotka kukin jäsenmaa ottaa käyttöön lainsäädännössään. Direktiivien periaate on heidän mukaansa antaa yleiset turvallisuusvaatimukset. Direktiiveissä todetaan lisäksi, että direktiivin vaatimukset voidaan täyttää noudattamalla yhtenäistettyjä standardeja, joiden viitetiedot julkaistaan Euroopan unionin virallisessa lehdessä. Pienjännitekeskuksille tällaiset standardit ovat oppaan mukaan SFS-EN IEC 61439 standardisarjan standardit.

Suomen standardoimisliitto SFS ry:n (2022, s. 7) standardin SFS-EN IEC 61439-1 johdannossa kerrotaan, että jokaisen pienjännitekeskustyyppin vaatimuksille on kaksi päästandardia, joissa määritetään kaikki keskustyyppiä koskevat vaatimukset ja niiden todentamismenetelmät. Standardin mukaan SFS-EN IEC 61439-1 on perusstandardi, jossa on esitettyä yleisvaatimukset pienjännitekeskuksille ja standardisarjan osat 2–7 ovat yksityiskohtaisia keskusstandardeja erityyppisille keskuksille täydentäen SFS-EN IEC 61439-1 standardin yleisiä vaatimuksia. Standardissa kerrotaan, että SFS-EN IEC 61439 standardisarjasta on julkaistu seuraavat osat:

- SFS-EN IEC 61439-1: Yleisvaatimukset,
- SFS-EN IEC 61439-2: Ammattikäyttöön tarkoitetut kojeistot,
- SFS-EN IEC 61439-3: Maallikkokäyttöön tarkoitetut jakokeskukset,
- SFS-EN IEC 61439-4: Työmaakeskukset,
- SFS-EN IEC 61439-5: Jakeluverkkokeskukset,
- SFS-EN IEC 61439-6: Jakelukiskojärjestelmät,
- SFS-EN IEC 61439-7: Erityiskäyttöihin kuten venesatamiin, leirintäalueille, toreille ja sähköajoneuvojen latausasemiin käytetyt keskukset.

Suomen standardoimisliitto SFS ry:n (2022, s. 8) standardissa SFS-EN IEC 61439-1 kerrotaan standardin olevan sovellettavissa pienjännitekeskuksiin, jotka ovat mitoitusjännitteeltään enintään 1000 V_{AC} tai 1500 V_{DC}, joiden syötön taajuus on enintään 1000 Hz, jotka ovat tarkoitettu sisä- ja ulkotilojen sovellutuksiin, jotka ovat paikallaan tai liikkuvat, jotka ovat koteloituja tai ilman koteloa ja jotka ovat tarkoitettu käytettäväksi sähköenergian tuottamiseen, siirtoon, jakeluun, muuttamiseen ja/tai sähköenergiaa käyttävien laitteiden ohjaukseen. Standardissa kuvataan itsenäisten komponenttien tai laitteiden asentamista koteloihin, joista muodostuu pienjännitekeskuksia. Standardia ei sovelleta yksittäisiin laitteisiin tai muista riippumattomiin komponentteihin. Näiden vaatimukset ovat esitetty kunkin laitteen tai komponentin asianomaisessa laitestandardissa.

Suomen standardoimisliitto SFS ry:n (2020, s. 5–6) standardissa SFS-EN IEC 61439-2 kerrotaan, että kyseinen standardi sisältää lisävaatimuksia ammattikäyttöön tarkoitetuille kojeistoille eli se on niin kutsuttu asianomainen keskusstandardi ammattikäyttöön tarkoitetuille kojeistoille. Standardisarjan osan 1 yleisvaatimukseen verrattuna standardin osa 2 kattaa myös vaatimukset keskuksille, jotka ovat suunniteltuja tiettyihin olosuhteisiin kuten laivoihin tai raideliikenteeseen edellyttäen, että myös muita asiaan kuuluvia erityisvaatimuksia noudatetaan. Standardi koskee myös aurinkosähköjärjestelmiin liittyviä keskuksia. Tämän standardin vaatimukset eivät koske muiden standardisarjan osien sisältämiä keskustyyppejä.

5.2 UL 508A standardin ja SFS-EN IEC 61439 standardisarjan keskeiset eroavaisuudet

Koska UL 508A on teollisuuden pienjännitekeskusten turvallisuusstandardi, on tämän työn kannalta olennaista perehtyä SFS-EN IEC 61439 standardisarjan osiin 1 ja 2, jotka sisältävät pienjännitekeskusten yleisvaatimukset ja ammattikäyttöön tarkoitettujen kojeistojen vaatimukset. Näiden standardien soveltamisalat ovat lähellä toisiaan ja niitä voidaan vertailla keskenään. Globaalisti kauppaa käyvän keskusvalmistajan on hyvä tunnistaa keskeisemmät eroavaisuudet eri alueilla käytössä olevissa standardeissa.

Yksi suurin erottava fundamentaalinen tekijä näiden kahden standardin välillä on se, että jo standardien sisällysluetteloita vertaillen silmään pistää, että UL 508A (2018, s. 3–10) sisältää paljon yksityiskohtaisempia vaatimuksia keskuksen valmistamiseen, kuin hyvin yleisellä tasolla pysyttelevä SFS-EN IEC 61439 standardisarjan osat 1 (Suomen standardoimisliitto ry, 2022, s. 2–3) ja 2 (Suomen standardoimisliitto ry, 2020, s. 2). UL 508A standardissa käsitellään esimerkiksi yksityiskohtaisesti vaatimukset maadoituksista, koteloinnista ja pää- ja apupiirien komponenteista ja johdotuksista. Standardi sisältää paljon yksityiskohtaisia vaatimuksia ja useita erilaisia poikkeuksia luetellaan standardissa paljon. SFS-EN IEC 61439-1 standardi taas käy hyvin yleistasoisesti liitântäarvoja, teknisiä reunaehtoja, keskuksen tietojen merkintää ja käyttöolosuhteita. Rakenne- ja

suorituskykyvaatimukset perustuvat tässä standardissa hyvin paljon alkuperäisen valmistajan suorittamiin tarkastuksiin ja testeihin, joiden suorittamisen ohjeita standardissa ja sen liitteissä on esitetty. Toiset tarkastuksista ja testeistä ovat standardin mukaan velvoittavia ja toiset opastavia.

SFS-EN IEC 61439 standardisarjan mukaisuuden noudattaminen on standardin tulkinnan mukaan selvästi siirretty alkuperäisen valmistajan vastuulle. Standardin mukaan keskuksille tulee suorittaa ja dokumentoida erilaisia tarkastuksia. Esimerkiksi SFS-EN IEC 61439-1 (2022, s. 53–54) standardin kohdassa 10.1 mainitaan, että keskuksen alkuperäinen valmistaja vastaa siitä, että pätevä henkilö valvoo ja tekee keskukselle rakenteen tarkastukset ja toteaa IEC 61439 standardisarjan vaatimuksien noudattamisen. UL 508A standardin mukaisuuden toteaminen on taas ulkopuolisen tahon tarkastuksen varassa. Jotta pienjännitekeskus voidaan todeta UL-hyväksytyksi, tulee valmistajan olla UL:n sertifioima pienjännitekeskusvalmistaja ja UL valvoo säännöllisesti keskusten valmistusta ja UL vaatimusten mukaisuuden noudattamista, kuten tässä työssä on jo aiemmin kerrottu.

Tarkastusmenettelyinä SFS-EN IEC 61439-1 (2022, s. 53–54) standardissa mainitaan tarkastus testaamalla, tarkastus vertaamalla referenssirakenteeseen ja vaatimustenmukaisuuden arviointi laskelmien ja suunnittelusääntöjen oikealla soveltamisella. Standardin mukaan rakennetarkastuksen tulee sisältää materiaalien ja osien lujuuden, keskuksen koteloitiluokan, ilma- ja pintavälien, sähköiskulta suojauksen, suojajohdinsiirien jatkuvuuden, kytkinlaitteiden ja komponenttien liittäminen, sisäisten sähköpiirien rakenteen ja liitäntöjen, ulkoisten johtimien liittimien, sähköisten ominaisuuksien, lämpenemisen, oikosulun kestävyden ja sähkömagneettisen yhteensopivuuden tarkastukset. Tarkastuksen tulokset tulee tallettaa tarkastusraporttiin.

Yksi keskeisistä eroista standardien välillä on myös SFS-EN IEC 61439-1 (2022, s. 36) standardissa mainittu keskusten koteloituluokituksessa käytetty IP-luokitus, kun taas UL käyttää koteloituluokituksessa TYPE-luokitusta, jonka luokat ovat esitettyinä aiemmin

tässä työssä. Myös ilma- ja pintavälien mitoituksessa on eroja. UL 508A (2018, s. 23–24) määrittää ilma- ja pintaväleille tarkat mitat virtapiirin jännitetason mukaan, kun taas SFS-EN IEC 61439-1 (2022, s. 85–86) standardissa ilma- ja pintavälien mitoitus perustuu ilmapäleissä syöksyjännitteen mitoituskestoarvoon ja pintapäleissä niin mitoituseristysjännitteeseen, likaantumisasiesteseen kuin materiaaliluokkaankin. UL 508A standardissa käytetään johtimien mitoituksessa pääasiassa AWG kokoluokitusta, kun SFS-EN IEC 61439 standardisarjassa käytetään neliömillimetriä.

Standardeissa on myös yhtäläisyyksiä ja yhtäläisiä tavoitteita, kuten keskuksien turvallisuuden tavoittelu. SFS-EN IEC 61439-1 (2022, s. 44) standardissa todetaan, että pienjännitekeskukseen sijoitetut kytkinlaitteet ja komponentit on oltava valmistettu asianomaisten IEC-standardien mukaisesti ja niiden on oltava käyttötarkoitukseen sopivia. UL 508A (2018, s. 17–18) standardissa myös todetaan, että kaikkien keskuksissa käytettyjen komponenttien tulee käyttötarkoitukseen sopivia ja asianomaisen UL-standardin mukaan valmistettuja. Erona on se, että UL 508A standardi vaatii myös, että keskuksessa käytetyt komponentit ovat UL-hyväksytyjä ja UL-merkittyjä.

Vaikka standardit ja niiden vaatimukset eroavat toisistaan, ei niiden eroavaisuudet käytännössä ole mahdottoman kaukana toisistaan. Useat komponenttivalmistajat valmistavat tuotteensa niin, että sama komponentti täyttää useiden eri standardointijärjestelmien vaatimukset. Esimerkiksi ABB:n (2023, s. 4) valmistaman erään johdonsuojakatkaisijan katalogissa kerrotaan, että UL 489 standardin mukaisesti haarapiirin suojaukseen UL-hyväksytty johdonsuojakatkaisijamalli on valmistettu täyttämään myös IEC:n, CSA:n, ja monien muiden tahojen vaatimukset ja sertifiointit. Jokaisen keskuksen valmistuksessa tulee kuitenkin keskuskohtaisesti jo suunnitteluvaiheessa tarkastaa, minkä standardin vaatimukset sen tulee täyttää ja mihin yksityiskohtiin tulee kiinnittää huomiota. Taulukossa 9 on vielä esitettyä yhteenveto tähän kappaleeseen nostetuista keskeisistä eroavaisuuksista standardien välillä.

Taulukko 9. Yhteenveto tähän työhön nostetuista UL 508A standardin ja SFS-EN IEC 61439 standardisarjan keskeisistä eroista.

Standardi	UL 508A	SFS-EN IEC 61439
Käyttöjännite	$\leq 1000 \text{ V}$	$\leq 1000 \text{ V}_{AC}$ tai 1500 V_{DC}
Taajuus	ei mainittu	$\leq 1000 \text{ Hz}$
Kotelointiluokka	UL TYPE	IP
Komponentit	UL laitestandardien mukaisesti UL-hyväksytyjä	IEC laitestandardien mukaisesti valmistettuja
Tekninen mitoitus	Yksityiskohtaiset vaatimukset eri virtapiireille lukuisin poikkeuksin	Yleiset reunaehdot, jotka todennetaan standardin mukaisilla tarkastuksilla ja testeillä
Standardin mukaiseksi toteaminen	UL:n suorittama tarkastus, jonka jälkeen keskus saa UL-listattu-merkin	Alkuperäinen valmistaja suorittaa tarkastukset ja testaukset, jonka jälkeen voi merkitä keskuksen IEC standardin mukaiseksi

6 Yhteenveto

Sähkölaitteiden turvallisuuden varmistaminen on tärkeää, sillä sähkö on vaarallista ja se voi aiheuttaa henkilö- ja materiaalivahinkoja. Globaaleilla markkinoilla toimivien sähkölaite- ja sähkölaitteistovalmistajien on tärkeä tuntea eri valtioiden lait ja standardit sähkölaitteiden turvallisuuteen ja rakenteeseen liittyen, koska niiden noudattaminen on edellytys heidän tuotteidensa viennin mahdollistamiseen kyseisiin valtioihin.

Tässä diplomityössä on tehty selvitys pienjännitekeskusten vaatimuksista Yhdysvaltojen markkinoilla. Tässä työssä on paneuduttu Yhdysvaltojen lakeihin, organisaatioihin ja standardeihin, jotka koskevat pienjännitekeskuksia. Lisäksi tässä työssä on taustoitettu pienjännitekeskusten merkitystä osana teollisuuslaitoksia ja niiden prosessien ohjausta. Työn pääpaino on kuitenkin Yhdysvalloissa käytössä olevan UL 508A standardin vaatimuksissa, joita käytiin läpi tämän työn luvussa 4. Tämän jälkeen työssä on vielä lyhyt vertailu UL 508A standardin ja SFS-EN IEC 61439 standardisarjan sisällöistä ja keskeisistä eroavaisuuksista.

Työn luvussa 2 vastataan tämän työn ensimmäiseen tutkimuskysymykseen, joka koskee Yhdysvaltojen lakeja ja standardeja pienjännitekeskuksiin liittyen. Pienjännitekeskusten valmistukseen liittyvien organisaatioiden, lakien ja standardien keskinäinen hierarkia on selkeästi koottuna kuvassa 2 sivulla 15. Ylin laillinen valta on Yhdysvaltojen liittovaltiolla, jonka alaisuudessa toimii työministeriö. Työministeriöön kuuluu myös työturvallisuus- ja työterveyshallinto OSHA. OSHA antaa koko liittovaltiota koskevat lakisäätteiset työturvallisuusmääräykset, jotka sitovat kaikkia liittovaltion osavaltioita ja ovat osa liittovaltion säännöstöä. Osavaltiot ovat ottaneet lailla NFPA 70 standardin eli NEC:n pienjänniteasennuksien sitovaksi standardiksi. NEC:n artiklassa 409, on maininta pienjännitekeskusten turvallisuusstandardin olevan UL 508A.

OSHA edellyttää myös, että tietyissä sovellutuksissa sähkölaitteet tulee olla OSHAN sertifioiman kansallisesti tunnistetun koestuslaboratorion hyväksymiä. Yksi kansallisesti tunnistettu koestuslaboratorio on Underwriters Laboratories, joka hyväksyy ja sertifioi

sähkölaitteita ja -järjestelmiä. Osavaltiotasolla paikalliset toimivaltaiset viranomaiset ovat vastuussa standardien ja lakien noudattamisesta laitteiden, materiaalien ja järjestelmien sertifiointissa. Viranomaiset ovat usein ulkoistaneet tämän sertifiointin kansallisesti tunnistetuille koestuslaboratorioille, kuten edellä mainitulle Underwriters Laboratoriesille. Yhdysvallat on suuri liittovaltio, jossa liittovaltion ja osavaltioiden lainsäädännöt ja käytännöt ovat usein monimutkaisia ja tavalliselle lakia ammatikseen lukemattomalle ihmiselle jopa hankalasti ymmärrettäviä. Tällöin on selkeää noudattaa pienjännitekeskusten valmistuksessa UL 508A standardia ja hankkia UL-sertifiointi ja UL-listattu-merkki tuotteelleen, jolloin se on todennäköisimmin vaadittujen vaatimusten mukainen.

Työn luvussa 3 keskitytään tarkemmin pienjännitekeskusten merkitykseen osana teollisuuslaitoksia ja niiden rakenteeseen UL 508A standardin mukaisella termistöllä, jolloin vastataan tämän työn toiseen tutkimuskysymykseen. Pienjännitekeskusten määritelmän täyttää käyttöjännitteeltään enintään 1000 V ja kahdesta tai useammasta pää- tai apupiirin komponentista koostuva sähkökeskus. Pienjännitekeskukset ovat todella tärkeä osa teollisuuslaitosten sähkönjakelujärjestelmiä ja prosessinohjauksen automaatiojärjestelmiä, sillä niiden keskeiset komponentit ovat usein sijoitettuna pienjännitekeskuksiin. Pienjännitekeskusten koteloinnilla on myös erilaisia kotelointiluokkia, joista UL käyttää omaa UL TYPE luokitusta. TYPE luokitus kertoo kotelon tiiveydestä ulkoisia olosuhteita vastaan.

UL 508A standardin keskeisimmät vaatimukset ovat tämän työn kolmas tutkimuskysymys, johon vastataan luvussa 4. Standardia läpikäydessä ja sen keskeisimpiä vaatimuksia tähän työhön nostettaessa kävi ilmi, että standardi sisältää hyvin yksityiskohtaisia vaatimuksia niin pienjännitekeskusten rakenteesta, virtapiireistä kuin komponenteistakin. Lisäksi standardissa on mainittuna vielä lukuisia huomioita ja poikkeuksia. Keskeisimpänä yhteenvedona nostan esiin keskuksessa käytettyjen komponenttien UL-listattu tai UL-tunnistettu merkintöjen tärkeyden. On tärkeä valita

pienjännitekeskusten valmistuksessa UL-hyväksytyt komponentit ja varmistaa, että niitä käytetään kyseisen laitestandardin mukaisessa käyttötarkoituksessa.

Toisena tärkeänä huomiona UL 508A standardin vaatimuksista voi nostaa esiin standardin yksityiskohtaiset vaatimukset erilaisille mitoituksille. Esimerkiksi ilma- ja pintavälien, johtimien, eristeiden ja kotelon aukkojen mitoitukseen löytyy standardissa tarkkoja vaatimuksia. Tärkeää on myös nostaa mielestäni esiin kaksi muista poikkeavaa apupiiriä, jotka ovat rajoitetun energian pienjännitepiiri ja luokan 2 apupiiri, joiden sisäisten komponenttien ei tarvitse standardin mukaan olla UL-hyväksytyjä, mikäli piirit ovat oikein erotettu keskuksen muista piireistä. Standardi korostaa myös erilaisten merkintöjen tärkeyttä niin keskuksen sisälle kuin piirikaavioonkin. Tähän työhön standardista nostetut asiat ovat vain osa standardin vaatimuksista, joten korostan jälleen, että tätä työtä ei ole tarkoitus käyttää sellaisenaan vaan jokaisen keskusrakentajan tulee itse tutustua voimassa olevaan UL 508A standardiin.

Viimeinen työn tutkimuskysymys koskee UL 508A standardin ja SFS-EN IEC 61439 standardisarjan, joka on Suomessa käytössä oleva pienjännitekeskusstandardisarja, keskeisimpiä eroja. Näitä on käyty läpi tämän työn luvussa 5. SFS-EN IEC 61439 standardisarjan osa 1 sisältää yleiset vaatimukset pienjännitekeskuksille ja osat 2–7 sisältävät tarkennuksia tiettyyn käyttötarkoitukseen tarkoitetuille pienjännitekeskuksille. Keskeisin havainto standardien eroista liittyy pienjännitekeskuksen tekniseen toteutukseen ja standardin mukaiseksi toteamiseen. SFS-EN IEC 61439 standardisarjassa vastuu pienjännitekeskuksen teknisestä toteutuksesta ja standardin mukaisuudesta on keskuksen alkuperäisellä valmistajalla. UL 508A standardin mukaisuuden toteaminen tapahtuu taas UL-listattu-merkin saamisella, joka vaatii Underwriters Laboratoriesin suorittamaa sertifiointia. UL 508A standardi sisältää myös paljon tekniseen toteutukseen liittyviä yksityiskohtaisia vaatimuksia, kun taas SFS-EN IEC 61439 standardisarja tarjoaa hyvin yleiset minimivaatimukset ja velvoittavat sekä opastavat ohjeet erilaisille tarkastuksille, joilla pienjännitekeskuksen turvallisuus ja standardin mukaisuus voidaan todentaa.

Kaiken kaikkiaan tämän työn tekeminen ja toteutus on ollut mielenkiintoista ja opettavaista. Toki hankaluuksia on tuottanut termien kääntäminen englanninkielisestä UL 508A standardista suomenkieliseksi ammattitermeiksi, sillä suora kirjaimellinen käännös ei välttämättä olekaan oikein. Mielestäni työssä kuitenkin päästiin työn tavoitteisiin tehdä kattava kirjallinen katsaus pienjännitekeskuksia koskevista vaatimuksista Pohjois-Amerikan Yhdysvalloissa ja yhteenveto UL 508A standardin keskeisistä vaatimuksista. Aihetta taustoitettiin myös pienjännitekeskuksen rakenteeseen, merkitykseen ja SFS-EN IEC 61439 standardisarjaan tutustumisella, jolla saadaan lukijalle luotua laajempi ymmärrys aihealueesta.

Lakitekstien ja standardien tulkintaa liittyy kuitenkin aina lukijan subjektiivinen tulkinta aiheesta, eivätkä näiden määräykset ja vaatimukset ole aina yksiselitteisiä. Tämä voi aiheuttaa haasteita tai ristiriitoja käytännön toteutuksessa ja standardoimisorganisaation tarkastuksissa. Onkin tärkeä pitää avoin kommunikaatio esimerkiksi UL standardoimisorganisaation ja pienjännitekeskusvalmistajan välillä, jolloin UL-listattu-merkinnän saaminen pienjännitekeskukselle toimii sujuvasti.

Olen kuitenkin sitä mieltä, että sähkötekniikkaan liittyvissä sovellutuksissa on todella tärkeää olla turvallisuuteen ja toteutukseen liittyviä standardeja, joilla turvataan sähkölaitteiden käyttäjiä, sillä pienikin sähköisku voi olla kohtalokas tai väärät sähkökytkennät tai mitoitusvoimat voivat aiheuttaa tulipaloja. Mielestäni tämä työ luo hyvän yleiskuvan aihealueeseen ja antaa suuntaa siitä, kuinka pienjännitekeskusten valmistamisessa tulisi huomioida UL 508A standardin vaatimukset, mikäli keskus on tarkoitus toimittaa Yhdysvaltoihin. En myöskään poissulje mahdollisuutta, että jotkin standardin vaatimuksia voisi olla järkeviä toteuttaa myös pienjännitekeskuksissa, joissa ei vaadita UL-hyväksyntää.

Lähteet

- ABB. (2023). *System pro M compact: Circuit protection devices on DIN rail*. Noudettu 7.4.2023 osoitteesta <https://electrification.us.abb.com/products/circuit-breakers/ul489-miniature-circuit-breakers>
- Altman, W., Macdonald, D. & Mackay, S. (2005). *Practical process control for engineers and technicians*. Elsevier.
- ANSI. (2023). *About ANSI*. Noudettu 15.3.2023. osoitteesta <https://www.ansi.org/about/introduction>
- Gibson stainless & specialty inc. (2023). *UL environmental type ratings*. Noudettu 28.3.2023 osoitteesta <https://www.gibsonstainless.com/ul-environmental-type-ratings.html>
- King, M. (2016). *Process control: A practical approach*. (2. painos). John Wiley & Sons, Incorporated.
- Keinänen, T. & Sumujärvi, M. (2019). *Automaatiotekniikka*. (1. painos). Sanoma Pro oy. ISBN 978-952-63-4844-5
- Mäkinen, M., Kallio, R. & Tantarimäki, R. (2009). *Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset*. Otava. ISBN 978951-1-21385-7.
- National Fire Protection Association, NFPA. (2017). *National electrical code*. (NFPA 70).
- Rubin, O. (2016). *Control engineering in development projects*. (1. painos). Artech house.
- Sheel, S. (2013). *Instrumentation: Theory and applications*. Alpha Science International.
- Siemens. (2021). *Industrial control panels and electrical equipment of machinery for North America: A guide for practical use*. Noudettu 15.3.2023 osoitteesta <https://www.siemens.com/global/en/markets/panel-building/north-american-standards.html>
- Suomen standardisoimisliitto SFS ry. (2016). *SFS-käsikirja 640: Sähkökeskukset*. (1. painos)
- Suomen standardisoimisliitto SFS ry. (2020). *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 2: Power switchgear and controlgear assemblies*. (SFS-EN IEC 61439-2).
- Suomen standardisoimisliitto SFS ry. (2022). *Pienjännitekeskukset. Osa 1: Yleisvaatimukset*. (SFS-EN IEC 61439-2).

- Suomen standardisoimisliitto SFS ry. (n.d.) *Mikä on standardi?* Noudettu 15.3.2023 osoitteesta <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/>
- Sähkötieto ry. (2020). *Hyvät asennustavat: Sähkö- ja tietotekniset järjestelmät*. Sähköinfo oy. ISBN 978-952-231-8
- Tulli. (2022). *Suomen ja Yhdysvaltojen välinen kauppa vuonna 2022 (1–6)*. Noudettu 29.3.2023 osoitteesta <https://tulli.fi/-/suomen-ja-yhdysvaltojen-valinen-kauppa-vuonna-2022-1-6->
- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, Tukes. (2022). *Sähköpalot ja -tapaturmat*. Noudettu 29.3.2023 osoitteesta <https://tukes.fi/onnettomuudet/yhteenvedot-onnettomuuksista-toimialoittain/sahkotapaturmat-ja-sahkopalot>
- Underwriters Laboratories (UL). (2018). *Standard for safety, Industrial control panels*. (UL 508A, 3rd edition).
- Underwriters Laboratories (UL). (2023a). *Industrial control panels and the panel shop program*. Noudettu 20.3.2023 osoitteesta <https://www.ul.com/services/industrial-control-panels-and-panel-shop-program>
- Underwriters Laboratories (UL). (2023b). *Marks for North America*. Noudettu 18.3.2023 osoitteesta <https://marks.ul.com/about/ul-listing-and-classification-marks/appearance-and-significance/marks-for-north-america/>
- VEO. (n. d.). *Company*. Noudettu 1.3.2023 osoitteesta <https://veo.fi/about-us/company/>

Liitteet

Liite 1. UL 508A standardissa mainitut laitestandardit

UL 61800-5-1	Adjustable Speed Electrical Power Drive Systems – Part 5-1: Safety Requirements – Electrical, Thermal and Energy
UL 498	Attachment Plugs and Receptacles
UL 464	Audible Signaling Devices for Fire Alarm and Signaling Systems, Including Accessories
UL 372	Automatic Electrical Controls for Household and Similar Use – Part 2: Particular Requirements for Burner Ignition Systems and Components
UL 1642	Batteries, Lithium
UL 1989	Batteries, Standby
UL 444	Cables, Communications
UL 13	Cables, Power-Limited Circuit
UL 810	Capacitors
UL 60384-14	Capacitors for Use in Electronic Equipment – Part 14: Sectional Specification: Fixed Capacitors for Electromagnetic Interference Suppression and Connection to the Supply Mains
UL 489	Circuit Breakers, Molded-Case, Molded-Case Switches, and Circuit-Breaker Enclosures
UL 1310	Class 2 Power Units
UL 1441	Coated Electrical Sleeving
UL 61131-2	Controllers, Programmable – Part 2: Equipment Requirements and Tests
UL 60730-1	Controls – Part 1: General Requirements, Automatic Electrical
UL 1561	Dry-Type General Purpose and Power Transformers
UL 507	Electric Fans
UL 499	Electric Heating Appliances
UL 1004-1	Electrical Machines, Rotating – General Requirements
UL 1557	Electrically Isolated Semiconductor Devices
UL 429	Electrically Operated Valves
UL 1283	Electromagnetic Interference Filters
UL 50E	Enclosures for Electrical Equipment, Environmental Considerations
UL 50	Enclosures for Electrical Equipment, Non-Environmental Considerations
UL 486E	Equipment Wiring Terminals for Use with Aluminum and/or Copper Conductors
UL 224	Extruded Insulating Tubing
UL 514B	Fittings, Conduit, Tubing, and Cable
UL 62	Flexible Cords and Cables
UL 814	Gas-Tube-Sign Cable
UL 943	Ground-Fault Circuit-Interrupters
UL 467	Grounding and Bonding Equipment
UL 508	Industrial Control Equipment
UL 60950-1	Information Technology Equipment – Safety – Part 1: General Requirements

UL 510	Insulating Tape, Polyvinyl Chloride, Polyethylene, and Rubber
UL 496	Lampholders
UL 248-1	Low-Voltage Fuses – Part 1: General Requirements
UL 248-2	Low-Voltage Fuses – Part 2: Class C Fuses
UL 248-3	Low-Voltage Fuses – Part 3: Class CA and CB Fuses
UL 248-4	Low-Voltage Fuses – Part 4: Class CC Fuses
UL 248-5	Low-Voltage Fuses – Part 5: Class G Fuses
UL 248-6	Low-Voltage Fuses – Part 6: Class H Non-Renewable Fuses
UL 248-7	Low-Voltage Fuses – Part 7: Class H Renewable Fuses
UL 248-8	Low-Voltage Fuses – Part 8: Class J Fuses
UL 248-9	Low-Voltage Fuses – Part 9: Class K Fuses
UL 248-10	Low-Voltage Fuses – Part 10: Class L Fuses
UL 248-11	Low-Voltage Fuses – Part 11: Plug Fuses
UL 248-12	Low-Voltage Fuses – Part 12: Class R Fuses
UL 248-13	Low-Voltage Fuses – Part 13: Semiconductor Fuses
UL 248-14	Low-Voltage Fuses – Part 14: Supplemental Fuses
UL 248-15	Low-Voltage Fuses – Part 15: Class T Fuses
UL 248-16	Low-Voltage Fuses – Part 16: Test Limiters
UL 248-17	Low-Voltage Fuses – Part 17: Class CF Fuses
UL 1598	Luminaires
UL 845	Motor Control Centers
UL 2111	Overheating Protection for Motors
UL 67	Panelboards
UL 94	Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances, Tests for Flammability of
UL 746C	Polymeric Materials – Use in Electrical Equipment Evaluations
UL 1012	Power Units Other Than Class 2
UL 1077	Protectors, Supplementary, for Use in Electrical Equipment
UL 484	Room Air Conditioners
UL 486D	Sealed Wire Connector Systems
UL 486C	Splicing Wire Connectors
UL 1449	Surge Protective Devices
UL 917	Switches, Clock-Operated
UL 98	Switches, Enclosed and Dead-Front
UL 61058-1	Switches for Appliances – Part 1: General Requirements
UL 60947-1	Switchgear and Controlgear, Low-Voltage – Part 1: General Rules
UL 60947-4-1	Switchgear and Controlgear, Low-Voltage – Part 4-1: Contactors and Motor-Starters – Electromechanical Contactors and Motor-Starters
UL 60947-5-2	Switchgear and Controlgear, Low-Voltage – Part 5-2: Control Circuit Devices and Switching Elements – Proximity Switches
UL 873	Temperature-Indicating and -Regulating Equipment
UL 1059	Terminal Blocks
UL 863	Time-Indicating and -Recording Appliances
UL 5085-1	Transformers, Low Voltage – Part 1: General Requirements
UL 5085-2	Transformers, Low Voltage – Part 2: General Purpose Transformers
UL 5085-3	Transformers, Low Voltage – Part 3: Class 2 and Class 3 Transformers

UL 506	Transformers, Specialty
UL 1778	Uninterruptible Power Systems
UL 486A-B	Wire Connectors
UL 1063	Wires and Cables, Machine-Tool
UL 44	Wires and Cables, Thermoset-Insulated
UL 870	Wireways, Auxiliary Gutters, and Associated Fittings

Liite 2. UL 508A standardin mukaiset merkinnät ja niiden sijoittelu

Standardin kohta	Yleinen kuvaus merkinnästä	Sijainti kategoria	
		Koteloitu	Avoin
	Yleiset merkinnät		
52.1	Tyypikilpi: Valmistaja, korkein jännite, kuormitusvirta, vaiheet, taajuus, kenttäkytkentäkaavio, kotelon tyyppiluokitus, oikosulkuvirta.	a tai b	f
67.1.1	Tyypikilpi: Valmistaja, korkein jännite, kuormitusvirta, vaiheet, taajuus, kenttäkytkentäkaavio, kotelon tyyppiluokitus, oikosulkuvirta.	a	-
52.2	Ulkoisten kuormien mitoitus	a, b tai e	e tai f
	Kotelon merkinnät		
53.1	Tyypiluokitus	a tai b	-
53.2	Läpiviennit tyyppin 2, 3R tai 3RX kotelolle	a, b tai e	-
53.3	Läpiviennit tyyppin 3, 3S, 3SX, 3X, 4, 4X, 5 tai 12 kotelolle	a, b tai e	-
53.4	Modulaaristen koteloiden merkintä, jonka avulla ne liitetään toisiinsa	a tai b	-
53.5	Ei metallisen kotelon yksittäinen läpivienti	a, b tai e	-
53.6	Läpiviennin sijainti	a tai b	-
53.7	Ohjeet kenttäasennukseen	a, b tai e	-
53.8	Ohjeet laitteiden kenttäasennukseen tyyppiluokituksen säilyttämiseen	a, b tai e	-
	Kenttäkaapeloinnin merkinnät		
54.1	Kenttäkaapelointiliittimien tunnistaminen	c	c
54.2–54.4, 54.11	Kenttäkaapeleiden tyyppi, lämpötilamitoitus (pääpiiri), liittimien kiristysmomentti	b, c tai e	c, e tai f
54.5	Laitteiden maadoitusliittimen tunnistaminen	c	c
54.6	Luokan 1 apupiirin merkinnät	b, c tai e	c, e tai f
54.7	Luokan 2 apupiirin merkinnät	b, c tai e	c, e tai f
54.8	Luokan 1 ja 2 apupiirien reititys	b, c tai e	c, e tai f
54.9	Alle 14 AWG (2,1 mm ²) apupiirien johdinkoko	b, c tai e	c, e tai f
54.10	Toisiopiirin nollajohtimen maadoitus	b, c tai e	c, e tai f
54.12	Vaihejännite mitoitus	a, b tai e	e tai f
	Varoittavat merkinnät		
55.4	Useampi erotus	a	d
55.5	Polymeerinen kotelo useammalla läpiviennillä	b	-
55.6	Välittömällä laukaisulla varustettu katkaisija yhdistetyn moottorinohjaimen haarapiirin suojana	a, b tai c	c tai d
55.7	Itsesuojattu yhdistetty moottorinohjain	a, b tai c	c tai d
55.8	UPS-laitteiden lähtöjen jännitteellisuuden säilyminen pääkatkaisijasta huolimatta	a	d
	Sulakkeenpitimet		
56.1	Sulakkeen vaihtomerkinnät	b tai c	c tai d
	Kytkimien merkinnät		

57.1	Erotuskahvan "on" ja "off" asennot	c	-
57.2	Manuaalinen kytkin, jota ei operoida kuormituksessa	c	c
57.3	Takasyötöllä varustettu erotus	a	d
	Ylikuormitusreleen taulukot		
58.1	Ylikuormitusreleen lämmityselementin taulukko	b tai c	c tai d
	Pistorasiat		
59.1	Pääpiirin yleisessä käytössä oleva pistorasia	c	c
59.2	Monijohtiminen pistorasiaa ja tarkoitetun kuorman tunnistaminen	c	c
59.3	Apupiirin yleisessä käytössä oleva pistorasia	c	c
59.4	Pistorasia, jota ei operoida kuormituksessa	c	c
	Kenttäasennetut laitteet		
60.1, 60.2	Erotuskytkin, haarapiirin suojaus ja/tai ylikuormitusrele asentajan asentamana	e	e
60.3	Muut asentajan asentamat laitteet	e	e
60.4	Paineliittimet, kaapelikengät tai liitinpaketit virtakiskoon asennettamista varten	e	e
	Piirikaaviot		
61.1, 61.2	Täydelliset piirikaaviot	e	e
Selitykset:			
a Merkinnän tulee olla näkyvässä ilman kotelon oven tai peitteen avaamista.			
b Merkintä voidaan tehdä kotelon oveen, kanteen tai sisäseiniin.			
c Merkinnän tulee olla kyseisen komponentin päällä tai vieressä. Sulakkeen vaihtomerkinnot voivat olla taulukossa kohdan b mukaisesti, kun jokainen sulakepidin on merkitty selkeästi esimerkiksi merkinnällä F1. Avoimissa keskuksissa kaavio voidaan toimittaa kohdassa d kuvatulla tavalla.			
d Merkintä on toimitettava erikseen itseliimautuvana tarrana laitteen mukana. Kiinnitetään lopulliseen koteloon.			
e Merkintä on oltava kentän kytkentäkaaviossa, tulosteessa tai ohjeissa, joihin keskuksen tyyppikilvessä viitataan, ja jotka toimitetaan keskuksen mukana, joko tulostustaskussa tai kiinnitettynä kotelon sisäpuolelle.			
f Merkinnän on oltava keskuksen asennuslevyssä.			