

OPETUSPROSESSIN KESKUSSANEERAUKSEN SUUN- NITTELU

Suopajärvi Jussi

Opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2021

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Jussi Suopajarvi	Vuosi
	2021	
Ohjaaja	Ins. (YAMK) Kari Kenttä	
Toimeksiantaja	Lapin AMK Oy, Heikki Isometsä	
Työn nimi	Opetusprosessin keskussaneerauksen suunnittelu	
Sivu- ja liitesivumäärä	45 + 9	

Lapin Ammattikorkeakoululla on uudistushanke, jossa on tarkoitus uudistaa ja nykyaikaistaa automaatio- ja prosessiopetukseen käytettäviä laboratoriotiloja. Nykyinen vesiprosessi puretaan pois ja tilalle suunnitellaan moderni oppimisympäristö, joka on jaettu pienempiin osaprosesseihin, joissa oppiminen tapahtuu eri vaiheissa olevilla kokoonpanoilla.

Työssä suunniteltiin uudistuvaan vesiprosessilaboratorioon jakokeskus. Tämän lisäksi jakokeskukseen suunniteltiin kattava energianmittausjärjestelmä, jolla on helppo seurata eri alueiden energian kulutusta.

Työssä käsiteltiin millaisia vaatimuksia ja määräyksiä täytyy noudattaa, kun kohteena on koulussa sijaitseva laboratoriotila. Tämän lisäksi työssä käytiin läpi sähkökeskuksen suunnittelua ja keskukseen tulevia komponentteja. Keskukseen suunniteltiin myös syötön hätäkatkaisu, jolla saadaan prosessi nopeasti jännitteettömäksi, jos tällainen tarve ilmenee.

Työn tuloksena saatiin esitykset keskuksen pääkaavioksi, miten prosessikeskukset kytketään sähkön syöttöön sekä esitykset hätäpysäytyksestä ja hätäpysäytyspainikkeiden sijainneista.

Avainsanat suunnittelu, sähköistys, sähkökojeet, opetustilat, sähkökäytöt

Electrical and Automation Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Jussi Suopajärvi	Year
	2021	
Supervisor	Kari Kenttä, M.Sc.	
Commissioned by	Lapin AMK Oy, Heikki Isometsä	
Subject of thesis	Planning the central renovation of the teaching process	
Number of pages	45 + 9	

A reform project is underway at Lapland University of Applied Sciences, the aim of which is to modernize the laboratory facilities for automation and process training. The current water process will be dismantled and replaced with a modern learning environment divided into smaller sub-processes where learning takes place with assemblies which are in different stages.

In this work a distribution center was designed for the reform of the water process laboratory. In addition, a comprehensive energy metering system was designed for the distribution center, which makes it easy to monitor the energy consumption of different areas.

The work dealt with what kind of requirements and regulations must be complied with when the object is a laboratory space located in a school. In addition to this, the design of the electrical center and the components that will come to the center were reviewed. An emergency power cut-off was also planned for the center, which quickly cuts off electricity in the process if needed.

The work resulted in presentations of the distribution center main diagram, how the process centers are connected to the power supply, as well as presentations of the emergency stop system and the locations of the emergency stop buttons.

Key words planning, electrification, electrical appliances, teaching facilities, electric drives

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	LAPIN AMK OY	8
3	VESIPROSESSI	9
4	CADMATIC SUUNNITTELUOHJELMA	10
5	LABORATORIOTILA	13
5.1	Määrittely	13
5.2	Perussuojauksen menetelmät.....	13
5.3	Vikasuojaus	14
5.4	Erottaminen ja kytkentä.	15
5.5	Tarkastukset	15
6	ALKUTIEDOT	16
6.1	Keskuksen sijainti	16
6.2	Kuormat	17
6.3	Syöttö	17
6.4	Oikosulkuvirta	20
6.5	Jännitteenalenema	21
7	SUUNNITTELU.....	23
7.1	Hyvä sähkökeskus.....	23
7.2	Pääkytkin	23
7.3	Ylijännitesuoja.....	24
7.4	Energianmittaus	26
7.5	Yhdistetty vikavirta- ja johdonsuojakatkaisija.....	29
7.6	Hätäpysäytys- ja hätäpoiskytkentälaitteet.....	31
7.7	Keskusten rakennetyypit.....	32
8	SUUNNITTELUN TULOKSET	35
8.1	Vesiprosessin keskus	35
8.2	Prosessin syöttö	38
8.3	Hätä-seis-toteutus.....	40

9 POHDINTA.....	42
LÄHTEET.....	43
LIITTEET	45

ALKUSANAT

Haluan kiittää kaikkia, jotka ovat edesauttaneet työn valmistusta, erityisesti työtä ohjannutta opettajaa Kari Kenttää, sekä Lapin Ammattikorkeakoulusta työntilajana toiminutta Heikki Isometsää työn mahdollistamisesta. Kiitokset myös Kemin sähköpuolen opettajille, joiden neuvoista ja esityksistä on ollut suuri apu työn teossa.

Kemissä 15.11.2021

Jussi Suopajarvi

1 JOHDANTO

Lapin Ammattikorkeakoululla on uudistushanke, jossa on tarkoitus uudistaa ja nykyaikaistaa automaatio- ja prosessiopetukseen käytettäviä laboratoriotiloja. Nykyinen vesiprosessi puretaan pois ja tilalle suunnitellaan moderni oppimisympäristö, joka on jaettu pienempiin osaprosesseihin, joissa oppiminen tapahtuu eri vaiheissa olevilla kokoonpanoilla.

Tämän työn aiheena on suunnitella jakokeskus Lapin ammattikorkeakoulun remontoivaan prosessilaboratoriotilaan. Tilasta puretaan vanha vesiprosessi pois ja tilalle tulee nykyaikainen ja useammalla identtisellä osaprosessilla varustettu vesiprosessi.

Tämä valikoitui työn aiheeksi, koska se vaikutti mielenkiintoiselta ja sopivalta opintoihin, jotka keskittyivät sähkövoimatekniikkaan. Lisäksi oli mielenkiintoista selvittää millaisia ohjeita ja määräyksiä on noudatettava, koska suunniteltava tila on oppilaitoksen laboratoriotila, jossa oppilaat toimivat ja tekevät harjoituksia.

Työssä on tavoitteena suunnitella ja tehdä esitys keskuskaaviosta, hätäkytkennästä ja hätäkytkimien sijainneista sekä esitys miten sähkönsyöttö tapahtuisi osaprosesseihin. Tämän lisäksi työssä käydään läpi ohjeistukset ja määräykset, jotka koskevat oppilaitoksen laboratoriotilan sähköistämistä, keskuksen tulevat laitteet ja muita alueita, jotka liittyvät olennaisesti keskuksen suunnitteluun. Työn suunnitteluohjelma käytetään Cadmatic-ohjelmaa.

2 LAPIN AMK OY

Lapin Ammattikorkeakoulu on Suomen pohjoisin ammattikorkeakoulu ja sen toimipaikat sijaitsevat Kemissä (Kuva 1), Torniossa sekä Rovaniemellä. Lapin AMK muodostaa yhdessä Lapin yliopiston kanssa Lapin korkeakoulukonserni LUC:in. LUC on yhteisö, jonka erikoisosaamisen ytimessä ovat etäisyyksien hallinta, tulevaisuuden palvelut, kestävä matkailu sekä globaali arktinen vastuu. (LUC 2021.)

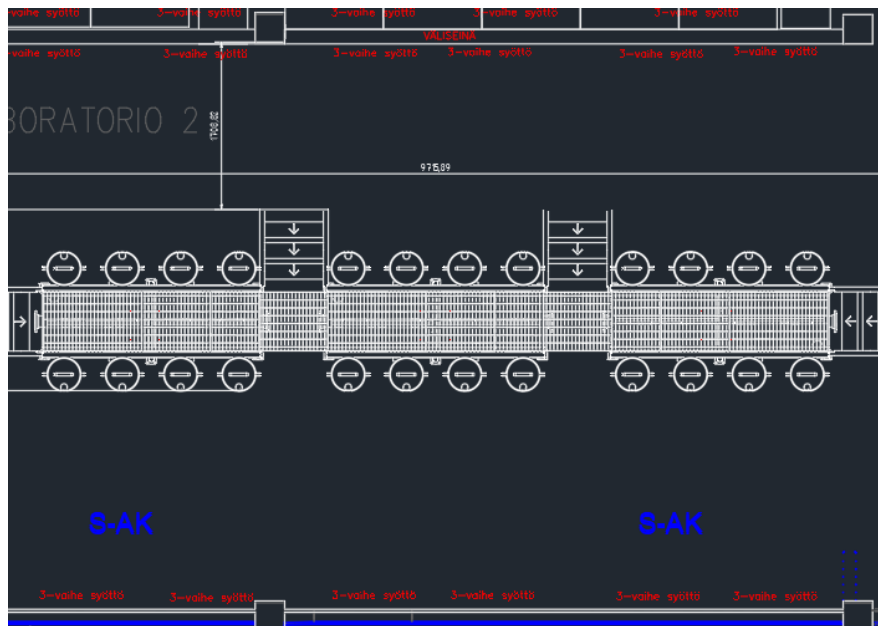


Kuva 1. Lapin ammattikorkeakoulu Kemin toimipiste (Kuha 2018).

Lapin Ammattikorkeakoulu on perustettu vuonna 2014. Nykyään opiskelijoita on noin 5500 ja rehtorina toimii Riitta Rissanen. Lapin ammattikorkeakoulussa voi opiskella monipuolisesti eri alajoen tutkintoja sekä suomen että englannin kielellä. Opiskeltavia aloja ovat kauppa, hallinto ja oikeustieteet, maa- ja metsätalous, palvelu, taiteet ja kulttuuri, tekniikka, terveys ja hyvinvointi sekä tietojenkäsittely ja tietoliikenne. Koulutusta on tarjolla lisäksi avoimella puolella sekä erilaisina erikoistumis- ja täydennyskoulutuksena. Lisäksi Lapin ammattikorkeakoulussa voi opiskella ylemmän AMK-tutkinnon. (Lapin AMK 2021.)

3 VESIPROSESSI

Uuteen vesiprosessiin on tarkoitus tulla 12 pienempää osaprosessia (Kuva 2), jotka ovat keskenään identtisiä, mutta tarvittaessa niitä voidaan yhdistää suuremmiksi kokonaisuuksiksi, lisäämään opetuksen monimuotoisuutta. Yksi osaprosessi sisältää kaksi tankkia, joiden veden syöttö tulee pääsäiliöstä. Pääsäiliö sijaitsee kulkutason alla vastakkain olevien osaprosessien välissä. Lisäksi jokainen osaprosessi sisältää lämmityksen sekä erilaisia antureita, joiden avulla prosessia voidaan ohjata ja säätää. Tämän ansiosta eri osaprosessit voivat olla keskenään eri vaiheissa riippuen kulloisestakin opetustilanteesta. Toinen hyöty tästä on, ettei kaikkia osia tarvitse tehdä heti kerralla valmiiksi vaan niitä voidaan rakentaa vähitellen ja mahdollisesti oppilastöinä. (Isometsä 2021.)



Kuva 2. Vesiprosessin pohjakuva

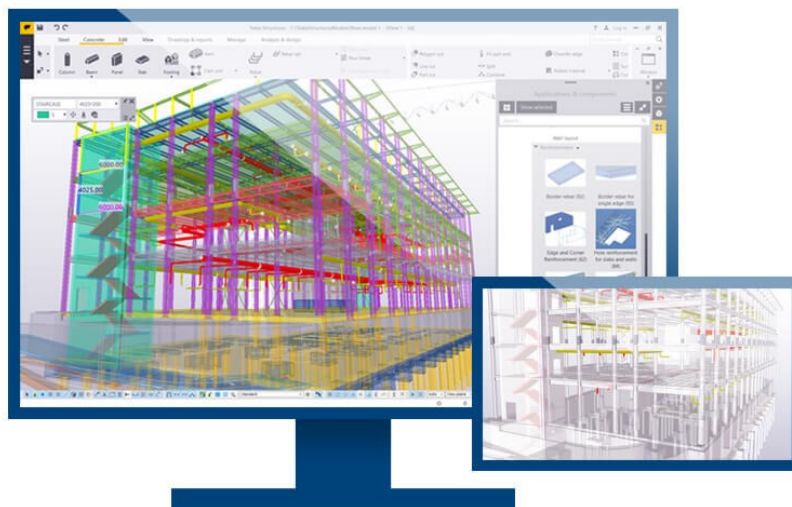
Usean erillisen osaprosessin ansiosta ohjauksiin voidaan käyttää erilaisia sovelluksia sekä eri valmistajien automaatiojärjestelmiä. Tästä johtuen samassa tilassa ja identtisillä prosesseilla voidaan havainnollistaa useamman eri valmistajan automaatiojärjestelmien toimintaa ja samalla järjestelmien eroavaisuudet ovat helpommin opiskelijoilla havaittavissa. Tällä hetkellä suunnitelmissa on käyttää ohjaamiseen Siemensin sekä Valmetin automaatiojärjestelmiä. (Isometsä 2021.)

4 CADMATIC SUUNNITTELUOHJELMA

Cadmatic, joka oli aiemmalta nimeltään CADS, on suomalaisen ohjelmistotalo Kyndata Oy:n kehittämä suunnitteluohjelmisto. Kyndata perustettiin 1979 ja se kehitti toimialakohtaisia suunnitteluohjelmia. Päätoimialat ohjelmilla ovat olleet sähkö- ja automaatio suunnittelu, LVIA suunnittelu sekä arkkitehti- ja rakennesuunnittelu. Vuonna 2019 Cadmatic Oy osti Kyndatan ja ohjelman nimeksi tuli Cadmatic vaikka muutoin se toiminnoiltaan säilyikin ennallaan. (Cadmatic 2021e.)

Cadmatic suunnitteluohjelmien tuoteperheeseen kuuluu kolme eri aloihin liittyvää suunnitteluohjelmistokokonaisuutta: Cadmatic construction, Cadmatic marine ja Cadmatic process & Industry. Nämä kokonaisuudet pitävät sisällään erilaisia sovelluksia, joiden avulla eri osa-alueiden suunnittelua voidaan suorittaa. (Cadmatic 2021b.)

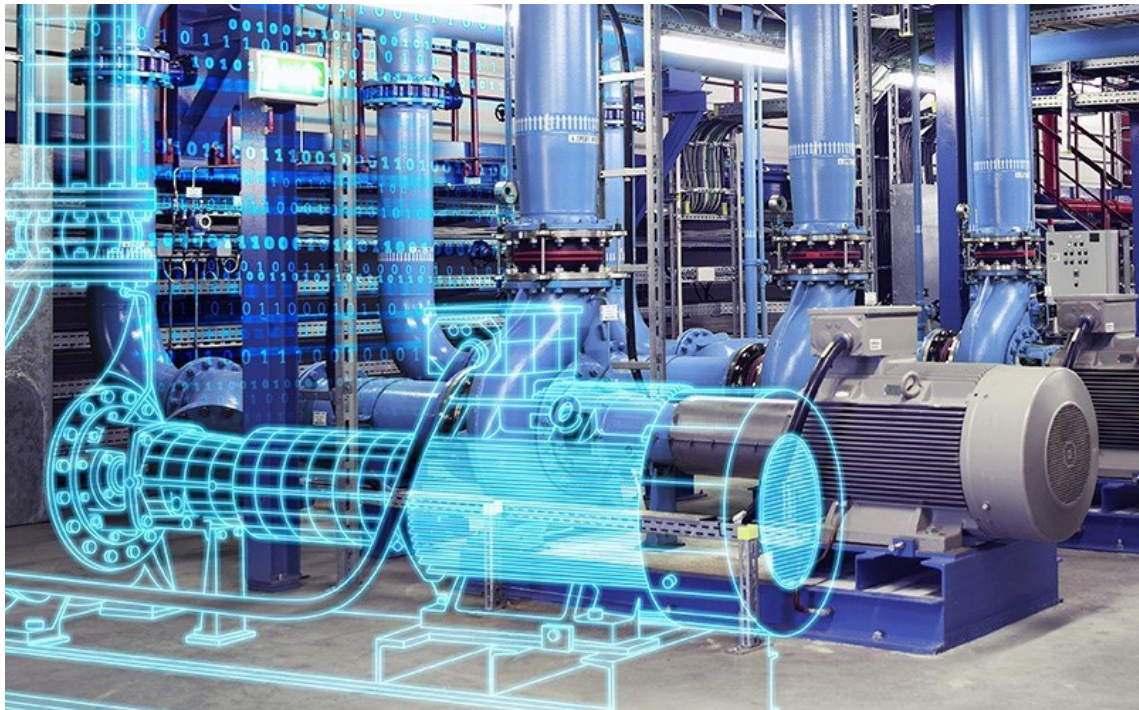
Construction käsittää rakennusten suunnittelussa tarvittavat ohjelmistot. Ohjelmistot ovat BIM (Building Information Modeling) teknologiaan perustuvia (Kuva 3), mikä tarkoittaa, että rakennuksesta luodaan todellisuutta vastaava virtuaalimalli ja suunnittelu tehdään siihen. Electrical-ohjelmalla hoidetaan sähkösuunnittelu, HVAC-ohjelmalla suunnitellaan LVIA:han liittyvät kysymykset ja Building-ohjelmaa käytetään rakenne suunnitteluun. (Cadmatic 2021a.)



Kuva 3. BIM teknologiaan perustuvaa suunnittelua (Tekla 2021).

Marine kokonaisuudella hoidetaan meriteollisuuden liittyvää suunnittelua ja mallintamista. Tässä paketissa on ohjelmat laivan runko- ja rakennesuunnittelulle, varustelu- ja putkistosuunnittelulle, sähkö- ja automaatio suunnittelulle sekä tiedonhallintaan ja jakamiseen. Tätä ohjelmistoperhettä käyttävät muun muassa telakat sekä heidän alihankkijansa. (Cadmatic 2021c.)

Process & Industry ohjelmistot on kehitetty erilaisten prosessilaitosten suunnitteluun. Ohjelmistot sisältävät 3D laitossuunnitteluohjelmiston, sähkösuunnitteluohjelmiston sekä tiedonhallinta ja -jako-ohjelman. Ohjelmistolla voidaan myös luoda laitoksesta digitaalinen kaksonen (Kuva 4), jonka avulla laitosta voidaan esimerkiksi harjoitella käyttämään virtuaalimaailmassa tai sinne voidaan suunnitella lisäyksiä myöhemmin ja tarkastella niiden sopivuutta tilaan. (Cadmatic 2021d.)



Kuva 4. Tuotantolaitoksen pumpusta tehty digitaalinen kaksonen (Austin 2020).

Cadmatic electric on tietokantapohjainen suunnitteluohjelma, mikä käytännössä tarkoittaa, että jos projektiin kuuluu useita kuvia, voidaan esimerkiksi laitteelle tehtävä muutos tehdä tietokannassa ja tätä kautta muutos välittyy jokaiseen kuvaan, jossa kyseinen laite on. Tietokantaan perustuva toiminta myös

mahdollistaa tietojen keräämisen useista eri kuvista, mistä on hyötyä esimerkiksi useampi kerroksisessa rakennuksessa, kun lasketaan kaapelointeja kerrosten välillä. Tietokantaa voidaan myös hyödyntää tarvikelaskelmissa, kun koko projektissa käytetyt tarvikkeet saadaan listattua kerralla taulukkolaskentaohjelmassa (Kuva 5). (Cadmatic 2020.)

Laiteluettelo tuotteittain						
Nimike	Nimi	Tekniset tiedot	Valmistaja	Tyyppi	A-hinta	Maara
1152119	Jakorasia		ABB	AU19 Irtonyäjäkorasia HF	0,00	53
1152565	Rasiakansi		ABB	AK12.2 liitäntäkansi IP44 HF	0,00	2
1152714	Nysä		ABB	ANP16, pohjanyäjä 16mm HF	0,00	50
1152560	Rasiakansi		ABB	AK11, jakorasialle IP44 HF	0,00	2
1123138	Palovarotin optinen	Sähköverkkoon liitettävä,	Nordic	Nordic GNS-2236	0,00	9
1152578	Nysä		ABB	AS12, vedonpoistajanyäjä HF	0,00	142
4217367	Tunnistimivalaisin	AVR254 IP54 LED	Ensto	IP54 LED 11W/830 E AC O PIR	0,00	10
4217362	Yleisvalaisin	AVR254 IP54 LED	Ensto	IP54 LED 11W/830 E AC O	0,00	7
1152356	Kojerasia	Kojerasia,	ABB	Kojerasia AU5.6, HF	0,00	129
1152511	Valaisinpistorasia		ABB	AKK3, 3-nap val. Pistorasia HF	0,00	2
1130100	Valaisinpistorasia	DCL ripustuskanssi, uppo-	ABB	DCL ripustuskanssi, uppoas. HF	0,00	8
1130103	Valaisinpistorasia	DCL valaisinpistorasia,	ABB	DCL seinämälli, 85x85mm, val HF	0,00	13
1152364	Kojerasia		ABB	AU3.2, irtonyäjä HF	0,00	36
1152581	Rasiatuki		ABB	AS13.12, jakorasialle AU8 HF	0,00	38
2516133	Pistorasia	Pistorasia, Impressivo, 2-	ABB	2S/16A/IP44 UPJ HL VAL	0,00	19
3405303	Latausasema	DEFA eRange Uno	Defa Lighting	DEFA eRange Uno 7.4KW T2	0,00	1
3405305	Latausaseman tarvike	DEFAWallbox seinäteline	Defa Lighting	DEFA Wallbox seinäteline	0,00	1
1152357	Rasiatuki	Rasiatuki Kojerasialle	ABB	Rasiatuki AU5.6	0,00	202
2506016	Pistorasia	Pistorasia Impressivo 2-	ABB	2S/16A/IP21 IUP.I HI VAI	0,00	75

Kuva 5. Kuvakaappaus Excel-taulukosta, joka on tulostettu Cadmatic-tietokannasta

5 LABORATORIOTILA

5.1 Määrittely

Uudistuva vesiprosessitila määritellään opetuskäytössä olevaksi laboratoriotilaksi, koska siellä voi esiintyä kosketettavana yli 50 V:n ja enintään 1000 V:n vaihtojännitteitä. Tästä johtuen sen suunnittelussa ja rakentamisessa on noudatettava SFS 6000-8-803 standardia, joka käsittelee sähkölaitekorjaamoita ja laboratoriotiloja. Tämä standardi antaa lisäohjeita ja täydennyksiä muihin pienjänniteasennuksia koskeviin SFS 6000 sarjan standardeihin. (SFS-käsikirja 600-1-2 2017, 279.)

5.2 Perussuojauksen menetelmät

Opetuskäytössä olevan tilan luonteen vuoksi siellä testattavissa laitteissa ei aina voida käyttää perussuojauksia eristyksen tai koteloinnin avulla. Testattavien laitteiden kokeilut on kuitenkin pääsääntöisesti suoritettava kosketussuojattuna. Jos jostain syystä näin ei voida toimia on käytettävä tilapäisiä suojauksia tai esteitä. Tilapäisissä kytkennöissä on käytettävä kytkentäjohtoina sekä mittajohtoina sellaisia johtimia, jotka on suojattu vahingossa tapahtuvilta koskettamisilta (Kuva 6). Paljaiden napparuuvien käyttö on kielletty oppilaitoksissa. (SFS-käsikirja 600-1-2 2017, 280.)



Kuva 6. Suojattuja kytkentäjohtimia

Opetuskäytössä olevat laboratoriotilat on rakennettava niin, että sinne pääsevät vain ammattitaitoiset tai opastetut henkilöt. Maallikot saavat päästä näihin tiloihin vain edellä mainittujen henkilöiden valvonnassa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että tilojen ovet ovat pidettävä lukittuina ja ne on varustettava kilvillä (Kuva 7), jotka varoittavat tilasta ja kieltävät asiattomilta pääsyn sinne. (SFS-käsikirja 600-1-2 2017, 280.)



Kuva 7. Laboratorion ovessa oleva tarra, joka ilmoittaa sähkötilasta.

5.3 Vikasuojaus

Opetuskäytössä olevassa laboratoriossa käytettävillä laitteilla on aina oltava standardin SFS 6000-4-41 mukainen vikasuojaus. Tämän avulla voidaan suojautua vaaratilanteilta, jotka muodostuvat, kun kosketaan jännitteisiä osia ja maan potentiaalissa olevia osia samanaikaisesti. Vikasuojauksen avulla ei voida kuitenkaan suojautua jännitteisen osan ja nollajohtimen tai kahden eri vaiheissa olevan jännitteisen osan koskettamisen aiheuttamalta sähköiskulta. (SFS-käsikirja 600-1-2 2017, 280-281.)

Vikasuojauksena voidaan käyttää pienoisjännitettä SELV tai PELV, suojaerotusta tai syötön automaattista poiskytkentää lisättynä mitoitusvirraltaan enintään 30 mA:n vikavirtasuojaa. Vikasuojauksen lisänä voidaan myös käyttää hyvin eristävää lattia- ja työpöytäpintaa, joka ei ole itsessään vikasuojaus menetelmä, mutta lisää turvallisuutta. (SFS-käsikirja 600-1-2 2017, 280-281.)

5.4 Erottaminen ja kytkentä.

Sähköteknilliseen opetukseen käytettävissä tiloissa on oltava lukittava erotuskytkin, jolla voidaan katkaista jännitteet työalueelta. Tämän avulla voidaan varmistaa, etteivät oppilaat pääse työskentelemään tilassa ilman valvontaa. Tilapäiskytkentöjä syöttävässä virtapiirissä tulee kytkentöjen lähellä olla erotuskytkin, joka on varustettu asennon osoittimella, jolla saadaan kytkennät tehtyä jännitteettömiksi. Erotuskytkimen sijaan voidaan käyttää enintään 16 A pistokytkeä. (SFS-käsikirja 600-1-2 2017, 282.)

Opetuslaboratorioissa on oltava hätäkytkentää varten laitteet, joilla saadaan kytkettyä jännitteet nopeasti pois työskentelyalueelta. Hätäkytkimen on oltava helposti luokse päästävissä ja tunnistettavissa. (SFS-käsikirja 600-1-2 2017, 282.)

5.5 Tarkastukset

Sähkölaboratorioille on käyttöönottotarkastusten lisäksi tehtävä kunnossapitotarkastuksia sekä testauksia, joiden avulla voidaan varmistaa suojausten toiminta. Tarkastusten laajuus ja väli riippuu laitteistosta sekä sen käyttömäärästä. (SFS-käsikirja 600-1-2 2017, 282.)

Suositteluja tarkastustoimenpiteitä ovat laitteiden ja kytkentäjohtimien silmämääräinen tarkistus, vikavirtasuojien testaus testipainikkeella valmistajan ohjeiden mukaan, hätäkytkentälaitteiden testaus 1 vuoden välein, vikavirtasuojien testaus testilaitteella enintään 2 vuoden välein sekä eristysresistanssin mittaus ja suojajohtimien jatkuvuuden testaus enintään 5 vuoden välein. (SFS-käsikirja 600-1-2 2017, 282.)

6 ALKUTIEDOT

6.1 Keskuksen sijainti

Edellistä prosessia syöttänyt keskus puretaan pois ja uusi keskus sijoitetaan samaan tilaan kuin itse prosessi (Kuva 8), näin ollen vanhan keskuksen suojausluokka ei enää täytä vaatimuksia uudessa kohteessa. Lisäksi keskuksen haluttiin muistuttavan teollisuudessa käytössä olevia keskuksia, jolloin oppilaille muodostuu mahdollisimman kattava käsitys erilaisista keskuksista.



Kuva 8. Pois purettavan keskuksen sijainti ja uuden keskuksen sijainti

6.2 Kuormat

Osaprosessin kuormaa arvioitaessa päädyttiin noin 8 kW:iin, perustuen lämmitysvastusten kokoon, jotka ovat 6 kW:a, pumppuun noin 1 kW sekä muuhun kulutukseen, joka arvioitiin myös 1 kW:iin. Maksimaalinen kokonaiskuorma prosessilla olisi 96 kW, jos kaikki olisivat päällä yhtä aikaa. Kun kuorman teho on saatu selville, saadaan myös kuormitusvirta selville kaavan (1) avulla.

$$I = P / (\sqrt{3} * U * c) \quad (1)$$

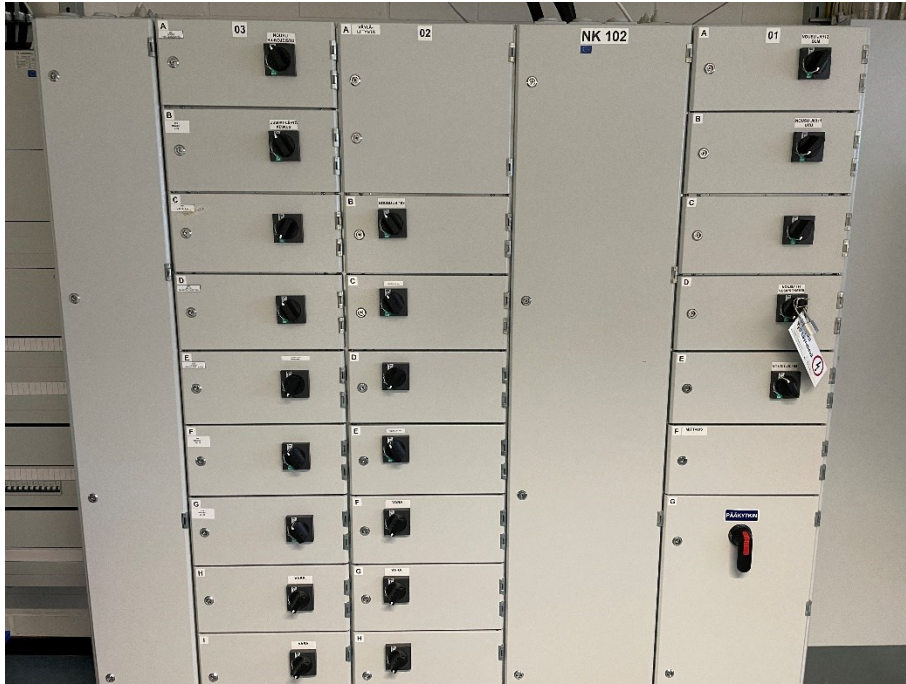
$$\frac{96000W}{(\sqrt{3} * 400V * 0,95)} = 147 A$$

missä

I	on	Kuormitusvirta
P	on	Kuorman teho (P)
c	on	kerroin 0,95
U	on	Pääjännite (V)

6.3 Syöttö

Vesiprosessin uuden pääkeskuksen syöttö tulee NK 102 keskukselta (Kuva 9), joka sijaitsee kiinteistösähköistyksen luokassa 1143, seinän takana uudistettavasta prosessitilasta. Samasta keskukselta on tullut syöttö myös vanhaan vesiprosessiin, mutta uudistuksen myötä prosessin mahdollinen huippukuorma kuitenkin kasvaa ja vanha syöttökaapeli jää liian pieneksi. Huippukuorman kasvamisen syynä on lämmitysvastusten määrän huomattava lisääntyminen, mikä mahdollistaa jokaisen osaprosessin erillisen lämmityksen ja erilaiset ohjaus- ja mittausjärjelyt.



Kuva 9. Nousukeskus 102

Kaapeli kulkee keskukselta lähdettyään noin puolet matkasta, umpipohjaisella kaapelihyllyllä, tämän jälkeen kaapeli menee kiviseinän läpi ja loppumatkan kaapeli kulkee tikashyllyllä. Kaapelin kulkureitin ja standardin (Taulukko 1) mukaan asennustavaksi valitaan C. (SFS_6000-5-52:2017 2017, 26-29.)

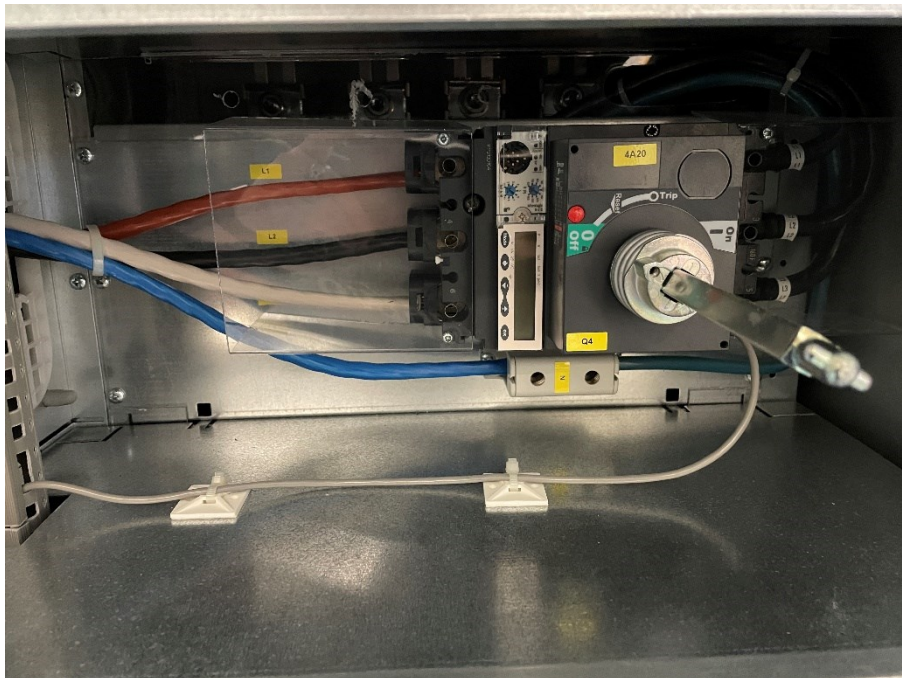
Taulukko 1. Asennustavan valinta (SFS_6000-5-52:2017)

30		Yksi- tai monijohdinkaapelit: Rei'ittämättömällä hyllyllä asennettuna vaakasuoraan tai pystysuoraan ^{c, h}	C ja taulukon B.52.17 kohta 2
57		Vaipalliset yksijohdin- tai monijohdinkaapelit suoraan kivirakenteessa, jonka lämpöre- sistiivisyys ei ole suurempi kuin 2 K-m/W Ilman mekaanista lisäsuojau- ta ^{o, p}	C
58		Vaipalliset yksijohdin- tai monijohdinkaapelit suoraan kivirakenteessa, jonka lämpöre- sistiivisyys ei ole suurempi kuin 2 K-m/W Mekaanisella lisäsuojauksella ^{o, p}	C

Standardin SFS-6000 (Liite 4 ja 5) kaapeliin ei tule korjaus kertoimia, koska tämä on kaapelihyllyn ainoa suurempi kaapeli. Edellä mainittujen tietojen perusteella 95 mm² kaapelin virran kesto on 258 A ja tämän tulisi riittää kohteessa. (SFS_6000-5-52:2017 2017, 34,52.)

Vanhan prosessin syöttökaapeli on ollut AMCMK 4x70+21S, sen suurin kuormitus on 159 ampeeria lähteestä riippuen. Uudeksi kaapeliksi joudutaan vaihtamaan porrasta suurempi kaapeli AMCMK 4x95+29S. Kaapelivalmistaja Prysmia antaa vähän erilaiset arvot omiin kaapeleihinsa kuin standardi, valmistajan ohjeen mukaan kaapelille tulee myös korjauskerroin tässä tilanteessa. Korjauskerroin on 0,95 hyllyasennuksessa eli AMCMK 4x95+29S kaapelin virran kestoksi tulee $0,95 \times 194A = 184 A$, joka riittää suunnitellussa kohteessa. (Prysmian Group 2018.)

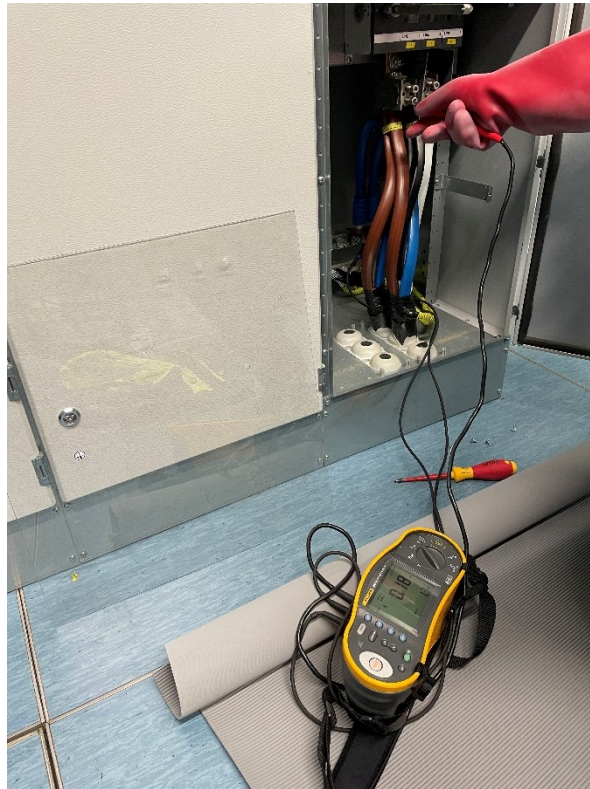
Syötön suojana toimii Schneider Electricin NSX 160 F Kompaktikytkin (Kuva 10), joka on tarkasteluhetkellä asetettu toimimaan 125 ampeerin virralla. Uudeksi toiminta-arvoksi asetetaan 160 A.



Kuva 10. Schneider Compact NSX 160 F.

6.4 Oikosulkuvirta

NK 102 keskuksen oikosulkuvirta selvitettiin mittaamalla se päävirtakytkimen syöttönavoista. Mittaus tehtiin käyttäen jännitetyösuojia (Kuva 11), koska aloitettaessa mittausta ei tiedetty oikosulkuvirran kokoluokkaa ja se oletettiin suureksi. Suurimmaksi oikosulkuvirraksi keskuksessa mitattiin 1500 ampeeria, oikosulkuimpedanssin ollessa tällöin $0,16 \Omega$ ja pienimmäksi arvoksi tuli 1200 ampeeria, impedanssin ollessa $0,19 \Omega$.



Kuva 11. Oikosulkuvirran mittaus käyttäen jännitetyösuojausta.

Syöttävältä keskukselta tulee noin 32 metriä matkaa uudelle suunniteltavalle keskukselle ja tähän välille tulee syöttökaapeliksi AMCMK 4x95+29S. Käytettävän kaapelin likimääräinen impedanssi on $0,257 \Omega/\text{km}$. Suunniteltavan keskuksen oikosulkuvirta laskettiin kaavojen (Kaava 2 ja Kaava 3) avulla ja tulokseksi saatiin suuremmalla lähtöarvolla 1247 A ja pienemmällä arvolla 1065 A. Kaavalla 1 lasketaan kaapelin tuoma lisäimpedanssi NK 102 impedanssiin,

tästä saadaan kokonaisimpedanssi JK 114. Kaavan 2 avulla lasketaan edellä lasketusta impedanssista itse oikosulkuvirta. (D1-2017 2017, 96-101.)

$$Z_{JK114} = Z_{NK102} + 2 * z * l \quad (2)$$

$$Z_{JK114} = 0,16 \Omega + 2 * 0,257 \frac{\Omega}{\text{km}} * 0,032 \text{ km} = 0,176 \Omega$$

$$Z_{JK114} = 0,19 \Omega + 2 * 0,257 \frac{\Omega}{\text{km}} * 0,032 \text{ km} = 0,206 \Omega$$

$$I_{JK114} = ((c * U)/(\sqrt{3} * Z_{JK114})) \quad (3)$$

$$I_{JK114} = \frac{0,95 * 400 \text{ V}}{\sqrt{3} * 0,176 \Omega} = 1247 \text{ A}$$

$$I_{JK114} = \frac{0,95 * 400 \text{ V}}{\sqrt{3} * 0,206 \Omega} = 1065 \text{ A}$$

missä

Z_{NK102}	on	syöttävän keskuksen oikosulkuimpedanssi
z	on	johtimen impedanssi (Ω/km)
l	on	johtopituus (km)
c	on	kerroin 0,95
U	on	Pääjännite (V)

6.5 Jännitteenalenema

Jännitteenalenema on hyvä selvittää kaapelivalintavaiheessa, ettei siitä muodostu ongelmaa tulevia laitteita käytettäessä. Standardi suosittelee, ettei jännitteen alenema ole suurempi kuin 5 %. Jännitteenalenema voidaan laskea seuraavalla kaavalla (Kaava 4). (SFS_6000-5-52:2017 2017, 67-68.)

$$u = b(\rho_1 \frac{L}{S} \cos\varphi + \lambda L \sin\varphi) I_B \quad (4)$$

$$1 * \left(\frac{0,0225 \Omega \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{32 \text{m}}{95} * 0,8 + 0,00008 * 32 * 0,6 \right) * 147 \text{A} = 1,1 \text{V}$$

missä

u	on	jännitteen alenema voltteina
b	on	kerroin, joka on 1 kolmivaiheisille- ja 2 yksivaihepiireille
ρ_1	on	johdinmateriaalin resistiivisyysnormaalikäytössä $0,0225\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
L	on	johtojärjestelmän pituus metreinä
S	on	johtimen poikkipinta mm^2 :nä
$\cos \varphi$	on	tehokerroin jos ei ole tiedossa oletetaan sen olevan 0,8 ($\sin \varphi = 0,6$)
λ	on	johtimen reaktanssijohtimen pituusyksikköä kohti, jos ei tiedossa oletetaan sen olevan $0,08\text{m}\Omega/\text{m}$
I_B	on	suunniteltu virta ampeereina

Jännitteenalenema prosentti saadaan laskettua kaavan 5 avulla.

$$\Delta u = 100 \frac{u}{U_0} \quad (5)$$

$$100 * \frac{1,1V}{400V} = 0,275\%$$

U_0 on jännite vaiheen ja nollan välillä

7 SUUNNITTELU

7.1 Hyvä sähkökeskus

Seuraavaksi mainitut asiat ovat suoria lainauksia Suomen Standardisoimisliiton julkaisemasta käsikirjasta Sähkökeskukset.

Viranomaissäädökset ja standardit antavat keskuksen rakenteelle perusvaatimuksia ja niiden mukaan rakennettu keskus ei aiheuta sähköiskun vaaraa tai palovaaraa.” (SFS-käsikirja 640 2017, s 8)

Hyvä keskus on selväpiirteinen ja varustettu oikeaa asennusta, käyttöä ja huoltoa varten riittävillä merkinnöillä. (SFS-käsikirja 640 2017, s 8)

Hyvä keskus on riittävän kestävä käyttöpaikkansa mekaanisiin, termisiin ja muihin rasituksiin ja sen kotelointi suojaa sisällä olevia komponentteja tältä rasitukselta. (SFS-käsikirja 640 2017, s 8)

Hyvä keskus toimii sille tarkoitetussa käyttöpaikassa oikein. (SFS-käsikirja 640 2017, s 8)

Hyvän keskuksen asentaminen ei tuota ongelmia. (SFS-käsikirja 640 2017, s 8)

Hyvässä keskuksessa on tilaa komponenttien vähäiselle lisäämiselle ja keskusta voi helposti laajentaa myöhemmin, jos tilaaja/käyttäjä sitä edellyttää. (SFS-käsikirja 640 2017, s 8)

7.2 Pääkytkin

Standardeissa ei suoranaisesti määrätä, että sähkökeskus on varustettava pääkytkimellä, mutta niissä on maininta, että asennukset on pystyttävä erottamaan sähkönsyötöstä. Tämä käytännössä määrää, että keskuksessa on oltava pääkytkin. TN-S- järjestelmässä riittää kolminapaisen pääkytkimen käyttö, jolloin pääkytkin katkaisee kaikki vaiheet ja nollajohtimen katsotaan olevan luotettavasti maan potentiaalissa. Järjestelmässä voidaan myös käyttää nelinapaista

pääkytkintä, jolloin esimerkiksi käyttöönottomittausten tekeminen helpottuu. (SFS-käsikirja 640 2016, 69-70.)

Pääkytkin sijoitetaan yleensä siten, että se tekee koko keskuksen jännitteettömäksi pois lukien keskusta syöttävän kaapelin liittimet. Joissakin tilanteissa keskus voidaan rakentaa niin, että osa keskuksesta jää virralliseksi. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi energiaa mittaavat tai sen käyttöä ohjaavat laitteet, jotka asennetaan ennen pääkytkintä, lisäksi jotkin turvajärjestelmät voidaan asentaa ennen pääkytkintä, mutta näissä tilanteissa keskus on aina varustettava varoituskilvellä (Kuva 12), joka varoittaa asiasta. (SFS-käsikirja 640 2016, 70.)



Kuva 12. Varoituskyltti (Turvamerkki.fi 2021).

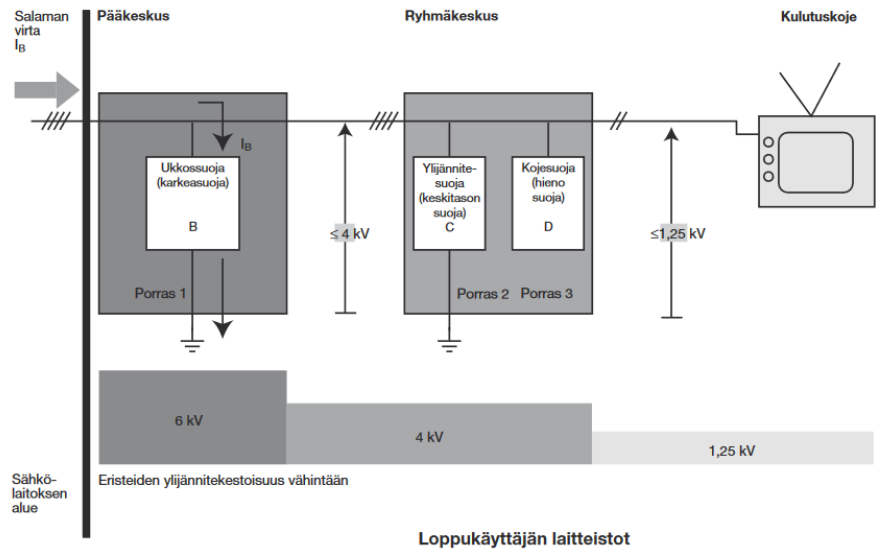
7.3 Ylijännitesuoja

Ylijännitesuojan (Kuva 13) tehtävänä on suojata herkkiä elektronisia laitteita erilaisilta virtapiikeiltä ja suurilta potentiaalieroilta. Ylijännitepiikkien yleisimpinä syinä ovat salaman suora isku rakennukseen, salaman isku ilmakaapeliin pienjänniteverkoissa, ylijännitteen indusoituminen ympäristöstä tai kytkentäpiikit ja viat verkossa. (UTU 2021, 2 - 3.)



Kuva 13. Ylijännitesuoja (UTU 2021).

Ylijännitesuojia on kolme eri porrasta eli tyyppiä (Kuva 14), 1 tyyppi on karkea ukkossuoja, joka asennetaan ensimmäiseksi suojaksi salamaniskuja vastaa. Tyypin 2 suojat ovat yleissuojia, jotka asennetaan normaalisti ryhmäkeskuksiin tai alakeskuksiin. 3 tyypin suojat ovat viimeisen portaan suojia, joita käytetään laitesuojina. Suojat eroavat toisistaan energianjohtokyvyn ja jännitteenrajoitus-
kyvyn perusteella. Suojat tuleekin asentaa peräkkäin siten, että suurempi tehoinen suojaa heikompi tehoista suojaa. (UTU 2021, 14.)



Kuva 14. Suojausportaat (UTU 2021).

7.4 Energianmittaus

Sähköenergian määrä saadaan selville, kun tiedetään jännite, virta ja aika. Sähköenergian yksikkönä käytetään yleensä kilowattituntia (kWh). Alhaalla on listattuna kaavoja (Kaavat 6,7 ja 8), joilla voidaan laskea kolmivaiheisen kuormituksen sähköenergiaa. Yksivaiheisen kuormituksen energiamäärä voidaan laskea, kun alla olevista kaavoista jätetään $\sqrt{3}$ pois. (Lindeman & Sahinoja 2000.)

$$\text{Pätöenergia } W_P = P * t = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi * t \quad (6)$$

$$\text{Loisenergia } W_Q = Q * t = \sqrt{3} * U * I * \sin\varphi * t \quad (7)$$

$$\text{Näennäisenergia } W_S = S * t = \sqrt{3} * U * I * t \quad (8)$$

missä

P	on	teho (W)
U	on	laitteiston jännite (V)
I	on	laitteiston ottama virta (A)
$\cos \varphi$	on	tehokerroin
t	on	aika (h)

Monimittausjärjestelmällä (Kuva 15) voidaan yhdellä laitteistolla mitata useiden eri sähkökäyttöjen kulutustietoja. Tästä on hyötyä, jos samassa rakennuksessa on monia kulutuskohteita, joiden energiankulutusta halutaan mitata. Järjestelmään kuuluu keskusyksikkö, väyläkaapelointi sekä virta-anturit ABB:n CMS järjestelmään saadaan kytkettyä jopa 96 anturia. (ABB Oy 2017, 2.)



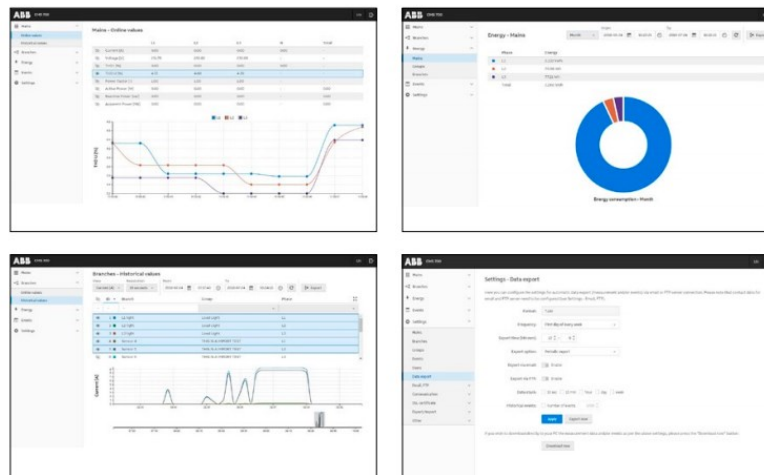
Kuva 15. ABB:n CMS Monimittausjärjestelmä (ABB Oy 2017).

ABB:n CMS järjestelmä voidaan asentaa mitattaviin lähtöihin rakennusvaiheessa, jolloin voidaan käyttää suljettua-anturia (Kuva 16). Tämän tyyppinen anturi on varsin tarkka ja sen mittatarkkuus on $\leq \pm 0,5 \%$. Valmiiseen keskukseen järjestelmää asennettaessa voidaan käyttää avointa eli u:n muotoista anturia, mikä on vähän epätarkempi vaihtoehto, mutta moneen kohteeseen ihan riittävä, mittatarkkuuden ollessa $\leq \pm 1,0 \%$. Asennusvaihtoehtoja on monia erilaisia, jos käytössä on ABB:n johdonsuojakatkaisijat, voidaan anturit kiinnittää niihin. Anturit voidaan myös kiinnittää DIN-kiskoihin tai nippusiteillä mitattaviin kaapeleihin. (ABB Oy 2017, 7-9.)



Kuva 16. Suljettu ja avoin virta-anturi (ABB Oy 2017).

Järjestelmä voidaan kytkeä Ethernet-kaapelin avulla internetiin, mikä mahdollistaa etäseurannan mistäpäin maailmaa tahansa. Tämän ansiosta myös järjestelmän mittausarvoja ja historiatietoja (Kuva 17) voidaan selata helposti internetselaimen avulla. Järjestelmään voidaan liittää myös hälytystoiminto, jonka avulla saadaan tieto esimerkiksi sähköpostiin, jos järjestelmä havaitsee jotain poikkeavaa tilannetta kulutuksissa tai muussa sähkönsyötössä. (ABB Oy 2017, 10.)



Kuva 17. Internetselaimella avattu käyttöliittymä (ABB Oy 2017).

7.5 Yhdistetty vikavirta- ja johdonsuojakatkaisija

Yhdistetty vikavirta- ja johdonsuojakatkaisija (Kuva 18) (VV-JSK) on nimensä mukaan yhdistelmälaite, joka suojaa vikavirralla sekä ylivirralla eli oikosululta ja ylikuormitukselta. Tämä laite vähentää keskuksessa johtimien määrää, koska erillisiä laitteita ei enää tarvitse johdottaa keskenään. Vikavirralla tarkoitetaan sellaista sähkövirtaa, joka muodostaa vaarallisen virtapiirin ei toivottuun paikkaan esimerkiksi laitteen runkoon. (ST 53.12 2020, 1.)



Kuva 18. Yhdistetty vikavirta- ja johdonsuojakatkaisin (UTU Oy 2018a).

Vikavirtasuojan toiminta perustuu siihen, että se vertaa virtapiiriin menevän ja sieltä palaavan virran määrää, kun nämä virrat ovat yhtä suuret laitteessa ei esiinny vikavirtaa. Vikavirta laukeaa seuraavissa tilanteissa: suojamaadoitettuun laitteeseen tulee vika, vikavirta menee ihmisen läpi, eristysvika asennuksessa, nolla- ja suojamaadoitusjohtimen yhdistyminen, liian monta ehjääkin laitetta samassa ryhmässä sekä painettaessa laitteen testauspainiketta. (ST 53.12 2020, 1,4.)

Vikavirtasuojia on useita erilaisia tyyppisiä (Taulukko 2), jotka toimivat erilaisissa kuormitustilanteissa sekä antavat suojaa eri asioilta. Yleisimpiä käyttökohteita vikavirtasuojille ovat suojaus sähköiskulta, palosuojaus, lisäsuojana

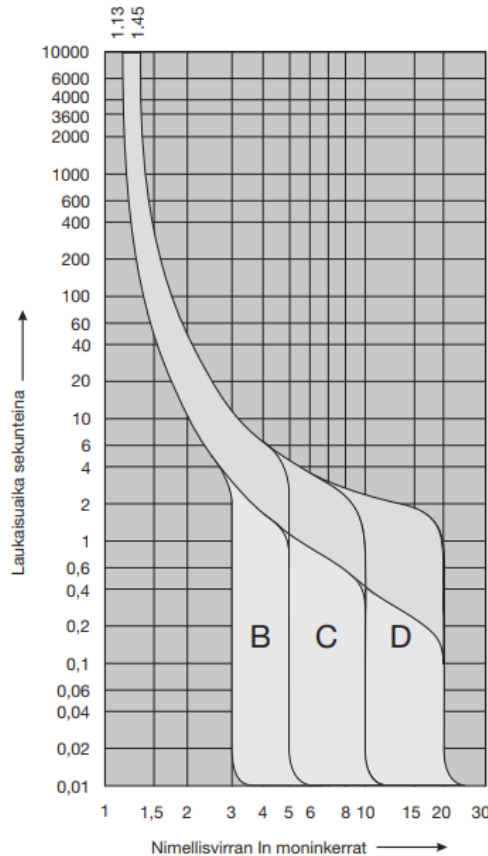
kylpy- ja suihkutiloissa, vika- ja lisäsuojana uima-altailla sekä erilaisissa tilapäissähköistyksissä (esimerkiksi rakennustyömaat ja näyttelyt). (ST 53.12 2020, 5-9.)

Taulukko 2. Yhteenveto erilaisista vikavirtatyypeistä ja niiden ominaisuuksista (ST 53.12 2020, 9).

TYYPPI	MITOITUS- TOIMINTAVIRRRAT (mA)	SAATAVANA SELEKTIVISENÄ (S)	SAATAVANA HÄIRIÖKESTOISENA (HI)	HUOMAUTUS
AC				Ei käytetä Suomessa
A	10 - 500	kyllä	kyllä	Yleisin malli normaaliin asennuskäyttöön
A HI	30 - 300	ei	kyllä	Parannettu ylijännitteiden ja virtapiikkien kestävyys
B	30 - 300	kyllä	ei	mm. aurinkosähköasennukset, sähköautojen lataus
F	30	ei	ei	mm. taajuusmuuttajat, ilmastointi, jäähdytysjärjestelmät, lämpöpumput
B+	30 - 300	ei	ei	suuritaajuisille AC-vikavirroille, mm. hissit

Johdonsuojakatkaisin suojaa virtapiiriä ylikuormitukselta sekä oikosululta, minkä vuoksi katkaisijassa on kaksi erillistä laukaisumekanismia. Ylikuormitus-tilanteessa katkaisijassa oleva bi-metalliliuska lämpenee ja alkaa taipua. Kun lämpenemistä on tullut riittävästi, katkaisija avautuu. Katkaisija voidaan kääntää takaisin kiinni, kun bi-metalli on jäähtynyt tarpeeksi. Oikosulkutilanteessa katkaisijassa oleva magneettilaukaisin avaa katkaisijan muutamassa millisekunnissa. (Ahoranta 2013, 117.)

Johdonsuojakatkaisimia on markkinoilla aina 125 A:n nimellisvirtaan asti. Niiden valinnassa on otettava huomioon, millaista kuormaa niiden jälkeen on tarkoitus asentaa, jotta osataan valita oikean tyyppisellä laukaisukäyrällä (Kuva 19) oleva katkaisin. Laukaisukäyrällä tarkoitetaan sitä, millaisella virralla katkaisijan pikalaukaisin toimii, tällä on merkitystä esimerkiksi kuorman ollessa muuntaja tai moottori, jotka aiheuttavat käynnistäessään virtapiikin. (Ahoranta 2013, 118.)



Kuva 19. Johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyriä (UTU Oy 2018b).

7.6 Hätäpysäytys- ja hätäpoiskytkentälaitteet

Hätäpysäytystä koskevat ohjeet ja määräykset tulevat Koneturvallisuusstandardeista SFS-EN 60204, SFS-EN ISO 12100 ja SFS-EN ISO 13850. Näissä standardeissa käydään läpi erilaiset termit ja niiden määritelmät sekä turvallisuusvaatimukset, joita hätäpysäyttimiltä vaaditaan. (SFS-käsikirja 16 2003, 25-26.)

Hätäpysäytyksen on tarkoitus torjua henkilöiden käyttäytymisestä tai ennakoimattomasta vaarallisesta tapahtumasta johtuvat tai uhkaavat vaaratilanteet. Hätäpysäytys käynnistetään yhdellä ihmisen tekemällä toimenpiteellä. Kun toiminto on käynnistetty, sen on pysyttävä päällä siihen asti, kunnes se kuitataan pois käsikäyttöisesti siitä hätäpysäyttimestä (Kuva 20), josta pysäytys on suo-

ritettu. Kun hätäpysäytin kuitataan pois päältä, kone ei saa käynnistyä automaattisesti uudelleen vaan se antaa vain mahdollisuuden uudelleen käynnistykseen. (SFS-EN ISO 13850 2015, 8-11.)



Kuva 20. Hätäpysäytyspainike.

Sähköisessä hätäpysäyttimessä on noudatettava periaatetta, jossa virtapiiri katkaistaan, kun hätäpysäytintä painetaan. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kun hätäpysäytin painetaan pohjaan, niin paininpää painaa katkaisijan sisällä koskettimet irti toisistaan ja lukituksen ansiosta ne jäävät irti asentoon siihen asti, kunnes katkaisijan lukitus vapautetaan. Virtapiirin katkaiseva vaikutus on perusteltu sillä, että jos hätäpysäyttimenvirtapiiri katkeaa vikaantumisen vuoksi, niin tämä huomataan hätäpysäyttimen toimintaa vastaavana tilana, joka vaatii välitöntä korjaamista ennen kuin laitteen käyttöä voidaan jatkaa. (SFS-EN ISO 13850 2015, 12)

7.7 Keskusten rakennetyypit

Sähkökeskuksissa on pääsääntöisesti käytössä kolme erilaista rakennetyypiä: kehikko-, kotelo- ja kennokeskus, sekä edellä mainittujen erilaisia variaati-

oita ja yhdistelmiä. Keskuksen rakennetyypin määrittää, millaiseen tilaan ja tarpeeseen keskus tulee, sekä millaisia jännitteitä ja virtoja keskuksen läpi tulee kulkemaan.

Kehikkokeskuksia (Kuva 21) käytetään kuivien tilojen keskuksina ja niiden maksimi virran kestävyys on 1000 ampeerin luokkaa. Tällaisia keskuksia käytetään yleensä liike-, teollisuus- ja kiinteistörakentamisessa. Kehikkokeskukset voivat olla yksi- tai useampikenttäisiä riippuen tarpeesta. Kotelointiluokat vaihtelevat näissä keskuksissa IP20 – 30:n välillä. (POK 2021a.)



Kuva 21. Kehikkokeskus (POK 2021a.)

Kotelokeskuksia (Kuva 22) voidaan käyttää samantyyllisissä kohteissa kuin kehikkokeskuksiakin, mutta niillä saavutetaan parempi suojaustaso niin kosteuden kuin pölynkin suhteen. Lisäksi kotelokeskuksia voidaan käyttää ulkotiloissa, sillä kaikki arat kohteet ovat kansien sisäpuolella ja tarvittaessa lukolla varustettujen ovien takana. Keskuksien kiinnitys tapahtuu pystypalkkien varaan seinään tai erillisen sokkelin päälle. Keskuksia voidaan valmistaa IP-luokkiin 20-55. (POK 2021c).



Kuva 22. Kotelokeskus (POK 2021c.)

Kennokeskuksia (Kuva 23) käytetään paljon teollisuudessa sekä suuremmissa kohteissa, joissa nimellisvirrat yltävät yli 3000 ampeeriin. Keskukset voidaan kalustaa kiinteästi tai tarvittaessa katkaisijat voivat olla ulosotettavia, lisäksi osa kalusteista voidaan tarvittaessa sijoittaa keskuksen oviin. Keskuksen ovet voidaan toteuttaa joko täyskorkeina tai jaettuna pienempiin osiin. Saavutettavat IP luokat tällä keskustyypillä on 20–55. Nämä keskukset ovat jo sen verran suuria, että ne asennetaan sokkeleiden päälle. (POK 2021b.)



Kuva 23. Kennokeskus (POK 2021b.)

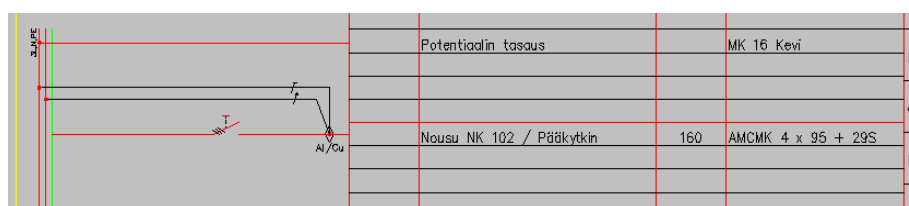
8 SUUNNITTELUN TULOKSET

8.1 Vesiprosessin keskus

Työn lopussa liitteessä 1 on keskuksen keskuskaavio kokonaisuudessaan. Seuraavana on esitelty keskuksen syöttö ja lähdöt.

Uuden keskuksen runkotyypiksi valitsin kotelokeskuksen, koska keskus sijoitetaan samaan tilaan kuin itse vesiprosessi, joten siinä tarvitaan kehikkokeskusta korkeampaa suojausluokkaa. Kennokeskus taas mielestäni ei ole järkevä, koska keskuksessa liikkuvat virrat ovat varsin pieniä.

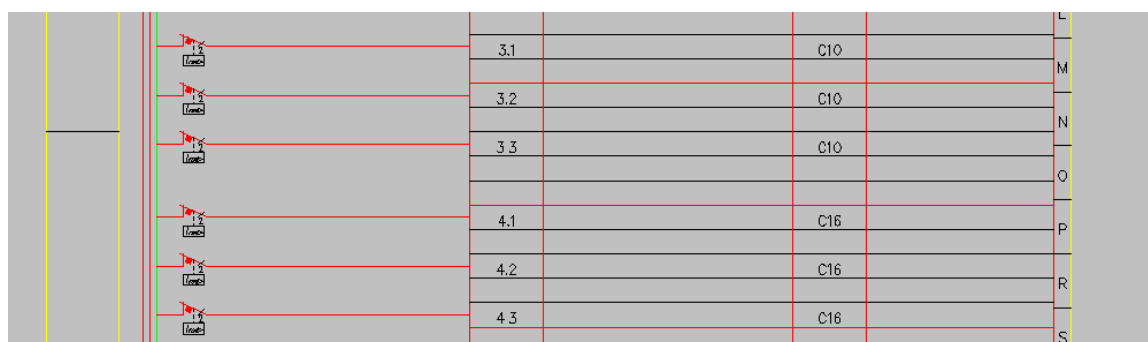
Keskuksen syöttö (Kuva 24) tapahtuu AMCMK 4 x 95+29 S kaapelilla, Prysmin tuotelehtiön mukaan tämän kaapelityypin suurin kuormitettavuus on ilmassa 194 ampeeria. Syöttävän keskuksen (NK102) lähdön kompaktikatkaisija säädetään 160 ampeeriin, jolloin kaapelin keston kanssa ei mielestäni tule ongelmaa.



Kuva 24. Keskuskaavion syöttö.

Keskuksen ryhmiin 1.1, 1.2 ja 1.3 asennetaan ylivirtasuojia suojaamaan keskuksen kytkettäviä ylijännitteille arkoja laitteistoja. Ryhmiin 1.1 – 2.3 ei ole suunniteltu vikavirtakatkaisijoita, koska näiden lähtöjen on tärkeää toimia mahdollisimman moitteettomasti, opiskelijoiden ei ole tarkoitus päästä niihin käsiksi, eikä niihin ei kytketä mitään ulkopuolisia laitteita. Ryhmästä 2.1 saa virran vesiprosessin ohjauskontaktori, jolla saadaan prosessialue kytkettyä jännitteelliseksi ja jännitteettömäksi tarvittaessa. Lähtöön 2.2 kytketään turvakytkimien vieressä olevat merkkivalot, jotka syttyvät palamaan, kun turvakytkin on käännetty kiinni asentoon.

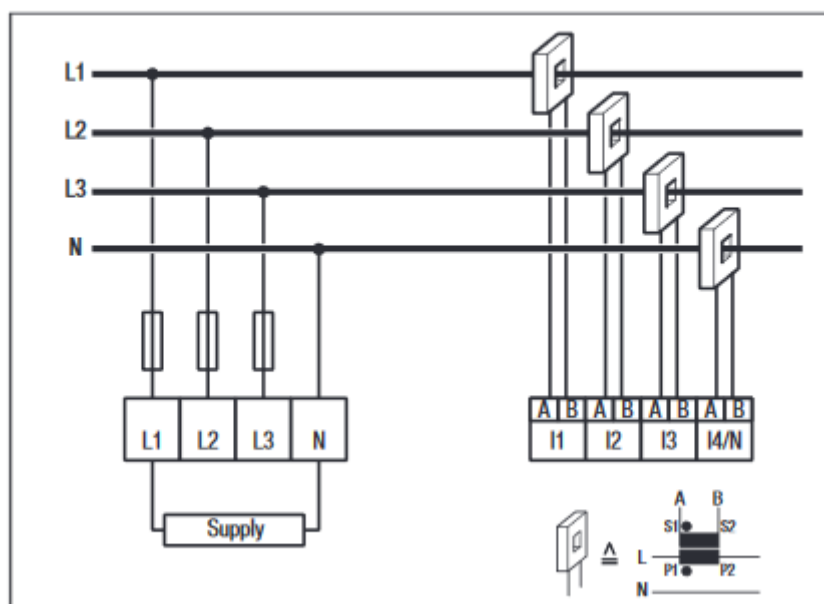
Keskuksen lähdöt 3.1 - 3.3 (Kuva 25) ovat yksivaiheisia, C-laukaisukäyrällä varustettuja 10 ampeerin, yhdistettyjä vikavirta- ja johdonsuojakatkaisijoita. Lähdöt 4.1 – 4.3 ovat muuten samanlaisia kuin edellisetkin, mutta 16 ampeerisia. Lähdöissä 3.1 – 4.3 ei ole vielä suunniteltu kuormia, joten nämä ovat valmiina jos tulee tarvetta lisätä myöhemmin kuormia keskukseseen. Näihin lähtöihin ei myöskään ole tässä vaiheessa tarkoitusta laittaa energianmittausta, mutta tarvittaessa se voidaan lisätä varsin helposti, koska energianmittausjärjestelmään, joka keskukseseen on suunniteltu, voidaan kokonaisuudessaan liittää 96 virta-anturia.



Kuva 25. Keskuskaavion yksivaihelähtöjä.

Ryhmä 5 on kolmivaiheinen ryhmä ilman vikavirtakatkaisijaa ja siihen on suunniteltu kytkettäväksi energiamittauslaitteen keskusyksikkö. Laitte itsessään ei tarvitse kuin yksivaihesyötön (Kuva 26), mutta se tarvitsee jokaiselta vaiheelta jännitetiedon. Mielestäni tällainen kytkentä voisi toimia tässä tilanteessa hyvin.

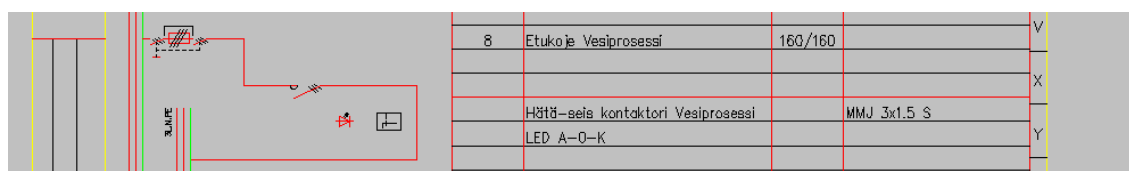
Three phase plus neutral



Kuva 26. Energiamittausjärjestelmän keskusyksikön kytkentä (ABB Oy 2017).

Keskuksen ryhmät 6 – 7 ovat kolmivaiheisia 16 ampeerin lähtöjä varustettuna yhdistetyillä vikavirta- ja johdonsuojakatkaisijoilla. Tässä vaiheessa niihin ei ole suunniteltu vielä kuormia, mutta ovat mahdollisia lisäasennuksia varten siellä valmiina.

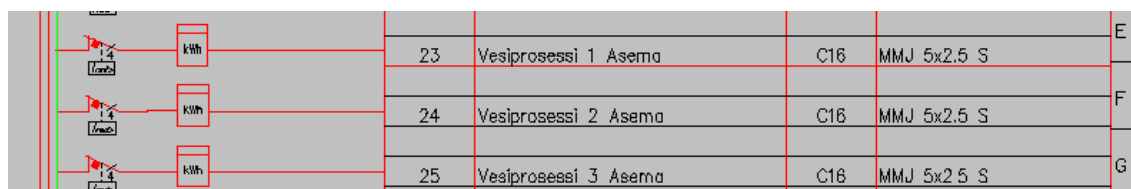
Ryhmään 8 on suunniteltu uudistuvan vesiprosessin etukoje (Kuva 27). Etukojeeksi tulee varokekytkin, johon tulee 160 ampeerin kahvasulakkeet. Tämän avulla vesiprosessi saadaan tarvittaessa kokonaan jännitteettömäksi ilman, että muuta keskusta tarvitsee sammuttaa pääkytkimestä. Etukojeen jälkeen tulee hätä-seis-kontaktori, joka hätätilanteessa katkaisee prosessin jännittesyötön.



Kuva 27. Piirikaavio prosessin etukoje.

Keskuksen ryhmät 21.1 – 22.3 ovat yksivaiheisia yhdistetyllä vikavirta- ja johdonsuojakatkaisijalla varustettuja lähtöjä, jotka on tarkoitettu prosessisähköistyksiin ja jotka ovat hätäkytkimien takana. Kahteen lähtöön on suunniteltu yksivaihepistorasiat, jotka tulevat prosessia syöttävien kolmivaihepistorasioiden viereen, loput ovat varalla lisäkäyttöä varten.

Lähdöt 23 – 38 ovat kolmivaiheisia 16 ampeerin yhdistetyllä vikavirta- ja johdonsuojakatkaisijalla varustettuja (Kuva 28) ja ne on tarkoitettu yksittäisten osaprosessien syöttöön niin, että yksi lähtö syöttää yhtä osaprosessia. Lähtöjä on yhteensä 16, joten tässä vaiheessa 4 niistä jää varalle. Nämä lähdöt ovat myös varustettuja energiamittauksella.



Kuva 28. Piirikaavion prosessilähdöt.

Edellisten lisäksi keskukseen tuli lähdöt 39.1 – 47, jotka ovat yksi- ja kolmivaiheisia lähtöjä, joille ei vielä ole valmiita kohteita vaan ne jäävät tulevaisuuden lisäyksiä varten. Nämä lähdöt ovat myös hätäkytkennän takana ja niistä katkeaa virta kun hätäpainiketta painetaan.

8.2 Prosessin syöttö

Prosessin sähkönsyöttö on tarkoitus hoitaa hajautetusti siten, että jokainen osaprosessi on oman syötön takana. Tämä sen vuoksi, että osaprosesseja voidaan rakentaa eri aikoina ja voidaan olla varmoja, ettei viereiseen ehkä vielä työn alla olevaan osaprosessiin pääse sähköä väärällä hetkellä.

Liitteenä 3 on piirikaavio suunnitellusta prosessin syötöstä. Jännitteensyöttö osaprosessiin tapahtuu 16 ampeerin kolmivaihepistokkeen kautta. Jakokeskuksesta syöttö tapahtuu MMJ 5 x 2.5 S kaapelin välityksellä turvakytkimelle (Kuva 29), jota pidetään lukittuna aina kun kyseinen osaprosessi ei ole toiminnassa

tai toimintakunnossa. Turvakytkimen ollessa kiinni asennossa myös sen viereen sytty valo, joka ilmoittaa prosessin olevan jännitteellinen. Kuvasta (Kuva 29) poiketen turvakytkimen jälkeen tulee kolmivaihepistoke, johon prosessin alakeskus kytketään.

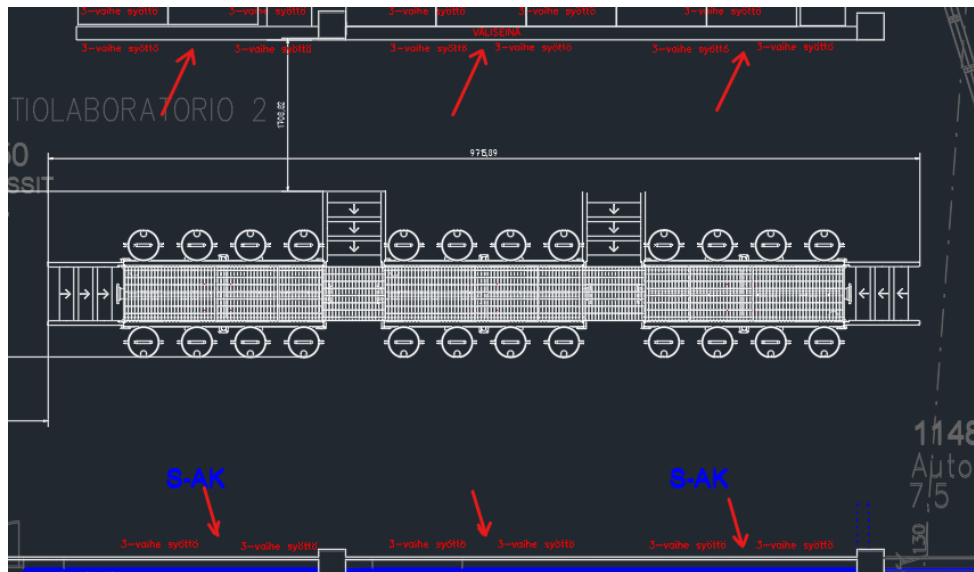


Kuva 29. Lukon takana oleva sähkönsyöttö.

Monivaiheisella kytkennällä on haluttu minimoida vahingon mahdollisuus ja sähköiskun vaara. Kytkettäessä osaprosessia jännitteelliseksi on ensin kytkettävä alakeskuksen pistoke pistorasiaan, tämän jälkeen avattava turvakytkimen lukitus ja vasta sitten voidaan kytkeä osaprosessin keskus jännitteelliseksi.

8.3 Häätä-seis-toteutus

Hätä-seis-toteutuksen piirikaavio on kokonaisuudessaan liitteessä 2. Häätäseiskytkentä suunniteltiin 6 painikkeella, painikkeet suunniteltiin sijoitettavan kahden osaprosessin syötön väliin (Kuva 30). Tällä tavalla sijoitettuna saadaan kuudella hätäseis painikkeella turvattua koko alue varsin kattavasti.



Kuva 30. Häätäseis painikkeiden paikat osoitettu punaisilla nuolilla.

Hätäseis painikkeet ovat kytkettynä sarjaan, näin ollen jokaisella painikkeella saadaan koko prosessi kerralla virrattomaksi. Kytkennän haluttiin toimivan näin, koska tällä tavalla vältetään sekaannusta hätätilanteessa ja näin saadaan yhdellä painikkeella koko prosessi pysäytettyä ja virrattomaksi, ilman turhia viiveitä.

Hätäseisjärjestelmän kytkeminen vaatii alas painetun painikkeen kuittauksen normaaliasentoon sekä erillisen hätäseis kuittauskytkimen (Kuva 31) painamisen. Kuittauskytkimen painaminen vasta palauttaa prosessin jännitteelliseksi. Samaan yhteyteen tulee myös avaimella varustettu katkaisija, jolla voidaan prosessi tehdä varmasti jännitteettömäksi, jos sellainen tarve tulee eteen.



Kuva 31. Hätäseispiirin 0 - 1 kytkin sekä kuittauspainike.

9 POHDINTA

Työssä tavoitteena oli suunnitella uutta vesiprosessia varten pääkeskus, hätäkytkentäpiiri sekä osaprosessien energiansyöttö. Lisäksi tavoitteena oli tutustua määräyksiin ja standardeihin, joita täytyy noudattaa, kun kohteena on oppilaitosympäristö.

Työn tuloksena syntyi esitys pääkeskuksen keskuskaaviosta, hätäkytkennän toteutuksesta ja painikkeiden sijainneista sekä esitys prosessin energian syötön toteutuksesta. Työssä käytiin läpi oikosulkuvirran laskentaa, kaapeleiden valintaa, keskuksen laitteistoa ja niiden valintaa sekä perehdyttiin millaisia määräyksiä ja ohjeistuksia tulee noudattaa, kun suunnitellaan sähköistystä oppilaitoksen laboratoriotilaan.

Työ oli mielenkiintoinen ja haastava, koska suunnittelun kohde oli oppilaitoksen sähkölaboratoriotila ja se näin ollen poikkesi opintojen aikana tehdyistä muista suunnitteluharjoituksista.

Työ onnistui mielestäni hyvin ja oli erittäin opettavainen. Sen aikana saatiin tehtyä ja täytettyä, työlle aluksi annetut aiheet ja tavoitteet. Työ myös eteni sille suunnitellun aikataulun mukaisesti ja valmistui suunniteltuna ajankohtana.

LÄHTEET

ABB Oy. 2017. CMS-700 Monimittausjärjestelmä -esite. Viitattu 12.7.2021. https://www.expressmagnet.eu/pub/177/ABB_CMS-700/#p=1

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

Austin, M 2020. 27 Feb Advantages of plant Simulation and Siemens Digital Twin. Viitattu 26.10.2021. <https://www.attendmia.com/blog/2019/02/27/explore-the-latest-manufacturing-technology/>

Cadmatic 2020. Miksi tietokantapohjainen projekti?. Viitattu 7.7.2021. <https://my.cads.fi/hc/fi/articles/115004198289-Miksi-tietokantapohjainen-projekti->

Cadmatic 2021a. Construction. Viitattu 7.7.2021. <https://www.cadmatic.com/fi/construction/>

Cadmatic 2021b. Etusivu. Viitattu 7.7.2021. <https://www.cadmatic.com/fi/>

Cadmatic 2021c. Marine. Viitattu 7.7.2021. <https://www.cadmatic.com/fi/marine/>

Cadmatic 2021d. Process & industry. Viitattu 7.7.2021. <https://www.cadmatic.com/fi/process-and-industry/>

Cadmatic 2021e. Yritys. Viitattu 7.7.2021. <https://www.cadmatic.com/fi/yritys/>

D1-2017 2017. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry

Isometsä, H. 2021. Lapin Amk Oy. Lehtori. Team palaveri 14.4.2021

Kuha, P.2018. Valokuva. <https://www.epressi.com/tiedotteet/koulutus/lapin-ammattikorkeakoulun-lukuvuosi-alkaa.html>

Lapin AMK. 2021. Opinto-opas. Viitattu 13.6.2021. <https://opinto-opas-amk.peppi.lapit.csc.fi/fi/708/fi>

Lindeman, K. & Sahinoja, T. 2000. Sähkömittaustekniikan perusteet. Helsinki: WSOY.

LUC. 2021. LUC esittely. Viitattu 13.6.2021. <https://www.luc.fi/fi/LUC/Esittely>

POK. 2021a. Kehikko. Viitattu 1.7.2021. <https://www.pok.fi/fi/buildingsystem/tuotteet/kehikko>

POK. 2021b. Kenno. Viitattu 2.7.2021. <https://www.pok.fi/fi/buildingsystem/tuotteet/kenno>

POK. 2021c. Kotelo. Viitattu 2.7.2021. <https://www.pok.fi/fi/buildingsystem/tuotteet/kotelo>

Prysmian Group. 2018. Energia-, teollisuus- ja talonrakennuskaapelit. Viitattu 4.9.2021. <https://fi.prysmiangroup.com/esitteet>

SFS_6000-5-52:2017. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 13850. 2015. Koneturvallisuus. Häätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-käsikirja 16. 2003. Moottorikeskukset ja ohjelmoitavat ohjaukset. Vakiosovelluksia enintään 1000 V moottorikäyttöille. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-käsikirja 600-1-2. 2017. Pienjänniteasennukset. Osa 1-2: Erikoistilojen ja täydentävät vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-käsikirja 640. 2016. Sähkökeskukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

ST 53.12. 2020. Vikavirtasuojat. Viitattu 9.7.2021. <https://severi.sahkoinfo.fi/item/681?search=Vikavirtasuojat>

Tekla. 2021. Mitä on BIM, Viitattu 26.10.2021. <https://www.tekla.com/fi/tietoameistä/mitäA4-bim>

Turvamerkki.fi. 2021. Pääkytkin ei katkaise SK. Viitattu 26.10.2021. <https://www.turvamerkki.fi/paakytkin-ei-katkaise-sk-13189.html>

UTU Oy. 2018a. Hager -keskusjärjestelmät 2018/2019 -vikavirtajohdonsuojakatkaisimet -esite. Viitattu: 26.10.2021. https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/17fiutu0004imc_keskusjarjestelmat_2018_2019_vikavirtajohdonsuojakatkaisijat.pdf

UTU Oy. 2018b. Hager Tekniset tiedot johdonsuojakatkaisijat. Viitattu: 26.10.2021. <https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/johdonsuojakatkaisijat-tekniset-tiedot-11fi0211.pdf>

UTU Oy. 2021. Hager Ukkos- ja ylijännitesuojat -esite. Viitattu 14.7.2021. https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/13fi0468_pro_spd_spa_web.pdf

LIITTEET

- Liite 1. Keskuskaavio
- Liite 2. Piirikaavio, Häätäpysäytys
- Liite 3. Piirikaavio, Vesiprosessisyöttö
- Liite 4. Korjauskerrointaulukko Useamman kaapelin asennuksissa
- Liite 5. Kuormitettavuus eri asennustavoilla taulukko
- Liite 6. Prysmian AMCMK kaapelin ominaisuudet

Liite 1 1(4)

Päättökäs. Varsinainen		19.6.2021																
D muutos	E muutos	F muutos																
<p>SÄHKÖTEKNISET TIEDOT :</p> <p>1. NIMELLISJÄNNITE / –VIRTA / –TAAJUUS <u>400</u> V <u>160</u> A <u>50</u> Hz</p> <p>2. TERMINEN OIKOSULKUKESTOISUUS _____ kA</p> <p>3. TASATTU– / ASENNETTU TEHO / COSFII _____ kW _____ kW _____ cosfi</p> <p>4. OHJAUSJÄNNITEKISKOT <input checked="" type="checkbox"/> EI <input type="checkbox"/> ON JÄNNITE _____ V VIRTA _____ A</p> <p>5. AC–KISKOT TAI JOHTIMET <input type="checkbox"/> L1,N <input type="checkbox"/> L1,N,PE <input type="checkbox"/> L1,L2,L3,N <input checked="" type="checkbox"/> L1,L2,L3,N,PE</p> <p>RAKENNETIEDOT :</p> <p>1. KESKUSLAJI <input checked="" type="checkbox"/> KENNO <input type="checkbox"/> KOTELO <input type="checkbox"/> KEHIKKO</p> <p>2. ASENUSTAPA <input checked="" type="checkbox"/> PINTA <input type="checkbox"/> UPPO KOTEL. LUOKKA IP _____</p> <p>3. KIINNITYS <input type="checkbox"/> LATTIA <input checked="" type="checkbox"/> SEINÄ</p> <p>4. OVILAITE <input type="checkbox"/> LUKKO <input checked="" type="checkbox"/> SALPA</p> <p>5. LATT.SEIS.KESK. POHJALEVYTT <input type="checkbox"/> AVOIN <input type="checkbox"/> PALONKESTÄVÄ</p> <p>6. MAALAUUS <input checked="" type="checkbox"/> VAKIO <input type="checkbox"/> ERIKOIS</p> <p>7. MITAT KORKEUS : _____ LEV. : _____ SYV. : _____</p> <p>KALUSTUSTIEDOT :</p> <p>1. KALUSTUSTYYPPI <input checked="" type="checkbox"/> KIINTEÄ <input type="checkbox"/> ULOSV. <input type="checkbox"/> ULOSOT.</p> <p>2. KALUSTUSTAPA <input checked="" type="checkbox"/> YKSIKKÖ <input type="checkbox"/> KESKITETTY</p> <p>3. MERKKILAMPUT <input type="checkbox"/> HEHKU <input type="checkbox"/> HOHTO <input checked="" type="checkbox"/> LEDI</p> <p>4. MITTAUKSEN TOIMITTAJA <input type="checkbox"/> SÄHKÖLAITOS <input type="checkbox"/> VALMISTAJA</p> <p>KAAPELOINTI :</p> <p>1. SYÖTTÖKAAPELI <input checked="" type="checkbox"/> YLHÄÄLTÄ <input type="checkbox"/> ALHAALTA</p> <p>2. PÄÄKAAPELIT <input checked="" type="checkbox"/> YLHÄÄLTÄ <input type="checkbox"/> ALHAALTA <input type="checkbox"/> KOJEISIIN <input checked="" type="checkbox"/> RIVIL.</p> <p>3. OHJAUSKAAPELIT <input checked="" type="checkbox"/> YLHÄÄLTÄ <input type="checkbox"/> ALHAALTA <input type="checkbox"/> KOJEISIIN <input checked="" type="checkbox"/> RIVIL.</p> <p>TUNNUSMERKINNÄT :</p> <p>1. TUNNUSKILVET <input checked="" type="checkbox"/> VALM.NORM. <input type="checkbox"/> ERILL.OHJE</p> <p>2. KOJEMERKINNÄT <input type="checkbox"/> JUOKSEVA <input type="checkbox"/> KENNOKOHT. <input checked="" type="checkbox"/> ERILL.OHJE</p> <p>MUUT TIEDOT : _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>																		
A muutos	B muutos	C muutos																
		<table border="1"> <tr> <td>Suunn.</td> <td>Kokonaisuus</td> <td>Sähköpositio</td> <td>Työnumero</td> </tr> <tr> <td>/19.6.2021</td> <td>Vesiprosessi</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Piirt.</td> <td>Lähti</td> <td>Piirustusnumero</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tark.</td> <td>1/4</td> <td>SÄH</td> <td></td> </tr> </table>	Suunn.	Kokonaisuus	Sähköpositio	Työnumero	/19.6.2021	Vesiprosessi			Piirt.	Lähti	Piirustusnumero		Tark.	1/4	SÄH	
Suunn.	Kokonaisuus	Sähköpositio	Työnumero															
/19.6.2021	Vesiprosessi																	
Piirt.	Lähti	Piirustusnumero																
Tark.	1/4	SÄH																

Liite 1 2(4)

		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	19.8.2021
		KESKUS							RYHMÄ	OSOITE	A/A	JOHDOTUS								
D muutos										Potentialin tasoas		MK 16 Kevi				A				
E muutos																				
F muutos										Nousu NK 102 / Pääkytkin	160	AMCMK 4 x 95 + 29S				B				
										PE – Johdin						C				
										Yliäännesuoja N						D				
									1.1	Yliäännesuoja L1	C 25					E				
									1.2	Yliäännesuoja L2	C 25					F				
									1.3	Yliäännesuoja L3	C 25					G				
									2.1	Ohjus Vesiprosessi	C10					H				
									2.2	Merkivalot turvakytkimien vieressä	C10	MMJ 3x1.5 S				J				
									2.3		C10					K				
									3.1		C10					L				
									3.2		C10					M				
									3.3		C10					N				
									4.1		C16					O				
									4.2		C16					P				
									4.3		C16					R				
									5	ABB CMS Syöttö + Vaihejännitteet	C10	MMJ 5x1.5 S				S				
									6		C16					T				
									7		C16					U				
									8	Etukoje Vesiprosessi	160/160					V				
										Hätä-seis kontaktori Vesiprosessi		MMJ 3x1.5 S				X				
										LED A-O-K						Y				
A muutos									21.1	1 Vaihe pistorasiat Prosessit 1-6	C16	MMJ 3x2.5 S				Z				
B muutos																				
C muutos									21.2	1 Vaihe pistorasiat Prosessit 7-12	C16	MMJ 3x2.5 S				1				
									21.3		C16					2				

Suunn.

/19.6.2021

Piirt.

Tark.

Kokonaisuus

Lehti

2/4

Sähköpostio

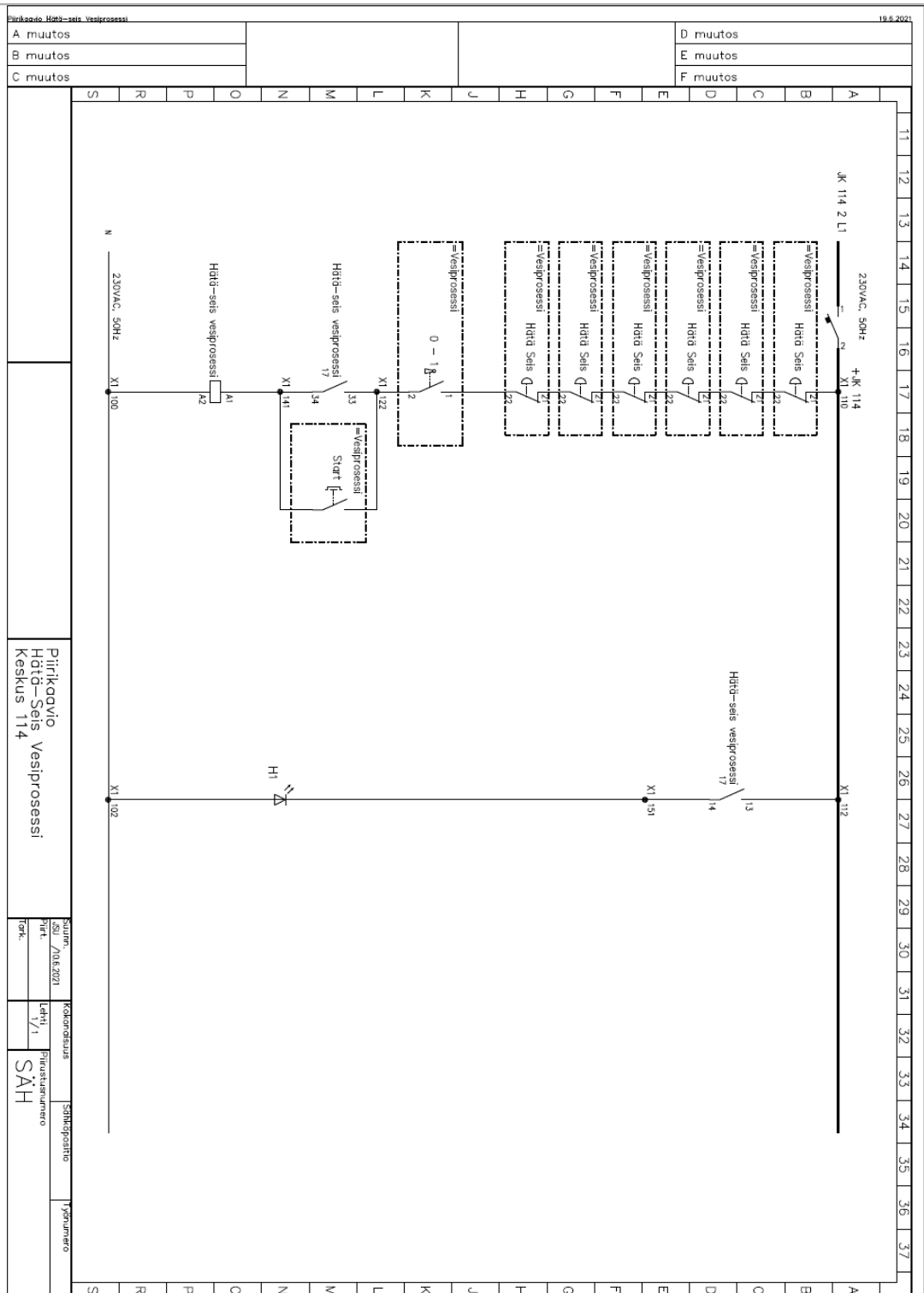
JK 114

Päivätyyppi

SÄH

Työnumero

Liite 2










Liite 4

Taulukko B.52.17 Korjauskertoimet ryhmille, joissa on yksi tai useampia piirejä tai yksi tai useampia monijohdinkaapeleita. Korjauskertoimia käytetään yhdessä taulukoiden B.52.2 – B.52.13 kanssa

Kohta	Sijoitus (kaapelit koskettavat toisiaan)	Piirien tai monijohdinkaapelien lukumäärä												Käytetään kuormitettavuus-taulukon kanssa
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1	Nipussa ilmassa, pinnalla, upotettuna tai kotelon sisällä	1,0	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	B.52.2 – B.52.13 Tavat A – F
2	Yhdessä kerroksessa seinällä, lattialla tai rei'ittämättömällä kaapelihyllyllä	1,0	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Ei korjauskertoimia useammalle kuin yhdeksälle piirille tai monijohdinkaapelille			
3	Yhdessä kerroksessa kiinnitettynä suoraan puiseen alakaton pinnalle	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				B.52.8 – B.52.13 Tavat E ja F
4	Yhdessä kerroksessa rei'itetyllä kaapelihyllyllä vaaka- tai pystysuunnassa	1,0	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				
5	Yhdessä kerroksessa tikkailla, tuilla tai kiinnikkeillä jne.	1,0	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				
<p>HUOM. 1 Nämä kertoimet soveltuvat samanlaisille tai samalla tavalla kuormitetuille kaapeliryhmille.</p> <p>HUOM. 2 Jos lähellä toisiaan olevien kaapelien vaakasuora etäisyys ylittää kaksi kertaa niiden kokonaishalkaisijan mitan, korjauskertoimia ei tarvitse soveltaa.</p> <p>HUOM. 3 Samoja kertoimia sovelletaan: – Kahden tai kolmen yksijohdinkaabelin ryhmiin – Monijohdinkaapeleihin.</p> <p>HUOM. 4 Jos järjestelmään kuuluu sekä kaksi- että kolmijohtimisia kaapeleita, kaapelien kokonaislukumäärä vastaa piirien lukumäärää ja vastaavasti sovelletaan kahden kuormitetun johtimen arvoja kaksijohdinkaapeleille ja kolmen kuormitetun johtimen arvoja kolmijohdinkaapeleille.</p> <p>HUOM. 5 Jos ryhmä koostuu n kappaleesta yksijohdinkaapeleita, sitä voidaan käsitellä n/2 kahden kuormitetun johtimen piirinä tai n/3 kolmen kuormitetun johtimen piirinä.</p> <p>HUOM. 6 Tässä annetut arvot ovat keskiarvoja erilaisten taulukkojen B.52.2 – B.52.7 mukaisten kaapelityyppien ja asennustapojen arvoista. Arvojen yleinen tarkkuus on ±5 %.</p> <p>HUOM. 7 Joillekin asennuksille ja muille menetelmille, joihin yllä oleva taulukko ei ole tarkoitettu, voi olla tarpeen käyttää erityistapauksia varten laskettuja taulukkoja, ks. esim. taulukot B.52.20 ja B.52.21.</p>														

Liite 5

Taulukko B.52.4 Kuormitettavuus ampeereina taulukon B.52.1 mukaisilla asennustavoilla - PVC-eristeiset kupari- tai alumiinijohtimet/kolme kuormitettua johdinta - Johtimien lämpötila: 70 °C, ympäristön lämpötila: 30 °C ilmassa, 20 °C maassa

Johtimen nimellis- poikkipinta mm ²	Taulukon B.52.1 mukaiset asennustavat						
	A1	A2	B1	B2	C	D1	D2
							
1	2	3	4	5	6	7	8
Kupari							
1,5	13,5	13	15,5	15	17,5	18	19
2,5	18	17,5	21	20	24	24	24
4	24	23	28	27	32	30	33
6	31	29	36	34	41	38	41
10	42	39	50	46	57	50	54
16	56	52	68	62	76	64	70
25	73	68	89	80	96	82	92
35	89	83	110	99	119	98	110
50	108	99	134	118	144	116	130
70	136	125	171	149	184	143	162
95	164	150	207	179	223	169	193
120	188	172	239	206	259	192	220
150	216	196	262	225	299	217	246
185	245	223	296	255	341	243	278
240	286	261	346	297	403	280	320
300	328	298	394	339	464	316	359
Alumiini							
2,5	14	13,5	16,5	15,5	18,5	18,5	
4	18,5	17,5	22	21	25	24	
6	24	23	28	27	32	30	
10	32	31	39	36	44	39	
16	43	41	53	48	59	50	53
25	57	53	70	62	73	64	69
35	70	65	86	77	90	77	83
50	84	78	104	92	110	91	99
70	107	98	133	116	140	112	122
95	129	118	161	139	170	132	148
120	149	135	186	160	197	150	169
150	170	155	204	176	227	169	189
185	194	176	230	199	259	190	214
240	227	207	269	232	305	218	250
300	261	237	306	265	351	247	282

HUOM. Sarakkeissa 3, 5, 6, 7 ja 8 oletetaan johtimien olevan pyöreitä poikkipintaan 16 mm² saakka. Suuremmilla poikkipinnoilla arvot viittaavat muun muotoisiin johtimiin ja niitä voi turvallisesti käyttää pyöreisiin johtimiin.

Liite 6

Voimakaapelit 1 kV

AMCMK 0,6/1 kV (4½-johtiminen)

OMINAISUUDET

TUOTTEEN NIMI		AMCMK 4x16/10 1 kV	AMCMK 4x25/16 1 kV	AMCMK 4x35/16 AN 1 kV	AMCMK 4x50/16 AN 1 kV	AMCMK 4x70/21 AN 1 kV	AMCMK 4x95/29 AN 1 kV	AMCMK 4x120/41 AN 1 kV	AMCMK 4x150/41 AN 1 kV	AMCMK 4x185/57 AN 1 kV	AMCMK 4x240/72 AN 1 kV		
Sähkönnumero		0621854	0621855	0621859	0621860	0621861	0621862	0621863	0621864	0621865	0621866		
RAKENNETIETOJA (1)													
Kaapelin ulkohalkaisija		mm	23	27	27	31	35	40	44	49	54	60	
Massa		alumiini	kg/km	165	265	365	495	720	1000	1260	1550	2000	
		kupari	kg/km	90	145	145	145	195	270	410	410	550	690
		kaapeli	kg/km	560	830	980	1250	1600	2200	2800	3300	4100	5200
TOIMITUSTIETOJA													
Vakiotoimituspituus		m	1000	1000	1000	500	500	500	500	500	500	500	
Toimituskela			K14	K16	K16	K14	K14	K18	K20	K20	K22	K24	
Massa (1)		kaapeli+kela	kg	680	1100	1200	750	915	1400	1700	2000	2400	3100
MEKAANISIA ARVOJA (2)													
Pienin sallittu taivutussäde asennusvedossa		m	0,28	0,32	0,32	0,37	0,42	0,48	0,53	0,59	0,65	0,72	
Pienin sallittu taivutussäde lopullisessa asennuksessa (3)		m	0,18	0,22	0,22	0,25	0,28	0,32	0,35	0,39	0,43	0,48	
Suurin sallittu asennusvetovoima vetosukalla		kN	0,9	1,5	2,1	3,0	4,2	5,7	7,2	8,5	8,5	8,5	
Suurin sallittu asennusvetovoima vetopaällä		kN	1,9	3,0	4,2	6,0	8,4	11,4	14,4	18,0	20,0	20,0	
SÄHKÖISIÄ ARVOJA (2)													
Vaihe- ja nolajohtimen maks. tasavirtaresistanssi		johdin 20°C	Ω/km	1,91	1,20	0,868	0,641	0,443	0,320	0,253	0,206	0,164	0,125
Vaihe- ja nolajohtimen vaihtovirtaresistanssi (1)		johdin 70°C	Ω/km	2,3	1,4	1,0	0,77	0,53	0,39	0,31	0,25	0,20	0,15
PE-johtimen maks. tasavirtaresistanssi		johdin 20°C	Ω/km	1,83	1,15	1,15	1,15	0,868	0,641	0,443	0,443	0,320	0,253
Induktanssi vaihetta kohti (1)			mH/km	0,31	0,30	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Käyttökapasitanssi (1)			μF/km	0,40	0,45	0,45	0,50	0,55	0,65	0,70	0,70	0,75	0,80
KUORMITETTAVUUS (2)													
Maassa, asennustapa D		johdin 65°C	A	78	100	125	150	185	220	255	280	330	375
Ilmassa, asennustapa E		johdin 70°C	A	65	83	102	124	159	194	225	260	297	350
TERMINEN OIKOSULKUKESTOISUUS (2)													
Suurin sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta		vaihe- ja nolajohtimen (4) PE-johdin (5)	kA	1,2	1,9	2,6	3,8	5,3	7,2	9,1	11,4	14,0	18,2
			kA	1,7	2,6	2,6	2,6	3,7	4,6	6,7	6,7	8,8	11,4

(1) Likiarvo

(2) Katso taulukkoarvojen lähtöolettamukset kappaleesta Vleistä tuotetietoa. tasaisena kertataivutuksena.

(4) Johtimen lämpötila on ennen oikosulkua 70°C ja oikosulun päättyessä 160°C.

(5) PE-johtimen lämpötila on ennen oikosulkua 65°C ja oikosulun päättyessä enintään 250°C.

(3) Taivutus on tehtävä varovaisena ja