



# EL-VIS laskentatyökalun hyödyntäminen opetuskäytössä

Jori Väливаara

Opinnäytetyö

Toukokuu 2025

Tekniikan ala

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma (AMK)

**Välivaara Jori**

## **EL-VIS laskentatyökalun hyödyntäminen opetuskäytössä**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2025, 42 sivua

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Sähkötekniikan opetuksen tueksi tarvitaan tehokkaita työkaluja, joiden avulla kaapelinmitoitusta ja siihen liittyviä laskenta-arvoja voidaan havainnollistaa opiskelijoille monipuolisemmin.

Työssä selvitettiin, soveltuuko EL-VIS laskentatyökalu käytettäväksi Jyväskylän ammattikorkeakoulun sähkötekniikan opetuksessa. Tavoitteena oli arvioida EL-VIS laskentatyökalun käytettävyyttä sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelman sähkötekniikan opintojaksoilla oppimisen tukena sekä täydentämään käsin tehtävää kaapelinmitoitusta.

Työ toteutettiin toiminnallisena kehittämistyönä, mutta siinä on mukailtu tutkimuksellisen kehittämistyön prosessia. EL-VIS laskentatyökalua tarkasteltiin sähkötekniikan opintojaksojen alustoilla, joiden mukaan tehtiin esimerkkilaskelmia sekä niiden vertailua käsin lasketun ja EL-VIS laskentatyökalulla tuotetun kaapelinmitoituksen välillä.

Tuloksien mukaan, EL-VIS laskentatyökalu nopeutti laskentaa, vähentää virheiden marginaalia ja auttaa hahmottamaan mitoituksen vaikuttavia tekijöitä. EL-VIS osoittautui hyödylliseksi työkaluksi oppimisen tueksi ja helpottamaan kaapelin- ja suojauksen mitoittamista sekä dokumentointia.

Johtopäätöksenä todettiin, että EL-VIS soveltuu opetuksen tueksi, tuomaan lisäarvoa ja vaihtoehtoisia tapoja tehdä mitoituksia. Työkalun avulla voidaan lisätä oppimisen kiinnostusta ja ymmärrystä lasku- ja mitoitustehtäviin sähkötekniikan opintojaksoilla. Jatkokehityksessä suositellaan opiskelijapalautteen keräämistä opintojaksoilla ja mahdollista käytön laajentamista eri opintojaksoille.

### **Avainsanat (asiasanat)**

EL-VIS, laskentatyökalu, kaapelinmitoitus, sähkötekniikka

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

-

**Välivaara Jori**

### **Utilizing the EL-VIS calculation tool in teaching environments**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2025, 42 pages.

Degree Programme in Electrical Engineering Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

Effective tools are needed to support electrical engineering education, particularly to help illustrate cable sizing and related calculation values more comprehensively to students.

This thesis investigated whether the EL-VIS calculation tool is suitable for use in the electrical engineering education at JAMK University of Applied Sciences. The aim was to assess the usability of the EL-VIS calculation tool as a learning aid in electrical engineering courses within the degree programme in Electrical and Automation Engineering, and as a supplement to manual cable sizing.

The work was carried out as a functional development project, but the process was adapted from a research-based development approach. The EL-VIS tool was examined in the context of electrical engineering course platforms, with example calculations made accordingly. These were compared with results obtained through manual calculation and those produced using the EL-VIS tool.

According to the results, the EL-VIS calculation tool accelerated the calculation process, reduced the margin of error, and helped clarify the factors influencing cable sizing. EL-VIS proved to be a useful tool for supporting learning, facilitating cable and protection sizing, and aiding documentation.

In conclusion, EL-VIS is suitable for supporting education by providing added value and alternative methods for performing cable sizing. The tool can help increase student interest and improve understanding of calculation and sizing tasks in electrical engineering studies. For future development, it is recommended to collect student feedback during courses and consider expanding the use of the tool to other courses.

### **Keywords/tags (subjects)**

EL-VIS, calculation tool, cable sizing, electrical engineering

### **Miscellaneous (Confidential information)**

-

## Sisältö

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Johdanto .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>2</b>  | <b>Tutkimusmenetelmä.....</b>                                      | <b>8</b>  |
| 2.1       | Tutkimuksen kuvaus.....  | 8         |
| 2.2       | Tavoite, tarkoitus ja tutkimuskysymykset.....                      | 9         |
| 2.3       | Opinnäytetyön eettisyys ja luotettavuus .....                      | 10        |
| <b>3</b>  | <b>Lainsäädäntö .....</b>  | <b>11</b> |
| 3.1       | Sähköturvallisuuslaki (1135/2016).....                             | 11        |
| 3.2       | Valtioneuvoston asetukset.....                                     | 11        |
| <b>4</b>  | <b>Standardit .....</b>  | <b>13</b> |
| 4.1       | SFS 6000 .....   | 13        |
|           | SFS 6000-5-52:2022.....  | 13        |
|           | SFS 6000-4-43:2022.....  | 13        |
| 4.2       | SFS 6001 .....   | 13        |
| <b>5</b>  | <b>Sähkösuunnittelijan pätevyys .....</b>                          | <b>14</b> |
| <b>6</b>  | <b>Kaapelinmitoitus ja suojaus .....</b>                           | <b>16</b> |
| 6.1       | Kuormitettavuus.....   | 16        |
| 6.2       | Jännitteenalenema pienjännitesähköasennuksissa .....               | 18        |
| 6.3       | Suojaus .....  | 20        |
| 6.4       | Ylikuormitussuojaus .....  | 20        |
| 6.5       | Oikosulkusuojaus.....  | 22        |
| 6.6       | Kaapelin perusmitoitus käsin laskennalla .....                     | 23        |
| <b>7</b>  | <b>Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelman kuvaus.....</b> | <b>27</b> |
| <b>8</b>  | <b>EL-VIS laskentatyökalun hyödyntäminen opetuksessa .....</b>     | <b>28</b> |
| 8.1       | Kurssien kuvaus.....   | 28        |
| 8.1.1     | Sähkösuunnittelu .....   | 28        |
| 8.1.2     | Prosessisähkösuunnittelu .....                                     | 29        |
| 8.1.3     | Rakennussähkösuunnittelu.....                                      | 29        |
| <b>9</b>  | <b>EL-VIS laskentatyökalu .....</b>                                | <b>30</b> |
| 9.1       | EL-VIS laskentatyökalu käyttö .....                                | 30        |
| 9.2       | Kaapelin perusmitoitus EL-VIS laskentatyökalulla .....             | 31        |
| <b>10</b> | <b>Tutkimustulokset.....</b>                                       | <b>37</b> |
| <b>11</b> | <b>Pohdinta.....</b>   | <b>38</b> |
| 11.1      | Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset .....                        | 38        |

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| 11.2 Opinnäytetyön arviointi ..... | 39        |
| 11.3 Jatkotutkimusehdotukset.....  | 40        |
| <b>Lähteet .....</b>               | <b>42</b> |

## **Kuviot**

|   |    |
|---|----|
| Kuvio 1. Sähkösuunnittelijan kelpoisuusvaatimukset.....   | 14 |
| Kuvio 2. Sähköjärjestelmien suunnittelutehtävän vaativuus .....                                   | 15 |
| Kuvio 3. EL-VIS laskentatyökalun yksiviivakaavio tehtävänannon mukaisilla arvoilla .....          | 31 |
| Kuvio 4. EL-VIS laskentatyökalun tulos yksityiskohtaisilla tiedoilla valitusta kaapelista .....   | 32 |
| Kuvio 5. EL-VIS laskentatyökalun kaapeliluettelo tehtävänannon mukaisesta tuloksesta.....         | 33 |
| Kuvio 6. EL-VIS laskentatyökalun kaavatyökalulla laskettu kuormitusvirta .....                    | 34 |
| Kuvio 7. EL-VIS laskentatyökalun tuloskenttä.....   | 35 |
| Kuvio 8. EL-VIS laskentatyökalun yksiviivakaavio esimerkinomaisesta latausinfrastrukturalta ..... | 35 |
| Kuvio 9. EL-VIS laskentatyökalun kaapeliluettelo esimerkinomaisesta latausinfrastrukturalta.....  | 36 |

## **Taulukot**

|  |    |
|--|----|
| Taulukko 1. Johdineristeiden suurimmat sallitut käyttölämpötilat.....    | 16 |
| Taulukko 2. Maksimijännitteenalenema suositukset .....                   | 19 |
| Taulukko 3. Ohje johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrän valintaan .....   | 21 |
| Taulukko 4. Kaapelien korjauskertoimet eri ympäristön lämpötiloille..... | 24 |
| Taulukko 5. Kuormitettavuudet eri asennustavoille .....                  | 25 |

# 1 Johdanto

Sähköalan kehitys on muuttanut sähkösuunnittelua ja tuonut suunnitteluprosesseihin ohjelmistoja, joiden tarkoituksena on tukea sähkösuunnittelijoiden työtä parantamalla laatua ja tuomalla tarkkuutta suunnitelmien laatimiseen. Samalla sähköinsinöörikoulutuksen tarve kehittää opetusta vastaamaan työelämän vaatimuksia muun muassa sisällön, menetelmien ja työkalujen osalta on muuttunut. Materiaalien tehokas hyödyntäminen jo suunnitteluvaiheessa on noussut yhä tärkeämmäksi, minkä vuoksi kaapelinmitoitustyökalut tarjoavat sekä tehokkaan että vastuullisen ratkaisun kestävään suunnitteluun. Kaapelinmitoituksessa käytettävän laskentatyökalun käyttöönotossa otetaan huomioon kestävä kehityksen periaatteet, kuten energiatehokkuus, materiaalien vastuullinen käyttö ja elinkaariajattelu.

Sähkösuunnitteluun ja mitoitukseen on suunniteltu monia erilaisia laskenta- ja mitoitustyökaluja, joita voidaan käyttää suunnittelun tukena. Kaikkien markkinoilla olevien suunnittelutyökalujen käyttöä ei voida kuitenkaan opettaa Jyväskylän ammattikorkeakoulun opintojaksoilla, joten opiskelijoiden on osattava soveltaa ja oppia ymmärtämään kaapelinmitoitusta suunnittelutyökalujen ulkopuolelta. Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus keskittyä EL-VIS laskentatyökalun käyttöön ja selvittää tämän kyseisen laskentatyökalun käytettävyyttä Jyväskylän ammattikorkeakoulun sähkötekniikan opintojaksoilla opetusvälineenä ja oppimisen tukena kaapelinmitoituksessa. Tarkoitus ei ole vertailla EL-VIS laskentatyökalua muihin markkinoilla saatavilla oleviin laskentatyökaluihin ominaisuuksiltaan tai käytettävyydeltään, vaan tarkastella sen soveltuvuutta oppimisympäristöön. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, soveltuuko EL-VIS laskentatyökalu sähkötekniikan opetussuunnitelman mukaisien opintojaksojen kaapelinmitoituksen tueksi ja vaihtoehtoiseksi menetelmäksi käsin laskennan rinnalle.

Kaapelinmitoitusta ja laskentatyökaluja käsitteleviä opinnäytetöitä löytyy useita, mutta ne keskittyvät pääasiassa eri toimeksiantajien tarpeisiin ja ohjelmistojen kehittämiseen. Tämän opinnäytetyön osalta keskitytään erityisesti EL-VIS laskentatyökaluun ja sen hyödyntämiseen Jyväskylän ammattikorkeakoulussa, joten se tekee tästä ainutlaatuisen verrattain aiempiin opinnäytetöihin.

Opinnäytetyössä tutkittiin kaapelinmitoituksen ja suojauksen sekä sähköalan standardien ja määräyksien perusteita. Näiden avulla testattiin EL-VIS laskentatyökalun käyttöä opetussuunnitelman mukaisten sähkötekniikan opintojaksojen laskutehtävissä. Aineisto on tuotu esille niin, että lukijan

olisi helppo ymmärtää kaapelinmitoituksen lähtökohdat ja yhdistää standardipohjainen tieto sekä määräykset suoraan laskennalliseen käytäntöön laskentatyökalulla.

Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Jyväskylän ammattikorkeakoulu ja SmartCraft Oy:n kanssa, joka on EL-VIS laskentatyökalun ylläpitäjä. Jyväskylän ammattikorkeakoulu on korkeakoulu, joka tarjoaa korkeakoulututkintoon johtavaa koulutusta, kuten insinöörikoulutusta, joka painottuu työelämälähtöisyyteen ja käytännön soveltamiseen eri teknologioissa. SmartCraft Oy:n EL-VIS on sähköalan yrityksille ja koulutukseen tarjoava laskentatyökalu, jonka ominaisuudet painottuvat kaapelinmitoitukseen ja sähköisten dokumenttien laatimiseen. EL-VIS laskentatyökalun helppokäyttöisyys, viranomaisvaatimusten noudattaminen ja käytännönläheisyys tekevät siitä erinomaisen myös oppimisympäristöön.

## 2 Tutkimusmenetelmä

Tämä opinnäytetyö on toiminnallinen kehittämistyö, mutta siinä on mukailtu tutkimuksellisen kehittämistyön prosessia Ojasalo, Moilanen, Ritalahti (2015, 24) mukaan. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, voiko EL-VIS kaapelinmitoitustyökalua hyödyntää osana Jyväskylän ammattikorkeakoulun sähkötekniikanopetusta sähkö- ja automaatiotekniikan insinöörikoulutuksessa. Kehittämistyössä hyödynnettiin toiminnallisia menetelmiä sekä tutkimuksellista näkökulmaa.

Toiminnallinen kehittämistyö toiminnallisella ja tutkimuksellisella näkökulmalla soveltuu käytettäväksi työhön hyvin myös siksi, että työn toiminnallisessa osassa päästiin käytännön tasolla käyttämään kaapelinmitoitustyökalua halutussa ympäristössä. Materiaali ja käyttökokemukset saatiin kerättyä kokonaisuudessa työn toiminnallisessa osassa. Valinta tutkimusmenetelmäksi oli luonteva ja helppo, koska aiheesta ei ole valmista aineistoa, jota voisi tarkastelemalla tai vertailemalla päästä lopputulokseen.

### 2.1 Tutkimuksen kuvaus

Opinnäytetyön aihe on tullut työelämä yhteistyökumppanilta. Aihe valikoitui opinnäytetyön kohteeksi ensisijaisesti sen vuoksi, että se herätti henkilökohtaista kiinnostusta. Opinnäytetyö aloitettiin suorittamalla kirjallisuuskatsaus sähköasennusten, eritoten kaapelinmitoituksen perusteisiin, kaapelointistandardeihin ja opintojaksojen kuvauksiin sekä opetussuunnitelman kuvailuun. Lisäksi perehdyttiin EL-VIS kaapelimitoitustyökalun ohjelmiston ominaisuuksiin ja toimintoihin.

Teoria ja tietoperusta laadittiin tutustumalla sähkötekniikan perusteisiin, jotka muodostavat keskeisen osa-alueen kaapelin mitoituksessa. Kaapelin mitoitus edellyttää riittävää ymmärrystä muun muassa sähköteknisistä osa-alueista ja sähkövirran käyttäytymisestä. Kaapelin mitoitukseen liittyvät myös oikeanlainen suojaus sekä sähköturvallisuutta ohjaava lainsäädäntö. Sähköturvallisuuslaki pohjautuu SFS 6000 -standardin mukaisiin ohjeisiin, joten myös sekä sähköturvallisuuslaki että standardit olivat tarkastelun alla tietoperustaa rakennettaessa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella, soveltuuko EL-VIS kaapelinmitoitustyökalu opetuskäyttöön tai oppimisen tueksi opiskelijoille tietyillä opintojaksoilla. Tavoitteena oli selvittää voisiko EL-

VIS kaapelinmitoitus työkalu helpottaa kaapelinmitoitus laskentaa opintojaksoilla tai toimia vaihtoehtoisena/tarkastavana elementtinä kaapelin mitoitus -tehtävissä. Työ rajattiin kuitenkin koskemaan ainoastaan pienjännitesähköasennusten (enintään 1000V) kaapelinmitoitusta, EL-VIS laskentatyökalun käyttämiä ominaisuuksia sekä käsin laskentaa kaapelinmitoitukselle. Muita laskentatyökaluja tai ohjelmia ei ole otettu vertailuun ja ne rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle. Tietoperusta rakennettiin kirjallisuuslähteistä, jotka koskevat opintojaksojen opetussuunnitelmaa, sähkötekniikan perusteita, standardeja, lakeja ja määräyksiä.

Lähestymistavaksi tietoperustan laatimisen jälkeen valittiin toimintatutkimus. Toimintatutkimus (Action research) lähestymistapana mahdollistaa tutkimuksen viemisen käytäntöön. (Ojasalo ym 2015, 37.) Toteutus -vaiheessa testattiin/laskettiin sekä käsin että EL-VIS kaapelinmitoitus työkalulla esimerkkitehtäviä, jotka toimivat vertailevina laskuharjoituksina käsin- ja kaapelinmitoitus työkalulla laskemiseen.

## **2.2 Tavoite, tarkoitus ja tutkimuskysymykset**

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, soveltuuko EL-VIS laskentatyökalu sellaisenaan Jyväskylän ammattikorkeakoulussa käytettäväksi opetustyökaluksi ja missä määrin laskentatyökalua pystyttäisiin opintojaksoilla hyödyntämään. Tavoitteena on tutustua Jyväskylän ammattikorkeakoulun opintojaksoihin ”sähkösuunnittelu”, ”prosessisähkösuunnittelu” ja ”rakennussähkösuunnittelu”, joilla kaapelinmitoituksen laskeminen on kurssi osa-alueena.

Tutkimuskysymykset:

1. Voiko EL-VIS laskentatyökalua hyödyntää Jyväskylän ammattikorkeakoulun sähkösuunnittelun opetuksessa?
2. Voiko EL-VIS kaapelin mitoitus työkalun käyttäminen lisätä opiskelijan ymmärrystä kaapelinmitoituksen laskemisesta

## 2.3 Opinnäytetyön eettisyys ja luotettavuus

Opinnäytetyö on suunniteltu, toteutettu sekä raportoitu Jyväskylän ammattikorkeakoulun kirjallisen raportoinnin ohjetta käyttäen ja noudattaen (Liukko & Perttula 2024). Opinnäytetyössä on noudatettu yleistä huolellisuutta ja rehellisyyttä sekä tarkkuutta tutkimustyössä ja tulosten käsittelyssä. Saatuja tuloksia on käsitelty asianmukaisella huolellisuudella.

Lähteiksi on valittu mahdollisimman uusia lähteitä. Näin varotaan käyttämästä mahdollisesti jo vanhentunutta tai virheellistä tietoa. Tiedonhaussa on pyritty rajaamaan ulkopuolelle yli kymmenen vuotta vanhat lähteet. Lähteinä on käytetty standardeja ja lakeja, joita voidaan pitää alkupe-  
räislähteinä. ChatGPT tekoälysovellusta on käytetty ideointi- ja suunnitteluvaiheessa sekä sopivien hakusanojen muodostamisessa. Tekoälyn tuottamaa sisältöä käytettiin ainoastaan ajatteluprosessin tukena ja kehittämisessä, eikä suoraan itse opinnäytetyössä tai sen toteutusvaiheessa.

Toimeksiantajan lupa laskentatyökalun kuvakaappausten ja materiaalien julkaisuun on varmistettu sekä avoimen verkon julkaisulupa on pyydetty kirjallisena. Vertailevat esimerkit ja niiden sisällöt on toteutettu toimeksiantajan hyväksymällä tavalla, eikä yrityksen salassa pidettävää tai sisäistä tietoa ole tuotu opinnäytetyöhön, joka varmistaa työn sisällön olevan julkaisukelpoista ja eettisesti kestävä. Toimeksiantajan laskentatyökalusta puhuttaessa, siihen on viitattu asianmukaisesti. Toimeksiantaja on antanut työlle hyväksynnän.

## **3 Lainsäädäntö**

### **3.1 Sähköturvallisuuslaki (1135/2016)**

Sähköturvallisuuslain 1135/2016 päämääränä on varmistaa sähkölaitteiston ja -laitteiden turvallisuus ja vaatimuksenmukaisuus. Lain tarkoituksena on myös pyrkiä estämään sähkön käytöstä aiheutuvien sähkömagneettisten häiriöiden haitalliset vaikutukset sekä turvata sähkölaitteen, sähkölaitteiston, sähkövirran tai magneettikentän välityksellä ja vaikutuspiirissä vahingosta kärsineen oikeudet. Sähkösuunnittelijan on noudatettava Sähköturvallisuuslakia (1135/2016) sekä huomiotava sähkölaitteiden ja -laitteistojen vaatimukset sekä turvallisuus suunnittelun eri vaiheissa. (Sähköturvallisuuslaki, 2016.)

### **3.2 Valtioneuvoston asetukset**

Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista (1434/2016) täydentää sähköturvallisuuslain (1135/2016) säännöksiä ja määrittelee sähkölaitteistojen turvallisuusvaatimuksia sekä tarkastusmenettelyjä. 2 §:ssä viitataan liitteeseen, jossa määritellään sähkölaitteistojen turvallisuusvaatimukset. Mikäli vaatimuksista poiketaan 3 §:n mukaan, vaaditaan selvitys, jossa esitellään poikkeavat ratkaisut sekä kuvaus siitä, miten turvallisuusvaatimukset täyttyvät. Selvitykseen on liitettävä myös tilaajan suostumus poikkeamiseen sekä selvityksen laatijan yksilöintitiedot ja allekirjoitus. Nämä voidaan myöhemmin liittää sähkölaitteiston käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan. Asetuksen 4 §:n mukaisesti käyttöönottotarkastuspöytäkirjasta on löydettävä kohteen yksilöintitiedot, rakentajan ja sähkötöiden johtajan tiedot, selvitys sähkölaitteiston säädösten mukaisuudesta, sovelletut standardit, mahdolliset poikkeamat ja niiden olemassaolo, yleiskuvaus tarkastusmenetelmistä sekä tarkastusten ja testausten tulokset. (Sähköturvallisuuslaki, 2016.)

Valtioneuvoston asetus sähkötyöstä ja käyttötyöstä (1435/2016) täydentää sähköturvallisuuslain (1135/2016) säännöksiä ja määrittelee tarkemmin sähkötyön ja käyttötyön turvallisuusvaatimuksia. Asetuksen tarkoituksena on varmistaa sähkö- ja käyttötöiden turvallisuus, minimoiden sähköiskun ja valokaaren aiheuttamat riskit. 5 §:n mukaisesti sähkötyön tekeminen jännitteettömässä sähkölaitteistoissa on varmistettava suorittamalla seuraavat toimenpiteet ennen töiden aloittamista:

- Käyttöjännitteen erottaminen kaikista työkohteen syöttösuunnista
- Jännitteen kytkemisen estäminen työkohteeseen
- Työkohteen jännitteettömyyden toteaminen luotettavasti
- Työmaadoitukset toteutuminen asianmukaisilla välineillä. Erityistarkkuutta vaatii kohteet, joissa kohteeseen voi tulla jännite muuta kautta tai nimellisjännite ylittää 1000 voltia
- Jännitteisten osien eristäminen luotettavasti työalueelta

Asetuksessa korostetaan oikeanlaisten työvälineiden ja -varusteiden käyttöä sähkö- ja käyttötyössä. Sähkölaitteistojen läheisyydessä työskentely voi aiheuttaa sähköiskun tai valokaaren vaaraa, joten työvälineiden ja -menetelmien turvallisuus on varmistettava enne työn aloittamista. (Sähköturvallisuuslaki, 2016.)

## 4 Standardit

### 4.1 SFS 6000

Standardisarja SFS 6000 käsittelee nimellisjännitteeltään enintään 1000 V vaihtojännittellä (AC) ja enintään 1500 V tasajännitteeltään (DC) koskevia sähköasennuksia, jotka perustuvat eurooppalaiseen harmonisointiasiakirjasarjaan CENELEC HD 60364 ja kansainväliseen standardisarjaan IEC 60364. Standardin SFS 6000 ohjeistuksen mukaan toimiminen varmistaa sähköasennuksien täyttävän sähköturvallisuuslain (1135/2016) ja tämän nojalla valtioneuvoston asetusten määrittämät vaatimukset. (SFS 6000-1:2022, 6.)

#### SFS 6000-5-52:2022

SFS 6000-5-52 käsittelee johtojärjestelmien valintaa ja asentamista. Kaapelin mitoituksessa on tärkeää ottaa seuraavat asiat huomioon: johtimen kuormitettavuus, asennustapa, ympäristön lämpötila, jännitteen alenema, oikosulku- ja maasulkuvirrat, suojajohtimen mitoitus ja paloluokitus. (SFS 6000-5-52:2022.)

#### SFS 6000-4-43:2022

SFS 6000-4-43:2022 käsittelee johtimien suojaamista ylikuormitus ja oikosulku tilanteissa. Standardi on otettava mukaan kaapelinmitoitukseen, jotta piirissä esiintyvät ylivirrat saadaan poiskytettyä, ennen kuin se vaurioittaa piirin johtimien eristys-, liitos- ja jatkoskohtia tai ympäröivää aluetta vaarallisesti. (SFS-6000-4-43:2022.)

### 4.2 SFS 6001

Standardi SFS 6001 käsittelee nimellisjännitteeltään yli 1kV ja nimellistaajuudeltaan enintään 60 Hz vaihtojännitteisten sähköasennusten suunnittelua ja rakentamista koskevia vaatimuksia, joihin sovelletaan myös erillisten laitestandardien mukaisia suurjännitelaitteiden valintaa, asentamista ja asennusten välisiä kaapeleita. Tässä työssä SFS 6001 standardia ei käytetä, sillä työssä keskityttiin enintään 1000V pienjännitesähköasennusten kaapelinmitoitukseen. (SFS 6001:2018.)

## 5 Sähkösuunnittelijan pätevyys

Sähkösuunnittelijana toimiminen Suomessa ei ole luvanvaraista toimintaa. Sähkösuunnittelijan pätevyys antaa luotettavat edellytykset kelpoisuudelle, jonka mukaan henkilö on todettu täyttämään vaadittavat vaatimukset työkokemuksen ja koulutuksen osalta. Sähkösuunnittelijan pätevyysiin on tullut muutoksia vuoden 2016 alkupuolella, jonka jälkeen aiemmat vaativuusluokat uudistettiin ja nimettiin: vähäinen, tavanomainen, vaativa ja poikkeuksellisen vaativa. Uudet vaativuusluokittukset muodostavat neliosaisen arviointijärjestelmän, jotka ovat esitetty kuvioissa 1 ja 2 pätevyyden haku ja myöntämisprosessista vastaa lautakunta, johon kuuluu edustajia muun muassa Sähkösuunnittelijat (NSS), Suunnittelu- ja konsultointiyrietykset (SKOL), Sähköinsinöörit (SIL), Sähkötarkastusyhdistys (SÄTY ry), Insinööriliitto ry ja Senaatti-kiinteistöjen osalta. (Sähkösuunnittelijat NSS ry n.d.)

| SÄHKÖSUUNNITTELIJAN KELPOISUUSVAATIMUKSET  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| Vähäinen suunnittelutehtävä  | Tavanomainen suunnittelutehtävä  | Vaativa suunnittelutehtävä  | Poikkeuksellisen vaativa suunnittelutehtävä  |
| Suorittanut sähköalan ammattitutkinnon ja on lisäksi osallistunut vähintään <b>kolmen</b> vuoden ajan sähkösuunnittelutehtäviin, jotka ovat pääosin vaativuusluokan <i>vähäinen suunnittelutehtävä</i> mukaisia. | Suorittanut soveltuvan sähköalan tutkinnon ja on lisäksi osallistunut vähintään <b>kolmen</b> vuoden ajan sähkösuunnittelutehtäviin, jotka ovat pääosin vaativuusluokan tavanomainen sähkösuunnittelutehtävä mukaisia.<br><br>Kokemuksesta vähintään 2/3 osaa on hankittu tutkinnon suorittamisen jälkeen.<br><br>Soveltuvaksi tutkinnoksi katsotaan sähkösuunnitteluun perehdyttävä tekniikan alan korkeakoulututkinto (ins.(AMK), tekniikan kandidaatti, DI) tai sähkövoimatekniikan tekniikan tai insinöörin tutkinto. Soveltuvan korkeakoulututkinnon tai sitä täydentävien opintojen tulee sisältää sähkösuunnitteluun, sähköjärjestelmiin ja sähköturvallisuuteen perehdyttäviä opintoja yhteensä vähintään 30 op. | Suorittanut soveltuvan sähköalan tutkinnon ja on lisäksi vähintään <b>kuuden</b> vuoden sähkösuunnittelukokemus, josta vähintään <b>neljän</b> vuoden kokemus vähintään tavanomaisista sähkösuunnittelutehtävistä (vastuullisena tai avustavana sähkösuunnittelijana) ja vähintään <b>kahden</b> vuoden kokemus avustamista vaativissa sähkösuunnittelutehtävissä.<br><br>Kokemuksesta vähintään 2/3 osa on hankittu tutkinnon suorittamisen jälkeen.<br><br>Soveltuvaksi tutkinnoksi katsotaan sähkösuunnitteluun perehdyttävä tekniikan alan korkeakoulututkinto (ins.(AMK), tekniikan kandidaatti, DI) tai sähkövoimatekniikan tekniikan tai insinöörin tutkinto. Soveltuvan korkeakoulututkinnon tai sitä täydentävien opintojen tulee sisältää sähkösuunnitteluun, sähköjärjestelmiin ja sähköturvallisuuteen perehdyttäviä opintoja yhteensä vähintään 40 op. | Suorittanut soveltuvan sähköalan tutkinnon ja on lisäksi vähintään <b>kymmenen</b> vuoden sähkösuunnittelukokemus, josta vähintään <b>kuuden</b> vuoden kokemus vaativista sähkösuunnittelutehtävistä tai avustamisesta poikkeuksellisen vaativissa sähkösuunnittelutehtävissä, sisältäen vähintään <b>neljä</b> vuotta vastuullisena suunnittelijana toimimista vaativissa tehtävissä.<br><br>Soveltuvaksi tutkinnoksi katsotaan sähkösuunnitteluun perehdyttävä tekniikan alan korkeakoulututkinto (ins.(AMK), DI) tai sähkövoimatekniikan insinöörin tutkinto. Soveltuvan korkeakoulututkinnon tai sitä täydentävien opintojen tulee sisältää sähkösuunnitteluun, sähköjärjestelmiin ja sähköturvallisuuteen perehdyttäviä opintoja yhteensä vähintään 45 op. |

Kuvio 1. Sähkösuunnittelijan kelpoisuusvaatimukset (Sähkösuunnittelijat NSS ry n.d.)

| SÄHKÖJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELUKÄYTÄVÄN VAATIVUUS  |   |   |   |
|---|---|---|---|
| Vähäinen  | Tavanomainen  | Vaativa   | Poikkeuksellisen vaativa  |
| <p>Suunnittelutehtävä kohteessa on vaativuudeltaan vähäinen, yksinkertainen ylläpitokorjaus tai normaalien teknisten järjestelmien korjaaminen.</p> | <p>Suunnittelutehtävä on kohteessa, jonka sähkötekniinen järjestelmä on lähtökohdiltaan tavanomainen ja sen suunnittelu ja mitoitus voidaan tehdä tavanomaisia suunnitteluratkaisuja ja yleisiä mitoitusperusteita käyttäen.</p> <p>Suunnittelutehtävä on esimerkiksi korjaus- tai muutostyö kohteeseen, jossa sähkötekniinen järjestelmä uusitaan tavanomaisella tekniikalla, ja jonka sähkösuunnittelutehtävän vaativuus on alun perin ollut luokassa tavanomainen sähkösuunnittelutehtävä.</p> | <p>Suunnittelutehtävä on kohteessa, jossa sähkötekniisen järjestelmän suunnittelu ja mitoitus edellyttää vaativien teknisten ratkaisuiden hallintaa ja soveltamista.</p> <p>Suunnittelutehtävä kohdistuu esimerkiksi rakennukseen tai sen osaan, jossa on sähkötekniisesti vaativia tiloja ja jonka sähköjakelu on vaativa.</p> <p>Suunnittelutehtävä on esimerkiksi korjaus- tai muutostyö kohteeseen, jonka sähkösuunnittelutehtävän vaativuusluokka on alun perin ollut vaativa sähkösuunnittelutehtävä tai joka on historiallisesti tai rakennustaiteellisesti arvokas.</p> | <p>Suunnittelutehtävä on kohteessa, jossa sähkötekniisen järjestelmän suunnittelu ja mitoitus edellyttää erittäin vaativien teknisten ratkaisuiden hallintaa ja soveltamista sekä projektin kokonaishallintaa.</p> <p>Suunnittelutehtävä kohdistuu esimerkiksi rakennukseen tai sen osaan, jossa on sähkötekniisesti poikkeuksellisen vaativia tiloja (esimerkiksi sairaalat leikkaussaleineen, teatterirakennukset, merkittävät julkiset rakennukset) tai kohde on merkittävän laaja ja tekniikaltaan monipuolinen.</p> <p>Suunnittelutehtävä on esimerkiksi poikkeuksellisen vaativa korjaus- tai muutostyö ja se sisältää sähköjärjestelmien ja rakennuksen arkkitehtuurin yhteensovittamista. Kohteen sähkösuunnittelutehtävän vaativuusluokka on alun perin ollut poikkeuksellisen vaativa sähkösuunnittelutehtävä tai kohde on historiallisesti tai rakennustaiteellisesti arvokas.</p> |

Kuvio 2. Sähköjärjestelmien suunnittelutehtävän vaativuus (Sähkösuunnittelijat NSS ry n.d.)

## 6 Kaapelinmitoitus ja suojaus

### 6.1 Kuormitettavuus

Kaapelin mitoituksessa täytyy ymmärtää kuormitukseen vaikuttavat tekijät ja varmistaa johdon kestävyys siihen kohdistuvassa kuormituksessa ilman ylikuumentumista. Kuormitukseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa johdin- ja eristemateriaali, ympäristön lämpötila, asennustapa ja muut lähellä kulkevat virtapiirit. Virran aiheuttama lämpö täytyy luovuttaa ympäristöön, joten johtimen lämmönluovutuskyky määrittää johtimen kuormitettavuuden. (Tiainen 2022, 218.)

Johtimen kuormitettavuuden mitoitus alkaa johdin- ja eristemateriaalien sekä asennusolosuhteiden tarkastelusta. Johtimen kuormitusvirta on mitoitettava niin, ettei johdin kuumene liikaa ja ylitä sallittuja käyttölämpötiloja vaurioittaakseen johtimen eristemateriaalia. SFS 6000-5-52:2022 standardin taulukko 52.1 määrittelee eristetyypeille suurimmat sallitut käyttölämpötilat, joiden vaatimukset ovat esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Johdineristeiden suurimmat sallitut käyttölämpötilat (SFS 6000-5-52:2022, 14)

| Eristetyyppi  | Lämpötilan raja-arvo °C |
|---|-------------------------|
| Termoplastinen muovi (PVC, HFFR, PE)  | 70 (johtimessa)         |
| Silloitettu polyeteeni (PEX), ja eteenipropreenikumi (EPR)                        | 90 (johtimessa)         |
| Mineraali (PVC:llä päällystetty tai paljas ja kosketeltavissa)                    | 70 (vaipassa)           |
| Mineraali (paljas, ei kosketeltavissa eikä kosketuksissa palaviin materiaaleihin) | 105 (vaipassa)          |

Kaapelin asennustavoissa sovelletaan standardin SFS 6000-5-52:2022 taulukon B.52.1 referenssi-asennustapoja, jotka toimivat kuormitettavuuksien perustana. Taulukoista löytyvät yksittäisten piirien testatut tai laskennalliset kuormitettavuudet asennustavoille A1 (eristettyjen johtimien uppo-asennus seinässä), A2 (monijohdinkaapelin uppoasennus seinässä) B1 (eristetyt johtimet putkeen asennettu seinäpinnalla), B2 (monijohdinkaapeli putkeen asennettu seinäpinnalla) C (yksi- tai monijohdinkaapelin pinta-asennus), D1 ja D2 (maa-asennus putkessa tai ilman) sekä E, F ja G (vapaasti ilmaan tehtävä asennus). (SFS 6000-5-52:2022, B.52.6.1.)

Ympäristön lämpötilana käytetään standardin SFS 6000-5-52:2022 B.52.2.1 referenssilämpötiloja, kun lasketaan kaapelin tai johtimien kuormitettavuusarvoja. Standardin SFS 6000-5-52:2022, B.52.2.1 mukaisesti Suomessa voidaan soveltaa lämpötiloja 25 °C ilmassa ja 15 °C maassa, käyttämällä sopivia korjauskertoimia. Tilanteissa, joissa kaapelin tai johtimien alkuperäisen sijoituspaikan lämpötila eroaa referenssilämpötiloista, kuormitettavuuksiin on käytettävä korjauskertoimia standardin SFS 6000-5-52:2022, taulukoista B.52.14 ja B.52.15. (SFS 6000-5-52:2022, 30.)

Useimmista kaapelin mitoituslaskelmista selviää käyttämällä standardin SFS 6000-5-52:2022 taulukon B.52.1 mukaisten referenssi-asennustapojen A-E peruskuormitettavuuksia. Taulukoiden arvot on luotu PVC-eristeisille kolmivaihepiireille, joten niitä voidaan soveltaa myös yksivaihepiireille ja PEX-eristeisille kaapeleille. (Tiainen 2022, 219.) Todellisen kuormitettavuuden laskennassa korjauskertoimet muodostuvat johdin- ja eristemateriaalin, asennustavan, ympäristön lämpötilan ja muiden lähellä kulkevien virtapiirien arvoista. Todellisen kuormitettavuuden pystyy laskemaan kaavalla 1. (SFS 6000-5-52:2022, liite 52Y.)

$$I_z = I_{zp} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_x \quad (1)$$

jossa

$I_z$  = todellinen kuormitettavuus (A)

$I_{zp}$  = peruskuormitettavuus (A)

$k_{1\dots x}$  = asennusolosuhteiden määrittämät korjauskertoimet

Asennustapojen D1 ja D2 mukaisesti asennettavan kaapelin lämpöresistiivisyyttä tarkasteltaessa on laskennassa käytettävä standardissa IEC 60364-5-52 määritettyä maailmanlaajuista arvoa 2,5 K

m/W, mutta Suomessa laskennassa käytetään standardisarjan IEC 60287 osan 3–1 mukaan lämpöresistiivisyyden arvoa 1,0 K m/W. Poikkeustapauksissa, joissa lämpöresistiivisyys on suurempi kuin 2,5 K m/W, on kuormitettavuutta tärkeää pienentää korjauskertoimia hyödyntäen tai johtimien ja kaapelien ympäröivän maa-aineksen muuttaminen sopivampaan. (SFS 6000-5-52:2022, B.52.3.)

Lähellä kulkevien kuormitettujen virtapiirien tarkastelussa käytetään standardin SFS 6000 osan 5–52 taulukoita B.52.17 – B.52.21. Taulukot antavat korjauskertoimet useamman, kuin yhden virtapiirin ryhmille, joiden suurin sallittu käyttölämpötila on yhdenmukainen muiden virtapiirien kanssa. Käyttölämpötilojen poiketessa toisistaan on käytettävä käytössä olevan ryhmän heikoimman kaapelin tai johtimen kuormitettavuuden arvoja sekä korjauskertoimia. (SFS 6000-5-52:2022, 523.5.)

## 6.2 Jännitteenalenema pienjännitesähköasennuksissa

Kaapelien mitoituksessa on huomioitava myös jännitteenalenema, joita pienjänniteasennusten liittymiskohdan ja sähkölaitteiden välisessä tarkastelussa tulee vastaan. Jännitteenalenema voidaan laskea SFS 6000 liitteen 52G kaavojen lisäksi myös seuraavilla kaavoilla. (Tiainen 2022, 239.)

Tasajännitteellä:

$$\Delta U = I \cdot 2 \cdot r \cdot l \quad (2)$$

Yksivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$\Delta U = I \cdot 2 \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi \pm x \cdot \sin \varphi) \quad (3)$$

Kolmivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$\Delta U = I \cdot l \cdot \sqrt{3} \cdot (r \cdot \cos \varphi \pm x \cdot \sin \varphi) \quad (4)$$

Suhteellisen jännitteenaleneman saa laskettua kaavasta:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100\% \quad (5)$$

jossa

$\Delta U$  = jännitteenalenema volteissa (V)

$I$  = kuormitusvirta (A)

$l$  = johdon pituus (m)

$r$  = ominaisresistanssi ( $\Omega/m$ )

$x$  = ominaisreaktanssi ( $\Omega/m$ )

$\varphi$  = jännitteen ja virran välinen vaihekulma

$\Delta u$  = suhteellinen jännitteenalenema

$U_n$  = nimellijännite

Kaavoja käytettäessä plusmerkki tarkoittaa induktiivista- ja miinusmerkki kapasitiivista kuormaa.

SFS 6000 standardissa esitellään suosituksia normaaleiden pienjänniteverkkoon liitettyjen sähkölaitteiden jännitteenalenemasta, jotka eivät kuitenkaan ole velvoittavia. Yksittäisen teholähteen syöttämän sähkölaitteen suurimmat jännitteenalenemat voivat kuitenkin olla suosituksia suurempia. (Tiainen 2022, 239.) Sähkölaitteen ja liittymiskohdan maksimijännitteenalenema suositukset ovat standardin SFS 6000 taulukon G.52.1 mukaisesti esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Maksimijännitteenalenema suositukset (SFS 6000-5-52:2022, 62)

| Asennuksen tyyppi   | Valaistuskuorma<br>% | Muu kuorma<br>% |
|---|----------------------|-----------------|
| A – Pienjänniteasennus (syötetty suoraan jakeluverkosta)                      | 3                    | 5               |
| B – Pienjänniteasennus (syötetty yksittäisestä pienjännite-<br>teholähteestä) | 6                    | 8               |

### 6.3 Suojaus

Sähköturvallisuutta tarkasteltaessa on suunnitteluvaiheessa varmistettava sähköasennusten suojauksen perusvaatimusten toteutuminen SFS 6000 standardisarjan osa 1: sen mukaan, joko laskevien avulla tai muulla tavoin. Perusteluna on työläs ja kallis asennuksen korjaaminen jälkeenpäin, väärin mitoitettun suojauksen tilalle. Perusvaatimuksella tarkoitetaan vikasuojauksen, ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksen toteutumista. (Tiainen 2022, 26.)

Ylivirtasuojaus on tärkeässä osassa sähköjärjestelmien turvallisuutta ja toimintavarmuutta. Ylivirtasuojauksen on tarkoitus estää kaapelit vaurioitumiselta ennen kuin piirissä esiintyvä mahdollinen ylivirta aiheuttaa vaaraa johtimien eristyksille, jatkoksille, liittimille tai johtimen ympäröivälle alueelle. (SFS 6000-4-43:2022, 430.3.) Pienjänniteverkon asennuksissa käytetään yleensä suojalaitetta, joka toimii samalla ylikuormitussuojana ja oikosulkusuojana. Näiden lisäksi ylivirtasuojaa käytetään myös vikasuojauksessa, jolloin sen mitoitusvaiheessa on huomioitava standardin 6000 luvun 41 vaatimukset. Ylikuormitussuojalaitteena voi toimia pelkästään moottorinsuojakatkaisija, johdonsuojakatkaisija tai sulake, jos suojalaitteen virrankatkaisukyky ei ole riittävä. Erillistä ylikuormitussuojaa käytettäessä on oikosulkusuojan nimellisvirran oltava johtimen kuormitettavuutta suurempi. Oikosulkusuojalaitteena käytettävän sulakkeen nimellisvirta täytyy olla pienempi, kuin ylikuormitussuojalaitteen etusulakkeen suurin nimellisvirta. (Tiainen 2022, 132.)

### 6.4 Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojauksessa on tärkeää tarkastella nimellisvirran lisäksi toiminta-arvoja, joita erilaiset suojalaitteet tarjoavat. Yleisesti ylikuormitussuojaus toteutetaan johdonsuojakatkaisijalla, katkaisijalla tai sulakkeella. (Tiainen 2022, 133.) Ylikuormitussuojana käytettävän suojalaitteen on täytettävä standardin SFS 6000-4-43:2022 kohdan 433.1 ehdot suojalaitteiden ja johtimien yhteen sovittamiseksi kaavojen (6) ja (7) mukaisesti (SFS 6000-4-43:2022, 433.1).

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (6)$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \quad (7)$$

jossa

$I_B$  = suunniteltu piirin virta

$I_z$  = johtimen jatkuva kuormitettavuus

$I_n$  = suojalaitteen mitoitusvirta

$I_2$  = virta, jolla suojalaite toimii sen määrittämällä tavanomaisella toiminta-ajalla

Ylikuormitussuojalaitteena standardin SFS-EN 60 898 mukaisia B-, C- ja D-tyyppisiä johdonsuojakatkaisijoita käytettäessä voidaan ylikuormitussuoja valita suoraan johdon kuormittavuuden perusteella, koska näiden johdonsuojakatkaisijoiden terminen toimintarajavirta on 1,45 kertaa suojalaitteen nimellisvirta (Tiainen 2022, 133–134). Johdonsuojakatkaisijoiden tyytit jaotellaan suojalaitteen laukaisukäyrien mukaisesti eri käyttötarkoituksiin. Laukaisukäyrät kertovat johdonsuojakatkaisijan nopeuden katkaista piirin sähkövirran ylikuormitus- ja oikosulkutilanteissa, joten tämän vuoksi ne on valittava taulukon 3 mukaisesti oikeaan käyttökohteeseen (Sähköinfo Oy 2015, 7).

Taulukko 3. Ohje johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrän valintaan (Sähköinfo Oy 2015, 7)

| Käyrä                    | Käyttökohde  |
|--------------------------|--|
| B (nopea)                | Resistiiviset kuormat, johtojen suojaus, lämmitys ja valaistus   |
| C (hidas)                | Vastaava kuin B, lisäksi induktiiviset ja kapasitiiviset kuormat   |
| D, K<br>(erittäin hidas) | Voimakkaasti induktiiviset ja kapasitiiviset kuormat, jotka aiheuttavat voimakkaita käynnistyssysäyksiä. Muuntajat, moottorit, kondensaattorit, virtalähteet, hitsauskoneet yms. |
| Z, A<br>(erikoisnopea)   | Pitkät kaapelit, joiden oikosulkuvirta on todella alhainen. Lisänä tyristorit, diodit, ja mittamuuntajat   |

Katkaisijan käyttö ylikuormitussuojana, toimintavirta pystytään asettamaan releestä suoraan johdon kuormittavuuden perusteella. Ylikuormitussuojana käytettävän sulakkeen valinnassa on hyödynnettävä kaavaa 8, koska pelkän johtimen kuormitettavuuden perusteella ylikuormitussuojausta ei pystytä toteuttamaan sulakkeen ylemmän sulamisrajavirran (virta, jolla sulakkeen toiminta varmistetaan tunnissa) takia. (Tiainen 2022, 133–134.)

$$k \cdot I_n \leq 1,45 \cdot I_z \quad (8)$$

jossa

$I_n$  = suojalaitteen nimellisvirta

$I_z$  = johtimen jatkuva kuormitettavuus

$k$  = ylemmän sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde

## 6.5 Oikosulkusuojaus

Oikosulku tarkoittaa yhden tai useamman johtavan osan välistä potentiaaliero, joka pyrkii osien välissä nolnaan tai lähelle nolaa. Tahaton tai tahallinen johtimien yhdistyminen oikosulkutilanteeseen voi aiheutua muun muassa johtimen eristyksen vahingoittumisesta. (SFS 6000-1:2022, 32.)

Oikosulkusuojauksen periaate on virtapiirin vaihejohtimissa aiheutunut oikosulkuvirta, joka on katkaistava mahdollisimman nopeasti, ennen kuin oikosulkuvirta saa aikaan vaurioita virtapiirin johtimiin (Tiainen 2022, 139–140).

Oikosulkusuojauksen vaatimuksena on standardin SFS 6000 kohta 434.5.2, jonka mukaan oikosulkuvirran katkaisuaajan on oltava sellainen, että johtimen suurin sallittu rajalämpötila ei ylity. Kaavaa 9 käytetään enintään viisi sekuntia kestävien oikosulkujen laskennassa, josta saadaan aika, jonka kuluessa johtimen sallittu rajalämpötila saavutetaan johtimelle oletetussa suurimmassa käyttölämpötilassa ennen oikosulkua. (SFS 6000-4-43:2022, 434.5.2.)

$$t = (k \cdot S / l)^2 \quad (9)$$

jossa

$t$  = oikosulun kesto aika (sekunteina)

$S$  = johtimen poikkipinta-ala ( $mm^2$ )

$l$  = tehollinen oikosulkuvirta (A)

$k$  = kerroin, joka huomioi johdinmateriaalin resistiivisyyden, lämpötilakertoimen, lämmönvarauskyvyn sekä alku- ja loppulämpötilat

Tämän kaavan hyödyntäminen edellyttää enintään viiden sekunnin kestävästä sallittua oikosulun kesto, muutoin vertailuun tarvitsee ottaa mukaan suojalaitteen toimintakäyrä ja johtimen lämpenemiskäyrä. Erillistä oikosulkusuojasta käytettäessä oikosulkusuojan nimellisvirran on oltava suurempi kuin johtimen jatkuva kuormitettavuus, joten yhdistelmäsuojasta (ylikuormitus- ja oikosulkusuoja) käytettäessä riittää että suojan valinta on tehty johdon kuormitettavuuden perusteella ( $I_z > I_n$ ). (Tiainen 2022, 140.)

## 6.6 Kaapelin perusmitoitus käsin laskennalla

### Esimerkkilasku 1: Kaapelin poikkipinta-alan määrittäminen käsin laskennalla

Kaapelin kuormitusvirta on 117 A ja se asennetaan kaapelitikkaille 8 muun kaapelin kanssa kiinni toisiinsa. Ympäristön lämpötila on +35°C. Mitoitetaan kaapelin poikkipinta-ala, kun eristys ja johdinmateriaaleina käytetään:

- a) PVC, kupari
- b) PVC, alumiini
- c) PEX, kupari
- d) PEX, alumiini

(Sähkösuunnittelu opintojakso, JAMK 2025)

- a) PVC, kupari

Standardin SFS 6000-5-52:2022 taulukosta B.52.14 saadaan eriste- ja johdinmateriaaleista aiheutuvat korjauskertoimet ympäristön lämpötilalle +35°C taulukon 4 mukaisesti:

Taulukko 4. Kaapelien korjauskertoimet eri ympäristön lämpötiloille (SFS 6000-5-52:2022, 48)

| Ympäristön<br>lämpötila<br>°C | Eristys |            |
|-------------------------------|---------|------------|
|                               | PVC     | PEX ja EPR |
| 35                            | 0,94    | 0,96       |

Taulukon 4 mukaisesti valittiin korjauskerroin PVC eristeiselle kuparikaapelille lämpötilassa +35°C:

$$\rightarrow k_1 = 0,94$$

Asennustapana on käytetty kaapelitikasta ja rinnakkain on asennettu 8 muuta kaapelia, eli yhteensä 9 vierekkäisen kaapelien korjauskertoimet saadaan SFS 6000-5-52:2022 taulukosta B.52.20.

$$\rightarrow k_2 = 0,78$$

Kuormitusvirran ja korjauskertoimien avulla saadaan laskettua vaadittu peruskuormitettavuus kaapelille kaavan 10 mukaisesti:

$$I_{ZPV\ddot{A}H} = \frac{I_B}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} = \frac{117A}{0,94 \cdot 0,78} = 159,6 \text{ A} \quad (10)$$

Laskennan jälkeen valitaan standardin SFS 6000-5-52:2022 taulukon B.52.10 mukaisesti kaapelien poikkipinta-ala, jonka peruskuormitettavuus on vähintään  $I_{ZPV\ddot{A}H}$  suuruinen.

$$\rightarrow A = 95 \text{ mm}^2$$

Tehtävän kohtien b), c) ja d) laskennassa edetään vastaavalla menetelmällä, kuin kohdassa a). Kuormitusvirta pysyy tehtävänannon mukaisesti samana, mutta eristys- ja johdinmateriaalit vaihtuvat, joten korjauskertoimet pitää valita tehtäväkohtaisesti standardin SFS 6000 taulukoista. Kun peruskuormitettavuus on saatu laskettua, valitaan jälleen standardin mukaisesti kaapelin poikkipinta-ala, jonka peruskuormitettavuus on vähintään  $I_{ZPV\ddot{A}H}$  suuruinen.

### Esimerkkilasku 2: Kaapelin peruskuormitettavuuden määrittäminen käsin laskennalla

Kaapelissa on 3 kuormitettua PVC-eristeistä kuparijohdinta ja johtimen poikkipinta-ala on  $A = 6\text{mm}^2$ . Kaapelin asennusreitillä on käytetty asennustapoja: D1, B2 ja A2. Mikä on standardiolosuhteisiin asennettun kaapelin suurin sallittu peruskuormitettavuus  $I_{zp}$ ? (Sähkösuunnittelu opintojakso, JAMK 2025.)

Standardin SFS 6000-5-52:2022 taulukosta B.52.4 saadaan kuormitettavuudet ampeereina (A), PVC-eristeisille kuparijohtimille/kolme kuormitettua johdinta sekä taulukon B.52.1 mukaisille asennustavoille taulukon 5 mukaisesti:

Taulukko 5. Kuormitettavuudet eri asennustavoille (SFS 6000-5-52:2022, 38)

| Johtimen nimellispoikkipinta<br>(mm <sup>2</sup> )<br>Kupari | Asennustapa<br>(B.52.1)<br>D1 | Asennustapa<br>(B.52.1)<br>B2 | Asennustapa<br>(B.52.1)<br>A2 |
|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 6  | 38                            | 34                            | 29                            |

Standardiolosuhteisiin asennettavan kaapelin pienin kuormitettavuusarvo on **29 A** (Asennustapa A2), joten se on kaapelin mitoituksen rajoittavin tekijä ja määrittää kaapelin suurimman sallitun kuormitusvirran koko asennusreitinvälillä.

### Esimerkkilasku 3: Kuormitusvirran laskenta ja johtimen poikkipinta-alan määrittäminen käsin laskennalla

3-vaiheinen kuormitus, jonka näennäisteho on  $S = 49 \text{ kVA}$ . Kuormitus on kytketty  $400 \text{ V}$ :n sähköverkkoon standardiolosuhteisiin asennetulla kaapelilla, jossa on PVC-eristeiset kuparijohtimet. Laske kuormitusvirta  $I_B$  ja mitoita johtimen poikkipinta-ala ( $A$ ) asennustavalle E. (Prosessisähkösuunnittelun opintojakso, JAMK 2025.)

3-vaiheisena siirrettävä näennäisteho saadaan laskettua kaavalla 11.

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (11)$$

jossa

$S$  = näennäisteho

$U$  = jännite

$I$  = virta

Ratkaistaan edellisestä kaavasta virran suuruus:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Tehtävänannon näennäisteho on  $S = 49 \text{ kVA}$  ja jännite  $U = 400 \text{ V}$ , jolloin kuormitusvirta on

$$I_B = \frac{S_{TOT}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{49000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} = 70,73 \text{ A}$$

Valitaan standardin SFS 6000-5-52:2022 taulukosta B.52.10 sarakkeen 3 mukaisesti edellä laskettua kuormitusvirtaa suurempi peruskuormitettavuus  $I_{zp} = 80 \text{ A}$ , joka vastaa poikkipinta-alaa  $A = 16 \text{ mm}^2$ .

## 7 Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelman kuvaus

Jyväskylän ammattikorkeakoulussa koulutetaan sähkö- ja automaatiotekniikan insinöörejä. Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelman opetussuunnitelma Jyväskylän ammattikorkeakoulussa mahdollistaa suuntautumisen opintojen aikana joko sähkövoima- tai automaatiotekniikkaan.

Suuntautumisopinnoissa keskitytään kehittämään valitun alueen sähkövoima- tai automaatiotekniikan osaamista ja asiantuntijuutta uusiutuvan alan mukaisesti. (Opetussuunnitelma, JAMK n.d.)

Automaatiotekniikan suuntautumisopinnoissa opiskelija keskittyy tuotantolinjojen suunnitteluun sekä yritysten tuotteisiin sisältyvän automaation, säätöjen, käyttöliittymien ja ohjausjärjestelmien kehittämiseen. Automaatiototeutuksen eritasot teollisuuslaitoksessa ja teollisuuden keskeiset osaprosessit tarkentuvat opintojen aikana. Automaatiotekniikan suuntautumisopintojen jälkeen opiskelija pystyy suunnittelemaan ja toteuttamaan erilaisia ohjausjärjestelmiä ja arvioimaan eri vaihtoehtoja sekä ohjaus- että säätöratkaisuihin. (Opetussuunnitelma, JAMK n.d.)

Sähkötekniikan suuntautumisopinnoissa keskitytään sähkösuunnitteluprosessin eri vaiheiden lisäksi suunnittelussa käytettävien laskenta- ja mitoitusmenetelmien hallintaan sekä mitoitusmenetelmien ja suunnittelutyökalujen käyttöön. Opintojen jälkeen opiskelijalla on valmiudet mitoittaa ja valita sähköjärjestelmät siten, että teknistaloudellinen näkökanta tulee huomioiduksi. Oleellisenä osana opintosuunnitelmassa korostetaan sähköturvallisuussäädösten ja standardien ymmärtämistä sekä niiden noudattamista ja soveltamista työtehtävissä. (Opetussuunnitelma, JAMK n.d.)

## 8 EL-VIS laskentatyökalun hyödyntäminen opetuksessa

### 8.1 Kurssien kuvaus

Tässä kappaleessa on kuvattu sähkösuunnittelun, prosessisähkösuunnittelun ja rakennussähkösuunnitteluprojektin opintojaksokokonaisuuksia Jyväskylän ammattikorkeakoulussa. Sähkötekniikan perusosaaminen sisältyy myös automaatiotekniikan perusosaamisen kursseille, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään sähkösuunnitteluun ja tämä opintokokonaisuus sisältyy sähkövoimatekniikan suuntautumisopintoihin. (Opetussuunnitelma, JAMK n.d.)

#### 8.1.1 Sähkösuunnittelu

Sähkösuunnittelun opintojaksolla osaamistavoitteina on saada kokonaiskuva sähkösuunnitteluprojektin eri vaiheista ja hahmottaa pienjännitteisen sähköverkon rakennetta (Sähkösuunnittelun opintojaksokuvaus, JAMK n.d.). Opintojaksolla opiskelu edellyttää sähkötekniikan perusosaamista eli esimerkiksi sähkötekniikan perussuureet ja lainalaisuudet, tasa- ja vaihtosähköpiirien laskut. Lisäksi sähkötekniikan perusteiden opintojaksolla osaamistavoitteina on myös ymmärtää vastuksen, kelan ja kondensaattorin toiminnan osana sähköpiiriä sekä myös vaihtosähkön tehokäsitteet ja resonanssi-ilmiön merkityksen sähkötekniikassa. (Sähkötekniikan opintojaksokuvaus, JAMK n.d.)

Sähkösuunnittelun opintojaksolla on tarkoitus opiskella käytännön soveltamista, sekä monialaista osaamista, jonka perusteet on opiskeltu jo sähkötekniikan opintojaksoilla (Sähkötekniikan, ja -suunnittelun opintojaksokuvaus JAMK, n.d.). Opintojaksolla jo opitun soveltaminen käytäntöön tarkoittaa muun muassa standardien ja määräysten merkityksien ymmärtämistä sähkösuunnittelussa ja tutustumista laskenta- ja simulointiohjelmiin sekä niiden käyttöä apuna komponenttien ja suojausten mitoituksessa. Opiskelija hallitsee kuormituslaskennan perusteet, osaa soveltaa teknillistaloudellisia mitoitusmenetelmiä komponenttien valinnassa sekä tuntee sähkönjakeluverkon ja rakennusten sähköverkon rakenteet ja osaa mitoittaa niiden komponentit. (Sähkötekniikan opintojaksokuvaus, JAMK n.d.)

### 8.1.2 Prosessisähkösuunnittelu

Prosessisähkösuunnittelun opintojaksolla osaamistavoitteena on tutustua teollisuuden prosessien sähköistämiseen ja suunnittelukäytäntöihin, sekä hankintasuunnitteluun. Sähkötekniikan suunnitteluosaamista edellytetään opintojaksolla opiskeltaessa, sillä tämä kurssi antaa työkalut toimia teollisuuden sähkösuunnittelijana erilaisissa projektin vaiheissa. Osaamistavoitteiden saavuttamiseksi opiskelijan tulee hallita prosessisähköistyksen pääkaavio-, sijoitus- ja kaapelointisuunnittelun, sekä maadoitusjärjestelmän suunnittelu. Näiden lisäksi opintojaksolla opiskelija saa valmiuksia suunnitella instrumentointia, saattolämmitystä, valaistusta ja erilaisia järjestelmiä, kuten apu- ja turvajärjestelmiä. (Prosessisähkösuunnittelun opintojaksokuvaus, JAMK 2025.)

Opintojaksolla tarkastellaan sähkönjakeluverkon ja rakennusten sähköverkon rakenteita, komponenttien mitoittamista ja sähkönjakelun kojeiden ja kojeistojen toimintaperiaatteiden ymmärtämistä, sekä sähköjärjestelmien suojausta ja käytönvalvontaa (Prosessisähkösuunnittelun opintojaksokuvaus, JAMK 2025).

### 8.1.3 Rakennussähkösuunnittelu

Rakennussähkösuunnittelun opintojaksolla osaamistavoitteena on tarkastella sähkösuunnittelu- projekteja, joiden keskeiset termit, periaatteet, tuntimäärien arviointi ja toteutuksen seuraaminen kuuluvat projektin kulkuun. Sähköisten dokumentaatioiden laatiminen kuuluu sähkösuunnittelu- projektin vaiheisiin, joten kurssilla päästään harjoittelemaan maadoituskaavioiden, tasopiirrustusten ja erilaisten luetteloiden luomista. Rakennussähkösuunnittelu opintojakson vaatimuksena on sähkötekniikan perusosaaminen, jonka avulla pystytään edistämään osaamista suunnitteluprojektien eri osa-alueilla, sillä sähkötekniikan termistö ja perusteet ovat avainasemassa suunnittelussa. Talous, organisaatio ja johtamisen näkökulmat ovat esillä opintojaksolla, ja tämän kautta ymmärrys suunnittelun kustannustehokkuudesta parantuu. (Rakennussähkösuunnittelun opintojaksokuvaus, JAMK 2025.)

## 9 EL-VIS laskentatyökalu

EL-VIS on osa SmartCraft-konsernia, joka keskittyy yksinkertaistamaan sähköalan prosesseja ja tukemaan alan ammattilaisten työtä. EL-VIS on sähköalan yrityksille suunnattu ohjelmisto, joka tarjoaa digitaalisia työkaluja helpottamaan kaapelin mitoitus ja sähköistä dokumentointia. Ohjelmiston ominaisuuksiin lukeutuu kaapelin mitoitus ja sähköinen dokumentointi. Selaimella toimiva digityökalu on suunniteltu kaapelinmitoitukseen ja dokumentointiin. Sen tavoitteena on optimoida sähköjärjestelmän suorituskyky ja välttää yli- ja alimitoitukset turvallisuutta lisäten. Järjestelmästä on mahdollista saada valmis pöytäkirjapohja, jonka on katsottu olevan vaatimusten mukainen. (EL-VIS n.d.)

EL-VIS on suunniteltu siten, että se soveltuu myös sähköalan opintojen tueksi. Järjestelmässä opettajat voivat luoda harjoitustehtäviä. Opiskelijana ohjelmistoa voidaan hyödyntää esimerkiksi harjoituskohteiden mitoituksessa ja dokumentaation laatimisessa. (EL-VIS n.d.)

### 9.1 EL-VIS laskentatyökalu käyttö

EL-VIS laskentatyökalua voidaan käyttää kaapelinmitoitukseen ja muuhun dokumentointiin nopeasti ja helposti eri laitteilla, kuten tietokoneella, tabletilla tai puhelimella. Kaapelit voidaan mitoittaa muun muassa kuormittavuuden, johtimen poikkipinta-alan, jännitehäviön, laukaisuolosuhteiden ja suojauksen perusteella. Visuaalisesti selkeä yksiviivakaavio tai kaapeliluettelo toimii laskennan pohjana, josta on helppoa käsitellä kokonaisia sähköasennusprojekteja. (EL-VIS n.d.)

Laskentatyökalun laskelmat perustuvat kansainvälisiin ja eurooppalaisiin standardeihin, joiden pohjalta myös Suomessa käytettävä SFS 6000 -standardisarja on kehitetty. Tällä pidetään EL-VIS laskentatyökalu linjassa virallisten turvallisuusstandardien ja määräysten kanssa, sekä soveltuvuus viralliseksi mitoitus vaihtoehdoksi. (EL-VIS n.d.)

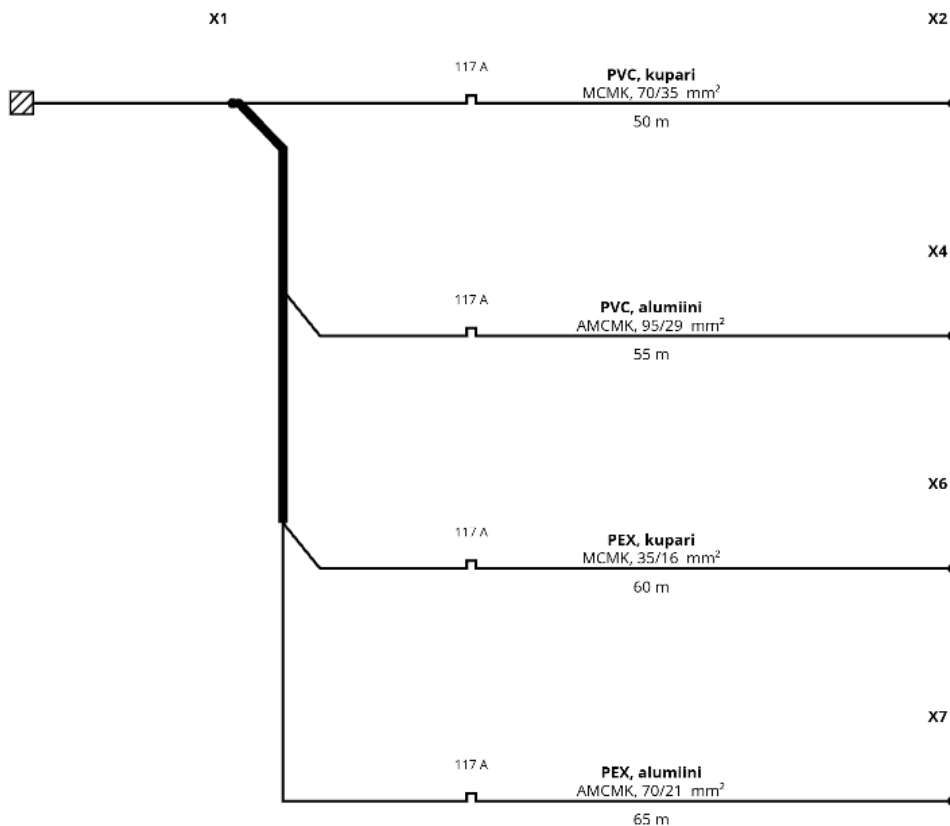
## 9.2 Kaapelin perusmitoitus EL-VIS laskentatyökalulla

### Esimerkkilasku 1: Poikkipinta-alan laskenta EL-VIS kaapelinmitoitustyökalulla

Kaapelin kuormitusvirta on 117 A ja se asennetaan kaapelitikkaille 8 muun kaapelin kanssa kiinni toisiinsa. Ympäristön lämpötila on +35°C. Mitoitetaan kaapelin poikkipinta-ala, kun eristys ja johdinmateriaaleina käytetään:

- a) PVC, kupari
- b) PVC, alumiini
- c) PEX, kupari
- d) PEX, alumiini

(Sähkösuunnittelu opintojakso, JAMK 2025)



Kuvio 3. EL-VIS laskentatyökalun yksiviivakaavio tehtävänannon mukaisilla arvoilla (EL-VIS n.d.)

Laskennassa hyödynnettiin EL-VIS kaapelinmitoitus työkalua. Lähtötietoina käytettiin tehtävänannon mukaisia arvoja sekä hypoteettisia kaapelin pituuksia, jotka eivät vaikuta lopputulokseen. Arvojen perusteella pystyttiin mitoittamaan poikkipinta-alat tehtävänannon mukaisille johdin- ja eristysmateriaaleille. Mitoituksen jälkeen kaapelinmitoitus työkalulla saatiin tehtyä muun muassa visuaalisesti selkeä yksiviivakaavio, josta on helppo lukea ja muokata eri kaapelien laskenta-arvoja ja täten tehdä vertailua vaihtoehtoisista kaapeleista. Lopuksi tuloksesta pystytään tekemään tuloste, josta löytyy esimerkiksi kuvan 3. mukaisesti kaapelin yksityiskohtaiset tiedot A4 kokoisena pdf tiedostona.

| Tulopiste                                 |                          | Määritetyt tiedot kohde PEX, alumiini |                                   |                       |                                |                               |
|---|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| <b>Lisätiedot</b>                         | <b>Perustiedot</b>       | <b>Kaapeli ja suojaus</b>             |                                   | <b>Asennustapa</b>    |                                |                               |
| Impedanssi                                | - Järjestelmän maadoitus | TN-järjestelmä                        | Kaapelin tyyppi                   | AMCMK (Al)            | Asennustapa                    | E - Monijohdinkaapeli ilmassa |
| Oikosulkuvirta $ik_{3max}$                | - Jännite                | 3-vaihe (400 V)                       | Rinnakkaiset kaapelit             | 1                     | Tikas   30 °C                  |                               |
|   | Käyttölämpötila          | 50 °C                                 | Kaapelin koko                     | 70/21 mm <sup>2</sup> | Kaapelin etäisyys              | Ei                            |
| Resistanssi                               | - Tehokerroin            | 1                                     | Kaapelin pituus                   | 65 m                  | Kaapelien määrä                | ≥9                            |
| Reaktanssi                                | - Kuormitus              | -                                     | Ylivirtasuoja                     | Käyttövirta           | Kaapelittikkaiden määrä        | 1                             |
| Käytön resistanssi                        | - Harmoninen virta       | -                                     | Oikosulkusuojaus                  | 117 A                 | Kuormitettujen johtimien määrä | 3                             |
| Käyttöreaktanssi                          | -                        | -                                     |                                   |                       | Paloeriste                     | Ei mitään                     |
|   |                          |                                       |                                   |                       | Lisäkorjauskerroin             | 1                             |
| <b>Tulos</b>                              |                          |                                       |                                   |                       |                                |                               |
| Kohde AMCMK, 70/21 mm <sup>2</sup> , 65 m |                          |                                       |                                   |                       |                                |                               |
| <b>Kuormitettavuus</b>                    | <b>Jännitehäviö</b>      | <b>Katkaisu-aika</b>                  | <b>Energiätehokkuus</b>           |                       |                                |                               |
| Kuormitettavuus                           | 187 A                    | Jännitehäviö piirissä                 | - Maasulkuvirta $ik_{ef}$         | -                     | Energiahäviö (kWh)             | -                             |
| Korjauskerroin                            | 0,78                     | Käyttöjännite                         | - Oikosulkuvirta $ik_{3max}$      | -                     | Energiahäviö (EUR)             | -                             |
| Korjattu kuormitettavuus                  | 145,86 A                 | Jännitehäviö yhteensä                 | - Resistanssi                     | -                     | CO <sub>2</sub> -häviö         | -                             |
| Plenin sallittu kaapelin koko             | 70/21 mm <sup>2</sup>    |                                       | - Reaktanssi                      | -                     |                                |                               |
|   |                          |                                       | - Käytön resistanssi              | -                     |                                |                               |
|   |                          |                                       | - Käyttöreaktanssi                | -                     |                                |                               |
|   |                          |                                       | - Suurin sallittu kaapelin pituus | -                     |                                |                               |
|   |                          |                                       |                                   |                       |                                |                               |
| Projektin numero                          | Tekijä                   | Asiakkaan tyyppi                      | Kohde                             | Asiakkaan nimi        |                                |                               |
| Hyväksyjä                                 | Aitek.                   | Laukaisu                              | Kuvaus                            | Projektin nimi        |                                |                               |
| Päivämäärä                                | Hyv.pvm.                 | Lisäselitys                           |                                   | Piirros nro           | Versioiden lista               |                               |
|   |                          | <b>KAAPELIN TIEDOT</b>                |                                   |                       |                                |                               |
|   |                          | Lisäselitys                           |                                   |                       |                                |                               |
|   |                          | JAMIK- Opinnäytetyö                   |                                   |                       |                                |                               |

Kuvio 4. EL-VIS laskentatyökalun tulos yksityiskohtaisilla tiedoilla valitusta kaapelista (EL-VIS n.d.)

## Esimerkkilasku 2: Kaapelin peruskuormitettavuuden määrittäminen EL-VIS työkalulla

Kaapelissa on 3 kuormitettua PVC-eristeistä kuparijohdinta ja johtimen poikkipinta-ala on  $A = 6\text{mm}^2$ . Kaapelin asennusreitillä on käytetty asennustapoja: D1, B2 ja A2. Mikä on standardiolosuhteisiin asennetun kaapelin suurin sallittu peruskuormitettavuus  $I_{zp}$ ? (Sähkösuunnittelu opintojakso, JAMK 2025.)

| Aikaen                              | Kaapelin numero | Kohde          | Jännitetyyppi | Kaapelin tyyppi | Koko                | Rinnakkaiset kaapelit | Pituus | Asennustapa  | Ylivirtasuojus | Oikosuojus | Maasuojus | Max. Pituus | Virta | Jännitehäviö piirissä | Jännitehäviö yhteensä | Käyttöjännite | N-PE/PEN | Kuormitettavuuden korjaus |      |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|---------------|-----------------|---------------------|-----------------------|--------|--|----------------|------------|-----------|-------------|-------|-----------------------|-----------------------|---------------|----------|---------------------------|------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Syöttöpiste     | -              | Mittauskeskus | -               | -                   | -                     | -      | -  | -              | -          | -         | -           | -     | -                     | -                     | -             | -        | -                         |      |
|                                     | Mittauskeskus   | Asennustapa D1 | 3-vaihe       | MCMK            | 6/6 mm <sup>2</sup> | 1                     | 25 m   | D1 - Monijohdinkaapeli umpinaisessa johtokanavassa tai putkessa maassa | Sulake (25 A)  |            | Ei        | -           |       |                       |                       |               | N-PE     | 38 A                      |      |
|                                     |                 | Asennustapa B2 | 3-vaihe       | MCMK            | 6/6 mm <sup>2</sup> | 1                     | 15 m   | B2 - Monijohdinkaapeli kaapelikanavassa tai putkessa seinän pinnalla   | Sulake (25 A)  |            | Ei        | -           |       |                       |                       |               |          | N-PE                      | 34 A |
|                                     |                 | Asennustapa A2 | Ryhmäkeskus   | 3-vaihe         | MCMK                | 6/6 mm <sup>2</sup>   | 10 m   | A2 - Monijohdinkaapeli lämpöeristettyyn seinään upotetussa putkessa    | Sulake (25 A)  |            | Ei        | -           |       |                       |                       |               |          | N-PE                      | 29 A |

Kuvio 5. EL-VIS laskentatyökalun kaapeliluettelo tehtävänannon mukaisesta tuloksesta (EL-VIS n.d.)

Esimerkkilasku 2 toteutettiin EL-VIS kaapelinmitoitus työkalulla. Mitoitukseen sijoitettiin tehtävänannon mukaiset arvot, kuten johdin tyyppi, poikkipinta-ala, asennustavat D1, B2 ja A2, sekä hypoteettiset pituudet ja ylivirtasuojat, jotka eivät kuitenkaan vaikuta lopputulokseen. Työkalu käyttää syötettyjen arvojen perusteella automaattisesti standardin SFS 6000 mukaisia peruskuormitettavuusarvoja ja antaa kaapelille oikeat mitoitusarvot. Kuvan 4 mukaisesta kaapeliluettelosta pystytään helposti tarkastelemaan eri asennustavoille asennettuja kaapeleita ja vertailemaan kuormitettavuusarvoja, jonka mukaan työkalulla saatu pienin kuormitettavuus on 29 A, mikä vastaa käsin laskennalla toteutettua tulosta.

### Esimerkkilasku 3: Kuormitusvirran laskenta ja johtimen poikkipinta-alan määrittäminen EL-VIS työkalulla

3-vaiheinen kuormitus, jonka näennäisteho on  $S = 49 \text{ kVA}$ . Kuormitus on kytketty  $400 \text{ V}$ :n sähköverkkoon standardiolosuhteisiin asennetulla kaapelilla, jossa on PVC-eristeiset kuparijohtimet. Laske kuormitusvirta  $I_B$  ja mitoita johtimen poikkipinta-ala ( $A$ ) asennustavalle E. (Prosessisähkösuunnittelun opintojakso, JAMK 2025.)

Lasketaan kuormitusvirta, tehtävääannon mukaisilla arvoilla EL-VIS kaapelinmitoitus työkalun kaavat osiosta löytyvällä kaavatyökalulla.

Näennäisteho (kolmivaihe) ( $I$ =tuntematon) Kaavat  $\Sigma$

ⓘ  
📊  
🕒

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times U}$$

$S$   
 49000

$U$   
 400

teho (VA)
jännite linjasta linjaan (V)

virta

$$I = 70.73 \text{ A}$$

Kuvio 6. EL-VIS laskentatyökalun kaavatyökalulla laskettu kuormitusvirta (EL-VIS n.d.)

Syötettiin laskettu kuormitusvirta sekä tehtävääannon mukaiset kaapelin tiedot kaapelinmitoitus sovellukseen, jonka perusteella saatiin tulokseksi kuvan 6. mukaiset kuormitettavuuden arvot ja pienin sallittu kaapelin poikkipinta-ala. Arvot vastaavat käsin laskennalla toteutettua lopputulosta,

joten standardin SFS 6000-5-52:2022 taulukon B.52.10 sarakkeen 3 mukaisesti EL-VIS on mitoittanut edellä laskettua kuormitusvirtaa suuremman peruskuormitettavuuden  $I_{zp} = 80A$ , joka vastaa poikkipinta-alaa  $A = 16 \text{ mm}^2$ .

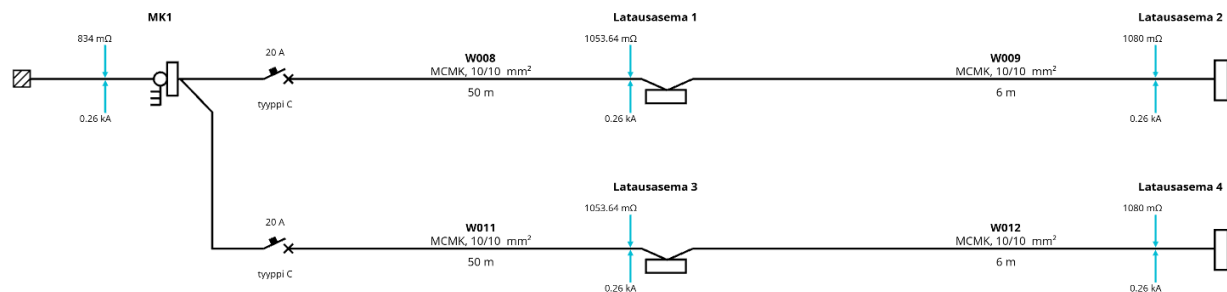
#### Kuormitettavuus

|                               |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| Kuormitettavuus               | 80 A                  |
| Korjauskerroin                | 1                     |
| Korjattu kuormitettavuus      | 80 A                  |
| Pienin sallittu kaapelin koko | 16/16 mm <sup>2</sup> |

Kuvio 7. EL-VIS laskentatyökalun tuloskenttä (EL-VIS n.d.)

#### Esimerkki: Hypoteettisesta sähköautojen latausasemainfrasta EL-VIS laskentatyökalulla

Tässä tarkasteltiin esimerkinomaisesti sähköautojen latausasemainfraa, jossa kaapelinmitoitus toteutettiin EL-VIS kaapelinmitoitus työkalulla. Esimerkkiin valittiin neljä latausasemaa, joita syötetään mittauskeskukselta. Työkaluun syötettiin hypoteettiset tulopisteen, ylivirta- ja oikosulkusuojauksen arvot sekä kaapelien asennustavat.



Kuvio 8. EL-VIS laskentatyökalun yksiviivakaavio esimerkinomaisesta latausinfraasta (EL-VIS n.d.)

EL-VIS laski automaattisesti syötettyjen arvojen perusteella kaapelien tyypit ja maksimi pituudet, kuormitettavuudet, jännitteenalenemat sekä käytön aikaiset virrat. Tämä mahdollisti kokonaisvaltaisen järjestelmän jännitehäviöiden, kaapelivalintojen ja suojausten tarkasteluun sekä muokkaamiseen helposti ja nopeasti. Lisäksi mitoitukseen voidaan tuoda muun muassa energiatehokkuuden laskenta, joka havainnollistaa EL-VIS kaapelinmitoitus työkalun soveltuvuuden myös sähköautojen latausasemainfran mitoittamiseen energiatehokkaasti.

| Aikaen                              | Kaapelin numero | Kohde         | Jännitetyyppi | Kaapelin tyyppi | Koko                  | Rinnakkaiset kaapelit | Pituus | Asennustapa                                     | Ylivirtasuojus        | Oikosulkusuojaus                 | Maasulkusuojaus | Max. Pituus | Virta | Jännitehäviö pliriteas | Jännitehäviö yhteensä | Käyttöjännite | N-PE/PEN | Kuormitettavuuden korjaus |
|-------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|--------|---|-----------------------|----------------------------------|-----------------|-------------|-------|------------------------|-----------------------|---------------|----------|---------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Syöttöpiste     | -             | Mk1           | -               | -                     | -                     | -      | -   | -                     | -                                | -               | -           | -     | -                      | -                     | -             | -        | -                         |
| Mk1                                 | W008            | Latausasema 1 | 3-vaihe       | MCMK            | 10/10 mm <sup>2</sup> | 1                     | 50 m   | C - Yksi- tai monijohdinkaapeli seinän pinnalla | Suojakatkaisin (20 A) | Suojakatkaisin - tyyppi C (20 A) | Ei              | 59 m        | 20 A  | 0,89 %                 | 0,89 %                | 396,45 V      | N-PE     | 57 A                      |
| Latausasema 1                       | W009            | Latausasema 2 | 3-vaihe       | MCMK            | 10/10 mm <sup>2</sup> | 1                     | 6 m    | C - Yksi- tai monijohdinkaapeli seinän pinnalla | Suojakatkaisin (20 A) | Suojakatkaisin - tyyppi C (20 A) | Ei              | 9 m         | 20 A  | 0,11 %                 | 1 %                   | 396,02 V      | N-PE     | 57 A                      |
| Mk1                                 | W011            | Latausasema 3 | 3-vaihe       | MCMK            | 10/10 mm <sup>2</sup> | 1                     | 50 m   | C - Yksi- tai monijohdinkaapeli seinän pinnalla | Suojakatkaisin (20 A) | Suojakatkaisin - tyyppi C (20 A) | Ei              | 59 m        | 20 A  | 0,89 %                 | 0,89 %                | 396,45 V      | N-PE     | 57 A                      |
| Latausasema 3                       | W012            | Latausasema 4 | 3-vaihe       | MCMK            | 10/10 mm <sup>2</sup> | 1                     | 6 m    | C - Yksi- tai monijohdinkaapeli seinän pinnalla | Suojakatkaisin (20 A) | Suojakatkaisin - tyyppi C (20 A) | Ei              | 9 m         | 20 A  | 0,11 %                 | 1 %                   | 396,02 V      | N-PE     | 57 A                      |

Kuvio 9. EL-VIS laskentatyökalun kaapeliluettelo esimerkinomaisesta latausinfrastrasta (EL-VIS n.d.)

## 10 Tutkimustulokset

Tutkimuksessa tarkasteltiin mahdollisuutta hyödyntää EL-VIS laskentatyökalua Jyväskylän ammattikorkeakoulun sähkötekniikan opintojaksoilla, joissa kaapelinmitoitus on yksi osa opintojaksojen sisältöä. Tutkimus rajattiin kuitenkin koskemaan kolmea opintojaksoa rakennussähkösuunnittelun, prosessisähkösuunnittelun sekä sähkösuunnittelun opintojaksoja. Laskennassa vertailtiin kaapelinmitoitus harjoitusten tekoa käsin laskettuna sekä laskentatyökalun avulla tehtynä. Tarkoituksena oli tutkia laskentatyökalun käyttöä opiskelijan näkökulmasta ja pohtia sen hyödyntämistä opetuksessa.

EL-VIS laskentatyökalu osoittautui opiskelijaystävälliseksi työkaluksi harjoitusten tueksi, sillä kaapelinmitoituksesta havaittiin tulevan nopeampaa ja helpompaa työkalun myötä. Mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä, kuten johdinmateriaalien, asennustapojen, kuormitettavuuksien ja korjauskerroimien tarkastelu laskentatyökalulla, auttoi hahmottamaan niiden merkitystä kaapelinmitoituksessa. Visuaalinen näkymä kaapeliluettelona tai yksiviivakaaviona auttoi ymmärtämään laskennan kokonaisuutta. EL-VIS laskentatyökalulla luotavat tulosteet ja dokumentaatiot kaapelinmitoituksesta tukevat sähkösuunnittelun järjestelmällistä työskentelyä.

Työssä ei ehditty tarkemmin tutkia, tukeeko laskentatyökalun käyttö oppimista ja ymmärrystä, mutta tulokset kertoivat EL-VIS laskentatyökalun auttavan hahmottamaan kaapelinmitoitukseen vaikuttavia tekijöitä, kun sähkötekniikan ja kaapelinmitoituksen perusteet ovat hallinnassa. Laskentatyökalu ei kuitenkaan täysin pysty korvaamaan sähkötekniikan peruslaskennan ja mitoittamisen ymmärtämistä, vaan toimii tarkastelevana ja tukevana työkaluna opinnoissa. Opinnäytetyössä tehtiin vertailevaa laskentaa. Esimerkkilaskut laskettiin sekä käsin että EL-VIS laskentatyökalua hyödyntäen. Työn vertailevat esimerkkilaskut valittiin kevään sähkötekniikan opintojaksojen sisällöistä. Laskenta toteutettiin molemmilla laskentatavoilla ja niissä käytettiin toisiaan vastaavia lähtötietoja ja -arvoja.

Käsin laskennan lisänä työkalu toimi tarkastavana ja tukevana elementtinä sekä rohkaisee kokeilemaan vaihtoehtoisia mitoitusesimerkkejä oppimistehtävistä, joita opintojaksoilla harjoiteltiin. Tämän opinnäytetyön perusteella EL-VIS laskentatyökalun katsotaan soveltuvan kaapelinmitoituksen tueksi osaksi sähkötekniikan opintojaksoja, sekä tarjoaa lisäarvoa laskennan ja dokumentoinnin opetuksessa.

## 11 Pohdinta

### 11.1 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, voisiko EL-VIS laskentatyökalua hyödyntää sellaisenaan Jyväskylän ammattikorkeakoulussa opetustyökaluna. Tutkimus rajattiin koskemaan vain EL-VIS laskentatyökalua sekä Jyväskylän ammattikorkeakoulun kolmea sähkö- ja automaatiotekniikan opintojaksoa. Tarkoitus oli myös selvittää, missä määrin laskentatyökalua pystytään opintojaksoilla hyödyntämään. Opinnäytetyössä EL-VIS laskentatyökalun käyttöä ja sen soveltuvuutta opintojaksoille tarkasteltiin kolmella eri opintojaksokokonaisuudella, joita olivat sähkösuunnittelun, rakennussähkösuunnittelun ja prosessisähkösuunnittelun opintojaksot Jyväskylän ammattikorkeakoulussa. Tutkimusmenetelmäksi valikoitui toiminnallinen opinnäytetyö, jossa esimerkkilaskujen kautta kerättiin aineistoa vastaamaan tutkimuskysymyksiin. Esimerkkilaskut valittiin sähkötekniikan opintojaksojen sisällöstä, joita vertailtiin käsin laskettuna sekä EL-VIS laskentatyökalua hyödyntäen. Esimerkkilaskujen avulla saatiin vertailevaa tulosta siitä, kuinka työkalua hyödyntäen pystytään helposti ja nopeasti tekemään kaapelinmitoituksia sekä tarkastelemaan tuloksia vaihtoehdoisilla laskenta-arvoilla. Visuaalisesti selkeät kaaviot ja kaapeliluettelot helpottavat hahmottamaan suuriakin mitoituskokonaisuuksia, joita tässä työssä ei kuitenkaan päästy tarkastelemaan laajalla mittakaavalla. Tutkimus tuotti konkreettista tutkimustietoa EL-VIS laskentatyökalun käytöstä ja sen soveltuvuudesta edellä mainituille opintojaksoille.

Tässä tutkimuksessa saatujen tutkimustulosten perusteella voidaan todeta EL-VIS laskentatyökalun soveltuvan hyvin opetuksen ja oppimisen tueksi Jyväskylän ammattikorkeakoulussa niillä opintojaksoilla, joilla kaapelinmitoitus kuuluu opintojakson sisältöön. Laskentatyökalun ominaisuudet tukevat opiskelijan sähkösuunnittelutyön, kaapelinmitoituksen ja sähkötekniikan perusteiden tekemistä ajattelua. Opiskelijan näkökulmasta EL-VIS laskentatyökalun avulla pystytään yhdistämään kaapelinmitoituksen teoriapohja käytännön mitoitusilanteisiin.

Opetuksen näkökulmasta EL-VIS laskentatyökalu sopii tehokkaasti pienjännitesähköasennusten mitoittamisen käsin laskettavien tehtävien rinnalle ja mahdollistaa opiskelijan tukemisen suunnittelulähtoisempään suuntaan, kun sähkötekniikan perusteet ovat jo hallussa. Tulevaisuudessa EL-VIS laskentatyökalun käyttöä voitaisiin tuoda esille myös muiden opintojaksojen käyttöön, jossa sähkötekniistä dokumentointia opiskellaan.

Opinnäytetyön tavoitteet, tarkoitus ja tutkimuskysymykset huomioiden aineistonkeruu tuotti tarkoituksenmukaista materiaalia ja riittäviä vastauksia opinnäytetyön kannalta. Tutkimuksen rajaus oli onnistunut ja EL-VIS laskentatyökalun käyttö soveltui valituille opintojaksoille hyvin. Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että tutkimuksessa tarkasteltu laskentatyökalu soveltuu opetuskäyttöön, ja sen käyttöönotto voi edistää sekä opiskelijoiden ymmärrystä kaapinmitoituksesta että kestäväen kehityksen periaatteiden omaksumista sähkötekniikan opinnoissa.

EL-VIS laskentatyökalu tarjoaa myös energiantehokkuuslaskentaa, joka tukee opiskelijoiden ymmärrystä energiatehokkaista sähköasennuksista ja sen merkityksestä kestäväen kehityksen näkökulmasta. Energiantehokkuuslaskennalla voidaan tarkastella mitoitettavien kaapelien energiankulutusta eri mitoitustilanteissa, minkä avulla voidaan yhdistää teoretietoa kestäväen kehityksen tavoitteisiin. Työkalun avulla pystytään havainnollistamaan eri mitoitusratkaisujen vaikutus sähköjärjestelmien energiantehokkuuden parantamiseen ja vähentämään sähkön kulutusta. Tämä täydentää kokonaisvaltaisen kaapelinmitoitustilanteen nykypäivän vaatimusten mukaisesti sekä edistää kestäväen kehityksen ajattelua mitoituksissa.

## 11.2 Opinnäytetyön arviointi

Opinnäytetyön aihe valittiin, koska se herätti henkilökohtaista kiinnostusta ja aiheesta oli tullut toimeksiantajalta toimeksianto Jyväskylän ammattikorkeakoululle. Aiheen valintaan vaikutti myös ajankohtaisuus digipalveluiden hyödyntämisestä opiskeluvälineinä, vähäinen aikaisempi tutkimustieto sekä kirjoittajan työelämästä lähtöisin oleva mielenkiinto kyseisestä aiheesta kohtaan.

Opinnäytetyön avulla voidaan lisätä tietoisuutta EL-VIS laskentatyökalun hyödyntämisestä Jyväskylän ammattikorkeakoulun sähkö- ja automaationinsinöörin koulutusohjelman sähkösuunnittelun opinnoissa. Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää arvioidessa EL-VIS laskentatyökalun hyödyntämistä opetusvälineenä.

Opinnäytetyössä on laadittu teoreettinen viitekehys aihealueen ympärille ja kerrottu mahdollisimman tarkasti kaapelinmitoitukseen liittyvistä laesta, standardeista ja asetuksista sekä kaapelinmitoituksen perusteista. Tietoa on kerätty laajasti aihealueen ympäriltä. Työssä on keskitytty Jyväskylän ammattikorkeakoulun sähkö- ja automaatiotekniikan insinöörikoulutuksen

opetussuunnitelmaan ja kolmeen ennalta määrättyyn ja sovittuun opintojaksoon, joilla kaapelinmitoitus on keskeisessä roolissa. Näistä opintokokonaisuuksista on myös kerrottu laajasti ja totuuden mukaisesti. EL-VIS laskentatyökalu on myös esitelty laajasti ja sen käyttö on pyritty kuvaamaan selkeästi. Työn ulkopuolelle on jätetty muut laskentatyökalut ja keskitytty vain EL-VIS laskentatyökalun kaapelimitoitus osion ominaisuuksiin.

Tutkimusraportti on kuvattu mahdollisimman selkeästi ja niin, että siitä saa käsityksen tutkimuksen aikaisista tapahtumista. Tyyllillisesti opinnäytetyön kirjoitusasu on säilynyt yhteneväisenä yhden kirjoittajan toimesta. Tutkimuksen teoreettista viitekehystä on myös täydennetty tutkimuksen toiminnallisen osuuden jälkeen, koska siinä nähtiin puutteita. Työn teoreettisessa osuudessa olisi voitu käsitellä enemmän energiatehokkuutta, koska se on kaapelinmitoitustyökalun yksi merkittävimmistä hyödyistä.

Tässä opinnäytetyössä kehittämiskohteina voidaan pitää sitä, että tutkimusta on tehty yhden henkilön toimesta, mikä rajoittaa tarkastelunäkökulmia ja voi tehdä niistä yksipuolisia. Toisaalta opinnäytetyössä on pystytty todentamaan esimerkkilaskujen avulla laskentatyökalun hyöty kaapelinmitoituksessa sekä ajankäytön tehostumisen että energiatehokkuuden näkökulmasta.

### **11.3 Jatkotutkimusehdotukset**

EL-VIS laskentatyökalun käytöstä opetustarkoituksessa ei ole Suomessa aikaisempaa tutkimusta ja sen käyttökokemukset ovat opiskelijoiden keskuudessa rajalliset. Jatkotutkimuksena opiskelijoilta voisi kerätä käyttökokemuksia ja palautetta EL-VIS laskentatyökalun hyödyntämisestä opiskelutarkoituksessa, jolloin työkalun pedagogista arvoa voitaisiin arvioida paremmin. Myös EL-VIS laskentatyökalun pöytäkirjat osion hyödyntäminen sähkötekniikan opinnoissa vaatisi jatkotutkimusta. Pöytäkirjat osiossa pystytään luomaan ryhmäluetteloita, käyttöönottopöytäkirjoja ja muun muassa riskinarviointi lomakkeita, jotka ovat sähkötekniikan opintojaksoille olennaisia.

Tutkimuksen kohderyhmän rajaaminen Jyväskylän ammattikorkeakoulun sähkö- ja automaatioalan insinööriopiskelijoiden keskuuteen antaisi arvokasta lisätietoa siitä, soveltuuko EL-VIS laskentatyökalun käyttö kyseisen ammattikorkeakoulun opintojaksoilla käytettäväksi opetustyökaluksi. Kohderyhmän laajentaminen muihin ammattikorkeakouluihin voisi tuottaa lisätietoa, mutta tulosten

tarkastelussa tulisi ottaa huomioon myös ammattikorkeakoulujen opetussuunnitelmien eriävyyssyys. EL-VIS laskentatyökalun tarkastelu työelämä ympäristössä esimerkiksi sähkösuunnittelu tehtävissä antaisi vertailukelpoista materiaalia todellisista työelämän tarpeista. Tämän avulla pystyttäisiin arvioimaan opintojaksoilla opittujen taitojen siirtämistä suoraan työelämään ja mahdollisesti kehittämään opintojaksojen sisältöä vastaamaan työelämän vaatimuksia.

## Lähteet

EL-VIS. N.d. Digitaalisia työkaluja sähköalan yrityksille. Viitattu 1.3.2025. <https://el-vis.com/fi/fi/>

Jyväskylän ammattikorkeakoulu. 2025. Sähkötekniikan opintojakso. Viitattu 30.3.2025. <https://opetussuunnitelmat.peppi.jamk.fi/48/fi/0/5288/440/25/40346>

Jyväskylän ammattikorkeakoulu. 2025. Sähkösuunnittelun opintojakso. Viitattu 30.3.2025. <https://opetussuunnitelmat.peppi.jamk.fi/48/fi/0/5288/440/25/39724>

Liukko, S. & Perttula, S. 2024. Opinnäytetyön raportointi. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Päivitetty elokuussa 2024. Viitattu 22.4.2025. <https://help.jamk.fi/raportointiohje/fi/>.

NSS ry. 2025. Sertifiointi. Viitattu 20.4.2025. <https://www.nsoy.fi/sertifiointi/>

Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti J. 2015. Kehittämistyön menetelmät. 3. painos. Helsinki: Sanoma Pro.

SFS 6000-5-52:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5–52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Aihealueet: Sähkö ja elektroniikka. Sähköasennukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 12.8.2022. Viitattu 31.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS 6000-4-43:2022 Pienjännitesähköasennukset. Osa 4–43: Suojausmenetelmät. Ylivirtasuojaus. Aihealueet: Sähkö ja elektroniikka. Sähköasennukset. Helsinki: SFS Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 12.8.2022. Viitattu 31.3.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

Sähköinfo Oy. 2015. ST 53.45. Sulakkeen suojaus. Viitattu 19.5.2025. <https://janet.finna.fi>, Sähköinfo Severi.

Sähkösuunnittelijat NNS ry. 2025. Sähkösuunnittelijan pätevyys. Viitattu 20.4.2025. <https://www.xn--shksuunnittelu-5hb40a.fi/>

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Annettu 16.12.2016. Viim. muutos. 1.4.2022. Viitattu 1.3.2025. [1135/2016 | Lainsäädäntö | Finlex](#)

Tianen, E. 2022. D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähköinfo Oy.