



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

JAAKKO JOKIOINEN

Laskentatyökalu rakennustyömaan sähköistyssuunnittelun avuksi

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA
2022

Tekijä(t) Jokioinen, Jaakko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2022
	Sivumäärä 49+2	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Laskentatyökalu rakennustyömaan sähköistysuunnittelun avuksi		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda laskentatyökalu, jolla voidaan nopeuttaa ja helpottaa rakennustyömaiden sähköistysuunnitelman tekemistä, käyttäen Excel-taulukkolaskentaohjelmaa. Laskentatyökalun tarve esiintyi opetusyhteudessa ja laskentatyökalu tulee käyttöön Satakunnan ammattikorkeakoululle.</p> <p>Laskentatyökalu antaa tuloksia sähkökeskuksen nimellisvirrasta, sulakkeen koosta, huippuvirrasta, huipputehosta, oikosulkuvirrasta ja jännitteenalenemasta. Laskentatyökalu sisältää myös kaapelin mitoitus ja vikavirtasuojakytkimien valinta ominaisuudet suunnittelun avuksi. Laskentatyökalu toteutettiin käyttäen lähteinä sähkö- ja rakennusalan tietopalveluita, kirjallisuutta ja relevantteja standardeja.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosassa tutkittiin ja perehdyttiin laskentatyökalun kaikkiin osaluokkiin ja rakennustyömaan sähköistykseen liittyviin lakeihin, standardeihin ja vaatimuksiin. Opinnäytetyön teoriaosio sisältää selityksen laskentatyökalun toiminnasta ja laskentaesimerkkejä.</p> <p>Käyttäjäpalautteen perusteella, laskentatyökalu todettiin toimivaksi ratkaisuksi, mutta saatiin myös paljon kehitysehdotuksia, joista osa toteutettiin laskentatyökalun viimeisimpään versioon.</p>		
Avainsanat Excel, rakennustyömaat, sähköistys, sähkökeskus, pääkeskus, alakeskus		

Author(s) Jokioinen, Jaakko	Type of Publication Bachelor's thesis	Date May 2022
	Number of pages 49+2	Language of publication: Finnish
Title of publication Calculation tool to assist in construction site electrification planning		
Degree programme Electrical and Automation Engineering		
<p>The goal of this bachelor's thesis was to create a calculation tool, which can be used to expedite and ease the electrification planning of construction sites, using spreadsheet program Excel. The need for the calculation tool arose context of education, the calculation tool will be used by Satakunta university of applied sciences.</p> <p>The calculation tool gives results regarding the rated current, fuse size, peak current, peak power, short-circuit current and voltage drop for the electrical enclosure. The calculation tool also includes features to ease in the planning of cables and residual current devices. The sources used for the calculation tool development include information services, literature, and standards relevant to fields of construction and electrical work.</p> <p>In the theoretical section of the thesis, each feature of the calculation tool and the relevant laws, standards and requirements were studied and examined. The theory section of the thesis also includes look into the operations of calculation tool and usage examples.</p> <p>Based on received user feedback, the calculation tool was found to be useful, but several suggestions regarding the future development of the tool were also received. Some of the feedback was implemented into latest version of the calculation tool.</p>		
Keywords Excel, construction sites, electrification, electrical enclosure, main distribution board, sub distribution board		

ALKUSANAT

Haluan kiittää Rakennustieto Oy:tä luvasta käyttää heidän materiaalejaan työn lähtökohtana ja inspiraationa. Kiitokset työn tilaajalle Mari Kujalalle ja opinnäytetyön ohjaajalle Marko Yliselle jatkuvasta palautteesta ja kehitysehdotuksista. Kiitokset rakennus- ja yhdyskuntatekniikan opiskelijoille laskentatyökalun testauksesta.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 STANDARDID, LAIT JA SÄHKÖTYÖTURVALLISUUS	9
2.1 Sähkötyöturvallisuus vastaavat rakennustyömaalla	10
3 VIRTA JA TEHO	11
3.1 Huipputeho ja tasauskerroin	12
3.2 Huippuvirta	13
4 RAKENNUSTYÖMAAN SÄHKÖVERKKO JA ALUESUUNNITTELU	13
4.1 Rakennustyömaan liittyminen sähköverkkoon	14
4.2 Työmaavalaistus	14
4.3 Rakennustyömaan sähkölaite valinta	15
5 RAKENNUSTYÖMAAN SÄHKÖKESKUKSET	16
5.1 Pääkeskus	17
5.2 Alakeskus	18
5.3 Sulake ja johdonsuojakatkaisija	19
5.4 Vikavirtasuojakytkin	22
6 KAAPELIT JA JOHTIMET	25
6.1 Ilmajohdot	26
6.2 Jatkojohdot	27
6.3 Maadoitus	27
6.4 Impedanssi ja reaktanssi	29
6.5 Jännitteenalenema	30
7 OIKOSULKUVIRTA	32
7.1 Oikosulkuvirran laskeminen keskuksille	33
8 LASKENTATYÖKALU	35
8.1 Laskentatyökalun pääkeskus	36
8.2 Laskentatyökalun alakeskukset	37
8.3 Laitevalikko ja tehot	37
8.4 Tulokset	39
8.4.1 Huipputeho, huippuvirta ja virran tehokerroin	40
8.4.2 Sulakekoko ja keskuksen nimellisvirta	40
8.4.3 Kaapelinkoko, kaapelin materiaali ja kaapelin pituus	41
8.4.4 Oikosulkuvirta	41
8.4.5 Jännitteenalenema ja suhteellinen jännitteenalenema	43
8.5 Vikavirtasuojat	43
8.6 Jakelukaavio	44

8.7 Data välilehti	44
9 LASKENTAESIMERKKI.....	45
10 POHDINTA	46
LÄHTEET	
LIITTEET	

LYHENNELUETTELO

A	Ampeeri
AK	Alakeskus
Al	Alumiini
Cu	Kupari
I	Virta
I_k	Oikosulkuvirta
I_n	Nimellisvirta
kW	Kilowatti
kVA	Kilovolttiampeeri
P	Teho
PK	Pääkeskus
R	Resistanssi
STEK	Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto
U	Jännite
U_n	Nimellisjännite
V	Voltti
VVSK	Vikavirtasuojakytkin
W	Watti
X	Reaktanssi
Z	Impedanssi
Z_v	Impedanssi ennen suojalaitetta

1 JOHDANTO

Rakennustyömailla on ennen rakennustöiden aloittamista tarve suunnitella ja tehdä työmaan sähköistysuunnitelma. Sähköistämissuunnitelmaan sisältyy rakennustyömaalla käytettävien sähkökeskusten valinta, sähkönhankinta ja sähköverkon suunnittelu (Ratu 02-3037 2003, 1). Oikein ja tehokkaasti suunniteltu rakennustyömaan sähköistysuunnitelma mahdollistaa turvallisen, toimivan ja kustannustehokkaan rakennustyömaan.

Opinnäytetyön tavoitteena on rakentaa Excel-taulukkolaskentaohjelmalla laskentatyökalu, mikä avustaa suunnittelemaan ja tarkasti mitoittamaan rakennustyömailla tarvittavat sähkökeskukset, vikavirtasuojakytkimet, kaapelit. Laskentatyökalu antaa myös tietoa keskuskohtaisesti rakennustyömaan sähkökeskusten virta- ja tehokuormasta, sulakekoista, jännitealenemistä ja oikosulkuvirroista.

Työn tilaajana toimii Satakunnan ammattikorkeakoulun teknologiaosaston lehtori Mari Kujala. Tarve laskentatyökalulle on esiintynyt opetusyhteydessä. Laskentatyökalu ja sen oheismateriaalit tulevat opetuskäyttöön Satakunnan ammattikorkeakoulun sähkötekniikan- ja rakennustekniikan insinööriopiskelijoille. Laskentatyökalu auttaa hahmottamaan rakennustyömaiden sähköistyksen ja verkonrakenteen, varsinkin niille opiskelijoille, joilla ei ole aikaisempaa tai syvää tuntemusta sähkötekniikasta. Aikaisemmin sähköistykseen liittyvät laskelmat on usein tehty paperille tai manuaalisesti taulukkolaskentaohjelmalla ja laskettu itse. Automaattinen laskentatyökalu nopeuttaa suunnitteluprosessia ja vähentää virheiden mahdollisuutta laskuissa.

Työmaan sähköistysuunnittelussa ja laskuissa on usein käytetty apuna Rakennustieto Oy:n Ratu-kortiston korttia ”Ratu 02-3037 2003 työmaan sähköistys”, joka on vanhentunut eikä sisällä ajankohtaista tietoa nykyään keskuksilla vaadituista vikavirtasuojakytkimistä. Laskentatyökalulla on mahdollista suunnitella vaatimusten mukaiset vikavirtasuojakytkimet keskuksille. Ajan tasalla olevat määräykset rakennustyömaan

sähköistykseen tulevat pääsääntöisesti standardista SFS 6000, sen kappaleesta SFS 6000-7-704:2017 ja Sähkötieto Oy:n ST-kortiston korteista ST 51.35 ja ST 96.40.

2 STANDARDID, LAIT JA SÄHKÖTYÖTURVALLISUUS

Rakennustyömailla sähköitä ja sähköistysuunnittelua tehdessä tulee seurata useita alan standardeja ja säädöksiä. Näitä noudattamalla rakennustyömaansähköistyksestä saadaan tehokas ja turvallinen. Perusvaatimukset sähköturvallisuudelle saadaan Suomen sähköturvallisuus laista, säädösnumero 1135/2016. Sähkölaitteita- ja laitteistoja koskevat yleiset vaatimukset, ilmoitetaan sähköturvallisuuslain pykälässä 6 §. (Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus STEK www-sivut 2021.)

” Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että:

- 1) niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;
- 2) niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä;
- 3) niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.

Jos sähkölaitte tai -laitteisto ei täytä 1 momentissa säädettyjä edellytyksiä, sitä ei saa saattaa markkinoille, luovuttaa toiselle eikä ottaa käyttöön.” (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 6 §.)

Sähköturvallisuuslain (1135/2016) pykälien 33 § ja 84 § mukaan sähköturvallisuusviranomaisen tulee julkaista luettelo niistä standardeista, joita noudattamalla sähkölaitteistot ja sähkötyöturvallisuus täyttyvät lain vaatimukset. Suomessa sähköturvallisuusviranomaisena toimii Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes, joka valvoo määräyksien noudattamista. Viimeisin tällainen luettelo on Tukesin ”Luettelo S10-2019”, päivitetty 23.1.2019. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes www-sivut 2021.)

Rakennustyömailla sähkötöitä ja sähköistyssuunnittelua tehdessä tulee seurata relevantteja standardeja, jotka on listattu taulukossa 1. Standardit on laatinut Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. On huomioitava, että erikoistiloissa kuten räjähdysvaarallissatiloissa ja ahtaissa tiloissa tulee noudattaa näihin tiloihin suunnattuja standardeja.

Taulukko 1. Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes www-sivut 2021).

Sähkölaitteistot
SFS 6000: Pienjännitesähköasennukset
SFS 6001: Suurjännitesähköasennukset
SFS-EN 50191: Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö
SFS-EN 50341-1-2-7: Vaihtosähköilmajohdot yli 1 kV jännitteillä
Sähkötyöturvallisuus
SFS 6002: Sähkötyöturvallisuus

2.1 Sähkötyöturvallisuus vastaavat rakennustyömaalla

Ennen sähkötöiden aloittamista, rakennustyömailla ja myös yksittäisiä sähkötöitä tehdessä, tulee nimittää sähkötöiden johtaja. Tätä edellyttää sähköturvallisuuslaki (1135/2016) pykälä 55 §. Sähkötöiden johtajan vastuulla on varmistaa, että työkohteessa noudatetaan sähköturvallisuuslakia, laitteistot ovat sähköturvallisuuslain vaatimassa kunnossa ja että sähkötöitä tekevät henkilöt ovat päteviä tekemään sähkötöitä. Sähkötöiden johtajan nimeämisestä on tehtävä ilmoitus turvallisuus- ja kemikaalivirastolle. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes www-sivut 2021.)

Sähkötöiden johtajan tulee puolestaan nimittää sähkötyöturvallisuuden valvojan jokaiseen eri työkohteeseen. Valvojaksi valitun henkilön tulee täyttää sähköturvallisuuslain pykälän 73 § esittämät vaatimukset. Valvoja antaa luvan sähkötöiden aloittamiselle ja sähkötyön valmistuttua luvan jännitteen päälle kytkemiselle. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes www-sivut 2021.)

Kaikilla sähkötöitä tekevillä henkilöllä on oltava voimassa oleva standardin SFS 6002 sähkötyöturvallisuuskoulutus. Koulutus tulee uusia viiden vuoden välein.

Rakennustyömailla, ilman vaadittua pätevyyttä on mahdollista tehdä joitain sähkölaitteisiin kohdistuvia töitä. On huomioitava, että töiden suorittajan tulee olla perehdytetty tehtäviin (ST96.40 2014, 2). Näitä tehtäviä ovat:

- Alakeskusten, pistorasiakotelojen, valaisimien ja koneiden liittäminen ja siirtäminen, jos keskukseen liittäminen suoritetaan pistokytkimellä.
 - Palaneen sulakkeen vaihtaminen.
 - Rikkoutuneen lampun vaihtaminen.
 - Tilapäisen asennuksen purkaminen työmaan lopettaessa, kun asennus on todettu jännitteettömäksi sähköalan ammattilaisen toimesta.
- (ST96.40 2014, 2.)

3 VIRTA JA TEHO

Rakennustyömaan sähköistysuunnitelmaa tehdessä, on oleellista tietää rakennustyömaan käyttämät huippuvirta ja tehontarve eli huipputeho. Nämä määräytyvät rakennustyömaalla käytössä olevien laitteiden yhtäaikaisen kulutuksen perusteella. Kuorma arvot muuttuvat huomattavasti rakennusprosessin aikana, rakennustyömaan eri vaiheilla on eri virta ja tehotarpeet, joten suunnittelussa tulee ottaa huomioon kuukausikohtaiset erot. Myös vuodenajalla on vaikutusta, talvella tulee ottaa huomioon lämmittimien tuoma tehontarve. (Ratu 02-3037 2003, 2.)

Lähtökohtana huippuvirran ja huipputehon laskemiselle on kaava 1. kuvaama ohmin laki:

Kaava 1. Ohmin laki

$$U = R * I$$

kaavassa 1:

U = jännite (V)

R = resistanssi (Ω)

I = virta (A)

3.1 Huipputeho ja tasauskerroin

Huipputeho saadaan selville laskemalla yhteen rakennustyömaalla yhtäaikaisesti käytettävien laitteiden tehot. Työmaan sähkölaiteluetteloon kirjataan kaikki työmaalla käytössä olevat sähkölaitteet ja niiden tiedot. Lisäämällä luetteloon laitteiden käyttöaikataulut ja samanaikaisen käytön tasauskerroin, voidaan laskea työmaan huipputeho. Sähkölaiteluettelo tehdään työmaan suunnittelun aikaisessa vaiheessa osana sähköistämissuunnitelmaa. Joitain poikkeuksia on, kuten talvirakentamisessa betoninlämmittäminen voidaan olla huomioimatta tehontarvelaskuissa, jos lämmittäminen tapahtuu iltaisin ja öisin. (Ratu 02-3037 2003, 2; ST51.35 2019, 2.)

Huipputehoa laskiessa, otetaan huomioon tasauskerroin koska kaikki työmaalla olevat laitteet eivät ole yhtäaikaisesti käytössä, laitteet ja valaistus ei myöskään aina ole käytössä täydellä teholla. Arvo määräytyy työmaan suuruuden ja työntekijöiden määrän mukaan, yleensä tasauskerroin on väliltä 0,5–0,9. Tasauskerroimen avulla laskettua huipputehoa käyttämällä vältetään sähköliittymän ja sulakkeen liian suureksi mitoittamiselta ja säästetään näihin liittyvissä kustannuksissa. Taulukossa 2 on esitettyä esimerkki työmaan huipputehon laskemisesta. (ST51.35 2019, 2.)

Taulukko 2. Yhteistehon mitoitus(esimerkki (Ratu 02-3037 2003, 2).

Laitte	Määrä	Teho kW	Käyttöaika kk												Yhteensä kk 13		
			6/02	7/02	8/02	9/02	10/02	11/02	12/02	1/03	2/03	3/03	4/03	5/03		6/03	
Torninosturi	1	60			60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	6
Rakennushissi	1	6							6	6	6	6	6	6	6	6	5
Valonheittimasto	2	1,6						1,6	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	6
Ilmakompressori	1	11				11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	5
Hiitsausasasuuntaaja	1	5,5			5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	6
Sirkkeli	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	11
Teräsliekkuri	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6
Terästaivutin	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6
Betonimylly	1	1,1				1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	8
Betonitärytin	4	1,3		3,9	5,2	5,2	5,2	5,2	3,9								5
Höyrynkehitin	1	2,5						2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5
Lämpöpuhallin	5	15						30	60	75	75	60					5
Uppopumppu	3	2	4	6	6	6	6										5
Sos.tilat, tsto ja varasto	1	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	13
Yleisvalaistus	1	10							10	10	10	10	10	10	10	10	8
Käsityökoneet	1	10				10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9
Muu kuorma	1	10		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	12
Laskettu huipputeho yhteensä				36	51,9	122,7	144,8	178,9	215,2	219,3	219,3	219,3	187,8	125,3	56,1	51	51
Tasauskerroin 0,7																	
Tarvittava teho yhteensä			25,2	36,3	85,9	101,4	125,2	150,6	153,5	153,5	131,5	87,7	39,3	35,7	35,7		

Tehontarpeeseen vaikuttaa suuresti rakennustyömaan lämmitys menetelmä, hissien ja nosturien määrät ja tyyppi. Nämä kaikki tulee selvittää aikaisessa vaiheessa. (Ratu 02-3037 2003, 2.)

3.2 Huippuvirta

Huippuvirran avulla selvitetään rakennustyömaan suurin hetkellinen virran kulutus, jonka perusteella valitaan pääkeskuksen nimellisvirta ja pääkeskuksen sulakkeen koko. Huippuvirta lasketaan kaavalla 2. Laskemista varten tarvitaan tieto työmaan tehontarpeesta. (Ratu 02-3037 2003, 2.)

Kaava 2. Huippuvirta

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi}$$

kaavassa 2:

I = virta (A)

P = kokonaisteho (W)

U = jännite (V)

cos φ = tehokerroin

(Ratu 02-3037 2003, 2.)

4 RAKENNUSTYÖMAAN SÄHKÖVERKKO JA ALUESUUNNITTELU

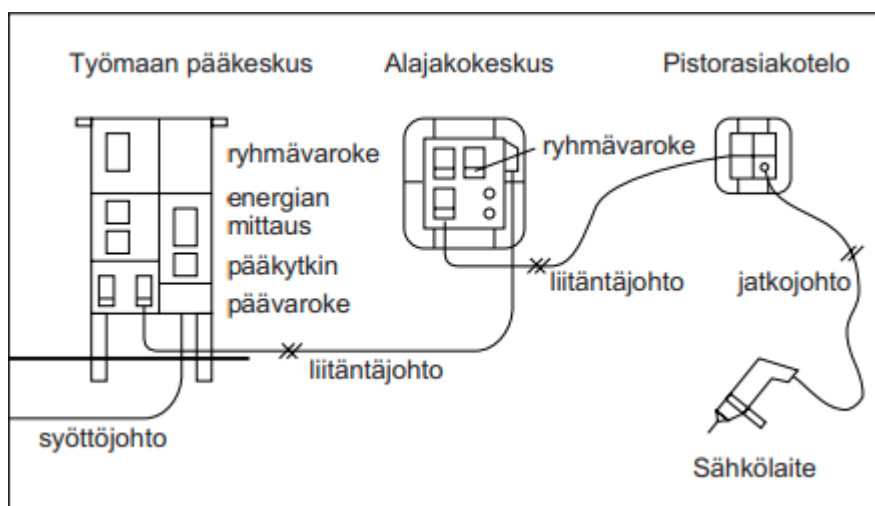
Toimivan ja turvallisen sähkönjakeluverkon rakentamiseksi, on sähköistyssuunnitelma laadittava tarpeeksi aikaisessa vaiheessa. Näin toimiessa, saadaan verkosta rakennuttua toimiva kokonaisuus, joka palvelee rakennustyömaan uniikkeja tarpeita, ja on tarvittavissa helposti muunneltavissa työmaan tarpeiden mukaisesti. Tarkka suunnittelu mahdollistaa myös ajallisia ja kustannuksellisia säästöjä. (ST51.35 2019, 1.)

Rakennustyömaalla, sähkölaitteet, kaapelit, valaistukset ja työkalut ovat alttiina mekaaniselle rasitukselle ja luonnonvoimille. Tämä saattaa aiheuttaa laitteisiin vaurioita ja korjaustarpeita. Osana sähköistussuunnitelmaa ja sähköverkon rakentamista, tulee laatia ohjeet verkon huollosta ja käytöstä. (ST96.40 2014, 1.)

Rakennukseen rakennettavaa lopullista sähköjärjestelmää kannattaa käyttää rakennuksen aikana. Järjestelmää käyttämällä voidaan säästää kustannuksissa koska työmaalla tarvitaan vähemmän laitteita ja kaapeleita. Kaapeleiden ja laitteiden vähentäminen myös lisää työturvallisuutta työmaalla. (Ratu 02-3037 2003, 2.)

4.1 Rakennustyömaan liittyminen sähköverkkoon

Rakennustyömaan sähköistäminen pitää sisällään sähkön hankinnan. Yleensä työmaille sallitaan vain yksi liitäntä sähköverkkoon. Työmailla, joilla on useita liitäntöjä sähköverkkoon, on myös useita pääkeskuksia. Tällaisissa tilanteissa on pääkeskuksen jälkeinen verkko pidettävä erillään toisistaan. Generaattorit ovat myös mahdollinen tapa syöttää työmaalle sähköä. Kuva 1 esittää tyypillistä työmaan sähköistysrakennetta. (Ratu 02-3037 2003, 1.)



Kuva 1. Rakennustyömaan sähköistysjärjestelmä (Ratu 02-3037 2003, 1).

4.2 Työmaavalaistus

Rakennustyömaan valaistus tulee myös suunnitella osana sähköistysuunnitelmaa. Oikein suunniteltu valaistus on keskeinen tekijä työmaan turvallisuudessa ja työnsujuvuudessa. Kulkureiteillä, varastoilla ja muilla yleisiloilla tulee olla yleisvalaistus ja työpisteissä on oltava saatavilla kohdevalaistus. Työturvallisuuden takaamiseksi, on vältettävä häikäisevästi aseteltuja valoja ja äkillisiä muutoksia valaistuksen

vahvuudessa, jotta näkyvyys ei heikkene hetkellisesti. Valaistus tulee myös sijoittaa siten, ettei se aiheuta vaaraa työntekijöille. (Rakennustyömaan aluesuunnittelu 2019, 16.)

Työmaan valaistussuunnitelmaan sisältyy:

- Valaistustason määrittely erikohteille.
- Valaisimien määrät ja tyypit.
- Valaistusketjun tyypit, määrät ja sijainnit.

(ST51.35 2019, 2.)

Suurille ja tavanomaisesta poikkeaville työmaille on aina luotava yksilölliset valaistussuunnitelmat (ST51.35 2019, 2). Standardeja SFS-EN 12464-1 Sisätyöpaikat ja EN 12464-2 Ulkotyöalueet voidaan käyttää apuna työmaan valaistuksen suunnittelussa. Standardit esittävät suosituksia ja valaistusarvoja eri työtehtäville ja tiloille. (Valaistustieto www-sivut 2022.)

4.3 Rakennustyömaan sähkölaite valinta

Rakennustyömaalla käytettävät laitteet ja tarvikkeet kohdistuvat suuren rasituksen kohteeksi, joten laitteiden tulee soveltua työmaaympäristö käyttöön. Laitteiden rakenteen tulee olla rakenteeltaan luja ja laitteen kotelointiluokka, eli IP luokitus, tulee olla soveltuva käyttöympäristöön. Taulukossa 3 esitettynä kotelointiluokat kosteille-, märille- ja ulkotiloille. (ST51.35 2019, 4.)

Rasitukset, joille laitteet altistuvat työmaille ovat esimerkiksi kolhiutuminen, vesi ja kosteus, lika ja pöly ja korroosio. Sään aiheuttamaa rasitusta voidaan ehkäistä käyttämällä syöpymiskestoisia materiaaleja kuten kuparia, haponkestävää terästä, ulkokäyttöön soveltuvia muoveja ja ulkokäyttöön tarkoitettuja kevytmetalleja kuten silumiinia. (ST51.35 2019, 4.)

Taulukko 3. Kotelointiluokat kosteille-, märille- ja ulkotiloille (ST51.35 2019, 4).

Tila	Kotelointiluokka	Lisätietoja
Ulkotila ¹	IPX3	Laite, joka on alttiina sateelle ja on asetettu yli 0,5 m vaakatason tai kaltevan pinnan yläpuolelle (maanpinta, lattia, vesikatto)
	IPX4	Laite, joka on alttiina sateelle ja on asetettu yli 0,5 m vaakatason tai kaltevasta pinnasta (maanpinta, lattia, vesikatto)
	IPX1	Laite, joka on asennettu siten, että se on suojattu sateelta
Kosteaa tila	IPX1	
Märkä tila	IPX4	

¹ Vaatimuksissa oletetaan, että vesi voi pudota enintään 60° kulmassa ja ettei putoava vesi roisku 0,5 metriä korkeammalle.

5 RAKENNUSTYÖMAAN SÄHKÖKESKUKSET

Rakennustyömaalla on useita erityyppisiä ja kokoisia sähkökeskuksia. Keskusten asennustavat ovat myös vaihtelevia, riippuen keskuksen käyttötarkoituksesta: kiinteä, puolikiinteä ja siirrettävä keskus. Yleinen konfiguraatio on yksi pääkeskus ja työmaa-kohtaisesti tarpeen mukaan vaihteleva määrä sähköalakeskuksia. Alakeskusten määrä vaihtelee usein työmaan erivaiheiden ja muuttuvien tarpeiden mukaisesti. (Rakennustyömaan aluesuunnittelu 2019, 14.)

Sähkökeskusta valittaessa, tulee ottaa huomioon ja harkita keskusten eri ominaisuudet ja tekniset tiedot, kuten nimellisarvot, jotka esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Nimellisarvot.

Arvo	Lyhenne	Selite
Nimellisvirta	In	Virtamäärä, jonka laite, liitin tai johdin kestää jatkuvassa kuormituksessa.
Nimellisjännite	Un	Jännite, joka on järjestelmän suunniteltu toimintajännite. Työmaan keskuksissa yleensä 240V tai 400V.

Muita harkittavia ominaisuuksia ovat:

- Pistorasioiden määrät ja tyytit.
- Keskuksen liitännä tapa: tulppa vai liitin.
- Keskuksen IP kotelointiluokka.

- Sulakkeet ja johdonsuojakatkaisijat
- Vikavirtasuojat.
- Tarve mittauskeskukselle.
- Tarve muuntajakeskukselle.
- Keskuksen mitat ja paino.

5.1 Pääkeskus

Sähköpääkeskus on kiinteästi asennettava sähkökeskus, jonka kautta rakennustyömaa liitetään sähköverkkoon. Pääkeskus on myös mittaava keskus, josta voidaan seurata energian kulutusta. Pääkeskuksen lyhenne on PK. Tyypillinen työmaan sähköpääkeskus kuvassa 2.

Työmaan pääkeskus tulee mitoittaa työmaan suurimman hetkellisen virrankulutuksen mukaisesti, tämä lasketaan sähkölaiteluettelon avulla. Taulukko 5 avulla voidaan valita pääkeskuksen pääsulakkeet. Taulukkoa 5 voidaan myös käyttää apuna alakeskusten valinnassa. Kun pääkeskus on työmaalla käytössä, keskuksen koon kasvattaminen on kallista tai mahdotonta työhön aiheutuvien keskeytyksien vuoksi. (Ratu 02-3037 2003, 2; ST51.35 2019, 2.)

Taulukko 5. Keskusten mitoitus (ST51.35 2019, 3).

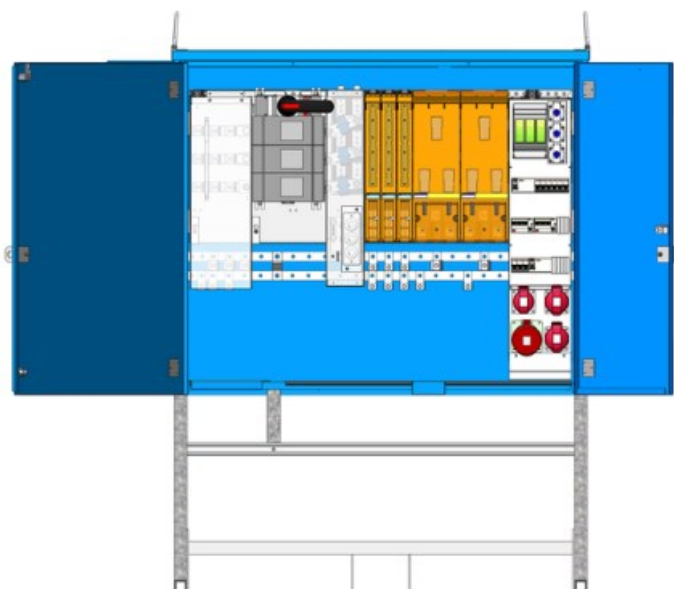
Sallittu ylivirtasuojan nim.virta A	Yksivaihekuorma kW	Kolmivaihekuorma kW
10	2,2	
16	3,5	10,0
20		12,5
25		15,6
35		21,8
50		31,2
63		39,3
80		49,9
100		62,4
125		77,9
160		99,8
200		124,7
250		155,9
315		196,4
400		249,4
630		392,8

Suunnitelmaan tulee merkitä tiedot keskuksen ja sähköverkkoon liittymiskaapeleiden sijainnit. Pääkeskuksen sijainti, tulee suunnitella ja sijoittaa siten, että sitä ei tarvitse siirtää rakennustöiden aikana. Pääkeskuksen tulee olla myös sijoitettuna paikkaan, jossa se on suojattu ja ei altistu vaurioille. Sijainti ei myöskään saa häiritä työreittejä tai työpisteitä. (Rakennustyömaan aluesuunnittelu 2019, 14.)

Yleisiä ongelmia ja puutteita pääkeskuksen sijoittamiseen liittyen ovat:

- Pääkeskustilan varastona käyttäminen.
- Pääkeskustilaa ei ole lukittu.
- Keskuksen edessä ei ole tilaa.

(ST96.40 2014, 2.)



Kuva 2. Rakennustyömaan pääkeskus (cramo www-sivut 2022).

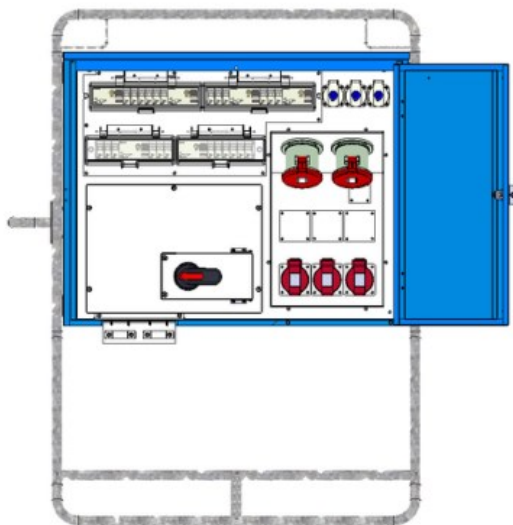
5.2 Alakeskus

Työmaan alakeskukset, lyhenteeltään AK, tunnetaan joskus myös jakokeskuksina, lyhenteeltään JK. Alakeskus on pääkeskusta pienempi, siirrettävä keskus, joka liitetään pääkeskukseen tai toiseen alakeskukseen. Liitäntä tehdään pistotulpalla tai puolikiinteästi. (Ratu 02-3037 2003, 1.)

Alakeskuksia on rakennustyömaalla yleensä useita. Määrä vaihtelee työmaan koon ja tarpeiden mukaan. Alakeskukset tulee sijoittaa työmaalla siten, että jokaisella työpisteellä on saatavilla tarpeeksi liitäntöjä. Sijoittamiseen vaikuttaa eri työvaiheiden vaihteleva sähköntarve. Kuten pääkeskuksen sijoittamisessa, alakeskusten sijainti ei saa aiheuttaa esteitä kulkureiteille tai häiriöitä työpisteillä. (Rakennustyömaan aluesuunnittelu 2019, 14.)

Toisin kuin työmaan sähköpääkeskus, alakeskukset ovat helpommin siirrettävissä ja vaihdettavissa työmaan muuttuvien tarpeiden mukaisesti. Kuvassa 3 telineessä oleva työmaan alakeskus. Alakeskuksia on saatavilla useissa eri koissa ja malleissa, esimerkiksi pienemmän pinta-alan vieviä korkeita keskuksia. Pienimpiä keskuksia kutsutaan joskus nimellä ”pakki”.

Alakeskuksen valintaa tehdessä, voidaan käyttää apuna kaavaa 2: huippuvirta ja taulukkoa 5: keskusten mitoitus.



Kuva 3. Rakennustyömaan alakeskus (cramo www-sivut 2022).

5.3 Sulake ja johdonsuojakatkaisija

Sulake ja johdonsuojakatkaisija, joka myös tunnetaan nimellä automaattisulake, ovat oikosulku ja ylikuormitus suoja, joilla estetään virran liiallinen nouseminen.

Laitesuojauksen lisäksi, sulakkeet suojaavat johtimia virran ylikuormituksen aiheuttamalta lämpiämiseltä. Sulakkeet, yleensä tulppasulake, kahvasulake ja harvinaisempi putkisulake ovat kertakäyttöisiä suojalaitteita, jotka on vaihdettava palamisen, eli sulakkeen sisällä olevan metallilangan katkeamisen jälkeen. Johdonsuojakatkaisija puolestaan voidaan virittää uudelleen käyttöön.

Enintään 25 A tulppasulake voidaan vaihtaa virrallisena, jos virran poiskytkentä aiheuttaa haittaa. Kahvasulake tai enintään 63 A tulppasulake voidaan vaihtaa virrallisena, jos virran pois kytkeminen on kohtuuttoman vaikeaa. Tehtävän voi suorittaa sähköalan ammattilainen tai maallikko, jolle tehtävä on opastettu. (Tiainen 2017, 252.)

Nimellisvirran lisäksi, tulee ottaa huomioon suojalaitteen eri käyttötarkoitukset. Sulakkeita ja johdonsuojakatkaisijoita on saatavilla eri laukaisukäyrillä. Sulakkeen käyttötarkoitus ilmoitetaan taulukon 6 mukaisella kirjainyhdistelmällä. Taulukossa 7 gG-tyyppisen sulakkeen 0,4 s ja 5,0 s vaaditut vähimmäis- oikosulkuvirrat ja mittausarvo, jonka tulee olla 25 % suurempi kuin vaadittu vähimmäis- oikosulkuvirta (Tiainen 2017, 345).

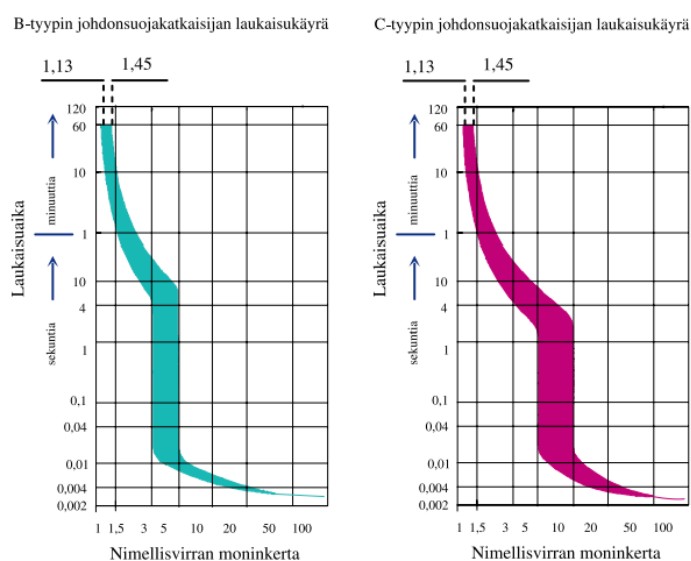
Taulukko 6. Sulakkeiden kirjantunnukset (Digma oppimisympäristö www-sivut 2022).

Ensimmäinen kirjain	Toiminta
g	Koko alueen kattava katkaisukyky, sekä oikosulku- että ylikuormitussuojaksi soveltuva
a	Osa-alueen kattava katkaisukyky, vain oikosulkusuojaksi soveltuva
Toinen kirjain	
G	Johdon suojaukseen tarkoitettu sulake
M	Moottorin suojaukseen tarkoitettu sulake

Taulukko 7. gG-sulakkeiden vaaditut vähimmäis- oikosulkuvirrat (Tiainen 2017, 94).

Pienimmät toimintavirrat gG-sulakkeille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta	gG-sulake 0,4 s	Vaadittu mitattu arvo	gG-sulake 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
2	16	20	9	11,3
4	32	40	18	22,5
6	46,5	58,2	28	35
10	82	102,5	46,5	58,2
16	110	137,5	65	81,3
20	145	181,3	85	106,3
25	180	225	110	137,5
32	270	337,5	150	187,5
35			165	206,3
40			190	237,5
50			250	312,5
63			320	400
80			425	531,3
100			580	725
125			715	893,8
160			950	1187,5
200			1250	1562,5
250			1650	2062,5
315			2200	2750
400			2840	3550
500			3800	4750
630			5100	6375

Laukaisukäyrä määrittelee suojalaitteen poiskytkentä eli laukaisu ajan: 0,2 s, 0,4 s, tai 5,0 s (Tiainen 2017, 243). Kuvassa 4 esitettyinä johdonsuojakatkaisijan yleiset B-tyypin ja C-tyypin laukaisukäyrät.



Kuva 4. B- ja C-tyypin johdonsuojakatkaisijoiden laukaisukäyrät (Tiainen 2017, 259).

Johdonsuojakatkaisijat ovat syrjäyttäneet vanhantyylliset sulakkeet useissa käyttökoh-teissa helppokäyttöisyytensä vuoksi, mutta sulakkeet ovat edelleen käytössä esimer-kiksi tilanteissa, joissa oikosulkuvirta on suuri. Johdonsuojakatkaisijan oikosulkuvirta katkaisukyky on pienempi kuin sulakkeella. (Tiainen 2017, 260.)

5.4 Vikavirtasuojakytkin

Vikavirtasuojakytkin, joskus lyhennetty VVSK, on henkilösuojaukseen ja tulipalojen estämiseen tarkoitettu suojalaite. Vikavirtasuojakytkin toimii mittaamalla vaihejohti-minen ja nollajohtimen tai kahden vaihejohtimen välillä kulkevaa virtaa. Jos vaihejoh-timinen ja nollajohtimen virta ovat eri suuruisia, virta kulkee osittain väärää reittiä, esimerkiksi jos henkilö koskee laitteen jännitteiseen osaan ja vuotovirta kulkee henki-lön kautta maahan. Vikavirtasuojakytkin katkaisee virran sen saavutettua kytkimen toimintavirran. (Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus STEK www-sivut 2022.)

Vikavirtasuojakytkimiä on saatavilla käyttötarkoitukseen ja vaatimuksista riippuen eri toimintavirroilla ja laukaisuaajoilla. Standardi SFS 6000 pienjännitesähköasennukset mukaisesti, vikavirtasuojaa vaaditaan suurimmalle osalle käytettävistä sisä- ja ulkopisto-rasioista. Kaikki maallikoille tarkoitetut pistorasiat enintään 20 A saakka ja enintään 32 A ulkopistorasiat ja siirrettävät laitteet tulee suojata vikavirtasuojakytkimellä, jonka toimintavirta on enintään 30 mA, 0,4 s laukaisujalla. Vikavirtasuojatkin vaaditaan myös valaistusryhmiin. Harvoja poikkeuksia on, esimerkiksi jääkaappi ja pakastin ei vaadi vikavirtasuojasta. (SFS 6000-4-41, 30; Tiainen 2017, 247.)

Rakennustyömailla käytettävät työmaakeskuksilla on voimassa standardin ”SFS 6000-7-704 Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Rakennustyömaat.” mukaiset vaati-mukset. Erikoisvaatimukset eivät koske työmaiden hallintotiloja kuten toimistoja, pu-kuhuoneita, kokoustiloja, ruokaloita, asuntoloita ja käymälöitä. Näissä tiloissa tulee seurata standardin SFS 6000 esittämiä yleisvaatimuksia. On otettava huomioon, että erikoistiloilla kuten ahtailla tiloilla on omat erikoisvaatimuksensa, jotka poikkeavat molemmista työmaakeskusvaatimuksista ja yleisvaatimuksista. (SFS 6000-7-704, 5.)

Rakennustyömailla, pistorasiat, jotka ovat enintään 32 A tai piiri, joka syöttää mitoitusvirraltaan enintään 32 A kädessä pidettävää laitetta tulee suojata vikavirtasuojakytkimellä, jonka toimintavirta on enintään 30 mA, vaihtoehtoisesti SELV tai PELV piireillä tai sähköisellä erotuksella, jolloin jokaista pistorasiaa tai kädessä pidettävää laitetta syötetään erillisillä erotusmuuntajalla tai erotusmuuntajan erillisillä käämeillä. Pistorasia, jonka mitoitusvirta on yli 32 A, tulee suojata vikavirtasuojakytkimellä, jonka toimintavirta on enintään 500 mA. (SFS 6000-7-704, 6, 7.)

Pistorasia, joka syöttää laitetta, jossa vuotovirran mahdollisuus on suuri, kuten hitsauskoneen tapauksessa, voidaan suojata enintään 300 mA vikavirtasuojakytkimellä, enintään 30 mA vikavirtasuojakytkin voi vuotovirran johdosta toimia tahattomasti. Nämä pistorasiat on merkittävä varoituskilvellä, jotta pistorasiaa ei käytetä väärään tarkoitukseen. (SFS 6000-7-704, 6.)

Pistorasia, joka on mitoitusvirraltaan vähintään 32 A, jota käytetään työmaakeskuksen syöttämiseen, voidaan suojata vikavirtasuojalla, joka on toimintavirraltaan enintään 500 mA. Koska keskussyötössä vikavirtasuojat ovat asennettuna sarjaan, voidaan käyttää S-tyyppin hidastettua vikavirtasuojakytkintä selektiivisyyden saavuttamiseksi, jotta virran syöttö katkeaa vain keskuksesta, jota ongelmatilanne koskee. Keskuksia syöttävät pistorasiat tulee merkitä varoituskilvellä, joilla estetään pistorasian käyttäminen väärään tarkoitukseen. Jos työmaakeskuksensyöttö on kiinteä, eikä pistorasian kautta, vikavirtasuojasta ei vaadita. (SFS 6000-7-704, 6.)

Vikavirtasuojakytkintä valittaessa, pitää ottaa myös huomioon vikavirtakytkimen tyyppi. Vikavirtasuojaimia on tyyppinä AC, A, B, F ja S. Taulukossa 8 esitetään B-tyyppin vikavirtasuojan toiminta-ajat, kun kyseessä on sini muotoinen vaihtovirta. Taulukossa 9 esitettynä vikavirtasuojatyyppien erot.

Taulukko 8. Vikavirtasuojan toimita-ajat sinimuotoisella vaihtovirralla (SFS 6000-5-53, 66).

Tyyppi	I_n A	$I_{\Delta n}$ A	Vikavirtasuojien toiminta-ajat (s), kun vikavirta on sinimuotoista vaihtovirtaa						
			$I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$ tai 0,25 A	5A – 200 A	500 A	
Yleinen tyyppi	Kaikki arvot	< 0,03	0,3	0,15		0,04	0,04	0,04	Maksimi- laukaisu- ajat
		0,03	0,3	0,15		0,04	0,04	0,04	
		>0,03	0,3	0,15	0,04		0,04	0,04	
S-tyyppi	≥ 25	> 0,03	0,5	0,2	0,15		0,15	0,15	Minimi- ajat, jolloin laite ei toimi
		> 0,03	0,13	0,06	0,05		0,04	0,04	

Taulukko 9. Vikavirtasuojien ominaisuudet vikavirran luonteen perusteella (SFS 6000-5-53, 65).

Tyyppi	Suojalaitteen toiminnan aiheuttava vikavirta
AC	Äkillisesti tai hitaasti kasvava sinimuotoinen vaihtovirta (SFS-EN 61008-1: 2012 tai SFS-EN 61009-1: 2012 kohta 5.2.9.1) Useimmilla laitteilla vikavirta on muuta kuin sinimuotoista, katso kuva 531 A.2. Sen takia tyyppin AC käyttö ei ole Suomessa sallittua.
A	Äkillisesti tai hitaasti kasvava sinimuotoinen vaihtovirta tai pulssimuotoinen tasavirta (SFS-EN 61008-1: 2012 tai SFS-EN 61009-1: 2012 kohta 5.2.9.2) Tyyppin A vikavirtasuojia käytetään yleisimmin, ellei ole erityisvaatimuksia.
F	Kuten A-tyypillä ja lisäksi – äkillisesti tai hitaasti kasvava yhdistelmävikavirta, joka esiintyy vaiheen ja nollan tai vaiheen ja maadoitetun keskipistejohtimen syöttämässä piirissä. – tasoitettun tasavirran päälle lisätyllä pulssimuotoinen tasavirta (SFS-EN 62423: 2012 kohta 3.3) Tyyppin F vikavirtasuojia voidaan käyttää taajuusmuuttajilla syötetyillä piireillä. Tyyppi F on käytännössä harvinainen ja sen tilalla voidaan käyttää tyyppiä B
B	Kuten F-tyypillä ja lisäksi – sinimuotoinen vaihtovirta 1000 Hz taajuuteen saakka – tasoitettun tasavirran päälle lisätty vaihtovirta – kahdesta tai useammasta vaiheesta johtuva pulssimuotoinen tasavirta – äkillisesti tai hitaasti kasvava tasoitettu tasavirta napaisuudesta riippumatta (SFS-EN 62423: 2012 kohta 3.2) Tyyppin B vikavirtasuojaa voidaan käyttää suojaamaan kaiken tyyppisiä vaihtovirtakuormituksia. Tyyppin B käyttöä vaaditaan tietyin ehdoin esim. sähköajoneuvojen syötössä, katso SFS 6000-7-722.

6 KAAPELIT JA JOHTIMET

Kun valitaan kaapelia tai johtimia, on varmistettava, että kaapeli tai johdin soveltuu ja kestää tehtävän, johon sitä käytetään. Kaapelia asentaessa ja valittaessa, on noudatettava valmistajan antamia asennus ja käsittely ohjeita, joiden oikeellisuudesta valmistaja on vastuussa. Vaatimuksia kaapelin ja johtimien valinnassa ovat esimerkiksi:

- Kaapelin johtimien poikkipinta-alan on oltava riittävä suhteessa kuormitukseen.
- Kaapelin nimellisjännite pitää vastata järjestelmää, jossa sitä käytetään.
- Kaapelin rakenteen on täytettävä standardien esittämät vaatimukset.
- Johtimien värien on seurattava standardien esittämät vaatimukset.
- Kaapeli kestää asennus sijainnin ulkoiset tekijät, kuten lämpötila, kosteus ja vesi, korrosio, vieraat aineet ja mekaanisen rasituksen.

(Tiainen 2017, 186.)

Kun mitoitetaan johtimien poikkipinta-ala, tulee ottaa huomioon seuraavat kriteerit:

- Korkein sallittu lämpötila.
- Oikosulkukestoisuus.
- Virtapiirin suurin impedanssi.
- Jännitealenema.
- Mekaaniset rasitukset, jotka kohdistuvat johtimeen.

(Tiainen 2017, 187.)

Standardit, jotka käsittelevät kaapelien vaatimuksia ovat:

- SFS 6000 pienjännitesähköasennukset.
- SFS 4680 energiakaapelit. voima- ja asennuskaapeleiden tyyppimerkinnät.

(Tiainen 2017, 186.)

6.1 Ilmajohdot

Kaapelin vetämistä ajoteille ja kulkuväylille tulee välttää aina kuin mahdollista. Jos kaapeli sijaitsee ajotiellä, se on suojattava ajoneuvojen aiheuttamalta rasitukselta. Vaihtoehtoisesti, kaapeli voidaan ripustaa korkealle, jolloin se on suojassa ajoneuvoilta. Jos kaapeli pitää viedä ajotien tai kulkuväylällä, se tulee suojata mekaaniselta rasitukselta. Suojaukseen voidaan käyttää, maahan upotettuja kanavia tai putkia tai maanpäällistä suojarakennetta, jolloin itse kaapeliin ei kohdistu rasitusta. (ST96.40 2014, 1.)

Jos työmaalla on tarve käyttää ilmajohtoa, AMKA eli riippukierre tyyppinen kaapeli soveltuu asennukseen. AMKA kaapelissa johtimet ovat kierretty PEN-johtiminen ympärille, joka toimii kannatusköytenä. Alastulojohtona puolestaan käytetään yleensä kumikaapelia, yleisiä tyyppisiä ovat H07RN-F ja H07BB-F kaapelit, jotka soveltuvat ulkokäyttöön ja kestävät keskitason mekaanista rasitusta. Kumikaapelia käytettäessä ilmajohtona, asennus on toteutettava niin että kaapeliin ei kohdistu liiallista mekaanista rasitusta. Tämä voidaan varmistaa kiinnittämällä kaapeli erilliseen vaijerikannatinköyteen. Kaapelin vedonpoisto tulee huomioida ilma-asennuksissa. (ST51.35 2019, 5.)

Ilmajohdot tulee sijoittaa rakennusalueen reunoille. Ilmajohdoja sijoittaessa, tulee huomioida rakennustyömaan nosturien ja muiden korkeiden kulkuneuvojen vaatimat liikkualueet ja korkeudet. Taulukossa 10 esitettynä liikkuvan tai siirrettävän koneen vaaditut vähimmäisetäisyydet ilmajohtoon tai avojohdon paljaasta jännitteisestä osasta. Taulukon 10 sulkeissa esitetyt arvot ovat vähimmäisetäisyydet työskennellessä avojohdon jännitteisen osan alapuolella.

Taulukko 10. Liikkuvan tai siirrettävän koneen vähimmäisetäisyydet avojohdon jännitteiseen osaan tai riippujohtoon (ST96.40 2014, 2).

Nimellisjännite kV	Vähimmäisetäisyys m	
	Avojohto	Riippujohto
1	2 (2)	0,5
>1-45	3 (2)	1,5
110	5 (3)	
220	5 (4)	
400	5 (5)	

6.2 Jatkojohdot

Käyttäessä jatkojohtoja, taipuisien kaapeleiden tulee olla kaapelityyppiä H07RN-F, H07BB-F tai muuta kaapelityyppiä, jotka rakenteeltaan vastaavat standardin SFS-EN 50253-2-21 esittämiä vaatimuksia. Kaapeleiden tulee kestää veden ja hankauksen vaikutuksia. Taulukossa 11 esitetään kaapelirakenteita kolmivaiheisille jatkojohdoille, jotka ovat Euroopan sähkötekniikan standardointikomitean CENELEC:in mukaista tyyppiä. (ST51.35 2019, 5; SFS 6000-7-704, 7.)

Taulukko 11. Tavallisimmat kaapelirakenteet kolmivaiheisissa jatkojohdoissa (ST51.35 2019, 5).

Mitoitusvirta A	Taipuisa kaapeli	
	CENELECin mukainen tyyppi	Poikkipinta mm ²
16	A05RN-F, H07RN-F, H05BB-F, H07BB-7	5 × 2,5
32	H07RN-F, H05BB-F, H07BB-7	5 × 6
63	H07RN-F, H07BB-7	5 × 16
125	H07RN-F, A07BB-F	5 × 50
250	H07RN-F, A07BB-F	5 × 95

6.3 Maadoitus

Rakennustyömaan maadoituksen tehtävänä on varmistaa sähkölaitteiden ja asennusten turvallinen ja luotettava toiminta. Maadoituksen tulee täyttää vaatimukset, jotka esitetään standardissa SFS 6000 pienjännitesähköasennukset. (ST51.35 2019, 3).

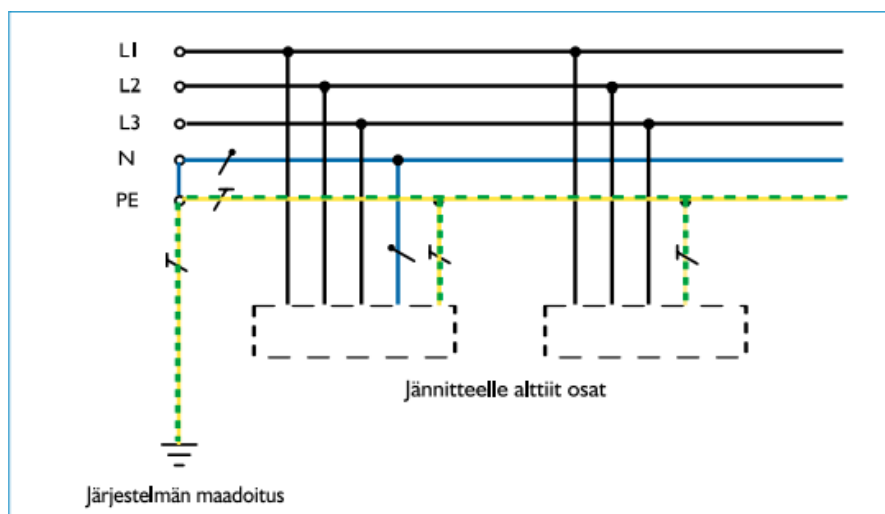
Keskeisin osa maadoitusta on suojajohdin, joka tunnetaan myös nimeltä suojamaajohdin, maadoitusjohdin tai ”kevi”, lähtöisin suojajohtimen keltavihreästä värytyksestä. Suojajohtimen lyhenne on PE, englannin kielen sanoista ”protective earth”. Yhdistetty suojamaa- ja nollajohdin on PEN-johdin. ”Turvallisuuden kannalta on erittäin tärkeää ottaa huomioon, että maadoitusjohdin on asennettu niin, ettei se missään työmaan muuttuvissa olosuhteissa pääse vioittumaan” (ST51.35 2019, 5).

Standardin SFS 6000 mukaisesti, on käytössä kolme jakelujärjestelmää: TN-, TT- ja IT-järjestelmä. TN-järjestelmä on käytössä suurimassa osassa normaaleista asennuksista, kuten yleisissä jakeluverkoissa. IT-järjestelmä on maasta erotettu järjestelmä, eli

mikään osa virtapiiristä ei ole suoraan maahan kytketty. IT-järjestelmä on käytössä prosessiteollisuudessa ja sairaaloiden lääkintäjärjestelmissä. TT-järjestelmä ei ole käytössä Suomessa ja ei ole yhtä luotettava kuin TN-järjestelmä monimutkaisemman rakenteensa vuoksi. (ST53.21 2018, 4, 5; Tiainen 2017, 66.)

TN-järjestelmässä, yksi piste on suoraan maadoitettu, ja sähkölaitteistojen jännitteelle alttiit osat yhdistetään tähän pisteeseen suojajohtimilla. TN-järjestelmää on kolme eri tyyppiä, joissa erot tulevat nollajohtiminen ja suojajohtimen järjestelystä. TN-S järjestelmässä on erillinen nolla- ja suojajohdin. TN-C-järjestelmässä nolla- ja suojajohdin on yhdistetty PEN-johtimeksi. TN-C-S-järjestelmässä PEN-johdin on käytössä osassa järjestelmää. (ST.53.21 2018, 4; Tiainen 2017, 63.)

Kuvassa 5 on esitetty TN-S-järjestelmä. TN-S-järjestelmä on käytössä useimmissa uudiskohteissa, joissa standardin SFS 6000 mukaisesti, PEN-johdinta ei tule käyttää liittymispisteen jälkeen. (Tiainen 2017, 63.)



Kuva 5. TN-S-järjestelmä (Tiainen 2017, 63).

Maadoituselektrodilla luodaan järjestelmän yhteys maahan. Maadoituselektrodin rakenteen ja materiaalin tulee olla mitoitettu kestävämmän siihen kohdistuvat mekaaninen ja sähköinen vaikutus. Myös korroosiokestävyys tulee huomioida. (ST53.21 2018, 3).

Suosittelava asennustapa on renkaan muotoinen perustusmaadoituselektrodi, joka sijaitsee rakennuksen perustuksissa tai perustuksien alla. Pienikokoisissa rakennuksissa yksi maadoituselektrodirengas on tarpeeksi, suurissa rakennuksissa maadoituselektrodi suositellaan jaettavaksi enintään 10 m x 20 m suuruisiksi renkaiksi.

(ST53.21 2018, 5.)

Perustusmaadoituselektrodi tulee ottaa käyttöön mahdollisimman aikaisin, esimerkiksi kun kiinteät asennukset otetaan käyttöön työmaan aikana (ST54.21 2018, 15).

6.4 Impedanssi ja reaktanssi

Impedanssi on virtapiirin vastus, joka koostuu johtimen resistanssista ja reaktanssista. Impedanssi voidaan laskea käyttäen kaavaa 3.

Kaava 3: Impedanssi

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

kaavassa 3.

Z = impedanssi

R = resistanssi

X = reaktanssi

Johtimien impedanssia laskiessa, kun kyseessä on kaapeli tai asennusputkeen asennetut johtimet, voidaan reaktanssi jättää huomioimatta, jos johtiminen poikkipinta-ala on alle 70 mm², reaktanssi ei ole suuri pienillä johdinkoilla. Näissä tilanteissa, voidaan impedanssiarvona käyttää johtimen resistanssia. Poikkeus ei koske ilmajohtoja, jolloin reaktanssi tulee huomioida. (Tiainen 2017, 95.)

Taulukossa 12 esitetään arvoja johtimien impedanssille, johdinlämpötilassa 80 °C. Taulukon 12 arvot ovat likimääräisiä, kaapeleiden valmistajat ilmoittavat tarkemmat arvot kaapelikohtaisesti.

Taulukko 12. Kaapeleiden likimääräisiä impedansseja (Ω/km) johdinlämpötilassa $80\text{ }^\circ\text{C}$ (Tiainen 2017, 96).

Johtimien poikkipinta A/mm^2	Kupari			Alumiini		
	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z
$4 \times 1,5$	14,620	0,115	14,620			
$4 \times 2,5$	8,770	0,110	8,770			
4×4	5,480	0,107	5,480			
4×6	3,660	0,100	3,660			
4×10	2,244	0,094	2,246			
4×16	1,415	0,090	1,418	2,324	0,090	2,326
4×25	0,898	0,086	0,902	1,489	0,086	1,492
4×35	0,652	0,083	0,657	1,086	0,083	1,089
4×50	0,482	0,083	0,489	0,796	0,083	0,800
4×70	0,336	0,082	0,346	0,551	0,082	0,557
4×95	0,244	0,082	0,257	0,398	0,082	0,406
4×120	0,195	0,080	0,211	0,316	0,080	0,326
4×150	0,155	0,080	0,174	0,258	0,080	0,270
4×185	0,125	0,080	0,148	0,207	0,080	0,222
4×240	0,095	0,079	0,124	0,162	0,079	0,180
4×300	0,078	0,079	0,111	0,133	0,079	0,155

6.5 Jännitteenalenema

Jännitteenalenema on sähköpiirissä esiintyvää jännitteen tippuminen kahden pisteen välillä. Jännitteenaleneman suuruuteen vaikuttavat johtimien koot, materiaalit, pituudet ja sähköpiirin kuorma. Jännitteenalenema lasketaan eri tavalla riippuen jännitteen tyypistä: tasajännite, yksivaiheinen vaihtojännite tai kolmivaiheinen vaihtojännite (Tiainen 2017, 233). Kaavassa 4 on esitetty jännitteenaleneman laskeminen kolmivaiheisella vaihtojännitteellä.

Jännitteenalenema tulee ottaa huomioon kaapeleita valittaessa. Rakennustyömaan sähkön tulee pysyä hyvälaatuisena laitteiden oikean ja turvallisen toiminnan takaamiseksi. Työmaan jakeluverkon suunnittelussa, pitkien johtovetojen välttäminen on suositeltavaa jännitteenaleneman vuoksi. (ST51.35 2019, 3.)

Kaava 4. Jännitteenalenema kolmivaiheisella vaihtojännitteellä.

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi)$$

kaavassa 4:

ΔU = jännitteenalenema volteissa (V)

I = kuormitusvirta (A)

l = johdon pituus (m)

r = ominaisresistanssi (Ω/m)

x = ominaisreaktanssi (Ω/m)

φ = jännitteen ja virran välinen vaihekulma

(Tiainen 2017, 233, 234).

Kaavassa 4 plusmerkkiä tulee käyttää induktiivisella kuormalla ja miinusmerkkiä kapasitiivisella kuormalla (Tiainen 2017, 233). Suhteellinen jännitteenalenema, eli jännitteenalenema prosentteina piirin jännitteestä voidaan laskea kaavan 5 mukaisella tavalla.

Kaava 5. Suhteellinen jännitteenalenema.

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100\%$$

kaavassa 5:

Δu = suhteellinen jännitteenalenema

ΔU = jännitteenalenema volteissa (V)

U_n = nimellisjännite (V)

(Tiainen 2017, 234).

Taulukossa 13 esitetään suosituksia suhteellisen jännitteenaleneman korkeimmiksi arvoiksi. Pienjänniteasennuksille, jännitteenaleneman korkein suositeltu arvo on 5 %, jos kyseessä on valaistusryhmä, suositeltu arvo on enintään 3 %. Taulukon 13 esittämiin arvoihin on joitain poikkeuksia, kuten laitteet kuten moottorit ja muut laitteet, joilla on suuri käynnistysvirta. (SFS 6000-5-52, 67).

Taulukko 13. Jännitteenalenema (SFS 6000-5-52, 67).

Asennuksen tyyppi	Valaistuskäyttö %	Muu käyttö %
A – Pienjänniteasennus, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta	3	5
B – Pienjänniteasennus, joka on syötetty yksityisestä teholahteesta ^a	6	8

^a Suositellaan, että niin pitkälle kuin mahdollista ryhmäjohtojen jännitteenalenema ei ylitä asennustyyppille A annettuja arvoja. Kun asennuksen pääjohdot ovat pitempiä kuin 100 m, näitä jännitteenalenemia voidaan kasvattaa 0,005 % johdon 100 m ylittävän pituuden metriä kohti. Ilman tätä lisäystä se ei saa olla suurempi kuin 0,5 %.

Jännitteenalenema määritellään sähkölaitteen tehontarpeen mukaan käyttäen soveltuvin osin tasoituskertoimia, tai käyttäen piirien suunniteltuja virtoja.

7 OIKOSULKUVIRTA

Oikosulkuvirta on oikosulkupisteessä syntyvä virta. Suojalaitteen oikosulkuvirran katkaisukyky tulee olla yhtä suuri tai suurempi kuin suojalaitteen sijainnin prospektiivinen eli odotettu oikosulkuvirta (SFS 6000-5-53, 22). Tarpeeksi suuri oikosulkuvirta takaa suojalaitteen nopean ja oikean toiminnan. Taulukossa 6 esitetään gG-sulakkeiden vaaditut vähimmäis- oikosulkuvirrat.

Tilanteissa, jossa oikosulkuvirta ei ole tarpeeksi suuri ylivirtasuojan toimintaan, poiskytkentä on toteuttavissa vikavirtasuojalla. Suojauksen riittävä katkaisukyky tulee ottaa rakennustyömaan suunnittelussa huomioon laskemalla oikosulkuvirtojen suuruus. (Tiainen 2017, 11.)

Impedanssin vuoksi, johtimen pituus, poikkipinta-ala ja materiaali vaikuttaa oikosulkuvirran suuruuteen. Pidemmät kaapelit laskevat oikosulkuvirran suuruutta, joten työmaan suunnittelussa tulee määrittää suurimmat mahdolliset kaapelien pituudet ja oikosulkuvirta keskuksilla (Tiainen 2017, 35). Pienin oikosulkuvirta esiintyy oikosulussa, joka on suojalaitteesta kaukaisimpana olevan johdon päässä ja suurin oikosulkuvirta esiintyy oikosulussa, joka sijaitsee suojalaitteen jälkeen, usein liittimissä (Tiainen 2017, 259).

7.1 Oikosulkuvirran laskeminen keskuksille

Jotta oikosulkuvirta voidaan laskea keskuksille, tulee tietää liittymispisteen oikosulkuvirta. Tiedon liittymispisteen oikosulkuvirrasta saa jakeluverkkoyhtiöltä (Tiainen 2017, 97).

Pienjänniteasennus standardin ”SFS 6000-8-801: Täydentävät vaatimukset. Jakeluverkot.” mukaisesti, jakeluverkko tulee suunnitella siten että liittymispisteessä oleva oikosulkuvirta on vähintään 250 A. Tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista, esimerkiksi haja-asutusalueilla. Verkkoyhtiön tulee varmistaa oikosulkuvirran riittävyys liittymän pääsulakkeella ja pääjohdolla, joissa oikosulkuvirran tulee olla vähintään 5 s laukaisuajan vaatimalla tasolla. (Tiainen 2017, 388).

Jotta alakeskuksille tai ryhmäkeskuksille voidaan laskea oikosulkuvirta, pitää tietää pääkeskuksen oikosulkuvirta ja vastaava impedanssi ennen pääkeskusta (Tiainen 2017, 101). Pääkeskuksen impedanssi voidaan laskea kaavan 6 esittämällä tavalla.

Kaava 6. Pääkeskuksen impedanssi ennen suojalaitetta.

$$Z_v = \frac{(c * U)}{(\sqrt{3} * I_k)}$$

kaavassa 6:

Z_v = pääkeskuksen impedanssi ennen suojalaitetta (Ω)

c = jännitekerroin 0,95, joka huomio jännitteenaleneman

U = pääjännite (V)

I_k = pääkeskuksen oikosulkuvirta

(Tiainen 2017, 101).

Ensimmäisen tason alakeskuksen suojalaitetta edeltävä impedanssi voidaan laskea kaavalla 7 ja oikosulkuvirta kaavalla 8.

Kaava 7. Ensimmäisen tason alakeskuksen impedanssi ennen suojalaitetta.

$$Z_{v1} = Z_v + 2 * r * l$$

kaavassa 7:

Z_{v1} = ensimmäisen alakeskuksen impedanssi ennen suojalaitetta (Ω)

Z_v = pääkeskuksen impedanssi ennen suojalaitetta (Ω)

r = ominaisresistanssi (Ω/km)

l = kaapelin pituus (km)

(Tiainen 2017, 101).

Kaava 8. Ensimmäisen tason alakeskuksen oikosulkuvirta

$$I_{k1} = \frac{(c * U)}{(\sqrt{3} * Z_{v1})}$$

kaavassa 8:

I_{k1} = Ensimmäisen tason alakeskuksen oikosulkuvirta (Ω)

c = jännitekerroin 0,95, joka huomio jännitteenaleneman

U = pääjännite (V)

Z_{v1} = ensimmäisen alakeskuksen impedanssi ennen suojalaitetta (Ω)

(Tiainen 2017, 101).

Toisen tason alakeskuksen ja toisen tason alakeskuksesta alemmilla tasoilla olevien alakeskusten suojalaitta edeltävä impedanssi lasketaan kaavan 9 mukaisesti ja oikosulkuvirta kaavan 10 mukaisesti, käyttäen sen alakeskuksen suojalaitta edeltävää impedanssi Z_v ja oikosulkuvirta I_k arvoja, johon alakeskus liitetään.

Kaava 9. Toisen tason alakeskuksen impedanssi ennen suojalaitetta.

$$Z_{v2} = Z_{v1} + 2 * r * l$$

kaavassa 9:

Z_{v2} = toisen tason alakeskuksen impedanssi ennen suojalaitetta (Ω)

Z_{v1} = ensimmäisen tason alakeskuksen impedanssi ennen suojalaitetta (Ω)

r = ominaisresistanssi (Ω/km)

l = kaapelin pituus (km)

(Tiainen 2017, 101).

Kaava 10. Toisen tason alakeskuksen oikosulkuvirta

$$I_{k2} = \frac{(c * U)}{(\sqrt{3} * Z_{v2})}$$

kaavassa 10:

I_{k2} = toisen tason alakeskuksen oikosulkuvirta (Ω)

c = jännitekerroin 0,95, joka huomio jännitteenalenneman

U = pääjännite (V)

Z_{v2} = toisen tason alakeskuksen impedanssi ennen suojalaitetta (Ω)

(Tiainen 2017, 101).

8 LASKENTATYÖKALU

Laskentatyökalu rakennustyömaan sähköistysuunnittelun avuksi, lyhyesti ”laskentatyökalu”, toteutettiin käyttäen Microsoft Excel taulukkolaskenta ohjelmaa. Excel on käytössä suurimalla osalla rakennustyömaista monissa eri tehtävissä, joten ohjelmiston yhteensopivuus on taattu.

Tavoitteena oli luoda moderni ja helppokäyttöinen työkalu rakennustyömaan sähköistysuunnittelun avuksi, jota voidaan käyttää ilman laajempaa tuntemusta

sähkötekniikasta. Laskentatyökalulla pystytään laskemaan keskuskohtaisesti vaadittavia arvoja, kuten keskuksen nimellisvirta, sulakekoko, huippuvirta ja huipputeho. Työkalu kuitenkin tarjoaa myös monimutkaisempia laskelmia oikosulkuvirrasta ja jännitteen alenemasta ja auttaa suunnittelemaan vaaditut kaapelikoot.

Lähtökohtana ja inspiraationa laskimen suunnitteluun käytettiin Rakennustiedon korttia ”Ratu 02-3037 2003 Työmaan sähköistys” ja keskeisimmin kortissa esiintyvää yhteistehon mitoitus esimerkkiä, joka on esitetty kuvassa 1. Koska kortti on vuodelta 2003, se ei enää täysin vastaa voimassa olevia standardeja ja vaatimuksia, kuten vaatimukset vikavirtasuojista, laskentatyökalulla on kuitenkin mahdollista suunnitella keskuksen lähtöjen vikavirtasuojat. Valmis laskentatyökalu esitettiin Rakennustieto Oy:lle.

Laskentatyökalun rakenne koostuu viidestä välilehdestä: PK, AK 1, AK 2, AK 3 ja Data. PK ja AK välilehdet sisältävät laskentatyökalun eri keskuksia ja Data välilehdessä laskimen toiminnan vaatimat tiedot, numerot ja arvot. Laskentatyökalun soluissa on huomiovärit, oranssi merkitsee solua, johon käyttäjän tulee syöttää numero, esimerkiksi laitteiden määrä ja sininen tarkoittaa pudotusvalikkoa.

8.1 Laskentatyökalun pääkeskus

PK välilehti sisältää pääkeskuksen ja sen arvot ja tiedot, mutta toimii myös, laskentatyökalun aloitussivuna ja sisältää suurimman osuuden laskentatyökalun käyttöohjeista. Kuvassa 6 esitettynä laskentatyökalun PK välilehden asettelu, käyttöohjeet ovat rajattu kuvan ulkopuolelle. Ensimmäiset ohjeet sijaitsevat PK välilehden vasemmassa yläkulmassa, aloittaen ohjeet lukemalla, käyttäjä saa vaadittavat tiedot laskimen käyttöön. Ohjeet on suunniteltu esitettävän siinä järjestyksessä, jossa käyttäjä kohtaa laskimen eri toiminnot.

Laittevalikko ja tehot							
2022	Tammikuu		Helmikuu		Maaliskuu		
	Teho kW		Teho Kw		Teho Kw		
Laite	kW	kpl	kW	kpl	kW	kpl	kW
Nosturi koottava 100 tm	50	1	50	0	0	0	0
Lämpöpuhallin pieni 9 kW	9	2	18	2	18	0	0
Led-valonheitin 2x50 W	0,1	3	0,3	3	0,3	0	0
Tavarahissi 5 kW	5	0	0	3	15	0	0
Rakennussirkkeli 2 kW	2	0	0	2	4	0	0
Tyhjä	0	0	0	0	0	0	0
Tyhjä	0	0	0	0	0	0	0
Nosturi koottava < 100 tm	0	0	0	0	0	0	0
Nosturi koottava 100 tm	0	0	0	0	0	0	0
Nosturi koottava 140 tm	0	0	0	0	0	0	0
Nosturi koottava 200 tm	0	0	0	0	0	0	0
Nosturi koottava 300 tm	0	0	0	0	0	0	0
Nosturi koottava > 300 tm	0	0	0	0	0	0	0
Nosturi itsensä kokoava < 50 tm	0	0	0	0	0	0	0
Tyhjä	0	0	0	0	0	0	0
Tyhjä	0	0	0	0	0	0	0
Tyhjä	0	0	0	0	0	0	0
Tyhjä	0	0	0	0	0	0	0
Tyhjä	0	0	0	0	0	0	0
Tyhjä	0	0	0	0	0	0	0
Tyhjä	0	0	0	0	0	0	0
Tyhjä	0	0	0	0	0	0	0
Tyhjä	0	0	0	0	0	0	0
Tyhjä	0	0	0	0	0	0	0
Tyhjä	0	0	0	0	0	0	0
Tyhjä	0	0	0	0	0	0	0
Tyhjä	0	0	0	0	0	0	0
AK 1		12		0		0	
AK 2		0		0		0	
AK 3		0		0		0	
Tehot yhteenlaskettuna kW		80,3		37,3		0,0	
Tasauskerroin	0,8	64,2		29,8		0,0	

Kuva 7. Laittevalikko ja tehot.

Käyttäjä valitsee pudotusvalikosta haluamansa laitteet ja syöttää laitteiden määrät merkittyihin soluihin, niihin kuukausiin, joissa laite on käytössä. Saatavilla on 12 kuukautta, joiden järjestys on muutettavissa, myös vuosilukua voidaan muuttaa. Saatuaan laitemäärän, laskentatyökalu ilmoittaa kyseisten laitteiden tehontarpeen kilowateissa.

Laskentatyökalussa on saatavilla oletuksena 140 sähkölaitetta ja 20 paikkaa käyttäjälle lisätä omia laitteitansa. Kaikkien laitteiden nimet ja tehot ovat vapaasti muunneltavissa käyttäjän tarpeiden mukaisesti.

Laskentatyökalu laskee jokaisen kuukauden laitteiden tehot yhteenlaskettuna, mukaan lukien keskukseen liitettyjen alakeskuksien tehot. Yhteenlaskettu tehoarvo kerrotaan tasauskerroimella, joka on oletusarvona 0,8, mutta on muutettavissa syöttämällä merkittyyn soluun halutun arvon. Jos halutaan käyttää tehoarvoja ilman tasauskerrointa, valitaan arvoksi 1.

8.4 Tulokset

Sen kuukauden perusteella, jossa on suurin tehonkäyttö tauskerroin huomioiden, laskentatyökalu kertoo keskukselle tulokset. Lasketut arvot ovat huipputeho, huippuvirta, sulakekoko, keskuksen nimellisvirta, oikosulkuvirta, jännitealenema ja suhteellinen jännitteen alenema. Kuvassa 8 on pääkeskuksen tulokset osio ja kuvassa 9 alakeskuksen AK 1 tulokset osio. Kuvan 8 kuorma perustuu kuvan 7 laitevalintoihin, jossa tammikuun tehot yhteenlaskettuna pääkeskuksen laitteista on 68,3 kW ja alakeskuksella AK 1 laitteista 12 kW, yhteensä 80,3 kW. Käyttäen tehokerrointa 0,8, lopullinen tulo on 64,2 kW. Tulokset osion sisältö poikkeaa toisistaan pää- ja alakeskuksien välillä koska pääkeskus on työmaan sähköverkon liitoskohta, joten jännitealenemaa ei ole tarve laskea ja oikosulkuvirta pääkeskuksella saadaan jakeluverkkoyhtiöltä. Oikosulkuvirta ja jännitteenalenema lasketaan alakeskuksille.

Tulokset			
Huipputeho		64,2	kW
Huippuvirta		115,9031	A
Sulakekoko		125	A
Keskuksen nimellisvirta		125	A
Oikosulkuvirta		1300	A
Liitymäkaapelin pituus		0,05	km
Kaapelikoko		16	mm ²
Kaapelin materiaali		Cu	
Virran tehokerroin		0,8	

Kuva 8. Pääkeskuksen tulokset osio.

AK 1 - ALAKESKUS			
Huipputeho		9,6	kW
Huippuvirta		17,3205081	A
Sulakekoko		20	A
Keskuksen nimellisvirta		25	A
Oikosulkuvirta		707,117666	A
Jännitealenema: PK - AK 1		1,779	V
Suhteellinen jännitealenema (max 5%)		0,44475	%
Kaapelin pituus: PK - AK 1		0,05	km
Kaapelikoko		16	mm ²
Kaapelin materiaali		Cu	
Virran tehokerroin		0,8	

Kuva 9. Alakeskuksen tulokset osio.

8.4.1 Huipputeho, huippuvirta ja virran tehokerroin

Laitevalinnoista ja tehokertoimesta saadun huipputehon perusteella, laskentatyökalu laskee huippuvirran. Laskenta tapahtuu kaavan 2 mukaisesti. Virran tehokerroin on muutettavissa merkityssä solussa, oletusarvona on 0,8, joka tulee muuttaa, jos tarkempi arvo on saatavilla.

8.4.2 Sulakekoko ja keskuksen nimellisvirta

Huippuvirran perusteella, laskentatyökalu suosittelee keskuksen nimellisvirran ja sulakekoon, suositeltavat arvot ovat yleisiä keskus- ja sulakekokoja. Sulakekoko valitaan olemaan ensimmäinen huippuvirtaa suurempi koko, pienin saatavilla oleva sulakekoko on 6 A ja suurin 1000 A. Keskuksen nimellisvirta määritetään sulakekoon perusteella, pienin mahdollinen suositeltava nimellisvirta on 16 A ja suurin 1000 A. Taulukossa 14 esitettynä saatavilla olevat keskusten nimellisvirta ja sulakekoot.

Taulukko 14. Keskusten nimellisvirta ja sulakekoot.

Keskus Nimellisvirta A	Sulakekoko A
1000	1000
630	630
400	400
315	315
250	250
200	200
160	160
125	125
125	100
125	80
63	63
63	50
63	40
63	35
63	32
25	25
25	20
16	16
16	10
16	6

8.4.3 Kaapelinkoko, kaapelin materiaali ja kaapelin pituus

Käyttäjät pystyvät valitsemaan pudotusvalikoista keskusta syöttävän kaapelin johtimen poikkipinta-alan, materiaalin ja pituuden. Materiaaleina on valittavissa kupari ”Cu” ja alumiini ”Al”. Pienin saatavilla oleva johdinkoko kuparille on 1,5 mm² ja alumiinille 16 mm². Oletusarvoiksi on valittu Cu ja 16 mm². Koska kaapelinkoko pudotusvalikon sisältö riippuu valitusta materiaalista, alumiinille ei voida valita kuparille saatavilla olevia alle 16 mm² kokoja. Kaapelin pituus tulee ilmoittaa kilometreinä, oletusarvona on 0,05 km eli 50 metriä. Taulukossa 15 esitetään laskentatyökalussa saatavilla olevat johtimien poikkipinta-alat.

Taulukko 15. Johtimien poikkipinta-alat.

Materiaali	Koko	Materiaali	Koko
Cu	1,5		
Cu	2,5		
Cu	4		
Cu	6		
Cu	10		
Cu	16	Al	16
Cu	25	Al	25
Cu	35	Al	35
Cu	50	Al	50
Cu	70	Al	70
Cu	95	Al	95
Cu	120	Al	120
Cu	150	Al	150
Cu	185	Al	185
Cu	240	Al	240
Cu	300	Al	300

Valinnat vaikuttavat alakeskuksilla oikosulkuvirtaan ja jännitteenalenemaan. Materiaalilla, koolla ja pituudella ei ole vaikutusta pääkeskuksen oikosulkuvirtaan, joka saadaan jakeluverkkoyhtiöltä. Jännitteen alenemaa ei lasketa pääkeskukselle. Valintoja voidaan silti käyttää suunnittelun apuna.

8.4.4 Oikosulkuvirta

Pääkeskukselle on mahdollista syöttää jakeluverkkoyhtiöltä saatu oikosulkuvirran arvo. Laskentatyökalussa oletusarvona oikosulkuvirralla käytetään 1300 A. Oletusarvo 1300 A perustuu laskentaan, jossa rakennustyömaata syöttää 500 kVA muuntaja,

kaapelinpituudella 400 m ja kaapelina AXMK 4 x 185 S. Oletusarvo tulee vaihtaa tarkempaan arvoon rakennustyömaakohtaisesti.

Alakeskuksille laskettaviin oikosulkuvirtoihin vaikuttaa pääkeskuksen oikosulkuvirta ja johtimen poikkipinta-ala, materiaali ja pituus. Johtuen impedanssista, sarjaan kytkettyjen alakeskusten oikosulkuvirrat ovat riippuvaisia toisistaan, esimerkiksi alakeskuksen AK 1.1 johdinvalinnat vaikuttavat alakeskuksen AK 1.1.1 oikosulkuvirtaan.

Taulukossa 16 esitetään laskentatyökalun käyttämää impedanssi, ominaisresistanssi ja ominaisreaktanssi taulukkoa, jossa nähtävillä jokaisen keskuksen impedanssi arvot, perustuen valittuihin kaapeliarvoihin. Taulukossa 16 pääkeskuksella on käytetty oikosulkuvirta arvoa 1300 A, kaapelille arvot 300 mm² ja Al. Alakeskuksella AK 1 kaapelin arvot ovat: 0,1 km, 50 mm² ja Al, alakeskuksella AK 1.1: 0,02 km, 25 mm² ja Al. Muilla keskuksilla käytössä oletusarvot. Käytetyt ominaisreaktanssi ja ominaisresistanssi arvot ovat taulukon 12 mukaisia. Impedanssit on laskettu kaavojen 6, 7 tai 9 mukaisella tavalla ja oikosulkuvirrat on laskettu kaavojen 8 tai 10 mukaisesti, riippuen keskuksista.

Taulukko 16. Keskuksien impedanssit, ominaisresistanssit ja ominaisreaktanssit.

Sijainti	Zv	R Cu	X Cu	R Al	X Al
PK	0,168764	0,078	0,079	0,133	0,079
AK1	0,327964	0,482	0,083	0,796	0,083
AK1.1	0,387524	0,898	0,086	1,489	0,086
AK1.1.1	0,529024	1,415	0,09	2,324	0,09
AK1.2	0,469464	1,415	0,09	2,324	0,09
AK1.2.1	0,610964	1,415	0,09	2,324	0,09
AK1.3	0,469464	1,415	0,09	2,324	0,09
AK1.3.1	0,610964	1,415	0,09	2,324	0,09
AK2	0,310264	1,415	0,09	2,324	0,09
AK2.1	0,451764	1,415	0,09	2,324	0,09
AK2.1.1	0,593264	1,415	0,09	2,324	0,09
AK2.2	0,451764	1,415	0,09	2,324	0,09
AK2.2.1	0,593264	1,415	0,09	2,324	0,09
AK2.3	0,451764	1,415	0,09	2,324	0,09
AK2.3.1	0,593264	1,415	0,09	2,324	0,09
AK3	0,310264	1,415	0,09	2,324	0,09
AK3.1	0,451764	1,415	0,09	2,324	0,09
AK3.1.1	0,593264	1,415	0,09	2,324	0,09
AK3.2	0,451764	1,415	0,09	2,324	0,09
AK3.2.1	0,593264	1,415	0,09	2,324	0,09
AK3.3	0,451764	1,415	0,09	2,324	0,09
AK3.3.1	0,593264	1,415	0,09	2,324	0,09

8.4.5 Jännitteenalenema ja suhteellinen jännitteenalenema

Laskentatyökalulla laskee jännitteenaleneman ja suhteellisen jännitteenalenema alakeskuksille. Laskuihin vaikuttaa keskuksien kuormat ja johtimien pituus, poikkipinta-ala ja materiaali.

Taulukon 14 esittämän standardin SFS 6000-5-52 suositusten mukaisesti, pienjänniteasennukselle, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta, suositellaan enintään 5 % jännitteenalenamaa, jonka ylittyessä laskentatyökalu antaa jännitteenalenemalle huomioväarin. Jännitteenalenema on laskettu kaavan 4 mukaisesti ja suhteellinen jännitteenalenema kaavan 5 mukaisesti. Kuvassa 10 keskuksen AK 1 jännitteenalenema huippuvirralla 120 A ja huippuvirralla 240 A, käyttäen laskentatyökalun oletusarvoja kaapeleille.

Huippuvirta				120	A
Sulakekoko				125	A
Keskuksen nimellisvirta				125	A
Oikosulkuvirta				707,117666	A
Jännitealenema: PK - AK 1				12,3252735	V
Suhteellinen jännitealenema (max 5%)				3,08131839	%
Huippuvirta				240	A
Sulakekoko				250	A
Keskuksen nimellisvirta				250	A
Oikosulkuvirta				707,117666	A
Jännitealenema: PK - AK 1				24,6505471	V
Suhteellinen jännitealenema (max 5%)				6,16263677	%

Kuva 10. Jännitteenalenema ja suhteellinen jännitteenalenema huippuvirroilla 120 A ja 240 A.

8.5 Vikavirtasuojat

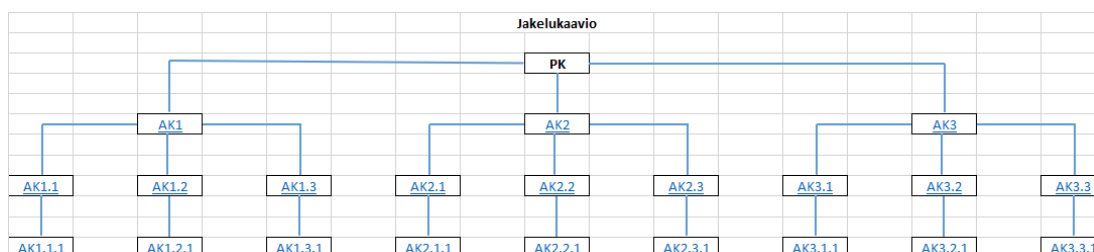
Laskentatyökalu mahdollistaa vikavirtasuojakytkimien suunnittelun keskuskohtaisesti. Jokaiselle keskukselle on saatavilla kuusi lähtöä, josta valitaan lähdön tyyppi tai tarkoitus, esimerkiksi pistorasia yli 32 A tai hitsauskone. Kun lähdön tarkoitus on valittu, laskentatyökalu antaa suosituksen vikavirtasuojan koosta. Kuvassa 11 esitetynä lähtöjen vikavirtasuojat osio ja sen vaihtoehdot.

Lähtöjen vikavirtasuojat	
Pistorasia enintään 32 A	Pistorasia yli 32 A
30 mA	500mA
Pistorasia keskussyöttö	Kiinteä keskussyöttö
500mA	Ei vaadita
Hitsauskone	Tyhjä
300 mA	Tyhjä
	Pistorasia enintään 32 A
	Pistorasia yli 32 A
	Pistorasia keskussyöttö
	Kiinteä keskussyöttö
	Hitsauskone

Kuva 11. Lähtöjen vikavirtasuojat.

8.6 Jakelukaavio

Jakelukaavio kuvastaa laskentatyökalussa kaikki oletuksena saatavilla olevat keskukset ja miten keskukset ovat liitettyinä toisiinsa. Käyttäjä voi nopeasti siirtyä eri keskusten välillä käyttämällä taulukon linkkejä. Kuvassa 12 esitetään PK välilehdessä sijaitseva jakelukaavio.



Kuva 12. Jakelukaavio.

8.7 Data välilehti

Data välilehdellä sijaitsee laskentatyökalun hakemat arvot ja tiedot, esimerkiksi laitteet, sulakekoot ja impedanssit. Taulukot 14, 15 ja 16 sijaitsevat data välilehdessä. Käyttäjän on mahdollista muokata käytettäviä arvoja ja tietoja tarpeidensa mukaisesti. Välilehti sisältää myös laskentatyökalun dokumentointia kuten käytetyt kaavat ja tietojen lähteet ja ohjeita laskentatyökalun muokkaamiseen, esimerkiksi uuden keskuk- sen lisäämiseen tai laitelistan muokkaamiseen.

9 LASKENTAESIMERKKI

Laskentatyökalua on testannut Satakunnan Ammattikorkeakoulun rakennus- ja yhdyskuntatekniikan opiskelijat, noin kolmessakymmenessä käynnissä olevalla työmaalla. Luvun esimerkin laitteet on otettu Satakunnassa keväällä 2022 rakenteilla olevan koulun rakennustyömaalta, rajattuna työmaan yhteen lohkokon eli alueeseen. Kuvassa 13 lohkon laitelista ja tehokalkelma. Esimerkissä on käytetty laskentatyökalun ensimmäistä versiota, jossa on saatavilla vähemmän laitepaikkoja ja saattaa sisältää pieniä visuaalisia eroavaisuuksia verrattuna laskentatyökalun uudempaan versioon, jota on käytetty kuvissa 6, 7, 8 ja 9.

Laittevalikko ja tehot		Tammi		Helmi		Maalis	
2022		Teho kW		Teho Kw		Teho Kw	
Laite	kW	kpl	kW	kpl	kW	kpl	kW
Valaisin (Monimetalli 400 W)	0,4		0		0	30	12
Laastinsekoitin	1,2		0		0	5	6
Pölyn- ja vedenimuri <200 m ³ /h 1,2 kW	1,2		0		0	9	10,8
Pölyn- ja vedenimuri 200-500 m ³ /h 2,2 kW	2,2		0		0	2	4,4
Tila: sosiaalitala (2,4 x 6)	5		0		0	9	45
Tila: varastotala, kylmä	0,5		0		0	2	1
Halkaisu- ja jiiirisaha 1,7 kW	1,7		0		0	2	3,4
Akun laturi	0,45		0		0	50	22,5
Hitsauskone 230V	3		0		0	1	3
Led-valonheitin 30 W	0,03		0		0	10	0,3
Lämmitin	0,125		0		0	10	1,25
Tietokoneen laturi	0,065		0		0	2	0,13
Valonheitin	0,6		0		0	2	1,2
AK 1			0		0		0
AK 2			0		0		0
AK 3			0		0		0
Tehot yhteenlaskettuna kW			0,0		0,0		111,0
Tasauskerroin	0,8		0,0		0,0		88,8

Kuva 13. Rakennustyömaalla käytetyt laitteet ja niiden tehot.

Kuvassa 13 laitteet on valittu maaliskuulle ja kaikki laitepaikat on täytetty, oletuslaitteiden lisäksi käyttäjä on lisännyt kaksi paikkaa itse. Valitut laitteet ovat osittain laskentatyökaluun tallennettuja oletuslaitteita kuten hitsauskone 230V ja sosiaalitala, mutta käyttäjä on myös hyödyntänyt mahdollisuutta lisätä omia laitteita ja niiden tehoja laitevalikkoon. Taulukossa 18 esitetään käyttäjän lisäämät omat laitteet ja näiden tehot.

Taulukko 17. Omavalintaiset laitteet ja tehot.

Akun laturi	0,45
Tietokoneen laturi	0,065
Valonheitin	0,6
Laastinsekoitin	1,2
Lämmitin	0,125

Keskuksen tehot yhteenlaskettuna on 111 kW, käyttäen oletusarvo tasauskerrointa 0,8, saadaan huipputehoksi maaliskuulle 88,8 kW. Keskus ei syötä muita keskuksia, joten alakeskuksilla ei ole kuormaa. Kuvassa 14 esitetään kuvan 13 laitevalintojen ja tehojen laskentatulokset.

Tulokset			
Huipputeho		88,8	kW
Huippuvirta		160,1858	A
Sulakekoko		200	A
Keskuksen nimellisvirta		200	A
Oikosulkuvirta		1300	A
Liitymäkaapelin pituus		0,05	
Kaapelikoko		16	mm ²
Kaapelin materiaali		Cu	
Virran tehokerroin		0,8	

Kuva 14. Tulokset laitevalinnoille.

Huipputehon perusteella, huippuvirraksi on laskettu 160,2 A. Huippuvirran perusteella, suositelluksi sulakekooksi ja keskuksen nimellisvirraksi annetaan molemmille 200 A. Virrantehokerroin, oikosulkuvirta ja kaapelin ominaisuudet on jätetty oletusarvoihin.

10 POHDINTA

Laskentatyökalun toteutus onnistui hyvin ja on laajempi kuin alkuperäisessä suunnitelmassa. Laskentatyökalu kattaa kaikki suunnitellut osa-alueet: keskuksat, kaapelit ja vikavirtasuojat. Lopputuloksen saavuttaminen vaati usean palautekierroksen ja useita revisioita.

Laskentatyökalun tarkoitus on tulla opetuskäyttöön, joten rakennus- ja yhdyskuntatekniikan opiskelijat testasivat laskentatyökalua ja antoivat siitä palautetta, jota käytettiin jatkokehitykseen.

Tavoitteena oli, että laskentatyökalun perustoiminnot olisivat helposti käytettävissä ilman laajempaa tuntemusta sähkötekniikasta. Saadun palautteen perusteella, tämä toteutui pääosin, mutta toiveita esitettiin ohjeiden jatko selkeyttämiselle, joka toteutettiin laskimen viimeisimmässä versiossa. Laskentatyökalun ohjeistus tekee jotain oletuksia käyttäjän sähkötekniikan ymmärtämisestä, esimerkiksi oletetaan, että suuret kuten virta ja teho ymmärretään. Laskentatyökalun käyttäjien ymmärrys sähkötekniikasta tulee olemaan vaihtelevaa tasoa, joten epäselvyyksiä saattaa esiintyä. Täydellisiä, kaikenkattavia ohjeita olisi lähes mahdoton sisältää laskimeen. Osiot kuten oikosulkuvirran laskeminen ei ole suunnattu maallikoille

Laskentatyökalun toiminnasta saatu palaute oli positiivista, valikot toimivat suunnitellusti ja tulokset olivat selkeät. Laskentatyökalulle esittein useita parannus ehdotuksia, merkittävien näistä oli laitepaikkojen lisääminen. Jokaisella keskuksella laitepaikkoja oli laskentatyökalun ensimmäisessä versiossa saatavilla 11, joka jälkikäteen vaikuttaa selvältä ongelmalta. Koska ongelma oli kriittinen, oletuslaitepaikkoja lisättiin ja näitä on saatavilla päivitettyssä versiossa 24 joka keskuksella. Laskentatyökalun taustatoiminnan toteutusta myös helpotettiin, joten jos käyttäjä tarvitsee enemmän kuin 24 laitepaikkaa, näiden lisääminen on helpompaa. Kaikkien laitteiden nimet ja tehot ovat muunneltavissa, mutta ”tyhjiä” omavalintaisia laitepaikkoja on oletuksena 20. Luku valittiin sattumanvaraisesti ja suurempi luku kuten 100 olisi ollut parempi, tämä ei merkittävästi vaikeuttaisi laskimen käyttöä ja estäisi tilanteita, jossa käyttäjän tulee itse muokata viitattua solu aluetta laitteiden lisäämiseksi.

Oletuksena laitelista sisältää Rakennustieto Oy:n kortin Ratu 02-3037 2003 Työmaan sähköistys esittämät laitteet ja joitain erikseen lisättyjä laitteita kuten valaisimia. Laitelistaa voisi laajentaa tekemällä yhteistyötä rakennusvuokraamojen kanssa, lisäämällä eri vuokraamojen laitevalikoimat laskentatyökaluun. Käyttäjälle tämä olisi todella hyödyllinen lisäys, mutta toteutus haastava laitteiden ja vuokraamojen määrän vuoksi. Tämä olisi mahdollista toteuttaa lisäämällä kaikki laitteet jatkoksi nykyiseen listaan, mutta pudotusvalikosta tulisi vaikeasti navigoitava, jos listalla useita satoja laitteita.

Toinen vaihtoehto olisi luoda erillinen laitteet välilehti, jossa eri vuokraamojen laitteet on eroteltu omiin listoihinsa. Keskus sivuilla käyttäjä ensin valitsisi haluamansa laitelähteen, esimerkiksi: Ratu 02-3037 2003, omavalintainen, vuokraamo 1 tai vuokraamo 2. Tämän valinnan perusteella laitevalinta pudotusvalikon sisältö muuttuisi.

Muita toivottuja kehitysalueita olivat esimerkiksi kaapelit osio, joka ilmoittaisi, jos valittu kaapelin poikkipinta-ala on liian pieni keskuksen kuormalle. Alakeskukset voisivat myös kertoa syöttävän keskuksen sulakekoon, joka helpottaisi suunnittelussa.

Paljon aikaa käytettiin eri termien muotoiluun ja päättämiseen. Merkittävin näistä luultavasti päätös käyttää termiä ”alakeskus” ja lyhennettä ”AK” mahdollisesti tunnetunman ”ryhmäkeskus” ja lyhenne ”RK” sijasta. Tähän lopputulokseen tultiin koska rakennustyömaa kontekstissa, termi alakeskus esiintyy usein esimerkiksi laitevuokraamojen sivuilla. Valinta kuitenkin saattaa aiheuttaa sekaannusta, esimerkiksi maallikoille, joille ryhmäkeskus on tutumpi termi.

Laskentatyökalu suosittelee keskuksen nimellisvirtaa sen mukaisesti mikä on asteen laskettua kuormaa suurempi, mutta taloudellista näkökulmasta voi olla kannattavaa valita suurempi kokoinen keskus työmaalle. Tämän ominaisuuden voisi toteuttaa muuntamalla ”keskuksen nimellisvirta” tulos muotoon ”pienin suositeltu keskuksen nimellisvirta” ja antaa erillinen alue suositellulle keskuksen nimellisviralle, esimerkiksi: pienin suositeltu keskuksen nimellisvirta: 80 A, suositellut keskuksen nimellisvirrat: 80 A – 200 A. Tämän toteuttaminen vaatisi syvempää tukimusta sähkökeskukseen taloudellisesta näkökulmasta.

Oletusarvoinen tasauskerroin 0,8 on myös mahdollisesti liian korkea. Kerroin on valittu periaatteella, että keskuksen alimitoitusta ei tapahtuisi. Laskentatyökalun ohjeet ilmoittavat, että tasauskerrointa tulee muuttaa tarpeen mukaisesti, mutta mahdollinen realistisempi arvo useassa kohteessa saattaisi olla 0,5 tai 0,6.

Lähtöjen vikavirtasuojat osuudessa on saatavilla kuusi lähtöä, luku, joka on myös valittu sattumanvaraisesti. Suurempi määrä saattaisi helpottaa suunnittelussa. Tämän voisi toteuttaa esimerkiksi luomalla solu johon käyttäjä syöttää halutun lähtöjen

määrän ja laskentatyökalu rakentaa tarvittavan määrän lähtöjä tai luomalla erilliset vikavirtasuojat välilehden, jossa nähtävillä jokaisen keskuksen vikavirtasuojat.

Laskentatyökalulla on paljon potentiaalia laajennuksiin ja parannuksiin. On kuitenkin huomioitava, että projekti tulee tietyssä pisteessä rajata laskentatyökalun helppokäyttöisyyden vuoksi, jolloin erillinen uusi projekti, joka keskittyy haluttuun osa-alueeseen, on kannattavampi.

LÄHTEET

Ratu 02-3037. Työmaan sähköistys. 2003. Helsinki: Rakennustieto. Viitattu 17.11.2021. <https://kortistot.rakennustieto.fi>

Tiainen, E. 2017. D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähköinfo Oy.

SFS 6000-4-41: Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-41: Suojausmenetelmät. Suojaus sähköiskulta. 2017. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki: SFS. Viitattu 26.04.2022. <https://sfs.fi>

SFS 6000-5-52: Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. 2017. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki: SFS. Viitattu 26.04.2022. <https://sfs.fi>

SFS 6000-5-53: Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-53: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Erottaminen, kytkentä ja ohjaus. 2017. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki: SFS. Viitattu 04.05.2022. <https://sfs.fi>

SFS 6000-7-704. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-704: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Rakennustyömaat. 2017. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki: SFS. Viitattu 26.04.2022. <https://sfs.fi>

Sähköturvallisuuslaki. 2016. 2016/1135. Viitattu 17.11.2021. <https://finlex.fi>

ST51.35. Rakennustyömaan sähköverkon suunnittelu. 2019. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 04.05.2022. <https://severi.sahkoinfo.fi>

ST53.21. Rakennusten sähköasennusten maadoitukset ja potentiaalintasaukset. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 28.04.2022. <https://severi.sahkoinfo.fi>

ST96.40. Rakennustyömaan sähköverkon käyttö ja hoito. 2014. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo. Sähköinfo. Viitattu 26.04.2022. <https://severi.sahkoinfo.fi>

Rakennustyömaan aluesuunnittelu. 2019. Työturvallisuuskeskus, Rakennusalojen työalatoimikunta. Viitattu 11.02.2022. https://ttk.fi/oppaat_ja_ohjeet/ladattavat_julkaisut/rakennustyomaan_aluesuunnittelu

Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus STEK [www-sivut](http://www.stek.fi). Viitattu 17.11.2021. <https://stek.fi>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes [www-sivut](http://www.tukes.fi). Viitattu 18.11.21. <https://tukes.fi>

Valaistustieto [www-sivut](http://www.valaistustieto.fi). Viitattu 04.03.22. <https://valaistustieto.fi>

Digma oppimisympäristö [www-sivut](http://www.digma.fi). Viitattu 22.04.22. <https://moodle.amk.fi>

Cramo [www-sivut](http://www.cramo.fi). Viitattu 25.03.2022. <https://www.cramo.fi>

